

## บทวิทยากร

ความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาค ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง

Translucency, Degree of Conversion and Microhardness of High Viscosity Bulk-Fill Resin Composites

นภสร พรพิทักษ์สุข<sup>1</sup>, วาริณี ศรีมหาโชค<sup>1</sup>, บุญทริก นียติวัฒน์ชาญชัย<sup>1</sup>

Napasorn Pornpithaksuk<sup>1</sup>, Varinee Srimahachota<sup>1</sup>, Boondarick Niyatiwatchanchai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ ฟิลเทควันบัลค์ฟิลล์ และโซนิคฟิลล์ทู เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมคือวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฟิลเทคแซต350เอกซ์ที และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปรทดสอบโดยเตรียมชิ้นงานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร กลุ่มละ 5 ชิ้นงาน โดยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงจะทำการฉายแสงเพียงครั้งเดียวที่ความหนา 4 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมจะทำการฉายแสงทีละชั้น ชั้นละ 2 มิลลิเมตร ตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ วัดความโปร่งแสงจากค่าทรานส์ลูเซนซีฟารามิเตอร์ วัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การเปรียบเทียบเชิงพหุคูณชนิดทูคีย์ และการทดสอบสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า ชนิดกลุ่มตัวอย่างส่งผลต่อความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าวัสดุกลุ่มเททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ มีความโปร่งแสงมากที่สุด ( $2.69 \pm 0.51$ ) และมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ร้อยละ  $65.13 \pm 3.97$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงกลุ่มอื่น แต่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ร้อยละ  $57.62 \pm 2.54$ ) วัสดุกลุ่มโซนิคฟิลล์ทูมีความโปร่งแสงน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $1.11 \pm 0.11$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงกลุ่มอื่น แต่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $0.92 \pm 0.17$ ) และมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยที่สุด (ร้อยละ  $47.54 \pm 5.14$ ) พบว่ามีเพียงกลุ่มเททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ ที่มีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร (อัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุมากกว่า 0.8) พบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง 3 ผลิตภัณฑ์ ( $p < 0.05$ ) จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงที่ทึบแสงเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่ำลงที่ระดับ 4 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้พบว่ามีเพียงกลุ่มเททริกเอนเซอแรมบัลค์ฟิลล์ ที่มีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูน, ความโปร่งแสง, ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์, วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง

## Abstract

The objective of this study was to evaluate the translucency, degree of conversion and microhardness of three high viscosity bulk-fill resin composites (Tetric® N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill and SonicFill™2) in comparison to conventional resin composite (Filtek™ Z350XT) as the control group. The correlations between three variables were analyzed. Five cylindrical specimens (7 mm diameter and 4 mm height) were fabricated for each material (n=5). The high viscosity bulk-fill resin composites were polymerized at 4 mm thickness and the conventional resin composite was polymerized at each 2 mm thickness followed the manufacturer's recommendations. Translucency was evaluated by translucency parameter. Degree of conversion was determined using Fourier transform infrared spectroscopy and microhardness was measured by a Knoop microhardness tester. Data were analyzed using one-way ANOVA, Tukey HSD test and Pearson's correlation at confidential level of 95 %. Translucency, degree of conversion and microhardness were significantly different among the groups ( $p<0.05$ ). Tetric® N-Ceram Bulk Fill exhibited the highest translucency ( $2.69 \pm 0.51$ ) and significantly highest degree of conversion ( $65.13 \pm 3.97$  %) compared to other high viscosity bulk-fill resin composites but not significantly different from the control group ( $57.62 \pm 2.54$  %). SonicFill™2 exhibited significantly lowest translucency ( $1.11 \pm 0.11$ ) compared to other high viscosity bulk-fill resin composites but not significantly different from the control group ( $0.92 \pm 0.17$ ) and lowest degree of conversion ( $47.54 \pm 5.14$  %). Only Tetric® N-Ceram Bulk Fill showed acceptable depth of cure (bottom-to-top microhardness ratio $>0.8$ ) at 4 mm. Translucency, degree of conversion and microhardness of three high viscosity bulk-fill resin composites were correlated ( $p<0.05$ ). From the results of this study, more opaque high viscosity bulk-fill resin composites demonstrated lower degree of conversion at 4 mm depth. Tetric® N-Ceram Bulk Fill was the only bulk-fill resin composite which had acceptable depth of cure at 4 mm.

**Keywords:** Knoop microhardness, Translucency, Degree of conversion, High viscosity bulk-fill resin composites

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

นภสร พรพิทักษ์สุข ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-218-8795 โทรศัพท์มือถือ 089-118-4711 อีเมล [napasorn1212@gmail.com](mailto:napasorn1212@gmail.com)

Correspondence to :

Napasorn Pornpithaksuk, Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Pathumwan, Bangkok, 10330 Thailand. Tel: 02-218-8795, 089-118-4711 Email: [napasorn1212@gmail.com](mailto:napasorn1212@gmail.com)

## บทนำ

ในปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยวัสดุสีเหมือนฟันเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง วัสดุเรซินคอมโพสิต (resin composite) ได้รับความนิยมในการนำมาใช้บูรณะฟันหลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสีสวยงามเหมือนฟัน สามารถเตรียมโพรงฟันด้วยวิธีที่อนุรักษ์เนื้อฟันได้เมื่อมีการใช้งานร่วมกับสารยึดติด (bonding agent) จะช่วยให้วัสดุเกิดการยึดติดกับฟันและช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างฟัน

ที่เหลืออยู่ได้ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาส่วนประกอบต่าง ๆ จนวัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถใช้บูรณะฟันหลังในโพรงฟันที่มีขนาดใหญ่ ในบริเวณที่รับแรง หรือใช้บูรณะในฟันที่มีการสูญเสียปุ่มฟันได้ โดยมีการศึกษาที่สนับสนุนความสำเร็จของการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตในการบูรณะในโพรงฟันชนิดคลาส 1 และ 2 ในระยะยาว<sup>1</sup>

อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตบูรณะฟันให้ประสบความสำเร็จนั้น จำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน เช่น การป้องกันความชื้นไม่ให้เข้ามาบนแป้นในโพรงฟันขณะบูรณะ การบูรณะทีละชั้น (incremental technique) โดยแต่ละชั้นไม่ควรมีความหนาเกิน 2 มิลลิเมตรเพื่อให้สามารถฉายแสงได้ทั่วถึง<sup>2</sup> และทำให้ปฏิกิริยาการบ่มตัวของวัสดุเรซินคอมโพสิตหรือปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติโดยรวมของวัสดุดีขึ้น นอกจากนี้บางการศึกษา ยังเชื่อว่าการบูรณะทีละชั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของวัสดุภายหลังปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage stress) และลดการบิดเบี้ยวของปุ่มฟัน (cuspal deflection) ที่เกิดขึ้นภายหลังปฏิกิริยาก่อตัวของวัสดุได้<sup>3,4</sup> ซึ่งขั้นตอนการบูรณะทีละชั้นนั้นทำให้สิ้นเปลืองเวลาทั้งในขั้นตอนการบูรณะและการฉายแสง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดระหว่างการบูรณะฟันแต่ละชั้น ได้แก่ การเกิดฟองอากาศ (voids) หรือการปนเปื้อน (contamination) ระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิต ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุในระยะยาวได้

เรซินคอมโพสิตจึงเป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองการใช้งานของทันตแพทย์ วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ (Bulk-fill resin composite) ได้ถูกคิดค้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยสามารถบูรณะเป็นชั้นเดียวด้วยความหนาที่มากขึ้นถึง 4-5 มิลลิเมตร<sup>5</sup> จึงช่วยประหยัดเวลาในการบูรณะและลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการบูรณะได้ นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตยังแนะนำว่าสามารถลดความเครียดที่เกิดจากการหดตัวภายหลังปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและการบิดเบี้ยวของปุ่มฟันที่เกิดขึ้นอีกด้วย<sup>6</sup>

การปรับปรุงองค์ประกอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้มีระดับความลึกในการบ่มตัว (depth of cure) ของวัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์มีความโปร่งแสง (translucency) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์ และมีความโปร่งแสงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม<sup>7,8</sup> จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้งานในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม ปัจจุบันมีการคิดค้นและผลิตวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ที่บริษัทผู้ผลิตอ้างว่ามีความโปร่งแสงลดลง จึงมีความสวยงามและโปร่งแสงใกล้เคียงกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม โดยที่ยังมีระดับความลึกในการบ่มตัวที่มากถึง 5 มิลลิเมตร

ความโปร่งแสงของวัสดุ เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอไร (degree of conversion) และระดับ

ความลึกในการบ่มตัวของวัสดุเรซินคอมโพสิต ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางชีวภาพ และอายุการใช้งานของวัสดุ<sup>9,10</sup> โดยวัสดุที่มีความโปร่งแสงมากจะเกิดการส่องผ่านของแสงที่มาก จึงมีปริมาณการเกิดพอลิเมอไรและระดับความลึกในการบ่มตัวที่มาก<sup>11</sup> จึงเป็นที่น่าสนใจว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ที่ถูกปรับปรุงให้มีความโปร่งแสงที่ลดลง จะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอไร และระดับความลึกในการบ่มตัวที่แตกต่างไปจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ตัวอื่น ๆ และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมหรือไม่

ปัจจุบันมีการศึกษามากมายเกี่ยวกับปริมาณการเกิดพอลิเมอไร และระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ โดยพบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์จะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอไรและระดับความลึกในการบ่มตัวที่หลากหลายและแตกต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์<sup>12,13,14</sup> มีการศึกษาที่พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ มีปริมาณการเกิดพอลิเมอไรอยู่ในช่วงร้อยละ 71.3-86.1 โดยมีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ทางคลินิกที่ระดับ 4 มิลลิเมตร<sup>15</sup> ในขณะที่บางการศึกษาพบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ มีปริมาณการเกิดพอลิเมอไรอยู่ในช่วงร้อยละ 41.26-69.86 โดยบางผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอไรที่ยอมรับได้ทางคลินิกที่ระดับต่ำกว่า 4 มิลลิเมตร<sup>16</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอไร และระดับความลึกในการบ่มตัวโดยดูจากค่าความเข้มผิวระดับจุลภาค ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงที่บริษัทผู้ผลิตอ้างว่ามีการปรับปรุงความโปร่งแสงให้ใกล้เคียงกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมยังมีอยู่จำกัด จึงเป็นที่มาของการวิจัยครั้งนี้ โดยมีสมมติฐานของงานวิจัย ได้แก่ วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง มีความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอไร และความเข้มผิวระดับจุลภาค ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่าง 3 ตัวแปร

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย**

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงทั้งหมด 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill กลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill กลุ่ม SonicFill™2 และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT (แสดงในตารางที่ 1) รวมมีชิ้นงานทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้นงาน (n=5)

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้การศึกษ

Table 1 Description of materials used in this study

Material	Lot no.	Shade	Type	Filler	Resin matrix	Filler content (%wt/%vol)	Maximum thickness	Light curing protocol
Tetric <sup>®</sup> N-Ceram Bulk Fill	Y02738	IVA	Nano-hybrid	Barium aluminium silicate glass (0.4 µm and 0.7 µm), Ytterbium trifluoride (200 nm), Spherical mixed oxide (160 nm)	Dimethacrylates (Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA)	62.5 (17% prepolymerized) /61	4 mm	- 20 sec (output ≥ 500 mW/cm <sup>2</sup> ) - 10 sec (output ≥ 1000 mW/cm <sup>2</sup> )
(Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein)								
Filtek <sup>™</sup> One Bulk Fill (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	NA36641	A3	Nanofill	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), AUD-MA, UDMA and 1, 12-dodecane-DMA	76.5/58.5	4 mm (Class I)	- 40 sec (output 550-1000mW/cm <sup>2</sup> ) - 20 sec (output 1000-2000mW/cm <sup>2</sup> )
SonicFill <sup>™</sup> 2 (Kerr; Orange, CA, USA)	7132970	A3	Nanofill	Zirconium oxide, silica oxide particle	Bis-GMA, TEG-DMA, Bis-EMA	81.3/ unreported	5 mm	- 20 sec (output ≥ 650 mW/ cm <sup>2</sup> ) - 10 sec (output ≥ 1000 mW/cm <sup>2</sup> )
Filtek <sup>™</sup> Z350XT (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	N962809	A3B	Nanofill	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 400-1000mW/cm <sup>2</sup> ) - 10 sec (output 1000-2000mW/cm <sup>2</sup> )

เตรียมชิ้นงานโดยใช้แม่พิมพ์แบบอะคริลิกรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร วางลงบน แผ่นแก้ว จากนั้นใส่วัสดุแต่ละกลุ่มลงในแม่พิมพ์ โดยจะใส่วัสดุ เรซินคอมโพสิตชนิดบิลด์คัพที่กลุ่มที่มีความหนืดสูงเป็นชั้นเดียว ให้เต็ม ถ้าจัดวัสดุส่วนเกินออกโดยปิดทับด้วยแผ่นแก้วความหนา 1 มิลลิเมตร ทำการฉายแสงที่ด้านบนชิ้นงานด้วยเครื่องฉายแสง (Light curing unit; Bluephase N<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสง 1,200 มิลลิวัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20 วินาที โดยวางให้ปลายหน้าตัด เครื่องฉายแสงตั้งฉากกับชิ้นงานและชิดบนแผ่นแก้ว ส่วนวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมจะใส่วัสดุที่ละเอียด ชั้นละ 2 มิลลิเมตร โดยจะทำการกำหนดจุดความสูง 2 มิลลิเมตรไว้ในแม่พิมพ์แบบ ปิดทับ ด้านบนของแม่พิมพ์แบบด้วยแผ่นแก้วความหนา 1 มิลลิเมตร แล้วทำการฉายแสงวัสดุที่ละเอียดด้วยเครื่องฉายแสง ที่ความเข้มแสง 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20 วินาที ทำการวัด ความเข้มแสงโดยเครื่องวัดความเข้มแสง (100, Optilux, Kerr, USA) ทุกครั้งชั่วโมงระหว่างการเตรียมชิ้นงาน ดันชิ้นงานออกจากแม่แบบ ด้วยนิ้วมือและทำสัญลักษณ์ที่ด้านบนของวัสดุ จะได้ชิ้นงานทั้งหมด จำนวน 20 ชิ้นงาน เก็บในภาชนะควบคุมความชื้นสำหรับเก็บชิ้นงาน (Dessicator) ในสภาวะมืด ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ความโปร่งแสง ปริมาณการเกิด พอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ

**การวัดความโปร่งแสง**

วัดค่าสีของแต่ละวัสดุที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจากระบบสี CIELAB แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 บนพื้นหลังขาว (L\* = 99.5, a\* = -0.14, b\* = -0.09) และดำ (L\* = 1.38, a\* = 0.00, b\* = 0.06) ด้วยเครื่องวัดและเทียบสี (Spectrophotometer; Ultrascan Pro, Hunter Lab, USA) ที่รูรับแสง 4 มิลลิเมตร โดย ก่อนการวัดค่าสีจะทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องด้วยบ ล็อกมาตรฐานสีขาวและดำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้น ทำการวัดค่าสีชิ้นงานละ 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณหาดัช นีความโปร่งแสง (Translucency parameter: TP) จากสมการ

$$TP = [(L_w^* - L_b^*)^2 + (a_w^* - a_b^*)^2 + (b_w^* - b_b^*)^2]^{1/2}$$

โดย L\* ใช้กำหนดค่าความสว่าง เมื่อ L = 0 คือสีดำ L = 100 คือสีขาว a\* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว เมื่อ +a\* คือสีแดง - a\* คือ สีเขียว b\* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน เมื่อ +b\* คือสีเหลือง - b\* คือสีน้ำเงิน W คือค่าสีของวัสดุที่ได้จากพื้นหลังสีขาว และ B คือ ค่าสีของวัสดุที่ได้จากพื้นหลังสีดำ<sup>17</sup>

**การวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์**

วัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์บริเวณด้านใต้วัสดุที่มีความ หนา 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปก

โตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer – FTIR-ATR; Model Spectrum 1, Perkin Elmer USA) ในช่วงสเปกตรัม 400-4,000 cm<sup>-1</sup> บันทึก 64 สแกนที่ความละเอียด 4 cm<sup>-1</sup> ทำการ วัดค่าสเปกตรัมของพันธะคู่ของคาร์บอนในวัสดุเรซินคอมโพสิต แต่ละกลุ่มก่อนและหลังฉายแสง แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละของ ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (%DC) จากสมการ

$$\%DC = 1 - \left[ \frac{\text{cured}(1638 \text{ cm}^{-1}/\text{internal standard})}{\text{uncured}(1638 \text{ cm}^{-1}/\text{internal standard})} \right] \times 100$$

เมื่อ cured คือ ความสูงของยอดกราฟในวัสดุหลังฉายแสง และ uncured คือ ความสูงของยอดกราฟในวัสดุก่อนฉายแสงที่ ค่าสเปกตรัม 1638 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นสเปกตรัมของพันธะคู่ของคาร์บอน แบบอะลิฟาติก (aliphatic C=C) และ internal standard คือความสูง ของยอดกราฟ ที่ค่าสเปกตรัม 1608 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นสเปกตรัมของ พันธะคู่ของคาร์บอนแบบอะโรมาติก (aromatic C=C)<sup>18,19</sup> ส่วน กลุ่มที่มีเรซินเมทริกซ์ชนิด UDMA (UDMA-based resin system) จะใช้ความสูงของยอดกราฟ ที่ค่าสเปกตรัม 1600 cm<sup>-1</sup> ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill<sup>20</sup>

**การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค**

วัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนรูป บริเวณใต้วัสดุและ บริเวณพื้นผิววัสดุ ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค (Micro hardness tester; FM810, FUTURE-TECH, Japan) โดยใช้หัวกดเพชรนูนรูป (Knoop diamond) ให้แรงกดที่ 10 กรัม เป็นเวลา 20 วินาที<sup>12</sup> กดลงบนวัสดุทั้งบริเวณพื้นผิวและบริเวณใต้วัสดุ บริเวณละ 3 ตำแหน่ง โดยห่างจากขอบชิ้นงาน 1.75 มิลลิเมตร และ มีระยะห่างแต่ละตำแหน่ง 1.75 มิลลิเมตร ทำการวัดขนาดรอยกด ภายใต้อำนาจขยาย 20 เท่า แล้วนำมาคำนวณค่าความแข็งผิวระดับ จุลภาคแบบนูนรูป (KHN) จากสมการ

$$KHN = CP \times (L/I^2)$$

เมื่อ L คือแรงกด หน่วยเป็นกิโลกรัม (Load applied: kg) I คือความยาวของรอยกด หน่วยเป็นมิลลิเมตร (Indentation length: mm) และ CP คือค่าคงที่ของพื้นที่รอยกดเท่ากับ 14.2 จะได้ค่าความแข็ง ผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุ ความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณพื้นผิว วัสดุ และอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อ บริเวณพื้นผิววัสดุ (bottom-to-top microhardness ratio) โดย อัตราส่วนควรจะมีค่า ≥ 0.8 จึงเป็นที่ยอมรับได้<sup>21</sup>

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

สถิติชาปีโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) ในการทดสอบ การแจกแจงของข้อมูล ร่วมกับการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของ ความแปรปรวน (Homogenous of variance test) ข้อมูลมีการ แจกแจงปกติใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ในการวิเคราะห์ผลของชนิดกลุ่มตัวอย่างต่อความ

โปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ตามด้วยการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณชนิดทุคีย์ (Tukey HSD post-hoc analysis) ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปร ด้วยสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS for mac version 22.0) ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

### ผลการศึกษา

ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่า ชนิดกลุ่มตัวอย่างส่งผลต่อความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่ม ได้ผลดังนี้

#### ความโปร่งแสง

จากการคำนวณหาค่าดัชนีความโปร่งแสงที่บริเวณพื้นผิวชิ้นงาน พบว่ากลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีความโปร่งแสงมากที่สุด ( $2.69 \pm 0.51$ ) และกลุ่ม Filtek™ Z350XT มีความโปร่งแสงน้อยที่สุด ( $0.92 \pm 0.17$ ) โดยกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill และ

กลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill ( $1.92 \pm 0.38$ ) มีความโปร่งแสงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีความโปร่งแสงมากกว่ากลุ่ม SonicFill™ 2 ( $1.11 \pm 0.11$ ) และกลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่ากลุ่ม SonicFill™ 2 และกลุ่ม Filtek™ Z350XT มีความโปร่งแสงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์

จากการคำนวณหาร้อยละของปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่ากลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากที่สุด (ร้อยละ  $65.13 \pm 3.97$ ) และกลุ่ม SonicFill™ 2 มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยที่สุด (ร้อยละ  $47.54 \pm 5.14$ ) โดยกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากกว่ากลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill (ร้อยละ  $48.36 \pm 4.80$ ) และ SonicFill™ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่แตกต่างจากกลุ่ม Filtek™ Z350XT (ร้อยละ  $57.62 \pm 2.54$ ) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างจากกลุ่ม SonicFill™ 2 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่ากลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 2 แสดงค่าความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาค ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ 3 ผลิตภัณฑ์ และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดตั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์

Table 2 Shows mean  $\pm$  SD of translucency, degree of conversion and bottom-to-top microhardness ratio in each group

	TP	%DC	B/T microhardness
Tetric® N-Ceram Bulk Fill	$2.69 \pm 0.51^A$	$65.13 \pm 3.97^A$	$0.81 \pm 0.04^A$
Filtek™ One Bulk Fill	$1.92 \pm 0.38^A$	$48.36 \pm 4.80^B$	$0.76 \pm 0.09^{A,B}$
SonicFill™ 2	$1.11 \pm 0.11^B$	$47.54 \pm 5.14^B$	$0.68 \pm 0.07^B$
Filtek™ Z350XT	$0.92 \pm 0.17^B$	$57.62 \pm 2.54^A$	$0.87 \pm 0.06^A$

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

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

TP: Translucency parameter, %DC: %Degree of conversion, B/T: Bottom-to-top

#### ความแข็งผิวระดับจุลภาค

จากการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนบริเวณพื้นผิววัสดุ พบว่ากลุ่ม Filtek™ Z350XT มีความแข็งผิวระดับจุลภาคมากที่สุด ( $50.65 \pm 6.22$ ) โดยแตกต่างจากกลุ่ม SonicFill™ 2 ( $48.41 \pm 3.67$ ) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยที่สุด ( $35.65 \pm 4.01$ ) โดยแตกต่างจากกลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill ( $40.52 \pm 4.27$ ) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนบริเวณใต้วัสดุ พบว่ากลุ่ม Filtek™ Z350XT

มีความแข็งผิวระดับจุลภาคมากที่สุด ( $44.00 \pm 3.32$ ) โดยแตกต่างจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยที่สุด ( $28.75 \pm 3.35$ ) โดยแตกต่างจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงทุกกลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากการหาอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุ พบว่ากลุ่ม Filtek™ Z350XT มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคมากที่สุด ( $0.87 \pm 0.06$ ) และกลุ่ม SonicFill™ 2 มี

อัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยที่สุด ( $0.68 \pm 0.07$ ) โดยมีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยกว่ากลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill ( $0.81 \pm 0.04$ ) และกลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคแตกต่างจากกลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill ( $0.76 \pm 0.09$ ) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™

One Bulk Fill มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคแตกต่างจากกลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากการศึกษาพบว่ามีเพียงกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill และกลุ่ม Filtek™ Z350XT ที่มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8

**ตารางที่ 3** แสดงค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนบริเวณพื้นผิว บริเวณใต้วัสดุ และอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบิลค์ฟิลล์ 3 ผลิตภัณฑ์ และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์

**Table 3** Shows mean  $\pm$  SD of microhardness in each group

	KHN	Top	Bottom (4mm)	Bottom/Top
Tetric® N-Ceram Bulk Fill		$35.65 \pm 4.01^A$	$28.75 \pm 3.35^A$	$0.81 \pm 0.04^A$
Filtek™ One Bulk Fill		$40.52 \pm 4.27^A$	$30.74 \pm 2.78^A$	$0.76 \pm 0.09^{AB}$
SonicFill™ 2		$48.41 \pm 3.67^B$	$32.93 \pm 4.61^A$	$0.68 \pm 0.07^B$
Filtek™ Z350XT		$50.65 \pm 6.22^B$	$44.00 \pm 3.32^B$	$0.87 \pm 0.06^A$

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

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

KHN : Knoop microhardness

**ตารางที่ 4** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปร ของทุกกลุ่ม

**Table 4** Correlation between translucency, degree of conversion and bottom-to-top microhardness of every group

		Translucency	Degree of conversion	B/T Microhardness
Translucency	Pearson's R	1	0.454	-0.036
	<i>p</i>		0.044	0.882
Degree of conversion	Pearson's R	0.454	1	0.547
	<i>p</i>	0.044		0.013
Microhardness	Pearson's R	-0.036	0.547	1
	<i>p</i>	0.882	0.013	

$p < 0.05$  แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

$p < 0.05$  Correlation is significant

B/T: Bottom-to-top

**ตารางที่ 5** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปร ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบิลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง

**Table 5** Correlation between translucency, degree of conversion and bottom-to-top microhardness of High viscosity bulk-fill resin composites

		Translucency	Degree of conversion	B/T Microhardness
Translucency	Pearson's R	1	0.704	0.591
	<i>p</i>		0.003	0.020
Degree of conversion	Pearson's R	0.704	1	0.707
	<i>p</i>	0.003		0.003
Microhardness	Pearson's R	0.591	0.707	1
	<i>p</i>	0.020	0.003	

$p < 0.05$  แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

$p < 0.05$  Correlation is significant

B/T: Bottom-to-top

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ด้วยสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสง กับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน 0.454 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.3 - 0.5 จึงจัดเป็นความสัมพันธ์ระดับต่ำ และพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดพอลิเมอร์กับความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน 0.547 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 - 0.7 จึงจัดเป็นความสัมพันธ์ระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคเมื่อทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลของทุกวัสดุ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาเพียงกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ กลุ่มที่มีความหนืดสูง จะพบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สันอยู่ในช่วง 0.5 - 0.7 จึงจัดเป็นความสัมพันธ์ระดับปานกลาง

### บทวิจารณ์

วัสดุที่มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูง จะมีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางชีวภาพ และอายุการใช้งานของวัสดุที่ยาวนานขึ้น<sup>9,10</sup> ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ประกอบด้วยหลายปัจจัย ทั้งปัจจัยภายใน เช่น ความโปร่งแสงของวัสดุ ชนิด ขนาดและปริมาณของฟิลเลอร์ ความหนืดของเรซินมอนอเมอร์ ชนิดและปริมาณของสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) และปัจจัยภายนอก เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการฉายแสง เป็นต้น การปรับปรุงให้วัสดุมีระดับความลึกในการบ่มตัวที่มากขึ้นเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ขึ้นกับความโปร่งแสงของวัสดุเช่นเดียวกับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ โดยวัสดุที่มีความโปร่งแสงมากจะเกิดการส่องผ่านของแสงที่มาก จึงมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และระดับความลึกในการบ่มตัวที่มากขึ้นตามมา<sup>11</sup>

จากผลการศึกษาพบว่า ชนิดกลุ่มตัวอย่างส่งผลต่อความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จึงปฏิเสธสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง มีความโปร่งแสง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และความแข็งผิวระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และปริมาณการเกิดพอลิเมอร์กับความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคเมื่อทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลของทุกวัสดุ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาเพียงกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิต

ชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง จะพบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ( $p < 0.05$ ) จึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่าง 3 ตัวแปรเพียงบางส่วน

วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill กลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill กลุ่ม SonicFill™2 เนื่องจากเป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงที่มีจำหน่ายอยู่ทั้งหมดในประเทศไทย ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานมีการปิดทับด้านบนด้วยแผ่นแก้วความหนา 1 มิลลิเมตรก่อนทำการฉายแสงชิ้นงาน เพื่อเป็นการกำจัดวัสดุส่วนเกินออกและทำให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการขัดผิว อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นแก้วอาจส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุบริเวณใต้ชิ้นงานได้

การวัดความโปร่งแสงของวัสดุเรซินคอมโพสิต จากค่าดัชนีความโปร่งแสง เป็นการวัดแสงที่สะท้อนกลับผ่านเนื้อวัสดุบนพื้นหลังที่ต่างกัน โดยได้รับความนิยมในหลายการศึกษา<sup>7,22,23</sup> จัดเป็นวิธีที่มีความสอดคล้องกับการใช้งานวัสดุทางคลินิก เนื่องจากความโปร่งแสงของวัสดุบรูณะที่เห็นจากในช่องปากนั้นเกิดจากการสะท้อนแสงจากวัสดุโดยมีพื้นหลังเป็นตัวฟัน การวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สามารถวัดด้วยหลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม การใช้ฟูเรียร์ทรานฟอร์มมอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี จัดเป็นวิธีการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์โดยตรงที่ได้รับความนิยมในหลายการศึกษา<sup>12,13,16,18,20,24</sup> เนื่องจากมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยจะใช้เทคนิคในการตรวจจับแสงที่วัดระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุเรซินคอมโพสิตสามารถทำได้หลายวิธี การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (optical microscopy) และการใช้วิธีการขูดตัวอย่างวัสดุ (scraping methods) ตามมาตรฐานไอเอสโอ 4049 (2009) จัดเป็นวิธีที่ให้ระดับความลึกในการบ่มตัวที่มากเกินกว่าความเป็นจริง และการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ เป็นวิธีที่มีความไวสูงสุดในการทดสอบระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุ<sup>25</sup> อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่า การวัดความแข็งผิวเปรียบเทียบระหว่างบริเวณใต้วัสดุและบริเวณพื้นผิววัสดุ จะมีความไวในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงมากกว่าในวัสดุที่มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มาก<sup>26</sup> การศึกษานี้ได้ใช้วิธีการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนเปรียบเทียบระหว่างบริเวณใต้วัสดุและบริเวณพื้นผิววัสดุในการทดสอบระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุ เนื่องจากเป็นวิธีได้รับความนิยมในหลายการศึกษา<sup>12,21,25-29</sup> สามารถทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายไม่สูง และให้ค่าระดับความลึกในการบ่มตัวที่สอดคล้องกับการวัดปริมาณการเกิดพอลิเมอร์<sup>21,25</sup> โดยความลึกที่วัสดุมีอัตราส่วนความแข็ง

ผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 จัดเป็นระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ของวัสดุเรซินคอมโพสิต<sup>21</sup>

จากการคำนวณหาความโปร่งแสงที่บริเวณพื้นผิวชิ้นงานพบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง ได้แก่ กลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™ One Bulk Fill มีความโปร่งแสงมากกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับหลายการศึกษา<sup>8,13</sup> โดยเกิดจากการปรับปรุงองค์ประกอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์เพื่อให้มีระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุเพิ่มขึ้น โดยการทำให้วัสดุมีความโปร่งแสงเพิ่มขึ้นด้วยวิธีต่าง ๆ กันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill จะมีวัสดุอุดแทรกชนิดออกไซด์ผสม (Mixed oxide) ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเห (refractive index) ใกล้เคียงกับส่วนเรซินเมทริกซ์ ทำให้เกิดการหักเหของแสงกระตุ้นปฏิกิริยาการบ่มตัวลดลงแสงจึงส่องผ่านไปได้มากขึ้น<sup>30</sup> ส่วนกลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill นั้นตามที่ทางบริษัทผู้ผลิตได้พัฒนาให้วัสดุมีความทึบเพิ่มขึ้นภายหลังการฉายแสงให้อยู่ในช่วงใกล้เคียงวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม โดยการปรับปรุงค่าดัชนีการหักเหระหว่างส่วนของวัสดุอุดแทรกและเรซินเมทริกซ์ให้ใกล้เคียงกันตั้งแต่ก่อนฉายแสง เมื่อฉายแสงจะทำให้ส่วนเรซินเมทริกซ์หดตัวและมีค่าดัชนีการหักเหเพิ่มขึ้นจนมากกว่าส่วนวัสดุอุดแทรก ความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเหภายหลังฉายแสงทำให้วัสดุมีความโปร่งแสงลดลง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่พบว่ากลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill นั้นมีความโปร่งแสงมากกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีความโปร่งแสงแตกต่างจากกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยอาจเกิดจากการลดปริมาณวัสดุอุดแทรกเพื่อให้มีการส่องผ่านของแสงมากขึ้นของกลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill จึงทำให้วัสดุมีความโปร่งแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT จากผลการศึกษาพบว่า SonicFill™ 2 มีความโปร่งแสงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงกลุ่มอื่นๆ และแตกต่างจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สอดคล้องกับหลายการศึกษา<sup>8,13</sup> เนื่องจากกลุ่ม SonicFill™ 2 มีวัสดุอุดแทรกรูปร่างไม่เป็นระเบียบและมีปริมาณวัสดุอุดแทรกมากที่สุด จึงทำให้เกิดการสะท้อนของแสงมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความโปร่งแสงลดลง<sup>31</sup> ความโปร่งแสงของวัสดุยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดวัสดุอุดแทรก ชนิดเรซินเมทริกซ์ เป็นต้น จากการศึกษาของ Azzopardi และคณะในปี 2009<sup>33</sup> พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตที่มีฟิลเลอร์ชนิด

ซิลิกา (silica) เป็นส่วนประกอบ และมีเรซินเมทริกซ์ชนิด Bis-GMA จะมีความโปร่งแสงมากกว่ามีเรซินเมทริกซ์ชนิด UDMA และ TEGDMA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้พบว่ามีการใช้เรซินเมทริกซ์หลายตัวร่วมกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้ปัจจัยดังกล่าวมีผลน้อยกว่าปัจจัยเรื่องปริมาณและรูปร่างของวัสดุอุดแทรก

จากการคำนวณหาร้อยละของปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง ได้แก่ กลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Chiaraputt และคณะในปี 2017<sup>24</sup> และไม่แตกต่างจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill มีความโปร่งแสงมากที่สุด โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงและปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตในการศึกษานี้ นอกจากนี้วัสดุกลุ่มนี้ยังมีการปรับปรุงองค์ประกอบโดยเพิ่มสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวด้วยแสงชนิดใหม่ที่มีความไวในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างขึ้น ได้แก่ ไอโวเซอร์ริน (Ivocerin) โดยจะช่วยดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 370 ถึง 460 นาโนเมตร<sup>33</sup> เพิ่มเติมจากแคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) ที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 430 ถึง 490 นาโนเมตร<sup>34</sup> และยังมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแคมฟอร์ควิโนน<sup>35</sup> วัสดุจึงมีปฏิกิริยาการบ่มตัวที่สมบูรณ์ขึ้นในความลึกที่เพิ่มขึ้น แตกต่างจากวัสดุกลุ่มอื่นๆ ซึ่งมีสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวด้วยแสง ได้แก่ แคมฟอร์ควิโนนเป็นตัวหลักเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามควรเลือกใช้เครื่องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมกับสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาด้วยแสง โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เครื่องฉายแสงชนิดพอลิเวฟ (polywave) ได้แก่ Bluephase N® เนื่องจากมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นแสงที่ทั้งไอโวเซอร์รินและแคมฟอร์ควิโนนมีความจำเพาะ จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุกลุ่ม Filtek™ One Bulk Fill และกลุ่ม SonicFill™ 2 มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ต่ำกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ได้แก่ กลุ่ม Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อาจเกิดจากการที่วัสดุทั้งสองกลุ่มมีความโปร่งแสงที่น้อยกว่าวัสดุกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill จึงทำให้แสงส่องผ่านไปกระตุ้นกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ได้น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตรของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง พบว่ามีเพียงกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill ที่มีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร คือมีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณ

ได้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 สอดคล้องกับการศึกษาของ Bucuta และคณะในปี 2014<sup>8</sup> แต่มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Garoushi และคณะในปี 2015<sup>13</sup> ที่พบว่าวัสดุกลุ่ม Tetric<sup>®</sup> N-Ceram Bulk Fill มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุน้อยกว่า 0.8 ที่ระดับ 4 มิลลิเมตร โดยอาจเกิดจากการศึกษาข้างต้นมีการเลือกใช้เครื่องฉายแสงชนิดมอนอเวฟ (monowave) ซึ่งมีความยาวคลื่นไม่เหมาะสมกับสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ในวัสดุกลุ่ม Tetric<sup>®</sup> N-Ceram Bulk Fill จึงทำให้วัสดุมีการบ่มตัวน้อย และมีค่าอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณพื้นผิววัสดุ พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูงกลุ่ม Tetric<sup>®</sup> N-Ceram Bulk Fill มีความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยที่สุด และกลุ่ม SonicFill<sup>™</sup> 2 มีความแข็งผิวระดับจุลภาคมากที่สุด โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุอัดแทรกน้อยและมากที่สุดตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kelic และคณะในปี 2016 และ Krajangta และคณะในปี 2014<sup>36,37</sup> ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุอัดแทรกและค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ จากผลการศึกษาพบว่ากลุ่ม SonicFill<sup>™</sup> 2 มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุต่ำที่สุดและต่ำกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดตั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ทำให้มีระดับความลึกในการบ่มตัวไม่เป็นที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร (อัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุน้อยกว่า 0.8) เนื่องจากการใช้เครื่องมือที่มีการสั่นสะเทือนแบบโซนิค (sonic vibration) ทำให้ลดความหนืดของวัสดุขณะใช้งาน จึงเกิดความแนบสนิทกับโพรงฟันได้ดีในบริเวณที่ได้รับการกระตุ้น โดยความหนืดที่แตกต่างกันในแต่ละส่วนของวัสดุอาจส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งผิวของวัสดุที่แตกต่างออกไปจากการศึกษาของ Krajangta และคณะในปี 2014<sup>37</sup> พบว่าวัสดุกลุ่ม SonicFill<sup>™</sup> ที่ใช้เครื่องมือที่มีการสั่นสะเทือนแบบโซนิค มีรูปแบบของความแข็งผิวที่คงที่ช่วงความลึกหนึ่งแล้วจึงมีความแข็งผิวที่ลดลงตามระดับความลึก นอกจากนี้จากการศึกษาของ Gonçalves และคณะในปี 2018<sup>38</sup> พบว่าเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนแบบโซนิค ในส่วนใต้ของวัสดุ จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โมเลกุลต่าง ๆ เคลื่อนที่ช้าลงและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้น้อยกว่าด้านบนหรือวัสดุกลุ่มอื่นที่มีความหนืดน้อยกว่า ส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และค่าความแข็งผิวของวัสดุที่ลดลงบริเวณใต้วัสดุ

การศึกษานี้มีการเตรียมชิ้นงานวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง ให้มีความสูง 4 มิลลิเมตร และทำการ

ฉายแสงที่ความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับ 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 20 วินาที เนื่องจากเป็นความเข้มแสงและเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์<sup>14</sup> ซึ่งมากกว่าที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำในบางกลุ่ม จึงอาจส่งผลให้วัสดุกลุ่ม Tetric<sup>®</sup> N-Ceram Bulk Fill มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 ขัดแย้งกับการศึกษาของ Tarle และคณะในปี 2014<sup>12</sup> ที่พบว่าการฉายแสงด้วยความเข้มแสงและระยะเวลาดังกล่าว ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร อาจไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง โดยจากผลการศึกษาพบว่า วัสดุกลุ่ม Filtek<sup>™</sup> One Bulk Fill และกลุ่ม SonicFill<sup>™</sup> 2 มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณผิววัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุน้อยกว่า 0.8 เมื่อทำการฉายแสงที่ความเข้มแสง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 20 วินาที เพียงครั้งเดียว ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร แตกต่างจากวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดตั้งเดิม ที่มีการเตรียมชิ้นงานชิ้นละ 2 มิลลิเมตรและฉายแสงที่ละชั้น ทำให้วัสดุมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุที่มากกว่าแม้มีความโปร่งแสงน้อยที่สุด จึงไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคเมื่อทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลของทุกวัสดุ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาเพียงกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง จะพบความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงกับความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุ ( $p < 0.05$ )

การศึกษานี้มีข้อจำกัด ได้แก่ เป็นการศึกษาวิจัยแบบวิเคราะห์และทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถจำลองสภาพการใช้งานจริงทางคลินิกได้อย่างสมบูรณ์ เช่น การควบคุมระยะทางในการฉายแสงทางคลินิกอาจถูกจำกัดด้วยลักษณะทางกายวิภาคของฟัน และอาจส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุบริเวณใต้ชิ้นงานได้ จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ในระดับความลึกอื่น ๆ ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ และเทคนิคของการฉายแสงแบบอื่น ๆ ในวัสดุกลุ่มนี้เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องสีที่ส่งผลต่อความโปร่งแสงของวัสดุ<sup>39</sup> ซึ่งในการศึกษานี้ไม่ได้นำปัจจัยนี้มาวิเคราะห์ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของสีวัสดุต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ต่อไป

จากการศึกษานี้พบว่าความโปร่งแสงที่ลดลงของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง มีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุ โดยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ที่มีความโปร่งแสงลดลง ได้แก่ วัสดุกลุ่ม Filtek<sup>™</sup> One Bulk Fill และกลุ่ม SonicFill<sup>™</sup> 2 จะมี

ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ลดลงโดยต่ำกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ 4 มิลลิเมตร และมีระดับความลึกในการบ่มตัวที่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ดังนั้นจึงไม่ควรพิจารณาใช้งานในโพรงฟันที่มีความลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร หรือควรพิจารณาฉายแสงเพิ่มเติมจากที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ เพื่อให้วัสดุเกิดการบ่มตัวในระดับที่เหมาะสม<sup>40</sup> จากการศึกษาพบว่ามีเพียงกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill ที่มีความโปร่งแสงมากที่สุด มีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร จึงสามารถพิจารณาเลือกใช้โพรงฟันที่มีความลึก 4 มิลลิเมตรได้ เมื่อทำการฉายแสงที่ความเข้มแสง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 20 วินาที โดยวัสดุที่มีอัตราส่วนความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณใต้วัสดุต่อบริเวณพื้นผิววัสดุที่มากขึ้น จะช่วยลดการคงเหลืออยู่ของมอนอเมอร์ที่มากเกินไปจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งสามารถส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางชีวภาพ และอายุการใช้งานของวัสดุ<sup>9,10</sup> อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแข็งผิวระดับจุลภาคบริเวณพื้นผิววัสดุพบว่าวัสดุกลุ่มนี้มีความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นในการเลือกใช้งานบริเวณด้านบดเคี้ยว จึงแนะนำให้มีการปิดทับวัสดุด้านบดด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม โดยนอกจากจะเป็นการทำให้วัสดุบูรณะมีความใสที่ลดลงแล้วยังเพิ่มความแข็งผิวได้อีกด้วย<sup>41</sup>

### บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการนี้พบว่า การลดความโปร่งแสงของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบิลค์ฟิลล์กลุ่มที่มีความหนืดสูง สัมพันธ์กับปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และระดับความลึกในการบ่มตัวของวัสดุ โดยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบิลค์ฟิลล์ที่มีความโปร่งแสงลดลงจะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่ำกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ 4 มิลลิเมตร และมีระดับความลึกในการบ่มตัวที่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ จากงานวิจัยนี้พบว่ามีเพียงกลุ่ม Tetric® N-Ceram Bulk Fill ที่มีระดับความลึกในการบ่มตัวที่ยอมรับได้ที่ 4 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามพบว่าวัสดุกลุ่มนี้มีความแข็งผิวระดับจุลภาคน้อยที่สุด จึงควรพิจารณาให้มีการปิดทับวัสดุด้านบดด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ทศ.ดร. สรนันท์ จันทรางศุ ผู้ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำด้านการใช้สถิติในงานวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Borgia E, Baron R, Borgia JL. Quality and Survival of Direct Light-Activated Composite Resin Restorations in Posterior Teeth: A 5-to 20-Year Retrospective Longitudinal Study. *J Prosthodont* 2019; 28(1):e195-203.
- Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MC. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992; 20(3):183-8.
- 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.
- 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.
- Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater* 2014;30(2):149-54.
- Elsharkasi MM, Platt JA, Cook NB, Yassen GH, Matis BA. Cuspal Deflection in Premolar Teeth Restored with Bulk-Fill Resin-Based Composite Materials. *Oper Dent* 2018;43(1):E1-E9.
- Lassila LV, Nagas E, Vallittu PK, Garoushi S. Translucency of flowable bulk-filling composites of various thicknesses. *Chin J Dent Res* 2012;15(1):31-5.
- 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.
- Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res* 1986;20(1):121-31.
- Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil* 1994;21(4):441-52.
- Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dent Mater* 2013;29(2):139-56.
- Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Taubock TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig* 2015;19(4):831-40.
- Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. *Odontology* 2016;104(3):291-7.
- Lima RB, Troconis CC, Moreno MB, Murillo-Gómez F, De Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: A systematic review. *J Esthet Restor Dent* 2018;30(6):492-501.

15. 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):E92-101.
16. 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.
17. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont* 1995;8(1).
18. Moraes LG, Rocha RS, Menegazzo LM, de Araujo EB, Yukimito K, Moraes JC. Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites. *J Appl Oral Sci* 2008; 16(2):145-9.
19. Rueggeberg FA, Hashinger DT, Fairhurst CW. Calibration of FTIR conversion analysis of contemporary dental resin composites. *Dent Mater* 1990;6(4):241-9.
20. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater* 2013;29(9):e213-7.
21. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29(6):698-704.
22. Lee YK. Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater* 2008;24(9):1243-7.
23. 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.
24. Chiaraputt S, Limchaikul K, Luxkananukul P, Chaiyo Y. Microhardness and degree of conversion of three bulk fill resin composites in different depth. *Songklanakarin Dent J* 2017;5(2):55-63.
25. DeWald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 1987;66(3):727-30.
26. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res* 1988;67(6):932-7.
27. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieris 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.
28. 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.
29. El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent* 2014;39(4):374-82.
30. Shortall AC, Palin WM, Burtcher P. Refractive index mismatch and monomer reactivity influence composite curing depth. *J Dent Res* 2008;87(1):84-8.
31. Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Takahashi H, Ban S. Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dent Mater* 2007;26(1):38-44.
32. Azzopardi N, Moharamzadeh K, Wood DJ, Martin N, van Noort R. Effect of resin matrix composition on the translucency of experimental dental composite resins. *Dent Mater* 2009;1;25(12):1564-8.
33. Delgado AJ, Castellanos EM, Sinhoreti M, Oliveira DC, Abdulhameed N, Geraldini S, Sulaiman TA, Roulet JF. The Use of Different Photoinitiator Systems in Photopolymerizing Resin Cements Through Ceramic Veneers. *Oper dent* 2019;44(4):396-404.
34. Oliveira DC, Rocha MG, Correa IC, Correr AB, Ferracane JL, & Sinhoreti MA (2016) The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites. *Dent Mater* 2016;32(10):1209-17.
35. Moszner N, Zeuner F, Lamparth I, Fischer UK. Benzoylgermanium derivatives as novel visible-light photoinitiators for dental composites. *Macromol Mater Eng* 2009;10;294(12):877-86.
36. Kelic K, Matic S, Marovic D, Klaric E, Tarle Z. Microhardness of Bulk-Fill Composite Materials. *Acta Clin Croat* 2016;55(4):607-14.
37. Krajangta N, Klaisiri A, Toopsuwan P, Engboonmeskul T, Khosrisut A. Vickers Microhardness Comparison of Bulk Fill Resin Composites in Various Depth. *J Dent Assoc Thai* 2014;64(2):59-70.
38. Goncalves F, Campos LMP, Rodrigues-Junior EC, Costa FV, Marques PA, Francci CE, et al. A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Braz Oral Res* 2018;32:e17.
39. Yu B, Lee YK. Influence of color parameters of resin composites on their translucency. *Dent Mater* 2008;24(9):1236-42.
40. Par M, Repusic I, Skenderovic H, Milat O, Spajic J, Tarle Z. The effects of extended curing time and radiant energy on microhardness and temperature rise of conventional and bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig* 2019;23(10):3777-88.
41. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent* 2014;42(8):993-1000.