

การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ในงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกร
ที่ใส่เม็ดสีและไม่ใส่เม็ดสี ก่อนและหลังการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ
Comparison of Mechanical Properties of Maxillofacial Silicone Elastomer with and
without Pigment Before and After Water Immersion Heated by Microwave Energy

เพ็ญชนก แสันทวีสุข (Penchanok Santhaveesuk)* สุदारัตน์ เกียรติอำนวย (Sudarat Kiat-amnuay)**
ประเวศ เสรีเชษฐพงษ์ (Pravej Serichetaphongse)***

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ในงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกรชนิด VST-50 ที่ใส่เม็ดสีและไม่ใส่เม็ดสี ก่อนและหลังได้รับการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟโดยจำลองการใช้เตาไมโครเวฟ 18 เดือน ชิ้นงานตัวอย่าง 56 ชิ้น จัดเป็น 2 กลุ่มตามการเติมเม็ดสีคือ ชิ้นงานที่ไม่มีสีและชิ้นงานมีสี โดยเป็นเม็ดสีชนิดซิลิโคน รูปร่างชิ้นงานถูกขึ้นรูปตามมาตรฐาน ASTM D412 และ D624 และแบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มเข้าเตาไมโครเวฟร่วมกับการแช่น้ำเป็นเวลา 6 นาที ที่ 660 วัตต์ 18 ครั้ง ทั้งหมดมี 8 กลุ่มย่อย (n=7) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง ($\alpha=.5$) พบว่าชนิดของเม็ดสีมีผลต่อความทนต่อแรงดึงและความแข็งของชิ้นงานซิลิโคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.001$) ทั้งกลุ่มควบคุมและเข้าเตาไมโครเวฟ ขณะที่การใช้เตาไมโครเวฟมีผลต่อความทนต่อการฉีกขาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) ทั้งกลุ่มไม่มีสีและมีสี และทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อร้อยละการยืดตัว

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate mechanical properties of VST-50 silicone maxillofacial elastomer combined with and without pigment before and after water immersion heated simulated using microwave energy over an 18-month period of microwave exposure. A total of 56 specimens was divided into 2 groups (no pigment and silicone pigment). Specimens were fabricated following ASTM D412 and D624 standards. A total of 8 subgroups was prepared (n=7). Half of specimens was exposed to microwave exposure for 6 minutes, 660 watts and 18 times. A two-way ANOVA was performed ($\alpha=.5$). Tensile strength and Shore A hardness were affected by pigment ($p<.001$). Tear strength was increased after microwave exposure ($p<.05$). Both pigment and microwave exposure had no effect on percent elongation.

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกล ซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ ไมโครเวฟ

Keywords: Mechanical properties, Silicone elastomer, Microwave

*นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ศาสตราจารย์ สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปและทันตสาธารณสุข คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทกซัส

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ผู้ป่วยที่สูญเสียอวัยวะและเนื้อเยื่อบริเวณใบหน้าอันเป็นผลมาจากการผ่าตัดรักษาโรคมะเร็ง อุบัติเหตุ และความพิการตั้งแต่กำเนิด หรือในกรณีที่ไม่สามารถผ่าตัดได้จะได้รับการบูรณะใบหน้าด้วยอวัยวะเทียม (maxillofacial prostheses) (Kiat-amnuay et al., 2005) โดยอวัยวะเทียมมีส่วนให้ผู้ป่วยสามารถใช้ชีวิตได้อย่างปกติ และส่งเสริมทั้งด้านภาพลักษณ์ภายนอกและจิตใจผู้ป่วยไปในทางที่ดี (Butler et al., 2000) แม้อวัยวะเทียมชนิดซิลิโคนจะถูกนำมาใช้ตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 เนื่องจากมีสมบัติยืดหยุ่น (flexibility) เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) และมีความโปร่งแสง (translucency) ที่เหมาะสม สามารถเติมสีได้ทั้งภายนอก (external staining) และภายในวัสดุ (internal staining) ขึ้นรูปขึ้นงานและทำความสะอาดได้ง่าย นอกจากนั้นวัสดุมีความเฉื่อยทางเคมี ความแข็งแรง ความคงทนที่ดีจึงถูกใช้อย่างกว้างขวางจนมาถึงปัจจุบัน (Montgomery, Kiat-Amnuay, 2010) อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานของอวัยวะเทียมชนิดซิลิโคนอยู่ที่ 1 ถึง 2 ปี (Yu et al., 1980) โดยปัญหาสำคัญที่ทำให้ต้องเปลี่ยนอวัยวะเทียมชิ้นใหม่คือ การเปลี่ยนสีและการฉีกขาดของอวัยวะเทียม (Karakoca et al., 2010) วัสดุซิลิโคนจะเกิดการเสื่อมสภาพเชิงกลและกายภาพได้จากสภาพอากาศ มลพิษ เครื่องสำอาง ควันทูบหรี่ ยาสูบ อายุการใช้งาน เชื้อโรค และวิธีการทำความสะอาด (Jani, Schaaf, 1978; Eleni et al., 2013) การดูแลรักษาความสะอาดอวัยวะเทียมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อป้องกันการสะสมเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราบนอวัยวะเทียม ที่นำไปสู่การติดเชื้อที่ผิวหนังและการเสื่อมสภาพของอวัยวะเทียม โดยอวัยวะเทียมควรทำความสะอาดทุกวัน ด้วยน้ำเปล่า สบู่อ่อน (neutral soap) หรือคลอโรเฮกซิดีน (chlorhexidine) (Goiato et al., 2010) ร่วมกับการแปรงทำความสะอาด แต่วิธีการที่กล่าวมาอาจไม่สามารถทำความสะอาดได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากวัสดุซิลิโคนมีรูพรุนขนาดเล็กที่เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคยากต่อการกำจัด นอกจากนั้นน้ำยาทำความสะอาดทำให้สีของอวัยวะเทียมเปลี่ยนไป (Goiato et al., 2011)

Kiat-amnuay et al. (2005) ได้ศึกษาความมีเสถียรภาพของสีของวัสดุซิลิโคนชนิด A-2186 ภายหลังจากแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ พบว่าเม็ดสีแดงชนิด dry earth จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ จากรายงานการศึกษาสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ที่ผ่านมาพบว่ามี 1 การศึกษาที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ในงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกรภายหลังการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ (Eleni et al., 2013) และยังไม่มีการศึกษาใดที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ชนิด VST-50 เปรียบเทียบก่อนและหลังการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ

วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ในงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกรชนิด VST-50 (Factor II Inc., Lakeside, Az) ที่ผสมเม็ดสีและไม่ผสมเม็ดสี ก่อนและหลังการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน

วิธีการวิจัย

การจัดกลุ่มชิ้นงาน

ชิ้นงานตัวอย่าง 56 ชิ้น จัดเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของเม็ดสีคือ ชิ้นงานที่ไม่มีสี (non-pigmented) และชิ้นงานมีสี (pigmented) และในแต่ละกลุ่มจะมีชิ้นงาน 2 รูปร่างคือ รูปร่างดัมเบล (dumbbell shaped) 14 ชิ้น และรูปร่างเทราเซอร์ (trouser shaped) 14 ชิ้น ชิ้นงานจำนวนครึ่งหนึ่งจะเป็นกลุ่มควบคุมซึ่งไม่เข้าเตาไมโครเวฟ (control group) และจำนวนอีกครึ่งหนึ่งจะเป็นกลุ่มทดลองโดยเข้าเตาไมโครเวฟ (experimental group) ดังนั้นจะมีทั้งหมด 8 กลุ่มย่อย กลุ่ม

ย่อยละ 7 ชิ้น (n=7) โดยการทดสอบความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และร้อยละการการยืดตัว (percent elongation) จะใช้ชิ้นงานดัมเบล ขณะที่การทดสอบความแข็ง (Shore A hardness) และความทนต่อแรงฉีกขาด (tear strength) ใช้ชิ้นงานเทราเซอร์ การจัดกลุ่มแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มชิ้นงานในงานวิจัยนี้

ชนิดซิลิโคน	ชนิดเม็ดสี	การทดลอง	รูปร่างและขนาดตัวอย่าง (ชิ้น)			
			ความทนต่อแรงดึง	ร้อยละการยืดตัว	ความแข็ง	ความทนต่อแรงฉีกขาด
VST-50	ไม่มีสี	ควบคุม	รูปร่างดัมเบล (7)		รูปร่างเทราเซอร์ (7)	
		หลังไมโครเวฟ	รูปร่างดัมเบล (7)		รูปร่างเทราเซอร์ (7)	
VST-50	มีสี (แดง เหลือง น้ำเงิน)	ควบคุม	รูปร่างดัมเบล (7)		รูปร่างเทราเซอร์ (7)	
		หลังไมโครเวฟ	รูปร่างดัมเบล (7)		รูปร่างเทราเซอร์ (7)	

การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานจะถูกขึ้นรูปรูปร่างจากแม่พิมพ์ โดยใช้แม่พิมพ์อะลูมิเนียม (custom-made aluminum mold) ที่มีขนาดเฉพาะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) อ้างอิงตามการศึกษาของ Kiat-amnuay et al. (2005) และ Nguyen et al. (2013) เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุแสดงในตารางที่ 2 และ 3 เริ่มจากผสมและเทปูนไิวอวรี type V (ISO Type V Ivory stone) ลงแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อทำแม่พิมพ์ยิปซัม (gypsum mold) ขณะที่การเตรียมผสมซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ชนิด VST-50 ผสมด้วยอัตราส่วนเบส (Part A) ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา (Part B) 10 : 1 โดยน้ำหนัก เริ่มผสมจากเบส 80 มล. และตัวเร่งปฏิกิริยา 8 มล. ผสมให้เข้ากันด้วยพายผสม เติมน้ำสีทึบแสงชนิดซิลิโคน (white functional intrinsic silicone opacifier) (Factor II Inc., Lakeside, Az) 8 มล. ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วแบ่งซิลิโคนออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 48 มล. นำซิลิโคนส่วนที่หนึ่งบรรจุใส่กระบอกฉีด (syringe) เพื่อนำไปฉีดลงแม่พิมพ์ยิปซัม ขณะที่ซิลิโคนส่วนที่สองจะถูกผสมด้วยเม็ดสีชนิดซิลิโคน (functional intrinsic silicone pigment) (Factor II Inc., Lakeside, Az) 0.3 มล. ประกอบด้วยสีแดง (red) 0.1 มล. สีเหลือง (yellow) 0.1 มล. และสีน้ำเงิน (blue) 0.1 มล. ซึ่งวัดปริมาตรด้วยกระบอกฉีดขนาดเล็ก (tuberculin syringe) แล้วนำซิลิโคนส่วนที่สองบรรจุใส่กระบอกฉีด เพื่อนำไปฉีดลงแม่พิมพ์ยิปซัมเช่นเดียวกันกับซิลิโคนส่วนที่หนึ่ง นำแม่พิมพ์ยิปซัมมาประกบซ้อนเข้าด้วยกันแล้วนำเข้าเครื่องอัดฟันเทียม (denture flask press) ปลดปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 3 วันเพื่อให้เกิดวัลคาไนเซชัน (vulcanization) อย่างสมบูรณ์ก่อนนำชิ้นงานมาตัดแต่งและนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป ล้างแม่พิมพ์ยิปซัมด้วยสบู่ล้างมือและปล่อยให้แห้งสนิทก่อนใช้งานถัดไป

ตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต
แม่พิมพ์อะลูมิเนียม (Custom-made aluminum mold)	-
ปูนไอวอรี (ISO Type V Ivory stone)	Hard Rock; Whip Mix Corp, Louisville, KY
กระบอกฉีดขนาดเล็ก (Tuberculin syringe) สำหรับเม็ดสี	Becton, Dickinson and Co, Franklin Lakes, NJ
กระบอกฉีด (Syringe) สำหรับซิลิโคนอีลาสโตเมอร์	Monojet syringe; Sherwood Medical Co, St. Louise, MO
เครื่องอัดฟันเทียม (Denture flask press)	Hanau Engineering Co, Inc, Buffalo, NY

ตารางที่ 3 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	เลขที่ครั้งที่ผลิต
VST-50	Factor II Inc., Lakeside, AZ	T 19U150L 12-1LB
Functional intrinsic silicone red (FI-204)	Factor II Inc., Lakeside, AZ	FR-051116
Functional intrinsic silicone yellow (FI-202)	Factor II Inc., Lakeside, AZ	S071911
Functional intrinsic silicone blue (FI-203)	Factor II Inc., Lakeside, AZ	B 070811
Functional intrinsic silicone white (FI-200)	Factor II Inc., Lakeside, AZ	082416-C6-1

การใช้เตาไมโครเวฟเพื่อทำให้น้ำร้อน

เตาไมโครเวฟพร้อมภาตหมุ่นยี่ห้อ General Electric (GE, Model No. JES1139WL01) ขนาด 1,100 วัตต์ มีคลื่นความถี่ที่ 2,450 MHz การใช้เตาไมโครเวฟเพื่อทำให้น้ำร้อนจะกำหนดระดับพลังงาน (power level) เท่ากับ 6 ซึ่งเท่ากับ 660 วัตต์ เป็นระยะเวลา 6 นาทีต่อรอบ (Neppelenbroek et al., 2003) ซึ่งอุณหภูมิสุดท้ายที่ได้คือ 60 องศาเซลเซียส จะนำชิ้นงานแช่ในน้ำและเข้าเตาไมโครเวฟ 18 รอบ ซึ่งเป็นการจำลองการใช้งาน 1 ปี 6 เดือน คือนำซิลิโคนแช่ในน้ำและเข้าเตาไมโครเวฟ เดือนละ 1 ครั้ง (Kiat-amnuay et al., 2005)

ชิ้นงานกลุ่มทดลอง 28 ชิ้น คือชิ้นงานที่ไม่มีสี 14 ชิ้น ประกอบด้วยรูปร่างดัมเบล 7 ชิ้น และรูปร่างเทราเซอร์ 7 ชิ้น และชิ้นงานที่มีสี 14 ชิ้น ประกอบด้วยรูปร่างดัมเบล 7 ชิ้น และรูปร่างเทราเซอร์ 7 ชิ้นเช่นเดียวกัน จะถูกนำมาจัดเตรียมเข้าเตาไมโครเวฟ

ขวดแก้วรูปชมพู่ชนิดปากกว้าง ขนาด 250 มล. (Pyrex #5100-250) จะบรรจุด้วยน้ำประปา (Kiat-amnuay et al., 2005) 150 มล. จะถูกบรรจุด้วยชิ้นงาน 2 ชิ้น คือรูปร่างดัมเบล 1 ชิ้น และรูปร่างเทราเซอร์ 1 ชิ้น โดย 1 รอบจะบรรจุขวดแก้วรูปชมพู่ 7 ใบ โดยขวดแก้วรูปชมพู่จะถูกวางรอบตามขอบของภาตหมุ่น ภายหลังจากนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในน้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ 1 รอบ ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกนำออกมาวางไว้ให้เย็นและแห้งอย่างน้อย 10 นาที และเปลี่ยนน้ำประปาใหม่ทุกรอบ (Rohrer, Bulard, 1985) โดยจะนำชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านการเข้าเตาไมโครเวฟครบ 18 รอบ

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบสมบัติทางกลของซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) คือ มาตรฐานของการทดสอบความทนต่อแรงดึง/การยืดตัว ASTM D412 มาตรฐานของการทดสอบความแข็ง ASTM D2240 และมาตรฐานของการทดสอบความทนต่อการฉีกขาด ASTM D624

การทดสอบความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว (Tensile strength and elongation) (International A, 2006)
การทดลองหาค่าความทนต่อแรงดึงตาม ASTM D412 จะมีรูปร่างชิ้นงานดัมเบล ประเภท die C ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะถูกวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ดิจิทัล (Digital vernier caliper) 3 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนา (median thickness) จากนั้นจะนำเข้าเครื่องทดสอบสากล (Llyod universal testing machine, 10K) อัตราการดึงอยู่ที่ 500 มม./นาที จดบันทึกค่าแรงโหดที่มากที่สุด (maximum force) และระยะระหว่างตำแหน่ง 2 จุดก่อนที่ชิ้นงานจะฉีกขาด เพื่อคำนวณหาค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดตัว

$$T_s = F/A$$

T_s = ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa)

F = ค่าแรงโหดที่มากที่สุด (N)

A = ค่าเฉลี่ยความหนา (mm)

$$E = 100 \times (L_f - L_0) / L_0$$

E = ร้อยละการยืดตัว

L_f = ระยะระหว่างตำแหน่ง 2 จุดก่อนที่ชิ้นงานจะฉีกขาด (mm)

L_0 = ระยะห่างก่อนดึง (mm)

การทดสอบความแข็ง (Hardness) (International A, 2010)

ชิ้นงานรูปร่างเทราเซอร์ ประเภท die C แต่ละชิ้นจะถูกวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ดิจิทัล 3 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนา นำชิ้นงาน 2 ชิ้นมาซ้อนทับกันเพื่อให้หนา 6 มม. เป็นไปตามมาตรฐานการวัดความแข็ง จากนั้นใช้เครื่องวัดความแข็งยาง (Shore type A durometer) โดยให้หัวกดอยู่ห่างจากขอบตัวอย่างที่จะทดสอบ 12 มม. ทดสอบทั้งหมด 5 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างกันอย่างน้อย 6 มม. จดบันทึกค่าหลังจากกดไปที่ชิ้นงานแล้ว 5 วินาที เมื่อทดสอบเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างที่วางซ้อนด้านล่างขึ้นมาข้างบน และนำตัวอย่างใหม่มาซ้อนข้างล่างแทนเพื่อทดสอบความแข็งชิ้นถัดไป

การทดสอบความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) (International A, 2007)

การทดลองหาค่าความทนต่อการฉีกขาดตาม ASTM D624 ชิ้นงานรูปร่างเทราเซอร์ ประเภท die C แต่ละชิ้นจะถูกวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ดิจิทัล 3 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนา จากนั้นจะนำเข้าเครื่องทดสอบสากล โดยมีอัตราการดึงอยู่ที่ 500 มม./นาที จดบันทึกค่าแรงโหดที่มากที่สุด ขณะชิ้นงานจะฉีกขาด เพื่อคำนวณหาค่าความทนต่อการฉีกขาด

$$T_s = F/d$$

T_s = ค่าความทนต่อการฉีกขาด (kN/m)

F = ค่าแรงโหดที่มากที่สุด (N)

d = ค่าเฉลี่ยความหนา (mm)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้ R statistical software (R Core Team, 2018) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (mean value) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) ของแต่ละการทดสอบเชิงกลของแต่ละกลุ่มทดลอง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ในการวิเคราะห์ปัจจัยชนิดของเม็ดสีและการเข้าเตาไมโครเวฟ และวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ (interaction)

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ทั้งสองปัจจัยพบว่า ชนิดของเม็ดสีมีผลต่อความทนต่อแรงดึงและความแข็งของชิ้นงานซิลิโคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มเข้าเตาไมโครเวฟ ขณะที่การเข้าเตาไมโครเวฟมีผลต่อความทนต่อการฉีกขาดของชิ้นงานซิลิโคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ทั้งกลุ่มไม่มีสีและมีสี และทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อร้อยละการยืดตัวของชิ้นงานซิลิโคน

ผลต่อความทนต่อแรงดึง

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนต่อแรงดึงก่อนและหลังแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 1.99 ± 0.14 MPa ซึ่งเป็นซิลิโคนกลุ่มควบคุมที่ผสมเม็ดสี และมีค่าสูงสุดที่ 2.65 ± 0.37 MPa ซึ่งเป็นซิลิโคนกลุ่มเข้าไมโครเวฟที่ไม่ผสมเม็ดสี และพบว่าชนิดของเม็ดสีมีผลให้ความทนต่อแรงดึงของซิลิโคน VST-50 ลดลง ($p < .001$) และการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟไม่มีผลต่อความทนต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนต่อแรงดึง (MPa)

กลุ่มทดลอง	การทดลอง	
	ควบคุม	หลังเข้าเตาไมโครเวฟ
ซิลิโคน VST-50 ที่ไม่ผสมเม็ดสี	2.47 ± 0.21	2.65 ± 0.37
ซิลิโคน VST-50 ที่ผสมเม็ดสี	1.99 ± 0.14	2.17 ± 0.18

ตารางที่ 5 ค่าความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ของความทนต่อแรงดึง

	Sum Sq	Df	F value	Pr (>F)
Pigment	1.61280	1	27.4904	<.001
Condition	0.21966	1	3.7441	.06
Pigment x Condition	0.00006	1	0.0010	.98
Residuals	1.40803	24		

ผลต่อร้อยละการยืดตัว

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการยืดตัว แสดงในตารางที่ 6 โดยพบว่าชนิดของเม็ดสีและการเข้าเตาไมโครเวฟไม่มีผลต่อร้อยละการยืดตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ตามตารางที่ 7 การเข้าเตาไมโครเวฟและการเติมเม็ดสีมีแนวโน้มให้ร้อยละการยืดตัวเพิ่มขึ้น ไม่มีปฏิสัมพันธ์ของเม็ดสีและการเข้าเตาไมโครเวฟ ($p > .05$)

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการยืดตัว

กลุ่มทดลอง	การทดลอง	
	ควบคุม	หลังเข้าไมโครเวฟ
ซิลิโคน VST-50 ที่ไม่ผสมเม็ดสี	625.57 ± 59.13	633.02 ± 54.82
ซิลิโคน VST-50 ที่ผสมเม็ดสี	633.74 ± 33.66	653.01 ± 32.57

ตารางที่ 7 ค่าความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ของร้อยละการยึดตัว

	Sum Sq	Df	F value	Pr (>F)
Pigment	1389	1	0.6389	.43
Condition	1249	1	0.5747	.46
Pigment x Condition	244	1	0.1125	.74
Residuals	52173	24		

ผลต่อความแข็ง

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งของกลุ่มควบคุมและกลุ่มเข้าเตาไมโครเวฟถูกแสดงไว้ในตารางที่ 8 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 21.46 ± 1.66 ซึ่งเป็นกลุ่มซิลิโคนกลุ่มเข้าเตาไมโครเวฟที่ผสมเม็ดสี และมีค่าสูงสุดที่ 23.23 ± 1.46 ซึ่งเป็นซิลิโคนกลุ่มควบคุมที่ไม่ผสมเม็ดสี และพบว่าชนิดของเม็ดสีมีผลต่อความแข็งของซิลิโคน VST-50 ($p < .001$) โดยเม็ดสีทำให้ความแข็งลดลง และการเข้าเตาไมโครเวฟไม่มีผลต่อความแข็ง ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็ง

กลุ่มทดลอง	การทดลอง	
	ควบคุม	หลังเข้าไมโครเวฟ
ซิลิโคน VST-50 ที่ไม่ผสมเม็ดสี	23.23 ± 1.46	22.87 ± 0.94
ซิลิโคน VST-50 ที่ผสมเม็ดสี	21.77 ± 0.95	21.46 ± 1.66

ตารางที่ 9 ค่าความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ของค่าความแข็ง

	Sum Sq	Df	F value	Pr (>F)
Pigment	14.429	1	8.6186	<.001
Condition	0.789	1	0.4712	.50
Pigment x Condition	0.003	1	0.0019	.97
Residuals	40.180	24		

ผลต่อความทนต่อการฉีกขาด

ความทนต่อการฉีกขาดมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 10 ค่าต่ำสุดที่ 21.71 ± 1.50 N/mm ซึ่งเป็นซิลิโคนกลุ่มควบคุมที่ผสมเม็ดสี และค่าสูงสุดที่ 25.30 ± 3.19 N/mm ซึ่งเป็นซิลิโคนกลุ่มเข้าไมโครเวฟที่ผสมเม็ดสี โดยพบว่าชนิดของเม็ดสีไม่มีผลต่อความทนต่อการฉีกขาด ($p > .05$) แต่การเข้าเตาไมโครเวฟมีผลให้ความทนต่อการฉีกขาดของซิลิโคน VST-50 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ทั้งกลุ่มไม่มีสีและมีสี ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนต่อการฉีกขาด (N/mm)

กลุ่มทดลอง	การทดลอง	
	ควบคุม	หลังเข้าไมโครเวฟ
ซิลิโคน VST-50 ที่ไม่ผสมเม็ตสี	23.74 ± 2.22	24.70 ± 2.30
ซิลิโคน VST-50 ที่ผสมเม็ตสี	21.71 ± 1.50	25.30 ± 3.19

ตารางที่ 11 ค่าความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ของค่าความทนต่อการฉีกขาด

	Sum Sq	Df	F value	Pr (>F)
Pigment	3.571	1	0.6305	.43
Condition	36.116	1	6.3759	<.05
Pigment x Condition	12.091	1	2.1346	.15
Residuals	135.946	24		

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ปัญหาสำคัญที่พบได้หลังจากการใช้งานอวัยวะเทียมชนิดซิลิโคนคือการฉีกขาดของขอบวัสดุและสีของวัสดุที่เปลี่ยนไป การทดสอบสมบัติเชิงกลทั้ง 4 วิธีจึงเป็นการประเมินสมบัติของวัสดุในงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกร โดยความทนต่อแรงดึงแสดงถึงผลต่อความคงทนของอวัยวะเทียม ร้อยละการยืดตัวบ่งบอกถึงความยืดหยุ่นของอวัยวะเทียมและความสามารถในการขยับไปตามการเคลื่อนไหวของใบหน้า ความแข็งคือความต้านทานของวัสดุต่อการเจาะหรือการทำให้เป็นรอยขรุขระ และการทดสอบสุดท้ายคือความทนต่อการฉีกขาดซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการทำขอบอวัยวะเทียมให้บางกลืนไปกับผิวใบหน้า (Nguyen, et al., 2013) Lewis, Castleberry (1980) รายงานสมบัติของวัสดุในอุดมคติของงานประดิษฐ์ใบหน้าและขากรรไกร โดยวัสดุที่ดีควรมีค่าความทนต่อการฉีกขาดสูง และค่าความแข็งต่ำ แต่หากค่าสูงหรือต่ำมากจนเกินไปไม่เหมาะสมจะนำมาใช้งานโดยควรมีค่าความทนต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 6.89 ถึง 13.79 MPa ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 400 ถึง 800 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 25 ถึง 35 Shore A และค่าความทนต่อการฉีกขาดอยู่ในช่วง 5.25 ถึง 17.51 N/mm

ซิลิโคน VST-50 จะเกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) โดยการเติม (addition reaction) หมู่ไฮลิโดซิล (silyl hydride; -SiH) เข้าที่หมู่ไวนิล (vinyl; CH₂=CH-) โดยใช้แพลทินัม (platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หรือเรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรซิลเลชัน (hydrosilylation reaction) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV exposure) อุณหภูมิที่สูงขึ้น (high temperature) และตัวเร่งปฏิกิริยา (Lukin et al., 2020) อย่างไรก็ตามการเชื่อมโยงข้ามด้วยแพลทินัมของซิลิโคนจะถูกยับยั้งด้วยซัลเฟอร์ (sulfur) ไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxide) สารประกอบออร์แกโนทิน (organo-tin compounds) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) (Lai, Hodges, 1999)

จากงานวิจัยนี้พบว่าเม็ตสีทำให้ความทนต่อแรงดึงและความแข็งของซิลิโคน VST-50 ลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mount et al. (2018) ที่พบว่าการใช้เม็ตสีชนิดซิลิโคนทำให้ความทนต่อแรงดึงและความแข็งของซิลิโคน VST-50 ลดลงLai, Hodges, 1999 ได้เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของซิลิโคนชนิด A-2186 ก่อนและหลังการเติมสารเติมแต่ง (additives) ซึ่งประกอบด้วยเม็ตสี ผงทึบแสง และเส้นใย พบว่าการเติมสารเติมแต่งมีผลให้ค่าความทนต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ความแข็ง และความทนต่อการฉีกขาดลดลง อันเนื่องมาจากสารเติมแต่งอาจเป็นสิ่งเจือปน (impurities) ที่ไปยับยั้งการทำงานของแพลทินัมทำให้การบ่มตัวของซิลิโคนลดต่ำลง สมบัติเชิงกลของซิลิโคนจึงต่ำลงด้วย และจาก

การศึกษาของ Haug et al. (1999) พบว่าการเติมเม็ดสีมีผลให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไปซึ่งแตกต่างกันขึ้นกับเม็ดสีแต่ละชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสิ่งเจือปนของผลิตภัณฑ์มาจากโรงงานผลิต

เม็ดสีชนิดซิลิโคนเป็นประเภทอนินทรีย์ (inorganic pigment) ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะ (metal oxides) จะถูกเตรียมในรูปของผงสีที่ละลายตัวอยู่ในพอลิโอดีเมทิลไซลอคเซนเหลว แม้เม็ดสีชนิดซิลิโคนจะถูกผู้ผลิตอ้างว่าเข้ากันได้ (compatible) กับซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ชนิดบ่มตัวด้วยแพลทินัม แต่เม็ดสีชนิดนี้ประกอบด้วยสารออกไซด์ของโลหะ ซึ่งอาจไปยับยั้งการทำงานของแพลทินัมจึงเกิดการเชื่อมโยงของซิลิโคนลดลง เป็นผลให้ความทนต่อแรงดึงและความแข็งของซิลิโคนชนิดนี้ลดลง อย่างไรก็ตามค่าความทนต่อแรงดึงที่ลดลงยังคงสูงกว่าเกณฑ์สมบัติของวัสดุในอุดมคติ ขณะที่ค่าความแข็งที่ลดลงเป็นผลดีต่ออายุขัยเพราะทำให้มันได้ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อบริเวณใบหน้า

งานวิจัยนี้อุณหภูมิของน้ำหลังจากเข้าเตาไมโครเวฟที่ 660 วัตต์ 6 นาทีมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 59.8 ± 0.6 องศาเซลเซียส แสดงถึงอุณหภูมิที่คงที่จากการใช้เตาไมโครเวฟเพื่อทำให้น้ำร้อน ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้ไมโครเวฟเพื่อทำให้น้ำร้อนที่แตกต่างจากการต้มน้ำ โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้อาจจะไปทำให้เกิดการบ่มตัวอย่างต่อเนื่อง (post curing) ของซิลิโคน สายโซ่โมเลกุลเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น เป็นผลให้วัสดุซิลิโคน VST-50 ทนต่อการฉีกขาดได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการศึกษาโดย Eleni et al. (2013) พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงของซิลิโคนชนิดหนึ่งก่อนและหลังเข้าเตาไมโครเวฟไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการบ่มเทียม (artificial aging) แบบต่าง ๆ ต่อสมบัติเชิงกลของซิลิโคน จากการศึกษาของ Polyzois et al. (1993) นำซิลิโคนชนิด Cosmesil HC2 Cosmesil SM4 และ Silskin II มาบ่มเทียมด้วยรังสียูวี พบว่าค่าความทนต่อการฉีกขาดลดลงอันเนื่องมาจากรอยร้าวขนาดเล็ก (microcrack) ที่เป็นผลให้เกิดการฉีกขาดง่ายขึ้น แต่ค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้นจากการเชื่อมโยงที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามซิลิโคนแต่ละชนิดจะมีสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไปจากการบ่มเทียมแตกต่างกัน ขณะที่การศึกษาของ Mount et al. (2018) พบว่าการบ่มเทียมของซิลิโคน VST-50 ไม่มีผลต่อความทนต่อการฉีกขาดแต่มีผลให้ความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งหลังจากการเข้าเตาไมโครเวฟเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในงานวิจัยนี้ พบว่ามีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตรงข้ามกับการศึกษาโดย Mount et al. (2018) ที่พบว่าซิลิโคน VST-50 มีความแข็งเพิ่มขึ้นภายหลังการบ่มเทียม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Bates et al. (2021) พบว่าค่าความแข็งของซิลิโคนชนิด A-2000 และ M511 เพิ่มขึ้นภายหลังการทำบ่มเทียม ดังนั้นค่าความทนต่อการฉีกขาดที่เพิ่มขึ้นของซิลิโคนชนิด VST-50 ในงานวิจัยนี้อาจเป็นผลมาจากการแช่น้ำที่ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ ไม่ใช่ผลจากอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น (aging) โดยตรง

จากที่กล่าวข้างต้น ปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยใดที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของซิลิโคน VST-50 ภายหลังการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ และงานวิจัยนี้ศึกษาในซิลิโคนชนิดเดียวคือ VST-50 และใช้เม็ดสีและสารทึบแสงชนิดเดียวคือชนิดซิลิโคน จึงไม่สามารถนำผลไปประยุกต์ใช้กับซิลิโคนอีลาสโตเมอร์และเม็ดสีชนิดอื่นได้ และในทางปฏิบัติอายุขัยบริเวณใบหน้าจะใช้พอลิยูรีเทน (polyurethane) รองระหว่างซิลิโคนและเนื้อเยื่อบริเวณใบหน้า ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาผลของการแช่พอลิยูรีเทนในน้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ จึงควรมีการศึกษาในวัสดุชนิดอื่น ๆ ต่อไป และงานวิจัยนี้ทดสอบสมบัติเชิงกลภายหลังการเข้าเตาไมโครเวฟ 18 ครั้งที่เป็นการทำงานจริง 18 เดือน ซึ่งควรมีการศึกษาสมบัติเชิงกลที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือนซึ่งก็คือหลังเข้าเตาไมโครเวฟ 6 และ 12 ครั้งรวมด้วย เพื่อศึกษาแนวโน้มและอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของซิลิโคนหลังเข้าเตาไมโครเวฟ จากวรรณกรรมปริทัศน์พบว่ายังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนถึงการทำลายเชื่อมซิลิโคนอีลาสโตเมอร์ด้วยการแช่

น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ ซึ่งทีมผู้วิจัยกำลังศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพในการทำละลายเชื้อและกลไกของการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟ

ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าการนำซิลิโคนแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟไม่มีผลให้สมบัติเชิงกลของซิลิโคนชนิด VST-50 เสื่อมสภาพเร็วขึ้น แต่กลับทำให้ทนต่อการฉีกขาดได้ดีขึ้น ขณะที่เมื่อดึงซิลิโคนมีผลให้ความทนต่อแรงดึงและความแข็งแรงของซิลิโคน VST-50 ลดลงทั้งก่อนและหลังการใช้เตาไมโครเวฟ จึงกล่าวได้ว่าการแช่น้ำที่ทำให้ร้อนด้วยพลังงานจากเตาไมโครเวฟเป็นวิธีการที่มีความปลอดภัยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุซิลิโคนชนิด VST-50

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr. Julian Nathaniel Holland นักวิทยาศาสตร์ข้อมูลประจำมหาวิทยาลัยเท็กซัส สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- Bates MT, Chow JK, Powers JM, Kiat-Amnuay S. Color Stability and Mechanical Properties of Two Commonly Used Silicone Elastomers with e-Skin and Reality Coloring Systems. *Int J Prosthodont* 2021; 34(2): 204-211.
- Butler DF, Gion GG, Rapini RP. Silicone auricular prosthesis. *J Am Acad Dermatol* 2000; 43(4): 687-90.
- Goiato MC, Zucolotti BC, Mancuso DN, dos Santos DM, Pellizzer EP, Verri FR. Care and cleaning of maxillofacial prostheses. *J Craniofac Surg* 2010; 21(4): 1270-3.
- Goiato MC, Haddad MF, Pesqueira AA, Moreno A, Dos Santos DM, Bannwart LC. Effect of chemical disinfection and accelerated aging on color stability of maxillofacial silicone with opacifiers. *J Prosthodont* 2011; 20(7): 566-9.
- Haug SP, Moore BK, Andres CJ. Color stability and colorant effect on maxillofacial elastomers. Part II: weathering effect on physical properties. *J Prosthet Dent* 1999; 81(4): 423-30.
- International A. ASTM D2240. Standard test method for rubber property - durometer hardness. West Conshohocken: ASTM International; 2010.
- International A. ASTM D412. Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers-tension. West Conshohocken: ASTM International; 2006.
- International A. ASTM D624. Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomers. West Conshohocken: ASTM International; 2007.
- Jani RM, Schaaf NG. An evaluation of facial prostheses. *J Prosthet Dent* 1978; 39(5): 546-50.
- Karakoca S, Aydin C, Yilmaz H, Bal BT. Retrospective study of treatment outcomes with implant-retained extraoral prostheses: survival rates and prosthetic complications. *J Prosthet Dent* 2010; 103(2): 118-26.
- Kiat-amnuay S, Johnston DA, Powers JM, Jacob RF. Color stability of dry earth pigmented maxillofacial silicone A-2186 subjected to microwave energy exposure. *J Prosthodont* 2005; 14(2): 91-6.

- Lai JH, Hodges JS. Effects of processing parameters on physical properties of the silicone maxillofacial prosthetic materials. *Dent Mater* 1999; 15(6): 450-5.
- Lewis DH, Castleberry DJ. An assessment of recent advances in external maxillofacial materials. *J Prosthet Dent* 1980; 43(4): 426-32.
- Lukin RY, Kuchkaev AM, Sukhov A, Bekmukhamedov GE, Yakhvarov DG. Platinum-Catalyzed Hydrosilylation in Polymer Chemistry. *Polymers* 2020; 12(10).
- Eleni PN, Perivoliotis D, Dragatogiannis DA, Krokida MK, Polyzois GL, Charitidis CA, et al. Tensile and microindentation properties of maxillofacial elastomers after different disinfecting procedures. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013; 28: 147-55.
- Montgomery PC, Kiat-Amnuay S. Survey of currently used materials for fabrication of extraoral maxillofacial prostheses in North America, Europe, Asia, and Australia. *J Prosthodont* 2010; 19(6): 482-90.
- Mount J, Singh N, Powers J, Kiat-amnuay S. Pigmented maxillofacial silicone elastomer mechanical and color properties after aging. Abstract presented at AADR/CADR Annual Meeting; 2018 Mar 21-24; Fort Lauderdale, Florida, United States.
- Neppelenbroek KH, Pavarina AC, Spolidorio DM, Vergani CE, Mima EG, Machado AL. Effectiveness of microwave sterilization on three hard chairside relines. *Int J Prosthodont* 2003; 16(6): 616-20.
- Nguyen CT, Chambers MS, Powers JM, Kiat-Amnuay S. Effect of opacifiers and UV absorbers on pigmented maxillofacial silicone elastomer, part 2: mechanical properties after artificial aging. *J Prosthet Dent* 2013; 109(6): 402-10.
- Polyzois GL, Andreopoulos AG. Some physical properties of an improved facial elastomer: a comparative study. *J Prosthet Dent* 1993; 70(1): 26-32.
- Rohrer MD, Bulard RA. Microwave sterilization. *J Am Dent Assoc* 1985; 110(2): 194-8.
- Yu R, Koran A, Craig RG. Physical properties of a pigmented silicone maxillofacial material as a function of accelerated aging. *J Dent Res* 1980; 59(7): 1141-8.