

การศึกษาความแข็งผิวระดับนาโน และระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมด้วยนาโนอนุภาคนาโนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนในปริมาณที่แตกต่างกัน

ฤทธา มากักดีวงศ์* พิริยะ ยาวราช** พิลัยศิษฐ์ ชัยจรินทร์**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความแข็งผิวทั้งระดับนาโนและระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนอนุภาคนาโนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนในปริมาณที่ต่างกันและศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระหว่างระดับนาโนและระดับจุลภาค โดยนำสารคู่ควบไซเลนมาปรับสภาพผิวของอนุภาคนาโนอนุภาคนาโน ใช้ปริมาณของอนุภาคนาโนอนุภาคนาโนที่ผสมกับเรซินอะคริลิกร้อยละ 0.25 0.5 0.75 1 3 และ 5 โดยน้ำหนัก เป็นกลุ่มทดลอง โดยกลุ่มควบคุมคือเรซิน อะคริลิกที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนอนุภาคนาโน รวมทั้งรวม 7 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ตัวอย่างการทดลอง สร้างขนาดขึ้นตัวอย่างการทดลองกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตรและหนา 3 มิลลิเมตร ทดสอบความแข็งผิวระดับนาโน ความแข็งผิวระดับจุลภาค วิเคราะห์ผลด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียวที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และหาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวทั้งสองด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าค่าความแข็งผิวระดับนาโนมีค่าตั้งแต่ 195.51-266.76 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคมีค่าตั้งแต่ 17.60-26.43 วิกเกอร์ ความแข็งผิวระดับนาโนที่มีค่ามากที่สุดพบในกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมอนุภาคนาโนอนุภาคนาโนที่ปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก (266.76±26.19 เมกะปาสคาล) และแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความแข็งผิวระดับจุลภาคที่มีค่ามากที่สุดพบในกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมอนุภาคนาโนอนุภาคนาโนที่ปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก (26.43±3.86 วิกเกอร์) และแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคมีค่าเท่ากับ 0.84

คำชี้แจง: เมทิลเมทาคริเลต/ ความแข็งผิวระดับจุลภาค/ อนุภาคนาโนอนุภาคนาโน/ ความแข็งผิวระดับนาโน/ สารคู่ควบไซเลน

Received: May 22, 2021

Revised: Nov 17, 2021

Accepted: Feb 11, 2022

บทนำ

เมื่อเกิดการสูญเสียฟันจนเกิดเป็นพื้นที่สันเหงือกว่าง (Edentulous area) ทำให้การบดเคี้ยวของผู้ป่วยผิดปกติไป จำเป็นต้องมีการทดแทนฟันที่สูญเสียไป โดยวิธีการรักษาหนึ่งในนั้นคือการใส่ฟันเทียมทดแทนชนิดฟันเทียมแบบถอดได้ (Removable denture) โดยฟันเทียมแบบถอดได้มีส่วนประกอบหลักคือส่วนของซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียม ในส่วนของซี่ฟันเทียมจัดเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญเนื่องจากทำหน้าที่หลักในการให้แรงบดเคี้ยว โดยวัสดุที่นิยมนำมาสร้างเป็นซี่ฟันเทียม ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) คอมโพสิต (Composite) และเซรามิก (Ceramic)¹

พอลิเมทิลเมทาคริเลตหรือเรซินอะคริลิก (Resin acrylic) ที่ใช้ผลิตเป็นซี่ฟันเทียมมีข้อดีหลายประการ คือเกิดพันธะเคมีเชื่อมกับฐานฟันเทียมได้ดี² เข้ากันได้ดีกับสภาวะ

แวดล้อมในช่องปาก มีความเป็นพิษต่ำ ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ มีเสถียรภาพทางมิติ น้ำหนักเบา ขึ้นรูปง่าย ขัดแต่งได้ง่าย ซ่อมแซมง่ายและราคาถูก³ แต่อย่างไรก็ตามพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อนำไปใช้งานจะเกิดการสะสมความเครียด (Strain) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ภายในวัสดุเนื่องจากแรงบดเคี้ยวอาจทำให้เกิดรอยร้าวจนแตกหัก⁴ รวมถึงมีความแข็งผิว (Surface hardness) ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นที่ใช้ผลิตฟันเทียม⁵

เมื่อด้านบดเคี้ยวของซี่ฟันเทียมที่ผลิตจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้รับการกรอแต่งหรือเกิดการสึกเนื่องมาจากการใช้งาน ส่งผลให้ซี่ฟันเทียมสึกลงอย่างรวดเร็ว⁶ และนำไปสู่การสูญเสียมิติแนวตั้ง⁷ โดยที่ความแข็งผิวเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ความสามารถในการต้านการสึกที่เกิดขึ้นบริเวณผิววัสดุ^{8,9} และ

* นักศึกษาหลักสูตรอบรมเพื่อวุฒิบัตร ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

** ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ความแข็งผิวบอกความสามารถในการต้านทานการผิวดรูปอย่างถาวรที่พื้นผิวของวัสดุ เช่น รอยบุบ (Indentation) รอยถลอก รอยขีดข่วนหรือการสึก จากการศึกษารายงานของ Wongkhatee¹⁰ พบว่าชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันมีความแข็งผิวที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ ทำให้การสึกของผิวพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติเกิดการสึกอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับฟันธรรมชาติ

จากเหตุผลดังกล่าวการปรับปรุงความแข็งผิวของซีฟิมเทียมชนิดพอลิเมทิลเมทาคริเลตจึงมีความจำเป็น ซึ่งการเสริมคุณสมบัติพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีการศึกษาอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การเติมอนุภาคอลูมินาซึ่งเป็นสารอัดแทรกลงในพอลิเมทิลเมทาคริเลต เนื่องจากอนุภาคอลูมินาราคาถูก มีความแข็งสูง และมีความเสถียรทางเคมีที่สูง ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี จากการศึกษาร่วมกันเพื่อเพิ่มความแข็งผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยการเสริมด้วยอนุภาคอลูมินา พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งผิวได้ร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้เสริมด้วยอนุภาคอลูมินา⁷

การที่อนุภาคนาโนอลูมินาที่เป็นสารอัดแทรกช่วยเสริมความแข็งผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ เนื่องจากอนุภาคนาโนอลูมินาทำหน้าที่เป็นส่วนกีดขวาง (Barrier) ต่อการขยายตัวของรอยแตก (Crack propagation) ที่บริเวณผิวเรซินเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต และเพิ่มความต้านทานต่อการสึก (Wear resistance)^{11,12} ซึ่ง Arimate'ia และคณะ¹³ พบว่าอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผสมลงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้ผลความแข็งผิวสูงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มทดลองอื่น และยังพบว่าการที่มีอนุภาคนาโนอลูมินาที่มากขึ้นในพอลิเมทิลเมทาคริเลตช่วยลดการสึกและเพิ่มความต้านทานแบบข่วน (Scratch resistance)

อย่างไรก็ตามการเชื่อมยึดที่ไม่ดีของสารอัดแทรกที่เสริมเข้าไปในเรซินเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นสาเหตุให้เกิดการลดคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตลง¹⁴ จึงมีการศึกษาถึงสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) เพื่อเพิ่มการเชื่อมยึดระหว่างสารอัดแทรก และเรซินเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้ดีขึ้น โดยจากการศึกษาของ Jasim และคณะ¹⁵ ที่ทดสอบนำอนุภาคนาโนอลูมินาที่ปรับปรุงสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเสริมในพอลิเมทิลเมทาคริเลตพบว่าความแข็งผิวมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง โดยสารคู่ควบไซเลน ช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างสารอัดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ส่งผลให้เพิ่มความ

แข็งแรงด้านการแตกหักต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตมากขึ้น^{16,17} โดย Katheng และคณะ¹⁸ ได้พบว่าอนุภาคนาโนอลูมินาร้อยละ 1 ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเพิ่มความทนแรงอัด (Compressive strength) ต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตสูงที่สุด โดยอนุภาคอลูมินาทั้งระดับนาโนและจุลภาคช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ทั้งคู่^{19,20} และการใช้สารคู่ควบไซเลนทำการปรับปรุงสภาพผิวอนุภาคอลูมินาออกไซด์ระดับจุลภาคในการศึกษาที่ผ่านมา^{16,21} พบว่าการเคลือบผิวแบบชั้นเดียว (Monolayer) ที่เรียกว่าชั้นเคมีซอร์บ (Chemisorbed layer) ให้การเชื่อมยึดแข็งแรงที่สุดเมื่อเทียบกับการเชื่อมมากกว่าชั้นเดียวซึ่งชั้นอื่นที่เกิดจะเป็นชั้นฟิสิซอร์บ (Physisorbed layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความอ่อนแอ²² และส่งผลลดคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยความแข็งผิวมี 3 ระดับตามแรงและความลึกที่เกิดขึ้นจากการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 14577-1 (2015) โดยความแข็งผิวมหภาค (Macrohardness) ใช้แรงที่ทดสอบตั้งแต่ 2 นิวตันถึง 30 กิโลนิวตัน ความแข็งผิวระดับจุลภาคใช้แรงที่ทดสอบน้อยกว่า 2 นิวตัน ความลึกมากกว่า 2 ไมโครเมตร และความแข็งผิวระดับนาโนมีความลึกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ไมโครเมตร²³

การศึกษาที่ผ่านมา การทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคที่พบบ่อยสำหรับพอลิเมทิลเมทาคริเลต คือ ความแข็งผิวแบบวิกเกอร์²⁴ (Vickers Hardness) ซึ่งต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในการช่วยคำนวณความแข็งผิว สามารถใช้ทดสอบวัสดุได้อย่างหลากหลายทั้งที่มีองค์ประกอบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ²⁵ แต่ความแข็งผิวชนิดนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถวัดชิ้นการทดลองที่มีขนาดเล็กเกินไปหรือเมื่อชิ้นการทดลองมีส่วนประกอบในระดับที่เล็กกว่าขนาดหัวที่ทำการทดสอบ ความแข็งผิวระดับจุลภาคมากเช่นสารอัดแทรกระดับนาโน นอกจากนี้การทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนมีข้อได้เปรียบเหนือความแข็งผิวระดับจุลภาคหลายประการ²⁶ อาทิเช่น เป็นการทดสอบในอุดมคติสำหรับวัสดุที่มีความหนาไม่มาก ชิ้นตัวอย่างมีขนาดหน้าตัดสำหรับทดสอบขนาดเล็กหรือมีองค์ประกอบในวัสดุระดับนาโน ซึ่งหากเป็นความแข็งผิวระดับจุลภาคจะมีรอยกดที่ลึกเกินไปสำหรับวัสดุบางชนิดหรือไม่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่มีองค์ประกอบที่มีขนาดระดับนาโน นอกจากนี้เครื่องมือทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนไม่ต้องการกล้องจุลทรรศน์เหมือนการทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคได้ค่าความแข็งผิวแบบนาโนทันทีหลังทดสอบโดยไม่ต้องวัดมุมรอยกด แต่เครื่องมือทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนมีราคาสูง

กว่าเครื่องมือทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค การทราบแนวโน้มและความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระดับจุลภาคและนาโนจะช่วยให้ทำนายความแข็งผิวระดับนาโนได้เมื่อรู้ความแข็งผิวระดับจุลภาคอย่างเดียว ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างความแข็งผิวระดับจุลภาคและความแข็งผิวระดับนาโนในวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนยังมีการศึกษาน้อยอยู่

จากเหตุผลดังกล่าวมา งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติความแข็งผิวทั้งระดับนาโนและระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนในปริมาณที่แตกต่างกันและศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาค โดยมีสมมติฐานงานวิจัยหลักประการแรก คือ ไม่มีความแตกต่างระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน และสมมติฐานงานวิจัยหลักอีกประการคือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

หมายเลขรุ่นที่ผลิตของวัสดุหลัก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงวัสดุที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

Table 1 Showed materials that use in this study

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต เมือง/ประเทศ	หมายเลขรุ่นที่ ผลิต (Lot No.)
พอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน	Major, Moncalieri, Italy	LOT 1900MS
สารคู่ควบไซเลนชนิดเอ็มพีเอส	Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA	LOT PX2762200
อนุภาคนาโนลูมินา	US Research Nano, Houston, TX, USA	LOT UAX543-6002

1. ขั้นตอนการสร้างชิ้นตัวอย่างทดลอง สร้างแม่แบบพลาสติกให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร กว้าง 13 มิลลิเมตร และหนา 3.5 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 140 กรัม แล้วสร้างเบ้าหล่อขึ้นงานตัวอย่างโดยผสมพลาสติกเรซินและเทลง

ในภาชนะทองเหลืองหล่อแบบ (Dental flask) ส่วนครึ่งล่างจนเต็ม เมื่อพลาสติกเรซินแข็งตัวแล้วขัดแต่งด้วยกระดาษทราย ทาสารคั่นกลาง นำแม่แบบวางลงบนพลาสติกเรซินห่างจากขอบภาชนะหล่อแบบเท่าๆ กัน นำภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบนมาประกบและค่อยๆ เทพลาสติกเรซินลงไปจนเต็ม ด้วยน้ำหนักของแม่แบบทำให้ตัวแม่แบบไม่เกิดการขยับและอยู่ในตำแหน่งเดิมที่วางไว้ เมื่อพลาสติกเรซินแข็งตัว แกะแม่แบบพลาสติกออกและทาสารคั่นกลางที่ภาชนะหล่อแบบทั้งส่วนครึ่งบนและล่าง

ใช้อุณหภูมิของอนุภาคนาโนลูมินาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 40 นาโนเมตร (US Research Nano., Houston, TX, USA) และสารคู่ควบไซเลนชนิด ไตรเมทาโครลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซี [(3-methacryloxypropyl) trimethoxysilane] หรือ เอ็มพีเอส (MPS, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) โดยคำนวณจากสมการของโพสทิวมัส (Posthumus's equation)²⁷ เพื่อเตรียมความเข้มข้นของสารคู่ควบไซเลนต่ออนุภาคนาโนลูมินาในหลายความเข้มข้นเพื่อทดสอบว่าความเข้มข้นใดที่ทำให้เกิดการเคลือบแบบชั้นเดียว ทั้งหมด 9 ความเข้มข้นได้แก่ 0.01475 0.0295 0.059 0.118 0.236 0.472 0.944 1.416 และ 1.888 กรัมเอ็มพีเอส/กรัมลูมินา ซึ่งเป็นค่า 1/32 1/16 1/8 1/4 1/2 1 2 4 6 และ 8 เท่าจากการคำนวณด้วยสมการของโพสทิวมัสตามลำดับตามแนวทางการศึกษาของ Jiangkongkho และคณะ²⁷ เพื่อนำไปทำการปรับสภาพผิวอนุภาคนาโนลูมินาด้วยวิธีของ Katheng และคณะ¹⁸ ต่อไป

เตรียมสารคู่ควบไซเลนในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น ร้อยละ 99.8 โดยปริมาตร (99.8% Ethanol, Carlo erba, Milano, Italy) ผสมกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จำนวน 9 ขวด ให้ได้เอทานอลความเข้มข้น ร้อยละ 70 โดยปริมาตร จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดและเป็นด่าง โดยหยดสารละลายกรดอะซิติก (96% acetic acid, Carlo erba, Milano, Italy) ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 4.5²⁰ และใส่อนุภาคนาโนลูมินา 1 กรัม แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องปั่นผสมแม่เหล็ก (Magnetic stirrer, Intllab, Shenzhen, China) โดยปั่นผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบในตู้อบ (Incubator, Memmert, Schwabach, Germany) ทันทึ่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องแล้วแบ่งแต่ละความเข้มข้นออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกอบที่อุณหภูมิ 50±5 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิทเรียกกลุ่มแห้ง (Dried group) อีกส่วนเติมสารละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanol, RCI

labscan, Bangkok, Thailand) ที่อัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร เพื่อนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Hettich 460R centrifuge, St. Louis, MO, USA) ที่ 20,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วใช้ปิเปตต์ (Pipette) ดูดส่วนของเหลวด้านบนออกเหลือเพียงอนุภาคนาโนอลูมินาที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่างแล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียสในตู้อบ 16 ชั่วโมง เรียกกลุ่มปั่นเหวี่ยง (Centrifuged group)

นำตัวอย่างอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนทั้งกลุ่มแห้งและกลุ่มที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงทุกความเข้มข้นทั้งหมด 18 กลุ่มไปตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบอินทรีย์สาร (Organic element analysis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) เพื่อดูปริมาณคาร์บอนจากสารคู่ควบไซเลนที่เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคนาโนอลูมินา เพื่อคำนวณปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่เกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคนาโนอลูมินาและหาความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการเคลือบแบบชั้นเดียวซึ่งมีค่าเท่ากับความเข้มข้นที่ 0.118 กรัมเอมพีเอส/กรัมอลูมินา เพื่อนำไปใช้ในการปรับสภาพผิวอนุภาคนาโนอลูมินาที่ทำการผสมในพอลิเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงผิวต่อไป

ใช้ปริมาณอนุภาคนาโนอลูมินา ร้อยละ 0.25 0.5 0.75 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนตามขั้นตอนของกลุ่มปั่นเหวี่ยงที่ความเข้มข้นที่ 0.118 กรัมเอมพีเอส/กรัมอลูมินา ผสมกับส่วนผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน (Methyl methacrylate, Major, Moncalieri, Italy) ด้วยเครื่องผสมคิวบิกมิกเซอร์ (Cubic mixer, Uniquetools, Chachoengsao, Thailand) จากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer, VTX L-3000, LMS Co., Tokyo, Japan) เป็นเวลา 10 นาทีตามแนวทางการศึกษาของ Kamonkhantikul และคณะ²⁸ ซึ่งพบว่าทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีและสม่ำเสมอของสารอัดแทรกระดับนาโนในเรซินอะคริลิกที่ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีกลุ่มควบคุมคือกลุ่มที่ไม่เติมอนุภาคนาโนอลูมินา นำทุกกลุ่มไปผสมกับส่วนของเหลวที่เป็นมอนอเมอร์ (Monomer) ด้วยอัตราส่วนผง 2.5 กรัม ต่อมอนอเมอร์ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะอ่อนนุ่ม (Dough stage) จึงนำไปใส่ลงในเข้าหล่อ นำไปบ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 90 นาที เพิ่มความร้อนจนน้ำเดือดต่อเนื่องอีก 30 นาที รอให้เย็นก่อนแกะชิ้นงาน

นำแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาขัดเรียบจนความหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (MoPao160E, Shangdong, China) ที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที โดยใช้กระดาษทรายน้ำความละเอียด 200 400 600 800 และ 1,000 ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดแบ่งออกเป็นสองชิ้นเท่ากันๆ ให้ได้ความกว้าง 12 มิลลิเมตร และยาว 12 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดด้วยเลเซอร์ (Laser CNC machine, T-BROs engineering, China) โดยขึ้นตัวอย่างการทดสอบครั้งแรกสำหรับทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค และครั้งหลังสำหรับทดสอบความแข็งผิวระดับนาโน ตามแนวทางการศึกษาของ Machado และคณะ²⁹ ที่ศึกษาความแข็งผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลต และตรวจสอบขนาดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดระยะแบบดิจิตอล (Digital vernier caliper, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) แบ่งกลุ่มทดลองทั้งหมดออกเป็น 7 กลุ่ม (ตารางที่ 2) โดยจากการศึกษานำร่อง ได้คำนวณอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ที่ร้อยละ 90 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ร่วมกับค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกกลุ่มการทดลอง เพื่อคำนวณหาจำนวนตัวอย่าง (N) พบว่าได้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 7.66 ขึ้นสำหรับความแข็งแรงระดับนาโนและ 8.74 ขึ้นสำหรับความแข็งแรงระดับจุลภาค หลังจากนั้นจึงเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดลองจริงกลุ่มละ 20 ชิ้น โดยแบ่งครั้งแรก 10 ชิ้นสำหรับทำการทดสอบความแข็งแรงระดับนาโนและครั้งหลังอีก 10 ชิ้นสำหรับทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาค แซ่ขึ้นตัวอย่างการทดลองทุกกลุ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างการทดลองและส่วนประกอบของแต่ละกลุ่ม

Table 2 Experimental groups and the component in each group

กลุ่มที่ใช้ในการทดลอง	ปริมาณอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผสมในพอลิเมทิลเมทาคริเลต
1 (กลุ่มควบคุม)	ไม่ผสมอนุภาคนาโนอลูมินา
2	ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก
3	ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
4	ร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก
5	ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
6	ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
7	ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2. **ขั้นตอนการทดสอบความแข็งผิว** นำชิ้นงาน ทั้ง 7 กลุ่ม ๆ ละ 10 ชิ้นไปทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค แบบวิกเกอร์ โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค (Vicker hardness tester, Sunproc, Guiyang, China) กด ชิ้นงานด้วยหัวกดแบบวิกเกอร์ ขนาดแรงกด 10 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ตามวิธีทดสอบของข้อกำหนดเอดีเอ (ADA specification) ลำดับที่ 17³⁰ สำหรับฐานฟันเทียมที่สร้างจาก อะคริลิกในแต่ละชิ้นงาน ทำการทดสอบ 5 จุด คือมุมทั้งสี่และ จุดกึ่งกลางแล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนในแต่ละชิ้นงาน

นำชิ้นงานทั้ง 7 กลุ่มอีกกลุ่มละ 10 ชิ้น ทดสอบความ แข็งผิวระดับนาโนด้วยเครื่องทดสอบนาโนอินเดนเทนซัน (Nanoindenter, Nanomechanics, Inc., Oak Ridge, TN, USA) ด้วยหัวกดเพชรรูปปิรามิดสามด้าน (Three-sided pyramidal diamond tip) โดยใช้แรงสัมผัส (Contact force) เริ่มต้นที่ 150 นาโนนิวตันและแรงกดสูงสุดที่ 1 มิลลินิวตัน ที่ 10 วินาทีก่อนลดแรงและยกหัวกดขึ้นตามวิธีการทดสอบความ แข็งผิวระดับนาโนในพอลิเมทิลเมทาคริลิตตามการศึกษาของ Arun และคณะ³¹ โดยทดสอบ 5 บริเวณคือมุมทั้งสี่และจุด กึ่งกลางแล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชิ้นงาน

3. **ขั้นตอนการทดสอบทางสถิติ** วิเคราะห์ข้อมูล ด้วยสถิติเชิงอนุมาน ประเภทวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวทั้งสองชนิดและทดสอบเชิงซ้อนด้วย วิธีทูกี้ (Tukey's HSD test) เพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวน เชิงซ้อนของชุดข้อมูลในแต่ละกลุ่มทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P < 0.05$) จากนั้นหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

ความแข็งผิวระดับจุลภาคและระดับนาโนด้วยการทดสอบ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบไม่อิสระ (Paired t-test) และ หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวทั้งสองชนิด ในแต่ละกลุ่มทดลองเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิว ทั้งสองชนิดด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์ สัน (Pearson correlation coefficient) โดยใช้โปรแกรม วิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอส เวอร์ชัน 24 (SPSS version 24, IBM, Armonk, NY, USA)

ผล

ผลการศึกษา (ตารางที่ 3) พบว่าค่าเฉลี่ยของความ แข็งผิวระดับนาโนที่มากที่สุดพบในกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสม ด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ ควบไซเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 266.76 เมกะปาสคาลซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุมและ กลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการ ปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดย ที่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับนาโนอยู่ที่ 195.51 เมกะปาสคาล

ค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวระดับจุลภาคที่มากที่สุดพบ ในกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการ ปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก มี ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.43 วิกเกอร์แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่กลุ่มควบคุมมี ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคอยู่ที่ 17.60 วิกเกอร์

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับนาโนและความแข็งผิวระดับจุลภาคของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองรวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความ แข็งผิวระดับนาโนกับความแข็งผิวระดับจุลภาค

Table 3 Showed average of nano and micro hardness of control group and each experimental group with correlation coefficient between nano and micro hardness.

อนุภาคนาโนอลูมินา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความแข็งผิวระดับนาโน (เมกะปาสคาล)	ความแข็งผิวระดับจุลภาค		สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
		เมกะปาสคาล*	วิกเกอร์	
0 (กลุ่มควบคุม)	195.51±31.59 ^a	172.60± 38.93 ^A	17.60±3.97 ^A	0.927
0.25	266.76±26.19 ^c	259.20± 37.86 ^B	26.43±3.86 ^B	0.929
0.5	243.23±26.73 ^{bc}	235.80±32.56 ^B	24.04±3.32 ^B	0.909
0.75	244.75±25.38 ^{bc}	231.60± 37.95 ^B	23.62±3.87 ^B	0.959
1	241.91±36.82 ^{bc}	242.20± 29.03 ^B	24.70±2.96 ^B	0.847
3	224.01±22.40 ^{abc}	230.39±31.19 ^B	23.49±3.18 ^B	0.852
5	223.76±28.00 ^{ab}	227.10±35.40 ^B	23.16±3.61 ^B	0.602

*หน่วยเมกะปาสคาลของความแข็งผิวระดับจุลภาคได้รับการแปลงมาจากหน่วยวิกเกอร์

**ตัวอักษรที่ต่างกันจะแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

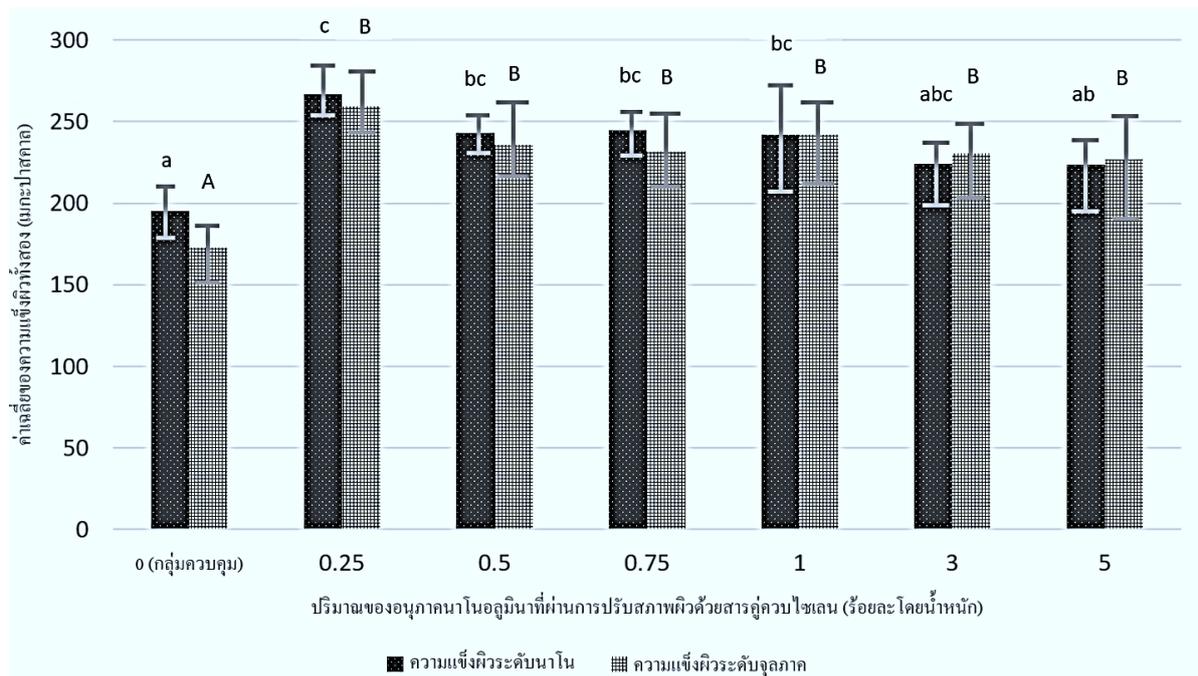
ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกลุ่มทดลองทุกกลุ่มที่มีการผสมอนุภาคนาโนลูมินามีความแข็งผิวทั้งสองชนิดสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังเห็นได้ชัดในรูปที่ 1

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคของทุกกลุ่มการทดลองรวมกันมีค่าเท่ากับ 0.84 โดยการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) และได้สมการจำลองที่มีความแม่นยำที่ ร้อยละ 70.6 ดังนี้

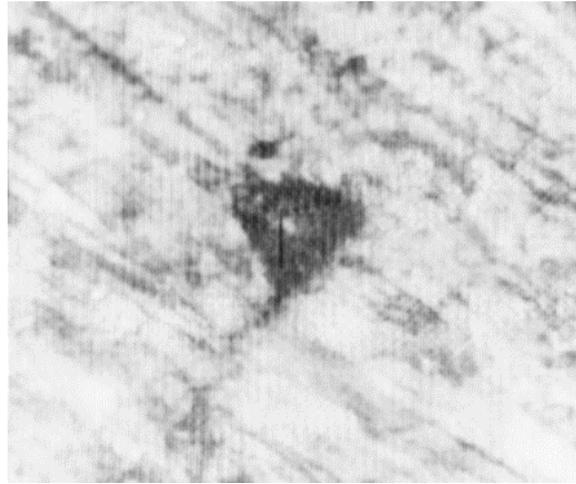
$$\begin{aligned} & \text{ความแข็งผิวระดับนาโน (เมกะปาสคาล)} \\ &= 7.339 \times \text{ความแข็งผิวระดับจุลภาค (วิกเกอร์)} + 62.325 \\ & \text{หรือ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{ความแข็งผิวระดับจุลภาค (วิกเกอร์)} \\ &= 0.096 \times \text{ความแข็งผิวระดับนาโน (เมกะปาสคาล)} + 0.419 \end{aligned}$$

ลักษณะของรอยกดและพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างการทดลองในกลุ่มการทดลองหลังจากผ่านการทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาค (รูปที่ 2 และ 3) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลองและกลุ่มควบคุมภายใต้การทดสอบความแข็งผิวชนิดเดียวกัน แต่ลักษณะของรอยกดมีความแตกต่างกันตามหัวทดสอบของเครื่องมือทดสอบ โดยความแข็งผิวในระดับนาโนใช้หัวทดสอบรูปปิรามิดสามด้านจึงเกิดเป็นลักษณะของรอยกดรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ในขณะที่เครื่องมือทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคใช้หัวกดทดสอบความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ ซึ่งเป็นหัวกดเพชรทรงพีรามิดมุม 136° ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงเกิดลักษณะรอยกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเกิดขึ้นบนชิ้นตัวอย่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ทดสอบ

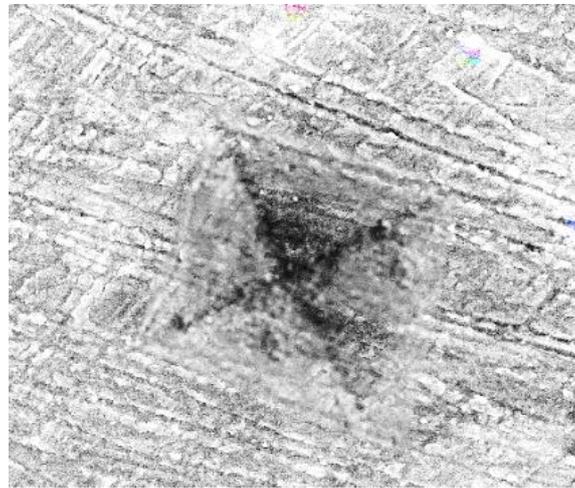


รูปที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับนาโนและค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ได้รับการแปลงมาเป็นหน่วยเมกะปาสคาลในทุกกลุ่มการทดลอง
Figure 1 Comparison between average nano hardness and micro hardness which were converted into megapascal in every experimental groups.



รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างรอยกดและพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างการทดลองในกลุ่มควบคุมหลังจากผ่านการทดสอบความแข็งผิวระดับนาโน รอยกดรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าเกิดจากการกดโดยหัวที่ใช้ทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนรูปปิรามิดสามเหลี่ยมด้านเท่า

Figure 2 Sample image of impression and surface relief of specimen of control group after nano-indentation. The triangle impression was indented by equilateral triangular pyramid shaped nanoindentation testing tip.



รูปที่ 3 ภาพตัวอย่างรอยกดและพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างการทดลองในกลุ่มควบคุมหลังจากผ่านการทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค รอยกดรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าเกิดจากการกดโดยหัวทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบวิกเกอร์ ซึ่งเป็นหัวกดทรงพีรามิดมุม 136° ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Figure 3 Sample image of impression and surface relief of specimen of control group after micro-indentation. The square impression was indented by square base 136° pyramid shaped vicker hardness testing tip.

บทวิจารณ์

ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์สมมติฐานงานวิจัยหลักประการแรกที่กล่าวว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลนในปริมาณที่แตกต่างกันจากการหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคและระดับนาโนในแต่ละกลุ่มด้วยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบไม่อิสระ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาภายในความแข็งผิวระดับนาโนด้วยกันเองจะพบว่ามีความแตกต่างในแต่ละกลุ่มการทดลองที่มีปริมาณอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลนที่แตกต่างกันจากการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ในขณะที่ความแข็งผิวระดับจุลภาคไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองที่มีปริมาณอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลนไม่ว่าจะมีปริมาณเท่าใด นอกจากนี้ผลการศึกษายังปฏิสัมพันธ์สมมติฐานงานวิจัยหลักอีกประการที่กล่าวว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งผิวระหว่างระดับนาโน และระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลน

การศึกษาในครั้งนี้มีขั้นตอนในการปรับสภาพผิวอนุภาคนาโนลูมินาด้วยสารคูควบไซเลน (Silanization) ที่มีส่วนเหมือนกับวิธีการศึกษาของ Wareesurahan และ คณะ³¹ ที่ได้ศึกษาถึงความต้านทานต่อการสึก (Wear resistance) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมด้วยอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลนเปรียบเทียบกับซี ฟันทางการค้าชนิดต่างๆตามแนวทางการศึกษาของ Katheng และคณะ¹⁸ อย่างไรก็ตามมีข้อแตกต่างกันตรงวิธีที่หาความเข้มที่เหมาะสมของสารคูควบไซเลน โดยการศึกษาของ Wareesurahan ใช้การหาความเข้มข้นของสารคูควบไซเลนที่ทำให้เกิดการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวด้วยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคูควบไซเลนด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารโดยคุณสมบัติทางความร้อน [Thermo Gravimetric Analysis (TGA)] ซึ่งทำให้ทราบถึงน้ำหนักของสารคูควบไซเลนที่ได้ใช้ไปในการปรับสภาพผิวให้เกิดการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวบนอนุภาคนาโนลูมินาแล้วจึงคำนวณเป็นความเข้มข้นของสารคูควบไซเลนที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 0.26 กรัมเอ็ทเอ็ส/กรัม³¹ ในขณะที่การศึกษานี้ใช้แนว

ทางการหาความเข้มข้นของสารคูควบไซเลนตามแนวทางการศึกษาของ Jiangkongkho และคณะ²⁷ ซึ่งอาศัยเครื่องปั่นเหวี่ยงตตะกอนเพื่อชะล้างชั้นฟิลิซอร์บที่อยู่ด้านบนของพื้นผิวอนุภาคออกและวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์อินทรีย์สารบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนลูมินา เพื่อทำการคำนวณเป็นความเข้มข้นของสาร คูควบไซเลนที่ทำให้เกิดการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ค่าของ ความเข้มข้นของสารคูควบไซเลนตรงกับการศึกษาของ Maphakdeewong³³ และคณะที่ 0.118 กรัมเอ็ทเอ็ส/กรัม^{ลูมินา}

ผลการศึกษานี้สังเกตพบแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวระดับนาโนลดลงตามปริมาณของอนุภาคนาโนลูมินาที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าปริมาณของอนุภาคนาโนลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวที่ผสมลงในกลุ่มทดลองในแต่ละกลุ่มมีผลต่อความแข็งผิวระดับนาโนที่เกิดขึ้น ปรากฏการณ์นี้ Asopa และคณะ³⁴ ได้อธิบายว่าการที่สารอัดแทรกที่มีมากขึ้นไม่จำเป็นที่ความแข็งผิวมากขึ้นตาม แต่ปริมาณของสารอัดแทรกที่มากเกินไปสู่การไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-unity) ของวัสดุและนำไปสู่การขัดขวางความต่อเนื่องภายในโครงสร้างเรซินเมทริกซ์ และสารอัดแทรกที่ มากเกินไปจุดอิ่มตัว (Saturation point) ที่วัสดุไม่สามารถรับสารอัดแทรกเพิ่มได้อีก นำไปสู่การลดความแข็งผิวในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้อนุภาคนาโนลูมินาที่น้อยที่สุดผสมลงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตแล้วให้ความแข็งผิวมากที่สุด อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของHasratiningsihและคณะ⁹ ที่พบว่าความแข็งผิวยิ่งน้อยลงเมื่อสารอัดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มมากขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของArun และคณะ³¹ ที่พบว่าเมื่อผสมอนุภาคนาโนลูมินาร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักในพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะให้ความแข็งผิวระดับนาโนสูงที่สุดและเมื่อเพิ่มปริมาณสารอัดแทรกจะพบเรื่องปัญหาการกระจายตัวและเกิดความไม่เป็นหนึ่งเดียวกันของชั้นตัวอย่างการทดลองและลดความแข็งผิวในระดับนาโนตามมา

ค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวระดับนาโนและระดับจุลภาคจากการศึกษานี้ไม่ไปในทิศทางเดียวกันในแง่ที่ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวในระดับนาโนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมอนุภาคนาโนลูมินาร้อยละ 0.25 และ 5 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง ซึ่งห้วงกตที่ใช้ทดสอบความแข็งผิวระดับนาโนมีขนาดที่เล็กมากกว่าความแข็งผิวระดับจุลภาค

มากทำให้หวัคที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงระดับนาโนมีโอกาสกตไม่โดนอนุภาคนาโนอลูมินาสูง อีกทั้งระดับของแรงกดความแข็งแรงในระดับนาโนที่มีความเบาว่าเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงในระดับจุลภาค ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับนาโนจึงสามารถเกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อกลุ่มทดลองที่ทำการผสมสารอัดแทรกที่เป็นอนุภาคในระดับนาโน อย่างไรก็ตามลักษณะการบดเคี้ยวในช่องปากมีความใกล้เคียงกับลักษณะของการทดสอบความแข็งแรงในระดับจุลภาคมากกว่า ผู้วิจัยจึงเห็นว่าความแข็งแรงระดับจุลภาคในการศึกษาครั้งนี้จึงเหมาะแก่การอ้างอิงเพื่อใช้ในการศึกษาต่อสำหรับวัสดุในกลุ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่จะพัฒนาเป็นซีฟันเทียม

ความแข็งแรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตควรได้รับการพิจารณาร่วมกับความต้านทานการสึก ซึ่งจากการศึกษาของ Wareesurahan และคณะ³² พบว่าความต้านทานต่อการสึกของเรซินอะคริลิกที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักมีค่าสูงที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณของสารอัดแทรก จากการศึกษาของ Wareesurahan และจากการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Arwatchanakan และคณะ³⁵ ที่ทำการศึกษาฟันเดนโตฟอร์มพบว่าสารอัดแทรกอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลนที่ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักทำให้เกิดความต้านทานต่อการสึกและความแข็งแรงสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ผลจากการศึกษาครั้งนี้เมื่อแปลงค่าความแข็งแรงระดับจุลภาคจากหน่วยวิกเกอร์มาเป็นหน่วยเมกะปาสคาลซึ่งเป็นหน่วยของความแข็งแรงระดับนาโนแล้วทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างความแข็งแรงระดับนาโนและความแข็งแรงระดับจุลภาคในทุกตัวอย่างการทดลองรวมกันด้วยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบไม่อิสระพบว่าค่าเฉลี่ยที่คำนวณรวมทุกกลุ่มการทดลองของความแข็งแรงระดับนาโนสูงกว่าความแข็งแรงระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับนาโนสูงกว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคประมาณร้อยละ 2.5 สอดคล้องกับการศึกษาของ Qian และคณะ³⁶ ที่พบว่าความแข็งแรงระดับนาโนให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าความแข็งแรงระดับจุลภาคร้อยละ 10 ถึง 30 ในชิ้นตัวอย่างการทดลองเดียวกัน ซึ่งจากศึกษาในครั้งนี้พบว่ากลุ่มที่ความแข็งแรงระดับนาโนสูงกว่าระดับจุลภาคในกลุ่มที่เติมอนุภาคนาโนอลูมินาร้อยละ 0.25 0.5 และ 0.75 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามที่ความ

แข็งแรงระดับนาโนมีค่าน้อยกว่าความแข็งแรงระดับจุลภาคในกลุ่มที่เติมอนุภาคนาโนอลูมินาร้อยละ 1 3 และ 5 โดยน้ำหนัก อาจเกิดจากการที่อนุภาคนาโน เมื่อมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นการกระจายตัวจะเริ่มลดลง ในส่วนที่มีการกระจายตัวที่ไม่ดีในชิ้นวัสดุนั้นย่อมส่งผลต่อปัจจัยของการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร (Plastic deformation) และการยืดหยุ่น (Elasticity) ของวัสดุ³⁷ ทำให้การตอบสนองของฟันผิวของชิ้นตัวอย่างการทดลองเมื่อได้รับแรงจากหัวทดสอบความแข็งแรงระดับนาโนที่มีความละเอียดกว่าระดับจุลภาคนั้นเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงระดับนาโนที่เกิดขึ้นได้³⁸

เมื่อพิจารณาถึงจุดประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ที่ต้องการพัฒนาเรซินอะคริลิกเพื่อเป็นซีฟันเทียม จากการศึกษาของ Wareesurahan และคณะ³² พบว่าซีฟันเทียมที่เป็นอะคริลิกแบบดั้งเดิมมีค่าความต้านทานการสึกใกล้เคียงอย่างมากกับกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนชนิดเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้ ในขณะที่ซีฟันเทียมประเภทคอมโพสิตชนิดมาโครฟิลด์ให้ความต้านทานต่อการสึกที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการศึกษาในอนาคตจึงควรนำฟันเทียมชนิดอะคริลิกแบบดั้งเดิมมาเพื่อเป็นกลุ่มควบคุมบวกและซีฟันเทียมประเภทคอมโพสิตชนิดมาโครฟิลด์มาเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลนจะทำให้ผลการทดลองมีความสมบูรณ์ในการนำไปใช้จริงมากยิ่งขึ้น

ผลการศึกษานี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลงเมื่อปริมาณอนุภาคนาโนอลูมินาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ลดลงแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เริ่มไม่สอดคล้องกัน ค่าอธิบายที่เป็นไปได้คือปริมาณอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลนมีมากขึ้น อนุภาคเหล่านี้สามารถเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) กันเองและการกระจายตัวในเรซินเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตลดลงกลายเป็นจุดสะสมความเครียดและจุดอ่อนแอภายในชิ้นวัสดุ³⁹ อีกทั้งยังนำไปสู่การเกิดช่องว่าง (Gap) ในชิ้นตัวอย่างการทดลอง¹⁹ เมื่อหวัคที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงสัมผัสบริเวณนั้นก็จะเกิดการแยกตัวจากการทดสอบที่ใหญ่ขึ้นกว่าปกติ และค่าความแข็งแรงที่น้อยกว่าค่าความแข็งแรงจริงที่ควรเกิดขึ้นในชิ้นตัวอย่างการทดลองนั้น นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงระดับนาโนและความแข็งแรงระดับจุลภาคแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงทั้งสองชนิดนั้นคาดคะเนได้แม่นยำน้อยลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang และคณะ¹¹

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงระดับนาโนและระดับจุลภาคของทุกกลุ่มการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มระหว่างค่าความแข็งแรงทั้งสองชนิดไปในทิศทางเดียวกันอย่างมาก และจากการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นเพื่อสร้างสมการคาดคะเนผลของความแข็งแรงระดับนาโนจากความแข็งแรงระดับจุลภาค ความแม่นยำของสมการนี้อยู่ในระดับพอใช้ได้ โดยมีความแม่นยำที่ร้อยละ 70.6 ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงทั้งสองชนิดทั้งหมดยกกำลังสอง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้ประการแรกคือทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงระดับนาโนและความแข็งแรงระดับจุลภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน นำไปสู่การทำนายผลของค่าความแข็งแรงชนิดใดชนิดหนึ่งได้หากทราบค่าความแข็งแรงเพียงชนิดเดียวโดยสมการจากการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น นอกจากนี้ยังทำให้ทราบข้อมูลว่าความแข็งแรงทั้งระดับนาโนและระดับจุลภาคมีค่าสูงสุดอยู่ที่กลุ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามปริมาณของอนุภาคนาโนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนมีผลต่อเรื่องของสีและความขุ่นของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งจากการศึกษาของ Katheng และคณะ¹⁸ พบว่าปริมาณของอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเมื่อผสมกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้การเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปริมาณของอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวนั้นจะส่งผลต่อเรื่องของสีและความสวยงามต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้พัฒนาเป็นซีฟันเทียม

การศึกษาในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำไปใช้จริงในสภาวะช่องปากควรได้รับการทดสอบอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermal cycling test) เพื่อให้ใกล้เคียงสภาวะช่องปากยิ่งขึ้น รวมถึงการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับซีฟันเทียมทางการค้าชนิดต่างๆจะทำให้สามารถใช้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบสำหรับปรับปรุงคุณสมบัติซีฟันเทียมต่อไป

บทสรุป

1. ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับนาโนที่มากที่สุดเกิดขึ้นในกลุ่มการทดลองที่ผสมอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวร้อยละ 0.25 มีค่าเท่ากับ 266.76 เมกะปาสคาล โดยกลุ่มการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับนาโนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญได้แก่กลุ่มที่ผสมอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวร้อยละ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก
2. ความแข็งแรงระดับจุลภาคของทุกกลุ่มการทดลองที่ผสมอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคที่มากที่สุดเกิดขึ้นในกลุ่มที่ผสมอนุภาคนาโนอลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวร้อยละ 0.25 มีค่าเท่ากับ 26.43 วิกเกอร์ อย่างไรก็ตามเป็นค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มการทดลองอื่น
3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงระดับนาโนและความแข็งแรงระดับจุลภาคของทุกกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงทั้งสองชนิดในระดับสูง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระรุจิ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Reis K, Bonfante G, Pegoraro L, Conti P. In vitro wear resistance of three types of polymethyl methacrylate denture teeth. *J Appl Oral Sci* 2008;16(3):176-80.
2. Patel MB, Bencharit S. A treatment protocol for restoring occlusal vertical dimension using an overlay removable partial denture as an alternative to extensive fixed restorations: a clinical report. *Open Dent J* 2009;3(2):213-8.
3. Ucar Y, Akova T, Aysan I. Mechanical Properties of Polyamide Versus Different PMMA Denture Base Materials. *J Prosthodont* 2012;21(3):173-76.
4. Aydin C, Yilmaz H, Caglar A. Effect of glass fiber reinforcement on the flexural strength of different denture base resin. *Quintessence Int* 2002;33(6):457-63.
5. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Mizuno I, Hasegawa A. Shock Absorbability and Hardness of Commercially Available Denture Teeth. *Int J Prosthodont* 2002;15(3):243-7.
6. Heintze SD, Zellweger G, Sbicego S, Rousson V, Muñoz-Viveros C. Wear of two denture teeth materials in vivo-2-year results. *Dent Mater J* 2013;29(9):191-204.
7. Balshi TJ, Wolfinger GJ. Restoring lost vertical dimension of occlusion using dental implants: a clinical report. *Int J Prosthodont* 1996;9(5):473-8.
8. Alhareb AO, Akil HM, Ahmad ZA. Impact strength, fracture toughness and hardness improvement of PMMA denture base through addition of nitrile rubber/ceramic fillers. *Saudi Dent J* 2017;8(1-2):26-34.
9. Hasratiningsih Z, Takarini V, Cahyanto A, Faza Y, Purwasasmita BS. Hardness evaluation of PMMA reinforced with two different calcinations temperatures of $ZrO_2-Al_2O_3-SiO_2$ filler system. *Mater Sci Eng* 2017;12(6):172-9.
10. Wongkhantee S, Patanapiradejb V, Maneenutb C, Tantbirojnb D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. *J Dent* 2006;34(3):214-20.
11. Zhang J. Study on friction and wear behavior of PMMA composites reinforced by HCl-immersed TiO_2 particles. *J Thermoplast Compos Mater* 2014;27(5):603-10.
12. Silva E, Ribeiro L, Nascimento M, Ito E. Rheological and Mechanical Characterization of Poly (methyl methacrylate)/silica (PMMA/ SiO_2) Composites. *Mater Res* 2014;17(4):926-32.
13. Arimatéia RR, Hanken RB, Oliveira AD, Silva ES. Effect of alumina on the properties of poly(methyl methacrylate)/alumina composites obtained by melt blending. *J Thermoplast Compos Mater* 2021;34(4):451-71.
14. Guo Z, Pereira T, Choi O, Wang Y, Hahn HT. Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties. *J Mater Chem* 2006; 16(27):2800-08.
15. Jasim BS, Ismail IJ. The effect of silanized alumina nano -fillers addition on some physical and mechanical properties of heat cured polymethyl methacrylate denture base material. *JBCD* 2014; 26(4):18-23.
16. 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(1):31-6.
17. Matinlinna JP, Lassila LV, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17(2):155-64.

18. Katheng, A, Chaijareenont, P, Chaoklaiwong, B, Pleumsamran, N, Yavirach, P. Effect of Silanized Alumina Nanoparticles on Compressive Strength and Color Alteration of Heat-polymerized Acrylic Resin Tooth. *CM Dent J* 2017;38(2):97-110.
 19. Kundie F, Azhari C, Ahmad Z. Effect of nano- and micro-alumina fillers on some properties of poly(methyl methacrylate) denture base composites. *J Serb Chem Soc* 2018;83(1):75-91.
 20. 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): 610-6.
 21. 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):623-8.
 22. Culler SR, Ishida H, Koenig JL. Structure of silane coupling agents adsorbed on silicon powder. *Colloid Interf Sci* 1985;106(2):334-46.
 23. BSI. Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 1: Test method 2015 (reference number ISO 14577-1:2015). Switzerland, International Organization for Standardization; 2015.
 24. Kumar M, Arun S, Upadhyaya P. Properties of PMMA/clay nanocomposites prepared using various compatibilizers. *Int J Mech Mater Eng* 2015;10(7):1-9.
 25. Kang S, Kim J, Park C, Kim H, Kwon D. Conventional Vickers and true instrumented indentation hardness determined by instrumented indentation tests. *J Mater Res* 2010;25(2):337-43.
 26. Van Meerbeek B, Willems G, Celis JP, Roos JR, Lambrechts P. Assessment by Nano-indentation of the Hardness and Elasticity of the Resin-Dentin Bonding Area. *J Dent Res* 1993;72(10):1434-42.
 27. Jiangkongkho P, Arksornnukit M, Takahashi H. The synthesis, modification, and application of nanosilica in polymethyl methacrylate denture base. *Dent Mater J* 2018;37(4):582-91.
 28. Kamonkhantikul K, Arksornnukit M, Takahashi H. Antifungal, optical, and mechanical properties of polymethylmethacrylate material incorporated with silanized zinc oxide nanoparticles. *Int J Nanomedicine* 2017;12(1):2353-60.
 29. Machado AL, Breeding LC, Vergani CE, da Cruz Perez LE. Hardness and surface roughness of reline and denture base acrylic resins after repeated disinfection procedures. *J Prosth Dent* 2009;102(2):115-22.
 30. Swaney AC, Paffenbarger GC, Caul HJ, Sweeney WT. American Dental Association specification No. 12 for denture base resin: second revision. *J Am Dent Assoc* 1953;46(1):54-66.
 31. Arun S, Rama SP, Kanagaraj S. Mechanical characterisation of PMMA/SWNTs bone cement using nanoindenter. *Mater Tech* 2014;29(1):B4-9.
 32. Wareesurahan Y, Chaijareenont P, Yavirach P. A Comparison of Wear Resistance The Comparison of Wear Resistance Between a Heat-curing Acrylic Resin Modified with Silanized Nanoalumina and Commercially Artificial Tooth. *Khon Kaen Dent J* 2021;24(2):10-13.
 33. Maphakdeewong R, Yavirach P. A Study of Flexural Properties of Polymethyl Methacrylate Reinforced with Various Amount of Silanized Nano Alumina. *CM Dent J* 2021;42(3):13-22.
 34. Asopa V, Suresh S, Khandelwal M, Sharma V, Kaira S. A comparative evaluation of properties of zirconia reinforced high impact acrylic resin with that of high impact acrylic resin. *Saudi J Dent Res* 2015;6(2):146-51.
 35. Arwatchanakan S, Thanaphumphong N, Suwanprateeb J, Arksornnukit M. Comparison of Wear Resistance, Surface Hardness and Surface Roughness of Dentoform Tooth and Silane-treated Alumina Reinforced Epoxy Resin. *Khon Kaen Dent J* 2021;23(1):33-42
-

36. Qian L, Li M, Zhou Z, Yang H, Shi X. Comparison of nano-indentation hardness to microhardness. Surf Coat Technol 2005;195(2-3):264-71.
37. Broitman E. Indentation hardness measurements at macro-, micro-, and nanoscale: a critical overview. Tribol Lett 2017;65(1):23.
38. Jiang G, Su J, Feng Q. Effect of surface roughness on nanoindentation test of thin films. Eng Fract Mech 2008;75(17):4965-72.
39. Kumar SR, Patnaik A, Bhat I. Physical and thermo-mechanical characterizations of resin-based dental composite reinforced with silane-modified nanoalumina filler particle. JMDA 2016; 230(2):504-14.

ผู้รับผิดชอบบทความ

พิลัยศิษฐ์ ชัยจรีนนท์

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อำเภอเมืองเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์: 081 939 9538

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: yodent@hotmail.com

A Study of Nano and Micro Hardness of Polymethyl Methacrylate Reinforced with Various Amount of Silanized Nano Alumina

Maphakdeewong R* Yavirach P** Chaijareenont P**

Abstract

The purposes of this study were to study nano and micro hardness of polymethyl methacrylate mixed with various amount of silanized nano-alumina particles and to study relationship between nano and micro hardness. Silane coupling agent were used for silanization of nano-alumina particles and silanized nano-alumina particles were mixed with acrylic resin at 0.25, 0.5, 0.75, 1, 3 and 5% w/w, producing the experimental groups. The control group was acrylic resin without nano-alumina particles. Both experimental groups and control group were 7 groups, each group contained 10 specimens. The specimens were 12 mm in width, 12 mm in length and 3 mm in thickness. Nano and micro hardness were investigated for all groups. Results were analyzed using one-way ANOVA at 95% confidence intervals and were analyzed by correlation coefficient for relationship between nano and micro hardness. Nano hardness ranged between 195.51-266.76 MPa. Micro hardness ranged between 17.60-26.43 vickers. The highest average nano hardness was found in the 0.25% w/w silanized nano-alumina group (266.76 ± 26.19 MPa) and was significantly different from control group. The highest average micro hardness was found in the 0.25% w/w silanized nano-alumina group (26.43 ± 3.86 vickers) and was significantly different from control group. The correlation coefficient between nano and micro hardness in all groups was 0.84.

Keywords: Methyl methacrylate/ Micro-hardness/ Nano-alumina particles/ Nanoindentation/ Silane coupling agents

Corresponding Author

Pisaisit Chaijareenont
Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiangmai University.
Amphur Muang, Chiang Mai, 50200.
Tel.: +66 81 939 9538
Email: yodent@hotmail.com

* Residency training student of prosthodontics, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Amphur Muang, Chiang Mai.

** Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Amphur Muang, Chiang Mai.