



ความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต สำหรับบูรณะฟันหลัง

อภาภรณ์ ภาษาลุข^{1,*} พิชญา จารุรัชตพันธ์² จุลลดา กองทุน³ เจนวิทย์ จรุงวิทย์⁴

บทความวิจัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวด้านการแตกหักระหว่างเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการบูรณะฟันหลัง 7 ชนิด ได้แก่ เดตริกเอ็นซีแรม บัลด์ฟิลล์ (TB) เจเนียลโพสทีเรีย (GP) ฟิลล์อัฟ (FU) เอ็กซ์ตร้าฟิลล์ (XF) ฟิลเทคบัลด์ฟิลล์ (FB) เอเวอร์เอ็กซ์โพสทีเรีย (EXP) และ ฟิลเทคซี 350 เอ็กซ์ที (Z350XT) **วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ:** เตรียมตัวอย่างเรซินคอมโพสิตแบบซิงเกิลเอนด์จันต์บีม ในแม่แบบอะคริลิกขนาด 2x25x2 มม (กลุ่มละ 10 ชิ้น) แซ่ขึ้นตัวอย่างทุกชิ้นในน้ำกลั่น (37°C, 24 ชม) ก่อนทำการทดสอบ วัดความเหนียวด้านการแตกหักด้วยการทดสอบแบบกดสามจุด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงแบบสากล เปรียบเทียบค่าความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิตแต่ละกลุ่มด้วยการทดสอบครัสคาล-วาลิส และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคู่ด้วยการทดสอบแมนวิทนี ยู ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 **ผล:** ผลการทดลองพบว่าค่าความเหนียวด้านการแตกหัก (MPa·m^{0.5}) เรียงจากน้อยไปมากคือ TB, GP, FU, XF, Z350XT, FB และ EXP ตามลำดับ พบว่า EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่า TB, GP และ FU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับ FB Z350XT และ XF ในขณะที่ XF, Z350XT และ FB มีความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่า TB และ GP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **บทสรุป:** จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิดมีความเหนียวด้านการแตกหักแตกต่างกัน โดยเรซินคอมโพสิตชนิดเสริมเส้นใยเสริมแรง EXP แสดงค่าความเหนียวด้านการแตกหักที่สูงที่สุด

คำไชรหัส: ความเหนียวด้านการแตกหัก/ เรซินคอมโพสิตสำหรับบูรณะฟันหลัง/ เรซินคอมโพสิต/ เรซินคอมโพสิตชนิดบัลด์ฟิลล์

Received: Jun 25, 2024

Revised: Dec 03, 2024

Accepted: Feb 07, 2025

บทนำ

เรซินคอมโพสิต (Resin composite) เป็นวัสดุที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในการบูรณะโพรงฟันทุกชนิด รวมทั้งในฟันหลังซึ่งเป็นบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยวมาก^{1,2} (Stress bearing area) เนื่องจากมีความสวยงาม สามารถเตรียมโพรงฟันโดยการอุดเนื้อฟัน มีการยึดติด (Adhesion) กับเคลือบฟัน (Enamel) และเนื้อฟัน (Dentin) เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติด (Adhesive) เพื่อให้เกิดความแนบสนิทได้ขอบวัสดุและเพิ่มการยึดอยู่ มีคุณสมบัติในด้านการคงทนของสี (Color stability) รวมถึงมีคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property)

เช่น ความเค้นแรงดึง (Tensile stress) ความเค้นแรงอัด (Compressive stress) ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress) ความแข็งผิว (Hardness) ที่เหมาะสม³ เรซินคอมโพสิตได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การปรับเปลี่ยนสารอัดแทรก (Filler) ให้มีขนาดเล็กไม่เกิน 1 ไมครอน (Micron) เพื่อให้ต้านทานการสึก (Wear resistance) ได้มากขึ้น การเพิ่มปริมาณ สารอัดแทรกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและการต้านการแตกหักของวัสดุ (Fracture resistance) เรซินคอมโพสิตก็มีข้อด้อย คือ การหดตัวจากการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน

¹ สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² แผนกทันตกรรม วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร อำเภอมะนัง จังหวัดขอนแก่น

³ แผนกทันตกรรม โรงพยาบาลอุบลรัตน์ อำเภอบุขารัตน์ จังหวัดขอนแก่น

⁴ แผนกทันตกรรม โรงพยาบาลโกสุมพิสัย อำเภอกอสมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

* ผู้ประพันธ์บทความ

(Polymerization shrinkage)^{4,5} ซึ่งอาจทำให้เกิดช่องว่างบริเวณขอบวัสดุ (Marginal leakage) กับโพรงฟัน มีโอกาสเกิดการผุซ้ำ (Recurrent caries) การหดตัวของเรซินคอมโพสิตสามารถลดได้โดยการบูรณะแบบใส่เป็นชั้น (Incremental placement)⁶ อย่างไรก็ตาม การอุดแบบชั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้ เช่น การเกิดฟองอากาศ (Void) หรือการปนเปื้อน (Contamination) ระหว่างชั้นของวัสดุ โดยเฉพาะในโพรงฟันที่ลึกหรือมีขนาดใหญ่ซึ่งต้องทำการอุดหลาย ๆ ชั้น ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุ⁷ จึงได้มีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ (Bulk-fill resin composite)⁸ ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดหดตัวต่ำ (Low shrink resin composite) และสามารถบ่มตัวได้ที่มีความลึก 4-5 มิลลิเมตรโดยการปรับปรุงองค์ประกอบของวัสดุเพื่อลดการหดตัวจากการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การปรับเปลี่ยนส่วนเมทริกซ์โดยเพิ่มไซโลเรโนโมโนเมอร์ (Silorane monomer) หรือเติมไซเลน (Silane) ในวัสดุอุดแทรก เพื่อให้เกิดระบบวงแหวนเปิด (Ring-opening system) ซึ่งมีผลช่วยลดการหดตัวจากการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันได้อย่างมีนัยสำคัญ⁹ หรือการเติมสารควบคุมการโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization modulator) เช่น ยูรีเทนไดเมทาคริเลท (Urethane di-methacrylate) ช่วยทำให้เกิดโพลิเมอร์ไรเซชันช้าลง มีผลช่วยลดความเครียดลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดโพลิเมอร์ การพัฒนาความสามารถบ่มตัวด้วยแสงของวัสดุเรซินคอมโพสิตให้สามารถบ่มตัวด้วยแสงที่มีความหนา 4-5 มิลลิเมตรนั้น เกิดจากการปรับปรุงวัสดุให้มีความโปร่งแสง (Light transmission) สูงขึ้น เช่น การลดปริมาณวัสดุอุดแทรก หรือมีการปรับปรุงส่วนของสารดูดกลืนแสง เช่น เตตริคเอ็นซีแรมบัลค์ฟิลล์ (Tetric N Ceram bulk fill) ได้มีการใช้ไอโวเซอร์อิน (Ivocerin) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไดเบนโซอิล เจอร์มาเนียม (Dibenzoyl germanium derivative) มาเป็นสารตั้งต้นการดูดกลืนแสง (Photo initiator) ทำให้วัสดุมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption coefficient) สูงขึ้น จึงสามารถเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันในความลึกที่มากขึ้นได้^{10,11} ช่วยให้การบูรณะเรซินคอมโพสิตในฟันหลังทำได้ง่ายขึ้น ใช้เวลาน้อยลง และช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการบูรณะแบบชั้นได้อีกด้วย นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติให้เหมาะสมในการบูรณะฟันหลังเพื่อรับแรงบดเคี้ยวและเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแตกหัก เช่น เอเวอร์เอ็กซ์ โพลีทีเรีย (everX Posterior) มีการเติมดิสคอนตินิวอิเลคตริคอลลกาสไฟเบอร์ (Discontinuous electrical glass fiber; E-glass fiber) เข้า

ไปในส่วนวัสดุอุดแทรก ทำให้เกิดการเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่าย (Semi-interpenetrating polymer network) ซึ่งช่วยในการถ่ายเทความเครียด เป็นตัวหยุดการขยายรอยร้าวของวัสดุ¹²

การแตกหักเป็นหนึ่งในปัญหาที่พบได้มากของการบูรณะฟันหลังด้วยเรซินคอมโพสิต¹ ความเหนียวด้านการแตกหักจะแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการแตกหักที่เกิดจากการขยายรอยร้าวที่มีอยู่ในวัสดุ (Crack propagation)¹³ ซึ่งรอยร้าวที่มีอยู่นั้นอาจเกิดจากการขัดแต่งรูปร่างเรซินคอมโพสิตหรือเป็นตำหนิที่เกิดขึ้นระหว่างการอุด ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมของ Heintze และคณะ¹⁴ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวด้านการแตกหักกับการเกิดการแตกหักของวัสดุอุดในคลินิก และมีการศึกษาที่พบว่า ค่าความเหนียวด้านการแตกหัก สัมพันธ์กับการแตกหักตามขอบ (Marginal breakdown) และการสึก (Wear) ของเรซินคอมโพสิต^{15,16} ค่าความเหนียวด้านการแตกหักขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ และมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความเครียด (Stress) จากเมทริกซ์ของโพลิเมอร์ไปยังอนุภาคสารอุดแทรก ดังนั้นการพัฒนาระบบสารอุดแทรก (Filler system) และโครงสร้างโมโนเมอร์ของเรซินเมทริกซ์ จึงอาจมีผลต่อคุณสมบัติการต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตได้จากการศึกษาที่ผ่านมา¹⁷ พบว่าเรซินคอมโพสิตควรมีค่าความเหนียวด้านการแตกหักตั้งแต่ 1 ถึง 2 MPa·m^{0.5} การทดสอบค่าความเหนียวด้านการแตกหักสามารถทำได้หลายรูปแบบ¹³ เช่น วิธีซิงเกิลเอดจ์นอตบีม (Single edge notch beam method: SENB) ภายใต้การทดสอบแบบกด 3 จุด (Three point bending test) วิธีทดสอบด้วยตัวอย่างแบบคอมแพคเทนชัน (Compact tension specimen) ภายใต้การทดสอบแบบแรงดึงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tension) การทดสอบด้วยบราซิลเลียนดิสก์เทสต์ (Brazilian disk test) ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมมากในการทดสอบเรซินคอมโพสิต คือการทดสอบด้วยวิธีซิงเกิลเอดจ์นอตบีม เนื่องจากทำได้ง่ายและสะดวก¹⁸ เช่นการศึกษาของ Ibarra และคณะ¹⁹ เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินคอมโพสิตบัลค์ฟิลล์ กับเรซินคอมโพสิตไมโครไฮบริดและการศึกษาของ Tiba และคณะ²⁰ เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเรซินคอมโพสิตบัลค์ฟิลล์กับเรซินคอมโพสิตนาโน อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อด้อย คือ ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาดใหญ่ อาจทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ¹³

การพัฒนาคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิตโดยการปรับปรุงองค์ประกอบบางส่วนอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยเฉพาะเรซินคอมโพสิตที่ใช้สำหรับบูรณะฟันหลัง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการรับแรงบดเคี้ยวสูงและมีโอกาสเกิดการแตกหักได้ง่าย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานการขยายรอยร้าวในวัสดุ โดยเปรียบเทียบค่าความเหนียวต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่นำมาใช้ในการบูรณะฟันหลังชนิดต่าง ๆ ที่มีให้เลือกใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ บัลค์ฟิลล์เรซินคอมโพสิต 6 ชนิด และเรซินคอมโพสิตชนิดยูนิเวอร์ซอล 1 ชนิด เพื่อสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกใช้เรซินคอมโพสิตในการบูรณะฟันหลังในคลินิกต่อไป โดยมีสมมุติฐานการศึกษา คือค่าความเหนียวต้านทานการแตกหักของเรซินทั้ง 7 ชนิด ไม่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental research) เปรียบเทียบค่าความเหนียวต้านทานการแตกหักของวัสดุเรซินคอมโพสิต 7 ชนิด ได้แก่ เรซินคอมโพสิตบัลค์ฟิลล์ชนิด เจเนียลโพสทีเรีย (G-aenial posterior; GP) เตตริกเอ็นซีแรมบัลค์ฟิลล์ (Tetric N Ceram Bulk Fill; TB) ฟิลล์อัฟ (Fill-Up; FU) เอ็กซ์ตราฟิลล์ (X-tra Fil; XF) ฟิลเทคบัลค์ฟิลล์ (Filtek Bulk Fill; FB) และเอเวอร์เอ็กซ์ โพสทีเรีย (everX Posterior; EXP) และเรซินคอมโพสิตชนิดยูนิเวอร์ซอล ฟิลเทคซี 350 เอ็กซ์ที (Filtek Z350XT; Z350XT) (ตารางที่ 1) โดยทำการศึกษาในชั้นตัวอย่างกลุ่มละ 10 ชั้น ซึ่งจำนวนกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณขนาดตัวอย่างภายหลังการทำวิจัยนำร่อง (Pilot study) ด้วยโปรแกรม G*Power™ version 3.1.9.2

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษานี้

Table 1 Composition of resin composites used in this study

Resin composite	Manufacturer	Type	Matrix composition	Inorganic filler content (wt%/ vol%)
Filtek Z350 XT (Z350XT)	3M ESPE	Nano fill	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA, Bis-EMA	Zirconia filler, and aggregated zirconia/silica cluster filler (78.5/63.3)
Tetric N Ceram Bulk Fill (TB)	Ivoclar Vivadent	Bulk fill	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	Barium aluminium silicate glass (ytterbium fluoride and spherical mixed oxide) (80/61)
G-aenial Posterior (GP)	GC Corp.	MFR hybrid composite	UDMA, dimethacrylate co-monomers	Prepolymerized filler, FAL-silicate glass, (81 /-)
Fill Up (FU)	Coltene	Dual cure Bulk fill	UDMA, Bis-GMA, TEGDMA, TMPTMA, dibenzoyl peroxide; benzoyl peroxide	Zinc oxide coated filler, (65/49)
X-tra Fil (XF)	Voco	Bulk fill	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA	Bariumborosilicatesilicate (86/70.1)
Filtek Bulk Fill (FB)	3M ESPE	Bulk fill	AUDMA, DDDMA, UDMA	Ytterbium trifluoride and zirconia filler, an aggregated zirconia/silica cluster filler (76.5/58.4)
everX Posterior (EXP)	GC Corp.	Bulk fill	Bis-GMA, PMMA, TEGDMA	Short E-glass fibers, barium borosilicate glass particulate (74.2/53.6)

Bis-GMA: Bisphenol A-diglycidyl dimethacrylate, Bis-EMA:Ethoxylated bisphenol A dimethacrylate, TEGDMA:Triethylene glycol dimethacrylate, PEGDMA: Polyethylene glycol dimethacrylate, PMMA: Polymethyl methacrylate, UDMA:Urethane dimethacrylate, TMPTMA: Trimethylolpropane trimethacrylate, AUDMA: aromatic dimethacrylate, DDDMA:1,12-Dodecanediol dimethacrylate

การเตรียมเรซินคอมโพสิต เตรียมแม่แบบอะคริลิกใส รูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมขนาด 2x25x2 มิลลิเมตร ซึ่งมีใบมีดแบบคมมีดตัดตรง และมีด้านคมทั้ง 2 ข้างของใบมีดฝังไว้กึ่งกลางของแม่แบบ (รูปที่ 1a) เพื่อให้ได้ตัวอย่างแบบซิงเกิลเอตจันोटบีมที่มีรอยบากลึก 1 มิลลิเมตร^{13,21,22} (รูปที่ 1b) ทาผิวแม่แบบด้วยกลีเซอริน (Glycerin) โดยใช้ฟู่กัน เพื่อป้องกันไม่ให้เรซินคอมโพสิตติดกับแม่แบบ นำเรซินคอมโพสิตใสในแม่แบบด้วยพลาสติกอินสตรูเมนต์ ทำการอุดแบบครั้งเดียวให้เต็มแม่แบบ จากนั้นปิดด้วยผิวเรซินคอมโพสิตด้วยแผ่นกระจกใส (Glass slide) และกำจัดวัสดุส่วนเกินด้านข้างออกด้วยพลาสติกอินสตรูเมนต์ ทำการฉายแสงแบบซ้อนทับ (Overlapping exposure) ชั้นละ 4 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Demi™ plus, Kerr, USA) โดยวางปลายกระบอกเครื่องฉายแสงบนแผ่นกระจกใสและตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่าง นำตัวอย่างออกจากแม่แบบอย่างระมัดระวัง จะได้ชิ้นตัวอย่างของเรซินคอมโพสิตขนาด 2x25x2 มิลลิเมตร ทำการตัดเข้าชิ้นตัวอย่างตามเกณฑ์การตัดเข้า โดยวัดขนาดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดขนาดดิจิทัลเวอร์เนีย (Digital vernier, Hachi, China) เพื่อตัดชิ้นตัวอย่างมีขนาด 2x25x2 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร และตรวจดูชิ้นตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Nikon measurescope 20, Japan) ที่กำลังขยาย 20 เท่า เพื่อวัดความลึกของรอยบากเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร และตำแหน่งของรอยบากอยู่กึ่งกลางชิ้นตัวอย่าง ไม่พบรอยแตกหรือรูลุพุนที่บริเวณส่วนปลายของรอยบาก นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์การตัดเข้าแช่ในน้ำกลั่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ²³

การทดสอบความเหนียวต้านทานการแตกหัก นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดไปทดสอบค่าความเหนียวต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากล (Universal testing machine, LLOYD LR30K, UK) ด้วยวิธีทดสอบแบบกดสามจุด (รูปที่ 1c) โดยมีระยะห่างระหว่างจุดกดเครื่องมือ 20 มิลลิเมตร^{13,23,24} ความเร็วหัวทดสอบ 0.13 มิลลิเมตรต่อนาที 23-25 จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการแตกหัก

บันทึกค่าแรงและคำนวณความเหนียวต้านทานการแตกหัก (K_{IC}) ของแต่ละชิ้นตัวอย่างจากสูตร²³

$$K_{IC} = \left[\frac{P \times S}{b \times w^{1.5}} \right] \times f \left(\frac{a}{w} \right)$$

K_{IC} = Fracture toughness (MPa.m^{0.5})

P = Peak load (Newton)

w = The width of sample (Meter)

b = Thickness of sample (Meter)

S = Span distance (Meter)

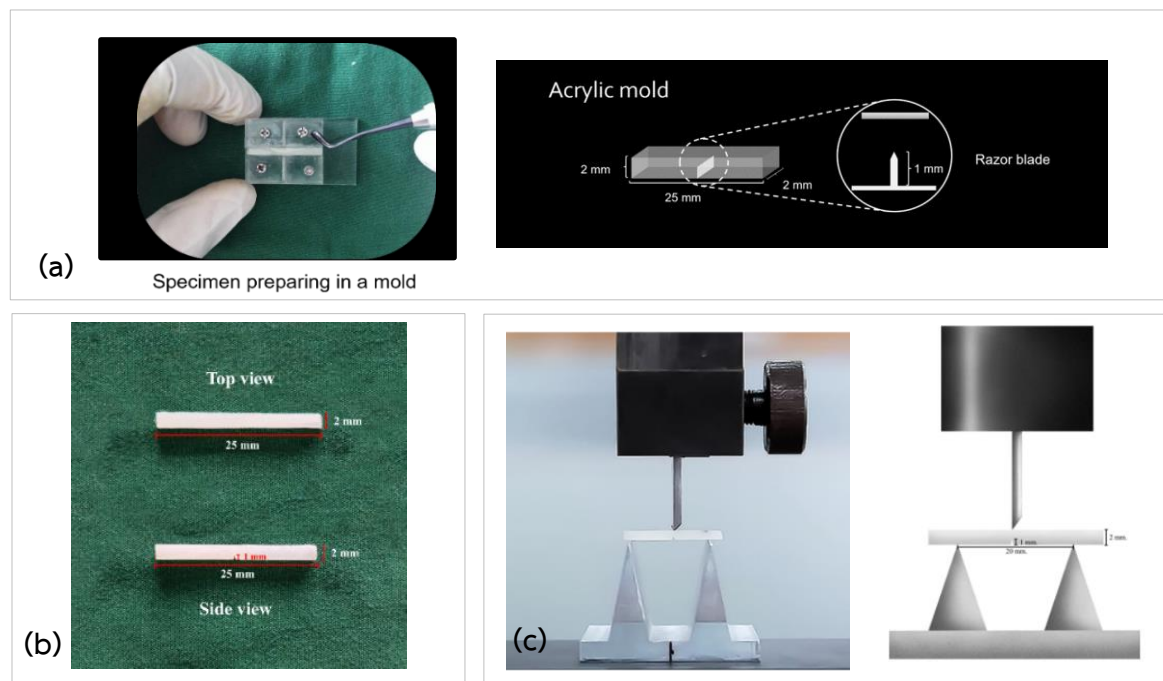
a = The notch length (Meter)

โดยที่ $f \left(\frac{a}{w} \right)$ คำนวณได้จากสมการ

$$= \sqrt{\left(\frac{a}{w} \right) \left(\frac{1.99 - (a/w) \times [1 - (a/w)] \times [2.15 - 3.93(a/w) + 2.7(a/w)^2]}{2 \times [1 + 2(a/w)] \times [1 - (a/w)]^{3/2}} \right)}$$

วิเคราะห์ข้อมูลความเหนียวต้านทานการแตกหักของวัสดุเรซินคอมโพสิต 7 ชนิด โดยใช้ SPSS™ 17.0 for Windows ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการตรวจสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ($p > 0.05$) ตรวจสอบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Test of homogeneity of variances) ด้วยการทดสอบลีวิน (Levene's test) พบว่าข้อมูลมีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) จึงวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบครัสคาล-วาลลิส (Kruskal-Wallis test) พบว่า ค่าความเหนียวต้านทานการแตกหักของวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน ($p < 0.001$) จากนั้นจึงวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคู่ด้วยการทดสอบแมนวิทนี ยู (Mann-Whitney U test) โดย $\alpha = \frac{0.05}{21} = 0.002$

ทำการประเมินผิวรอยแตกของโดยการส่องตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้นต่อกลุ่มตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, S-3000N, Hitachi, Japan)



รูปที่ 1 (a) การเตรียมชิ้นตัวอย่างในแบบอะคริลิก (b) ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมเสร็จ (c) การทดสอบความเหนียวด้านทานการแตกหักในชิ้นตัวอย่าง และภาพจำลอง

Figure 1 (a) Specimen preparation in acrylic mold (b) Prepared specimen (c) Fracture toughness testing of specimens and simulated image

ผล

จากการเปรียบเทียบค่ามัธยฐาน (Median) ของค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักในแต่ละกลุ่มโดยใช้การทดสอบ คริสตัล-วาลลิส พบว่าค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน ($p < 0.001$) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคู่ด้วยการทดสอบแมน-วิทนี ยู ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ผลดังนี้ (ตารางที่ 2) (รูปที่ 2)

TB และ GP มีค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักใกล้เคียงกันโดยต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ FU ($p = 0.84$ และ 0.83 ตามลำดับ) และพบว่า FU มีค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักต่ำกว่า EXP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

เรซินคอมโพสิตชนิด XF Z350XT และ FB มีค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักสูงกว่า TB และ GP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) EXP มีค่าความเหนียว

ด้านทานการแตกหักสูงที่สุด โดยมีความแตกต่างจาก TB GP และ FU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

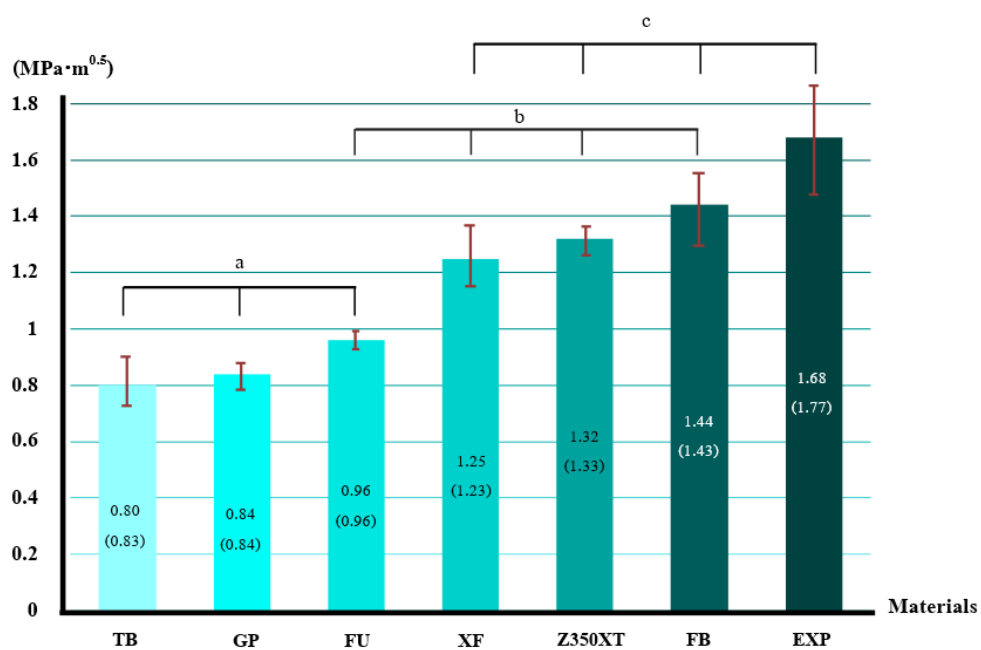
เมื่อนำพื้นผิวรอยแตกของชิ้นตัวอย่างทุกกลุ่มมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดด้วยกำลังขยาย 500 เท่า 2,000 เท่า และ 5,000 เท่า พบลักษณะสัณฐานของพื้นผิวรอยแตกและสารอัดแทรกที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด (รูปที่ 3) โดยเรซินคอมโพสิตชนิด TB และ GP พบสารอัดแทรกรูปร่างไม่แน่นอน ขนาดใกล้เคียงกันกระจายอยู่โดยทั่วไปและพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ FU พบลักษณะสารอัดแทรกทั้งรูปร่างกลมและรูปร่างไม่แน่นอนอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน และพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ เรซินคอมโพสิตชนิด XF มีลักษณะสารอัดแทรกรูปร่างไม่แน่นอนขนาดเล็กร่วมกับสารอัดแทรกรูปเหลี่ยมขนาดใหญ่ ในกลุ่ม Z350XT และ FB พบลักษณะเป็นกลุ่มของสารอัดแทรกรูปร่างกลมขนาดใกล้เคียงกันร่วมกับผิวรอยแตกลักษณะเป็นหลุมกลมโดยทั่วไป ในกลุ่ม EXP พบบริเวณที่แตกหักมีเส้นใยทรงกระบอกแทรกอยู่ในส่วนสารอัดแทรกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน และพื้นผิวมีลักษณะขรุขระเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบการสิ้นสุดเส้นรอยแตกที่บริเวณเส้นใย

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน และช่วงระหว่างควอไทล์ของเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิด

Table 2 Mean, Standard deviation, Median, and interquartile range of 7 resin composites

Resin composites	N	Mean (MPa·m ^{0.5})	Std. Deviation	Median (MPa·m ^{0.5})	IQR (Q1-Q3)	P-value
TB	10	0.83	0.03	0.80 ^a	0.77-0.86	0.16
GP	10	0.84	0.01	0.84 ^a	0.82-0.88	0.78
FU	10	0.96	0.01	0.96 ^{ab}	0.93-0.99	0.19
XF	10	1.23	0.05	1.25 ^{bc}	1.09-1.37	0.35
Z350XT	10	1.33	0.02	1.32 ^{bc}	1.27-1.39	0.91
FB	10	1.43	0.07	1.44 ^{bc}	1.30-1.58	0.96
EXP	10	1.77	0.09	1.68 ^c	1.59-1.93	0.96

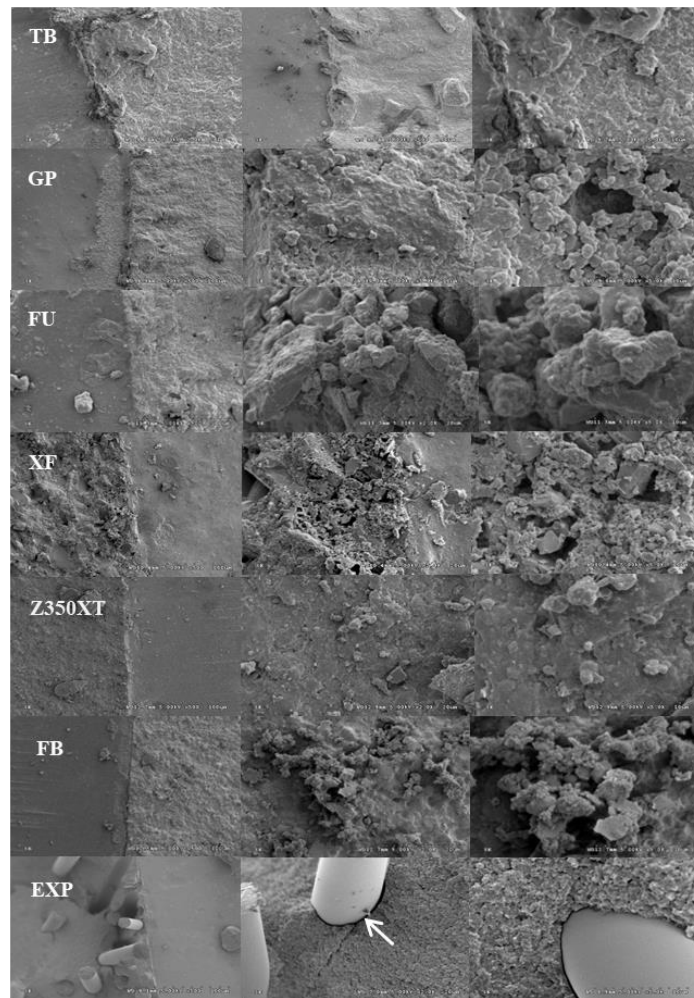
*Same superscript letters indicate no statistically significant difference



*Same labeled letters indicate no statistically significant difference

รูปที่ 2 เปรียบเทียบความเหนียวต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิด แสดงค่ามัธยฐาน (ค่าเฉลี่ย)

Figure 2 Compare the fracture toughness and resistance of the seven types of composite resins, showing the median (mean) values



รูปที่ 3 พื้นผิวบริเวณรอยแตกของเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิด เมื่อถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงลักษณะของสารอัดแทรกของเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิด และชั้นตัวอย่างที่แตกหักของ EXP พบลักษณะเส้นใยในสารอัดแทรกและการสิ้นสุดของรอยแตกบริเวณเส้นใย (ลูกศรชี้)

Figure 3 The surface characteristics at the fracture sites of each type of composite resin, as observed under a scanning electron microscope, reveal the characteristics of the filler material in each type of composite resin. In the fractured specimen of EXP, fiber-like features were observed within the filler material, along with the termination of cracks near the fibers (as indicated by the arrows)

บทวิจารณ์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวด้านการแตกหักระหว่างเรซินคอมโพสิต สำหรับใช้บูรณะในฟันหลัง 7 ชนิด ที่มีให้เลือกใช้ในปัจจุบัน โดยเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ 6 ชนิด และยูนิเวอร์ซอลเรซินคอมโพสิตที่สามารถใช้บูรณะได้ทั้งฟันหน้าและฟันหลัง 1 ชนิด ทำการทดสอบด้วยวิธีซิงเกิลเอดจ์นอตบีมภายใต้การทดสอบแบบกดสามจุด ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความเหนียวด้านการแตกหักที่ทำได้ง่าย การเตรียมชิ้นตัวอย่างเกิดความผิดพลาดน้อย สามารถใช้ทดสอบเรซินคอมโพสิตได้¹³ แต่มีข้อด้อย คือ ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดใหญ่ อาจทำให้สิ้นเปลือง

วัสดุมากกว่าวิธีอื่น ๆ^{13,18} ในการศึกษานี้ได้เตรียมชิ้นตัวอย่างซิงเกิลเอดจ์นอตบีมตามข้อกำหนดของ ASTM D50445-14²¹ และ ISO 13586²² โดยเตรียมตัวอย่างขนาด 2x25x2 มิลลิเมตร ที่มีขนาดรอยบาก 1 มิลลิเมตร และกำหนดความยาวของระยะระหว่างจุดทดสอบเป็น 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีระยะเป็น 10 เท่าของความหนาของชิ้นตัวอย่าง¹³ และอัตราส่วนของความลึกของรอยบากต่อความกว้างของชิ้นตัวอย่าง (a/w) เท่ากับ 0.5²³ ซึ่งมีการศึกษาที่ผ่านมา ที่ใช้วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่างซิงเกิลเอดจ์นอตบีมร่วมกับ การทดสอบแบบกดสามจุดในการทดสอบค่าความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต

เช่นเดียวกัน^{19,20,24-29} อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้อาจเป็นวิธีที่มีความไว (Sensitivity) สูง ในแง่การเตรียมขนาดและความลึกของรอยบาก ซึ่งอาจทำให้ได้ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละการศึกษา อาจจะทำให้ไม่สามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองในสภาวะที่ต่างกันมาเปรียบเทียบกันได้¹³

จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จึงปฏิเสธสมมติฐานการทดลองโดยพบว่า EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงสุด ซึ่งแตกต่างจาก TB GP และ FU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นผลมาจาก EXP ได้ถูกพัฒนาโดยการเติมเส้นใยชนิดดิสคอนตินิวโอเลคตริคอลลาสไฟเบอร์เข้าไปในส่วนสารอัดแทรก EXP จัดเป็นเรซินคอมโพสิตที่มีเส้นใยในสารอัดแทรกที่มีความยาวระดับมิลลิเมตร ซึ่งยาวกว่าเรซินคอมโพสิตที่มีการเติมเส้นใยในสารอัดแทรกชนิดอื่น คือเส้นใยของ EXP มีความยาวระหว่าง 1000-2000 ไมครอน (Micron)^{28,29} เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Average diameter) 16-17 ไมครอน^{28,29} และมีเมทริกซ์เป็นร่างแหเคมี-อินเตอร์เพเนตเรท (Semi-interpenetrated network) โดยโพลิเมอร์ PMMA ร่วมกับการเกิดร่างแหของ Bis-GMA และ TEGDMA ช่วยให้วัสดุมีความแข็งแรงขึ้น^{12,26,27} โครงสร้างเหล่านี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความเครียดจากส่วนเมทริกซ์ไปยังอนุภาคสารอัดแทรก ช่วยหยุดการขยายรอยร้าว ทำให้วัสดุมีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงขึ้น^{26,28} ผลการศึกษานี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Garoushi และคณะ¹² ซึ่งพบว่า EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ต่างกันที่จากการศึกษานี้พบว่าค่าเฉลี่ยความเหนียวด้านการแตกหักของ EXP สูงกว่า FB Z350XT และ XF อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของขนาดขึ้นตัวอย่าง สภาวะแวดล้อมขณะเตรียมขึ้นตัวอย่าง

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Bijelic-Donova และคณะ²⁶ ซึ่งทดสอบค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักด้วยวิธีซิงเกิลเอดจ์นอตบีม พบว่า EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่าเจเนียล แอนทีเรีย (G-aenial anterior) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการศึกษาของ Abouelleill และคณะ²⁸ ได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างเรซินคอมโพสิต ซึ่งมีเส้นใยเส้นเสริมแรงกับเรซินคอมโพสิตบัสฟิลล์ชนิดอื่น พบว่า EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงสุด และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

กับ FB นอกจากนี้ ทั้งสองการศึกษาพบว่า เมื่อเกิดการแตกหักแล้วชิ้นส่วนที่แตกหักของ EXP มักจะไม่หลุดออกจากกัน สอดคล้องกับการศึกษานี้เช่นกัน ที่พบว่าเมื่อเกิดการแตกหักขึ้นตัวอย่างของ EXP มักจะยังคงไม่แยกออกจากกัน ซึ่งแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น ๆ โดยน่าจะเป็นผลมาจากการวางตัวแบบการจัดกระจายของเส้นใยเส้นเสริมแรงที่ช่วยพยุงวัสดุไว้ ช่วยลดการเคลื่อนตัวของวัสดุภายหลังการแตกหัก อาจช่วยลดโอกาสการเกิดโพรงฟอง (Cavitation) และการมีเศษอาหารติด (Food impaction) นอกจากนี้ ทางคลินิกจะช่วยให้การซ่อมแซมวัสดุอุดทำได้ง่ายขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Alshabib และคณะ²⁹ ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าความเหนียวด้านการแตกหักระหว่างเรซินคอมโพสิตที่เสริมด้วยเส้นใยเส้นเสริมแรงกับยูนิเวอร์ซอลเรซินคอมโพสิต พบว่า EXP มีค่าเฉลี่ยความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นรวมถึงเรซินคอมโพสิตที่เติมสารอัดแทรกนาโนไฟเบอร์ (Nanofiber filler) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำไปแช่ในสารละลายที่เลียนแบบอาหารในช่องปาก (Food simulating solvent) คือ สารละลายเอทานอลร้อยละ 75 และน้ำร้อยละ 25 (75% ethanol 25% water) ทำให้ความแข็งผิว (Surface hardness) ของ EXP ลดลง ซึ่งได้สนับสนุนการแนะนำการใช้งานของบริษัทผู้ผลิตที่แนะนำให้ใช้ทดแทนเนื้อฟัน เมื่อทำการบูรณะยังคงต้องปิดผิว EXP ด้วยเรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิม

การศึกษานี้พบว่า FB XF และ Z350XT มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักไม่แตกต่างกับ EXP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูงกว่า TB และ GP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเมื่อพิจารณาส่วนประกอบในส่วนวัสดุอัดแทรก FB ประกอบด้วยซิลิกาฟิลเลอร์ (Silica filler) เซอร์โคเนียฟิลเลอร์ (Zirconia filler) และอิตเทอร์เบียมไตรฟลูออไรด์ฟิลเลอร์ (Ytterbium trifluoride filler) ในปริมาณร้อยละ 76.5 โดยน้ำหนักและร้อยละ 58.4 โดยปริมาตร ร่วมกับการประเมินลักษณะของพื้นผิวรอยแตกด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดพบว่า ส่วนวัสดุอัดแทรกมีลักษณะเป็นทรงกลมทั้งหมด ซึ่งจากการศึกษาของ Rodrigues และคณะ³⁰ พบว่า เรซินคอมโพสิตที่มีส่วนสารอัดแทรกทรงกลม จะมีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูง เนื่องจากขณะที่วัสดุเกิดรอยร้าว เมื่อต้องรับแรงมากขึ้น จะเกิดการสร้างรอยแตกจุลภาค (Microcrack) ณ จุดอื่น ๆ ซึ่งสามารถช่วยกระจายความเครียดที่บริเวณรอยแตกหลัก และทำให้วัสดุเกิดการแตกหักช้าลงได้ และจากการศึกษาของ

Kim และคณะ³¹ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่มีอนุภาคอัดแทรก รูปร่างกลมและอนุภาคสารอัดแทรกประมาณร้อยละ 60 โดยปริมาตร จะมีกลไกการเบี่ยงเบนรอยร้าวในวัสดุเพิ่มขึ้น และทำให้วัสดุเกิดการแตกหักข้างลงเช่นกัน จากการสังเกตพื้นผิวภายหลังการแตกหักของชิ้นตัวอย่างในการศึกษานี้พบว่ารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นมีการขยายตัวผ่านระหว่างอนุภาคอัดแทรก ไม่ได้มีการแตกผ่านอนุภาคอัดแทรก โดยลักษณะการแตกดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shah และคณะ³² ที่ระบุว่าวิธีการแตกร้าวผ่านระหว่างอนุภาคจะส่งเสริมกลไกความเหนียวภายนอก (Extrinsic toughening) ของวัสดุผ่าน 2 กลไก ได้แก่ การเบี่ยงเบนรอยร้าว (Crack deflection) และสะพานเชื่อมรอยร้าว (Crack bridging) จึงอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ FB มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงได้ ในกลุ่มของ Z350XT ซึ่งจัดเป็นยูนิเวอร์ซอลเรซินคอมโพสิต พบว่ามีรูปร่างสารอัดแทรกลักษณะทรงกลมและปริมาณของสารอัดแทรกใกล้เคียงกับ FB ซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติความเหนียวด้านการแตกหักคล้ายกัน อย่างไรก็ตาม Z350XT จัดเป็นยูนิเวอร์ซอลเรซินคอมโพสิต โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันที่ความลึก 2 มิลลิเมตร ซึ่งหากโพรงฟันมีความลึกที่มากจะต้องบูรณะฟันด้วยเทคนิคการบูรณะแบบขั้น (Increment) ซึ่งมีโอกาสเกิดฟองอากาศ หรือเกิดการปนเปื้อนระหว่างชั้นของวัสดุได้ โดยเฉพาะในโพรงฟันที่ลึก ความผิดพลาดดังกล่าวอาจทำให้เกิดผลเสียต่อความแข็งแรงของวัสดุ⁵ รวมถึงค่าความเหนียวด้านการแตกหักของวัสดุได้ ในกลุ่มของ XF จากภาพกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจะพบลักษณะสารอัดแทรก รูปร่างไม่แน่นอนขนาดเล็กร่วมกับสารอัดแทรกรูปเหลี่ยมขนาดใหญ่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ilie และคณะ³³ ที่พบว่าอนุภาคอัดแทรกของ XF มีขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อมีการแตกหักหรือรอยร้าวอาจจะหยุดได้ที่บริเวณอนุภาคอัดแทรกขนาดใหญ่ ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าความเหนียวด้านการแตกหักค่อนข้างสูง

ในกลุ่ม FU จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเหนียวด้านการแตกหักต่ำกว่า EXP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ วัสดุชนิดนี้มีปริมาณของสารอัดแทรกเท่ากับร้อยละ 49 โดยปริมาตร เป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองแบบ (Dual-cure resin composite) คือ สามารถบ่มตัวด้วยแสง (Light curing) ร่วมกับบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (Chemical curing) ทำให้วัสดุมีอัตราการเกิดโพลีเมอร์ (Degree of conversion) ได้ด้วยตนเองในบริเวณที่ไม่สามารถฉายเข้าไปได้ ซึ่งเรซินคอม

โพสิตชนิดบ่มตัวสองแบบจะถูกแนะนำให้ใช้เป็นวัสดุสร้างแกนฟัน (Core build up) และจากการศึกษาของ Bortolotto และคณะ³⁴ กล่าวว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองแบบสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันได้ แม้จะทำการอุดในลักษณะเป็นก้อนเดี่ยวเต็มโพรงฟัน วัสดุก็สามารถไหลแผ่ไปยังบริเวณขอบของโพรงฟันได้ และยังให้ผลดีในการบูรณะในโพรงฟันที่ลึก และบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำว่าสามารถอุดได้ทั้งโพรงฟัน แต่เพื่อให้ได้ผลดีในการบูรณะอาจพิจารณาปิดทับชั้นบนของโพรงฟันด้วยเรซินคอมโพสิตที่มีความแข็งแรง

การศึกษานี้พบว่า TB และ GP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น ยกเว้น FU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะส่วนประกอบที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งส่งผลต่อค่าความเหนียวด้านการแตกหักของวัสดุ ซึ่งการศึกษาของ Ferracane และ Marker³⁵ พบว่า TB ที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำและแอลกอฮอล์ จะมีค่าความเหนียวด้านการแตกหักที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลจากการดูดซับสารละลายของวัสดุส่งผลให้ส่วนเมทริกซ์นุ่มลง และเกิดการละลายน้ำระหว่างพื้นผิวของส่วนสารอัดแทรกกับส่วนเมทริกซ์ GP เป็นเรซินคอมโพสิตที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของอนุภาคสารอัดแทรก โดยมีการเพิ่มอนุภาคของสารอัดแทรกชนิดพรีโพลีเมอไรซ์ (Pre-polymerized filler) เข้าไป เพื่อให้เกิดการหดตัวโพลีเมอไรเซชันลดลง วัสดุมีลักษณะทึบรังสี (Radiopacity) มากขึ้น และเพิ่มความสวยงามภายหลังการขัดแต่ง ซึ่งอาจมีผลให้คุณสมบัติเชิงกลรวมถึงค่าความเหนียวด้านการแตกหักมีค่าลดลงไปด้วย

ปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต มีการศึกษาพบว่าเรซินคอมโพสิตจะมีค่าความเหนียวด้านการแตกหักเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอนุภาคอัดแทรก จนกระทั่งปริมาณของอนุภาคอัดแทรกเท่ากับ ร้อยละ 55 โดยปริมาตร ค่าความเหนียวด้านการแตกหักจะค่อย ๆ ลดลง หากมีปริมาณของอนุภาคอัดแทรกมากกว่านั้น³⁶ ซึ่งเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษานี้มีเพียง FU และ EXP เท่านั้น ที่มีปริมาณอนุภาคอัดแทรกต่ำกว่าร้อยละ 55 โดยปริมาตร และจากผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต 2 ชนิดนี้ กับปริมาณอนุภาคอัดแทรก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bonilla และคณะ³⁷ ปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อค่าความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต เช่น ขนาด รูปร่าง และชนิดของอนุภาคอัดแทรก ซึ่งมีการศึกษาของ Ornaghi และ

คณะ³⁸ ในเรซินคอมโพสิตที่มีขนาดของอนุภาคอัดแทรกและการกระจายตัวแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยความเหนียวด้านการแตกหักจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคอัดแทรก โดยในเรซินคอมโพสิตที่มีระยะระหว่างอนุภาคอัดแทรกที่เท่ากัน วัสดุที่อนุภาคขนาดเล็กกว่าจะเกิดรอยร้าวได้ง่ายกว่า

ความเหนียวด้านทานการแตกหักเป็นหนึ่งในคุณสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญต่อการคงอยู่ของวัสดุบูรณะในช่องปาก เนื่องจากเรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่เปราะ อาจเกิดการแตกร้าวในขั้นตอนการขัดได้ ซึ่งการมีรูพรุนหรือรอยร้าวภายในเนื้อวัสดุบูรณะอาจเกิดจากขั้นตอนการอุดหรือการขัดแต่งซึ่งเปรียบเสมือนจุดเริ่มต้นของการเกิดการแตกหักหรือเกิดการผุซ้ำได้³⁹ ซึ่งการศึกษาของ Goldman⁴⁰ ได้กล่าวไว้ว่าวัสดุที่มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงจะมีแสดงความคงอยู่ได้ดีในบริเวณที่มีการรับแรง (High stress area) ดังนั้น ความเหนียวด้านการแตกหักเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะคาดการณ์ความสำเร็จในทางคลินิกได้^{41,42} โดยการศึกษาพบว่ามีเรซินคอมโพสิตที่มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงจะความสัมพันธ์กับการสึกของวัสดุอุดในคลินิกที่ต่ำกว่า⁴¹ และการศึกษาของ Ferracane และ Condon¹⁵ พบการสึกที่ขอบ (Marginal wear) ที่ต่ำกว่าในวัสดุที่มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงกว่า การศึกษาทบทวนวรรณกรรมของ Sarrett⁴² พบว่าความเหนียวด้านการแตกหักจะสัมพันธ์กับการคงอยู่ของลักษณะกายวิภาคของวัสดุบูรณะ การทบทวนวรรณกรรมของ Soderholm⁴³ พบว่า ค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตมีค่าระหว่าง 0.7-1.9 MPa·m^{0.5} และมีการศึกษา¹⁷ ที่กล่าวว่าเรซินคอมโพสิตควรมีค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักระหว่าง 1-2 MPa·m^{0.5} ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่ามีหลักฐานความเหนียวด้านทานการแตกหักระหว่าง 0.80-1.68 MPa·m^{0.5} อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกใช้เรซินคอมโพสิตในการบูรณะโดยเฉพาะในพื้นที่ที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว นอกจากค่าความเหนียวด้านทานการแตกหักแล้ว อาจจะต้องพิจารณาค่าคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความแข็งผิว (Surface microhardness) ความต้านทานการสึก (Wear resistance) ซึ่งในการใช้วัสดุบูรณะในช่องปากอาจจะต้องมีการปิดผิวด้วยเรซินคอมโพสิตดั้งเดิมที่มีความแข็งผิวด้วย²⁹ นอกจากนี้อาจจะคุณสมบัติทางกลอื่น ๆ หรือการยึดติดกับสารยึดติด การคงคุณสมบัติเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป รวมถึงวิธีการใช้งานในคลินิกต่าง ๆ ประกอบกัน เพื่อให้การใช้วัสดุบูรณะพื้นหลังทางคลินิกได้อย่างเหมาะสม มีความคงทนและมีประสิทธิภาพสูงสุด

บทสรุป

จากผลการศึกษาความเหนียวด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิตทั้ง 7 ชนิด พบค่าความเหนียวด้านการแตกหักแตกต่างกัน เรียงจากสูงไปต่ำ คือ EXP, FB, Z350XT, XF, FU, GP และ TB โดยเรซินคอมโพสิตชนิดเสริมเส้นใยเสริมแรง EXP มีค่าความเหนียวด้านการแตกหักสูงที่สุด และแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับ FB, Z350XT และ XF ค่าเฉลี่ยความเหนียวด้านการแตกหักของ TB ต่ำที่สุดแต่แตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับ GP และ FU

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทพญ.รัชฎา ฉายจิต เป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำทางสถิติ ขอขอบคุณหน่วยวิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณคลินิกทันตกรรมบูรณะ โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Opdam NJM, van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, et al. Amalgam and resin composite longevity of posterior restorations: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* 2014;93(10):943-9.
2. Moraschini V, Fai CK, Alto RM, Dos Santos GO. Amalgam and resin composite longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis *J Dent.* 2015;43(9):1043-1050.
3. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011;27(1):29-38.
4. Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJM. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater.* 2012;28(1):87-01.
5. Stansbury JW, Trujillo-Lemon M, Lu H, Ding X, Lin Y, Ge J. Conversion-dependent shrinkage stress and strain in dental resins and composites. *Dent Mater.* 2005;21(1):56-67.

6. Sabbagh J, McConnell RJ, McConnell MC. Posterior composites: Update on cavities and filling techniques. *J Dent.* 2017;57(1):86-90.
7. 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.
8. Fugolin APP, Pfeifer CS. New Resins for Dental Composites. *J Dent Res.* 2017;96(10):1085-91.
9. Lien W, Vandewalle KS. Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater.* 2010;26(4):337-44.
10. Van Ende A, De Munck J, Pedrollo Lise D, Van Meerbeek B. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent.* 2017;19(2):95-109.
11. Milnar F. The Evolution of Direct Composites. *Compendium.* 2011;32(1):1-3.
12. Garoushi S, Sailyoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber. *Dent Mater.* 2013;29(8):835-41.
13. 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.
14. Heintze SD, Ilie N, Hickel R, Ries 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):e101-4.
15. Ferracane JL, Condon JR. In vitro evaluation of the marginal degradation of dental composites under simulated occlusal loading. *Dent Mater.* 1999;15(4):262-7.
16. Xu HHK, Quinn JB, Giuseppetti AA. Wear and mechanical properties of nano-silica-fused whisker composites. *J Dent Res.* 2004;83(12):930-5.
17. Imbeni V, Kruzic JJ, Marshall GW, Marshall SJ, Ritchie RO. The dentin-enamel junction and the fracture of human teeth. *Nat Mater.* 2005;4(3):229-32.
18. Fujishima A, Ferracane JL. Comparison of four modes of fracture toughness testing for dental composites. *Dent Mater.* 1996;12(1):38-43.
19. Ibarra ET, Lien W, Casey J, Dixon SA, Vandewalle KS. Physical properties of a new sonically placed composite resin restorative material. *Gen Dent.* 2015;63(3):51-6.
20. Tiba A, Zeller GG, Estrich CG, Hong A. A Laboratory Evaluation of Bulk-Fill Versus Traditional Multi-Increment-Fill Resin-Based Composites. *J Am Dent Assoc.* 2013;114(10):1182-3.
21. ASTM D5045-14: Standard test methods for plane-strain fracture toughness and strain energy release rate of plastic materials. 2014.
22. ISO 13586:2000: Plastics—determination of fracture toughness (GIC and KIC)—linear elastic fracture mechanics (LEFM) approach 2000.
23. Ornaghi BP, Meier MM, Lohbauer U, Braga RR. Fracture toughness and cyclic fatigue resistance of resin composites with different filler size distributions. *Dental material.* 2014;30(7):742-51.
24. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. In vitro aging of dental composites in water-effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res.* 1998;42(3):465-72.
25. Ferracane JL, Berge HX: Fracture toughness of Experimental dental composites aged in ethanol. *J Dent Res.* 1995;74(7):1418-23.
26. Bijelic-Donova J, Garoushi S, Vallittu K, Lassila LVJ. Mechanical properties, fracture resistance, and fatigue limits of short fiber reinforced dental composite resin. *J Prosthet Dent.* 2016;115(1):95-102.
27. Vallittu PK. High-aspect ratio fillers: fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. *Dent Mater.* 2015;31(1):1-7

28. Abouelleil H, Pradelle N, Villat C, Attik N, Colon P, Grosogeat B. Comparison of mechanical properties of a new fiber reinforced composite and bulk filling composites. *Restor Dent Endod.* 2015; 40(4):262-70.
29. Alshabib A, Silikas N, Watts DC. Hardness and fracture toughness of resin-composites with and without fibers. *Dent Mater.* 2019;35(8):1194-203.
30. Rodrigues SA, Scherrer SS, Ferracane JL, Della Bona A. Microstructural characterization and fracture behavior of a microhybrid and nanofill composite. *Dent Mater.* 2008;24(9):1281-8.
31. Kim KH, Park JH, Imai Y, Kishi T. Microfracture mechanisms of dental resin composites containing spherically-shaped filler particles. *J Dent Res.* 1994;73(2):499-504.
32. Shah MB, Ferracane JL, Kruzic JJ. Mechanistic aspects of fatigue crack growth behavior in resin based dental restorative composites. *Dent Mater.* 2009;25(7):909-16.
33. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill Resin-based Composites: An *In Vitro* Assessment of Their Mechanical Performance. *Oper Dent.* 2013;38(6): 618-25.
34. Bortolotto T, Melian K, Krejci I. Effect of dual-cure composite resin as restorative material on marginal adaptation of class 2 restorations. *Quintessence Int.* 2013;44(9):663-72.
35. Ferracane JL, Marker VA. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res.* 1992;71(1):13-9.
36. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent.* 2002;87(6):642-9.
37. Bonilla ED, Mardirossian G, Caputo AA. Fracture toughness of posterior resin composites. *Quintessence Int.* 2001;32(3):206-10.
38. Ornaghi BP, Meier MM, Lohbauer U, Braga RR. Fracture toughness and cyclic fatigue resistance of resin composites with different filler size distributions. *Dental material.* 2014;30(7):742-51.
39. Ferracane JL, Antonio RC, Matsumoto H. Variables affecting the fracture toughness of dental composites. *J Dent Res.* 1987;66(6):1140-5.
40. Goldman M. Fracture properties of composite and glass-ionomer dental restorative materials. *J Biomed Mater Res.* 1985;19(7):771-83.
41. Tyas MJ. Correlation between fracture properties and clinical performance of composite resins in Class IV cavities. *Aust Dent J.* 1990;35(1):46-9.
42. Sarrett DC. Clinical challenges and the relevance of materials testing for posterior composite restorations. *Dent Mater.* 2005;21(1):9-20.
43. Soderholm KJ. Review of the fracture toughness approach. *Dent Mater.* 2010;26:e63-77.

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

อภิญญา ภาษานุช

สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

โทรศัพท์ : 0-4336-2104 ต่อ 11143

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ : papapo@kku.ac.th



Fracture Toughness of Posterior Resin Composites

Apaporn Pasasuk ^{1,*} Pitchaya Jarurattaphant ² Jullada Kongtoon ³ Janewit Charoonrak ⁴

Research Article

Abstract

Objective: This study aimed to compare the fracture toughness of seven types of resin composites used for posterior tooth restoration: Tetric N Ceram Bulk Fill (TB), G-aenial Posterior (GP), Fill-Up (FU), X-tra Fil (XF), Filtek Bulk Fill (FB), everX Posterior (EXP), and Filtek Z350XT (Z350XT).

Materials and Methods: Single-edge notched beam resin composite specimens were prepared in an 2x25x2 mm acrylic mold (10 specimens in each group). All specimens were immersed in distilled water at 37°C for 24 hours before testing. Fracture toughness was measured using a three-point bending test with a universal testing machine. The fracture toughness of each resin composite group was compared using the Kruskal-Wallis test, and differences between pairs were analyzed using the Mann-Whitney U test at a 95% confidence level.

Results: The results showed that the fracture toughness values (MPa·m^{0.5}), ranked from lowest to highest, were TB, GP, FU, XF, Z350XT, FB, and EXP, respectively. The study found that EXP had significantly higher fracture toughness than TB, GP, and FU but was not significantly different from FB, Z350XT, and XF. Meanwhile, XF, Z350XT, and FB had significantly higher fracture toughness than TB and GP.

Conclusion: The study concluded that the seven resin composites have significantly different fracture toughness values, with the fiber-reinforced EXP presented the highest fracture toughness.

Keywords: Fracture toughness/ Posterior resin composite/ Resin composite/ Bulk-fill resin composite

Corresponding Author

Apaporn Pasasuk
Department of Restorative Dentistry,
Faculty of Dentistry, Khon Kaen University,
Amphur Muang, Khon Kaen, 40002
Tel. : +66 43 362 104 #45143
Email : papapo@kku.ac.th

¹ Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.

² Dental Department, Sirindhorn College of Public Health Khon Kaen, Amphur Muang, Khon Kaen.

³ Dental Department, Ubonratana Hospital, Amphur Ubonratana, Khon Kaen.

⁴ Dental Department, Kosumphisai Hospital, Amphur Kosumphisai, Mahasarakham.

* Corresponding Author