

ผลของสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการคงสภาพลิและคุณสมบัติทางกายภาพซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าแฟลคเตอร์ทูเอ 103 เปรียบเทียบกับมัลติซิลิโคนฟิเททิก

ธนพร พุฒะ* พิศพลิน ชนาเทพาพร** ดุลารัตน์ สุขโท*** สุบิน พัวศิริ***

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการคงสภาพลิของซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าแฟลคเตอร์ทูเอ 103 เปรียบเทียบกับซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโคนฟิเททิก ก่อนและหลังจากการได้รับปัจจัยสภาวะแวดล้อมจำลองเดียวกัน และเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยเตรียมชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมจากซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าจำนวน 50 ชิ้น ในแต่ละกลุ่มสำหรับการทดสอบการคงสภาพลิ กลุ่มแรกเป็นซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก กลุ่มที่สองเป็นซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มสุดท้ายเป็นซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโคนฟิเททิก โดยกลุ่มแรกและกลุ่มที่สองจะผสมสีซิลิโคนให้ได้สีใกล้เคียงกับมัลติซิลิโคนฟิเททิก ชิ้นงานทั้งหมด 150 ชิ้น จะเก็บไว้ในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมเป็นเวลา 600 ชั่วโมง ค่าการเปลี่ยนแปลงสีจะคำนวณจากค่าซีไอแอลซึ่งวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดค่าสีเริ่มต้นเป็นค่าตั้งต้นและวัดค่าสีทุก ๆ 100 ชั่วโมงจนถึง 600 ชั่วโมง สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจะเตรียมชิ้นงานรูปร่างคัมเบลล์จำนวน 16 ชิ้น และรูปร่างกางเกงจำนวน 16 ชิ้น ในแต่ละกลุ่มสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาดด้วยเครื่องทดสอบสากล ใช้สถิติครัสคัล-วอลลิส วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และใช้สถิติพรีคแมนในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของซิลิโคนแต่ละกลุ่มในช่วงเวลาต่าง ๆ (100-600 ชั่วโมง) สำหรับการทดสอบการคงสภาพลิพบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโคนฟิเททิกมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ($\Delta E^* = 3.67$) ตามด้วยซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ($\Delta E^* = 10.8$) และซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ($\Delta E^* = 11.03$) ตามลำดับ โดยซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ซึ่งทุกกลุ่มหลังการเก็บเป็นเวลา 600 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ($\Delta E^* = 3.3$) ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาดสูงกว่าซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโคนฟิเททิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาด กล่าวโดยสรุปคือสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ช่วยในการคงสภาพลิของซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 จากการได้รับปัจจัยสภาวะแวดล้อมจำลองในช่วง 300 ชั่วโมงแรก แต่ไม่มีผลต่อการคงสภาพลิในระยะยาวและไม่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

คำชี้แจง: การคงสภาพลิ/ ความต้านทานแรงดึง/ ความต้านทานการฉีกขาด/ ร้อยละการยืด/ สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

Received: June 10, 2020

Revised: November 11, 2020

Accepted: December 07, 2020

บทนำ

สิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกร (Maxillofacial prosthesis) คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้บูรณะซ่อมแซมหรือแทนที่ระบบช่องปากและขากรรไกรรวมถึงโครงสร้างกะโหลกและใบหน้าที่อาจมีหรือไม่มีการเอาโครงสร้างเดิมออกในผู้ป่วยที่มีความพิการของโครงสร้างใบหน้าและขากรรไกรที่มีมาแต่กำเนิดหรือได้มาภายหลังจากการผ่าตัดรักษาโรคมะเร็ง หรือการบาดเจ็บจาก

อุบัติเหตุ เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถพูดออกเสียงได้ชัดเจน เคี้ยวอาหารได้ปกติ มีความสวยงามเป็นธรรมชาติ และมีคุณภาพชีวิตดียิ่งขึ้น¹⁻³ โดยวัสดุที่ใช้ทำสิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกรในระยะแรกได้แก่ ขี้ผึ้งธรรมชาติ เรซิน ดินเหนียว ไม้ และโลหะ ซึ่งวัสดุดังกล่าวไม่แข็งแรง ยึดหยุ่นน้อย ไม่ทนความร้อน ไม่สามารถปรับรูปให้แนบสนิทเป็นธรรมชาติและมีสีไม่

* แผนกทันตกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกระนวน อำเภอกะนวน จังหวัดขอนแก่น

** สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

*** สาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

สวยงาม^{4,5} ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการใช้ซิลิโคนในการทำสิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกร เนื่องจากซิลิโคนมีความแข็งแรงในการต้านทานต่อการดึงและการฉีกขาดสูง ใช้งานง่าย มีความเป็นพิษต่ำ ทนต่อความร้อนได้ดี และผสมสีหรือแต่งเติมสีที่ผิวของชิ้นงานให้ดูเป็นธรรมชาติคล้ายกับผิวหนังของผู้ป่วย นอกจากนี้ซิลิโคนยังเป็นวัสดุที่สามารถทำความสะอาดได้ง่ายและปลอดภัยกว่าวัสดุชนิดอื่น⁵⁻⁷

ซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ (Silicone elastomer) เป็นวัสดุที่ใช้ทำสิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกรนอกช่องปากที่ใช้มาอย่างยาวนานกว่า 50 ปี⁸ ซึ่งซิลิโคนดังกล่าวมีทั้งซิลิโคนชนิดผสมสีเองและซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป โดยซิลิโคนชนิดผสมสีเองได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถผสมสีให้เหมือนสีผิวของผู้ป่วยได้อย่างไรก็ตามซิลิโคนชนิดผสมสีเองต้องใช้เวลาในการผสมสีและการแข็งตัวเต็มที่ ต่อมาได้มีการพัฒนาซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปที่มีสีเหมาะสำหรับผู้ป่วย ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและใช้เวลาน้อยกว่าในการแข็งตัวเต็มที่

อย่างไรก็ตามพบว่าซิลิโคนมีปัญหาหลัก 2 ประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นงาน เนื่องจากการได้รับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม เช่น รังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ มลพิษทางอากาศ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การสึกของพื้นผิวจากการทำความสะอาดชิ้นงาน รวมทั้งการใช้กาวยึดชิ้นงานหรือการสัมผัสสารเคมีในเครื่องสำอาง ทำให้ผู้ป่วยต้องการแก้ไขหรือทำชิ้นงานใหม่⁹⁻¹¹ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 3 เดือนถึง 1 ปี¹⁰ และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นงานเป็นเหตุให้ชิ้นงานเสื่อมสภาพ เช่น ความยืดหยุ่นลดลง การฉีกขาดง่ายขึ้น ความแนบสนิทลดลง ทำให้ต้องทำชิ้นงานใหม่

Han และคณะในปี ค.ศ. 2008 และ ค.ศ. 2010^{12,13} ได้ศึกษาการใส่สารนาโนออกไซด์ ได้แก่ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) นาโนสังกะสีออกไซด์ (ZnO) และนาโนซีเรียมไดออกไซด์ (CeO₂) ในซิลิโคนชนิดผสมสีเอง เอ-2186 (A-2186, Factor II Inc., Lakeside, AZ) ที่เก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อม (Ci35 Weather-Ometer; Atlas Electronics, Chicago, IL) พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 และ 2.5 โดยน้ำหนักในซิลิโคนชนิดผสมสีเอง เอ-2186 ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด และการใส่สารนาโนออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดในซิลิโคนชนิดผสมสีเอง เอ-2186 จะทำให้ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength) และร้อยละการยืด (Percentage elongation) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Akash และคณะในปี ค.ศ. 2015¹⁴ ที่

พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และนาโนสังกะสีออกไซด์ในซิลิโคนยี่ห้อคอสเมซิลเอ็ม 511 (Cosmesil M511, Factor II Inc., Lakeside, AZ) ที่วางไว้ในสภาวะแวดล้อมภายนอก (Outdoor weathering) เป็นเวลา 6 เดือน จะทำให้ซิลิโคนมีการคงสภาพสีที่ดี

Shakir และคณะในปี ค.ศ. 2017¹⁵ ได้ศึกษาการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.25 โดยน้ำหนักในซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าชนิดแข็งตัวด้วยความร้อน (High-temperature vulcanization, HTV) ยี่ห้อคอสเมซิลเอ็ม 511 และชนิดแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง (Room-temperature vulcanization, RTV) ยี่ห้อวิสที 50เอฟ (VST50F, Factor II Inc., Lakeside, AZ) พบว่าไม่ช่วยให้เกิดการคงสภาพสีของซิลิโคนทั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับ Eltayyar และคณะในปี ค.ศ. 2016¹⁶ ที่พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 2 และ 2.5 โดยน้ำหนัก ในซิลิโคนเอ็มดีเอกซ์ 4-4210 (MDX 4-4210, Dow Corning Corp., Midland, MI, USA) ทำให้ซิลิโคนมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*) สูงซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาที่ $\Delta E^* > 3.3$

ซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 (A-103, Factor II Inc., Lakeside, AZ) และซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลอิพิเทติก (Multisil-Epithetics, Bredent, Germany) นิยมใช้ในงานบูรณะขากรรไกรและใบหน้า โดยซิลิโคนยี่ห้อแฟลคเตอร์ทูเอ 103 เป็นซิลิโคนชนิดแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราส่วนเบสอีลาสโตเมอร์ (Base elastomer) ต่อสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็น 10 ต่อ 1 ซึ่งมีความใส มีค่าความแข็งผิว (Hardness) 27 มีร้อยละการยืด 500 มีค่าความต้านทานแรงดึง 650 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ค่าความต้านทานการฉีกขาด 90 ปอนด์ต่อนิ้ว (ppi) เป็นฉนวน มีความคงรูปไม่บิดเบี้ยวเมื่อแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลอิพิเทติก เป็นซิลิโคนชนิดแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องโดยมีอัตราส่วนเบสอีลาสโตเมอร์ต่อสารเร่งปฏิกิริยาเป็น 1 ต่อ 1 อยู่ภายในหลอดเดียวกัน มีค่าความแข็งผิว 35 มีค่าความต้านทานการฉีกขาดสูง และมีสีให้เลือกใช้เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย 3 สี คือ สีซีตี้ (City) สีคันทรี่ (Country) และสีบีช (Beach) โดยสามารถผสมสีเพิ่มเติมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้เพื่อให้เลียนแบบสีผิวของผู้ป่วยได้เหมือนจริงมากที่สุด

ปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับสารนาโนออกไซด์ต่อการคงสภาพสีและคุณสมบัติทางกายภาพของซิลิโคนชนิดผสมสีเองยังมีการศึกษาน้อยและยังมีความขัดแย้งกันในการศึกษา อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบซิลิโคนชนิด

ผสมสีเองยี่ห้อแฟลเตอร์ทูเอ-103 ที่ใส่สารนาโนออกไซด์และซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโอฟิเทคต่อการคงสภาพสีและคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการคงสภาพสีของซิลิโคนที่มีสีใกล้เคียงกัน ระหว่างซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กับซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโอฟิเทค เมื่อได้รับปัจจัยสภาวะแวดล้อมจำลองเดียวกัน

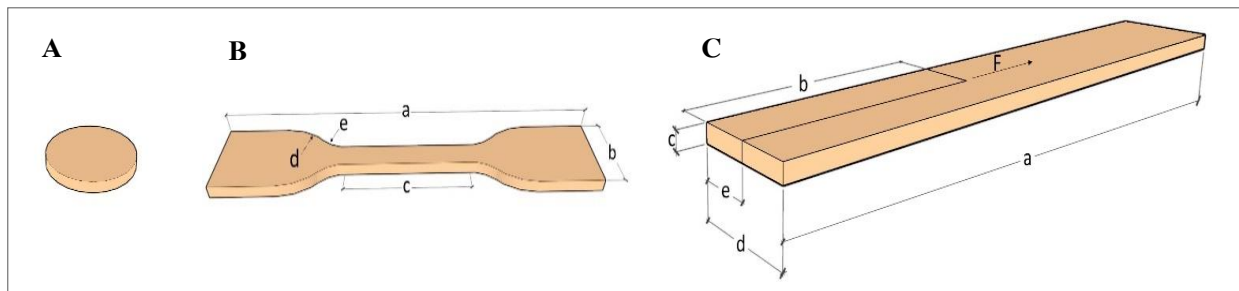
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาด ของซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กับซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโอฟิเทค

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ซิลิโคนที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปยี่ห้อมัลติซิลิโอฟิเทคสีคันทรี่ที่มีสีคล้ายสีผิวชาวเอเชีย กลุ่มที่ 2 คือ ซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลเตอร์ทู เอ-103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 และกลุ่มสุดท้ายคือซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อแฟลเตอร์ทู เอ-103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลิโคนในแต่ละกลุ่มจะนำมาทำชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร 3 แบบ คือ แบบที่ 1 ชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลม (Disc - shaped) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร¹² (รูปที่ 1A) สำหรับทดสอบการคงสภาพสี แบบที่ 2 ชิ้นงานรูปร่างดัมเบลล์ชนิดที่ 2 (Type 2 Dumbbell - shaped) มีขนาดตาม ISO 37² (รูปที่ 1B) สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง และแบบที่ 3 ชิ้นงานรูปร่างกางเกง (Trousler - shaped) มีขนาดตาม ISO 34-1² (รูปที่ 1C) ใช้ทดสอบความต้านทานการฉีกขาด

การเตรียมชิ้นงาน ซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะใช้สัดส่วนการผสมสีซิลิโคน (Silicone pigment, Factor II Inc., Lakeside, AZ) แตกต่างกันด้วยการใช้ปิเปตต์ (Pipette) ควบคุมปริมาณการหยดสีให้ได้สีใกล้เคียงกับซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปสีคันทรี่ โดยซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะใช้สีแดง 1 หยด สีเหลือง 7 หยด สีน้ำเงิน 2 หยด และสีขาว 23 หยด ต่อส่วนผสมซิลิโคน 55 กรัม สำหรับซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

จะใช้สีแดง 3 หยด สีเหลือง 27 หยด และสีน้ำเงิน 3 หยดต่อส่วนผสมของซิลิโคน 55 กรัม ซึ่งซิลิโคนชนิดผสมสีเอง 55 กรัม จะใช้อัตราส่วนเบสอิลาสโตเมอร์ต่อสารเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10 ต่อ 1 ในการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Microfine titanium dioxide, Sakai chemical industry Co., LTD, Fukushima, Japan) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ดังนั้นซิลิโคนชนิดผสมสีเอง 55 กรัม จะใช้เบสอิลาสโตเมอร์ 50 กรัม ต่อสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัมและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.1 กรัม เมื่อซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ให้ใส่สารทิไซโทรปิก (Thixotropic agent) 5 หยด ให้วัสดุมีความหนืด จากนั้นผสมวัสดุให้เข้ากันแล้วไล่ฟองอากาศออกด้วยการรีดวัสดุให้แนบกับกระเบื้อง แล้วนำวัสดุมาใส่ในเบ้าแบบพลาสติกใสที่ผ่าล่างเจาะเป็นหลุมด้วยเลเซอร์ที่มีขนาดเท่ากับชิ้นงานทั้ง 3 รูปแบบ (รูปที่ 1) เมื่อบรรจุวัสดุเต็มเบ้าแบบพลาสติกใสในฝ่าล่างแล้วจึงนำแผ่นพลาสติกใสฝาบ้นปิดทับและอัดแน่นด้วยตัวยึดพลาสติก เก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง 27±1 องศาเป็นเวลา 3 วัน ให้วัสดุแข็งตัวเต็มที่ ส่วนซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปจะใช้ป็นผสมเบสและสารเร่งปฏิกิริยาให้ได้วัสดุเนื้อเดียวกัน ไหลออกมาจากปลายหลอดที่สามารถฉีดใส่ในเบ้าแบบพลาสติกใสที่ผ่าล่างเจาะเป็นหลุมด้วยเลเซอร์ที่มีขนาดเท่ากับชิ้นงานทั้ง 3 รูปแบบ (รูปที่ 1) เมื่อบรรจุวัสดุเต็มเบ้าแบบพลาสติกใสในฝ่าล่างแล้วจึงนำแผ่นพลาสติกใสฝาบ้นปิดทับ แล้วอัดแน่นด้วยตัวยึดพลาสติก เก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง 27±1 องศาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ให้วัสดุแข็งตัวเต็มที่ ซึ่งในการศึกษานี้จะเตรียมชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลม รูปร่างดัมเบลล์ชนิดที่ 2 และรูปร่างกางเกง เป็นจำนวน 50 16 และ 16 ชิ้นต่อกลุ่มตามลำดับ เมื่อซิลิโคนแข็งตัวเต็มที่แล้วให้นำซิลิโคนออกจากเบ้าแบบพลาสติกใส ตัดส่วนเกินออกด้วยใบมีดคมปลายตรงและตรวจสอบขนาดของชิ้นงานด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier caliper) และไม่บรรทัดเหล็ก ซึ่งชิ้นงานที่ได้จะต้องมีขนาดและรูปร่างถูกต้องตามที่กำหนดไว้ มีสีสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะพื้นผิวเรียบ และไม่พบฟองอากาศที่พื้นผิวของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานมีลักษณะที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ จะทำการคัดออกและทำชิ้นงานใหม่ทดแทน โดยชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมในแต่ละกลุ่มจะทำการสุ่มอย่างง่ายให้หมายเลขตั้งแต่ 1 ถึง 50 เก็บไว้ในกล่องโลหะทึบแสงปิดสนิท ส่วนชิ้นงานรูปร่างกางเกงทุกชิ้นจะนำมาตัดแบ่งครึ่งกึ่งกลางความกว้างของชิ้นงานที่ปลายด้านหนึ่งในแนวยาวเป็นระยะทาง 40±2 มิลลิเมตร ด้วยใบมีดคมปลายตรง (รูปที่ 1C)



รูปที่ 1 ชิ้นงาน 3 แบบที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร โดย (A) ชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร (B) ชิ้นงานรูปร่างคัมเบลล์ชนิดที่ 2 (a=75 มิลลิเมตร b=12.5±1 มิลลิเมตร c=25±1 มิลลิเมตร d=12.5±1 มิลลิเมตร และ e=8±0.5 มิลลิเมตร) และ (C) ชิ้นงานรูปร่างกางเกง (a=100 มิลลิเมตร b=40±2 มิลลิเมตร c=2±0.2 มิลลิเมตร d=15±1 มิลลิเมตร e=7.5±0.5 มิลลิเมตร และ F เป็นทิศทางแรง)

Figure 1 Three types of specimens with 2 millimeters in thickness (A) disc-shaped specimen with 22 millimeters in diameter (B) type 2 dumbbell-shaped specimen (a=75 millimeters b=12.5±1 millimeters c=25±1 millimeters d=12.5±1 millimeters and e=8±0.5 millimeters) and (C) trouser-shaped specimen (a=100 millimeters b=40±2 millimeters c=2±0.2 millimeters d=15±1 millimeters e=7.5±0.5 millimeters and F=force direction).

การทดสอบชิ้นงาน การทดสอบการคงสภาพสีจะวัดค่าสีเริ่มต้นของชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมในแต่ละกลุ่มด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Color Quest ® XE, HunterLab, USA) ที่ให้ค่าสีเป็น L* a* b* ตามระบบของซีไอแอลเบ (CIElab system) และถ่ายรูปชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมเลขคู่ในแต่ละกลุ่ม จากนั้นเก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อม (Q-Sun xenon test chamber LX 5050, USA) โดยกำหนดค่าการตั้งเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อม (ตารางที่ 1) ตาม ASTM G155 ซึ่งจะเก็บชิ้นงานเป็นเวลาทั้งหมด 600 ชั่วโมง โดยทุก ๆ 100 ชั่วโมงจะนำชิ้นงานออกมาวัดค่าสีและถ่ายรูป ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงสีได้จากการนำค่า L* a* b* ก่อนและหลังการเก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมมาคำนวณ ดังสมการ

$$(\Delta E^*) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานรูปร่างคัมเบลล์ ชนิดที่ 2 ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Lloyd instruments, Ltd. LR30/ k, Leicester, UK) โดยจับยึดปลายแต่ละข้างของชิ้นงานเข้าไปเป็นระยะทาง 20 มิลลิเมตร ด้วยตัวหนีบที่ยึดกับเครื่องทดสอบสากล แล้วให้แรงดึง 500 มิลลิเมตรต่อวินาที² จนกระทั่งชิ้นงานขาด ค่าแรงที่มากที่สุดที่ใช้ดึงชิ้นงานจะนำมาคำนวณ ดังสมการ

$$Ts = Fb/Wt$$

TS คือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึง หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa)

Fb คือ แรงที่ใช้ดึงชิ้นงานให้ขาดออกจากกัน หน่วยเป็นนิวตัน (N)

W คือ ความกว้างของส่วนที่แคบที่สุดของชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

t คือ ความหนาของชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

ร้อยละการยืดได้จากการนำค่าผลต่างระหว่างความยาวหลังการให้แรงดึงกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานจากเครื่องทดสอบสากลมาทดสอบความต้านทานแรงดึงมาคำนวณ ดังสมการ

$$EP = [(Lb - Lo) / Lo] * 100$$

EP คือ ร้อยละการยืด

Lb คือ ความยาวหลังการให้แรงดึง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

Lo คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดของชิ้นงานรูปร่างกางเกงด้วยเครื่องทดสอบสากล โดยจับยึดปลายแต่ละข้างของด้านที่ตัดแบ่งครึ่งกึ่งกลางความกว้างของชิ้นงานเข้าไปเป็นระยะทาง 30 มิลลิเมตร ด้วยตัวหนีบที่ยึดกับเครื่องทดสอบสากล แล้วให้แรงดึง 100 มิลลิเมตรต่อวินาที² จนกระทั่งชิ้นงานฉีกขาด ค่าแรงที่มากที่สุดที่ใช้ดึงชิ้นงานจะนำมาคำนวณ ดังสมการ

$$Ts = F/d$$

Ts คือ ค่าความต้านทานการฉีกขาด หน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m)

F คือ แรงที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน หน่วยเป็นกิโลนิวตัน (kN)

d คือ ความหนาของชิ้นงาน หน่วยเป็นเมตร (m)

ตารางที่ 1 ค่าการตั้งเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อม

Table 1 Weather meter chamber setting

Light source	Xenon arc lamp through daylight filters
Irradiance level	0.35 W/m ² /nm at 340 nm
Test cycle	102 min light at 63°C black panel temperature 18 min light and water spray
Black panel temperature	63°C

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคำนวณสถิติ SPSS statistic 19.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยในการทดสอบการคงสภาพสีของซิติโคนทุกกลุ่มในแต่ละช่วงเวลา และคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืดและความต้านทานการฉีกขาด จะทำการทดสอบการแจกแจงปกติ หากมีการแจกแจงปกติจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากพบความแตกต่างจากการวิเคราะห์สถิตินี้ จะทำ Post-hoc test ในการเปรียบเทียบคู่ที่แตกต่าง โดยใช้สถิติบอนเฟอร์รอนี (Bonferroni)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงเวลาของซิติโคนทุกกลุ่ม

Table 2 Comparison of mean ΔE^* value and standard deviation (SD) in all three groups at each time period.

Exposure time (hrs.)	Silicone			p-value
	A-103 with TiO ₂	A-103 without TiO ₂	Multisil	
100	4.58±2.02 ^a (4.42)	6.08±3.52 ^b (4.01)	2.09±0.89 ^c (1.85)	<0.001
200	6.05±1.76 ^d (5.71)	7.31±3.33 ^e (5.67)	2.03±0.73 ^f (2.09)	<0.001
300	7.14±1.80 ^g (6.81)	8.76±3.37 ^h (7.42)	2.32±0.84 ⁱ (2.17)	<0.001
400	8.59±1.90 ^j (8.70)	9.33±3.18 ^k (8.44)	3.13±0.68 ^l (3.00)	<0.001
500	9.80±1.68 ^m (9.76)	10.10±3.37 ⁿ (9.13)	3.19±0.70 ^o (3.03)	<0.001
600	10.80±1.65 ^p (10.91)	11.03±3.34 ^q (10.30)	3.67±0.73 ^r (3.68)	<0.001

* Means with same superscripted lowercase letters are not significantly different (p>0.05)

** Median values are show in the parentheses

หมายเหตุ : A-103 with TiO₂ คือ กลุ่มซิติโคนแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์
A-103 without TiO₂ คือ กลุ่มซิติโคนแฟลคเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และ
Multisil คือ กลุ่มซิติโคนชนิดสำเร็จรูป

Note : A-103 with TiO₂ = Factor II A-103 with 2%wt nano-titanium dioxide
A-103 without TiO₂ = Factor II A-103 without 2%wt nano-titanium dioxide,
Multisil = Multisil-Epithetics

ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะใช้สถิติครัสคัล-วอลลิส (Kruskal-Wallis) และทำการทดสอบคู่ที่แตกต่างโดยใช้สถิติ Dunn-Bonferroni ส่วนการทดสอบการคงสภาพสีของซิติโคนแต่ละกลุ่มในช่วงเวลาต่าง ๆ จะใช้สถิติฟริดแมน (Friedman's two way ANOVA)

ผล

การคงสภาพสี การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีภายหลังการเก็บชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลมในเครื่องจำลอง ปัจจัยสภาวะแวดล้อมเป็นเวลาทั้งหมด 600 ชั่วโมง พบว่าค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของกลุ่มซิติโคนชนิดสำเร็จรูป กลุ่มซิติโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มซิติโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 3.67 10.8 และ 11.03 ตามลำดับ โดยกลุ่มซิติโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของซิติโคนทุกกลุ่มในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้สถิติครัสคัล-วอลลิส พบว่ากลุ่มซิติโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีใน 300 ชั่วโมงแรก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001) โดยกลุ่มซิติโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ากลุ่มซิติโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในขณะที่กลุ่มซิติโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกันกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุก ๆ ช่วงเวลา (p<0.001) (ตารางที่ 2)

และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของซิลิโคนแต่ละกลุ่มในช่วงเวลาต่างๆ (100-600 ชั่วโมง) โดยใช้สถิติพรีดแมน พบว่าซิลิโคนทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงเวลาต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) (ตารางที่ 3) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 300 ชั่วโมงเริ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีที่เวลา 100 ชั่วโมง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เริ่มแตกต่างที่เวลา 300 ชั่วโมง ($p < 0.001$) เช่นเดียวกัน ส่วนกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป เริ่มแตกต่างที่เวลา 400 ชั่วโมง ($p < 0.001$) ดังนั้นกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปจึงมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองทั้ง 2 กลุ่ม

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของซิลิโคนแต่ละกลุ่มในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

Table 3 Comparison of Mean ΔE^* value and standard deviation (SD) of each group in each time period.

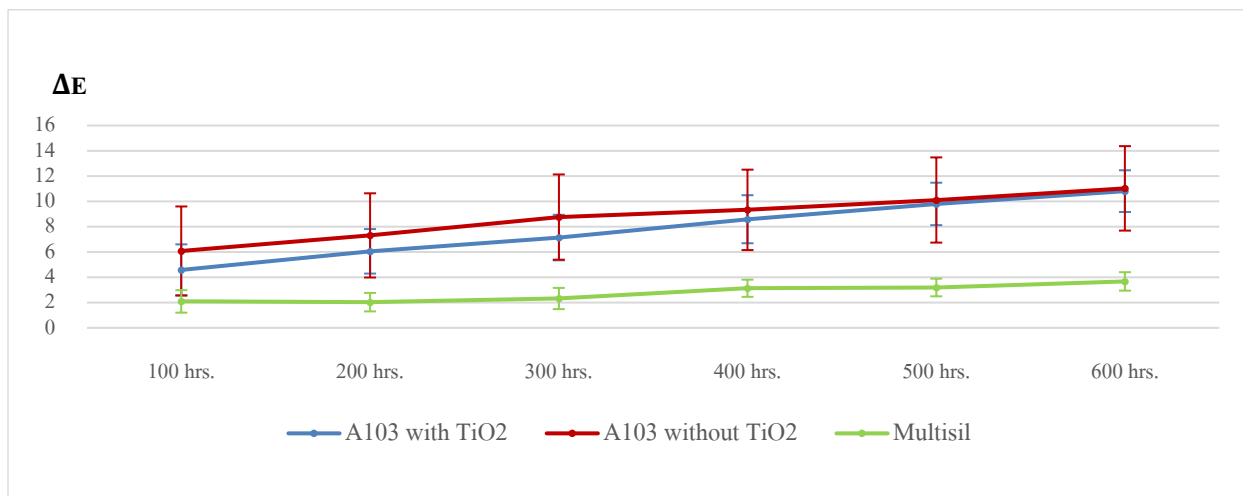
Silicone	Exposure time (hrs.)						p-value
	100	200	300	400	500	600	
A-103 with TiO ₂	4.58±2.02 ^a	6.05±1.76 ^{ab}	7.14±1.80 ^b	8.59±1.90 ^{cd}	9.80±1.68 ^{de}	10.8±1.65 ^e	< 0.001
A-103 without TiO ₂	6.08±3.52 ^f	7.31±3.33 ^f	8.76±3.37 ^{gh}	9.33±3.18 ^{hi}	10.10±3.37 ^{ij}	11.03±3.34 ^j	< 0.001
Multisil	2.09±0.89 ^k	2.03±0.73 ^k	2.32±0.84 ^k	3.13±0.68 ^l	3.19±0.70 ^{lm}	3.67±0.73 ^m	< 0.001

* Means with same superscripted lowercase letters are not significantly different ($p > 0.05$)

หมายเหตุ : A-103 with TiO₂ คือ กลุ่มซิลิโคนแฟคเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์
 A-103 without TiO₂ คือ กลุ่มซิลิโคนแฟคเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และ
 Multisil คือ กลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป
 Note : A-103 with TiO₂ = Factor II A-103 with 2% wt nano-titanium dioxide
 A-103 without TiO₂ = Factor II A-103 without 2% wt nano-titanium dioxide,
 Multisil =Multisil-Epithetics

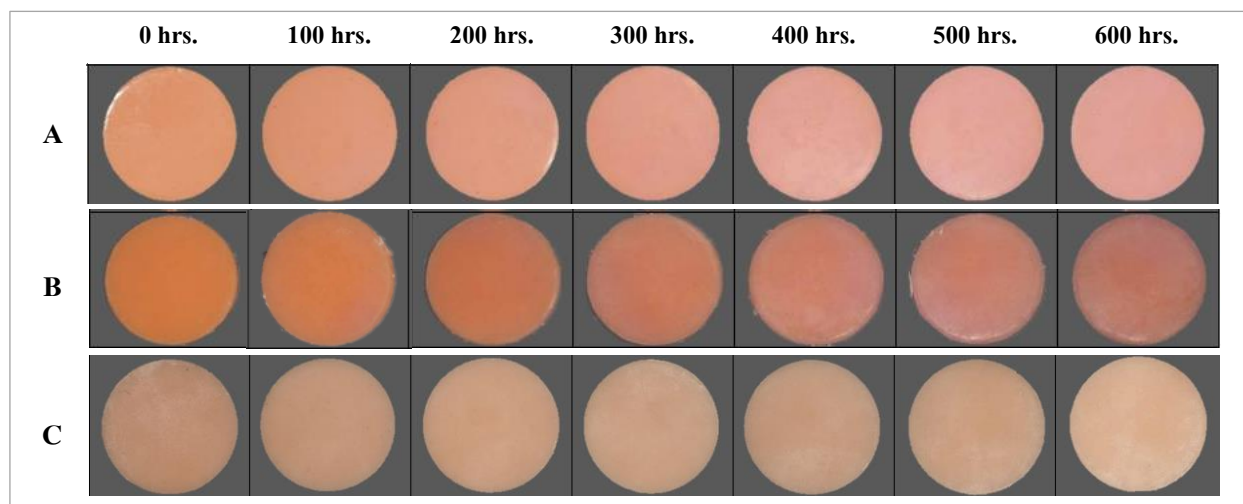
เมื่อพิจารณาจากกราฟ (รูปที่ 2) พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อย ส่วนกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างมาก โดยเมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงสีของทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มใกล้เคียงกันที่เวลา 600 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาจากกราฟ (รูปที่ 3) พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเด่นชัดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตา ในขณะที่ซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปแทบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงสี โดยเมื่อพิจารณาจากค่า L^* a^* b^* พบว่าซิลิโคนทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ย Δa และ Δb ลดลง ทำให้ชิ้นงานมีสีค่อนข้างขาวและสีน้ำตาลมากขึ้น ที่ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีดังกล่าวได้ด้วยตา ซึ่งกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ย Δa และ Δb ลดลงที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือมีค่าเฉลี่ย Δa ลดลง -1.8 -1.11 และมีค่าเฉลี่ย Δb ลดลง -9.9 -8.25 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มซิลิโคน

ชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ย Δa ลดลง -3.06 มีค่าเฉลี่ย Δb ลดลง -1.13 ส่วนค่าเฉลี่ย ΔL พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ย ΔL เพิ่มขึ้น 0.3 และ 0.98 ตามลำดับ ทำให้เห็นชิ้นงานมีสีสว่างขึ้น ส่วนกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ย ΔL ลดลง -5.96 ทำให้เห็นชิ้นงานมีสีมืดลง เมื่อนำชิ้นงานกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมาส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (S-3000N; Hitachi, Tokyo, Japan) ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุด้วยการทำเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray spectroscopy, EDX) กำลังขยาย $\times 100$ เท่า พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีธาตุไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปและกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะคล้ายกันคือมีสีสว่างยิ่งขึ้น



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ย ΔE^* เมื่อเวลาผ่านไป 600 ชั่วโมง ของกลุ่มซีลีโคนแฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (A-103 with TiO₂) กลุ่มซีลีโคนแฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียม ไดออกไซด์ (A-103 without TiO₂) และกลุ่มซีลีโคนชนิดสำเร็จรูป (Multisil)

Figure 2 Mean ΔE^* value after 600 hours of Factor II A-103 with 2%wt nano-titanium dioxide (A-103 with TiO₂), Factor II A-103 without 2%wt nano-titanium dioxide (A-103 without TiO₂) and Multisil-Epithetics (Multisil).



รูปที่ 3 การแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานซีลีโคนทุก ๆ 100 ชั่วโมง จนถึง 600 ชั่วโมง โดย (A) คือ แฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ชิ้นงานที่ 7 (B) คือ แฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ชิ้นงานที่ 9 และ (C) คือ มัลติซิลอิพิเทติกชิ้นงานที่ 3

Figure 3 Color changes of specimens every 100 hours up to 600 hours of aging (A) Factor II A-103 with 2%wt nano-titanium dioxide No.7 (B) Factor II A-103 without 2%wt nano-titanium dioxide No.9 and Multisil-Epithetics No.3

ความต้านทานแรงดึง การวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง (ตารางที่ 4) พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของกลุ่มซีลีโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ กลุ่มซีลีโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มซีลีโคนชนิดสำเร็จรูป มีค่าเท่ากับ 6.22 ± 1.52 เมกะปาสกาล 5.13 ± 1.17 เมกะปาสกาล และ 4.80 ± 0.97 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มซีลีโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงมาก

ที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของซีลีโคนทั้ง 3 กลุ่ม ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่ากลุ่มซีลีโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงแตกต่างกับกลุ่มซีลีโคนชนิดสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.006$) แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มซีลีโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ร้อยละการยืด เมื่อวิเคราะห์ร้อยละการยืด (ตารางที่ 4) พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดของกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ กลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป มีค่าเท่ากับ 916.61 ± 92.32 892.96 ± 147.63 และ 335.48 ± 74.46 ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดมากที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดแตกต่างกับกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ส่วนกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มของซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่า มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ความต้านทานการฉีกขาด การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาด (ตารางที่ 4) พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ กลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเท่ากับ 2.22 ± 0.59 กิโลนิวตันต่อเมตร 1.86 ± 0.46 กิโลนิวตันต่อเมตร และ 0.57 ± 0.14 กิโลนิวตันต่อเมตร ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาดมากที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาดแตกต่างกับกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ส่วนกลุ่มของซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาดแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มซิลิโคนแฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (A-103 with TiO_2) กลุ่มซิลิโคนแฟกเตอร์ทูเอ 103 ที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (A-103 without TiO_2) และกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป (Multisil)

Table 4 Mean and standard deviation (SD) of tensile strength, tear strength and percentage elongation of Factor II A-103 with 2% wt nano-titanium dioxide (A-103 with TiO_2), Factor II A-103 without 2%wt nano-titanium dioxide (A-103 without TiO_2) and Multisil-Epithetics (Multisil)

Properties	Silicone			P-value
	A-103 with TiO_2	A-103 without TiO_2	Multisil	
Tension (Mpa) (Mean $\pm$ SD)	6.22 ± 1.52^a	5.13 ± 1.17^{ab}	4.80 ± 0.97^b	0.006
% Elongation (Mean $\pm$ SD)	916.61 ± 92.32^c	892.96 ± 147.63^c	335.48 ± 74.46^d	<0.001
Tear (kN/m) (Mean $\pm$ SD)	2.22 ± 0.59^e	1.86 ± 0.46^e	0.57 ± 0.14^f	<0.001

บทวิจารณ์

ซิลิโคนอีลาสโตเมอร์เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการทำสิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกรนอกช่องปากที่มีความต้านทานแรงดึงและการฉีกขาดสูง และมีสีสวยงาม แต่ซิลิโคนมีการเปลี่ยนแปลงสีจากปัจจัยสภาวะแวดล้อม จึงมีการปรับปรุงซิลิโคนด้วยการใส่สารนาโนออกไซด์ที่ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของสี เพื่อให้ซิลิโคนมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น โดยในทางอุตสาหกรรมได้นำสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้เป็นส่วนประกอบในสารเคลือบผิว ยาง พลาสติก วัสดุอุดทันตกรรม ฟิล์ม ฟิล์ม และเครื่องสำอาง^{12,13} ทั้งนี้ในทางทันตกรรมได้นำสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ผสม

ในซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้า เนื่องจากสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่กระจายอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) จะช่วยการคงสภาพสีของซิลิโคนได้ เมื่อซิลิโคนได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้ไอออนของอนุมูลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตเกิดการสั่นสะเทือน จึงส่งผลให้รังสีอัลตราไวโอเลตบางส่วนเกิดการกระเจิงและบางส่วนถูกดูดซับโดยอนุมูลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ออกไซด์ในขณะเดียวกัน¹⁷ นอกจากนี้สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ยัง

มีคุณสมบัติช่วยฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และเมื่อนำสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบบนผิววัสดุจะสามารถทำความสะอาดพื้นผิววัสดุได้ง่าย โดยสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะสามารถออกซิไดซ์สิ่งสกปรกที่อยู่บนพื้นผิววัสดุให้เป็นสารที่ถูกชะล้างด้วยน้ำได้ง่าย จึงทำให้พื้นผิววัสดุสะอาดตลอดเวลา¹⁸

Han และคณะในปี ค.ศ. 2010¹² พบว่าสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 2.5 โดยน้ำหนัก จะช่วยคงสภาพสีของซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าเอ 2186 ได้ดีกว่าซีเรียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ ซึ่งสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 2.5 โดยน้ำหนักจะให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าเอ 2186 ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการคงสภาพสีแตกต่างกันอย่างไม่นับยาคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Shakir และคณะในปี ค.ศ. 2017¹⁵ ที่พบว่าการใช้สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่ช่วยในการคงสภาพสีของซิลิโคน ในขณะที่ Eltayyar และคณะในปี ค.ศ. 2016¹⁶ พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 2 และ 2.5 โดยน้ำหนักในซิลิโคนขากรรไกรและใบหน้าเอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีสูงที่สุดที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตา ($\Delta E^* > 3.3$) แต่ในการศึกษาของ Han และคณะในปี ค.ศ. 2010¹² กลับพบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักในซิลิโคนชนิดผสมสีเองเอ 2186 ที่ผสมสีซิลิโคนในอัตราส่วน เหลือง แดง และน้ำเงิน 1:1:1 และเก็บในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่ใช้ค่าพลังงานแสง 450 กิโลจูลต่อตารางเมตร ทำให้ซิลิโคนมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ($\Delta E^* = 1.2$) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ผสมสีซิลิโคนในอัตราส่วน เหลือง แดง และน้ำเงิน 9:1:1 และเก็บในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่ใช้ค่าพลังงานแสง 756 กิโลจูลต่อตารางเมตร ที่มีสีเหลืองผสมและใช้ค่าพลังงานมากกว่าในการศึกษาของ Han และคณะในปี ค.ศ. 2010¹² จึงทำให้ในการศึกษานี้ได้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสีเหลืองที่ผสมในซิลิโคนและพลังแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร อาจมีผลกระทบกับประสิทธิภาพในการคงสภาพสีของสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสีเหลือง

จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของซิลิโคนมากกว่าเมื่อสิ้นสุดการศึกษาของ Kiat-amnuay และคณะในปี ค.ศ. 2009¹ และ Han และคณะในปี ค.ศ. 2010¹² และเมื่อพิจารณาที่ขนาดอนุภาคของสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในพอลิเมอร์เมทริกซ์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวี โดยขนาดอนุภาคที่เล็กและมีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์จะทำให้เกิดการกระเจิงรังสียูวีได้ดีกว่า¹⁴ จากการศึกษาของ Allen และคณะในปี 2004¹⁹ พบว่าสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผสมในสีอะคริลิกสำหรับทาไม้ที่มีขนาดอนุภาค 70 นาโนเมตร จะสามารถช่วยให้เกิดการคงสภาพสีของไม้ได้ดีกว่าสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาค 90 นาโนเมตร เนื่องจากขนาดของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น เป็นผลให้เกิดการกระเจิงแสงได้มากขึ้น โดยสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 100 นาโนเมตร จึงอาจเป็นไปได้ว่าขนาดอนุภาคของสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในการศึกษาของ Han ในปี 2010 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าในการศึกษานี้ที่มีขนาดของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 90 นาโนเมตร จึงทำให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีในการศึกษานี้มากกว่าการศึกษาของ Han ในปี ค.ศ. 2010

ในการศึกษานี้พบว่า การเก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมเป็นเวลา 600 ชั่วโมง จะให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป ซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 3.67, 10.8 และ 11.03 ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษานี้จำเป็นต้องเก็บชิ้นงานเป็นเวลา 600 ชั่วโมง แม้ว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่า 3.3 ที่ 100 ชั่วโมง แต่ซิลิโคนสำเร็จรูปจะต้องเก็บเป็นเวลา 600 ชั่วโมง จึงจะมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่า 3.3 ที่มองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาและไม่สามารถยอมรับได้ในทางคลินิก¹⁶ ทั้งนี้ Farah และคณะในปี ค.ศ. 2018²⁰ พบว่าซิลิโคนที่มีอนินทรีย์สาร (Inorganic) จะให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าซิลิโคนที่มีอินทรีย์สาร (Organic) เมื่อผสมในซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อเอ็ม 511 ดังนั้นสารที่เป็นอินทรีย์หรืออนินทรีย์ในสีซิลิโคนน่าจะมีผลต่อค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า ซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยการ

เปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดและแตกต่างจากซิลิโคนชนิดผสมสีเองทั้งสองกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) อาจเป็นเพราะซิลิโคนสำเร็จรูปใช้สีซิลิโคนที่มีอินทรีย์สารจึงทำให้มีการคงสภาพสีมากกว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใช้สีซิลิโคนที่มีอินทรีย์สาร อย่างไรก็ตามนอกจากสีซิลิโคนที่ใช้ผสมในซิลิโคนให้ได้สีคล้ายสีผิวตามธรรมชาติแล้วยังมีสีน้ำมัน (Oil pigment) และสีจากแร่ธรรมชาติ (Dry earth pigment)²¹ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประเภทของสีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสี

ในการศึกษานี้ได้เก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่สามารถควบคุมแสง อุณหภูมิ และความชื้นโดยใช้หลอดซินอนเป็นแหล่งกำเนิดแสงเลียนแบบแสงจากดวงอาทิตย์ที่ให้ความยาวคลื่นแสงครอบคลุมมากกว่าหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานได้เมื่อเก็บชิ้นงานในเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อมเป็นเวลา 600 ชั่วโมง เทียบเท่าได้กับการได้รับแสงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3.8 เดือน ที่คิดคำนวณเฉพาะตัวแปรแสงเท่านั้น จึงสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าการวางชิ้นงานในสภาวะแวดล้อมภายนอกที่ได้รับแสงสลับกับความมืดและความชื้น ในบรรยากาศที่ไม่คงที่ ซึ่ง Polyzois และคณะในปี ค.ศ. 1999¹¹ ได้ศึกษาการวางชิ้นงานไว้ในสภาวะแวดล้อมภายนอกที่เมืองเอเธนส์ ประเทศกรีซ พบว่าต้องใช้เวลาในการวางชิ้นงานในสภาวะแวดล้อมภายนอก เป็นเวลา 1 ปี จึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน เนื่องจากการวางชิ้นงานในสภาวะแวดล้อมภายนอกไม่สามารถควบคุมปริมาณแสง อุณหภูมิ และความชื้นได้

การศึกษาคณสมบัติทางกายภาพในการศึกษานี้พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 6.22 ± 1.52 เมกะปาสคาล มากกว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และกลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปที่มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 5.13 ± 1.17 เมกะปาสคาล และ 4.80 ± 0.97 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงระหว่างกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์แตกต่างจากกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.051$) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Han และคณะในปี ค.ศ. 2008¹³ ที่พบว่าการใช้สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักจะทำให้ซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อ 2186 มีค่าเฉลี่ยความ

ต้านทานแรงดึงมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 1 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

การทดสอบร้อยละการยิดในการศึกษานี้พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยร้อยละการยิดน้อยที่สุดแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยิดมากที่สุด ซึ่ง Han และคณะในปี ค.ศ. 2008¹³ พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักจะทำให้ซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อ 2186 มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยิดมากขึ้น แตกต่างจากการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดย Wang และคณะในปี ค.ศ. 2014²² พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักในซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อเอ็มดีเอกซ์ 4-4210 จะมีค่าเฉลี่ยร้อยละการยิดมากขึ้น แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในการศึกษานี้กลับพบว่าการใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการยิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้ในการศึกษานี้พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยิดมีแนวโน้มสูงขึ้น แม้ว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะแตกต่างจากกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยิดได้จากการที่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สร้างพันธะไฮโดรเจนกับสายพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethyl siloxane) แบบเชื่อมขวาง (Cross-link) ที่มีความแข็งแรง ซึ่งอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และสายพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวางจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะม้วนขดไปมาและบิดเป็นเกลียวช่วยต้านทานการแตกหักของพันธะเมื่อได้รับแรงดึง จึงเป็นผลให้ซิลิโคนที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยิดเพิ่มขึ้น²³

การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดในการศึกษานี้พบว่ากลุ่มซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาดน้อยที่สุดแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p < 0.001$) โดยกลุ่มซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการฉีกขาดมากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มซิลิโคนที่ใส่และไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ กลับพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ ในปี ค.ศ. 2014²² พบว่าการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักทำให้ซิลิโคนชนิดผสมสีเองยี่ห้อเอ็มดีเอกซ์ 4-4210 มีความต้านทานการฉีกขาดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามสารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะช่วยกระจายพลังงานความเครียด (Strain energy) ที่จุดเริ่มขาดในขณะที่วัสดุเริ่มฉีกขาด เมื่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กระจายพลังงานไปยังพอลิเมอร์แมทริกซ์ ทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำวัสดุฉีกขาด²⁴ ดังนั้นการใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงช่วยส่งเสริมให้ซิลิโคนมีความต้านทานการฉีกขาดสูง ซึ่งซิลิโคนที่ใช้ทำสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรควรจะมีคุณสมบัติความต้านทานการฉีกขาดสูง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความบางบริเวณขอบให้แนบสนิทและเรียบกลืนไปกับผิวหนังของผู้ป่วย²⁵ ทั้งนี้การที่วัสดุมีความต้านทานการฉีกขาดสูงยังช่วยให้บริเวณขอบที่มีความบางของชิ้นงานมีโอกาสฉีกขาดน้อยลง จึงช่วยให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

ปัจจุบันการทำสิ่งประดิษฐ์ใบหน้าขากรรไกรนิยมใช้ซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่สามารถผสมสีให้เหมือนสีผิวของผู้ป่วยได้ แม้ว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเองจะมีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาดสูง แต่มีขั้นตอนการผสมยุ่งยาก มีเวลาในการแข็งตัวนาน และมีการเสื่อมสภาพของสีเร็ว จึงมีการพัฒนาซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปที่สามารถนำมาใช้งานง่าย แข็งตัวเร็ว และมีการคงสภาพสีที่ดี แต่มีสีให้เลือกใช้จำกัด และมีคุณสมบัติทางกายภาพด้อยกว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเอง อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเพียงยี่ห้อเดียวของซิลิโคนชนิดผสมสีเองและซิลิโคนชนิดสำเร็จรูป จึงควรมีการศึกษาซิลิโคนยี่ห้ออื่นต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด ความต้านทานการฉีกขาด ความแข็งผิว และศึกษาเพิ่มเติมคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่ยังไม่มีการศึกษา เช่น การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ความสามารถในการเปียก (Wettability) ค่ามอดูลัส (Modulus) และน้ำหนักของวัสดุ (Weight)

บทสรุป

1. ซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ไม่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในระยะ 300 ชั่วโมงแรก แต่ในระยะยาวจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกัน
2. ซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีการคงสภาพสีดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซิลิโคนชนิดผสมสีเอง
3. ซิลิโคนชนิดผสมสีเองที่ใส่สารนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาดมากที่สุด
4. ซิลิโคนชนิดสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืด และความต้านทานการฉีกขาดน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจาก นายณรงค์ฤทธิ์ หอมดวง เจ้าหน้าที่ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และนายพนทศน์ กิตติอรพิงศ์ เจ้าหน้าที่บริษัท ทรัมป์ สเป็คเซียลตี้ ที่ให้การสนับสนุนในการใช้งานเครื่องจำลองปัจจัยสภาวะแวดล้อม (Q-Sun xenon test chamber LX 5050, USA) รวมทั้งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการคงสภาพสีของชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Kiat-amnuay S, Beerbower M, Powers JM, Paravina RD. Influence of pigments and opacifiers on color stability of silicone maxillofacial elastomer. J Dent 2009;37(1) : 45-50.
2. Hatamleh MM, Watts DC. Mechanical properties and bonding of maxillofacial silicone elastomers. Dent Mater 2010;26(2):185-91.
3. The Academy of Prosthodontics Foundation . The Glossary of Prosthodontic Terms. J prosthet Dent (Internet). 2017[cited 2020 March 1]; 117(5):56. Available from: https://www.Academy of prosthodontics.org/_Library/ap_articles_download/GPT9.pdf
4. Mahajan H, Gupta K. Maxillofacial Prosthetic Materials: A Literature Review. J Orofac Res 2012;2(2):87-90.
5. Barhate A, Gangadhar S, Bhandari A, Joshi A. Materials used in maxillofacial prosthesis : A review. Pravara Med Rev 2015;7(1):5-8.

6. Mohammad SA, Wee AG, Rumsey DJ, Schricker SR. Maxillofacial Materials Reinforced with Various Concentrations of Polyhedral Silsesquioxanes. *J Dent Biomech* 2010;1-6.
7. Mitra A, Choudhary S, Garg H, Jagadeesh HG. Maxillofacial prosthetic materials- an inclination towards silicones. *J Clin and Diagn Res* 2014;8(12):08-13.
8. Lai JH, Wang LL, Ko CC, De Long RL, Hodges JS. New organosilicon maxillofacial prosthetic materials. *Dent Mater* 2002;18(3):281-6.
9. Beatty MW, Mahanna GK, Dick K, Jia W. Color changes in dry- pigmented maxillofacial elastomer resulting from ultraviolet light exposure. *J Prosthet Dent* 1995;74(5): 493-8.
10. Lemon JC, Chambers MS, Jacobsen ML, Powers JM. Color stability of facial prostheses. *J Prosthet Dent* 1995; 74(6):613-8.
11. Polyzois GL. Color stability of facial silicone prosthetic polymers after outdoor weathering. *J Prosthet Dent* 1999;82(4):447-50.
12. Han Y, Zhao Y, Xie C, Powers JM, Kiat-amnuay S. Color stability of pigmented maxillofacial silicone elastomer: Effects of nano-oxides as opacifiers. *J Dent* 2010;38(2):100-5.
13. Han Y, Kiat-amnuay S, Powers JM, Zhao Y. Effect of nano-oxide concentration on the mechanical properties of a maxillofacial silicone elastomer. *J Prosthet Dent* 2008; 100(6):465-73.
14. Akash RN, Guttal SS. Effect of Incorporation of nano-oxides on color stability of maxillofacial silicone elastomer subjected to outdoor weathering. *J Prosthodont* 2015; 24(7): 569-75.
15. Shakir DA, Abdul - Ameer FM. Effect of nano titanium oxide addition on color stability on two types of maxillofacial silicone materials. *Int J Sci Res* 2017; 6(12): 1796-801.
16. Eltayyar NH, Alshimy AM, Abushelib MN. Evaluation of intrinsic color stability of facial silicone elastomer reinforced with different nanoparticles. *Alex Dent J* 2016; 41(1):50-4.
17. Li R, Yabe S, Yamashita M, Momose S, Yoshida S, Yin S, et al. UV-shielding properties of zinc oxide-doped ceria fine powders derived via soft solution chemical routes. *Mater Chem Phys* 2002;75(1):39-44.
18. Sujaridworakun P. Titanium dioxide photocatalyst and daily life. *J MTEC* 2005;(40):76-9.
19. Allen NS, Edge M, Ortega A, Sandoval G, Liauw CM, Verran J, et al. Degradation and stabilisation of polymers and coatings: nano versus pigmentary titania particles. *Polym Degrad Stabil* 2004;85(3):927-46.
20. Farah A, Sherriff M, Coward T. Color stability of nonpigmented and pigmented maxillofacial silicone elastomer exposed to 3 different environments. *J Prosthet Dent* 2018;120(3):476-82.
21. Beumer J, Reisberg DJ, Marunick MT, Powers JM, Kiat-amnuay S, Oort RV. Rehabilitation of Facial Defects. In: Beumer J, Marunick MT, Esposito S, editors. *Maxillofacial Rehabilitation: Prosthodontic and Surgical Considerations*. 3rd ed. Chicago : Quintessence Publishing; 2011. 255-313.
22. Wang L, Liu Q, Jing D, Zhou S, Shao L. Biomechanical properties of nano- TiO₂ addition to a medical silicone elastomer: The effect of artificial ageing. *J Dent* 2014; 42(4):475-83.
23. Radey NS, Al Shimy AM, Ahmed DM. Effect of extraoral aging conditions on mechanical properties of facial silicone elastomer reinforced titanium-oxide nanoparticles (*In vitro* study). *Alex Dent J* 2019;20(10):1-26.
24. Zhu A- J, Sternstein SS. Nonlinear viscoelasticity of nanofilled polymers: interfaces, chain statistics and properties recovery kinetics. *Compos Sci Technol* 2003; 63(8):1113-26.
25. Bellamy K, Limbert G, Waters MG, Middleton J. An elastomeric material for facial prostheses: synthesis, experimental and numerical testing aspects. *Biomaterials* 2003;24(27):5061-6.

ผู้รับผิดชอบบทความ

พิศเพลิน หนาเทพาพร

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

โทรศัพท์: 043 202 405 #42383

โทรสาร: 043 202 862

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: cptipe@kku.ac.th

Effect of Nano-Titanium Dioxide on the Color Stability and Mechanical Properties of Factor II A-103 Compare with Multisil-Epithetics Maxillofacial Silicone Elastomer

Phayuha T* Chanatapaporn P** Sookto T** Puasiri S***

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the effects of nano-titanium dioxide on the color stability of pigmented silicone Factor II A-103 maxillofacial prosthetic elastomers compare with Multisil-Epithetics before and after artificial aging and to evaluate physical properties. Fifty disc-shaped maxillofacial silicone elastomer specimens in each group were fabricated for color stability evaluation. The first group was fabricated from Factor II A-103 with 2% wt nano-titanium dioxide, the second group was fabricated from Factor II A-103 without 2% wt nano-titanium dioxide and the last group was fabricated from Multisil-Epithetics. The first and the second group were colored with intrinsic silicone pigment for the same color like Multisil-Epithetics. Total of 150 specimens were aged in an artificial aging chamber (Q-Sun xenon test chamber LX 5050, USA) for 600 hrs. Color changes (ΔE^*) were calculated based on the recorded CIElab values using spectrophotometer (HunterLab, ColorQuest ® XE, USA) at base line (0 hour) and then every 100 hours up to 600 hours of aging. For the physical properties test 16 dumbbell-shaped and 16 trouser-shaped of each group were fabricated and tested for tensile strength, percentage elongation and tear strength in a universal testing machine. Kruskal-Wallis was performed for analyze the differences among group at 95% confidence level and Friedman's two way ANOVA was used to compare mean ΔE^* value of each group in each time period (100-600 hrs.). For color stability test, Multisil-Epithetics exhibited smallest color changes ($\Delta E^*=3.67$) followed by Factor II A-103 with 2% wt nano-titanium dioxide ($\Delta E^*=10.8$) and Factor II A-103 without 2% wt nano-titanium dioxide ($\Delta E^*=11.03$) respectively. Multisil-Epithetics had statistically significant differences in comparison to the other groups ($p<0.001$). Delta-E values of all groups after 600 hours aging was higher than acceptable threshold ($\Delta E^*=3.3$). For mechanical properties test, Factor II A-103 with 2% wt nano-titanium dioxide demonstrated significantly higher tensile strength, percentage elongation and tear strength than Multisil-Epithetics ($P<0.001$). There was no significant difference of tensile strength, percentage elongation and tear strength between Factor II A-103 with and without 2% wt nano-titanium dioxide. In conclusions, incorporation of nano-titanium dioxide improved the color stability of Factor II A-103 silicone elastomer in 300 hrs. from artificial aging, but did not improve the color stability in the long term and did not improve the physical properties of the material.

Keywords: Color stability/ Tensile strength/ Tear strength/ Percentage elongation/ Nano-titanium dioxide

Corresponding Author

Pitpern Chanatapaporn,
Department of Prosthetic Dentistry,
Faculty of Dentistry, Khon Kaen University,
Amphur Muang, Khon Kaen, 40002.
Tel.: +66 4 320 2405 # 42383
Fax.: +66 4 320 2862
Email: cptipe@kku.ac.th

* Dental Department, Kranuan Crown Prince Hospital, Amphur Kranuan, Khon Kaen.

** Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Amphur Muang, Khon Kaen.

*** Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Amphur Muang, Khon Kaen.