

การศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างฐานฟันเทียม เมทาคริลัดัดแปลงกับซี่ฟันเทียมชนิดต่างๆ The Study of Tensile Bond Strength between Modified Methacrylate Denture Base and various Types of Denture Teeth

พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์¹, สิทธิเดช นิลเจริญ², พีรานุช ประหยัดทรัพย์³, รินเดช ขจรนิตกุล⁴, แมนสรวง อักษรนุกิต⁴

¹คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²โรงพยาบาลกลาง กรุงเทพมหานคร

³โรงพยาบาลกรุงเทพหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

⁴คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pisaisit Chaijareenont¹, Sittidej Nincharoen², Peeranuch Prayadsab³, Mansuang Arksornnukit⁴

¹Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

²BMA General Hospital, Bangkok

³Bangkok-HuaHin Hospital, Prajuabkirikhan

⁴Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

ชม. ทันตสาร 2558; 36(2) : 111-120

CM Dent J 2015; 36(2) : 111-120

บทคัดย่อ

ศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมชนิดต่างๆ กับฐานฟันเทียมที่มีผลของปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน การศึกษานี้ใช้สารอัดแทรกอลูมินาทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-23 ไมครอนถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอส ปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักเตรียมขึ้นตัวอย่างโดยนำสารอัดแทรกอลูมินาผสมรวมกับผงอะคริลิก ในสัดส่วนอลูมินาร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก โดยอะคริลิกไม่ผสมอลูมินาเป็นกลุ่มควบคุม นำทั้ง 3 กลุ่ม อัดติดกับซี่ฟันเทียม 3 ชนิด (เมเจอร์เด็นส์ ไอพีเอ็น และออโทลิต) แล้วบ่มด้วยความร้อน ตัดชิ้นงานเป็นรูปมินิ-ดัมเบลล์ (กลุ่มละ 10 ชิ้น) แขนี้น้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศา

Abstract

Objectives: The purpose of this study was to investigate the effect of amounts of alumina filler reinforced into methacrylate denture base on tensile bond strength between various types of denture teeth and denture base.

Methods: Alumina filler, spherical-shaped with 18-23 μm in diameter (surface area of 0.36 m^2/g), was silanized with 0.1 wt% of *gamma*-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS). The 5 and 10 wt% of silanized alumina filler were mixed with heat-polymerized polymethylmethac-

Corresponding Author:

พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์

อาจารย์, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Pisaisit Chaijareenont

PhD, Lecturer, Department of Prosthodontic,

Faculty of Dentistry, Chaing Mai University,

Chiang Mai 50200, Thailand.

E-mail: yodent@hotmail.com

เซลล์เซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบความแข็งแรงยึดติด โดยเครื่องทดสอบสากลความเร็วในการดึง 1 มิลลิเมตร ต่อนาที วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงยึดติดโดยใช้สถิติชนิด ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางและทดสอบเชิงซ้อน โดยวิธีทีก็ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาจากผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนพบธาตุซิลิกอนติดอยู่บน พื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินา ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบมีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณอลูมินากับชนิดของซี ฟันเทียม โดยความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มควบคุมและกลุ่ม ทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นกลุ่มออโทลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 มีค่าความแข็งแรงยึดติดน้อยสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์ในทุกกลุ่มทดลองพบลักษณะการแตกหัก เป็นชนิดยึดติด สรุปผลการศึกษาพบว่าการเสริมอลูมินา ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณน้อยกว่า ร้อยละ 10 ลงในฐานฟันเทียมไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง ยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมกับซีฟันเทียม ยกเว้นกลุ่มออโท- ลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 มีค่าความแข็งแรงยึดติดน้อยที่สุด

คำสำคัญ: อลูมินา ซีฟันเทียม ฐานฟันเทียม สารคู่ควบ ไซเลน ความแข็งแรงยึดติด

rylate (PMMA). Heat-polymerized PMMA without alumina reinforcement was served as control. Three types of artificial denture teeth [Major dent (MD), Excellence IPN (IPN) and Orthosit (OS)] were packed with heat-polymerized PMMA and prepared into mini dumbbell-shaped specimens (n=10). The specimens were immersed in distilled water at 37°C for 24 h prior to testing. The tensile bond strength test was performed using a universal testing machine (Instron 8872, Fareham, UK) with a 1 mm/min crosshead speed until fracture. The bond strength was determined and analyzed by Two-way ANOVA and Tukey HSD's test with a significance level of 0.05.

Results: The EDS analysis showed the deposition of silicon element on the surface of alumina filler. From statistical analysis, the interactions between the amounts of alumina filler reinforced into denture base and various types of denture teeth were significant. The tensile bond strengths of all groups except in 10 wt% of OS group were not significantly different, while, in 10 wt% of OS group was significantly smaller than the other groups. The failure mode of all of the specimens was adhesive failure.

Conclusions: Within the limitations of this study, it can be concluded that addition of silanized alumina filler reinforced into denture base less than 10 wt% do not affect tensile bond strength between denture base and denture teeth except in 10 wt% of OS group.

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

บทนำ

ฟันเทียมแบบถอดได้ มีส่วนประกอบหลักคือ ซี่ฟันเทียม (artificial tooth) และฐานฟันเทียม (denture base) โดยวัสดุที่นิยมใช้ทำฐานฟันเทียมได้แก่ เมทาคริลเลต หรืออะคริลิกเรซิน (acrylic resin)^(1,2) เนื่องจากมีความแข็งแรง มีเสถียรภาพของมิติ (dimensional stability) เพียงพอในการใช้งานในช่องปาก ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก มีความสวยงาม และซ่อมแซมได้ง่าย ส่วนซี่ฟันเทียม ควรมีความแข็งแรง ด้านทานการสึก (wear resistance) ให้มีความสวยงาม ไม่มีความเป็นพิษหรือการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อภายในช่องปาก ใช้งานง่าย และมีการยึดติดกับฐานฟันเทียมอย่างใดก็ตามยังพบปัญหาของฟันเทียมชนิดแบบถอดได้ เช่น การสึกของซี่ฟันเทียม การหลุดของซี่ฟันเทียมจากฐานฟันเทียม⁽³⁻⁵⁾ และการแตกหักของฐานฟันเทียม^(6,7) ปัจจุบันมีการผลิตซี่ฟันเทียมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและต้านทานต่อการสึกโดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นโครงสร้างตาข่าย (interpenetrating network) เสริมสารเชื่อมขวางกับพอลิเมทิล-เมทาคริลเลต (cross-linked acrylic with PMMA powders) หรือ เสริมสารเชื่อมขวางปริมาณสูงกับวัสดุอัดแทรกซิลิกา (highly cross-linked with colloidal silica) ลงในวัสดุซี่ฟันเทียม การทำฟันเทียมแบบถอดได้ในปัจจุบันจึงนิยมใช้ซี่ฟันเทียมที่มีสารเชื่อมขวางมากกว่าซี่ฟันเทียมที่ผลิตจากเมทิลเมทาคริลเลตชนิดเส้น (linear PMMA) มีผู้พยายามปรับปรุงวิธีการยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียมเช่น การกรอผิวด้านในตัวของซี่ฟันเทียมเพื่อเพิ่มความขรุขระและพื้นที่สัมผัสของพื้นผิว^(8,9) อย่างไรก็ตาม Spratley และ Gerrts^(10,11) พบว่าการเพิ่มผิวสัมผัสของพื้นผิวไม่ได้เพิ่มค่าการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใด นอกจากนี้มีผู้ศึกษาการใช้ซิลิโคนในการเพิ่มการยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมพอร์ซเลน (porcelain artificial denture teeth) กับฐานฟันเทียมเมทาคริลเลต⁽¹²⁾ และการใช้โมโนเมอร์ทาที่ฟันเทียมพบว่าการยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียมดีขึ้น เนื่องจากโมโนเมอร์มีปริมาณมากขึ้นสามารถละลายผิวด้านนอกของซี่ฟันเทียมและแทรกซึมเข้าไปด้านในได้มากขึ้นกว่าการอัดปกติซึ่งมีโมโนเมอร์เฉพาะในฐานฟันเทียมระยะอ่อนนุ่ม⁽¹²⁾ แต่บางการศึกษาสรุปว่า การทาโมโนเมอร์บนซี่ฟันเทียมไม่ช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียม^(10,13) นอกจากนี้มีการศึกษาโดยใช้เมทิลิน-

คลอไรด์ (methylene chloride) และ 4-เมทา [4-META (4-methacryloxyethyltrimellitate anhydride)] เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียม โดยอธิบายว่าสารละลายเหล่านี้จะช่วยให้โมโนเมอร์ซึมผ่านผิวฟันเทียมได้ดียิ่งขึ้น^(14,15) ส่วนการแตกหักของฐานฟันเทียมมีสาเหตุจากฐานฟันเทียมมีความหนาไม่เพียงพอที่จะต้านต่อแรงที่มากกระทำ หรือกรณีที่ส่วนฐานของฟันเทียมไม่แนบสนิทกับเนื้อเยื่อส่วนที่ต้องรองรับแรงบดเคี้ยวในช่องปากทำให้มีแรงบิดตึงออกมากระทำต่อฐานฟันเทียมหรือผู้ป่วยมีแรงบดเคี้ยวที่สูง นอนกัดฟันหรือมีพฤติกรรมการทานอาหารที่เหนียวและแข็งเป็นประจำ จึงมีผู้พยายามปรับปรุงสมบัติของวัสดุทำฐานฟันเทียมได้แก่การเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกเช่น เซอร์โคเนีย (zirconia)⁽¹⁶⁾ เส้นใยแก้ว (glass fiber)⁽¹⁷⁾ ซิลิกา (silica)⁽¹⁸⁾ และ อลูมินา (alumina)^(16,19)

การใช้อลูมินาเป็นวัสดุอัดแทรกเสริมลงในอะคริลิกเรซินทำให้วัสดุมีความแข็งแรงและนำความร้อนได้ดีขึ้น^(6,19) อย่างไรก็ตามในบางการศึกษาผลของการเสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินาในการเพิ่มคุณสมบัติทางกลยังไม่ชัดเจนโดยสารอัดแทรกอลูมินาที่เสริมไม่ได้เตรียมพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) จึงทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง เนื่องจากไม่มีการเชื่อมยึดติดระหว่างอลูมินากับเรซินเมทริกซ์ (resin matrix)⁽²⁰⁾ จึงมีการใช้สารคู่ควบไซเลนในการเชื่อมยึดระหว่างวัสดุสองชนิดที่แตกต่างกันโดยโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนจะมีซิลิกอน (silicon, Si) เป็นองค์ประกอบและเป็นส่วนเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์ (organic substrate) และ สารอนินทรีย์ (inorganic substrate) โดยมีสูตรเคมีคือ (RO)3SiCX-Y โดยที่ RO เป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยากับส่วนสารอนินทรีย์ในสารอัดแทรก Si คือซิลิกอน CX เป็นส่วนของโครงสร้างคาร์บอน (carbon) และ Y เป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยากับส่วนสารอินทรีย์ในเรซินเมทริกซ์

สารคู่ควบไซเลนที่ใช้อย่างแพร่หลายในทางทันตกรรมคือเมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (methacryloxypropyltrimethoxysilane) หรือ เอ็มพีเอส (MPS) เนื่องจากมีค่าดัชนีการละลาย (solubility parameter) ที่เหมาะสมกับเรซินเมทริกซ์โดยสารที่มีค่าดัชนีการละลายที่ใกล้เคียงกันจะละลายซึ่งกันและกันได้ดี ทำให้สารคู่ควบเอ็มพีเอสเชื่อมกับเรซินเมทริกซ์ได้ดี⁽²¹⁻²⁴⁾ สารคู่ควบไซเลนจะถูกดูดซับลงบนพื้นผิวของสารอัดแทรกเกิดขึ้นของสารคู่ควบไซเลนขึ้น

สองชั้น ชั้นนอกมีการเชื่อมไขว้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals force) ชั้นนี้ไม่แข็งแรงเรียกว่าส่วนฟิสิกซอร์บ (physisorbed) สามารถล้างออกได้โดยตัวทำละลายทางเคมี ส่วนชั้นในติดกับผิวสารอุดแทรกมีการเชื่อมยึดที่แข็งแรงมากด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) เรียกว่าส่วนเคมีซอร์บ (chemisorbed)⁽²³⁾ มีการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสกับวัสดุอุดแทรกซิลิกา (silica filler) เพื่อเพิ่มสมบัติทางกล (mechanical properties) ของวัสดุ^(18,21) และการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสกับอลูมินาซึ่งเสริมในฐานฟันเทียมสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดขวางและความต้านทานต่อการสึกได้⁽⁶⁾ แต่ยังไม่มีการศึกษาในแง่ของการยึดติดระหว่างซีฟันเทียมชนิดต่างๆ กับฐานฟันเทียมที่ถูกเสริมด้วยอลูมินา ดังนั้นการศึกษานี้ศึกษาความแข็งแรงยึดติดระหว่างซีฟันเทียมชนิดต่างๆ กับฐานฟันเทียมเมทาคริลิตที่มีสารอุดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน โดยสมมติฐานหลักคือไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงยึดติดระหว่างซีฟันเทียมชนิดต่างๆ กับฐานฟันเทียมเมทาคริลิตที่มีสารอุดแทรกอลูมินาที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยเอ็มพีเอสในสัดส่วนที่ต่างกัน

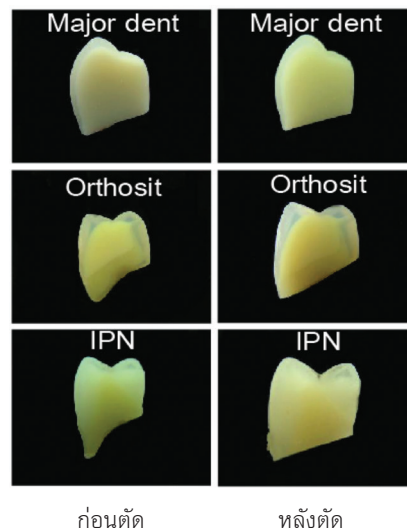
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้แสดงในตารางที่ 1

การเตรียมซีฟันเทียมสำหรับการทดสอบ

นำซีฟันเทียมสำเร็จรูปชนิดต่างๆ เลือกเฉพาะฟันกรามน้อยบน โดยในการศึกษานี้ใช้ซีฟันเทียม 3 ชนิด คือ ซี

ฟันเทียมแบบเมทิลเมทาคริลิตชนิดเส้นใยที่อิมเมอร์เดนท์ [Major dent, Major Prodotti Dentari, Italy (MD)] ซีฟันเทียมแบบโครงสร้างตาข่ายที่อ็อกเซลเลนซ์ ไอพีเอ็น [Excellence IPN, Dentsply, New York, U.S.A. (IPN)] และซีฟันเทียมแบบพอลิเมทิลเมทาคริลิตชนิดที่มีสารเชื่อมขวางปริมาณสูงและวัสดุอุดแทรกซิลิกายี่ห้อออร์ทอสิท [Orthosit, Ivoclar Vivadent AG., Schaan, Liechtenstein (OS)] เตรียมซีฟันเทียมโดยใช้หัวกรอคาร์ไบด์ (carbide bur) กรอแต่งเฉียงเป็นมุม 45 องศา ร่วมกับการใช้กระดาษทราย ขัดด้านประชิดสันเหงือกจนเป็นระนาบ ตรวจสอบบริเวณที่จะทำการทดสอบไม่ให้มีฟองและอยู่ในชั้นฐาน (base) ของซีฟันเทียมทุกซี่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภาพตัดตามยาวของซีฟันเทียมชนิดต่างๆ ก่อนตัดและซีฟันเทียมหลังตัดแต่งแล้ว

Figure 1 Demonstrated longitudinal section view of various types of artificial teeth before and after prepared specimens.

ตารางที่ 1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Materials used in the present study

| Brand name | Manufacturer | Content |
|---|---|---|
| Triplex hot | Ivoclar Vivadent AG, Schaan Liechtenstein | Powder: PMMA, catalyst, pigments Liquid: MMA, dimethacrylate |
| Alumina filler (AH 35-2) | MICRON Co.Ltd (Fuji-cho, Hirohata-ku, Himeji-shi, Hyogo-ken, Japan) | Al ₂ O ₃ (99.8%) |
| Gamma - methacryloxypropyl trimethoxysilane (MPS) | Shin-Etsu Chemical, Tokyo, Japan | Trichlorosilane Methanol Methyl methacrylate |
| Major dent | Major Prodotti Dentari, Italy | Linear PMMA |
| Excellence IPN | Dentsply, New York, U.S.A. | Cross-linked PMMA |
| Orthosit | Ivoclar Vivadent AG., Schaan, Liechtenstein | Highly cross-linked with colloidal silica |

ขัดแต่งผิวฟันเทียมบริเวณที่ทดสอบด้วยเครื่องขัดผิว วัสดุขัดอิมเพคชั่นดีพีเอส 3200 (Imptech, DPS 3200, USA.) ที่มีน้ำหล่อตลอดเวลา ร่วมกับกระดาษทรายน้ำเบอร์ 600 1000 และ 1200 เป็นเวลา 10 20 และ 20 วินาที ตามลำดับ

การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงยึดติด

นำซีฟันเทียมที่ขัดแล้วยึดกับซีฟุ้งทำฐานสีชมพู (pink base-plate wax) ขนาด กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร นำไปลงแบบหล่อด้วยปูนปลาสเตอร์ (plaster of Paris) เช่นเดียวกับการทำฟันเทียมปกติ รोजนปูนปลาสเตอร์แข็งตัวสมบูรณ์ นำภาชนะหล่อแบบฟัน (dental flask) แขนในน้ำร้อนประมาณ 5 นาที เพื่อกำจัดซีฟุ้งแยกส่วนบนและล่างของภาชนะหล่อแบบฟันออกจากกัน กำจัดซีฟุ้งที่เหลืออยู่โดยใช้น้ำร้อนจากเครื่องไล่ซีฟุ้ง ทำความสะอาดด้านประชิดสันเหงือกของซีฟันเทียมอีกครั้งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 วินาที วางไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำไปอัดอะคริลิกตามกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 2 โดยกลุ่มที่ใช้อะคริลิกซึ่งมีสารอัดแทรกอลูมินาที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินามีขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวดังนี้

ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกอลูมินา (silanization of alumina particle)

สารอัดแทรกอลูมินาทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-23 ไมครอน (AH35-2, MICRON, Himeji-shi, Hyogo-ken, Japan) มีพื้นที่ผิว 0.36 ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม ปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส (KBM 503, Shin-Etsu Chemical, Tokyo, Japan) โดยใช้ปริมาณสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอสร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นปริมาณที่สารคู่ควบเกิดปฏิกิริยาสร้างชั้นเคลือบหนึ่งชั้น (monolayer) บนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินาตามสูตรการคำนวณชั้นเคลือบหนึ่งชั้นของอาร์เคล (Arkle's equation)⁽¹⁷⁾ ดังสมการ

ปริมาณของสารคู่ควบ (กรัม) เท่ากับ

$$\frac{\text{ปริมาณสารอัดแทรก (กรัม)} \times \text{พื้นที่ผิวสารอัดแทรก (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม)}}{\text{ค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสารเชื่อมยึด (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม)}}$$

เมื่อค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสารคู่ควบเอ็มพีเอส มีค่าเท่ากับ 314⁽¹⁶⁾ เทสาละลายเอทานอล (ethanol solution, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) ความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาณ 100 มิลลิตร ลงในขวดพอลิเอทิลีน (polyethylene) หยดสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) เพื่อปรับค่าความเป็นกรดต่างให้เท่ากับ 4.5 วัดค่าโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH-meter) จากนั้นนำสารคู่ควบเอ็มพีเอส ปริมาณ 0.1 กรัม ผสมในสารละลายเอทานอลในขวดพอลิเอทิลีนและปิดฝาให้แน่น ทำการเขย่าด้วยมือเป็นเวลา 1 นาที ให้ละลายทั่วกันจนได้สารละลายของสารคู่ควบเอ็มพีเอสในเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ 30 นาทีให้สารคู่ควบเอ็มพีเอส เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และเกิดโครงสร้างซิลานอล (silanol formation) จากนั้นนำสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณ 100 กรัม ใส่ลงในสารละลายสารคู่ควบเอ็มพีเอส ทำการคนและบดด้วยมือจนสารละลายระเหยจนหมด เก็บสารอัดแทรกอลูมินาที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วในกระปุกพอลิเอทิลีนนำไปใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วันเพื่อให้แห้งอย่างสมบูรณ์ นำสารอัดแทรกอลูมินาที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วไปวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนบนพื้นผิว ส่วนสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวถูกใช้เพื่อเป็นกลุ่มควบคุม

วิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอน (Silicon deposition analysis)

ล้างสารอัดแทรกอลูมินาที่ปรับปรุงพื้นผิวเพื่อกำจัดสารคู่ควบชั้นฟิลิซอพออกให้เหลือแต่ในส่วนชั้นเคมีซอพโดยใช้สารเตตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) นำสารละลายเตตระไฮโดรฟูรานที่ได้จากการล้างชั้นฟิลิซอพในแต่ละครั้งมาตรวจสอบโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer, Nicolet Evolution 500, Thermoelectron, WI, USA) ตรวจสอบจนกระทั่งสารละลายแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสง (absorbance spectrum peak) ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร เท่านั้นซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟูรานที่ไม่มีสารอื่นปนเปื้อน นำสารอัดแทรกอลูมินาไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วันเพื่อให้แห้งอย่างสมบูรณ์ จากนั้นแบ่งสารอัดแทรกอลูมินามาวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตซิลิกอนบนพื้น

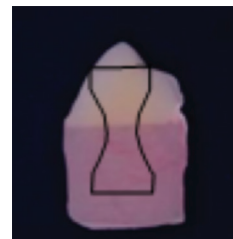
ผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) ร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน (energy dispersive spectrometer, EDS software) โดยมีกลุ่มสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวเป็นกลุ่มควบคุม

นำสารอัดแทรกอลูมินาที่ปรับปรุงพื้นผิวผสมร่วมกับผงอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (heat-polymerized PMMA, Triplex hot, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) โดยใช้ส่วนผสมตามที่บริษัทกำหนดผสมในถ้วยพอลิเอทิลีนในสัดส่วนอลูมินาร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (non bubbling kneader, NBK-1, Nippon Seiki, Tokyo, Japan) จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องบ่มอะคริลิก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง แยกชิ้นตัวอย่างออกจากภาชนะหล่อแบบและพลาสติกหีนกำจัดเศษพลาสติกหีนที่เหลืออยู่โดยแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายโพแทสเซียมซิเตรด (potassium citrate) ความเข้มข้นร้อยละ 30 ร่วมกับเครื่องเขย่าอัลตราโซนิค (ultrasonic vibrator) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปยึดกับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อตัดตามแนวยาวของฟันให้ได้ความหนาชิ้นละ 2 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 450 รอบต่อนาที แรงกด 400 นิวตัน ด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำยี่ห้อไอโซเมทรุ่นบิวเลอร์ (ISOMET, BUEHLER, Ill) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นตัวอย่างต้องไม่มีฟองอากาศหรืออะคริลิกไม่เต็มพื้นที่รอยต่อระหว่างซีฟันเทียมและฐานฟันเทียม จากนั้นกรอแต่งด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ (plain cut coarse carbide bur, Edenta AG, AU/SG, Switzerland) ให้ได้ชิ้นตัวอย่างรูปมินิดั้มเบลล์ (mini-dumbbell shape) ความหนา 2 มิลลิเมตรและบริเวณที่ทำการยึดติดอยู่เพื่อทดสอบเป็นรอยต่อระหว่างชั้นของซีฟันเทียมกับฐานฟันเทียม ดังรูปที่ 2 โดยกรอเป็นรูปดั้มเบลล์มีขนาดความยาว 10 มิลลิเมตรในชั้นซีฟันเทียมและฐานฟันเทียมโดยกรอให้ขนาดพอดีกับตัวจับยึดเพื่อนำไปทดสอบดังรูปที่ 3A นำชิ้นตัวอย่างแช่น้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างมายึดกับตัวจับยึดโลหะ (metal jig) ประกอบตัวจับยึดโลหะส่วนบนเข้าด้วยกัน และขึ้นสกรูให้แน่นดังรูปที่ 3B

ตารางที่ 2 แสดงกลุ่มและจำนวนของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงยึดติด

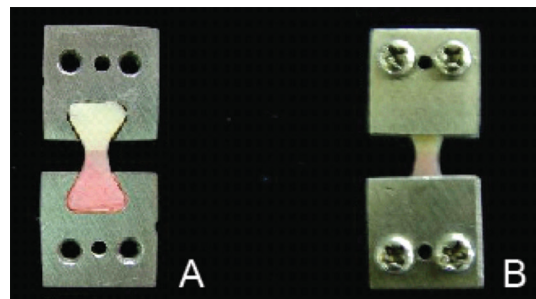
Table 2 Demonstrated specimen number and groups for tensile bond strength test.

| Amount of alumina filler (wt %) reinforced into PMMA | Specimen number (n) | | |
|--|---------------------|-----|----|
| | MD | IPN | OS |
| No filler (control) | 15 | 15 | 15 |
| 0.1% MPS with 5% Al | 15 | 15 | 15 |
| 0.1% MPS with 10% Al | 15 | 15 | 15 |



รูปที่ 2 แสดงขอบเขตชิ้นตัวอย่างรูปมินิดั้มเบลล์ ความหนา 2 มิลลิเมตร

Figure 2 Demonstrated the 2 mm-thickness of mini dumbbell-shaped specimen.



รูปที่ 3A แสดงชิ้นตัวอย่างรูปมินิดั้มเบลล์ใส่ในโลหะตัวจับยึด

Figure 3A Demonstrated the mini-dumbbell-shaped specimen inserted in metal jig.

รูปที่ 3B แสดงชิ้นงานพร้อมตัวจับยึด สำหรับทดสอบ

Figure 3B Demonstrated the specimen inserted in metal jig prepared for testing.

นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบความแข็งแรงยึดติดโดยใช้เครื่องทดสอบสากลยี่ห้ออินสตรอนรุ่น 8872 (Instron, Model 8872, USA) ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที จำกัดขนาดแรงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1000 นิวตัน เริ่มดึงจนชิ้นงานหลุด

นอกจากกัน บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด (maximum load) ที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างหลุดออกจากกันหน่วยเป็นนิวตัน วัดความกว้างและความยาวบริเวณที่แตกด้วยเครื่องวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (digimatic caliper, Mitutoyo, Tokyo, Japan) เพื่อคำนวณขนาดพื้นที่เชื่อมยึด นำค่าแรงที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างหลุดมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงยึดดึงโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าความแข็งแรงยึดดึง (MPa)} = \frac{\text{แรงดึง (นิวตัน)} / \text{พื้นที่เชื่อมยึด (ตารางมิลลิเมตร)}}{\text{พื้นที่เชื่อมยึด (ตารางมิลลิเมตร)}}$$

ตรวจสอบชนิดของการแตกหักของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบทุกชิ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 35 เท่า เพื่อจำแนกลักษณะของการแตกหัก (mode of failure) นำค่าความแข็งแรงยึดดึงที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูเก้ (Tukey HSD's test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอน

จากการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินาหลังล้างด้วยเตตระไฮโดรฟลูออไรด์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน จำนวนเป็นร้อยละของธาตุที่ปรากฏพบว่า มีธาตุอลูมิเนียมและซิลิกอนกระจายอยู่บนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว ส่วนกลุ่มของสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวนั้นพบเฉพาะธาตุอลูมิเนียมเท่านั้น จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสารคู่ควบเอ็มพีเอส สามารถเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินาได้ โดยปริมาณของธาตุในแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 3

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดดึงและชนิดของการแตกหัก

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบมีความสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปริมาณอลูมินากับชนิดของซีฟันเทียม ค่าความแข็งแรงยึดดึงของแต่ละกลุ่มดังในตารางที่ 4 ค่าความแข็งแรงยึดดึงแต่ละกลุ่มไม่ต่างกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.1-26.8 เมกกะปาสคาล ยกเว้นค่าความแข็งแรงยึดดึงในกลุ่มออโทลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 มีค่าความ

แข็งแรงยึดดึงน้อยสุด (16.1±3.4 เมกกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และในทุกกลุ่มทดสอบมีลักษณะการแตกหักเป็นชนิดการแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure)

ตารางที่ 3 ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุอลูมิเนียมและธาตุซิลิกอนในสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวและได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (3 ชิ้นตัวอย่างต่อกลุ่ม)

Table 3 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) | -- | -- |
| 0.1% MPS alumina filler | 96.2 (0.6) | 96.4 (0.5) | 3.8 (0.6) | 3.6 (0.5) |

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งแรงยึดดึงของทุกกลุ่มการทดลอง

Table 4 Tensile bond strength of all test groups.

| Condition | Tensile bond strength [Mean± SD (MPa)] | | |
|----------------------|--|-----------------------|-------------------------|
| | MD | IPN | OS |
| No filler (control) | 26.2±3.4 ^a | 25.8±3.3 ^a | 23.9±2.8 ^a |
| 0.1% MPS with 5% Al | 26.8±3.1 ^a | 26.2±3.2 ^a | 21.2±2.1 ^{a,b} |
| 0.1% MPS with 10% Al | 23.5±3.8 ^a | 23.7±2.4 ^a | 16.1±3.4 ^b |

Mean (S.D), n=15

กลุ่มที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

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

บทวิจารณ์

ในการศึกษานี้เลือกใช้การทดสอบกำลังแรงยึดดึงเนื่องจากเป็นวิธีที่ใกล้เคียงกับข้อกำหนดว่าด้วยการทดสอบการยึดติดระหว่างซีฟันเทียมและฐานฟันเทียมของสมาคมทันตแพทย์อเมริกา (ADA.15) และจากการศึกษาการยึด

ติดระหว่างซีฟันเทียมและฐานฟันเทียมที่ผ่าน มาแรงที่ทำให้ ฟันเทียมหลุดออกจากฐานส่วนใหญ่เป็นแรงดึง (tensile force)^(13,15) อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงยึดติดที่ทำให้ซีฟัน เทียมหลุดในการศึกษาครั้งนี้เป็นผลจากการให้แรงดึงทิศทาง เดียวและเพิ่มปริมาณแรงดึงจนกระทั่งซีฟันเทียมหลุดในห้อง ปฏิบัติการซึ่งในช่องปากจริงซีฟันเทียมจะได้รับแรงลักษณะ เป็นวัฏจักรและยาวนานส่งผลให้เกิดแรงที่สามารถทำให้ซีฟัน เทียมหลุด

เอ็มพีเอส เป็นสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม และนิยมใช้ในทางทันตกรรม⁽²¹⁻²⁴⁾ โดยเทคนิคการปรับปรุง พื้นผิวสารอัดแทรกโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสในการศึกษา ครั้งนี้ อ้างอิงมาจากการศึกษาที่ผ่านมา^(6,21,24) จากผลการ ทดลองพบว่าการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส สามารถเกิดปฏิกิริยา คู่ควบบนผิวสารอัดแทรกอลูมินาโดยปริมาณความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของสารคู่ควบเอ็มพีเอสที่ใช้เป็น ปริมาณที่เกิดการเคลือบหนึ่งชั้นบนผิวสารอัดแทรกอลูมินาที่ ใช้ในการทดลองคำนวณจากสูตรของอาร์เคล⁽¹⁷⁾ การทดลอง ครั้งนี้ได้ตรวจสอบสารละลายเตตระไฮโดรฟูรีนที่ล้างส่วน พิเศษออกไปจนกระทั่งสารละลายแสดงค่าสเปกตรัมดูด กลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัม ดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟูรีนที่ไม่มีสารอื่น ปนเปื้อนและวิเคราะห์เพื่อยืนยันการคงอยู่ของซิลิกอนบน ผิวสารอัดแทรกอลูมินาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน การที่สารอัดแทรกได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบ เอ็มพีเอสแล้วเกิดการเคลือบหนึ่งชั้นให้ผลต่อการยึดระหว่าง สารอัดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ที่ดีและเพิ่มสมบัติทางกลของ วัสดุ^(23,24) โดยสารคู่ควบติดกับผิวสารอัดแทรกที่แข็งแรงมาก ด้วยพันธะโควาเลนต์และอีกด้านจะเชื่อมกับเรซินเมทริกซ์ ทำให้เกิดการเชื่อมยึดติดที่ระหว่างสารอัดแทรกกับเรซิน- เมทริกซ์^(6,21,22)

จากการศึกษาที่ผ่านมาการเชื่อมยึดระหว่างอลูมินากับ อะคริลิกเรซินจะให้ผลการเชื่อมยึดที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารคู่ควบเอ็ม พีเอสมาทำการปรับปรุงพื้นผิวของอลูมินา^(6,24) และการใช้สาร อัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็ม พีเอสและเสริมในอะคริลิกเรซินสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัด ขวางและความต้านทานต่อการสึกของอะคริลิกเรซินได้⁽⁶⁾ แต่ การศึกษาที่ผ่านมาได้ใช้สารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ

10 โดยน้ำหนักเท่านั้น โดยไม่ได้เปรียบเทียบสารอัดแทรก ในปริมาณที่แตกต่างไป⁽⁶⁾ แต่ในการทดลองครั้งนี้ค่าความ แข็งแรงยึดติดในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมสารอัดแทรกอลู- มินาปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากปริมาณของสารอัดแทรก อลูมินาไม่ได้มากเกินไปทำให้ไม่ขัดขวางการเชื่อมระหว่างซี ฟันเทียมกับฐานฟันเทียม ซึ่งแตกต่างจากในกลุ่มซีฟันออ- โทลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จากวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่าง กลุ่มซีฟันออโทลิตกับฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากพอลิเมอร์ในซีฟัน ชนิดนี้มีสารเชื่อมขวางปริมาณสูงร่วมกับวัสดุอัดแทรกทำให้ เกิดการละลายได้ยากขึ้นอาจทำให้เกิดภาวะที่เกิดปฏิกิริยาการ บ่มตัวโมโนเมอร์อิสระในพอลิเมอร์ฐานฟันเทียมระยะอ่อน นุ่มไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปสร้างพันธะเชื่อมได้เต็มที่ส่งผล ให้การยึดติดระหว่างซีฟันเทียมและฐานฟันเทียมลดลง^(12,14) อย่างไรก็ตามซีฟันเทียมออโทลิตเป็นซีฟันเทียมที่มีการอัด หลายชั้น (multi layer) โดยส่วนฐานจะเป็นเมทิลเมทา- คริลเลตเพื่อช่วยในการยึดติดกับฐานฟันเทียมแต่ในการศึกษา ครั้งนี้ได้เตรียมผิวฐานซึ่งอาจทำให้ชั้นเมทิลเมทาคริ- เลตหายไป เผยในส่วนของชั้นสารเชื่อมขวางปริมาณสูงร่วม กับวัสดุอัดแทรกมากขึ้น จึงทำให้คุณสมบัติการยึดติดเสีย ไป⁽²⁵⁾ นอกจากนี้ปริมาณพันธะคู่ที่หลงเหลืออยู่ (C=C) ซึ่งเป็น ปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนกับโมโน- เมอร์หรือพอลิเมอร์อื่น ๆ ซีฟันเทียมที่มีสารเชื่อมขวางมากจะ มีปริมาณพันธะคู่หลงเหลืออยู่น้อยกว่าซีฟันเทียมที่เป็นพอลิ- เมอร์ชนิดเส้น⁽²⁶⁾ ดังนั้นการยึดติดระหว่างฐานฟันเทียมกับ ซีฟันเทียมที่มีสารเชื่อมขวางปริมาณมากและมีสารอัดแทรก มากจึงต่ำกว่าซีฟันเทียมพอลิเมอร์ชนิดเส้น สอดคล้องกับ การศึกษาที่ผ่านมาที่กล่าวว่าปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่ เสริมไม่ได้ช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของอะคริลิกเรซินถ้าเสริม ในปริมาณที่มากเกินไป⁽¹⁶⁾ และการเชื่อมยึดระหว่างอะคริลิก- เรซินกับอะคริลิกเรซินยอมให้การเชื่อมที่ต่ำกว่าอะคริลิกเรซิน กับอลูมินา แต่ข้อดีของการใช้สารคู่ควบไซเลนทำให้สารอัด แทรกที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวเกิดการเชื่อมยึดในเรซิน เมทริกซ์ที่ดีทำให้ชั้นงานที่เสริมสารอัดแทรกมีความแข็งแรง เพิ่มขึ้น^(22,23) รวมถึงมีความต้านทานต่อการสึกที่เพิ่มขึ้นเช่น กัน^(6,27,28)

ถึงแม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้การเสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักลงในอะคริลิกเรซินทำฐานฟันเทียมให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริมสารอัดแทรก ยกเว้นกลุ่มซี่ฟันออลโทลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 แต่หากพิจารณาร่วมกับการศึกษาที่ผ่านมาที่เสริมสารอัดแทรกอลูมินาทำให้เพิ่มสมบัติทางกลของอะคริลิกเรซินเช่น ความต้านทานต่อการสึกและค่าความแข็งแรงดัดขวางที่เพิ่มขึ้น⁽⁶⁾ การเสริมด้วยสารอัดแทรกอลูมินาจึงมีประโยชน์ในการปรับปรุงวัสดุทำฐานฟันเทียมเพื่อนำไปใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องทำฟันเทียมในทางคลินิกต่อไป

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการทดลองครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินา หลังจากทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส พบธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบ
2. การเสริมสารอัดแทรกอลูมินาที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 10 ลงในฐานฟันเทียมอะคริลิกไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างซี่ฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียมอะคริลิกยกเว้นในกลุ่มซี่ฟันออลโทลิต ที่ฐานฟันเทียมเสริมอลูมินาร้อยละ 10 ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ
3. ทุกกลุ่มการทดสอบมีลักษณะการแตกหักเป็นชนิดการแตกหักแบบยึดติด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนส่งเสริมการวิจัย โรงพยาบาลกลาง สำนักการแพทย์กรุงเทพมหานคร และ ทุนนำเสนอผลงานทางวิชาการจาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. Phoenix RD. Denture base materials. *Dent Clin North Am* 1996; 40: 113-120.
2. Meng TR, Latta MA. Physical properties of four acrylic denture base resins. *J Contemp Dent Pract* 2005; 6: 93-100.
3. Winkler S, Monasky GE, Kwok J. Laboratory wear investigation of resin posterior denture teeth. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 812-814.
4. Zeng J, Sato Y, Ohkubo C, Hosoi T. In vitro wear resistance of three types of composite resin denture teeth. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 453-457.
5. Suwannaroop P, Chaijareenont P, Koottathape N, Takahashi H, Arksornnukit M. In vitro wear resistance, hardness and elastic modulus of artificial denture teeth. *Dent Mater J* 2011; 30: 461-468.
6. 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(4): 623-628.
7. Darbar UR, Huggett R, Harrison A. Denture fracture - a survey. *Br Dent* 1994; 176: 342-345.
8. Civjan S, Huget EF, de Simon LB. Modifications of the fluid resin technique. *J Am Dent Assoc* 1972; 85: 109-112.
9. Fletcher AM, et al. A method of improving the bonding between artificial teeth and PMMA. *J Dent* 1985; 13: 102-108.
10. Spratley MH. An investigation of the adhesion of acrylic resin teeth to dentures. *J Prosthet Dent* 1987; 58: 389-392.
11. Gerrts GAVM, Jooste CH. A comparison of the bond strengths of microwave-and water bath-cured denture material. *J Prosthet Dent* 1993; 70: 406-409.
12. Sorensen SE, Fjeldstad E. Bonding of plastic to acrylic resin denture base materials. *J Dent Res* 1961: 776-780.

13. Morrow RW, et al. Bonding of plastic teeth to two heat-curing denture base resins. *J Prosthet Dent* 1978; 565-568.
14. Suzuki S, Sakoh M, Shiba A. Adhesive bonding of denture base resin to plastic denture teeth. *J Biomed Mat Res* 1990; 24: 1091-1103.
15. Rupp NW, Bowen RL, Paffenbarger GC. Bonding cold-curing denture base acrylic resin to acrylic resin teeth. *J Am Dent Assoc* 1971; 83: 601-606.
16. Alhareb AO, Ahmad ZA. Effect of Al₂O₃/ZrO₂ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. *J Reinf Plast Compos* 2011; 30: 83-85.
17. Arkles B. *Silane coupling agent chemistry*. 1sted. Pennsylvania: Petrarch Systems; 1987: 59.
18. Abboud M, Vol S, Duguet E. PMMA-based composite materials with reactive ceramic fillers, Part III: Radiopacifying particle reinforced bond cement. *J Mater Sci: Mater in Med* 2000; 11: 295-300.
19. 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.
20. Ash BJ, Siegel RW, Schadler LS. Mechanical Behavior of Alumina/Poly(methyl methacrylate) Nanocomposites. *Macromol* 2004; 37: 1358-1369.
21. 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.
- 22) Matinlinna JP, Lassila LVJ, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 155-164.
23. Zulkifli R. Surface fracture analysis of glass fibre reinforced epoxy composites treated with different type of coupling agent. *Eur J Sci Res* 2009; 29: 55-65.
24. 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(4): 610-616.
25. Anderson JN. The strength of the joint between plain and copolymer acrylic teeth and denture base resin. *Br Dent J* 1958; 6: 317-20.
26. Clancy JM, Hawkins LF, Keller JC, Boyer DB. Bond strength and failure analysis of light-cured denture resin bonded to denture teeth. *J Prosthet Dent* 1991; 65: 315-24.
27. Arikawa H, Kuwahata H, Seki H, Kanie T, Fujii K, Inoue K. Deterioration of mechanical properties of composite resins. *Dent Mater J* 1995; 14: 78-83.
28. Nihei T, Dabanoglu A, Teranaka T, et al. Three-body-wear resistance of the experimental composites containing filler treated with hydrophobic silane coupling agents. *Dent Mater* 2008; 24: 760-764.