

ประสิทธิภาพของวิธีการฉายแสงที่แตกต่างกันต่อการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงที่ถูกบรรจุในโพรงฟันชนิดที่สอง

The Efficacy of Different Light-curing Protocols on Polymerization of High Viscosity Bulk-fill Resin Composite in Class II Restorations

รัชชา ชินนิยมวนิช¹, จิตพัฒน์ เงินสุทธีวรกุล², ราจุ บอตต้า², วาริณี ศรีมหาโชคตะ³, บุญทริก นียติวัฒน์ชาญชัย¹
Watcha Chinniyomwanich¹, Thitaphat Ngersutivorakul², Raju Botta², Varinee Srimahachota¹,
Boondarick Niyatiwatchanchai¹

¹ภาควิชาทันตกรรมทันตการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

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

²ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ปทุมธานี ประเทศไทย

²National Electronics and Computer Technology (NECTEC), Thailand Science Park, Pathumthani, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการฉายแสงที่แตกต่างกันต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ฟิลเทควันบัลค์ฟิลล์และเททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ และ วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ฟิลเทคแซด350เอกซ์ที่ รวมทั้งหาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ตัวแปร ทดสอบในชิ้นงานจำนวน 96 ชิ้นที่ถูกสร้างจากโพรงฟันชนิดที่สองในห้องปฏิบัติการ (ความกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตรและสูง 4 มิลลิเมตร) ชิ้นงานจากแต่ละผลิตภัณฑ์จำนวน 32 ชิ้นถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น ตามวิธีการฉายแสงที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ คือ กลุ่ม A และ B ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยว 20 วินาทีและ 40 วินาทีตามลำดับ และกลุ่ม C และ D ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยว 10 และ 20 วินาทีตามลำดับร่วมกับด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที ทำการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ทางตรงด้วยวิธีทางไมโครรามานสเปกโตรสโกปีที่มีความลึกชิ้นงาน 0 และ 4 มิลลิเมตร และวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุที่มีความลึกชิ้นงาน 0.2 และ 4 มิลลิเมตร วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การเปรียบเทียบเชิงพหุคูณชนิดเกมส์-โฮเวลล์ และการทดสอบสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยจากวิธีการฉายแสงและปัจจัยจากระดับความลึกของชิ้นงานส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ วิธีการฉายแสงของกลุ่ม A มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่าวิธีการฉายแสงกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบแนวโน้มในวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ความลึก 2 มิลลิเมตรเช่นกัน โดยมีเพียงฟิลเทควันบัลค์ฟิลล์ที่ฉายแสงกลุ่ม D ที่มีความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ รวมทั้งพบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุและอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตในทุกผลิตภัณฑ์ โดยสรุปการฉายแสงวัสดุเรซินคอมโพสิตในการบูรณะโพรงฟันชนิดที่สอง อาจพิจารณาเลือกวิธีการฉายแสงที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และแนะนำให้มีการฉายแสงเพิ่มเติมจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเนื่องจากพบว่าการฉายแสงที่นานขึ้นส่งผลให้วัสดุมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งผิวสูงขึ้น

คำสำคัญ : ความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบอนุ, ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์, โพรงฟันชนิดที่สอง, วิธีการฉายแสง, วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง

Abstract

The objectives of this research were: 1) to study the efficacy of different light-curing protocols on microhardness and degree of conversion of two high viscosity bulk-fill resin composites (Filtek™ One Bulk Fill and Tetric® N-Ceram Bulk Fill) and a conventional resin composite (Filtek™ Z350XT), and 2) to evaluate the correlation between two variables. Ninety-six resin composite specimens (size 2x4 mm and 4 mm height) were fabricated *in vitro* from class II cavity in extracted human molar. For each composite material, specimens (n=32) were divided into 4 groups (n=8) according to light-curing protocols (group A: occlusal 20 s, group B: occlusal 40 s, group C: occlusal 10s + buccal 10s and lingual 10s and group D: occlusal 20 s + buccal 10s and lingual 10s). Degree of conversion of each specimen was evaluated using the Raman spectroscopy technique in two depths (0 mm and 4 mm depth). Microhardness was evaluated using the Knoop microhardness tester at three depths (0 mm, 2 mm, and 4 mm depth). Data were analyzed using three-way ANOVA, one-way ANOVA, Games-Howell post-hoc test and Pearson's correlation at a confidential level of 95%. Light-curing protocols and depths affected mean degree of conversion values and mean microhardness values of all materials significantly ($p<0.05$). At 4 mm depth, when both of the bulk-fill resin composites were cured by the group A protocol, mean degree of conversion values and mean microhardness values were significantly lower than the other curing protocols ($p<0.05$). Similar results were found when curing of conventional resin composite at 2 mm depth. Only group D of Filtek™ One Bulk Fill showed acceptable depth of cure. Microhardness ratios and degree of conversion ratio were correlated ($p<0.001$) in all materials. In conclusion, an appropriate light-curing protocol depends on the type of product being used. An additional curing time from the manufacturer's recommendations may be advised since it can lead to higher degree of conversion and microhardness of materials.

Keywords : Knoop microhardness, Degree of conversion, Class II cavity, Light-curing protocol, High viscosity bulk-fill resin composite

Received Date: Aug 18, 2021

Revised Date: Sep 23, 2021

Accepted Date: Dec 13, 2021

doi: 10.14456/jdat.2022.41

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ :

บุญทริก นียัติวณิชชาชัย ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย โทรศัพท์ 02-218-8795 โทรศัพท์มือถือ 093-415-6354 อีเมล boondarick.n@gmail.com

Correspondence to :

Boondarick Niyatiwatchanchai, Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Henri Dunant Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330 Thailand. Tel: 02-218-8795, 093-415-6354 Email: boondarick.n@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันเรซินคอมโพสิต (Resin composite) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการบูรณะฟันโดยตรงในช่องปากทั้งฟันหน้าและฟันหลังเนื่องจากมีความสวยงามที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติสามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติด ช่วยเสริม

ความแข็งแรงให้กับโครงสร้างฟันที่เหลืออยู่ และช่วยลดการกร่อนแต่งโพรงฟันซึ่งเป็นการบูรณะฟันภายใต้แนวคิดการอนุรักษ์เนื้อฟัน¹⁻³ การบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (Conventional resin composite) ให้ประสบความสำเร็จ ต้องอาศัย

ความระมัดระวังในการบูรณะแต่ละขั้นตอน เช่น การบูรณะฟันทีละชั้น (Incremental technique) ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตรเพื่อให้วัสดุมีการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) อย่างเพียงพอภายหลังการฉายแสง⁴ ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่ดีและลดความเค้นจากการหดตัวของวัสดุภายหลังการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization shrinkage stress)⁵ แต่อย่างไรก็ตาม การอุดทีละชั้นทำให้ต้องใช้เวลาการทำงานที่นานและเพิ่มโอกาสเกิดความผิดพลาดอื่นตามมา เช่น การบ่นเปื้อนของความชื้นระหว่างการทำงาน การเกิดช่องว่างระหว่างชั้นวัสดุ ส่งผลให้วัสดุบูรณะมีคุณสมบัติไม่ดี⁶ จึงเป็นที่มาของการพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์ (Bulk-fill resin composite) ที่มีความลึกในการบ่มตัว (Depth of cure) เพิ่มขึ้นคือ มีความลึกในการบ่มตัวประมาณ 4-5 มิลลิเมตรซึ่งมากกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่มีความลึกในการบ่มตัว 2 มิลลิเมตร⁷ ทำให้สามารถลดขั้นตอนการบูรณะ ลดโอกาสเกิดความผิดพลาด และลดระยะเวลาการทำงาน โดยที่วัสดุเรซินคอมโพสิตยังคงมีคุณสมบัติที่ดีอยู่

วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์มักถูกใช้ในการบูรณะโพรงฟันที่มีความลึกหรือมีขนาดใหญ่ เช่น การบูรณะเพื่อทำแกนฟัน การบูรณะโพรงฟันชนิดที่หนึ่ง (Class I cavity) และชนิดที่สอง (Class II cavity)⁸ อย่างไรก็ตามในโพรงฟันที่มีทั้งความลึกและข้อจำกัดที่ทำให้มีการเกิดพอลิเมอร์ได้ยาก เช่น บริเวณด้านใกล้เหงือกของโพรงฟันชนิดที่สองที่มีระยะห่างระหว่างปลายกระบอกเครื่องฉายแสงและโพรงฟันมาก การฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถทำให้เกิดพอลิเมอร์ได้เพียงพอ⁹ อีกทั้งวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์แต่ละผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบที่ต่างต่างกัน¹⁰ ดังนั้นวิธีการฉายแสงรูปแบบเดียวกันอาจส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันได้ เมื่อพิจารณาคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์ในแต่ละผลิตภัณฑ์พบว่ามีความแตกต่างกันในเรื่องวิธีการฉายแสง เช่น บางผลิตภัณฑ์มีคำแนะนำให้ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวของโพรงฟันร่วมกับการฉายแสงจากด้านข้างของโพรงฟันภายหลังการถอดแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะในการบูรณะโพรงฟันชนิดที่สอง แต่ในบางผลิตภัณฑ์แนะนำให้ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวเพียงด้านเดียว โดยการฉายแสงทางด้านข้างของโพรงฟันร่วมด้วยอาจเป็นทางเลือกเท่านั้น

จากข้อมูลในปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนในเรื่องวิธีการฉายแสงที่มีประสิทธิภาพที่สุด จึงเป็นที่น่าสนใจว่าการบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์ในโพรงฟันชนิดที่สองที่ใช้วิธีการฉายแสงที่ต่างกันจะส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุหรือไม่ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้จึงต้องการศึกษา 1. ผลของการฉายแสงจากเครื่องฉายแสงด้วยวิธีการที่ต่างกันต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความ

แข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลล์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง (High viscosity bulk-fill resin composite) ที่ถูกบูรณะในโพรงฟันชนิดที่สอง 2. ศึกษาความสัมพันธ์ของความแข็งผิวระดับจุลภาคและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น โดยมีสมมติฐานของการศึกษาคือ 1. วิธีการฉายแสงจากเครื่องฉายแสงแต่ละวิธีไม่ส่งผลต่อความแข็งผิวระดับจุลภาคและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดที่ถูกบูรณะในโพรงฟันชนิดที่สอง 2. วิธีการฉายแสงแต่ละวิธีส่งผลต่อความแข็งผิวระดับจุลภาคและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดที่ถูกบูรณะในโพรงฟันชนิดที่สองในแต่ละระดับความลึกไม่แตกต่างกัน 3. ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคและอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การเลือกและเตรียมฟัน

การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่จำลองการบูรณะโพรงฟันชนิดที่สองด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยเลือกใช้ฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งของมนุษย์ที่ถูกถอนจำนวน 1 ซี่ ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแล้ว โดยฟันจะต้องปราศจากรอยผุ วัสดุบูรณะหรือรอยร้าวจากการตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope, SZ 61, OLYMPUS, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 10 เท่าและเลือกฟันให้มีขนาดใกล้เคียงกับฟันกรามล่างจำลองซี่ที่หนึ่งในแบบจำลองฟัน (Dentoform) ทำความสะอาดฟันและเก็บฟันในน้ำกลั่นผสมไฮมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ภายหลังการถอนฟันและเปลี่ยนไปแช่น้ำเกลือ (Normal saline) ซึ่งระยะเวลาในการศึกษาจะไม่เกิน 3 เดือน¹¹ จากนั้นฟันกรามที่ถูกคัดเลือกจะถูกยึดในตำแหน่งของฟันกรามซี่ที่หนึ่งในแบบจำลองฟันด้วยวัสดุพิมพ์ปากแบบซิลิโคนภายหลังการถอดก้นส่วนของรากฟันให้ไม่มีส่วนยึดติดเพื่อให้ฟันกรามสามารถถอดใส่ได้ในตำแหน่งเดิมและสามารถถอดฟันมาเก็บในน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการสูญเสียฟันสำหรับฟันจำลองที่ติดกับฟันกรามที่ถูกคัดเลือกจะมีการเรียงตัวที่มีลักษณะเหมือนในช่องปากจึงเป็นการจำลองสถานการณ์การทำงานในคลินิก

ฟันกรามที่ถูกคัดเลือกจะถูกขัดบริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันจนถึงจุดลึกสุดของหลุมร่องฟันด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติร่วมกับกระดาษทรายเบอร์ 400 ภายใต้น้ำ โดยให้รอยขีดขนานกับด้านบดเคี้ยวของฟันเพื่อให้สามารถวางส่วนปลายของเครื่องฉายแสงให้ตั้งฉากกับโพรงฟัน

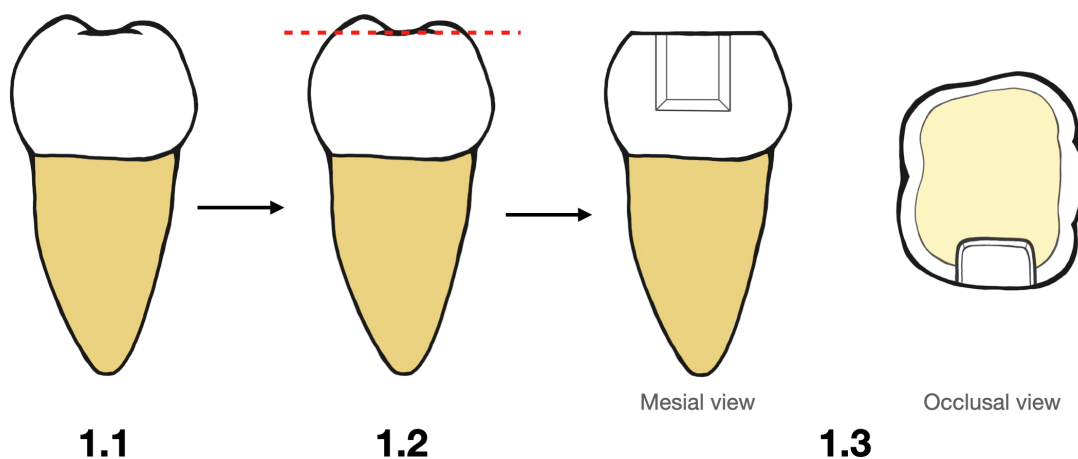
และมีระยะห่างสม่ำเสมอกับพื้นผิวชิ้นงาน จากนั้นทำการกรอแต่งโพรงฟันชนิดที่สอง โดยใช้หัวกรอกากเพชรทรงกระบอกรูปทรงสอบปลายตัดชนิดกรอเร็ว (Flat End Taper Diamond Bur) ร่วมกับน้ำขณะกรอแต่ง ให้มีความลึกของโพรงฟันจากด้านบดเคี้ยวถึงด้านใกล้เหงือก 4 มิลลิเมตร ความกว้างของโพรงฟันในแนวด้านใกล้และไกลแก้ม 4 มิลลิเมตรและความกว้างของโพรงฟันในแนวใกล้กลางและไกลกลาง 2 มิลลิเมตร โดยลักษณะของโพรงฟันด้านในจะมีลักษณะผายขึ้นสู่ด้านบดเคี้ยวเล็กน้อยเพื่อให้สามารถนำวัสดุภายหลังการป่นตัวออกจากโพรงฟันได้โดยมีการตรวจสอบมิติโพรงฟันที่ทำการกรอเตรียมด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (รูปที่ 1)

เตรียมแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะกับเครื่องมือยึดเมทริกซ์ชนิดท็อฟเฟอไมด์ (Tofflemire matrix) ทำการยึดเมทริกซ์กับฟันที่เตรียมโพรงฟันไว้แล้ว โดยให้แผ่นเมทริกซ์แนบและครอบคลุมโพรงฟันทั้งหมด ขอบด้านบนอยู่เหนือโพรงฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร ใช้เวดจ์ไม้ (Wooden wedge) สอดระหว่างซี่ฟัน ซึ่งก่อนการใส่วัสดุเรซินคอมโพสิตในโพรงฟัน โพรงฟันจะถูกเคลือบด้วยกลีเซอรินบาง ๆ (99% Glycerine solution) โดยการใช้พู่กันปลายเล็ก (Microbrush) ทาให้ทั่วโพรงฟัน จากนั้นเป่าลมเบา ๆ จากหัวเป่าลมและน้ำแบบสามทาง (Triple syringe) เพื่อให้สามารถนำวัสดุเรซินคอมโพสิตออกจากโพรงฟันเพื่อนำไปทดสอบต่อไปได้ โดยก่อนการบ่มชิ้นงานชิ้นต่อไป จะทำการกำจัดกลีเซอรินที่หลงเหลืออยู่ด้วยสำลีและน้ำก่อน ด้วยวิธีนี้จึงทำให้สามารถใช้ฟันหนึ่งซี่สำหรับการทำชิ้นงานหลายชิ้นได้

การเตรียมชิ้นงาน

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงทั้งหมด 2 ผลิตภัณฑ์และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 1) รวมเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มทำการฉายแสงด้วยวิธีการที่แตกต่างกันอีก 4 รูปแบบ รวมเป็นทั้งหมด 12 กลุ่ม ดังนั้น ในการศึกษาจึงเลือกใช้จำนวนชิ้นงาน 32 ชิ้นในแต่ละผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็นกลุ่มละ 8 ชิ้นตามวิธีการฉายแสงที่แตกต่างกัน รวมเป็นจำนวนทั้งหมด 96 ชิ้น ฟันของแต่ละกลุ่มจะถูกบ่มระยะโดยการนำวัสดุใส่เข้าไปในโพรงฟันเพียงครั้งเดียวจนเต็มโพรงฟันและตกแต่งวัสดุทางด้านบดเคี้ยวให้ระดับเดียวกับพื้นผิวทางด้านบดเคี้ยวของฟัน โดยใช้เครื่องมือบ่มวัสดุเรซินคอมโพสิต (Composite filling instrument; PF1G4/5, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) จากนั้นจะทำการการฉายแสงด้วยวิธีการฉายแสงที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ คือ

- กลุ่ม A ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 20 วินาที
- กลุ่ม B ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 40 วินาที
- กลุ่ม C ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเป็นระยะเวลา 10 วินาที ด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที
- กลุ่ม D ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเป็นระยะเวลา 20 วินาที ด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที



รูปที่ 1 แผนภาพของการเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิต (1.1 ฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่ง 1.2 ด้านบดเคี้ยวของฟันถูกตัดในแนวขวางจนถึงจุดลึกสุดของหลุมร่องฟัน 1.3 โพรงฟันชนิดที่สองภายหลังการกรอแต่ง)

Figure 1 Diagrammatic presentation of resin composite specimen's preparation (1.1 lower first molar 1.2 the occlusal surface of tooth was horizontally cut down to deepest part of the pit and fissure 1.3 Class II cavity after cavity preparation)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์และวิธีการใช้งานตามที่เป็นที่ผลิตและนำมาใช้ในการศึกษา

Table 1 Manufacturers' information of materials used in this study

Material	Lot no.	Shade	Type	Filler	Resin matrix	Filler content (%wt/%vol)	Maximum thickness	Light curing protocols
Filtek™ One Bulk fill (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	NA59247	A3	Nanofil	Non-agglomerated/non-aggregated silica filler (20nm), Non-agglomerated/non-aggregated zirconia filler (4-11nm), Aggregated zirconia/silica cluster filler (20nm silica and 4-11nm zirconia particles), Agglomerated ytterbium trifluoride filler (100 nm)	AFM (dynamic stress-relieving monomer), AUDMA, UDMA and 1, 12-dodecane-DMA	76.5/58.5	4 mm (Class I) 5 mm (Class II), Core build-up	- 40 sec (output 550-1000 mW/cm ²) - 20 sec (output 1000-2000 mW/cm ²) - 20 sec/surface: O, B, Li (output 550-1000mW/cm ²) - 10sec/surface: O, B, Li (output 1000-2000 mW/cm ²) - 20 sec (output 550-1000 mW/cm ²) - 10 sec (output 1000-2000 mW/cm ²)
Tetric N-ceram® Bulk Fill (Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein)	Z009GJ	IVA	Nano hybrid	Barium aluminium silicate glass (0.4 µm and 0.7µm), Ytterbium trifluoride (200 nm), Spherical mixed oxide (160 nm)	Dimethacrylates (Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA)	77/54	4 mm	- 20 sec (output ≥ 500 mW/cm ²) - 10 sec (output ≥ 1000 mW/cm ²) (When using a metal matrix, additional polymerize the composite material from the buccal or lingual/palatal aspect after removing the matrix)
Filtek™ Z350XT (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	NA77397	A3 Body	Nanofil	Non-agglomerated/non- aggregated silica filler (20nm), Non-agglomerated/non-aggregated zirconia filler (4-11nm), Aggregated zirconia/silica cluster filler (20nm silica and 4-11nm zirconia particles)	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, and Bis-EMA	78.5/63.3	2 mm	- 20 sec (output 400-1000 mW/cm ²) - 10 sec (output 1000-2000 mW/cm ²)

โดยการศึกษาได้ใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นแสงครอบคลุมสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงในทุกผลิตภัณฑ์ (LED curing light; Bluephase N; Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยใช้รูปแบบความเข้มแสงสูง (High Power Mode) ที่มีความเข้มแสงอย่างน้อย 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร การฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวปลายกระบอกของเครื่องฉายแสงจะวางตั้งฉากกับด้านบดเคี้ยวและวางให้ครอบคลุมโพรงฟันทั้งหมด (มีการกำหนดจุดในการวางของปลายกระบอกเครื่องฉายแสง) โดยระยะห่างระหว่างปลายกระบอกเครื่องฉายแสงกับชิ้นงานจะทำให้มีมาตรฐานที่เหมือนกันคือวางปลายกระบอกเครื่องฉายแสงให้ติดกับแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะ (ระยะห่างจากชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร) จากนั้นกลุ่มที่ต้องฉายแสงด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้นของวัสดุจะฉายแสงภายหลังการฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวโดยถอดแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะกับเครื่องมือเมทริกซ์ชนิดที่ฟลอป-มายด์กับเวดจ์ไม้ ออก วางปลายกระบอกเครื่องฉายแสงให้ขนานกับแนวการเรียงตัวของฟันและวางให้ใกล้ชิ้นงานมากที่สุด (มีการกำหนดจุดในการวางของปลายกระบอกเครื่องฉายแสง) ทำการวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (LED Radiometer; DEMITRON, (Kerr; Orange, CA, USA)) ก่อนการเตรียมชิ้นงานแต่ละครั้งและวัดซ้ำทุก ๆ ครั้งชั่วโมงในระหว่างการเตรียมชิ้นงาน โดยเครื่องฉายแสงต้องมีความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หลังจากฉายแสงเรียบร้อยแล้ว จะทำการถอดฟันกรามออกจากแบบจำลองฟัน และนำชิ้นงานออกจากโพรงฟันอย่างระมัดระวัง หลังจากนั้นขัดผิวของชิ้นงานทุกด้านด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,200 เพื่อกำจัดกอลลีเซอรินส่วนเกิน และผิวด้านนอกของชิ้นงานจะถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 เพื่อให้สามารถวางและตั้งอย่างมั่นคงในระหว่างการทดสอบความแข็งผิวได้ ทำการเก็บชิ้นงานไว้ในภาชนะควบคุมความชื้นสำหรับเก็บชิ้นงาน (Desiccator) ร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (Silica gel) เพื่อให้ได้สภาวะแห้งภายใต้สภาวะมืด ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคของชิ้นงานต่อไป

การวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์

วัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์บริเวณผิวด้านในของชิ้นงานด้านที่ติดกับผนังแกนฟัน (Axial wall) ทั้งหมด 2 บริเวณคือส่วนบนของชิ้นงานความลึก 0 มิลลิเมตรและส่วนล่างของชิ้นงานความลึก 4 มิลลิเมตร ทำการวัด 3 ตำแหน่งในแต่ละบริเวณที่กึ่งกลางชิ้นงานและทั้ง 2 ข้างของชิ้นงาน โดยวัดห่างจากขอบชิ้นงาน 0.2 มิลลิเมตรในทุกด้านแสดงในรูปที่ 2 ทำการวัดในชิ้นงานทั้งหมด 8 ชิ้นในแต่ละกลุ่มของวิธีการฉายแสงของแต่ละวัสดุด้วยเครื่องมือโรมานสเปกโตรมิเตอร์ (confocal Raman microscope, Renishaw InVia Reflex,

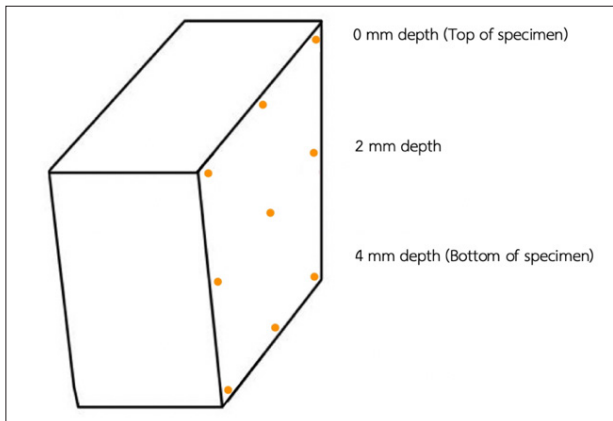
Gloucestershire, UK) ใช้ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ 785 นาโนเมตร เวลาในการใช้แสงเลเซอร์ (Exposure time) เท่ากับ 10 วินาที ค่าพลังงานของเลเซอร์เท่ากับ 10% และใช้กำลังขยายของไมโครสโคป 50 เท่า และทำการวัดสเปกตรัมสัญญาณรบกวนของตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น (Wavenumber) 620 - 1720 เซ็นติเมตร⁻¹ หลังจากนั้นทำการเตรียมข้อมูล (Data preprocessing) โดยทำการปรับเส้นพื้นฐาน (Baseline correction) และปรับเส้นเรียบ (Smoothing) และหาค่าความเข้มสัญญาณรบกวน ณ ตำแหน่งความสูงของยอดกราฟที่สนใจ โดยทำการทดลองวัดสเปกตรัมของวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้งก่อนและหลังการฉายแสงเพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละของปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (DC%) จากสมการดังแสดง

$$DC\% = [1 - (R_{\text{cured}} / R_{\text{uncured}})] \times 100$$

เมื่อ R คืออัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มของสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่ง 1640 เซ็นติเมตร⁻¹ (พันธะ C=C ของเมทาโครเลต) ต่อความเข้มสัญญาณที่ความสูงของยอดกราฟมาตรฐาน (Internal standard) ที่ตำแหน่ง 1610 เซ็นติเมตร⁻¹ (พันธะ C=C ของอะโรมาติก) สำหรับเททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ (Tetric N-Ceram[®] Bulk Fill) และฟิลเทคแซด 350เอกซ์ที (FiltekTM Z350XT) หรือที่ตำแหน่ง 1600 เซ็นติเมตร⁻¹ สำหรับฟิลเทควันบัลค์ฟิลล์ (FiltekTM One Bulk Fill) โดย “cured” หมายถึงค่าของวัสดุหลังการฉายแสง ส่วน “uncured” หมายถึงค่าของวัสดุก่อนการฉายแสง¹² หลังจากที่ทำ การวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์แล้วชิ้นงานถูกนำไปวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคต่อไป

การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค

วัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคจากการวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค (Micro hardness tester; FM810, FUTURE-TECH, Kawasaki, Kanagawa, Japan) โดยใช้หัวกดเพชรนูน (Knoop diamond) ให้แรงกดที่ 50 กรัมแรง (gf) เป็นเวลา 15 วินาที¹³ ทำการวัดที่ผิวด้านในของชิ้นงานด้านที่ติดกับผนังแกนฟันทั้งหมด 3 บริเวณ คือที่ส่วนบนของชิ้นงานความลึก 0 มิลลิเมตร ที่ความลึกของชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรและส่วนล่างของชิ้นงานความลึก 4 มิลลิเมตร ในแต่ละบริเวณจะทำการวัด 3 ตำแหน่งที่กึ่งกลางชิ้นงานและทั้ง 2 ข้างของชิ้นงาน โดยวัดห่างจากขอบชิ้นงาน 0.2 มิลลิเมตรในทุกด้านแสดงในรูปที่ 2 ทำการวัดขนาดรอยกดภายใต้กำลังขยาย 20 เท่า แล้วนำมาคำนวณค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูน (KNH) จากสมการ $KNH = 14.2 \times (F/d^2)$ เมื่อ F คือ แรงกด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรง (Load applied: kgf) d คือ ความยาวของรอยกด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (Indentation length: mm) และให้ 14.2 คือค่าคงที่ของ Projected area ของรอยกด



รูปที่ 2 แสดงชิ้นงานเรซินคอมโพสิตภายหลังจากนำออกจากโพรงฟันและบริเวณที่ทำการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคของชิ้นงาน

Figure 2 Resin composite specimen after removed from cavity and the areas that were measured degree of conversion and microhardness

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าความแข็งผิวและค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ในแต่ละบริเวณที่ทำการวัด จะหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่ทำการวัดทั้ง 3 จุด ได้เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับความลึกของชิ้นงาน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานทั้ง 8 ชิ้นในแต่ละระดับความลึกในแต่ละกลุ่มการศึกษา จากนั้นทำการหาอัตราส่วนเป็นร้อยละของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่บริเวณผิวด้านในของชิ้นงานด้านที่ติดกับผนังแกนฟันที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร ต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร ซึ่งร้อยละ 80 คือค่าอัตราส่วนที่ยอมรับได้¹⁴ และนำมาวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ด้วยการทดสอบโคโมโกรอฟ-สมิธอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test) ร่วมกับการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of variance test) เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจึงใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (Three-way ANOVA) ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ในแต่ละวิธีการฉายแสงของแต่ละผลิตภัณฑ์ รวมถึงหาความแตกต่างของแต่ละระดับความลึกในแต่ละวิธีการฉายแสงด้วย และใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณทวินิตเกมส์-โฮเวลล์ (Games-Howell's Post hoc test) ในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มตัวอย่าง และสุดท้ายหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า

อัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคและค่าอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) ทุกสถิติที่คำนวณที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษา

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์

ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิว คือ ปัจจัยจากความลึกของชิ้นงาน (Depth) และปัจจัยจากวิธีการฉายแสง (Light-curing protocol) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัย พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ คือ ปัจจัยจากความลึกของชิ้นงานและปัจจัยจากวิธีการฉายแสง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัย พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงาน แสดงในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาในแต่ละวิธีการฉายแสง พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคเมื่อมีระดับความลึกของชิ้นงานที่ต่างกัน (0 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร) ในทุกผลิตภัณฑ์

ฟิลเทควันบัลค์ฟิลล์ ความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานกลุ่ม B (ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 40 วินาที) มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมากที่สุดและมากกว่ากลุ่ม A (ฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 20 วินาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม C (ฉายแสงทางด้านบดเคี้ยว 10 วินาทีที่ร่วมกับการฉายแสงเพิ่มเติมด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที) และกลุ่ม D (ฉายแสงทางด้านบดเคี้ยวเป็นระยะเวลา 20 วินาทีที่ร่วมกับการฉายแสงเพิ่มเติมด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที) ความลึกชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร กลุ่ม D มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวสูงที่สุดและมากกว่ากลุ่ม A และกลุ่ม B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม C ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร กลุ่ม D มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวสูงที่สุด ซึ่งมากกว่ากลุ่มวิธีการฉายแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่ม C และกลุ่ม B มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมากกว่ากลุ่ม A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่ทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน

เททริกเอนเซอแรมบ์คฟิลล์ ทั้งความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานกลุ่ม A มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงน้อยที่สุดและน้อยกว่ากลุ่มวิธีการฉายแสงอื่นทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มอื่นไม่มีความแตกต่างกัน

ฟิลเทคแซด350เอกซ์ที ความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานกลุ่ม A มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงน้อยที่สุดและน้อยกว่ากลุ่ม B และกลุ่ม D อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม C โดยที่กลุ่ม B และกลุ่ม D ไม่มีความแตกต่างกัน ความลึกชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร กลุ่ม D มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงมากที่สุดและมากกว่ากลุ่ม A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม B และกลุ่ม C ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร ทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

ค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานแสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาในแต่ละวิธีการฉายแสง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เมื่อมีระดับความลึกของชิ้นงานที่ต่างกัน (0 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร) ในทุกผลิตภัณฑ์

ฟิลเทควันบ์คฟิลล์ ความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร กลุ่ม A มีค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยที่สุดและน้อยกว่ากลุ่มวิธีการฉายแสงวิธีอื่นทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มอื่น ไม่มีความแตกต่างกัน

เททริกเอนเซอแรมบ์คฟิลล์ ความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานกลุ่ม B มีค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากที่สุดและมากกว่ากลุ่ม A และกลุ่ม C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม D และความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร กลุ่ม B มีค่าเฉลี่ยปริมาณ

การเกิดพอลิเมอร์มากกว่ากลุ่มที่ A และ C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม D

ฟิลเทคแซด350เอกซ์ที ทั้งความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร ทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ร้อยละของอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

ฟิลเทควันบ์คฟิลล์ พบว่าชิ้นงานในกลุ่ม D เพียงกลุ่มเดียวที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 แต่เททริกเอนเซอแรมบ์คฟิลล์และฟิลเทคแซด350เอกซ์ที ชิ้นงานในทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งหมด (รูปที่ 3)

ร้อยละของอัตราส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

ฟิลเทควันบ์คฟิลล์และเททริกเอนเซอแรมบ์คฟิลล์ ชิ้นงาน ในทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 แต่สำหรับฟิลเทคแซด350เอกซ์ที ชิ้นงานในกลุ่ม B เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 (รูปที่ 4)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคและอัตราส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรในชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

พบความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$, $r = 0.474$) ระหว่างอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคและอัตราส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรจากชิ้นงานเรซินคอมโพสิตทุกผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานแต่ละผลิตภัณฑ์

Table 2 Mean microhardness values of each light-curing protocol in all materials

Materials	Light-curing protocols	Mean (SD) of microhardness (KNH)		
		Depths (mm)		
		0	2	4
Filtek™ One Bulk Fill	A	98.41 (3.86) ^{Ba}	77.02 (3.41) ^{Bb}	62.56 (3.31) ^{Cc}
	B	111.69 (3.22) ^{Aa}	77.93 (4.75) ^{Bb}	69.06 (3.80) ^{BCc}
	C	105.70 (4.61) ^{ABa}	83.60 (5.91) ^{ABb}	72.46 (3.47) ^{Bc}
	D	105.85 (3.19) ^{Aa}	93.14 (3.84) ^{Ab}	84.92 (6.09) ^{Ac}

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานแต่ละผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

Table 2 Mean microhardness values of each light-curing protocol in all materials (cont.)

Mean (SD) of microhardness (KNH)				
Materials	Light-curing protocols	Depths (mm)		
		0	2	4
Tetric N-Ceram [®] Bulk Fill	A	65.01 (2.43) ^{Ba}	54.78 (2.56) ^{Bb}	41.12 (5.20) ^{Bc}
	B	83.94 (5.43) ^{Aa}	70.78 (5.62) ^{Ab}	53.47 (3.77) ^{Ac}
	C	77.78 (2.23) ^{Aa}	66.65 (1.82) ^{Ab}	52.17 (3.11) ^{Ac}
	D	83.23 (3.08) ^{Aa}	70.47 (3.09) ^{Ab}	56.10 (3.50) ^{Ac}
Filtek [™] Z350XT	A	88.86 (5.24) ^{Ba}	69.90 (4.18) ^{Bb}	43.32 (4.69) ^{Ac}
	B	102.41 (3.18) ^{Aa}	83.08 (5.15) ^{Ab}	47.85 (5.58) ^{Ac}
	C	98.35 (4.33) ^{ABa}	84.82 (3.74) ^{Ab}	43.99 (3.92) ^{Ac}
	D	104.41 (4.30) ^{Aa}	88.73 (2.85) ^{Ab}	52.49 (4.44) ^{Ac}

Group with the same uppercase letter in each column are not statistically different ($p>0.05$)

Group with the same lowercase letter in each row are not statistically different ($p>0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของแต่ละวิธีการฉายแสงในชิ้นงานแต่ละผลิตภัณฑ์

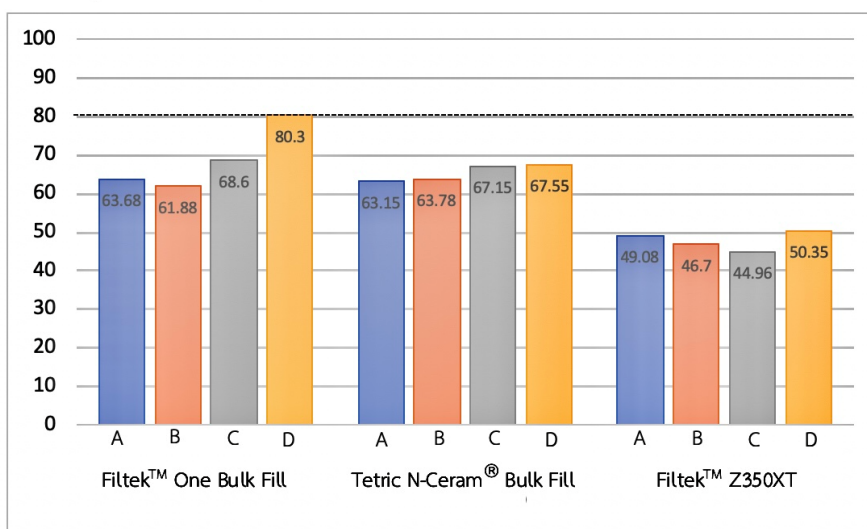
Table 3 Mean degree of conversion values of each light-curing protocol in all materials

Mean (SD) of degree of conversion (%)				
Materials	Light-curing protocols	Depths (mm)		
		4	4	
Filtek [™] One Bulk Fill	A	52.35 (3.61) ^{Aa}	44.43 (4.57) ^{Ab}	
	B	56.47 (3.56) ^{Aa}	51.98 (3.45) ^{Bb}	
	C	51.94 (3.74) ^{Aa}	45.87 (3.60) ^{ABb}	
	D	54.40 (2.84) ^{Aa}	50.42 (2.16) ^{ABb}	
Tetric N-Ceram [®] Bulk Fill	A	48.52 (1.68) ^{Aa}	36.69 (2.31) ^{Ab}	
	B	52.22 (0.92) ^{Ba}	45.93 (1.87) ^{Bb}	
	C	44.99 (1.08) ^{Aa}	40.79 (1.74) ^{ABb}	
	D	49.27 (1.04) ^{ABa}	45.62 (1.82) ^{Bb}	
Filtek [™] Z350XT	A	57.01 (1.26) ^{Aa}	44.52 (1.71) ^{Ab}	
	B	56.99 (2.37) ^{Aa}	47.32 (4.96) ^{Ab}	
	C	52.78 (2.47) ^{Aa}	41.59 (4.13) ^{Ab}	
	D	55.94 (3.11) ^{Aa}	44.44 (5.90) ^{Ab}	

Group with the same uppercase letter in each column are not statistically different ($p>0.05$)

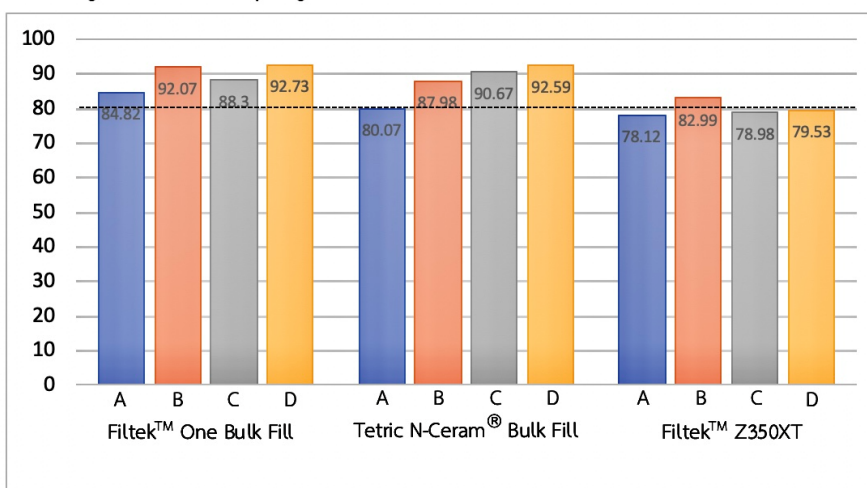
Group with the same lowercase letter in each row are not statistically different ($p>0.05$)

Percentage of bottom-to-top microhardness ratio



รูปที่ 3 แสดงร้อยละของอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ความลึกชั้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชั้นงาน 0 มิลลิเมตรของชิ้นงานในแต่ละผลิตภัณฑ์
Figure 3 Percentage of bottom-to-top microhardness ratio of specimens in all materials

Percentage of bottom-to-top degree of conversion ratio



รูปที่ 4 แสดงร้อยละของอัตราส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชั้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชั้นงาน 0 มิลลิเมตรของชิ้นงานในแต่ละผลิตภัณฑ์
Figure 4 Percentage of bottom-to-top degree of conversion ratio of specimens in all materials

อภิปรายผลการศึกษา

การบูรณะฟันโดยตรงในช่องปากด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตให้ประสบความสำเร็จ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพการบูรณะโดยเฉพาะในฟันหลังที่มีความซับซ้อน¹⁵ โดยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่เพียงพอ ทำให้มีการปลดปล่อยสารในวัสดุออกมาสู่ช่องปากซึ่งสารบางชนิดมีความเป็นพิษและสามารถกระตุ้นการแพ้ของผู้ป่วย¹⁶ อีกทั้งยังทำให้วัสดุบูรณะมีคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติ

ทางกายภาพที่ต่ำลงและส่งผลต่ออายุการใช้งานของวัสดุ¹⁷ โดยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 53-87 ภายหลังการฉายแสง¹⁸

การวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตมีทั้งวิธีการวัดทั้งทางตรงและทางอ้อม สำหรับการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีวัดการเกิดพอลิเมอร์แบบทางอ้อมคือ การวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ซึ่งพบว่าหากค่าความแข็งผิวของวัสดุสูงหมายถึงมี

ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่สูง¹⁹ นอกจากนั้นการวัดค่าความแข็งผิวสามารถนำไปคำนวณหาความลึกในการบ่มตัวของวัสดุได้ จากการหาอัตราส่วนความแข็งผิวด้านล่างต่อด้านบนของชิ้นงานเรซินคอมโพสิต โดยอัตราส่วนร้อยละ 80 ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้¹⁴ โดยวิธีนี้มีความแม่นยำมากกว่าวิธีการขูดตัวอย่างวัสดุ (Scraping method) ตามมาตรฐานไอเอสโอ 4049²⁰ ที่อาจทำให้เกิดการประเมินความลึกในการบ่มตัวของวัสดุมากเกินไปจนไม่เป็นจริงได้²¹ และการศึกษาในยังใช้วิธีการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ทางตรงที่สามารถดูปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นตามจริงออกมาเป็นร้อยละได้จากเครื่องรามาโนสเปกโตรมิเตอร์ที่อาศัยหลักการใช้แสงเลเซอร์ไปกระตุ้นให้โมเลกุลเกิดการสั่น จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มของแสงจากการกระเจิงแบบรามานในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจได้ผลออกมาเป็นค่าสเปกตรัมซึ่งวัสดุเรซินคอมโพสิตอาจใช้การวัดค่าความเข้มสัญญาณรามานที่เกิดจากการสั่นของพันธะเมทาโครเลต (ตำแหน่งเลขคลื่นเท่ากับ 1640 เซนติเมตร⁻¹) ก่อนและหลังการเกิดพอลิเมอร์ โดยวิธีนี้ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ออกมาได้อย่างเหมาะสม¹² ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ทางตรงและทางอ้อมร่วมกันจึงทำให้รู้ทั้งปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และคุณสมบัติทางกลของวัสดุและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้ โดยมีหลายการศึกษาเลือกใช้วิธีการวัดทั้งสองรูปแบบร่วมกัน²²

การศึกษานี้ใช้ฟันกรามมนุษย์ที่มีการเตรียมโพรงฟันชนิดที่สองเป็นแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นการจำลองชิ้นงานเรซินคอมโพสิตให้ใกล้เคียงสถานการณ์ทางคลินิก²³ ซึ่งผลของการศึกษานี้พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของชิ้นงานมาจากทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษา คือ ปัจจัยจากความลึกของชิ้นงาน และปัจจัยจากวิธีการฉายแสง

วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดซินด์บาล์ฟิลล์ถูกพัฒนาให้มีความลึกในการบ่มตัวที่มากขึ้น เกิดจากการพัฒนาส่วนของมอนอเมอร์ (Monomer) วัสดุอุดแทรก (Filler) และความโปร่งแสง (Translucency) ของวัสดุ ทำให้แสงสามารถส่องถึงบริเวณส่วนลึกของวัสดุได้ รวมทั้งมีการใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง (Light initiator) ชนิดใหม่ เช่น ไอวเซอร์ิน (Ivocerin) ที่ตอบสนองต่อพลังงานจากแสงได้สูงกว่าแคมฟอร์ควิโนน (Camphorquinone) ทำให้วัสดุมีความลึกในการบ่มตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในแต่ละผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทั้งเรื่องปริมาณของวัสดุอุดแทรก ประเภทและรูปร่างของวัสดุอุดแทรก ชนิดของมอนอเมอร์ และสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง ปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งผิวของวัสดุได้²⁴ การศึกษานี้จึงได้เลือกวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดซินด์บาล์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง 2 ผลิตภัณฑ์มาทำการศึกษาคือ ฟิลเทควันบาล์ฟิลล์และเททริกเอนเซอแรมบาล์ฟิลล์

ผลการศึกษาในเรื่องปัจจัยจากความลึกของชิ้นงานพบว่า วัสดุเรซินคอมโพสิตในทุกผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกระดับความลึก ไม่ว่าจะทำการฉายแสงด้วยวิธีใด โดยชั้นวัสดุที่มีระดับความลึกมากจะมีค่าความแข็งผิวและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ลดลงสอดคล้องกับการศึกษาของ Comba และคณะ (2020) ที่พบการลดลงของค่าความแข็งผิวของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตตามระดับความลึกที่มากขึ้น²⁵ ซึ่งเหตุผลอธิบายได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า พลังงานแสงของเครื่องฉายแสงที่ส่องไปยังส่วนลึกของวัสดุจะมีค่าพลังงานต่ำลงทำให้ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ลดลงและอาจส่งผลต่อค่าความแข็งผิว²⁶ ดังนั้นการเลือกวิธีการฉายแสงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ เพื่อให้มีพลังงานแสงมากเพียงพอที่จะทำให้วัสดุในส่วนลึกเกิดการบ่มตัวจนแข็งแรงเหมาะสมกับการใช้งานภายในช่องปาก²⁷

ในเรื่องปัจจัยจากวิธีการฉายแสง โดยพิจารณาแยกตามแต่ละผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาศึกษาพบว่าฟิลเทควันบาล์ฟิลล์ที่มีการฉายแสงทางด้านบดเคี้ยวเป็นระยะเวลา 20 วินาทีรวมกับการฉายแสงเพิ่มเติมด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที (กลุ่ม D) มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมากที่สุดทั้งที่ความลึก 2 และ 4 มิลลิเมตรและมากกว่าการฉายแสงกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์นี้ทางบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำว่า ควรฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงมากกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรโดยฉายแสงทางด้านบดเคี้ยว 10 วินาทีรวมกับการฉายแสงเพิ่มเติมด้านใกล้แก้ม 10 วินาทีและด้านใกล้ลิ้น 10 วินาที (กลุ่ม C) ก็เพียงพอ แต่ผลการศึกษาพบว่ากลุ่ม C อาจมีประสิทธิภาพที่ไม่เพียงพอในการบ่มตัววัสดุที่ความลึก 4 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับกลุ่มที่มีการฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 40 วินาที (กลุ่ม B) ที่มีระยะเวลาการฉายแสงเท่ากับกลุ่ม D แต่พบว่ามีความแข็งผิวที่ความลึก 4 มิลลิเมตรน้อยกว่า ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึก 4 มิลลิเมตรของกลุ่ม B และกลุ่ม D ไม่มีความแตกต่างกันก็ตาม อาจอธิบายได้จากการที่ผลิตภัณฑ์นี้ถูกพัฒนาให้มีความทึบของวัสดุมากขึ้นจากการเปลี่ยนค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) ขณะการเกิดพอลิเมอร์²⁸ เพื่อให้มีความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติเมื่อเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดซินด์บาล์ฟิลล์โดยทั่วไปที่มักมีความโปร่งแสงสูง ซึ่งการที่วัสดุมีความทึบมากขึ้นอาจทำให้แสงเกิดการส่องผ่านและกระจายไปบริเวณโดยรอบของวัสดุได้น้อยลง²⁹ การฉายแสงทางด้านข้างเพิ่มเติมทำให้แสงส่องถึงส่วนต่าง ๆ ของวัสดุได้มากขึ้นและได้รับพลังงานมากขึ้นจากการที่ระยะของปลายกระบอกเครื่องฉายแสงใกล้วัสดุในส่วนที่ลึกจากทางด้านบดเคี้ยว

จึงส่งผลให้วัสดุเกิดการบวมมากขึ้น⁹ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ de jong และคณะ (2007) ที่พบว่าวิธีการฉายแสงด้านบดเคี้ยวร่วมกับการฉายแสงทางด้านข้างของโพรงฟันเพิ่มเติมในการบูรณะโพรงฟันชนิดที่สองด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมสามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของวัสดุเมื่อเทียบกับวิธีการฉายแสงทางด้านบดเคี้ยวเพียงอย่างเดียว³⁰ ดังนั้น วิธีการฉายแสงทางด้านข้างของโพรงฟันเพิ่มเติมด้านละ 10 วินาทีอาจมีส่วนช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์นี้ได้

สำหรับเทริกเอนเซอร์แมสคัลฟิลล์ที่ส่วนบนของชิ้นงานที่ความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตร ความลึกชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรและความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานกลุ่มที่มีการฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 20 วินาที (กลุ่ม A) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงน้อยที่สุด ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มวิธีการฉายแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่กลุ่มอื่นไม่มีความแตกต่างกันเมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรก็ให้ผลสอดคล้องกัน คือ การฉายแสงกลุ่ม A มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยที่สุดและพบว่าการฉายแสงกลุ่ม B และกลุ่ม D มีค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าการฉายแสงกลุ่ม A และ C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยเกี่ยวกับวิธีการฉายแสงของผลิตภัณฑ์นี้ ระยะเวลาในการฉายแสงอาจส่งผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ได้มากกว่าทิศทางของการฉายแสง ซึ่งอธิบายได้จากปัจจัยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ จากการปรับมอนอเมอร์และวัสดุอุดแทรกให้เหมาะสมต่อการผ่านของแสงไปส่วนที่ลึกของวัสดุ ส่งผลให้วัสดุมีความโปร่งแสงมาก³¹ ซึ่งจากการศึกษาของ Kim และคณะ (2014) ก็พบความสัมพันธ์ของความโปร่งแสงและความแข็งแรงของวัสดุด้วย³² และอีกปัจจัยหนึ่งอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์นี้มีการใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดใหม่คือ ไอวโอเซอริน ซึ่งเป็นสารที่ตอบสนองต่อพลังงานจากแสงได้สูงกว่าแคมฟอร์ควิโนน โดยการใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงหลายชนิดร่วมกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะต่อแสงกว้างขึ้น มีความไวต่อแสงและมีการตอบสนองต่อพลังงานแสงได้มากขึ้น³³ การศึกษานี้ได้เลือกใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นแสงมากกว่าหนึ่งความยาวคลื่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 385-515 นาโนเมตรที่มีการสร้างแสงสีม่วงเพิ่มขึ้น และมีความจำเพาะกับช่วงความยาวคลื่นของไอวโอเซอริน ดังนั้น จากทั้งสองเหตุผลที่กล่าวมาทำให้แสงสามารถไปถึงส่วนที่ลึกของวัสดุได้ดี มีการตอบสนองต่อแสงมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากวิธีการฉายแสงกลุ่ม B ที่มีระยะเวลาฉายแสงนานส่งผลให้วัสดุมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูง แต่ในกลุ่มที่มีการฉายแสงทางด้านข้างร่วมด้วยในระยะเวลาเท่ากันไม่ได้ส่งผลให้วัสดุมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่สูงขึ้น

ฟิลเทคแซด350เอกซ์ที่เป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มควบคุมเชิงลบเพื่อดูแนวโน้มของความแข็งแรงและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของแต่ละวิธีการฉายแสง พบว่า ที่ชิ้นงานความลึก 2 มิลลิเมตร การฉายแสงกลุ่ม D มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงที่สุด ซึ่งมากกว่าการฉายแสงกลุ่ม A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม B และ C แต่ที่ความลึกของชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรทุกกลุ่มวิธีการฉายแสงไม่มีความแตกต่างทั้งค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจกล่าวได้ว่าวิธีการฉายในแต่ละวิธีส่งผลถึงความลึก 2 มิลลิเมตรได้แต่แสงอาจไม่ไปถึงที่ความลึก 4 มิลลิเมตร เนื่องจากเหตุผลในเรื่องความแตกต่างของประเภทวัสดุเรซินคอมโพสิตดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ จากที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่า วิธีการฉายแสงส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ในทุกผลิตภัณฑ์ ยกเว้นที่ความลึก 4 มิลลิเมตรของฟิลเทคแซด350เอกซ์ที่จึงปฏิเสธสมมติฐานการศึกษาข้อที่หนึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละระดับชั้นความลึกก็พบความแตกต่างของทั้งค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เมื่อเทียบในแต่ละวิธีการฉายแสงของทุกผลิตภัณฑ์จึงปฏิเสธสมมติฐานการศึกษาข้อที่สองด้วย โดยการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความแข็งแรงและอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของชิ้นงานจากทุกผลิตภัณฑ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องไปกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิต ซึ่งอธิบายได้จากระดับพลังงานจากเครื่องฉายแสงสามารถส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุผ่านปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น³⁴ ดังนั้นสมมติฐานการศึกษาข้อที่สามจึงถูกปฏิเสธเช่นกัน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของชิ้นงานที่ความลึก 4 มิลลิเมตรต่อความลึก 0 มิลลิเมตรของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบดเคี้ยวฟิลล์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ วิธีการฉายแสงทุกกลุ่มมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 แต่สำหรับอัตราส่วนความแข็งแรงพบเพียงฟิลเทควินบิลค์ฟิลล์ในวิธีการฉายแสงกลุ่ม D เท่านั้นที่มีอัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งหากพิจารณาแค่อัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เพียงค่าเดียว การฉายแสงในชิ้นงานทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์นี้ไม่ว่าจะใช้วิธีไหนก็มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึก 4 มิลลิเมตรเพียงพอ อย่างไรก็ตามวัสดุที่ถูกบูรณะในช่องปากย่อมมีโอกาสได้รับแรงบดเคี้ยวและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเป็นกรดต่างอยู่ตลอดเวลา การพิจารณาระยะการบดเคี้ยวของวัสดุแต่ละผลิตภัณฑ์จึงควรพิจารณาทั้งอัตราส่วนปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และอัตราส่วนความแข็งแรงที่เป็นตัวแทนของคุณสมบัติทางกลของวัสดุด้วย³⁵ ซึ่งวัสดุแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีการใส่ปริมาณของสารอุดแทรกไม่เท่ากัน

เช่น เทพริกเอนเซอแรมบล็คฟิลล์มีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อยกว่าฟิลเทควันบล็คฟิลล์ ถึงแม้ว่าเหตุผลในการใส่สารอัดแทรกที่น้อยลงเพื่อให้แสงผ่านได้มากขึ้นแต่ก็ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง³⁶ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าอัตราส่วนปริมาตรการเกิดพอลิเมอร์เกินร้อยละ 80 แต่อัตราส่วนความแข็งแรงไม่ถึงร้อยละ 80 อาจต้องพิจารณาเลือกวิธีการฉายแสงที่เหมาะสมและอาจทำการฉายแสงเพิ่มเติมจากบริษัทผู้ผลิตเพื่อให้เกิดการบ่มตัวอย่างเต็มที่ และเลือกใช้งานทางคลินิกอย่างระมัดระวัง เช่น เลือกใช้ในโพรงฟันขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปหรือไม่รับแรงบดเคี้ยวมากนักเนื่องจากวัสดุอาจมีคุณสมบัติทางกลที่ไม่สูงมากแม้จะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอ

การศึกษานี้เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ศึกษาปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงยังมีข้อจำกัดในเรื่องการจำลองสภาวะการใช้งานจริงในช่องปาก และการศึกษานี้ อาจจะไม่สามารถเป็นตัวแทนของวัสดุในแต่ละประเภทได้ทั้งหมดเนื่องจากเลือกวัสดุเรซินคอมโพสิตมาทั้งหมด 3 ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งการเลือกใช้งานวัสดุเรซินคอมโพสิตในช่องปากยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึงนอกจากการพิจารณาปัจจัยจากปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งแรงด้วย เช่น คุณสมบัติเชิงกลอื่นๆของวัสดุ ความเค้นจากการหดตัวของวัสดุภายหลังการฉายแสง ซึ่งส่งผลเสียต่อการบ่มฟันได้³⁷ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้พบว่าการบ่มโพรงฟันชนิดที่สองด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบล็คฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงร่วมกับเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรและวิธีการฉายแสงที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ทำให้วัสดุมีประสิทธิภาพในการใช้งานทางคลินิกได้ ทั้งนี้ หากรูปแบบของโพรงฟันมีความแตกต่างออกไป เช่น โพรงฟันมีขนาดใหญ่ออกไปหลายด้าน มีความลึกมาก หรืออาจมีอุปสรรคที่ทำให้ปลายกระบอกเครื่องฉายแสงไม่สามารถใกล้กับโพรงฟันได้ อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการฉายแสงให้เหมาะสมมากขึ้น ซึ่งเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาต่อไปว่ารูปแบบโพรงฟันที่เปลี่ยนแปลงไปควรมีวิธีการฉายแสงอย่างไรจะทำให้วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบล็คฟิลล์มีค่าความแข็งแรงและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอในระยะเวลาที่เหมาะสม รวมถึงการศึกษาทางคลินิกในอนาคต

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้พบว่าวิธีการฉายแสงส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการฉายแสงที่ด้านบดเคี้ยวของฟันเพียงด้านเดียวเป็นระยะเวลา 20 วินาทีของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบล็คฟิลล์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ที่ความลึก 4 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคแบบนูนและค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิด

พอลิเมอร์น้อยกว่าวิธีการฉายแสงกลุ่มอื่นและพบแนวโน้มนี้ในวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่มีความลึก 2 มิลลิเมตรเช่นกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยมีเพียงฟิลเทควันบล็คฟิลล์ที่ฉายแสงกลุ่ม D ที่มีความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ รวมทั้งยังพบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคแล่อตราส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ความลึกชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อความลึกชิ้นงาน 0 มิลลิเมตรจากชิ้นงานเรซินคอมโพสิตทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงรูปแบบพลังงานสูงในการบ่มโพรงฟันชนิดที่สองด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตอาจต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการศึกษาอาจพิจารณาการฉายแสงเพิ่มเติมจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากพบว่าการฉายแสงที่นานขึ้นส่งผลให้วัสดุมีการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งแรงสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ทญ.ดร.สรนันท์ จันทรางศุ ผู้ที่ให้การปรึกษาและแนะนำด้านการใช้สถิติในงานวิจัย รวมถึง ดร.พงศ์พันธ์ จินดาอุดม และ น.ส.ฉาติศา มูลเหล็ก จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติที่มีส่วนในการช่วยเหลือที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Mackenzie L, Parmar D, Shortall AC, Burke FJ. Direct anterior composites: a practical guide. *Dent Update* 2013;40(4):297-9,301-2,5-8.
2. Sabbagh J, McConnell RJ, McConnell MC. Posterior composites: Update on cavities and filling techniques. *J Dent* 2017;57:86-90.
3. Yanikian C, Yanikian F, Sundfeld D, Lins R, Martins L. Direct composite resin veneers in nonvital teeth: a still viable alternative to mask dark substrates. *Oper Dent* 2019;44(4):159-66.
4. Campodonico CE, Tantbirojn D, Olin PS, Versluis A. Cuspal deflection and depth of cure in resin-based composite restorations filled by using bulk, incremental and transtooth-illumination techniques. *J Am Dent Assoc* 2011;142(10):1176-82.
5. Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dent Mater* 2008;24(11):1501-5.
6. Sampaio CS, Garces GA, Kolakarnprasert N, Atria PJ, Giannini M, Hirata R. External marginal gap evaluation of different resin-filling techniques for class II restorations-a micro-CT and SEM analysis. *Oper Dent* 2020;45(4):167-75.
7. Rizzante FAP, Duque JA, Duarte MAH, Mondelli RFL, Mendonca G, Ishikiriama SK. Polymerization shrinkage, microhardness and depth of cure of bulk fill resin composites. *Dent Mater J* 2019;38(3):403-10.
8. Cidreira Boaro LC, Pereira Lopes D, de Souza ASC, Lie Nakano E, Ayala Perez MD, Pfeifer CS, et al. Clinical performance and chemical-

physical properties of bulk fill composites resin-a systematic review and meta-analysis. *Dent Mater* 2019;35(10):249-64.

9. Catelan A, de Araujo LS, da Silveira BC, Kawano Y, Ambrosano GM, Marchi GM, *et al.* Impact of the distance of light curing on the degree of conversion and microhardness of a composite resin. *Acta Odontol Scand* 2015;73(4):298-301.

10. Yu P, Yap A, Wang XY. Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites. *Oper Dent* 2017;42(1):82-9.

11. Salz U, Bock T. Testing adhesion of direct restoratives to dental hard tissue - a review. *J Adhes Dent* 2010;12(5):343-71.

12. Par M, Gamulin O, Marovic D, Klaric E, Tarle Z. Raman spectroscopic assessment of degree of conversion of bulk-fill resin composites--changes at 24 hours post cure. *Oper Dent* 2015;40(3):92-101.

13. Yap AU, Pandya M, Toh WS. Depth of cure of contemporary bulk-fill resin-based composites. *Dent Mater J* 2016;35(3):503-10.

14. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater* 2014;30(2):149-54.

15. Demarco FF, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater* 2012;28(1):87-101.

16. Putzeys E, Nys S, Cokic SM, Duca RC, Vanoirbeek J, Godderis L, *et al.* Long-term elution of monomers from resin-based dental composites. *Dent Mater* 2019;35(3):477-85.

17. Demarco FF, Collares K, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Should my composite restorations last forever? Why are they failing? *Braz Oral Res* 2017 Aug;28:31:56.

18. Xu T, Li X, Wang H, Zheng G, Yu G, Wang H, *et al.* Polymerization shrinkage kinetics and degree of conversion of resin composites. *J Oral Sci* 2020;62(3):275-80.

19. Torres SA, Silva GC, Maria DA, Campos WR, Magalhaes CS, Moreira AN. Degree of conversion and hardness of a silorane-based composite resin: effect of light-curing unit and depth. *Oper Dent* 2014;39(3):137-46.

20. International Organization for Standardization. ISO 4049:2019 (en) Dentistry—resin-based filling materials. Geneva: ISO; 2019.

21. 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.

22. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, *et al.* Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater* 2015;31(3):293-301.

23. Erickson RL, Barkmeier WW. Comparisons of ISO depth of cure for a resin composite in stainless-steel and natural-tooth molds. *Eur J Oral Sci* 2019;127(6):556-63.

24. de Oliveira DC, de Menezes LR, Gatti A, Correr Sobrinho L, Ferracane JL, Sinhoreti MA. Effect of nanofiller loading on cure efficiency and potential color change of model composites. *J Esthet Restor Dent* 2016;28(3):171-7.

25. Comba A, Scotti N, Maravic T, Mazzoni A, Carossa M, Breschi L, *et al.* Vickers hardness and shrinkage stress evaluation of low and high viscosity bulk-fill resin composite. *Polymers (Basel)* 2020;12(7).

26. Harlow JE, Rueggeberg FA, Labrie D, Sullivan B, Price RB. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites. *J Dent* 2016;53:44-50.

27. AlQahtani MQ, Michaud PL, Sullivan B, Labrie D, AlShaafi 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.

28. Bin Nooh AN, Al Nahedh H, AlRefeai M, AlKhudhairi F. The effects of irradiance on translucency and surface gloss of different bulk-fill composite resins: an *in vitro* study. *Clin Cosmet Investig Dent* 2020;12:571-9.

29. Gaglianone LA, Lima AF, Araujo LS, Cavalcanti AN, Marchi GM. Influence of different shades and LED irradiance on the degree of conversion of composite resins. *Braz Oral Res* 2012;26(2):165-9.

30. de Jong LC, Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JJ, Wolke JG, Geitenbeek B. The effectiveness of different polymerization protocols for class II composite resin restorations. *J Dent* 2007;35(6):513-20.

31. Son SA, Park JK, Seo DG, Ko CC, Kwon YH. How light attenuation and filler content affect the microhardness and polymerization shrinkage and translucency of bulk-fill composites? *Clin Oral Investig* 2017 Mar;21(2):559-65.

32. Kim EH, Jung KH, Son SA, Hur B, Kwon YH, Park JK. Effect of resin thickness on the microhardness and optical properties of bulk-fill resin composites. *Restor Dent Endod* 2015;40(2):128-35.

33. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. The photoinitiators used in resin based dental composite-a review and future perspectives. *Polymers (Basel)* 2021;13(3):470.

34. Erickson RL, Barkmeier WW, Halvorson RH. Curing characteristics of a composite - part 1: cure depth relationship to conversion, hardness and radiant exposure. *Dent Mater* 2014;30(6):125-33.

35. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-fill composites: a review of the current literature. *J Adhes Dent* 2017;19(2):95-109.

36. Rodriguez A, Yaman P, Dennison J, Garcia D. Effect of light-curing exposure time, shade, and thickness on the depth of cure of bulk fill composites. *Oper Dent* 2017;42(5):505-13.

37. Ferracane JL, Hilton TJ. Polymerization stress--is it clinically meaningful? *Dent Mater* 2016;32(1):1-10.