

การเปรียบเทียบความต้านทานต่อการสึกกร่อนเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินา ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจน กับชีฟันเทียมทางการค้า

ยศมน วรวิสุทธาณู* พิชัยศิษฐ์ ชัยจรีนนท์** พิริยะ ยาวีระ**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานต่อการสึกกร่อนเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจนกับชีฟันเทียมทางการค้าชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบการสึกกร่อนด้วยวิธีทดสอบการสึกกร่อนเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจนชนิดเอมฟิเอสร้อยละ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก และชีฟันเทียมทางการค้า 4 ยี่ห้อ ได้แก่ ชีฟันเทียมอะคริลิก (คอสโมและยามาฮาชิ นิวเอส) และคอมโพสิต (เอนดูราและยามาฮาชิเพอิกซ์) ด้วยเครื่องทดสอบการสึกกร่อนจากวิธีการหมุนและจาน โดยมีกลุ่มควบคุมคืออะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ไม่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินา วัดปริมาตรที่สูญเสียไปและวิเคราะห์สถิติความแปรปรวนทางเดียวที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาตรที่สูญเสียไปของเรซินอะคริลิกที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักและชีฟันเทียมเอนดูราที่มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมและชีฟันเทียมยามาฮาชิ นิวเอสอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจน สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อนเรซินอะคริลิก ได้ใกล้เคียงกับชีฟันเทียมคอมโพสิตและสูงกว่าชีฟันเทียมอะคริลิกแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ความต้านทานต่อการสึกกร่อนของกลุ่มร้อยละ 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก แตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มค่าความต้านทานต่อการสึกกร่อนที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินา

คำใบ้: ความต้านทานต่อการสึกกร่อน/เรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อน/นาโนอะลูมินา/สารคู่ควบไฮโดรเจน/ชีฟันเทียมทางการค้า

Received: November 16, 2020

Revised: February 04, 2021

Accepted: March 02, 2021

บทนำ

เมื่อผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยว่ามีการสึกของฟันอย่างรุนแรงบริเวณด้านบดเคี้ยวร่วมกับการสูญเสียปริมาตรในแนวตั้ง แนวทางการรักษาที่เหมาะสมคือการฟื้นฟูสภาพช่องปากด้วยฟันเทียมแบบติดแน่นและอาจทำร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้กรณีที่มีสันเหงือกกว้างร่วมด้วย แต่เนื่องด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงในการบูรณะด้วยฟันเทียมแบบติดแน่น ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถเข้าถึงการรักษาด้วยฟันเทียมแบบติดแน่นได้ อีกหนึ่งทางเลือกที่ทันตแพทย์สามารถพิจารณาเลือกใช้เพื่อเพิ่มและคงระยะมิติในแนวตั้งที่สูญเสียไปในผู้ป่วยมีข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจสถานะทางการเงินหรือมีปัญหาด้านสุขภาพคือ ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ครอบฟัน (Overlay removable partial dentures, ORPDs)¹ และนิยมใช้เรซินอะคริลิกเป็นวัสดุในส่วนครอบฟันและส่วนชีฟันเทียม ชีฟันเทียมที่มีความ

ต้านทานต่อการสึกได้ดีและใกล้เคียงกับการสึกของฟันธรรมชาติ จะช่วยประเมินการตอบสนองของผู้ป่วยต่อระยะมิติในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น คงระยะมิติในแนวตั้งและรักษารูปแบบการสบฟันที่สร้างขึ้นให้มีเสถียรภาพตลอดการใช้งาน คุณสมบัติความต้านทานต่อการสึกของเรซินอะคริลิกจึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของฟันเทียม

เนื่องด้วยเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่นิยมนำมาใช้ในส่วนชีฟันเทียมของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ครอบฟันนั้น มีความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกที่ไม่สูงนัก² จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินอะคริลิกด้วยวิธีต่างๆ³⁻⁵ ได้แก่ การใช้วัสดุชนิดอื่นมาทดแทน การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและการใส่วัสดุเสริมความแข็งแรงชนิดสารอัดแทรก หนึ่งในสารอัดแทรกที่ถูกเติมเข้าไปในเรซินอะคริลิก

*ฝ่ายทันตกรรม โรงพยาบาลศรีบุญเรือง อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดหนองบัวลำภู

** สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติคือ อนุภาคอะลูมินา (Alumina particles) เนื่องจากอะลูมินามีความแข็งแรง ทนต่อความสึกกร่อน มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกาย มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับโลหะและราคาไม่แพง⁶ การศึกษาในช่วงแรกของการเติมอนุภาคอะลูมินาลงไปในเรซินอะคริลิกมีทั้งทำให้คุณสมบัติของเรซินอะคริลิกดีขึ้น⁶⁻⁸ และแย่ลง⁹ เนื่องจากอนุภาคอะลูมินาที่เติมลงไปขาดการยึดติดกับเรซินอะคริลิก ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคอะลูมินากับเรซินอะคริลิกและเกิดความเค้นขึ้นบริเวณรอบวัสดุเสริมแรง^{10,11} จึงมีการพัฒนาเพื่อให้เกิดการยึดติดด้วยการเติมสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) โดยชนิดของไซเลนที่นิยมใช้ทางทันตกรรมคือ เอ็มพีเอสไซเลน (MPS, 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane) การเติมสารคู่ควบไซเลนจะทำให้เกิดการยึดกันของอะลูมินาที่เป็นสารอนินทรีย์กับเรซินอะคริลิกที่เป็นสารอินทรีย์โดยเกิดพันธะโควาเลนต์¹² ที่ให้การยึดติดที่แข็งแรง ส่งผลให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond strength) ระหว่างเรซินอะคริลิกและอะลูมินามากขึ้น เพิ่มความแข็งแรงของเรซินอะคริลิกจากการเชื่อมเป็นหนึ่งเดียวกันด้วยพันธะเคมี¹³⁻¹⁵

ต่อมาได้มีการนำอนุภาคนาโนอะลูมินา (Nanoalumina) มาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ พบว่ามีประสิทธิภาพเหนือกว่าการเติมอนุภาคระดับจุลภาคเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า สามารถเข้าจับกับสายพอลิเมอร์ด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น^{10,16-18} การศึกษาของ Kundie และคณะ เปรียบเทียบระหว่างการเติมอนุภาคอะลูมินาระดับจุลภาคกับระดับนาโน แสดงให้เห็นว่าเรซินอะคริลิกที่เติมอนุภาคอะลูมินาระดับนาโนมีความต้านทานการแตกหักที่มากกว่าระดับจุลภาค¹⁷ และจากการศึกษาของ Katheng และคณะ พบว่าเรซินอะคริลิกที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเอ็มพีเอสไซเลนจะให้ค่าความทนแรงอัดสูงกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้ผ่านการเติม โดยการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความทนแรงอัดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มร้อยละ 3 และร้อยละ 5¹⁰ แต่ยังไม่มีการศึกษาในปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 1

เนื่องจากคุณสมบัติความต้านทานต่อการสึกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของซีฟฟันเทียมแต่ปัจจุบันยังมีการศึกษาเรื่องความต้านทานต่อการสึกของเรซินอะคริลิกที่เติมอนุภาคอะลูมินาเป็นจำนวนน้อยโดยเฉพาะการเติมอนุภาคระดับนาโน และยังไม่มีการทดสอบที่นำเรซินอะคริลิกที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติมาเปรียบเทียบกับซีฟฟันเทียมทาง

การค้ำที่มีขายตามท้องตลาดไทย อีกทั้งการศึกษาเรื่องความต้านทานต่อการสึกของซีฟฟันเทียมทางการค้าชนิดต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันยังมีความหลากหลายของผล อาทิเช่น การศึกษาที่สนับสนุนการมีสารเชื่อมโยงข้าม (Cross linking agent) ของซีฟฟันอะคริลิกจะเพิ่มความต้านทานต่อการสึกให้สูงขึ้น ได้ใกล้เคียงกับซีฟฟันเทียมคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์ แต่ยังคงต่ำกว่าซีฟฟันเทียมคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์^{19,20} ในขณะที่การศึกษาของ Suwannaroop และคณะ²¹ พบซีฟฟันอะคริลิกที่มีสารเชื่อมโยงข้ามมีความต้านทานต่อการสึกน้อยที่สุดและน้อยกว่าซีฟฟันอะคริลิกแบบดั้งเดิม แต่การศึกษาทางคลินิก²² กลับไม่พบความแตกต่างกัน จึงยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้แน่ชัดว่าซีฟฟันเทียมที่ทำจากวัสดุชนิดใดมีความต้านทานต่อการสึกที่ดีกว่า จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานต่อการสึกระหว่างเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนกับซีฟฟันเทียมทางการค้าเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ซีฟฟันเทียมที่มีคุณสมบัติความต้านทานต่อการสึก เพื่อคงมิติในแนวตั้งของผู้ป่วยและยืดอายุการใช้งานของฟันเทียมบางส่วนถอดได้คร่อมฟัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลน ใช้วิธีการเตรียมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนตามการศึกษาของ Katheng และคณะ¹⁰ โดยใช้อุณหภูมิ 100°C (Al₂O₃ Nanoparticles, US Research Nanomaterials, Inc., Houston, USA) ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร พื้นที่ผิว 138 ตารางเมตรต่อกรัม ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนชนิดเอ็มพีเอสไซเลน (MPS, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, USA) ในปริมาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการเคลือบบนผิวอนุภาคนาโนอะลูมินาแบบชั้นเดียว (Monolayer) หรือ ชั้นเคมีซอร์บ (Chemisorbed) คำนวณปริมาณเอ็มพีเอสไซเลนโดยใช้สมการของอาร์เคล²³

$$\text{Amount of silane (g)} = \frac{\text{Amount of filler (g)} \times \text{Surface area (m}^2\text{/g)}}{\text{Minimum coating area of silane coupling agent (m}^2\text{/g)}}$$

โดยพื้นที่ที่น้อยที่สุดของเอ็มพีเอสไอเลนในการเคลือบผิวเท่ากับ 314 ตารางเมตรต่อกรัม ทำการเตรียมเอ็มพีเอสไอเลนในสารละลายเอทานอลร้อยละ 70 ปริมาณ 100 มิลลิลิตรโดยผสมจากเอทานอล (Ethanol, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) ความเข้มข้นร้อยละ 99.8 โดยปริมาตร 70 มิลลิลิตรผสมกับน้ำปราศจากไอออน 30 มิลลิลิตรในขวดพอลิเอทิลีน หดกรดอะซิติก (Acetic acid, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) ลงในสารละลายเพื่อให้สารละลายมีค่าพีเอช 4.5 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดด่างที่สามารถควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารเคลือบผิวได้ดี เติมเอ็มพีเอสไอเลน 4.4 มิลลิลิตร (ปริมาณจากการคำนวณโดยใช้สมการของอาร์เคล) ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที ให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและมีหมู่ไฮดรอกซิลเกิดขึ้น ผสมอนุภาคนาโนอะลูมินา 10 กรัมเข้ากับสารละลายเอ็มพีเอสไอเลนที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้ระเหยจนสารละลายแห้งสนิท เก็บไว้ในตู้ป้องกันการปนเปื้อนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้อนุภาคแห้งสนิทอย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำการล้างอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบผิวเลนด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran, THF, Carlo erba, Rodano, Milano, Italy) เป็นเวลา 2 นาที นำส่วนของเหลวที่ล้างออกมาในแต่ละครั้งมาตรวจสอบโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง หรือจนกระทั่งของเหลวที่ล้างออกมาแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนที่ไม่มีสารอื่นเจือปน วิเคราะห์การคงอยู่ของธาตุซิลิคอนในสารเคลือบผิว

อนุภาคนาโนอะลูมินาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM, JSM 6335 F, JEOL, Tokyo, Japan) ร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน (Energy dispersive spectrometer, EDS software)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของอนุภาคนาโนอะลูมินา ที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบผิวเลนโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) เพื่อยืนยันการเคลือบผิวของสารเคลือบผิวเลนแบบชั้นเดียวโดยแบ่งผงอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบผิวเลนแล้วทั้งก่อนและหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนมาทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, Netzsch STA 449 Jupiter, Selb, Germany) กำหนดอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มจากอุณหภูมิห้องจนถึง 800 องศาเซลเซียส สารเคลือบผิวเลนที่เคลือบผิวอยู่จะระเหยออกไปซึ่งจะเท่ากับปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อได้รับความร้อน บันทึกน้ำหนักของผงอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบผิวเลนก่อนและหลังได้รับความร้อนเพื่อหาผลต่างน้ำหนักที่หายไปจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของทั้งสองตัวอย่าง (ก่อนและหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน)

การเตรียมชิ้นทดสอบการสึก ทั้งหมด 9 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ชิ้น ได้แก่ อะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบผิวเลนร้อยละ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักตามลำดับและชิ้นเทียมทางการค้าจำนวน 4 ชิ้นที่มีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) โดยมีกลุ่มควบคุมคืออะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ไม่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินา

ตารางที่ 1 ชิ้นเทียมทางการค้าที่ใช้ในการศึกษา

Table 1 Commercially artificial tooth used in this study

Brand name	Composition	Abbreviation	Manufacturer
Endura	Microfilled composite resin, PMMA	EN	Shofu Dental CO., Kyoto, Japan
Yamahachi PX	Nanofilled composite resin, PMMA	YP	Yamahachi Dental MFG.CO., Aichi Pref., Japan
Cosmo HXL	90% Cross linked, 10% IPN PMMA	CM	Cosmo HXL, Dentsply Ltd., NC, U.S.A
Yamahachi New Ace	PMMA	YM	Yamahachi Dental MFG.CO., Aichi Pref., Japan

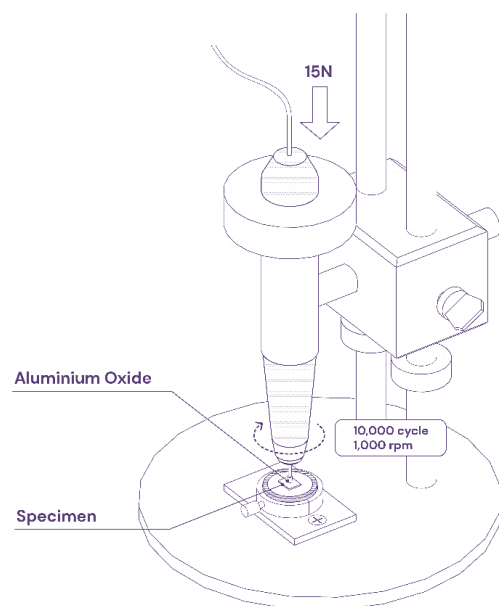
1. การเตรียมชิ้นทดสอบการสึกของอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินาและปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลน ตามวิธีของ Katheng และคณะ¹⁰ ทำการสร้างเบ้าหล่อพลาสติกขึ้นในภาชนะหล่อแบบทองเหลืองจากแม่แบบพลาสติกขนาดยาว 65 มิลลิเมตร กว้าง 55 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร นำอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนร้อยละ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักมาบดให้ละเอียดด้วยครกอาเกตเพื่อลดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค เติมอนุภาคลงในน้ำม่อนอเมอร์ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer, VTX-3000L, LMS, Tokyo, Japan) เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเติมผงฟีนเทียมเรซินอะคริลิกสีเหมือนฟันชนิดบ่มร้อน (Major C&B DENTINE, Major, Moncalieri, Italy) ด้วยอัตราส่วนผง 2.5 กรัมต่อม่อนอเมอร์ 1 มิลลิลิตร นำไปใส่ลงในเบ้าหล่อพลาสติกขึ้นสำหรับสร้างชิ้นงานที่เตรียมไว้ บ่มในน้ำร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชชัน ตัดแต่งส่วนเกินด้วยเข็มกรอคาร์ไบด์สำหรับเครื่องกรอแบบช้า นำชิ้นงานมาตัดด้วยเลเซอร์ (Laser CNC machine, T-Bros.engineering Co.,Ltd, Bangkok, Thailand) ให้ได้ชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 7 มิลลิเมตร ตรวจสอบขนาดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องวัดระยะแบบดิจิตอล (Digital vernier caliper, Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japan) นำชิ้นทดสอบที่ตัดแล้วมายึดในท่อพีวีซีโดยใช้โอพอกซี เรซินเป็นตัวยึดให้กลุ่มเฉพาะด้านล่างและด้านข้างของชิ้นงานโดยให้ชิ้นทดสอบอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางและห่างจากขอบแม่แบบเป็นระยะเท่ากันโดยรอบ นำไปขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (Polishing machine; MOPAO-160E, Shandong, China) ที่มีน้ำหล่อตลอดเวลาโดยใช้เครื่องจับชิ้นงานเพื่อให้ได้ระนาบด้านบนที่ขนานกันทุกชิ้น ขัดด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 200 400 600 800 1,000 และ 2,000 ตามลำดับ

2. การเตรียมชิ้นทดสอบการสึกของซี่ฟันเทียมทางการค้า ใช้ฟันกรามหลังล่างซี่ที่หนึ่งผ่านการขัดด้านแก้มออก 1 ใน 3 ของความหนา²⁴ ด้วยเข็มกรอคาร์ไบด์สำหรับเครื่องกรอแบบช้า ให้ได้พื้นที่ทดสอบการสึกในชั้นใต้ต่อชั้นเคลือบฟัน (Sub-enamel layer) หรือชั้นเนื้อฟัน (Dentin layer) ที่กว้างกว่าขนาดหัวอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นหัวกดของเครื่องทดสอบการสึก นำมายึดในท่อพีวีซีและจัดเรียงด้วยวิธีการเดียวกัน

ทดสอบความเรียบของผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดแล้วด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer, SJ-301 SurfTest, Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japan) โดยสุ่มตรวจชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจากทุกกลุ่มมาบันทึกค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Roughness

average, Ra) เพื่อแสดงความเรียบผิวดั้งเดิมของชิ้นทดสอบทุกชิ้นที่ไม่แตกต่างกัน นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ตามมาตรฐานไอเอสโอ 14569-2 (2001) ก่อนนำไปทดสอบการสึกต่อไป

การทดสอบการสึก ใช้เครื่องทดสอบการสึกเหตุวัตถุสองชนิด (Two-body wear) ดัดแปลงจากวิธีการหมุนและจาน (Pin on disc tribometer)^{11,21} (รูปที่ 1) ให้ชิ้นงานรับแรงกดจากหัวอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide; Dura-White® stone, RD-1, Shofu, Kyoto, Japan) ทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรเป็นส่วนในการสึก โดยให้แรงแนวตั้งที่ 15 นิวตัน หัวอะลูมิเนียมออกไซด์หมุนทั้งหมด 10,000 รอบที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาทีต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น โดยกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่แนวขวาง ไม่ใช้สารเคมีหรือสารคันกลาง ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เปลี่ยนหัวอะลูมิเนียมออกไซด์ใหม่ทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนชิ้นงาน แบ่งชิ้นงาน 10 ชิ้นต่อกลุ่มมาวัดปริมาตรที่สูญเสียไป (Volume loss) เพื่อใช้อธิบายความต้านทานต่อการสึก โดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer, TalyScan 150, Taylor Hobson Ltd., Leicester, UK) ที่มีปลายวัดแบบสัมผัส (Contact stylus) ลากไปตามพื้นผิวของชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว 3,000 ไมโครเมตรต่อวินาที อ่านค่าทุก 5 ไมโครเมตร คำนวณปริมาตรที่สูญเสียไปโดยใช้ความลึกของรอยสึกร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ซอฟต์แวร์ทาลิสแกน 150 (TalyScan 150 software analyzer, Taylor Hobson Ltd., Leicester, UK)



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบการสึกดัดแปลงจากวิธีการหมุนและจาน

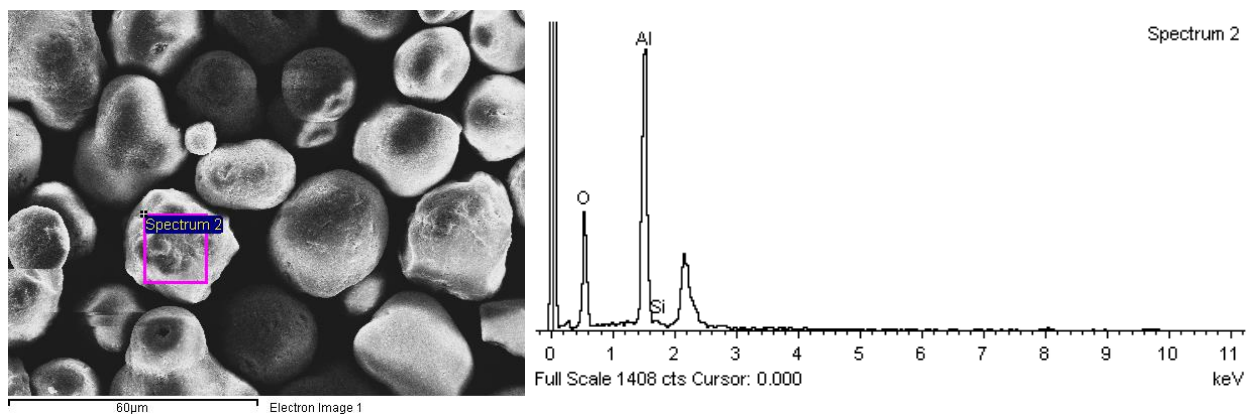
Figure 1 Wear testing apparatus modified from pin on disc method

การศึกษาลักษณะพื้นผิวหลังทดสอบการสึก นำชิ้นงานที่เหลือ 2 ชิ้นต่อกลุ่มศึกษาลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงหลังทดสอบการสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM, JSM-IT300, JEOL, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 50, 500 และ 5,000 เท่าร่วมกับอัตราเร่งอนุภาค 15 kV

สถิติที่ใช้ทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเวอร์ชัน 24.0 โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Dunnett's T3 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผล

การคงอยู่ของธาตุซิลิกอนในสารเคลือบไฮเลนที่เคลือบผิวอนุภาคนาโนอะลูมินา ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับการใช้สเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงานตรวจสอบผิวอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน 5 ครั้ง พบค่าสเปกตรัมของธาตุซิลิกอนในสารเคลือบไฮเลนและธาตุอะลูมิเนียมและออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคนาโนอะลูมินา (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและสเปกตรัมที่ได้จากสเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงานของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮเลนหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน พบค่าสเปกตรัมของธาตุซิลิกอนที่เป็นธาตุองค์ประกอบในสารเคลือบไฮเลนเคลือบอยู่บนผิวอนุภาคนาโนอะลูมินาและพบธาตุอะลูมิเนียมและออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคนาโนอะลูมินา (O ธาตุออกซิเจน; Al ธาตุอะลูมิเนียม; Si ธาตุซิลิกอน)

Figure 2 SEM and spectrums from EDS software of silanized nanoalumina particles after THF washing demonstrated the spectrums of silicon, element in silane coupling agent, aluminium and oxygen elements which are compound of nanoalumina particles. (O oxygen; Al aluminium; Si silicon)

การยืนยันการเคลือบผิวของสารเคลือบไฮเลนแบบชั้นเดียว น้ำหนักที่หายไปเมื่อได้รับความร้อนจากเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน พบว่าเมื่อนำผง 1 กรัมของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮเลนทั้งก่อนและหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนมาผ่านความร้อน น้ำหนักที่หายไปจากการเปลี่ยนสถานะของทั้งสองตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.31 มิลลิกรัมและ 0.21 มิลลิกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 น้ำหนักที่หายไป (มิลลิกรัม) ของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮเลนทั้งก่อนและหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนจากเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน

Table 2 Weight loss (mg) of silanized nanoalumina before and after THF washing from thermogravimetric analysis

	Weight loss (mg)	
	Before THF washing	After THF washing
Silanized nanoalumina (1 mg)	0.31	0.21

การทดสอบการสึก จากการสุ่มตรวจสอบค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นทดสอบ 3 ชั้นที่ขัดแล้วจากทุกกลุ่มพบค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นงานทุกชั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) ดังนั้นจึงสามารถอนุมานได้ว่าพื้นผิวชิ้นงานก่อนทดสอบการสึกทุกชั้นมีความเรียบเท่ากันหมด ค่าปริมาตรที่สูญเสียไปนั้นมาจากการสึกจากการทดสอบเท่านั้น

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ขัดแล้ว ค่าที่ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=3$)

Table 3 The average surface roughness of specimen after polishing. The values with different letter indicate significantly different at $p<0.05$ ($n=3$)

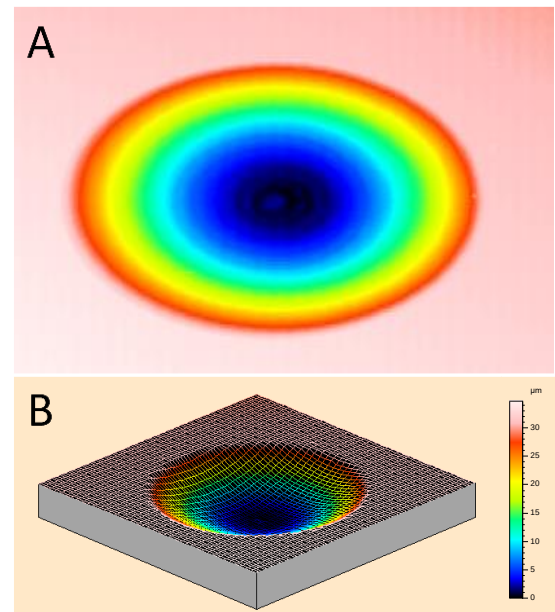
Group	Surface roughness
Silanized nanoalumina	
0.25 %	0.084 ^a
0.5 %	0.062 ^a
0.75 %	0.070 ^a
1 %	0.081 ^a
Endura	0.076 ^a
Yamahachi PX	0.054 ^a
Cosmo HXL	0.067 ^a
Yamahachi New Ace	0.047 ^a
Acrylic (control group)	0.067 ^a

จากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรที่สูญเสียไป (ตารางที่ 4) ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิวร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ซอฟต์แวร์ทาลิสแกน 150 (รูปที่ 3) พบปริมาตรที่สูญเสียไปของกลุ่มควบคุมและเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรลิก 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักมีค่า 0.377 ± 0.217 0.077 ± 0.059 0.147 ± 0.055 0.172 ± 0.082 และ 0.214 ± 0.133 ลูกบาศก์มิลลิเมตรตามลำดับโดยกลุ่มร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มร้อยละ 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก ในขณะที่กลุ่มร้อยละ 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมแต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาตรที่สูญเสียไปของซี่ฟันเทียมทางการค้ายี่ห้อเอนดูรา ยามาฮาชิพีเอ็กซ์คอสโมและยามาฮาชินิวเอส มีค่า 0.061 ± 0.052 0.116 ± 0.087 0.296 ± 0.310 0.301 ± 0.155 ตามลำดับ อะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรลิก 0.25 โดยน้ำหนักมีปริมาตรที่สูญเสียไปน้อยกว่าซี่ฟันเทียม ยามาฮาชินิวเอสอย่างมีนัยสำคัญแต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มซี่ฟันเทียมเอนดูรา ยามาฮาชิพีเอ็กซ์และคอสโม

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาตรที่สูญเสียไป (หน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที่ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=10$)

Table 4 Mean volume loss (mm^3) and standard deviation. The values with different letter indicate significantly different at $p<0.05$ ($n=10$)

Group	Abbreviation	Volume loss(mm^3)
Silanized nanoalumina		
0.25 %	0.25%	0.077 (0.059) ^a
0.5 %	0.5%	0.147 (0.055) ^{ab}
0.75 %	0.75%	0.172 (0.082) ^{ab}
1 %	1%	0.214 (0.133) ^{ab}
Endura	EN	0.061 (0.052) ^a
Yamahachi PX	YP	0.116 (0.087) ^{ab}
Cosmo HXL	CM	0.296 (0.310) ^{ab}
Yamahachi New Ace	YM	0.301 (0.155) ^b
Acrylic (control group)		0.377 (0.217) ^b



	Hole	Peak
Surface (mm^2)	2.6395	1.3231
Volume (mm^3)	0.026341	8.9599e-005
Max. depth/height (μm)	32.421	0.87803
Mean depth/height (μm)	9.9792	0.067721

รูปที่ 3 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิวร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ซอฟต์แวร์ทาลิสแกน 150 ของกลุ่มซี่ฟันเอนดูรา (A ลักษณะพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังทดสอบการสึกในสองมิติ B แสดงในสามมิติร่วมกับค่าปริมาตรที่สูญเสียไป)

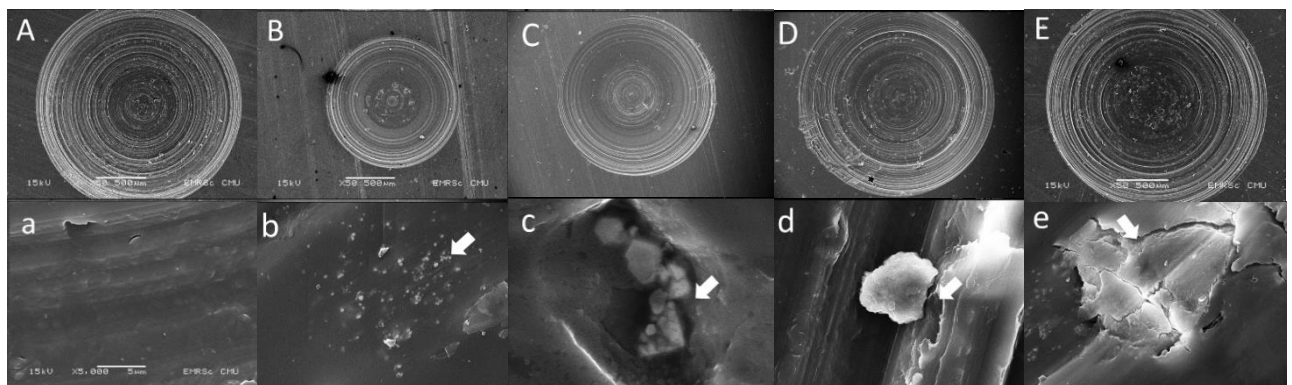
Figure 3 Image of Endura from profilometer with TalyScan 150 software analyzer (A Surface appearance after wear test in two-dimension; B In three-dimension with volume loss)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวหลังทดสอบการสึกที่ได้อาจจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และสเปกตรัมที่ได้จากสเปกโตรมิเตอร์กระจายพลังงาน

ภาพพื้นผิวหลังทดสอบการสึกที่ได้อาจจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่าของทุกกลุ่ม (รูปที่ 4,5) มีลักษณะเป็นหลุมทรงกลมตามรูปร่างของหัวอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นหัวกดในเครื่องทดสอบการสึก

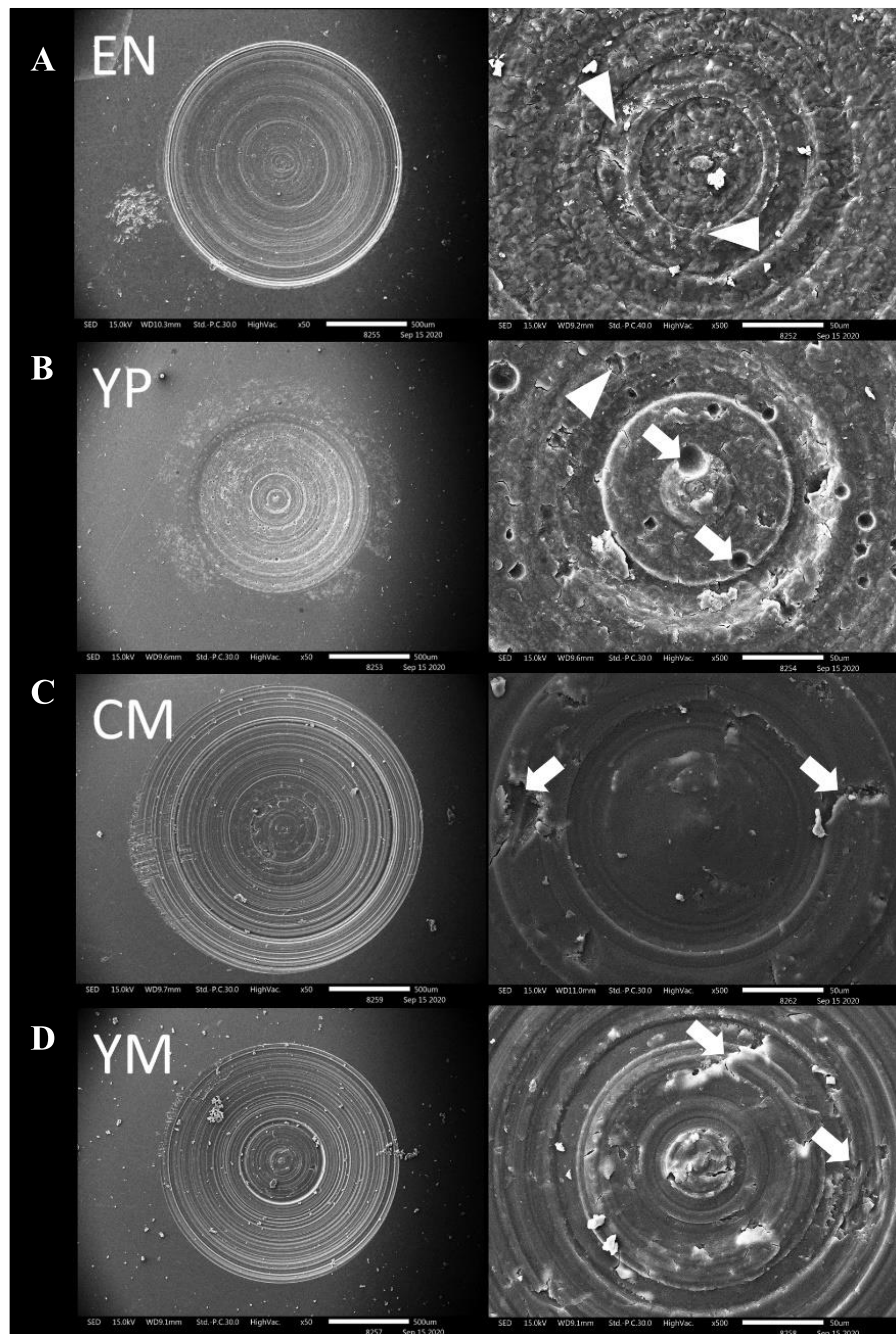
ในกลุ่มของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควาไฮเลน ที่กำลังขยาย 5,000 เท่าพบการกระจายของอนุภาคนาโนอะลูมินาอย่างสม่ำเสมอในเรซิน เมทริกซ์ และพบการเชื่อมกัน (ลูกศร) ระหว่างอนุภาคอะลูมินากับเรซินอะคริลิกของกลุ่มร้อยละ 0.25 (รูปที่ 4b) และร้อยละ 0.5 (รูปที่ 4c) โดยน้ำหนัก แต่กลับพบการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคนาโนอะลูมินาและหลุดแยก (ลูกศร) ออกจากเรซินอะคริลิกในกลุ่มร้อยละ 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4d, e)

ในกลุ่มซี่ฟันเทียมทางการค้า ที่กำลังขยาย 500 เท่า (รูปที่ 5) ซี่ฟันเทียมคอสโมและยามาฮาชินิวเอส พบพื้นผิวส่วนที่ผ่านการทดสอบการสึกไม่สม่ำเสมอ มีรอยแตกหลายตำแหน่งและมีชิ้นส่วนที่หลุดออกมาบางตำแหน่ง ซี่ฟันคอสโมพบรอยแตกกระจายอยู่บริเวณขอบนอกของหลุม (ลูกศรในรูป 5C) ในขณะที่ซี่ฟันยามาฮาชิพบรอยแตกกระจายอยู่ทั่วไปทั้งขอบนอกและตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหลุม (ลูกศรในรูป 5D) และมีความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวมากที่สุด ในกลุ่มซี่ฟันเอนดูรา (5A) และยามาฮาชิพีเอ็กซ์ (5B) มีการเผยผิของวัสดุอุดแทรก (หัวลูกศรในรูป EN, YP) จากการสึกของส่วนเมทริกซ์ (Matrix) พบรอยร้าวขนาดเล็กกระจายโดยทั่วไประหว่างวัสดุอุดแทรก ในกลุ่มซี่ฟันเทียมยามาฮาชิพีเอ็กซ์พบหลุมขนาดเล็ก (ลูกศรในรูป YP) กระจายโดยทั่วไปแสดงถึงการหลุดของส่วนวัสดุอุดแทรกออกจากส่วนเมทริกซ์ แต่ไม่พบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มซี่ฟันเทียมเอนดูรา



รูปที่ 4 ภาพพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหลังทดสอบการสึก A-E ที่กำลังขยาย 50 เท่า a-e ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (A, a กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เติมอนุภาคนาโนอะลูมินา B, b กลุ่มเรซินอะคริลิกที่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารคู่ควาไฮเลน ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก b พบการกระจายของอนุภาคนาโนอะลูมินา (ลูกศร) ในเรซิน เมทริกซ์ C, c กลุ่มร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก c พบการเชื่อมกัน (ลูกศร) ระหว่างอนุภาคนาโนอะลูมินากับเรซินอะคริลิก D, d กลุ่มร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก E, e กลุ่มร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก d, e พบการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคนาโนอะลูมินาและหลุดแยก (ลูกศร) ออกจากเรซินอะคริลิก)

Figure 4 SEM images of surfaces after wear test A-E at x50 magnification, a-e at x5,000 magnification (A, a Control group without nanoalumina; B, b Acrylic resin modified with silanized nanoalumina 0.25 wt% group, b Distribution of nanoalumina particles (arrow) in resin matrix; C, c 0.5 wt% group, c Bonding (arrow) between nanoalumina particles and acrylic resin; D, d 0.75 wt% group; E, e 1 wt% group, d, e Agglomeration of nanoalumina particles, dissociated (arrow) from acrylic resin)



รูปที่ 5 ภาพจุลทรรศน์ทางกล้อง SEM (A เอนดูรา B ยามาฮาชิพีเอ็กซ์ C คอสโม D ยามาฮาชิ นิวเอส) หลังทดสอบการสึกกร่อนจากสิ่งเจือปนในวัสดุอุดฟันแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ซ้าย) และ 500 เท่า (ขวา) (EN มีการเผยตัวของวัสดุอุดแทรก (หัวลูกศร) จากการสึกของส่วนเมทริกซ์ YP ยามาฮาชิพีเอ็กซ์ มีการเผยตัวของวัสดุอุดแทรก (หัวลูกศร) และการหลุดของวัสดุอุดแทรกออกจากส่วนเมทริกซ์ (ลูกศร) CM คอสโม พบรอยแตกกระจายอยู่บริเวณขอบนอกของหลุม (ลูกศร) YM ยามาฮาชิ นิวเอส พบรอยแตกกระจายอยู่ทั่วไปทั้งขอบนอกและตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหลุม (ลูกศร))

Figure 5 SEM images of commercially artificial tooth (A Endura; B Yamahachi PX; C Cosmo HXL; D Yamahachi New Ace) after wear test at x50 magnification (left) and x500 (right). (EN (Endura) Exposure of fillers (arrow head) from matrix wear; YP (Yamahachi PX) Exposure of fillers (arrow head) and dislodgement of fillers apart from matrix (arrow); CM (Cosmo HXL) Cracks were found in peripheral area of worn surface (arrow); YM (Yamahachi New Ace) Cracks were found dispersedly in both peripheral and center of worn surface (arrow))

บทวิจารณ์

ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์หลักโดยพบว่ามีความแตกต่างอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มของความต้านทานต่อการสึกระหว่างเรซินอะคริลิกชนิดที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่เพิ่มทางเคมี การเตรียมอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนในการศึกษานี้อ้างอิงจากการศึกษาของ Katheng¹⁰ เนื่องจากเป็นวิธีการเตรียมที่ทำได้ง่ายและสามารถเคลือบผิวอนุภาคอะลูมินาได้อย่างดี แต่ยังขาดขั้นตอนการพิสูจน์ยืนยันการเคลือบผิวของสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนว่าเป็นการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวที่มีการยึดติดทางเคมีด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ที่ให้แรงยึดติดที่แข็งแรง จึงเป็นที่มาของการเพิ่มขั้นตอนการใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนเข้ามาในการศึกษานี้ โดยมีสมมติฐานว่า หากปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่ได้จากสมการของอาร์เคลเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการเคลือบผิวแบบเคมีของพื้นผิวชั้นเดียวโดยปราศจากชั้นฟิสิกส์ (Physisorbed) ซึ่งเป็นชั้นที่มีการยึดติดด้วยพันธะที่หลวมได้แก่ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) การล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนจะไม่มีผลต่อน้ำหนักที่หายไปจากการเปลี่ยนสถานะของสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนเนื่องจากไม่มีชั้นฟิสิกส์ให้สารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนทำปฏิกิริยา ดังนั้นผลต่อน้ำหนักที่หายไปจากการเปลี่ยนสถานะของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนก่อนและหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนจะต้องมีค่าเท่ากัน แต่ผลที่ได้จากการศึกษากลับพบว่าไม่เท่ากัน (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่ใช้ที่ได้จากสมการของอาร์เคลไม่ใช่วิธีการเคลือบผิวแบบชั้นเดียว น้ำหนักที่หายไปจากการเปลี่ยนสถานะ (น้ำหนักของสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน) ก่อนล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน 0.31 มิลลิกรัม เป็นปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่ประกอบด้วยชั้นเคมีของฟิสิกส์และชั้นฟิสิกส์²⁵ เมื่อนำมาล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนเพื่อกำจัดชั้นฟิสิกส์¹³ จะแสดงการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวของสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนโดยปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่ทำให้เกิดการเคลือบบนผิวอนุภาคนาโนอะลูมินาแบบชั้นเดียวจะเท่ากับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงหลังล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนเท่ากับ 0.21 มิลลิกรัมต่อปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน 1 มิลลิกรัมหรือ

เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินา 1 กรัม ดังนั้นหากจะใช้ปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนตามสมการของอาร์เคลจำเป็นต้องนำมาผ่านการล้างด้วยสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนอย่างน้อย 5 ครั้งเนื่องจากเป็นจำนวนครั้งในการล้างที่น้อยที่สุดที่ทำให้ของเหลวที่ล้างออกมาแสดงค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตรซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรนที่ไม่มีสารอื่นเจือปน หรือต้องลดการใช้ปริมาณไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนลงเป็น 2.6 มิลลิกรัมต่อปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินา 10 กรัม ซึ่งปริมาณสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนที่ทำให้เกิดการเคลือบผิวแบบชั้นเดียวที่ได้จากการศึกษานี้แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้า¹¹ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของขนาดอนุภาคนาโนอะลูมินาที่เลือกใช้ ดังนั้นผลจากการศึกษานี้สามารถกล่าวได้ว่าสมการของอาร์เคลสามารถนำมาใช้ได้กับอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ระดับไมครอนแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับอนุภาคนาโนอะลูมินาได้

เครื่องทดสอบการสึกในการศึกษานี้จำลองการสึกเหว็ดสองชนิดที่ไม่มีสารคันกลาง เป็นการสึกที่เกิดจากการสัมผัสกันโดยตรงของวัสดุสองชนิดโดยในฟันธรรมชาติจะพบการสึกรูปแบบนี้บริเวณสัมผัสด้านบดเคี้ยวหรือการสึกจากการบดเคี้ยว²⁶ ซึ่งสอดคล้องกับการสึกของเรซินอะคริลิกในส่วนซึ่งพื้นผิวของฟันเทียมบางส่วนถอดได้คร่อมฟัน การศึกษานี้ใช้การแปลผลจากการวัดปริมาตรที่สูญเสียไปหลังทดสอบการสึกโดยปริมาตรที่สูญเสียไปสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการสึกที่ดี จากผลการทดสอบพบว่าการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินอะคริลิกได้ และควรใช้ร่วมกับสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนเนื่องจากการศึกษาก่อนหน้าที่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินาโดยไม่ใช้สารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนจะไม่สามารถหาข้อสรุปของปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินาที่เหมาะสมได้^{6,7} เนื่องจากขาดการยึดกันระหว่างอนุภาคนาโนอะลูมินากับเรซินอะคริลิก อนุภาคจะจับกลุ่มกันเป็นก้อนและแยกออกจากเมทริกซ์ เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคนาโนอะลูมินากับเรซินอะคริลิก

ปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินาที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเท่ากับร้อยละ 1 ทั้งหมด อันเนื่องมาจากการศึกษาก่อนหน้าของ Katheng¹⁰ ที่พบว่าเรซินอะคริลิกที่

ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินา ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนจะให้ค่าความทนแรงอัดสูงกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้ผ่านการเติม โดยการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ปริมาณอนุภาคน้อยที่สุดในกลุ่มทดลองทั้งหมดซึ่งให้ค่าความทนแรงอัดสูงที่สุด ปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินาที่น้อยกว่าน่าจะลดโอกาสการจับกลุ่มรวมกันเป็นก้อนของอนุภาคได้ดีกว่า จึงเกิดสมมติฐานว่าหากลดปริมาณอนุภาคนาโนอะลูมินาลงให้น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เรซินอะคริลิกน่าจะมี ความแข็งแรงมากขึ้นจากการกระจายตัวของอนุภาคที่ดีขึ้น

เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบการกระจายของอนุภาคนาโนอะลูมินาในเรซินเมทริกซ์และการเชื่อมกันระหว่างอนุภาคอะลูมินาปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลนกับเรซินอะคริลิกในกลุ่มร้อยละ 0.25 (รูปที่ 4b) และร้อยละ 0.5 (รูปที่ 4c) โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นกลุ่มที่หลุมรอยสึกมีขนาดเล็ก (รูปที่ 4B, C) ร่วมกับปริมาตรที่สูญเสียไปที่น้อยกว่ากลุ่มร้อยละ 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนอะลูมินาที่กระจายตัวในเมทริกซ์ได้ดีและมีการยึดกันของอนุภาคอะลูมินาที่เติมลงไปกับเรซินอะคริลิกจะเพิ่มความต้านทานการสึกได้ดี²⁷ เมื่อมีความเค้นเกิดขึ้นในส่วนเมทริกซ์ กลุ่มที่มีการกระจายตัวของอนุภาคอย่างสม่ำเสมอจะเพิ่มโอกาสในการส่งผ่านความเค้นจากส่วนเมทริกซ์ไปยังอนุภาคอะลูมินาที่แข็งแรงกว่าได้ง่าย^{28,29} ความแข็งแรงของอนุภาคนาโนอะลูมินาจะส่งผลให้เรซินอะคริลิกแข็งแรงขึ้น ด้วยการเชื่อมเป็นหนึ่งเดียวกันด้วยพันธะเคมี อนุภาคอะลูมินาจะทำหน้าที่ด้านการเกิดรอยร้าว (Crack resistant)³⁰ โดยจะดูดซับพลังงานและหยุดการขยายตัวของรอยร้าว (Crack propagation) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างอนุภาคและเมทริกซ์เท่านั้น³¹ ในขณะเดียวกัน จะพบการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคนาโนอะลูมินา เป็นกลุ่มก้อนใหญ่หรือเรียกว่า นาโนคลัสเตอร์ (Nanocluster) ในกลุ่มร้อยละ 0.75 และ 1 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4d, e) เนื่องจากอนุภาคอะลูมินาที่มีพลังงานพื้นผิวที่สูงจึงเกิดการจับกลุ่มรวมกันได้ง่าย ยิ่งปริมาณอนุภาคอะลูมินาเพิ่มขึ้นการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจะใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นอนุภาคระดับไมครอน ก่อให้เกิดความเค้นรวมศูนย์ (Stress concentration) ขึ้นในเมทริกซ์และทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไปจากเดิม (Deformation) เมื่อได้รับความเค้น อีกทั้งยังพบอนุภาคหลุดแยกออกจากส่วนเมทริกซ์และมีช่องว่างเกิดขึ้น ทำให้เรซินอะคริลิกเปราะแตกง่ายมากขึ้น ความแข็งแรงลดลง^{27, 28} เมื่อเกิดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น การกระจาย

ตัวจะลดลง อนุภาคจะเข้าจับกับสายพอลิเมอร์ด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยลงจึงทำให้อะคริลิกมีความแข็งแรงลดลง ในขณะเดียวกันอนุภาคที่หลุดออกมายังสามารถทำหน้าที่เป็นอนุภาคขัดถู (Abrasive particle) เกิดการสึกแบบขัดสีชนิดสามวัตถุ (Three-body abrasion wear) ขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรที่สูญเสียไปหลังทดสอบการสึกสูงหรือความต้านทานการสึกน้อย จึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมอนุภาคนาโนอะลูมินาในปริมาณมากขึ้นไม่ได้ทำให้คุณสมบัติของอะคริลิกดีขึ้นตาม

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มซีฟันเทียมอะคริลิกทางการค้าสองกลุ่มพบว่า ซีฟันเทียมอะคริลิกยี่ห้อคอสโมที่เป็นอะคริลิกที่มีสารเชื่อมโยงไข่มสูงถึงร้อยละ 90 และพอลิเมอร์ที่เป็นโครงข่ายแบบสอดไขว้ (Interpenetrating network, IPN) ร้อยละ 10 มีความต้านทานต่อการสึกสูงกว่าซีฟันเทียมอะคริลิกยี่ห้อยามาฮาชินิวเอสที่เป็นอะคริลิกแบบดั้งเดิมเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า การมีสารเชื่อมโยงไข่มทำให้ซีฟันเทียมมีความต้านทานต่อการสึกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอะคริลิกแบบดั้งเดิม^{19,32,33} เนื่องจากโครงสร้างมอนอเมอร์ที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหโดยมีสารเชื่อมโยงไข่มเป็นตัวเชื่อมพอลิเมอร์แต่ละสายเข้าด้วยกัน การเติมสารเชื่อมโยงไข่มเข้าไปในส่วนมอนอเมอร์ก่อนเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกได้มากขึ้น³ ผลจากการศึกษานี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีฟันเทียมคอมโพสิตทางการค้าสองกลุ่ม พบซีฟันเทียมคอมโพสิตยี่ห้อเอนดูราที่เป็นคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์มีความต้านทานต่อการสึกที่สูงกว่ายามาฮาชิฟิเอ็กซ์ที่เป็นคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้²¹ ซีฟันเทียมที่เป็นนาโนฟิลล์มีความต้านทานต่อการสึกน้อยกว่าชนิดไมโครฟิลล์เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโน³⁴ และเมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหลังทดสอบการสึกของซีฟันเทียมเอนดูรา พบสารอัดแทรก (หัวลูกศรในรูปที่ 5A) จำนวนมากกระจายทั่วไปและเรียงชิดติดกันเพื่อทำหน้าที่ปกป้องไม่ให้ส่วนเมทริกซ์สัมผัสกับหัวอะลูมิเนียมออกไซด์หรืออนุภาคขัดถูและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกได้³⁵ ซึ่งแตกต่างจากซีฟันเทียมยามาฮาชิฟิเอ็กซ์ที่พบหลุมขนาดเล็ก (ลูกศรในรูปที่ 5B) กระจายโดยทั่วไป แสดงให้เห็นถึงการหลุดของส่วนของวัสดุอัดแทรกจากการสึกของส่วนเมทริกซ์จนวัสดุอัดแทรกเผยผิ และหลุดออกไปในที่สุด แรงยึดระหว่างวัสดุอัดแทรกและเมทริกซ์ที่ต่ำจะยังทำให้วัสดุอัดแทรกหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น³⁶

อีกทั้งวัสดุอัดแทรกที่หลุดออกมาจะทำหน้าที่เป็นอนุภาคขัดถู ทำให้เกิดการสึกจากการขัดสีมากขึ้น³⁷ โดยไม่พบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มซี่ฟันเอนดูรา

เรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรลิกซ์ 0.25 โดยน้ำหนัก มีความต้านทานต่อการสึกที่ใกล้เคียงกับซี่ฟันเทียมทางการค้าคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ยี่ห้อเอนดูรา โดยทั้งสองกลุ่มมีความต้านทานต่อการสึกที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมและซี่ฟันเทียมทางการค้าชนิดอะคริลิกแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนอะลูมินาในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้เกิดการกระจายของอนุภาคที่ติดร่วมกับการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรลิกซ์ ทำให้อนุภาคอะลูมินาสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุอัดแทรกได้ดีใกล้เคียงกับวัสดุอัดแทรกในซี่ฟันเทียมคอมโพสิตเนื่องจากอนุภาคอะลูมินามีความแข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี สารอัดแทรกที่แข็งแรงจะช่วยป้องกันการสึกของเรซิน อะคริลิกในส่วนเมทริกซ์ได้³⁰

ความหลากหลายของผลที่ได้จากหลายการศึกษา เรื่องการสึกของซี่ฟันเทียมแต่ละชนิด เนื่องมาจากการทดสอบการสึกนั้นยังไม่มีเกณฑ์กำหนดที่แน่นอน แต่ละการศึกษามีวิธีการทดสอบที่ไม่เหมือนกันทั้งรูปแบบของชิ้นทดสอบ รูปแบบเครื่องทดสอบการสึก อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเนื่องจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการและยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดในเรื่องความต้านทานต่อการสึกของซี่ฟันเทียม เนื่องจากมีปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบการสึกหลายประการทั้งแรงที่ใช้ระยะเวลาสัมผัสกันของวัสดุ วัสดุที่เลือกใช้เป็นแบบหมุดที่ใช้กด ชนิดของสารคัดกลางรวมไปถึงสารที่นำมาทดสอบที่มีชั้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน³⁸ ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษานี้ในด้านการพิจารณาเลือกใช้ซี่ฟันเทียมที่มีคุณสมบัติความต้านทานต่อการสึกเพื่อคงมิติในแนวตั้งของผู้ป่วย อย่างไรก็ตามยังคงต้องการการศึกษาเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินอะคริลิกที่ปรับปรุงคุณสมบัติกับโครงโลหะที่ใช้ในฟันเทียมบางส่วนถอดได้คร่อมฟัน ศึกษาวิธีการป้องกันการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคนาโนอะลูมินาเพื่อให้อนุภาคนาโนอะลูมินาสามารถกระจายตัวและเข้าจับกับสายพอลิเมอร์ด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้นเพื่อพัฒนานำมาใช้เป็นซี่ฟันเทียมในฟันเทียมบางส่วนถอดได้คร่อมฟันในอนาคตต่อไป

บทสรุป

ภายใต้ขอบเขตของการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่า

1. ความต้านทานต่อการสึกของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มร้อนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไฮโดรลิกซ์ 0.25 โดยน้ำหนักมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่เติมอนุภาคนาโนอะลูมินาและซี่ฟันเทียมอะคริลิกแบบดั้งเดิม แต่ไม่แตกต่างจากซี่ฟันเทียมคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความต้านทานต่อการสึกมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณร้อยละของอนุภาคนาโนอะลูมินาเพิ่มและมีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
2. ซี่ฟันเทียมคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์มีความต้านทานต่อการสึกสูงที่สุดและสูงกว่าซี่ฟันเทียมอะคริลิกแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และขอขอบคุณ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระรุจิ ที่ให้คำแนะนำทางสถิติและการแปลผล

เอกสารอ้างอิง

1. Almog DM, Ganddini MR. Maxillary and mandibular overlay removable partial dentures for restoration of worn teeth: a three-year follow-up. N Y State Dent J 2006;72(3):32-5.
2. Stober T, Bermejo JL, Rues S, Rammelsberg P. Wear of resin denture teeth in partial removable dental prostheses. J Prosthodont Res 2020;64(1):85-9.
3. Eakle WS, Hatrick C. Dental materials: Clinical applications for dental assistants and dental hygienists. 3rd ed. St. Louis: Elsevier Mosby;2015.919-45.
4. Jagger DC, Harrison A, Jandt KD. The reinforcement of dentures. J Oral Rehabil 1999;26(3):185-94.

5. Gad MM, Fouda SM, Al-Harbi FA, Näpänkangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. *Int J Nanomedicine* 2017;12:3801-12.
6. Ellakwa AE, Morsy MA, El-Sheikh AM. Effect of aluminum oxide addition on the flexural strength and thermal diffusivity of heat-polymerized acrylic resin. *J Prosthodont* 2008;17(6):439-44.
7. Vojdani M, Bagheri R, Khaledi AAR. Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. *J Dent Sci* 2012;7(3):238-44.
8. Pentapati L, Srinivas K, Shankar R, Swetha V, Krishna M. Effects of addition of aluminum oxide on flexural strength and hardness of acrylic resins. *IOSR J Dent Med Sci* 2017;16(3):1-6.
9. Abdulhamed A, Mohammed A. Evaluation of thermal conductivity of alumina reinforced heat cure acrylic resin and some other properties. *J Bagh Coll Dent* 2010;22(3):1-6.
10. Katheng A, Chaijareenont P, Chaoklaiwong B, Pleumsamran N, Angkasith P, Arksornnukit M, et al. 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.
11. 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.
12. Nihei T. Dental applications for silane coupling agents. *J Oral Sci* 2016;58(2):151-5.
13. 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.
14. 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.
15. Matinlinna J, Lassila L, Özcan M, Yli-Urpo A, Vallittu P. An introduction to silanes and their clinical application in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004;17(2):155-64.
16. Mc Elwain SE, Blanchet TA, Schadler LS, Sawyer WG. Effect of particle size on the wear resistance of alumina-filled PTFE micro- and nanocomposites. *Tribol T* 2008;51(3):247-53.
17. Kundie F, Azhari CH, Ahmad ZA. 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.
18. Jasim BS, Ismail IJ. The effect of silanized alumina nanofillers addition on some physical and mechanical properties of heat cured polymethyl methacrylate denture base material. *J Baghdad Coll Dent* 2014;26(2):18-23.
19. Reis KR, Bonfante G, Pegoraro LF, Conti PCR, Oliveira PCGd, Kaizer OB. *In vitro* wear resistance of three types of polymethyl methacrylate denture teeth. *J Appl Oral Sci* 2008;16(3):176-80.
20. Preis V, Hahnel S, Behr M, Rosentritt M. Contact wear of artificial denture teeth. *J Prosthodont Res* 2018;62(2):252-7.
21. Suwannaroop P, Chaijareenont P, Koottathape N, Takahashi H, Arksornnukit M. *In vitro* wear resistance, hardness and elastic modulus of artificial denture teeth. *Dent Mater J* 2011;30(4):461-8.
22. Schmid-Schwab M, Rousson V, Vornwagner K, Heintze SD. Wear of two artificial tooth materials *in vivo*: A 12-month pilot study. *J Prosthet Dent* 2009;102(2):104-14.
23. Arkles B, Anderson R, Larson GL. Silane coupling agent chemistry. Silicon compounds register and review 4th ed. Pennsylvania: Petrarch systems Catalogue; 1987:54-9.
24. Kamonwanon P, Yodmongkol S, Chantarachindawong R, Thaweeboon S, Thaweeboon B, Sriksirin T. Wear resistance of a modified polymethyl methacrylate artificial tooth compared to five commercially available artificial tooth materials. *J Prosthet Dent* 2015;114(2):286-92.
25. Schrader ME. Radioisotopic studies of bonding at the Interface. *J Adhesion* 1970;2(3):202-12.
26. Mair LH, Padipatvuthikul P. Wear mechanisms in the mouth. *Proc Inst Mech Eng J* 2010;224(6):569-75.
27. Mammeri F, Le Bourhis E, Rozes L, Sanchez C. Mechanical properties of hybrid organic–inorganic materials. *J Mater Chem* 2005;15:3787-811.

28. 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):2800-8.
29. Zhang X, Zhang X, Zhu B, Lin K, Chang J. Mechanical and thermal properties of denture PMMA reinforced with silanized aluminum borate whiskers. *Dent Mater J* 2012;31(6):903-8.
30. Bayne SC. Dental biomaterials: Where are we and where are we going. *J Dent Educ* 2005;69(5):571-85.
31. Wetzel B, Hauptert F, Zhang M. Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance. *Compos Sci Technol* 2003;63:2055-67.
32. Whitman DJ, Mc Kinney JE, Hinman RW, Hesby RA, Pelleu GB, Jr. *In vitro* wear rates of three types of commercial denture tooth materials. *J Prosthet Dent* 1987;57(2):243-6.
33. Coffey JP, Goodkind RJ, DeLong R, Douglas WH. *In vitro* study of the wear characteristics of natural and artificial teeth. *J Prosthet Dent* 1985;54(2):273-80.
34. Stober T, Henninger M, Schmitter M, Pritsch M, Rammelsberg P. Three-body wear of resin denture teeth with and without nanofillers. *J Prosthet Dent* 2010;103(2):108-17.
35. Bayne SC, Taylor DF, Heymann HO. Protection hypothesis for composite wear. *Dent Mater* 1992;8(5):305-9.
36. Zeng J, Sato Y, Ohkubo C, Hosoi T. *In vitro* wear resistance of three types of composite resin denture teeth. *J Prosthet Dent* 2005;94(5):453-7.
37. Lambrechts P, Vanherle G, Vuylsteke M, Davidson CL. Quantitative evaluation of the wear resistance of posterior dental restorations: a new three-dimensional measuring technique. *J Dent* 1984;12(3):252-67.
38. Heintze S. How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dent Mater* 2006;22(8):712-34

ผู้รับผิดชอบบทความ

ปิริยะ ยาวีราข

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์: 089 432 3336

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: piriya@chiangmai.ac.th

The Comparison of Wear Resistance Between a Heat-curing Acrylic Resin Modified with Silanized Nanoalumina and Commercially Artificial Tooth

Wareesurahan Y* Chaijareenont P** Yavirach P**

Abstract

The aim of this study was to draw a comparison of wear resistance between heat-curing acrylic resin modified with silanized nanoalumina and commercially artificial tooth. Two-body wear of heat-curing acrylic resin modified with silanized nanoalumina 0.25, 0.5, 0.75, 1 wt% and 4 brands of commercially artificial teeth consisted of acrylic resin (Cosmo HXL and Yamahachi New Ace) and composite teeth (Endura and Yamahachi PX) were analyzed, contemplated using pin on disc tribometers stipulated with heat-curing acrylic resin without nanoalumina served as a control group. Volume losses were measured and statistically analyzed by using One-way analysis of variance (ANOVA) with a significance level 95%. Volume loss of acrylic resin modified with silanized nanoalumina 0.25 wt% and Endura composite teeth were the lowest, significantly different from control group and Yamahachi New Ace. In conclusion, property improvement by adding 0.25 wt% silanized nanoalumina can enhance wear resistance of acrylic resin similar to composite teeth and significantly higher than conventional acrylic resin teeth. No significant difference was observed in wear resistance of 0.5, 0.75, 1 wt% groups, but wear resistance tended to decline when the number of nanoalumina increased.

Keywords: Wear resistance/ Heat-curing acrylic resin/ Nanoalumina/ Silane coupling agent/ Commercially artificial tooth

Corresponding Author

Piriya Yavirach

Department of Prosthodontics,

Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,

Amphur Muang, Chiang Mai 50200.

Tel.: +66 89 432 3336

E-mail: piriya@chiangmai.ac.th

* Dental Department, Sriboonruang hospital, Amphur Sriboonruang, Nongbualamphu.

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