บทวิทยาการ
Original Article

ผลของเวลาที่ใช้ปรับสภาพด้วยพลาสมาต่อแรงดึงเฉือนระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย กับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว และ การเปียกบนพื้นผิวพอลิเมอร์

Effect of Plasma Treatment Time on Tensile-shear Bond Strength between Fiber-reinforced Composite Post and Flowable Composite Core and Wettability on Polymer Surfaces

พิริยะ ยาวิราช[1], พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์[1], เกษรา ปัทมพันธ์[1], ธีรวรรณ บุญญวรรณ์[2], Hidekazu Takahashi[3], แมนสรวง อักษรนุกิจ[4]
[1]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3]Department of Restorative Science, Tokyo Medical & Dental University, Tokyo, Japan
[4]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Piriya Yavirach[1], Pisaisit Chaijareenont[1], Kassara Pattamapun[1], Dheerawan Boonyawan[2], Hidekazu Takahashi[3], Mansuang Arksornnukit[4]
[1]Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[2]Faculty of Science, Chiang Mai University
[3]Department of Restorative Science, Tokyo Medical & Dental University, Tokyo, Japan
[4]Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok

ชม.ทันตสาร 2553; 31(1) : 67-76
CM Dent J 2010; 31(1) : 67-76

บทคัดย่อ

การปรับสภาพด้วยพลาสมาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยเชิงเทคนิคของวิธีนี้จำเป็นต้องได้รับความกระจ่างโดยเฉพาะระยะเวลาที่ใช้ปรับสภาพ วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมิน ผลของระยะเวลาในการปรับสภาพด้วยพลาสมาต่อการยึดติดระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย กับ คอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว เดือยสองชนิด คือ เดือยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานของเมทริกซ์เป็นเมทา คริเลต (FRC Postec) กับที่มีส่วนประกอบพื้นฐานของเมทริกซ์เป็น เรซิน อิปอกซี (DT Light post)

Abstract

Plasma treatment is an alternative way in improving bonding properties of fiber-reinforced post. However, technical parameters of this treatment need to be clarified, especially treatment time. The purpose of this study was to evaluate the effect of plasma treatment time on adhesion between fiber-reinforced post and a flowable composite core. Two types of post, methacrylate-based matrix (FRC Postec) and epoxy resin-based matrix (DT Light post) were treated with the mixture of Helium and Nitrogen

ถูกปรับสภาพด้วย ฮีเลียมผสมกับไนโตรเจนพลาสมา ($He+N_2$) โดยใช้เครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุ ในระยะเวลาที่แตกต่างกันก่อนนำมายึดติดกับคอมโพสิตชนิดเหลวที่มีส่วนประกอบพื้นฐานคือเมทาคริเลต ชิ้นงานถูกทดสอบด้วยการดึงโดยใช้เครื่องทดสอบสากล การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวชี้ให้เห็นว่า เวลาที่มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพเดือย FRC Postec และ DT Light คือ 10 และ 15 นาทีตามลำดับ คุณสมบัติการยึดติดของเดือยทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาปรับสภาพด้วยพลาสมานานขึ้น มุมสัมผัสแอดแวนซิงของหยดน้ำบนพอลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นเมทาคริเลต และ อิปอกซี เรซิน มีค่าลดลงเมื่อเวลาปรับสภาพด้วยพลาสมานานขึ้น

คำสำคัญ: เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย แรงดึงเฉือน การปรับสภาพด้วยพลาสมา มุมสัมผัส

($He+N_2$) plasma using a radiofrequency generator with various times before bonding to flowable methacrylate-based composite. Pull-out tests were performed using a universal testing machine. One-way ANOVA revealed that the best plasma treatment time for FRC Postec and DT Post was 10 and 15 minutes respectively. The adhesive properties of both posts tend to degrade with longer plasma treatment time. Water advancing contact angles on methacrylate-based polymer and epoxy resin-base polymer were decreased as the plasma treatment time was increased.

Keywords: Fiber-reinforced composite post, tensile-shear bond strength, plasma treatment, contact angle

บทนำ

ปัจจุบันการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วหรือควอทซ์ ร่วมกับการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจาก ให้ความสวยงามเมื่อใช้ร่วมกับครอบฟันเซรามิคล้วน[1] (all ceramic crown) ลดการแตกของรากฟัน[2] ลดเวลาในการรักษา และสามารถรื้อได้ง่าย[3] เดือยเสริมเส้นใยแก้วหรือควอทซ์ประกอบด้วยตัวเส้นใยประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และล้อมรอบด้วยพอลิเมอร์ซึ่งส่วนมากมักได้แก่ พอลิเมอร์เมทริกซ์ของเมทาคริเลต (methacrylate base) หรือเรซินอีปอกซี (epoxy resin) ทำให้โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) มีขนาดใกล้เคียงกับเนื้อฟัน[4] และเรซินคอมโพสิต[5] เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ยึดเดือยชนิดนี้กับคลองรากฟันและเรซินคอมโพสิตแกนฟัน (resin composite for core build-up) ทำให้เกิดลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน (monobloc)[6] อย่างไรก็ตามปัญหาที่ยังพบได้ในการบูรณะชนิดนี้ได้แก่ การหลุดของเดือยจากคลองรากฟันเนื่องจากความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ กับ เดือยฟัน[7,8] ร่วมกับขาดการยึดติดที่มีประสิทธิภาพระหว่างเรซินคอมโพสิตแกนฟัน กับเดือยฟัน[9] ซึ่งเกิดจากการที่เรซิน เมทริกซ์ของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่ายที่แน่นหนา (highly cross-linking) และปราศจากกลุ่มฟังชันนอล (functional group) ที่สามารถทำปฏิกริยากับกลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate group) ในเรซิน คอมโพสิต จึงขาดการยึดติดทางเคมีระหว่างผิวของวัสดุทั้งสองชนิด[10] ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามปรับสภาพพื้นผิวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยเพื่อให้มีคุณสมบัติการยึดติดดีขึ้นด้วยวิธีเชิงกล[11,12] หรือการใช้สารเคมี[9,13,14] แต่พบว่าอาจทำให้ผิวเดือยคอมโพสิตขรุขระมากเกินไป ในบางกรณีอาจกัดกร่อนจนทำให้ปริมาตรเส้นใยแก้วหรือควอทซ์ของเดือยลดลง เป็นผลให้เดือยลดความแข็งแรง[11] ในกรณีที่ใช้สารเคมี เช่น กรดไฮโดรฟลูออริค (hydrofluoric acid) อาจทำให้เกิดความขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอและไม่สามารถทำซ้ำได้[14] และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้[15]

ในวงการอุตสาหกรรม การใช้พลาสมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติด (adhesive property) ของพื้นผิวพอ

ลิเมอร์เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง[16] เนื่องจากพลาสมาสามารถทำความสะอาดและกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนผิวพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถปรับเปลี่ยนส่วนประกอบพื้นผิวโดยการแตกแรงยึด (bond breaking) ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ จากนั้นจึงทำปฏิกริยากับอานุภาคในพลาสมา ทำให้คุณสมบัติการเปียกน้ำบนพื้นผิว (surface wettability) ดีขึ้น สามารถเปลี่ยนโครงสร้างพื้นผิว (surface topography) โดยการกัดกร่อน (etching) หรือการเปลี่ยนองค์ประกอบพื้นผิว (decomposition) ด้วยการเคลือบผิว[17,18] รวมทั้งสามารถทำให้เกิดชั้นตาข่าย (cross-linking interface sublayer) ใต้ต่อชั้นผิวพอลิเมอร์[17] แต่คุณสมบัติที่สำคัญของพลาสมาคือการปรับสภาพที่เกิดขึ้นจะเกิดเฉพาะผิวบนสุดของพอลิเมอร์โดยไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านในของพอลิเมอร์[19]

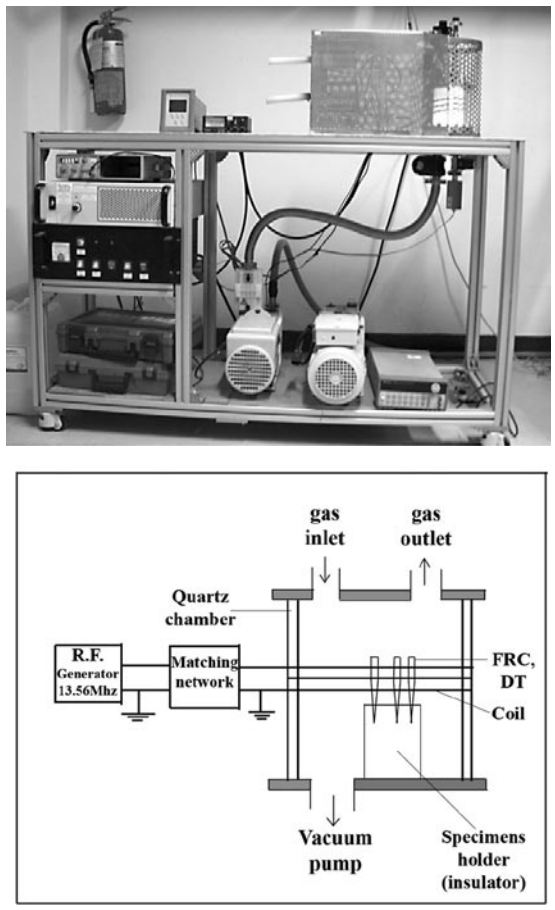
พลาสมาคือ ตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เป็นแก๊สที่มีประจุ โดยทั่วไปแล้วพลาสมาประกอบด้วยประจุบวกและประจุลบที่มีความหนาแน่นเท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าเป็นกลุ่มของ อิเลคตรอน ไอออน โมเลกุล อนุมูลอิสระและอะตอมในสถานะกระตุ้น[20] พลาสมาแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น อาร์กอนพลาสมา (Argon plasma) กระตุ้นให้เกิดชั้นตาข่ายใต้ต่อชั้นผิวพอลิเมอร์ ฟลูออรีนพลาสมา (fluorine plasma) ช่วยลดพลังงานพื้นผิว (surface energy) พอลิเมอร์ และ ไฮโดรเจนผสมกับอาร์กอนพลาสมาสามารถกำจัดออกไซด์ (oxide) ออกจากผิวโลหะได้[21] ในวงการทันตกรรมได้นำพลาสมาปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ เช่น การยึดฐานฟันเทียมชนิดพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน (heat cure polymethyl methacrylate) กับพอลิเมทิล เมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self cure methyl methacrylate) และพบว่าพลาสมาสามารถเพิ่มแรงยึดติดอย่างมีนัยสำคัญ[22] และจากการศึกษาการใช้แก๊สหลายๆ ชนิดพบว่า การใช้พลาสมาที่ผลิตจากแก๊สผสมระหว่าง ฮีเลียม 20 เปอร์เซ็นต์ กับ ไนโตรเจน 80 เปอร์เซ็นต์ ปรับสภาพผิวเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย 10 นาทีก่อนยึดกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว สามารถเพิ่มแรงยึดติด จาก 13.85 เมกะปลาสคาล เป็น 22.80 เมกะปลาสคาล[23] โดยปราศจากการใช้สารยึดติดใดๆ อย่างไรก็ตามการใช้พลาสมาให้มีประสิทธิภาพยังขึ้นกับปัจจัยทางเทคนิคหลายๆ ประการ เช่นความดันแก๊ส[24] กำลังคลื่นวิทยุ[25] และ ระยะเวลาในการปรับสภาพ[26] ซึ่งการใช้เวลาที่นานเกินไปจะทำให้คุณสมบัติพื้นผิวพอลิเมอร์เสื่อมลง โดยเกิดจากการสะสมของส่วนที่เหลือของพื้นผิวที่เสื่อมสภาพ[27] (degradation remnants) จากการศึกษานำร่องของผู้วิจัยพบว่า การใช้พลาสมาที่ ผลิตจากแก๊สผสมระหว่าง ฮีเลียม 20 เปอร์เซ็นต์ กับ ไนโตรเจน 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดันแก๊ส 22.66 x 10^{-6} เมกะปลาสคาล กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ ในเวลา 10 นาที ทำให้แรงยึดติดระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่มีพอลิเมอร์เมทริกซ์เป็นเมทาคริเลต กับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับการใช้ความดันแก๊สและกำลังคลื่นวิทยุค่าต่างๆ กัน ในขณะที่พลาสมาชนิดเดียวกัน ที่ความดันแก๊สเดียวกัน ถ้าใช้กำลังคลื่นวิทยุ 50 วัตต์ในเวลา 10 นาที ให้แรงยึดติดระหว่างเดือยเสริมเส้นใยควอทซ์ที่มีพอลิเมอร์เมทริกซ์เป็นเรซินอีปอกซี กับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ความดันแก๊สและกำลังคลื่นวิทยุค่าต่างๆ อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับสภาพผิวเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ทำให้มีแรงยึดติดดีที่สุดยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้พลาสมาปรับสภาพเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยก่อนยึดกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวต่อแรงยึดระหว่างสองวัสดุ ตลอดจนพลาสมามีผลต่อสภาวะการเปียกน้ำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยอย่างไรเมื่อแปรเปลี่ยนระยะเวลาของการปรับสภาพ โดยมีสมมุติฐานว่าง (null hypothesis) ของการศึกษาคือ ระยะเวลาในการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาไม่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวและสภาวะการเปียกน้ำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่มีพอลิเมอร์เมทริกซ์เป็นเมทาคริเลต เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. (ยี่ห้อ FRC Postec posts®: Batch number L47590, Ivoclar

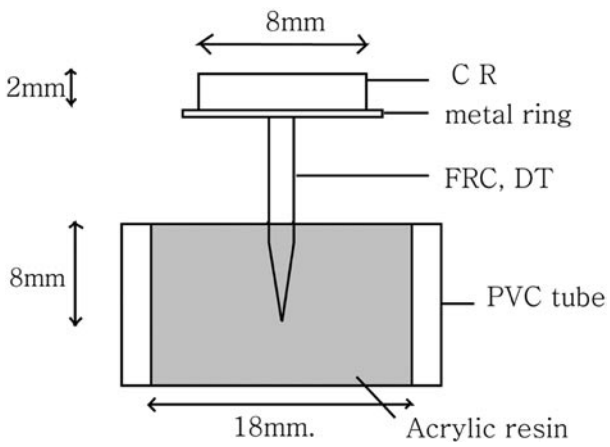
Vivadent, Schaan, Liechtenstein; ต่อไปจะเรียกว่า FRC) และ เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอทซ์ที่มีพอลิเมอร์เมทริกเป็นเรซิน อีปอกซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. (ยี่ห้อ DT Light posts® : Batch number 093730810, RTD, St. Egreve, France; ต่อไปจะเรียกว่า DT) จำนวนอย่างละ 36 แท่ง ถูกแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มด้วยวิธีสุ่ม (simple random sampling without replacement) กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่เดือยไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวใดๆ เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2-6 นำมาปรับสภาพด้วยพลาสมาเป็นเวลา 3, 5, 10, 15, 30 นาทีตามลำดับ นำส่วนปลายด้านที่สอบของเดือยที่จะปรับสภาพด้วยพลาสมาแต่ละกลุ่มๆ ละ 6 แท่ง มายึดกับตัวจับเดือยซึ่งวางอยู่กึ่งกลางถังควอทซ์ทรงกระบอกของเครื่องกำเนิดพลาสมาความดันต่ำ (Low pressure plasma generating machine) (รูปที่ 1) จากนั้นดูดอากาศออกจากถังควอทซ์จนได้ความดันตั้งต้น (base pressure) 1.87×10^{-6} เมกะปลาสคาล แล้วปล่อยแก๊สผสมระหว่างฮีเลียมร้อยละ 20 กับ ไนโตรเจนร้อยละ 80 เข้าไปในถังควอทซ์ด้วยอัตรา 6 ลบ.ซม./นาทีจนได้ความดันคงที่ที่ 22.66×10^{-6} เมกะปลาสคาล จากนั้นจึงปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่ล้อมรอบกึ่งกลางถังควอทซ์ ด้วยกำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ สำหรับเดือย FRC และ 50 วัตต์ สำหรับเดือย DT เป็นเวลา 3, 5, 10, 15, 30 นาที สำหรับกลุ่ม 2, 3, 4, 5, 6 ตามลำดับ

หลังจากนั้นเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแต่ละตัวถูกเก็บไว้ในขวดแก้วที่มีฝายางปิด ที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ 12 ชั่วโมงหลังจากที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา เดือยทุกตัวในการทดลองนี้ถูกนำมายึดด้วยคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว (ยี่ห้อ MultiCore Flow® : Batch number K 44769, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) รอบส่วนปลายบนที่เป็นทรงกระบอกของเดือยให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. และหนา 2 มม. ด้วยการใช้เบ้าโลหะเป็นตัวช่วยให้เดือยอยู่ตรงจุดศูนย์กลาง แล้วใช้เครื่องฉายแสง (Elipar Trilight, 3M/ESPE, Seefeld, Germany) เร่งการเกิดพอลิเมอร์นาน 40 วินาที ด้วยความเข้มแสง 600 มิลลิวัตต์/ ซม^2. นำแผ่นแหวนโลหะชนิดบางบริเวณกึ่งกลางเสียบตั้งฉากกับเดือยเพื่อรองรับด้านใต้ของแกนฟันคอมโพสิตชนิดเหลว จากนั้นนำส่วนปลายด้านสอบของเดือยไปจัดตำแหน่งให้อยู่กึ่งกลางท่อพีวีซี (polyvinyl chloride: PVC) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. และสูง 10 มม. โดยใช้เบ้าโลหะเป็นตัวช่วย และจุ่มปลายเดือยลงในท่อลึก 8 มม. เทเรซินอะคริริกเหลวลงไปให้เต็มท่อพีวีซี รอจนเรซินอะคริลิกแข็งตัว จึงนำชิ้นงานออกจากเบ้า ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 *รูปและแผนผังของเครื่องกำเนิดพลาสมาความดันต่ำโดยมีเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย (FRC, DT) อยู่บนตัวจับเดือยซึ่งอยู่กึ่งกลางถังควอทซ์ทรงกระบอกของเครื่องกำเนิดพลาสมาแรงดันต่ำ*

Figure 1 *Picture and schematic illustration of low pressure plasma generator with fiber-reinforced composite post (FRC, DT) on the specimen holder at the center of quartz chamber of the low pressure plasma generator*

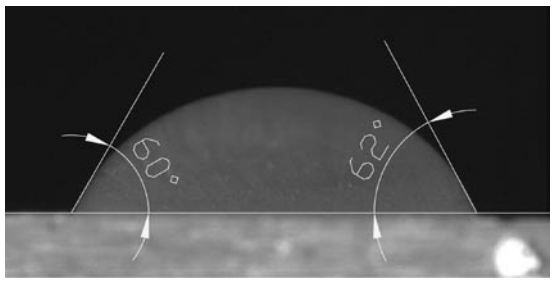


รูปที่ 2 *แสดงแบบร่างชิ้นงานที่เสร็จเรียบร้อย โดยคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว (CR) ยึดส่วนบนของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยและมีแผ่นแหวนโลหะบางรองด้านใต้ ส่วนปลายด้านสอบของเดือย จุ่มอยู่ในเรซินอะคริลิกที่มีท่อพีวีซี (PVC) ห่อหุ้ม*

Figure 2 *Schematic illustration of specimen with flowable composite core (CR) bond to the coronal end of fiber-reinforced composite post and supported by a thin metal ring, the apical end of the post attached with the acrylic resin in the PVC tube.*

ชิ้นงานที่เตรียมเสร็จแล้วถูกเก็บในขวดแก้วที่มีฝาปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนถูกทดสอบด้วยการดึง (pull-out test) โดยท่อพีวีซีของชิ้นงานถูกจับให้อยู่กับที่ด้วยตัวจับที่ออกแบบมาเฉพาะซึ่งติดกับส่วนล่างของเครื่องทดสอบสากล (Lloyd, LR10K, Fareham, UK) ในขณะที่แผ่นแหวนโลหะที่รองรับแกนฟันคอมโพสิตชนิดเหลวถูกเกี่ยวกับตัวจับที่ออกแบบพิเศษให้พอดีกับเดือย ซึ่งตัวเกี่ยวนี้ติดกับส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบสากล ชิ้นงานถูกดึงด้วยอัตราเร็ว 1 มม./นาที จนกว่าแกนฟันคอมโพสิตชนิดเหลวหลุดออกจากเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย แรงดึงเฉือนสูงสุด (นิวตัน) หารด้วยพื้นที่ของการยึดติด (ม^2.) เพื่อให้ค่าเป็นเมกะปลาสคาลสำหรับการคำนวณทางสถิติ

สำหรับชิ้นงานที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติการเปียกน้ำบนพื้นผิวพอลิเมอร์ ถูกเตรียมด้วยการใช้ เมทาคริเลต-เบสเรซิน (urethane dimethacrylate, Nagani chemical Inc., Japan) เทในเบ้าซิลิโคนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. และหนา 2 มม. จำนวน 36 ชิ้น แล้วกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ด้วยแสงเป็นเวลา 40 วินาที ในขณะที่เรซินอิปอกซี (diglycyl ether of bisphenol and diethylene-triamine, Aldrich chemical company Inc., WI, USA) ก็เตรียมในลักษณะเดียวกันแต่ต้องทิ้งไว้ให้เกิดพอลิเมอร์เต็มที่เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำชิ้นงานนี้ไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 280 และ 600 จนได้ความหยาบของพื้นผิวประมาณ 10-20 ไมครอน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหยาบของผิวเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย[28] ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (BioSonic, Coltene, Whaledent, USA) นาน 30 นาที แล้วปล่อยให้แห้ง 1 วัน แบ่งชิ้นงานออกเป็นกลุ่มๆ ละ 3 ชิ้นเช่นเดียวกับกลุ่มเดือย โดยกลุ่มที่ 2 ถึง 6 นำไปปรับสภาพผิวด้วยพลาสมา เป็นเวลา 3, 5, 10, 15, 30 นาที ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติการเปียกบนพื้นผิวพอลิเมอร์ทำโดยหยดน้ำกลั่นด้วย ไมโครปิเปต (Socorex, Ecublens, Lausanne, Switzerland) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร บนชิ้นงานแต่ละชิ้น ให้ระยะห่างของไมโครปิเปต กับชิ้นงานคงที่ 2 ซม. ถ่ายรูปหยดน้ำแต่ละหยดด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิตอลขนาดความยาวโฟกัสของเลนซ์ 125 มม. ภายในเวลา 10 วินาทีหลังจากหยด โดยให้ระยะระหว่างหยดน้ำกับกล้องคงที่คือ 35 ซม. ตลอดการทดลอง นำภาพที่ได้ไปวัดมุมสัมผัสแอดแวนซิง (advancing contact angle) ทั้ง 2 ข้างของหยดน้ำด้วยโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD 2007) (Autodesk Inc., California, USA) (รูปที่ 3) นำค่าเฉลี่ยของมุมที่ได้ของชิ้นงานในแต่ละกลุ่มมาพลอตกราฟระหว่างมุมสัมผัสแอดแวนซิงและระยะเวลาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา



รูปที่ 3 *แสดงการวัดมุมสัมผัสแอดแวนซิงทั้ง 2 ข้างของหยดน้ำด้วยโปรแกรม ออโตแคด*

Figure 3 *Illustration of two advancing contact angles of water droplet by AutoCAD program*

ผลการวิจัย

ค่าแรงดึงเฉือน (เมกะปลาสคาล) ของเดือย FRC และ DT แสดงในตารางที่ 1 และ กราฟแนวโน้มแรงดึงเฉือนของเดือย FRC และ DT เมื่อเวลาปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 *ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเฉือน (เมกะปลาสคาล) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ในวงเล็บ) ของเดือย FRC และ DT ในแต่ละกลุ่ม*

Table 1 *Mean of tensile-shear bond strength values in MPa and (standard deviations) of FRC and DT in each group*

	กลุ่มไม่ปรับสภาพ	ระยะเวลาในการปรับสภาพด้วยพลาสมา				
		3 นาที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	30 นาที
FRC	13.85 (0.63)^{a}	23.48 (3.08)^{b}	23.10 (3.35)^{b}	29.37 (3.36)^{c}	25.53 (1.40)^{b,c}	24.02 (2.88)^{b}
DT	13.90 (1.26)^{1}	21.42 (3.51)^{2}	26.60 (2.09)^{2}	28.35 (2.60)^{2}	32.68 (1.37)^{3}	31.80 (2.47)^{3}

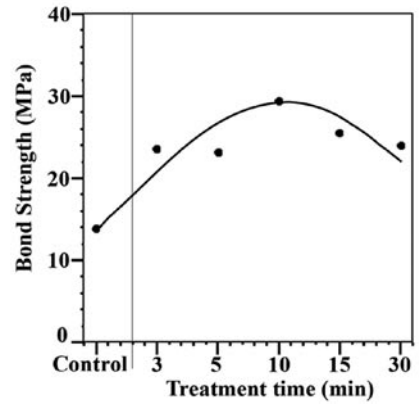
อักษรหรือเลขตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Differences in letter or number of superscript denote significant differences at $p < 0.05$

จากการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (1-way ANOVA) ในเดือย FRC พบว่า ทุกกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา มีค่าแรงดึงเฉือนมากกว่าค่าแรงดึงเฉือนในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และแรงดึงเฉือนที่เดือยผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมานาน 10 นาที มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมานาน 15 นาที

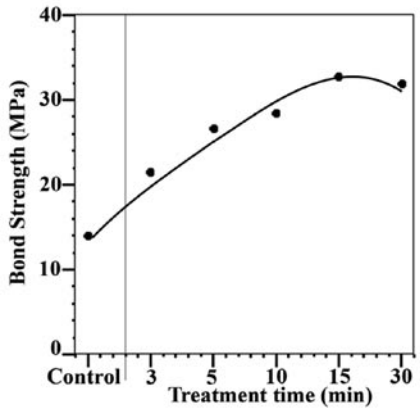
สำหรับเดือย DT พบว่า ทุกกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมามีค่าแรงดึงเฉือนมากกว่าค่าแรงดึงเฉือนในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และแรงดึงเฉือนที่เดือยผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมานาน 15 นาที มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมานาน 30 นาที

กราฟระหว่างมุมสัมผัสแอดแวนซิงของหยดน้ำบนแผ่นเมทาคริเลตเบสเรซิน และ เรซินอิปอกซี กับระยะเวลาที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ลดลงจนมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อใช้เวลาปรับสภาพพื้นผิวนาน 30 นาที (แสดงในรูป 6 และ 7 ตามลำดับ)



รูปที่ 4 *กราฟแนวโน้มแรงดึงเฉือนของเดือย FRC เมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น*

Figure 4 *Curve-fit of tensile-shear bond strength of FRC and plasma treatment time*

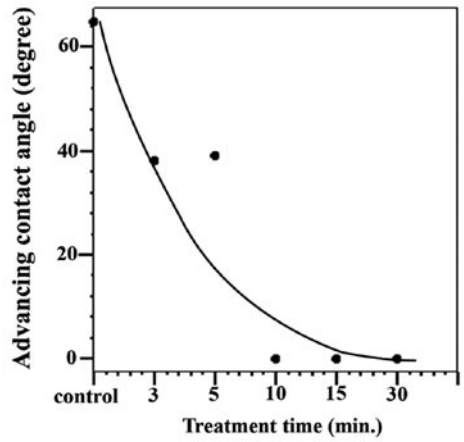


รูปที่ 5 *กราฟแนวโน้มแรงดึงเฉือนของเดือย DT เมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น*

Figure 5 *Curve-fit of tensile-shear bond strength of DT and plasma treatment time*

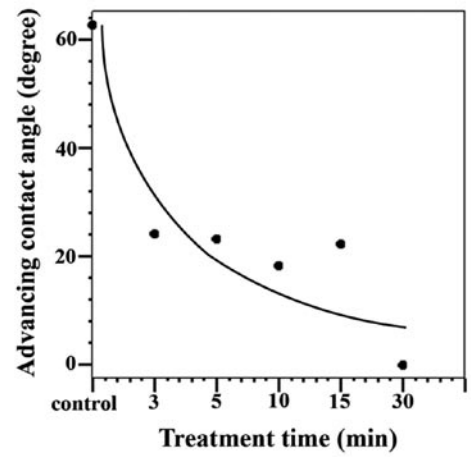
บทวิจารณ์

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าแรงดึงเฉือนของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยทั้ง 2 ยี่ห้อที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ ของการเพิ่มเวลา แล้วจึงถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นก็จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Hall และคณะ ในปี ค.ศ. 2007[24] โดยให้เหตุผลว่าการที่แรงยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นๆ เนื่องจาก การสร้าง



รูปที่ 6 *กราฟแนวโน้มมุมสัมผัสแอดแวนซิงของหยดน้ำบนแผ่นเมทาคริเลตเบสเรซิน เมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น*

Figure 6 *Curve-fit of advancing contact angle of water droplet on methacrylate-base resin plate with plasma treatment time*



รูปที่ 7 *กราฟแนวโน้มมุมสัมผัสแอดแวนซิงของหยดน้ำบนแผ่นเรซินอิปอกซี เมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น*

Figure 7 *Curve-fit of advancing contact angle of water droplet on epoxy resin plate with plasma treatment time*

ชั้นตาข่ายของพอลิเมอร์อย่างรวดเร็ว และมีการกำจัดเศษสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular fractions) ออกไป นอกจากนี้ Liston และคณะ ในปี ค.ศ. 1993[18] ได้รายงานว่า แก๊สฮิเลียมที่แตกตัวเป็นพลาสมาจะแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตในภาวะสุญญากาศ (vacuum ultraviolet) ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างชั้นตาข่ายใต้ต่อชั้นพื้นผิวพอลิเมอร์ ชั้นตาข่ายนี้เป็นตัวกั้นไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจากด้านในพอลิเมอร์ออกมาสู่พื้นผิวด้านนอก ในทางตรงข้ามชั้นนี้ยังเป็นตัวลดการปรับตัวของอนุภาคที่มีขั้วครึ่งหนึ่ง (polar moieties) ที่พยายามเคลื่อนตัวจากพื้นผิวด้านนอกไปสู่ด้านในของพอลิเมอร์ ทำให้พลังงานที่พื้นผิวยังคงอยู่ได้ จึงมีการไหลแผ่ของวัสดุที่นำมายึดได้ดีขึ้น รวมทั้งอานุภาคที่มีพลังงานในฮิเลียมพลาสมายังระดมยิง (bombardment) ผิวของพอลิเมอร์ เกิดการแตกของสายพอลิเมอร์ ซึ่งในการทดลองนี้ กลุ่มฟังชันนอลของไนโตรเจนที่เกิดจากพลาสมาไนโตรเจน สามารถเข้าไปมีพันธะทางเคมีกับสายพอลิเมอร์ที่แตกออกจากกัน สันนิษฐานได้ว่ากลุ่มฟังชันนอลของไนโตรเจนที่พื้นผิวของเดือยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพลาสมา สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มฟังชันนอลในคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว จึงให้แรงยึดติดดีขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาการปรับสภาพเพิ่มขึ้น พลังงานที่ให้ต่อเนื่องสู่ระบบก่อให้เกิดการตัดสายพอลิเมอร์ (chain scission) เพิ่มขึ้น และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก็แพร่กระจายมาสู่ผิวมากขึ้น โดยปกติสายพอลิเมอร์ที่เป็นเสมือนแกนปฐมภูมิ (primary nucleus) สำหรับให้มีการเกาะเกี่ยวระหว่างมอนอเมอร์ ต้องสามารถหลอมละลาย (redissolve) แล้วสร้างกลับมาใหม่ได้ (reform) แต่ในกรณีที่สายพอลิเมอร์ถูกตัดให้สั้นเกินไป จะเกิดเฉพาะการหลอมละลายอย่างเดียว[29] ประกอบกับมีการแพร่กระจายของอนุมูลอิสระ (free radical) ที่อยู่บริเวณผิวไปสู่ด้านในของพอลิเมอร์ ปรากฏการณ์เหล่านี้น่าจะเป็นสาเหตุให้การสร้างพันธะระหว่างกลุ่มฟังชันนอลของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย กับ คอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวลดลง ซึ่งผลของการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของ Rusu และคณะในปี ค.ศ. 2007[29] ที่ใช้อาร์กอนพลาสมาปรับสภาพพอลิเอทิลลิน เทเรฟทาเลต (polyethelene terephthalate) และพบว่า การปรับสภาพพื้นผิวพอลิเมอร์ด้วยพลาสมาที่พลังงานระดับต่ำ (mild plasma treatment) ทั้งในแง่ กำลังคลื่นวิทยุ ความดันแก๊ส และระยะเวลาในการปรับสภาพพื้นผิว ทำให้เกิดการอ๊อกซิเดชัน (oxidation) ที่ผิวอย่างเหมาะสม แต่เมื่อเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดผลตรงกันข้ามของการอ๊อกซิเดชัน เนื่อง

จากมีการกัดกร่อนบริเวณพื้นผิวที่มากเกินไปจากการระดมยิงของไอออนที่มีพลังงาน (energetic ion) ในพลาสมา

สำหรับมุมสัมผัสแอดแวนซิงของหยดน้ำบนแผ่นเมทาคริเลตเรซิน และ เรซินอิปอกซี พบว่ามุมสัมผัสแอดแวนซิงลดลงเมื่อเวลาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเพิ่มขึ้น บ่งบอกได้ว่ายิ่งเวลาปรับสภาพนานขึ้น คุณสมบัติการเปียกน้ำบนพื้นผิวจะมากขึ้น ฉะนั้นการไหลแผ่ของวัสดุที่นำมายึดดีขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับแผ่นเมทา คริเลต-เรซิน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับเดือย FRC พบว่าเมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวนานกว่า 10 นาที มุมสัมผัสแอดแวนซิงมีค่าเป็นศูนย์ไปตลอด โดยหลักการแล้วค่าแรงดึงเฉือนของเดือยน่าจะสูงและคงที่ แต่พบว่าค่าแรงดึงเฉือนของเดือยกลับเริ่มลดลงเมื่อเวลาเวลาปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเกิน 10 นาที ส่วนเรซินอิปอกซี ค่ามุมสัมผัสแอดแวนซิงมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อเวลาปรับสภาพพื้นผิวเท่ากับ 30 นาที ซึ่งค่าแรงดึงเฉือนของเดือย DT น่าจะสูงที่สุด แต่ปรากฏว่าแรงดึงเฉือนกลับเริ่มลดลง จึงอาจกล่าวได้ว่าค่ามุมสัมผัสแอดแวนซิงไม่สามารถใช้คาดการณ์แรงยึดติดของผิวเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวได้ เนื่องจากพลังงานพื้นผิวที่ต้องการสำหรับน้ำและคอมโพสิตแกนฟัน ชนิดเหลวเพื่อการไหลแผ่ที่ดีนั้นแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Loyaga-Rendon และคณะ ในปี ค.ศ. 2007[30] จากผลการทดลองจึง ปฏิเศษสมมุติฐานว่างที่ว่า ระยะเวลาในการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาไม่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวและมุมสัมผัสแอดแวนซิง

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการทดลองครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้พลาสมาของแก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับไนโตรเจน ปรับสภาพเดือย FRC ที่ความดันแก๊ส 22.66 x 10^{-6} เมกะปลาสคาลและกำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ คือ 10 นาที ในขณะที่เดือย DT ที่ใช้ความดันแก๊สเท่ากัน แต่ใช้กำลังคลื่นวิทยุ 50 วัตต์ ควรใช้เวลา 15 นาที จึงจะทำให้แรงดึงเฉือนมีค่าสูงสุด

2. ค่ามุมสัมผัสแอดแวนซิงของน้ำกลั่นบนพื้นผิวพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพลาสมาในเวลาต่างๆกัน ไม่สามารถใช้คาดการณ์แรงยึดติดของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสมฤทัย ตันมา และคุณชาญชัย อุโมงโน ศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาความดันต่ำ ขอขอบคุณบริษัท ยูนิติ้ เด็นทัล จำกัด ที่สนับสนุนเดือยยี่ห้อ FRC Prostec post® และคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวยี่ห้อ MultiCore Flow® ขอบคุณบรัษัท แอ๊คติ-ออน (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนเดือยยี่ห้อ DT Light post®

เอกสารอ้างอิง

1. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-years prospective study. *Int J Prosthodont* 2003; 16:593-596.
2. Kalkan M, Usumez A, Ozturk AN, Belli S, Eskitascioglu G. Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. *J Prosthet Dent* 2006; 96: 41-46.
3. Eskitascioglu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis). *J Endod* 2002; 28: 629-633.
4. Artopoulou II, O'Keefe KL. Materials used in prefabricated post and core systems. A review of the literature. *Tex Dent J* 2006; 123: 358-363.
5. Duret B, Duret F, Reynaud M. Long-life physical property preservation and postendodontic rehabilitation with the composipost. *Compend Contin Educ Dent* 1996; 20: s50-56.
6. Boschian PL, Guidotti S, Pietrabissa R,

Gagliani M. Stress distribution in a post-restored tooth using the three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 690-697.

7. Baldissara P, Zicari F, Valandro LF, Scotti R. Effect of root canal treatments on quartz fiber posts bonding to root dentin. *J Endod* 2006; 32: 985-988.
8. Perdigao J, Gomes G, Lee IK. The effect of silane on the bond strengths of fiber posts. *Dent Mater* 2006; 22: 752-758.
9. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent* 2004; 32: 443-450.
10. Purton DG, Payne JA. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. *Quintessence Int* 1996; 27: 93-97.
11. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K. Effect of surface treatment of prefabricated posts on bonding of resin cement. *Oper Dent* 2004; 29: 60-68.
12. Balbosh A, Kern M. Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. *J Prosthet Dent* 2006; 95: 218-223.
13. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater* 2005; 21: 437-444.
14. Vano M, Goracci F, Monticelli F, et al. The adhesion between fiber posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *Int Endod J* 2006; 39: 31-39.
15. Yang S, Gupta MC. Surface modification of polyethyleneterephthalate by an atmospheric-pressure plasma source. Surface & Coating Technol 2004; 187: 172-176.
16. Lai J, Sunderland B, Xue J, et al. Study on hydrophilicity of polymer surfaces improved by plasma treatment. *Appl Surf Sci* 2006; 252: 3375-3379.
17. Grace JM, Gerenser LJ. Plasma treatment of polymers. *J dispersion Sci Technol* 2003; 24: 305-341.
18. Liston EM, Martinu L, Wertheimer MR. Plasma surface modification of polymers for improved adhesion: a critical review. *J Adhesion Sci Technol* 1993; 7: 1091-1127.
19. Inagaki N. Plasma surface modification and polymer chain ends. J Vac Soc Jpn 2007; 50: 625-628.
20. ศรีเพ็ญ ท้าวตก กระบวนการผลิตพลาสมาเพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติสิ่งทอ (ปีที่ 2) วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547
21. Noh BI, Seok CS, Moon WC, Jung SB. Effect of plasma treatment on adhesion characteristics at interface between underfill and substrate. *Int J Adhes Adhes* 2007; 27: 200-206.
22. Nishigawa G, Maruo Y, Oka M, Oki K, Minaki S. Plasma treatment increased shear bond strength between heat-cured acrylic resin and self-curing acrylic resin. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 1081-1084.
23. Yavirach P, Chaijareenont P, Boonyawan D, et al. Effects of plasma treatment on the shear bond strength between fiber-reinforced composite posts and resin composite for core build-up. *Dent Mater* 2009; 28: 686-692.
24. Hall JR, Westerdahl CAL, Bodnar J, Levi DW. Effect of activated gas plasma treatment time on adhesive bondability of polymers. *J Appl Polym Sci* 1972; 16: 1465-1477.

25. Riccardi C, Barni R, Selli E, et al. Surface modification of poly(ethylene terepthalate) fibers induced by radio frequency air plasma treatment. *Appl Surf Sci* 2003; 211: 386-397.
26. Cvelbar U, Pejovnik S, Mozetie M, Zalar A. Increased surface roughness by oxygen plasma treatment of graphite/polymer composite. *Appl Surf Sci* 2003; 210: 255-261.
27. Hesby RM, Haganman CR, Stanford CM. Effects of radiofrequency glow discharge on impression material surface wettability. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 414-422.
28. Trushkowsky RD. Coronoradicular rehabilitation with a carbon-fiber post. *Compend Contin Educ Dent* 1996; 20: s74-79.
29. Rusu IA, Borcia G, Sayed SO, Sullivan JL. Ar rf plasma effect on polymer surface. Paper read at 28th ICPIG. 15-20 July 2007, at Prague, Czech Republic.
30. Loyaga-Rendon PG, Takahashi H, Iwasaki N, Reza F. Effect of ultraviolet light irradiation on bonding of experimental composite resin artificial teeth. *Dent Mater* 2007; 26: 805-813.

ขอสำเนาบทความที่:

ผศ.พิริยะ ยาวิราช ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Reprint requests:

Assistant Professor Piriya Yavirach, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200.