

ผลของการใช้อัลตราโซนิกต่อปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างจากวัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเอง

Effect of Ultrasonic Treatment on The Leachable Monomer Content from A Self Cured Acrylic Hard Denture Reline Material

ภาวิไล อารีย์วิรัชกุล¹, ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์¹

Pawilai Arriwiratchakun¹, Chairat Wiwatwarapan¹

¹ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

¹Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University Bangkok

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างจากวัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเอง หลังจากลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือด้วยกระบวนการต่าง ๆ เตรียมชิ้นงานวัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเอง (Unifast Trad) จำนวน 24 ชิ้น แบ่งเป็นกลุ่ม 4 กลุ่ม (กลุ่มละ 6 ชิ้น) กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มควบคุม; กลุ่ม 2 แช่น้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง; กลุ่ม 3 แช่น้ำอัลตราโซนิกที่มีน้ำ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที และ กลุ่ม 4 แช่น้ำอัลตราโซนิกที่มี สารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที นำชิ้นงานไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากการแช่ที่ระยะเวลา 1 3 24 ชั่วโมง วันที่ 3 และ 7 ตามลำดับ หาปริมาณมอนอเมอร์ที่อยู่ใน ตัวอย่างน้ำที่เก็บด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO 20795-1 : 2013 วิเคราะห์ข้อมูลด้วย สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ความแปรปรวนแบบทางเดียว และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ด้วยวิธีดันทันเนท ที่ 3 (Dunnett's T3) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานกลุ่ม 2 3 และ 4 มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างในน้ำน้อยกว่ากลุ่ม 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นวันที่ 7 กลุ่ม 1 และ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และ กลุ่ม 1 และ 2 มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างสูงกว่ากลุ่ม 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยสรุป การแช่วัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเองหลังการบ่มในน้ำ หรือสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ในน้ำอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที สามารถลดปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างได้ดีกว่าหรือไม่แตกต่างจากวิธีการที่ใช้กันในปัจจุบันที่แช่น้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง แต่เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเพราะใช้เวลาแช่เพียง 5 นาที

คำสำคัญ: เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง, มอนอเมอร์ที่ถูกชะล้าง, เรซินอะคริลิก, วัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็ง, อัลตราโซนิก

Abstract

The aim of this study was to compare the amount of leachable monomer of a hard reline acrylic resin, after residual monomer reduction treatments, in water immersion at various times. Twenty-four specimens of an auto-polymerized acrylic hard denture reline material (Unifast Trad Pink) were prepared and divided into four groups (n= 6): Group 1 control, untreated; Group 2 water immersion at 50°C for 1 hour; Group 3 and 4 water and 30 % ethanol solution immersion at 50°C in ultrasonic bath for 5 minutes, respectively. Specimens were immersed in

water 37°C. Water samples were taken from each immersion solution at the periods of 1, 3, and 24h and also at 3, 7 days. The water samples containing leachable monomer were analyzed using HPLC following ISO 20795-1(2013). The data were analyzed by Two-way ANOVA, One-way and Dunnett's T3 comparison test. All tests were performed at a confidence level of 95 %. The result showed that the amount of leached methyl methacrylate (MMA) in Group 2, 3 and 4 was significantly lower than that of Group 1 ($p<0.05$) but Group 1 and 2 was not significantly different in day 7 ($p>0.05$) and the amount of leached MMA in Group 1 and 2 was significantly higher than that of Group 4 ($p<0.05$) but there was not significantly different from that of Group 3 ($p>0.05$). In conclusion, water or 30 % ethanol solution immersion in ultrasonic post polymerization treatment at 50°C for 5 minutes of a hard reline acrylic resin significantly reduced the amount of leached MMA, which was better or similar than water immersion at 50°C for 1 hour and this method is more effective in clinical situation than presently recommended methods because of only 5 minutes immersion time.

Keyword: High pressure liquid chromatography, Leached monomer, Acrylic resin, Hard reline, Ultrasonic

Received Date: Aug 27, 2018 **Revised Date:** Sep 18, 2018 **Accepted Date:** Nov 22, 2018

doi: 10.14456/jdat.2019.19

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธุ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย โทรศัพท์: 0815717031 อีเมล: chairat.w@chula.ac.th

Correspondence to:

Chairat Wiwatwarapan. Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University Henry Dunant Road, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand Tel: 081-5717031 Email: chairat.w@chula.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันประชากรไทยมีผู้สูงอายุจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนมีแนวโน้มก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มรูปแบบ การสูญเสียฟันเป็นปัญหาทันตสุขภาพที่สำคัญของผู้สูงอายุ โดยการสูญเสียฟันธรรมชาติไปบางส่วนหรือทั้งหมด อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยรวมและคุณภาพชีวิต วัสดุที่นิยมใช้ทำฐานฟันเทียม คือพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate), PMMA) หรือ เรซินอะคริลิก (acrylic resin) ชนิดบ่มด้วยความร้อน ซึ่งส่วนประกอบหลักของส่วนเหลวคือเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate, MMA) เมื่อผู้ป่วยใส่ฟันเทียมและใช้งานไประยะหนึ่ง ฐานฟันเทียมอาจไม่แนบสนิทกับเนื้อเยื่อ¹ เพราะเนื้อเยื่อและสันกระดูกเกิดการเปลี่ยนแปลงจากแรงที่กระทำบนสันเหงือก² รวมถึงบริเวณสันกระดูกล่างมีการสลายมากกว่าสันกระดูกบนประมาณ 4 เท่า³ จึงส่งผลให้ฟันเทียมหลวม สูญเสียเสถียรภาพที่ดี และอาจทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกของฟันเทียมได้

เมื่อฟันเทียมหลวม ก็จำเป็นต้องเสริมฐานฟันเทียมเพื่อให้เกิดความแนบระหว่างฟันเทียมและเนื้อเยื่อ ทำให้แรงบดเคี้ยวกระจายได้สม่ำเสมอ และลดการเกิดเนื้อเยื่ออักเสบและสันกระดูกละลายอย่างรวดเร็ว โดยวัสดุที่ใช้ในการเสริมฐานข้างเก๊าอี้คือ วัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเอง (self-cured hard reline material) เพื่อช่วยในเรื่องของการยึดติด เสถียรภาพ และรองรับเนื้อเยื่อได้ดีขึ้น โดยส่วนประกอบในส่วนเหลว แบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเมทิลเมทาคริเลต เป็นองค์ประกอบ (MMA based) เช่น Unifast Trad® (GC Corp., Tokyo, Japan), Probased Cold® (Ivoclar, Liechtenstein), Palapress Vario® (Heraeus Kulzer, Wehrheim, Germany) และชนิดที่ไม่มีเมทิลเมทาคริเลต (Non MMA based) เช่น Kooliner® (Coe Laboratories, Chicago, USA), Ufi gel hard® (Voco, Cuxhaven, Germany), Tokuso Rebase II® (Tokuyama Dental Corp, Tsukuba, Japan)

ซึ่งชนิดที่สองส่วนใหญ่เป็นมอนอเมอร์เมทาคริเลตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความระคายเคืองต่อน้อยกว่า ส่วนวัสดุเสริมฐานฟันเทียมชนิดที่มีเมทาคริเลตเป็นส่วนประกอบพื้นฐาน มีการยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดีกว่า^{4,5} แต่เป็นสาเหตุให้เกิดการระคายเคืองเนื้อเยื่อในช่องปากจากการมีมอนอเมอร์เมทาคริเลตหลงเหลือจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เกิดอาการปากแสบร้อน, บวม, แดงหรืออาจพบแผลในช่องปากได้⁶ นอกจากนี้มีการตรวจพบว่าผู้ป่วยที่มีอาการแพ้ เป็นผลเรื้อรังจากการได้รับวัสดุเรซินอะคริลิก⁶ ได้แก่โรคผิวหนังอักเสบที่เกิดจากฟันเทียม (denture dermatitis) Ruyter⁷ พบว่าฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของเมทาคริเลตทำให้เกิดปฏิกิริยาภูมิไวเกิน (hypersensitivity reaction) และจากการศึกษาของ Tsuchiya⁸ พบว่าฟอร์มาลดีไฮด์มีความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity) ที่มากกว่าเมทาคริเลต ดังนั้นการลดหรือกำจัดเมทาคริเลตจึงมีความสำคัญเพราะเป็นการลดสารตั้งต้นที่จะทำให้เกิดฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเป็นพิษได้

เมื่อวัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเองเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ทั้งหมด ดังนั้นมอนอเมอร์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ในพอลิเมอร์ เรียกว่ามอนอเมอร์ที่หลงเหลือ (residual monomer) อยู่ภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อใช้งานไปจะมีการชะล้างมอนอเมอร์ออกมา มอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างของวัสดุเสริมฐานฟันเทียมชนิดที่มีเมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบคือ เมทาคริเลต และมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างของวัสดุเสริมฐานฟันเทียมชนิดที่ไม่มีเมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบคือ ไอโซบิวทิลเมทาคริเลต (isobutyl methacrylate, IBMA) 1,6-เฮกเซนไดโอดิเมทาคริเลต (1,6-hexanediol dimethacrylate) เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ และยังมีการแพร่ออกมาภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพต่อน้อยได้⁹ โดยพบความเป็นพิษต่อเซลล์สัมพันธ์กับมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างออกมาจากวัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเอง นอกจากมอนอเมอร์แล้วยังมี สารริเริ่ม (initiator) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) อนุพันธ์ฟทาเลต (phthalate, additive) สารพลอยได้ (by products) สารที่เกิดจากการสลายตัว (decomposed products) ออกมาอีกด้วย¹⁰ และถ้ามีระดับมอนอเมอร์ที่หลงเหลืออยู่สูงในเรซินอะคริลิกอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของสี และความแข็งแรงเชิงกลของฟันเทียมได้^{11,12} มีงานวิจัยที่กล่าวว่า การใช้วัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเองที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกับฐานฟันเทียมซึ่งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเมทาคริเลต จะทำให้มีค่าความแข็งแรงของพันธะ (Bond strength) ระหว่างฐานฟันเทียมและวัสดุ

เสริมฐานสูง และยังส่งผลให้เกิดความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้วัสดุเสริมฐานแบบแข็งชนิดบ่มเองที่มีองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกับฐานฟันเทียม¹³

รายงานวิจัยในห้องปฏิบัติการจากการหาปริมาณเมทาคริเลตในน้ำ พบว่ามีการชะล้างของเมทาคริเลตออกมาสูงสุดในช่วง 24 ชั่วโมงแรกหลังการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์^{14,15} ซึ่งมีการวัดปริมาณเมทาคริเลตในน้ำลายของผู้ป่วยที่ใส่ฟันเทียม พบว่าเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเองมีการชะล้างเมทาคริเลตในระยะเวลามากกว่า 1 สัปดาห์นับจากใส่ฟันเทียม¹⁶ ซึ่งยังสามารถพบมอนอเมอร์เมทาคริเลตหลงเหลือในฐานฟันเทียมได้หลังจากมีการใช้งาน 5 – 20 ปี¹⁷

วิธีการลดปริมาณเมทาคริเลตหลงเหลือในเรซินอะคริลิกหลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์มีหลายวิธี เช่น การใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีงานวิจัยที่ทดลองโดยใช้ทั้งวัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเองและเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน พบว่าสามารถลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือในชิ้นงานได้^{18,19} การเคลือบพื้นผิวชิ้นงานด้วยเรซินความหนาประมาณ 10 ไมครอน แล้วกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต พบว่าช่วยลดปริมาณเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างออกมาในน้ำได้ โดยเฉพาะในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง²⁰ การแช่เรซินอะคริลิกในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง¹⁵ หรือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง⁸ และการแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 – 50 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที⁹

สารละลายเอทานอลช่วยในการเพิ่มและเร่งให้เกิดการทำลายของสารประกอบ ทำให้เมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่หลงเหลือถูกชะล้างออกจากโครงสร้างพอลิเมอร์ได้เร็วขึ้น มีงานวิจัยที่พบว่า การแช่ในเอทานอลบริสุทธิ์ ช่วยลดปริมาณเมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่หลงเหลือจากการที่เอทานอลแพร่เข้าไปในโครงสร้างและขยายช่องว่างระหว่างสายพอลิเมอร์และเอทานอลยังเร่งให้เกิดการดูดน้ำเข้าไปในโครงสร้างพอลิเมอร์ทำให้มอนอเมอร์ที่หลงเหลือแพร่ออกมาจากพอลิเมอร์ได้เร็วขึ้น²¹ และมีงานวิจัยที่พบว่า การแช่ในสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20–50 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที สามารถลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือได้ และไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเสริมฐานฟันเทียมแบบแข็งชนิดบ่มเอง⁹

คลื่นอัลตราโซนิกถูกมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมติดอยู่กับชิ้นงาน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ระหว่างรอยแยกขนาดเล็กได้ จากหลักการทำงานของอ่างอัลตราโซนิกในการชะล้างสิ่งปนเปื้อนจากชิ้นงานหรือวัสดุ โดยอาศัยการเกิดฟองอากาศจำนวนมาก ความแรงของน้ำ

และแรงดูดตามรูเล็ก ตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้นในน้ำ จึงมีการวิจัยที่นำคลื่นอัลตราโซนิคมาใช้สำหรับลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือในทันตวัสดุที่มีเรซินอะคริลิกเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษานี้ของ Charasseangpaisarn และ Wiwatwarrapan^{22,23}, Kohnithikulwong และ Wiwatwarrapan²⁴ ที่ใช้วัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกชนิดบ่มเองและวัสดุครอบฟันเทียมชั่วคราวอะคริลิก และจากงานวิจัยของ Thaitammayanon, Sirichompun และ Wiwatwarrapan²⁵ ที่ใช้วัสดุทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic base-plate materials) ที่มีเมทิลเมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบ พบว่าการแช่ในอัลตราโซนิค เวลา 5-10 นาทีภายหลังการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สามารถลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่แช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่แช่ในน้ำ 50-55 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างของวัสดุเสริมฐานอะคริลิกภายหลังการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือด้วยวิธีการแช่ในอ่างอัลตราโซนิค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณมอนอเมอร์ของวัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเองที่ถูกชะล้างในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังการลดมอนอเมอร์ที่หลงเหลือด้วยวิธีการต่าง ๆ 3 วิธีคือ 1.) แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง 2.) แช่ในอ่างอัลตราโซนิคที่มีสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที 3.) แช่ในอ่างอัลตราโซนิคที่มีน้ำ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ผ่านกระบวนการใดภายหลังเตรียมชิ้นงานเสร็จ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ผสมวัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเอง (Unifast Trad Pink, GC Corp., Tokyo, Japan) โดยใช้อัตราส่วนและระยะเวลาตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (ผง 2.0 กรัม ต่อ ส่วนเหลว 1 มิลลิลิตร เวลาผสม 15 วินาที เวลาทำงาน 2 นาที) ใส่ในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีรูปร่างและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ± 1 มิลลิเมตร หนา 3.0 ± 0.1 มิลลิเมตร ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 20795-1:2013 เก็บชิ้นตัวอย่างในที่มีดเวลา 24 ± 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 10 แล้วขัดชิ้นตัวอย่างทั้ง 2 ด้าน ด้วยกระดาษทรายขัดโลหะขนาด P500 (TOA, Thailand) โดยมีน้ำในขณะขัดเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงาน ให้

ได้ความหนา 2.0 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการขัดขอบและพื้นผิวชิ้นตัวอย่างให้เรียบและมันด้วยกระดาษทรายขัดโลหะขนาด P1200

วิธีการทดลอง

แบ่งชิ้นงานวัสดุเสริมฐานแบบแข็งชนิดบ่มเองจำนวน 24 ชิ้นที่ได้หลังการบ่ม เป็นกลุ่ม 4 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 กลุ่มควบคุม ไม่ได้ใช้วิธีการใดเพื่อเป็นการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือในชิ้นงาน กลุ่ม 2 ชิ้นงานผ่านการแช่ในอ่างที่มีน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กลุ่ม 3 ชิ้นงานผ่านการแช่ในอ่างอัลตราโซนิคที่มีน้ำ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที และกลุ่ม 4 ชิ้นงานผ่านการแช่ในอ่างอัลตราโซนิคที่มีสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

นำชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นใส่ลงในภาชนะพลาสติกแบบปิดที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นดูดน้ำที่แช่ชิ้นงานออกมาปริมาตร 200 ไมโครลิตร นำมาวิเคราะห์หาปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้าง ตามระยะเวลาที่กำหนด คือที่เวลา 1 3 24 ชั่วโมง วันที่ 3 และวันที่ 7 ตามลำดับ ในเวลา 24 ชั่วโมงแรกได้เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 ไมโครลิตรทดแทนลงไปหลังจากเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อให้ปริมาตรน้ำโดยรวมเท่าเดิม หลังจากนั้นในทุกๆ 24 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนน้ำใหม่ ปริมาตร 20 มิลลิลิตรทุกวันเวลา 7 วัน^{26,27}

การวิเคราะห์ปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

ฉีดน้ำตัวอย่างที่เก็บได้เข้าไปในเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (Shimadzu 20A Prominence HPLC, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) ที่ใช้คอลัมน์ที่มีสารออกทาเดซิลไซเลนไนซ์ที่มีรูขนาด 5 ไมโครเมตร โดยมีเมทานอลร้อยละ 75 กับน้ำร้อยละ 25 โดยปริมาตรเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ตั้งความเร็วในการไหลที่ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และ ใช้เครื่องตรวจวัด (detector) เป็นแสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร

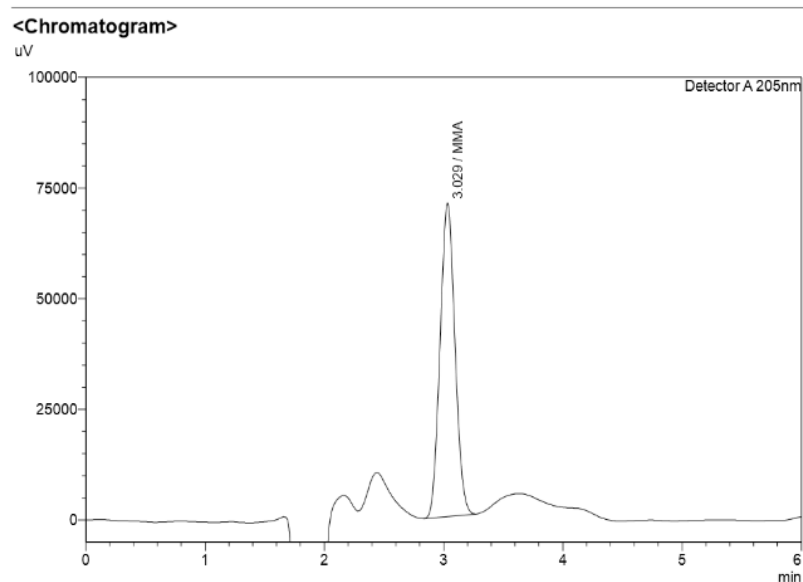
ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างคำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) ที่มีสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายมากกว่า 0.99 ($R^2 > 0.99$) ซึ่งเตรียมได้จากการเขียนกราฟของพื้นที่ฟีกของปริมาณความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเมทิลเมทาคริเลตกับความเข้มข้นที่ทราบค่า (6, 60, 150, 300 และ 400 ไมโครกรัม) (รูปที่ 1) กราฟมาตรฐานนี้ใช้ในการหาความเข้มข้นของเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างในความเข้มข้นหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (รูปที่ 2)

กราฟมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นที่ทราบค่าของเมทิลเมทาคริเลตซึ่งมีสมการดังนี้

$$(R^2 > 0.999) : f(x) = 61,314.7 X$$

เมื่อ $f(x)$ = พื้นที่การดูดซับของเมทิลเมทาคริเลตด้วยเครื่องตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ต

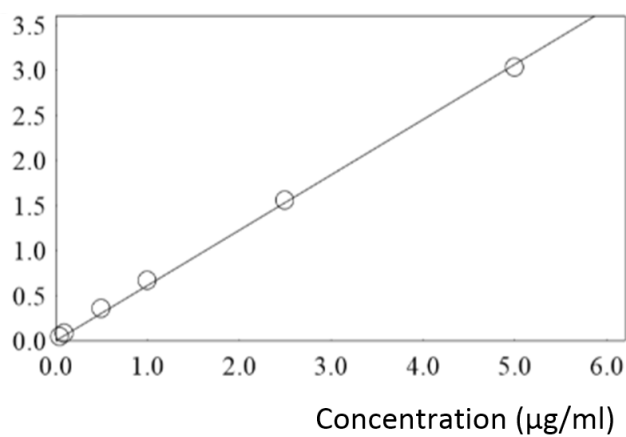
X = ความเข้มข้นของเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 1 แสดงผลโครมาโทแกรมของเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะซึมที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Figure 1 Representative chromatogram of leachable MMA by high performance liquid chromatography (HPLC).

Mean Area ($\times 10^6$)



รูปที่ 2 กราฟการสอบเทียบมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเมทิลเมทาคริเลต 5 ความเข้มข้น

Figure 2 The standard calibration curve of 5 concentrations of MMA standard solutions.

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเวอร์ชัน 22 (SPSS version 22, IBM, Armonk, NY, USA) ถึงปัจจัยเรื่องวิธีการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือ และระยะเวลาที่สัมผัสต่อปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้าง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างของแต่ละกลุ่มด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance)

แล้วจึงทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc tests) ใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparison tests) โดยวิธีดันทันเน็ต (Dunnett's T3) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่ากลุ่มใดมีค่าเฉลี่ยปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างแตกต่างกัน

ผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างจากกลุ่มทดลองต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/ml}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้าง

Table 1 The mean ($\mu\text{g/ml}$) and standard deviations of leachable monomer concentration ($n = 6$)

Groups	Methods	1 hour	3 hours	24 hours	Day 3	Day 7
1	Untreated (Control)	9.23 $\pm$ 1.37 ^{A/c}	17.55 $\pm$ 2.73 ^{A/b}	22.76 $\pm$ 2.45 ^{A/a}	8.51 $\pm$ 1.79 ^{A/c,d}	5.96 $\pm$ 1.26 ^{A/d}
2	Immersed in water 50 oC for 1 hour	0.79 $\pm$ 0.20 ^{B/c}	2.17 $\pm$ 0.77 ^{B/b}	7.80 $\pm$ 2.02 ^{B/a}	5.59 $\pm$ 1.11 ^{B/a}	4.91 $\pm$ 0.90 ^{A,B/a}
3	Immersed in water 50 oC in ultrasonic bath for 5 min	1.65 $\pm$ 0.75 ^{B/c}	2.03 $\pm$ 0.51 ^{B/c}	5.61 $\pm$ 1.07 ^{B/a}	3.65 $\pm$ 0.53 ^{C/b}	3.43 $\pm$ 1.05 ^{B,C/b,c}
4	Immersed in 30 % ethanol solution 50 °C in ultrasonic bath for 5 min	0.95 $\pm$ 0.19 ^{B/d}	1.98 $\pm$ 0.35 ^{B/c}	5.54 $\pm$ 0.71 ^{B/a}	3.36 $\pm$ 0.43 ^{C/b}	3.13 $\pm$ 0.36 ^{C/b}

*Superscript letters following mean values: the same letters indicate no significant different at p -value 0.05,

The upper and lower case letters were separate analyses.

Same uppercase letter indicates no significant difference between the groups in each column ($p > 0.05$).

Same lowercase letter indicates no significant difference between the groups in each row ($p > 0.05$).

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้าง

Table 2 Two-way ANOVA analysis of the amount of residual monomer

Source	Type III sum of Squares	df	Mean Square	F	P
Corrected model	3462.889a	19	182.257	117.858	< 0.001
Intercept	4104.945	1	4104.945	2654.490	< 0.001
Methods	1962.752	3	654.251	423.075	< 0.001
Time	715.365	4	178.841	115.649	< 0.001
Method*Time	784.773	12	65.398	42.290	< 0.001
Error	154.642	100	1.546		
Total	7722.476	120			
Corrected total	3617.531	119			

เมื่อนำปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่วัดได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่าวิธีการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือในวัสดุเสริมฐานแบบแข็งชนิดบ่มเอง และระยะเวลาที่วัสดุเสริมฐานแช่อยู่ในน้ำกลั่น มีผลต่อปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังตารางที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างจากกลุ่มทดลองต่าง ๆ ด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนโดยวิธีดันทนที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ในทุกช่วงเวลาที่ใช้วัดเดียวกัน ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างในกลุ่มที่ทำการลดมอนอเมอร์ที่หลงเหลือ (กลุ่ม 2 ถึง 4) มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ทำการลดมอนอเมอร์ที่หลงเหลือ (กลุ่ม 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นวันที่ 7 กลุ่มแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง (กลุ่ม 2) มีปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (กลุ่ม 1) ($p > 0.05$) ดังในตารางที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบในช่วงระยะเวลาเดียวกันที่ 1 3 และ 24 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มที่ทำการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือทั้งสามกลุ่ม มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าในระยะเวลาการแช่น้ำวันที่ 3 และ 7 กลุ่มที่แช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที (กลุ่ม 4) มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างต่ำกว่ากลุ่มแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง (กลุ่ม 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มที่แช่น้ำในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที (กลุ่ม 3) ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่ใช้วิธีการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือเดียวกัน แต่ในระยะเวลาแช่น้ำเพื่อชะล้างเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน พบว่าทั้ง 4 กลุ่มมีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างสูงสุดที่เวลา 24 ชั่วโมง และมีแนวโน้มของปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างลดลงตามเวลาที่แช่นานขึ้น โดยพบว่าวันที่ 3 และ 7 กลุ่มที่แช่ในอ่างอัลตราโซนิก (กลุ่ม 3 และ 4) และกลุ่มควบคุม (กลุ่ม 1) มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่แช่น้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$) ยกเว้นในกลุ่มแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง (กลุ่ม 2) มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างลดลงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

งานวิจัยนี้มีความสนใจเกี่ยวกับการใช้วิธีการอัลตราโซนิกในการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างภายหลังการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์โดยใช้วิธีการทดลองตามมาตรฐาน ISO 20795-1:2013 และได้กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือที่ให้มีได้ในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง คือ ร้อยละ 4.5 ตามน้ำหนัก แต่ไม่ได้กำหนดค่าปริมาณมอนอเมอร์สูงสุดที่ถูกชะล้างในน้ำ โดยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิก มีความสัมพันธ์กับปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่หลงเหลือ²⁸ ซึ่งผลเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการมีเมทิลเมทาคริเลตที่หลงเหลือ เช่น ความแข็งแรงของวัสดุลดลงหรือมีความไม่เสถียรของสีเกิดขึ้น^{12,23,29} มอนอเมอร์ที่หลงเหลือรวมถึงสารอื่นๆที่เป็นองค์ประกอบที่ถูกปลดปล่อยเข้าสู่ช่องปากอาจทำให้เกิดการอักเสบ การระคายเคือง หรืออาการแพ้ได้^{6,12}

ในงานวิจัยที่หาปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ปลดปล่อยออกมาจากทันตวัสดุต่าง ๆ ผู้วิจัยนิยมใช้เครื่องมือโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงเนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความสะดวกในการใช้งาน ใช้ประเมินวัสดุอินทรีย์ได้หลากหลาย รวมถึงใช้ประเมินปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ปลดปล่อยซึ่งมีระดับความเข้มข้นต่ำได้ และสามารถใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบภายใต้สภาวะเดียวกัน^{30,31}

มีหลายงานวิจัยที่ผ่านมาที่กล่าวถึงการวัดปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ปลดปล่อย พลาสติไซเซอร์ (plasticizer)²⁶ รวมถึงวัดปริมาณสารที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) หรือ ปฏิกิริยาการเกิดสารพวงเอสเทอร์ (esterification) ของหมู่เมทาคริเลต²⁷ เช่น กรดเมทาคริลิก (methacrylic acid, MA) หรือ กรดเบนโซอิก (benzoic acid, BA) โดยใช้วิธีการลดปริมาณมอนอเมอร์ได้แก่ การแช่น้ำอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง การแช่น้ำอุณหภูมิ 50 หรือ 55 องศาเซลเซียสตามเวลาที่กำหนด จากนั้นนำไปแช่เพื่อวัดปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ปลดปล่อย โดยระยะเวลาที่ใช้มีตั้งแต่หน่วยเป็นชั่วโมงจนถึง 1 ถึง 2 เดือน และใช้น้ำกลั่นในการแช่ขึ้นงานซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้^{30,32,33}

ผลทดลองจากงานวิจัยพบว่าปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างมีค่าสูงสุดสะสมในช่วง 24 ชั่วโมงแรกในทุกกลุ่มทดลอง และจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vallittu¹⁵ และพบว่าในกลุ่มที่ทำการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือมีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างต่ำกว่ากลุ่มควบคุม 3 ถึง 4 เท่า

นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกช่วงเวลาซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsuchiya⁸ เนื่องจากน้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โมเลกุลมอนอเมอร์มีการแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น⁹ และทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นในบริเวณที่มีอนุมูลอิสระพอลิเมอร์³⁴ นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการไฮโดรไลซิสของหมู่อะตอมที่แสดงสมบัติเฉพาะ (functional groups) ทำให้เกิดการสลายตัวของกลุ่มเมทาคริเลตเมื่อเวลาผ่านไป จึงมีผลทำให้ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่หลงเหลือในฟันเทียมและที่ถูกชะล้างในน้ำนั้นมีค่าลดลง^{7,35} ยกเว้นวันที่ 7 กลุ่มที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากการตามธรรมชาติของมอนอเมอร์ที่หลงเหลือในโครงสร้างพอลิเมอร์ กล่าวคือ มอนอเมอร์ที่หลงเหลือที่อยู่ใกล้พื้นผิวของเรซินอะคริลิกจะเป็นส่วนที่ถูกชะล้างออกมาในน้ำ แต่ยังคงมีมอนอเมอร์ที่หลงเหลือที่ติดอยู่บริเวณชั้นในของเรซินอะคริลิกที่ไม่สามารถถูกชะล้างได้ในระยะเวลาอันสั้น จึงพบปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างของกลุ่มที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงและกลุ่มควบคุมในวันที่ 7 มีค่าใกล้เคียงกัน¹²

งานวิจัยนี้พบว่ากลุ่มที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในอ่างอัลตราโซนิกเวลา 5 นาที มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Charasseangpaisarn และ Wiwatwarrapan^{22,23} ซึ่งการใช้วิธีแช่ในอัลตราโซนิก ส่งผลต่อปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่หลงเหลือได้ 2 ประการคือ ประการแรก การลดลงของมอนอเมอร์ที่หลงเหลืออย่างรวดเร็ว คลื่นอัลตราโซนิกทำให้เกิดและสลายฟองอากาศ (cavitation) โดยเกิดฟองอากาศขนาดเล็กไม่กี่ไมครอนจนถึงหลายร้อยไมครอนจำนวนมาก และเมื่อฟองอากาศยุบตัวแตกออกจะเกิดแรงดันของของเหลว ทำให้ของเหลวซึ่งเป็นตัวกลางเกิดความแรงกระทำต่อผิววัสดุเกิดการชนกันของอนุภาคอย่างรวดเร็ว มีการรบกวนรูขนาดจุลภาค (micro-pore) ของเรซินอะคริลิก ส่งผลให้มอนอเมอร์ที่หลงเหลือแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น และประการที่ 2 การแตกออกของฟองอากาศทำให้เกิดพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาบริเวณพื้นผิวทำให้มอนอเมอร์ที่ยังมีอยู่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ขึ้นหรืออาจทำให้เกิดการสลายตัวของสายพอลิเมอร์ได้²² นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิสูงร่วมด้วย

ผลการทดลองในกลุ่มที่แช่ในอ่างอัลตราโซนิกภายหลังการบ่มที่แช่ในสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที พบว่าปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศา

เซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 3 และ 7 ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับวิจัยของ Wiwatwarrapan และ Kobnithikulwong²⁴ และงานวิจัยของ Neves และคณะ⁹ ที่พบว่า การแช่วัสดุเสริมฐานฟันเทียมในสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 ถึง 50 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที สามารถลดปริมาณมอนอเมอร์ที่หลงเหลือและความเป็นพิษต่อเซลล์ได้ โดย Bettencourt³⁶ พบว่าปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างจากเรซินอะคริลิกลดลงสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อรวมกับการใช้วิธีการแช่ในอ่างอัลตราโซนิกและการใช้อุณหภูมิสูงจึงมีผลทำให้ปริมาณมอนอเมอร์ที่ถูกชะล้างลดลงมากที่สุด แต่จากผลงานวิจัยของ Regis และคณะ³⁷ พบว่าการแช่ในสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งความแข็งแรงต่อการโค้งงอและความไม่เสถียรของสีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 42 นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟ 650 วัตต์ เวลา 5 นาที ภายหลังจากบ่ม³⁸ แม้ว่าเวลาที่ใช้จะเท่ากับการใช้วิธีแช่ในอัลตราโซนิก แต่ผลที่ได้กลับส่งผลต่อเสถียรภาพเชิงมิติของเรซินอะคริลิก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พบว่า การใช้คลื่นไมโครเวฟส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเสถียรภาพเชิงมิติของเรซินอะคริลิกด้วย

วัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเอง นิยมนำมาใช้ในการเสริมฐานฟันเทียมโดยตรงข้างเก๊าท์ เนื่องจากมีข้อดี คือ ใช้งานง่าย สามารถลอกเลียนรายละเอียดและรูปร่างสันเหงือกได้โดยตรงจากในช่องปาก ไม่จำเป็นต้องส่งงานไปที่แลป จึงลดระยะเวลาได้ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับการฟื้นฟูสภาพช่องปากในกลุ่มประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวิธีการต่างๆที่ใช้ในการลดปริมาณมอนอเมอร์ที่ชะล้างจากชิ้นงานก่อนที่จะส่งมอบให้กับผู้ป่วยจึงเป็นสิ่งที่จะต้องมีการศึกษา ประเมิน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาหรือปรับปรุงคุณสมบัติและลักษณะทางชีวภาพของทันตวัสดุต่อไป

บทสรุป

การแช่วัสดุเสริมฐานฟันเทียมอะคริลิกแบบแข็งชนิดบ่มเองหลังการบ่ม ในน้ำ หรือสารละลายน้ำที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที สามารถลดปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกชะล้างได้ดีกว่าหรือไม่แตกต่างจากวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันที่แช่ในน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง แต่เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีกว่า เพราะใช้ระยะเวลาน้อยกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากฝ่ายวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2560 (DRF60005)

เอกสารอ้างอิง

- Wyatt CC. The effect of prosthodontic treatment on alveolar bone loss: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 1998;80(3):362-6.
- Lytle RB. Complete denture construction based on a study of the deformation of the underlying soft tissue. *J Prosthet Dent* 1959;9(4):539-51.
- Tallgren A. The continuing reduction of the residual alveolar ridge in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. *J Prosthet Dent* 1972;27(2):120-32.
- Minami H, Suzuki S, Minasaki Y, Kurashige H, Tanaka T. In vitro evaluation of the influence of repairing condition of denture base resin on the bonding of autopolymerizing resins. *J Prosthet Dent* 2004;91(2):164-70.
- Hensten-Pettersen A, Jacobsen N. Perceived side effects of biomaterials in prosthetic dentistry. *J Prosthet Dent* 1991;65(1):138-44.
- Lunder T, Rogl-Butina M. Chronic urticaria from an acrylic dental prosthesis. *Contact Dermatitis* 2000;43(4):232-3.
- Ruyter IE. Release of formaldehyde from denture base polymers. *Acta Odontol Scand* 1980;38(1):17-27.
- Tsuchiya H, Hoshino Y, Tajima K, Takagi N. Leaching and cytotoxicity of formaldehyde and methyl methacrylate from acrylic resin denture base materials. *J Prosthet Dent* 1994;71(6):618-24.
- Neves CB, Lopes LP, Ferrão HF, Miranda JP, Castro MF, Bettencourt AF. Ethanol postpolymerization treatment for improving the biocompatibility of acrylic reline resins. *Biomed Res Int* 2013; 2013:485246.
- Michelsen VB, Lygre H, Skålevik R, Tveit AB, Solheim E. Identification of organic eluates from four polymer-based dental filling materials. *Eur J Oral Sci* 2003;111(3):263-71.
- Faltermeier A, Rosentritt M, Müssig D. Acrylic removable appliances: comparative evaluation of different postpolymerization methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131(3):301.e16-22.
- Dogan A, Bek B, Cevik N, Usanmaz A. The effect of preparation conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. *J Dent* 1995;23(5):313-8.
- Hout D, Wonglamsam A, Kanchanasita W. Flexural strength of relined denture base using different thickness of self-cured relining material. *M Dent J* 2017;37(2):223-32.
- Ferracane JL, Condon JR. Rate of elution of leachable components from composites. *Dent Mater* 1990;6(4):282-7.
- Vallittu PK, Miettinen V, Alakujala P. Residual monomer content and its release into water from denture base materials. *Dent Mater* 1995;11(6):338-42.
- Baker S, Brooks S, Walker D. The release of residual monomeric methyl methacrylate from acrylic appliances in the human mouth: an assay for monomer in saliva. *J Dent Res* 1988;67(10):1295-9.
- Douglas W, Bates J. The determination of residual monomer in polymethylmethacrylate denture-base resins. *J Mater Sci* 1978;13(12):2600-4.
- Urban VM, Machado AL, Oliveira RV, Vergani CE, Pavarina AC, Cass QB. Residual monomer of reline acrylic resins: Effect of water-bath and microwave post-polymerization treatments. *Dent Mater* 2007;23(3):363-8.
- Campanha NH, Pavarina AC, Giampaolo ET, Machado AL, Carlos IZ, Vergani CE. Cytotoxicity of hard chairside reline resins: effect of microwave irradiation and water bath postpolymerization treatments. *Int J Prosthodont* 2006;19(2):195-201.
- Szabo G, Stafford G, Huggett R, Brooks S. The loss of residual monomer from denture base polymers coated with an ultraviolet light-activated polymer. *Dent Mater* 1987;3(2):64-6.
- Boeckler AF, Morton D, Poser S, Dette KE. Release of dibenzoyl peroxide from polymethyl methacrylate denture base resins: an in vitro evaluation. *Dent Mater* 2008;24(12):1602-7.
- Charasseangpaisarn T, Wiwatwarapan C. The effect of various frequencies of ultrasonic cleaner in reducing residual monomer in acrylic resin. *Ultrasonics* 2015;63:163-7.
- Charasseangpaisarn T, Wiwatwarapan C, Leklerssiriwong N. Ultrasonic cleaning reduces the residual monomer in acrylic resins. *J Dent Sci* 2016;11(4):443-8.
- Wiwatwarapan C, Kobnithikulwong N. Ultrasonic Treatment in Ethanol-Water Reduce Residual Monomer in Acrylic Resin. The 3rd Meeting of the International Association for Dental Research –APR , June 23-25, 2016:Soul, Korea, P-1900.
- Thaitammanon P, Sirichompun C, Wiwatwarapan C. Ultrasonic treatment reduced residual monomer in methyl methacrylate-based orthodontic base-plate material. *Dent Oral Craniofac Res* 2018;4:1-5.
- Urban VM, Machado AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC, de Almeida FG, et al. Effect of water-bath post-polymerization on the mechanical properties, degree of conversion, and leaching of residual compounds of hard chairside reline resins. *Dent Mater* 2009;25(5):662-71.
- Urban VM, Machado AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC, Cass QB. Leachability of degradation products from hard chairside reline resins in artificial saliva: Effect of water-bath post-polymerization treatment. *J Appl Polymer Sci* 2012;123:732-9.
- Mc Cabe J, Angus W. Applied dental material. 9th ed. Black well Publishing;1990. p.110-5.

29. McCabe J. Tissue sensitivity to acrylic resin. *Brit Dent J* 1976;140(10):347-50.
30. Sofou A, Tsoupi I, Emmanouil J, Karayannis M. HPLC determination of residual monomers released from heat-cured acrylic resins. *Anal Bioanal Chem* 2005;381(7):1336-46.
31. Shim JS, Watts DC. Residual monomer concentrations in denture-base acrylic resin after an additional, soft-liner, heat-cure cycle. *Dent Mater* 1999;15(4):296-300.
32. Vallittu PK, Ruyter IE, Buykuilmaz S. Effect of polymerization temperature and time on the residual monomer content of denture base polymers. *Eur J Oral Sci* 1998;106(1):588-93.
33. Bural C, Aktas E, Deniz G, Ünlüçerçi Y, Kızılcın N, Bayraktar G. Effect of post-polymerization heat-treatments on degree of conversion, leaching residual MMA and in vitro cytotoxicity of autopolymerizing acrylic repair resin. *Dent Mater* 2011;27(11):1135-43.
34. Lamb DJ, Ellis B, Priestley D. Loss into water of residual monomer from autopolymerizing dental acrylic resin. *Biomaterials* 1982;3 (3):155-9.
35. Ferracane J. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. Dental Materials. *Dent Mater* 2006;22(3):211-22.
36. Bettencourt A, Calado A, Amaral J, Vale FM, Rico JM, Monteiro J, *et al.* The effect of ethanol on acrylic bone cement. *Int J Pharm* 2002;241(1):97-102.
37. Regis RR, Soriani NC, Azevedo AM, Silva-Lovato CH, Paranhos HFO, de Souza RF. Effects of ethanol on the surface and bulk properties of a microwave-processed PMMA denture base resin. *J Prosthodont* 2009;18(6):489-95.
38. Patil P, Chowdhary R, Mandokar R. Effect of microwave post-polymerization treatment on residual monomer content and the flexural strength of autopolymerizing relined resin. *Indian J Dent Res* 2009;20:293-7.