

## ผลของอนุภาคนาโนเงินต่อความทนแรงอัดของฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซิน

## Effect of Silver Nanoparticles on the Compressive Strength of Acrylic Denture Base

ณปภา เอี่ยมจิรกุล<sup>1</sup> และ ปิยะนารถ เอกวรพจน์<sup>2</sup>  
Napapa Aimjirakul<sup>1</sup> and Piyanart Ekworapoj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

<sup>1</sup>Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Bangkok

<sup>2</sup>ภาควิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

<sup>2</sup>Department of General Dentistry, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Bangkok

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของอนุภาคนาโนเงินที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันต่อความทนแรงอัดของฐานฟันเทียมอะคริลิก โดยเตรียมชิ้นงานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และหนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 80 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 20 ชิ้นตามอัตราส่วนของอนุภาคนาโนเงินที่ผสมเข้าไปในอะคริลิกเรซินที่ร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบสากล ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อินฟราเรด พบว่ากลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 และ 3 มีค่าความทนแรงอัดสูงกว่ากลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนเงินอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า อนุภาคนาโนเงินฝังตัวเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ และมีการกระจายเป็นเนื้อเดียวกันบนพื้นผิวของชิ้นงาน นอกจากนี้ชิ้นทดสอบที่มีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินต่างกัน มีการเกิดพอลิเมอร์ไม่แตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินมีผลต่อความทนแรงอัดของชิ้นงานอะคริลิกเรซิน อนุภาคนาโนเงินในอะคริลิกเรซินที่เพิ่มมากขึ้น ความทนแรงอัดยังมีค่าสูงขึ้น และการเติมอนุภาคนาโนเงินไม่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์

**คำสำคัญ:** ฐานฟันเทียมอะคริลิก, ความทนแรงอัด, อนุภาคนาโนเงิน

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of silver nanoparticles with different ratios on the compressive strength of the acrylic denture base. A total of eighty specimens (4 mm in diameter and 6 mm thickness) were fabricated from self-cured acrylic resin. Four groups (n = 20) were divided according to the concentration of silver nanoparticles incorporated to acrylic resin: 0, 1, 2 and 3 % w/w. All specimens were prepared for the compressive strength test using universal testing machine. The dispersion of silver

nanoparticles was evaluated by Scanning Electron Microscope (SEM). Polymerization was analyzed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The result showed that the compressive strength of acrylic resin containing 2 % and 3 % of silver-nano was significantly higher than that of acrylic resin containing 1 % silver-nano and the control group ( $p < 0.05$ ). SEM images confirmed the presence of silver-nano embedded to the polymer matrix. Nanoparticles are homogeneously dispersed over the specimen surface. In addition, polymerization of different ratios of silver nanoparticles was not different. This study showed that the concentrations of silver nanoparticles affect the compression strength of the acrylic resin. They are correlated: The higher the concentration of silver-nano, the greater the compressive strength. Moreover, the addition of silver nanoparticles has no effect on the polymerization of acrylic resin.

**Keywords:** Acrylic denture base, Compressive strength, Silver nanoparticles

Received Date:

Accepted Date:

doi:

**ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:**

ณปภา เอี่ยมจิรกุล ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 ถนนสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110 ประเทศไทย โทรศัพท์: 02-6495212 โทรสาร: 02-6641882 อีเมล: napapa@g.swu.ac.th

**Correspondence to:**

Napapa Aimjirakul. Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, 114 Sukhumvit 23 Rd, Wattana, Bangkok 10110 Thailand Tel: 02-6495212 Fax: 02-6641882 Email: napapa@g.swu.ac.th

ในทางทันตกรรม อะคริลิกเรซินได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำฐานฟันเทียม เมื่อใช้ฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินไปเป็นระยะเวลาอันยาวนานมักพบปัญหา มีคราบสีดำของเชื้อราเกาะติดที่ด้านติดกับเนื้อเยื่อ หรือบริเวณขอบของฟันเทียมอันเนื่องมาจากการสะสมคราบจุลินทรีย์ทั้งเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะปัญหาการสะสมในส่วนลึกของฐานฟันเทียมของเชื้อแคนดิดา อัลบิแคนส์ (*Candida albicans*) และเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ (*Streptococcus mutans*)<sup>1,2</sup> ในวงการอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยการเติมอนุภาคนาโนเงินในกระบวนการผลิตและให้ตรารับรองบรรจุภัณฑ์ที่มีการต่อต้านเชื้อได้แก่ ตราไมโครแบน (Microban) อนุภาคนาโนเงินได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหามีคราบสีดำ อันเนื่องมาจากการเกาะติดของเชื้อราบริเวณผิวของฐานฟันเทียมพลาสติก ทำให้มีความสะอาดและปลอดเชื้อเมื่อคนไข้ต้องใช้เวลาเป็นระยะเวลานาน

นอกจากนี้ การเติมหรือเพิ่มส่วนของอนุภาคนาโนเงินในส่วนประกอบของวัสดุทางการแพทย์อื่น ๆ ยังไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการหรือส่งผลกระทบต่อเซลล์ภายในร่างกาย คุณสมบัติชีวภาพเป็นคุณสมบัติที่ควรได้รับการพิจารณาก่อนการดัดแปลงวัสดุ จากรายงานวิจัยของ Chen และคณะ ในปี ค.ศ.2007 ทำการทดลองประเมินประสิทธิภาพการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและคุณสมบัติการสร้างเซลล์กระดูก เมื่อผสมส่วนของสารเงินเข้าไปในวัสดุสร้างกระดูกที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นหลัก พบว่า วัสดุตั้งเดิมและวัสดุดัดแปลงด้วยสารเงินไม่มีความแตกต่างในการเกิดการแผ่ขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงของเซลล์กระดูก (bone cell proliferation and differentiation) นอกจากนี้วัสดุสร้างเซลล์กระดูกยังมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อสแตฟิโลคอคคัส อีพิดีเดมิติส (*Staphylococcus epidermidis*) สายพันธุ์ ATCC 35984 และ สแตฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ซึ่งยืนยันว่าอนุภาคนาโนเงิน มีคุณสมบัติชีวภาพที่ยอมรับได้<sup>3</sup>

โดยทั่วไปการเติมอนุภาคนาโนเงินมีหลายรูปแบบ ทำให้เกิดผลต่อการต่อต้านเชื้อ โดยการลดการเกาะติดบนแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นบนผิวฟันและผิวฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุ จากรายงานวิจัยของ de Castro และคณะ ในปี ค.ศ.2016 พบว่า การเตรียมอนุภาคนาโนเงินในรูปแบบของอนุภาคนาโนของซิลเวอร์นาโนเทค เมื่อเติมลงในอะคริลิกเรซินทางทันตกรรมในปริมาณที่

เหมาะสมไม่เกินร้อยละ 1 ให้ผลในการลดการสร้างแผ่นฟิล์มจากน้ำลาย ที่มีส่วนประกอบของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในช่องปากได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลสูญเสียไป<sup>4</sup>

อนุภาคเงินที่ผ่านการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีนาโนเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการเพิ่มคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์บริเวณผิวด้านในของฐานฟันเทียม เนื่องจากเมื่อวัสดุเติมแต่งมีขนาดเล็กกว่าหนังกจะลดลงจนสามารถอยู่บริเวณผิวทำให้เกิดปฏิกิริยาในการฆ่าเชื้อเมื่อเชื้อมาสัมผัสบริเวณพื้นผิว เป็นต้น<sup>5</sup> มีรายงานพบว่าอนุภาคเงินมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อที่เป็นสาเหตุการก่อให้เกิดโรคในร่างกายมนุษย์ได้ถึง 650 ชนิดแม้จะใช้ความเข้มข้นต่ำ<sup>6,7</sup> นอกจากนี้อนุภาคนาโนเงินไม่เป็นพิษมีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ มีคุณสมบัติชอบน้ำสูงและสามารถละลายในน้ำและในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี วิธีการทำง่ายไม่ยุ่งยาก จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในทางการแพทย์ได้<sup>8</sup> ในทางทันตกรรมมีการนำอนุภาคนาโนเงินมาใช้ในกลุ่มวัสดุอุดฟันคอมโพสิต<sup>9-11</sup> วัสดุที่นำมาใช้ทำรากเทียม<sup>12,13</sup> และวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ เพื่อผลในการต่อต้านเชื้อ<sup>14</sup>

โรคปากอักเสบเหตุฟันเทียม (denture stomatitis) เป็นการอักเสบของเนื้อเยื่อที่รองรับได้ฐานฟันเทียมสามารถพบในผู้ที่ใส่ฟันเทียมได้ถึงร้อยละ 11 - 67<sup>15,16</sup> ร้อยละ 60 ของสาเหตุหลักมาจากการติดเชื้อราประจำถิ่นในช่องปากผู้ใส่ฟันเทียม<sup>17,18</sup> ดังนั้นการพัฒนาให้ฐานฟันเทียมอะคริลิกสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์จึงมีความสำคัญในผู้ป่วยสูงอายุที่ใส่ฟันเทียมและมีสุขอนามัยในช่องปากไม่ดี ทำให้ผู้ป่วยเหล่านั้นสามารถลดสภาวะปากอักเสบเหตุฟันเทียมได้<sup>19</sup>

งานวิจัยของ Poolnaum และคณะในปี ค.ศ. 2014 เกี่ยวกับประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนเงินในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนพื้นผิวด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบการยับยั้งเชื้อแห่งประเทศไทยญี่ปุ่น (Antibacterial products -- Test for antibacterial activity and efficacy, JISZ 2801:2000) นั้น พบว่า อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 0.5 และ 1.25 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสแตฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) สายพันธุ์ ATCC 6538p ได้<sup>20</sup> ซึ่งยืนยันว่าฐานฟันเทียมอะคริลิกที่ผสมอนุภาคนาโนเงินมีฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์นอกเหนือจากคุณสมบัติการยับยั้งเชื้อที่ควรมียูในฐานฟันเทียมอะคริลิกแล้ว ควรคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลที่เพียงพอ ซึ่งเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับวัสดุฐานฟันเทียมที่ทำให้ประสบความสำเร็จในผู้ป่วยไร้ฟันเช่นกัน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของการเติมอนุภาคนาโนเงินที่ได้รับการดัดแปลงให้เข้ากันได้กับอะคริลิกเรซินสำหรับทำฐานฟันเทียมพลาสติก (Silver nano modified polymethyl methacrylate) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุฐานฟันเทียมที่มีโพลีเมทิลเมทาไครเลท เป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะมีการทดสอบคุณสมบัติทางกลที่สำคัญคือ ความทนแรงอัดของวัสดุ (compressive strength) ป้องกันการแตกหักของฟันเทียมที่เกิดจากการใช้งาน ตรวจคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาผลกระทบของอนุภาคนาโนเงินต่อการเกิดพอลิเมอร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยอินฟราเรด

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### การเตรียมดัดแปลงส่วนผงของอะคริลิกชนิดบ่มเองด้วยอนุภาคนาโนเงิน

การเตรียมดัดแปลงส่วนผงของอะคริลิกชนิดบ่มเอง โดยการชั่งส่วนผงของอะคริลิก ปริมาณ 100 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดระดับดิจิตอล (Sartorius BP 210S, Digital Analytical Balance Scale, 210 g/0.0001 g, Germany) จากนั้นผสมอนุภาคนาโนเงินน้ำหนัก 1 2 และ 3 กรัม ผงอะคริลิกเรซิน ปริมาณ 100 กรัม

#### การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ผสมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง (Tokuso curefast, Tokuyama, Tokyo, Japan) กับ อนุภาคนาโนเงินชนิดเงินซีโอไลต์ (Zeomic AJ10N) (Sinanen Zeomic Co., Ltd., Japan) ด้วยวิธีการผสมแบบธรรมดา (Simple blending) จากนั้นนำมาเตรียมชิ้นงานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรและหนา 6 มิลลิเมตร ตาม ISO 20795-1:2013 (Dentistry – Base polymers – Part 1: Denture base polymers) จำนวน 80 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ชิ้นงาน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองไม่มีการผสมอนุภาคนาโนเงิน (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มที่ 2 อะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง ผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

กลุ่มที่ 3 อะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง ผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

กลุ่มที่ 4 อะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง ผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

การเตรียมชิ้นงานกระทำจากแม่พิมพ์แบบที่แยกได้ (split mould) โดยทาวาสลีนที่แม่พิมพ์แบบและกระจกปิดที่มีขนาด 5x10 มิลลิเมตร ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันใช้เวลาผสม 10 วินาที เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์แบบ แล้วถ่วงด้วยเครื่องกดอัด 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 นาที จึงนำออกจากแม่พิมพ์แบบ ปลอຍอะคริลิกเรซินทิ้งไว้ให้บ่มเอง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปขัดกระดาษทราย เบอร์ 800 1200 และ 1500 แช่ชิ้นงานในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron5566, Wycombe, UK) ใช้ความเร็วหัวอัด 1 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงกดอัดจะได้รับการคำนวณอัตโนมัติจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยประเมินจากค่าแรงสูงสุดที่ทำให้วัสดุแตกหักและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานจากสูตรคำนวณ ดังสมการข้างล่าง

$$C = 4P/\pi d^2$$

เมื่อ C แทนค่าความแข็งแรงกดอัดหน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa) ส่วน P แทนค่าแรงกดอัดสูงสุด (นิวตัน) และ d แทนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน่วยเป็นมิลลิเมตร

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคนาโนเงินด้วยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) (JEOL JSM-6510LV JEOL Ltd., Akishima, Japan)

วิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) (Spectrometer, Perkin Elmer, Boston, USA) โดยนำอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 0 1 2 และ 3 ที่ได้รับการผสมกับส่วนเหลว ที่เวลาการก่อตัว 5 นาทีและ 24 ชั่วโมงหลังการผสม มาบดเป็นผงรวมกับผงโปแตสเซียมโบไมด์ (KBr) และอัดเป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์อินฟราเรดเพื่อทดสอบการเกิดพอลิเมอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและการทดสอบแอลเอสดีโพสฮอค (One-Way ANOVA and LSD Post Hoc test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ความทนแรงอัดของชิ้นงานอะคริลิกเรซินดัดแปลงด้วย อนุภาคนาโนเงินในแต่ละกลุ่มการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 3 ( $908.97 \pm 36.05$  MPa) มีความทนแรงอัดมากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มอะคริลิกเรซินชนิด

บ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 ( $908.38 \pm 31.34$  MPa) กลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 ( $883.35 \pm 41.05$  MPa) และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนเงิน ( $881.83 \pm 29.17$  MPa) ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความทนแรงอัด (MPa) ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

**Table 1** Mean and standard deviation) of compressive strength of each group (MPa).

Groups	N	Mean	SD
0 %	20	881.83 <sup>a</sup>	29.17
1 %	20	883.35 <sup>a</sup>	41.05
2 %	20	908.38 <sup>b</sup>	31.34
3 %	20	908.97 <sup>b</sup>	36.05

\* Groups with the same superscripted letter indicate no significant differences between groups at  $p < 0.05$ , a equivalent to p value at 0.890 and b equivalent to p value at 0.957.

SD = standard deviation.

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดของชิ้นงาน อะคริลิกเรซินดัดแปลงด้วยอนุภาคนาโนเงินในแต่ละกลุ่มการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินมีผลต่อความ

ทนแรงอัดของชิ้นงานอะคริลิกเรซินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.014$ ) (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA)

**Table 2** Statistical Analysis (One-Way ANOVA).

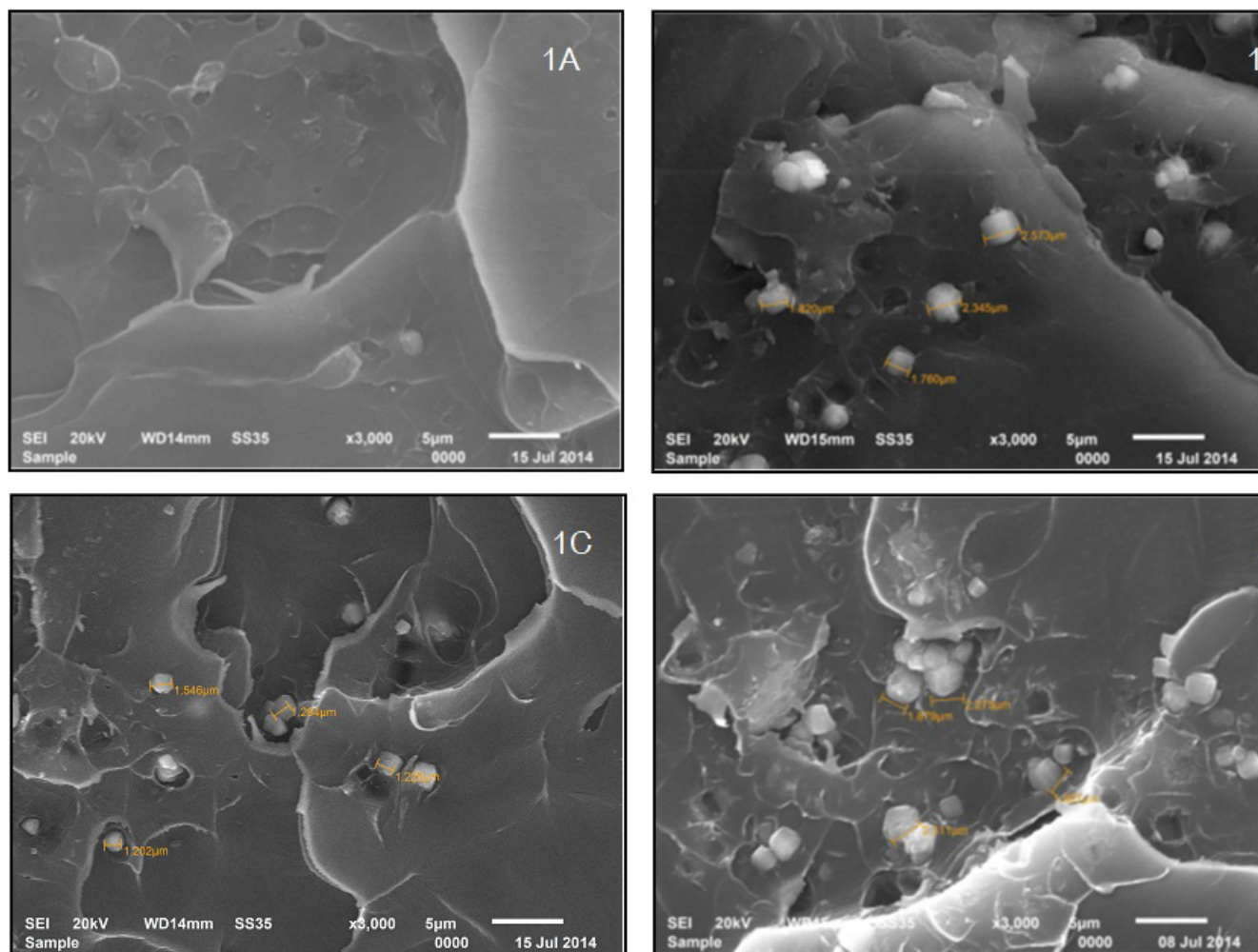
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13631.985	3	4543.995	3.773	.014
Within Groups	91538.769	76	1204.457		
Total	105170.754	79			



เมื่อทดสอบแอลเอสดีโพสฮอค พบว่ากลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 และ 3 มีค่าความทนแรงอัดสูงกว่ากลุ่มอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองผสมอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการผสมอนุภาคนาโนเงิน โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 และ 3 ( $p = .957$ ) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 และกลุ่มควบคุมที่ไม่ม่อนุภาคนาโนเงิน ( $p = .890$ )

(ตารางที่ 1)

หลังจากทดสอบความทนแรงอัดเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานมาเคลือบด้วยทองและส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบอนุภาคนาโนเงินฝังตัวเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ และอนุภาคนาโนเงินกระจายเป็นเนื้อเดียวกันบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบในทุกกลุ่มการทดลอง (รูปที่ 1)

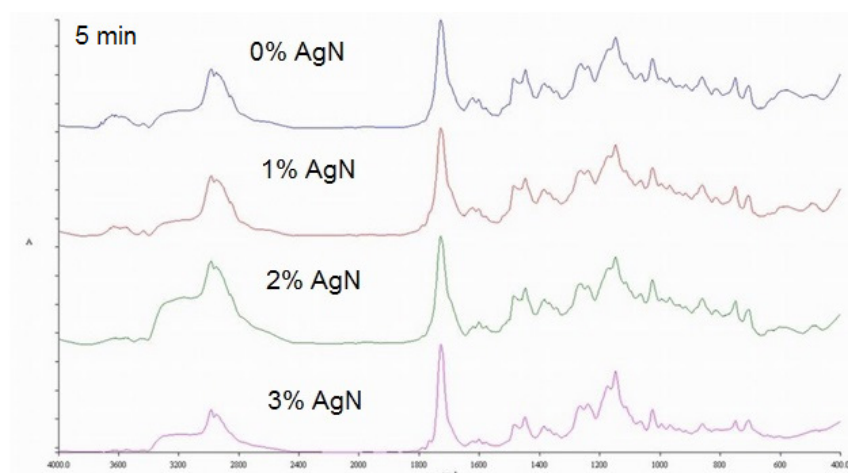


**รูปที่ 1** กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคนาโนเงิน (จุดสีขาว) ที่กระจายโดยทั่วไป 1A; กลุ่มที่ไม่มีอนุภาคนาโนเงิน 1B; กลุ่มที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1 1C; กลุ่มที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 1D; กลุ่มที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 3

**Figure 1** SEM micrograph showing the distribution of silver nano particle (pin-point white spot) 1A; no silver nano containing group, 1B; 1 % silver nano containing group, 1C; 2 % silver nano containing group, 1D; 3 % silver nano containing group.

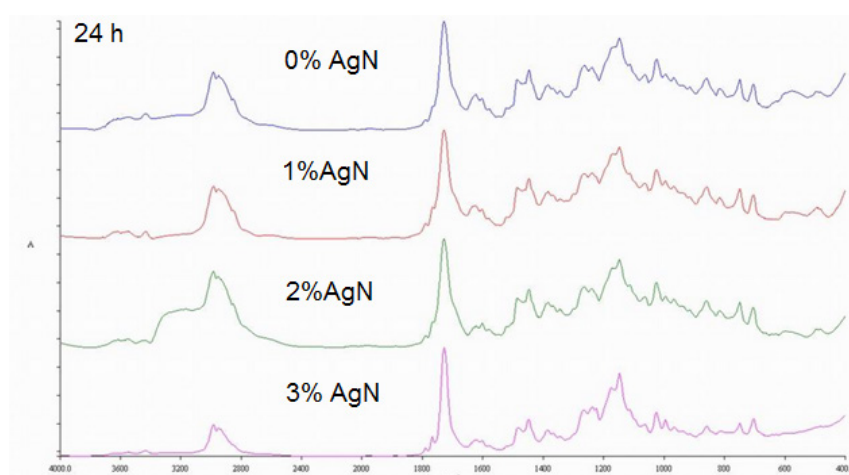
การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์อินฟราเรด จากผลการตรวจวิเคราะห์ทาง สเปกโตรสโคปี ด้วยวิธี FTIR พบว่า มีจุดสูงสุด (dominant peak) ที่ ความยาวคลื่น 3200 - 2800 และจุดสูงอันดับที่ 2 (second dominant peak)

ที่ 1800 - 1600 หลังผสมผ่านไป 5 นาที และที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทุกกลุ่มการทดลองมีรูปแบบกราฟในลักษณะเหมือนกัน (รูปที่ 2 และ 3)



**รูปที่ 2** สเปกตรัมอินฟราเรดของอะคริลิกเรซินที่มีอนุภาคนาโนเงินความเข้มข้นต่าง ๆ 5 นาทีทันทีหลังจากการผสมที่อุณหภูมิห้อง (เส้นสีน้ำเงินแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 0, เส้นสีแดงแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1, เส้นสีเขียวแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2, เส้นสีม่วงแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 3)

**Figure 2** FTIR spectra of representative specimen of silver nano containing acrylic resin with different percentage of silver nano immediately after 5 minute mixing at room temperature (Blue line indicates 0% silver nano, Red line indicates 1 % silver nano, Green line indicates 2 % silver nano, Purple line indicates 3% silver nano).



**รูปที่ 3** สเปกตรัมอินฟราเรดของอะคริลิกเรซินที่มีอนุภาคนาโนเงินความเข้มข้นต่าง ๆ 24 ชั่วโมงหลังการเก็บรักษาในน้ำกลั่น เพื่อตรวจสอบระดับของโครงสร้างทางเคมีที่อุณหภูมิห้อง (เส้นสีน้ำเงินแสดงกลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 0, เส้นสีแดงแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 1, เส้นสีเขียวแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2, เส้นสีม่วงแสดง กลุ่มชิ้นงานอะคริลิกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 3)

**Figure 3** FTIR spectra of representative specimen of silver nano containing acrylic resin with different percentage of silver nano after 24 hour setting at room temperature (Blue line indicates 0 % silver nano, Red line indicates 1 % silver nano, Green line indicates 2 % silver nano, Purple line indicates 3 % silver nano).

นอกเหนือจากการนำอนุภาคเงินมาใช้ในทางอุตสาหกรรมแล้ว ในทางการแพทย์อนุภาคนาโนเงินถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุเคลือบผิวร่วมกับสารกระตุ้นการสร้างกระดูกในอวัยวะกระดูกฝัง (Implant) เช่น ข้อเข่าเทียมเพื่อใช้ทดแทนในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม เนื่องจากการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมอาจติดเชื้อถึงร้อยละ 3 ยังคงมีความกังวลจากการนำอนุภาคนาโนเงินมาใช้เป็นสารต่อต้านเชื้อเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อเซลล์ร่างกายมนุษย์ โดยได้รับการยืนยันจากงานวิจัยของ Fielding และคณะ ในปี ค.ศ.2012 พบว่า ความเป็นพิษของวัสดุเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite, HA) ร่วมกับอนุภาคนาโนเงินมีความเป็นพิษต่อเซลล์น้อยกว่า เมื่อเทียบกับวัสดุเคลือบผิวที่มีแต่ส่วนประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับเทคนิคในการผสมส่วนของอนุภาคนาโนเงินเข้าไปส่วนของวัสดุเคลือบผิวที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นองค์ประกอบ<sup>21</sup>

การเติมอนุภาคนาโนเงินในชิ้นงานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำมาเสริมฐานฟันเทียม ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินในอะคริลิกเรซินที่เพิ่มขึ้น ความทนแรงอัดยิ่งเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานอะคริลิกเรซินดียิ่งขึ้น สำหรับปริมาณที่เหมาะสมในการเติมอนุภาคนาโนเงิน พิจารณาเห็นว่าปริมาณที่เหมาะสม ควรเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่เติมลงไปในส่วนผงของวัสดุฐานฟันเทียมชนิดบ่มเองแล้วให้ผลในการต้านทานเชื้อจุลชีพ สำหรับการทดลองนี้ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นที่ร้อยละ 1 การเติมอนุภาคนาโนเงินในปริมาณมาก ควรคำนึงถึงการตกค้างของอนุภาคนาโนเงินในระบบร่างกาย<sup>22</sup> และผลต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุ นอกจากนี้จะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต จึงควรพิจารณาใช้ปริมาณความเข้มข้นที่น้อยที่สุด

คุณสมบัติทางกล (Mechanical property) อีกด้านที่สำคัญของวัสดุฐานฟันเทียม คือ ความทนแรงดัด (Flexural strength) ที่ดี เพื่อป้องกันการแตกหักของฟันเทียมที่เกิดจากการใช้งาน เนื่องจากฟันเทียมส่วนมากมีการแตกหักที่ตรงกึ่งกลางของฟันเทียม (Midline) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการบิดงอ (Flexing) ของฟันเทียมขณะเคี้ยว การศึกษาของ Sodagar และคณะ ในปี ค.ศ.2012 ได้ทำการทดสอบผลของอนุภาคนาโนเงินต่อคุณสมบัติทางกลด้านความทนแรงดัดของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองยี่ห้อ Rapid repair (Dentsply, Weybridge, UK)

จะลดความทนแรงดัดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ถ้าเติมลงในยี่ห้อ Selecta Plus (Dentsply, Weybridge, UK) จะทำให้มีค่าความทนแรงดัดสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความทนแรงดัดของวัสดุฐานฟันเทียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รวมถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงิน และชนิดของอะคริลิกที่ใช้อีกด้วย<sup>23</sup> ในการทดลองนี้ ผลของความทนแรงดัดหลังจากเติมอนุภาคนาโนเงินในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองพบว่า ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินในอะคริลิกเรซินที่เพิ่มมากขึ้น ความทนแรงอัดยิ่งมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างในระดับจุลภาคที่ได้จากอิเล็กตรอนไมโครสโคป จะพบการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์ในเนื้อเมทริกซ์ของอะคริลิกเรซินเช่นเดียวกับวัสดุอุดแทรกชนิดอื่น ๆ เช่น อนุภาคแก้ว เส้นใยแก้ว และเส้นใยไนลอน ที่เสริมคุณสมบัติของเนื้อเมทริกซ์ จึงส่งผลให้มีความทนแรงอัดเพิ่มขึ้น<sup>24</sup>

สารเงินซีโอไลต์เป็นสารประกอบเงินที่ประกอบไปด้วยแก้วที่มีส่วนประกอบของสารเงินและส่วนประกอบอื่น ๆ ถูกทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตร จัดเป็นอนุภาคนาโนเงินชนิดหนึ่ง<sup>25</sup> อนุภาคนาโนเงินนี้มีคุณสมบัติที่ดีในด้านการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติไม่เป็นพิษ<sup>26</sup> สำหรับปริมาณในการเติมสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย มีรายงานวิจัยพบว่าการเติมอนุภาคนาโนเงินปริมาณร้อยละ 0.05 และ 0.2 ไม่รบกวนการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุฐานฟันเทียม โดยยังแสดงผลการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย<sup>23</sup>

จากการตรวจวิเคราะห์ระดับจุลภาคของอะคริลิกเรซินด้วยการสำรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงการกระจายตัวของอนุภาคนาโนเงินโดยทั่วไปในส่วนเนื้อวัสดุหรือ ส่วนของเมทริกซ์ของอะคริลิกเรซิน รายงานวิจัยของ Xu และคณะในปี ค.ศ. 2016<sup>27</sup> ได้ทำการทดลองเพิ่มคุณสมบัติการต่อต้านเชื้อและคุณสมบัติทางชีวภาพให้กับวัสดุอุดฟันที่มีส่วนประกอบของไทเทเนียม ที่ใช้สำหรับการทำอวัยวะเทียมเพื่อทดแทนการสูญเสียอวัยวะในคนไข้ด้วยเทคนิคการเคลือบผิวระดับนาโนด้วยสารเงินและสารโครโตซานเพื่อให้อนุภาคเงินกระจายตัวโดยทั่วพื้นผิวของวัสดุ และไม่เกิดการปลดปล่อยสารเงินที่เชื่อว่าอาจสร้างความเป็นพิษให้กับร่างกาย เทคนิคการเคลือบผิวเป็นชั้นเดียวสามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางชีวภาพให้กับวัสดุที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อ เนื่องจากวัสดุสามารถยึดติดที่บริเวณผิวของวัสดุเท่านั้น

จากผลการตรวจวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโกปี ด้วยวิธี FTIR พบว่า มีจุดสูงสุดจุดแรกที่มีความยาวคลื่น 3200-2800 ซึ่งตรงกับหมู่ฟังก์ชันของไฮโดรคาร์บอนอัลคีน (C=C) ที่เป็นหมู่



## เอกสารอ้างอิง

ฟังก์ชันในอะคริลิกเรซินที่เกิดขึ้นหลังจากการเกิดพอลิเมอร์ ในทุกกลุ่มของอะคริลิกเรซินที่มีอนุภาคนาโนเงินความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 1, 2, 3 %) นอกจากนี้ยังยืนยันด้วยจุดสูงสุดอันดับที่ 2 ที่ 1800 - 1600 ที่ตรงกับหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (C=O) ของสารอะคริลิกเรซิน และเกิดขึ้นทั้งชิ้นงานตัวอย่าง หลังผสมผ่านไป 5 นาที และที่ 24 ชั่วโมง ของทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sahin และคณะ ในปี ค.ศ.2015<sup>28</sup> ยืนยันได้ว่า การเติมอนุภาคนาโนเงินไม่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ เนื่องจากจุดสูงสุดที่แสดงในกราฟของชิ้นงานทดสอบที่มีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาพร้อมกับ SEM อนุภาคนาโนเงินนั้นอาจอยู่ในรูปแขวนลอยในเนื้ออะคริลิกเรซิน ไม่ได้เข้าไปทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลต (MMA)

ความทนแรงอัดของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองที่มีอนุภาคนาโนเงินร้อยละ 2 และ 3 นั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนเงินซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (High surface area to volume ratio) ทำให้การกระจายตัวลดลง ส่งผลให้ความทนแรงอัดของวัสดุทั้งก่อนมวลไม่สม่ำเสมอ มีความเป็นไปได้ที่ความแข็งแรงทั้งก่อนมวลสารอาจมีค่าลดลง จึงควรมีการทดลองต่อไปโดยเพิ่มอนุภาคนาโนเงินเป็นร้อยละ 4 5 และ 6 ตามลำดับ เพื่อศึกษาความทนแรงอัดมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินหรือไม่ อย่างไรก็ตาม การเติมอนุภาคนาโนเงินในปริมาณมาก ควรคำนึงถึงการตกค้างของอนุภาคนาโนเงินในระบบร่างกายด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นต้นในการเติมสารต่อต้านเชื้อในการใช้ออนุภาคนาโนเงินเป็นส่วนประกอบสำหรับวัสดุฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเอง เพื่อปรับปรุงวัสดุให้มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อ จึงควรมีการศึกษากลไกการปลดปล่อย (leach out) อนุภาคนาโนเงินจากอะคริลิกเรซิน และกลไกการยับยั้งเชื้อ รวมถึงการประเมินผลของการเติมอนุภาคนาโนเงินต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลด้านอื่น ๆ ต่อไป

## สรุป

การเติมอนุภาคนาโนเงินที่ในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มเองที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน มีผลต่อคุณสมบัติความทนแรงอัด ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเงินในอะคริลิกเรซินที่เพิ่มมากขึ้น ความทนแรงอัดยังมีค่าสูงขึ้น อนุภาคนาโนเงินฝังตัวเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ และมีการกระจายเป็นเนื้อเดียวกันบนพื้นผิวของชิ้นงาน และการเติมอนุภาคนาโนเงินไม่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิกเรซิน

1. McCabe JF, Basker RM. Tissue sensitivity to acrylic resin. A method of measuring the residual monomer content and its clinical application. *Br Dent J* 1976;140:347-50.
2. Radford D, Sweet S, Challacombe S, Walter J. Adherence of *Candida albicans* to denture-base materials with different surface finishes. *J Dent* 1998;26:577-83.
3. Chen W, Oh S, Ong AP, Oh N, Liu Y, Courtney HS, *et al.* Antibacterial and osteogenic properties of silver-containing hydroxyapatite coatings produced using a sol gel process. *J Biomed Mater Res A* 2007;82:899-906.
4. de Castro DT, Valente ML, da Silva CH, Watanabe E, Siqueira RL, Schiavon MA, *et al.* Evaluation of antibiofilm and mechanical properties of new nanocomposites based on acrylic resins and silver vanadate nanoparticles. *Arch Oral Biol.* 2016;67:46-53.
5. Aimjirakul N, Ekworapoj P, Poolnuam T. Silver nanoparticle in dentistry. *SWU Dent J* 2013;6:77-86.
6. Chaloupka K, Malam Y, Seifalian AM. Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications. *Trends Biotechnol* 2010;28:580-8.
7. Lok CN, Ho CM, Chen R, He QY, Yu WY, Sun H, *et al.* Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. *J Proteome Res* 2006;5:916-24.
8. Dastjerdi R, Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2010;79:5-18.
9. Cheng L, Zhang K, Weir MD, Liu H, Zhou X, Xu HH. Effects of antibacterial primers with quaternary ammonium and nano-silver on *Streptococcus mutans* impregnated in human dentin blocks. *Dent Mater* 2013;29:462-72.
10. Cheng L, Weir MD, Xu HH, Antonucci JM, Kraigsley AM, Lin NJ, *et al.* Antibacterial amorphous calcium phosphate nanocomposites with a quaternary ammonium dimethacrylate and silver nanoparticles. *Dent Mater* 2012;28:561-72.
11. Beyth N, Yudovin-Farber I, Bahir R, Domb AJ, Weiss EI. Antibacterial activity of dental composites contain-

- ing quaternary ammonium polyethylenimine nanoparticles against *Streptococcus mutans*. *Biomaterials* 2006;27:3995-4002.
12. Flores CY, Diaz C, Rubert A, Benitez G, Moreno M, Fernández Lorenzo de Mele M, *et al.* Spontaneous adsorption of silver nanoparticles on Ti/TiO<sub>2</sub> surfaces. Antibacterial effect on *Pseudomonas aeruginosa*. *J Colloid Interface Sci* 2010;350:402-8.
  13. Liao J, Anchun M, Zhu Z, Quan Y. Antibacterial titanium plate deposited by silver nanoparticles exhibits cell compatibility. *Int J Nanomedicine* 2010;5:337-42.
  14. Antonucci JM, Zeiger DN, Tang K, Lin-Gibson S, Fowler BO, Lin NJ. Synthesis and characterization of dimethacrylates containing quaternary ammonium functionalities for dental applications. *Dent Mater* 2012;28:219-28.
  15. Arendorf TM, Walker DM. Denture stomatitis: a review. *J Oral Rehabil* 1987;14:217-27.
  16. McNally L, Gosney MA, Doherty U, Field EA. The orodental status of a group of elderly in-patients: a preliminary assessment. *Gerodontology* 1999;16:81-4.
  17. Dagistan S, Aktas AE, Çağlayan F, Ayyıldız A, Bilge M. Differential diagnosis of denture-induced stomatitis, *Candida*, and their variations in patients using complete denture: a clinical and mycological study. *Mycoses* 2009;52:266-71.
  18. Ramage G, Tomsett K, Wickes BL, López-Ribot JL, Redding SW. Denture stomatitis: a role for *Candida* biofilms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;98: 53-9.
  19. Khunluang A, Aimjirakul N. Silver nanoparticles in resin acrylic denture base. *SWU Dent J* 2014;7:60-7.
  20. Poolnuam T, Aimjirakul N, Ekwarapoj P. Effect of silver nanoparticles on antimicrobial property of acrylic denture base. *SWU Dent J* 2014;7(Suppl):18-25.
  21. Fielding GA, Roy M, Bandyopadhyay A, Bose S. Antibacterial and biological characteristics of silver containing and strontium doped plasma sprayed hydroxyapatite coatings. *Acta Biomater* 2012;8:3144-52.
  22. You C, Han C, Wang X, Zheng Y, Li Q, Hu X, *et al.* The progress of silver nanoparticles in the antibacterial mechanism, clinical application and cytotoxicity. *Mol Biol Rep* 2012;39: 9193-201.
  23. Sodagar A, Kassaei MZ, Akhavan A, Javadi N, Arab S, Kharazifard MJ. Effect of silver nano particles on flexural strength of acrylic resins. *J Prosthodont Res* 2012;56:120-4.
  24. John J, Gangadhar SA, Shah I. Flexural strength of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibers. *J Prosthet Dent* 2001;86:424-27.
  25. Ekwarapoj P. Effect of silver zeolites agent on antibacterial property of conventional glass ionomer cement. *SWU Dent J* 2013;6:12-24.
  26. Acosta-Torres LS, Mendieta I, Nuñez-Anita RE, Cajero-Juárez M, Castaño VM. Cytocompatible antifungal acrylic resin containing silver nanoparticles for dentures. *Int J Nanomedicine* 2012;7:4777-86.
  27. Xu Z, Li M, Li X, Liu X, Ma F, Wu S, *et al.* Antibacterial Activity of Silver Doped Titanate Nanowires on Ti Implants. *ACS Appl Mater Interfaces* 2016;8:16584-94.
  28. Sahin O, Ozdemir AK, Turgut M, Boztug A, Sumer Z. Investigation of flexural strength and cytotoxicity of acrylic resin copolymers by using different polymerization methods. *J Adv Prosthodont* 2015;7:98-107.