

บทวิทยากร

การเปรียบเทียบความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิม

Comparison on Edge Strength of High Strength Flowable Resin Composites, Conventional Resin Composites, and Conventional Flowable Resin Composites

ศศิประภา คูวัธนไพศาล¹, วาสนา พัฒนพีระเดช¹

Sasiprapa Koowatanapaisal¹, Vasana Patanapiradej¹

¹ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

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

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมทั้งก่อนและหลังกระบวนการเร่งอายุ โดยเตรียมชิ้นงานทรงกระบอกจำนวน 120 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร แบ่งเป็นเรซินคอมโพสิต 6 ผลิตภัณฑ์ ใส่ในแบบหล่อโดยใช้วิธีใส่แบบก่อนเดียว จากนั้นฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดี 40 วินาที ทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน นำชิ้นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ละ 10 ชิ้น ไปทดสอบความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนการเร่งอายุโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดด้วยหัวกดทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ระยะห่างจากขอบชิ้นงาน 0.5 มิลลิเมตร นำชิ้นงานที่เหลือไปเทอร์โมไซเคิลโดยแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สลับกับน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 30 วินาที จำนวน 5000 รอบ จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งแรงบริเวณขอบหลังการเร่งอายุโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ตามด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี และสถิติการทดสอบที่แบบอิสระที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางพบว่าชนิดของเรซินคอมโพสิต และการผ่านกระบวนการเร่งอายุมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนการเร่งอายุระหว่างกลุ่มเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ กลุ่มจีเนียลโพสทีเรีย และกลุ่มเททริกเอนโพล และ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนการเร่งอายุระหว่างกลุ่มเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ เอสเททิก โพล กลุ่มจีเนียล ยูนิเวอร์แซล อินเจคเทเบิล กับกลุ่มฟิลเทคแซท350เอ็กซ์ทีโพลเอเบิล แต่กลุ่มเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ เอสเททิก โพล และกลุ่มจีเนียล ยูนิเวอร์แซล อินเจคเทเบิล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังผ่านกระบวนการเร่งอายุพบว่ากลุ่มเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์มีค่าความแข็งแรงบริเวณขอบมากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบในกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมมีค่าความแข็งแรงบริเวณขอบมากที่สุด โดยกระบวนการเร่งอายุไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณขอบของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงแต่มีผลต่อเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิม

คำสำคัญ : กระบวนการเร่งอายุ, ความแข็งแรงบริเวณขอบ, เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง

Abstracts

The aim of this study was to compare the edge strength of high strength flowable, conventional, and conventional flowable resin composites influenced by the accelerated aging procedure. Hundred-twenty disc specimens were prepared (7 mm x 2 mm). Six materials were placed in acrylic molds with bulk technique, light curing 40 seconds both top and bottom of the specimens. Ten specimens from each material were selected. The edge-strength before accelerated aging was tested using the universal testing machine with 2 mm ball-shaped indenter at a speed of 1 mm/min. Measurements were made at 0.5 distance from the edge. The rest of specimens were subjected to thermocycling (5000 cycles, 5 to 55±1°C, dwell time; 30 seconds). Then measured the edge-strength after accelerated aging. Two-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test and independent T-test at the significant level of 0.05 was used for statistical analysis. The two-way ANOVA determined a statistically different between materials and accelerated aging. There was no significant difference between Clearfil AP-X® (CA), G-aenial Posterior® (GP), and Tetric N Flow® (TNF) on edge strength before aging. No statistically significant difference was found between Clearfil AP-X Esthetic Flow® (CEF), G-aenial Universal Injectable® (GUI), and Filtek Z350XT® flowable (FZF) but there was significant difference between CEF and GUI on edge strength before aging ($p<0.001$). The edge strength after aging of CA had significantly higher than other groups ($p<0.001$). Edge strength was significantly decreased after aging in conventional and conventional flowable resin composite groups but not in high strength flowable resin composite groups. From the result of this study, conventional resin composites had highest edge strength value. Accelerated aging had no effect on edge strength value of high strength flowable resin composites but had effect on conventional resin composites and conventional flowable resin composites.

Keywords : Accelerated aging, Edge strength, High strength flowable resin composite

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ศศิประภา คูวัธนไพศาล, ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ โทรศัพท์: 02-218-8795, โทรศัพท์มือถือ: 086-898-0888, อีเมล: sasiprapa.koo@gmail.com

Correspondence to:

Sasiprapa Koowanapaisal, 34 Henry Dunant Road, Wang Mai, Pathumwan District, Bangkok 10330, Thailand. Tel: 02-218-8795, 086-898-0888
Email: sasiprapa.koo@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต (resin composite) ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากวัสดุประเภทนี้ให้ความสวยงามโดยมีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ บูรณะในโพรงฟันโดยใช้สารยึดติดจึงสามารถเตรียมโพรงฟันแบบอนุรักษ์เนื้อฟันได้ เสริมความแข็งแรงให้กับเนื้อฟันที่เหลืออยู่ ซึ่งจากการถกเถียงเกี่ยวกับผลของปรอทในวัสดุบูรณะส่งผลให้ลดการใช้วัสดุประเภทอะมัลกัม (amalgam) และหันมาใช้วัสดุประเภทเรซินคอมโพสิตมากขึ้น¹ นอกจากนี้การบูรณะแบบอนุรักษ์เนื้อฟันของวัสดุประเภทเรซิน-

คอมโพสิต ทำให้คงสภาพเนื้อฟันส่วนใหญ่ได้ ให้ผลสำเร็จระยะยาวในทางคลินิกที่ดี จึงจัดเป็นวัสดุบูรณะที่เหมาะสมสำหรับบูรณะฟันหลังโดยตรง (direct restoration)²

การแตกหักบริเวณขอบของวัสดุเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อความล้มเหลวในการบูรณะฟัน โดยการเกิดการแตกหักบริเวณขอบจะนำไปสู่การรั่วซึม การผุซ้ำ และการเปลี่ยนสีบริเวณผนังของโพรงฟัน เนื่องจากการแตกหักอาจอยู่ในบริเวณที่ไม่สามารถทำความสะอาด หรือให้การรักษาแบบป้องกันได้ เช่น บริเวณด้านประชิดของฟัน ซึ่งการ

แตกหักบริเวณขอบของวัสดุมักจะเกิดในตำแหน่งที่รับแรงมาก โดยเชื่อว่าวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถป้องกันการแตกหักบริเวณขอบได้³

การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต นำไปสู่วิธีการใช้งานของวัสดุที่สะดวกขึ้น คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น ลดความเครียดที่เกิดจากการหดตัวภายหลังปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage stress) และมีความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหลายแห่งได้มีการผลิตวัสดุชนิดใหม่คือเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (high strength flowable composite) โดยอ้างว่าเป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่เพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร และมีคุณสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงโค้งงอ (flexural strength) มากกว่า 150 เมกะปาสคาลซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมบางยี่ห้อ^{4,5} วัสดุประเภทนี้เกิดจากการปรับปรุงผิวของวัสดุอัดแทรกทำให้สามารถลดความหนืดในขณะที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกเพิ่มขึ้น⁶ ทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และยังสามารถใช้ในบริเวณที่รับแรงได้⁷⁻¹⁰

อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงในแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกันทั้งชนิดของเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) ปริมาณ และขนาดของวัสดุอัดแทรก ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ผลการทดลองในแต่ละการศึกษาจึงมีความหลากหลาย แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกลที่ได้อาจเทียบเท่าแต่ไม่ได้สูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเป็นวัสดุที่ผลิตออกมาไม่นานจึงมีการศึกษาด้านคุณสมบัติของวัสดุและด้านอายุการใช้งานทางคลินิกไม่ชัดเจน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านความแข็งแรงบริเวณขอบที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันด้วยวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจถึงข้อดีข้อด้อยของวัสดุ และเลือกใช้ให้เหมาะสมจึงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม และศึกษาผลของกระบวนการเร่งอายุต่อความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุ ซึ่งมีสมมติฐานงานวิจัยคือ 1.) ไม่มีความแตกต่างกันด้านความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม 2.) กระบวนการเร่งอายุไม่มีผลต่อความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ขนาดตัวอย่างประชากรต่อกลุ่ม

อ้างอิงตามการศึกษาของ Baroudi และคณะในปี 2008¹¹ ที่ศึกษาความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ และพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระยะห่างจากขอบ โดยระยะที่เข้าใกล้ขอบวัสดุความแข็งแรงจะลดลง ค่ารวมขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับ ทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (Type I error, α) ร้อยละ 5 และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (Type II error, β) ร้อยละ 80 จากนั้นนำมาคำนวณขนาดตัวอย่างประชากรต่อกลุ่ม โดยเลือกกลุ่มที่วัดที่ระยะ 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากจะใช้เป็นระยะในการทดสอบในงานวิจัย ค่ารวมโดยใช้โปรแกรม GPower เวอร์ชัน 3.1 จากการศึกษาที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10.2 ศึกษาใน 7 กลุ่มการทดลอง เมื่อคำนวณออกมาจะได้กลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 3 ชิ้น กำหนดร้อยละความคลาดเคลื่อนของผลอีกร้อยละ 10 ทำให้ควรมีชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 4 ชิ้นในแต่ละกลุ่มการทดลอง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงพิจารณาเลือกขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ 10 ตัวอย่างต่อกลุ่มทดสอบ

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

เตรียมชิ้นตัวอย่าง 120 ชิ้น โดยแบ่งเป็น 6 ผลิตภัณฑ์แสดงส่วนประกอบดังในตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ละ 20 ชิ้น โดยจะแบ่งเป็นกลุ่มการทดสอบก่อนการเร่งอายุ 10 ชิ้น และหลังการเร่งอายุ 10 ชิ้น ใช้แบบหล่อขึ้นงานทำจากอะคริลิกใสทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และมีความหนา 2 มิลลิเมตร วางบนกระจกปิดสไลด์ขนาด 22x22 มิลลิเมตร ใส่วัสดุเรซินคอมโพสิตที่จะนำมาทดสอบจนเต็มแบบหล่อขึ้นงานเป็นชั้นเดียวเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดช่องว่างระหว่างชั้น ปิดด้านบนของแบบหล่อขึ้นงานด้วยกระจกปิดสไลด์ จากนั้นฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดี (Light Curing Unit, Demi Plus, Kerr, USA) 40 วินาที ทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน หลังจากนั้นขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัด (Polishing machine, NANO 2000, PACE TECHNOLOGIES, USA) โดยใช้แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 800 เพื่อกำจัดส่วนเกินของวัสดุ วัดความหนาของชิ้นงานซ้ำด้วยเครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอลที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope: SZ61, OLYMPUS, Japan) ว่าพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีรูพรุนขนาดใหญ่ รอยร้าว และการแตกหัก จากนั้นเก็บชิ้นงานในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

Table 1 The compositions of resin composites used in the study

Resin composites	Code	Compositions	Percent filler (wt.%/vol.%)
Clearfil AP-X® (Kuraray Noritake Dental, Japan)	CA	Bis-GMA, TEGDMA, camphorquinone, silanated barium glass, silanated colloidal silica (3 µm)	85/70
G-aenial Posterior® (GC, Japan)	GP	UDMA, dimethacrylate comonomers, pre-polymer silica, lanthanoid fluoride fluoroaluminosilicate, silica (16-17 µm)	77/65
Clearfil AP-X Esthetic Flow® (Kuraray Noritake Dental, Japan)	CEF	TEGDMA, hydrophobic aromatic dimethacrylate, silanated barium glass, silanated colloidal silica (0.18-3.5 µm)	75/59
G-aenial Universal Injectable® (GC, Japan)	GUI	UDMA, Bis-MEPP, TEGDMA, silicon dioxide, strontium glass, pigments, photoinitiators (0.15 µm)	69/50
Tetric N Flow® (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)	TNF	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, barium glass, ytterbium fluoride, silica (0.04-3 µm)	63/39
Filtek Z350 XT® flowable (3M ESPE, USA)	FZF	Bis-GMA, TEGDMA, Bis-EMA, ytterbium trifluoride (0.1-5 µm), silane-treated ceramic, silica, zirconium oxide (0.6-1.4 µm)	65/46

Bis-GMA: bisphenol A glycidyl methacrylate; TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate; UDMA: urethane dimethacrylate; Bis-MEPP: 2,2-Bis(4-methacryloxyphenyl) propane; Bis-EMA: ethoxylated bisphenol A glycol dimethacrylate

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม ตามวัสดุที่นำมาทดสอบในแต่ละบริษัทผู้ผลิต กลุ่มละ 20 ชิ้นตัวอย่าง

กลุ่มที่ 1 เรซินคอมโพสิตชนิดตั้งเดิมเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ (Clearfil AP-X®; CA)

กลุ่มที่ 2 เรซินคอมโพสิตชนิดตั้งเดิมจีเนียลโพสทีเรีย (G-aenial Posterior®; GP)

กลุ่มที่ 3 เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงเคลียร์ฟิลเอพีเอ็กซ์ เอสเทติก โฟล (Clearfil AP-X Esthetic Flow®; CEF)

กลุ่มที่ 4 เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงจีเนียลยูนิเวอร์แซลอินเจกเตเบิล (G-aenial Universal Injectable®; GUI)

กลุ่มที่ 5 เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้เททริกเอ็นโฟล (Tetric N Flow®; TNF)

กลุ่มที่ 6 เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ฟิลเทคแซท350เอ็กซ์ทีโฟลเอเบิล (Filtek Z350 XT® flowable; FZF)

โดยแต่ละกลุ่มจะแบ่งชิ้นตัวอย่างกลุ่มละ 10 ชิ้นเป็นกลุ่มการทดลองย่อยดังนี้

กลุ่มการทดลองย่อยที่ 1 วัสดุก่อนผ่านกระบวนการเร่งอายุ

กลุ่มการทดลองย่อยที่ 2 วัสดุหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ

การจำลองกระบวนการเร่งอายุ

นำชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ถึง 6 กลุ่มการทดลองย่อยที่ 2 ขึ้นจากน้ำกลั่น และซับด้วยกระดาษซับให้แห้ง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สลับกับน้ำที่อุณหภูมิ

55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 30 วินาที จำนวน 5000 รอบ ด้วยเครื่องเทอร์โมไซคลิก (Thermo Cycling Unit, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประเทศไทย)

การวัดความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนและหลังการเร่งอายุ

นำชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ถึง 6 กลุ่มการทดลองย่อยที่ 1 ขึ้นจากน้ำกลั่น และซับด้วยกระดาษซับให้แห้ง วัดระยะห่างจากขอบ 0.5 มิลลิเมตร ทดสอบความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนการเร่งอายุโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (Universal Testing Machine, รุ่น EZ-S, ยี่ห้อ SHIMADZU, JAPAN) โดยนำชิ้นตัวอย่างมาวางบนแท่นยึดกดด้วยหัวกด Rockwell รูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ในแนวตั้งบริเวณตำแหน่งที่กำหนดบันทึกค่าที่ทำให้เกิดการแตกหัก และทำเช่นเดียวกันกับกลุ่มการทดลองย่อยที่ 2 หลังจากผ่านกระบวนการเร่งอายุ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 21 (SPSS version 21) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิตกับความแข็งแรงบริเวณขอบทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี (Post hoc Tukey's test) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนและหลังกระบวนการเร่งอายุในแต่ละกลุ่มด้วยสถิติการทดสอบทีแบบอิสระ (independent T-test) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษา

ผลการทดลองแต่ละกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิต

ชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมก่อนและหลังกระบวนการเร่งอายุจะแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของทุกกลุ่มการทดลอง

Table 2 Mean±SD of edge strength of all groups

	Mean±SD of edge strength (N)	
	Before thermocycling	After thermocycling
CA	391.20±20.72 ^{Aa}	370.31±14.50 ^{Ab}
GP	377.56±25.33 ^{Aa}	324.89±23.83 ^{Bb}
CEF	302.00±25.37 ^{Ba}	295.83±24.83 ^{BCa}
GUI	263.37±18.35 ^{Ca}	267.98±22.88 ^{CDa}
TNF	381.99±21.42 ^{Aa}	276.64±22.81 ^{Cb}
FZF	289.78±25.72 ^{B^a}	241.14±24.44 ^{D^b}

Different superscript uppercase letters in the same column showed significant different of mean edge strength value at $p<0.05$

Different superscript lowercase letters in the same row showed significant different of mean edge strength value at $p<0.05$

พบว่าก่อนกระบวนการเร่งอายุค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม CA กลุ่ม GP และกลุ่ม TNF มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยบริเวณขอบมากกว่ากลุ่ม CEF กลุ่ม GUI และกลุ่ม FZF อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม FZF ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม CEF และกลุ่ม GUI ($p=0.887$ และ $p=0.142$ ตามลำดับ) แต่กลุ่ม CEF มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบมากกว่ากลุ่ม GUI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) หลังผ่านกระบวนการเร่งอายุพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม CA มีค่ามากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม CEF ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม GP กลุ่ม GUI และกลุ่ม

TNF ($p=0.131$, $p=0.146$ และ $p=0.490$ ตามลำดับ) แต่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม GP มีค่ามากกว่ากลุ่ม GUI และกลุ่ม TNF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่ม GUI ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม FZF ($p=0.166$)

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมของปัจจัย ได้แก่ ชนิดของเรซินคอมโพสิต และการผ่านกระบวนการเร่งอายุด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่าชนิดของเรซินคอมโพสิตและการผ่านกระบวนการเร่งอายุด้วยวิธีเทอร์โมไซคลิงมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ดังนั้นทั้งชนิดของเรซินคอมโพสิต และการเทอร์โมไซคลิงมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณขอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิตและการเทอร์โมไซคลิงที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณขอบ

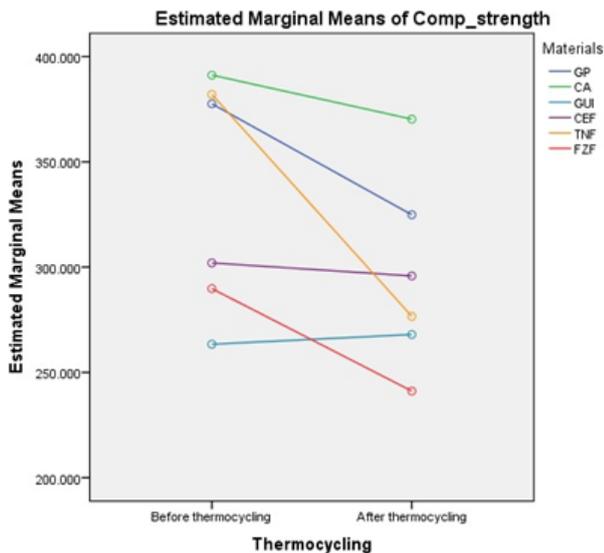
Table 3 Two-way ANOVA for resin composite materials and thermocycling on edge strength value

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	P
Materials	5	219723.972	43944.794	84.945	<0.001
Thermo	1	43748.135	43748.135	84.565	<0.001
Materials*Thermo	5	39929.419	7985.884	15.437	<0.001

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุ ก่อนและหลังกระบวนการเร่งอายุ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบของกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (กลุ่ม CA และกลุ่ม GP)

และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม (กลุ่ม TNF และกลุ่ม FZF) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ ($p<0.05$) ส่วนกลุ่มของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่

ได้ความแข็งแรงสูง (กลุ่ม CEF และกลุ่ม GUI) จะพบว่ามีความเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีเพียงกลุ่ม GUI เท่านั้นที่มีความเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบเพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ (กลุ่ม CEF และกลุ่ม GUI มีค่า $p=0.589$ และ $p=0.625$ ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิงของวัสดุแต่ละชนิด

Figure 1 Graph shows the mean of edge strength value of each materials before and after thermocycling

บทวิจารณ์

หนึ่งในสาเหตุของความล้มเหลวของการบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตเกิดจากการแตกหัก โดยเกิดการแตกหักบริเวณขอบรอยละลาย และการแตกหักเป็นก้อน (bulk) ร้อยละ 7¹² การศึกษานี้เป็นการจำลองแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิต โดยเปรียบเทียบความแข็งแรงบริเวณขอบระหว่างเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้แบบดั้งเดิมทั้งก่อนและหลังการใช้งาน ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงบริเวณขอบเป็นวิธีที่มีมาตรฐานสามารถบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุได้¹³ จากการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงบริเวณขอบในแต่ละกลุ่มการทดลอง จึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าไม่มีความแตกต่างกันด้านความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้แบบดั้งเดิม โดยมีค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักบริเวณขอบระหว่าง 241.14±24.44 ถึง 391.20±20.72 นิวตัน ซึ่งค่าที่ได้อาจแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษาเนื่องจากความแตกต่างของวัสดุ

ที่นำมาทดสอบ ชนิดของเครื่องทดสอบ และลักษณะของหัวกด โดยจากการศึกษาของ Quinn และคณะในปี 2014 พบว่าลักษณะของหัวกดที่ใช้ทดสอบไม่มีผลต่อการแตกหักบริเวณขอบ แต่ความคมของหัวกดเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผล เนื่องจากหัวกดที่มีความคมจะทำให้เกิดแรงแบบลิ่ม (wedging force) ได้มากกว่าหัวกดชนิดอื่น¹⁴ และการกดด้วยหัวกดที่คมจะทำให้วัสดุเกิดการบิดเบี้ยวเพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่ถูกกดทำให้ผลของแรงไม่แปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น¹³

การศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบกับปริมาณร้อยละของวัสดุอัดแทรก โดยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ความแข็งแรงสูงกลุ่ม CEF และกลุ่ม GUI ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้แบบดั้งเดิมกลุ่ม TNF และกลุ่ม FZF แต่กลับมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงบริเวณขอบก่อนกระบวนการเร่งอายุที่น้อยกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Baroudi และคณะในปี 2008 พบว่าโอกาสการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้จะเกิดบริเวณขอบของวัสดุมากกว่าบริเวณกึ่งกลางของวัสดุ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงบริเวณขอบกับร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุ อัดแทรกของเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ที่นำมาทดสอบในทุกระยะห่างจากขอบวัสดุ¹¹ และการศึกษาของ Balos และคณะในปี 2013 ที่พบว่าการใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโน (nanosilica) ไม่เพิ่มคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงโค้งงอและความแข็งแรงผิว¹⁵ ซึ่งความต้านทานการแตกหักบริเวณขอบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness)¹⁶ แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความแข็ง (hardness) ของวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต¹⁴ และจากการศึกษาของ Jager และคณะในปี 2016 พบว่ามีหลายปัจจัยที่ทำให้เพิ่มความแข็งแรง และปริมาณวัสดุอัดแทรกก็เป็นหนึ่งในปัจจัยหลักนั้น¹⁷ จึงอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ความแข็งแรงสูงที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกเพิ่มขึ้น และมีการเชื่อมกันแน่นของวัสดุอัดแทรกกับเมทริกซ์ ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น ความต้านทานการแตกหักบริเวณขอบจึงน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้แบบดั้งเดิม และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม

นอกจากนี้มอนอเมอร์ที่สำคัญต่อการไฮลแผล์ของวัสดุเรซินคอมโพสิต เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลท (triethylene glycol dimethacrylate, TEGDMA) และ ยูริเทน ไดเมทาคริเลท (urethane dimethacrylate, UDMA) อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงบริเวณขอบมากกว่าปริมาณของวัสดุอัดแทรก โดยเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ ชนิดไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลท และยูริเทน ไดเมทาคริเลท จะมีค่าความต้านทานการแตกหักมากกว่าเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ ชนิดอีทอกซิลเลท บิสฟีนอล เอ ไกลคอล ไดเมทาคริเลท (ethoxylated

bisphenol A glycol dimethacrylate, Bis-EMA)¹⁸ ซึ่งในการศึกษานี้ กลุ่ม FZF เป็นกลุ่มเดียวที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ชนิดอีทอกซิลเอท บิสฟีนอล เอ โกลคอล ไดมทาคริลเอท และมีผลค่าความแข็งแรงบริเวณขอบน้อยที่สุดหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ และการศึกษาของ Rodriguez และคณะในปี 2019 ยังชี้ให้เห็นว่ารูปร่าง ชนิดและขนาดของวัสดุอุดแทรกมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล โดยวัสดุอุดแทรกชนิดซิลิกานาโนคลัสเตอร์รูปทรงโดนัท (doughnut-shape nanoclusters) และวัสดุอุดแทรกอสัณฐานขนาดไมโคร (amorphous microparticles) ให้คุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียง หรืออาจดีกว่าวัสดุอุดแทรกขนาดนาโนรูปทรงกลม (spherical nanoclusters) ที่นิยมใช้ในวัสดุเรซินคอมโพสิตในปัจจุบัน¹⁹ ซึ่งวัสดุกลุ่ม CA GP CEF TNF มีวัสดุอุดแทรกรูปร่างอสัณฐานขนาดไมโคร^{5,20-22} กลุ่ม GUI มีวัสดุอุดแทรกรูปร่างอสัณฐานขนาดนาโน⁴ ส่วนกลุ่ม FZF มีวัสดุอุดแทรกรูปทรงกลม²³ จึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงบริเวณขอบในการศึกษานี้

ผลการศึกษานี้พบว่าชนิดของเรซินคอมโพสิตและการผ่านกระบวนการเร่งอายุมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณขอบ นอกจากนี้พบว่ากระบวนการเร่งอายุส่งผลให้ความแข็งแรงบริเวณขอบของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมติฐานการวิจัยที่ว่ากระบวนการเร่งอายุไม่มีผลต่อความแข็งแรงบริเวณขอบของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม โดยการทำให้เทอร์โมไซคลิกเป็นกระบวนการเร่งอายุโดยจำลองอุณหภูมิในช่องปากที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการดื่มน้ำและรับประทานอาหาร ทำให้วัสดุที่นำมาทดสอบเกิดการเสื่อมสลายโดยน้ำ (hydrolysis) และอุณหภูมิ (thermal degradation)²⁴ จากการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเร่งอายุด้วยวิธีเทอร์โมไซคลิกต่อความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะโดยอ้อมของ Kawano และคณะในปี 2001 พบว่าวัสดุทุกกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบมีความแข็งแรงโค้งงอลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการทำเทอร์โมไซคลิก แต่อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงโค้งงอหลังการทำเทอร์โมไซคลิกมากกว่า 5000 รอบ²⁵ นอกจากนี้การศึกษาของ Ghavami-Lahiji และคณะในปี 2018 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตหลังการทำเทอร์โมไซคลิก โดยพบการเผยผิวดังของวัสดุอุดแทรกและมีบางส่วนหลุดออก²⁶ ซึ่งการดูน้ำของวัสดุเรซินคอมโพสิตส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื่องจากน้ำจะไปสลายพันธะเคมีระหว่างสารเชื่อม (silane) กับผิววัสดุอุดแทรก ทำให้เกิดการแยกกันของวัสดุอุดแทรกและเมทริกซ์เรซินเกิดการอ่อนตัว และการหลุดออกของวัสดุอุดแทรก^{24,27} แต่ผลการศึกษาไม่พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังกระบวนการเร่งอายุของกลุ่มเรซินคอมโพสิตไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง อาจเนื่องมาจาก

ความแตกต่างด้านองค์ประกอบ การเชื่อมกันของวัสดุอุดแทรกและเมทริกซ์ที่มีการพัฒนาให้มีการเชื่อมกันแน่นกว่ากลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม จากการศึกษาของ Oliveira และคณะในปี 2010 พบว่าวัสดุที่มีความแน่นหนาของการเชื่อมต่อของสายพอลิเมอร์มากจะมีการดูน้ำน้อยกว่าเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างสายพอลิเมอร์ที่น้อยกว่า²⁸ ซึ่งการศึกษาของ Pfeifer และคณะในปี 2009 พบว่าการเชื่อมกันอย่างแน่นหนาของสายพอลิเมอร์ส่งผลต่อคุณสมบัติความต้านการแตกหักของวัสดุ และเกิดการเสื่อมสลายต่ำ โดยเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ชนิดไตรเอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริลเอทจะเป็นโมเลกุลที่ช่วยในการเชื่อมสายพอลิเมอร์ให้มีความแน่นหนามากที่สุด รองลงมาคือมอนอเมอร์ชนิดยูริเทน ไดมทาคริลเอท มอนอเมอร์ชนิดไตรเอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริลเอทร่วมกับยูริเทน ไดมทาคริลเอท และมอนอเมอร์ชนิดอีทอกซิลเอท บิสฟีนอล เอ โกลคอล ไดมทาคริลเอท ตามลำดับ¹⁸ ซึ่งหากจัดลำดับตามความแน่นหนาของสายพอลิเมอร์จะพบว่ากลุ่ม CA และกลุ่ม CEF มีความแน่นหนาของสายพอลิเมอร์มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่ม GP กลุ่ม GUI และกลุ่ม TNF กลุ่มที่มีความแน่นหนาน้อยที่สุดคือกลุ่ม FZF แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถสรุปความแน่นหนาของสายพอลิเมอร์ได้แน่ชัด เนื่องจากอาจมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น ร้อยละโดยโมลของมอนอเมอร์ในแต่ละวัสดุ และผลของมอนอเมอร์ชนิดอื่นในวัสดุ

จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตที่นำมาศึกษาสามารถทนแรงกดที่ตำแหน่งห่างจากขอบวัสดุ 0.5 มิลลิเมตร ได้ตั้งแต่ 241.14±24.44 ถึง 391.20±20.72 นิวตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงกดเคี้ยวปกติในผู้ใหญ่ที่มีกระหว่าง 70 ถึง 150 นิวตัน²⁹ วัสดุที่นำมาศึกษาจึงสามารถใช้บูรณะในผู้ป่วยที่มีแรงกดเคี้ยวปกติได้

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถจำลองสภาวะจริงในทางคลินิกที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุได้ เช่น ผลของสารยึดติด ความลึก และลักษณะที่แตกต่างกันของโพรงฟัน ผลที่ได้จากการศึกษาจึงใช้เป็นแนวทางขั้นต้นในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับแรงกดเคี้ยวในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้อาจไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตที่ไม่ได้นำมาศึกษาในครั้งนี้ได้ เนื่องจากอาจมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงไม่ได้มีความแข็งแรงบริเวณขอบสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม แต่กระบวนการเร่งอายุไม่ทำให้ค่า

ความแข็งแรงบริเวณขอบของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดย G-aenial Universal Injectable เป็นกลุ่มเดียวที่มีความแข็งแรงบริเวณขอบเพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนการเร่งอายุ ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิม มีความแข็งแรงบริเวณขอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังกระบวนการเร่งอายุ แต่อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมมีค่าความแข็งแรงบริเวณขอบมากที่สุดทั้งก่อนและหลังกระบวนการเร่งอายุ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ทพ.ดร. สรนันท์ จันทรางศุ ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือด้านสถิติงานวิจัย และขอขอบคุณบุคลากรประจำศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Leinfelder KF. Posterior composite resins: the materials and their clinical performance. *J Am Dent Assoc* 1995;126(5):663-4, 7-8, 71-2.
2. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. *J Dent Res* 2010; 89(10):1063-7.
3. Watts DC, Issa M, Ibrahim A, Wakiaga J, Al-Samadani K, Al-Azraqi M, et al. Edge strength of resin-composite margins. *Dent Mater* 2008;24(1):129-33.
4. GC Corporation. G-aenial Universal Injectable Technical Manual: GC Europe; 2018 [Available from: <https://europe.gc.dental/en-AO/products/gaenialuniversalinjectable>].
5. Kuraray Noritake Dental Inc. Clearfil AP-X Esthetics Flow: Kuraray Noritake Dental Inc; 2020 [Available from: https://www.kuraraynoritake.com/world/product/composites/clearfil_apx_estflow.html].
6. Nazari A, Sadr A, Saghiri MA, Campillo-Funollet M, Hamba H, Shimada Y, et al. Non-destructive characterization of voids in six flowable composites using swept-source optical coherence tomography. *Dent Mater* 2013;29(3):278-86.
7. Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent* 2015;40(2):172-80.
8. Al Sunbul H, Silikas N, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dent Mater* 2016; 32(8):998-1006.
9. Rocha Gomes Torres C, Rego HM, Perote LC, Santos LF, Kamozaqi MB, Gutierrez NC, et al. A split-mouth randomized clinical trial of

conventional and heavy flowable composites in class II restorations. *J Dent* 2014;42(7):793-9.

10. Kitasako Y, Sadr A, Burrow MF, Tagami J. Thirty-six month clinical evaluation of a highly filled flowable composite for direct posterior restorations. *Aust Dent J* 2016;61(3):366-73.
11. Baroudi K, Silikas N, Watts DC. Edge-strength of flowable resin-composites. *J Dent* 2008;36(1):63-8.
12. Burke FJ, Wilson NH, Cheung SW, Mjor IA. Influence of patient factors on age of restorations at failure and reasons for their placement and replacement. *J Dent* 2001;29(5):317-24.
13. Quinn GD. On edge chipping testing and some personal perspectives on the state of the art of mechanical testing. *Dent Mater* 2015;31(1):26-36.
14. Quinn GD, Giuseppetti AA, Hoffman KH. Chipping fracture resistance of dental CAD/CAM restorative materials: part 2. Phenomenological model and the effect of indenter type. *Dent Mater* 2014;30(5):e112-23.
15. Balos S, Pilic B, Petronijevic B, Markovic D, Mirkovic S, Sarcev I. Improving mechanical properties of flowable dental composite resin by adding silica nanoparticles. *Vojnosanit Pregl* 2013;70(5):477-83.
16. Chai H, Lawn BR. A universal relation for edge chipping from sharp contacts in brittle materials: a simple means of toughness evaluation. *Acta Mater* 2007;55(7):2555-61.
17. Jager S, Balthazard R, Dahoun A, Mortier E. Filler Content, Surface Microhardness, and Rheological Properties of Various Flowable Resin Composites. *Oper Dent* 2016;41(6):655-65.
18. Pfeifer CS, Silva LR, Kawano Y, Braga RR. Bis-GMA co-polymerizations: influence on conversion, flexural properties, fracture toughness and susceptibility to ethanol degradation of experimental composites. *Dent Mater* 2009;25(9):1136-41.
19. Rodriguez HA, Kriven WM, Casanova H. Development of mechanical properties in dental resin composite: Effect of filler size and filler aggregation state. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2019;101:274-82.
20. Fischer K, Lendenmann U. Tetric N-Collection Scientific Documentation: Ivoclar Vivadent; 2010 [Available from: <https://asia.ivoclarvivadent.com/en-as/all-products/composites/tetric-n-line>].
21. GC Corporation. G-aenial Anterior and Posterior technical manual: GC EUROPE; 2012 [Available from: https://cdn.gceurope.com/v1/PID/.gaenial/manual/MAN_G-aenial_Anterior-Posterior_en.pdf].
22. Scougall-Vilchis RJ, Hotta Y, Hotta M, Idono T, Yamamoto K. Examination of composite resins with electron microscopy, microhardness tester and energy dispersive X-ray microanalyzer. *Dent Mater J* 2009;28(1):102-12.
23. Askifgajer V HF, Hainety AS. Filtek technical product profile: 3M ESPE; 2010 [Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/>

media/7278180/filtek-z350-xt-flowable-restorative-technical-product-profile.pdf.

24. Souza RO, Ozcan M, Michida SM, de Melo RM, Pavanelli CA, Bottino MA, *et al*. Conversion degree of indirect resin composites and effect of thermocycling on their physical properties. *J Prosthodont* 2010;19(3):218-25.

25. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Matsumoto N. Influence of thermal cycles in water on flexural strength of laboratory-processed composite resin. *J Oral Rehabil* 2001;28(8):703-7.

26. Ghavami-Lahiji M, Firouzmanesh M, Bagheri H, Jafarzadeh Kashi TS, Razazpour F, Behroozibakhsh M. The effect of thermocycling

on the degree of conversion and mechanical properties of a microhybrid dental resin composite. *Restor Dent Endod* 2018;43(2):e26.

27. Toledano M, Osorio R, Osorio E, Fuentes V, Prati C, Garcia-Godoy F. Sorption and solubility of resin-based restorative dental materials. *J Dent* 2003;31(1):43-50.

28. de Oliveira JC, Aiello G, Mendes B, Urban VM, Campanha NH, Jorge JH. Effect of Storage in Water and Thermocycling on Hardness and Roughness of Resin Materials for Temporary Restorations. *Mater Res-Ibero-Am J* 2010;13(3):355-9.

29. Anderson DJ. Measurement of stress in mastication. II. *J Dent Res* 1956;35(5):671-3.