

ผลของความหนาต่อความสามารถในการรับแรงของการรวมกันระหว่างเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น

กนกกาญจน์ ขอรรัตน์* อบุชาติ ศรีจันบาล** ปุฉิวรรณ กอวงษ์** บุญทริก นิตย์วัฒน์ชาญชัย*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของความหนาของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นที่มีต่อความสามารถในการรับแรงของวัสดุ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ เอเวอร์ฟลิว (everX Flow, GC Corporation, Tokyo, Japan) ซึ่งเป็นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นที่ใช้เป็นโครงสร้างฐาน (substructure) และ จีเนียล โพสทีเรียรี่ (G-aenial Posterior, GC corporation, Tokyo, Japan) ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ใช้เป็นวัสดุปิดทับ ทดสอบในชิ้นงานจำนวน 40 ชิ้น เตรียมเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด 5 x 5 x 4 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามความหนาของวัสดุที่ใช้ปิดทับคือ ความหนา 1, 2, 3, และ 4 มิลลิเมตร ทำการวัดความสามารถในการรับแรง (load-bearing capacity) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดที่มีหัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดตั้งฉากกับพื้นผิวชิ้นงานจนเกิดการแตกหัก แล้วตรวจสอบการแตกหัก (fracture pattern) ในแต่ละชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สถิติความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) แล้วเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทดสอบหลังการวิเคราะห์ของทูเก้ (Tukey's Post-hoc test) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95

ผลการศึกษา: ความหนาของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีผลต่อความสามารถในการรับแรงของวัสดุ โดยชิ้นงานในกลุ่มที่มีความหนาของวัสดุปิดทับ 1 มิลลิเมตร มีค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวัสดุกลุ่มนี้มีการแตกแบบทั้งก่อนน้อยที่สุด การแตกส่วนใหญ่เป็นการแตกแบบบางส่วนที่สามารถซ่อมแซมได้

สรุป: กลุ่มความหนาของวัสดุที่ใช้ในการปิดทับหนา 1 มิลลิเมตร มีความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดเนื่องจากวัสดุส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น ซึ่งวัสดุมีคุณสมบัติในการกระจายแรงกระจายความเครียดและหยุดรอยร้าวได้ดี

คำสำคัญ: คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น เรซินคอมโพสิต วัสดุปิดทับเรซินคอมโพสิต ความสามารถในการรับแรง

วันที่รับ: 14 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่แก้ไข: 18 พฤษภาคม 2566

วันที่ตอบรับ: 31 พฤษภาคม 2566

*ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ ทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

**ศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

The Effect of Thickness on Load-Bearing Capacity of Combined Conventional Resin Composite and Short Fiber-Reinforced Composite

Kanokkarn Khorat* Anucharte Srijunbarl** Puliwan Gorwong**
Boondarick Niyatiwatchanchai*

Abstract

Objective: To evaluate the effect of the thickness of conventional resin composite and short fiber-reinforced composite on load-bearing capacity.

Materials and Methods: Two resin composites were used in this study. Short fiber-reinforced composite (everX Flow, GC corporation, Tokyo, Japan) was used as the substructure and conventional resin composite (G-ænial Posterior, GC corporation, Tokyo, Japan) was used as the overlying layer for a total of 40 specimens with 5 x 5 x 4 mm dimension cuboid shape. There were four experimental groups according to the thickness of the top layer which were 1, 2, 3, and 4 mm respectively. Load-bearing capacity of the specimens were determined by a universal testing machine with a 2-mm diameter crosshead. The crosshead was moved perpendicularly to the specimens until fractured. The fracture patterns were further investigated by using a stereomicroscope. The data were statistically analyzed with one-way ANOVA and Tukey's Post-hoc test to determine the mean differences of the load-bearing capacity among the experimental groups. The significance level was indicated at 0.05. Results: The thickness of the conventional resin composite and short fiber-reinforced composite affected the load-bearing capacity of the restoration. The 1-mm group significantly had the highest load-bearing capacity compared with other groups ($p < 0.05$) and partial fractures in this group were mostly reparable.

Conclusion: The covering conventional resin composite of 1-mm thickness had the highest load-bearing capacity. This could be explained by the increase in the remaining space for short fiber-reinforced composite which contributes to force distribution, stress distribution and crack arrest.

Keywords: Short fiber-reinforced composite, Resin composite, Capping materials, Overlying resin composite, Load-bearing capacity

Received Date: Feb 14, 2023

Revised Date: May 18, 2023

Accepted Date: May 31, 2023

*Department Of Operative Dentistry, Faculty Of Dentistry, Chulalongkorn University 34 Henri Dunant Rd., Wang Mai, Pathum Wan, Bangkok, 10330, Thailand.

**Dental R&D Center Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University 34 Henri Dunant Rd., Wang Mai, Pathum Wan, Bangkok 10330, Thailand.

บทนำ (Introduction)

เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่นิยมใช้เพื่อบูรณะฟัน เนื่องจากมีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ มีความแข็งแรงที่ยอมรับได้ มีการสึก การดูดน้ำและการละลายตัวต่ำ มีความทึบรังสี อีกทั้งยังอนุรักษ์โครงสร้างของฟันเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดและยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของฟันที่ยังเหลืออยู่ (1) และด้วยการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของเรซินคอมโพสิตควบคู่ไปกับการเพิ่มความสวยงาม ทำให้ในปัจจุบันเรซินคอมโพสิตได้กลายมาเป็นวัสดุหลักในการบูรณะฟัน (material of choice) (2) แต่อย่างไรก็ตามวัสดุเรซินคอมโพสิตก็ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการที่ส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะ โดยสาเหตุหลักของความล้มเหลวในการบูรณะฟันหลังด้วยเรซินคอมโพสิตมักเกิดจากการแตกของวัสดุทั้งก้อน (bulk fracture) (3) ซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุมีความแข็งแรงที่ไม่เพียงพอ (4,5) จึงเป็นที่มาของการพยายามพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เพื่อลดความล้มเหลวจากการแตกหัก

การเพิ่มความแข็งแรงในเรซินคอมโพสิตสามารถทำได้หลากหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการนำเส้นใยแก้ว (glass fiber) มาใช้เป็นวัสดุอัดแทรก (filler) เพื่อเสริมความแข็งแรงของวัสดุ เกิดเป็นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced composite) ซึ่งได้ถูกคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ.1960 โดย Smith และคณะ (6) แต่ในขณะนั้นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยยังไม่เป็นที่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของวิธีการนำเส้นใยมาใช้ร่วมกับเรซิน เพราะมีความยุ่งยากในการใช้งาน จนในปี ค.ศ.2013 มีการนำเสนอคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น (short fiber-reinforced composite) แบบสำเร็จรูปออกมาสู่ท้องตลาด ซึ่งใช้สำหรับบูรณะฟันโดยตรง โดยใส่เส้นใยชนิดสั้นให้เป็นส่วนหนึ่งของวัสดุอัดแทรกผสมอยู่ในส่วนของพอลิเมอร์เมทริกซ์ สามารถนำมาใช้ทดแทนส่วนของชั้นเนื้อฟันในโพรงฟันขนาดใหญ่ได้ (7) ในแง่ของการใช้งานทางคลินิกคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นจำเป็นต้องมีวัสดุชนิดอื่นปิดทับทั้งด้านบนและด้านข้าง (ในกรณีที่บูรณะโพรงฟันชนิดคลาสซุ) เพื่อไม่ให้วัสดุ

สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายในช่องปากโดยตรง เพราะวัสดุมีอัตราการดูดน้ำที่สูงหากสัมผัสกับความชื้นภายในช่องปาก นอกจากนั้นวัสดุยังมีความแข็งผิวและความต้านทานการสึกต่ำ ไม่เหมาะที่จะรับแรงจากการบดเคี้ยวโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีวัสดุที่สามารถชดเชยข้อด้อยดังกล่าวปิดทับอยู่ด้านบน (capping material) โดยวัสดุที่นิยมใช้ปิดทับมักเป็นวัสดุกลุ่มคอมโพสิตที่มีอนุภาคเป็นวัสดุอัดแทรก (particulate filler composite) ชนิดต่าง ๆ เช่น เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เป็นต้น (7-10)

โดยบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นกับโพรงฟันที่มีความลึกตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไปและต้องมีส่วนของวัสดุปิดทับเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมหนา 1-2 มิลลิเมตร บริเวณด้านบดเคี้ยว และหนา 0.5 มิลลิเมตร บริเวณด้านประชิด (8,9) แต่ในหลายการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการทดสอบความสามารถในการรับแรงโดยใช้วัสดุปิดทับที่ความหนาต่างกันด้วยเหตุผลที่แตกต่างกันออกไป โดยมีผลการศึกษาที่พบว่าเมื่อเลือกใช้เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุปิดทับความหนา 0.5-1 มิลลิเมตร ให้ค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุด และยังคงพบว่ายังลดความหนาของชั้นวัสดุปิดทับลง จะยิ่งส่งผลให้วัสดุมีค่าความสามารถในการรับแรงเพิ่มมากขึ้น (7,11-13) สอดคล้องกับการศึกษาของ Garoushi และคณะ ปี 2006 พบว่าเมื่อวัสดุปิดทับมีความหนา 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุด (14) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่สนับสนุนให้ใช้วัสดุปิดทับที่มีความหนา 1.5-2 มิลลิเมตร โดยให้เหตุผลว่าเป็นการเลียนแบบโครงสร้างของฟัน (mimic tooth structure) โดยที่วัสดุปิดทับควรมีคุณสมบัติเสมือนชั้นเคลือบฟันที่มีความหนาตามธรรมชาติเฉลี่ย 1.5-2 มิลลิเมตร แล้วบริเวณที่เหลือจึงควรเป็นส่วนของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นซึ่งเปรียบเสมือนชั้นเนื้อฟัน (15-17) ในทางตรงกันข้ามมีการศึกษาที่พบว่าการบูรณะฟันด้วยวัสดุสองชนิดเลียนแบบโครงสร้างฟันธรรมชาติกลับให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างกับการบูรณะด้วยวัสดุชนิดเดียว (18,19) เมื่อพิจารณารูปแบบของการ

แตกหัก พบว่าการศึกษาที่แนะนำให้ใช้วัสดุปิดทับที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร พบการแตกส่วนใหญ่เป็นการแตกแบบบางส่วน (Partial fracture) ที่สามารถซ่อมแซมได้ซึ่งเป็นการล้มเหลวที่พึงประสงค์มากกว่าในทางคลินิกแต่วัสดุปิดทับที่ความหนาอื่นจะมีการแตกแบบซ่อมแซมไม่ได้เป็นส่วนใหญ่ (14) ชัดแย้งกับการศึกษาของ Omran และคณะ ในปี 2019 ที่พบว่าในกลุ่มที่วัสดุปิดทับมีความหนา 2 มิลลิเมตร พบการแตกแบบบางส่วนมากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มที่วัสดุปิดทับหนา 1 และ 1.5 มิลลิเมตร (13)

ในปัจจุบันจึงยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดเกี่ยวกับความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ใช้ปิดทับและความหนาของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นว่าควรมีค่าเท่าใดจึงจะทำให้วัสดุมีความสามารถในการรับแรงหรือมีความทนทานต่อการแตกหักมากที่สุด จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความหนาของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นต่อความสามารถในการรับแรงของวัสดุ โดยมีสมมติฐานหลักของการศึกษา คือ ความหนาของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นไม่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงของวัสดุ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (Materials and Methods)

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นซึ่งมีรายละเอียดของผลิตภัณฑ์และวิธีการใช้งานตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำดังแสดงในตารางที่ 1

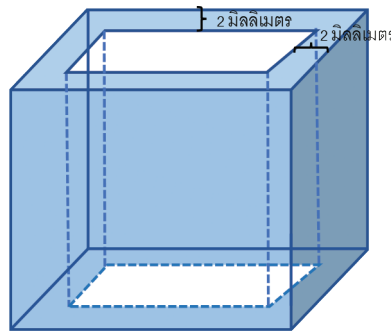
ตารางที่ 1 รายละเอียดของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตและวิธีการใช้งานตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำที่ใช้ในการศึกษา (8,20)

Table 1. Manufacturers' information of materials used in this study (8,20).

Materials	Shade	Type	Filler	Resin matrix	Filler content	Maximum thickness	Light curing protocols	Young's modulus (GPa)
G-ænial Posterior	A3	Nanohybrid	Fumed silica, Silica, Strontium, Fluoro-alumino-silicate, pre-polymerized fillers averaging 16-17 µm	UDMA, dimethacrylate co-monomers	77% wt, 65%vol	2 mm	20 sec (Halogen/LED>700 mW/cm2)	8.2
everX Flow	Bulk shade	Flowable short fiber-reinforced composite	E-glass fibers (140µm,Ø6µm), Barium glass, Silicon dioxide	Bis-MEPP (15-25%), TEGDMA (1-10%), UDMA (1-10%)	70% wt (fiber filler 42-52% wt)	5.5 mm	20 sec (Halogen/LED, >700 mW/cm2)	11.4

การเตรียมแบบสำหรับหล่อชิ้นงาน

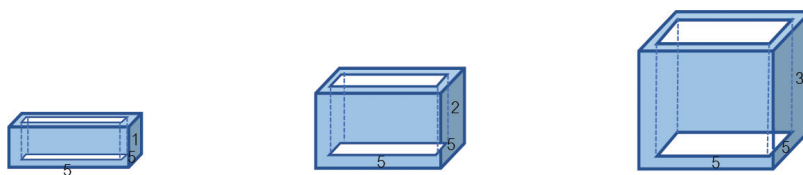
จัดทำแบบสำหรับหล่อชิ้นงานด้วยซิลิโคนใส ชั้นรูปเป็นทรงสี่เหลี่ยมภายในกลวง สำหรับเป็นที่อยู่ของวัสดุ มีความหนา 2 มิลลิเมตรโดยรอบ



รูปที่ 1 แบบสำหรับหล่อชิ้นงาน

Fig 1. Specimen mold with dimensions in millimeters.

ทำแบบสำหรับหล่อชิ้นงานทั้งหมด 3 ขนาด โดยช่องภายในที่กลวงมีขนาด 5 x 5 x 1 มิลลิเมตร, 5 x 5 x 2 มิลลิเมตรและ 5 x 5 x 3 มิลลิเมตร



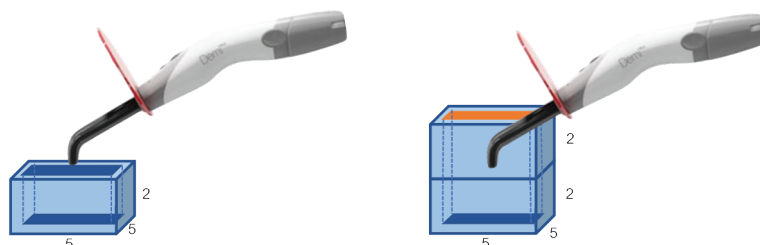
รูปที่ 2 แบบสำหรับหล่อชิ้นงานทั้ง 3 ขนาดที่ใช้ในการทดลอง

Fig 2. Three sizes of specimen molds.

การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีขนาด 5 x 5 x 4 มิลลิเมตร ซึ่งได้มาจากการอุดวัสดุให้เต็มภายในแบบสำหรับหล่อชิ้นงานจำนวน 2-3 ชั้นมาต่อกัน เพื่อลดบัพจ้ยกวนระหว่างระยะห่างจากปลายกระบอกรีดเครื่องฉายแสงถึง

วัสดุ โดยทำการอุดภายในแบบสำหรับหล่อชิ้นงานแรก ให้เต็มและฉายแสงก่อน จากนั้นนำแบบสำหรับหล่อชิ้นงานชั้นถัดมาวางทับบนชั้นแรก ให้รูกลวงภายในอยู่ตรงกันและขอบของแบบเสมอกัน จากนั้นอุดวัสดุลงในแบบชั้นที่สองให้เต็ม ดังภาพตัวอย่าง



รูปที่ 3 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานโดยใช้แบบสำหรับหล่อชิ้นงานสองชั้นวางซ้อนกัน

Fig 3. Specimen preparation: Stacking two molds together.

วิธีการอุดจะเริ่มจากการวางแบบสำหรับหล่อชิ้นงานลงบนกระดาษปิดสไลด์ขนาด 22 x 22 มิลลิเมตร ใส่วัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดสอบ โดยขั้นแรกจะใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นอัดเพื่อเป็นโครงสร้างฐาน ตัวแทนของวัสดุคือเอเวอร์เอ็กซ์โฟลว ใส่วัสดุจนเต็มแบบสำหรับหล่อชิ้นงาน ทำการฉีวัสดุออกจากหลอดให้เต็มแบบสำหรับหล่อชิ้นงานในครั้งเดียว เพื่อลดการเกิดช่องว่างระหว่างชั้นกรณีฉีหลายครั้งแล้วใช้เครื่องมือบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิต (Composite filling instrument; CVIPC, Hu-Friedy, CA, USA) ปาดวัสดุส่วนเกินออก ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที โดยใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED Curing light Demi Plus, Kerr, CA, USA) มีความเข้มของแสง 1,100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ปลายกระบอของเครื่องฉายแสงจะวางตั้งฉากกับชิ้นงานและวางให้ครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด (ปลายกระบอของเครื่องฉายแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สามารถครอบคลุมชิ้นงานที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 5 x 5 มิลลิเมตรได้ทั้งหมด) วางปลายกระบอของเครื่องฉายแสงให้ชิดกับชิ้นงานมากที่สุดแต่ไม่ให้สัมผัสกับวัสดุ เมื่อฉายแสงเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำแบบสำหรับหล่อชิ้นงานขึ้นที่ 2 วางบนชั้นแรก โดยให้ขอบของแบบทุกด้านเสมอกันและช่องว่างตรงกลางตรงกัน จากนั้นใช้เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมเป็นวัสดุปิดทับ ตัวแทนของวัสดุคือจีเนียลโพลีทีเรียรี่ ทำการอุดจนเต็มโดยนำวัสดุใส่เข้าไปในแบบหล่อชิ้นงานเพียงครั้งเดียวด้วยเครื่องมือบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิต แล้วใช้กระจกปิดสไลด์กดให้แน่นเพื่อลดการเกิดช่องว่างระหว่างชั้น จากนั้นฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที โดยให้ปลายกระบอของเครื่องฉายแสงวางตั้งฉากกับชิ้นงานและวางให้ครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด วางปลายกระบอของเครื่องฉายแสงให้ชิดกับกระจกปิดสไลด์แล้วจึงทำการฉายแสง โดยวิธีดังกล่าวข้างต้นใช้สำหรับกลุ่มที่มีวัสดุปิดทับความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ส่วนกลุ่มที่มีวัสดุปิดทับหนา 3 มิลลิเมตร และกลุ่มควบคุมที่มีเฉพาะเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมทั้งชิ้นหนา 4 มิลลิเมตร ทำการอุดแต่ละชั้นให้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (เนื่องจากจีเนียล โพลีทีเรียรี่ มีค่า

ความลึกในการบ่มตัว 2 มิลลิเมตร) ทำการอุดชั้นแรกตามวิธีการข้างต้น คือใส่วัสดุลงในแบบหล่อชิ้นงานเพียงครั้งเดียวจนเต็ม ใช้เครื่องมือบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตกดและปาดวัสดุส่วนเกินออก จากนั้นฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที หลังจากฉายแสงให้วางแบบสำหรับหล่อชิ้นงานขึ้นถัดมาที่มีขนาดตรงตามความหนาที่ต้องการ ตรวจสอบขอบและช่องว่างตรงกลางของแบบว่าวางเสมอกันทุกด้าน จากนั้นทำการอุดชิ้นงานจนเต็ม ใช้กระจกปิดสไลด์กดให้แน่น วางปลายกระบอของเครื่องฉายแสงให้ชิดกับกระจกปิดสไลด์แล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที โดยมีการวัดความเที่ยงตรงของเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (LED Radiometer; DEMITRON, Kerr, Orange, CA, USA) ก่อนการเตรียมชิ้นงานแต่ละครั้ง และวัดซ้ำทุกครั้ง ชั่วโมงในระหว่างการเตรียมชิ้นงาน โดยเครื่องฉายแสงต้องมีความเข้มแสงที่วัดได้ 1,100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นขีดส่วนเกินของชิ้นงานให้เรียบเสมอไปกับขอบของแบบสำหรับหล่อชิ้นงานด้วยเครื่องขีดผิววัสดุ (Nano 2000, Pace technologies, AZ, USA) ด้วยกระดาษทรายความละเอียด 1,200 กริต ทำการขัดเปียก (wet ground) ทำการกดเบา ๆ เป็นเวลา 5 วินาที แกะชิ้นงานออกจากแบบสำหรับหล่อชิ้นงาน ตรวจสอบให้แน่ใจว่าชิ้นงานสามารถวางตั้งได้อย่างมั่นคงในระหว่างการทดสอบ แล้วนำมาวัดความหนาของชิ้นงานที่ได้ด้วยเครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล (Digital vernier caliper, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) ให้มีขนาด 5 x 5 x 4 มิลลิเมตร (อัตราความคลาดเคลื่อน ± 0.1 มิลลิเมตร) เมื่อได้ขนาดที่ต้องการแล้ว นำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope, SZ61, OLYMPUS, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อดูว่าพื้นผิวของชิ้นงานมีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีรูพรุนขนาดใหญ่ รอยร้าว และการแตกหัก จากนั้นเก็บชิ้นงานในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, CONTHERM 160M, CONTHERM scientific Ltd., WLG, New Zealand) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ชิ้นงานทั้งหมดจะถูกเตรียมให้

เสร็จภายในวันเดียวกัน แล้วเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิพร้อมกัน จากนั้นวันถัดมานำชิ้นงานทั้งหมดออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิพร้อมกัน ซับให้แห้ง แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการรับแรงของชิ้นงาน

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

ทำการแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 4 กลุ่ม ตามความหนาที่แตกต่างกันของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (จีเนียล โพลทีเรียร์) โดยมีความหนา 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น (เอเวอร์เอ็กซ์ โพลว) โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวนชิ้นงานกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างการทดลอง

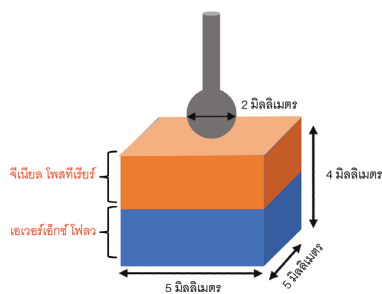
Table 2. Testing groups.

กลุ่ม	ความหนาของ จีเนียล โพลทีเรียร์ (มิลลิเมตร)	ความหนาของ เอเวอร์เอ็กซ์ โพลว (มิลลิเมตร)	ภาพชิ้นงาน	จำนวน (n)
G1EX3	1	3		10
G2EX2	2	2		10
G3EX1	3	1		10
G4EX0 กลุ่มควบคุม (Control)	4	0		10

การวัดความสามารถในการรับแรง

นำชิ้นงานกลุ่มที่ 1 ถึง 4 ออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิและซับด้วยกระดาษซับให้แห้ง ทดสอบความสามารถในการรับแรงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (Universal Testing Machine Instron 8872, INSTRON, MA, USA) นำชิ้นงานวางบนแท่นยึด แล้วกดด้วยหัวกดเหล็กกล้าไร้สนิมทรงกลม (stainless steel ball) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความเร็ว 1 มิลลิเมตร

ต่อนาที ในแนวตั้งตั้งฉากกับพื้นผิวของชิ้นงาน กดตรงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก โดยดัดแปลงจากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Garoushi และคณะ ที่ทำการทดลองเพื่อหาความสามารถในการรับแรงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (14,16) จากนั้นบันทึกค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหัก (N) และบันทึกรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4 การทดสอบความสามารถในการรับแรงของวัสดุ
Fig 4. Demonstrated load-bearing capacity test of the material.

รูปแบบการแตกหัก

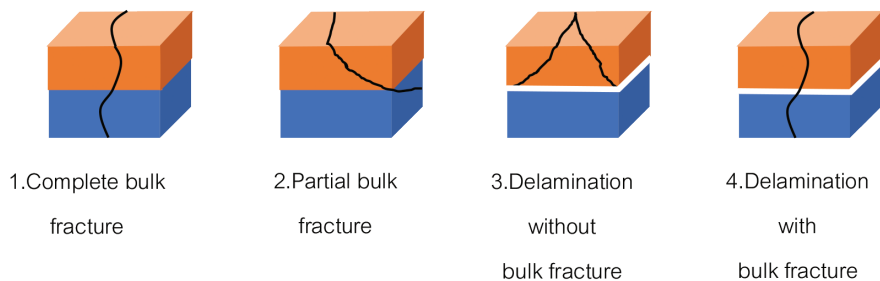
ตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า (visual examination) ร่วมกับการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ที่กำลังขยาย 40 เท่า จากการศึกษาส่วนใหญ่ได้จำแนกรูปแบบการแตกหักออกเป็น 4 ชนิด (12,13,15,17,21) ดังนี้

1. การแตกแบบทั้งก้อน (complete bulk fracture) เป็นการแตกของวัสดุทั้งก้อนตั้งแต่ส่วนของชั้นที่ใช้ปิดทับลงมาจนถึงวัสดุส่วนโครงสร้างฐานทั้งชั้น

2. การแตกแบบบางส่วน (partial bulk fracture) เป็นการแตกของวัสดุในชั้นของวัสดุปิดทับลามลงมาจนถึงชั้นโครงสร้างฐานบางส่วน

3. การแตกแบบแยกชั้น (delamination without bulk fracture) เป็นการแตกเฉพาะส่วนของชั้นวัสดุปิดทับโดยแยกชั้นออกมาจากชั้นโครงสร้างฐาน

4. การแตกแบบแยกชั้นร่วมกับการแตกแบบทั้งก้อน (delamination with bulk fracture) เป็นการแตกในส่วนของชั้นวัสดุปิดทับโดยแยกชั้นออกมาจากโครงสร้างฐานและรอยแตกลามเข้ามาถึงชั้นของโครงสร้างฐานด้วย โดยในชั้นโครงสร้างฐานจะแตกทั้งชั้นหรือแตกเพียงบางส่วนก็ได้



รูปที่ 5 รูปแบบการแตกหักชนิดต่างๆ
Fig 5. Different types of fracture.

โดยรูปแบบของการแตกหักจะสามารถบ่งบอกได้ว่าวัสดุนั้นเกิดความล้มเหลวจากสาเหตุใด เช่น หากเกิดจากความแข็งแรงที่ไม่เพียงพอ วัสดุจะเกิดการแตกแบบทั้งก้อน หากวัสดุชั้นล่างมีความสามารถในการต้านทานรอยร้าวได้ดี วัสดุชั้นบนจะเกิดการแตกกระเพาะออกบางส่วน นอกจากนั้นการแตกของวัสดุยังสามารถบอกความสามารถในการซ่อมแซมของวัสดุว่าสามารถทำได้หรือไม่ เช่น การแตกแบบบางส่วนหรือการแตกแบบแยกชั้น ย่อมมีโอกาสในการซ่อมแซมได้มากกว่าการแตกแบบทั้งก้อน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการรับแรง โดยนำค่าที่ได้ของชิ้นงานแต่ละชิ้น มาหาค่าเฉลี่ยรวมในแต่ละกลุ่มการศึกษา แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรงด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจึงใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรง แล้วทำการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทดสอบหลังการวิเคราะห์ของทูคี (Tukey's Post-hoc test) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ทุกสถิติคำนวณที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดลอง (Results)

ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานในแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาความหนาของวัสดุปิดทับที่แตกต่างกัน พบความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของค่าเฉลี่ยความสามารถในการรับแรงในทุกกลุ่ม ยกเว้นกลุ่มที่วัสดุปิดทับมีความหนา 3 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตรที่มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่มีวัสดุปิดทับหนา 1 มิลลิเมตร

มีค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 1,784.20 นิวตัน ในขณะที่กลุ่มวัสดุปิดทับความหนา 4 มิลลิเมตร มีค่าความสามารถในการรับแรงต่ำที่สุดมีค่าเฉลี่ย 1,278.60 นิวตัน

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานที่มีความหนาของวัสดุปิดทับที่แตกต่างกัน

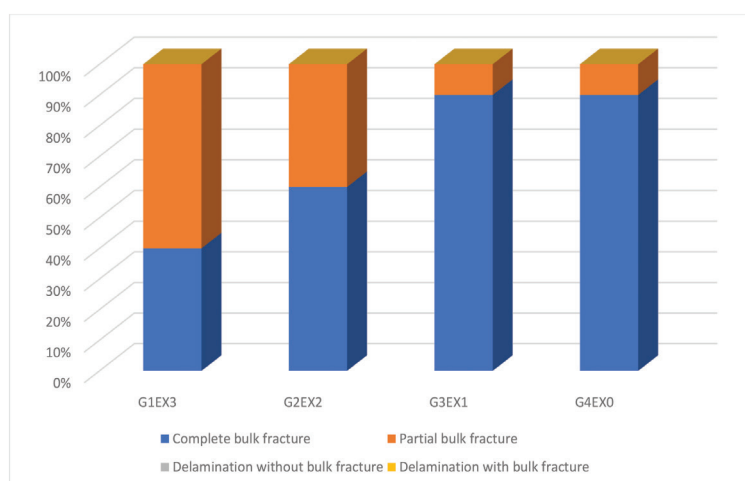
Tabel 3. Mean load-bearing capacity (n) of the specimens in different capping material thicknesses.

Mean (SD) of load-bearing capacity			
Capping material thickness			
1 mm (G1EX3)	2 mm (G2EX2)	3 mm (G3EX1)	4 mm (G4EX0)
1784.20 (95.65)A	1549.26 (201.15)B	1305.89 (180.12)C	1278.60 (177.95)C

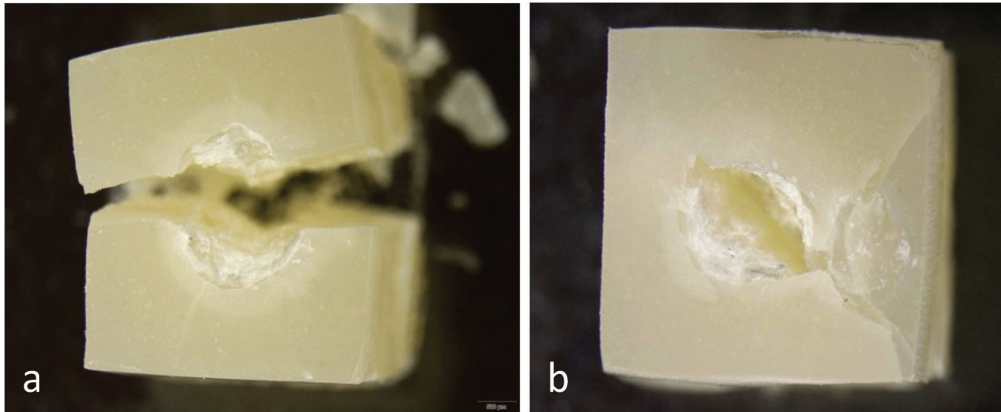
The same superscript letters represent non-statistically significant differenced ($p > 0.05$) among the groups

ส่วนค่าของร้อยละการแตกหักในรูปแบบต่าง ๆ นั้น พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีการแตกหักเกิดขึ้นเพียง 2 รูปแบบ คือ การแตกแบบทั้งก้อนและการแตกแบบบางส่วน โดยกลุ่มที่วัสดุปิดทับมีความหนา 1 มิลลิเมตร มีการแตกแบบทั้งก้อนคิดเป็นร้อยละ 40 และแตกแบบบางส่วนร้อยละ 60 ส่วนกลุ่มที่วัสดุปิดทับมีความหนา

2 มิลลิเมตร มีการแตกแบบทั้งก้อนร้อยละ 60 และแตกแบบบางส่วนร้อยละ 40 ส่วนกลุ่มที่วัสดุปิดทับหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร มีรูปแบบการแตกเหมือนกัน คือ แตกแบบทั้งก้อนร้อยละ 90 และแตกแบบบางส่วนร้อยละ 10 ดังแสดงในรูปภาพที่ 7



รูปที่ 6 ร้อยละของการแตกหักในรูปแบบต่างๆ ของชิ้นงานในแต่ละกลุ่ม
Fig 6. The percentage of various fracture patterns of the specimens.



รูปที่ 7 ภาพแสดงรูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า (a.) แตกแบบทั้งก้อนของชิ้นงานในกลุ่มควบคุม (b.) แตกแบบบางส่วนของชิ้นงานในกลุ่ม G1EX3

Fig 7. Stereomicroscope images (40X) of fracture patterns, (a.) Complete bulk fracture of control group, (b.) Partial bulk fracture of G1EX3 group.

บทวิจารณ์ (Discussion)

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของความหนาของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นที่มีต่อความสามารถในการรับแรงของวัสดุ โดยผลการศึกษาพบว่าวัสดุปิดทับที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ปิดทับอยู่บนวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น มีค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุปิดทับความหนาอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมา ที่พบว่ายิ่งวัสดุปิดทับมีความหนาน้อยลงและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีความหนามากขึ้น จะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงมากขึ้นตามไปด้วย (12-14,22) จึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาของวัสดุปิดทับนั้นส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นงาน ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานของการศึกษานี้ ส่วนรูปแบบในการแตกหัก พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีการแตกที่เกิดขึ้นเพียง 2 รูปแบบ คือ การแตกแบบทั้งก้อนและการแตกแบบบางส่วน อัตราส่วนแสดงดังรูปภาพที่ 7

แม้ปัจจุบันวัสดุเรซินคอมโพสิตมีการพัฒนาไปอย่างมากทั้งในด้านคุณสมบัติเชิงกลและความสวยงาม แต่อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตยังมีข้อด้อยอยู่ คือ

วัสดุค่อนข้างมีความเปราะเมื่อเทียบกับเนื้อฟันมนุษย์ (3,23) เมื่อเรซินคอมโพสิตได้รับแรงหรือความเครียดจนทำให้วัสดุเกิดรอยร้าว ด้วยความเปราะของวัสดุจะทำให้เกิดการแผ่ขยายของรอยร้าว ส่งผลให้วัสดุเกิดการแตกทั้งก้อนและเกิดความล้มเหลวได้ (24-27) จึงมีการพยายามคิดค้นจนเกิดเป็นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นขึ้นมา เพื่อทดแทนข้อด้อยของเรซินคอมโพสิตดังกล่าว โดยวัสดุมีคุณสมบัติ แข็งแรงต่อการโค้งงอ ทนทานต่อการแตกหัก และมีความต้านทานต่อการแตกหักที่มากกว่าเรซินคอมโพสิตทั่วไป เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใย ที่เมื่อมีค่าความยาวที่มากกว่าหรือเท่ากับความยาวเส้นใยวิกฤติ (critical fiber length) ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 50 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของเส้นใย (28-30) จะสามารถช่วยกระจายความเครียด ช่วยเสริมความแข็งแรง หยุดการเกิดและการดำเนินไปของรอยร้าวได้ (stop crack propagation) โดยกลไกการหยุดรอยร้าวของเส้นใยนั้นเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยที่วางตัวขวางแนวของรอยร้าวทำให้รอยร้าวนั้นไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ นอกจากนั้นเส้นใยยังทำหน้าที่ลดความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณปลายรอยร้าว (crack tip) ทำให้รอยร้าวไม่เกิดการแผ่ขยาย (3,15, 24,31,32) ดังการศึกษาของ Lassila

และคณะ ในปี ค.ศ. 2020 ที่ทำการเปรียบเทียบความทนทานต่อการแตกหัก ความแข็งแรงต่อการโค้งงอและความสามารถในการรับแรงของคอมโพสิตทั้งหมด 8 ผลิตภัณฑ์ โดยมีคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น (เอเวอร์เอ็กซ์ โพลว) อยู่ในการทดลองด้วยซึ่งเส้นใยในผลิตภัณฑ์ที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วงของความยาวเส้นใยวิกฤต ผลการทดลองพบว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีความสามารถในการรับแรงได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องมาจากการมีเส้นใยชนิดสั้นช่วยในการเสริมแรงและหยุดรอยร้าว ส่วนเรซินคอมโพสิตโดยทั่วไปที่ไม่มีเส้นใย จะเกิดการแตกแบบทั้งก้อนเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากไม่มีเส้นใยที่ช่วยในการหยุดยั้งรอยร้าว (15)

ผลการทดลองของการศึกษานี้พบว่า กลุ่มที่วัสดุปิดทับหนา 1 มิลลิเมตร ให้ค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่วัสดุปิดทับหนา 2 มิลลิเมตร ในส่วนของกลุ่มที่มีวัสดุปิดทับหนา 3 มิลลิเมตร และกลุ่มที่เป็นเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมทั้งชิ้นงานหรือ 4 มิลลิเมตร มีความสามารถในการรับแรงไม่แตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องมาจากคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีความหนาที่น้อยเกินไป (น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร) จึงส่งผลให้วัสดุไม่มีความสามารถในการต้านทานการแตกหัก ทำให้มีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตทั่วไป ซึ่งสอดคล้องไปกับการศึกษาของ Garoushi และคณะ ในปี ค.ศ.2006 ที่พบว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นที่ใช้เป็นโครงสร้างฐาน ควรมีความหนามากกว่าวัสดุที่ใช้ปิดทับจึงจะสามารถช่วยเสริมแรงและต้านทานการแตกหักได้ (14) และตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ให้ใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นเป็นโครงสร้างฐาน โดยกำหนดให้โพรงพื้นมีความลึกอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร และต้องเหลือพื้นที่เพื่อปิดทับด้วยคอมโพสิตที่มีอนุภาคเป็นวัสดุอัดแทรกหรือคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมทั่วไป โดยให้มีความหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร บนด้านบดเคี้ยว และ 0.5 มิลลิเมตร บริเวณด้านประชิด ส่วนที่เหลือให้เป็นพื้นที่ของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นซึ่งควรมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อหวังผลในการ

ช่วยเสริมแรงและต้านการแตกหัก (8,9) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะทางระหว่างจุดเกิดความเครียด (stress initiation) ถึงคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นก็มีความสำคัญ เพราะเชื่อว่าเรซินคอมโพสิตโดยทั่วไปที่ไม่มีเส้นใยนั้นจะทำให้เกิดการขยายแตกขยาย (crack expanding) จากจุดกำเนิดความเครียดแผ่ไปยังบริเวณรอบ ๆ (33) ดังจะเห็นได้จากหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ทำการทดลองแล้วพบว่าความหนาของวัสดุปิดทับควรมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร หรือควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกขยายที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เหลือจะได้เป็นส่วนของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นซึ่งช่วยให้เกิดการเสริมแรงและต้านการแตกหักได้ดี (12,14,16) ดังที่ได้กล่าวมา จึงเป็นเหตุผลของการมีค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดในกลุ่มที่มีความหนาของคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมน้อยที่สุดในการทดลองนี้

เมื่อพิจารณารูปแบบในการแตกหักของวัสดุแล้ว พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีการแตกที่เกิดขึ้นเพียง 2 รูปแบบ คือ การแตกแบบทั้งก้อนและการแตกแบบบางส่วน โดยไม่พบการแตกแบบแยกชั้นในชิ้นงานใดเลย การแตกหักของวัสดุแสดงให้เห็นว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นและเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่เป็นวัสดุปิดทับสามารถยึดติดกันได้ค่อนข้างดี ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดระหว่างกันของเรซินคอมโพสิต เช่น ความขรุขระพื้นผิว พลังงานอิสระบนพื้นผิว (surface free energy) ปฏิกริยาของวัสดุ (material reactivity) ความหนืดและความหนาของชั้นออกซิเจนอินฮิบิท (oxygen inhibited layer) เป็นต้น (34) ซึ่งในการศึกษานี้สามารถอธิบายได้จากสองสาเหตุหลักดังนี้ ประการแรก คือพบว่ามีการศึกษาที่สนับสนุนว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นผลิตภัณฑ์เอเวอร์เอ็กซ์ โพลสทีเรียร์ (everX Posterior, GC corporation, Tokyo, Japan) มีค่าความหนาของชั้นออกซิเจนอินฮิบิท ที่หนากว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นในการทดลอง (35) ซึ่งชั้นออกซิเจนอินฮิบิทเป็นชั้นที่ถูกออกซิเจนขัดขวางปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์ ทำให้ยังหลงเหลือคาร์บอนพันธะคู่อยู่ในชั้นนี้เป็นจำนวนมากซึ่งคาร์บอนพันธะคู่นี้จะทำปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์

กับมอนอเมอร์ในคอมโพสิตชั้นต่อไปหลังจากการฉายแสง (36) การเชื่อมกันของเรซินคอมโพสิตในลักษณะนี้พบได้ในการอุดเป็นชั้นๆ และการมีชั้นออกซิเจนอินิทิทที่ผิวเรซินคอมโพสิตบนชั้นที่อุดไว้ก่อนหน้าจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (shear bond strength) ระหว่างเรซินคอมโพสิตที่อุดเชื่อมกันแต่ละชั้น ดังนั้นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นจึงมีความสามารถในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกันและชนิดอื่นได้ดี เนื่องจากการมีชั้นออกซิเจนอินิทิทที่หนา (35) ส่วนสาเหตุถัดมาที่ไม่ทำให้เกิดการแตกแบบแยกชั้นนั้น เนื่องมาจากเกิดการยื่น (protrude) ของเส้นใยที่บริเวณพื้นผิวรอยต่อของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น ถือเป็นความช่วยเหลือส่งเสริมการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical interlocking) อีกทางหนึ่ง โดยมีการศึกษาที่พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น (เอเวอร์เอ็กซ์ โฟลว) กับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมมีค่าไม่แตกต่างจากการบูรณะเป็นชั้นด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมทั่วไป ส่วนการยึดระหว่างคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นด้วยกันมีค่าสูงที่สุดในการทดลอง เนื่องจากการยื่นของเส้นใยออกมาจากทั้งสองพื้นผิว ทำให้ยังเกิดการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น (37)

ในการศึกษานี้พบว่ารูปแบบของการแตกหักในกลุ่มที่มีวัสดุปิดทับหนา 1 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนการแตกแบบทั้งก่อนเพียงร้อยละ 10 ในขณะที่กลุ่มวัสดุปิดทับหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร มีการแตกแบบทั้งก่อนมากถึงร้อยละ 90 ซึ่งการแตกแบบบางส่วนนั้นทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานน้อยกว่าการแตกแบบทั้งก่อน หากนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกอาจสรุปได้ว่าการแตกแบบบางส่วนหากเกิดขึ้นบนโครงสร้างฟันน่าจะมีความเป็นไปได้ในการซ่อมแซม (reparable) มากกว่าการแตกแบบทั้งก่อน จึงเป็นการล้มเหลวที่พึงประสงค์ในทางคลินิกมากกว่า ซึ่งการศึกษานี้ได้สอดคล้องไปกับผลการศึกษาก่อนหน้าหลายการศึกษาที่พบว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นสามารถลดการแตกหักแบบไม่สามารถซ่อมแซมได้ (catastrophic failure) หรือการแตกแบบทั้งก่อนได้มากกว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมทั่วไป (12-15,30,33)

ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วรูปแบบการแตกหักมักจะสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการรับแรง โดยในกลุ่มที่วัสดุมีค่าความสามารถในการรับแรงสูง การแตกหักจะมีแนวโน้มที่ซ่อมแซมได้มากกว่ากลุ่มที่มีค่าความสามารถในการรับแรงต่ำ สามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นที่ช่วยเสริมแรงกระจายความเครียดและต้านทานการเกิดรอยร้าวได้ดังที่กล่าวไปข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Omran และคณะในปี 2019 ที่แม้จะพบว่ากลุ่มที่มีวัสดุปิดทับบางที่สุด คือ 1 มิลลิเมตร ให้ค่าความสามารถในการรับแรงสูงที่สุด แต่กลับพบว่ามีการแตกของวัสดุส่วนใหญ่เป็นการแตกแบบทั้งก่อนมากถึงร้อยละ 70 ในขณะที่กลุ่มวัสดุปิดทับหนา 2 มิลลิเมตร มีการแตกส่วนใหญ่เป็นการแตกแบบบางส่วนที่สามารถซ่อมแซมได้และเกิดการแตกแบบทั้งก่อนเพียงร้อยละ 30 (13) สอดคล้องกับผลการศึกษาทางคลินิกของ Tekce และคณะ ในปี ค.ศ. 2020 ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลการใช้งานของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นผลิตภัณฑ์เอเวอร์เอ็กซ์ โพลทีเรียร์ ร่วมกับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมผลิตภัณฑ์จีเนียล โพลทีเรียร์ เปรียบเทียบกับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมเพียงอย่างเดียว ทำทดลองในฟันกรามแท้ที่ผ่านการรักษารากฟันมาแล้ว จำนวน 48 ซี่ พบว่าในระยะเวลา 3 ปี ความล้มเหลวของวัสดุในกลุ่มที่ใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นนั้นเกิดขึ้นมากกว่า โดยอัตราการรอด (survival rate) ของกลุ่มที่ใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีค่าร้อยละ 78.6 ส่วนกลุ่มที่ใช้เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมมีค่าร้อยละ 91.5 โดยความล้มเหลวส่วนใหญ่ของกลุ่มที่ใช้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมาจากการแตกของวัสดุ ซึ่งคาดว่ามาจากความหนาของวัสดุที่ใช้ปิดทับในการทดลองนี้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทำให้ความหนาของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นลดลง จึงทำให้ความสามารถในการต้านทานการแตกหักโดยรวมลดลงด้วย (32) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาทางคลินิกของ Tanner และคณะ ในปี ค.ศ. 2018 ที่ทำในฟันหลังแท้จำนวน 36 ซี่ และติดตามผลการรักษาเป็นระยะเวลา 2.5 ปี พบว่าอัตราการรอดของการใช้คอมโพสิตเสริมแรง

ด้วยเส้นใยชนิดสั้นปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมมีค่าสูงถึงร้อยละ 97.2 ซึ่งคาดว่ามาจากคุณสมบัติของวัสดุที่คล้ายคลึงกับเนื้อฟันและสามารถต้านการเกิดรอยร้าวจากแรงที่มากระทำได้ แต่จากการศึกษาก็ยังพบความล้มเหลวของการบูรณะบางประการคือ เกิดฟันผุใต้วัสดุอุดจำนวน 1 ซี่ เกิดการบิ่นแตกบนผิวด้านนอกของชิ้นงาน (superficial chipping) จำนวน 3 ซี่ ซึ่งเป็นส่วนของวัสดุที่ใช้ปิดทับด้านบน แต่เป็นการแตกที่สามารถซ่อมแซมและขัดแต่งได้ และเกิดการเปลี่ยนสีที่ขอบของวัสดุจำนวน 7 ซี่ โดยสามารถทำการแก้ไขโดยการขัดแต่งได้เช่นกัน (38)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ความล้มเหลวของวัสดุเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่คือการแตกของวัสดุทั้งก่อน บังคับเรื่องความแข็งแรงของวัสดุจึงเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงก่อนเลือกใช้วัสดุ เพราะหากวัสดุมีความแข็งแรงมาก ย่อมแสดงว่าวัสดุนั้นสามารถทนทานต่อแรงบดเคี้ยวได้มาก โอกาสเกิดความล้มเหลวเนื่องจากวัสดุแตกจะเกิดขึ้นน้อยลง (39) ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุทางทันตกรรมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่เหมาะสมในการศึกษานี้คือวิธีการทดสอบความสามารถในการรับแรงของวัสดุ (load-bearing capacity) โดยความสามารถในการรับแรงของวัสดุเป็นความสามารถของวัสดุที่สามารถทนต่อความเครียดในขณะที่มีแรงกดคงที่ (static load) มากกระทำจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก (24) การทดสอบนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นของแข็งและมีความเปราะเช่นเดียวกับคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิต มีข้อดีคือสามารถทำและแปลผลได้ง่าย ใช้ในการดูแนวโน้มของความสามารถในการรับแรงของวัสดุได้ ยิ่งไปกว่านั้นการทดสอบความสามารถในการรับแรงยังไม่มียกข้อกำหนดเกี่ยวกับรูปทรงของชิ้นงาน ทำให้การออกแบบขนาดและรูปร่างชิ้นงานสามารถทำให้เหมาะสมกับวัสดุที่เลือกใช้ได้ (39-41) โดยชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวัสดุ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน บูรณะซ้อนกันเป็นชั้นทรงสี่เหลี่ยม โดยหากเลือกการทดสอบอื่น ลักษณะของชิ้นงานดังกล่าวจะไม่ตรงไปตามเกณฑ์มาตรฐานของการทดสอบนั้น ๆ จึงต้องใช้การทดสอบความสามารถในการรับแรงเนื่องจากเหมาะสมในการออกแบบชิ้นงานมากที่สุด นอกจากนี้

การศึกษาก่อนหน้าที่ทำในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ มักเลือกใช้การทดสอบนี้ทดสอบความแข็งแรงของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นด้วยเช่นกัน (12-16,30,33,42,43)

มีผลการศึกษาทางคลินิกที่รายงานเกี่ยวกับความสำเร็จในการบูรณะฟันด้วยคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น ว่ามีความสำเร็จในทางคลินิกค่อนข้างสูงในการศึกษาระยะสั้น (38) แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานวัสดุชนิดนี้ในระยะยาว แต่หากมองในภาพรวมแล้ว วัสดุชนิดนี้อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถรับการบูรณะโดยอ้อมได้แล้ว (indirect restoration) และเหมาะกับการบูรณะในโพรงฟันขนาดใหญ่ โดยมีข้อดีคือสามารถอนุรักษ์เนื้อฟันไว้ได้ ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับเนื้อฟันที่เหลืออยู่และใช้เวลาในการรักษาที่น้อยกว่าการบูรณะโดยอ้อม การศึกษานี้จึงมีประโยชน์ในแง่ของการทำให้ได้ทราบถึงวิธีการใช้งานของวัสดุชนิดนี้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิก ซึ่งการศึกษานี้พบว่าความสามารถในการรับแรงจะมีค่ามากขึ้นเมื่อ เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ใช้ปิดทับมีความหนาที่น้อยที่สุด ร่วมกับการมีความหนาที่มากขึ้นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาทางคลินิกในระยะยาวที่แสดงให้เห็นว่าผลของการใช้วัสดุปิดทับที่บางมาก ๆ นั้นเพียงพอต่อการต้านการสึกหรือแตกบิ่นในอนาคต หรือไม่ นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่อาจส่งผลต่อการทดลองได้ เช่น ผู้วิจัยเลือกทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสามารถกำหนดและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่าย แต่ก็มีข้อด้อยคืออาจไม่สามารถจำลองสถานการณ์ทางคลินิกต่าง ๆ ได้ทั้งหมด รวมถึงการทดสอบความสามารถในการรับแรงที่เลือกใช้นั้นสามารถใช้แทนทิศทางของแรงได้เพียงทิศทางเดียว ซึ่งแตกต่างจากแรงในการบดเคี้ยวจริงในช่องปากที่มีแรงจากหลายทิศทางมากระทำกับตัวฟัน (44) ในอนาคตหากมีการทดลองเพิ่มเติมกับ คอมโพสิตชนิดอื่นที่นำมาใช้ปิดทับให้มีความหลากหลายมากขึ้นรวมถึงมีการเพิ่มการจำลองทางคลินิกอาจจะให้ผลที่แตกต่างออกไปจากการทดลองนี้ได้

บทสรุป (Conclusion)

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่ใช้ปิดทับบนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นหนา 1 มิลลิเมตร มีความสามารถในการรับแรงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการแตกหัก พบว่ากลุ่มที่วัสดุปิดทับหนา 1 มิลลิเมตร มีการแตกแบบทั้งก่อนน้อยที่สุด นอกจากนั้นยังไม่พบการแตกแบบแยกชั้นระหว่างเรซินคอมโพสิตทั้งสองชนิด จึงสามารถสรุปได้ว่าเรซินคอมโพสิตทั้งสองชนิดสามารถเชื่อมติดกันได้ดี และมีความสามารถในการรับแรงสูงขึ้นเมื่อคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นมีความหนามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. Aust Dent J. 2011;56 (Suppl 1):59-66.
2. Kumar A, tekriwal S, Rajkumar B, Gupta V, Rastogi R. A Review on Fibre Reinforced Composite Resins. Ann Prosthodont Restor Dent. 2016;2(1):11-6.
3. Garoushi S, Gargoum A, Vallittu PK, Lassila L. Short fiber-reinforced composite restorations: A review of the current literature. J Investig Clin Dent. 2018;9(3):e12330. doi: 10.1111/jicd.12330.
4. Rodolpho PADR, Donassollo TA, Cenci MS, Loguercio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. Dent Mater. 2011;27(10):955-63.
5. Pallesen U, Qvist V. Composite resin fillings and inlays. An 11-year evaluation. Clin Oral Investig. 2003;7(2):71-9.
6. Butterworth C, Ellakwa AE, Shortall A. Fibre-reinforced composites in restorative dentistry. Dent Update. 2003;30(6):300-6.

7. Garoushi S, Mangoush E, Vallittu M, Lassila L. Short fiber reinforced composite: a new alternative for direct onlay restorations. Open Dent J. 2013;7:181-5.

8. GC corporation, everX Flow Comprehensive Guide Version 1.0 [Internet]. Leuven; 2020 [cited 2020 May 15]. Available from: https://www.gcamerica.com/products/operator/everx_flow/everx_flow_comprehensive_technical_guide.pdf

9. GC corporation, everX Posterior Technical Manual [Internet]. Banksmeadow; 2019 [cited 2020 Feb 3]. Available from: <http://www.gcaustralia.com/Upload/product/pdf/32/GC0819-EverX-Posterior-Brochure-FA4nc.pdf> everX Posterior Technical Manual. GC 2013.

10. Soares LM, Razaghy M, Magne P. Optimization of large MOD restorations: Composite resin inlays vs. short fiber-reinforced direct restorations. Dent Mater. 2018;34(4):587-97.

11. Garoushi SK, Hatem M, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of short fiber composite base on microleakage and load-bearing capacity of posterior restorations. Acta Biomater Odontol Scand. 2015;1(1):6-12.

12. Lassila L, Sailyoja E, Prinssi R, Vallittu PK, Garoushi S. Bilayered composite restoration: the effect of layer thickness on fracture behavior. Biomater Investig Dent. 2020;7(1):80-5.

13. Omran TA, Garoushi S, Lassila L, Shinya A, Vallittu PK. Bonding interface affects the load-bearing capacity of bilayered composites. Dent Mater J. 2019;38(6):1002-11.

14. Garoushi S, Lassila LV, Tezvergil A, Vallittu PK. Load bearing capacity of fibre-reinforced and particulate filler composite resin combination. J Dent. 2006;34(3):179-84.

15. Lassila L, Sailynoja E, Prinssi R, Vallittu PK, Garoushi S. Fracture behavior of Bi-structure fiber-reinforced composite restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;101:103444. doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.103444.
16. Garoushi S, Lassila LV, Tezvergil A, Vallittu PK. Static and fatigue compression test for particulate filler composite resin with fiber-reinforced composite substructure. *Dent Mater.* 2007;23(1):17-23.
17. Bijelic-Donova J, Keulemans F, Vallittu PK, Lassila LVJ. Direct bilayered biomimetic composite restoration: The effect of a cusp-supporting short fiber-reinforced base design on the chewing fracture resistance and failure mode of molars with or without endodontic treatment. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;103:103554. doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.103554.
18. Atalay C, Yazici AR, Horuztepe A, Nagas E, Ertan A, Ozgunaltay G. Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Restored With Bulk Fill, Bulk Fill Flowable, Fiber-reinforced, and Conventional Resin Composite. *Oper Dent.* 2016;41(5):E131-40. doi: 10.2341/15-320-L.
19. Barreto BC, Van Ende A, Lise DP, Noritomi PY, Jaecques S, Sloten JV, et al. Short fibre-reinforced composite for extensive direct restorations: a laboratory and computational assessment. *Clin Oral Investig.* 2016;20(5):959-66.
20. GC corporation. G-ænial Anterior& Posterior Technical Manual [Internet]. Banksmeadow; 2019 [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://cdn.gceurope.com/v1/PID/gaenial/manual/MAN_G-aenial_Anterior-Posterior_en.pdf.
21. Fonseca RB, de Paula MS, Favarao IN, Kasuya AV, de Almeida LN, Mendes GA, et al. Reinforcement of dental methacrylate with glass fiber after heated silane application. *Biomed Res Int.* 2014;2014:364398. doi: 10.1155/2014/364398.
22. Tiu J, Belli R, Lohbauer U. Thickness influence of veneering composites on fiber-reinforced systems. *Dent Mater.* 2021;37(3):477-85.
23. Khan AS, Azam MT, Khan M, Mian SA, Ur Rehman I. An update on glass fiber dental restorative composites: a systematic review. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2015;47:26-39.
24. Bijelic-Donova J, Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV. Mechanical properties, fracture resistance, and fatigue limits of short fiber reinforced dental composite resin. *J Prosthet Dent.* 2016;115(1):95-102.
25. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. Mechanical Properties and Wear of Five Commercial Fibre-Reinforced Filling Materials. *Chin J Dent Res.* 2017;20(3):137-43.
26. Kim KH, Okuno O. Microfracture behaviour of composite resins containing irregular-shaped fillers. *J Oral Rehabil.* 2002; 29(12):1153-9.
27. Heintze SD, Ilie N, Hickel R, Reis A, Loguercio A, Rousson V. Laboratory mechanical parameters of composite resins and their relation to fractures and wear in clinical trials-A systematic review. *Dent Mater.* 2017;33(3):e101-14. doi: 10.1016/j.dental.2016.11.013.
28. Lassila L, Sailynoja E, Prinssi R, Vallittu P, Garoushi S. Characterization of a new fiber-reinforced flowable composite. *Odontology.* 2019;107(3):342-52.

29. Petersen RC. Discontinuous fiber-reinforced composites above critical length. *J Dent Res.* 2005;84(4):365-70.
30. Lassila L, Oksanen V, Frater M, Vallittu PK, Garoushi S. The influence of resin composite with high fiber aspect ratio on fracture resistance of severely damaged bovine incisors. *Dent Mater J.* 2020;39(3):381-8.
31. Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dent Mater.* 2004;20(10):947-55.
32. Tekce N, Aydemir S, Demirci M, Tuncer S, Sancak EI, Baydemir C. Clinical Performance of Direct Posterior Composite Restorations with and without Short Glass-fiber-reinforced Composite in Endodontically Treated Teeth: 3-year Results. *J Adhes Dent.* 2020;22(2):127-37.
33. Garoushi S, Sungur S, Boz Y, Ozkan P, Vallittu PK, Uctasli S, et al. Influence of short-fiber composite base on fracture behavior of direct and indirect restorations. *Clin Oral Investig.* 2021;25(7):4543-52.
34. Bijelic-Donova J, Garoushi S, Lassila LV, Vallittu PK. Oxygen inhibition layer of composite resins: effects of layer thickness and surface layer treatment on the interlayer bond strength. *Eur J Oral Sci.* 2015;123(1):53-60.
35. Ahmadizenouz G, Esmaeili B, Taghvaei A, Jamali Z, Jafari T, Amiri Daneshvar F, et al. Effect of different surface treatments on the shear bond strength of nanofilled composite repairs. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2016;10(1):9-16.
36. Sakaguchi R, Ferracane J, Powers J. *Craig's Restorative dental materials.* 14th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.
37. Lassila L, Tuokko J, Suni A, Garoushi S, Vallittu PK. Effect of interfacial surface treatment on bond strength of particulate-filled composite to short fiber-reinforced composite. *Biomater Investig Dent.* 2022;9(1):33-40.
38. Tanner J, Tolvanen M, Garoushi S, Säilynoja E. Clinical evaluation of fiber-reinforced composite restorations in posterior teeth-results of 2.5 year follow-up. *Open Dent J.* 2018;12:476-85.
39. Ilie N, Hilton TJ, Heintze SD, Hickel R, Watts DC, Silikas N, et al. *Academy of Dental Materials guidance-Resin composites: Part I-Mechanical properties.* *Dent Mater.* 2017;33(8):880-94.
40. International Organization for Standardization. ISO 4049:2000. *Dentistry – Polymer-based filling, restorative and luting materials.* Geneva: ISO; 2000.
41. American Society of Testing and Materials. Designation: D695-15: *Standart Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.* PA: ASTM; 2017.
42. Lassila L, Haapsaari A, Vallittu PK, Garoushi S. Fracture Resistance of Anterior Crowns Reinforced by Short-Fiber Composite. *Polymers (Basel).* 2022;14(9):1809. doi: 10.3390/polym14091809.
43. Rocca GT, Saratti CM, Cattani-Lorente M, Feilzer AJ, Scherrer S, Krejci I. The effect of a fiber reinforced cavity configuration on load bearing capacity and failure mode of endodontically treated molars restored with CAD/CAM resin composite overlay restorations. *J Dent.* 2015;43(9):1106-15.

44. Kawata T, Yoda N, Kawaguchi T, Kuriyagawa T, Sasaki K. Behaviours of three-dimensional compressive and tensile forces exerted on a tooth during function. J Oral Rehabil. 2007;34(4):259-66.

ติดต่อบทความ :

อ.ทพ.บุญทริก นียติวัฒน์ชาญชัย

ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์

แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ : 02 218 8795

อีเมลล์ : boondarick.n@gmail.com

Corresponding author:

Dr. Boondarick Niyatiwatchanchai

Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University 34 Henri Dunant Rd., Wang Mai, Pathum Wan, Bangkok 10330

Tel: (662) 218 8795

E-mail: boondarick.n@gmail.com