

การศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมที่ไม่เสริม และเสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินาปริมาณต่างกัน

The Study of Tensile Bond Strength between Non-Reinforced and Reinforced Alumina Filler with Different Amount in Denture Base

วิทวัส พลดี¹, พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์², แมนสรวง อักษรนุกิจ³

¹โรงพยาบาลนครพิงค์ จ.เชียงใหม่

²คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wittawatt Pholdee¹, Pisaisit Chaijareenont², Mansuang Arksornnukit³

¹Nakornping Hospital, Chiang Mai

²Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

³Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

ชม. ทันตสาร 2558; 36(2) : 99-110

CM Dent J 2015; 36(2) : 99-110

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ ศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินที่ไม่เสริมและเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกที่แตกต่างกัน

วัสดุและวิธีการ วัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวและปรับสภาพพื้นผิวผสมกับผงอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก กลุ่มควบคุมใช้ผงอะคริลิกเรซินไม่ผสมวัสดุอัดแทรกอลูมินา วิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวเพื่อตรวจสอบธาตุซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอัดแทรกอลูมินา นำอะคริลิกเรซิน ทั้ง 9 กลุ่มอัดติดกับชิ้นตัวอย่างอะคริลิกเรซินที่เตรียมไว้ ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ กลุ่มละ 10 ชิ้น ทดสอบความแข็งแรงยึดติดโดยเครื่องทดสอบ

Abstract

Objectives: The purpose of this study was to study of tensile bond strength between non-reinforced and reinforced alumina filler with different amount in acrylic denture base

Methods: The 3, 5, 10 and 15 wt% of non-silanized and silanized alumina filler were mixed with heat-polymerized PMMA. PMMA without reinforced alumina was served as control. The EDS analysis was used to detect silicon (Si) on the surface of alumina filler. All of 9 groups were packed with acrylic denture base and prepared in dumbbell-shaped specimens (n=10). The tensile bond strength test was performed using a universal

Corresponding Author:

พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์

อาจารย์, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Pisaisit Chaijareenont

PhD, Lecturer, Department of Prosthodontic,

Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,

Chiang Mai 50200, Thailand.

E-mail: yodent@hotmail.com

สากล นำค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดมาวิเคราะห์ ทางสถิติ ชนิดความแปรปรวนแบบสองทางและทดสอบเชิงซ้อนด้วย วิธีดีันแคน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษา ผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุ ซิลิกอน พบธาตุซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ ปรับสภาพพื้นผิว ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดสูงที่สุดใน กลุ่มเสริมวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วน วัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรง ยึดติดในกลุ่มเสริม วัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วนวัสดุอุด แทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าสูงกว่า กลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ลักษณะการแตกหักส่วนใหญ่เป็นการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซิน วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่ พบช่องว่างโดยรอบวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้น ผิวกับเรซินเมทริกซ์

สรุปผลการศึกษา กลุ่มเสริมวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ ปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดสูง กว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: อลูมินา ฐานฟันเทียม สารคู่ควบไซเลน ความ แข็งแรงยึดติด

testing machine. The mean tensile bond strength was determined and analyzed by 2 way-ANOVA and Duncan's test. ($p < 0.05$)

Results: The EDS analysis showed the deposition of silicon element on the surface of alumina filler. The 3 wt% of silanized alumina filler group showed the highest mean tensile bond strengths. From statistical analysis, the mean tensile bond strengths of 3, 5 and 10 wt% groups were significantly higher than those of the other groups ($p < 0.05$). The fracture mode of specimens was almost adhesive failure. From SEM analysis, gaps between silanized alumina fillers and resin matrix were not observed.

Conclusions: The mean tensile bond strengths of 3, 5 and 10 wt% groups were significantly higher than those of the other groups ($p < 0.05$).

Keywords: Alumina, Denture Base, Silane Coupling Agent, Tensile Bond Strength

บทนำ

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate; PMMA) หรือ อะคริลิกเรซิน เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำฐาน ฟันเทียม เนื่องจากขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก ราคาถูกและ ซ่อมแซมง่าย⁽¹⁾ แต่พบว่าฐานฟันเทียมชนิดนี้มีการแตกหักมาก ถึงร้อยละ 63 ภายในระยะเวลา 3 ปี⁽²⁾ จากการสำรวจโดยใช้ แบบสอบถาม พบว่าร้อยละ 29 ของฟันเทียมที่ส่งมาซ่อมใน ห้องปฏิบัติการทันตกรรมเกิดจากการแตกหักบริเวณกึ่งกลาง ฐานฟันเทียมซึ่งพบบ่อยในฟันเทียมทั้งปากฟันบนร้อยละ 62 และเป็นการแตกหักแบบอื่นๆ ร้อยละ 38⁽³⁾ มีการศึกษาหา วิธีปรับปรุงสมบัติในการต้านการแตกหักของฐานฟันเทียม อะคริลิกเรซิน เช่น การใช้วัสดุอื่นมาทดแทน การปรับปรุง

สมบัติทางเคมี และการเสริมด้วยวัสดุต่างๆ เช่น การเสริม เส้นใยแก้ว (glass fiber) โลหะ (metal) และวัสดุอุดแทรก (fillers) เป็นต้น การใช้เส้นใยแก้วเสริมฐานฟันเทียมช่วยเพิ่ม โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) เพิ่มความทน การกระแทก (impact strength) โดยไม่เปลี่ยนสีของฐาน ฟันเทียม อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณของ เส้นใยแก้วที่นำมาเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินในปริมาณ ที่น้อยเกินไปจะไม่เพิ่มความแข็งแรงของฐานฟันเทียม และ ในปริมาณที่มากเกินไปจะลดความแข็งแรงของฐานฟันเทียม อะคริลิกเรซินได้⁽⁴⁾ การใส่โลหะแบบเส้นลวดหรือแบบแผ่น เสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซิน พบว่าการวางโลหะเสริมใน แนวตั้งฉากกับแรงที่มากระทำจะทำให้ความแข็งแรงดัดขวาง

(flexural strength) ของอะคริลิกเรซินมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่มีข้อด้อยคือ ไม่สวยงามและขาดการยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีระหว่างโลหะกับอะคริลิกเรซิน การศึกษาที่เสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา (alumina fillers) สามารถเพิ่มความแข็งแรงมากขึ้นและมีการถ่ายเทอุณหภูมิได้ดี^(5,6) การศึกษาของ Ahmed และ Zainal⁽⁷⁾ พบว่าการใช้วัสดุอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้สมบัติความแข็งแรงยึดติด (tensile bond strength) ของอะคริลิกเรซินมีค่าลดลง การศึกษาของ Yadav และคณะ⁽⁸⁾ พบว่า ความแข็งแรงยึดติดของอะคริลิกเรซินมีค่าลดลงเมื่อใช้วัสดุอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในหลายการศึกษาพบว่าอะคริลิกเรซินที่เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงตัดขวางและความแข็งแรงยึดติดลดลง เนื่องจากไม่เกิดการยึดติดระหว่างอะคริลิกเรซินกับวัสดุอัดแทรกอลูมินา⁽⁹⁾

สารคู่ควบไซเลน เป็นสารสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์อยู่รวมกัน นำมาใช้ช่วยส่งเสริมการยึดติดระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน สารคู่ควบไซเลนมีหลายชนิด ในทางทันตกรรมนิยมใช้ชนิดไตรเมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมธอกซีไซเลน (tri-methacryloxypropyl trimethoxysilane) หรือ เอ็มพีเอส (MPS)^(10,11) ในการศึกษาของ Chaijaree-nont และคณะ⁽⁵⁾ พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความแข็งแรงตัดขวาง และความต้านทานการสึก (wear resistance) ของฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ทำให้ฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินมีสมบัติด้านต่าง ๆ ดีขึ้น^(8,12) อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสกับวัสดุอัดแทรกอลูมินาในการเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินต่อความแข็งแรงยึดติดยังมีน้อย และยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินที่แตกหักด้วยอะคริลิกเรซินที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา จากที่กล่าวมาการศึกษาในครั้งนี้ศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่เสริมและเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน โดยมีสมมติฐานหลักคือ

ไม่มีความแตกต่างกันของความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่เสริมและเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชื่อการค้า บริษัทผู้ผลิต และหมายเลขกำกับสินค้าของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Product name, manufacturer of testing materials.

Product Name/ Code (Manufacturer)	Material	Lot No.
SR Triplex® Hot (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	Heat-polymerized PMMA	R35540
Silane A174 (Sigma-Aldrich Pte Ltd, Singapore)	MPS	SLB0787V
AH35-125 (Nippon Steel & Sumikin Materials Co.,Ltd. Micron company, Japan)	Aluminium Oxide	
AR1203B (RCI Labscan Limited, Thailand)	Tetrahydrofuran	13 12 0184
GN1056 (RCI Labscan Limited, Thailand)	Deionized Water	13 09 0174
AR1002 (RCI Labscan Limited, Thailand)	Acetic acid gracial	13 11 0236
AR 1069 (RCI Labscan Limited, Thailand)	Ethanol 99.8%	13 14 2678

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

เตรียมแม่แบบแผ่นพลาสติกใสรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาว 40 มิลลิเมตร ความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ลงในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลือง (Hanau flask) ด้วยพลาสติกเรซินเมื่อพลาสติกเรซินเย็นและแข็งตัวเต็มที่ แกะแม่แบบออกจากพลาสติกเรซินในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลือง แทนที่ช่องว่างในแม่แบบพลาสติกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ใช้ส่วนผงผสมกับส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนตามอัตราส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (ส่วนผง 23.4 กรัม ต่อ ส่วนเหลว 10 มิลลิตร) นำไปบ่มในน้ำอุ่น 73.9 องศา

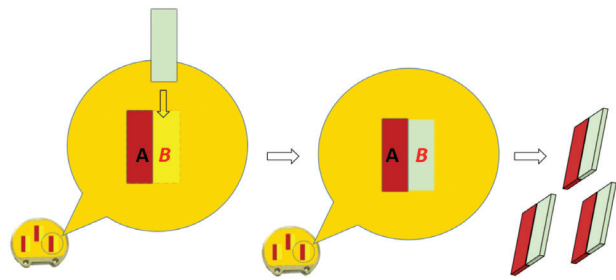
เซลเซียส 90 นาที แล้วเร่งให้น้ำเดือดอีก 30 นาที แกะชิ้นตัวอย่างออกจากพลาสติกหุ้มในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลือง นำไปตัดส่วนเกินด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ ชัดผิวให้เรียบและได้ระนาบบนกระฉากด้วยกระดาษทรายน้ำ เบอร์ 600 1,000 และ 1,200 (TOA water proof, TOA industry, Bangkok, Thailand) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิปเปอร์ แบบดิจิทัล (Coral® Digital caliper, Japan) ให้ได้รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาว 40 มิลลิเมตร ความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 45 ชิ้น ตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นตัวอย่างไม่ให้มีฟองอากาศ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ได้ลงในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลืองอีกชุด เพื่อให้เป็นแม่แบบสำหรับขั้นตอนต่อไป นำชิ้นตัวอย่างออกจากพลาสติกหุ้มในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลืองอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดการบิ่นแตกเสียหายของพลาสติกหุ้มและชิ้นตัวอย่าง จากนั้นตัดชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นออกเป็น 2 ส่วนตามแนวยาว จะได้ชิ้นงานขนาดความยาว 40 มิลลิเมตร ความกว้าง 12.5 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตรจำนวน 90 ชิ้น ชัดแต่งบริเวณพื้นผิวรอยตัดด้วยเครื่องขัดวัสดุ (MoPao 160E, Laizhouhuayin Testing instrument Co.,Ltd., Shandong, China.) ที่มีน้ำหล่อตลอดเวลาขณะขัดร่วมกับกระดาษทรายน้ำ เบอร์ 600 1,000 และ 1,200 เป็นเวลา 10 20 และ 20 วินาที ตามลำดับ นำชิ้นตัวอย่าง 1 ส่วนกลับไปใส่พลาสติกหุ้มในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลืองเตรียมไว้เป็นแม่แบบซึ่งจะเหลือช่องว่างสำหรับอัดอะคริลิกเรซินในขั้นตอนต่อไป แสดงดังรูปที่ 1

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

สุ่มแบ่งชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในพลาสติกหุ้มในภาชนะหล่อแบบฟันเทียมทองเหลืองเป็น 9 กลุ่ม เตรียมผงอะคริลิกเรซินตามกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ อะคริลิกเรซินที่ไม่ผสมวัสดุอุดแทรกอลูมินา เป็นกลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 คือ อะคริลิกเรซินผสมรวมกับวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

A: ฐานฟันเทียมที่ไม่เสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินา

B: ช่องว่างของแต่ละแม่แบบสำหรับอัดอะคริลิกเรซินของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

Figure 1 Prepared specimen for tensile bond strength testing

A: Non reinforced denture base

B: Available space for packing heat-polymerized acrylic resin of each group

กลุ่มที่ 6 7 8 และ 9 คือ คือ อะคริลิกเรซินผสมรวมกับวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุอุดแทรกอลูมินา (Silanization of alumina particle)⁽¹³⁾

ปรับสภาพพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินาชนิดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-23 ไมครอน มีพื้นที่ผิว 0.36 ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม โดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส ในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักเนื่องจากเป็นปริมาณที่สารคู่ควบเกิดปฏิกิริยาร่างชั้นเคลือบหนึ่งชั้น (monolayer) ขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุอุดแทรกอลูมินา ซึ่งเกิดขึ้นตามสูตรการคำนวณชั้นเคลือบหนึ่งชั้นของอาร์เคล (Arkle's equation)⁽¹⁴⁾ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณของสารคู่ควบ (กรัม)} = \frac{[\text{ปริมาณวัสดุอุดแทรก (กรัม)} \times \text{พื้นที่พื้นผิววัสดุอุดแทรก (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม)]}{\text{ค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสารคู่ควบ (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม)}}$$

เมื่อค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสารคู่ควบ เอ็มพีเอส มีค่าเท่ากับ 314

เตรียมสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร (70% ethanol solution) โดยนำเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 99.8 โดยปริมาตรปริมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำปราศจากอไอออน (deionized water) ใส่ในขวด โพลีเอทิลีน (polyethylene) หยดสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) เพื่อปรับค่าความเป็นกรดและความเป็นด่าง โดยให้เท่ากับ 4.5 วัดโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่าง (pH-meter) นำสารคู่ควบเอ็มพีเอส 0.1 กรัม ผสมในสารละลายเอทานอลที่เตรียมไว้ ปั่นและเขย่าให้เข้ากันได้ สารละลายของสารคู่ควบเอ็มพีเอสในเอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ให้สารคู่ควบเอ็มพีเอสเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และเกิดโครงสร้างซิลานอล (silanol formation) นำสารละลายที่เตรียมไว้มาปรับสภาพพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินา โดยนำวัสดุอุดแทรกอลูมินา 100 กรัม ใส่ลงในสารละลายสารคู่ควบเอ็มพีเอส ปั่นและบดจนสารละลายระเหยหมด เก็บวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วในตู้ป้องกันกัมมันตภาพรังสีที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้แห้งอย่างสมบูรณ์ นำวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ได้ไปวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนบนพื้นผิว ส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวถูกใช้เป็นกลุ่มควบคุม

การวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอน (Silicon deposition analysis)

วิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน (energy dispersive spectrometer, EDS software) จากนั้นล้างวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ เอ็มพีเอสโดยใช้สารเตตระไฮโดรฟูราน (tetrahydrofuran) ในถ้วยโพลีเอทิลีน เพื่อล้างเอาสารคู่ควบในชั้นฟิสิซอร์บ (physisorbed) ออกให้เหลือแต่ในส่วนของชั้นเคมีซอร์บ (chemisorbed) นำสารเตตระไฮโดรฟูรานที่ล้างเสร็จมาตรวจสอบโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟ-

โตมิเตอร์ (spectrophotometer, Nicolet Evolution 500, Thermoelectron Corp., WI, USA) ล้างและตรวจสอบจนสารละลายที่ล้างแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสง (absorbance spectrum peak) ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟูรานที่ไม่มีสารอื่นปนเปื้อน นำวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้แห้งอย่างสมบูรณ์ จากนั้นแบ่งบางส่วนของวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวมาวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินา แสดงค่าเป็นปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุอลูมิเนียมและธาตุซิลิกอนในวัสดุอุดแทรกอลูมินาก่อนและหลังล้างด้วย สารเตตระไฮโดรฟูราน โดยกลุ่มวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวเป็นกลุ่มควบคุม

การเตรียมผงอะคริลิกเรซินผสมวัสดุอุดแทรกอลูมินา

นำวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวและปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส ปริมาณ ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักผสมรวมกับผงอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนในสัดส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ในถ้วยโพลีเอทิลีน นำไปปั่นให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นผสม (non bubbling kneader, NBK-1, Nippon Seiki, Tokyo, Japan)

การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

นำส่วนผงที่เตรียมไว้ในแต่ละกลุ่มผสมกับส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนอัดลงในช่องว่างของแม่แบบให้เชื่อมต่อกับชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในพลาสติกเรซินในภาชนะหล่อแบบพินเทียมทองเหลือง นำไปบ่มด้วยอุณหภูมิและเวลาตามที่กล่าวมา ได้ชิ้นตัวอย่างขนาด ความยาว 40 มิลลิเมตร ความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร นำชิ้นตัวอย่างที่ได้ไปตัดแต่งด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ให้ได้ขนาดดังภาพที่ประยุกต์ตามวิธีของ Vallittu⁽¹⁵⁾ แสดงดังรูปที่ 2 ชิ้น

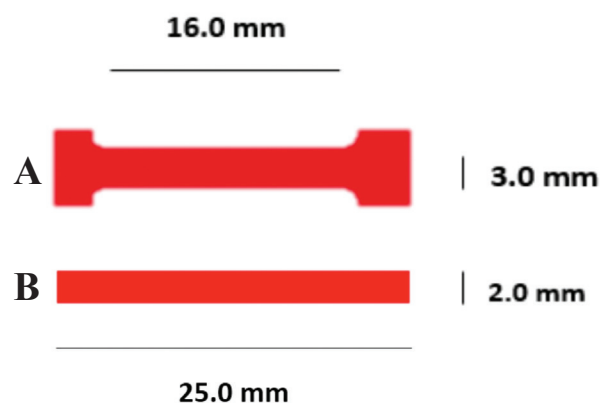
ขัดพื้นผิวให้เรียบและได้ระนาบบนกระจกด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ นำชิ้นตัวอย่างแช่น้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทดสอบความแข็งแรงยึดติด

การทดสอบความแข็งแรงยึดติด

นำชิ้นตัวอย่างใส่ในตัวจับยึด ทำการทดสอบความแข็งแรงยึดติดโดยใช้เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron, Model 5566, USA.) ปรับตำแหน่งให้ชิ้นตัวอย่างอยู่กึ่งกลางระหว่างส่วนตัวจับของเครื่องทดสอบสากลทั้งสองด้าน แสดงดังรูปที่ 3

ให้แรงดึงกระทำต่อชิ้นตัวอย่างด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที จำกัดขนาดแรงอยู่ในช่วง 0 ถึง 500 นิวตัน เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างหัก บันทึกค่าแรงที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างหลุดออกจากกันในหน่วยนิวตันวัดขนาดพื้นผิวบริเวณที่แตกหักด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล นำไปคำนวณพื้นที่เฉลี่ยบริเวณพื้นผิวรอยต่อที่หักจากสูตรความกว้างคูณความยาวของบริเวณที่หัก นำค่าที่ได้ของชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นมาคำนวณค่าความแข็งแรงยึดติด โดยใช้สูตร

$$\text{ความแข็งแรงยึดติด (เมกะปาสกาล)} = \frac{\text{แรงดึง (นิวตัน)}}{\text{พื้นที่เฉลี่ยบริเวณแตกหัก (ตารางมิลลิเมตร)}}$$



รูปที่ 2 แสดงขนาดชิ้นงานตัวอย่าง
 A: รูปร่างและขนาด (ความกว้างและยาว)
 B: ขนาด (ความหนา)

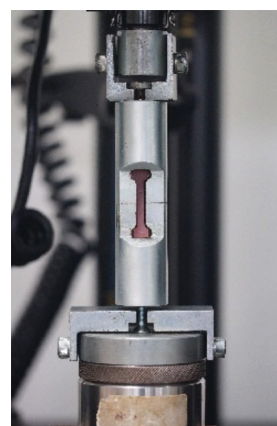
Figure 2 Diagram of the test specimen
 A: Shape and size (width and length)
 B: Size (thickness)

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดต้นแค่น (Duncan multiple comparison) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่าง

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงยึดติดทุกชิ้นมาตรวจสอบการแตกหักเพื่อจำแนกลักษณะของการแตกหัก (mode of fracture) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Meiji ML 9300, Meiji Techno Co, Ltd, Japan) ที่กำลังขยาย 35 เท่า แบ่งลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่างหลังทดสอบความแข็งแรงยึดติดเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. การแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา (cohesive failure in alumina reinforced PMMA; Co-RePMMA) เป็นการแตกหักเกิดขึ้นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา
2. การแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (cohesive failure in PMMA; Co-PMMA) เป็นการแตกหักเกิดขึ้นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน



รูปที่ 3 การนำชิ้นตัวอย่างใส่ในตัวจับยึดสำหรับทดสอบความแข็งแรงยึดติด

Figure 3 The test specimen was inserted in holding device prepared for tensile bond strength testing

3. การแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure; Ad) เป็นการแตกหักเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างอะคริลิกเรซินกับอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา

4. การแตกหักแบบผสม (mixed failure; MF) เป็นการแตกหักเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างอะคริลิกเรซินกับอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา และบริเวณภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน หรือภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา

การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงยึดติดในแต่ละกลุ่มทุกชิ้นมาตัดแต่งให้ได้ความสูง 2 มิลลิเมตร ยึดติดกับสตัป (stub) นำไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทอง (Fine coater, JEOL JFC 1200, Tokyo, Japan) 150 วินาที กระแสไฟฟ้า 15 มิลลิแอมแปร์ เพื่อศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิว ชิ้นงานภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL JSM-6610LV SEM, Tokyo, Japan) กำลังขยาย 350 เท่า และ 1,000 เท่า

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอน

จากการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอัดแทรกอลูมินาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน กลุ่มของวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส ในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ทั้งก่อนและหลังล้างด้วยสารเตตระไฮโดรฟิวรีนพบเฉพาะธาตุอลูมิเนียมเท่านั้น ส่วนกลุ่มวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส ในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก พบธาตุอลูมิเนียมและซิลิกอนกระจายอยู่บนพื้นผิวทั้งก่อนและหลังล้างด้วยสารเตตระไฮโดรฟิวรีน แสดงว่าสารคู่ควบเอ็มพีเอสสามารถเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิววัสดุอัดแทรกอลูมินาได้ ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุอลูมิเนียมและซิลิกอนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุอลูมิเนียมและธาตุซิลิกอนในวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวและปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (3 ชิ้นตัวอย่าง ต่อ กลุ่ม)

Table 2 Mean percentage of Al and Si composition in non-silanized and silanized alumina fillers (n=3).

Mass Percentage of elements composition (SD)				
Specimen	Al		Si	
	Non-THF washing	After THF washing	Non-THF washing	After THF washing
non-silanized alumina filler	100.0 (0.0)	100.0 (0.0)	--	--
silanized alumina filler	96.2 (0.6)	96.4 (0.5)	3.8 (0.6)	3.6 (0.5)

MPS = Methacryloxypropyltrimethoxysilane
THF = Tetrahydrofuran

ผลการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ไม่มีการกระทำร่วมกันระหว่างปริมาณวัสดุอัดแทรกอลูมินากับการปรับสภาพพื้นผิว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ด้วยสถิติชนิดความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดต้นแค่น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดทุกกลุ่มอยู่ในช่วง 20.42-28.99 เมกกะปาสคาล ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มอะคริลิกเรซินที่เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิว ในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก (28.99±4.24, 28.32±3.55 และ 26.90±2.96 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ) สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลการศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่าง

เมื่อศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่างทั้งหมด 90 ชิ้น พบมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (Co-PMMA) จำนวน 57 ชิ้น เป็นการ

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ทางสถิติชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง

Table 3 The mean tensile bond strength was determined and analyzed by 2 way-ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:tensile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	558.379a	7	79.768	7.404	.000
Intercept	49162.433	1	49162.433	4563.170	.000
percent_alumina	174.840	3	58.280	5.409	.002
treated_surface	330.942	1	330.942	30.717	.000
percent_alumina * treated_surface	52.596	3	17.532	1.627	.191
Error	775.710	72	10.774		
Total	50496.521	80			
Corrected Total	1334.088	79			

a. R Squared = .419 (Adjusted R Squared = .362)
(Two-way ANOVA)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดในทุกกลุ่มทดลอง และแสดงจำนวนลักษณะการแตกหักหลังทดสอบความแข็งแรงยึดติด

Table 4 Tensile bond strength of all test groups and shows number of failure mode after tensile testing

Group	Condition	Tensile bond strength	Mode of fracture			
		± SD (MPa)	Co-RePMMA ¹	Co-PMMA ²	Ad ³	MF ⁴
1	no filler (control)	20.42±2.99 ^b		5	5	
2	3% Al without silane treatment	23.46±2.38 ^b		8	2	
3	5% Al without silane treatment	23.13±3.92 ^b		7	3	
4	10% Al without silane treatment	22.76±2.50 ^b	1	5	4	
5	15% Al without silane treatment	21.68±2.32 ^b	2	6	2	
6	3% Al with silane treatment	28.99±4.24 ^a		8	2	
7	5% Al with silane treatment	28.32±3.55 ^a		8	2	
8	10% Al with silane treatment	26.90±2.96 ^a	1	7	2	
9	15% Al with silane treatment	23.08±3.75 ^b		3	7	

¹Co-RePMMA (cohesive failure in alumina reinforced PMMA): การแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา

²Co-PMMA (cohesive failure in PMMA): การแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

³Ad (adhesive failure): การแตกหักแบบยึดติด

⁴MF (mixed failure): การแตกหักแบบผสม

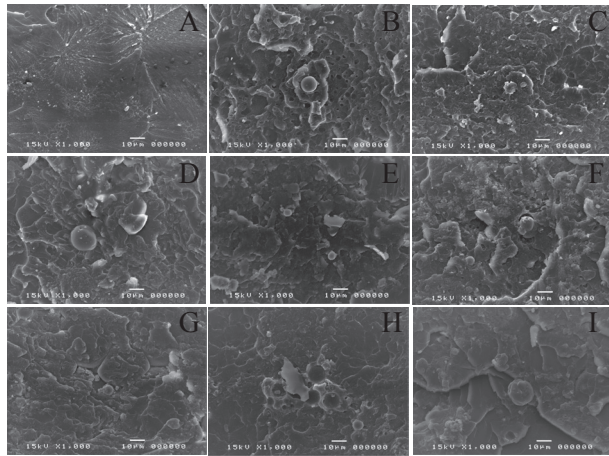
ในกลุ่มที่มีอักษรยกเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

Values with the same letter of superscript were not significantly different at p>0.05

แตกหักแบบยึดติด (Ad) จำนวน 29 ชิ้น และเป็นการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินา (Co-RePMMA) จำนวน 4 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

กลุ่มอะคริลิกเรซินซึ่งผสมกับวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว พบช่องว่างโดยรอบวัสดุอัดแทรกอลูมินา แต่กลุ่มอะคริลิกเรซินที่ปรับสภาพพื้นผิวไม่พบช่องว่างโดยรอบวัสดุอัดแทรกอลูมินา พบการยึดติดของวัสดุอัดแทรกอลูมินากับเรซินเมทริกซ์ได้ดี จึงมองเห็นวัสดุอัดแทรกอลูมินา



- A = demonstrated no filler (control)
- B = was 3% Al without silane treatment
- C = was 3% Al with silane treatment
- D = was 5% Al without silane treatment
- E = was 5% Al with silane treatment
- F = was 10% Al without silane treatment
- G = was 10% Al with silane treatment
- H = was 15% Al without silane treatment
- I = was 15% Al with silane treatment Reinforced PMMA.

รูปที่ 4 ภาพแสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดติด

Figure 4 SEM images of the the test specimen surfaces after the tensile bond strength test.

ถูกปกคลุมโดยรอบ มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 4

บทวิจารณ์

การศึกษานี้ศึกษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่เสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินากับแบบที่เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวและปรับสภาพพื้นผิวในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน ความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มอะคริลิกเรซินซึ่งผสมวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิว ในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้ค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 ในกลุ่มอะคริลิกเรซินเสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว มีความแข็งแรงยึดติดต่ำกว่า เนื่องจากไม่มีการเชื่อมยึดระหว่างอะคริลิกเรซินกับวัสดุอัดแทรกอลูมินา^(8,9,10,11,12) ดังนั้นควรปรับสภาพพื้นผิววัสดุอัดแทรกอลูมินาด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสก่อนนำไปเสริมในอะคริลิกเรซิน ในการทำหน้าที่ส่งเสริมการยึดติดของสารคู่ควบเอ็มพีเอสนั้น สารคู่ควบเอ็มพีเอสจะถูกสลายโดยน้ำ โดยมีสารละลายกรดเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การใช้สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารคู่ควบเอ็มพีเอส เพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างอะคริลิกเรซินกับวัสดุอัดแทรกอลูมินาสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽¹⁶⁾ สารคู่ควบเอ็มพีเอส เป็นสารคู่ควบไฮเลนที่นิยมในทางทันตกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติของค่าดัชนีการละลาย (solubility parameter) ใกล้เคียงกับเรซินเมทริกซ์ของอะคริลิกเรซิน สามารถละลายซึ่งกันและกันได้ ทำให้สารคู่ควบเอ็มพีเอสเชื่อมต่อกับอะคริลิกเรซินได้ดี บนพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกอลูมินา สารคู่ควบเอ็มพีเอสถูกดูดซับลงบนพื้นผิวและเกิดชั้นของสารคู่ควบเอ็มพีเอสแบบสองชั้น ชั้นที่ติดกับพื้นผิววัสดุอัดแทรก เรียกว่า ส่วนเคมีซอพ มีการเชื่อมยึดกันอย่างแข็งแรงด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ส่วนชั้นนอก เรียกว่า ส่วนฟิสิซอพ มีการเชื่อมยึดกันไม่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งสามารถล้างออกได้ง่ายโดยตัว

ทำละลายทางเคมี⁽¹⁶⁾ การทดลองนี้ล้างด้วยสารละลายไฮโดรฟลูออริกให้เหลือแต่ชั้นเคมีซอพ

วิธีการปรับสภาพพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินาในการศึกษานี้อ้างอิงมาจากการศึกษาที่ผ่านมา^(5,16,17) ที่พบว่าการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส ในปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก สามารถเกิดการเคลือบหนึ่งชั้นบนพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินา ส่งผลให้การยึดระหว่างวัสดุอุดแทรกกับเรซิน-เมทริกซ์ที่ดี⁽¹⁸⁾ และเพิ่มสมบัติทางกลของเรซินเมทริกซ์คำนวณจากสูตรของอาร์เคล และใช้สารละลายไฮโดรฟลูออริกล้างเอาสารคู่ควบในชั้นฟิลิซอพออก ให้เหลือแต่ในส่วนของชั้นเคมีซอพ ตรวจสอบสารละลายไฮโดรฟลูออริกที่ล้างจนกระทั่งแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายไฮโดรฟลูออริกที่ไม่มีสารอื่นเจือปน จากผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนที่มีค่าใกล้เคียงกันทั้งก่อนล้างและหลังล้างวัสดุอุดแทรกอลูมินาด้วยสารละลายไฮโดรฟลูออริก ยืนยันได้ว่า มีการคงอยู่ของซิลิกอนบนพื้นผิววัสดุอุดแทรกอลูมินา

การศึกษาที่ผ่านมา^(4,13) พบว่าฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินเมื่อเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสมีการเชื่อมกับซี่ฟันเทียมได้ดี มีความต้านทานต่อการสึกและความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น จึงสามารถนำผลดังกล่าวไปพิจารณาใช้อะคริลิกเรซินเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาในการซ่อมแซมฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินที่เกิดการแตกหัก แทนที่การซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินแบบปกติ เนื่องจากเมื่อมีการซ่อมแซมฐานฟันเทียมกำลังในการยึดเหนี่ยว (bond strength) ระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมควรจะมากเท่ากับฐานฟันเทียมอะคริลิกเดิม เพราะการซ่อมแซมฟันเทียมให้ประสบความสำเร็จนั้นขึ้นกับการยึดติดระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมและฐานฟันเทียม⁽¹⁹⁾

จากการศึกษาลักษณะการแตกหักของซี่ตัวอย่าง พบว่าลักษณะการแตกหักส่วนใหญ่เป็นการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (Co-PMMA) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาที่พบการแตกหักแบบยึดติดมากที่สุด⁽¹³⁾ แต่พบแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักแบบยึดติดมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณวัสดุอุดแทรกอลูมินาเพิ่มขึ้น คาดคะเนได้ว่าในกลุ่มที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกอลูมินาน้อย วัสดุ

อุดแทรกจะกระจายตัวอย่างเหมาะสมภายในเรซินเมทริกซ์ ทำให้อะคริลิกเรซินที่เสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินามีความแข็งแรงมากขึ้น มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (plastic deformation) มากขึ้น⁽²⁰⁾ จึงพบการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาได้น้อย นอกจากนี้วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่างในการศึกษาได้อัดอะคริลิกเรซินที่เสริมวัสดุอุดแทรกอลูมินาตามข้อกำหนดของแต่ละกลุ่มในระยะอ่อนนุ่มให้เชื่อมต่อกับอะคริลิกเรซินที่ไม่เสริมวัสดุอุดแทรกอลูมินา อาจมีมอนอเมอร์ส่วนเกินไปละลายพื้นผิวของอะคริลิกเรซินที่ไม่เสริมวัสดุอุดแทรก เกิดเป็นการยึดติดเชิงกลขึ้น (mechanical bond)⁽²¹⁾ แรงที่เกิดจากการยึดติดเชิงกลนี้ ร่วมกับผลจากปริมาณวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่เหมาะสมที่อยู่บริเวณผิวรอยต่ออาจมากกว่าแรงที่เกิดจากการเชื่อมยึดระหว่างอะคริลิกเรซินด้วยตัวเอง จึงส่งผลให้พบรูปแบบการแตกหักแบบยึดติดได้น้อยเช่นกัน ในกลุ่มเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสช่วยให้มีการเชื่อมยึดที่ติระหว่างวัสดุอุดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ จึงพบการแตกหักแบบการแตกหักแบบเชื่อมแน่นภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาเพียง 1 ชั้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุอุดแทรกอลูมินามากขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิว ในสัดส่วนวัสดุอุดแทรกอลูมินาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อะคริลิกเรซินที่เสริมด้วยวัสดุอุดแทรกดังกล่าวมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากมีการปรับสภาพพื้นผิววัสดุอุดแทรก แต่วัสดุอุดแทรกปริมาณที่มากขึ้นนี้อาจขัดขวางการเชื่อมยึดระหว่างอะคริลิกเรซินบริเวณรอยต่อของซี่ตัวอย่าง ส่งผลให้พบการแตกหัก แบบยึดติดได้มาก อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนสามารถอธิบายลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้นได้ควรจะศึกษาลักษณะพื้นผิวบริเวณที่แตกหักควบคู่ไปด้วย

จากผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าอะคริลิกเรซินที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอุดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิว วัสดุอุดแทรกอลูมินาถูกปกคลุมด้วยเรซินเมทริกซ์โดยรอบ และไม่พบช่องว่างระหว่างวัสดุอุดแทรกอลูมินากับเรซินเมทริกซ์ แสดงถึงการยึดติดกันระหว่างวัสดุอุดแทรกอลูมินากับเรซินเป็น

อย่างดี

การวิจัยนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการศึกษาทางห้องปฏิบัติการมุ่งเน้นศึกษาถึงผลต่อความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกชนิดป่นตัวด้วยความร้อนที่ไม่เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินากับแบบที่ได้รับการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกอลูมินาในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน ไม่ได้จำลองสภาพฟันเทียมภายหลังผ่านการใช้งานในช่องปาก ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจพิจารณาออกแบบวิธีการทดลองให้คล้ายคลึงกับการใช้งานในช่องปากมากยิ่งขึ้น ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยทางคลินิกต่อไป

บทสรุป

1. ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มเสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิว ในสัดส่วนวัสดุอัดแทรกอลูมินา ร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงยึดติดสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอน พบการคงอยู่ของธาตุซิลิกอนกระจายอยู่บนพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกอลูมินาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนส่งเสริมการวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยทางทันตแพทยศาสตร์และศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระรุจิ ผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิเคราะห์สถิติ

เอกสารอ้างอิง

1. Pires-de-Souza FdCP, Panzeri H, Vieira MA, Garcia LdFR, Consani S. Impact and fracture resistance of an experimental acrylic polymer with elastomer in different proportions. *Mat Res* 2009; 12: 415-418.
2. Jagger DC, Harrison A, Jandt KD. The reinforcement of dentures. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 185-194.

3. Darbar UR, Huggett R, Harrison A. Denture fracture-a survey. *Br Dent J* 1994; 176: 342-345.
4. Stipho HD. Effect of glass fiber reinforcement on some mechanical properties of autopolymerizing polymethyl methacrylate. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 580-584.
5. Chaijareenont P, Takahashi H, Nishiyama N, Arksornnukit M. Effects of silane coupling agents and solutions of different polarity on PMMA bonding to alumina. *Dent Mater J* 2012; 31: 610-616.
6. Ellakwa AE, Morsy MA, El-Sheikh AM. Effect of aluminum oxide addition on the flexural strength and thermal diffusivity of heat-polymerized acrylic resin. *J Prosthodont* 2008; 17: 439-444.
7. Ahmed OA, Zainal AA. Effect of Al₂O₃/ZrO₂ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. *J Reinforc Plast Compos* 2010; 30: 86-93.
8. Yadav P, Mittal R, Sood VK, Garg R. Effect of incorporation of silane-treated silver and aluminum microparticles on strength and thermal conductivity of PMMA. *J Prosthodont* 2012; 21: 546-551.
9. Ash BJ, Siegel RW, Schadler LS. Mechanical behavior of alumina/poly (methylmethacrylate) nanocomposites. *Macromolecules* 2004; 37: 1358-1369.
10. Abboud M, Vol S, Duguet E, Fontanille M. PMMA-based composite materials with reactive ceramic fillers Part III: Radiopacifying particle-reinforced bone cements. *J Mater Sci Mater Med* 2000; 11: 295-300.
11. Vallittu PK. Comparison of two different silane compounds used for improving adhesion between fibres and acrylic denture base material. *J Oral Rehabil* 1993; 20: 533-539.

12. Kim HJ, Jung DH, Jung IH, Cifuentes JI, Rhee KY, Hui D. Enhancement of mechanical properties of aluminium/epoxy composites with silane functionalization of aluminium powder. *Compos B Eng* 2012; 43: 1743-1748.
13. Nincharoen S, Prayadsab P, Arksornnukit M, Chaijareenont P. Effect of different alumina filler amounts reinforced into acrylic denture base on tensile bond strength between denture teeth and denture base. *CM Dent J* 2013; 34: 71-80. (in thai)
14. Arkles B. Silane coupling agent chemistry. Petrarch Systems Catalogue. *Pennsylvania* 1987. p. 59.
15. Vallittu PK. Some aspects of the tensile strength of unidirectional glass fibre-polymethyl methacrylate composite used in dentures. *J Oral Rehabil* 1998; 25: 100-105.
16. Chaijareenont P, Takahashi H, Nishiyama N, Arksornnukit M. Effect of different amounts of 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane on the flexural properties and wear resistance of alumina reinforced PMMA. *Dent Mater J* 2012; 31: 623-628.
17. Arksornnukit M, Takahashi H, Nishiyama N. Effects of silane coupling agent amount on mechanical properties and hydrolytic durability of composite resin after hot water storage. *Dent Mater J* 2004; 23: 31-36.
18. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 155-164.
19. Seo RS, Neppelenbroek KH, Filho JN. Factors affecting the strength of denture repairs. *J Prosthodont* 2007; 16: 302-310.
20. Elshereksi N, Malaysia US. Effect of filler incorporation on the fracture toughness properties of denture base poly (methyl methacrylate). *J Phys Sci* 2009; 2: 1-12.
21. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transverse strength of repaired heat-polymerized resin. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 639-643.