

ผลของสารเคลือบผิวต่อค่าความทนแรงดัน และแรงยึดติด ของกลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดต่อเนื้อฟัน Effects of Different Coating Materials on the Flexural Strength and Bond Strength of Glass Hybrid Glass Ionomer to Dentin

กนกวรรณ บุญพงษ์¹, วัชรพงษ์ อริยเกรียงไกร², ยุทธนา คูวุฒยากร³, สิทธิกร คุณวโรตม์²
โรงพยาบาลชุมแพ จังหวัดขอนแก่น

²ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
³คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเนชั่น

Kanokwan Boonpong¹, Watcharaphong Ariyakriangkai², Yutthana Khuwuthayakorn³, Sitthikorn Kunawarot²

¹Chum Phae Hospital, Khon Kaen

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

³Faculty of Dentistry, Nation University

ชม. ทันตสาร 2564; 42(1) : 61-81

CM Dent J 2021; 42(1) : 61-81

Received: 24 January, 2020

Revised: 16 March, 2020

Accepted: 22 April, 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิววัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดด้วยสารเคลือบชนิดนาโนฟิลล์เรซินเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ต่อค่าความทนแรงดัดและค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคกับเนื้อฟัน

วิธีการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) การค้นหาช่วงเวลาสิ้นสุดการดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริด 2) การศึกษาความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างวัสดุ

Abstract

Objective: To evaluate the effects of coated glass hybrid glass ionomer using nanofilled-resin and other materials on the flexural strength and microtensile bond strength of the glass hybrid glass ionomer to dentin.

Methods: This work was composed of three studies. 1) To evaluate the duration of the complete chemical reaction of the glass hybrid glass ionomer restorative material; 2) To study on microten-

Corresponding Author:

วัชรพงษ์ อริยเกรียงไกร

อาจารย์, ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Watcharaphong Ariyakriangkai

Lecturer, Department of Restorative Dentistry
and Periodontology, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: watcharaphong.a@cmu.ac.th

บุรณะกลาส ไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดและเนื้อฟัน 3) การทดสอบค่าความทนแรงดัดของวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดด้วยการทดสอบความแข็งแรงเชิงดัดแบบ 3 จุด

การศึกษาส่วนแรก การกำหนดระยะเวลาในการเก็บชิ้นงาน ใช้เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์-ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ในการค้นหาช่วงเวลาสิ้นสุดการดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานในการศึกษาส่วนที่ 2 และ 3 ซึ่งพบว่า การดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีสูงสุดที่ 24 ชั่วโมงหลังเริ่มปฏิกิริยา และมีแนวโน้มคงที่ในภายหลังงานวิจัยนี้จึงเก็บข้อมูลที่ระยะ 24 ชั่วโมง 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์อีควิแอร์-ฟอร์เต้ จะมีการดำเนินไปของปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ภายใต้การคงอยู่ของสารเคลือบ

การศึกษาส่วนที่สอง นำฟันกรามแท้ของมนุษย์จำนวน 96 ซี่ ตัดฟันที่ระยะกึ่งกลางระหว่างความหนาของชั้นเนื้อฟัน ขนานกับด้านบดเคี้ยวปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยจีซีเดนทีนคอนดิชันเนอร์แล้วอุดด้านบนด้วยวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดอีควิแอร์ฟอร์เต้ แบ่งตัวอย่างเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 24 ซี่ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมผลลบ ไม่ได้ทำการเคลือบผิววัสดุบุรณะด้วยสารใดๆ กลุ่มที่ 2, 3, 4 ทำการเคลือบผิวภายหลังการอุดด้วยสารเคลือบฟลูออไรด์ สารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล และสารเคลือบอีควิแอร์ฟอร์เต้โค้ท ตามลำดับ เก็บชิ้นฟันในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันที่แรงดัน 20 เซนติเมตร น้ำ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 8 ซี่ ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 และ 4 สัปดาห์ตามลำดับ จากนั้นตัดฟันที่ทำการบุรณะแล้วด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร ได้ชิ้นทดสอบเป็นรูปแท่งทรงสี่เหลี่ยม พื้นหน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 32 ชิ้นต่อกลุ่ม (n=32) ทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล นำค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง และจำแนกพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

sile bond strength between the glass hybrid glass ionomer restorative material and dentin; and 3) To evaluate the flexural strength of glass hybrid glass ionomer by the three-point bending test.

In the first study, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to evaluate the duration of the complete chemical reaction. The results of this study were used as the storage periods for the second and third studies. This study found that the maximal chemical reaction exhibited in 24 hours after placement, therefore this research collected data at 24 hours, 2 and 4 weeks to assure that the glass hybrid glass ionomer –EQUIA[®] Forte reached the complete reaction with the retaining of surface coating agent.

In the second study, 96 sound human permanent molar teeth were sectioned parallel to the occlusal surface. Mid-coronal dentin surfaces were treated with GC DENTIN CONDITIONER. Then the glass hybrid glass ionomer – EQUIA[®] Forte was placed. The teeth were divided into four groups of 24 teeth each: Group 1 (negative control), without coating material; Group 2,3 and 4, where the glass ionomer restorations were coated with Fuji varnish[™], the adhesive element of Optibond[™] FL, and EQUIA[®] Forte Coat, respectively. The teeth in each group were stored in distilled water at 37°C under an experimental simulated pulpal pressure of 20 cmH₂O, and then divided into three subgroups according to the storage time used in this study (24 hours, two weeks and four weeks), eight teeth per subgroup. Then the restored teeth were cut, using low-speed diamond saw, into stick specimens with a bond interface area of approximately 1 mm². Four specimens were collected from each teeth (n=32). Microtensile bond strength was determined using a univer-

การศึกษาส่วนที่สาม ขึ้นทดสอบวัสดุบูรณะกลาส-ไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดอีควีร์ฟอร์เต้ รูปแท่งทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 2x2x25 มิลลิเมตร จำนวน 60 ชิ้น แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ชิ้น (N=15) ตามชนิดของการเคลือบผิวเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการเคลือบผิวขึ้นทดสอบทุกด้าน และเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 และ 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการทดสอบความแข็งแรงเชิงดัดแบบ 3 จุด ด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคกับเนื้อฟันไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ที่ได้รับการเคลือบผิวทุกชนิด ให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดนาโนฟิลล์เรซิน ให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ในทุกช่วงเวลา นอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค และค่าความทนแรงดัดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการศึกษา ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ การใช้สารเคลือบทุกชนิดรวมถึงสารเคลือบชนิดนาโนฟิลล์เรซินไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้กับเนื้อฟันที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ภายหลังการบูรณะ แต่การใช้สารเคลือบโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคลือบชนิดนาโนฟิลล์เรซิน รวมถึงปัจจัยทางด้านเวลาที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความทนแรงดัดและแนวโน้มค่าการยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์กับเนื้อฟันเพิ่มขึ้นได้

sal testing machine. The data were submitted to two-way ANOVA at a significance level of 95%. The mode of failure in the de-bonded specimens was determined using a Scanning Electron Microscope (SEM).

In the third study, 60 bar-shaped glass hybrid glass ionomer specimens of 25x2x2 mm³ were prepared in a split mold. The specimens were randomly divided into four groups according to the mentioned coating materials, 15 specimens per group (N=15). After applying the coating material, the specimens in each group were stored in distilled water at 37°C and divided into three subgroups according to the storage time (24 hours, two weeks and four weeks), five specimens per subgroup. The three-point bending test was conducted using the universal testing machine. The data were submitted to two-way ANOVA and Tukey's multiple comparison test ($p<0.05$).

Results: In the two- and four-week water-storage subgroups, there was no significant difference in microtensile bond strength regardless of the application of coating material. The coated glass ionomer specimens demonstrated significantly higher flexural strength values than did those in the control group. Remarkably, the specimens in the group in which nanofilled-resin coating was applied showed the greatest flexural strength during all storage periods. Moreover, the periods of specimen storage significantly affected the microtensile bond strength and flexural strength of glass ionomer material.

Conclusions: Within the limitations of this study, the application of all mentioned coating materials, including the nanofilled-resin coating, exhibited no significant effect on the microtensile strength of the bond between the glass ionomer

คำสำคัญ: กลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริด สารเคลือบ ความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค ความทนแรงดัด เนื้อฟัน

material and dentin after 2 and 4 weeks water-storage time. Nevertheless, the application of coating materials, especially nanofilled-resin coating, and the effect of storage duration, significantly improved the flexural strength of glass ionomer material, and had the tendency to improve the microtensile bond strength.

Keywords: glass hybrid glass ionomer, coating material, microtensile bond strength, flexural strength, dentin

บทนำ

ในทางทันตกรรมกลาสไฮโอโนเมอร์ถูกนำมาใช้งานด้วยวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย ตั้งแต่การเป็นสารเชื่อมยึดชิ้นงาน (luting) วัสดุฉาบผิว (liner) วัสดุรองพื้นโพรงฟัน (base) ตลอดจนการใช้งานเพื่อเป็นวัสดุบูรณะ (restorative material)⁽¹⁾ ด้วยข้อดีของวัสดุที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ทำให้มีคุณสมบัติต่อต้านการเกิดฟันผุ ทั้งยังมีสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ความสามารถในการเกิดพันธะทางเคมีกับแร่ธาตุที่ผิวฟัน ใช้งานง่าย และมีความยุ่งยากซับซ้อนในการใช้งาน (technique sensitivity) น้อยกว่าวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต⁽²⁾ อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรงต่ำและอัตราการสึกที่สูง ทำให้วัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานบูรณะบริเวณฟันหลังซึ่งรับแรงจากการบดเคี้ยว^(3,4) จึงได้มีความพยายามปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ด้วยวิธีการต่างๆ อาทิ การพัฒนาส่วนประกอบและอัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบส่วนผงและส่วนเหลว ตลอดจนการพัฒนาสารเคลือบภายหลังการบูรณะ^(5,6) วัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดได้แก่ วัสดุบูรณะอีควียร์ฟอร์เต้ (EQUIA® Forte) เกิดจากการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมความหนืดสูง ด้วยการเพิ่มอนุภาคแก้วที่มีขนาดแตกต่างกันเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านกายภาพและความแข็งแรง ทั้งยังมีคำแนะนำในการใช้งานร่วมกับการทาสาร

เคลือบภายหลังการบูรณะ เพื่อลดและป้องกันการสูญเสียและดูดซึมน้ำของวัสดุในระหว่างที่มีการดำเนินไปของปฏิกิริยาการก่อตัว⁽⁷⁾

กระบวนการก่อตัวของวัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์เกิดจากปฏิกิริยากรด-ด่าง (acid-base reaction) เมื่อโมเลกุลของกรดอ่อนพอลิอัลคิโนอิกหรือกรดพอลิคาร์บอกซิลิกแตกตัวเป็นหมู่คาร์บอกซิล สัมผัสกับส่วนผงฟลูออโรอะมิโนซิลิเกตของแก้ว ส่วนเหลวของกรดจะกัดกร่อนผิวแก้ว ทำให้เกิดการละลายตัวของอนุภาคต่างๆ เช่น โซเดียม (Na^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) สตรอนเทียม (Sr^{2+}) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ออกจากโมเลกุลของแก้ว จากนั้นอนุภาคที่ถูกละลายออกจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลบนสายโซ่โมเลกุลของกรด เกิดลักษณะโครงสร้างเชื่อมขวาง (cross-linking)⁽⁸⁾ เกิดเป็นโมเลกุลเกลือของหมู่คาร์บอกซิล ได้แก่ โมเลกุลเกลือของธาตุแคลเซียม (calcium polyacrylate salt) ใช้เวลาประมาณ 2-6 นาทีนับจากเริ่มผสม⁽⁹⁾ ตามมาด้วยโมเลกุลเกลือของธาตุอะลูมิเนียม (aluminium polyacrylate salt) ซึ่งเป็นเกลือที่มีความเสถียรแต่ปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างช้าๆ หลังจาก 24 ชั่วโมง⁽¹⁰⁾ การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางโดยเฉพาะครั้งหลังนี้เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้วัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มมากขึ้น⁽⁸⁾ การได้รับน้ำจากภายนอกในระหว่างการทำเนไปของปฏิกิริยาจะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุบูรณะกลาสไฮโอโนเมอร์ลดลง ฟันผุเกิดการสึกกร่อน (erosion) และ

เกิดการสึกเหตุขัดถู (abrasion) ได้ง่าย นอกจากนั้นการสูญเสีย น้ำออกจากวัสดุผ่านทางพื้นผิวจะทำให้เกิดรอยแตก (cracking) และการร้าว (crazing) ในเนื้อของกลาสไอโอโนเมอร์ ส่งผลให้วัสดุบุรณะมีลักษณะขุ่น (chalky) ไม่สวยงาม^(11,12)

กลไกการยึดติดของวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์กับ โครงสร้างฟันเกิดจาก 2 กลไก คือ การยึดติดเชิงกลในระดับ จุลภาค (micromechanical interlocking) ทั้งจากการทา สารปรับสภาพพื้นผิวและความเป็นกรดอ่อนของวัสดุทำให้ ผิวฟันเกิดรูพรุนขนาดเล็กของโครงข่ายคอลลาเจน โมเลกุล ของกลาสไอโอโนเมอร์จะแทรกซึมเข้าไปแทนที่และการยึด ติดทางเคมี (true chemical bonding) ซึ่งเกิดจากพันธะ ไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดพอลิอัลคิลีนิกและ อนุภาคแคลเซียมของฟลักไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวฟัน⁽⁸⁾ การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิด กลาสไฮบริด มักกล่าวถึงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของตัว วัสดุ^(7,13-16) รวมถึงการใช้งานทางคลินิก⁽¹⁷⁻²⁰⁾ เป็นส่วนใหญ่ แต่จากแนวคิดที่ว่า การเคลือบผิวภายหลังการบุรณะส่งผลต่อ ความสมบูรณ์ของการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีภายในเนื้อ ของกลาสไอโอโนเมอร์⁽²¹⁾ ยังไม่มีการศึกษาใดกล่าวถึงความ สัมพันธ์ระหว่างวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดกลาส- ไฮบริดและชนิดของสารเคลือบพื้นผิวต่อค่าการยึดติด งานวิจัย นี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิววัสดุบุรณะ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดด้วยสารเคลือบชนิด นาโนฟิลล์เรซินกับวิธีการอื่นๆ ต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบ ดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) กับเนื้อฟัน ภายใต้อาการจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันรวมถึงค่า ความทนแรงดัด (flexural strength) ของวัสดุ ซึ่งอาจเป็น เครื่องบ่งชี้ถึงคุณภาพในการดำเนินไปของปฏิกิริยาการก่อตัว ติดตามผลที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

การศึกษาการดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุ บุรณะกลาสไอโอโนเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้

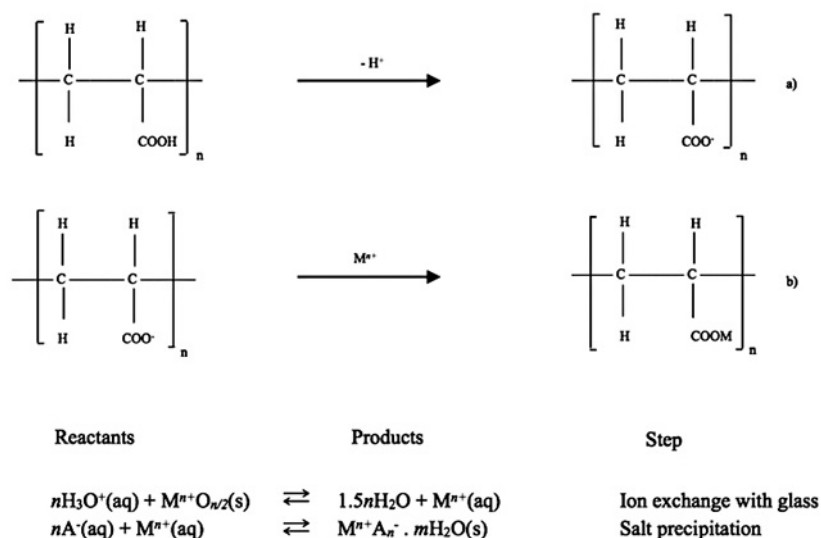
ขึ้นทดสอบกลาสไอโอโนเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ (EQUIA® Forte; GC Corp, Tokyo, Japan) สี A3.5 ลักษณะแผ่น กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 30 ชิ้น เตรียมขึ้นจากแบบหล่อซิลิโคนที่วางอยู่บน

กระจกใสด้วยเทคนิคการอุดเป็นก้อน (bulk technique) ปิดทับด้านบนด้วยแผ่นพลาสติกใสหนา 60 ไมโครเมตร และ วางทับด้วยกระจกใส เมื่อครบเวลาที่ 2.30 นาที ทำการแกะ ขึ้นงานออกจากแบบหล่อและแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้น ตามระยะเวลา คือ 2.30 นาที 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ 3 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ภายหลังจากการอุด โดยกลุ่มที่ 1 ทำการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในเนื้อวัสดุทันที ส่วนกลุ่มที่ 2-6 เก็บชิ้นงานในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศา-เซลเซียส เมื่อครบกำหนดระยะเวลา ทำการทดสอบการเกิด ปฏิกิริยาทางเคมีภายในเนื้อวัสดุ เพื่อค้นหาช่วงเวลาสิ้นสุดการ ดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุบุรณะกลาสไอโอโน- เมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี รุ่นเท็น เซอร์ 27 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, TENSOR 27, Bruker) โดยใช้วิธีดูดซับรังสี (absorbance mode) ที่ระยะเลขคลื่นที่ 400-4,000 ต่อเซนติเมตร (cm^{-1})

ทำการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเนื้อ ของวัสดุบุรณะกลาสไอโอโนเมอร์ จากการวิเคราะห์ปริมาณ หมู่คาร์บอกซิลของกรดคาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) ซึ่งมีค่า เลขคลื่น (wave number) ประมาณ 1,700 ต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) ที่ลดลงจากการแตกตัวเพื่อทำปฏิกิริยาและปริมาณ พันธะเกลือของหมู่คาร์บอกซิล (COO-M^{2+}) ซึ่งมีค่าเลข คลื่นประมาณ 1,550 ต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) ที่เพิ่มขึ้นจาก การดำเนินไปของปฏิกิริยา ดังรูปที่ 1 นำผลวิเคราะห์ที่ได้ไป ผ่านการคำนวณทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความ แตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูเกีย (Tukey's multiple comparisons test)

การศึกษาความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength)

นำฟันกรามแท้ของมนุษย์ ปราศจากรอยผุ รอยสึก และ การบุรณะใดๆ ซึ่งถูกถอนเนื่องจากเหตุผลการรักษาทางทันต- กรรม ระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน จำนวน 96 ซี่ เก็บรักษายาหลัง ถูถอนในสารละลายไทมอล (thymol) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้อง มาตัดบริเวณส่วนตัวฟันในแนวตั้งฉาก 90 องศา กับแนวแกนฟันด้วยเครื่องตัดปูนพลาสติก (Model trimmer, Silfradent; Italy) โดยทำการถ่ายภาพรังสีก่อนการ ตัดเพื่อให้ได้ระยะเนื้อฟันที่ห่างจากโพรงประสาทฟันประมาณ



รูปที่ 1 แสดงการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ a) การแตกตัวของกรดพอลิคาร์บอกซิลิกจากองค์ประกอบส่วนเหลว b) ไอออนที่เกิดการละลายตัวออกมาจากผิวแก้ว (M^{n+}) เช่น Ca^{2+} , Al^{3+} เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิล เกิดเป็นพันธะเกลือของหมู่คาร์บอกซิล ($\text{COO}^-\text{M}^{2+}$)⁽²²⁾

Figure 1 Chemical reactions in glass ionomer cement a) The carboxylic group from the GIC liquids reform as COO^- groups b) The carboxylic salt ($\text{COO}^-\text{M}^{2+}$) was formed by various metal cations (M^{n+}) e.g. Ca^{2+} , Al^{3+} from the glass reacted with the carboxylic group.

2 มิลลิเมตรและปราศจากเคลือบฟัน จากนั้นทำการตัดบริเวณรากฟันต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟันประมาณ 3 มิลลิเมตรทำการกำจัดเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน (pulp tissue) ด้วยบาร์บโบรช (barb broach) โดยระวังไม่ให้เครื่องมือไปสัมผัสกับผนังโพรงประสาทฟัน ขัดผิวเนื้อฟันด้านบดเคี้ยวด้วยกระดาษทรายน้ำ (silicon carbide abrasive paper) ความละเอียด 600 กริต เพื่อจำลองการเกิดขึ้นสเมียร์ จากนั้นทำการปรับสภาพพื้นผิวบริเวณเนื้อฟันด้วยเดนตินคอนดิชันเนอร์ (DENTIN CONDITIONER; GC Corp, Tokyo, Japan) 20 วินาที ล้างน้ำ และเป่าลมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ทำการอุดวัสดุบูรณะอีควีร์ฟอร์เต โดยใช้แบบหล่อวงแหวนซิลิโคนสูง 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรด้วยเทคนิคการอุดเป็นก้อนลงบนเนื้อฟันปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกใสหนา 60 ไมโครเมตร วางทับด้วยกระจกสไลด์ กดทับด้านบนด้วยลูกตุ้มน้ำหนักขนาด 500 กรัม จับเวลาตั้งแต่วัสดุสัมผัสกับเนื้อฟัน เมื่อครบเวลาที่ 2 นาที 30 วินาทีทำการแกะแบบหล่อออกจากวัสดุบูรณะ แบ่งฟันที่ผ่านการอุดออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 24 ซี่

ตามชนิดของสารเคลือบผิวภายหลังจากการอุด คือ กลุ่มที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวใดๆ และกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบฟลูออไรด์ (Fuji varnish™; GC Corp, Tokyo, Japan), สารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล (OptiBond™ FL; Kerr, CA, USA) และสารเคลือบอีควีร์ฟอร์เตโค้ท (EQUIA® Forte Coat; GC Corp, Tokyo, Japan) ตามลำดับ วัสดุที่ใช้ในการศึกษาและส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 1

โดยแต่ละกลุ่มจะมีการแบ่งเก็บก่อนที่จะนำมาเตรียมชิ้นงานออกเป็นกลุ่มย่อย ตามระยะเวลาที่ได้จากผลการศึกษา ส่วนที่ 1 ภายใต้การจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันจากการทดลอง (experimental simulated pulpal pressure) ด้วยวิธีของ Feitosa และคณะในปี 2012⁽²³⁾ โดยนำฟันที่ผ่านการอุดแต่ละซี่มาวางในแนวนอนบริเวณฐานของภาชนะปิดทรงกระบอก ซึ่งบรรจุน้ำกลั่นที่มีความสูง 20 เซนติเมตรไว้ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำฟันที่ผ่านการอุดแต่ละซี่มาตัดด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (slow-speed diamond saw; Isomet® 1000; Buehler, Illinois,

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบและวิธีใช้งานของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Composition and application techniques of the materials in this study

Materials	Composition	Procedure	Batch number
GC dentin conditioner (GC Corp; Tokyo, Japan)	90% Distilled water 10% Polyacrylic acid	- Apply dentin conditioner for 20 seconds. - Rinse with water and gently air dry.	1712141
EQUIA [®] Forte Fil (GC Corp; Tokyo, Japan)	Powder : 95% Strontium fluoroaluminosilicate glass, polyacrylic acid powder, surface-treated glass Liquid : 40% aqueous polyacrylic acid, water	- Mix for 10 seconds. (+/- 4,000RPM) - Apply cement into the mould.	1701301
GC Fuji varnish [™] (GC Corp; Tokyo, Japan)	50-70% Isopropyl acetate, 20-30% acetone, cornmint oil, cinnamaldehyde, copolymer of vinyl chloride and vinyl acetate	- Apply resin to the surface of restoration - Gently air dry - Avoid moisture contamination for 2-3 mins	1605111
OptiBond [™] FL : Adhesive (Kerr; CA, USA)	Adhesive : 2,2-bis[p-(2'-hydroxy-3'-methacryloxypropoxy) phenylene]propane (Bis-GMA), 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), glycerol phosphate dimethacrylate (GPDM), barium-aluminum borosilicate glass, fumed silica filler, disodium hexafluorosilicate	- Apply resin to the surface of restoration - Gently air dry - Light cure for 20 seconds. (>500 mW/cm ²)	6638811
EQUIA [®] Forte coat (GC Corp; Tokyo, Japan)	50% Methylmethacrylate, 0.09% Camphoroquinone, phosphoric acid ester monomer, butylated hydroxy toluene (BHT)	- Apply resin to the surface of restoration - Not to blow dry - Light cure for 20 seconds. (>500 mW/cm ²)	1610081

USA) ด้วยความเร็วต่ำ และมีน้ำหล่อให้ได้ขึ้นทดสอบรูปแท่ง (beam shape) ขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร โดยฟัน 1 ซี่ สามารถตัดแบ่งได้ 4 ชิ้น ทำการทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล (Universal Testing Machine (UTM), Instron 5566, Instron (Thailand) Limited,

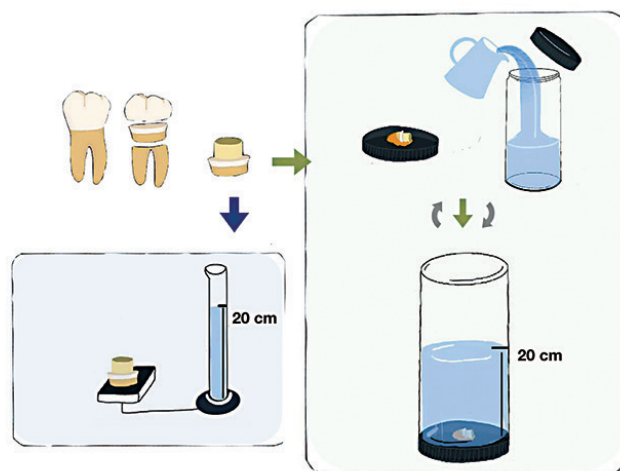
Thailand) ด้วยน้ำหนัก 100 นิวตัน ความเร็วที่อัตรา 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงเป็นนิวตันที่ทำให้วัสดุบุรณะหลุดออกจากฟัน คัดเลือกชิ้นงานเฉพาะที่มีพื้นที่หน้าตัด 1.0 + 0.2 ตารางมิลลิเมตรแล้วจึงคำนวณค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคบันทึกในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) จำแนกลักษณะความล้มเหลว (failure mode) บริเวณรอย

แตกที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, JSM-6610LV SEM, JOEL Ltd., Japan) ขั้นตอนการทดสอบค่ากำลังยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคแสดงในรูปที่ 3

การทดสอบค่าความทนแรงดัด (flexural strength)

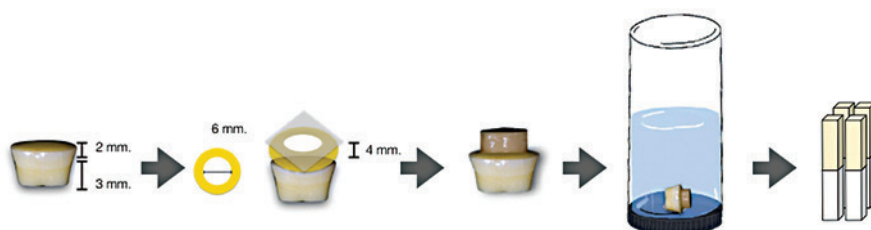
ทำการทดสอบความแข็งแรงเชิงดัดแบบ 3 จุด (3 point bending test) โดยสร้างชิ้นทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าของวัสดุบูรณะกลาสไอโนเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ ขนาด 2x25x2 มิลลิเมตร (มาตรฐาน ISO 9917-2:1010)⁽²⁴⁾ จำนวน 60 ชิ้น แบ่งชิ้นทดสอบเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ตามชนิดของสารเคลือบ คือ กลุ่มที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวใดๆ และกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบฟลูออไรด์ (Fuji

varnish™; GC Corp, Tokyo, Japan), สารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล (OptiBond™ FL; Kerr, CA, USA) และสารเคลือบอีควีร์ฟอร์เต้โคท (EQUIA® Forte Coat; GC Corp, Tokyo, Japan) ตามลำดับโดยแต่ละกลุ่มถูกแบ่งเก็บก่อนที่จะนำมาทดสอบความแข็งแรงเชิงดัด ออกเป็นกลุ่มย่อยตามระยะเวลาที่ได้จากผลการศึกษาส่วนที่ 1 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาจึงทำการทดสอบความแข็งแรงเชิงดัดแบบ 3 จุดด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล (Universal Testing Machine (UTM), Instron 5566, Instron (Thailand) Limited, Thailand) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดรองรับบริเวณฐาน 20 มิลลิเมตร น้ำหนักหัวกด 100 นิวตัน และความเร็วหัวกดที่อัตรา 1 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าแรงเป็นนิวตันที่



รูปที่ 2 แสดงวิธีการจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันด้วยวิธีการดั้งเดิม (กรอบสีฟ้า) และวิธีการใหม่ที่เรียกว่าการจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันจากการทดลอง (กรอบสีเขียว) ที่ค่าแรงดัน 20 เซนติเมตรน้ำ

Figure 2 Conventional simulated pulp pressure method (blue panel) and the new method to simulate pulp pressure - Experimental simulated pulp pressure (green panel) at 20 cmH₂O pulp pressure.



รูปที่ 3 แสดงการทดสอบค่าแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคซึ่งมีการเตรียมชิ้นงานภายใต้การจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟันในการศึกษา

Figure 3 The test of microtensile bond strength which having specimen preparation under experimental simulated pulp pressure in this study

ทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการแตกหัก โดยคำนวณเพื่อหาค่าความทนแรงดัดของวัสดุจากสมการ

$$\text{Flexural strength}_{2bd^2} = 3Pl$$

กำหนดให้

P = ค่าแรงกระทำที่ทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการแตกหัก

l = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน (span length)

b = ความกว้างของขึ้นทดสอบ

d = ความหนาของขึ้นทดสอบ

วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดิงระดับจุลภาค และค่าความทนแรงดัดของวัสดุที่ได้จากการทดลองทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey's multiple comparisons test) โดยใช้โปรแกรม SPSS V17.0 (SPSS Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้

การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในเนื้อของวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปก-

โทรสโคปพบว่า ปริมาณการลดลงของหมู่คาร์บอกซิล และการเพิ่มขึ้นของเกลือของหมู่คาร์บอกซิลจากกลุ่มการทดลองที่ 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ 3 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ หลังจากการอุดมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าต่างกับกลุ่มที่ 2.30 นาทีหลังจากการอุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 จึงทำการสรุปผลในส่วนแรกว่า การดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุบูรณะอีควีร์ฟอร์เต้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากการบูรณะและยังคงมีการดำเนินต่อไปของปฏิกิริยาอีกเล็กน้อยระดับคงที่ในภายหลัง นำมาซึ่งวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้ จะทำการเก็บข้อมูลที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์หลังจากการอุดวัสดุบูรณะ เพื่อเป็นตัวแทนของระยะเวลาที่ทำให้เกิดความมั่นใจว่าวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์อีควีร์ฟอร์เต้ จะมีการดำเนินไปของปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากขึ้นภายใต้การคงอยู่ของสารเคลือบ

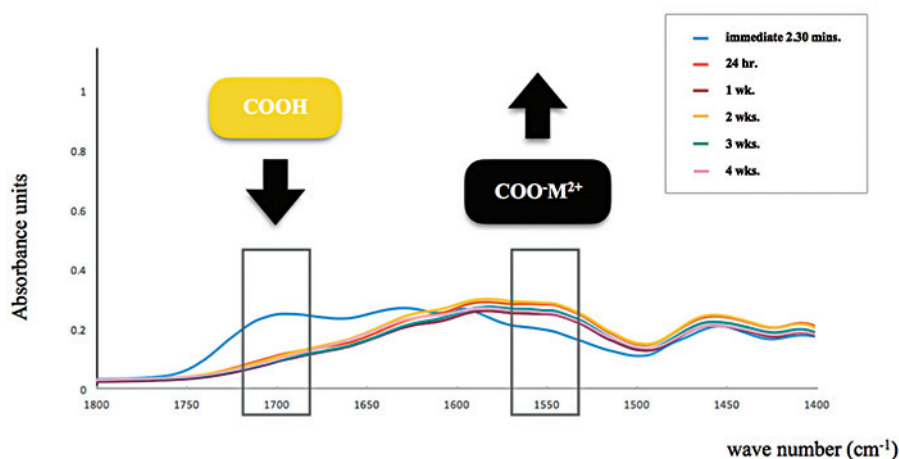
ดังนั้นสำหรับการทดลองส่วนที่ 2 การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดิงระดับจุลภาค พื้นที่ผ่านการอุดจำนวน 4 กลุ่ม กลุ่มละ 24 ซี่ ตามชนิดของสารเคลือบ จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย กลุ่มย่อยละ 8 ซี่ คือ เก็บขึ้นทดสอบในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ และในการทดลองส่วนที่ 3 การทดสอบค่าความทนแรงดัด จากขึ้นทดสอบ 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ ตามชนิดของสารเคลือบ แต่ละกลุ่มจะถูกแบ่ง

ตารางที่ 2 แสดงผลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณหมู่คาร์บอกซิลที่ลดลงและปริมาณของเกลือของหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นภายหลังจากการดำเนินไปของปฏิกิริยา

Table 2 Mean FTIR absorbance unit and standard deviations of the decreasing of carboxyl groups and increasing carboxylic salt speaks after chemical reaction.

Storage & Test period	FTIR absorbance unit (Mean +SD)	
	Carboxyl group (-COOH)*	Carboxylic salt (COO ⁻ M ²⁺)
1. 2.30 mins after placement	0.249+0.071b	0.197+0.024
2. Distilled water at 37°C, 24 hours	0.111+0.017 a	0.284+0.055
3. Distilled water at 37°C, 1 week	0.089+0.025 a	0.252+0.080
4. Distilled water at 37°C, 2 weeks	0.106+0.015 a	0.289+0.033
5. Distilled water at 37°C, 3 weeks	0.093+0.027 a	0.264+0.074
6. Distilled water at 37°C, 4 weeks	0.091+0.248 a	0.238+0.073
Sig. (One-Way ANOVA)	<0.001	0.210

*Tukey's test for multiple comparison ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและเกลือของหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สสารด้วยอินฟราเรดเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Figure 4 FTIR spectra of EQUIA® Forte. The arrows indicate the increase or decrease in the heights of carboxyl groups and carboxylic salt speaks with increasing storage time.

ออกเป็น 3 กลุ่มย่อยกลุ่มย่อยละ 5 ชิ้นคือ เก็บชิ้นทดสอบในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับ

จุลภาค

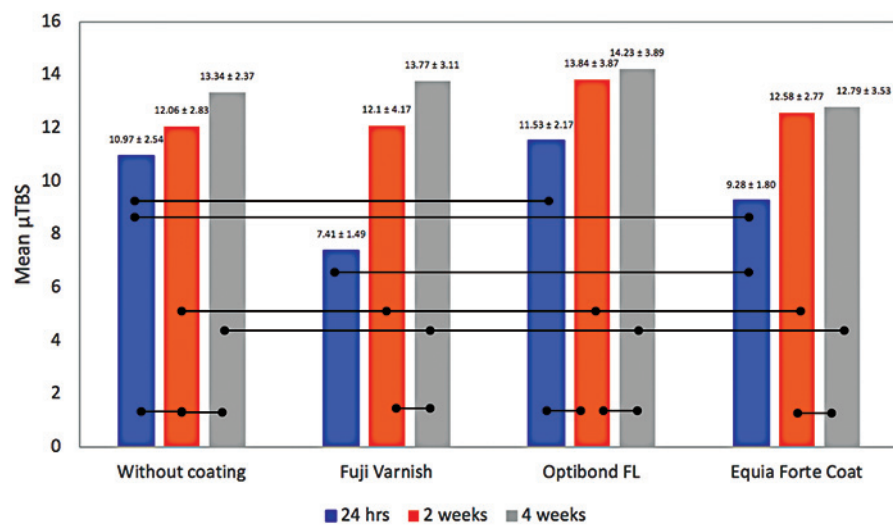
ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์-อิกเวียร์ฟอร์เต้ ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ และกลุ่มควบคุมผลลบซึ่งไม่ได้รับการเคลือบผิวภายหลังการบูรณะ ที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 5

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการจำแนกความแปรปรวนแบบสองทาง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารเคลือบต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคโดยพิจารณาแต่ละช่วงเวลา พบว่า ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการบูรณะ กลุ่มการทดลองที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบฟลูออรีนและสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โคท ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ พบว่า ทั้งกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาพบว่ากลุ่มการทดลองทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มมากขึ้น ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคสูงสุดที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ภายหลังการบูรณะ ซึ่งแตกต่างจากที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการบูรณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นในกลุ่มควบคุมผลลบซึ่งไม่ได้รับการเคลือบผิวสิ่งบูรณะพบว่า แม้วาระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคมีค่าไม่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาลักษณะความล้มเหลวบริเวณแตกหัก

เมื่อพิจารณาลักษณะความล้มเหลวบริเวณรอยแตกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบลักษณะความล้มเหลว 3 รูปแบบ โดยชนิดของความล้มเหลวส่วนใหญ่ที่พบจากกลุ่มทดลองทั้งหมด คือ ความล้มเหลวในเนื้อวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (รูปที่ 6A และ B) รองลงมาคือ ความล้มเหลวแบบผสม (รูปที่ 7A และ B) และความล้มเหลวระหว่างชั้นการยึดติด (รูปที่ 8A และ B) ตามลำดับ ร้อยละของความล้มเหลวที่พบดังแสดงในรูปที่ 9 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลา พบว่าที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบการแตกหักภายในเนื้อของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์มากที่สุด ในกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบฟลูออรีน และสารเคลือบ

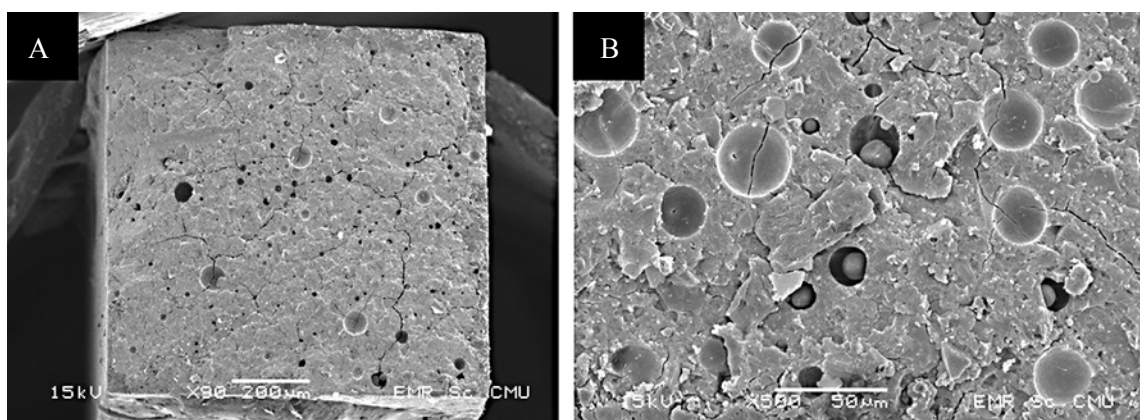


รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มการทดลองทั้งหมดเส้นโยงสีดำหมายถึงถึงกลุ่มของค่าเฉลี่ยที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

Figure 5 A diagram demonstrated mean microtensile bond strengths and standard deviations of test groups. Mean with a horizontal line were not significantly different ($p > 0.05$)

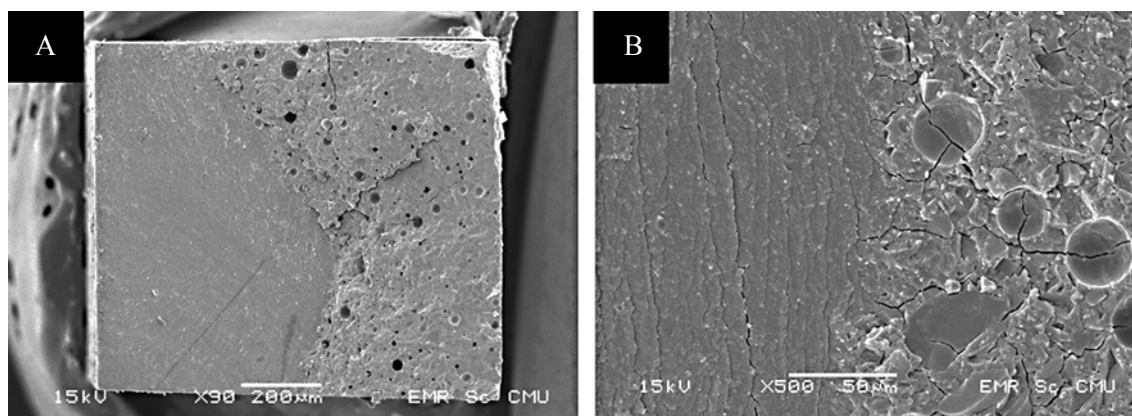
อิควิแอร์ฟอร์เต้โค้ท พบการแตกหักแบบผสมในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวและกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล และกล่าวได้ว่าพบการแตกหักบริเวณรอยต่อในปริมาณสูงที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังการบูรณะ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มการทดลองที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ กลับพบว่าทุกกลุ่มการทดลองพบความล้มเหลวแบบผสมมากที่สุด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม โดยใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square) พบว่า สัดส่วนชนิดความล้มเหลวของการยึดติดมีความสัมพันธ์กับการใช้สารเคลือบสิ่งบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ของกลุ่มการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



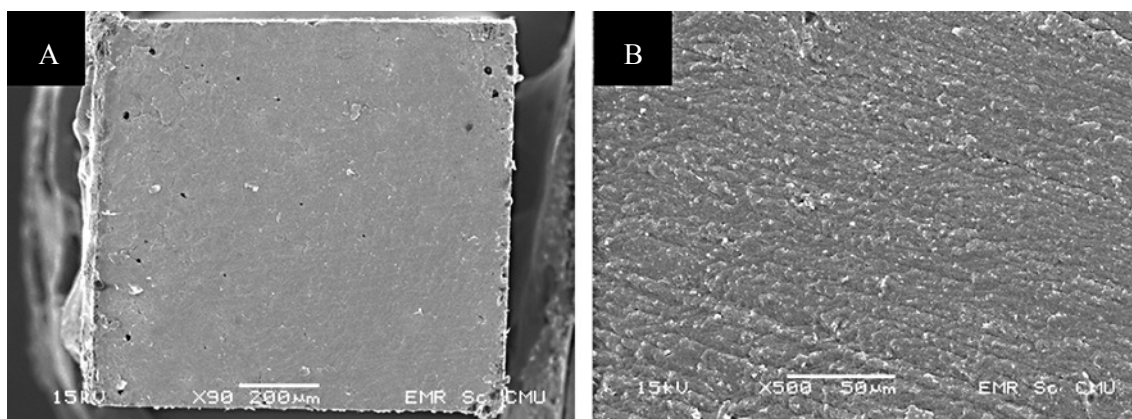
รูปที่ 6 (A, B) แสดงลักษณะความล้มเหลวในเนื้อวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ที่กำลังขยาย 90 เท่า (A) และ 500 เท่า (B)

Figure 6 (A, B) Cohesive failure in glass ionomer (A) 90X, (B) 500X



รูปที่ 7 (A, B) แสดงลักษณะความล้มเหลวแบบผสมที่กำลังขยาย 90 เท่า (A) และ 500 เท่า (B) (D = เนื้อฟัน, G = วัสดุบูรณะกลาส-ไอโอโนเมอร์)

Figure 7 (A, B) Mixed failure (A) 90X, (B) 500X (D: dentin, G: glass ionomer)



รูปที่ 8 (A, B) แสดงลักษณะความล้มเหลวระหว่างชั้นยึดติดที่กำลังขยาย 90 เท่า (A) และ 500 เท่า (B)

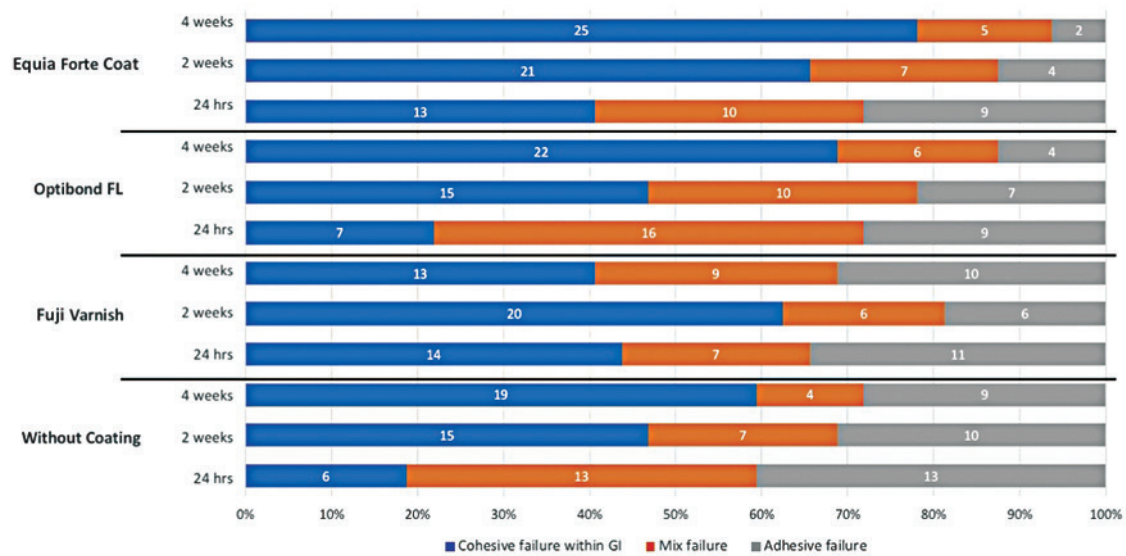
Figure 8 (A, B) Adhesive failure (A) 90X, (B) 500X

ผลการทดสอบค่าความทนแรงดัด

จากการทดสอบค่าความทนแรงดัดของวัสดุบูรณะอิกเวียร์ฟอร์เต้ ด้วยการทดสอบความแข็งแรงเชิงดัดแบบ 3 จุดที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า กลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยความทนแรงดัดสูงสุด คือ กลุ่มทดลองที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้ไคท์ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ มีค่า 49.36 ± 1.62 เมกะปาสคาล นอกจากนี้ กลุ่มทดลองที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้ไคท์ยังให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดอื่นๆ และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในทุกช่วงเวลา ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความทนแรงดัดต่ำสุด คือ กลุ่มทดลองที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว

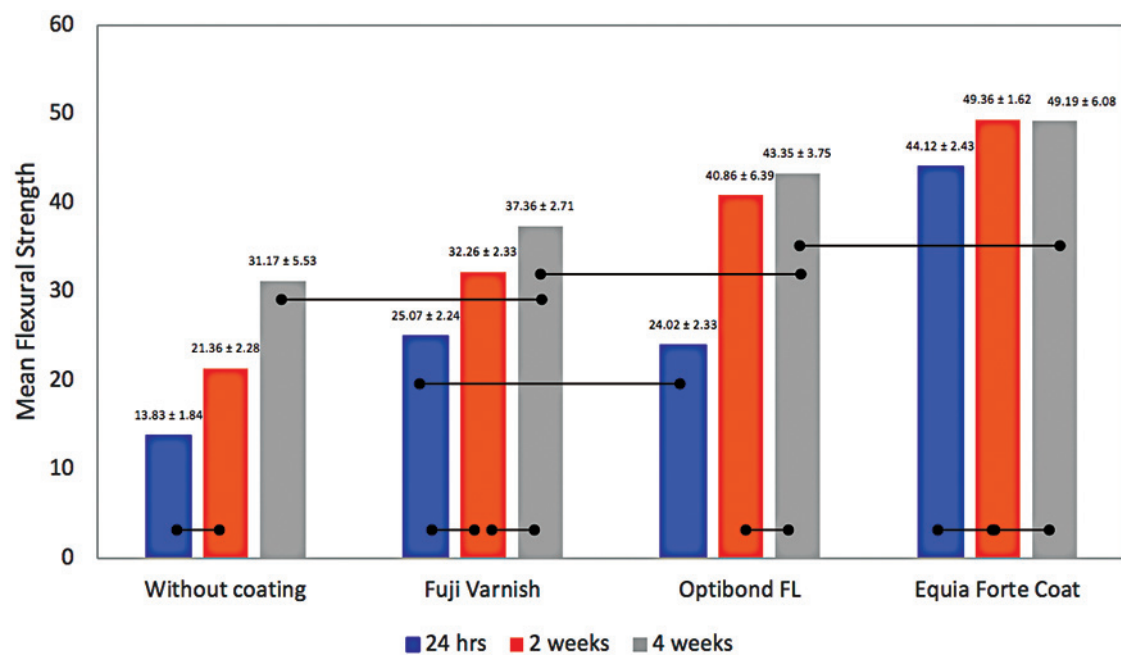
ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีค่า 13.83 ± 1.84 เมกะปาสคาล ข้อมูลค่าความทนแรงดัดของกลุ่มทดลองทั้งหมด แสดงในรูปที่ 10

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการจำแนกความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่าชนิดของสารเคลือบและระยะเวลามีผลต่อค่าเฉลี่ยความทนแรงดัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ กลุ่มทดลองที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบทุกชนิดให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้ไคท์ ให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ในทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงร้อยละของลักษณะความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะอีควีร์ ฟอर्ट์กับเนื้อฟันหลังการทดสอบค่ากำลังยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค

Figure 9 A diagram demonstrated mean failure mode between EQUIA® Forte and dentin in the microtensile bond strength testing.



รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความทนแรงดัดของกลุ่มทดลองทั้งหมด

Figure 10 A diagram demonstrated mean flexural strengths of test groups.

ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม กลุ่มการทดลองที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบฟลูออไรด์และสารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอลมีความทนแรงดัดไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงและ 4 สัปดาห์

กลุ่มการทดลองทุกกลุ่มมีค่าความทนแรงดัดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความทนแรงดัดสูงสุดที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ แตกต่างจากค่าความทนแรงดัดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นในกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โค้ท พบว่า ค่าความทนแรงดัดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

บทวิจารณ์

ผลของสารเคลือบผิวต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค

การศึกษานี้ใช้ค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคในการอธิบายค่าแรงยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะกลาส-ไอโอโนเมอร์อิกเวียร์ฟอร์เต้ ซึ่งเป็นวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดความหนืดสูงกับผิวเนื้อฟัน ออกแบบการทดลองโดยสร้างขึ้นทดสอบเป็นรูปแท่งซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กที่มีขนาดเท่ากันตลอดทั้งชิ้น เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนจากการกรอแต่งบริเวณที่ใกล้กับรอยต่อ อันอาจส่งผลต่อค่าแรงยึดติดของชิ้นทดสอบจากการมีความเครียดและรอยร้าวบริเวณรอยต่อของวัสดุกับเนื้อฟันได้⁽²⁾ การใช้ค่าแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคเป็นวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือ ให้การกระจายแรงที่ดีและสามารถเตรียมชิ้นงานได้หลายชิ้นจากฟันตัวอย่าง 1 ซี่^(25,26)

นับจากอดีต การศึกษาค่าแรงยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์กับเนื้อฟันถือเป็นความท้าทายสำหรับทันตแพทย์⁽²⁷⁾ เนื่องจากการมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าชั้นเคลือบฟัน^(28,29) โมเลกุลของน้ำในชั้นเนื้อฟันสามารถแพร่เข้ามาสู่รอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและเนื้อฟันได้ด้วยแรงดันออสโมติก (osmotic gradient) ซึ่งแรงดันนี้จะกระทำต่อวัสดุบูรณะอยู่ตลอดเวลา^(28,30) การศึกษานี้จึงใช้วิธีจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟัน เพื่อ

ให้เกิดลักษณะการบูรณะที่ใกล้เคียงกับสภาวะจริงในช่องปากภายใต้แรงดัน 20 เซนติเมตรน้ำซึ่งจัดอยู่ในค่าเฉลี่ยที่พบได้ในสภาวะปกติของฟันมนุษย์ (human physiologic pulpal pressure) ที่มีค่าระหว่าง 8-22 เซนติเมตรน้ำ⁽³¹⁾ และนิยมใช้ในหลายการศึกษาที่ผ่านมา^(23,27,32,33) โดยใช้วิธีการจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟัน ด้วยวิธีของ Feitosa และคณะ⁽²³⁾ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีที่แตกต่างจากวิธีการดั้งเดิม คือทำได้ง่าย เนื่องจากอาศัยวัสดุอุปกรณ์ไม่มากนัก ไม่ต้องใช้กาวยาโนอะครีเลตในการยึดชิ้นงาน และในหนึ่งภาชนะสามารถบรรจุชิ้นงานได้หลายชิ้น แต่มีข้อจำกัด คือไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะแรงดันภายในโพรงประสาทฟันในขณะที่มีการเตรียมชิ้นงานได้⁽²³⁾ การศึกษาค่าแรงยึดติดภายใต้การจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟัน ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ (resin cement)⁽³⁴⁾ สารยึดติดประเภทเรซิน (resin adhesive) บางชนิด⁽³³⁾ รวมถึงวัสดุบูรณะเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ (resin-modified glass ionomer)⁽³⁵⁾ ที่ได้ มีค่าน้อยกว่าในการศึกษาที่ไม่ได้มีการจำลองสภาวะดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ⁽³⁶⁾ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่ขึ้นมาจากแรงดันโพรงประสาทฟันจะขัดขวางการแทรกซึมของเรซิน^(33,35) ทำให้เกิดรูพรุน (porous) หรือช่องว่าง (gap formation) ในระหว่างชั้นการยึดติด⁽³⁴⁾ รวมถึงส่งผลให้เกิดการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ที่ไม่สมบูรณ์ได้^(34,35) อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอดีตพบว่า การจำลองสภาวะแรงดันโพรงประสาทฟัน มีได้ส่งผลต่อค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันกับกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม^(36,37)

ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อิกเวียร์ฟอร์เต้ พบว่า กลุ่มการทดลองทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะเวลาจาก 24 ชั่วโมงเป็น 2 สัปดาห์ ภายหลังการบูรณะ อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ภายหลังการบูรณะ พบค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่า ในวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว หรือได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดใด ๆ ค่าแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมี

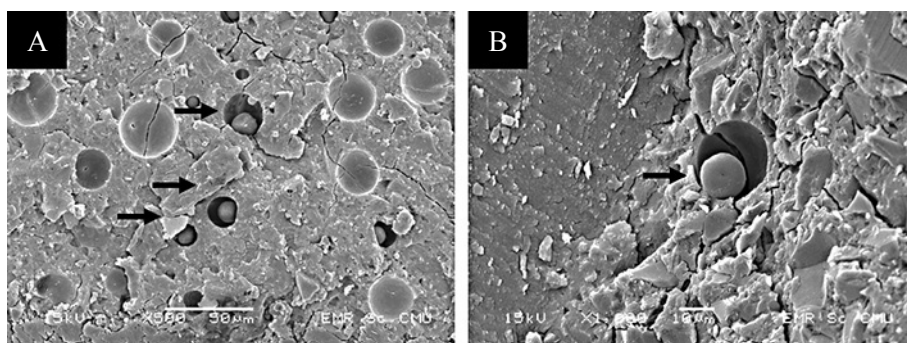
นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หรืออาจกล่าวได้ว่า ชนิดของสารเคลือบหรือการเคลือบผิววัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ภายหลังการบ่มไม่ได้สัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างผิวฟันและวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ หากแต่ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาค คือ ระยะเวลาภายหลังการบ่ม ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นบริเวณชั้นการยึดติด สอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีพบว่าปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนอื่นๆ ของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อิกเวียร์ฟอร์เต้ก็จะเพิ่มขึ้นภายหลังระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และไม่มีความแตกต่างกันของปฏิกิริยาทางเคมีที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ภายหลังการบ่มอย่างมีนัยสำคัญ

จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับชั้นรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และเนื้อฟัน พบการปรากฏขึ้นของฟองอากาศซึ่งอาจมีวัสดุรูปร่างทรงกลมกลวงผิวบางคล้ายเปลือกไข่ (hollow eggshell-like structure) ที่เรียกว่า สเฟียร์ริเคิลบอดี้ (spherical bodies) รูปที่ 11 (A และ B) ขนาดตั้งแต่ 14-30 ไมโครเมตร⁽³⁸⁾ อยู่ภายในกระจายตัวอยู่ในส่วนเมทริกซ์ของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ ซึ่งการปรากฏขึ้นของสเฟียร์ริเคิลบอดี้สันนิษฐานว่าเกิดจากโมเลกุลของน้ำที่ค่อยๆ เคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ออกจากเนื้อฟันเข้ามาสู่โครงสร้างของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ แล้วถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายเปลือกไข่ซึ่งมีซิลิกาจำนวนมาก (Si-rich phase) เป็นองค์ประกอบ⁽³⁸⁾ การปรากฏ

ขึ้นของสเฟียร์ริเคิลบอดี้ซึ่งมีน้ำอยู่ภายในนี้ เชื่อว่าเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาในระยะที่สอง (delayed GI reaction หรือ secondary phase)⁽³⁹⁾ ซึ่งพบในขั้นตอนของการพัฒนาการ (maturation phase) ของวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน⁽⁴⁰⁾ มีส่วนสำคัญต่อความแข็งแรงของวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์ นอกจากนี้การเพิ่มวิญญาคของซิลิกายังมีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มความแข็งแรงในบริเวณที่ใกล้กับพื้นที่ส่วนยึดติด (bond interface) ของกลาสไอโอเมอร์⁽⁴¹⁾ สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคในการศึกษาและการศึกษาก่อนหน้า⁽⁴²⁾ ซึ่งพบว่าค่าแรงยึดติดของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และเนื้อฟันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นโดย Miyazaki และคณะกล่าวว่าเหตุผลเนื่องมาจากวัสดุบูรณะกลาสไอโอเมอร์อาศัยความชื้นที่แพร่เข้ามาจากเนื้อฟันในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยากรดเบสเพิ่มเข้ามาอีกทางหนึ่ง (additional acid-base reaction) นั่นเอง⁽⁴³⁾

ผลของสารเคลือบพื้นผิวต่อค่าความทนแรงดัด

การศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อค่าความทนแรงดัดของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถใช้อธิบายคุณสมบัติความเปราะ (brittleness)⁽⁴⁴⁾ และสามารถในการรับแรงของวัสดุบูรณะ⁽⁴³⁾ การศึกษาก่อนหน้า⁽⁴⁴⁾ พบว่าแม้ว่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์มีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นอยู่แล้วจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุ แต่การเคลือบพื้นผิววัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์สามารถเป็นปัจจัยส่งเสริมที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความทนแรงดัดแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการ



รูปที่ 11 (A, B) แสดงลักษณะของสเฟียร์ริเคิลบอดี้ (ลูกศร) ที่พบในเนื้อวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า (A) และ 1000 เท่า (B)

Figure 11 (A, B) The scanning electron microscope demonstrated spherical bodies (arrows) in glass ionomer. (A) 50X, (B) 1000X

เคลือบฟันผิวในทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญ^(6,46)

สารเคลือบที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่สารเคลือบชนิดวานิช (varnish) คือ สารเคลือบฟลูออรีน สารเคลือบเรซินความหนืดสูงชนิดบ่มตัวด้วยแสง คือ สารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอล และสารเคลือบเรซินความหนืดต่ำชนิดบ่มตัวด้วยแสง คือ สารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โคท สารเคลือบชนิดวานิชเป็นสารละลายกันน้ำชนิดหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วย ไอโซโพรพิลอะซิเตต (isopropyl acetate) แอซีโตน (acetone) สารสกัดจากสะระแหน่ญี่ปุ่น (cornmint oil) และซินนามาลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) ซึ่งเป็นสารประกอบของพอลิเมอร์ที่ถูกละลายในตัวทำละลายอินทรีย์⁽⁴⁷⁾ ด้วยคุณสมบัติที่ต้องอาศัยตัวทำละลายนี้เอง ทำให้สารเคลือบชนิดวานิชมักพบพรุนพองอากาศขนาดเล็กได้ง่ายภายหลังจากตัวทำละลายระเหยหรือได้รับความร้อน⁽⁴⁸⁾ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววานิชจะมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 40 ไมโครเมตร^(49,50) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Roberson และคณะ⁽⁵¹⁾ กล่าวว่า การเคลือบฟันด้วยวานิชสามารถปกป้องฟันผิวได้เพียงร้อยละ 55 เท่านั้นจากการทาสีแรก และเพิ่มเป็นร้อยละ 80-85 จากการทาสีในชั้นที่สอง จึงมีคำแนะนำว่าเพื่อประสิทธิภาพในการเคลือบฟันที่ดีสม่ำเสมอและเกิดเป็นชั้นเคลือบที่มีความแข็งแรง หลุดออกได้ยาก ควรทาเป็นชั้นบางๆ 2-3 ชั้น ดีกว่าการทาหนาๆ เพียงชั้นเดียว⁽⁵²⁾ ซึ่งจากการศึกษานี้ผู้วิจัยใช้วิธีการทาเพียงชั้นเดียวในปริมาตรที่เท่ากัน เพื่อควบคุมความหนาของสารเคลือบ จึงอาจทำให้มีพรุนในเนื้อของวัสดุภายหลังจากที่มีการระเหยออกของตัวทำละลายได้ ด้วยข้อจำกัดเรื่องความหนาของชั้นเคลือบและคุณลักษณะที่เกิดการละลายตัวและหลุดออกจากผิววัสดุบูรณะได้ง่าย จึงอาจเป็นอีกเหตุผลสำคัญซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปกป้องฟันผิวการศึกษาค่าความทนแรงดัดที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่า วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อิกเวียร์ฟอร์เต้ที่ได้รับการเคลือบฟันด้วยสารเคลือบฟลูออรีนให้ค่าความทนแรงดัดน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับการเคลือบฟันด้วยสารเคลือบเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงทั้ง 2 ชนิด โดยเฉพาะสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โคท อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งพบว่า สารเคลือบชนิดวานิช มักให้ประสิทธิภาพการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้น้อยกว่าสารเคลือบเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง⁽⁴⁸⁾

สารยึดติดของออปติบอนด์เอฟแอลเป็นเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นสารอัดแทรกร้อยละ 48 โดยน้ำหนักทำให้มีลักษณะข้นหนืด ให้ความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 60 ไมโครเมตร⁽⁵³⁾ เป็นสารยึดติดที่นิยมโดยทั่วไปเนื่องจากให้ค่าการยึดติดสูง อย่างไรก็ตามมีการศึกษาล้างถึงข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับการใช้สารยึดติดเพื่อเป็นสารเคลือบเนื่องจากการที่วัสดุมีส่วนประกอบของไฮดรอกซีเอทิลเมทาโครเลต (hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่มีความชอบน้ำอยู่ในตัว ทำให้ในบางครั้งบริเวณส่วนบนสุดของชั้นเคลือบอาจเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากถูกขัดขวางปฏิกิริยาจากการสัมผัสออกซิเจน (oxygen inhibited layer) ทำให้อาจเกิดการดูดซึมน้ำกลับเข้ามาสู่ตัววัสดุได้^(47,54) จึงมีคำแนะนำว่า วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อเป็นสารเคลือบหลังการบูรณะด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ คือ สารเคลือบเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงซึ่งไม่ชอบน้ำ และปราศจากไฮดรอกซีเอทิลเมทาโครเลต⁽⁵⁵⁾ สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ได้รับการเคลือบฟันผิวด้วยสารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โคท ให้ค่าความทนแรงดัดสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ในทุกช่วงเวลา แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการปกป้องฟันผิวที่ดี ส่งเสริมให้วัสดุมีการดำเนินไปของปฏิกิริยาการก่อตัวที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สารเคลือบอิกเวียร์ฟอร์เต้โคทมีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง ที่ไม่ชอบน้ำและความหนืดต่ำ ทำให้มีการแพร่กระจายของสารอัดแทรกได้ดี ความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 35-40 ไมโครเมตร⁽⁵⁶⁾ นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของสารอัดแทรกขนาดเล็กอนุภาค 30-40 นาโนเมตร ร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก⁽⁵⁷⁾ ซึ่งเป็นส่วนประกอบเหมือนกับที่ผสมอยู่ในวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตเข้ามาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดอัตราส่วนของเรซินที่ไม่แข็งแรงในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งผิว (surface hardness) ค่าความแข็งแรง (strength) ที่เพิ่มขึ้น และอัตราการสึกที่ลดลง⁽⁵⁸⁾ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kim และคณะ⁽⁵⁹⁾ กับ Li และคณะ⁽⁶⁰⁾ ที่พบว่า การเพิ่มส่วนประกอบที่เป็นสารอัดแทรก มีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบูรณะประเภทเรซินมีค่าสูงขึ้น⁽⁵⁶⁾ ด้านทานต่อการสึกจากการขัดถู มีการคงอยู่ของชั้นสารเคลือบที่ยาวนานและช่วยให้วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ที่ได้รับการเคลือบมีฟันผิวที่เรียบลื่น⁽⁴⁷⁾

วัสดุบูรณะอีควียร์ฟอร์เต้ (EQUIA® Forte; GC Corp 2015) จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ไฮบริด (hybrid) ซึ่งมีพัฒนาการมาจากวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดความหนืดสูง (high viscosity) ฟุจิไนน์จีพีเอ็กซ์ตรา (Fuji IX GP® EXTRA, GC Corp 2006) และวัสดุบูรณะอีควียร์ (EQUIA®; GC Corp 2007)⁽⁷⁾ โดยสาเหตุที่เรียกว่าเป็นวัสดุบูรณะลูกผสม เนื่องจากการเติมโมเลกุลของแก้วฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกต ที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมโครเมตร ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยาในองค์ประกอบส่วนผงเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงซึ่งโมเลกุลของแก้วชนิดนี้จะมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของผลึกแก้วปกติทำให้มีการปลดปล่อยอนุภาคของโลหะต่างๆ ออกมาได้มากกว่าวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดความหนืดสูงแบบเดิมรวมถึงมีการใช้โมเลกุลของกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ช่วยเพิ่มหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถเกิดปฏิกิริยากรดเบส ทำให้เกิดการสร้างสะพานเกลือ (polysalt bridge formation) และปฏิกิริยาเชื่อมประสาน (crosslinking) ภายในโมเลกุลได้มากขึ้น⁽⁶¹⁾ ทำให้วัสดุบูรณะอีควียร์ฟอร์เต้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น สามารถใช้ได้ในงานบูรณะฟันหน้าและฟันหลัง รวมถึงด้านประชิดและในบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยวได้แตกต่างจากวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดความหนืดสูงแบบเดิม เช่นวัสดุบูรณะอีควียร์ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตมีคำแนะนำให้ใช้ในงานบูรณะฟันหน้า และฟันหลังที่ไม่ได้รับแรงมากนัก⁽⁵⁶⁾

การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ที่ผ่านมา เช่น ค่าความทนแรงดัด^(45,61,62) ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers hardness) และค่ามอดุลัสของความต้านทานการกด (indentation modulus) จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 1 สัปดาห์ เป็น 4 สัปดาห์⁽⁴⁶⁾ จากการศึกษา ค่าความทนแรงดัดของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์อีควียร์ฟอร์เต้ทุกกลุ่มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาภายหลังการบูรณะเพิ่มขึ้นจาก 24 ชั่วโมง เป็น 4 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความทนแรงดัดที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับผลการศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในตัวของวัสดุบูรณะกลาส ไอโอโนเมอร์อีควียร์ฟอร์เต้ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีซึ่งพบว่า การ

เกิดเกลือของหมู่คาร์บอกซิลซึ่งเชื่อว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ แปรผันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นตั้งแต่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงจนถึง 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีในการศึกษานี้สามารถบอกได้เพียงว่ามีการเพิ่มขึ้นของเกลือของหมู่คาร์บอกซิลเท่านั้น แต่ไม่สามารถใช้ระบุได้ว่าเกลือที่เกิดขึ้นเป็นเกลือของธาตุชนิดใดซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สรุปได้ว่า

1. วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดกลาสไฮบริดอีควียร์ฟอร์เต้มีการดำเนินไปของปฏิกิริยาทางเคมีสูงสุดสุดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการบูรณะ
2. ชนิดและการใช้สารเคลือบ ทั้งสารเคลือบชนิดวานิชและสารเคลือบเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และเนื้อฟันที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ภายหลังการบูรณะ แต่สามารถเพิ่มค่าความทนแรงดัดให้แก่ตัววัสดุบูรณะได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังจากการใช้สารเคลือบนาโนฟิลเลอร์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง
3. ระยะเวลาภายหลังการบูรณะที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และเนื้อฟัน รวมถึงค่าความทนแรงดัดของวัสดุบูรณะ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และอื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตรระจุ ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Nagaraja UP, Kisphore G. Glass ionomer cement – the different generations. *Trends Biomater Artif Organs* 2005; 18(2): 158-165.
2. Yip HK, Tay FR, Ngo HC, Smales RJ, Pashley DH. Bonding of contemporary glass ionomer cements to dentin. *Dent Mater* 2001; 17(5): 456-470.
3. Pelka M, Ebert J, Schneider H, Kramer N, Petschelt A. Comparison of two- and three-body wear of glass-ionomers and composites. *Eur J Oral Sci* 1996; 104(2(Pt 1)): 132-137.
4. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater* 2000; 16(2): 129-138.
5. Lohbauer U, Kramer N, Siedschlag G, et al. Strength and wear resistance of a dental glass-ionomer cement with a novel nanofilled resin coating. *Am J Dent* 2011; 24(2): 124-128.
6. Bonifacio CC, Werner A, Kleverlaan CJ. Coating glass-ionomer cements with a nanofilled resin. *Acta Odontol Scand* 2012; 70(6): 471-477.
7. Šalinović I, Stunja M, Schaperl Z, Verzak Ž, IvaniševićMalčić A, BrzovićRajić V. Mechanical properties of high viscosity glass ionomer and glass hybrid restorative materials. *Acta Stomatol Croat* 2019; 53(2): 125-131.
8. Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of glass-Ionomer cements for clinical dentistry. *J Funct Biomater* 2016; 7(3): 16.
9. Nicholson JW. Maturation processes in glass-ionomer dental cements. *Acta Biomater Odontol Scand* 2018; 4(1): 63-71.
10. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bio-active glass-ionomer. *Dent Res J* 2013; 10(4): 411-420.
11. Gemalmaz D, Yoruc B, Ozcan M, Alkumru HN. Effect of early water contact on solubility of glass ionomer luting cements. *J Prosthet Dent* 1998; 80(4): 474-478.
12. Nicholson JW, Wilson AD. The effect of storage in aqueous solutions on glass-ionomer and zinc polycarboxylate dental cements. *J Mater Sci Mater Med* 2000; 11(6): 357-360.
13. Poornima P, Koley P, Kenchappa M, Nagaveni NB, Bharath KP, Neena IE. Comparative evaluation of compressive strength and surface microhardness of EQUIA Forte, resin-modified glass-ionomer cement with conventional glass-ionomer cement. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2019; 37(3): 265-270.
14. BrzovićRajić V, IvaniševićMalčić A, Bilge Kütük Z, Gurgan S, Jukić S, Miletić I. Compressive strength of new glass ionomer cement technology based restorative materials after thermocycling and cyclic loading. *Acta Stomatol Croat* 2019; 53(4): 318-325.
15. Fuhrmann D, Murchison D, Whipple S, Vandewalle K. Properties of new glass-ionomer restorative systems marketed for stress-bearing areas. *Oper Dent* 2020; 45(1): 104-110.
16. Cosgun A, Bolgul B, Duran N. In vitro investigation of antimicrobial effects, nanohardness, and cytotoxicity of different glass ionomer restorative materials in dentistry. *Niger J Clin Pract* 2019; 22(3): 422-431.
17. Grossi JA, Cabral RN, Ribeiro APD, Leal SC. Glass hybrid restorations as an alternative for restoring hypomineralized molars in the ART model. *BMC Oral Health* 2018; 18(1): 65.

18. Balkaya H, Arslan S, Pala K. A randomized, prospective clinical study evaluating effectiveness of a bulk-fill composite resin, a conventional composite resin and a reinforced glass ionomer in class II cavities: one-year results. *J Appl Oral Sci* 2019; 27: e20180678.
19. Ersahan S, Oktay EA, Sabuncuoglu FA, Karaoglanoglu S, Aydin N, Suloglu AK. Evaluation of the cytotoxicity of contemporary glass-ionomer cements on mouse fibroblasts and human dental pulp cells. *Eur Arch Paediatr Dent* 2020; 21(3): 321-328.
20. Hirani RT, Batra R, Kapoor S. Comparative evaluation of postoperative sensitivity in bulk fill restoratives: a randomized controlled trial. *J Int Soc Prev Community Dent* 2018; 8(6): 534-539.
21. Bagheri R, Taha NA, Azar MR, Burrow MF. Effect of G-Coat Plus on the mechanical properties of glass-ionomer cements. *Aust Dent J* 2013; 58(4): 448-453.
22. Young AM, Rafeeka SA, Howlett JA. FTIR investigation of monomer polymerisation and polyacid neutralisation kinetics and mechanisms in various aesthetic dental restorative materials. *Biomaterials* 2004; 25(5): 823-833.
23. Feitosa VP, Correr AB, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effect of a new method to simulate pulpal pressure on bond strength and nanoleakage of dental adhesives to dentin. *J Adhes Dent* 2012; 14(6): 517-524.
24. International Organization for standardization. Technical report ISO 9917-2 Dental water-based cements- Part2: Light-activated cement, Switzerland, 2010.
25. Sano H, Shono T, Sonoda H, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 1994; 10(4): 236-240.
26. Sirisha K, Rambabu T, Ravishankar Y, Ravikumar P. Validity of bond strength tests: A critical review-Part II. *J Conserv Dent* 2014; 17(5): 420-426.
27. Hiraishi N, Yiu CK, King NM, Tay FR. Effect of pulpal pressure on the microtensile bond strength of luting resin cements to human dentin. *Dent Mater* 2009; 25(1): 58-66.
28. Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. *J Dent Res* 2002; 81(7): 472-476.
29. Itthagarun A, Tay FR. Self-contamination of deep dentin by dentin fluid. *Am J Dent* 2000; 13(4): 195-200.
30. Chersoni S, Suppa P, Grandini S, et al. In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. *J Dent Res* 2004; 83(6): 459-464.
31. Ciucchi B, Bouillaguet S, Holz J, Pashley D. Dentinal fluid dynamics in human teeth, in vivo. *J Endod* 1995; 21(4): 191-194.
32. Feitosa VP, Gotti VB, Grohmann CV, et al. Two methods to simulate intrapulpal pressure: effects upon bonding performance of self-etch adhesives. *Int Endod J* 2014; 47(9): 819-826.
33. Cardoso MV, Moretto SG, Carvalho RC, Russo EM. Influence of intrapulpal pressure simulation on the bond strength of adhesive systems to dentin. *Braz Oral Res* 2008; 22(2): 170-175.
34. Alexandre RS, Santana VB, Kasaz AC, Arrais CA, Rodrigues JA, Reis AF. Effect of long-term simulated pulpal pressure on the bond strength and nanoleakage of resin-luting agents with different bonding strategies. *Oper Dent* 2014; 39(5): 508-520.
35. Pereira PN, Sano H, Ogata M, et al. Effect of region and dentin perfusion on bond strengths of resin-modified glass ionomer cements. *J Dent* 2000; 28(5): 347-354.

36. Banomyong D, Palamara JE, Burrow MF, Messer HH. Effect of dentin conditioning on dentin permeability and micro-shear bond strength. *Eur J Oral Sci* 2007; 115(6): 502-509.
37. Tao L, Pashley DH. Dentin perfusion effects on the shear bond strengths of bonding agents to dentin. *Dent Mater* 1989; 5(3): 181-184.
38. Yiu CK, Tay FR, King NM, et al. Interaction of glass-ionomer cements with moist dentin. *J Dent Res* 2004; 83(4): 283-289.
39. Ewoldsen N, Covey D, Lavin M. The physical and adhesive properties of dental cements used for atraumatic restorative treatment. *Spec Care Dentist* 1997; 17(1): 19-24.
40. Matsuya S, Maeda T, Ohta M. IR and NMR analyses of hardening and maturation of glass-ionomer cement. *J Dent Res* 1996; 75(12): 1920-1927.
41. Leirskar J, Nordbo H, Mount GJ, Ngo H. The influence of resin coating on the shear punch strength of a high strength auto-cure glass ionomer. *Dent Mater* 2003; 19(2): 87-91.
42. Pereira LC, Nunes MC, Dibb RG, Powers JM, Roulet JF, Navarro MF. Mechanical properties and bond strength of glass-ionomer cements. *J Adhes Dent* 2002; 4(1): 73-80.
43. Miyazaki M, Moore BK, Onose H. Effect of surface coatings on flexural properties of glass ionomers. *Eur J Oral Sci* 1996; 104(5-6): 600-604.
44. Mitra SB, Kedrowski BL. Long-term mechanical properties of glass ionomers. *Dent Mater* 1994; 10(2): 78-82.
45. Bagheri R, Palamara J, Mese A, Manton D. Effect of a self-adhesive coating on the load-bearing capacity of tooth-coloured restorative materials. *Aust Dent J* 2017; 62(1): 71-78.
46. Zoergiebel J, Ilie N. Evaluation of a conventional glass ionomer cement with new zinc formulation: effect of coating, aging and storage agents. *Clin Oral Investig* 2013; 17(2): 619-626.
47. Brzović-Rajić V, Miletić I, Gurgan S, Peroš K, Verzak Ž, Ivanišević-Malčić A. Fluoride release from glass ionomer with nano filled coat and varnish. *Acta Stomatol Croat* 2018; 52(4): 307-313.
48. Earl MS, Mount GJ, Hume WR. The effect of varnishes and other surface treatments on water movement across the glass ionomer cement surface. II. *Aust Dent J* 1989; 34(4): 326-329.
49. Ferracane J. *Materials in Dentistry: Principles and Applications*. 2nd ed. United State of America: Lippincot Williams and Wilkins; 2001.
50. Craig R, Brien W, Powers J. *Dental Materials: Properties and Manipulation*. 6th ed. Saint Louis: Mosby; 1996.
51. Roberson T, Heymann H, Swift E. *Sturdevant's: Art and Science of Operative Dentistry*. 4th ed. Saint Louis: Mosby Co; 2002: 170-173.
52. Anusavice K. *Phillip's Science of Dental Materials*. 11th ed. Missouri: Saunders; 2003: 439.
53. Dalby R, Ellakwa A, Millar B, Martin FE. Influence of immediate dentin sealing on the shear bond strength of pressed ceramic luted to dentin with self-etch resin cement. *Int J Dent* 2012; 2012: 310702.
54. Fucio SB, Paula AB, Sardi JC, Duque C, Correr-Sobrinho L, Puppim-Rontani RM. Streptococcus mutans biofilm influences on the antimicrobial properties of glass ionomer cements. *Braz Dent J* 2016; 27(6): 681-687.
55. Williams JA, Billington RW, Pearson GJ. Effect of moisture protective coatings on the strength of a modern metal-reinforced glass-ionomer cement. *J Oral Rehabil* 1998; 25(7): 535-540.

56. EQUIA® A new DIMENSION in Restorative Dentistry [Internet]. [cited 28 December 2018]. Available from: <http://sea.gcasiadental.com/Upload/product/pdf/18/Brochure-EQUIA.pdf>.
57. Fakieh A, Yamani D, Badr N. Tribological and topographical characteristics of nano-processed coating for aesthetic restorative materials. *Int J Curr Res* 2018; 10(9): 73825-73832.
58. Abdullah Saleh A. In-vitro wear and hardness of new conventional glass ionomer cement coated with nano-filled resin. Master of Science. Indiana University School of Dentistry, 2011.
59. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent* 2002; 87(6): 642-649.
60. Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 1985; 64(12): 1396-1401.
61. Moshaverinia M, Navas A, Jahedmanesh N, Shah KC, Moshaverinia A, Ansari S. Comparative evaluation of the physical properties of a reinforced glass ionomer dental restorative material. *J Prosthet Dent* 2019; 122(2): 154-159.
62. Zoergiebel J, Ilie N. An in vitro study on the maturation of conventional glass ionomer cements and their interface to dentin. *Acta Biomater* 2013; 9(12): 9529-9537.