

# ผลของรังสียูวีซีต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนและอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมี

## The Effect of UVC Radiation on Tensile Bond Strength between Heat-cured Acrylic Resin and Chemical-cured Acrylic Resin

กุลภพ สุทธิอาจ<sup>1</sup>, ปรัชญา ธาราธร<sup>2</sup>, ธนากร สมานไทย<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

<sup>2</sup>นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Kullapop Suttia<sup>1</sup>, Pratyta Tharatorn<sup>2</sup>, Thanakorn Samanthai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

<sup>2</sup>Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม.ทันตสาร 2555; 33(2) : 57-66

CM Dent J 2012; 33(2) : 57-66

### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์** เพื่อศึกษาผลของการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดซี (ยูวีซี) ที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนและอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมี **วัสดุและวิธีการ** เตรียมชิ้นตัวอย่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนรูปดัมเบลล์ตามข้อกำหนดของเอเอสทีเอ็ม หมายเลข ดี 683 จำนวน 50 ชิ้น สุ่มแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (กลุ่มละ 10 ชิ้น) ตัดตัวอย่างแต่ละชิ้นออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ฉายรังสียูวีซีบริเวณหน้าตัดตามระยะเวลาที่กำหนดในแต่ละกลุ่ม (0, 1, 5, 15 และ 60 นาที) เติมาอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีเข้า

### Abstract

**Objective** To study the effects of ultraviolet C (UVC) radiation at various exposure times on tensile bond strength between heat- and chemical-cured acrylic resin. **Materials and methods** Fifty dumbbell-shaped, heat-cured acrylic resin specimens were prepared according to the ASTM standard No. D683 and randomly divided into five groups (10 per group). Each specimen was cut into two symmetrical parts. The cross-sectional area of each specimen was irradiated with UVC for a period specified for

Corresponding Author:

กุลภพ สุทธิอาจ

อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Kullapop Suttia

Lecturer, Department of Prosthodontic, Faculty of Dentistry,

Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

Tel. 66-53-944438, 08-9703-7801

E-Mail: [kullapop.s@cmu.ac.th](mailto:kullapop.s@cmu.ac.th)

กับชิ้นตัวอย่างเพื่อสร้างชิ้นงานรูปดัมเบลล์ ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 **ผลการศึกษา** ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวบริเวณรอยต่อระหว่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนและอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีของกลุ่มที่ผ่านการฉายรังสียูวีซีที่ระยะเวลา 1 และ 5 นาที ( $18.77 \pm 3.62$  และ  $18.41 \pm 3.79$  MPa ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) **สรุปผลการทดลอง** การปรับสภาพผิวอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดซีในช่วง 1-5 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดเหนี่ยวบริเวณรอยต่อได้อย่างมีนัยสำคัญ

**คำสำคัญ:** รังสียูวี, ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว, อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน, อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี

each group (0, 1, 5, 15 and 60 min) then chemical-cured acrylic resin was added to restore the dumbbell shape. A universal testing machine was used for the tensile bond strength testing (TBS). The data were analyzed by one way ANOVA and multiple comparison test at the 95% confidence interval. **Results** The tensile bond strength value at the boundaries between the heat- and the chemical-cured acrylic resin of the 1-and 5-min UVC irradiation groups ( $18.77 \pm 3.62$  and  $18.41 \pm 3.79$  MPa) were significantly higher than those of the other groups ( $p < 0.05$ ). **Conclusions** The heat-cured acrylic surface modification with UVC irradiation in the range of 1-5 minutes can significantly increase the tensile bond strength between the heat- and chemical-cured acrylic resin.

**Keywords:** UVC radiation, tensile bond strength, heat cured acrylic resin, chemical cured acrylic resin

## บทนำ

อะคริลิกเรซินเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางทันตกรรมโดยเฉพาะในงานฟันเทียมถอดได้ เช่น การซ่อมฐานฟันเทียมที่แตกหัก (repair) หรือการเสริมฐานฟันเทียม (reline) ปัญหาที่สำคัญและพบได้บ่อยเมื่อนำวัสดุชนิดนี้มาใช้สร้างฟันเทียม คือ การแตกหรือหักของอะคริลิกเรซิน<sup>(1-3)</sup> Gregory และคณะ<sup>(4)</sup> แบ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดการแตกหักของฐานฟันเทียม ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สาเหตุที่เกิดขึ้นนอกช่องปาก เช่น ผู้ป่วยทำฟันเทียมหลุดมือขณะทำความสะอาด และสาเหตุที่เกิดขึ้นภายในช่องปาก เช่น ลักษณะการสบฟันที่ไม่เหมาะสม แรงกัดที่มากเกินไป พฤติกรรมการใช้ฟันเทียมที่ไม่ถูกต้อง ความไม่เหมาะสมของฟันเทียมและเนื้อเยื่อรองรับ รวมถึงความล้าภายในเนื้อวัสดุที่เกิดจากแรงกระทำซ้ำๆ ภายใต้แรงกดเคี้ยวปกติ โดยทั่วไปเมื่อเกิดการ

แตกหักของฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซิน ทันตแพทย์มักแก้ไขด้วยการเติมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพื่อทำหน้าที่เชื่อมและยึดรอยแตกดังกล่าวเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและเสียค่าใช้จ่ายน้อย<sup>(5,6)</sup> แต่มักพบว่าฟันเทียมที่ผ่านการซ่อมมักเกิดการแตกหักซ้ำบริเวณรอยต่อระหว่างอะคริลิกเรซินเดิมกับอะคริลิกเรซินใหม่ที่เติมเข้าไป<sup>(7)</sup> ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวบริเวณรอยต่อของฟันเทียมเดิมเพื่อสร้างการยึดติดที่แข็งแรงและมีคุณภาพ จึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อความทนทานของชิ้นฟันเทียมภายหลังผ่านการซ่อมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี<sup>(8)</sup>

มีการศึกษามากมายที่สนใจเกี่ยวกับการปรับปรุงพื้นผิวอะคริลิกเรซินเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีบริเวณรอยต่อ<sup>(9-13)</sup> Minami และคณะ<sup>(14)</sup> แบ่งวิธีการปรับสภาพพื้นผิวอะคริลิกเรซินเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างอะคริลิกเรซิน

ส่วนฐานพื้นที่ยึดกับอะคริลิกเรซินที่ใช้สำหรับซ่อมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีเชิงกล เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและความขรุขระ เช่น การกรอพื้นผิวด้วยหัวกรอ<sup>(15)</sup> การพ่นพื้นผิวด้วยผงอะลูมิเนียม<sup>(16,17)</sup> หรือการใช้แสงเลเซอร์<sup>(18)</sup> และการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีเพื่อส่งเสริมการแทรกซึมของมอนอเมอร์เข้าไปในฐานพื้นที่ยึดอะคริลิกเรซิน เช่น การใช้คลอโรฟอร์ม (Chloroform)<sup>(19)</sup> เมทิลเมทาคริเลต (methylacrylate)<sup>(20,21)</sup> อะซิโตน (acetone)<sup>(22)</sup> หรือเมทิลคลอไรด์ (methylchloride)<sup>(23,24)</sup> ทาผิวอะคริลิกเรซินก่อนนำไปยึดกับอะคริลิกเรซินสำหรับซ่อมพื้นที่ยึด โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (morphology) หรือคุณสมบัติทางเคมีบริเวณพื้นผิว (surface chemistry) เพื่อสร้างการยึดติดที่แข็งแรงบริเวณรอยต่อ

จะเห็นได้ว่ากระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษ หรือสารเคมีซึ่งมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อมด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามที่จะพัฒนาวิธีการเตรียมผิวอะคริลิกเรซินที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษที่มีราคาแพง หรือสารเคมีอันตรายในกระบวนการ

การปรับสภาพพื้นผิวพอลิเมอร์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นรูปแบบหนึ่งของการปรับสภาพพื้นผิวที่นิยมนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้สารเคมีและมีค่าใช้จ่ายต่ำ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ที่มียาวคลื่นตั้งแต่ 10 นาโนเมตร จนถึง 400 นาโนเมตร จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ผ่านการทำงานของโฟตรอนซึ่งเป็นอนุภาคที่มีพลังงานสูงเมื่ออนุภาคโฟตรอนจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ พลังงานจากอนุภาคโฟตรอนจะทำให้พันธะเคมีในโมเลกุลบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์แตกออกเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีบริเวณพื้นผิวของวัตถุที่ถูกฉายรังสี<sup>(25)</sup> เรียกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวว่า การเสื่อมสภาพจากแสง (photodegradation) โดยการเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นกับปริมาณรังสีที่ได้รับและสภาวะแวดล้อม<sup>(26)</sup>

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอัลตราไวโอเล็ต แบ่งตามช่วงของความยาวคลื่น ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ช่วงความยาวคลื่น 315-380 นาโนเมตร (รังสียูวีเอ) ช่วงความยาวคลื่น 280-315 นาโนเมตร (รังสียูวีบี) และช่วงความยาวคลื่น 100-280 นาโนเมตร (รังสียูวีซี) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นยูวีซี มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์จึงมีการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงดังกล่าวเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้หลอดยูวีซีเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร<sup>(27)</sup> จากการศึกษาของ Truckenmüller และคณะ<sup>(26,27)</sup> เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้รังสียูวีซีเพื่อเชื่อมพอลิเมอร์เข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า การฉายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของรังสียูวีซีให้แก่พอลิเมทิลเมทาคริเลตในช่วงสั้นๆ ทำให้ค่าอุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition temperature; Tg) บริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเกิดเป็นชั้นบางๆ ของพอลิเมอร์ที่มีความหนืด สามารถเชื่อมแผ่นพอลิเมอร์สองแผ่นเข้าด้วยกันโดยไม่ต้องใช้สารยึดคั่นกลาง

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้รังสียูวีซีเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของฐานพื้นที่ยึดอะคริลิกเรซินเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างฐานพื้นที่ยึดกับอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีซึ่งใช้เป็นวัสดุสำหรับซ่อมพื้นที่ยึดที่แตกหัก โดยการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของรังสียูวีซี จากหลอดไฟยูวีสำหรับฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัดที่มีต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนและอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการประเมินความเป็นไปได้ในการใช้รังสียูวีซีสำหรับปรับสภาพผิวอะคริลิกเรซินเพื่อเพิ่มการยึดติดบริเวณรอยต่อ

## วัตถุประสงค์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการโดยมีรายละเอียดของวัสดุ ในส่วนขององค์ประกอบ ตลอดจนบริษัทผู้ผลิต แสดงในตารางที่ 1

สร้างชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบลล์จากอะคริลิกเรซินพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน จำนวน 50 ชิ้นตามข้อกำหนดของ ASTM หมายเลข D683 โดยนำ

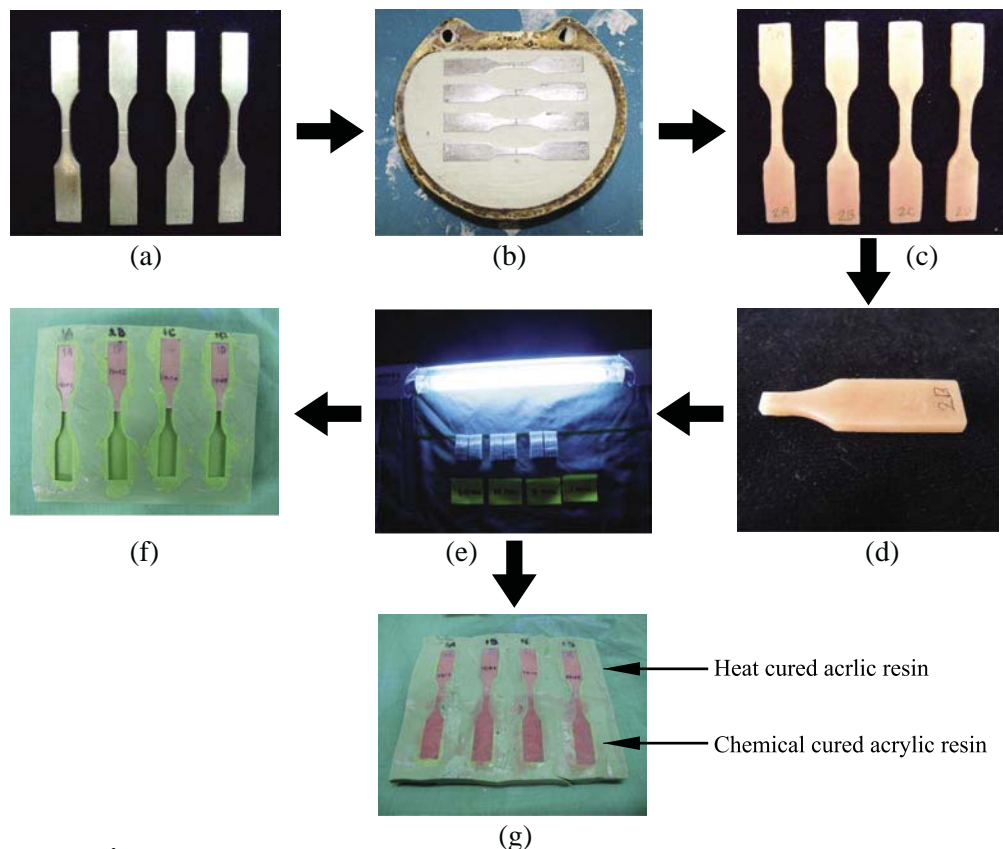
**ตารางที่ 1** ชื่อการค้า บริษัทผู้ผลิต และองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

**Table 1** Trade name, manufacturer and chemical compositions of testing materials.

Product name/Manufacturer	Material	Composition
Vertex TM Rapid Simplified® (Vertex-dental B, Netherlands)	Heat cured acrylic resin	Powder: Polymethyl methacrylate, Benzoyl peroxide, pigments
Liquid: Methylmethacrylate, ethyleneglycoldimethacrylate, N,N-dimethyl-4-toluidine, Tinuvin P		
UnifastTrad® (GC corporation, Tokyo, Japan)	Chemical cured acrylic resin	Powder: methylmethacrylate, ethyl methacrylate copolymer Liquid: methyl methacrylate, ethyleneglycoldimethacrylate, tertiary amine

โลหะแม่แบบรูปดัมเบลล์กดลงในภาชนะหล่อแบบ รอยจนพลาสติกเทอร์พีนแข็งตัวเต็มที่ แกะแม่แบบออกจากแบบหล่อ แทนที่ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับสร้างฐานฟันเทียม (Vertex™ Rapid Simplified®, Vertex-dental B.V) บ่มอะคริลิกเรซินโดยต้มในน้ำอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที แล้วต้มในน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) นาน 60 นาที แล้วจึงนำชิ้นงานอะคริลิกที่ได้ทั้ง 50 ชิ้น ดังรูปที่ 1 มาขัดให้เรียบและได้ระนาบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (MoPao 160E, Laizhouhuayin Testing instrument Co,Ltd, China) วัดขนาดด้วยดิจิตอลเวอเนียร์คาลิเปอร์ ให้มีขนาดตามข้อกำหนดของ ASTM NO. D683 ใช้เครื่องตัดชิ้นงาน (IsoMet® 1000, Buehler, Illinois USA) ตัดแบ่งชิ้นตัวอย่างตามแนวขวางออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ขัดแต่งรอยตัดให้เรียบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (MoPao 160E, Laizhouhuayin Testing instrument Co,Ltd, China) ร่วมกับกระดาษทรายน้ำเบอร์ 1000 (TOA water proof, TOA industry Co.Ltd, Bangkok Thailand) เพื่อให้ผิวน้ำตัดเรียบเท่ากันในทุกตัวอย่าง สุ่มชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ชิ้น นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaner 5210, Branson, Germany) ร่วมกับน้ำกลั่นชนิดไม่มีไอออนเป็น

เวลา 15 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สร้างเบ้าซิลิโคนสำหรับเติมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมี โดยนำโลหะแม่แบบรูปดัมเบลล์กดลงบนวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดพดี รอยวัสดุแข็งตัวนำโลหะแม่แบบออก ฉีดวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดไลท์บอดี้ลงในรอยพิมพ์ใส่แม่แบบโลหะกลับเข้าที่ รอยวัสดุแข็งตัวแล้วจึงแกะแม่แบบออกจากรอยพิมพ์ นำชิ้นงานรูปดัมเบลล์ครึ่งซีกที่เตรียมไว้มาปรับสภาพพื้นผิวโดยการฉายรังสียูวีซีตามระยะเวลาของแต่ละกลุ่ม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นในแต่ละกลุ่มได้รับปริมาณรังสีเท่ากัน กำหนดให้ผิวน้ำตัดของชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นอยู่ห่างจากหลอดรังสียูวีซี (G10T8 10 watt UV Germicidal bulb, Light spectrum Enterprises, Philadelphia USA) เป็นระยะทาง 6 เซนติเมตร เริ่มฉายรังสีขึ้นตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มพร้อมกันและนำออกจากตู้ฉายรังสีเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดของแต่ละกลุ่มนำชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบลล์ครึ่งซีกที่ผ่านการฉายรังสีแล้วจากแต่ละกลุ่ม มาใส่ในเบ้าซิลิโคนที่เตรียมไว้เดิมส่วนที่เหลือในเบ้าซิลิโคนด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมี (UnifastTrad®, GC corporation) โดยวิธีทาส่วนของเหลวและโรยผง (sprinkle on technics) ตรวจดูรอยต่อระหว่างอะคริลิกเรซินด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Meiji ML 9300, Meiji Techno Co,Ltd, Japan) ที่กำลัง



**รูปที่ 1** การเตรียมชิ้นตัวอย่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนรูปดัมเบลล์ตามข้อกำหนดของ *ASTM D683* สำหรับการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

a: แผ่นโลหะรูปดัมเบลล์

b: การลงภาชนะหล่อแบบ

c: อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนรูปดัมเบลล์

d: อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนรูปดัมเบลล์ครึ่งซีก

e: การปรับสภาพผิวหน้าตัดโดยใช้รังสียูวีซี

f: แม่ซิลิโคน

g: การเติมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีเข้ากับอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนรูปดัมเบลล์ครึ่งซีก

**Figure 1** Preparation of the heat cured acrylic resin dumbbell shaped specimen according to *ASTM D683* for tensile bond strength testing.

a: The dumbbell metal plate

b: Flasking

c: The dumbbell shape heat cured acrylic resin

d: The half of heat cured dumbbell shaped acrylic resin

e: Surface modification by UVC irradiation

f: Silicone mold

g: The adding of the chemical cured acrylic resin to the half dumbbell shape heat cured acrylic resin



ขยาย 35 เท่า เลือกเฉพาะชิ้นงานที่ไม่มีรอยร้าวหรือฟองอากาศบริเวณรอยต่อหน้าชิ้นงานที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละกลุ่มไปทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine 8872, Fareham UK.) โดยใช้หัวทดสอบ (load cell) น้ำหนัก 1000 นิวตัน ความเร็ว (cross head speed) 5 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยนำแรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก (นิวตัน) หารด้วยพื้นที่บริเวณผิวรอยต่อ (ตารางมิลลิเมตร) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสพอร์วินโดว์ เวอร์ชัน 17 (SPSS for Window version 17, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และสถิติการเปรียบเทียบแบบจับคู่พหุคูณเชฟเฟ (Sheffe multiple comparison) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียวและการเปรียบเทียบแบบจับคู่พหุคูณเชฟเฟ ที่ระดับนัยความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 1 และ 2 ( $18.77 \pm 3.62$  และ  $18.41 \pm 3.79$  MPa ตามลำดับ) สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 3 และ กลุ่มที่ 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 35 เท่า พบว่า เกือบทุกกลุ่มมีการแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure) มีตัวอย่างเพียง 2 ชิ้นจากทั้งหมด 10 ชิ้น ในกลุ่มที่ 1 เท่านั้น ที่มีการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (cohesive failure) ดังแสดงในตารางที่ 3

## บทวิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งผ่านการฉายรังสียูวีซีจากหลอดยูวีซีสำหรับฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัด นาน 1 นาที และ 5 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นและสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองจากทุกกลุ่ม พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ซึ่งผ่านการฉายรังสียูวีซี เป็นเวลา 15 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ มีค่าลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Loyaga-Rendon และคณะ<sup>25</sup> ที่พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีกับ ซีฟันเทียมอะคริลิกเรซินที่ผ่านการฉายรังสียูวีซีจากหลอดยูวีซีสำหรับฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัดในช่วง 1-10 นาที มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ผ่านการฉายรังสีนานกว่า 10 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Loyaga-Rendon และคณะ<sup>25</sup> อธิบายการเพิ่มขึ้นของค่าแรงยึดเหนี่ยวหลังการฉายรังสียูวีซีว่า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์จากพลังงานของอนุภาคโฟตรอนซึ่งเป็นองค์ประกอบของรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยอนุภาคโฟตรอนจะเหนี่ยวนำให้อนุมูลบริเวณผิวของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้มีการสร้างโครงตาข่าย (network) หรือกลุ่มท้าย (terminal group) ที่แตกต่างไปจากเดิม ทำให้ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับรังสีเกิดการเปลี่ยนแปลง จากคำอธิบายดังกล่าว ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งนี้ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของอะคริลิกเรซินอันเป็นผลมาจากพลังงานจากอนุภาคโฟตรอนของรังสียูวีซีที่ได้จากหลอดยูวีซีสำหรับฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัด ซึ่งการพิสูจน์ข้อสรุปข้างต้นจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับรังสี

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์หลังการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่า Efimenko และคณะ<sup>28</sup> และ Hillborg และคณะ<sup>29</sup> แนะนำให้ใช้วิธี Fourier

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (เมกะพาสคาล) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละของรูปแบบการแตกหัก

**Table 2** Mean tensile bond strength (MPa) with standard deviation and the percentage of fracture pattern.

group	irradiation time (minute)	Mean TBS $\pm$ SD (MPa)	Significance ( $\alpha = 0.05$ )	Failure type and percentage
control	0	13.91 $\pm$ 3.05	a	AF : 100
1	1	18.77 $\pm$ 3.62	b	AF : 80 CF 20
2	5	18.41 $\pm$ 3.79	b	AF : 100
3	15	13.78 $\pm$ 1.96	a	AF : 100
4	60	14.10 $\pm$ 1.75	a	AF : 100

ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ในกลุ่มที่มีอักษรเหมือนกัน

No significant difference ( $p>0.05$ ) within groups denoted by the same letter.

CF การแตกหักแบบเชื่อมแน่น (cohesive failure)

AF การแตกหักแบบยึดติด (adhesive failure)

**ตารางที่ 3** ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานหลังการทดสอบ

**Table 3** types of failure after testing.

UV irradiation time/group														
Control (n=10)			1 min (group 1/n=10)			5 min (group 2/ n=10)			15 min (group 3/ n=10)			60 min (group 4/ n=10)		
AF	CA	CB	AF	CA	CB	AF	CA	CB	AF	CA	CB	AF	CA	CB
10	0	0	8	0	2	10	0	0	10	0	0	10	0	0

AF: การหักแบบยึดติด (adhesive failure)

MF: การหักแบบผสม (mixed failure)

CF: การหักแบบเชื่อมแน่น (cohesive failure)

transfrom infrared spectroscopy (FTIR) เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลด้วยแสง การเปลี่ยนแปลงหมู่ทำหน้าที่ภายในโมเลกุล และการเสื่อมสภาพของโครงหลักของโมเลกุล (degradation of polymer backbone) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวพอลิเมอร์หลังผ่านการปรับสภาพด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต MacManus และคณะ<sup>30</sup> แนะนำใช้วิธี X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวพอลิเมอร์หลังฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากการศึกษาของ Logaya-Rendon และคณะ<sup>25</sup> รายงานว่า การศึกษาพื้นผิวชั้นตัวอย่างที่พินเทียมเรซินคอมพอสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยรังสียูวีซีจากหลอดรังสียูวีสำหรับฆ่าเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) และวิธี FT-IR ไม่สามารถแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะกายภาพของพื้นผิวและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นบริเวณ

พื้นผิวพอลิเมอร์หลังสัมผัสกับรังสีได้ เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีทดสอบ เพราะระดับความลึกในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นด้วยวิธี FT-IR อยู่ในระดับที่ลึกเกินไปจากพื้นผิว ทำให้ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนผิวนอกของพอลิเมอร์ได้ และได้แนะนำว่าควรเปลี่ยนไปใช้วิธี XPS เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของวัสดุที่เกิดขึ้นในระดับตื้นจากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรศึกษาเพิ่มเติมด้วยวิธี FT-IR และ XPS เพื่อจะได้ นำผลการการศึกษาที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Logaya-Rendon และคณะ<sup>25</sup> และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นหลังการฉายรังสีได้

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษานี้กับการศึกษาของ Rogaya-Rendon และคณะ<sup>(25)</sup> พบว่าระยะเวลาการฉายรังสียูวีเพื่อปรับสภาพพื้นผิวมีความแตกต่างกัน ในการศึกษา

ครั้งนี้กำหนดให้ฉายรังสียูวีที่ระยะเวลา 1, 5, 15 และ 60 นาที ในขณะที่การศึกษาของ Rogaya-Rendon และคณะ<sup>(25)</sup> กำหนดให้ฉายรังสียูวีที่ระยะเวลา 1, 10, 60 นาที และ 24 ชั่วโมง สาเหตุที่กำหนดระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้รังสียูวีจากหลอดยูวีซีมาเพื่อเพิ่มค่าการยึดติดบริเวณรอยต่อระหว่างฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินโพลีเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนกับโพลีเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็นอะคริลิกเรซินชนิดที่ใช้ซ่อมรอยแตกของฐานฟันเทียม ซึ่งต้องการความรวดเร็วและความสะดวกในการใช้งานข้างแก้อี้ทำฟัน ผู้วิจัยมีความเห็นว่ระยะเวลา 1 ถึง 15 นาที เป็นระยะเวลาที่สามารถยอมรับได้ในการทำงานในคลินิก จึงกำหนดระยะเวลาการศึกษาที่ 1 นาที 5 นาที และ 15 นาที ส่วนที่ระยะเวลา 60 นาที ผู้วิจัยต้องการศึกษาว่าการเพิ่มระยะเวลาการฉายรังสีจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวอย่างไร โดยการศึกษาี้ผู้วิจัยไม่ต้องการเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระหว่างสองการทดลอง เนื่องจากทั้งสองการศึกษาทดลอง ในวัสดุที่แตกต่างกัน (โพลีเมทิลเมทาคริเลตในการศึกษานี้ และไดเมทาคริเลตในการศึกษาของ Rogaya-Rendon และคณะ<sup>(25)</sup>) และวิธีทดสอบค่าแรงยึดติดที่แตกต่างกัน (ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวและความแข็งแรงยึดเหนี่ยว) ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถนำค่าแรงยึดที่ได้จากทั้งสองการศึกษามาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง แต่สามารถเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแรงยึดติดเมื่อฉายรังสียูวีซีที่ระยะเวลาการต่างๆ ได้ โดยเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวจากค่าการศึกษานี้ พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีซีเป็นเวลา 1 นาที และ 5 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่กลุ่มอื่นๆ โดย ที่ค่าความแข็งแรงยึดของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายรังสีเป็น 15 นาที และ 60 นาที พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวกลับลดลงจนมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิว รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าแรงยึดติดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงแรก และคงที่อยู่วะยะหนึ่งก่อนลดลงจนมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

จากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแรงยึดเหนี่ยวของซีฟันเทียมเรซินอะคริลิกกับฐานฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนจากการศึกษาของ Rogaya-Rendon และคณะ<sup>(25)</sup>

จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแรงยึดติดที่ได้จากการศึกษานี้ สรุปได้ว่าระยะเวลาการฉายรังสียูวีซีเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว โดยปริมาณรังสียูวีซีจะสัมพันธ์กับปริมาณการสลายตัวบริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ซึ่งมีอิทธิพลต่อการยึดติดจากการศึกษาของ Eve และ Mohr<sup>(31)</sup> และ Caykara และ Güven<sup>(32)</sup> สรุปได้ว่า ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงและเปราะเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากกระบวนการการสลายตัวทางเคมีที่เกิดจากแสงที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการฉายรังสีโดยพลังงานจากอนุภาคโฟตรอนทำให้สายโซ่ในโมเลกุลหลักฉีกขาด และทำให้หมู่คาร์บอนเมทอกซีซึ่งต่ออยู่กับสายโมเลกุลหลักถูกตัดออกส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ลดลงในช่วงแรกของการฉายรังสีและมีความแข็งแรงและเปราะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายรังสี

## บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของระเบียบวิธีวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า การปรับสภาพพื้นผิวอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนโดยการฉายรังสียูวีซี จากหลอดยูวีสำหรับฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัด ที่เวลา 1 นาที และ 5 นาที สามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนและอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ. ทพ. เทพรัตน์ เหมาลีลากุล เป็นอย่างสูงที่สละเวลาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกแบบวิธีการทดลองและการใช้เครื่องทดสอบสากล และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุกๆ ด้าน งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการทำวิจัยสำหรับ



อาจารย์ที่ปรึกษาหลักในงานวิจัยของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรชั้นสูง จากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2553

### เอกสารอ้างอิง

1. Beyli MS, Von Fraunhofer JA. An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures. *J ProsthetDent* 1981; 46: 238-241.
2. Darbar UR, Huggett R, Harrison A. Denture fracture-a survey. *Br Dent J* 1994; 176: 342-345.
3. Stipho HD, Stipho AS. Effectiveness and durability of repaired acrylic resin joints. *J Prosthet Dent* 1987; 58: 249-253.
4. Polyzois GL, Andreopoulos AG, Lagouvardos PE. Acrylic resin denture repair with adhesive resin and metal wires: Effects on strength parameters. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 381-387.
5. Berge M. Bending strength of intact and repaired denture base resins. *Acta Odontol Scand* 1983; 41: 187-191.
6. Dyer RA, Howlett JA. Dimensional stability of denture bases following repair with microwave resin. *J Dent* 1994; 22: 236-241.
7. Stanford JW, Burns CL, Paffenbarger GC. Self-curing resins for repairing dentures: some physical properties. *J Am Dent Assoc* 1955; 51: 307-315.
8. Shen C, Colaizzi FA, Birns B. Strength of denture repairs as influenced by surface treatment. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 844-848.
9. Ward JE, Moon PC, Levine RA, Behrendt CL. Effect of repair surface design, repair material, and processing method on the transverse strength of repaired acrylic denture resin. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 815-820.
10. Seo RS, Neppelenbroek KH, Filho JNA. Factors affecting the strength of denture repairs. *J Prosthodont* 2007; 16: 302-310.
11. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transvers strength of repaired heat-polymerized resin. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 639-643.
12. Sarac YS, Sarac D, Kulunk T, Kulunk S. The effect of chemical surface treatments of different denture base resins on the shear bond strength of denture repair. *J ProsthetDent* 2005; 94: 256-266.
13. Shimizu H, Ikuhama T, Hayakawa E, Tsue F, Takahashi Y. Effect of surface preparation using ethyl acetate on the repair strength of denture base resin. *Acta Odontol Scand* 2008; 64: 159-163.
14. Minami H, Suzuki S, Minesaki 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 J*. 2004; 91: 164-170.
15. Jagger RG, al-Athel MS, Jagger DC and Vowles RW. Some variables influencing the bond strength between PMMA and a silicone denture lining material. *Int J Prosthodont* 2002; 15:55-88.
16. Curtis DA, Eggleston TL, Marshall SJ and Watanabe LG. Shear bond strength of visible-light cured resin relative to heat-cured resin. *Dent Mater* 1989; 5:314-318.
17. Takahashi Y and Chai J. Assessment of shear bond strength between three denture relined materials and a denture base acrylic resin. *Int J Prosthodont* 2001; 14 :531-535.

18. Jacobsen NL, Mitchell DL, Johnson DL and Holt RA. Lased and sandblasted denture base surface preparations affecting resilient liner bonding. *J Prosthet Dent* 1997; 78 :153-158.
19. Shen C, Colaizzi FA and Birns B. Strength of denture repairs as influenced by surface treatment. *J Prosthet Dent* 1984;52: 844-848.
20. Ward JE, Moon PC, Levine RA and Behrendt CL. Effect of repair surface design, repair material, and processing method on the transverse strength of repaired acrylic denture resin. *J Prosthet Dent* 1992; 67:815-820.
21. Vallittu PK, Lassila VP and Lappalainen R. Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transverse strength of repaired heat-polymerized resin. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 639-643.
22. Rached RN and Del-BelCuryAA. Heat-cured acrylic resin repaired with microwave-cured one: bond strength and surface texture. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 370-375.
23. Amin WM, Fletcher AM and Ritchie GM. The nature of the interface between polymethylmethacrylate denture base materials and soft lining materials. *J Dent* 1981; 9: 336-346.
24. Arima T, Nikawa H, Hamada T. and Harsini, Composition and effect of denture base resin surface primers for reline acrylic resins. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 457-462.
25. Loyaga- Rendon PG, Takahashi H, Iwasaki N, Reza F. Effect of ultraviolet light irradiation on bonding of experimental composite resin artificial teeth. *Dent Mater J* 2007; 26: 805-813.
26. Truckenmüller R, Henzi P, et al. Bonding of polymer microstructures by UV irradiation and subsequent welding at low temperatures. *Microsystem Technologies* 2004; 10: 372-374.
27. Truckenmuller R. Henzi P. Herrmann D. Saile V. Schomburg WK. A new bonding process for polymer micro- and nanostructures based on near-surface degradation. Micro Electro Mechanical Systems 2004. 17<sup>th</sup> IEEE International Conference on MEMS2004; 761- 764.
28. Efimenko K, Wallace WE, Genzer J. Surface modification of Sylgard-184 poly(dimethyl silicone) network by ultraviolet and ultraviolet/ozone treatment. *J Colloid Interface Sci.* 2002; 254: 306-15.
29. Hillborg H, Tomczak N, Olah A, Schoherr H, Vancso GJ. Nanoscale hydrophobic recovery: a chemical force microscopy study of UV/Ozone treated cross-linked poly (dimethylsiloxane). *Langmuir* 2004; 20: 785-794.
30. MacManus LF, Walzak MJ, McIntyre NS. Study of ultraviolet light and ozone surface modification of polypropylene. *J Polym Sci A: Polym Chem* 1999; 37: 2489-2501.
31. Eve S, Mohr J. Study of the surface modification of the PMMA by UV radiation. *Procedia Engineering* 2009; 1: 237-240.
32. Caykara T, Güven O. UV degradation of poly (methyl methacrylate) and its vinyltriethoxysilane containing copolymers. *Polymer Degradation and Stability* 1999; 65: 225-229.