

WEAR RESISTANCE OF GLASS IONOMER SEALANTS MODIFIED WITH NANO-HYDROXYAPATITE AFTER CHEWING SIMULATION

Natnicha POUNGPETCHLAP¹, Dusit NANTANAPIBOON^{2, 3}, Puliwan GORWONG³ and Nattanan GOVITVATTANA^{1*}

1 Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand; nattanan.g@chula.ac.th (Corresponding Author)

2 Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand

3 Dental Materials Research and Development Center, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand

ARTICLE HISTORY

Received: 6 February 2026

Revised: 27 February 2026

Published: 13 March 2026

ABSTRACT

This study aimed to evaluate wear resistance of conventional glass ionomer sealants (Fuji VII) compared to glass ionomer sealants modified with nano-hydroxyapatite at concentrations of 5%, 8%, and 10% by weight. Wear resistance was assessed by measuring volume loss and surface roughness after chewing simulation at 120 000 and 240 000 strokes. The results revealed that the incorporation of nano-hydroxyapatite at all tested concentrations did not significantly affect volume loss and surface roughness compared to the control group ($p>0.05$). After 120 000 and 240 000 strokes, surface roughness of all material groups increased significantly compared with baseline values ($p<0.05$). However, no significant differences were observed among the material groups within the same cycle or between groups. In conclusion, modifying glass ionomer sealants with 5%, 8% and 10% nano-hydroxyapatite did not significantly enhance their wear resistance.

Keywords: Wear Resistance, Glass Ionomer Sealant, Nano-Hydroxyapatite, Surface Roughness

CITATION INFORMATION: Pongpetchlap, N., Nantanapiboon, D., Gorwong, P., & Govitvattana, N. (2026). Wear Resistance of Glass Ionomer Sealants Modified with Nano-Hydroxyapatite after Chewing Simulation. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 27

ความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์หลังผ่านการจำลองการบดเคี้ยว

ณัฐนิชา พวงเพชรลาภ¹, ดุสิต นันทนพิบูล^{2, 3}, ปุฉิวรรณ กอวงษ์³ และ ณัฐนันท์ โกวิทวัฒนา^{1*}

1 ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; nattanang.g@chula.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

2 ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 ศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์แบบปกติ (Fuji VII) และแบบที่มีการปรับปรุงด้วยนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก โดยประเมินความต้านทานการสึกและความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยวที่ 120 000 และ 240 000 รอบ ผลการศึกษาพบว่า การใส่นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ในทุกความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อพิจารณาจากทั้งค่าปริมาตรการสึกและความหยาบพื้นผิว โดยหลังการทดสอบที่ 120 000 และ 240 000 รอบ ทุกกลุ่มมีค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับค่าความหยาบเริ่มต้น แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มวัสดุในรอบเดียวกัน หรือความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การใส่นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ไม่ได้เพิ่มความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ความต้านทานการสึก, วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกลาสไอโอโนเมอร์, นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์, ความหยาบพื้นผิว

ข้อมูลอ้างอิง: ณัฐนิชา พวงเพชรลาภ, ดุสิต นันทนพิบูล, ปุฉิวรรณ กอวงษ์ และ ณัฐนันท์ โกวิทวัฒนา. (2569). ความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์หลังผ่านการจำลองการบดเคี้ยว. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 27

บทนำ

โรคฟันผุเป็นปัญหาสุขภาพที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรทุกกลุ่มวัยโดยเฉพาะในเด็ก จากรายงานผลการสำรวจสุขภาพครั้งที่ 9 ของประเทศไทย พ.ศ.2566 พบว่า ในเด็กอายุ 12 ปี พบความชุกฟันผุ ร้อยละ 49.7 โดยมีค่าเฉลี่ยฟันผุ อุด ถอน (DMFT) เท่ากับ 1.2 ซึ่งต่อคน และพบว่าเมื่อเด็กอายุ 12 ปี ร้อยละ 52.1 ที่ควรได้รับการเคลือบหลุมร่องฟันเพื่อป้องกันฟันผุ (Bureau of Dental Health, 2024)

ฟันผุเป็นโรคพหุปัจจัยที่เกิดจากความไม่สมดุลระหว่างกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุการคืนกลับของแร่ธาตุ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดฟันผุ ได้แก่ ปัจจัยด้านฟัน อาหารที่รับประทาน เชื้อแบคทีเรียในช่องปาก และระยะเวลาที่เอื้อต่อการเกิดกระบวนการผุ การลดปัจจัยเสี่ยงและเพิ่มปัจจัยป้องกันจึงมีบทบาทสำคัญในการลดโอกาสการเกิดฟันผุได้ (Pitts et al., 2017)

ฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งเป็นฟันแท้ชุดแรกที่ขึ้นในช่องปาก โดยอายุเฉลี่ยของการขึ้นประมาณ 5.2-6.7 ปี (Jaikaeo, 2018) ฟันซี่นี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง เนื่องจากมักขึ้นในช่วงที่เด็กยังไม่สามารถดูแลความสะอาดช่องปากได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งมีลักษณะทางกายวิภาคที่มีหลุมร่องลึกซึ่งเป็นบริเวณที่เศษอาหารและคราบจุลินทรีย์สะสมได้ง่าย และเป็นบริเวณที่ฟลูออไรด์เข้าถึงได้ยาก (Krutchkoff et al., 2011) นอกเหนือจากการดูแลสุขอนามัยช่องปากแล้ว การเคลือบหลุมร่องฟันถือเป็นวิธีการป้องกันฟันผุที่มีประสิทธิภาพ โดยทำหน้าที่เป็นการป้องกันแบบปฐมภูมิด้วยการเป็นสิ่งกีดขวางทางกายภาพ (physical barrier) ช่วยป้องกันไม่ให้เศษอาหารหรือคราบจุลินทรีย์เข้าไปสะสมในหลุมร่องลึกและยังเป็นการป้องกันแบบทุติยภูมิสำหรับฟันผุระยะเริ่มต้น โดยช่วยปิดผนึกไม่ให้เชื้อแบคทีเรียได้รับสารอาหารและยับยั้งการลุกลามของรอยโรค จากการศึกษาที่ติดตามระยะเวลา 2-3 ปี พบว่า การเคลือบหลุมร่องฟันสามารถลดการเกิดฟันผุด้านบนเดี่ยวนในฟันกรามแท้ได้สูงถึงร้อยละ 76 (Paglia et al., 2018)

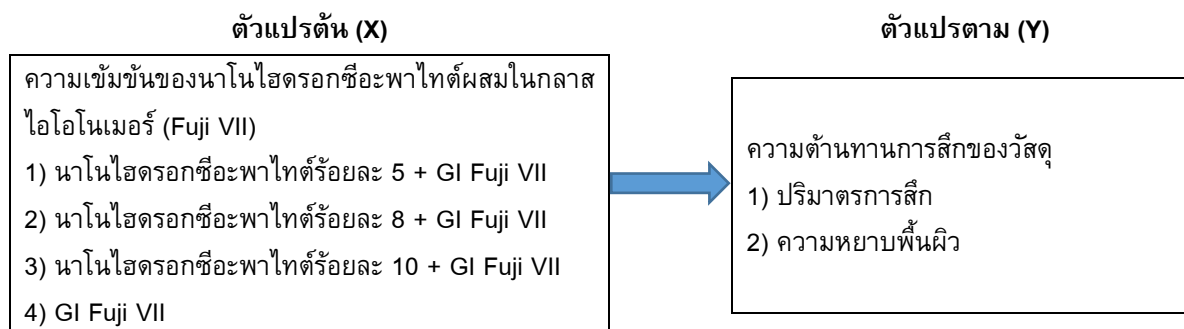
วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแบ่งเป็นสองชนิดหลัก คือ ชนิดเรซิน (resin sealants) และชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (glass ionomer sealants) โดยวัสดุชนิดเรซินได้รับความนิยมเนื่องจากมีความแข็งแรงและยึดติดกับเคลือบฟันได้ดี อย่างไรก็ตามวัสดุชนิดเรซินมีข้อจำกัดด้านความไวต่อความชื้นและอาจเกิดการหดตัวทำให้เกิดการรั่วซึมบริเวณขอบของวัสดุ ในขณะที่วัสดุชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ มีข้อดีด้านการปลดปล่อยฟลูออไรด์ เหมาะสำหรับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง และไวต่อความชื้นน้อยกว่า จึงเหมาะกับฟันที่ขึ้นบางส่วนหรือบริเวณที่ควบคุมความชื้นได้ยาก อย่างไรก็ตามกลาสไอโอโนเมอร์มีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงอัด (compressive strength) ความต้านทานต่อการแตกหัก (fracture resistance) ความต้านทานต่อการสึก (wear resistance) ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นกว่าชนิดเรซิน (Faria et al., 2021)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนผงคือแคลเซียมฟลูออโรโรอะลูมิโนซิลิเกต และส่วนของเหลวคือกรดโพลีอัลคิลีนอิก ทั้งสองส่วนทำปฏิกิริยากรด-เบสและยึดติดกับโครงสร้างฟันด้วยพันธะเคมี กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดที่นำมาใช้เคลือบหลุมร่องฟันเป็นชนิดที่มีความหนืดต่ำและไหลแผ่ได้ดี เช่น Fuji VII หรือ Fuji Triage (FC Corp, Tokyo, Japan) แม้จะมีอัตราการยึดติดต่ำกว่าวัสดุชนิดเรซิน แต่ยังให้ประสิทธิภาพป้องกันฟันผุใกล้เคียงกันเนื่องจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูง อย่างไรก็ตามกลาสไอโอโนเมอร์มีความเปราะและมีความต้านทานการสึกต่ำ โดยเฉพาะในระยะที่วัสดุกำลังก่อตัว ทำให้ไม่เหมาะกับบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยวสูง (Sidhu, 2016)

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีความพยายามในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของกลาสไอโอโนเมอร์โดยการเติม ให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้นโดยการใส่สารอัดแทรกต่าง ๆ รวมถึงนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบคล้ายอะพาไทต์ธรรมชาติในเคลือบฟัน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง และเมื่อทำให้มีขนาดเล็กระดับนาโนจะมีพื้นที่ผิวสูงและสามารถแทรกซึมในเมทริกซ์ของวัสดุได้ดี (Pepla et al., 2014) มีรายงานว่า การเติมนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ในวัสดุทางทันตกรรมช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลหลายประการ เช่น ความทนแรงอัด ความทนแรงดัด และความทนแรงดึง (Barandehfard et al., 2016; Kheur et al., 2020; Moradaian et al., 2025; Moshaverinia et al., 2008)

ในด้านคุณสมบัติด้านทานการสึก มีการศึกษาที่พบว่า การเติมนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ในกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดตัดแปลงด้วยเรซิน (Fuji II LC) ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 โดยน้ำหนัก ช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหลังการจำลองการแปรงฟันได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (Poorzandpoush et al., 2017) อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 5 ในกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX GP) กลับพบว่า การสึกของวัสดุเพิ่มขึ้น (Masaeli et al., 2019) แม้ว่าจะมีการศึกษาผลของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อคุณสมบัติเชิงกลของกลาสไอโอโนเมอร์หลายชนิด แต่ยังไม่พบรายงานการศึกษาคุณสมบัติการต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (Fuji VII) ที่ปรับปรุงด้วยนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อความต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ โดยเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์แบบปกติ (Fuji VII) หลังการทดสอบด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยว

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (GI Fuji VII) ผสมนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก (%w/w) โดยแต่ละกลุ่มจะตวงส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยผงเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (GI Fuji VII) และผงนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ระบบดิจิทัล (Digital balance) รวมกันให้ได้ 0.7200 กรัม ผสมกับส่วนน้ำ 0.4000 กรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมต่อน้ำ 1.8:1.0 กรัม ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ทำการเตรียมส่วนผสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของแต่ละกลุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยว

กลุ่มตัวอย่าง	ผง GI Fuji VII (กรัม)	ผงนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (กรัม)
Group 1: GICs	0.7200	0.0000
Group 2: GICs+5%	0.6840	0.0360
Group 3: GICs+8%	0.6624	0.0576
Group 4: GICs+10%	0.6480	0.0720

การเตรียมชิ้นงาน

นำผงวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (GI Fuji VII) ที่ชั่งตามสัดส่วนที่กำหนด ผสมรวมกับผงนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ชั่งไว้ในขวดพลาสติกแบบมีฝาปิด จากนั้นเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้ผงนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอก่อนนำไปผสมกับส่วนน้ำที่ตวงไว้ในแคปซูลอมัลกัม นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นอมัลกัมนาน 10 วินาที ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังจากนั้นนำวัสดุในแคปซูลใส่ในแบบหล่อโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความลึก 4 มม. ปิดทับด้วยแถบไฮเซลลูลอยด์ (Celluloid strip) และแผ่นแก้ว

(Glass slab) เพื่อให้วัสดุส่วนเกินออก ทิ้งให้วัสดุแข็งตัวอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในภาชนะปิด หลังจากครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำแถบใสเซลลูลอยด์และแผ่นแก้วออก จากนั้นตรวจสอบพื้นผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope SZ 61, Olympus, Japan) กำลังขยาย 10 เท่า หากพบว่ามีฟองอากาศหรือความไม่เรียบของพื้นผิวบริเวณด้านที่จะทดสอบ ชิ้นงานนั้นจะถูกคัดออก นำเก็บในภาชนะที่อุณหภูมิห้องและมีความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อยร้อยละ 90 นาน 24 ชั่วโมง เตรียมชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 32 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยว

นำชิ้นงานมาทดสอบด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยว (Chewing simulator, CS-4.4, SD Mechatronik, Germany) โดยใช้แรง 50 นิวตัน ซึ่งเทียบเท่ากับแรงบดเคี้ยวของมนุษย์ คู่สับที่ใช้เป็นสตีไทต์ทรงกลม (Steatite ball) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร นำมาติดตั้งกับแท่งคู่สับ พารามิเตอร์ทดสอบตั้งค่าเป็น ความถี่ 1.6 เฮิร์ตซ์ 120 000 และ 240 000 รอบ เพื่อจำลองระยะเวลาการเคี้ยวเป็นเวลา 6 เดือน และ 12 เดือน ตามลำดับ ความเร็วทิสลง 30 มม.ต่อวินาที และความเร็วทิสขึ้น 60 มม.ต่อวินาที ความเร็วแนวอน 30 มม.ต่อวินาที ระยะแนวอน 1 มม. ระยะแนวตั้งทิสลง 2 มม. และระยะแนวตั้งทิสขึ้น 1.5 มม. โดยทำงานภายใต้สภาวะที่ใช้ น้ำกลั่นหล่อเลี้ยง

การวัดการสึกของวัสดุหลังทดสอบ

หลังจากชิ้นงานถูกทดสอบจะนำไปวัดปริมาตรการสึกและความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบไม่สัมผัส (Infinite Focus SL, Alicona, Austria) ในการวัดปริมาตรการสึกจะวัด 2 ครั้ง คือ หลังทดสอบ 120 000 รอบ และหลัง 240 000 รอบ โดยสแกนด้วยกำลังขยาย 10 เท่า และใช้จุดที่ไม่ได้รับแรงเป็นจุดอ้างอิง ในขณะที่ความหยาบพื้นผิวจะวัดเป็นค่าความหยาบเฉลี่ย (Ra, ไมโครเมตร) ก่อนทดสอบ หลังทดสอบ 120 000 รอบ และ 240 000 รอบ โดยสแกนด้วยกำลังขยาย 50 เท่า ลาก 3 เส้น ใช้เส้นความยาว (profile length) 1.25 มม. แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยลากในทิศตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนของคู่สับ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การประมวลผลข้อมูลใช้โปรแกรมเอสพีเอส เวอร์ชัน 29.0.1.0 (SPSS version 29.0.1.0, SPSS Inc., USA) โดยคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหยาบพื้นผิวและปริมาตรการสึกของวัสดุ ทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test และวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of variance) ระหว่างกลุ่มด้วย Levene's test หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และมีความแปรปรวนเท่ากัน ใช้สถิติ Two-way repeated ANOVA ร่วมกับ Bonferroni post-hoc test หากข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ ใช้การทดสอบ Wilcoxon signed-rank test เพื่อดูความแตกต่างระหว่างรอบในกลุ่มวัสดุเดียวกัน และใช้ Kruskal-Wallis H test ร่วมกับ Dunn's post-hoc test เพื่อดูความแตกต่างระหว่างกลุ่มวัสดุต่างชนิดในรอบเดียวกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัย

ค่าปริมาตรการสึก

ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังการทดสอบการจำลองการบดเคี้ยวที่ 120 000 รอบ ปริมาตรการสึกของวัสดุทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรอบที่ 240 000 รอบ พบว่า ปริมาตรการสึกของวัสดุทุกกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสึกที่ 120 000 รอบ โดยกลุ่ม GICs+8% มีปริมาตรการสึกสูงสุด อย่างไรก็ตาม ยังคงไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าปริมาตรการสึก

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของปริมาตรการสึก (มม. ³) (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	120 000 รอบ	240 000 รอบ
Group 1: GICs	2.61 (1.28) ^a	3.62 (1.39) ^b
Group 2: GICs+5%	2.43 (1.18) ^a	3.80 (2.05) ^b
Group 3: GICs+8%	2.64 (1.12) ^a	4.12 (1.71) ^b
Group 4: GICs+10%	2.39 (1.14) ^a	3.45 (1.11) ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างรอบการทดสอบ และตัวอักษรยกที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มวัสดุ

ค่าความหยาบพื้นผิว

จากผลการศึกษาพบว่า ทุกกลุ่มมีค่าความหยาบเริ่มต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อภายหลังการทดสอบการจำลองการบดเคี้ยวที่ 120 000 และ 240 000 รอบ พบว่า ทุกกลุ่มมีค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหยาบเริ่มต้น ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มวัสดุในรอบเดียวกัน หรือความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม พบค่าความหยาบของกลุ่มควบคุมที่ 240 000 รอบ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 120 000 รอบ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 ค่าความหยาบพื้นผิว

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของความหยาบพื้นผิว (Ra) (ไมโครเมตร) (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		
	ค่าเริ่มต้น	120 000 รอบ	240 000 รอบ
Group 1: GICs	0.29 (0.03) ^a	1.21 (0.26) ^b	1.36 (0.17) ^b
Group 2: GICs+5%	0.31 (0.04) ^a	1.47 (0.27) ^b	1.38 (0.28) ^b
Group 3: GICs+8%	0.32 (0.04) ^a	1.44 (0.25) ^b	1.28 (0.25) ^b
Group 4: GICs+10%	0.28 (0.09) ^a	1.37 (0.27) ^b	1.32 (0.29) ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างรอบการทดสอบ และตัวอักษรยกที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มวัสดุ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกلاسไอโอโนเมอร์ (Fuji VII) ที่ปรับปรุงด้วยนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 โดยประเมินการสึกจากค่าปริมาตรการสึกและค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุภายหลังการทดสอบการจำลองการบดเคี้ยว จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกلاسไอโอโนเมอร์ที่ใส่นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ไม่สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกจากการจำลองการบดเคี้ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษานี้เลือกใช้ความเข้มข้นของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ร้อยละ 5, 8 และ 10 เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้าพบว่า การใส่นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 5 และ 8 ในกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ช่วยพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลได้ดีที่สุด (Maity et al., 2024; Moshaverinia et al., 2008; Sharafeddin et al., 2019)

การศึกษานี้เป็นการทดสอบการสึกจากการขัดถูแบบวัตถุสองชิ้น โดยใช้หัวสตีไทด์ทรงกลมซึ่งมีความแข็งกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นคู่สับในการทดสอบผ่านเครื่องจำลองการบดเคี้ยวเนื่องจากสามารถควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ กำหนดแรงกด จำนวนรอบ ระยะและความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอนขณะทดสอบได้เท่ากันในทุกครั้ง โดยเลือกใช้แรงกด 50 นิวตัน ซึ่งอยู่ในช่วงแรงการบดเคี้ยวของมนุษย์ 10-150 นิวตัน (Faria et al., 2021) และเป็นค่าที่นิยมใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดจำนวนรอบการทดสอบ 120 000 รอบ และ 240 000 รอบ เพื่อจำลองการบดเคี้ยวเป็นระยะเวลา 6 เดือน และ 12 เดือน ตามลำดับ (Steiner et al., 2009) ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์มีอัตราการคงอยู่ของการยึดติดกับพื้นต่ำกว่าร้อยละ 50 ภายหลังจากการใช้งานเป็นระยะเวลา 1 ปี (Petrauskienė et al., 2024)

จากผลการศึกษาพบว่า การใส่ นาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ ในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (Fuji VII) ไม่ได้ช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกของวัสดุเมื่อพิจารณาจากค่าปริมาตรการสึกภายหลังการจำลองการบดเคี้ยว โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ใส่ นาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ กับกลุ่มควบคุม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Elshenawy และคณะ ซึ่งรายงานว่าการใส่อนุภาคนาโนซิลิกาในกลาสไอโอโนเมอร์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ให้ค่าปริมาตรการสึกไม่ต่างจากกลุ่มที่ไม่ใส่ อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ใส่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 ซึ่งไม่ได้ใช้ในการศึกษานี้ กลับมีค่าปริมาตรการสึกต่ำกว่า (Elshenawy et al., 2023) โดยให้เหตุผลว่าการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุจำเป็นต้องอาศัยการยึดติดที่ติระหว่างวัสดุอัดแทรกกับเมทริกซ์ เพื่อให้สามารถกระจายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีวัสดุอัดแทรกปริมาณมากเกินไป อนุภาคนาโนขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงจะต้องการกรดโพลีลิกในปริมาณมากขึ้นเพื่อสร้างพันธะ ส่งผลให้เกิดพันธะที่ไม่แข็งแรง นอกจากนี้ยังทำให้วัสดุมีความหนืดมากขึ้น ส่งผลต่อการผสมระหว่างส่วนผงและส่วนน้ำ ทำให้วัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่การศึกษาของ Sitaram และคณะ รายงานว่าการใส่วัสดุอัดแทรกที่มีส่วนประกอบของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ในกลาสไอโอโนเมอร์ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 สามารถลดปริมาตรการสึกของวัสดุได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Sitaram et al., 2024)

นอกจากนี้ผลการศึกษานี้พบว่า การใส่ นาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ ในความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ไม่มีผลต่อความหยาบของพื้นผิวหลังการจำลองการบดเคี้ยว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sharafeddin และคณะ ที่รายงานว่าการใส่ไมโครไฮดรอกซีอะพาไทด์ในกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไม่มีผลต่อความหยาบของผิววัสดุ (Sharafeddin et al., 2021) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Martins และคณะ ซึ่งพบว่า การใส่ นาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ในกลาสไอโอโนเมอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Martins et al., 2022)

ในการศึกษานี้ ค่าความหยาบพื้นผิวเริ่มต้นของวัสดุอยู่ในช่วง 0.11-0.39 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถเอื้อต่อการสะสมของคราบจุลินทรีย์ได้ และภายหลังการจำลองการบดเคี้ยว 240 000 รอบ ค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.99-1.80 ไมโครเมตร ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการสึกของพื้นผิววัสดุ ทำให้วัสดุอัดแทรกเผยผิและหลุดออก รวมถึงการกระจายตัวของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ในเมทริกซ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาคและเพิ่มความขรุขระ ทั้งนี้ความหยาบของพื้นผิววัสดุที่มากกว่า 0.2 ไมโครเมตร สามารถส่งเสริมการเกาะติดของคราบจุลินทรีย์ (Bollen et al., 1997) และถือว่ามีค่าความหยาบสูงเมื่อเกิน 0.5 ไมโครเมตร (Jones et al., 2004)

จากการศึกษานี้พบว่า การใส่ นาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์ ในความเข้มข้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ลงในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ไม่มีผลต่อความต้านทานการสึก ซึ่งอาจแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่า การเติมนาโนไฮดรอกซีอะพาไทด์สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนใหญ่มักทดสอบกับกลาสไอโอโนเมอร์ที่ใช้สำหรับบูรณะฟัน เช่น Fuji II LC®, Fuji IX GP® และ Vitremer™ ซึ่งมีความแตกต่างกับกลาสไอโอโนเมอร์ที่ใช้เป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนผงต่อน้ำที่ต่ำกว่าและใช้อนุภาคแก้วขนาดเล็กกว่า เพื่อให้วัสดุมีความหนืดต่ำและสามารถไหลแทรกตามหลุมร่องลึกได้ดีกว่า

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดกlasses ไอโอเนเมอร์มีความสำคัญทางคลินิกอย่างมาก เนื่องจากมีบทบาทในการป้องกันการเกิดฟันผุ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคือความแข็งแรงที่ยังด้อยกว่า จึงยังมีความจำเป็นในการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุต่อไป ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุในอนาคต โดยการปรับลดความเข้มข้นของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 อาจช่วยให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับส่วนเมทริกซ์และช่วยเสริมแรงเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกได้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ไม่ได้จำลองสภาพแวดล้อมในช่องปากอย่างครบถ้วน เช่น การมีน้ำลาย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเป็นกรด-เบส รวมถึงการใช้คู่สบสดีไทต์ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากฟันจริง ดังนั้น จึงไม่สามารถอนุมานผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการไปใช้ในทางคลินิกได้โดยตรง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาในอนาคตควรพิจารณาความต้านทานการสึกของวัสดุในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม หรือ ประเมินความต้านทานการสึกด้วยวิธีการอื่นเพิ่มเติม เช่น การศึกษาลักษณะพื้นผิวการสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อช่วยอธิบายกลไกการสึก รวมถึงการปรับลดความเข้มข้นของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพิ่มความต้านทานการสึกของวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

- Barandehfard, F., Kianpour Rad, M., Hosseinnia, A., Khoshroo, K., Tahri, M., Jazayeri, H. E., Moharamzadeh, K., & Tayebi, L. (2016). The addition of synthesized hydroxyapatite and fluorapatite nanoparticles to a glass-ionomer cement for dental restoration and its effects on mechanical properties. *Ceramics International*, 42(15), 17866-17875.
- 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. *Dent Mater*, 13(4), 258-269.
- Bureau of Dental Health. (2024). *The 9th national oral health survey 2023*. Department of Health.
- Elshenawy, E. A., El-Ebiary, M. A., Kenawy, E. R., & El-Olimy, G. A. (2023). Modification of glass-ionomer cement properties by quaternized chitosan-coated nanoparticles. *Odontology*, 111(2), 328-341.
- Faria, M., Guedes, A., Rompante, P., Carvalho, O., Silva, F., Henriques, B., Özcan, M., & Souza, J. C. M. (2021). Wear Pathways of Tooth Occlusal Fissure Sealants: An Integrative Review. *Biotribology*, 27, 100190.
- Jaikaeo, Y. (2018). Eruption of permanent first molar in 6 years old children of Muang Samsib distric, Ubon Ratchathani Province. *Thai Dental Nurse Journal*, 29(2).
- Jones, C. S., Billington, R. W., & Pearson, G. J. (2004). The in vivo perception of roughness of restorations. *British dental journal*, 196(1), 42-45.
- Kheur, M., Kantharia, N., Lakha, T., Kheur, S., Al-Haj Husain, N., & Özcan, M. (2020). Evaluation of mechanical and adhesion properties of glass ionomer cement incorporating nano-sized hydroxyapatite particles. *Odontology*, 108(1), 66-73.
- Krutchkoff, D., Nordquist, W., Okudera, H., Okudera, T., & Kimoto, K. (2011). Part I: Crystalline Fluorapatite-Coated Hydroxyapatite, Physical Properties. *Journal of Oral Implantology*, 37(1), 27-33.

- Maity, K., Arya, A., Mishra, D., Verma, J., Vamseekrishna, K. V. N., & Jahangeer, B. (2024). Assessment of the Microhardness of Three Different Glass Ionomer Cements after Microhydroxyapatite Incorporation: An In Vitro Study. *Cureus*, 16(10), e71961.
- Martins, R. A., Marti, L. M., Mendes, A. C., Fragelli, C., Cilense, M., & Zuanon, A. C. (2022). Brushing effect on the properties of glass ionomer cement modified by hydroxyapatite nanoparticles or by bioactive glasses. *International Journal of Dentistry*, 2022(1), 1641041.
- Moradaian, M., Saadat, M., Agharezaei, S., & Khorshidi Asl, Z. (2025). Effect of Nanohydroxyapatite and Silver Nanoparticle Incorporation on the Flexural Strength of Resin Composites. *BioMed Research International*, 2025(1), 9132555.
- Moshaverinia, A., Ansari, S., Moshaverinia, M., Roohpour, N., Darr, J. A., & Rehman, I. (2008). Effects of incorporation of hydroxyapatite and fluoroapatite nanobioceramics into conventional glass ionomer cements (GIC). *Acta Biomater*, 4(2), 432-440.
- Paglia, L., Ferrazzano, G., & Beretta, M. (2018). The Role of Pit and Fissure Sealants in the Prevention of Dental Caries. In K. Bekes (Ed.), *Pit and Fissure Sealants* (pp. 35-50). Springer International Publishing.
- Pepla, E., Besharat, L. K., Palaia, G., Tenore, G., & Migliau, G. (2014). Nano-hydroxyapatite and its applications in preventive, restorative and regenerative dentistry: a review of literature. *Ann Stomatol (Roma)*, 5(3), 108-114.
- Petrauskienė, S., Saldūnaitė-Mikučionienė, K., & Narbutaitė, J. (2024). Survival Analysis of Glass Ionomer Cement and Resin-Based Sealant Retention: A 10-Year Follow-Up Study. *Medicina*, 60(5), 756.
- Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., Tagami, J., Twetman, S., Tsakos, G., & Ismail, A. (2017). Dental caries. *Nature Reviews Disease Primers*, 3(1), 17030.
- Sharafeddin, F., Jowkar, Z., & Bahrani, S. (2021). Comparison between the effect of adding microhydroxyapatite and chitosan on surface roughness and Microhardness of resin modified and conventional glass ionomer cements. *J Clin Exp Dent*, 13(8), e737-e744.
- Sharafeddin, F., Karimi, S., & Jowkar, Z. (2019). Evaluation of the effect of micro-hydroxyapatite incorporation on the diametral tensile strength of glass ionomer cements. *J Conserv Dent*, 22(3), 266-269.
- Sidhu, S. (2016). *Glass-Ionomers in Dentistry*. Springer Cham.
- Sitaram, S. S., Paulraj, J., Maiti, S., & Shanmugam, R. (2024). Enhancing Wear Resistance in Glass Ionomer Cement through Green-mediated Chitosan-, Titanium-, Zirconium-, and Hydroxyapatite-based Nanocomposites: An Analysis before and after Chewing Simulator Endurance. *Int J Clin Pediatr Dent*, 17(11), 1229-1235.
- Steiner, M., Mitsias, M. E., Ludwig, K., & Kern, M. (2009). In vitro evaluation of a mechanical testing chewing simulator. *Dental Materials*, 25(4), 494-499.

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).