

ผลของปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกัน เสริมในฐานฟันเทียมอะคริลิกต่อความแข็งแรง ยึดติงระหว่างซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียม

Effect of Different Alumina Filler Amounts Reinforced into Acrylic Denture Base on Tensile Bond Strength between Denture Teeth and Denture Base

สิทธิเดช นิลเจริญ¹, พีรานุช ประหยัดทรัพย์², แมนสรวง อักษรนุกิจ³, พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์⁴

¹โรงพยาบาลกลาง กรุงเทพฯ

²โรงพยาบาลกรุงเทพหัวหิน, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ³คณะทันตแพทยศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

⁴คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Sittidej Nincharoen¹, Peeranuch Prayadsab², Mansuang Arksornnukit³, Pisaisit Chaijareenont⁴

¹BMA General Hospital, Bangkok

²Bangkok HuaHin Hospital, Prajuabkirikhan ³Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok

⁴Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม.ทันตสาร 2556; 34(2) : 71-80

CM Dent J 2013; 34(2) : 71-80

บทคัดย่อ

เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่แตกต่างกันเสริมในฐานฟันเทียมอะคริลิกต่อความแข็งแรงยึดติงระหว่างซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียม การศึกษานี้ใช้สารอัดแทรกอลูมินาทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-23 ไมครอนถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เตรียมขึ้นตัวอย่างโดยนำสารอัดแทรกอลูมินาผสมรวมกับผงอะคริลิก ในสัดส่วนอลูมินาร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ในกลุ่มควบคุมใช้ผงอะคริลิกไม่ผสมอลูมินา

Abstract

Objectives: The purpose of this study was to investigate the effect of different alumina filler amounts reinforced into acrylic denture base on tensile bond strength between 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 γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS).

Corresponding Author:

พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์

อาจารย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Pisaisit Chaijareenont

PhD, Lecturer, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,

Chiang Mai 50200, Thailand.

E-mail: yodent@hotmail.com

จากนั้นนำอะคริลิกทั้ง 4 กลุ่มอัดติดกับซีฟันเทียม แล้วบ่มด้วยความร้อนและตัดแต่งชิ้นงานเป็นรูปมินิเดมเบลล์ (กลุ่มละ 10 ชิ้น) แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทดสอบทดสอบความแข็งแรงยึดติดโดยเครื่องทดสอบสากล ความเร็วในการดึง 1 มิลลิเมตรต่อนาที นำค่าความแข็งแรงยึดติดมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติชนิดความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวและทดสอบเชิงซ้อนด้วยวิธีแทมแฮน ผลการศึกษา จากผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอนพบธาตุซิลิกอนติดอยู่บนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินา ค่าความแข็งแรงยึดติดและค่าความแปรปรวน (เมกกะปาสคาล) ในกลุ่มควบคุม กลุ่มเสริมอลูมินาร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าเท่ากับ 25.4 (3.1), 26.5 (4.6), 22.8 (3.8) และ 18.4 (3.3) ตามลำดับ วิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นกลุ่มเสริมอลูมินาร้อยละ 15 มีค่าความแข็งแรงยึดติดน้อยสุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 วิเคราะห์ด้วยกล่องจุลทรรศน์ในทุกกลุ่มทดลองพบลักษณะการแตกหักเป็นชนิดยึดติด สรุปผลการศึกษาพบว่า การเสริมอลูมินาที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารควบไซเลนปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 10 ลงในฐานฟันเทียมอะคริลิกไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างซีฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียมอะคริลิก

คำสำคัญ: อลูมินา ซีฟันเทียม ฐานฟันเทียม สารควบไซเลน ความแข็งแรงยึดติด

The 5, 10 and 15 wt% of silanized alumina filler were mixed with heat-polymerized PMMA. Heat polymerized PMMA without reinforced alumina was served as control. All of 4 groups were packed with artificial denture teeth and prepared into 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 1mm/min crosshead speed until fracture. The bond strength was determined and analyzed by 1way-ANOVA and Tamhane'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. The mean tensile bond strengths (SD) in MPa of control, 5, 10 and 15 wt% groups were 25.4 (3.1), 26.5 (4.6), 22.8 (3.8) and 18.4 (3.3), respectively. From statistical analysis, the tensile bond strengths of all groups except in 15 wt% were not significantly different, while, in 15 wt% group was significantly small among each other. 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 PMMA denture base less than 10 wt% do not change tensile bond strength between PMMA denture base and denture teeth.

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

บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการบูรณะเพื่อทดแทนฟันธรรมชาติที่หายไป ไม่ว่าจะสาเหตุมาจาก ฟันผุ โรคปริทันต์ พยาธิสภาพต่างๆ เกี่ยวกับช่องปากและขากรรไกร สภาพฟันหายไปแต่กำเนิดหรือเกิดอุบัติเหตุบริเวณใบหน้าขากรรไกรนั้นมีการบูรณะได้หลายวิธี เช่น ฟันเทียมแบบติดแน่น (fixed denture prosthesis) ฟันเทียมแบบถอดได้ (removable denture prosthesis) หรือการใส่รากฟันเทียม (dental implant) เพื่อการรองรับฟันเทียม (implant support denture) ไม่ว่าจะ เป็นฟันเทียมบางส่วนถอดได้ (removable partial denture) หรือ ฟันเทียมทั้งปากถอดได้ (removable complete denture) โดยฟันเทียมจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกันก็คือ ซีฟันเทียม (artificial tooth) และส่วนของฐานฟันเทียม (denture base) โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนล้วนมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน

ปัจจุบันมีการนำวัสดุหลายประเภทมาใช้ในการประดิษฐ์ฐานฟันเทียมและซีฟันเทียม^(1,2) แต่ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากได้แก่ เรซินสังเคราะห์เมทิลเมทาคริเลต (synthetic methyl methacrylate) หรือเป็นที่นิยมเรียกว่า เรซิน อะคริลิก (acrylic resin)⁽²⁾ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก มีความแข็งแรงทนต่อการแตกหักและมีเสถียรภาพของมิติ (dimensional stability) เพียงพอต่อการนำมาใช้งานในช่องปาก นอกจากนี้ยังมีความสวยงาม และสามารถซ่อมแซมได้ง่าย ในกรณีทำฐานฟันเทียมและซีฟันเทียมจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติคือต้องมีรายละเอียดทางทันตกายวิภาคศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ให้ความสวยงาม ไม่มีความเป็นพิษหรือการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อภายในช่องปาก ใช้งานได้ง่าย หาซื้อได้สะดวก ราคาถูก มีความแข็งแรง ต้านทานการสึก (wear resistance) และมีการยึดติดกันระหว่างฐานฟันเทียมและซีฟันเทียมที่ดี อย่างไรก็ตามในทางคลินิกยังคงพบปัญหาของการใช้งานฟันเทียมชนิดแบบถอดได้ที่ใช้วัสดุชนิดนี้อยู่ ที่พบได้บ่อยได้แก่ การหลุดของซีฟันเทียมจากฐานฟันเทียม การสึกของซีฟันเทียม⁽³⁻⁵⁾ การสึกและการแตกหักของฐานฟันเทียม^(6,7) การหลุดของซีฟันเทียมมีสาเหตุมาจาก การออกแบบของฐานฟันเทียมให้คลุมซีฟันเทียมไม่เหมาะสม

นอกจากนี้ การปนเปื้อนบนซีฟันเทียมในขั้นตอนการประดิษฐ์ฟันเทียมทำให้เกิดการขัดขวางต่อการยึดติดของซีฟันเทียมกับฐานฟันเทียม เมื่อนำมาใช้งานจึงทำให้เกิดการหลุดของซีฟันเทียมได้ง่ายเมื่อมีแรงมากกระทำ ส่วนการแตกหักของฐานฟันเทียมมีสาเหตุมาจาก การออกแบบที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ฐานของฟันเทียมไม่แนบสนิทกับเนื้อเยื่อส่วนที่ต้องรองรับแรงบดเคี้ยวในช่องปากทำให้มีแรงบิดดัดออกมากระทำต่อฐานฟันเทียมหรือกรณีมีส่วนของฐานฟันเทียมมีความหนาไม่เพียงพอ ทำให้ไม่มีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงที่มากกระทำ อีกสาเหตุหนึ่งคือผู้ป่วยที่มีแรงบดเคี้ยวที่ค่อนข้างสูงหรือมีพฤติกรรมการทานอาหารที่เหนียวและแข็งเป็นประจำซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการแตกหักของฟันเทียมได้ง่ายขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทำฐานฟันเทียม ปัจจุบันวิธีที่นิยมวิธีหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของ เรซิน อะคริลิก คือการเสริมด้วยวัสดุอัดแทรกเช่น เซอร์โคเนีย (zirconia)⁽⁸⁾ เส้นใยแก้ว (glass fiber)⁽⁹⁾ ซิลิกา (silica)⁽¹⁰⁾ และ อลูมินา (alumina)^(6,11)

ในการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการใช้วัสดุอัดแทรกอลูมินาเสริมใน เรซิน อะคริลิก ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงและเหนียวนำอุณหภูมิได้ดีขึ้น^(6,11) อย่างไรก็ตามในบางการศึกษายังไม่สามารถสรุปผลของการเสริมวัสดุอัดแทรกอลูมินาในแง่ของการเพิ่มคุณสมบัติทางกล เช่นการศึกษาของ Alhareb และ Ahmad ได้ศึกษาในการเสริมอลูมินาปริมาณร้อยละ 5 เสริมใน เรซิน อะคริลิก พบว่าสามารถเพิ่ม (fracture toughness) และ โมดูลัสยืดหยุ่น (flexural modulus) แต่พบว่า ความแข็งแรงยึดดึง (tensile bond strength) กลับลดลง⁽⁸⁾ ในบางการศึกษาระบาดแทรกอลูมินาที่เสริมในชั้นงานที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวด้วยสารเชื่อมยึด (bonding agent) หรือไม่ได้ใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ไม่มีการเชื่อมยึดติดระหว่างสารอัดแทรกอลูมินากับ เรซิน อะคริลิก ส่งผลให้ความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) และความแข็งแรงดึงยึดลดลง⁽¹²⁾ เนื่องจากไม่มีความสามารถในการยึดระหว่างวัสดุอัดแทรกกับ เรซิน เมทริกซ์ (resin matrix)

สารคู่ควบไซเลนถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติการเชื่อมยึดระหว่างวัสดุสองวัสดุที่แตกต่างกันเช่น การปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกซิลิกาในการเสริมในวัสดุเรซิน คอมพอสิต (composite resin)⁽¹³⁾ โดยโครงสร้างของสารคู่ควบจะมีซิลิกอน (silicon, Si) เป็นองค์ประกอบและเป็นส่วนเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์ (organic substrate) และ สารอนินทรีย์ (inorganic substrate) โดยมีการเกิดปฏิกิริยาดังโครงสร้าง



โดย RO เช่น กลุ่ม เมทอกซี (methoxy) เป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยากับส่วนสารอนินทรีย์ในสารอัดแทรก

Si เป็นส่วนโครงสร้างของสารเชื่อมยึดที่มี ซิลิกอน เป็นองค์ประกอบ

CX เป็นส่วนของโครงสร้างคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบ

Y เช่น ส่วนอะมิโน (Amino) หรือ เมทาคริเลต (Methacrylate) เป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยากับส่วนสารอินทรีย์ในส่วน เรซิน เมทริกซ์

สำหรับสารคู่ควบไซเลนที่นิยมใช้มากในทางทันตกรรม เช่น สารคู่ควบไซเลนชนิด เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซี (methacryloxypropyltrimethoxysilane) หรือ เอ็มพีเอส (MPS) เป็นสารคู่ควบไซเลนที่ใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติของค่าดัชนีการละลาย (solubility parameter) ที่เหมาะสมกับ เรซิน เมทริกซ์ โดยค่าดัชนีการละลายคือสารใดก็ตามที่มีค่าดัชนีการละลายที่ใกล้เคียงกันจะสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ดี ทำให้สารคู่ควบเอ็มพีเอสสามารถเชื่อมกับ เรซิน เมทริกซ์ของ เรซิน อะคริลิก ได้ดี⁽¹³⁻¹⁶⁾ ส่วนบนผิวของสารอัดแทรก สารคู่ควบไซเลนจะถูกดูดซับลงบนพื้นผิวและเกิดชั้นของสารคู่ควบไซเลนขึ้นสองชั้น โดยชั้นที่ติดกับผิวสารอัดแทรกจะมีการเชื่อมยึดที่แข็งแรงมากด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) เรียกว่าส่วนเคมีซอร์บ (chemisorbed) ส่วนชั้นนอกจะมีการเชื่อมไขว้กันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรง แวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) แต่ชั้นนอกนี้จะไม่แข็งแรงเรียกว่าส่วนฟิสิซอร์บ (physisorbed) ซึ่งสามารถล้างออกได้ง่ายโดยตัวทำละลายทางเคมี⁽¹⁵⁾

มีการศึกษาถึงการ ใช้ สารคู่ควบเอ็มพีเอส กับวัสดุ

อัดแทรกซิลิกา (silica filler) ในการเสริมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของวัสดุทางทันตกรรม^(10,13) อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงการ ใช้ สารคู่ควบเอ็มพีเอส กับวัสดุอัดแทรกอลูมินาในการเสริมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลของวัสดุทางทันตกรรมยังมีน้อย จากเหตุผลดังกล่าวในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาถึงความแข็งแรงยึดติด (tensile bond strength) ระหว่างซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปกับฐานฟันเทียม เรซิน อะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (heat polymerization resin acrylic denture base) ที่ได้รับการเสริมสารอัดแทรกอลูมินาในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสารอัดแทรกอลูมินาที่ใช้เสริมนั้นได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส โดยการศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานหลักคือไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงยึดติดระหว่างซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปกับฐานฟันเทียม เรซิน อะคริลิก ที่ได้รับการเสริมสารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวในปริมาณที่แตกต่างกันในทุกกลุ่ม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกอลูมินา (Silanization of alumina particle)

สารอัดแทรกอลูมินาที่ใช้เป็นชนิดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-23 ไมครอน (AH35-2, MICRON, Himeji-shi, Hyogo-ken, Japan) มีพื้นที่ผิว 0.36 ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม ทำการปรับปรุงพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินาโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอส (KBM 503, Shin-Etsu Chemical, Tokyo, Japan) โดยใช้ปริมาณสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอส ร้อยละ 0 และ 0.1 โดยน้ำหนัก

ปริมาณสารคู่ควบเอ็มพีเอส ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่สารคู่ควบเกิดปฏิกิริยาสร้างชั้นเคลือบหนึ่งชั้น (monolayer) ขึ้นบนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินา ซึ่งเกิดขึ้นตามสูตรการคำนวณชั้นเคลือบหนึ่งชั้นของอาร์เคิล (Arkle's equation)⁽¹⁷⁾ ดังสมการที่แสดง

ปริมาณของสารเชื่อมยึด (กรัม) เท่ากับ

ปริมาณสารอัดแทรก (กรัม) X พื้นที่ผิวสารอัดแทรก (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม) / (หารด้วย)

ค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสารเชื่อม

ยัด (ตารางมิลลิเมตรต่อหนึ่งกรัม)

เมื่อ ค่าของพื้นที่ในการเคลือบที่น้อยที่สุดของสาร
คู่ควบเอ็มพีเอส มีค่าเท่ากับ 314⁽¹⁶⁾

สารละลาย เอทานอล (70% Ethanol solution)
ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ถูกเตรียมโดย ใช้เอทานอล
(Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) ความเข้มข้นร้อยละ
99.8 โดยปริมาตร ผสมกับน้ำปราศจากอิออน
(deionized water) ลงในขวดโพลีเอทิลีน (polyethy-
lene) ปรับค่าความเป็นกรดและความเป็นด่างโดยหยด
สารละลายกรดอะซิติก (Acetic acid, Carlo erba,
Rodano, Milano, Italy) ให้มีค่า 4.5 วัดค่าความเป็น
กรดและความเป็นด่างโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและ
ด่าง (pH-meter) จากนั้นนำสารคู่ควบเอ็มพีเอส ปริมาณ
0.1 กรัม ผสมในสารละลาย เอทานอล ปิดฝาขวดโพลี-
เอทิลีนให้แน่น ทำการปั่นและเขย่าให้ละลายทั่วกันจนได้
สารละลายของสารคู่ควบเอ็มพีเอสในเอทานอล ในความ
เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ 30 นาทีให้สารคู่
ควบเอ็มพีเอส เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)
และเกิดโครงสร้างซิลานอล (silanol formation) เพื่อ
เกิดปฏิกิริยาต่อไป จากนั้นนำสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณ
100 กรัม ใส่ลงในสารละลายสารคู่ควบเอ็มพีเอส เพื่อที่
จะปรับปรุงพื้นผิวโดยการเคลือบสารคู่ควบเอ็มพีเอส
ทำการปั่นและบดจนสารละลายระเหยจนหมดจากนั้น
เก็บสารอัดแทรกอลูมินาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วในตู้
ป้องกันการปนเปื้อนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วันเพื่อ
ให้เกิดการแห้งอย่างสมบูรณ์ นำสารอัดแทรกอลูมินาที่
ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวแล้วไปวิเคราะห์การคงอยู่ของ
ซิลิกอนบนพื้นผิว ส่วนสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการ
ปรับปรุงพื้นผิว (ร้อยละ 0 โดยน้ำหนักของ สารคู่ควบเอ็ม
พีเอส) ถูกใช้เพื่อเป็นกลุ่มควบคุม

การวิเคราะห์การคงอยู่ของซิลิกอน (Silicon deposition analysis)

วิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิวสารอัด
แทรกอลูมินาโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่อง
กราด (scanning electron microscope) ร่วมกับการ
ใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน (energy dispersive
spectrometer, EDS software) ก่อนวิเคราะห์การคงอยู่

ของธาตุซิลิกอนบนพื้นผิว กลุ่มของสารอัดแทรกอลูมินา
ที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวถูกล้างโดยใช้ สารเตตระไฮโดร-
ฟูรัน (Tetrahydrofuran, THF, Carlo erba, Rodano,
Milano, Italy) โดยใส่สารอัดแทรกอลูมินาและสาร
เตตระไฮโดรฟูรันในถ้วยโพลีเอทิลีนทำการล้างเพื่อเอา
ส่วนสารคู่ควบในชั้นฟิล์มออกให้เหลือแต่ในส่วนของ
ชั้นเคมีซอพ

สารละลายเตตระไฮโดรฟูรันที่ล้างในแต่ละครั้งนำมา
ตรวจสอบโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectro-
photometer, Nicolet Evolution 500, Thermo-
electron Corp., WI, USA) ล้างและตรวจสอบจน
กระทั่งสารละลายที่ล้างแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสง
(absorbance spectrum peak) ที่ความยาวคลื่น 250
นาโนเมตร เท่านั้นซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของ
สารละลายเตตระไฮโดรฟูรันที่ไม่มีสารอื่นปนเปื้อน นำ
สารอัดแทรกอลูมินาไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วันเพื่อให้แห้งอย่างสมบูรณ์
จากนั้นแบ่งบางส่วนของสารอัดแทรกมาวิเคราะห์การคง
อยู่ของซิลิกอนบนพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินา โดยมีกลุ่ม
สารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวเป็น
กลุ่มควบคุม

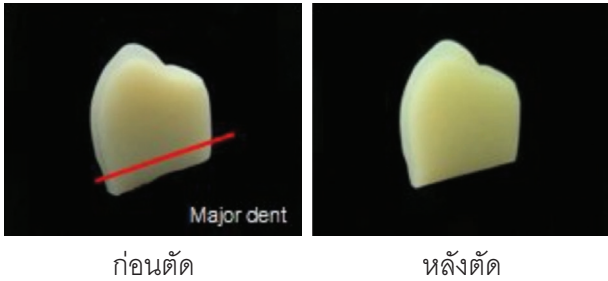
การเตรียมผงเรซิน อะคริลิกที่ผสมสารอัดแทรก อลูมินา

เรซิน อะคริลิกที่ใช้เตรียมชิ้นงานเป็นชนิดบ่มด้วย
ความร้อน (heat-polymerized PMMA, Triplex hot,
Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) นำ
สารอัดแทรกอลูมินาที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวผสมร่วมกับ
ผงเรซิน อะคริลิกในถ้วยโพลีเอทิลีน ในสัดส่วนของอลู-
มินาร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก นำผงเรซิน อะคริลิก
ที่ผสมร่วมกับสารอัดแทรกอลูมินาไปปั่นเพื่อให้ส่วนผสม
เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นผสม (non bubbling kneader,
NBK-1, Nippon Seiki, Tokyo, Japan)

การเตรียมซีฟันเทียมอะคริลิกสำหรับการ ทดสอบ

ซีฟันเทียมอะคริลิกที่ใช้ในการทดสอบเป็นซีฟันเทียม
แบบเมทิลเมทาคริลิตชนิดเส้น (linear polymethyl

methacrylate) ยี่ห้อเมเจอร์เดนท (Major dent, Major Prodotti Dentari, Italy) เตรียมซี่ฟันเทียมโดยใช้หัวกรอคาร์ไบด์ (carbide bur) กรอแต่งร่วมกับการใช้กระดาษทราย ขัดด้านประชิดสันเหงือกจนเป็นระนาบ โดยเมื่อทำการเตรียมซี่ฟันเทียมเรียบร้อยแล้ว ตรวจสอบบริเวณที่จะทำการทดสอบไม่ให้มีฟองและอยู่ในชั้นฐาน (base) ของซี่ฟันเทียมเช่นเดียวกันทั้งหมดในทุกซี่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภาพตัดตามยาวของซี่ฟันเทียมก่อนตัดและซี่ฟันเทียมหลังตัดแต่งแล้ว

Figure 1 Demonstrated artificial teeth before and after prepared specimens.

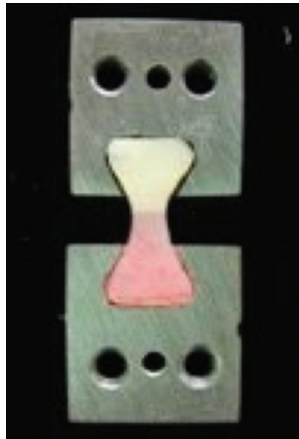
ขัดแต่งผิวฟันเทียมบริเวณที่ทำการทดสอบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (polishing machine, Imptech, DPS 3200, USA.) ที่มีน้ำหล่อตลอดเวลา ร่วมกับกระดาษทรายน้ำเบอร์ 600, 1000, 1200 เป็นเวลา 10, 20 และ 20 วินาทีตามลำดับ

การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงยึดดึง
นำซี่ฟันเทียมที่ขัดแล้วไปยึดกับซี่ฝังทำฐานสีชมพู (pink base-plate wax) และนำไปลงแบบหล่อด้วยปูนปลาสเตอร์ (Plaster of Paris) เช่นเดียวกับการทำฟันเทียมปกติ รอคจนปูนปลาสเตอร์แข็งตัวสมบูรณ์ นำเอาภาชนะหล่อแบบฟัน (dental flask) แช่น้ำร้อนประมาณ 5 นาทีเพื่อกำจัดขี้ผึ้ง ทำการแยกส่วนบนและล่างของภาชนะหล่อแบบฟันออกจากกัน กำจัดขี้ผึ้งที่เหลืออยู่โดยใช้น้ำร้อนจากเครื่องไล่ขี้ผึ้ง ทำความสะอาดด้านประชิดสันเหงือกของซี่ฟันเทียมอีกครั้งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 วินาที วางไว้ในตู้อบเพื่อให้งแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลา

แล้ว นำไปอัดอะคริลิก ตามกลุ่มที่มีส่วนผสมสารอัดแทรกอลูมินาร้อยละ 5 10 และ 15 โดยใช้ส่วนผสมตามที่บริษัทกำหนด นำไปบ่มในเครื่องบ่มอะคริลิก โดยใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง เมื่อบ่มเสร็จทำการแยกชิ้นตัวอย่างออกจากภาชนะหล่อแบบฟันและปลาสเตอร์หิน กำจัดเศษปลาสเตอร์หินที่เหลืออยู่โดยนำชิ้นตัวอย่างแช่ในสารละลายโพแทสเซียม ซิเตรต (potassium citrate) ความเข้มข้นร้อยละ 30 ร่วมกับเครื่องเขย่าอัลตราโซนิก (ultrasonic vibrator) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปยึดกับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อตัดตามแนวยาวของฟันให้ได้ความหนาชิ้นละ 2 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 450 รอบต่อนาที แรงกด 400 นิวตัน ด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (low speed cutting machine: ISOMET, BUEHLER, III) ตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นตัวอย่างโดยไม่มีฟองอากาศ หรืออะคริลิกไม่เต็มพื้นที่รอยต่อระหว่างซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียม จากนั้นกรอแต่งด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ (plain cut coarse carbide bur, Edenta AG, AU/SG, Switzerland) ให้ได้ชิ้นตัวอย่างรูปมินิดั้มเบลล์ (mini-dumbbell shape) ขนาดพอดีกับตัวจับยึดเพื่อนำไปทดสอบดังรูปที่ 2 กลุ่มละ 10 ชิ้น นำชิ้นตัวอย่างทดสอบแช่น้ำกลั่นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทดสอบ เมื่อครบตามเวลา นำชิ้นตัวอย่างทดสอบมายึดกับตัวจับยึดโลหะ (metal jig) ประกอบตัวจับยึดโลหะส่วนบนเข้าด้วยกัน และขันสกรูให้แน่นดังรูปที่ 3

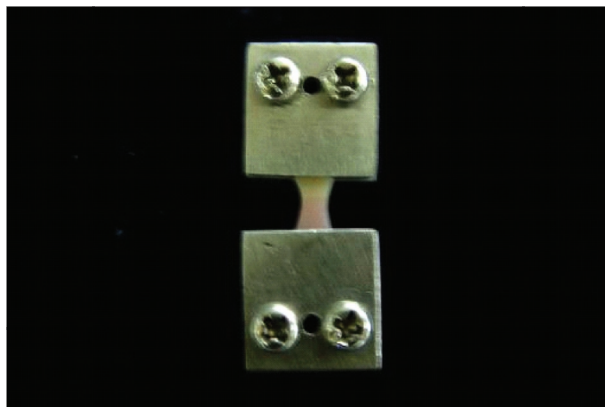
นำชิ้นตัวอย่างพร้อมตัวจับยึดมาทำการทดสอบความแข็งแรงยึดดึงโดยยึดเพื่อทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron, Model 8872, USA.) โดยใช้ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อ นาที จำกัดขนาดแรงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1000 นิวตัน เริ่มดึงจนชิ้นงานหลุดออกจากกัน บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด (maximum load) ที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างหลุดออกจากกัน ในหน่วยเป็นนิวตัน วัดขนาดพื้นที่ผิวบริเวณที่แตกหักด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล (digimatic caliper, Mitutoyo, Tokyo, Japan) นำค่าแรงดึงของชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นมาคำนวณโดยใช้สูตร

ค่าความแข็งแรงยึดดึง (MPa) = แรงดึง (นิวตัน) / พื้นที่บริเวณแตกหัก (ตารางมิลลิเมตร)



รูปที่ 2 แสดงรูปร่างมินิดัมเบลล์และการใส่ชิ้นงานตัวอย่างในโลหะตัวจับยึด

Figure 2 Demonstrated the mini-dumbbell-shaped specimen inserted in metal jig.



รูปที่ 3 แสดงชิ้นงานพร้อมตัวจับยึด ที่พร้อมทดสอบ

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

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบแล้ว มาตรวจสอบการแตกหักเพื่อจำแนกลักษณะของการแตกหัก (mode of failure) นำข้อมูลค่าความแข็งแรงยึดติดที่ได้มาวิเคราะห์สถิติ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิด ทามฮาน (Tamhan's Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยชิ้นงานที่ทดสอบทุกชิ้นจะถูกตรวจสอบบริเวณที่แตกหักเพื่อสังเกตลักษณะของการแตกหัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 35 เท่า

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของซีลิกอน

จากการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซีลิกอนบนพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินาหลังล้างด้วยเตตระไฮโดรฟลูอิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน พบว่ามีธาตุอลูมิเนียมและซีลิกอนกระจายอยู่บนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควมเอ็มพีเอส ส่วนกลุ่มของสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวนั้นพบเฉพาะธาตุอลูมิเนียมเท่านั้น จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสารคู่ควมเอ็มพีเอสสามารถเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวสารอัดแทรกอลูมินาได้โดยปริมาณของธาตุในแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 1

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดและชนิดของการแตกหัก

ค่าความแข็งแรงยึดติดในแต่ละกลุ่มและลักษณะของการแตกหักถูกแสดงในตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงยึดติดทุกกลุ่มอยู่ในช่วง 18.4-26.5 เมกกะปาสคาล โดยค่าความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มเสริมสารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวร้อยละ 15 โดยปริมาตรมีค่าต่ำสุด (18.4±3.3 เมกกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และในทุกกลุ่มทดสอบมีลักษณะการแตกหักเป็นชนิดการแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure)

บทวิจารณ์

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาถึงความแข็งแรงยึดติดระหว่างซีฟีนเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปกับฐานฟันเทียมเรซิน อะคริลิก ชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน ที่ได้รับการปรับปรุงเสริมสารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควมเอ็มพีเอส ในปริมาณของสารอัดแทรกที่ต่างกัน จากผลการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเฉพาะกลุ่ม ฐานฟันเทียม เรซิน อะคริลิก ที่เสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุอลูมิเนียมและธาตุซิลิกอนในสารอัดแทรกอลูมินาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวและได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (3 ชิ้นตัวอย่าง ต่อ กลุ่ม)

Table 1 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
0.0% MPS	100.0 (0.0)	100.0 (0.0)	--	--
0.1% MPS	96.2 (0.6)	96.4 (0.5)	3.8 (0.6)	3.6 (0.5)

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงยึดติดและลักษณะของการแตกหักในทุกกลุ่มการทดลอง

Table 2 Tensile bond strength and mode of failure of all test groups.

Condition	Tensile bond strength ±SD (MPa)	Significance (α = 0.05)	Mode of fracture and percentage
No filler (control)	25.4±3.1	a	AF:100
0.1% MPS with 5% Al	26.5±4.6	a	AF:100
0.1% MPS with 10% Al	22.8±3.8	a	AF:100
0.1% MPS with 15% Al	18.4±3.3	b	AF:100

Mean (S.D), n=10

ในกลุ่มที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

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

AF แสดงการแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure)

AF means the adhesive failure.

เอ็มพีเอส เป็นสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมและนิยมใช้ในทางทันตกรรม⁽¹³⁻¹⁶⁾ โดยเทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวสารอัดแทรกโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสในการศึกษาครั้งนี้ อ้างอิงมาจากการศึกษาที่ผ่านมา^(6,13,16) จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสสามารถเกิดปฏิกิริยาคู่ควบบนผิวสารอัดแทรกอลูมินาโดยปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ของ

สารคู่ควบเอ็มพีเอสที่ใช้เป็นปริมาณเพียงพอที่เกิดการเคลือบหนึ่งชั้น (monolayer) บนผิวสารอัดแทรกอลูมินาที่ใช้ในการทดลองโดยคำนวณจากสูตรของอาร์เคล⁽¹⁷⁾ และสรุปได้จากการวิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนที่มีค่าใกล้เคียงกันทั้งก่อนล้างและหลังล้างสารอัดแทรกอลูมินาด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟลูอริก การทดลองครั้งนี้ได้ตรวจสอบสารละลายเตตระไฮโดรฟลูอริกที่ล้างจนกระทั่งสารละลายแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟลูอริกที่ไม่มีสารอื่นปนเปื้อนเพื่อยืนยันผลของการคงอยู่ของซิลิกอนบนผิวสารอัดแทรกอลูมินา การที่สารอัดแทรกได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสแล้วเกิดการเคลือบหนึ่งชั้นให้ผลต่อการยึดระหว่างสารอัดแทรกกับ เรซิน เมทริกซ์ ที่ดีและเพิ่มคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เสริมด้วยสารอัดแทรก^(15,16) สารคู่ควบเอ็มพีเอสที่เคลือบหนึ่งชั้นจะให้การเชื่อมยึดติดกับผิวสารอัดแทรกที่แข็งแรงมากด้วยพันธะโควาเลนต์ และอีกด้านจะเชื่อมกับ เรซิน เมทริกซ์ ทำให้เกิดการเชื่อมยึดที่ดีระหว่างสารอัดแทรกกับ เรซิน เมทริกซ์^(6,13,14)

จากการศึกษาที่ผ่านมา การเชื่อมยึดระหว่างอลูมินากับ เรซิน อะคริลิก จะให้ผลการเชื่อมยึดที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารคู่ควบเอ็มพีเอสมาทำการปรับปรุงพื้นผิวของอลูมินา^(6,16) และการใช้สารอัดแทรกอลูมินาที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสและเสริมใน เรซิน อะคริลิก สามารถ เพิ่มความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) และความต้านทานต่อการสึก (wear resistance) ของชิ้นงาน เรซิน อะคริลิกได้ แต่การศึกษาที่ผ่านมาได้ใช้สารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเท่านั้น โดยไม่ได้เปรียบเทียบสารอัดแทรกในปริมาณที่แตกต่างกันไป⁽⁶⁾ ส่วนในการทดลองครั้งนี้ค่าความแข็งแรงยึดติดในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากปริมาณของสารอัดแทรกอลูมินาไม่ได้เยอะเกินไป ทำให้ไม่เกิดการขัดขวางการเชื่อมระหว่างซีฟันเทียมที่เป็นชนิดอะคริลิกกับฐานฟันเทียมที่เป็นอะคริลิก ซึ่งแตกต่างจากในกลุ่มเสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 15 โดย

น้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงยึดติดน้อยที่สุดอาจเกิดจากปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่กล่าวไว้ว่าปริมาณสารอัดแทรกอลูมินาที่เสริมไม่ได้ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลของอะคริลิกเรซิน และ อาจจะแย่ลงเมื่อเสริมในปริมาณที่มากเกินไป⁽⁸⁾ และการเชื่อมยึดกันระหว่าง เรซิน อะคริลิก กับ เรซิน อะคริลิก ย่อมให้การเชื่อมที่ดีกว่า เรซิน อะคริลิก กับ อลูมินา ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้สารคู่ควบไซเลนทำให้สารอัดแทรกที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบไซเลนเกิดการกระจายอย่างสม่ำเสมอใน เรซิน-เมทริกซ์ ซึ่งเป็นผลต่อความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในชิ้นงานที่เสริมสารอัดแทรกนั้นๆ^(14,18) รวมถึงมีความต้านทานต่อการสึกที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน^(19,20)

ถึงแม้ว่าการศึกษาในครั้งนี้การเสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ผสมลงใน เรซิน อะคริลิก ทำฐานฟันเทียมให้ค่าความแข็งแรงยึดระหว่างซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริมสารอัดแทรก แต่หากพิจารณาร่วมกับการศึกษาที่ผ่านมาที่เสริมสารอัดแทรกอลูมินาแล้วทำให้เพิ่มคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานเช่น ความต้านทานต่อการสึกและ ค่าความแข็งแรงดัดขว้างที่เพิ่มขึ้น⁽⁶⁾ การเสริมด้วยสารอัดแทรกอลูมินา จึงมีประโยชน์ในใช้เพื่อปรับปรุงวัสดุทำฐานฟันเทียมเพื่อนำไปใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องทำฟันเทียมในทางคลินิกต่อไป

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการทดลองครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. พบการคงอยู่ของธาตุซิลิกอนกระจายอยู่บนพื้นผิวของสารอัดแทรกอลูมินา หลังจากทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอส
2. การเสริมสารอัดแทรกอลูมินาที่ถูกรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบเอ็มพีเอสปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 10 ลงในฐานฟันเทียมอะคริลิกไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างซี่ฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียมอะคริลิก
3. กลุ่มเสริมสารอัดแทรกอลูมินาปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงยึดติดน้อยที่สุด

4. ทุกกลุ่มการทดสอบมีลักษณะการแตกหักเป็นชนิดการแตกหักแบบยึดติด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนส่งเสริมการวิจัย โรงพยาบาลกลาง สำนักงานการแพทย์กรุงเทพมหานคร และทุนนำเสนองานทางวิชาการ จากคณะทันตแพทยศาสตร์ 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 J* 1994; 176: 342-345.

8. Alhareb AO, Ahmad ZA. Effect of Al₂O₃/ZrO₂ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. *J Reinf Plast Compos* 2011; 30: 85-83.
9. Meric G, Ruyter IE. Effect of thermal cycling on composites reinforced with two differently sized silica-glass fibers. *Dent Mater* 2007; 23: 1157-1163.
10. 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.
11. 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.
12. Ash BJ, Siegel RW, Schadler LS. Mechanical Behavior of Alumina/Poly (methyl methacrylate) Nanocomposites. *Macromol* 2004; 37: 1358-1369.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Arkles B. *Silane coupling agent chemistry*. Pennsylvania: Petrarch Systems Catalogue; 1987, p. 59.
18. Sideridou ID, Karabela MM. Effect of the amount of 3 -methacyloxypropyltrimethoxy-silane coupling agent on physical properties of dental resin nanocomposites. *Dent Mater* 2009; 25: 1315-1324.
19. 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.
20. Nihei T, Dabanoglu A, Teranaka T, Kurata S, Ohashi K, Kondo Y, Yoshino N, Hickel R, Kunzelmann KH. Three-body-wear resistance of the experimental composites containing filler treated with hydrophobic silane coupling agents. *Dent Mater* 2008; 24: 760-764.