

ประเมินการปลดปล่อยฟลูออไรด์และการประจุไอออนฟลูออไรด์ กลับใหม่ของเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟส พรีรีแอกต์กึ่งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ (บิวตี้ฟิลล์)

สุพัตรา เหมือนพร้อม* น.บ., นงวิภา พุฒิปา* น.บ.,วท.ม.,

กฤติรัตน์ เกียรติศิริโรจน์** น.บ.,MMedSci., PhD

*สถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

**คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

Abstract: Evaluation of Fluoride Release and Recharge of Composite Resin Containing Surface Pre-reacted Glass Ionomer Fillers (Beautiful II)

Supattra Muanprom*, DDS., Nongwipa Putthipat*, DDS., MSD,

Kritirat Kiatsirirote**, DDS., MMedSci., PhD

*Institute of Dentistry, Department of Medical Services, Talad Khwan, Mueang, Nonthaburi, 11000

**Faculty of Dentistry, Thammasat University, Pathum thani 12120

(E-mail: kkritirat@yahoo.com)

(Received: June 22, 2021; Revised: September 14, 2021; Accepted: February 21, 2022)

Background: Biomaterials have been developed with the ability of fluoride release for caries prevention. A modified resin composite with surface pre-reacted glass ionomer (S-PRG) fillers would overcome disadvantages of glass-ionomer cement in term of mechanical properties while improve bio-functional characteristics of the resin of fluoride release like glass ionomer cement. **Objective:** This study aimed to evaluate the effectiveness of fluoride release and recharge from a modified resin composite with surface pre-reacted glass ionomer fillers. **Methods:** Thirty disc-shaped experimental specimens (8X2 mm in diameter, n=10/group) were prepared from 3 types of materials; resin composite (Filtek™), resin composite containing S-PRG filler (Beautiful II), and glass ionomer cement (Fuji II® LC). All specimens were kept in dry condition at 37C° for 1 hours before soaking in 3 ml of deionized water for 12 hours. Then, all specimens were recharged with 1000 ppm NaF solution for 12 hours before rinsed and soaked in 3 ml of deionized water for a further 24 hours. Amount of fluoride was measured daily for an initial release over 7 days and repeated for 10 cycles of the recharge. The mean fluoride concentration per surface area ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) was calculated and analyzed using repeated measure ANOVA at $p<0.05$, followed by Turkey's HSD multiple comparison test. **Result:** Fluoride released from the resin composite containing S-PRG filler showed a significantly higher level of fluoride than that of resin composite but significantly lesser than conventional glass ionomer cement entire periods of initial release and after recharging with 1000 ppm NaF. **Conclusion:** A modified resin composite with S-PRG filler had capability of initial fluoride release and sustained release after recharge with fluoride regimen. Despite, lower level of fluoride release than conventional glass ionomer cement, it could act as a fluoride reservoir for prevention of caries in oral cavity.

Keyword: Giomer, S-PRG fillers, fluoride release in dental material, resin composite containing S-PRG fillers

บทคัดย่อ

ภูมิหลัง: การพัฒนาวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิตด้วยการเติมส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ลงไป มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตให้มีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดีขึ้น สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์เพื่อป้องกันฟันผุ และปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถนำวัสดุมาใช้เพื่อบูรณะฟันบริเวณที่รับแรง เช่น ฟันหลังได้ **วัตถุประสงค์:** เพื่อประเมินความสามารถของเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ในการปลดปล่อย และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ สำหรับการป้องกันฟันผุในช่องปากในระยะยาว **วิธีการ:** เตรียมชิ้นทดสอบทรงกลมจำนวน 30 ชิ้น จำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร จากวัสดุบูรณะสีคล้ายฟัน 3 ชนิด ได้แก่ เรซินคอมโพสิต (Filtek™), เรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ (Beautifil II) และ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji II® LC) นำชิ้นทดสอบที่ได้ไปเก็บในภาชนะบรรจุที่ปราศจากความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบทั้งหมดไปประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ โดยการนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้น 1000 ppm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบไปล้าง และแช่ด้วยน้ำปราศจากไอออนต่อเนื่องอีก 24 ชั่วโมง สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเริ่มแรกเป็นเวลา 7 วัน และหลังจากนำไปประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่จำนวน 10 รอบ ค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร) นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบวัดซ้ำที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) **ผล:** เรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่าเรซินคอมโพสิต แต่น้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาการศึกษา และมีรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในลักษณะเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ **สรุป:** เรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ และสามารถคงระดับการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ต่อเนื่อง เมื่อทำการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ถึงแม้ว่าระดับการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุชนิดนี้มีปริมาณน้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แต่อาจเป็นแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยฟลูออไรด์ในช่องปากเพื่อป้องกันฟันผุในระยะยาวได้

คำสำคัญ: ใจโอเมอร์, เซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์, การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในวัสดุทางทันตกรรม, เรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ การประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่

บทนำ

ในปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุบูรณะชนิดสีคล้ายฟันอย่างต่อเนื่อง วัสดุสีคล้ายฟันที่นิยมใช้ ได้แก่ เรซินคอมโพสิต และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยเรซินคอมโพสิตประกอบด้วยส่วนของแมทริกซ์ที่มีโมโนเมอร์ และอนุภาคของแก้วที่เป็นส่วนอัดแทรกอยู่ในแมทริกซ์ ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความแข็งแรง ด้านทานต่อการแตกหัก และสามารถขัดแต่งให้สวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติ และวัสดุสามารถยึดติดกับผิวฟันได้ด้วยสารยึดติดได้ (adhesive) ทำให้การเตรียมโพรงฟันสำหรับการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต ต้องการการกรอแต่งฟันน้อย¹ ส่วนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมอย่างแพร่หลายและหลายรูปแบบ รวมถึงการใช้เพื่อบูรณะฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในการป้องกันและรักษาโรคฟันผุได้อย่างมีนัยสำคัญ²⁻⁵ โดยกลไกหลักในการป้องกันฟันผุ เกิดจากการรวมตัวสะสมของฟลูออไรด์อยู่ในคราบจุลินทรีย์ป้องกันผิวเคลือบฟัน และกระตุ้นให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุที่ทั้งร่อยผุ⁶⁻¹⁰ นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันได้ดี เข้ากันได้ทางชีวภาพกับโครงสร้างฟัน แต่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีข้อต่อที่สำคัญในเรื่องของความแข็งแรงของวัสดุ ทำให้เป็นข้อจำกัดในการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว

ในปี ค.ศ. 2003 มีการพัฒนาวัสดุบูรณะฟันชนิดนาโนไฮบริด ซึ่งรู้จักกันในชื่อของผลิตภัณฑ์ใจโอเมอร์ (Giomor Product; Glass ionomer + Polymer, Shofu Inc, Japan) โดยการเติมฟิลเลอร์ชนิด เซอร์เฟส ฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ (S-PRG) ลงไปในส่วนผสมทางเคมีของเรซินคอมโพสิต เพื่อพัฒนาให้วัสดุคงความแข็งแรง ด้านทานต่อแรงกดอัด (compressive strength) และมีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในการป้องกันฟันผุได้เช่นเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งจากการศึกษาของ Quader s. และคณะ⁹ พบว่าใจโอเมอร์ (Beautifil II) มีความต้านทานแรงต่อแรงกดอัดไม่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในปัจจุบันเมื่อก้าวถึงใจโอเมอร์เรซินคอมโพสิต จะหมายถึงวัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิตที่มีเซอร์เฟสฟริร์แอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ (surface pre-reacted glass ionomer filler, S-PRG) เป็นส่วนประกอบอยู่ในวัสดุชนิดนั้นๆ โดยเอสฟิวอร์จีฟิเลอร์พัฒนามาจากเทคโนโลยีฟริร์แอคเตดกลาสไอโอโนเมอร์ หรือ ฟิวอร์จีเทคโนโลยี (pre-reacted Glass ionomer, PRG Technology, Shofu Inc, Ltd, Kyoto, Japan) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สร้างภูมิภาคของกลาสไอโอโนเมอร์เฟส (glass-ionomer phase) ขึ้นบาง ๆ ปกคลุมผิวด้านนอกของอนุภาคกลาส (glass core) ด้วยกระบวนการเกิดปฏิกิริยากรดเบสระหว่างฟลูออโร บอโร อลูมิโนซิลิเกตกลาส (fluoro-boro-aluminosilicate glass) และสารละลายกรดโพลีคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) โดยอาศัยน้ำเป็นส่วนประกอบ หลังจากนั้นนำอนุภาคกลาสที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปตัดแปลงพื้นผิว

ด้านนอกอีกครั้งด้วยวิธีการสเปรย์เคลือบผิวด้วยสารละลายกรด โพลีอะคริลิก (polyacrylic acid) เกิดเป็นอนุภาคเอสพาร์จี (S-PRG) ที่ประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วยแกนกลาง แก้ว (glass core) ที่ถูกล้อมรอบด้วยชั้นบาง ๆ ของกลาสไอโอ โนเมอร์เฟส และชั้นพื้นผิวดัดแปลงด้านนอก (surface modified layer) โดยลักษณะโครงสร้างนี้ทำให้อนุภาคของกลาสมีคุณสมบัติ ที่คงตัว ออกฤทธิ์ได้ทางชีวภาพ ช่วยป้องกันอนุภาคแก้วแกนกลาง (glass core) ไม่ให้ถูกทำลายด้วยความชื้น ส่งผลให้อนุภาคเอสพาร์จี สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ (F) และไอออนอื่น ๆ ได้แก่ โซเดียม (Na⁺) สตรอนเทียม (Sr²⁺) อะลูมิเนียม (Al³⁺) โบรอน (BO³⁻) และ ซิลิกอน (SiO²⁻) ได้ยาวนาน¹¹⁻¹²

การผสมเซอร์เฟสพรีแอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ ไปในเรซินแมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิต ทำให้วัสดุสามารถเกิด ปฏิกิริยาการแข็งตัวได้ 2 ระบบ คือ การเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของเรซินคอมโพสิตที่ความยาวคลื่นแสง 400-500 นาโนเมตร¹³ และการเกิดปฏิกิริยากรดเบส (acid-base reaction) ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติปล่อยฟลูออไรด์ออกจากสารอัด แทรกได้ทันทีเช่นเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยวัสดุบูรณะ ฟันชนิดใจโอเมอร์เรซินคอมโพสิต (giomer resin composite) รุ่นแรกผลิตออกมาในชื่อของผลิตภัณฑ์ รีแอคเมอร์ (Reactmer[®]) ซึ่งผลิตด้วยเทคโนโลยีฟูลรีแอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ (full reated glass ionomer, F-PRG) สร้างวิภาคของกลาสไอโอโนเมอร์เฟส ทั่วทั้งอนุภาค จากการศึกษาของ Itota และคณะ¹⁴ ได้ศึกษาเปรียบเทียบการปล่อยฟลูออไรด์ และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับ ใหม่ของ Reactmer paste[®] (ใจโอเมอร์; Giomer), Dyract AP (คอมโพเมอร์; Compomer) และ Xeno CF (เรซินคอมโพสิต; Resin composite) พบว่า Reactmer paste สามารถปลดปล่อย ฟลูออไรด์ได้มากกว่า Dyract AP และ Xeno CF อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ อย่างไรก็ตามอนุภาคของเอฟพาร์จี (F-PRG) มีสถานะ ไม่คงตัว การปลดปล่อยฟลูออไรด์ และไอออนอื่น ๆ ได้เพียง ช่วงระยะเดียว ในปัจจุบันจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีชนิดเซอร์เฟส พรีแอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ขึ้นมาทดแทน ปัจจุบันวัสดุบูรณะฟัน ชนิดใจโอเมอร์เรซินคอมโพสิตได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยี ของเซอร์เฟสพรีแอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ ได้แก่ บิวติฟิวทู (Beautifil II)¹²

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยฟลูออไรด์ และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ของเรซินคอมโพสิตที่มี ส่วนผสมของเซอร์เฟสพรีแอคติ้งกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ (Beautifil II) เพื่อเพิ่มทางเลือกประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ วัสดุบูรณะฟันที่ให้ความแข็งแรง มีความสวยงาม และช่วยส่งเสริม ความต้านทานการเกิดฟันผุได้ โดยสมมุติฐานว่างของการศึกษา คือ การปลดปล่อยฟลูออไรด์และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่

ของวัสดุเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสพรีแอคติ้งกลาส ไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ (Beautifil II) วัสดุเรซินคอมโพสิต (Filtek[™] Z350 XT) และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji II[®] LC) มีปริมาณ ไม่แตกต่างกัน และ สมมติฐานทางเลือก คือ การปลดปล่อย ฟลูออไรด์และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ของวัสดุทั้งสาม ชนิดมีความแตกต่างกัน

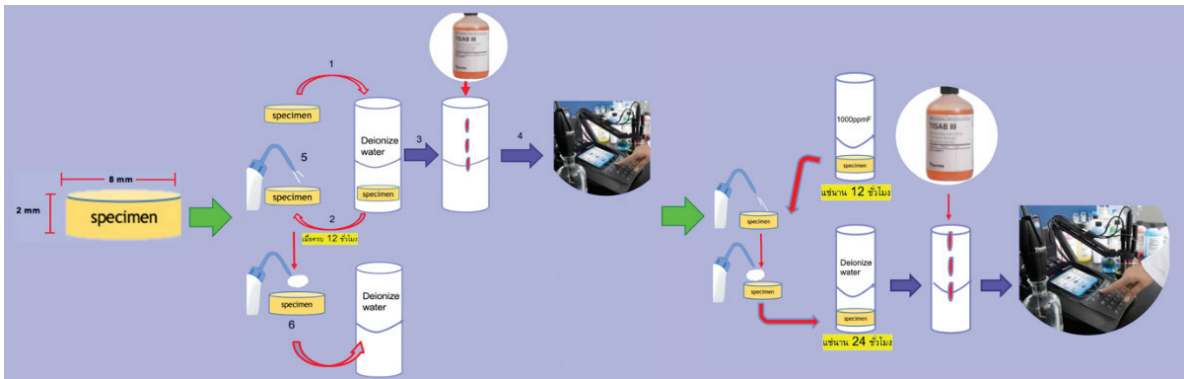
วัตถุประสงค์และวิธีการ

เตรียมชิ้นทดสอบทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตรจากวัสดุ 3 ชนิดได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Fuji II[®] LC CAP, GC Corp., Japan, Lot 1305285) ใจโอเมอร์เรซินคอมโพสิต (Beautifil II, Shofu INC, Japan, Lot 121705) และเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ (Filtek[™] Z350 XT Universal Restorative, 3M ESPE, USA, Lot 2018-07) จำนวน กลุ่มละ 10 ชิ้น ตามมาตรฐานที่บริษัทกำหนด นำไปบรรจุในแบบ พิมพ์โลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร แล้วปิดด้วยกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่ออัด และไล่ ฟองอากาศออกจากวัสดุ หลังจากนั้นกำจัดวัสดุส่วนที่เกินออก กด อัดแบบพิมพ์ด้วยแผ่นแก้ว (glass slab) และทำการฉายแสงให้ วัสดุแข็งตัวด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED dental curing light, Demi[™] plus, United state) ด้านละ 20 วินาที วัสดุที่แข็ง ตัวแล้วนำออกจากแม่พิมพ์ เก็บไว้ในภาชนะกันความชื้น จากนั้น นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นแช่ลงในหลอดพลาสติกที่บรรจุน้ำปราศจาก ไอออน (deionized water) จำนวน 3 มิลลิลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สารละลายที่ได้จะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ (หนึ่งส่วนใน ล้านส่วน; ppm) ที่ถูกปลดปล่อยออกจากชิ้นทดสอบด้วยเครื่องมือ วิเคราะห์ปริมาณไอออน เชื่อมต่อกับฟลูออไรด์อิเล็กโทรด (Orion ionplus, Thermo scientific Inc, USA) โดยวิธีมาตรฐานการ วิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่แตกตัวออกอย่างอิสระภายใน สารละลาย (standard ion-selective method) ดังแสดงในภาพ ที่ 1 ก่อนการวิเคราะห์จะเติมสารละลายบัฟเฟอร์ไอออนนิคสเตร็ง (Total Ionic Strength Adjustment Buffer; TISAB III) จำนวน 0.3 มิลลิลิตร ลงในสารละลายตัวอย่าง เพื่อให้เกิดสมดุลความเป็นกรด ต่าง และทำให้ฟลูออไรด์แตกตัวอย่างอิสระ เขย่าสารละลายให้เข้า กัน แล้วนำมาวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนทั้งหมด 2 ครั้ง ค่าเฉลี่ย ของปริมาณฟลูออไรด์ที่วัดได้ นำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของ ฟลูออไรด์ต่อพื้นที่ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) สารละลายที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วจะ ถูกเททิ้ง ล้างชิ้นทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปแช่ในน้ำ ปราศจากไอออนหลอดใหม่ ทำเช่นนี้เป็นเวลา 7 วัน

การวิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ไอออนแต่ละครั้ง จะทำ การสอบเทียบ (calibrate) ค่าความเข้มข้นมาตรฐานของฟลูออไรด์ จากสารละลายอ้างอิง ด้วยการทำการลำดับความเข้มข้น (serial

infiltration) จากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟลูออไรด์ 10, 1.0 และ 0.1 ppm ตามลำดับ หลังทำการศึกษารการปลดปล่อยฟลูออไรด์ครบ 7 วัน นำชิ้นทดสอบไปประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ (recharge) ด้วยการนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้น 1000 ppm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สลับกับการแช่ในน้ำปราศจากไอออนจำนวน 3 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำซ้ำทั้งหมด 10 รอบ เป็นเวลา 23 วัน ดังภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น

ของฟลูออไรด์ต่อพื้นที่ของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนำไปทดสอบความแตกต่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measure ANOVA) และการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ (Post Hoc multiple comparison test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูปเวอร์ชัน 24 (Statistical Package for Social Science; SPSS version 24 for Mac)



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบ และขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ และการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ของชิ้นทดสอบ 3 ชนิด

ผล

จากการศึกษารการพบว่า การปลดปล่อยฟลูออไรด์ ของ Fuji II[®] LC มีปริมาณมากกว่า Beautifil II และ Filtek[™] อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน 7 วันแรกของการทดสอบ โดยในวันแรก มีปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Fuji II[®] LC และ Beautifil II ที่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น 64.97 และ 2.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ หลังจากนั้น การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุทั้งสองชนิดมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อศึกษาครบ 7 วัน โดยมีปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้น 9.53 และ 1.18 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ ขณะที่ตรวจไม่พบการปลดปล่อยฟลูออไรด์จาก Filtek[™] ตลอดการศึกษาทั้ง 7 วัน ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยปริมาณฟลูออไรด์ต่อพื้นที่ของวัสดุทั้ง 3 ชนิดในระยะ 7 วันแรก ดังแสดงในตารางที่ 1

หลังจากนั้นเมื่อนำชิ้นทดสอบไปทำการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้น 1000 ppm ผลการศึกษาพบว่า Fuji II[®] LC และ Beautifil II มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์หลังการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ในครั้งแรกเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณฟลูออไรด์ 54.04 และ 2.24 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ จากนั้นปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในรอบที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้น 39.96 และ 1.78 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ ส่วน Filtek[™] ตรวจไม่พบปริมาณ

การปลดปล่อยฟลูออไรด์หลังการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ ตลอดการศึกษาทั้ง 10 รอบ เมื่อนำผลการการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Fuji II[®] LC มากกว่า Beautifil II และ Filtek[™] อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ กราฟที่ 1

วิจารณ์

การศึกษารการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในครั้งนี้พบว่า Beautifil II สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ และมีรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในลักษณะเช่นเดียวกันกับ Fuji II[®] LC โดยมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในรูปแบบ burst effect ซึ่งจะปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในอัตราสูงในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และในวันถัดมาปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุจะลดลงอย่างรวดเร็วในอัตราเดียวกัน จากนั้น การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุจะลดลงต่อเนื่อง และเมื่อทำการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ด้วยสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์พบว่า Beautifil II ยังสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้ต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Beautifil II น้อยกว่า ปริมาณที่ปลดปล่อยออกมาจาก Fuji II[®] LC อย่างมีนัยสำคัญของทั้งสองช่วงเวลา แต่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ในปริมาณที่มากกว่า Filtek[™] อย่างมีนัยสำคัญ โดยกลไกการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Beautifil II หรือวัสดุโพลีเมอร์เรซินคอมโพสิต เป็นผลจากการ

ที่วฏภาคของกลาสไอโอโนเมอร์เฟสของ S-PRG ฟิลเลอร์เกิดมาจากปฏิกิริยากรด-ด่าง (acid-base reaction) ของฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส (fluoro-aluminosilicate glass) กับกรดโพลีอะคริลิกแอซิด (polyacrylic acid) และเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมด้วยน้ำ ทำให้กลาสไอโอโนเมอร์เฟสอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis of a compound) และปลดปล่อยฟลูออไรด์ และไอออนต่างๆ ที่ถูกกักเก็บไว้ในขั้นตอนการผลิตออกจากอนุภาคของกลาส ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อรักษาสสมดุลโมเลกุลกับสภาวะแวดล้อม (ligand exchange) ดังนั้นหลังจากที่กลาสไอโอโนเมอร์เฟสของ S-PRG ฟิลเลอร์สูญเสียฟลูออไรด์ไอออนออกไปสู่ภาวะแวดล้อมแล้ว จึงสามารถประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ได้ ดังปรากฏผลในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อพบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Beautifil II มีปริมาณสูงขึ้นมากหลังจากที่นำขึ้นทดสอบไปแช่ในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ นอกจากนี้การที่ S-PRG ฟิลเลอร์ มีลักษณะโครงสร้าง 3 ชั้น โดยบริเวณผิวชั้นนอกถูกดัดแปลง (surface-modified layer) ให้เป็นโครงสร้างของชั้นของซิลิกาที่มีรูพรุน (porous silica glass layer) ทำให้วฏภาคกลาสไอโอโนเมอร์เฟสภายใน S-PRG ฟิลเลอร์มีความแข็งแรงไม่ยุบตัวแยกตัวออกจากกัน (collapse) ขณะเกิดปฏิกิริยาส่งผลให้วัสดุ Beautifil II สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์และประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ได้ยาวนาน^{11,15-16} ส่งเสริมให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุที่ผิวฟัน (dentin remineralization) ลดปริมาณการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้ยับยั้งการเกิดฟันผุในระยะยาวได้¹⁷⁻¹⁸ อย่างไรก็ตามปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุขึ้นอยู่กับปริมาณ และขนาดของกลาสไอโอโนเมอร์เฟสเป็นส่วนประกอบของวัสดุในการทำให้เกิดปฏิกิริยากรดเบส ลักษณะความหนาตัว และการกระจายตัวของชั้นไฮโดรเจลของวัสดุที่จะทำให้การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุเกิดขึ้นได้ต่อเนื่อง^{14,19} โดยในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า Fuji II[®] LC ซึ่งประกอบด้วยมอนอภาคกลาสเป็นส่วนประกอบหลักสามารถเกิดปฏิกิริยากรดเบสที่ทำให้การปล่อยฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้ทั่วทั้งวัสดุเช่นเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ขณะที่ Beautifil II เป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของเซอร์เฟสฟรียแอคติงกลาสไอโอโนเมอร์ฟिलเลอร์ ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากรดเบสเกิดขึ้นได้เฉพาะในส่วนของกลาสไอโอโนเมอร์เฟสเท่านั้น ขณะที่ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอร์เรซินของเรซินคอมโพสิต ดังนั้นความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Beautifil II จึงมีข้อจำกัดทำให้ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาได้มีปริมาณน้อยกว่า Fuji II[®] LC อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Filtek[™] เป็นวัสดุชนิดเรซินคอมโพสิต และไม่มีส่วนผสมของกลาสฟิลเลอร์ จึงไม่พบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกจากวัสดุดังกล่าว

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายฟลูออไรด์ที่ใช้ในการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่แปรผัน

โดยตรงต่อปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกจากวัสดุ ซึ่งการใช้สารละลายฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงในการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ จะทำให้วัสดุที่มีส่วนประกอบของกลาสฟิลเลอร์เช่น Fuji II[®] LC และ Beautifil II ดูดซับประจุไอออนฟลูออไรด์กลับคืน แล้วสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาใหม่ได้เพิ่มมากขึ้น¹⁹⁻²⁰ การศึกษาครั้งนี้ใช้สารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1000 ppm ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในระดับใกล้เคียงกับยาสีฟันที่ใช้ในการทำมาสะอาดช่องปากในชีวิตประจำวัน มาใช้เพื่อประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ ผลการศึกษาพบว่า Beautifil II ยังคงความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้ต่อเนื่อง และอาจมีประสิทธิผลในการป้องกันการเกิดฟันผุในระยะยาวได้

อย่างไรก็ตาม ในการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว จะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของวัสดุด้วย การที่ Beautifil II มี S-PRG ฟิลเลอร์เป็นส่วนประกอบ โดยผิวด้านนอกของ S-PRG ได้ถูกดัดแปลง (surface-modified layer) ให้มีโครงสร้างของชั้นของซิลิกาที่มีรูพรุน (porous silica glass layer) ร่วมกับการปรับโครงสร้างพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) ทำให้การยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิต และ S-PRG ฟิลเลอร์ เกิดขึ้นได้ด้วยการยึดติดเชิงกล (mechanical bond) และพันธะเคมี (chemical bond) ส่งผลให้ Beautifil II มีความแข็งแรง สามารถใช้บูรณะฟันในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว เช่นฟันหลังได้ ซึ่งจากการศึกษาทางคลินิกของ Kurokawa และคณะ²¹ พบว่า การบูรณะฟันหลังด้วย Beautifil II ร่วมกับระบบสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ (self-etch adhesive system) ให้ผลการรักษาเป็นที่ยอมรับได้ทางคลินิก โดยวัสดุคงทนอยู่ได้เมื่อติดตามผลการรักษาเป็นเวลา 3 ปี แม้พบว่าวัสดุมีการเสื่อมสภาพไปตามระยะเวลา เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสีบริเวณขอบ การเปลี่ยนแปลงความแนบสนิทบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุกับผิวฟัน หรือ มีความขรุขระของพื้นผิววัสดุเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบการเกิดฟันผุซ้ำ (secondary caries) และอาการเสียวฟันหลังการอุดฟัน ด้วย Beautifil II การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาในสารละลายน้ำที่ปราศจากไอออน (aqueous solution) ด้วยวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่แตกตัวออกอย่างอิสระภายในสารละลาย (standard ion-selective method; ISE) เชื่อมต่อกับฟลูออไรด์อิเล็กโทรด วิธีการวิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธี ISE มีข้อดีคือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทำได้ง่ายและราคาถูก แต่เนื่องจากในขั้นตอนการวิเคราะห์ จำเป็นจะต้องเติมสารละลายบัฟเฟอร์ไอออนนิคสเตร็ง (Total Ionic Strength Adjustment Buffer; TISAB) เพื่อปรับสมดุลความเป็นกรดด่าง และทำให้ฟลูออไรด์ไอออนแตกตัวออก ปริมาณฟลูออไรด์ที่อ่านค่าได้จากการวัดจะหมายถึงปริมาณฟลูออไรด์ไอออนทั้งหมด (total fluoride ion) ในสารละลาย ซึ่งประกอบด้วยปริมาณฟลูออไรด์

ไอออนที่แตกตัวออกอย่างอิสระ (fluoride free ion) และ ฟลูออไรด์คอมเพล็กซ์ (fluoride complex) โดยวิธี ISE ไม่สามารถ แยกความแตกต่างของฟลูออไรด์ทั้งสองชนิดได้²² ทำให้ค่าที่วัดได้ ไม่แม่นยำนัก ทั้งนี้การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าเฉพาะฟลูออไรด์ ไอออนที่แตกตัวอิสระเท่านั้นที่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับ ไฮดรอกซีแอปพาไทต์ (hydroxyapatite) ของโครงสร้างฟัน และส่ง ผลในการป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำ (secondary caries) บริเวณรอบ ๆ วัสดุบูรณะฟัน²³ นอกจากนี้การวิเคราะห์ฟลูออไรด์ด้วยวิธี ISE ยังมีข้อจำกัดในกรณีที่สารละลายที่ต้องการวัดมีความเข้มข้นของ ปริมาณฟลูออไรด์ในระดับต่ำมาก ๆ เช่นมีปริมาณน้อยกว่า 0.02 ppm ค่าปริมาณฟลูออไรด์ที่บันทึกได้อาจมีค่าไม่เที่ยงตรงนัก²² การพิจารณาเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ด้วยวิธีไอออน โครมาโตกราฟี (ion chromatography) อาจเป็นอีกทางเลือกใน การวิเคราะห์สารละลายที่มีระดับความเข้มข้นของฟลูออไรด์น้อย มาก และสามารถวิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่แตกตัวอิสระได้ แม่นยำมากกว่า²² การประเมินผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของงาน วิจัยนี้ ปฏิเสธสมมุติฐานว่างของงานวิจัยคือ ปริมาณการปลดปล่อย ฟลูออไรด์ของ Beautifil II และ Fuji II[®] LC แตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ Beautifil II และ Filtek™ พบว่า Beautifil II สามารถปลดปล่อย ฟลูออไรด์และประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ได้มากกว่า Filtek™ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การบูรณะฟันด้วย Beautifil II อาจเป็น แหล่งกักเก็บและปลดปล่อยฟลูออไรด์ในช่องปากเพื่อป้องกันฟันผุ ในระยะยาวได้

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า Beautifil II อาจเป็นทาง เลือกที่เหมาะสมในการบูรณะฟันในผู้ป่วยที่มีความแนวโน้มในการ เกิดฟันผุได้ง่าย โดยอาจพิจารณาเลือกใช้ในการบูรณะฟันบริเวณ ที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวเช่นฟันหลังได้ การศึกษาเพิ่มเติมต่อไป อาจ พิจารณาศึกษาการบูรณะฟันธรรมชาติด้วย Beautifil II ร่วมกับการ ใช้สารยึดติด (adhesive bonding system) ที่มีส่วนประกอบของ S-PRG ฟิลเลอร์ หรือฟลูออไรด์ร่วมด้วย เช่น fluorobond ซึ่งอาจ ช่วยส่งเสริมการยึดอยู่ของวัสดุกับชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน และส่งเสริมการปลดปล่อยและประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ได้ยาวนาน ขึ้น นอกจากนี้ควรมีการศึกษาทางคลินิกเพิ่มเติม และติดตามผลการ ปลดปล่อยฟลูออไรด์ในช่องปากของ Beautifil II ในระยะยาว รวมถึงติดตามผลต่อการลดอัตราการเกิดฟันผุในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความ เสี่ยงสูงต่อฟันผุด้วย

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของฟลูออไรด์ต่อพื้นที่ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ในระยะเริ่มแรกเป็นเวลา 7 วัน

Type	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Fuji II [®] LC	64.97±0.65	31.84±0.52	27.34±0.54	22.65±0.63	17.32±0.66	14.18±0.45	9.53±0.28
Beautifil II [®]	4.83±0.37 ^{a,b}	2.71±0.24 ^{a,b}	2.36±0.13 ^{a,b}	2.22±0.20 ^{a,b}	2.07±0.10 ^{a,b}	1.97±0.11 ^{a,b}	1.18±0.18 ^{a,b}
Filtek™	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a

a = significant differential from Fuji II[®] LC

b = significant differential from Filtek™

ND = not detectable (fluoride concentration was less than 0.02 ppm)

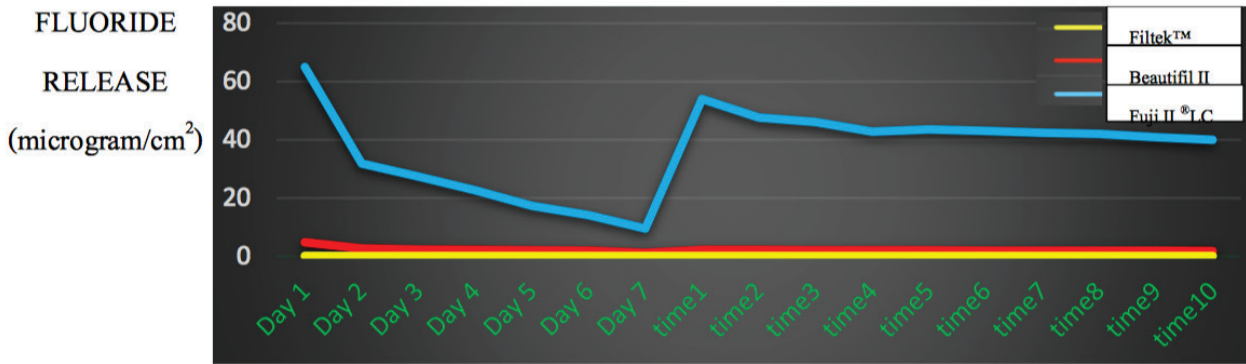
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของฟลูออไรด์ต่อพื้นที่ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ที่ปลดปล่อยออกมาหลังทำการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับ ใหม่เป็นเวลา 10 รอบ

Type	time1	time 2	time 3	time 4	time 5	time 6	time 7	time 8	time 9	time 10
Fuji II [®] LC	54.04±0.55	47.62±0.83	46.16±0.53	42.80±0.67	43.51±0.64	43.02±0.69	42.41±0.79	42.06±0.76	40.87±0.52	39.96±0.67
Beautifil II [®]	2.24±0.17 ^{a,b}	2.13±0.10 ^{a,b}	2.06±0.12 ^{a,b}	2.02±0.11 ^{a,b}	1.99±0.12 ^{a,b}	1.97±0.11 ^{a,b}	1.95±0.12 ^{a,b}	1.86±0.11 ^{a,b}	1.86±0.11 ^{a,b}	1.78±0.10 ^{a,b}
Filtek™	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a

a = significant differential from Fuji II[®] LC

b = significant differential from Filtek™

ND = not detectable (fluoride concentration was less than 0.02 ppm)



กราฟที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์ของวัสดุ 3 ชนิดที่ถูกปลดปล่อยระยะเริ่มแรกเป็นเวลา 7 วันและหลังการประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่เป็นเวลา 10 รอบ

สรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้สรุปได้ว่า Beautifil II เป็นวัสดุบูรณะสีคล้ายฟันที่มีการผสมเซอร์เฟสฟรียีแอนด์ดิงกลาสไอโอโนเมอร์ฟิลเลอร์ไปโนเรซินแมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิต เพื่อให้วัสดุมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดี สามารถปลดปล่อยและประจุไอออนฟลูออไรด์กลับใหม่ได้ อาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบูรณะฟันบริเวณที่ต้องรับแรง และในกลุ่มผู้มีความเสี่ยงต่อฟันผุสูงเพื่อป้องกันฟันผุในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันทันตกรรม นางสาวณัฏฐา ภัทรวิสิฐเศรษฐ์ รวมถึงบุคลากรทุกท่านจากศูนย์วิเคราะห์และวิจัยทันตชีววัสดุ สำนักงานการวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยสนับสนุนทำให้งานวิจัยนี้สามารถลุล่วง

References

- Dalli M, Colak H, Mustafa Hamidi M. Minimal intervention concept: a new paradigm for operative dentistry. J Investig Clin Dent. 2012; 3:167-75.
- Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials—fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. Dent Mater. 2007; 23:343-62.
- Rošin-Grget K, Peroš K, Sutej I, Bašić K. The cariostatic mechanisms of fluoride. Acta Med Acad. 2013; 42:179-88.
- Mickenausch S, Yengopal V. Caries-preventive effect of glass ionomer and resin-based fissure sealants on permanent teeth: An update of systematic review evidence. BMC Res Notes. 2011; 4:22.
- Benelli EM, Serra MC, Rodrigues AL Jr, Cury JA. In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement. Caries Res. 1993; 27:280-4.
- Medjedovic E, Medjedovic S, Deljo D, Sukalo A. IMPACT OF FLUORIDE ON DENTAL HEALTH QUALITY. Mater Sociomed. 2015; 27:395-8.
- Yardeni J, Hermel J. The Anticariogenic Effect of Sodium Fluoride. J Dent Res. 1969; 48:965.
- Lussi A, Hellwig E, Klimek J. Fluorides - mode of action and recommendations for use. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2012; 122:1030-42.
- Quader S, Shamsul Alam M, Bashar A, Gafur M, Al-Mansur M. Compressive Strength, Fluoride Release and Recharge of Giomer. Update Dent. Coll. j. 2013; 2, 28-37.
- Koontongkaew S. Witthayakan rok fanpu. Bnankok.I-group press. 2009; 2.
- Fujimoto Y, Iwasa M, Murayama R, Miyazaki M, Nagafuji A, Nakatsuka T. Detection of ions released from S-PRG fillers and their modulation effect. Dent Mater J. 2010; 29:392-7.
- Colceriu Burtea L, Prejmerean C, Prodan D, Baldea I, Vlassa M, Filip M, et al. New Pre-reacted Glass Containing Dental Composites (giomers) with Improved Fluoride Release and Biocompatibility. Materials (Basel). 2019; 12:4021.
- Cefaly DF, de Mello LL, Wang L, Lauris JR, D'Alpino PH. Effect of light curing unit on resin-modified glass-ionomer cements: a microhardness assessment. J Appl Oral Sci. 2009; 17:150-4.
- Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF. Fluoride release and recharge in giomer, compomer and resin composite. Dent Mater. 2004; 20:789-95.

15. Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A Review of Chemical-approach and Ultramorphological Studies on the Development of Fluoride-releasing Dental Adhesives Comprising New Pre-Reacted Glass Ionomer (PRG) Fillers. *Dent Mater J.* 2008; 27:315-39.
16. Kurokawa H, Takamizawa T, Rikuta A, Tsubota K, Miyazaki M. Three-year clinical evaluation of posterior composite restorations placed with a single-step self-etch adhesive. *J Oral Sci.* 2015; 57:101-8.
17. Wakamatsu N, Ogika M, Okano T, Murabayashi C, Kondo T, Linuma M. Effect of tooth surface coating material containing S-PRG filler on white spot lesions of young permanent teeth. *Pediatr Dent J.* 2018; 28: 40-5.
18. Saku S, Kotake H, Scougall-Vilchis RJ, Ohashi S, Hotta M, Horiuchi S, et al. Antibacterial activity of composite resin with glass-ionomer filler particles. *Dent Mater J.* 2010; 29:193-8.
19. Naoum S, Ellakwa A, Martin F, Swain M. Fluoride release, recharge and mechanical property stability of various fluoride-containing resin composites. *Oper Dent.* 2011; 36:422-32.
20. Mousavinasab SM, Meyers I. Fluoride release by glass ionomer cements, compomer and giomer. *Dent Res J (Isfahan).* 2009; 6:75-81.
21. Akimoto N, Ohmori K, Hanabusa M, Monoi Y. An eighteen-month clinical evaluation of posterior restorations with fluoride releasing adhesive and composite systems. *Dent Mater J.* 2011; 30:411-8.
22. Itota T, Carrick TE, Rusby S, Al-Naimi OT, Yoshiyama M, McCabe JF. Determination of fluoride ions released from resin-based dental material using ion-selective electrode and ion chromatograph. *J Dent.* 2004; 32:117-22.
23. Meurman JH, Hemmerle J, Voegel JC, Rauhamaa-Mäkinen R, Luomanen M. Transformation of hydroxyapatite to fluorapatite by irradiation with high-energy CO₂ laser. *Caries Res.* 1997; 31:397-400.