

ผลกระทบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ต่อค่าความแข็ง ผิวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต

นิโลบล วงศ์สายดา* มรกต เปี่ยมใจ**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ประเมินผลกระทบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ต่อค่าความแข็งผิวของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต โดยการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต 4 กลุ่มที่มีชนิดของตัวเติมต่างกัน ได้แก่ 1) เฟนตาซิสต้า วิ 2) เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสยู 3) เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ และ 4) ฟิลเทค ซีทรีไฟร์ซีโรเอ็กซ์ที กลุ่มละ 10 ชิ้น ขนาด 4x4x2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร นำมาทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบวิกเกอร์ 8 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน กดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ต่อตำแหน่ง และศึกษาพื้นผิวชิ้นงานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง นำค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และการทดสอบเกมส์ โฮเวลล์ พบว่าค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p < 0.05$) ยกเว้นกลุ่มเฟนตาซิสต้า วิ และเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสยู ($p > 0.05$) โดยกลุ่มที่ให้ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคมากที่สุดคือ กลุ่มเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ (115.05 ± 1.25 วิกเกอร์) ซึ่งไม่มีอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์ มีแต่อนุภาคตัวเติมชนิดแก้ว และความแข็งผิวน้อยสุดคือ กลุ่มเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสยู (42.85 ± 3.10 วิกเกอร์) และกลุ่มเฟนตาซิสต้า วิ (45.53 ± 4.34 วิกเกอร์) ซึ่งมีอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์ อย่างไรก็ตามอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์เชื่อมติดกับเรซินเมทริกซ์ได้ดีกว่า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใส่อนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์มีผลทำให้วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตมีความแข็งผิวน้อยลง แต่เกิดการหลุดของอนุภาคตัวเติมขนาดเล็กที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับอนุภาคตัวเติมประเภทอนินทรีย์

คำชี้แจง: ความแข็งผิวระดับจุลภาค/ เรซินคอมโพสิต/ อนุภาคตัวเติมอินทรีย์/ อนุภาคตัวเติมอนินทรีย์

Received: June 28, 2023

Revised: Mar 26, 2024

Accepted: Mar 28, 2024

บทนำ

เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในทางทันตกรรม มีองค์ประกอบใหญ่ 3 ส่วนคือ เรซินเมทริกซ์ สารตัวเติม และอนุภาคตัวเติมที่กระจายอยู่ทั่วไปถูกเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของวัสดุบูรณะเรซิน^{1,2} ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามพื้นฐานของโครงสร้างอนุภาคหลัก เป็นอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ ได้แก่ ซิลิกา และเซอโรโคเนีย ซึ่งจะเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์ผ่านสารตัวเติมไฮเลเดน และอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ (Organic filler) หรืออนุภาคตัวเติมอินทรีย์ชนิดพรีพอลิเมอร์ไรซ์ (Prepolymerized organic filler)^{3,4}

อนุภาคชนิดพรีพอลิเมอร์ไรซ์ มีจุดเริ่มต้นจากการผลิตโดยการผสมซิลิกาเข้ากับเรซินพอลิเมอร์ชนิดที่มีความเข้ากันได้กับเรซินเมทริกซ์ภายใต้ความร้อน แล้วบดออกมาให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (Splinter prepolymerized microfilled complexed) หรือการฝังซิลิกาเข้าไปในอนุภาคโพลิเมอร์ขนาดเล็ก (Spherical polymer-based microfilled complexes)⁵ ซึ่งทั้งสองจะเป็นอนุภาคที่ประกอบทั้งสารประกอบที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์อยู่ร่วมกัน ได้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติความเหนียวของวัสดุได้ดีกว่า

การเติมอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เป็นปริมาณมากเพียงอย่างเดียว และลดการหลุดตัวของวัสดุจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ได้ (Polymerization)^{6,7} แต่ยังคงพบปัญหาการหลุดของอนุภาคระหว่างการใช้งานจากส่วนที่เป็นอินทรีย์ที่ต้องพึ่งพาสารตัวเติมในการเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์ อีกทั้งส่วนที่เป็นพันธะคู่ของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้เป็นอนุภาคตัวเติมจะถูกทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์จนไม่หลงเหลือพันธะที่จะมาทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์ หรือกับสารตัวเติม⁸

ต่อมาจึงมีการพัฒนาอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ หรืออนุภาคตัวเติมอินทรีย์พรีพอลิเมอร์ไรซ์ (Prepolymerized organic fillers) หรืออนุภาคตัวเติมอินทรีย์รีแอคทีฟ (Reactive organic filler) เป็นอนุภาคของพอลิเมอร์ หรือสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น โดยอนุภาคพื้นฐานเป็นพวอะคริลิก ซึ่งพัฒนาให้สามารถเกิดพันธะเคมีกับเรซินมอนอเมอร์ในเรซินเมทริกซ์ ในลักษณะโคพอลิเมอร์ไปพร้อมๆกันเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยอนุมูลอิสระ (Free radical) เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต ทำให้สามารถกำจัดปัญหา

* นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

** ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

การหลุดของอนุภาคตัวเติมชนิดนี้ และยังคงประโยชน์ในการใช้ร่วมกับอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เหมือนอนุภาคชนิดฟริพอลิเมอร์ไรซ์ในรุ่นแรกๆ^{9,10}

ตัวอย่างของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ เช่น ตรีเมทิลฟิไท (Trimethylolpropane trimethacrylate: TMPT) จากการพัฒนาของ Shiro Suzuki และคณะ ในปี 1982 ซึ่งมีปริมาณพันธะคู่จำนวนมากในโครงสร้างพร้อมเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์¹¹ ซึ่งจากหลายการศึกษาพบว่าทำให้ชั้นเคลือบพื้นผิวเรียบ มีพื้นผิวการสึกน้อยและให้ลักษณะพื้นผิวที่เรียบเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปได้ว่าเนื่องจากอนุภาคอินทรีย์สามารถยึดเกาะกับเรซินเมทริกซ์ได้ดี จึงทำให้มีการหลุดของอนุภาคตัวเติมหลังได้รับแรงกดเล็กน้อยกว่า^{12, 13}

ความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิต มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านการสึกของวัสดุบูรณะ^{14, 15} นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อนุภาคตัวเติมอินทรีย์ที่มีความแข็งแรงเช่นเซอร์โคเนียส่งผลให้ความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะเรซินมีค่าลดลงและมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้นจากการหลุดออกของอนุภาค¹⁶ เนื่องจากบนพื้นผิวอนุภาคเซอร์โคเนียไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลร่วมกับการมีจำนวนพันธะคู่ของคาร์บอนไม่เพียงพอที่จะไปเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์ผ่านสารคู่ควบไซเลน โดยสารคู่ควบไซเลนสามารถทำหน้าที่ได้เพียงการลดแรงดึงผิวระหว่างอนุภาคเพื่อช่วยกระจายอนุภาคเซอร์โคเนียในเรซินเมทริกซ์¹⁷ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอนุภาคตัวเติมที่มีความแข็งแรงมาก อาจไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีส่วนประกอบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ โดยสมมติฐานในการศึกษานี้คือการมีอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตอาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุบูรณะแตกต่างไปจากการมีอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เพียงอย่างเดียว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ขึ้นรูปชิ้นงานเรซินคอมโพสิต 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น (n=10) ตามชนิดของเรซินคอมโพสิต ได้แก่ กลุ่ม 1) แฟนตาซิสต้า วิ 2) เคลียร์ฟิล เอฟ-เอกซ์ อีเอสทู 3) เคลียร์ฟิล เอฟ-เอกซ์ และ 4) ฟิลเทค ซิทธิไฟว์ซีโร่เอ็กซ์ที ซึ่งมี

องค์ประกอบหลักของวัสดุตามใบคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (ดังตารางที่ 1) เตรียมวัสดุแต่ละกลุ่มให้มีขนาด 4x4x2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมชนิดแอลอีดี (Elipar S10, 3M-ESPE St. Paul, MN, USA; ความเข้มแสง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร; ความยาวคลื่น 400-515 นาโนเมตร) โดยใช้ระยะเวลาและความเข้มแสงตามที่บริษัทผู้ผลิตเรซินคอมโพสิตกำหนด จากนั้นฝังลงฐานทรงกระบอกด้วยอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) แล้วจึงขัดปรับผิวหน้าให้ได้ระนาบเรียบ และเงาด้วย กระดาษทรายน้ำความหยาบเบอร์ 400, 600, 1000, 1200 (Buehler, USA) และผงอะลูมินาขนาด 0.05 ไมครอน (Pace Technologies, USA) ภายใต้การหล่อ่น้ำด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (PRESI MINITECH 233, USA) ควบคุมความเร็วรอบขัดสม่ำเสมอที่ 270 รอบต่อนาทีในทุกความหยาบ และใช้เวลาขัดในทุกความหยาบรวมทั้งหมด 180 วินาทีต่อชิ้นงาน แล้วทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก โดยมีน้ำกลั่นเป็นสารสื่อกลาง (Ultrasonic bath, VGT-1990, QTD, China) เป็นเวลา 15 นาที ชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นจะถูกแช่อยู่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISO 4049:2019¹⁸ ก่อนเริ่มการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาค

วิธีการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของชิ้นงาน

ทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคแบบวิกเกอร์ (Vicker microhardness test) ตาม ISO 6507-1:2018¹⁹ ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงผิว (FM 180, FUTURE TECH, Japan) 8 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน ด้วยน้ำหนัก 100 กรัม เป็นเวลา 15 วินาทีต่อจุดกด ที่บริเวณมุมทั้ง 4 ของชิ้นงาน (1 มุมประกอบด้วย 2 จุดกดห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร) วัดเส้นทแยงมุมรอยกด เพื่อนำมาคำนวณค่าความแข็งแรงผิวในแต่ละตำแหน่ง จากนั้นนำค่าความแข็งแรงระดับจุลภาค ทั้ง 8 ตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนชิ้นงานในการทดสอบทางสถิติ

การตรวจสอบพื้นผิวเรซินคอมโพสิตภายหลังการทดสอบความแข็งแรงผิว

สุ่มชิ้นงานจากแต่ละกลุ่มทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อกลุ่ม (n=5) เพื่อนำมาศึกษาลักษณะพื้นผิว (Surface characteristics) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (FM 180, FUTURE TECH, Japan) กำลังขยายรวม 500 เท่า (เลนส์ใกล้ตา กำลังขยาย 10 เท่า และเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 50 เท่า)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักของวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในแต่ละกลุ่ม

Table 1 Major components of resin composite in each group

ชื่อ ทางการค้า	ผู้ผลิต	องค์ประกอบ เรซินเมทริกซ์	ชนิดอนุภาค ตัวเติม	ปริมาณ อนุภาคตัว เติม (%นน / %ปริมาตร)	ขนาดอนุภาค ตัวเติม [†]	ประเภทของ ขนาด อนุภาคตัว เติม	ระยะ เวลาฉาย แสง (วินาที) ^{**}	สี
Fantasia V (Shade A1)	Sun Medical, Moriyama Japan	UDMA, TEGDMA	TMPT, Strontium glass, Colloidal silica	N/A /53*	0.02-5 µm	Nanohybrid	10	LL12F
Clearfil AP-X ES2 (Shade A1)	Kuraray Medical, Tokyo Japan	Bis-GMA, Hydrophobic aromatic dimethacrylates	Barium glass, silica, Prepolymerized organic filler	78**/40*	0.37-1.5 µm	Nanohybrid	20	5A0033
Clearfil AP-X (Shade A2)	Kuraray Medical, Tokyo Japan	Bis-GMA, TEGDMA	Barium glass, silica, colloidal silica	85 /71	0.02-17 µm	Microhybrid	20	C10114
Filtek Z350XT (Shade Body A1)	3M ESPE St. Paul, MN, USA	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA, Bis-EMA	Zirconia/silica	78.5 /63.3	4-20 nm (Particle size) 0.6-10 µm (Cluster size)	Nanofilled	10	NF22061

*ร้อยละ โดยปริมาตรเฉพาะอนุภาคตัวเติมชนิดอนินทรีย์

**ร้อยละ โดยน้ำหนักโดยรวม

[†] อ้างอิงจากใบคำแนะนำบริษัทผู้ผลิต (Manufacturer instruction)

^{**} เมื่อใช้เครื่องฉายแสงแอลอีดี ความเข้มแสงอย่างน้อย 1100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

การทดสอบทางสถิติ

การทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ เอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 29.0 (SPSS 29.0 Inc, Chicago, Illinois) เพื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล หากมีการกระจายตัวที่ปกติเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยเกมส์ ไฮเวลล์ (Games Howell) หรือ บอนเฟอโรนี (Bonferroni) ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผล

ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างกลุ่มของเรซินคอมโพสิต ($P < 0.05$) ยกเว้นในกลุ่มของเรซินคอมโพสิตกลุ่มแฟนตาซิสต้า วี และเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคสูงสุด และต่ำสุดพบในกลุ่มเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ 115.05 วิกเกอร์ และเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู 42.85 วิกเกอร์ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาค (วิกเกอร์ แรงกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเรซินคอมโพสิต

Table 2 Mean surface microhardness values (VHN, Kg/mm²) and standard deviation of the resin composites

Group (n=10)	Mean surface micro hardness, VHN (Kg/mm ²)
Fantasia V	45.53 (4.34) ^a
Clearfil AP-X ES2	42.85 (3.10) ^a
Clearfil AP-X	115.05 (1.25) ^c
Filtek Z350XT	89.84 (2.05) ^b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

The different superscript alphabet indicates a statistically significant difference. (Standard deviations are in parentheses.)

เมื่อพิจารณาพื้นผิวจากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง (Optical microscope) ที่กำลังขยายรวม 500 เท่าพบว่าพื้นผิวหลังการถูกขัดและถูกทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค ของกลุ่มแผ่นตาชิสต้า วิ ไม่พบการหลุดของกลุ่มอนุภาคตัวเติมทั้งส่วนที่เป็นอนุภาคตัวเติมอินทรีย์และอนินทรีย์ ในทั้งระนาบวัสดุ ในขณะที่พื้นผิวของกลุ่มอื่นๆ พบช่องว่างที่เกิดจากการหลุดออกของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์กระจายอยู่ทั่วไปดังที่เห็นบนพื้นผิวของเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ และฟิลเทคชิทรีไฟว์ซีโรเอ็กซ์ที ส่วนเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู มีลักษณะพื้นผิวที่ผสมผสาน โดยมีการหลุดร่อนของกลุ่มอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ แต่ไม่มีการหลุดร่อนในทุกบริเวณที่เป็นอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ (รูปที่ 1A-1D)

บทวิจารณ์

วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์เป็นส่วนประกอบร่วมกับอนินทรีย์อย่างแผ่นตาชิสต้า วิ (45.53 วิกเกอร์) และเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู (42.85 วิกเกอร์) ให้ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคต่ำกว่ากลุ่มวัสดุที่มีอนุภาคตัวเติมชนิดอนินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างกลุ่มเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ (115.05 วิกเกอร์) และ ฟิลเทคชิทรีไฟว์ซีโรเอ็กซ์ที (89.84 วิกเกอร์) ดังนั้นผลการศึกษานี้จึงสนับสนุนสมมติฐานงานวิจัย

เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวัสดุที่ใช้บูรณะในคลินิก มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคตัวเติมมีเรซินเมทริกซ์หลัก คือ ยูดีเอ็มเอ (UDMA) ที่อีจีดีเอ็มเอ (TEGDMA) หรือ บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) และอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เหมือนกันคือ แก้วหรือซิลิกา ซึ่งมีขนาดอนุภาคหรือกลุ่มอนุภาคใกล้เคียงกันในระดับซับไมครอน (Sub-micron) แต่ที่ต่างกันคือในกลุ่มแผ่นตาชิสต้า วิ และเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู มีอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์ (ปริมาณไม่ได้บอกโดยบริษัท) และปริมาณอนุภาคตัวเติม อนินทรีย์ที่น้อยกว่ากลุ่มที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมชนิดอนินทรีย์ (ตารางที่ 1) จากผลของค่าความแข็งผิวในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า วัสดุเรซินที่มีการเติมอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ทำให้มีปริมาณอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคลดลง 2-3 เท่า (ตารางที่ 2)

เนื่องจากส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากธรรมชาติของอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ที่มีความแข็งผิวอนุภาคที่สูงกว่าอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ที่มีพื้นฐานอนุภาคเป็นเรซินโพลีเมอร์²⁰ ดังนั้นการเติมอนุภาคอินทรีย์ในวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต

ย่อมส่งผลให้มีสัดส่วนปริมาณอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ลดลง จึงส่งผลต่อความแข็งผิวของวัสดุโดยรวม อย่างไรก็ตามการเพิ่มอนุภาคชนิดอินทรีย์สามารถลดสัดส่วนของเรซินมอนอเมอร์ในเรซินเมทริกซ์จึงช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่ ลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization shrinkage) และการดูดน้ำของวัสดุบูรณะ (Water sorption) และง่ายต่อการขัดแต่งพื้นผิวของวัสดุ (Polishability)^{7, 21-23}

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณร้อยละโดยปริมาตรที่ต่างกัน (ร้อยละ 13) ของอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ในกลุ่มที่มีอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ พบว่าค่าความแข็งผิวลดลง (ประมาณร้อยละ 6) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความต่างกันของปริมาณอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์โดยปริมาตรที่น้อยกว่า (ร้อยละ 7.7) ระหว่างกลุ่มที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ให้ค่าความแข็งผิวที่ลดลงในสัดส่วนที่มากกว่า (ประมาณร้อยละ 22) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอนุภาคตัวเติมอินทรีย์มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคมากกว่าอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ (ตารางที่ 1 และ 2)

เมื่อพิจารณาพื้นผิววัสดุบูรณะหลังได้รับการขัดแต่งพบว่ากลุ่มที่มีส่วนประกอบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์มีลักษณะพื้นผิวส่วนที่เป็นอนุภาคอินทรีย์ของทั้งสองกลุ่มไม่หลุดร่อนออก (รูปที่ 1A และ 1B) เนื่องจากอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ สามารถเชื่อมกับเรซินเมทริกซ์ได้โดยตรงในลักษณะโคพอลิเมอร์ และสามารถเกิดการเชื่อมโยงข้าม (Crosslinking)²⁰ จึงสามารถป้องกันการหลุดร่อนของอนุภาคแตกต่างจากกลุ่มที่มีอนุภาคชนิดอนินทรีย์เพียงอย่างเดียวที่อนุภาคมีการหลุดร่อนโดยทั่วไป การเผยผลึกแก้วที่ขรุขระมายังพื้นผิวที่เป็นผลมาจากคุณภาพการเชื่อมต่อผ่านสารคู่ควบไซเลนที่สามารถเกิดการเสียหายของพันธะเมื่อได้รับแรงหรืออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีน้ำ ร่วมกับความแข็งอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ ที่สูงมากต่างจากเรซินเมทริกซ์ทำให้เกิดการสึกในปริมาณที่แตกต่างกัน (รูปที่ 1C, 1D) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ พอจะอภิปรายได้ว่า วัสดุแผ่นตาชิสต้า วิ ที่มีองค์ประกอบของอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ชนิดที่เอ็มพีที มีความเรียบมากที่สุด อย่างไรก็ตามยังต้องการการทดสอบความขรุขระผิว (Surface roughness testing) เพื่อเป็นการยืนยันในอนาคต

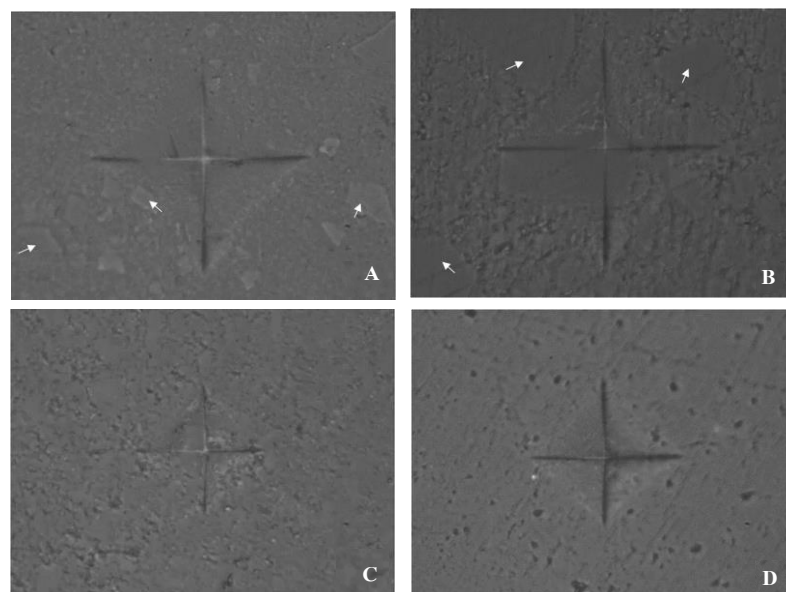
เป็นที่น่าสนใจว่ากลุ่มเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู (รูปที่ 1B) มีการหลุดร่อนของส่วนกลุ่มอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์

อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับส่วนอนุภาคอินทรีย์ของฟันตาสีขาว (รูปที่ 1A) อาจเป็นผลของความแตกต่างกันของเรซินมอนอเมอร์ และชนิดอนุภาคตัวเติม รวมถึงความเข้ากันได้ของทั้งสองวัสดุ โดยพบว่าอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ที่ดีควรมีปริมาณพันธะคู่ และความยาวสายพันธะที่เหมาะสม มีความเข้ากันได้ (Compatibility) หรือความคล้ายคลึงทางเคมี (Affinity) กับมอนอเมอร์ที่อยู่ในเรซินเมทริกซ์¹¹ ซึ่งในฟันตาสีขาว เมทริกซ์มีมอนอเมอร์หลักคือ ยูนิเอมเอ คุณน้ำได้น้อยกว่า (Water sorption) มีค่าความแข็งแรงดัดขวาง (Flexural strength) และมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าบิสอีเอ็มเอ อีกทั้งเรซินคอมโพสิตที่มีองค์ประกอบของบิสอีเอ็มเอร่วมกับบิสอีเอ็มเอ จะเกิดการเชื่อมโยงข้ามได้ดีจากการที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าสองหมู่ขึ้นไป (Bi-or poly-functional molecule) ได้โครงสร้างที่ต้านการสึกได้ดีกว่าการผสมมอนอเมอร์แบบอื่นๆ เช่น บิสอีเอ็มเอที่เป็นมอนอเมอร์หลักของเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) จึงแข็งแรงเกิดการเชื่อมโยงข้ามยากกว่า²⁴⁻²⁶ แต่อย่างไรก็ตามการเติมอนุภาคตัวเติมหากมีการเชื่อมต่อที่ดีกับเรซินเมทริกซ์จะมีอิทธิพลเสริมความแข็งแรงของเนื้อวัสดุ และความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคมากกว่าจากความแข็งแรงจริงจากมอนอเมอร์หลัก หรือสัดส่วนการผสมมอนอเมอร์ในเรซินคอมโพสิต^{25,27} จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความแข็งแรง

ผิวระดับจุลภาคของฟันตาสีขาว (45.53 วิกเกอร์) มีแนวโน้มมากกว่า ความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคของเคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู (42.85 วิกเกอร์) เล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ความแข็งแรงของอนุภาคตัวเติมและการเชื่อมต่ออนุภาคตัวเติมกับเรซินเมทริกซ์ส่งผลต่อการสึกของทั้งตัวเนื้อวัสดุเองและเคลือบฟันคู่สบ¹² โดยอนุภาคตัวเติมอินทรีย์ที่มีความแข็งแรงสูง ขนาดใหญ่ และรูปร่างไม่สม่ำเสมอทำให้เคลือบฟันคู่สบสึกเป็นบริเวณกว้าง ขรุขระ และเกิดรอยร้าวขึ้นได้นอกจากนี้การหลุดของอนุภาคตัวเติม จะยิ่งเร่งอัตราการสึกของทั้งฝั่งที่เป็นวัสดุบูรณะและเคลือบฟันคู่สบ^{13,28,29} จากผลการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าเรซินคอมโพสิตฟันตาสีขาว และ เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทูที่มีอนุภาคตัวเติมอินทรีย์มีแนวโน้มส่งผลต่อการสึกของตัวเนื้อวัสดุบูรณะและเคลือบฟันคู่สบที่น้อยกว่าชนิด เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ และ ฟิลเทค ซิทธิไฟว์ซีโรเอ็กซ์ ที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมอินทรีย์

อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการศึกษานี้คือ ไม่ได้ทำการจำลองอายุการใช้งานในช่องปากของชิ้นงานเรซินคอมโพสิต เช่น ความเป็นกรด การดูดน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น³⁰ ซึ่งปัจจัยนี้อาจส่งผลต่อการย่อยสลายของอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์และอินทรีย์ในสัดส่วนที่ต่างกัน จึงเป็นข้อแนะนำในการศึกษาต่อในอนาคต



รูปที่ 1 แสดงลักษณะพื้นผิวเรซินคอมโพสิตหลังจากการขัดเรียบและทดสอบความแข็งแรงผิวระดับจุลภาค ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงที่ กำลังขยายรวม 500 เท่า โดยที่ (A) ฟันตาสีขาว (B) เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ อีเอสทู (C) เคลียร์ฟิล เอพี-เอกซ์ (D) ฟิลเทค ซิทธิไฟว์ซีโรเอ็กซ์; ลูกศรแสดงอนุภาคชนิดอินทรีย์

Figure 1 Surface characteristics of polished resin composite after the surface microhardness testing at the magnification $\times 500$ under the optical light microscope: (A) Fantastista V (B) Clearfil-APX ES2 (C) Clearfil-APX and (D) Filtek Z350XT; Arrows indicate organic fillers in the resin matrix.

บทสรุป

ภายใต้ขอบเขต และข้อจำกัดของการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่า การมีอนุภาคตัวเติมชนิดอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตส่งผลต่อค่าความแข็งผิวของวัสดุ โดยให้ค่าความแข็งระดับจุลภาควิกเกอร์ที่ต่ำกว่าวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์ แต่ในทางกลับกันเนื่องจากเรซินคอมโพสิตที่มีอนุภาคตัวเติมอินทรีย์เป็นองค์ประกอบมีการเชื่อมต่อกะหว่างอนุภาคตัวเติมและเรซินเมทริกซ์ที่ดี ส่งผลให้มีพื้นผิวหลังได้รับการขัดที่เรียบ มีการหลุดของอนุภาคตัวเติมหลังการขัดและการทดสอบน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตที่มีเฉพาะอนุภาคตัวเติมอนินทรีย์

เอกสารอ้างอิง

- Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' Science of Dental Materials. 12th ed. Philadelphia: Saunders; 2013.275-306.
- Aminoroaya A, Neisiany RE, Khorasani SN, Panahi P, Das O, Madry H, et al. A review of dental composites: Challenges, chemistry aspects, filler influences, and future insights. *Compos B Eng* 2021;216:108852.
- Habib E, Wang R, Wang Y, Zhu M, Zhu XX. Inorganic Fillers for Dental Resin Composites: Present and Future. *ACS Biomater Sci Eng* 2016;2(1):1-11.
- Liu J, Zhang H, Sun H, Liu Y, Liu W, Su B, et al. The development of filler morphology in dental resin composites: a review. *Materials (Basel)* 2021;14(19): 5612.
- Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent* 1983;50(4): 480-8.
- Elfakhri F, Alkahtani R, Li C, Khaliq J. Influence of filler characteristics on the performance of dental composites: A comprehensive review. *Ceram Int* 2022;48(19, Part A):27280-94.
- Ferracane JL, Pfeifer CS, Hilton TJ. Microstructural features of current resin composite materials. *Curr Oral Health Rep* 2014;1(4):205-12.
- Randolph LD, Palin WM, Leloup G, Leprince JG. Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dent Mater* 2016;32(12):1586-99.
- Rheinberger VMD, Büchel T. Reactive organic filler and its use. EP0262488A1 (Patent). 1986.
- Suzuki S, Cox CF, Leinfelder KF, Snuggs HM, Powell CS. A new copolymerized composite resin system: a multiphased evaluation. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1995;15(5):482-95.
- Suzuki S, Nakabayashi N, Masuhara E. The evaluation of new dental resins prepared with polyfunctional methacrylate monomers. *J Biomed Mater Res* 1982; 16(3):275-87.
- Suzuki S, Suzuki SH, Cox CF. Evaluating the antagonistic wear of restorative materials when placed against human enamel. *J Am Dent Assoc* 1996;127(1): 74-80.
- Wada K, Ikeda E, Wada J, Inoue G, Miyasaka M, Miyashin M. Wear characteristics of trimethylolpropane trimethacrylate filler-containing resins for the full crown restoration of primary molars. *Dent Mater J* 2016; 35(4):585-93.
- Sagsoz O, Ilday NO, Sagsoz NP, Bayındır YZ, Alsaran A. Investigation of hardness and wear behavior of dental composite resins. *Int J Compos Mater* 2014;4:179-84.
- Culhaoglu AK, Park J. A comparison of the wear resistance and hardness of two different indirect composite resins with a ceramic material, opposed to human enamel. *Eur J Gen Dent* 2013;2(3):274-80.
- Wongsaita N, Piemjai M. Comparison of surface microhardness of restorative resin composite with different types of fillers. *Proceedings of The 14th National Science Research Conference. Symposium: 2023 May 25-26;Phayao*;1479-85.
- Yang J, Liao M, Hong G, Dai S, Shen J, Xie H, et al. Effect of APTES- or MPTS-conditioned nanozirconia fillers on mechanical properties of Bis-GMA-based resin composites. *ACS Omega* 2020;5(50):32540-50.

18. International-Organization-for-Standardization. ISO 4049:2019 Dentistry - Polymer-based restorative materials. Geneva: ISO;2019.
19. International-Organization-for-Standardization. ISO 6507-1:2018 Metallic materials - Vickers hardness test - Part 1: Test method. Geneva: ISO;2018.
20. Suzuki S, Ori T, Saimi Y. Effects of filler composition on flexibility of microfilled resin composite. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2005;74(1):547-52.
21. Pala K, Tekçe N, Tuncer S, Demirci M, Öznurhan F, Serim M. Flexural strength and microhardness of anterior composites after accelerated aging. J Clin Exp Dent 2017;9(3):e424-e30.
22. Blackham JT, Vandewalle KS, Lien W. Properties of hybrid resin composite systems containing prepolymerized filler particles. Oper Dent 2009;34(6):697-702.
23. Tjan AHL, Chan CA. The polishability of posterior composites. J Prosthet Dent 1989;61(2):138-46.
24. Gajewski VE, Pfeifer CS, Fróes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. Braz Dent J 2012;23(5):508-14.
25. Ekworapoj P, Magaraphan R, Martin D. Heat effect on viscosity and curing of light-cured dental resin and mechanical strength of conventional dental composites. J Met Mater Miner 2002;12:39-50.
26. Silva EM, Miragaya L, Noronha-Filho JD, Amaral CM, Poskus LT, Guimarães JG. Characterization of an experimental resin composite organic matrix based on a tri-functional methacrylate monomer. Dent Mater J 2016;35(2):159-65.
27. 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.
28. Koottathape N, Takahashi H, Iwasaki N, Kanehira M, Finger WJ. Quantitative wear and wear damage analysis of composite resins in vitro. J Mech Behav Biomed Mater 2014;29:508-16.
29. Osiewicz MA, Werner A, Roeters FJM, Kleverlaan CJ. Wear of direct resin composites and teeth: considerations for oral rehabilitation. Eur J Oral Sci 2019;127(2):156-61.
30. Gornig DC, Maletz R, Ottl P, Warkentin M. Influence of artificial aging: mechanical and physicochemical properties of dental composites under static and dynamic compression. Clin Oral Investig 2022;26(2):1491-504.

ผู้รับผิดชอบบทความ

มรกต เปี่ยมใจ

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทรศัพท์ : 02 218 8532-34

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ : tmorakot@chula.ac.th

Effect of Organic Fillers on The Surface Microhardness of Restorative Resin Composites

Wongsaita N* Piemjai M**

Abstract

This research aimed to study the effect of organic fillers on the surface microhardness of restorative resin composites. Forty resin composite specimens in the dimension of $4 \times 4 \times 2 \text{ mm}^3$ were divided into four groups ($n=10$) according to the filler type: Fantasista V, Clearfil AP-X ES2, Clearfil AP-X, and Filtek Z350XT. Vicker hardness test (VHN) was carried out in all specimens with eight indentations, each with 100 g of loading for 15 s. The data were analyzed with one-way ANOVA and the Games Howell test. There were statistical differences between the groups of specimens ($p < 0.05$) except Fantasista V and Clearfil AP-X ES2 ($p > 0.05$). The maximal surface microhardness value was found in Clearfil AP-X, comprising of glass-based inorganic fillers. While the organic-filler based composites (i.e. Fantasista V and Clearfil AP-X ES2), had the lowest surface microhardness. However, they showed the better filler retention compared to the inorganic filler groups. In conclusion, organic fillers lessen the microhardness value but minimize filler dislodgement compared with inorganic fillers.

Keywords: Surface microhardness/ Resin composite/ Organic filler/ Inorganic filler

Corresponding Author

Morakot Piemjai

Department of Prosthodontics,

Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University.

Pathumwan, Bangkok, 10330.

Tel. : +66 2 218 8532-34

* Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University.

** Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University.