พลของนาโน-ซิลิกาที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนต่อคุณสมบัติดัดขวางและเสถียรภาพสีของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

Effect of Silanized Nano-Silica on Flexural Properties and Color Stability of Polymethyl Methacrylate

สุธีรา มงคลตรีรัตน์[1], พิริยะ ยาวิราช[2], มาริสา สุขพัทธี[2], ณัฐวรรธน์ ปลื้มสำราญ[2], ภัทรณัฏฐ์ บัณฑิตคุณานนต์[2], ภัทริกา อังกสิทธิ์[2], อภิชัย ยาวิราช[2], พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท แขนงวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Sutheera Mongkhontreerat[1], Piriya Yavirach[2], Marisa Sukapattee[2], Nathawat Pleumsamran[2], Pattaranat Banthitkhunanon[2], Pattarika Angkasith[2], Apichai Yavirach[2], Pisaisit Chaijareenont[2]

[1]Master degree student, Program in Prosthodonitc Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

[2]Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2560; 38(1) : 71-81
CM Dent J 2017; 38(1) : 71-81

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของนาโน-ซิลิกา (Nano-silica) ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนต่อคุณสมบัติดัดขวางและเสถียรภาพของสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

วัสดุและวิธีการ: ทดสอบคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุด บนชิ้นงานพอลิเมทิล เมทาคริเลตเสริมนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (10±0.2X 64±0.01X 3.3±0.2 มิลลิเมตร) แบ่งเป็น 4กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ใช้นาโน-ซิลิการ้อยละ 0 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักของพอลิเมทิล เมทาคริเลตหาค่าความต่างสีของชิ้นงานพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดใสและสีเหมือนฟันเสริมนาโน-ซิลิกาที่ปรับ

Abstract

Objective: To investigate the effect of silanized nano-silica on flexural properties and color stability of polymethyl methacrylate (PMMA)

Materials and methods: Flexural properties were tested by 3-point bending on silanized nano-silica-reinforced PMMA bar (10±0.2 X 64±0.01 X 3.3±0.2 millimeters). There were 4 groups of nano-silica containing at 0, 1, 3 and 5 percentages by weight (wt%) of PMMA (n=10 for each group). Color differences of clear and tooth-colored PMMA specimens (11 ±0.2 X11

Corresponding Author:

พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์
ดุษฎีบัณฑิต, อาจารย์, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Pisaisit Chaijareenont
PhD., Lecturer, Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
E-mail: ***yodent@hotmail.com***

สภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (11±0.2 X11 ±0.2 X2 ±0.2 มิลลิเมตร) ใช้นาโน-ซิลิการ้อยละ 0 1 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ทั้งหมด 8 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) คำนวณเป็นหน่วยเอนบีเอส (National Bureau of Standard: NBS units) เพื่อบอกเสถียรภาพสี

ผลการศึกษา: คุณสมบัติดัดขวางของกลุ่มนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักให้ค่าโมดูลัสดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มที่มีเสถียรภาพสี ได้แก่ กลุ่มที่ใช้พอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟันที่เสริมนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก

สรุปผลการทดลอง: นาโนซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักสามารถปรับปรุงคุณสมบัติดัดขวางได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และนาโน-ซิลิกาซึ่งปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารไซเลนปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก สามารถใช้เสริมความแข็งแรงให้แก่พอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟันโดยยังคงเสถียรภาพสีไว้ได้

คำสำคัญ: เสถียรภาพสีคุณสมบัติดัดขวางนาโน-ซิลิกา พอลิเมทิล เมทาคริเลต สารคู่ควบไซเลน

±0.2 X2 ±0.2 millimeters) with silanized nano-silica contents at 0, 1, 3 and 5 wt% (8 groups, n=10 for each group) were measured using Spectrophotometer and then calculated into NBS units (National Bureau of Standard) to indicate color stability.

Results: The statistically significant highest flexural strength was the group with silanized nano-silica at 1 wt%, and the statistically significant highest flexural modulus was the group with silanized nano-silica at 5wt%. The groups with silanized nano-siliica at 1 and 3 wt% of tooth-colored PMMA had color stability.

Conclusions: This study showed that reinforcement of PMMA with 1 wt% silanized nano-silica significantly improved the flexural properties. Tooth-colored PMMA had color stability when reinforced with 1 and 3 wt% silanized nano-silica.

Keywords: Color stability, Flexural properties, Nano-silica, Polymethyl methacrylate, Silane coupling agent

บทนำ

ฟันเทียมเฉพาะกาล (interim denture) คือ ฟันเทียมแบบติดแน่นหรือถอดได้ที่สร้างมาเพื่อให้ผู้ป่วยได้ใช้งานชั่วคราวในระหว่างขั้นตอนการสร้างฟันเทียมถาวร[1] ฟันเทียมเฉพาะกาลมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในงานทันตกรรมประดิษฐ์ เนื่องจากช่วยให้ทันตแพทย์สามารถประเมินแผนการรักษาและช่วยให้ผู้ป่วยได้มีฟันเทียมสำหรับใช้ในระหว่างการรักษา ฟันเทียมเฉพาะกาลมีหลายชนิด เช่น ฟันเทียมถอดได้ฐานพลาสติก ครอบฟันชั่วคราวและสะพานฟันชั่วคราว เป็นต้น วัสดุที่นำมาใช้สร้างฟันเทียมเฉพาะกาลควรมีคุณสมบัติสำคัญคือมี ความแข็งแรงและความสวยงาม โดยวัสดุที่นิยมนำมาสร้างฟันเทียมเฉพาะกาล คือ พอลิเมทิล เมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate หรือ PMMA) โดยพบว่ามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น สีและลักษณะที่ใกล้เคียงฟันธรรมชาติ สามารถสร้างให้มีความแนบสนิทกับซี่ฟันและอวัยวะในช่องปากได้ดี อีกทั้งมีขั้นตอนการสร้างและซ่อมแซมที่ไม่ยุ่งยาก[2] แต่พอลิเมทิล เมทาคริเลตมีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ มีความทนทานต่อแรงกระแทก (impact

strength) น้อยและสะสมความเครียด (stress) จากแรงบดเคี้ยวเกิดเป็นรอยร้าวจนแตกหักในที่สุด[3] จึงทำให้พบการแตกหักเสียหายได้บ่อยเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวปริมาณมาก[4] อีกทั้งพบว่าฐานฟันเทียมที่ผลิตจากวัสดุชนิดนี้มีอัตราการแตกหักในระยะ 3 ปีแรกสูงถึงร้อยละ 63[5]

การปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ (Polymer) ให้มีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นทำได้หลายวิธีซึ่งให้ผลแตกต่างกันไป แม้บางวิธีให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลที่ดี แต่มีข้อจำกัด เช่น ลดทอนความสวยงาม มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก หรือมีค่าใช้จ่ายสูง เป็นต้น[4-9] การเสริมวัสดุอัดแทรก (fillers) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากจนเกินไปและได้ผลดี[5] ซึ่งซิลิกา หรือซิลิกอนไดออกไซด์ (Silica, Silicon dioxide: SiO_2) เป็นวัสดุอัดแทรกแบบผงอนุภาคขนาดต่าง ๆ นิยมใช้ทางอุตสาหกรรม เนื่องจากราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับวัสดุอัดแทรกชนิดอื่น ๆ และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้หลายประการ เช่น ความทนทานต่อความร้อน การคงรูป ณ อุณหภูมิสูง ความต้านทานการสึกและความแข็งแรงเชิงกล[10,11] นาโน-ซิลิกาให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าซิลิกาทั่วไป[12] แต่ไม่ยึดติดกับพอลิเมทิล เมทาคริเลตได้โดยตรงจึงต้องใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ช่วยเพิ่มการเชื่อมยึดดังกล่าว ซึ่งพบว่าการใช้สารคู่ควบไซเลนช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงเชิงกลและความเสถียรต่ออุณหภูมิได้ เนื่องจากเกิดการเชื่อมยึดระหว่างพื้นผิวทำให้สามารถถ่ายทอดแรงได้ดี[13] สารคู่ควบไซเลนไตร-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน หรือ เอ็มพีเอส (3-methacryloxypropryltrimethoxysilane: MPS) เป็นสารคู่ควบไซเลนที่นิยมใช้ทางทันตกรรม ให้ค่าการยึดติดกับพอลิเมทิล เมทาคริเลตสูง อีกทั้งช่วยลดการดูดซึมน้ำเมื่อเทียบกับสารคู่ควบไซเลนชนิดอื่น[14,15]

ในระหว่างการบดเคี้ยวจะเกิดแรงลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงกด (compression force) และแรงดึง (tension force) กระทำต่อฟันเทียมเฉพาะกาลตลอดเวลา คุณสมบัติดัดขวาง (flexural properties) เป็นคุณสมบัติเชิงกลประเภทหนึ่งสามารถใช้ประเมินความแข็งแรงของวัสดุได้ประกอบด้วยความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) เป็นค่าความแข็งแรงเชิงกลที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักจากการโค้งงอของวัสดุและโมดูลัสดัดขวาง (flexural modulus) เป็นค่าความสามารถในการโค้งงอของวัสดุโดยไม่เกิดความเสียหายเมื่อได้รับแรง ดังนั้นคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิล เมทาคริเลตที่ใช้สร้างฟันเทียมเฉพาะกาลจึงควรมีค่า ความแข็งแรงดัดขวางสูงและโมดูลัสดัดขวางต่ำเพื่อให้ความทนทานต้านการแตกหักและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรงที่ทำเกิดการโค้งงอซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในขณะการบดเคี้ยว

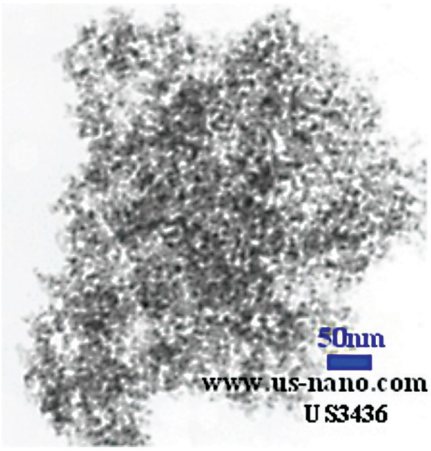
นอกจากความแข็งแรงคงทนของฟันเทียมเฉพาะกาลแล้ว ความสวยงามเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญ ปัจจัยด้านความสวยงามที่ผู้ป่วยให้ความสำคัญและมักพบความไม่พึงพอใจได้บ่อยคือ สีของวัสดุที่ใช้สร้างฟันเทียม[16-18] ถึงแม้ซิลิกามีลักษณะขาวใสแต่เมื่ออยู่ในรูปผงนาโน-ซิลิกาแล้วจะมีลักษณะขาวขุ่น อาจส่งผลต่อสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟันที่ใช้สร้างฟันเทียมเฉพาะกาลได้ หากสามารถพัฒนาให้พอลิเมทิล เมทาคริเลตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยยังคงสีที่มีความสวยงามกลมกลืนกับฟันธรรมชาติไว้ ผู้ป่วยและทันตแพทย์จะได้รับประโยชน์ทั้งสองฝ่าย ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมฟันเทียมที่แตกหักเสียหาย[19] โดยการศึกษาครั้งนี้ศึกษาผลของนาโน-ซิลิกาต่อคุณสมบัติดัดขวางและเสถียรภาพสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต ในแง่ปริมาณของนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอส โดยมีสมมติฐานหลักในงานวิจัย คือ การเสริมนาโน-ซิลิกาไม่มีผลต่อคุณสมบัติดัดขวางและเสถียรภาพของสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาต่อคุณสมบัติดัดขวางของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

นาโน-ซิลิกา (SiO_2 nanoparticles, US Research Nanomaterials, Inc., USA) ทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-20 นาโนเมตรแสดงดังรูปที่ 1 พื้นที่ผิว 170-200 ตารางมิลลิเมตรต่อกรัมและสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอส (3-methacryloxypropryltrimethoxysilane: MPS, Sigma-Aldrich Co., USA) เคลือบพื้นที่อนุภาคได้น้อยที่สุด 314 ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม[14]

เตรียมสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอสโดยคำนวณหาปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่จะใช้ปรับสภาพพื้นผิววัสดุอัดแทรกทรงกลมให้มีสารคู่ควบไซเลนเคลือบอนุภาค 1 ชั้นจากสมการของ Arkles (Arkles' equation)[20] ดังนี้



รูปที่ 1 *ภาพประกอบแสดงนาโน-ซิลิกา (SiO_2 nanoparticles, US Research Nanomaterials, Inc., USA) ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-20 นาโนเมตร*

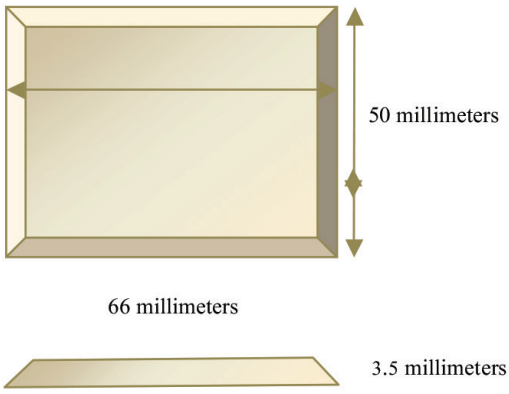
Figure 1 *An illustration shows 15 to 20 nanometer-diameter spherical nano-silica particles (SiO_2 nanoparticles, US Research Nanomaterials, Inc., USA).*

วิธีเตรียมสารคู่ควบไซเลน[21] ทำโดยผสมสาร ละลายเอทานอลร้อยละ 70 จำนวน 100 มิลลิลิตรกับสารคู่ควบไซเลนเอมพีเอส ไตรเตรทด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 99.9 เพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างให้อยู่ที่ 4.5 ปิดฝาภาชนะพอลีเอทิลีน (Polyethylene bowl) เขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นเวลา 30 นาที

วิธีปรับสภาพพื้นผิวนาโน-ซิลิกาด้วยสารคู่ควบไซเลน นำผงนาโน-ซิลิกา 100 กรัมผสมลงในภาชนะที่มีสารละลายคนให้เข้ากันด้วยเครื่องคนสารละลายด้วยก้อนกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer, MR Hei-Standard, Heidolph, Germany) ความเร็ว 375 รอบต่อนาที จากนั้นนำผงนาโน-ซิลิกาที่เตรียมได้ไปล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟลูราน หรือทีเอชเอฟ (Tetrahydrofuran: THF, Sigma-Aldrich Co., USA) โดยผสมนาโน-ซิลิกาและสารละลายทีเอชเอฟเข้าด้วยกันแล้วนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge, Rotanta 460 R, Hettich Zentrifugen, Germany) ให้ตกตะกอน ดูดสารละลายส่วนบนที่ได้ไปตรวจด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer, Varian Cary® 50, Varian, Inc., USA) ทำซ้ำจนกระทั่งสารละลายที่ได้มีค่าการดูดกลืนแสง (absorbance spectrum peak) ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารทีเอชเอฟที่ไม่มีการปนเปื้อน[21] เก็บนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วในตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วันให้สารละลายระเหยจนแห้งสนิทแล้วบรรจุในภาชนะทึบแสงที่มีฝาปิด

ขั้นตอนเตรียมผงเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) ที่เติมวัสดุอัดแทรกนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ชั่งผงนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วตามน้ำหนักที่ต้องการนำมาบดให้ละเอียดด้วยครกบดสาร (agate mortar) จากนั้นเติมผงเมทิล เมทาคริเลตบดผสมทีละน้อยจนครบปริมาณตามกำหนดจะได้ผงเมทิล เมทาคริเลตที่พร้อมใช้งาน

ขั้นตอนสร้างชิ้นงานตัวอย่างเริ่มด้วยการสร้างแม่แบบพลาสติกให้หน้าตัดบริเวณขอบมีลักษณะเอียงโดยรอบ โดยหน้าตัดส่วนฐานมีขนาดใหญ่กว่าหน้าตัดส่วนบนซึ่งกำหนดให้มีความยาว 66 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร และหนา 3.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 *ภาพประกอบแสดงลักษณะแม่แบบพลาสติกสำหรับสร้างชิ้นงานตัวอย่างที่ขอบมีลักษณะเอียง*

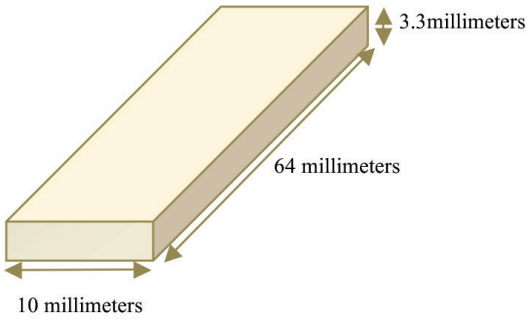
Figure 2 *An illustration shows plastic template for specimen molding which has beveled edges.*

$$\text{ปริมาณสารคู่ควบไซเลน (g)} = \frac{[\text{ปริมาณวัสดุอัดแทรก (g)} \times \text{พื้นที่ผิววัสดุอัดแทรก (mm}^2\text{/g)}]}{\text{พื้นที่ผิวที่สารคู่ควบไซเลนเคลือบได้น้อยที่สุด (mm}^2\text{/g))}}$$

สร้างเบ้าหล่อชิ้นงานตัวอย่างโดยผสมพลาสเตอร์หิน (dental stone; Kromotypo3, Lascod,Florence, Italy) เทลงในภาชนะทองเหลืองหล่อแบบ (Hanau dental flask) ส่วนครึ่งล่าง (lower half) จนเต็ม เมื่อพลาสเตอร์หินแข็งตัวเต็มที่และเย็นลงแล้วขัดแต่งให้เรียบด้วยกระดาษทรายน้ำ แล้วทาสารคั่นกลาง (separating media) ทิ้งไว้จนแห้ง นำแม่แบบพลาสติกที่เตรียมไว้วางลงบนพลาสเตอร์หินให้หน้าตัดส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ด้านบนวางห่างจากขอบภาชนะหล่อแบบเท่า ๆ กันโดยรอบ จากนั้นนำภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบนมาประกบให้สนิทและเทพลาสเตอร์หินลงไปจนเต็มปิดฝาภาชนะหล่อแบบทิ้งไว้รอให้พลาสเตอร์หินแข็งตัวและเย็นลง จากนั้นแยกภาชนะทองเหลืองหล่อแบบส่วนครึ่งบนและล่างออกจากกัน แกะแม่แบบพลาสติกที่อยู่กึ่งกลางภาชนะทองเหลืองหล่อแบบส่วนครึ่งล่างออก ทำความสะอาดเบ้าหล่อที่ได้ด้วยน้ำร้อน ทิ้งไว้ให้แห้ง ทาสารคั่นกลางที่ภาชนะหล่อแบบทั้งส่วนครึ่งบนและล่าง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง จะได้เบ้าหล่อพร้อมสร้างชิ้นงานตัวอย่างตามต้องการ

สร้างชิ้นงานตัวอย่างด้วยพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (Heat cure dentine 4F and Monomer HC, Prominent Co., Ltd., Thailand) นำส่วนผงเมทิล เมทาคริเลตที่บดผสมกับนาโน-ซิลิกาตามสัดส่วนในแต่ละกลุ่มการทดลองผสมกับส่วนของเหลวที่เป็นมอนอเมอร์ (monomer) ด้วยอัตราส่วนผง 2.5 กรัม ต่อมอนอเมอร์ 1 มิลลิลิตร รอให้ส่วนผสมเข้าสู่ระยะอ่อนนุ่ม (dough stage) จากนั้นนำไปใส่ลงในเบ้าหล่อที่เตรียมไว้ ปิดทับด้วยภาชนะทองเหลืองหล่อแบบส่วนครึ่งบนแล้วนำเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ความดัน 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 นาที นำภาชนะทองเหลืองหล่อแบบออกมาจากเครื่องอัดไฮโดรลิก แล้วแกะภาชนะทองเหลืองหล่อแบบส่วนครึ่งบนและล่างออกจากกันตัดวัสดุส่วนที่เกินออกมาจากเบ้าหล่อนำเข้าเครื่องอัดไฮโดรลิกและตัดวัสดุส่วนเกินอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์และไล่มอนอเมอร์ส่วนเกินออกไปที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 นาที แล้วเพิ่มความร้อนจนน้ำเดือดต่อเนื่องอีก 30 นาที จากนั้นรอให้เย็นในอุณหภูมิห้องแล้วแกะชิ้นงานออกมา

ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานตัวอย่างตามมาตรฐานไอเอส-โอ 20795-1(2013)[22] นำแผ่นพอลิเมทิล เมทาคริเลตที่บ่มแล้วมาขัดแต่งให้เรียบและได้ความหนา 3.3±0.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (MoPao 160E, MEGA Advance, Shangdong, China) ที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที โดยใช้กระดาษทรายน้ำความละเอียด 220 400 600 800 และ 1,000 ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดด้วยเลเซอร์ (laser CNC machine, T-BROs engineering co., Ltd, China) ให้ได้ความกว้าง 10±0.2 มิลลิเมตรและยาว 64±0.01 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3 วัดขนาดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดระยะแบบดิจิตอล (digital vernier caliper, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) คัดเลือกชิ้นงานตัวอย่างที่ปราศจากตำหนิเก็บไว้โดยการแช่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในภาชนะทึบแสงที่มีฝาปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ



รูปที่ 3 *ภาพประกอบแสดงชิ้นงานตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุด ด้วยเครื่องทดสอบสากลอินสตรอน*

Figure 3 *An illustration shows a specimen for 3-point bending testing with universal testing machine.*

การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาต่อคุณสมบัติดัดขวาง กำหนดให้มีกลุ่มทดลองทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยใช้นาโน-ซิลิกาปริมาณร้อยละ 0 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักของผงพอลิเมทิล เมทาคริเลตใช้สารคู่ควบไซเลนปรับสภาพพื้นผิวของนาโน-ซิลิกาจำนวน 1 ชั้น แสดงดังตารางที่ 1 ทดสอบคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุด (three point bending for flexural strength) ตามมาตรฐานไอเอสโอ 20795-1(2013)[22]

ตารางที่ 1 *แสดงกลุ่มทดลองในการศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาที่ต่อคุณสมบัติดัดขวางของพอลิ-เมทิลเมทาคริเลต*

Table 1 *Experimental group in the study of effect of nano-silica on PMMA flexural properties.*

Nano-silica (Percentages by Weight : wt%)	Number of Silane Layers	
	0	1
Control	n=10	-
1wt%	-	n=10
3wt%	-	n=10
5wt%	-	n=10

นำชิ้นงานมาทดสอบคุณสมบัติดัดขวางด้วยเครื่องทดสอบสากลอินสตรอน (universal testing machine, Instron 5566, USA) กำหนดระยะห่างก้านรองรับ (supporting pins) 50±0.1 มิลลิเมตร ใช้หัวทดสอบ (load cell) ขนาด 1,000 นิวตัน ที่ความเร็ว 5±0.1 มิลลิเมตรต่อนาที วางหัวทดสอบให้ตั้งฉากกับพื้นผิว ณ จุดกึ่งกลางของชิ้นงาน (แสดงดังรูปที่ 4) เริ่มให้แรงจนชิ้นงานเกิดการแตกหัก คำนวณค่าความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) และค่าโมดูลัสดัดขวาง (flexural modulus) นำค่าคุณสมบัติดัดขวางที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่ม วิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey comparisons) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 0.05 ด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS version 17.0 for Windows, IBM, USA)

รูปที่ 4 *การทดสอบคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุด ด้วยเครื่องทดสอบสากลอินสตรอน*

Figure 4 *Three-point bending testing for flexural properties with universal testing machine.*

2. การศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาต่อเสถียรภาพสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

ศึกษาผลของปริมาณนาโนซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอส จำนวน 1 ชั้นต่อเสถียรภาพสี (color stability) ของพอลิเมทิล เมทาคริเลตชิ้นงานตัวอย่างสำหรับทดสอบเสถียรภาพสีสร้างและเก็บรักษาด้วยวิธีการเดียวกันกับชิ้นงานตัวอย่างในการศึกษาคุณสมบัติดัดขวางต่างกันที่ขนาดของชิ้นงานซึ่งมีความยาว 11±1 มิลลิเมตร ความกว้าง 11±1 มิลลิเมตร และความหนา 2±1 มิลลิเมตร แบ่งกลุ่มการทดลองตามสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลตที่ใช้ได้แก่ ชนิดสีเหมือนฟันและชนิดใส แบ่งกลุ่มย่อยตามปริมาณนาโน-ซิลิกาที่ใช้ โดยปรับสภาพพื้นผิวนาโน-ซิลิกาด้วยสารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอสจำนวน 1 ชั้น โดยมีกลุ่มการทดลองทั้งหมด 8 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 *แสดงจำนวนชิ้นงานตัวอย่างของกลุ่มการทดลองในการศึกษาผลของนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนต่อเสถียรภาพสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต*

Table 2 *Shows number of specimens in experimental groups in the study of effect of silanized nano-silica on polymethyl methacrylate color stability.*

Polymethyl Methacrylate	Nano-silica (Percentages by Weight: wt %)			
	0	1	3	5
Clear	n = 10	n = 10	n = 10	n = 10
Tooth-colored	n = 10	n = 10	n = 10	n = 10

นำชิ้นงานตัวอย่างมาอ่านค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer, Ultrascan XE, Hunter Lab, USA) ได้ค่าสีตามระบบของ CIE L*a*b (CIE L*a*b system) ค่าความต่างของสี (color difference: $\Delta E = [(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$)[23,24,25] ได้การสมการกำหนดให้ค่าสีของกลุ่มควบคุมเป็นค่าตั้งต้นเทียบกับค่าสีของชิ้นงานแต่ละชิ้นในกลุ่มที่ใช้พอลิเมทิล เมทาคริเลต

สีเดียวกัน และหาค่าเฉลี่ยความต่างของสีของแต่ละกลุ่ม

ค่าความต่างของสีได้จากการคำนวณค่าสีที่อ่านจากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง แม้จะเป็นตัวเลขที่ชัดเจนแต่ไม่สามารถสื่อถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในการรับรู้ทางสายตามนุษย์ได้ จึงต้องนำค่าเฉลี่ยความต่างของสีของแต่ละกลุ่มมาคำนวณให้เป็นหน่วยเอ็นบีเอส (National Bureau of Standards; NBSunit=ΔE x 0.92)[23] เพื่อแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีทางคลินิกอีกที กำหนดให้ค่าหน่วยเอนบีเอสที่ถือว่ามีเสถียรภาพสีอยู่ระหว่าง 0.0-1.5 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 *แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีทางคลินิกตามหน่วยเอนบีเอส ซึ่งค่าที่ไม่เกิน 1.5 ถือว่ามีเสถียรภาพสี*

Table 3 *Shows clinical color changing according to NBS units, which within 1.5 NBS units is indicated to have color stability.*

Color Differences	NBS Unit	Color Stabiliy
Extremely slight change	0.0-0.5	☑
Slight change	0.5-1.5	☑
Perceivable change	1.5-3.0	☒
Marked change	3.0-6.0	☒
Extremely marked change	6.0-12.0	☒
Change to other color	>12.0	☒

ผลการศึกษา

1. การศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาต่อคุณสมบัติดัดขวางของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

ผลการทดลองปริมาณของนาโน-ซิลิกาต่อคุณสมบัติดัดขวางแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดัดขวางของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 51.90±5.09 เมกกะปาสคาล กลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 72.36±5.65 เมกกะปาสคาล กลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 58.09±3.27 เมกกะปาสคาล และกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 58.00±7.64 เมกกะปาสคาล ซึ่งกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ กลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4 *แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติดัดขวางของพอลิเมทิล เมทาคริเลตที่เสริมความแข็งแรงด้วยนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซ-เลนจำนวน 1 ชั้นในปริมาณแตกต่างกัน*

Table 4 *Means with standard deviations of flexural properties of PMMA reinforced with varied amounts of nano-silica which surface treated with one layer of silane coupling agent.*

Experimental Groups	Flexural Properties	
	Flexural Strength (Megapascal)	Flexural Modulus (Gigapascal)
Control	51.90±5.09[a]	2.59±0.11[x,y]
1 wt%	72.36±5.65[b]	2.61±0.10[y]
3 wt%	58.09±3.27[a]	2.50±0.06[x]
5 wt%	58.00±7.64[a]	2.79±0.07[z]

ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสดัดขวางของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 2.59±0.11 กิกะปาสคาลกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.61±0.10 กิกะปาสคาลกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.50±0.06 กิกะปาสคาลและกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.79±0.07 กิกะปาสคาลซึ่งกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยโมดูลัสดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ กลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกลุ่ม นาโน-ซิลิการ้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยโมดูลัสดัดขวางต่ำสุดแต่ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม

2. การศึกษาผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาต่อเสถียรภาพสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต

ผลของปริมาณนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน 1 ชั้นต่อเสถียรภาพสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต แสดงดังตารางที่ 5 จากการวัดค่าสีพบกลุ่มควบคุมของพอลิ-เมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟัน มีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 81.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.47 และค่าสีของกลุ่มควบคุมของพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดใสมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 80.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71 ซึ่งค่าสีของทั้งสองกลุ่มใช้เป็นค่าตั้งต้นในการคำนวณหาค่าความต่างสีจากกลุ่มอื่น เมื่อ

ได้ค่าความต่างสีจากแต่ละกลุ่มจะนำไปคำนวณเพื่อเทียบเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงทางคลินิกในหน่วยเอ็นบีเอส พบว่ามีเพียง 2 กลุ่มที่มีเสถียรภาพของสี โดยมีค่าหน่วยเอ็นบีเอสที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ได้แก่ กลุ่มพอลิเมทิล เมทาคริเลต ชนิดสีเหมือนฟันที่เสริมนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ

อภิปรายผล

จากผลการทดลองปฏิเสธสมมติฐานหลักในงานวิจัย โดยพบว่า การเสริมนาโน-ซิลิกามีผลต่อคุณสมบัติดัดขวางและเสถียรภาพของสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลต การวิจัยครั้งนี้ใช้ซิลิกาที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรเป็นวัสดุอัดแทรกในปริมาณที่เท่ากันที่มีขนาดเล็กจะให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับพอลิเมอร์ได้มากกว่า[12] ช่วยลดปริมาณสารอัดแทรกที่ต้องใช้ สารคู่ควบไซเลนเอ็มพีเอสช่วยเพิ่มการยึดติดกับพอลิเมทิล เมทาคริเลต โดยสารคู่ควบไซเลนทำหน้าที่ให้การเชื่อมยึดที่แข็งแรงที่สุดเมื่อเกิดการเชื่อมยึดชั้นแรกเพียงชั้นเดียว (monolayer) เรียกว่าชั้นเคมีซอร์บ (chemisorbed layer) ส่วนชั้นอื่น ๆ ที่เกิดจะเป็นชั้นฟิสิซอร์บ (physisorbed layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความอ่อนแอ[26] และอาจส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิล เมทาคริเลต ในการศึกษานี้ล้างนาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายทีเอชเอฟในขั้นสุดท้ายเพื่อกำจัดชั้นฟิสิซอร์บของสารคู่ควบไซเลนออกไป คงไว้แต่ชั้นเคมีซอร์บ

ขณะทดลองคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุดผิวของชิ้นงานจะเกิดแรงกดและแรงดึงบนพื้นผิวแต่ละด้าน สามารถคำนวณได้ทั้งค่าความแข็งแรงดัดขวางซึ่งบอกความสามารถต้านทานต่อความเค้นซึ่งทำลายชิ้นงานทดลองและโมดูลัสดัดขวางซึ่งบอกถึงความแข็งเกร็ง (rigidity) ของวัสดุ[22] ในการทดลองตอนที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติดัดขวาง พบว่าทุกกลุ่มทดลองให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมนาโน-ซิลิกา[11] โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางของกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อเสริมนาโน-ซิลิการ้อยละ 3 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางจะลดลงต่างจากกลุ่มร้อยละ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ความแข็งแรงดัดขวางระหว่างกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กล่าวได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณนาโน-ซิลิกามากกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางมีแนวโน้มลดลง[11] สอดคล้องกับการศึกษาของBalos และคณะ ปี 2014[27] ซึ่งอธิบายถึงความสามารถในการต้านแรงลดลงเนื่องจากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของอนุภาคนาโน-ซิลิกาเมื่อใช้ปริมาณมากจนเกิดการเกาะตัวของอนุภาค (aggregation)

ค่าโมดูลัสดัดขวางที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณนาโน-ซิลิกาที่ใช้ พบว่ากลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยโมดูลัสดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าโมดูลัสดัดขวางสูงหมายถึงความแข็งเกร็งที่ลดลงพอลิเมทิล เมทาคริเลตเปลี่ยนรูปร่างได้มากขึ้น มีผลต่อระยะการโค้งงอที่เพิ่มขึ้นของชิ้นงานทดลองในการทดสอบคุณสมบัติดัดขวางแบบ 3 จุดดังจะเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดัดขวางของกลุ่มนาโน-ซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Jaidamrong และ Phankosol ปี 2011 และการศึกษาของ Yang และ Friedrich ปี 2004[11,13]

ตารางที่ 5 *แสดงค่าความความต่างสี ค่าหน่วยเอ็นบีเอสและเสถียรภาพของสีของทุกกลุ่มการทดลองจากการศึกษาเสถียรภาพของสี*

Table 5 *Color differences, NBS units and color stability of all groups from color stability experiment.*

Nano-silica	Clear Polymethyl Methacrylate			Tooth-colored Polymethyl Methacrylate		
	ΔE Mean (SD)	NBS Mean (SD)	Unit Color Stability	ΔE Mean (SD)	NBS Mean (SD)	Unit Color Stability
1%	4.18 (1.09)	3.85 (1.01)	☒	1.21 (0.45)	1.12 (0.41)	☑
3%	9.55 (0.77)	8.79 (0.71)	☒	1.52 (0.37)	1.40 (0.34)	☑
5%	9.07 (0.87)	8.34 (0.80)	☒	1.86 (0.20)	1.72 (0.18)	☒

ความสวยงามเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าความแข็งแรงของฟันเทียมเฉพาะกาล สีของวัสดุที่ใช้สร้างฟันเทียมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสวยงามซึ่งมีผลต่อการยอมรับฟันเทียมของผู้ป่วย[16-18] เสถียรภาพของสีเป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดสีที่เปลี่ยนไปหลังเสริมนาโน-ซิลิกาในปริมาณต่าง ๆ กำหนดเสถียรภาพของสีที่ค่าหน่วยเอ็นบีเอสไม่เกิน 1.5 จากตารางที่ 3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีทางคลินิกค่าหน่วยเอ็นบีเอสที่มากกว่า 1.5 คือ มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่พอรับรู้ได้ (perceivable change) ซึ่งถือว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในระดับที่สัมผัสได้ด้วยสายตา ในการทดลองตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาเสถียรภาพของสี ไม่พบกลุ่มที่มีเสถียรภาพของสีในกลุ่มพอลิเมทิล เมทาคริเลทชนิดใส เมื่อพิจารณากลุ่มที่เสริมปริมาณนาโน-ซิลิการ้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก ระหว่างกลุ่มพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดใสและชนิดสีเหมือนฟันจะพบว่ากลุ่มชนิดสีเหมือนฟันมีเสถียรภาพของสีทั้งนี้คาดว่าสีของรงควัตถุในพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟันน่าจะมีผลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีในคลินิกโดยจะเกิดการบดบังการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นจากอนุภาคนาโน-ซิลิกา

ในการศึกษานี้มุ่งหวังพัฒนาให้พอลิเมทิล เมทาคริเลตที่ใช้สร้างฟันเทียมเฉพาะกาลมีความแข็งแรงขึ้นโดยยังคงลักษณะสีเดิมไว้ ฟันเทียมเฉพาะกาลที่มีความแข็งแรงนั้นส่งผลให้ผู้ป่วยสามารถใช้ฟันเทียมได้เต็มประสิทธิภาพ ส่วนความสวยงามจะช่วยเพิ่มความร่วมมือในการใช้ฟันเทียมเฉพาะกาลอย่างต่อเนื่อง เพราะความพึงพอใจของผู้ป่วยต่อความสวยงามของฟันเทียมส่งผลต่อความมั่นใจในการใช้งานฟันเทียมของผู้ป่วยในชีวิตประจำวัน[16,18] ทำให้ทันตแพทย์สามารถประเมินและให้การรักษาตามแผนที่วางไว้ได้อย่างราบรื่น ช่วยประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมฟันเทียมที่เสียหายนำมาสู่คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของผู้ป่วยในระหว่างการรอคอยฟันเทียมถาวรต่อไป ในการทดลองนี้พอลิเมทิล เมทาคริเลตเสริมความแข็งแรงด้วยนาโน-ซิลิกาที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักสามารถให้ทั้งความแข็งแรงและความสวยงาม ช่วยปรับปรุงคุณภาพของฟันเทียมเฉพาะกาลได้ เนื่องจากให้ความแข็งแรงดัดขวางสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหมายถึงความสามารถในการต้านทานการแตกหักเมื่อโค้งงอได้สูงสุดในกลุ่มทดลองทั้งหมด อีกทั้งให้ค่าโมดูลัสดัดขวางต่ำซึ่งบอกถึงความแข็งของพอลิเมทิล เมทาคริเลตที่สูงขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ลดลง เมื่อพิจารณาการใช้งานทางคลินิกแล้วจะเห็นว่าเป็นผลดีต่อชิ้นงานฟันเทียมเฉพาะกาล เช่น ครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราว เพราะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อยส่งผลต่อความแนบสนิทของขอบชิ้นงานกับตัวฟันขณะรับแรงบดเคี้ยว นอกจากการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลแล้วลักษณะสีของพอลิเมทิล เมทาคริเลตยังคงมีความเสถียร ซึ่งสีเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความสวยงามของฟันเทียมเฉพาะกาล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้นาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เสริมความแข็งแรงให้แก่พอลิเมทิล เมทาคริเลตที่ใช้สร้างฟันเทียมเฉพาะกาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดลองเพื่อพัฒนาการใช้นาโน-ซิลิกาเสริมความแข็งแรงของพอลิเมทิล เมทาคริเลต คุณสมบัติดัดขวางเป็นเพียงส่วนหนึ่งของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุซึ่งต้องศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลด้านอื่นต่อไป นอกจากนี้การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะภายนอกที่ส่งผลต่อความสวยงาม เช่น ความเรียบของพื้นผิวและเสถียรภาพสีหลังการใช้งาน จะเป็นข้อมูลอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้การพัฒนานี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นต่อไป

สรุปผลการศึกษา

1. นาโน-ซิลิกาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักสามารถปรับปรุงคุณสมบัติดัดขวางได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. นาโน-ซิลิกาซึ่งปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารไซเลนปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก สามารถใช้เสริมความแข็งแรงให้แก่พอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดสีเหมือนฟันโดยยังคงเสถียรภาพสีไว้ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนส่งเสริมการวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยทางทันตแพทยศาสตร์และศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณ อ.ทพญ.ดร.อารีรัตน์ นิรันดร์สิทธิรัชต์

ผู้ให้คำปรึกษาทางด้านการวิเคราะห์สถิติ

เอกสารอ้างอิง

1. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 2005; 1: 46.
2. Souzaa FD, Panzeria H, Vieiraa MA. Impact and fracture resistance of an experimental acrylic polymer with elastomer in different proportions. *Mat Res* 2009; 12: 415-418.
3. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Transverse strength and fatigue of denture acrylic-glass fiber composite. *Dent Mater* 1994; 10: 116-121.
4. Çökeliler D, Erkut S, Zemek J, Biederman H, Mutlu M. Modification of glass fibers to improve reinforcement: a plasma polymerization technique. *Dent mater* 2007; 23: 335-342.
5. Jagger DC, Harrison A, Jandt KD. The reinforcement of dentures. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 185-194.
6. Yazdanie N, Mahood M. Carbon fiber acrylic resin composite: an investigation of transverse strength. *J Prosthet Dent* 1985; 53: 543-547.
7. Berrong IM, Weed RM, Young JM. Fracture resistance of Kevlar-reinforced poly (methyl methacrylate) resin: a preliminary study. I*nt J Prosthodont* 1990; 3: 391-395.
8. Aydin C, Yilmaz H, Caglar A. Effect of glass fiber reinforcement on the flexural strength of different denture base resins. *Quintessence Int* 2002; 33: 457-463.
9. Braden M, Davy KWM, Parker S, Ladizesky NH, Ward IM. Denture base poly (methyl methacrylate) reinforced with ultra-high modulus polyethylene fibres. *Br Dent J* 1988; 164: 109-113.
10. Morgan AB, Antonucci JM, Van Landingham MR, Harris RH, Kashiwagi T. Thermal and flammability properties of a silica-PMMA nanocomposite. *Polym Mater Sci Eng* 2000; 83: 57-58.
11. Jaidamrong J, Phankosol P. *Flexural strength of modified acrylic resin tooth material.* Rajamangala University of Technology Isan, The 23rd national graduate research conference proceeding; 2011: 202-206. (in Thai)
12. Friedrich K, Fakirov S, Zhang Z. *Polymer composites: from nano-to macro-scale.* 1st ed. New York: Springer Science & Business Media; 2005: 47-48.
13. Yang F, Nelson GL. PMMA/silica nanocomposite studies: synthesis and properties. *J Appl Polym Sci* 2004; 91: 3844-3850.
14. 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.
15. Karabela MM, Sideridou ID. Effect of the structure of silane coupling agent on sorption characteristics of solvents by dental resin-nanocomposites. *Dent Mater* 2008; 24: 1631-1639.
16. Langer A, Michman J, Seifert I. Factors influencing satisfaction with complete dentures in geriatric patients. *J Prosthet Dent* 1961; 11: 1019-1031.
17. Tin-Oo MM, Saddki N, Hassan N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. *BMC Oral Health* 2011; 11:16.
18. Carlsson GE, Otterland A, Wennstrom A. Patient factors in appreciation of complete dentures. *J Prosthet Dent* 1967; 17: 322-328.
19. Hamza TA, Rosenstiel SF, El-Hosary MM, Ibraheem RM. Fracture Resistance of Fiber-Reinforced PMMA Interim Fixed Partial Dentures. *J Prosthodont* 2006; 15: 223-228.
20. Arkles B. *Silane coupling agent chemistry.* 1st ed. Pennsylvania: Petrarch Systems; 1987: 59.

21. 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)
22. BSI. *Dentistry - base polymers - Part 1: Denture base polymers 2013* (reference number ISO 20795-1:2013). Switzerland, International Organization for Standardization; 2013.
23. Guang H, Hiroshi M, Ying Ai L, Sinshuke S, Taizo H. Influence of denture cleansers on the color stability of three types of denture base acrylic resin. *J Prosthet Dent* 2009; 101: 205-213.
24. Marcelo CG, Bruna CRZ, Daniela MdS, Mario ACS, Amalia M. Effect of intrinsic nanoparticle pigmentation on the color stability of denture base acrylic resins. *J Prosthet Dent* 2013; 110: 101-106.
25. Wirley GA, Valentim ARB, Murillo SP, Marcelo CG. Effect of polymerization methods and thermal cycling on color stability of acrylic resin denture teeth. *J Prosthet Dent* 2009; 102: 385-392.
26. Culler SR, Ishida H, Koenig JL. Structure of silane coupling agents adsorbed on silicon powder. *J Colloid Interface Sci* 1985; 106: 334-346.
27. Balos S, Pilic B, Markovic D, Pavlicevic J, Luzanin O. Poly (methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 327-334.

Faculty of Dentistry
Chiang Mai University

Cleft Center

Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

From Cleft to Sm:)e

by our hearts

For more information or donation please contact
Department of Orthodontics and Pedodontics
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
Tel. 053-944464-65