

THE EFFECT OF EROSIVE CHALLENGE ON THE SURFACE PROPERTIES OF FLOWABLE RESIN COMPOSITES

Witsarut SITTISORN¹, Chantida PAWAPUTANON NA MAHASARAKAM¹ and Kunwara THARIYA¹

¹ Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; kunwara@kku.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 6 February 2026

Revised: 27 February 2026

Published: 13 March 2026

ABSTRACT

Flowable resin composites are indicated for restoring non-carious cervical lesions (NCCLs); however, concerns persist regarding their physical properties and wear resistance. Acid erosion, an etiological factor of NCCLs, affects surface roughness—a critical consideration in material selection. This study investigated the surface roughness of flowable resin composite, high-strength flowable resin composite, and nanofilled resin composite before and after 20-day erosive challenge. Three resin composites were tested (n=10 per material): nanofilled (Z350XT; 3M ESPE), flowable (Filtek Flow; 3M ESPE), and high-strength flowable (G-ænial; GC Corporation). Each material was subdivided into baseline (T0) and 20-day erosive challenge (T20) groups (n=5 each). Specimens were exposed to citric acid (pH 2.3), and surface roughness was measured using laser scanning microscopy (Olympus LEXT OLS5100). Data were analyzed using descriptive statistics and comparative analysis. Results showed nanofilled composite exhibited significantly higher surface roughness at both timepoints versus other groups. At T0, high-strength flowable composite demonstrated significantly greater roughness than flowable composite; however, at T20, no significant difference existed between these two materials. Within-group analysis revealed significantly increased surface roughness from T0 to T20 for both nanofilled and flowable composites, whereas high-strength flowable composite showed no significant change. This study concluded that 20-day erosive challenge significantly affected surface roughness of flowable and nanofilled resin composites more than high-strength flowable composite.

Keywords: Flowable Resin Composite, High-Strength Flowable Resin Composite, Erosive Challenge, Surface Roughness, Non-Carious Cervical Lesions

CITATION INFORMATION: Sittisor, W., Pawaputanon na mahasarakam, C., & Thariya, K. (2026). The Effect of Erosive Challenge on the Surface Properties of Flowable Resin Composites. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 24

ผลของสภาวะจำลองจากการสีกร่อนต่อคุณสมบัติพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้

วิศรุต สิทธิสาร¹, จันทรีธิดา ภาภูตานนท์ ณ มหาสารคาม¹ และ กุลวรา ชาริยะ¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; kunwara@kku.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ มีข้อบ่งชี้ในการบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ แต่ยังมีข้อกังวลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและความต้านทานการสึก โดยการสีกร่อนจากกรดเป็นสาเหตุหนึ่งของรอยโรคชนิดนี้ และส่งผลต่อความหยาบผิว ซึ่งมีความสำคัญต่อการเลือกวัสดุในการบูรณะรอยโรคชนิดนี้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง และเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ก่อนและหลังการจำลองสภาวะการสีกร่อนจากกรดเป็นเวลา 20 วัน

การศึกษานี้ใช้ชิ้นตัวอย่างจากเรซินคอมโพสิต 3 ชนิด คือ เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ (Z350XT) เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ (Filtek Flow) และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง (G-aenial) ชนิดละ 10 ชิ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้น ได้แก่ กลุ่มก่อนทดสอบ (T0) และกลุ่มจำลองการสีกร่อนด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก pH 2.3 เป็นเวลา 20 วัน (T20) วัดความหยาบผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนเลเซอร์ (Olympus LEXT OLS5100) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวระหว่างกลุ่มที่ T0 และ T20

ผลการศึกษาพบว่า เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีความหยาบผิวสูงสุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากทุกกลุ่มในทุกช่วงเวลา ที่ T0 เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงมีค่าความหยาบผิวมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ T20 ทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้มีความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงมีค่าความหยาบผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง T0 และ T20

การศึกษานี้สรุปได้ว่า การจำลองการสีกร่อนจากกรดเป็นเวลา 20 วัน ส่งผลต่อความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูงอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้, เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ความแข็งแรงสูง, การสีกร่อนจากความเป็นกรด, ความหยาบผิว, รอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ

ข้อมูลการอ้างอิง: วิศรุต สิทธิสาร, จันทรีธิดา ภาภูตานนท์ ณ มหาสารคาม และ กุลวรา ชาริยะ. (2569). ผลของสภาวะจำลองจากการสีกร่อนต่อคุณสมบัติพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 24

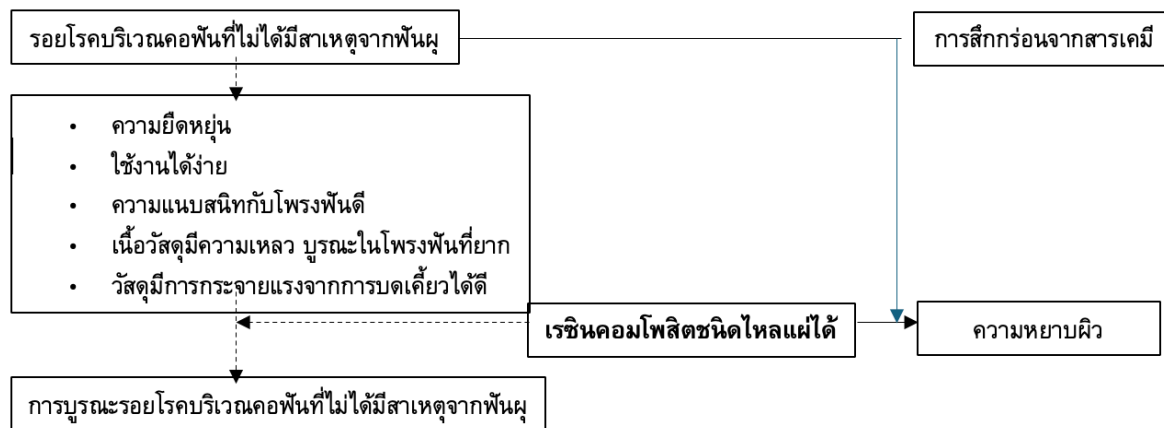
บทนำ

เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ (Flowable resin composite) คือ เรซินคอมโพสิตที่ลดตัววัสดุอัดแทรก (Filler) ให้น้อยลงกว่าเรซินคอมโพสิตทั่วไป โดยมีวัสดุอัดแทรกลดลงเหลือเพียงร้อยละ 42 ถึง 53 โดยปริมาตร ดังนั้นวัสดุจะมีลักษณะเหนียวต่ำ มีอัตราการไหลได้ดี นอกจากนี้ยังถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย (Lai et al., 2018) เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มีข้อบ่งชี้ในการใช้บูรณะบริเวณโพรงฟันขนาดเล็กหรือบริเวณที่ไม่ได้รับแรง และมีการแนะนำในการบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ (Non-carious cervical lesions: NCCs) โดยการเลือกใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มาบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ ได้รับคำแนะนำอย่างยิ่ง เนื่องจากคุณสมบัติด้านการยึดติดที่ดี มีคุณสมบัติที่โดดเด่นของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion coefficient: COE) ที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของฟันมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป ทำให้วัสดุชนิดนี้มีความยืดหยุ่นของวัสดุมากขึ้น (Kubo et al., 2010) มีความสามารถในการแนบสนิทของขอบที่ดีเมื่อทำการบูรณะ (Marginal adaptation) นอกจากนี้การใช้งานที่สะดวกและง่าย ทำให้สามารถเข้าไปบูรณะในโพรงฟันที่มีความยากในการเข้าทำงาน (Lai et al., 2018) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีความกังวลในเรื่องของ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถต้านทานการสึก เมื่อเทียบกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป โดยในรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ เป็นการสึกแบบพยาธิสภาพ (Pathological process) ที่ทำให้เกิดการสูญเสียเคลือบฟันและเนื้อฟันบริเวณคอฟันและบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (Cemento-enamel junction: CEJ) มากผิดปกติ (Mair, 1992) Grippo และคณะ ได้อธิบายถึงสาเหตุหลักของการเกิดรอยโรคดังกล่าวว่า มักจะเกิดจากหลายสาเหตุร่วมกัน (Multifactorial etiology) มากกว่าการเกิดจากสาเหตุเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น และหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยโรคชนิดนี้ คือ การสึกกร่อนจากกรด (Erosion) จากทั้งสภาวะภายในช่องปากและจากอาหาร ซึ่งกรดส่งผลต่อคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟัน โดยกรดทำให้เกิดความหยาบผิวของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เมื่อความหยาบผิวเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อการยึดเกาะของแบคทีเรีย คราบจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเหงือกทำให้เกิดโรคเหงือกอักเสบ และก่อให้เกิดฟันผุซ้ำได้ (Grippo et al., 2012) แต่ในปัจจุบัน มีการพัฒนาโดยการปรับปรุงการเพิ่มวัสดุอัดแทรกให้มากขึ้น เป็นเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (High strength flowable composite) โดยเพิ่มให้มีวัสดุอัดแทรกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 69 โดยน้ำหนัก ร้อยละ 50 โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถต้านทานการสึก ลดความกังวลในการใช้งาน (GC Corporation, 2018) โดยข้อมูลเหล่านี้ได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิตและยังไม่ได้รับจากการศึกษาใดๆเพิ่มเติม ซึ่งมีการศึกษาเปรียบเทียบทางห้องปฏิบัติการของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงต่อการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด พบว่าค่าความหยาบผิวแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และการศึกษานี้เป็นการศึกษายานในกลุ่มชนิดของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง โดยไม่ได้มีการเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป (Taraboanta et al., 2022) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาความแตกต่างกันในเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง กับเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป จึงทำให้ยังไม่ทราบผลที่ช่วยในการตัดสินใจในการที่จะเลือกวัสดุมาบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ จึงนำมาสู่การศึกษาในครั้งนี้เพื่อนำผลไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของพื้นผิว ได้แก่ ค่าความหยาบผิว ของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง และ เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ก่อนและหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีการวิจัย

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

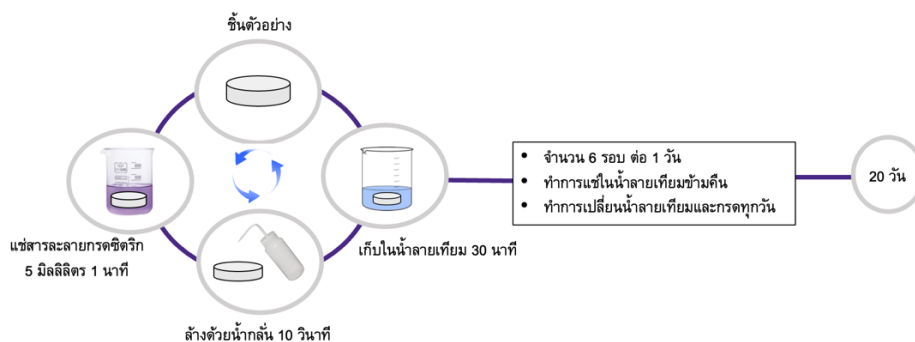
เตรียมชิ้นตัวอย่างจากเรซินคอมโพสิต 3 ชนิด ชนิดละ 10 ชิ้น รวม 30 ชิ้น โดยนำเรซินคอมโพสิตใส่ลงในแบบหล่อโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม ที่เจาะรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร ที่วางอยู่บนแผ่นกระจกให้เต็ม แล้วปิดด้วยแถบไมลาร์ ฉายแสงที่ชิ้นตัวอย่างทันทีด้วยเครื่องฉายแสงชนิดไลต์อีมีตติงไดโอด เป็นเวลา 20 วินาที เมื่อวัสดุแข็งตัวแล้วนำแถบไมลาร์ออก ใช้ใบมีดเบอร์ 15 กำจัดวัสดุส่วนเกินออกให้พอดีกับขอบเขตแบบหล่อโลหะ ทำความสะอาดในน้ำกลั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิค 10 นาที เก็บชิ้นตัวอย่างในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นแบ่งกลุ่มโดยการสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้น ได้แก่ กลุ่มก่อนการทดลอง (T0) และกลุ่มทดลองที่ผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากการดเป็นเวลา 20 วัน (T20)

ตารางที่ 1 เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษา

Material	Manufacture	Shade	Organic matrix	Filler	Filler content	
					%By	%By
					Weight	Volume
Filtek™ Z350 XT	3M ESPE	A3B	- Bis-GMA - UDMA - TEGDMA - Bis-EMA	- Silica filler - Zirconia filler	78.5%	63.3%
Universal Restorative System						
Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative	3M ESPE	A3	- Methacrylate resin monomers - Bis-GMA - TEGDMA - Bis-EMA	- Silica nanofiller - Zirconia nanofiller	65%	55%
G-aenial® Universal Injectable	GC	A3	- UDMA - Bis-MEPP - TEGDMA	- Silicon dioxide - Strontium glass	69%	50%

การจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด

กลุ่มจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด นำชิ้นตัวอย่าง มาแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 2.3 (ค่าความเป็นกรดต่างของกรดซัลฟูริกที่เลือกเป็นตัวแทนของค่าความเป็นกรดต่างที่พบได้ทั่วไปของน้ำอัดลมและเครื่องดื่มที่เป็นกรด) (Attin et al., 2003) ในปริมาณ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที และเก็บในน้ำลายเทียม (Zan et al., 2018) 30 นาที นับเป็น 1 รอบการทดลอง (6 รอบ/1 วัน) หลังครบ 6 รอบ ทำการแช่ในน้ำลายเทียมข้ามคืน เพื่อเริ่มทำการทดสอบในวันต่อไป โดยทำติดต่อกันเป็นเวลา 20 วัน โดยทำการเปลี่ยนน้ำลายเทียมและกรดทุกวัน (Yu et al., 2009) เมื่อครบกำหนด ทำการล้างด้วยน้ำกลั่น พักให้แห้ง 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่าง กลุ่มจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด

การวัดและเก็บข้อมูล

การวัดค่าความหยาบผิว

วัดค่าความหยาบผิวด้วยกล้อง Olympus LEXT OLS5100 โดยทำชิ้นงานให้แห้ง วางชิ้นงานบริเวณฐานวางตัวอย่าง (Sample stage) ทำการสแกนภาพ ชิ้นงาน ด้วยกล้อง เลนส์ MPLFLN10xLEXE ขนาดกำลังขยาย 10x บริเวณชิ้นงาน ในโหมด 3D Standard+Color จากนั้นทำการเลือกพื้นที่บริเวณที่จะทำการวิเคราะห์พื้นผิวตัวอย่างชิ้นงาน โดยเลือกบริเวณพื้นผิวตรงกึ่งกลางของชิ้นงาน โดยบริเวณที่เลือกจะมีขนาดพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส 1.2x1.2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์พื้นผิวในแต่ละตำแหน่ง วิเคราะห์ ใช้โหมดวิเคราะห์พื้นผิว (Surface roughness mode) โดยโปรแกรมจะทำการปรับระนาบให้พื้นผิว ที่เอียง อันเนื่องมาจาก การเตรียมตัวอย่างหรือการวางตัวอย่างที่ไม่ได้ระนาบ ให้บริเวณที่วิเคราะห์พื้นผิวอยู่ในระนาบเดียวกันโดย อัตโนมติ (Auto correction) จากนั้นทำการวัดค่าความหยาบผิวด้วยโหมดหาความหยาบผิวแบบพื้นที่ (Areal roughness) ซึ่งผลจะแสดงในรูปของค่า Sa ภาพพื้นผิว ลักษณะ ความเข้ม (Intensity) สี (Color) ความสูง (Height) ของแต่ละชิ้นงานค่าที่ได้คือ ค่าความหยาบผิว (Sa) โดยวัดเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดในกลุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มก่อนการทดลอง และกลุ่มการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด 20 วัน

การแปลผล

การวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิว ได้แก่ ค่าความหยาบผิว ของ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง และ เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ก่อนและหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความ เป็นกรด ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เปรียบเทียบคุณสมบัติของพื้นผิว ได้แก่ ค่าความหยาบผิว เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง และ เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ก่อนและหลังการผ่านสภาวะจำลอง การสึกกร่อนจากความ เป็นกรด ด้วยสถิติเชิงอนุมาน ในช่วงเวลาก่อนเริ่มการทดสอบ (T0) หลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความ เป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน (T20) ผลการทดสอบแสดงผลด้วย ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Sa) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ผลต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างก่อนเริ่มการทดสอบและหลังการทดสอบ 20 วัน (T0-T20 mean difference) และ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวหลังจากผ่านการทดสอบ 20 วัน เมื่อเทียบกับก่อนเริ่มการ

ทดสอบ (T0-T20 % difference) วิเคราะห์การกระจายของข้อมูลเป็นไปตามการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk test) แต่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของความเท่าเทียมของความแปรปรวน (Levene's test) จึงใช้การวิเคราะห์ Two-way ANOVA ซึ่งสามารถตรวจสอบผลของสองตัวแปรอิสระ (ชนิดวัสดุและเวลา) และการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน ผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้งตัวแปรหลักและปฏิสัมพันธ์มีผลต่อค่าที่วัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เพื่อระบุความแตกต่างเฉพาะจุด ได้ใช้ Dunnett T3 post hoc test

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 26 การทดสอบทางสถิติทั้งหมดเป็นการทดสอบแบบสองทางที่ $\alpha = 0.05$

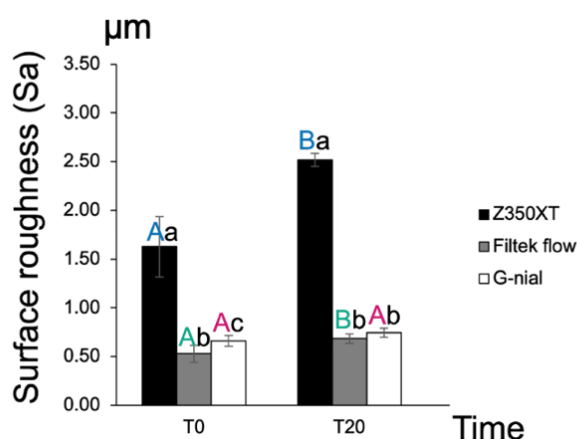
ผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ (Z350XT) เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ (Filtek Flow) และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (G-aenial) ในแต่ละช่วงเวลาปรากฏในตารางที่ 2 และภาพที่ 3 ที่ค่าก่อนเริ่มการทดสอบ (T0) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ มีค่าความหยาบผิว สูงสุด ($1.63 \pm 0.31 \mu\text{m}$) รองลงมาคือ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ($0.66 \pm 0.05 \mu\text{m}$) และ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ($0.53 \pm 0.09 \mu\text{m}$) ตามลำดับ หลังผ่านการจำลองการสีกร่อนด้วยกรดเป็นเวลา 20 วัน ค่าความหยาบผิว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มอย่างต่อเนื่อง โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ แสดงค่าความหยาบผิวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ($p < 0.05$) ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง มีค่าความหยาบผิว สูงกว่า เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะค่าก่อนเริ่มการทดสอบเท่านั้น ($p = 0.03$) ขณะที่ในช่วงเวลาหลังผ่านการจำลองการสีกร่อนด้วยกรดเป็นเวลา 20 วัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

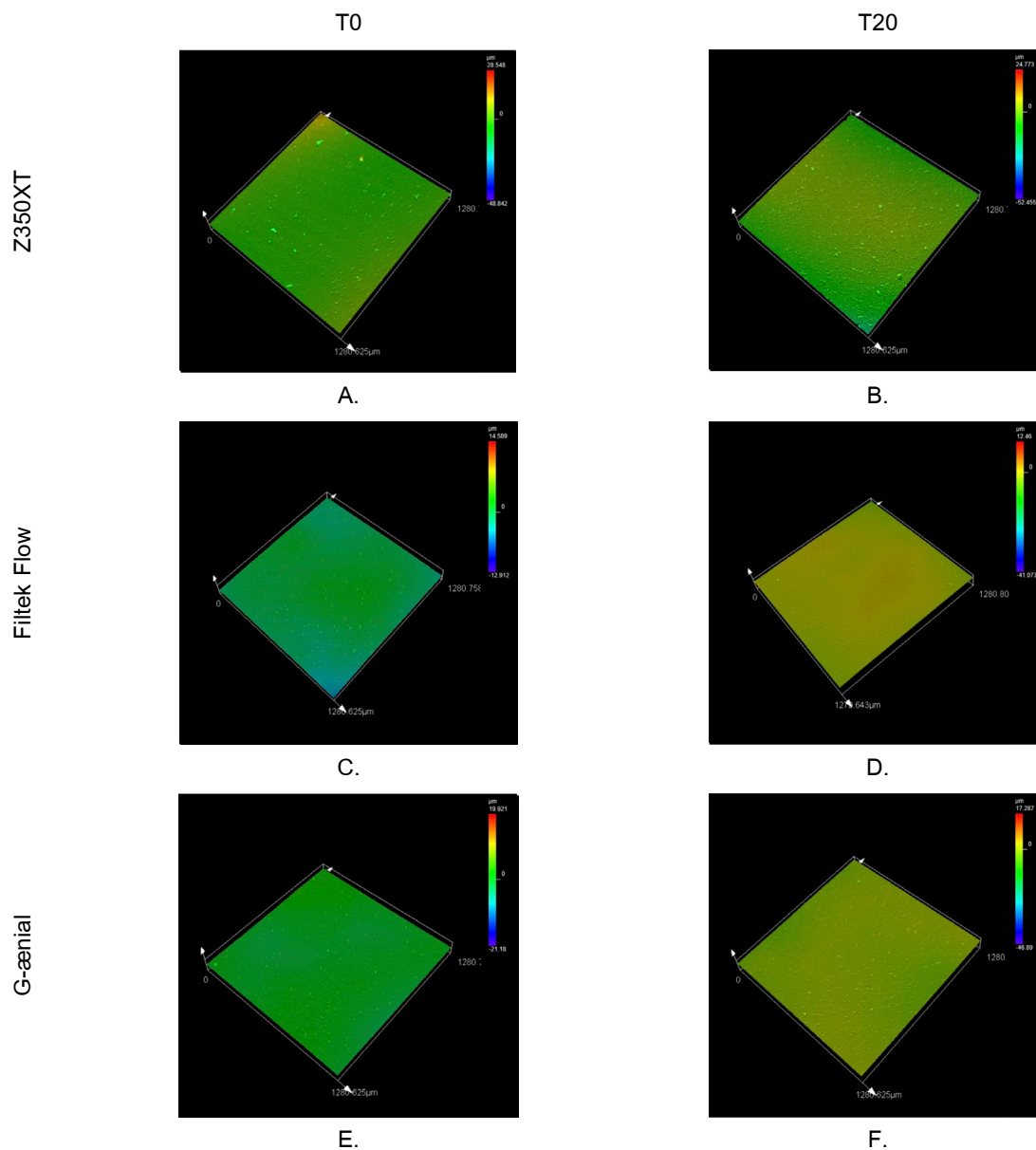
ภายในแต่ละวัสดุพบการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิว หลังการจำลองการสีกร่อนด้วยกรด โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์แสดงการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าความหยาบผิว ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ($p < 0.001$) โดยมีร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าความหยาบจากค่าเริ่มต้นที่ 54.68% ที่หลังการผ่านสภาวะจำลองการสีกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน (T20) เช่นเดียวกับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีนัยสำคัญในทุกช่วงเวลา ($p < 0.001$) โดยมีร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าความหยาบจากค่าเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 29.56% ในขณะที่วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง แสดงการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยค่าความหยาบผิว ระหว่าง ก่อนเริ่มการทดสอบและหลังการผ่านสภาวะจำลองการสีกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p = 0.08$) โดยมีร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าความหยาบจากค่าเริ่มต้นเพียง 12.69%

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Mean surface roughness ($Sa \pm SD$; μm)) และค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวหลังจากผ่านการทดสอบ เมื่อเทียบกับก่อนเริ่มการทดสอบ (Percentage change) ที่ ก่อนเริ่มการทดสอบ และหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน (ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ใช้ระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญภายในวัสดุเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบต่างช่วงเวลา ตัวอักษรพิมพ์เล็กใช้ระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวัสดุต่างชนิดภายในช่วงเวลาเดียวกัน). * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p < 0.05$.) ค่าร้อยละติดลบแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความขรุขระผิวเมื่อเทียบกับค่าพื้นฐาน

Material	T0	T20	T0-T20 mean difference (95% CI)	T0-T20 % difference
Z350XT	1.63±0.31 ^{Aa}	2.52±0.07 ^{Ba}	-0.8904* (-1.4)-(-0.38)	-54.68%
Filtek flow	0.53±0.09 ^{Ab}	0.68±0.05 ^{Bb}	-0.1560* (-0.30)-(-0.01)	-29.56%
G-nial	0.66±0.05 ^{Ac}	0.75±0.05 ^{Ab}	-0.0840 (-0.18)-0.01	-12.69%



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Mean surface roughness ($Sa \pm SD$; μm)) และค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวหลังจากผ่านการทดสอบ เมื่อเทียบกับก่อนเริ่มการทดสอบ (Percentage change) ที่ ก่อนเริ่มการทดสอบ และหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน และ 30 วัน (ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ใช้ระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญภายในวัสดุเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบต่างช่วงเวลา ตัวอักษรพิมพ์เล็กใช้ระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวัสดุต่างชนิดภายในช่วงเวลาเดียวกัน). กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p < 0.05$.



ภาพที่ 4 ภาพจากกล้อง Olympus LEXT OLS5100 แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิต 3 ชนิด (เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง) ในระยะก่อนเริ่มการทดสอบ หลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน (A) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ในช่วงเวลา T0 (B) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ ในช่วงเวลา T20 พบความแตกต่างของสีที่ชัดเจนและผลึกของอนุภาคอัดแทรกที่ชัดเจนขึ้น แสดงถึงความหยาบที่มากขึ้น (C) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ในช่วงเวลา T0 (D) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ในช่วงเวลา T20 พบความแตกต่างของสีที่น้อยและผลึกของอนุภาคอัดแทรกที่เห็นชัดเจนน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ (E) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ในช่วงเวลา T0 (F) แสดงลักษณะพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ในช่วงเวลา T20 พบความแตกต่างของสีที่น้อยและผลึกของอนุภาคอัดแทรกที่เห็นชัดเจนน้อยกว่า กระจายตัวสม่ำเสมอ มากกว่าทั้งสองชนิด

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณสมบัติของพื้นผิว ได้แก่ ค่าความหยาบผิว ของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ โดยศึกษาจากสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด จากการศึกษพบว่าสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดมีผลต่อคุณสมบัติของพื้นผิวของวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้ง 3 ชนิด ซึ่งการใช้รูปแบบกรดดังกล่าวแสดงถึงการรับกรดจากการรับประทานอาหารและเครื่องดื่มในชีวิตประจำวันโดยเฉลี่ยซึ่งเป็นการศึกษาโดย Yu และคณะ ในเวลา 20 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่เพียงพอต่อการส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิต (Yu et al., 2009) โดยภายหลังสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดพบว่า เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ส่วนในกลุ่มของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติหลังผ่านการจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด 20 วัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดในเวลาที่นานขึ้น ส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวที่มากขึ้นทุกกลุ่ม สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา เนื่องจากการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดเป็นเวลานานขึ้น มักส่งผลให้เกิดความหยาบผิวของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น (Ardu et al., 2007) โดยสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนของเมทริกซ์เรซินในวัสดุเรซินคอมโพสิต (Erdemir et al., 2013) และการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยความเสื่อมของวัสดุเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวมาก่อน จากนั้นจะเพิ่มตามรอยแตกของวัสดุ เนื่องจากแรงดันออสโมติกที่เพิ่มขึ้นที่ส่วนต่อประสานของเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก โดยเกิดการย่อยสลายของไฮโดรไลติกของสารคู่ควบ ทำให้โครงสร้างเรซินคอมโพสิตเสื่อมลง (Gopferich, 1996) และกรดจะทำปฏิกิริยากับเรซินเมทริกซ์มากกว่าอนุภาคอัดแทรก (Cilli et al., 2012) เมื่อเรซินเมทริกซ์ถูกกัดกร่อน อนุภาคอัดแทรกจะแสดงออกมามากขึ้น ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวที่เพิ่มมากขึ้น (Tanthanuch et al., 2018) เมื่อเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวก่อนและหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด ระหว่างกลุ่มของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง พบว่า กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีค่าความหยาบผิวสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ในทุกช่วงเวลาเดียวกัน อาจเนื่องมาจากเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีอนุภาคตัวเติมขนาดเล็กลง มีปริมาณตัวเติมมากกว่า และเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนนาโนคลัสเตอร์ เมื่อวัสดุสัมผัสกับกรดเป็นเวลานานทำให้เมทริกซ์เรซินที่ผิวหลุดไป อนุภาคตัวเติมบางส่วนหลุดส่งผลให้ผิววัสดุหยาบขึ้น (Elmarakby et al., 2022) เมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ที่มีเรซินเมทริกซ์ที่มากกว่า อนุภาคอัดแทรกน้อยกว่า จึงมีค่าความหยาบผิวน้อยกว่า (Kubo et al., 2010) แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaichalothorn et al. พบว่า เมื่อผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด ความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีค่าน้อยที่สุด โดยแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง (Chaichalothorn et al., 2021) ในขณะที่เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ค่าความหยาบผิวของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันทั้งในช่วงก่อนและหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด อาจเนื่องมาจากวัสดุกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มีอนุภาคอัดแทรกน้อยกว่า และอนุภาคกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่ยังมีเกาะกลุ่มเป็นก้อนนาโนคลัสเตอร์ทำให้ค่าความหยาบผิวก่อนเริ่มทดสอบน้อยกว่ากลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง ซึ่งมีปริมาณอนุภาคอัดแทรกกระจายกันทั่วไป และมีปริมาณวัสดุอัดแทรกต่อน้ำหนัก (By weight) มากกว่า (GC Corporation, 2018) แต่เมื่อผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรดเป็นเวลา 20 วัน ค่าความหยาบผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Taraboanta ซึ่งพบว่า เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูง พบความหยาบผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 60 วัน (Taraboanta et al., 2022) อาจเนื่องมาจากเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ความแข็งแรงสูงมี

ปริมาตรของวัสดุอุดแทรกที่มากขึ้นร่วมกับขนาดของวัสดุอุดแทรกที่เล็กและกระจายตัวทั่ววัสดุ ทำให้มีช่องว่างระหว่างวัสดุอุดแทรกน้อย เกิดเป็นลักษณะที่มีการป้องกันการสึกของเรซินเมทริกซ์ภายในช่องว่าง นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมติดด้วยเทคโนโลยีการเคลือบผิวด้วยซิลิโคนอย่างสมบูรณ์ (Full-coverage silane coating) ทำให้มีวัสดุอุดแทรกหลุดออกได้น้อย (GC Corporation, 2018) จึงมีความหยابผิวที่เกิดขึ้นหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเปราะที่น้อยกว่าและเสถียรกว่ากลุ่มอื่น โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหยابผิวของเรซินคอมโพสิต คือ ปัจจัยภายในได้แก่เรซินเมทริกซ์ วัสดุอุดแทรกภายใน และชนิดของสารเชื่อมประสาน ซึ่งเมื่อมีความแตกต่างกัน ค่าความหยابผิวจะแตกต่างกัน (Draughn & Harrison, 1978) โดยเรซินเมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝได้ และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝได้ความแข็งแรงสูง มีองค์ประกอบแตกต่างกันคือ เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝได้ความแข็งแรงสูง มีโมโนเมอร์พันธะสูงแบบ บิส-อีเอ็มเอ ยูดีเอ็มเอ และโพลีเอทิลีนไกลคอล ไตเมทาคริเลต (PEGDMA) ในสัดส่วนที่เด่นกว่า ซึ่งมีผลต่อความเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ค่าระดับการแปลงสภาพของโมโนเมอร์ (Degree of conversion) และการดูดซึมน้ำ (Chaichalothorn et al., 2021) และอีกปัจจัยที่สำคัญ คือ ชั้นออกซิเจนอินฮิบิติง (Oxygen inhibiting layer) เมื่อเรซินคอมโพสิตสัมผัสกับออกซิเจนในขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะเกิดชั้นออกซิเจนอินฮิบิติง ซึ่งมีลักษณะบาง ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 75 และมีความหนาประมาณ 10-20 ไมโครเมตร ซึ่งทำให้เกิดการละลายตัวในระหว่างการใช้งาน ทำให้ความหยابมากขึ้น ควรกำจัดออกโดยการขัดเพื่อให้ได้พื้นผิวที่เรียบและมีคุณภาพที่ดี (May et al., 2017) โดยในการศึกษาครั้งนี้ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ทำการเตรียมชิ้นงานบนแผ่นพลาสติกใส เนื่องจากการศึกษาของ Yap และคณะ พบว่า การใช้แผ่นแถบไมลาร์ ทำให้พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตหลังเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันมีความเรียบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขัดด้วยวิธีการต่าง ๆ และช่วยลดปัจจัยรบกวนที่อาจส่งผลกระทบต่อความหยابผิวในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน เช่น แรงขัด จำนวนรอบการขัด และเวลาที่ใช้ในการขัด (Yap et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าความหยابผิวของผิววัสดุบูรณะที่มีค่าแตกต่างกันมากกว่า 0.2 ไมโครเมตร ส่งผลให้มีการเกาะตัวของคราบจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุและโรคปริทันต์ได้ (Bollen et al., 1997) ซึ่งการศึกษานี้พบว่า ระยะเวลาจำลองการสึกกร่อนจากความเปราะ 20 วัน ค่าความหยابผิวที่เพิ่มมากขึ้นของเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝได้และเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝได้ความแข็งแรงสูงนั้นน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร แต่เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีค่ามากกว่า ดังนั้นจึงอาจส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุและโรคปริทันต์ได้มากกว่าด้วย

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ ทำการศึกษาค่าความหยابผิว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญเพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุในการบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุ และเนื่องจากมีกรดเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสื่อมของค่าความหยابผิวที่สำคัญ แต่การบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุจากฟันผุทางคลินิกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญร่วมด้วย เช่น ความสามารถในการยึดติดกับฟัน ความเหมาะสมในการบูรณะฟัน ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ความทนต่อการสึกกร่อน การหดตัวหลังแข็งตัว ความปลอดภัย และการเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยสภาวะความเปราะสามารถพบได้ในผู้ป่วยที่มีการสัมผัสกับความเปราะสูง เช่น ผู้ป่วยที่เป็นโรคกรดไหลย้อน นักว่ายน้ำน้ำหรือผู้ที่อาเจียนบ่อยๆ เช่น หญิงตั้งครรภ์ ดังนั้น ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน นอกจากนี้การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถจำลองสภาวะจริงภายในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นเพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกวัสดุที่เหมาะสมเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อไป

สรุปผลการศึกษา

ในด้านความหยาบผิว เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแข็งได้ความแข็งแรงสูง มีค่าความหยาบผิวที่น้อยที่สุดและมีเสถียรภาพที่ต่ำสุดหลังการผ่านสภาวะจำลองการสึกกร่อนจากความเป็นกรด 20 วัน ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติที่ดีในการนำมาบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟันที่ไม่ได้มีสาเหตุมาจากฟันผุ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาร่วมกัน ในการเลือกวัสดุที่มีความเหมาะสมในด้านอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการรักษามากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Ardu, S., Stavridakis, M., & Krejci, I. (2007). A minimally invasive treatment of severe dental fluorosis. *Quintessence International (Berlin, Germany : 1985)*, 38(6).
- Attin, T., Meyer, K., Hellwig, E., Buchalla, W., & Lennon, A. M. (2003). Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Archives of Oral Biology*, 48(11).
- Bollen, C. M., Lambrechts, P., & Quirynen, M. (1997). Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 13(4).
- Chaichalothorn, M., Niyomsujarit, N., & Worahan, A. (2021). Introduction Effects of cyclic acid challenge on the surface roughness of various flowable resin composites. *Dent J*, 41(3).
- Cilli, R., Pereira, J. C., & Prakki, A. (2012). Properties of dental resins submitted to pH catalysed hydrolysis. *Journal of Dentistry*, 40(12).
- Draughn, R. A., & Harrison, A. (1978). Relationship between abrasive wear and microstructure of composite resins. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 40(2).
- Elmarakby, A. M., Alanazi, A. M., Alotaibi, N., Al Bahrain, I., Alshamali, R., Ameer, S. M., Lsloom, S., & Khaled, H. (2022). Evaluation of Surface Roughness of Different Esthetic Restorative Materials after Immersion in Different Acidic Media. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(D).
- Erdemir, U., Yildiz, E., Eren, M. M., & Ozel, S. (2013). Surface hardness evaluation of different composite resin materials: Influence of sports and energy drinks immersion after a short-term period. *Journal of Applied Oral Science*, 21(2).
- GC Corporation. (2018). *G-aenial ® Universal Injectable from GC TECHNICAL MANUAL*. Retrieved from https://cdn.gceurope.com/v1/PID/gaenialuniversalinjectable/manual/MAN_G-aenial_Universal_Injectable_Technical_Manual_en.pdf.
- Gopferich, A. (1996). Mechanisms of polymer degradation and erosion. *Biomaterials*, 17(2).
- Grippio, J. O., Simring, M., & Coleman, T. A. (2012). Abfraction, abrasion, biocorrosion, and the enigma of noncarious cervical lesions: A 20-year perspective. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 24(1).
- Kubo, S., Yokota, Hiroaki, Yokota, Haruka, & Hayashi, Y. (2010). Three-year clinical evaluation of a flowable and a hybrid resin composite in non-carious cervical lesions. *Journal of Dentistry*, 38(3).
- Lai, G., Zhao, L., Wang, J., & Kunzelmann, K. H. (2018). Surface properties and color stability of dental flowable composites influenced by simulated toothbrushing. *Dental Materials Journal*, 37(5).
- Mair, L. H. (1992). Wear in dentistry-current terminology. *Journal of Dentistry*, 20(3).
- May, S., Cieplik, F., Hiller, K. A., Buchalla, W., Federlin, M., & Schmalz, G. (2017). Flowable composites for restoration of non-carious cervical lesions: Three-year results. *Dental Materials*, 33(3).

- Tanathanuch, S., Kukiattrakoon, B., Eiam-O-Pas, K., Pokawattana, K., Pamanee, N., Thongkamkaew, W., & Kochatung, A. (2018). Surface changes of various bulk-fill resin-based composites after exposure to different food-simulating liquid and beverages. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 30(2).
- Taraboanta, I., Stoleriu, S., Gurlui, S., Nica, I., Taraboanta -Gamen, A. C., Iovan, A., & Andrian, S. (2022). The Influence of Abrasive and Acidic Aggressions on the Surface Condition of Flowable Composite Resin. *Materials*, 15(3).
- Yap, A. U. J., Yap, S. H., Teo, C. K., & Ng, J. J. (2004). Comparison of Surface Finish of New Aesthetic Restorative Materials. *Operative Dentistry*, 29(1).
- Yu, H., Wegehaupt, F. J., Wiegand, A., Roos, M., Attin, T., & Buchalla, W. (2009). Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel. *Journal of Dentistry*, 37(12).
- Zan, K. W., Nakamura, K., Hamba, H., Sadr, A., Nikaido, T., & Tagami, J. (2018). Micro-computed tomography assessment of root dentin around fluoride-releasing restorations after demineralization/remineralization. *European Journal of Oral Sciences*, 126(5).

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).