

ช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนในโพรงฟันชนิดคลาสทู Voids of Bulk-fill Resin Composite Restoration in Class II Cavity

ชินเดช จิระอรานนท์¹ และ ชัยวัฒน์ มณีบุญ¹

Chinnadate Jira-aranon¹ and Chaiwat Maneenut¹

¹ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

¹Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงผลของวิธีการบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนที่มีรูปแบบผลิตภัณฑ์และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันในโพรงฟันชนิดคลาสทู ต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ ด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี โดยทำการเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสทูในฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งทั้งหมด 40 ซี่ แบ่งตามกลุ่มของการบูรณะเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 บูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบหลอด โดยตักวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียว กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบหลอด โดยตักวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้ง กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียว และกลุ่มที่ 4 ทำการบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียวจาก SonicFill Handpiece ภายหลังบูรณะ เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นประเมินร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในโพรงฟันที่บูรณะแล้วด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี วิเคราะห์ข้อมูลด้วย One-way ANOVA ร่วมกับ Tukey Post-hoc test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษพบว่า ร้อยละของช่องว่างในกลุ่มที่ 2 ซึ่งบูรณะด้วยการตักวัสดุสองครั้ง (1.62 %) มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ร้อยละของช่องว่างของกลุ่มที่ 1 ซึ่งตักวัสดุเพียงครั้งเดียวหรือกลุ่มที่ 3 และ 4 ซึ่งฉีดวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียวไม่แตกต่างกัน (0.49 %, 0.33 % และ 0.21 % ตามลำดับ) สรุปผลการศึกษาได้ว่า การบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสทูด้วยเรซินคอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อน โดยวิธีตักวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งเกิดช่องว่างในการบูรณะมากที่สุด

คำสำคัญ: การบูรณะ, ช่องว่าง, เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน, ไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี, โพรงฟันชนิดคลาสทู

Abstract

The aim of this study was to evaluate voids formation in Class II cavity restored with different placement methods of bulk-fill resin composites using micro-computed tomography (micro-CT). Standardized Class II cavities were prepared in 40 extracted human premolars which were divided into 4 groups. Group1: one bulk placement with syringe type; Group2: incremental placement with syringe type; Group3: one bulk placement with injection capsule type; Group4: one bulk placement with injection SonicFill Handpiece type. Percent of voids (% Void) in restored cavity was evaluated with micro-CT after storage in 100 % relative humidity at 37 degrees Celsius for 24 hours. Statistical analysis was done using One-way ANOVA and Tukey post hoc test at confidential level of 95 %. Results: Percent of voids in group 2 (1.62 %) was significant higher ($p = 0.05$) than the other groups (0.49 %, 0.33 % and 0.21 %, respectively). Conclusion: Incremental placement created the highest voids when restore Class II cavity with bulk-fill resin composite.

Keywords: Restoration, Voids, Bulk-fill resin composite, Micro-computed tomography, Class II cavity

Received Date: Mar 15, 2018

Revised Date: May 4, 2018

Accepted Date: Jul 19, 2018

doi: 10.14456/jdat.2018.46

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ชินเดช จิระอรอนนท์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย โทรศัพท์: 0-2218-8795 อีเมล: chimkung@gmail.com

Correspondence to:

Chinnadate Jira-arnon. Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University 34 Henry Dunant Road, Pathumwan Bangkok, 10330 Thailand Tel: 0-2218-8795 E-mail: chimkung@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบัน วัสดุเรซินคอมโพสิตได้รับการยอมรับและนิยมนำมาใช้บูรณะทั้งหน้าและฟันหลัง เพราะมีความสวยงามสามารถลอกเลียนสีฟันธรรมชาติได้ดี มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับแรงบดเคี้ยว และความกังวลเกี่ยวกับความเป็นพิษของปรอทในวัสดุอะมัลกัม^{1,2} อย่างไรก็ตาม การศึกษาทางคลินิกของ Ishibashi และคณะ³ พบว่า ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.1) ของการบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตมีช่องว่าง (voids) ขนาดใหญ่ภายในเนื้อวัสดุ และที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะร่วมกับความไม่แนบสนิทตามขอบวัสดุบูรณะ

ช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization stress) บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟัน^{4,5} การหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ซึ่งทำให้ปริมาตรของวัสดุลดลง รวมทั้ง ลักษณะการใช้งานของวัสดุ ความหนืดของวัสดุ รูปแบบการใส่วัสดุเข้าโพรงฟัน รวมถึงช่องว่างภายในวัสดุเองด้วยเช่นกัน⁶ ช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะฟันส่งผลทำให้แรงยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันลดลง⁸ และอาจมีผลทำให้คนไข้เสียฟันภายหลังการบูรณะเมื่อเคี้ยวอาหารหรือทานน้ำเย็นได้⁹ หรือเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อเนื้อฟันเข้ามาเติมเต็มในช่องว่างเหล่านี้และทำให้เกิดการทำลายสารยึดติดบริเวณนั้น นอกจากนี้อาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบูรณะลดลง และอาจทำให้วัสดุแตกหักได้เมื่อใช้งาน¹⁰

ในปัจจุบัน การบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (conventional resin composite) ได้รับการแนะนำให้บูรณะแบบชั้น ๆ (incremental technique) ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เพื่อการลดความเค้นที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เนื่องจากทำให้สัดส่วนพื้นผิวที่ยึดติดกับโครงสร้างฟันต่อพื้นผิวที่

ไม่มีการยึดติดกับโครงสร้างฟันหรือ “ซีแฟกเตอร์” (Configuration factor; C-factor) ลดลง^{11,12} และลดปัญหาเกี่ยวกับระดับความลึกของการเกิดพอลิเมอร์¹³ แต่วิธีการนี้ต้องใช้เวลาในการบูรณะมากและมีความเสี่ยงที่จะเกิดช่องว่างระหว่างการบูรณะแต่ละชั้น จึงมีการพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตที่สามารถบูรณะทั้งก้อน (bulk-fill resin composite) เพื่อลดระยะเวลาการทำงานและลดความเสี่ยงที่จะเกิดช่องว่างระหว่างชั้นของการบูรณะ โดยการใส่วัสดุในโพรงฟันให้เต็มก่อนแล้วจึงฉายแสงเพื่อทำให้วัสดุเกิดการแข็งตัว^{14,15}

เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนมีหลายผลิตภัณฑ์และมีวิธีการใช้งานแตกต่างกันไป¹⁶ วัสดุที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity) จะอยู่บรรจุในภาชนะลักษณะหลอดฉีดขนาดเล็ก (capsule or compute) ใช้งานโดยฉีดวัสดุเข้าโพรงฟันแล้วจึงบูรณะด้านบดเคี้ยวด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นที่มีความแข็งแรงมากกว่า ในขณะที่วัสดุที่มีความหนืดสูง (high viscosity) อาจจะบรรจุในหลอดฉีดเล็ก ใช้งานโดยฉีดออกจากเข้าโพรงฟันโดยตรง หรือใช้เครื่องมือให้พลังงานไปสั่นสะเทือนเพื่อให้วัสดุมีความหนืดต่ำก่อนฉีดเข้าโพรงฟัน บางผลิตภัณฑ์บรรจุในหลอด (syringe) โดยบีบออกมาจากหลอดก่อนแล้วใช้เครื่องมือตักใส่เข้าในโพรงฟัน เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนที่มีความหนืดสูงไม่จำเป็นต้องบูรณะด้านบดเคี้ยวต่อด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นอีก ซึ่งลักษณะและรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะฟัน^{7,17,18} โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสซุ (class II cavity) ซึ่งมีตำแหน่งและลักษณะโพรงฟันที่ยากในการใส่วัสดุ

การศึกษาช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะมีหลายหลายวิธี เช่น การย้อมสีภายหลังการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อตรวจสอบรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟัน วิธีการนี้ใช้เวลาน้อยทำ แต่จะ

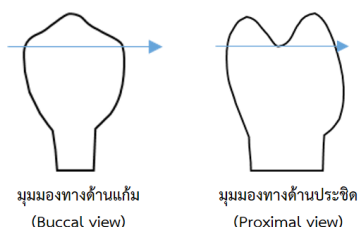
ตรวจสอบได้เฉพาะบริเวณที่ถูกตัดเท่านั้น ไม่สามารถดูช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ หรือการใช้ออฟติคัลโคฮีเรนทโทโมกราฟี (optical coherence tomographic; OCT) ซึ่งสามารถสร้างแผนภาพสามมิติโดยไม่ต้องตัดชิ้นตัวอย่าง แต่วิธีนี้สามารถวัดความแนบในโพรงฟันที่ลึกเพียง 2-3 มิลลิเมตรเท่านั้น¹⁹ ในขณะที่การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-computed tomography) เป็นวิธีการศึกษาที่สามารถให้แผนภาพสามมิติของวัตถุที่เราต้องการศึกษาโดยไม่ต้องตัดชิ้นตัวอย่าง และสามารถวิเคราะห์ปริมาตรของช่องว่างที่เกิดขึ้นในลักษณะสามมิติ ทำให้มีความน่าเชื่อถือและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยทางทันตกรรมอย่างหลากหลาย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงผลของวิธีการบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนที่มีรูปแบบผลิตภัณฑ์และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันในโพรงฟันชนิดคลาสซู ต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ โดยมีสมมุติฐานของการศึกษาคือ รูปแบบและวิธีการบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนในโพรงฟันชนิดคลาสซูไม่มีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา

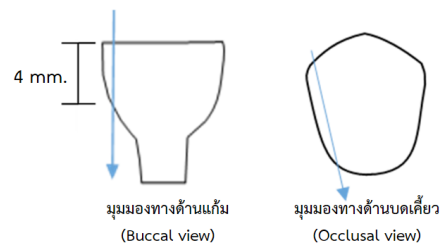
การเตรียมฟันตัวอย่าง

นำฟันกรามน้อยบนซี่ที่หนึ่งที่ถูกถอนเพื่อการจัดฟันซึ่งปราศจากรอยผุ วัสดุอุด หรือรอยร้าว จำนวน 40 ซี่ มาทำความสะอาดฟันและเก็บในน้ำกลั่นผสมไทโมล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ก่อนเตรียมฟันด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ โดยขัดบริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันจนถึงระดับจุดลึกสุดของหลุมร่องฟัน ให้รอยขัดขนานกับด้านบดเคี้ยว จากนั้นขัดด้านประชิดด้านใดด้านหนึ่งให้เรียบและตั้งฉากกับรอยขัดด้านบดเคี้ยว โดยระนาบการขัดขนานกับพื้นผิวฟันแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (bucco-lingual) จุดสิ้นสุดของรอยขัดด้านประชิดอยู่ต่ำกว่ารอยขัดด้านบดเคี้ยวประมาณ 4 มิลลิเมตร ดังที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 แสดงการขัดด้านบดเคี้ยว

Figure 1 Polishing of occlusal surface



รูปที่ 2 แสดงการขัดด้านประชิด

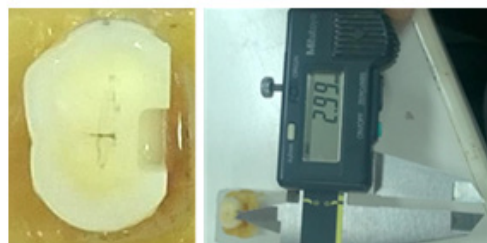
Figure 2 Polishing of proximal surface

ยึดฟันเข้ากับบล็อกเรซินใส แล้วเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสซูแบบ slot บนด้านประชิดที่ขัดเรียบไว้ด้วยหัวกรออากาศเพชร ทรงกระบอกชนิดกรอเร็วร่วมกับเครื่องกรอฟันที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (computerized numerical controlled specimen former machine) กำหนดจุดเริ่มต้นบริเวณกึ่งกลางด้านประชิด โดยกำหนดให้โพรงฟันมีความกว้างในแนวด้านบดเคี้ยว-ด้านเหงือก (occluso-cervical) 4 มิลลิเมตร ความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesio-distal) 1.5 มิลลิเมตร และความกว้างในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (bucco-lingual) 3 มิลลิเมตร และตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (digital vernier caliper) ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แสดงการใช้งานเครื่องกรอฟันที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์สำหรับเตรียมโพรงฟัน

Figure 3 Using computerized numerical controlled specimen former machine for cavity preparation



รูปที่ 4 แสดงโพรงฟันภายหลังการเตรียม และการตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

Figure 4 Completed cavity preparation and digital vernier caliper measurement

สุ่มแบ่งฟันตามวิธีบูรณะเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 10 ซี่ ด้วยวิธีการสุ่มแบบง่าย (simple randomization) ยึดแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะ (metal matrix band) กับฟันที่เตรียมโพรงฟันไว้ด้วยเครื่องมือยึดเมทริกซ์ชนิดทฟเฟอร์มาย (tofflemire matrix holder) โดยให้แผ่นเมทริกซ์แนบและครอบคลุมโพรงฟันทั้งหมด ขอบบนของแผ่นเมทริกซ์อยู่เหนือโพรงฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร ทารดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37.5 ในโพรงฟันเป็นเวลา 15 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 15 วินาที จนไม่มีกรดหลงเหลือ ทำการเป่าลมเบา ๆ 3 วินาที โดยผนังโพรงฟันยังคงมีความชื้นอยู่ ใช้สารยึดติดผลิตภัณฑ์ OptiBond FL (KERR, Switzerland) ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยทาผนังโพรงฟันด้วยสารไพรเมอร์ (OptiBond FL Prime) และกาวเบา ๆ เป็นเวลา 15 วินาที เป่าลมเบา ๆ 5 วินาที ให้ได้ลักษณะของผนังโพรงฟันที่มันเงา และทาสารเรซินแอตชีฟ (OptiBond FL Adhesive) บาง ๆ ทั่วโพรงฟัน แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง Demi™ Plus (KERR, Switzerland) ซึ่งมีระดับความเข้มแสง 1,100-1,330 mw/mm² เป็นเวลา 20 วินาที โดยปลายแท่งนำแสงวางอยู่บนขอบบนของแผ่นเมทริกซ์ และครอบคลุมโพรงฟัน แล้วทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะ

การบูรณะฟัน

กลุ่มที่ 1 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) (3M E8PE, USA) แบบหลอด (syringe) โดยตักวัสดุใส่ใน

โพรงฟันเพียงครั้งเดียว

ตักวัสดุใส่ในแบบพิมพ์ซิลิโคนขนาด 5x1.5x3 มม. (ปริมาตรมากกว่าขนาดของโพรงฟันเล็กน้อย) ให้เต็ม แล้วเอาวัสดุทั้งหมดออกจากแบบพิมพ์ไปใส่โพรงฟัน พยายามกดให้วัสดุแนบกับโพรงฟันด้วยเครื่องมือกด (plugger) ปลายเรียบ ตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต และฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวเป็นเวลา 40 วินาที ถอดแผ่นเมทริกซ์โลหะออกแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ๆ ด้านละ 20 วินาที

กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) แบบหลอด โดยตักวัสดุใส่ในโพรงฟันสองครั้ง

ตักวัสดุใส่ในแบบพิมพ์ซิลิโคนขนาด 5x1.5x3 มม. (ปริมาตรมากกว่าขนาดของโพรงฟันเล็กน้อย) ให้เต็ม ตักวัสดุครึ่งหนึ่งออกจากแบบพิมพ์แล้วใส่โพรงฟันครั้งแรกให้วัสดุมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร พยายามกดให้วัสดุแนบกับโพรงฟันด้วยเครื่องมือกดปลายเรียบ ตักวัสดุที่เหลือใส่ในโพรงฟันให้เต็ม จากนั้นตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต และฉาย

แสงจากด้านบดเคี้ยวเป็นเวลา 40 วินาที ถอดแผ่นเมทริกซ์โลหะออกแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ๆ ด้านละ 20 วินาที

กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) แบบแคปซูล (capsule) โดยฉีดวัสดุใส่ในโพรงฟันเพียงครั้งเดียว

ติดตั้งแคปซูลกับที่ฉีดวัสดุ วางปลายแคปซูลไว้อยู่เหนือโพรงฟันแล้วทำการฉีดเข้าโพรงฟันให้เต็มจนมีแรงดันกลับ ตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต และฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวเป็นเวลา 40 วินาที ถอดแผ่นเมทริกซ์โลหะออกแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ๆ ด้านละ 20 วินาที

กลุ่มที่ 4 ทำการบูรณะด้วย โซนิคฟิลล์ (SonicFill) แบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุใส่ในโพรงฟันเพียงครั้งเดียว

ติดตั้งแคปซูลกับเครื่องมือฉีดโซนิคฟิลล์ SonicFill Handpiece (KERR, Switzerland) วางปลายแคปซูลไว้ใกล้กับผนังด้านเหงือกมากที่สุด ทำการฉีดวัสดุพร้อมกับเคลื่อนปลายแคปซูลมาทางด้านบดเคี้ยว ให้วัสดุเกินโพรงฟันเล็กน้อย ตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต และฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวเป็นเวลา 40 วินาที ถอดแผ่นเมทริกซ์โลหะออกแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ๆ ด้านละ 20 วินาที

ภายหลังการบูรณะทำการเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลังบูรณะด้วยเครื่องมือโครมพิวเทคโทโมกราฟี (micro-CT)

1. กรอตัดรากฟันใต้ต่อผนังโพรงฟันด้านเหงือกประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และกรอตัดพื้นผิวด้านแก้มและด้านลิ้นของฟันห่างจากผนังด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้น ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรออากาศเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว เพื่อให้ชิ้นตัวอย่างมีขนาดเหมาะสมในการวางไว้ในหลอดใส่ชิ้นตัวอย่าง (holder) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

2. วางชิ้นตัวอย่างไว้ในหลอด ยึดไม่ให้เคลื่อนไหว ด้วยฟองน้ำ ติดตั้งหลอดกับเครื่องมือโครมพิวเทคโทโมกราฟี กำหนดความต่างศักย์ 70 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้า 100 ไมโครแอมแปร์ ขนาดวอกเซลเท่ากับ 6 ไมโครเมตร กรองรังสีด้วยอลูมิเนียมขนาด 0.5 มิลลิเมตร

3. สร้างภาพสามมิติของช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างโพรง

ฟันและวัสดุบูรณะรวมทั้งช่องว่างภายในวัสดุบูรณะและกำหนดขอบเขตที่สนใจ (region of interest) ตั้งแต่ขอบโพรงฟันและครอบคลุมวัสดุบูรณะทั้งหมด จากนั้นคำนวณร้อยละของปริมาตรช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปริมาตรของขอบเขตที่สนใจ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไมโครซีที (μ CT-evaluation, Scanco Medical, Bassersdorf, Switzerland)

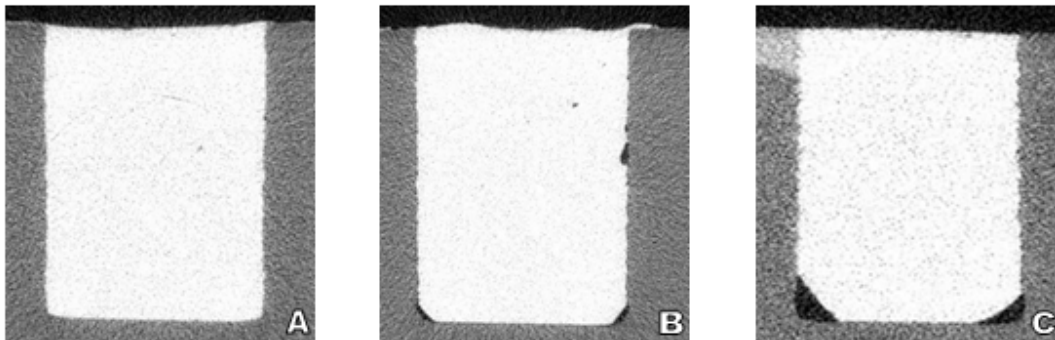
การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม แล้วทำการตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test วิเคราะห์ร้อยละช่องว่างด้วยสถิติวันเวย์แอนโนวา (one-way

ANOVA) ร่วมกับ Turkey post-hoc test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

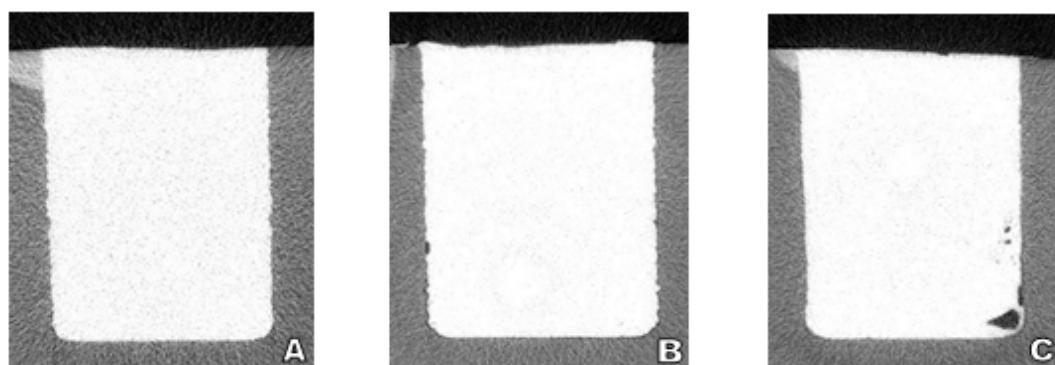
ผลการศึกษา

พบช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการบูรณะในชั้นตัวอย่างทุกชั้น โดยที่ข้อมูลลอการิทึมของร้อยละช่องว่างมีการแจกแจงแบบปกติ และจากภาพตัดขวางของชิ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 พบว่า มีช่องว่างเกิดขึ้นบริเวณผนังของโพรงฟันและบริเวณมุมบรรจบเท่านั้น ช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ



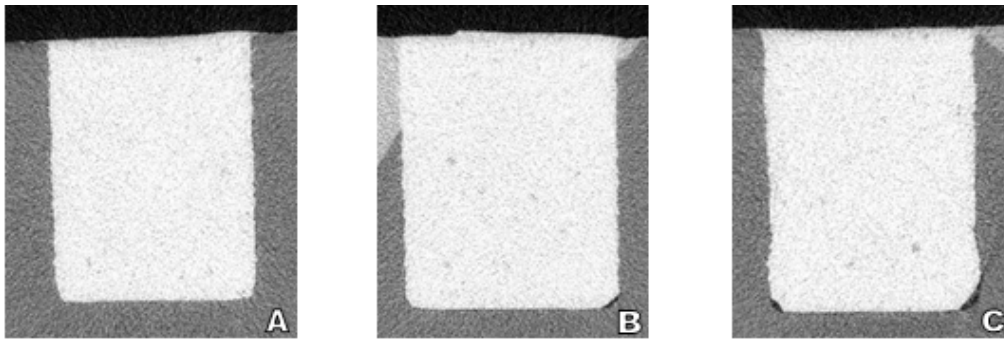
รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 1 A) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม B) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละช่องว่างใกล้เคียง C) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

Figure 5 Cross-sectional imaging of group 1. A) Cross-sectional imaging from sample with lowest %Voids in the group B) Cross-sectional imaging from sample with average %Voids in the group C) Cross-sectional imaging from sample with highest %Voids in the group.



รูปที่ 6 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 3 A) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม B) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละช่องว่างใกล้เคียง C) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

Figure 6 Cross-sectional imaging of group 3. A) Cross-sectional imaging from sample with lowest %Voids in the group B) Cross-sectional imaging from sample with average %Voids in the group C) Cross-sectional imaging from sample with highest %Voids in the group.



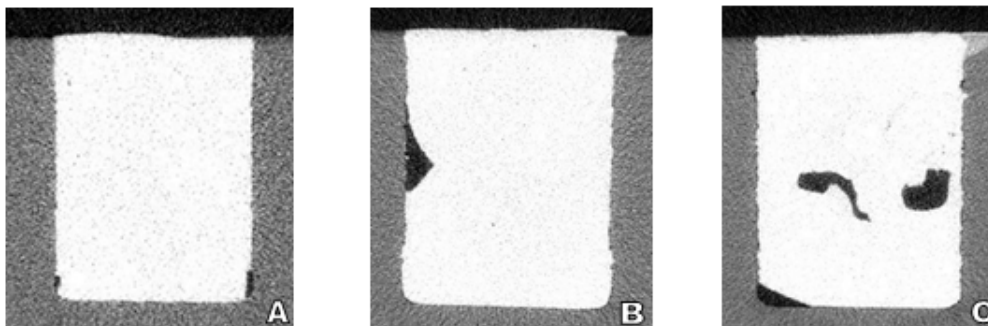
รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 4 A) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม B) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง C) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

Figure 7 Cross-sectional imaging of group 4. A) Cross-sectional imaging from sample with lowest %Voids in the group B) Cross-sectional imaging from sample with average %Voids in the group C) Cross-sectional imaging from sample with highest %Voids in the group.

สำหรับภาพตัดขวางในกลุ่มที่ 2 พบว่า มีช่องว่างเกิดขึ้น บริเวณผนังของโพรงฟัน บริเวณมุมบรรจบ และภายในวัสดุบูรณะด้วย ดังแสดงในรูปที่ 8

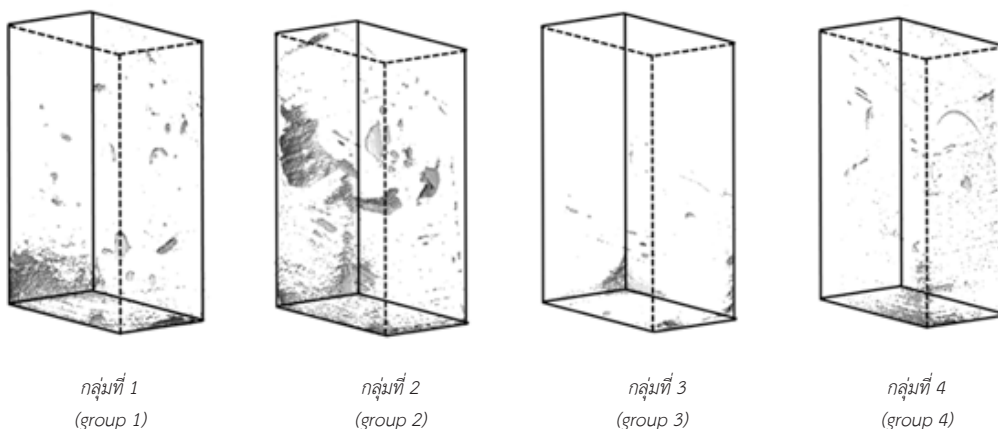
เมื่อประมวลผลภาพของช่องว่างในลักษณะ 3 มิติ โดยทั่วไป

จะพบช่องว่างบริเวณผนังของโพรงฟันและบริเวณมุมบรรจบหรือ จุดบรรจบของด้านต่าง ๆ โดยที่ในกลุ่มที่ 2 จะพบช่องว่างภายใน วัสดุบูรณะบริเวณกึ่งกลางของวัสดุร่วมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 2 A) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม B) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง C) ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

Figure 8 Cross-sectional imaging of group 2. A) Cross-sectional imaging from sample with lowest %Voids in the group B) Cross-sectional imaging from sample with average %Voids in the group C) Cross-sectional imaging from sample with highest %Voids in the group.



รูปที่ 9 ตัวอย่างช่องว่างที่เกิดขึ้นในกลุ่มต่าง ๆ ในลักษณะภาพ 3 มิติ

Figure 9 Three-dimensional imaging of voids for different groups.

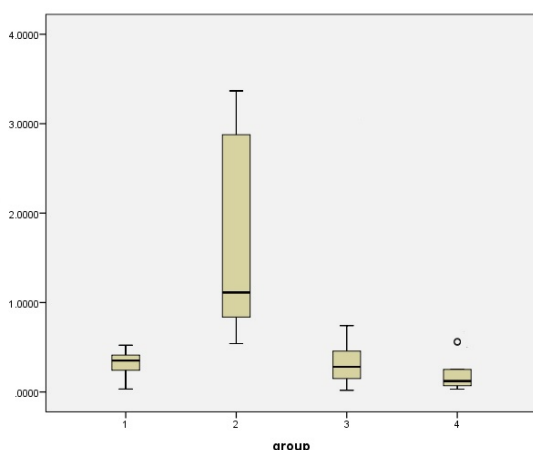
ค่าเฉลี่ยของร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 10

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของช่องว่างในการบูรณะระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ทางสถิติพบว่า กลุ่มที่บูรณะด้วยฟิลเทคบัลค์ฟิลล์โพสที่-เรียแบบหลอด โดยตักวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้ง (กลุ่มที่ 2) มีความเฉลี่ยของร้อยละช่องว่างในการบูรณะมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ร้อยละช่องว่างในการบูรณะของกลุ่มอื่น ๆ อีกสามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่บูรณะด้วย ฟิลเทคบัลค์ฟิลล์โพสที่-เรียแบบหลอด โดยตักวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียว (กลุ่มที่ 1) กลุ่มที่บูรณะด้วย ฟิลเทคบัลค์ฟิลล์โพสที่-เรียแบบแคปซูล โดยฉีดยาวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียว (กลุ่มที่ 3) และกลุ่มที่บูรณะด้วย โซนิคฟิลล์ แบบแคปซูล โดยฉีดยาวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียว (กลุ่มที่ 4) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า วิธีการบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนในโพรงฟันชนิดคลาสสิกไม่มีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะของกลุ่มต่าง ๆ อักษรตัวยกแสดงค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 1 Percentage and standard deviation of voids for different groups, different superscript letters indicate significant

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
1	0.487252 (0.481677) ^b
2	1.615359 (1.113621) ^a
3	0.329878 (0.237526) ^b
4	0.208143 (0.197120) ^b



รูปที่ 10 แสดงร้อยละของช่องว่างของการบูรณะของกลุ่มต่าง ๆ
Figure 10 Percentage of voids for different groups.

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ทำการศึกษาได้ออกแบบโพรงฟันเป็นแบบคลาสสิก ซึ่งยากต่อการใส่วัสดุลงในโพรงฟัน โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อผลการศึกษา เช่น รูปร่างมิติโพรงฟัน โดยการเตรียมโพรงฟันด้วยเครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC Specimen Former) และตรวจสอบตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ เพื่อให้ปริมาณของวัสดุบูรณะใกล้เคียงกันในทุกชิ้นตัวอย่าง รวมทั้งการเลือกใช้สารยึดติดผลิตภัณฑ์ OptiBond™ FL (Kerr, Washington, DC, USA) ซึ่งได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐาน (Gold standard)²⁰ เนื่องจากให้ค่าแรงยึดที่ดีทั้งการศึกษาทางคลินิกและในห้องปฏิบัติการ สารยึดติดนี้มีวัสดุอัดแทรกทำให้ชั้นของสารยึดติดหนา ประกอบกับมี elastic modulus ที่ต่ำ ทำให้มีความสามารถในการลดความเครียดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ได้

เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนควรต้องเกิดพอลิเมอร์อย่างเพียงพอในบริเวณที่ลึกของโพรงฟัน การหดตัวและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอร์²¹ และอาจมีผลต่อการเกิดช่องว่างของการบูรณะ²² โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับความลึกของการบ่ม ได้แก่ ความเข้มแสง ระยะเวลาการฉายแสงและระยะห่างระหว่างวัสดุและเครื่องฉายแสง^{23,24} ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการควบคุมระยะเวลาและระยะทางการฉายแสงให้เท่ากันในทุกชิ้นตัวอย่าง ใช้เครื่องฉายแสงซึ่งเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงแบบช่วง ๆ (Periodic level shifting) ความเข้มพื้นฐานที่ 1,100 mw/mm² และสูงสุดที่ 1,330 mw/mm² ทำการฉายแสงวัสดุเป็นระยะเวลา 40 วินาที แทนที่ฉายแสงเพียง 20 วินาที ตามคำแนะนำจากบริษัท เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (light-emitting diode, LED) ที่มีความเข้มแสงประมาณ 1,000 mW/cm² หรือมากกว่า บนเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนเป็นเวลา 20 วินาที คอมโพสิตที่มีความหนืดสูง เช่น SonicFill และ Tetric EvoCeram Bulk Fill มีระดับความลึกของการบ่มตัวไม่ถึง 4 มิลลิเมตร²⁴⁻²⁶ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงเป็น 40 วินาที พบว่าสามารถทำให้เรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดสูงมีความลึกของการบ่มตัวมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตรได้²³

ผลการศึกษานี้พบช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่ 2 ซึ่งบูรณะด้วยวิธีตักวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งเกิดช่องว่างของการบูรณะสูงที่สุด ขณะที่กลุ่มอื่น ๆ ช่องว่างของการบูรณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ช่องว่างส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกลุ่มที่ 2 พบว่าอยู่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง (รูปที่ 8 และ 9) ผู้วิจัยคาดว่า เกิดการกักเก็บอากาศ

ภายในวัสดุระหว่างการบดชั้นแรกและชั้นที่สอง ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Vandewalker และคณะที่พบว่า ช่องว่างภายในวัสดุของการบดแบบชั้น ๆ โดยฉายแสงในแต่ละชั้นด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด ฟิลเทคซี 250 (Filtek Z250, 3M ESPE) มีมากกว่าการบดแบบก้อนเดียวอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบดบดทั้งก้อนที่ผลิตภัณฑ์ฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรีย ที่ใช้ในการศึกษานี้ มีความหนืดไม่สูงนัก ในการบดบดกลุ่มที่ 2 หลายครั้งพบว่าวัสดุถูกดึงออกจากผนังด้านเหงือกขณะใส่วัสดุชั้นแรกเข้าสู่โพรงฟันแล้วนำเครื่องมือกดออก แต่ไม่พบเหตุการณ์ดังกล่าวในการบดบดกลุ่มที่ 1 และการบดบดชั้นที่ 2 ของกลุ่มที่ 2 อาจเนื่องด้วยการบดบดชั้นแรกจำเป็นต้องนำเครื่องมือกดออกในทิศทางตั้งฉากกับด้านบดเคี้ยวเมื่อบดมาถึงขอบด้านบดเคี้ยวของโพรงฟันสามารถนำเครื่องมือในทิศทางอื่นได้ทำให้วัสดุไม่ถูกดึงออกจากผนังโพรงฟันอีก นอกจากนั้น การกดวัสดุเพื่อให้แนบกับโพรงฟันหลายๆ ครั้ง อาจทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุได้ซึ่งการศึกษาของ Balthazard และคณะ²⁷ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบช่องว่างบริเวณแนวบรรจบระหว่างผนังด้านต่าง ๆ (line angle) และมุมบรรจบ (point angle) ซึ่งเป็นบริเวณที่แคบและเป็นมุมที่ยากต่อการใส่วัสดุในแนบกับโพรงฟัน²⁸ ดังแสดงในรูปที่ 9

โซนิคฟิลล์ ถูกแนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตว่าเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบดบดแบบทั้งก้อนที่เป็นทั้งวัสดุที่มีความความหนืดต่ำสามารถไหลแผ่ได้และเป็นวัสดุที่มีความความหนืดสูงทำให้สามารถตบแต่งให้มีรูปร่างตามต้องการได้ ทำให้ง่ายแก่การบดบด เครื่องมือชนิดสำหรับโซนิคฟิลล์ (SonicFill Handpiece) จะให้พลังงานสั่นสะเทือน (sonic energy) ทำให้วัสดุมีความหนืดลดลงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งคาดว่า การไหลแผ่ได้จะช่วยเพิ่มความแนบบริเวณผนังโพรงฟัน แล้วเมื่อพลังงานสั่นสะเทือนหายไปวัสดุจะหนืดขึ้น¹⁴ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า ช่องว่างของการบดบดของกลุ่มที่ 4 ซึ่งบดบดด้วยโซนิคฟิลล์ ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้มีความคล้ายคลึงและแตกต่างจากการศึกษาของ Chaidarun และคณะ¹⁸ ที่ทำการศึกษาระหว่างช่องว่างของการบดบดด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบดบดทั้งก้อนด้วยเครื่องมือไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟีพบว่า ในโพรงฟันขนาดเล็ก ร้อยละพื้นที่ช่องว่างการบดบดด้วยโซนิคฟิลล์ และฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรียแบบแคปซูลไม่แตกต่างกัน แต่การบดบดด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรียแบบหลอดพบร้อยละพื้นที่ช่องว่างมากกว่ากลุ่มอื่น ความแตกต่างของผลการศึกษาที่ไม่พบความแตกต่างของร้อยละช่องว่างของกลุ่มที่บดบดด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรียแบบหลอดชนิดที่ตัดวัสดุใส่โพรงฟันครั้งเดียวและแบบแคปซูล ผู้วิจัย

คาดว่า เนื่องจากการกำหนดปริมาตรของวัสดุด้วยแบบพิมพ์ซิลิโคนช่วยลดความผิดพลาดจากการตัดวัสดุมากเกินไปจนทำให้ใส่วัสดุเข้าสู่โพรงฟันและกดวัสดุให้แนบได้ยาก หรือตัดวัสดุน้อยเกินไปจนต้องตัดวัสดุมาใส่เพิ่ม นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว ความแตกต่างของผลการศึกษาอาจมาจากการศึกษานี้วิเคราะห์ช่องว่างจากภาพแบบสามมิติ ไม่ใช้การคำนวณพื้นที่ช่องว่างในแต่ละภาพตัดขวาง จึงทำให้ได้ผลที่สมบูรณ์มากกว่า

ในการศึกษานี้พบช่องว่างของการบดบดในทุกชั้นตัวอย่าง สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาก่อนเกิดช่องว่างในการบดบดที่เกิดในโพรงฟันลักษณะต่าง ๆ เช่น การศึกษาทางคลินิกของ Ishibashi และคณะ³ พบว่าวัสดุบดบดเรซินคอมโพสิตในโพรงฟันชนิดคลาสไฟฟ์ ร้อยละ 81.1 มีช่องว่างเกิดขึ้น หรือการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Opdam และคณะ²⁹ ในการบดบดโพรงฟันชนิดคลาสสี่ด้วยลักษณะการใช้งานวัสดุ (handling characteristics) ที่แตกต่างกัน พบว่า กลุ่มที่บดบดเพียงชั้นเดียวด้วยเรซินคอมโพสิตความหนืดปานกลาง เกิดช่องว่างระหว่างการบดบด 16 ซีใน 19 ซี ในขณะที่กลุ่มที่บดบดด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเหลวและความหนืดสูงเกิดช่องว่างระหว่างการบดบดทุกซี ดังนั้น จึงพอที่จะสรุปได้ว่า การบดบดฟันด้วยเรซินคอมโพสิตมักพบช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบดบดเสมอ

ทันตแพทย์ควรเข้าใจสาเหตุและผลเสียของการเกิดช่องว่างของการบดบดโพรงฟันด้วยเรซินคอมโพสิต รวมถึงรู้จักคุณสมบัติของวัสดุบดบดและวิธีการบดบดของวัสดุแต่ละชนิด ค้นเคยลักษณะการใช้งานของวัสดุและบดบดฟันด้วยความระมัดระวังเพื่อให้เกิดช่องว่างการบดบดน้อยที่สุด โดยสาเหตุของการเกิดช่องว่างมีหลายอย่าง ทั้งความเค้นที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์²² รูปร่างโพรงฟัน²⁸ ลักษณะการใช้งานวัสดุ⁷ รวมถึงวิธีการใส่วัสดุเข้าสู่โพรงฟัน³⁰⁻³² ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ต่อวัสดุบดบด เช่น แรงยึดติดลดลง³ คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบดบดลดลง³³ หรืออาจก่อให้เกิดอาการเสียวฟันภายหลังการบดบด⁹ จนส่งผลให้วัสดุบดบดฟันนั้นเกิดความล้มเหลว

การบดบดฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป มักมีคำแนะนำให้บดบดแบบชั้น ๆ เนื่องจากข้อดีหลายประการ เช่น การลดความเครียดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์เช่น การเคลื่อนตัวเข้าหากันของบ่มฟันลดลง^{11,12} เพิ่มความแนบกับโพรงฟันและค่าแรงยึดติดดีกว่าการบดบดแบบทั้งก้อน⁸ ลดการรั่วซึมบริเวณขอบเขตด้านเหงือกของโพรงฟันชนิดคลาสสี่ อีกทั้งวิธีการบดบดนี้ทำให้วัสดุในบริเวณที่ลึกมีปฏิกิริยาพอลิเมอร์สมบูรณ์³⁴ อย่างไรก็ตาม วิธีการบดบดเป็นชั้น ๆ มีความเสี่ยงทำให้เกิดช่องว่างในการบดบดแต่ละชั้น³⁵ อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลารักษามากขึ้น ดังที่พบในการศึกษานี้

เรซินคอมโพสิตชนิดชนิดบูรณะแบบทั้งก้อนมีส่วนประกอบที่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตแบบทั่วไป โดยมีขนาดวัสดุอัดแทรกใหญ่กว่าและปริมาตรน้อยกว่า³⁷ ดังนั้น รอยต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์จึงน้อยลง การกระเจิงของแสงลดลงเป็นเหตุให้แสงจากเครื่องฉายแสงสามารถทะลุผ่านวัสดุได้ลึกขึ้น^{37,38} ค่าความแตกต่างของดัชนีการหักเหแสง (reflective index) ระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์ มีผลต่อการหักเหแสงที่เกิดขึ้น หากค่าความแตกต่างนี้มีค่าน้อยทำให้เกิดการกระเจิงแสงลดลง ส่งผลให้ระดับความลึกของการบ่มตัวสูงขึ้น³⁹ และทำให้วัสดุมีลักษณะโปร่งแสงมากขึ้น (translucency) นอกจากวัสดุอัดแทรกแล้ว บางผลิตภัณฑ์ยังมีการปรับปรุงด้านสารตั้งต้นปฏิกิริยา เช่น การใช้ไอโวเซอรีน (Ivocerine) ที่ปลดปล่อยอนุมูลอิสระมากกว่าแคมฟอร์ควิโน^{40,41} หรือการปรับปรุงโมโนเมอร์ให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นเพื่อลดความเค้น เช่น ยูดีเอ็มเอ (UDMA) ที่ถูกปรับเปลี่ยนโครงสร้าง (Modified UDMA) เป็นต้น

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาส
ทูด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนแบบหล่อ โดยการใช้
ตัววัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งพบช่องว่างสูงกว่าวิธีการบูรณะแบบอื่น
ทันตแพทย์ผู้ทำการบูรณะควรตัววัสดุออกจากหล่อให้มีปริมาตร
ของวัสดุใกล้เคียงกับขนาดของโพรงฟันที่จะบูรณะและใส่วัสดุลง
ในโพรงฟันเพียงครั้งเดียว และกดวัสดุด้วยเครื่องมือมีกดที่เหมาะสม

อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของการวิจัยในห้องปฏิบัติการที่มีความแตกต่างจากการทำงานจริงในคลินิกอยู่ ทั้งรูปร่างโพรงฟันที่มีแบบเดียว อุณหภูมิ ความชื้น และความดันภายในท่อเนื้อฟัน ผลการศึกษานี้จึงไม่สามารถบอกถึงช่องว่างของการบูรณะที่เกิดขึ้นภายใต้การทำงานในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงช่องว่างที่เกิดขึ้นหากบูรณะแบบชั้น ๆ ด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนและมีการฉายแสงในแต่ละชั้น เพื่อจำลองการบูรณะโพรงฟันที่มีความลึกมากกว่าความลึกของการบ่มตัวของวัสดุ อีกทั้งควรศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนของอุณหภูมิ (thermocycling) หรือการรับแรงต่อช่องว่างที่เกิดขึ้น

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สรุปได้ว่า วิธีการบูรณาการวัสดุธรรมชาติคอมโพสิตชนิดบูรณาการทั้งก่อนในโพรพอนดิลคลาสุ มีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณาการ โดยการบูรณาการด้วยวิธีการตกวัสดุใส่สองชั้นทำให้เกิดช่องว่างของการบูรณาการมากที่สุด

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือทําวีจีย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ผู้ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

1. Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J Dent* 1997;25(6):459-73.
2. Leistevuo J, Leistevuo T, Helenius H, Pyy L, Osterblad M, Huovinen P, *et al.* Dental amalgam fillings and the amount of organic mercury in human saliva. *Caries Res* 2001;35(3):163-6.
3. Ishibashi K, Ozawa N, Tagami J, Sumi Y. Swept-source optical coherence tomography as a new tool to evaluate defects of resin-based composite restorations. *J Dent* 2011;39(8):543-8.
4. Yoshimine N, Shimada Y, Tagami J, Sadr A. Interfacial Adaptation of Composite Restorations Before and After Light Curing: Effects of Adhesive and Filling Technique. *J Adhes Dent* 2015;17(4):329-36.
5. Boaro LC, Froes-Salgado NR, Gajewski VE, Bicalho AA, Valdivia

- AD, Soares CJ, *et al.* Correlation between polymerization stress and interfacial integrity of composites restorations assessed by different *in vitro* tests. *Dent Mater* 2014;30(9):984-92.
6. Ferracane JL. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater* 2005;21(1):36-42.
7. Opdam NJ, Roeters JJ, Peters TC, Burgersdijk RC, Teunis M. Cavity wall adaptation and voids in adhesive Class I resin composite restorations. *Dent Mater* 1996;12(4):230-5.
8. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Mandurah MM, Hariri I, Alsayed EZ, *et al.* Concurrent evaluation of composite internal adaptation and bond strength in a class-I cavity. *J Dent* 2013;41(1):60-70.
9. Opdam NJ, Feilzer AJ, Roeters JJ, Smale I. Class I occlusal composite resin restorations: *in vivo* post-operative sensitivity, wall adaptation, and microleakage. *Am J Dent* 1998;11(5):229-34.
10. Ogden AR. Porosity in composite resins--an Achilles' heel? *J Dent* 1985;13(4):331-40.
11. Kwon Y, Ferracane J, Lee IB. Effect of layering methods, composite type, and flowable liner on the polymerization shrinkage stress of light cured composites. *Dent Mater* 2012;28(7):801-9.
12. Lee MR, Cho BH, Son HH, Um CM, Lee IB. Influence of cavity dimension and restoration methods on the cusp deflection of premolars in composite restoration. *Dent Mater* 2007;23(3):288-95.
13. Liebenberg WH. Assuring restorative integrity in extensive posterior resin composite restorations: pushing the envelope. *Quintessence Int* 2000;31(3):153-64.
14. Kerr Corporation. SonicFill™ 2 [cited 2016 10 June]. Available from: <https://www.kerrdental.com/kerr-restoratives/sonicfill-2-single-fill-composite-system>.
15. 3M ESPE. Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative [cited 2016 10 June]. Available from: <http://multimedia.3m.com/mws/media/9766340/filtek-bulk-fill-posterior-restorative-technical-product-profile.pdf>.
16. Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *Br Dent J* 2017;222(5):337-44.
17. Almeida LJ, Penha KJS, Souza AF, Lula ECO, Magalhaes FC, Lima DM, *et al.* Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A μ CT study. *Braz Oral Res* 2017;31:e100.
18. Chaidarun S, Leevailoj C. Evaluation of Voids in Class II Restorations Restored with Bulk-fill and Conventional Nanohybrid Resin Composite. *J Dent Assoc Thai* 2018;68(2):132-43.
19. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Non-invasive quantification of resin-dentin interfacial gaps using optical coherence tomography: validation against confocal microscopy. *Dent Mater* 2011;27(9):915-25.
20. De Munck J, Mine A, Poitevin A, Van Ende A, Cardoso MV, Van Landuyt KL, *et al.* Meta-analytical review of parameters involved in dentin bonding. *J Dent Res* 2012;91(4):351-7.
21. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater* 2005;21(10):962-70.
22. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, *et al.* Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater* 2015;31(12):1542-51.
23. Ilie N, Stark K. Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. *J Dent* 2014;42(8):977-85.
24. AlQahtani MQ, Michaud PL, Sullivan B, Labrie D, AlShaaifi MM, Price RB. Effect of High Irradiance on Depth of Cure of a Conventional and a Bulk Fill Resin-based Composite. *Oper Dent* 2015;40(6):662-72.
25. Goracci C, Cadenaro M, Fontanive L, Giangrosso G, Juloski J, Vichi A, *et al.* Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dent Mater* 2014;30(6):688-94.
26. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater* 2012;28(5):521-8.
27. Balthazard R, Jager S, Dahoun A, Gerdolle D, Engels-Deutsch M, Mortier E. High-resolution tomography study of the porosity of three restorative resin composites. *Clin Oral Investig* 2014;18(6):1613-8.
28. Ironside JG, Makinson OF. Resin restorations: causes of porosities. *Quintessence Int* 1993;24(12):867-73.
29. Opdam NJ, Roeters JJ, de Boer T, Pesschier D, Bronkhorst E. Voids and porosities in class I micropreparations filled with various resin composites. *Oper Dent* 2003;28(1):9-14.
30. Olmez A, Oztas N, Bodur H. The effect of flowable resin composite on microleakage and internal voids in class II composite restorations. *Oper Dent* 2004;29(6):713-9.
31. Korkmaz Y, Ozel E, Attar N. Effect of flowable composite lining on microleakage and internal voids in Class II composite restorations. *J Adhes Dent* 2007;9(2):189-94.
32. Aggarwal V, Singla M, Yadav S, Yadav H. Effect of flowable composite liner and glass ionomer liner on class II gingival marginal adaptation of direct composite restorations with different bonding strategies. *J Dent* 2014;42(5):619-25.
33. McCabe JF, Ogden AR. The relationship between porosity, compressive fatigue limit and wear in composite resin restorative materials. *Dent Mater* 1987;3(1):9-12.
34. Poskus LT, Placido E, Cardoso PE. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations. *Dent Mater* 2004;20(8):726-32.
35. Vandewalker JP, Casey JA, Lincoln TA, Vandewalle KS. Properties of dual-cure, bulk-fill composite resin restorative materials. *Gen Dent* 2016;64(2):68-73.

36. El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent* 2014;39(4):374-82.
37. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig* 2014;18(8):1991-2000.
38. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent* 2008;33(4):408-12.
39. Shortall AC, Palin WM, Burtscher P. Refractive index mismatch and monomer reactivity influence composite curing depth. *J Dent Res* 2008;87(1):84-8.
40. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater* 2008;24(7):901-7.
41. Ilie N, Kessler A, Durner J. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *J Dent* 2013;41(8):695-702.
42. Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent* 2012;40(6):500-5.
43. Do T, Church B, Verissimo C, Hackmyer SP, Tantbirojn D, Simon JF, *et al.* Cuspal flexure, depth-of-cure, and bond integrity of bulk-fill composites. *Pediatr Dent* 2014;36(7):468-73.
44. Al-Harbi F, Kaisarly D, Bader D, El Gezawi M. Marginal Integrity of Bulk Versus Incremental Fill Class II Composite Restorations. *Oper Dent* 2016;41(2):146-56.
45. Heintze SD, Monreal D, Peschke A. Marginal Quality of Class II Composite Restorations Placed in Bulk Compared to an Incremental Technique: Evaluation with SEM and Stereomicroscope. *J Adhes Dent* 2015;17(2):147-54.
46. Hickey D, Sharif O, Janjua F, Brunton PA. Bulk dentine replacement versus incrementally placed resin composite: A randomised controlled clinical trial. *J Dent* 2016;46:18-22.