กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน

เมื่อซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่างชนิดกัน

นาย ดิษพงศ์ ยังเจริญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MICROTENSILE BOND STRENGTH OF SILORANE-BASED RESIN COMPOSITE

REPAIRED WITH DIFFERENT RESIN COMPOSITE

Mr. Disapong Youngcharoen

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Operative Dentistry

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนเมื่อซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่างชนิดกัน
โดย	นายดิษพงศ์ ยังเจริญ
สาขาวิชา	ทันตกรรมหัตถการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุชิต พูลทอง

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชราภรณ์ ทัศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุชิต พูลทอง)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วาสนา พัฒนพีระเดช)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วิทยา พัฒนพีระเดช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดิษพงศ์ ยังเจริญ : กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนเมื่อซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่างชนิดกัน (MICROTENSILE BOND STRENGTH OF SILORANE-BASED RESIN COMPOSITE REPAIRED WITH DIFFERENT RESIN COMPOSITE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ทพ.ดร. สุชิต พูลทอง, 87 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน (ฟิลเทค พี 90 3 เอ็ม อีเอสพีอี) ที่ถูกซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตที่แตกต่างกัน 2 ชนิด และจากการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน 2 แบบ วัสดุที่ใช้ซ่อมแซมคือ วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต (ฟิลเทค แซด 250 3 เอ็ม อีเอสพีอี) และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน การเตรียมพื้นผิวใช้กระดาษทรายที่ความหยาบต่างกัน เตรียมชิ้นงานวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน รูปแผ่นวงกลมที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน โดยการเทอร์โมไซคลิงจำนวน 5,000 รอบ แบ่งกลุ่มการทดลองดังนี้ กลุ่มที่ 1 และ 2 ใช้เรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตในการซ่อมแซม และใช้กระดาษทรายเบอร์ 80 และ 600 ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 และ 4 ใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนในการซ่อมแซม และใช้กระดาษทรายเบอร์ 80 และ 600 ตามลำดับ มีการใช้สารยึดติดในการซ่อมแซมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต และสอดคล้องกับชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ซ่อมแซม ส่วนกลุ่มควบคุม คือกลุ่มที่ไม่ได้รับการซ่อมแซมใดๆ หลังจากเก็บตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือผ่านการเทอโมไซคลิงจำนวน 5,000 รอบ นำชิ้นงานมาเตรียมให้มีรูปร่างนาฬิกาทราย ที่มีพื้นที่หน้าตัดสำหรับการยึดติด ประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 20 ชิ้นต่อกลุ่ม การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคใช้ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง และใช้การทดสอบแทมเฮนส์เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบพหุคูณ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ทุกกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซมมีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม การจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซม ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญ เฉพาะในกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...ทันตกรรมหัตถการ.... ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา..ทันตกรรมหัตถการ.... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..............................
ปีการศึกษา ...2553...

5176110432: MAJOR OPERATIVE DENTISTRY
KEYWORDS : SILORANE / RESIN COMPOSITE / REPAIR / SURFACE TREATMENT / AGING PROCESS

DISAPONG YOUNGCHAROEN: MICROTENSILE BOND STRENGTH OF SILORANE-BASED RESIN COMPOSITE REPAIRED WITH DIFFERENT RESIN COMPOSITE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUCHIT POOLTHONG, Ph.D., 87 pp.

The purpose of this study was to compare microtensile bond strengths (μTBS) of silorane-based composite [Filtek P90, 3M ESPE (SBC)] repaired with two different materials and two different surface treatments. The two materials used to repair SBC were methacrylate-based composite [Filtek Z250, 3M ESPE (MBC)] and SBC. The two different procedures used different polishing abrasives. Circular discs of SBC were fabricated and aged by thermocycling for 5,000 cycles. Groups 1 and 2 used MBC with polishing procedures by 80-grit and 600-grit silicon carbide papers, respectively. Groups 3 and 4 used SBC with polishing procedures by 80-grit and 600-grit silicon carbide papers, respectively. Adhesives were used according to the repaired materials and following manufacturer's instruction. Unrepaired samples of SBC were used as a control group. Resin blocks were stored in 37°C water for 24 hours or aged by thermocycling for 5,000 cycles before the test. Test specimens were sectioned and trimmed to obtain slabs of 1 mm² bonded area for each group (n=20). μTBS was measured with universal testing machine using a crosshead speed of 1.0mm/min. Data were analyzed by two-way ANOVA and Tamhane post-hoc tests (alpha = 0.05). All repaired groups showed significantly lower μTBS than the control group and showed no significant difference in μTBS between each repaired group. Significant influence of the aging time was observed only in repaired group.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Operative Dentistry Student's Signature ....

Field of Study : Operative Dentistry Advisor's Signature ....

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันและผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ทพ.ดร. สุชิต พูลทอง อาจารย์ ทพญ.มุรธา พานิช และอาจารย์ ทพญ.ชัยศรี ธัญพิทยากุล ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางปรับปรุงแก้ไขวิทยาพนธ์

อาจารย์สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ความใฝ่รู้ ตลอดจนจริยธรรมให้แก่ข้าพเจ้า

อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นสถานที่ให้ความรู้ อบรมจริยธรรม และปลูกจิตสำนึกที่ดีแก่ข้าพเจ้า

บิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมสั่งสอนและให้การเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่กำเนิด

เพื่อน พี่ น้อง ทันตแพทย์ในที่ทำงาน และในคณะทันตแพทยศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ - ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	26
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	38
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	46
รายการอ้างอิง	54
ภาคผนวก	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	แสดงส่วนประกอบ และเลขที่การผลิตของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลอง…	32
ตารางที่ 2	แสดงส่วนประกอบ และเลขที่การผลิตของสารยึดติดที่ใช้ในการทดลอง...........	32
ตารางที่ 3	ขั้นตอนการใช้สารยึดติดในการทดลอง..	33
ตารางที่ 4	ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของแต่ละกลุ่มการทดลอง...………………...	38
ตารางที่ 5	ประเภทของความล้มเหลวในแต่ละกลุ่มการทดลอง……………………………	40
ตารางที่ 6	จำนวนชิ้นงานแตกหักก่อนการทดสอบ……………………..…………………..	41
ตารางที่ 7	ค่า Sa ของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตที่รับการขัดกระดาษทราย…………………..	49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างมอนอเมอร์ไซลอเรน........8
ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิตประเภทเมทาไครเลต เปรียบเทียบประเภทไซลอเรน........8
ภาพที่ 3 การกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์........8
ภาพที่ 4 ลักษณะวัสดุอัดแทรกของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน........9
ภาพที่ 5 กราฟแท่งแสดงกำลังแรงยึดเฉือน ระหว่างเรซินคอมโพสิตในสภาวะต่างๆ........10
ภาพที่ 6 สารยึดติดระบบไซลอเรน ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า........12
ภาพที่ 7 สารยึดติดระบบไซลอเรน ที่กำลังขยาย 40,000 เท่า........12
ภาพที่ 8 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตในสารยึดติดและเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนโดยการเติมประจุบวก........12
ภาพที่ 9 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ........16
ภาพที่ 10 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการเป่าด้วยอนุภาคชนิดต่างๆ........17
ภาพที่ 11 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% เป็นระยะเวลา 90 วินาที........19
ภาพที่ 12 การแยกตัวระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์........22
ภาพที่ 13 การสร้างชิ้นงานตั้งต้น........28
ภาพที่ 14 การยึดชิ้นงานตั้งต้นเข้ากับท่อพีวีซี........29
ภาพที่ 15 ชิ้นงานตั้งต้นที่พร้อมสำหรับการขัดผิวด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ........30
ภาพที่ 16 การสร้างชิ้นงานควบคุม........31
ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงกลุ่มการศึกษาทั้ง 10 กลุ่มในการทดลอง........31
ภาพที่ 18 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ........35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาพที่ 19 การตัดชิ้นงานรูปทรงกระบอกให้เป็นรูปแผ่นที่มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร.......35
ภาพที่ 20 การเตรียมชิ้นงานให้มีความเว้าด้วยเข็มกรอกากเพชร....................................36
ภาพที่ 21 การวางให้รอยต่อของชิ้นงานอยู่ตรงและขนานกับรอยต่อของอุปกรณ์ทดสอบ36
ภาพที่ 22 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 ที่กำลังขยาย 100 เท่า..42
ภาพที่ 23 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ที่กำลังขยาย 100 เท่า..43
ภาพที่ 24 ตัวอย่างชิ้นงานในกลุ่มควบคุม ที่มีความล้มเหลวแบบเนื้อเดียวกัน................43
ภาพที่ 25 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า..44
ภาพที่ 26 ลักษณะพื้นผิวบริเวณที่แตกหักของชิ้นงานในกลุ่มควบคุม ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 44
ภาพที่ 27 ตัวอย่างชิ้นงานที่มีความล้มเหลวแบบระหว่างรอยต่อ ที่กำลังขยาย 100 เท่า .45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยด้วยเรซินคอมโพสิต (resin composite)ได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากมีการการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีคุณสมบัติที่ดีในด้านความแข็งแรงทนทาน การยึดติดกับฟันธรรมชาติ ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และยังสามารถบูรณะด้วยวิธีที่อนุรักษ์เนื้อฟันได้*(1)* อย่างไรก็ตาม เมื่อเรซินคอมโพสิตเกิดการแข็งตัวจะมีการหดตัวเกิดขึ้น เรียกว่าการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ซึ่งการหดตัวดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการเสียวฟันภายหลังการบูรณะ การโค้งงอของปุ่มฟัน รอยร้าวชั้นเคลือบฟัน และก่อให้เกิดฟันผุซ้ำได้ในที่สุด*(2-3)*

เพื่อที่จะลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ได้มีการพัฒนาวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า ไซลอเรน (Silorane) โดยมีการเปลี่ยนแปลงส่วนของเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) จากเดิมที่ใช้มอนอเมอร์ประเภทเมทาไครเลต (methacrylate) มาเป็นมอนอเมอร์ประเภทไซลอเรน ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งประกอบด้วยหมู่ออกซิเรน (oxirane) และไซลอกเซน (siloxane) เป็นส่วนประกอบ ส่งผล ให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนนั้น เปลี่ยนแปลงจากเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตที่ใช้อนุมูลอิสระ มาเป็น การกระตุ้นด้วยประจุบวก ทำให้มีการเปิดของวงแหวนมอนอเมอร์และเชื่อมต่อกันเป็นสายพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดังกล่าว ทำให้มีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่า 1% โดยปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบกับการหดตัวของเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตที่มีค่า 1.6 - 8% โดยปริมาตร*(4-5)*

อย่างไรก็ตาม เมื่อวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตมีความล้มเหลวเกิดขึ้น เช่น การผุ ซ้ำ การแตกของวัสดุบูรณะ การเสื่อมสภาพบริเวณขอบวัสดุ การเปลี่ยนสี การให้การรักษาด้วยการเปลี่ยนวัสดุบูรณะ (replacement) อาจไม่ใช่ทางเลือกเพียงทางเดียว การซ่อมแซมวัสดุบูรณะถือเป็นทางเลือกหนึ่งตามแนวคิดการรักษาเชิงอนุรักษ์ (minimal intervention) ซึ่งมีข้อดี คือสามารถลดการสูญเสียเนื้อฟันโดยไม่จำเป็น ลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายต่อโพรงประสาทฟัน รวมถึงสามารถลดเวลาในการทำหัตถการให้น้อยลง การซ่อมแซมยังสามารถยืดอายุการใช้งานในช่องปากของวัสดุบูรณะได้อีกด้วย*(6)*

ปัจจัยที่สำคัญในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตให้ได้ผลดี คือการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตเดิมและเรซินคอมโพสิตใหม่ การเตรียมพื้นผิว (surface treatment) เรซินคอมโพสิตเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อนการซ่อมแซม สามารถส่งเสริมให้เกิดการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตเก่าและใหม่ได้ การเตรียมพื้นผิวสามารถทำได้หลายวิธี การใช้เข็มกรอกากเพชร (diamond bur) ร่วมกับการใช้สารเรซิน ความหนืดต่ำ เป็นวิธีการหนึ่ง ที่ทำให้เกิดแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตที่สูง แต่การศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต มักจะเปรียบเทียบการใช้เข็มกรอกากเพชรกับวิธีการเตรียมพื้นผิวอื่นๆ ส่วนการศึกษาถึงความหยาบของเข็มกรอเพชรที่เหมาะสมกับการซ่อมแซม ยังมีจำนวนน้อย

ในทางคลินิก ทันตแพทย์อาจไม่ทราบถึงชนิดของเรซินคอมโพสิตเก่าที่ต้องได้รับการซ่อมแซม อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะมีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนนั้น เรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่ มักมีส่วนประกอบของเมทาไครเลต ถึงแม้จะใช้เรซินคอมโพสิตต่างชนิดกันในการซ่อมแซม ก็ยังให้การยึดติดได้ไม่แตกต่างกับการซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิต ชนิดเดียวกัน *(7-8)* แต่เมื่อเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนได้มีการออกจำหน่าย จึงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันกัน โดยเฉพาะเมื่อเรซินคอมโพสิตประเภทไซลอเรนมีความเข้ากันไม่ได้ทางเคมีกับเรซินคอมโพสิตประเภทเมทาไครเลต *(9)* การซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตประเภทไซลอเรน ด้วยเรซินคอมโพสิตที่ต่างชนิดกัน จึงอาจมีปัญหาต่อการยึดติดในการซ่อมแซมได้ โดยเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตประเภทไซลอเรนนั้นยังมีจำนวนน้อย*(10-12)* จึงเป็นที่น่าสนใจและเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ คือ ต้องการศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน เมื่อได้รับการซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน โดยมีการเตรียมพื้นผิว และการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซมที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกัน หรือชนิดเมทาไครเลต โดยมีการเตรียมพื้นผิวด้วยกระดาษ ทรายที่ความหยาบต่างกัน โดยมีการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือผ่านการเทอโมไซคลิงจำนวน 5 ,000 รอบ ก่อนการทดสอบ

สมมติฐานของงานวิจัย

1. การซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกันหรือชนิดเมทาไครเลต ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน เมื่อทำการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเดียวกัน

2. การเตรียมพื้นผิวเรซินคอมโพสิตในการซ่อมแซมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน เมื่อซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกัน

3. การซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกัน หรือชนิดเมทาไครเลต ที่ทำการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเดียวกัน ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน ระหว่างกลุ่มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการเทอโมไซคลิงจำนวน 5,000 รอบ

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกันหรือชนิดเมทาไครเลต โดยมีการเตรียมพื้นผิวด้วย กระดาษทรายที่ความหยาบต่างกัน (เบอร์ 80 และ 600) ร่วมกับการใช้สารยึดติด ที่สอดคล้องกับชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการซ่อมแซม ตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำวิธีการใช้งาน และศึกษาผลการจำลองอายุการใช้งานในช่องปากหลังการซ่อมแซม ด้วยวิธีเทอร์โมไซคลิงจำนวน 5 ,000 รอบร่วมด้วย โดยการซ่อมแซมทั้งหมดทำในส่วนของเรซินคอมโพสิตเท่านั้น ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเนื้อฟันธรรมชาติ

ข้อตกลงเบื้องต้น

ผู้วิจัยในครั้งนี้ได้รับการฝึกจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่างๆในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการ วิจัยในห้องปฏิบัติการที่พยายามจำลองสภาวะแวดล้อมของการซ่อมแซมให้ใกล้เคียงกับในช่องปากที่แท้จริง แต่ไม่สามารถจำลองได้อย่างสมบูรณ์ ผลจากการศึกษาจึงเป็นไปในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม มากกว่าการระบุผลที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก

การนำผลการศึกษาไปใช้ในทางคลินิก อาจต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการยึดติดของการซ่อมแซมร่วมด้วย เช่น รูปร่างของโพรงฟันที่จะทำการซ่อมแซม สภาพของวัสดุบูรณะที่ต้องการจะซ่อมแซม

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ไซลอเรน: Silorane

เรซินคอมโพสิต: Resin composite

การซ่อมแซม: Repair

การเตรียมพื้นผิว: Surface treatment

กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค : Microtensile bond strength

การจำลองอายุการใช้งาน: Aging process

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นข้อมูลให้ทันตแพทย์พิจารณา ถึงปัจจัยในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ในแง่ของชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ซ่อมแซม และการเตรียมพื้นผิวเรซินคอมโพสิตสำหรับการซ่อมแซม

2. เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยในด้านการพัฒนาการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตต่อไป เพื่อให้ได้ผลการซ่อมแซมที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

พ.ศ.	2552												2553												2554			
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ขั้นเตรียมการวิจัย																												
● ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรม		■	■	■																								
● วางแผนและออกแบบการวิจัย					■	■	■																					
● การศึกษาวิจัยนำร่อง								■	■	■																		
● การจัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์											■	■	■															
● การนำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์														■														
2. ขั้นดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล															■	■	■	■	■	■	■							
3. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล																						■	■	■				
4. ขั้นรายงานผล																												
● จัดทำรายงาน																									■	■	■	
● นำเสนอผลการวิจัย																												■

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การศึกษานี้ จะศึกษาผล ของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค โดยเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ซ่อมแซม การเตรียมพื้นผิว และการจำลองอายุการใช้งาน ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรม ครอบคลุมเรื่องดังต่อไปนี้

1. เรซินคอมโพสิตประเภทไซลอเรน
2. การเตรียมพื้นผิวในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต
3. การจำลองอายุการใช้งาน
4. การทดสอบการยึดติดระหว่างวัสดุเรซินคออมโพสิต

ไซลอเรน

เรซินคอมโพสิตนั้นได้มีการใช้งานในทางทันตกรรมมาเป็นเวลากว่า 50 ปีแล้ว โดยมีการพัฒนาทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และในด้านการยึดติดกับเนื้อฟัน จนเป็นที่ยอมรับและได้รับความนิยมในการบูรณะฟันอย่างสูง อย่างไรก็ตาม เรซินคอมโพสิตมีจุดด้อยที่เป็นปัญหาสำคัญ คือ การหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์ ในส่วนของเรซินเมทริกซ์ เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) กลายเป็นพอลิเมอร์ (polymer) เมื่อมอนอเมอร์กลายเป็นพอลิเมอร์ ปริมาตรโดยรวมจะลดลง เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลง ปริมาตรโดยรวมของเรซินคอมโพสิตจึงลดลง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสำคัญของการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต ไม่ว่าจะเป็น การเสียวฟันภายหลังการบูรณะ การโค้งงอของปุ่มฟัน รอยร้าวชั้นเคลือบฟัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดฟันผุซ้ำได้*(2-3)*

ได้มีความพยายามที่จะลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วยขั้นตอนต่างๆ เช่น การใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงเป็นตัวคั่นกลาง (low-modulus intermediate layer) การบูรณะเป็นชั้นๆ (incremental placement technique) การใช้เครื่องฉายแสงที่มี การปรับความเข้มของแสงจากน้อยไปหามาก (soft-start polymerization)*(13)* นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาในส่วนของเรซินคอมโพสิตเอง ไม่ว่าจะเป็น การเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรก (filler) ทำให้มีสัดส่วนของการ

เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ลดลง หรือการพัฒนาในส่วนของตัวมอนอเมอร์ ให้มีการหดตัวหลังปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ลดลงจากชนิดเดิมที่เป็นเมทาไครเลต เช่น ลิควิดคริสตัลลีนมอนอเมอร์ (Liquid-crystalline monomers) ออโมเซอร์ (ORMOCER) แต่ก็ยังพบการหดตัวที่มีค่าระหว่าง 1.46-1.64% โดยปริมาตร*(14)* อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีวิธีการใดที่สามารถกำจัดปัญหาการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้อย่างสิ้นเชิง

จนกระทั่งมีการศึกษาพัฒนามอนอเมอร์ชนิดไซลอเรนขึ้น โดยมีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่า 1% โดยปริมาตร*(4, 15)* ซึ่งถูกนำไปผลิตเป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตออกจำหน่ายในท้องตลาดในเวลาต่อมา มอนอเมอร์ชนิดไซลอเรนประกอบด้วยโครงสร้างหลักสองส่วนคือ ออกซิเรน และไซลอกเซน (ภาพที่ 1) โดยไซลอกเซนจะทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และออกซิเรนเป็นส่วนที่มีวงแหวนอีพอกซี่ (epoxy ring) ซึ่งเป็นส่วนที่จะมีการเปิดวงแหวนเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วยการกระตุ้นด้วยประจุบวก (cationic ring opening polymerization) ทำให้ชดเชยการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ส่งผลให้การหดตัวโดยรวมลดลง*(4-5)* เมื่อเปรียบเทียบกับการกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วยอนุมูลอิสระ ในเรซินคอมโพสิตประเภทเมทาไครเลต (ภาพที่ 2)

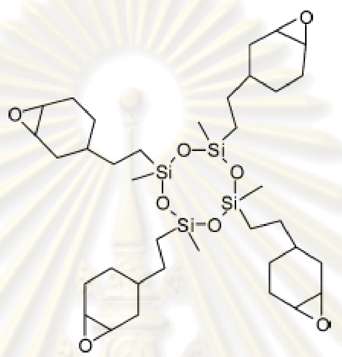
เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน มีวัสดุอัดแทรกเป็นควอทซ์ (Quartz) และอิตเทรียมฟลูออไรด์ (Yttrium fluoride) โดยมีปริมาณ 76% โดยปริมาตร หรือ 55% โดยน้ำหนัก ขนาดอนุภาคประมาณ 0.04-1.17 ไมโครเมตร จากภาพจุลทรรศน์อิเลกตรอน ที่ทำการละลายส่วนเรซินเมทริกซ์ออกไป พบว่าวัสดุอัดแทรกนั้นมีขนาดอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร) และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (มากกว่า 1 ไมโครเมตร) (ภาพที่ 4) ในส่วนของของเมทริกซ์ประกอบด้วย ไซลอเรนเมทริกซ์ (23%) ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา (0.9%) ตัวคงสภาพ (0.13%) เม็ดสี (0.005%)

เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต คุณสมบัติทางกลโดยรวมของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต*(16-17)* โดยมีค่ากำลังแรงดัด (flexural strength) โมดูลัสแรงดัด (flexural modulus) และค่าความต้านการแตกหัก (fracture toughness) ที่เทียบได้กับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต แต่มีค่ากำลังแรงอัด (compressive strength) และความแข็งผิวระดับจุลภาค (microhardness) ที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตในการทดสอบ*(16)*

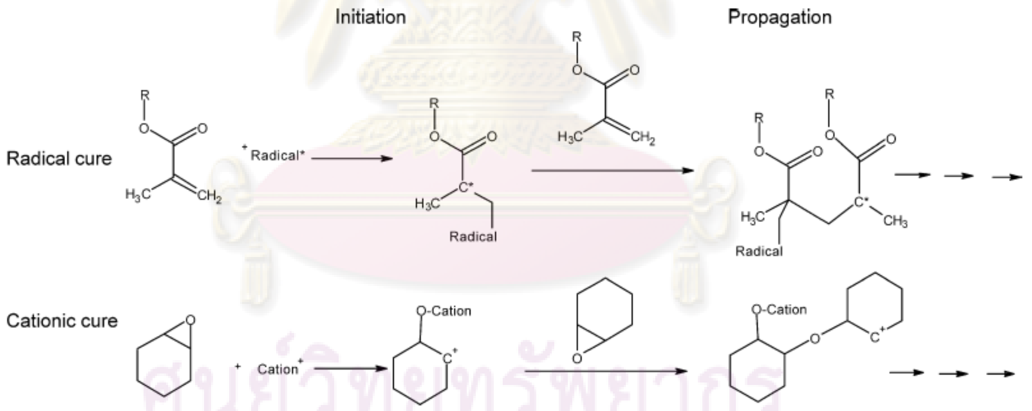
นอกจากคุณสมบัติเรื่องการหดตัวที่มีค่าน้อยแล้ว คุณสมบัติหลักที่ดีของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน คือความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เนื่องจากมีส่วนประกอบของหมู่ไซลอกเซนทำให้มีการซับน้ำ (water sorption) และการละลาย (solubility) น้อยลง เรซินคอมโพสิตชนิด

ไซลอเรนยังมีคุณสมบัติทางกลที่เหนือกว่าเรซินคอมโพสิตเมื่อผ่านการแช่น้ำ แอลกอฮอล์ หรือน้ำลาย เป็นระยะเวลา 1 เดือน*(18)*

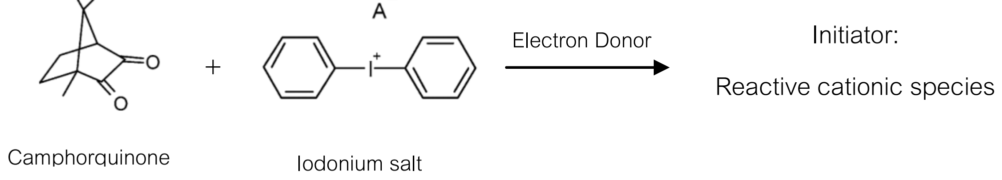
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไซลอเรนจะเกิดเมื่อสารเริ่มปฏิกิริยา คือ แคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) ถูกกระตุ้นด้วยการฉายแสง ทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเลคตรอนให้กับเกลือไอโอโดเนี่ยม (Iodonium Salt) (ภาพที่ 3) และกระตุ้นวงแหวนออกซิเรนให้เกิดประจุบวกที่อะตอมคาร์บอน และมีฤทธิ์เป็นกรด ที่สามารถเกิดพันธะกับ ออกซิเจนของออกซิเรนโมเลกุลถัดไป ทำให้เกิดเป็นสายพอลิเมอร์ต่อไป



ภาพที่ 1 โครงสร้างมอนอเมอร์ไซลอเรน*(4)*

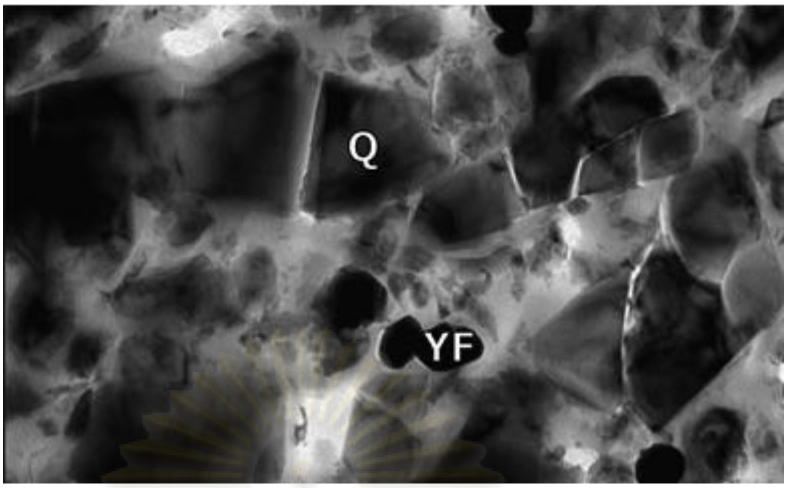


ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิตประเภทเมทาไครเลต เปรียบเทียบประเภทไซลอเรน*(4)*



ภาพที่ 3 การกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์*(4)*

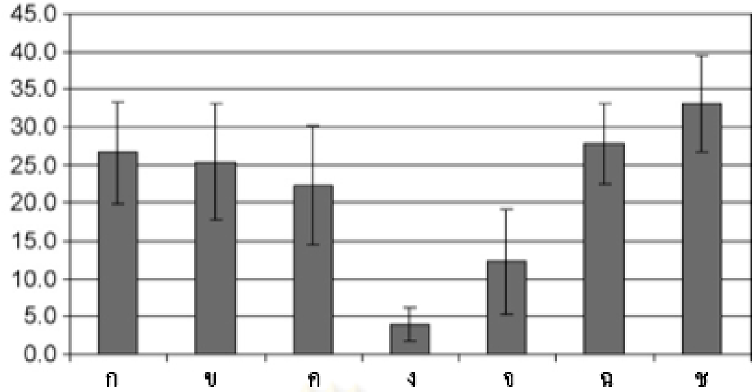
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4 ลักษณะวัสดุอัดแทรกของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน*(19)*

การยึดติดระหว่างชั้นของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนจะแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบวงแหวนเปิดด้วยการเติมประจุบวกนั้น จะไม่เกิดออกซิเจนอินฮิบิทเทต (oxygen inhibited layer) เหมือนที่พบในเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ดังนั้นการยึดติดระหว่างชั้นของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนขึ้นกับความสามารถในการทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์เท่านั้น(12) ซึ่งความสามารถในการทำปฏิกิริยาจะลดลงตามระยะเวลา จากการศึกษาของ Tezvergil-Mutluay พบว่าเมื่อทิ้งระยะเวลาการบูรณะระหว่างชั้นเป็นเวลา 5 นาที กำลังแรงยึดแบบดึงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5) (12)

เมื่อนำเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนมายึดติดกับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตโดยที่ไม่ใช้สารยึดติดใดๆจะให้กำลังแรงยึดเฉือนที่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 5 เมกะปาสคาล (Megapascal) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างกัน แต่จะมีกำลังแรงยึดเพิ่มขึ้นได้เมื่อใช้สารยึดติดร่วมด้วย ไม่ว่าจะเป็นสารยึดติดชนิดไซลอเรนหรือเมทาไครเลต อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ไม่ได้ผ่านการจำลองอายุการใช้งานในช่องปาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการยึดติดได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานในช่องปากมาแล้ว ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตใหม่ การศึกษา จะมีประโยชน์อย่างมาก เมื่อทันตแพทย์จะทำการบูรณะซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่อยู่ในช่องปากโดยที่ไม่ทราบชนิดของเรซินคอมโพสิตนั้นๆโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่มีความสามารถในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตต่ำ



ภาพที่ 5 กราฟแท่งแสดงกำลังแรงยึดเฉือน (เมกะปาสคาล) ระหว่างเรซินคอมโพสิตในสภาวะต่างๆ*(9)*

ก. ไซลอเรนและไซลอเรน เมื่ออุดชั้นต่อไปทันที

ข.ไซลอเรนและไซลอเรน เมื่อทิ้งเวลาไว้ 20 วินาทีก่อนอุดชั้นต่อไป

ค.ไซลอเรนและไซลอเรน เมื่อทิ้งเวลาไว้ 5 นาทีก่อนอุดชั้นต่อไป

ง.ไซลอเรนและเมทาไครเลต เมื่อไม่ใช้สารยึดติด

จ.ไซลอเรนและเมทาไครเลต เมื่อใช้สารยึดติดชนิดเมทาไครเลต

ฉ.ไซลอเรนและเมทาไครเลต เมื่อใช้สารยึดติดชนิดไซลอเรน

ช.เมทาไครเลตและเมทาไครเลต เมื่ออุดชั้นต่อไปทันที

ในส่วนของสารยึดติดในระบบไซลอเรนนี้มี 2 ขวด ขวดแรกมีลักษณะเหมือนเซลฟ์เอทช์แบบขวดเดียว (single bottle self-etch primer) และขวดที่สองเป็นไฮโดรโฟบิคบอนดิง (hydrophobic bonding)

ในส่วนของ เซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์ในขวดแรกนั้น จะทำหน้าที่ในการยึดติดกับฟัน ในลักษณะเดียวกับสารยึดติดแบบเซลฟ์เอทช์ และเนื่องจากเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนมีความไม่ชอบน้ำสูงมาก หลังจากที่ทาสารในขวดแรกแล้ว จำเป็นต้องฉายแสงในส่วนของ เซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์ก่อนที่จะทาสารบอนดิงในชั้นต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำในเนื้อฟันธรรมชาติ หรือน้ำจาก เซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์เอง ไปรบกวนการปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ในชั้นต่อไป ดังนั้นการยึดติดกับเนื้อฟันนั้น จึงเป็นหน้าที่ของเซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์ในขวดแรกเท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับไฮโดรโฟบิคบอนดิงในขวดที่สอง

ลักษณะของชั้นไฮบริด (hybrid layer) ที่เกิดขึ้นในเนื้อฟันนั้น มีลักษณะคล้ายกับชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นกับสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอทช์ทั่วไป คือมีความหนาของชั้นไฮบริดน้อยประมาณ 1.7-2.0 ไมโครเมตร*(20)* และมีเรซินแทก (resin tag) จำนวนน้อย (ภาพที่ 6-7) อาจเป็นผลมาจากความเป็นกรดเบส (pH) ของ เซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์ที่มีค่าประมาณ 2.7*(19)* ซึ่งในระบบ

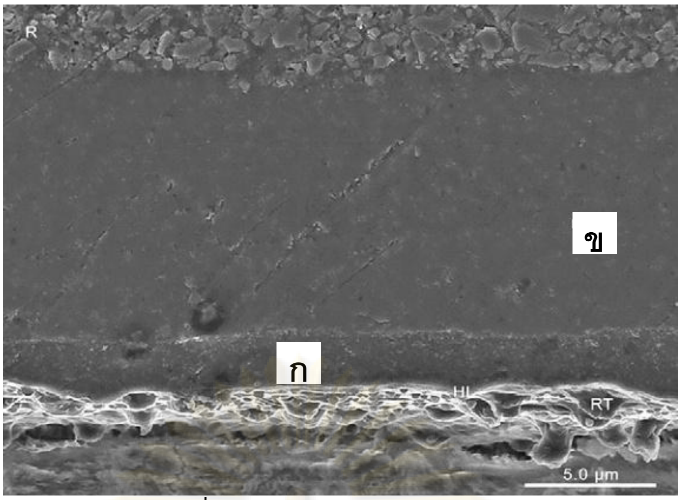
เซลฟ์เอทช์ถือว่ามีความเป็นกรดแบบอ่อน ทำให้ไม่สามารกำจัดชั้นเสมียร์ (smear layer) ที่ขวางการแทรกซึมของสารยึดติดเข้าสู่ท่อเนื้อฟัน (dentinal tuble)

ในส่วนของไฮโดรโดรโฟบิคในขวดที่สองนั้นจะทำหน้าที่ในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนในชั้นต่อไป แต่ ในส่วนของสารยึดติดในระบบนี้ ไม่มีส่วนของไซลอเรนมอนอเมอร์อยู่ ดังนั้นการยึดติดระหว่างสารยึดติดและเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน จะแตกต่างกับการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนกันเองที่ยึดกันด้วยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบวงแหวนเปิด ถึงแม้กลไกในการยึดติดระหว่างสารยึดติด และเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนจะยังไม่เป็นที่แน่ชัด Tezvergil-Mutluay*(9)* ได้เสนอกลไกการยึดติดทางเคมีระหว่างสารยึดติดและเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน โดยเกิดพันธะระหว่างสารออกาโนฟอสเฟต (Organophosphate group) ในสารยึดติด และหมู่ออกซิเรนในเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน (ภาพที่ 8)

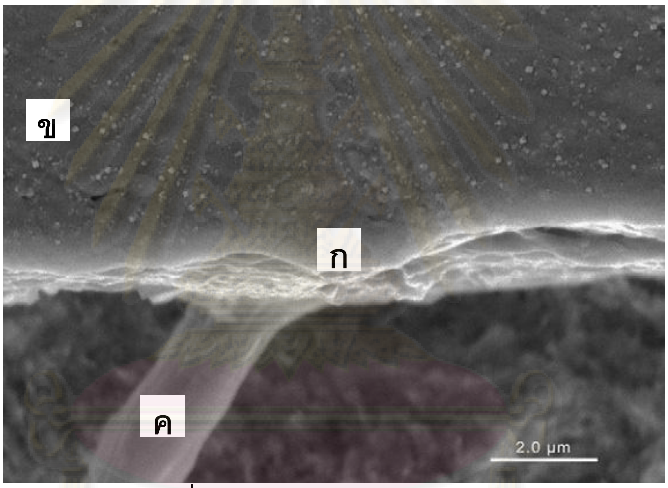
การที่มีชั้นไฮโดรโฟบิคบอนดิงทาทับชั้น เซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์นั้น ทำให้ชั้นยึดติดในระบบไซลอเรนนั้นมีความคงทน ในลักษณะเดียวกับการทาชั้นไฮโดรโฟบิคบอนดิงทับสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอทช์แบบขวดเดียว*(21)* ทำให้ชั้นยึดติดมีความคงทนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป *(22)* สอดคล้องกับระดับของการเปลี่ยนแปลง (degree of conversion) ทีมีค่าสูงในชั้นไฮบริด (92%) ไพร์เมอร์ (93%) และชั้นบอนดิง (69%) ตามลำดับ)ของสารยึดติดระบบไซลอเรน*(23)* ที่แสดงให้เห็นถึงความคงทนที่ดีของชั้นยึดติด

ถึงแม้การศึกษาจะแสดงให้เห็นว่า เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนมีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่ลดลง และคุณสมบัติทางกลที่เทียบเคียงได้กับเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต แต่การหดตัวที่ลดลงของเรซินคอมโพสิตเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถลดความเค้นที่จะเกิดในการบูรณะฟันได้ เป็นต้องพิจารณาถึงการยึดติด ซึ่งเป็นกลไกที่ซับซ้อน และมีหลายปัจจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

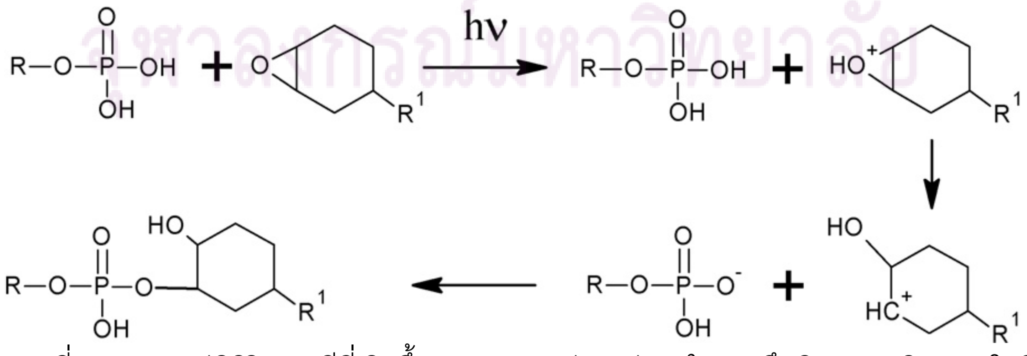


ภาพที่ 6 สารยึดติดระบบไซลอเรน ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า แสดงให้เห็นชั้นของเซลฟ์เอทช์ไพร์เมอร์ (ก) และชั้นไฮโดรโฟบิคบอนดิง (ข)*(20)*



ภาพที่ 7 สารยึดติดระบบไซลอเรน ที่กำลังขยาย 40,000 เท่า แสดงให้เห็นชั้นไฮบริด (ก) ชั้นแอดฮีซิฟ (ข) และเรซินแทก (ค)*(20)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 8 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟต ในสารยึดติดและเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนโดยการเติมประจุบวก*(9)*

การซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต (Resin composite repair)

เมื่อวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตมีความล้มเหลวเกิดขึ้น การซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษา โดยยึดหลักแนวคิดในเชิงอนุรักษ์เนื้อฟัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนวัสดุบูรณะ (replacement) ที่อาจทำให้สูญเสียเนื้อฟันมากขึ้น หรืออาจทำให้เกิดอันตรายต่อโพรงประสาทฟัน*(24)* การเปลี่ยนวัสดุบูรณะยังใช้เวลาในการทำหัตถการมาก ทำให้สูญเสียทั้งเงินและเวลา*(25)* ดังนั้นการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทันตแพทย์สามารถพิจารณาให้การรักษาแก่ผู้ป่วยได้ การศึกษา ในช่องปากพบว่าการซ่อมแซมทำให้วัสดุบูรณะที่ล้มเหลวมีลักษณะที่ดีขึ้น และสามารถยืดอายุการใช้งานวัสดุบูรณะนั้นต่อไปได้*(6, 24)*

การยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะเก่าและใหม่เป็นหลักสำคัญของความสำเร็จในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต ซึ่งจะแตกต่างกับการยึดติดระหว่างชั้นของเรซินคอมโพสิตใหม่ ในขั้นตอนการบูรณะ โดยในขั้นตอนการบูรณะนั้น จะเป็นการยึดติดทางเคมี (chemical bond) โดยเกิดผ่านชั้นออกซิเจนอินฮิบิทเทต*(26)* ที่มีหมู่เมทาไครเลตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาถึงร้อยละ 40-50*(27)* ถึงแม้จะมีการศึกษาที่ไม่สนับสนุนความสำคัญในการยึดติดของชั้นออกซิเจนอินฮิบิทเทต*(28-29)* อย่างไรก็ตาม เรซินคอมโพสิตใหม่ที่ผ่านการฉายแสง ก็ยัง มีหมู่เมทาไครเลตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตชั้นต่อไปได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการยึดติดในการซ่อมแซม ที่เรซินคอมโพสิตนั้นไม่สดใหม่ เนื่องจากผ่านการใช้งานในช่องปาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณหมู่เมทาไครเลตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจึงลดลง มีการซับน้ำ มีการชะล้าง (leaching) ขององค์ประกอบต่างๆ อีกทั้งการกรอแต่งเรซินคอมโพสิตในขั้นตอนของการซ่อมแซมอาจทำให้ไซเลน (silane) ที่เคลือบบนผิววัสดุอัดแทรกหลุดออก ทำให้ผิวของวัสดุอัดแทรกที่ไม่สามารถยึดติดทางเคมีได้*(27)* ดังนั้นเรซินคอมโพสิตในขณะที่มีการซ่อมแซม จึงมีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมลดลง*(30-31)* ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมพื้นผิวเรซินคอมพลิตที่จะทำการซ่อมแซมก่อน เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติด

การยึดติดจากการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตนั้น อาจ เกิดจากการยึดติดทางกล (mechanical retention) และการยึดติดทางเคมี (chemical retention) โดยการยึดติดทางกลอาจเกิดได้จากลักษณะการกรอเตรียมโพรงฟันหรือวัสดุบูรณะที่ต้องการซ่อมแซมให้มีรูปร่างเหมาะสมต่อการยึดติด เช่น การเตรียมร่องยึด (undercut) รวมถึงการยึดติดทางกลระดับจุลภาค (micro mechanical retention) ที่ได้จากพื้นผิวที่มีความหยาบระดับจุลภาคจากการเตรียมพื้นผิว ด้วยการเป่าอนุภาค การใช้เข็มกรอ หรือการใช้กรดกัด (acid etch) ส่วนการยึดติดทางเคมีนั้น อาจเกิดขึ้นได้ที่ผิวของวัสดุอัดแทรก โดยมีไซเลนเป็นตัวช่วยให้ สามารถยึดกับเรซินคอมโพสิตที่ใช้ซ่อมแซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หรืออาจเกิดในเรซินเมทริกซ์ ผ่านการยึดติดของมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ระหว่างวัสดุบูรณะเก่าและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม

การเตรียมพื้นผิวเรซินคอมโพสิต (Resin composite surface treatment)

การเตรียมพื้นผิวเรซินก่อนการซ่อมแซมนั้นมีหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มความหยาบผิวของวัสดุ (Surface roughening) การใช้กรดกัดผิว และการใช้ สารเรซินคั่นกลาง (intermediate resin agent) ซึ่งมีความหลากหลายในแต่ละวิธี แต่หลักการในการเตรียมพื้นผิวก็คือ เพิ่มความหยาบของผิววัสดุที่ต้องการซ่อมแซม เพื่อให้มีสามารถเกิดแรงยึดทางกล ซึ่งเป็นแรงยึดหลักในการซ่อมแซม*(32-33)* และเนื่องจากเรซินคอมโพสิตมีความหนืดสูง ไม่สามารถแนบได้ดีกับพื้นผิวหยาบที่เกิดขึ้น*(34)* จึงต้องนำสารเรซินคั่นกลาง ที่มักจะมีความหนืดต่ำ สามารถไหลแผ่ แนบไปตามความหยาบพื้นผิว ทำให้เกิดเป็นแรงยึดทางกลได้ ส่วนแรงยึดทางเคมีนั้นยังไม่มีหลักฐานที่หนักแน่น แต่ก็อาจเกิดขึ้นได้ในการใช้สารคั่นกลางที่สัมผัสพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่จะซ่อมแซม

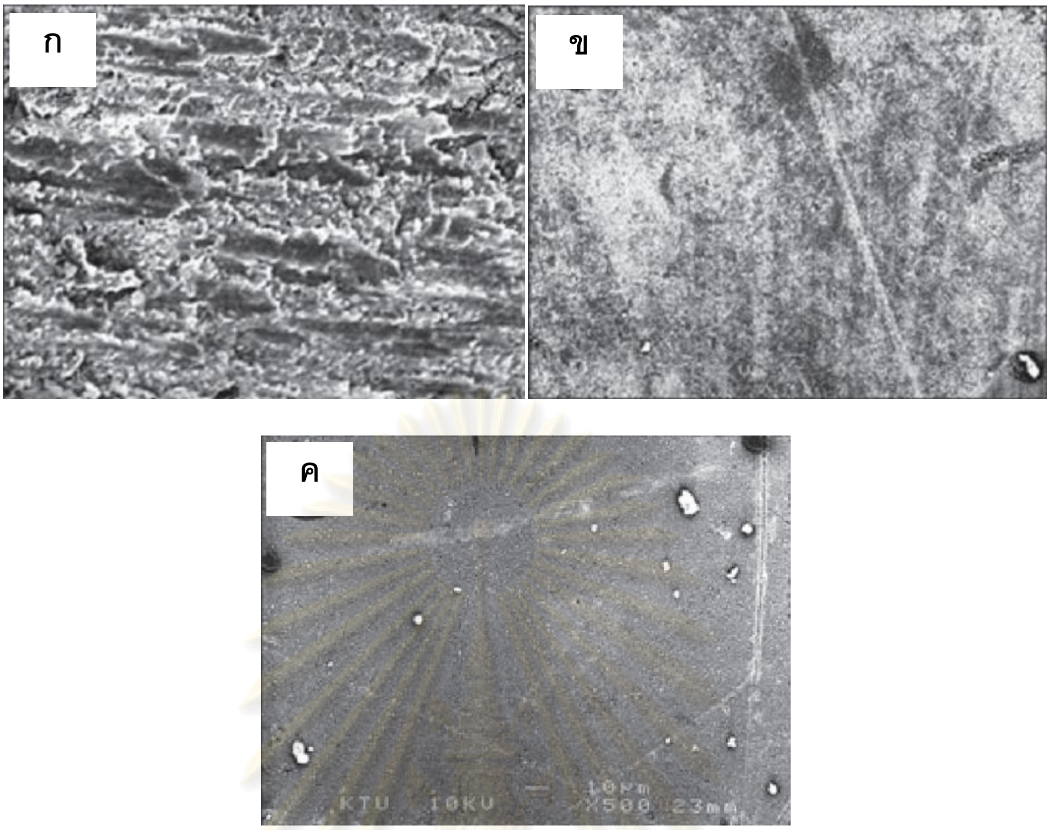
การเพิ่มความหยาบผิวของวัสดุ

การเพิ่มความหยาบผิวของวัสดุนั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุ ดังนั้นเมื่อนำวัสดุซ่อมแซมมาแนบกับพื้นผิวที่มีความขรุขระนี้จะทำให้เกิดแรงยึดทางกล ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อแรงยึดของการซ่อมแซมวัสดุเรซินคอมโพสิต*(29, 31)*

การทำให้พื้นผิวมีความหยาบอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เข็มกรอกากเพชร เข็มกรอคาบอรันดัม (caborandum bur) การเป่าอนุภาคเพื่อเพิ่มความหยาบ ซึ่งแต่ละวิธีทำให้ได้พื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกัน ส่งผลให้แรงยึดแตกต่างกัน Frankenberger และคณะ*(34)* เปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวด้วยเข็มกรอ พบว่าเข็มกรอซิลิกอนคาร์ไบด์ #140 (silicon carbide bur) ให้กำลังแรงยึดเฉือนที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับเข็มกรอกากเพชรชนิดละเอียด (fine diamond bur) ที่มีอนุภาคขนาด 40 ไมโครเมตร โดยพื้นผิวที่เกิดจากเข็มกรอซิลิกอนคาร์ไบด์ อาจมีความขรุขระมากกว่าและเกิดชั้นเสมียร์ที่มากกว่า Soderholm และคณะ เชื่อว่า พื้นผิวของคอมโพสิตที่ถูกกรอด้วยเข็มกรอฟันนั้น จะเกิดความร้อนจากกระบวนการขัดพื้นผิวทำให้ส่วนเมทริกซ์ละลายเกิดเป็นชั้นเสมียร์ และเกิดรอยแตกขนาดเล็ก (microcrack) ในเรซินเมทริกซ์ ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการยึดติดทางกลได้*(35)* ส่วนผิวหน้าของอนุภาควัสดุอัดแทรกจะถูกเปิดออก ทำให้ชั้นไซเลนที่ทำหน้ายึดระหว่างวัสดุอัดแทรกและส่วนเมทริกซ์ถูกขัดออกไป ผิวของอนุภาควัสดุอัดแทรกที่ถูกเปิด เผยจึงไม่น่าที่จะเกิดการยึดกับเรซินชั้นต่อไปด้วยพันธะทางเคมีได้*(27)* Soderholm*(35)* เสนอว่าอุณหภูมิที่เกิดจากการกรอนั้น อาจ จะสูงพอที่จะละลายเรซินเมทริกซ์ และ เร่งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ให้เกิดได้มากขึ้น ทำให้เหลือพันธะคู่สำหรับ การยึดติดทางเคมีกับเรซินคอมโพสิตชั้น

ต่อไปน้อยลง Bonstein*(36)* พบว่าในเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดนั้น ค่ากำลังแรงยึดเฉือนในกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเข็มกรอกากเพชรมีค่าสูงที่สุด (27 เมกะปาสคาล) โดยมีรูปแบบความล้มเหลวในเนื้อวัสดุ (cohesive failure) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric) เป็นเวลา 30 วินาที กลุ่มที่ถูกเป่าอนุภาคอะลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide) ขนาด 50 ไมโครเมตร หรืออนุภาค โคเจทแซนด์ (Cojet sand,3M ESPE) ขนาด 30 ไมโครเมตร และกลุ่มควบคุม โดยเมื่อใช้ไซเลนร่วมกับการใช้เข็มกรอกากเพชร แรงยึดเฉือนจะมีค่าน้อยกว่าการใช้เข็มกรอกากเพชรอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ศึกษาให้เหตุผลว่าไซเลนที่ทาลงไป ทำให้พื้นผิวที่ถูกกรอมีความขรุขระน้อยลง จึงทำให้คุณสมบัติที่ให้แรงยึดทางกลด้อยลง แต่เมื่อพิจารณาจากการศึกษาของ Bouschlicher*(37)* พบว่าการทาไซเลนบนเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิล ในกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าอนุภาคไม่ทำให้กำลังแรงยึดเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเข็มกรอกากเพชรนั้นการทาไซเลนทำให้กำลังแรงยึดเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อกรอผิวเรซินคอมโพ-สิตชนิดไมโครฟิลนั้น จะทำให้อนุภาควัสดุอัดแทรกถูกเปิดออกได้มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด ที่มีวัสดุอัดแทรกชนิดพรีพอลิเมอร์ไรซ์ (prepolymerized filler) ซึ่งอนุภาควัสดุอัดแทรกจะถูกเปิดออกได้น้อยกว่าเมื่อถูกเสียดสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ *(33)*

ก. ภาพพื้นผิวที่ถูกเตรียมด้วยเข็มกรอกากเพชร

ข.ภาพพื้นผิวที่ถูกเตรียมด้วยกรดฟอสฟอริก 38%

ค.ภาพพื้นผิวเรซินคอมโพสิตกลุ่มควบคุม

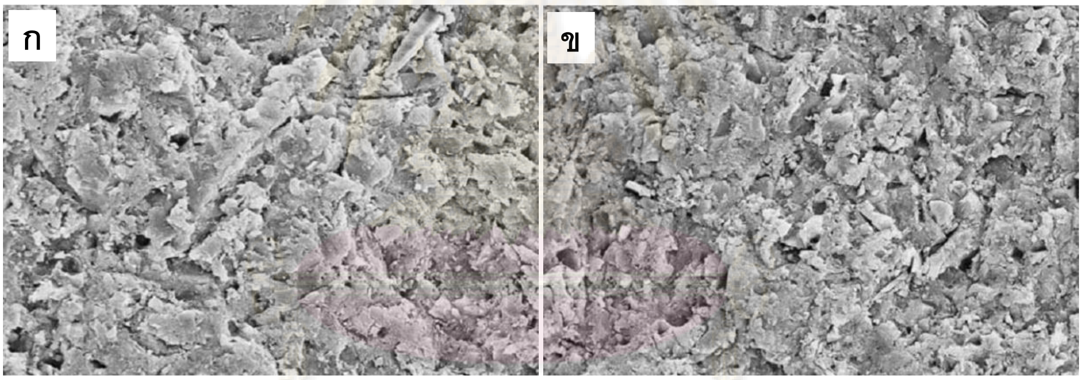
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าอนุภาค

การเป่าอนุภาคถือว่าเป็นวิธีที่ทำให้พื้นผิวมีความหยาบ โดยเครื่องเป่าอนุภาคในช่องปาก (intraoral air abrasion device) จะปล่อยอนุภาคอะลูมินัมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร ออกมากระทบกับพื้นผิวของวัสดุด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กขึ้น และเมื่อรอยร้าวเหล่านี้มาเชื่อมต่อกัน ทำให้พื้นผิวบางส่วนของวัสดุหลุดออกมา เกิดเป็นลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ ทำให้พื้นที่ในการยึดติดเพิ่มขึ้นและลดแรงตึงผิว (surface tension) ส่งเสริมให้เกิดการยึดติดเชิงกลศาสตร์ระดับจุลภาค (micro retentive feature) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เข็มกรอ ที่ทำให้เกิดการยึดติดในระดับมหภาค (macro retentive feature)

การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีนี้ สามารถเพิ่มแรงยึดติดได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยควรจะใช้ร่วมกับการเตรียมพื้นผิวชนิดอื่น เนื่องจากเรซินคอมโพสิตจะไม่สามารถไหลแผ่ไปบนพื้นผิวที่มีความขรุขระดับจุลภาคได้สมบูรณ์ และไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับผิวของวัสดุอัดแทรกที่ถูกเปิดออกได้ การซ่อมแซมด้วยวิธีเป่าอนุภาคเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ได้แรงยึดติดที่ได้มีค่าต่ำ (24.5 เมกะปาสคาล) เมื่อเปรียบเทียบกับการเตรียมพื้นผิวร่วมกับการใช้ สารเรซินคั่นกลาง (47-32 เมกะปาสคาล)*(38)*

ต่อมามีการปรับปรุงโดยใช้อนุภาคอะลูมินัมออกไซด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิลิกาออกไซด์ (silica oxide) มีชื่อการค้าว่า โคเจทแซนด์ (Cojet sand, 3M ESPE) โดยเริ่มใช้ในการซ่อมแซมเซรามิกเพื่อเพิ่มการยึดติดกับเรซินคอมโพสิต จากนั้นจึงเริ่มใช้ในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตในเวลาต่อมา อนุภาคที่ถูกดัดแปลงนี้ จะทำให้เกิดการฝังตัวของอะลูมินา และซิลิกา (ภาพที่ 10) ซึ่งอนุภาคที่ฝังตัวจะเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะไซลอกเซนกับไซเลนได้



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการเป่าด้วยอนุภาคชนิดต่างๆ*(32)*

ก. อนุภาคอะลูมินัมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร ข . อนุภาคโคเจทแซนด์ ขนาด 30 ไมโครเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้กรดกัดผิว (Acid etching)

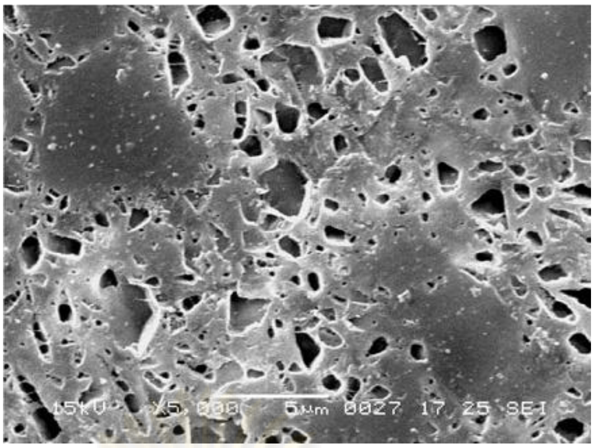
การซ่อมแซมเซรามิกโดยการใช้กรดกัดผิว เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพพื้นผิวพอร์ซเลน และทันตแพทย์สามารถทำได้ในคลินิก นอกจากนี้

ยังพบว่าสามารถช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตในการซ่อมแซมได้*(39-40)* จึงมีความพยายามนำมาใช้ในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต

กรดที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิวมีหลายชนิด เช่น กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีขาย เช่น total etch (38% phosphoric acid) Chelaglass (6.9% hydrofluoric acid, >10% hydrochloric acid)

การใช้กรดฟอสฟอริก 38% ในการเตรียมพื้นผิวนั้น ไม่ทำให้พื้นผิวเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา (morphology) อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 9) ดังนั้นกรดฟอสฟอริก 38% จึงให้ผลในการทำความสะอาดพื้นผิวเท่านั้น ไม่เพิ่มการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญ แต่กรดไฮโดรฟลูออริกนั้นรุนแรงกว่ากรดฟอสฟอริก การใช้กรดชนิดนี้เป็นเวลา 30 วินาที ถึง 120 วินาที พบว่าอนุภาคแก้ว (glass particle) หลุดจากพื้นผิวทั้งหมด อีกทั้งยังทำให้เรซินเมทริกซ์นิ่มและมีรูพรุน *(30)* ทำให้แรงยึดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตบางประเภทลดลง*(31)* โดยความรุนแรงที่เกิดจากกรด ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของเรซินคอมโพสิตที่ถูกกรดกัด Brosh และคณะ*(41)* ได้แนะนำว่าไม่ควรใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่ทราบส่วนประกอบของเรซินคอมโพสิตเดิม เนื่องจากให้ผลที่ไม่แน่นอนในเรซินคอมโพสิตแต่ละประเภท ซึ่งอาจทำความเสียหายต่อวัสดุได้ (ภาพที่ 11) และกรดไฮโดรฟลูออริกยังเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 11 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนส่องกราดของพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% เป็นระยะเวลา 90 วินาที *(42)*

สารยึดติดเรซินคั่นกลาง (Adhesive intermediate resins)*(29, 41, 43)*

กลไกการยึดติดของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สารเรซินยึดติดคั่นกลางนั้นมาจากการยึดติดทางกลระดับจุลภาคและทางเคมี การยึดติดทางกลระดับจุลภาค เกิดจากการแทรกซึมของสารเรซินคั่นกลางลงไปแนบบนพื้นผิวที่มีความขรุขระ ส่วนการยึดติดทางเคมีจะเกิดกับส่วนของวัสดุอัดแทรกที่ถูกเปิดออกและส่วนเรซินเมทริกซ์ที่มีพันธะคู่ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาอยู่ *(29, 41, 43)*

สารเรซินยึดติดคั่นกลางที่ใช้ในการซ่อมแซมมีหลายประเภท เช่น ไซเลน สารยึดติด (adhesive) และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable resin composite)

สารไซเลนหรือออกาโนไซเลน (organosilanes) เป็นสารส่งเสริมการยึดติดที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม โมเลกุลของไซเลนมีหมู่ที่ทำปฏิกิริยาอยู่สองด้าน (bifunctional molecules) โดยปลายข้างหนึ่งมีหมู่ออกาโนฟังก์ชันนอล (organofunctional) ที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับหมู่เมทาไครเลตในสารยึดติดได้ และปลายอีกข้างหนึ่งมีหมู่อัลคอกซี (alkoxy) ที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำ จากกรดหรือความร้อน จะเปลี่ยนเป็นหมู่ไซลานอล (silanol) สามารถเกิดเป็นพันธะไซลอกเซน (Siloxane, Si-O-Si) กับซิลิกาบนผิวแก้วหรือผิวของวัสดุอัดแทรกได้

สารไซเลนที่มีขายในท้องตลาด มีส่วนประกอบสามอย่างคือ ไซเลน กรดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำ และปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation) และตัวทำละลาย (solvent) ที่ทำให้สารมีความหนืดเหมาะสม ไหลแผ่ได้ดี และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาก่อนการใช้ สารไซเลนแบ่งเป็นสองระบบคือ

1.ระบบขวดเดียว ไซเลนในระบบนี้จะถูกทำให้เกิดการสลายตัวด้วยน้ำแล้ว (prehydrolyzed primer) จึงอยู่ในรูปไซลานอล ระบบนี้จะรวมส่วนประกอบสามอย่างเข้าด้วยกันในขวดเดียว ตัวอย่างเช่น Monobond-S (Ivoclar Vivadent) Porcelain Primer (Bisco)

2.ระบบที่มีหลายขวด (2–3 ขวด) เป็นระบบที่มีการแยกส่วนประกอบแต่ละส่วนออกจากกัน ต้องมีการผสมกันของแต่ละขวดหรือใช้ตามขั้นตอนทีละขวด โดยไซเลนในระบบนี้จะยังไม่ถูกสลายตัวด้วยน้ำ จนกว่าจะมีการผสมส่วนของกรด ยกตัวอย่างเช่น Porcelain liner M (Sun medical)

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของไซเลน เช่น ความร้อน สภาวะความเป็นกรดด่าง หมู่เคมีในโมเลกุลของไซเลน ตัวทำละลาย และตัวเร่งปฏิกิริยา การระเหยของตัวทำละลายที่มีอยู่ในไซเลนนั้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการยึดติดของไซเลน ถึงแม้ตัวทำละลายจะมีหน้าที่ช่วยให้ไซเลนไหลแผ่ได้ดี แต่หากมีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ ตัวทำละลายตัวทำละลายจะไปเกิดพันธะไฮโดรเจนที่ผิววัสดุอัดแทรก ทำให้พื้นที่ในการเกิดพันธะไซลอกเซนมีน้อยลง แรงยึดจึงติดมีค่าลดลง การเป่าแห้งไซเลนด้วยอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มแรงยึดระหว่างคอมโพสิตได้ 9.4-13.3 เมกะปาสคาล เมื่อเปรียบเทียบกับการเป่าแห้งด้วยอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส*(44)* อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงทำให้ตัวทำละลายระเหยได้มากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นได้ดีขึ้น

นอกจากไซเลนแล้ว ยังมีการ เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable resin composite) โดยแรกเริ่มมีการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต*(36)* เนื่องจากวัสดุมีความหนืดต่ำ สามารถไหลแผ่ไปตามพื้นผิวที่มีความขรุขระได้ดี แต่วัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด การใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่เพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะสมในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว ทำให้มีการใช้วัสดุชนิดนี้เป็นสารคั่นกลางก่อนที่จะบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดที่มีความแข็งแรงในชั้นต่อมา ซึ่งทำให้รอยต่อระหว่างวัสดุที่ซ่อมแซมมีคุณภาพที่ดี เพิ่มแรงยึดและลดการรั่วซึม*(38)*

สารยึดติดในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตก็สามารถเพิ่มแรงยึดติดในการซ่อมแซมได้*(45)* เนื่องจากมีความหนืดต่ำ สามารถในการไหลแผ่ลงไปในพื้นผิวที่จะซ่อมแซมได้ เป็นคุณสมบัติที่ทำให้เกิดการยึดติดทางกล และยังสามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาในเรซินคอมโพสิตที่จะทำการซ่อมแซม

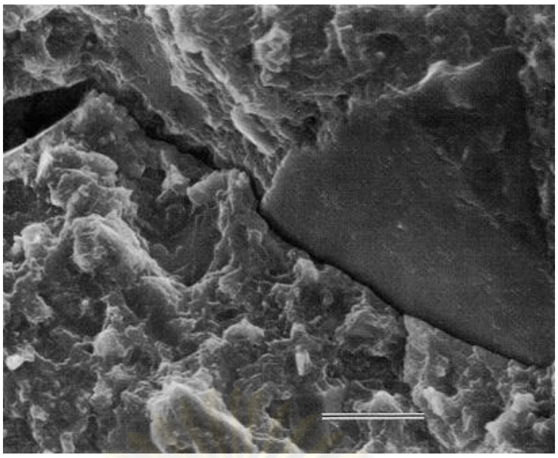
ในปัจจุบันมีการพัฒนาสารยึดติดออกเป็นหลายระบบ แต่ก็มีการศึกษาที่แสดงถึงแรงยึดติดในการซ่อมแซมที่ดีขึ้น เมื่อใช้สารยึดติดระบบโททอลเอทช์ (total-etch)*(32, 38, 46)* หรือเซลฟ์เอทช์ (self-etch)(37, 38) การใช้สารยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต เป็นวิธีที่สะดวก

โดยเฉพาะในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่มีเนื้อฟันร่วมด้วย สามารถเตรียมเนื้อฟันพร้อมกับการเตรียมผิวเรซินคอมโพสิตที่จะซ่อมแซมได้ในเวลาเดียวกัน ไม่ต้องมีขั้นตอนเพิ่มเติม หลายการศึกษา*(35, 43)* เกี่ยวกับการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตพบว่าการใช้สารยึดติดโดยไม่ได้ใช้ไซเลนร่วมด้วย ให้แรงยึดที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการที่ใช้ไซเลนร่วมด้วยกับการใช้สารยึดติด ดังนั้นการใช้ไซเลนอาจไม่มีความจำเป็น อีกทั้งเป็นการเพิ่มตัวทำละลายที่อาจส่งผลต่อการยึดติดหากกำจัดออกไม่หมด

กำลังแรงยึดของวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ถูกซ่อมแซมแล้วมีค่าประมาณร้อยละ 20 – 80*(36)* ของกำลังแรงยึดเชื่อมแน่นของวัสดุตั้งต้น จากการศึกษาถึงวิธีต่างๆในการเตรียมผิวเพื่อการซ่อมแซมพบว่า การเตรียมพื้นผิวให้มีความหยาบ (ด้วยการใช้เข็มกรอ การทำให้พื้นผิวหยาบด้วยการเป่าอนุภาคทั้งอะลูมินัมออกไซด์หรือโคเจทแซนด์) ร่วมด้วยกับการใช้สารเรซินคั่นกลางให้กำลังแรงยึดที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ*(36, 45-47)*

การจำลองอายุการใช้งาน (aging process)

เมื่อเรซินคอมโพสิตถูกใช้งานในช่องปากเป็นระยะเวลานาน สภาวะในช่องปากจะส่งผลให้เกิดความเสื่อมของวัสดุ (degradation) โดยความชื้นจะทำให้เรซินคอมโพสิตอิ่มน้ำ และเกิดการเสื่อมด้วยน้ำ (hydrolytic degradation) ผ่านขบวนการออกซิเดชั่น ทำให้เรซินเมทริกซ์อ่อนตัวเกิดการสลายตัวของเรซิน และเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (microcrack) และการแยกตัวระหว่างวัสดุอัดแทรกและเมทริกซ์*(48)* (ภาพที่ 12) Soderholm และคณะ*(49)* ได้อธิบายว่าแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของเรซินที่เพิ่มขึ้นจากการดูดน้ำ ทำให้เกิดแรงดันสะสมเพิ่มขึ้น จนทำให้เกิดเป็นรอยร้าวขนาดเล็ก เมื่อรอยร้าวผ่านบริเวณที่มีความเค้นสูง เช่น มุมของวัสดุอัดแทรก รอยร้าวนี้จะสามารถดำเนินต่อไปตามรอยต่อของวัสดุอัดแทรกและเมทริกซ์ จนในที่สุดรอยร้าวนั้นไปถึงพื้นผิว (ภาพที่ 12) ทำให้มอนอเมอร์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาในเนื้อเรซินคอมโพสิตสามารถรั่วซึมตามรอยร้าวได้ ปริมาณอนุมูลอิสระบนผิววัสดุที่หลงเหลือจากการเกิดพอลิเมอร์จะมากที่สุดใน 24 ชั่วโมงแรกหลังจากบูรณะ และลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นความสามารถในการยึดกับเรซินชั้นต่อไปจึงน่าจะลดลง



ภาพที่ 12 การแยกตัวระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์ (50)

การศึกษาเกี่ยวกับกำลังแรงยึดของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่ มักจะเป็นการทดสอบภายหลังจากการซ่อมแซมโดยทำการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่ได้จำลองอายุการใช้งานในช่องปาก ที่มีสภาวะหลากหลายเช่น อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง แรงจากการบดเคี้ยว สารเคมีหรือเอนไซม์ในน้ำลาย ดังนั้นผลจากการทดลองอาจไม่ได้แสดงถึงผลที่อาจเกิดในช่องปากได้ การจำลองอายุการใช้งานในช่องปากของวัสดุนั้นมีหลายวิธี เช่น การแช่น้ำเป็นระยะเวลานาน การแช่น้ำเดือด การทำเทอร์โมไซคลิง (thermocycling) และการแช่ในกรด ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถจำลองการเสื่อมด้วยน้ำ (hydrolytic degradation) ที่เกิดขึ้นที่เรซินเมทริกซ์และไซเลนที่เคลือบผิววัสดุอัดแทรก อย่างไรก็ตามการจำลองสภาวะการเสื่อมในช่องปากยังไม่มีการกำหนดวิธีที่เป็นมาตรฐานสากล

การทำเทอร์โมไซคลิงนั้นเป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในช่องปาก โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่าง มีการสลับอุณหภูมิน้ำร้อนเย็นเป็นจังหวะ โดยน้ำจะทำให้เกิดการสลายตัวด้วยน้ำ (hydrolysis) ของเรซินคอมโพสิต อีกทั้งความร้อน -เย็นที่เกิดขึ้นจะทำให้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อน (coefficient of thermal expansion) ที่ไม่เท่ากัน จะมีการ ขยายและหดตัวไม่เท่ากัน เกิดเป็นแรงเค้นบริเวณรอยต่อของวัสดุได้ นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำเทอร์โมไซคลิง ยังเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำให้เกิดเร็วขึ้น ได้ การทำเทอโมไซคลิงจำนวน 5,000 รอบเท่ากับการใช้งานในช่องปากเป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี ดังนั้นการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 500 รอบ ตามที่องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน

แนะนำอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นความแตกต่างได้*(48)* หลายการศึกษา*(51-53)* เกี่ยวกับการการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต ใช้การจำลองอายุการใช้งานด้วยการทำเทอร์โมไซคลิงที่จำนวน 5,000 รอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ในกรดหรือการต้ม เทอร์โมไซคลิงทำให้แรงยึดของวัสดุซ่อมแซมลดลงมากกว่าวิธีอื่น(5) ดังนั้นการทำเทอร์โมไซคลิงอาจจะเป็นวิธีหนึ่งได้ในการจำลองอายุการใช้งานในช่องปากได้

การทดสอบการยึดติดระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิต

การศึกษาเพื่อทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างวัสดุ (bond strength test) คือแรงที่ทำการยึดติดล้มเหลว ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ทดสอบ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมในการประเมินประสิทธิภาพในการยึดติด วิธีที่นิยมใช้มีสองลักษณะ คือ การทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึง (tensile bond strength) และแบบเฉือน (shear bond strength) การทดสอบกำลังยึดแบบเฉือนนั้นสามารถเตรียมชิ้นงานทดสอบได้ง่าย แต่อาจมีการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ยึดติดไม่สม่ำเสมอ และแรงที่เกิดขึ้นอาจจะไม่ได้มีทิศทางเดียว เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงที่มีแรงเกิดอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัด แต่การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงนั้น จำเป็นที่จะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดสอบให้ได้ ถึงจะได้ผลการทดสอบที่บ่งบอกถึงแรงยึดจริง

การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงทั่วไปมักมีพื้นที่ประมาณ 7-12 ตารางมิลลิเมตร ค่ากำลังแรงยึดที่วัดได้จะมีค่าต่ำ ประมาณ 10-15 เมกะปาสคาล*(54)* เนื่องจากความล้มเหลวมักจะเกิดขึ้นในส่วนของวัสดุที่มีจุดบกพร่อง แรงที่วัดได้จากความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในส่วนของวัสดุจึงไม่สามารถบ่งบอกแรงยึดส่วนที่มีการยึดติดที่ต้องการจะวัดได้ ดังนั้นเพื่อลดผลจากความบกพร่องที่มีอยู่ในวัสดุ จึงมีการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ทำการทดสอบ ทำให้มีค่ากำลังแรงยึดติดสูงขึ้น การทดสอบดังกล่าวเรียกว่า การทดสอบกำลังแรงยึดระดับจุลภาค (microtensile bond strength test)

การทดสอบกำลังแรงยึดระดับจุลภาค

กำลังแรงยึดระดับจุลภาคนั้นสามารถคำนวนได้จากแรงที่วัดได้ ณ จุดที่เกิดความล้มเหลวหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งที่มีการยึดติด โดยแรงที่เกิดขึ้นจะต้องเกิดโดยทั่วถึง สม่ำเสมอและมีทิศทางเดียว ลักษณะตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ที่ต้องการทดสอบ *(55)* ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบนั้นมีหลายปัจจัย เช่น ตัวจับชิ้นงานทดสอบ การยึดชิ้นงานทดสอบ การตั้งค่าเครื่อง

ทดสอบ หากควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลได้ จะสามารถนำค่าทดสอบมาเปรียบเทียบกันระหว่างการศึกษาได้ แต่การศึกษาส่วนใหญ่มักใช้การตั้งค่าในการทดสอบที่แตกต่างกัน และมักจะไม่ได้ระบุถึงรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ ทำให้การนำค่ามาเปรียบเทียบระหว่างการศึกษามีความหลากหลาย และเป็นไปได้ยาก*(56-57)*

ข้อดีของการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคนั้นมีหลายประการ เช่น สามารถทำชิ้นงานทดสอบได้จำนวนมากต่อหนึ่งชิ้นงาน สามารถวัดตำแหน่งของจุดที่ต้องการทดสอบได้เป็นตำแหน่งเล็ก ค่าที่วัดได้จะสูงกว่าการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงแบบธรรมดาเนื่องจากมีความบกพร่องน้อยกว่า การจำลองอายุการใช้งานจะมีผลต่อการยึดติดมากกว่า เนื่องจากน้ำสามารถแพร่เข้าไปในหน้าตัดยึดติดได้ง่ายกว่าเพราะพื้นที่หน้าตัดที่เล็ก*(58)*

อย่างไรก็ตามการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคนั้นก็ยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น การเตรียมชิ้นงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูง ยากที่จะทำให้มีรูปร่างที่คงที่สม่ำเสมอในแต่ละชิ้นงาน การวัดแรงยึดในชิ้นงานที่มีแรงยึดต่ำนั้นทำได้ยาก (<5 เมกะปาสคาล) ชิ้นงานทดสอบแตกหัก และสูญเสียความชื้นก่อนการทดสอบได้ง่าย

การเตรียมรูปแบบของชิ้นงานในการทดสอบสามารถทำได้หลายแบบ คือ แบบแท่ง (stick) แบบนาฬิกาทราย (hour glass) และแบบดัมเบลล์ (dumbbell) ที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และวงกลม ตามลำดับ การเตรียมชิ้นงานให้มีรูปร่างแบบนาฬิกาทราย และแบบดัมเบลล์นั้น จำเป็นต้องมีการกรอชิ้นงาน ซึ่งทำได้ยากมาก และเกิดแรงกระทำที่มีผลต่อพื้นที่ยึดติด ดังจะเห็นได้จากจำนวนชิ้นงานที่มีการแตกก่อนการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชิ้นงานที่มีแรงยึดติดต่ำ และชิ้นงานที่มีความเปราะ *(59-60)* และเมื่อใช้มือในการเตรียมชิ้นงานจะไม่สามารถควบคุมแรงที่เกิดขึ้น และรูปร่างให้มีความสม่ำเสอเป็นมาตรฐานในแต่ละชิ้นงานได้ ทักษะของผู้ทำการทดลองจึงมีผลอย่างมากต่อแรงยึดที่ทำการทดสอบ*(61)* รูปร่างของชิ้นงานนั้นมีผลต่อแรงยึดอย่างมาก สำหรับการเตรียมชิ้นงานรูปแบบนาฬิกาทรายนั้นที่ให้แรงยึดที่ต่ำกว่าแบบแท่ง และแบบดัมเบลล์ *(56)* เนื่องจากได้รับแรงที่เกิดจากการกรอ และพื้นที่หน้าตัดที่มีมุมฉาก ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่มีความเครียดสะสมอยู่ ทำให้เกิดเป็นจุดที่เกิดความล้มเหลวได้ง่าย ส่วนรูปแบบดัมเบลล์นั้น มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม จึงไม่มีการสะสมความเครียดบริเวณจุดใดบนพื้นที่หน้าตัด แต่การเตรียมชิ้นงานแบบดัมเบลล์นั้นต้องใช้เครื่องมือพิเศษ หรือเครื่องมือที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม ดังนั้นจึงอาจจะไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง สำหรับชิ้นงานแบบแท่งนั้น ไม่ต้องทำการกรอตัดด้านข้าง จึงทำการเตรียมชิ้นงานได้ง่าย และมีแรงยึดติด และรูปแบบความล้มเหลวใกล้เคียงกับแบบดัมเบลล์*(62)* ชิ้นงานแบบแท่ง และแบบดัมเบลล์ เมื่อใช้ร่วมกับการยึดติดแบบไร้แรงกระทำต่อชิ้นงาน เป็นรูปแบบการทดสอบที่ดี

จุดมุ่งหมายสูงสุดของการทดสอบการยึดติด คือความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง และผลที่เกิดขึ้นทางคลินิก ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างลึกซึ้ง ดังนั้นเพื่อที่จะบรรลุถึงจุดมุ่งหมายสูงสุด จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างมาตรฐานในการทดสอบไม่ว่าจะเป็นการเตรียมชิ้นงาน และการตั้งค่าในการทดสอบ รวมถึงการสร้างมาตรฐานในการรายงานขั้นตอนและผลการทดสอบ เพื่อที่จะนำไปสู่ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ในทางคลินิกต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ยูนิตกรอฟัน (Mobile unit, Kavo, Heidelberg, Germany)
2. เครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ (8872, INSTRON, MA, U.S.A.)
3. อุปกรณ์ยึดชิ้นงานทดสอบแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค
4. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED Curing light S10, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)
5. เครื่องตรวจสอบความเข้มแสง (Demetron LED Radiometer, SDS/Kerr, CA, USA)
6. เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine, Model Isomet, Buehler,IL, U.S.A.)
7. เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (Automatic polishing machine, DPS 3200, IMPTECH, Boksburg, South Africa)
8. ตู้บ่มอุณหภูมิ (Incubator, Contherm series five, Contherm Scientific Ltd., Petone, New Zealand)
9. เครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermocycling unit, KMIT,Samut Prakarn, Thailand)
10. ไมโครปิเปต ขนาด 20 ไมครอน (Micropipette, Gilson, Middletown, USA)
11. กล้องสเตอริโอไมโครสโคป (Stereomicroscope, ML 9300 Meiji techno Co., LTD., Iruma, Japan)
12. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล (Digital caliper, Mitutoyo, Kawasaki, Japan)
13. เครื่องเคลือบทอง (Gold coater, JFC-1200, JEOL, Tokyo, Japan)
14. กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410L, JEOL, Tokyo, Japan)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

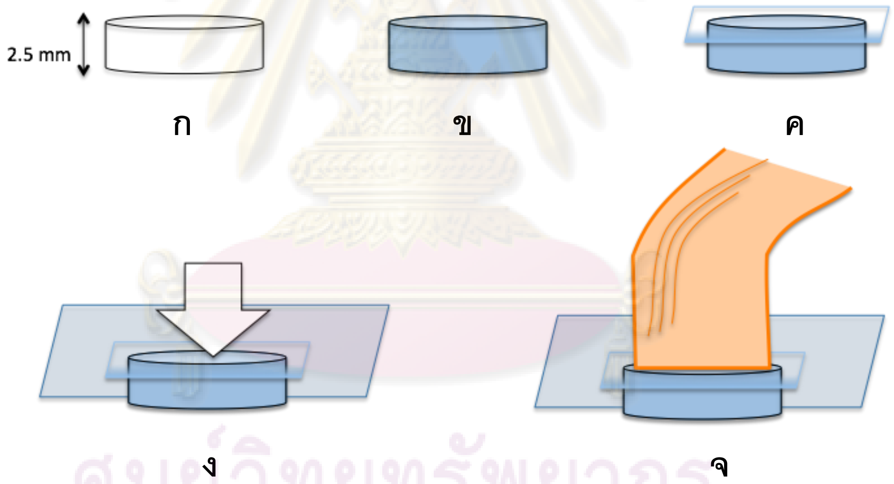
1. เรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต (Filtek Z250, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) สี C2 เลขที่การผลิต N135228
2. เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน (Filtek P90®, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) สี C2 เลขที่การผลิต N132416 และ A2 เลขที่การผลิต N128528
3. สารยึดติดชนิดเมทาไครเลต (Adper Scotchbond Multi-Purpose, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)
4. สารยึดติดชนิดไซลอเรน (P90 system adhesive, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)
5. กาวยึดเมทาไครเลต (Model Repair II Blue, Dentsply-Sankin, Ohtawara, Japan)
6. กระดาษทราย เบอร์ 80 และ 600 (Silicon carbide paper, TOA-Sankyo, Chonburi, Thailand)
7. ชิ้นอะคริลิกยึดชิ้นงานเข้าเครื่องตัดฟัน
8. แม่แบบโพลิโพรไพลีน (Polypropylene) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร สูง 2.5 และ 5 มิลลิเมตร
9. แผ่นไมลาร์ (Mylar strip, TDV Dental Ltd., Santa Catarina, Brazil)
10. แผ่นสไลด์แก้ว
11. ใบมีดเบอร์ 15 (Surgical blade, Swann-Morton, Sheffield, England)
12. พู่กันขนาดเล็กพู่เดียว (Points, SDI, Bayswater, Victoria, Australia)
13. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร
14. ปูนสโตน (Stone, SMP, Saraburi, Thailand)
15. เข็มกรอกากเพชรทรงกระบอก (FG314L/6, Intensiv SA, Garncia, Switzerland)

การเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิตตั้งต้น

เตรียมชิ้นงานตั้งต้นด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน (Filtek P90®, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) สี A2 จำนวน 48 ชิ้น ให้มีรูปร่างทรงกระบอกตามแม่แบบโพลิโพรไพลีน (polypropylene)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ความสูง 2.5 มิลลิเมตร โดยใส่ เรซินคอมโพสิตในครั้งเดียว (bulk placement) ให้เกินแม่แบบเล็กน้อย นำแผ่นไมลาร์ (Mylar strip, TDV Dental Ltd., Santa Catarina, Brazil) มาปิดผิววัสดุเรซินคอมโพสิต วางแผ่นสไลด์แก้วทับแผ่นไมลาร์ แล้วออกแรงกดแผ่นสไลด์แก้วจนเห็นว่าแผ่นสไลด์แก้วแนบกับแม่แบบ เพื่อให้ได้ผิววัสดุที่มีความเรียบ ทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED Curing light S10, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) เป็นระยะเวลา 20 วินาที ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยวางปลายกระบอกเครื่องฉายแสงตั้งฉากและติดกับแผ่นสไลด์แก้ว การฉายแสงจะควบคุมความเข้มแสงให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ด้วยเครื่องตรวจสอบความเข้มแสง (Demetron L.E.D. Radiometer, SDS/Kerr, Orange, USA) นำชิ้นงานออกจากแม่แบบแล้วกำจัดครีบส่วนเกินด้วยใบมีดเบอร์ 15 (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การสร้างชิ้นงานตั้งต้น โดยนำเรซินคอมโพสิตใส่ในแม่แม่แบบ (ก -ค) กดทับด้วยแผ่นไสลด์กระจก (ง) แล้วฉายแสง (จ)

การจำลองอายุการใช้งานชิ้นงานเรซินคอมโพสิตตั้งต้น

ทำการจำลองอายุการใช้งานในช่องปากโดยนำชิ้นตัวอย่างทดสอบและตัวอย่างควบคุมไปแช่ในน้ำประปาในเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermocycling unit, KMIT Lardkrabang, Samut Prakarn, Thailand) ที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ แช่อุณหภูมิละ 30 วินาที พักระหว่างอุณหภูมิ 5 วินาที

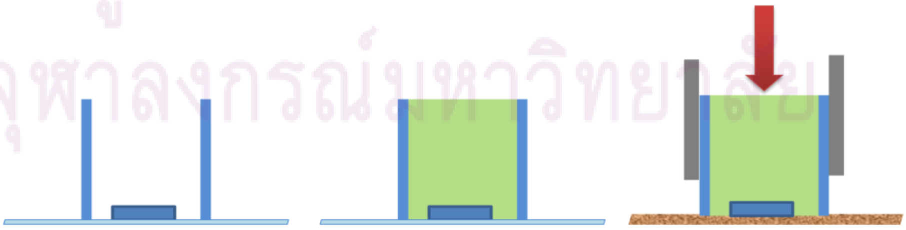
การขัดพื้นผิว

สุ่มแบ่งตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งานออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 24 ชิ้น เพื่อจำลองการการเตรียมพื้นผิวด้วยเข็มกรอกากเพชร ด้วยการขัดกระดาษทราย (Silicon carbide paper, TOA-Sankyo, Chonburi, Thailand) ดังนี้

กลุ่มที่หนึ่ง กระดาษทราย เบอร์ 80
กลุ่มที่สอง กระดาษทราย เบอร์ 320 และ 600 เรียงตามลำดับ

ทำการขัดพื้นผิวโดยใช้ เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (Automatic polishing machine, DPS 3200, IMPTECH, Boksburg, South Africa) ที่ความเร็วเครื่องขัด 120 รอบต่อนาที ใช้แรงกดชิ้นขัด 2 ความดันบรรยากาศ (ATM) ขัดเป็นเวลา 30 วินาทีต่อชิ้น ต่อความหยาบของกระดาษทราย มีน้ำหล่อลื่นตลอดการขัด โดยเปลี่ยนกระดาษทรายทุกๆสองชิ้นงาน เพื่อทำให้การขัดพื้นผิวด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติมีความสม่ำเสอและเป็นระนาบเดียวกัน ชิ้นงานจะถูกยึดเข้ากับท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร โดยวางชิ้นงานให้ผิว ด้านที่เคยแนบกับแผ่นไมลาร์ติดกับแผ่นไสลด์แก้ว นำท่อพีวีซีมาวางครอบ แล้วเททับชิ้นงานด้วยปูนสโตนจนเต็มท่อพีวีซี (ภาพที่ 14-15) ทิ้งให้ปูนแข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนนำไปขัดพื้นผิวด้วย เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ

เมื่อชิ้นงานถูกขัดผิวตามที่กำหนดไว้ นำชิ้นงานออกจากปูนสโตน แล้วทำความสะอาดพื้นผิวด้วยน้ำกลั่นและลมพร้อมกัน จากหัวฉีดลมและน้ำ (Triple syringe) จากยูนิตกรอฟัน (Mobile unit, Kavo, Heidelberg, Germany) โดยล้างน้ำด้วยแรงดันสูงสุดเป็นระยะเวลา 30 วินาที ที่ระยะ 5 เซนติเมตร แล้วเป่าจนชิ้นงานแห้ง



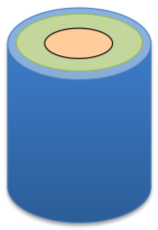
ก. ข. ค.

ภาพที่ 14 การยึดชิ้นงานตั้งต้นเข้ากับท่อพีวีซี

ก. วางชิ้นงานให้ผิวด้านที่เคยแนบกับแผ่นไมลาร์ติดกับแผ่นไสลด์แก้ว

ข. เททับชิ้นงานด้วยปูนสโตน

ค. ทิ้งชิ้นงานไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปเข้าเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ



ภาพที่ 15 ชิ้นงานตั้งต้นที่พร้อมสำหรับการขัดผิวด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ

• **การบูรณะซ่อมแซม**

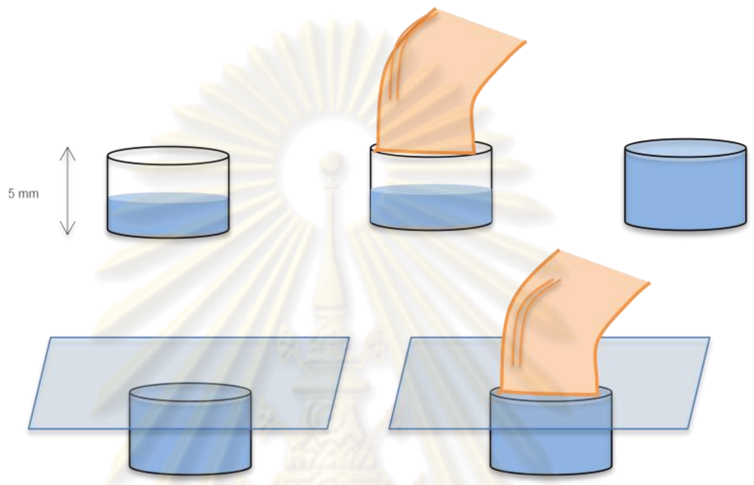
สุ่มแบ่งตัวอย่างจากในแต่ละกลุ่มการขัดพื้นผิวออกเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 12 ชิ้น เพื่อรับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตและสารยึดติดดังนี้ โดยทำตามขั้นตอนดังตารางที่ 4 จนได้ชิ้นงาน 10 กลุ่ม (ภาพที่ 17)

กลุ่มที่ 1 ซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน (Filtek P90®, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) สี C2 ร่วมกับสารยึดติดชนิดไซลอเรน (P90 system adhesive, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)

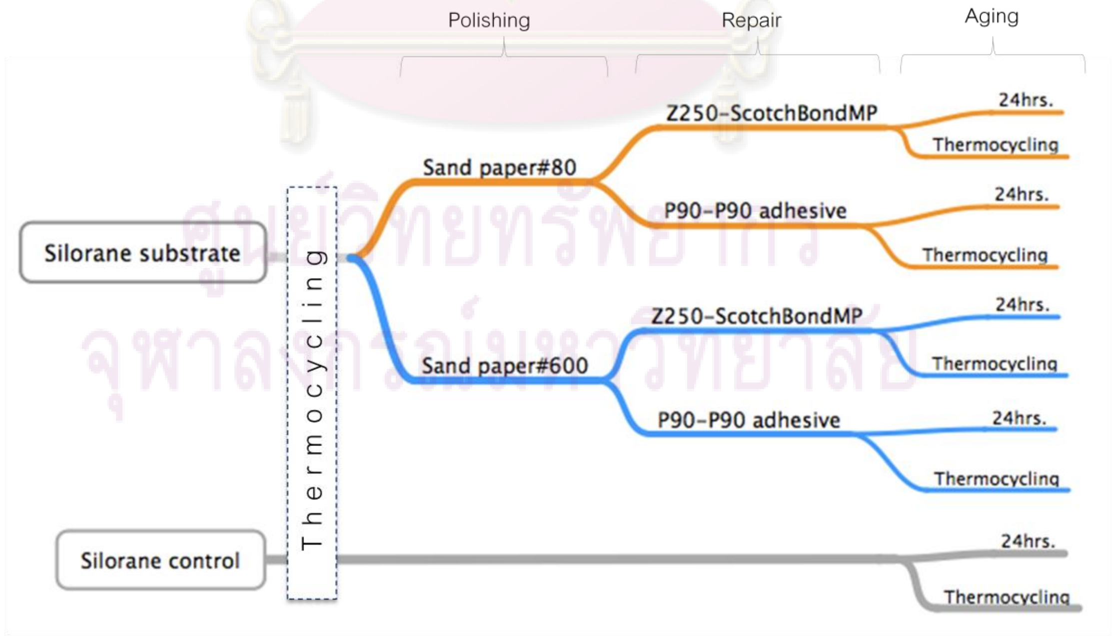
กลุ่มที่ 2 ซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต (Z250, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) สี C2 ร่วมกับสารยึดติดชนิดเมทาไครเลต (Adper Scotchbond Multi-Purpose, 3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)

นำชิ้นงานตั้งต้นมาบรรจุลงแม่แบบโพลิโพรไพลีน (polypropylene) ที่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ความสูง 5 มิลลิเมตร โดยหันชิ้นงานด้านที่ถูกขัดพื้นผิวขึ้น จากนั้นทำการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานตั้งต้นด้วยการใช้สารยึดติดตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกลุ่มตามตารางที่ 3 โดยใช้ไมโครปิเปต ขนาด 20 ไมครอน (Micropipette, Gilson, Middletown, USA) เป็นเครื่องมือในการควบคุมปริมาณสารยึดติดที่ใช้ในแต่ละกลุ่ม ให้มีปริมาณครั้งละ 5 ไมโครลิตร หลังจากที่เตรียมพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว นำเรซินคอมโพสิตตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกลุ่มมาบรรจุลงในแม่แบบ โดยบรรจุเรซินคอมโพสิตในครั้งเดียวให้เกินแม่แบบเล็กน้อย วางแผ่นสไลด์แก้วทับแล้วออกแรงกดแผ่นสไลด์แก้วจนเห็นว่าแผ่นสไลด์แก้วแนบกับแม่แบบ แล้วทำการฉายแสงลักษณะเดียวกับการฉายแสงชิ้นงานตั้งต้น เป็นระยะเวลา 20 วินาที จากนั้น แกะชิ้นงานออกจากแม่แบบ แล้วนำไป แช่น้ำปราศจากอิออน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใน ตู้บ่มอุณหภูมิ (Incubator, Contherm series five, Contherm Scientific Ltd., Petone, New Zealand)

สำหรับตัวอย่างควบคุม เตรียม ชิ้นงานลักษณะเดียวกับตัวอย่างตั้งต้น แต่ใช้แม่แบบที่มีความสูง 5 มิลลิเมตร โดยทำการอุดสองชั้นต่อเนื่องกัน ชั้นละประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ทำการฉายแสงทีละชั้น ในลักษณะเดียวกับตัวอย่างตั้งต้น ตัวอย่างควบคุมผ่านการจำลองอายุการใช้งานและการแช่น้ำหลังการซ่อมแซมเช่นเดียวกับชิ้นงานทดลอง (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 การสร้างชิ้นงานควบคุม



ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงกลุ่มการศึกษาทั้ง 10 กลุ่มในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบ และเลขที่การผลิตของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลอง

เรซินคอมโพสิต	เลขที่การผลิต / สี	ส่วนประกอบ
Filtek Z250 (3M ESPE, St paul, MN)	วัสดุซ่อมแซม: N135228/C2	Silane treated ceramic 75–85%, bisphenol a polyethylene glycol diether dimethacrylates 5–10%, diurethane dimethacrylate 5–10%, bisphenol diglycidyl ether dimethacrylate (BISGMA) 1–10%, triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) <5%(ปริมาณวัสดุอัดแทรก 76% โดยน้ำหนัก และ 55% โดยปริมาตร ขนาดวัสดุอัดแทรก 0.04-1.7µm)
Filtek P90® (3M ESPE, St paul, MN)	วัสดุตั้งต้น: N128528,/ A2 วัสดุซ่อมแซม: N132416/C2	Silane treated quartz 60–70%, yttrium trifluoride 5–15% Bis-3,4-epoxycyclohexylethyl-phenyl-methylsilane 5–15% 3,4-Epoxycyclohexylcyclo-polymethylsiloxane 5–15% ปริมาณวัสดุอัดแทรก 78% โดยน้ำหนัก และ 60% โดยปริมาตร ขนาดวัสดุอัดแทรก 0.01-3.5µm

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบ และเลขที่การผลิตของสารยึดติดที่ใช้ในการทดลอง

สารยึดติด	เลขที่การผลิต	ส่วนประกอบ
Adper Scotchbond Multi-Purpose (3M ESPE, St paul, MN)	Primer: 8BW Adhesive: 8RJ	30-40% HEMA , Polyalkenoic acid copolymer, water 60-70% BIS-GMA, 30-40% HEMA, Camphorquinone

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

P90 System Adhesive (3M ESPE, Seefeld, Germany)	Self-etch Primer: 8AW	ether dimethacrylate (BISGMA) 15–25%, water 10–15, ethanol 10–15%, phosphoric acid-methacryloxy-hexyl esters mixture 5–15%, silane treated silica 8–12%, 1,6-hexanediol
	Bond: 8AT	Substituted dimethacrylate 70-80%, silane treated silica 5-10%, TEGDMA 5-10%, Phosphoric acid methacryloxy-hexylesters <3%, CQ <3%, 1, 6-Hexanediol dimethacrylate <3%

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการใช้สารยึดติดในการทดลอง

สารยึดติด	ขั้นตอนการใช้
Adper Scotchbond Multi Purpose	1. ทาไพร์เมอร์ (primer) ปริมาณ 5 ไมโครลิตร เป็นเวลา 15 วินาที 2. ทาแอดฮีซิฟ (adhesive) ปริมาณ 5 ไมโครลิตร เป็นเวลา 15 วินาที 3. เป่าลม 5 วินาที 4. ฉายแสง 10 วินาที
P90 System Adhesive	1. ทาเซลฟ์เอชไพรม์เมอร์ (self-etch primer) ปริมาณ 5 ไมโครลิตร เป็นเวลา 15 วินาที 2. เป่าลมให้เป็นฟิล์มบาง 3. ฉายแสง 10 วินาที 4. ทาบอนด์ (bond) ปริมาณ 5 ไมโครลิตร 5. เป่าลมให้เป็นฟิล์มบาง 6. ฉายแสง 10 วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำชิ้นงานที่ผ่านการแช่น้ำมาเป่าแห้ง แล้วนำไปยึดกับชิ้นอะคริลิกยึดชิ้นงานเข้าเครื่องตัดฟัน ด้วยกาวยึดเมทาไครเลต (Model Repair II Blue, Dentsply-Sankin, Ohtawara, Japan) เพื่อยึดชิ้นงานให้เหมาะสมกับการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine, Model Isomet, Buehler, IL, U.S.A.) (ภาพที่ 18) โดยลักษณะการตัดนั้น จะตั้งฉากกับพื้นผิวชิ้นงาน โดยมีสองแนวตัดที่เป็นมุมฉากกัน เมื่อตัดชิ้นงานได้เรียบร้อยแล้วจะได้ชิ้นงานจำนวน 6 แผ่นต่อชิ้นงาน โดยมีขนาดกว้าง 4.5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร และหนา 0.8 มิลลิเมตร (ภาพที่19)

การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค

สุ่มแบ่งแผ่นชิ้นงานในแต่ละกลุ่มออกเป็นสองกลุ่มดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> นำไปทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคทันที

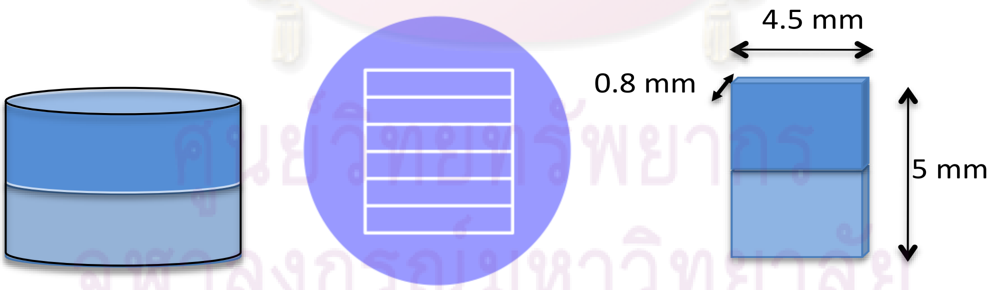
<u>กลุ่มที่ 2</u> นำไปจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ ที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ แช่อุณหภูมิละ 30 วินาที พัก 5 วินาที ก่อนนำไปทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค

นำแผ่นชิ้นงานมาบันทึกความหนาโดยใช้เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล (Digital caliper, Mitutoyo, Kawasaki, Japan) ที่ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเตรียมความเว้าบริเวณรอยต่อของการซ่อมแซม ด้วย เข็มกรอกากเพชรทรงกระบอก (FG314L/6, Intensiv SA, Garcia, Switzerland) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร กรอตัดด้วยความเร็วสูงภายใต้น้ำหล่อเย็น โดยทำการกรอเป็นเส้นตรงตามรอยต่อของวัสดุบูรณะให้มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมตามรูปร่างของเข็มกรอที่ใช้ในการกรอตัด (ภาพที่ 20) โดยความกว้างของส่วนที่แคบที่สุดในการกรอแต่ละชิ้นงานจะไม่เท่ากัน [คำนวนจากความหนาของชิ้นงานที่วัดได้ในแต่ละชิ้น โดยนำหนึ่งมาหารด้วยความหนา (มิลลิเมตร) ของชิ้นงานแต่ละชิ้น] เพื่อให้ชิ้นงานทุกชิ้น มีพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อที่ใกล้เคียง 1 ตารางมิลลิเมตร

ยึดชิ้นงานที่กรอแต่งเรียบร้อยแล้วเข้ากับอุปกรณ์ยึดชิ้นงานทดสอบแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคด้วยกาวยึดเมทาไครเลต โดยวางให้รอยต่อของชิ้นงานอยู่ตรงและขนานกับรอยต่อของอุปกรณ์ทดสอบ (ภาพที่ 21) จากนั้น นำอุปกรณ์ทดสอบไปทดสอบกำลังยึดดึงระดับจุลภาค ด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบเอนกประสงค์ (8872, INSTRON, MA, U.S.A.) โดยใช้โหลดเซลล์ (load cell) ขนาด 250 นิวตัน ที่ความเร็วทดสอบที่ 1 มิลลิเมตร/นาที จนชิ้นงานแตกหัก บันทึกแรงยึด

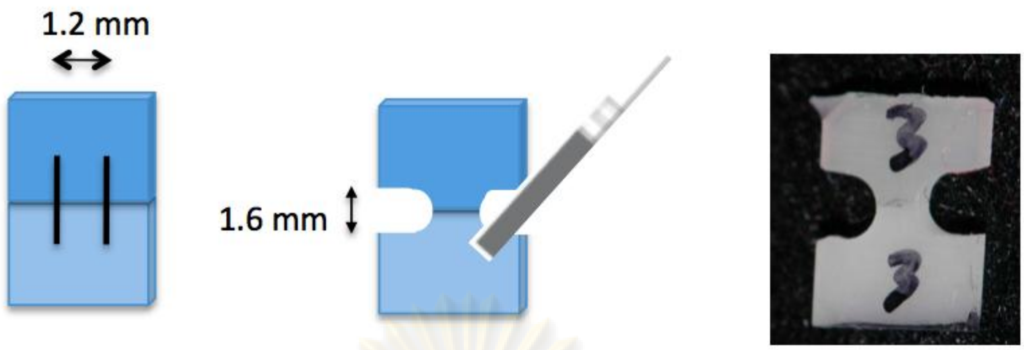
เป็นหน่วยนิวตัน ทำการวัดความกว้างของชิ้นงานบริเวณที่มีการแตกหัก ด้วยเครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอลที่ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร เพื่อนำไปหาพื้นที่หน้าตัดในการคำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงเป็นค่าเมกะปาสคาล โดยนำค่าแรงยึดสูงสุด (นิวตัน) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่เกิดการแตกหัก (ตารางมิลลิเมตร)

ภาพที่ 18 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ

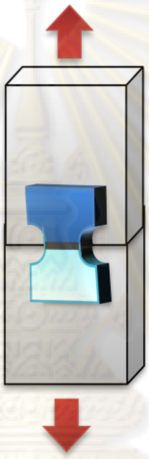


ภาพที่ 19 การตัดชิ้นงานรูปทรงกระบอกให้เป็นรูปแผ่นที่มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 20 การเตรียมชิ้นงานให้มีความเว้าด้วยเข็มกรอกากเพชร



ภาพที่ 21 การวางให้รอยต่อของชิ้นงานอยู่ตรงและขนานกับรอยต่อของอุปกรณ์ทดสอบ

การประเมินประเภทของความล้มเหลว

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคมาตรวจสอบประเภทของความล้มเหลวด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (Stereomicroscope, ML 9300 Meiji techno Co., LTD, Japan) ที่กำลังขยาย 15-30 เท่า โดยคัดแยกความล้มเหลวออกเป็น

- ระหว่างรอยต่อ (Adhesive failure)
    - รอยแตกทั้งหมดอยู่ในชั้นของสารยึดติดระหว่างวัสดุตั้งต้นและวัสดุซ่อมแซมเท่านั้น
- ในเนื้อวัสดุตั้งต้น (Cohesive failure in substrate material)
    - รอยแตกทั้งหมดอยู่ในวัสดุตั้งต้นเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ในเนื้อวัสดุซ่อมแซม (Cohesive failure in repairing material)
    - รอยแตกทั้งหมดอยู่ในวัสดุตั้งต้นเท่านั้น
- แบบผสม (Mixed failure)
    - รอยแตกที่มีทั้งแบบในเนื้อวัสดุและระหว่างรอยต่อ

การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สุ่มเลือกชิ้นงานที่ล้มเหลว กลุ่มละ 2 ชิ้น ทำการอบชิ้นตัวอย่างให้แห้ง แล้วนำไป เคลือบด้วยทองด้วยเครื่องเคลือบทอง (Gold coater, JFC-1200, JEOL, Tokyo, Japan) ก่อนนำมาตรวจสภาพพื้นผิวชิ้นงานบริเวณที่มีความล้มเหลว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410L, JEOL, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 100 และ 5,000 เท่า

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS for windows version 17.0) ในการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดค่านัยสำคัญที่ 0.05 โดยวิเคราะห์ผลของ ความหยาบผิว และประเภทของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน สองทาง (Two-Way ANOVA) ทำการวิเคราะห์แยกระหว่างกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทำการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซม จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยแยกเป็นการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคแต่ละกลุ่ม ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) แบบแทมแฮน (Tamhane)
2. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทำการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซม ด้วยสถิติ การทดสอบที (Independent T-test)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ทำการวัดค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของการซ่อมแซม เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ด้วยการเตรียมพื้นผิว และวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมที่แตกต่างกัน ที่เวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซม ได้ผลดังตารางที่ 4 (*รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงไว้ในภาคผนวก)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของแต่ละกลุ่มการทดลอง

วัสดุที่ใช้ซ่อมแซม	กระดาษทรายที่ใช้	n	24 ชั่วโมง (เมกะปาสคาล)	จำลองอายุการใช้งาน (เมกะปาสคาล)
Z250	80	20	$25.19 \pm 7.56^{A, a}$	$16.20 \pm 5.52^{A, b}$
Z250	600	20	$23.06 \pm 6.48^{A, a}$	$17.95 \pm 8.63^{A, b}$
P90	80	20	$24.87 \pm 6.17^{A, a}$	$16.60 \pm 5.76^{A, b}$
P90	600	20	$23.75 \pm 6.17^{A, a}$	$18.94 \pm 6.85^{A, b}$
Control	-	20	$48.37 \pm 11.45^{B, a}$	$44.80 \pm 10.77^{B, a}$

ตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญในแนวตั้ง

ตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญในแนวนอน

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เมื่อทดสอบการกระจายตัวแบบ Shapiro-wilk พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ ($p > 0.05$) การ วิเคราะห์ข้อมูลจึงใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way analysis of variances) โดยมีความหยาบผิว และประเภทวัสดุบูรณะเป็นปัจจัยทดสอบ พบว่าวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม ($p = 0.915$) และความหยาบผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(p = 0.336) ไม่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม และความหยาบผิว พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (p = 0.763)

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variances) พบว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงต้องนำไปทดสอบทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบแทมแฮน (multiple comparison: Tamhane) พบว่า ทุกกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซมมีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม มี ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เมื่อทดสอบการกระจายตัวแบบ Shapiro-wilk พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ ($p > 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลจึงใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way analysis of variances) โดยความหยาบผิว และประเภทวัสดุบูรณะเป็นปัจจัยทดสอบ พบว่าวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม (p = 0.650) และความหยาบผิว (p = 0.183) ไม่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม และความหยาบผิว พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (p = 0.843)

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variances) พบว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงต้องนำไปทดสอบทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบแทมแฮน (multiple comparison: Tamhane) พบว่า ทุกกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซมมีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม มี ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคในกลุ่มที่มีความหยาบผิว และซ่อมแซมด้วยวัสดุเดียวกัน ระหว่างกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน พบว่ากลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งานมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับกลุ่มควบคุม ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งานมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง

จากการประเมินความล้มเหลวของชิ้นงานในกลุ่มทดสอบ พบว่าความล้มเหลวของกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซม มีความล้มเหลวแบบระหว่างวัสดุเป็นส่วนใหญ่ พบความล้มเหลวแบบผสมและแบบในเนื้อวัสดุซ่อมแซมจำนวนน้อย แต่ไม่พบความล้มเหลวแบบในเนื้อวัสดุตั้งต้น ส่วนความล้มเหลวของกลุ่มควบคุมนั้นถือว่าเป็นความล้มเหลวแบบในเนื้อวัสดุทั้งหมด เนื่องจากไม่ได้รับการซ่อมแซมใดๆ

ตารางที่ 5 ประเภทของความล้มเหลวในแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มทดลอง			ในเนื้อวัสดุตั้งต้น	ในเนื้อวัสดุซ่อมแซม	ระหว่างวัสดุ	แบบผสม
วัสดุซ่อมแซม	กระดาษทราย	การจำลองอายุการใช้งาน				
Z250	80	24 ชั่วโมง	-	-	19/20 (95%)	1/20 (5%)
		เทอโมไซคลิง	-	-	18/20 (90%)	2/20(10%)
	600	24 ชั่วโมง	-	-	20/20 (100%)	-
		เทอโมไซคลิง	-	-	20/20 (100%)	-
P90	80	24 ชั่วโมง	-	-	20/20 (100%)	-
		เทอโมไซคลิง	-	1/20 (5%)	19/20 (95%)	-
	600	24 ชั่วโมง	-	-	20/20 (100%)	-
		เทอโมไซคลิง	-	-	19/20 (95%)	1/20 (5%)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการแตกของชิ้นงานก่อนการทดสอบ เกิดขึ้นจำนวนน้อย และเกิดเพียงบางกลุ่ม เท่านั้น (ตารางที่ 6) สำหรับกลุ่มที่เกิดการแตกหักของชิ้นงานก่อนการทดสอบขึ้น ก็ได้ทำการเตรียมชิ้นงานในกลุ่มนั้นๆเพิ่มเติมให้ครบกลุ่มละ 20 ชิ้นตามที่กำหนด โดยที่ไม่ได้นำชิ้นงานที่แตกหักมาร่วมในการวิเคราะห์ใดๆ

ตารางที่ 6 จำนวนชิ้นงานแตกหักก่อนการทดสอบ

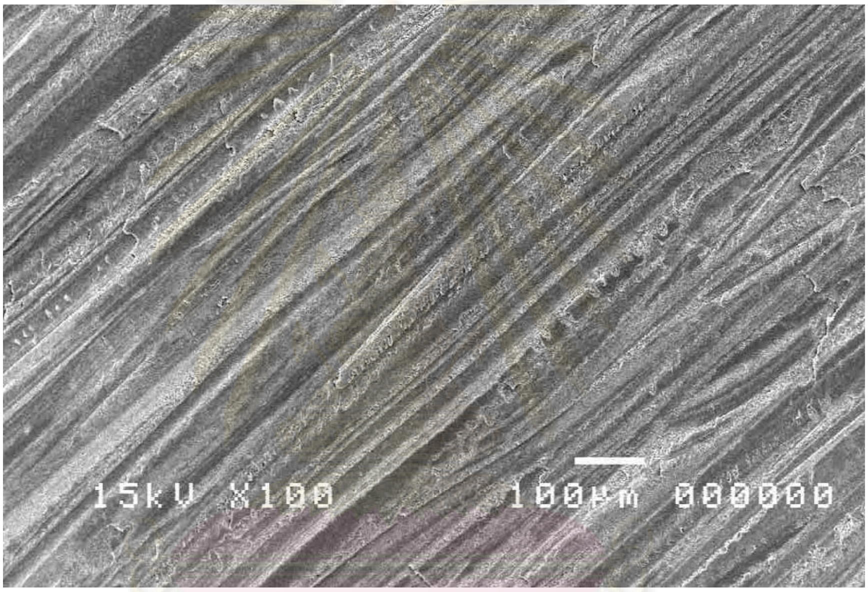
วัสดุซ่อมแซม	กระดาษทราย	การจำลองอายุการใช้งาน	จำนวนชิ้นงานแตกหักก่อนการทดสอบ
Z250	80	24 ชั่วโมง	-
		เทอโมไซคลิง	-
	600	24 ชั่วโมง	1
		เทอโมไซคลิง	-
P90	80	24 ชั่วโมง	1
		เทอโมไซคลิง	-
	600	24 ชั่วโมง	-
		เทอโมไซคลิง	1
กลุ่มควบคุม		24 ชั่วโมง	-
		เทอโมไซคลิง	-

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบลักษณะของพื้นผิวของพี 90 ที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 22) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ภาพที่ 23) ที่มีความสม่ำเสมอ และรอยขัดที่มีความละเอียดกว่า สำหรับความล้มเหลวของชิ้นงานในกลุ่มควบคุม จะเป็นความล้มเหลวแบบเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 24) รอยแตกของจะมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสอ ไม่เป็นเส้นตรง ส่วนความล้มเหลวในกลุ่มทดสอบ ส่วนใหญ่จะเป็นความล้มเหลวแบบระหว่างเนื้อวัสดุ หรือแบบผสม (ภาพที่ 27) โดยความล้มเหลวจะเกิดเป็นเส้นตรง ตามรอยต่อระหว่างสารยึดติด และวัสดุตั้งต้น หรือสารยึดติด และวัสดุซ่อมแซม โดยมักจะพบส่วนของสารยึดติดหลงเหลืออยู่ทั้งทางด้านวัสดุซ่อมแซม และวัสดุตั้งต้น ลักษณะพื้นผิวของสารยึดติดด้านที่แนบกับพื้นผิวที่ถูกขัดกระดาษทราย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

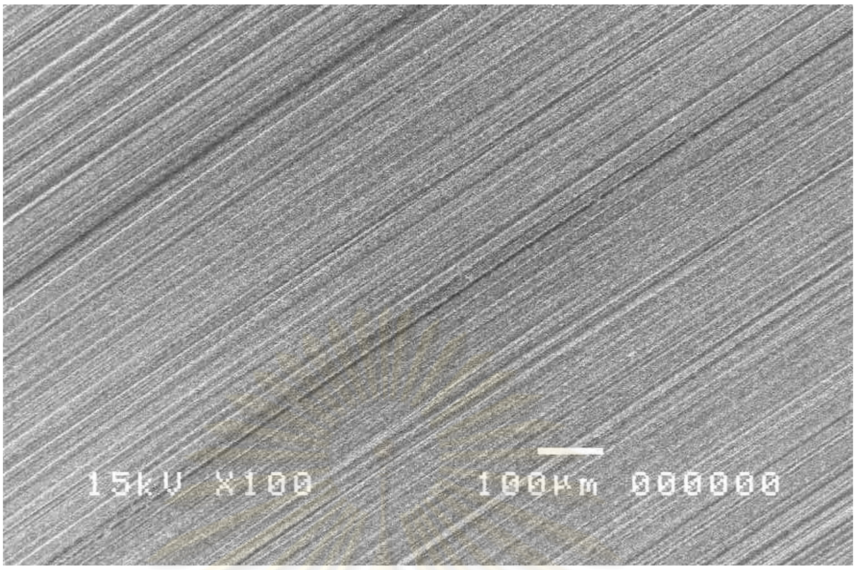
นั้น เหมือนกับลักษณะของพื้นผิวที่ถูกขัดกระดาษทราย ทั้งในกลุ่มที่ใช้กระดาษทรายเบอร์ 80 หรือ 600 และในกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเมทาไครเลต หรือไซลอเรน (ภาพที่ 24)

เมื่อเปรียบเทียบพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่กำลังขยายเดียวกัน ระหว่าง พื้นผิวของชิ้นงานที่ได้รับการขัดกระดาษทราย (ภาพที่ 25) และพื้นผิวของชิ้นงานกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการขัดกระดาษทราย (ภาพที่ 26) พบว่ามีลักษณะทางพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยชิ้นที่ได้รับการขัดกระดาษทรายจะมีพื้นผิวที่มีอนุภาคมาเกาะอยู่พื้นผิวมากมาย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวกลุ่มควบคุมที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า

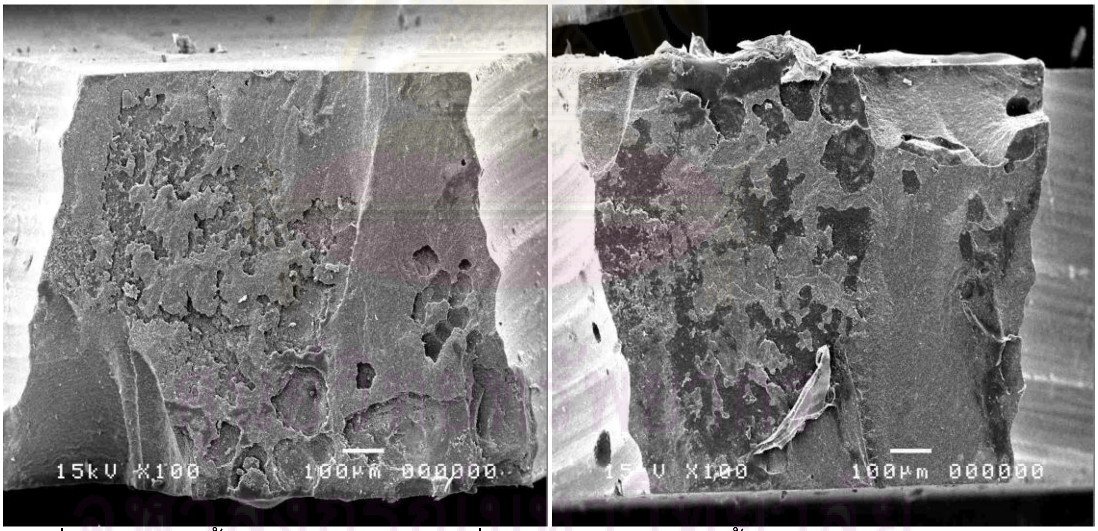


ภาพที่ 22 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

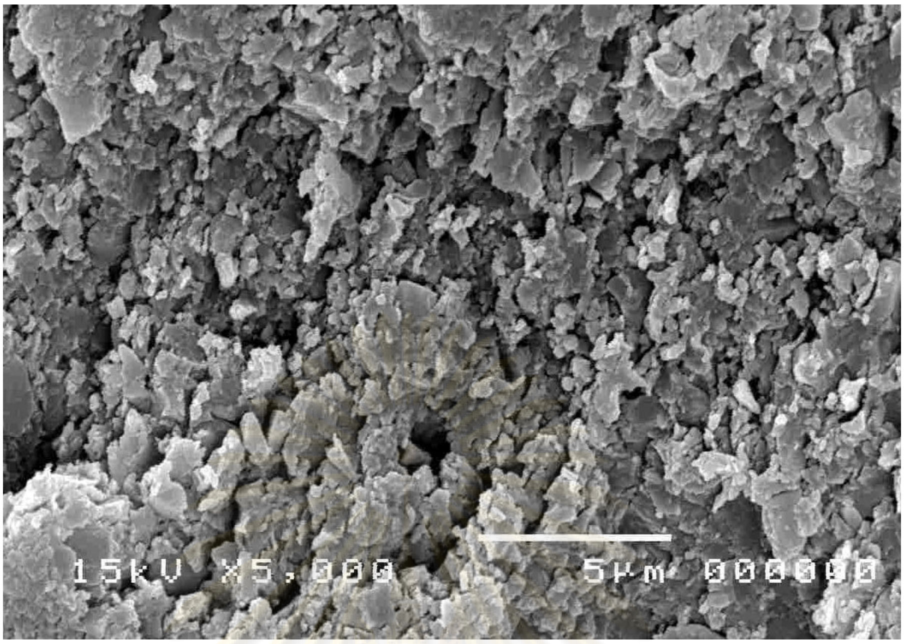
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



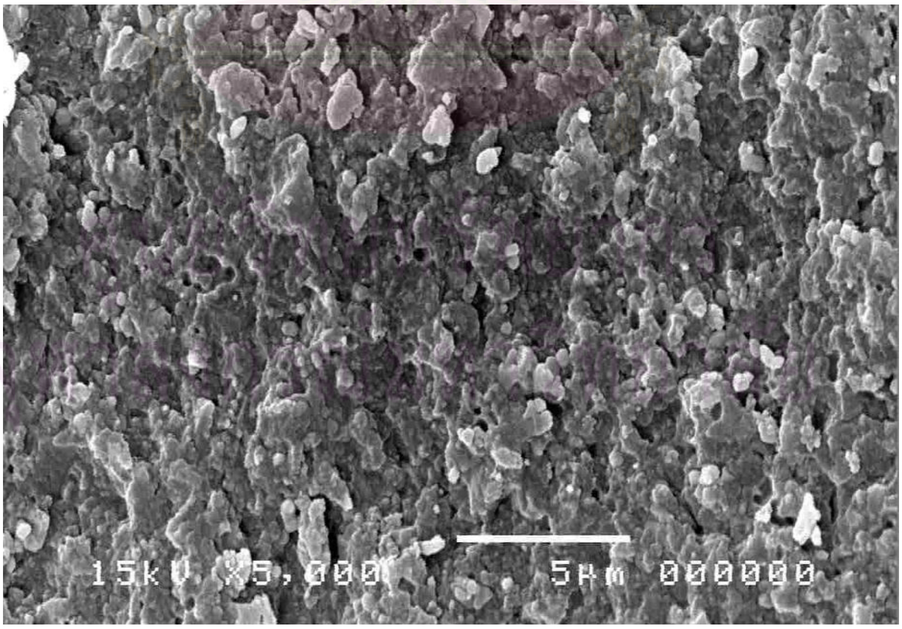
ภาพที่ 23 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



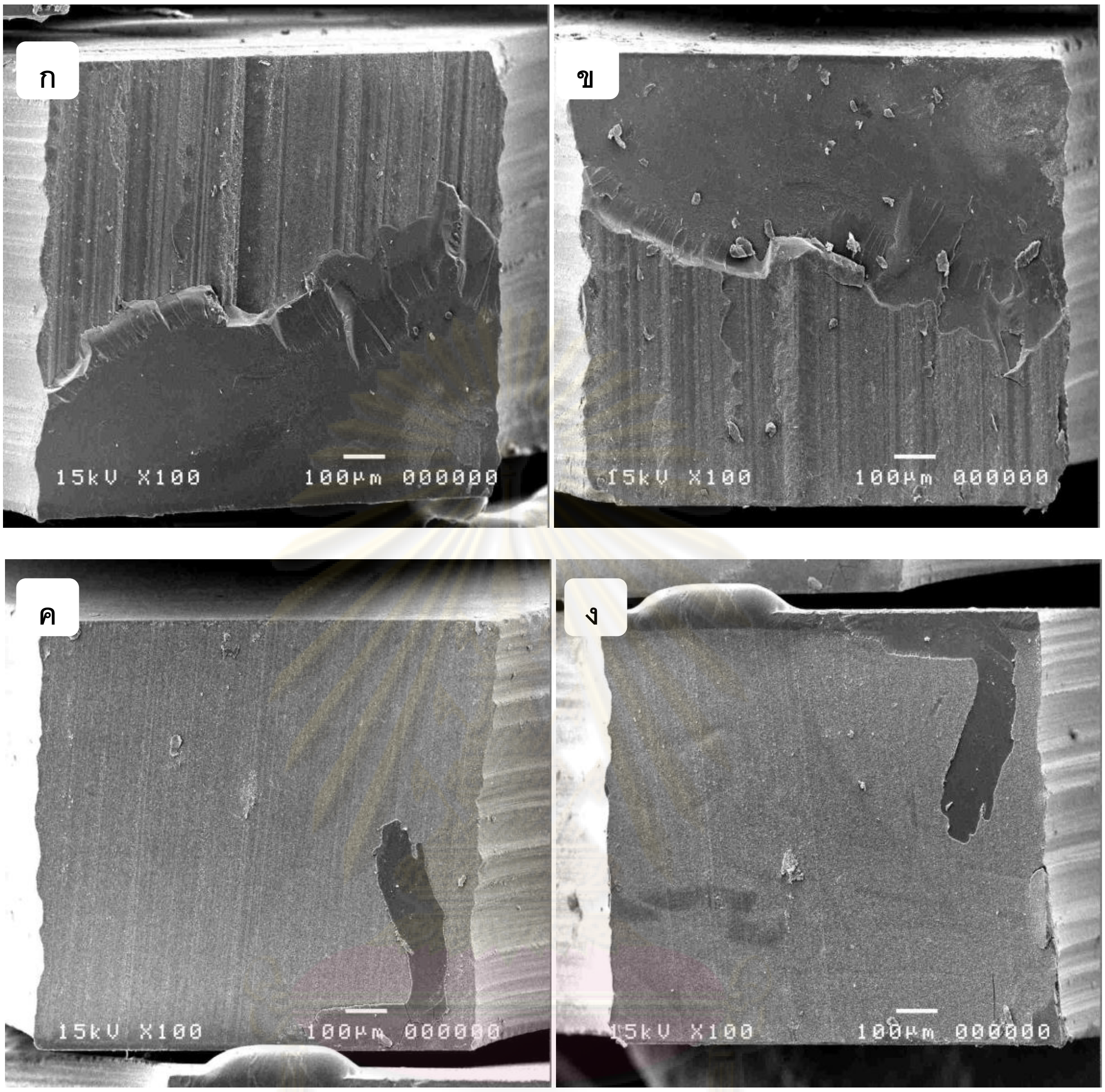
ภาพที่ 24 ตัวอย่างชิ้นงานในกลุ่มควบคุม ที่มีความล้มเหลวแบบเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 25 พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



ภาพที่ 26 ลักษณะพื้นผิวบริเวณที่แตกหักของชิ้นงานในกลุ่มควบคุม ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 27 ตัวอย่างชิ้นงานที่มีความล้มเหลวแบบระหว่างรอยต่อ ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ก.-ข. หน้าตัดชิ้นงานในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 และพี 90 ที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่ามีสารยึดติดอยู่ทั้งด้านวัสดุตั้งต้น (ก) และวัสดุซ่อมแซม (ข)

ค.-ง. หน้าตัดชิ้นงานในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 และแซด z250 ที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่ามีสารยึดติดส่วนใหญ่อยู่ทั้งด้านวัสดุซ่อมแซม (ง) แต่มีบางส่วนติดอยู่ฝั่งวัสดุตั้งต้น (ค)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาถึงผลของการบูรณะซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ร่วมกับการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซม เพื่อศึกษาถึงผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้งานในช่องปากจริง ในขณะนี้เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนมีเพียง P90 (Filtek P90®, 3M ESPE, St paul, MN) เท่านั้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาด หรือในบางประเทศอาจใช้ชื่อว่าไซลอเรน (Silorane®) ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ Z250 (Filtek Z250®, 3M ESPE, St paul, MN) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการศึกษาวิจัยมาก มีส่วนประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตทั่วไปในท้องตลาด สามารถเป็นตัวแทนเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตได้ และวัสดุอัดแทรก มีความใกล้เคียงกับ P90 ทั้งเชิงปริมาณ และลักษณะของวัสดุอัดแทรก ตัวอย่างเรซินคอมโพสิตตั้งต้นนั้น ได้รับการจำลองอายุการใช้งาน เพื่อจำลองสภาพของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานในช่องปาก ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิต เช่นการลดลงของมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา การไหลออกของส่วนประกอบของเรซินคอมโพสิต การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้ความสามารถในการยึดติดของเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานลดลง เปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตที่สดใหม่ หลายการศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซม ไม่มีการจำลองอายุการใช้งานก่อนการซ่อมแซม ดังนั้นผลของการศึกษาอาจจะไม่จำลองถึงเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานในช่องปาก เนื่องจาก ยังไม่มีขั้นตอนมาตรฐานในการจำลองอายุการใช้งาน*(43, 63)* ทำให้การจำลองอายุการใช้งานในแต่ละการศึกษามีหลากหลาย เช่น การแช่น้ำ การแช่ในน้ำเดือด การแช่กรด ทำให้การเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาที่ใช้ขั้นตอนแตกต่างกันเป็นไปได้ยาก สำหรับการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้เทอโมไซคลิงเนื่องจากมีการศึกษาที่แสดงผลของการเทอโมไซคลิง ว่าสามารถลดแรงยึดของการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตได้อย่างมีนัยสำคัญ *(51)* เทอโมไซคลิงยังเป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้ในการศึกษาการซ่อมแซม*(53, 64-65)*

การยึดติดระหว่างชั้นของเรซินคอมโพสิตนั้น เป็นการยึดติดทางเคมีที่มีความแข็งแรง *(33)* แต่สำหรับเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานนั้น จะมีความสามารถในการยึดติดที่น้อยลง ดังนั้นในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต จึงต้องทำการเตรียมพื้นผิววัสดุที่ต้องการซ่อมแซม เพื่อส่งเสริมให้เกิดการยึดติดขึ้น แม้จะมีการศึกษาที่สรุปว่าการยึดติดในการซ่อมแซมนั้นเป็นการยึดติดทางกล

ระดับจุลภาค แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่าการยึดติดทางเคมีไม่มีผลต่อการยึดติด ดังนั้นจึงต้องพยายามให้เกิดทั้งการยึดติดทางกลและทางเคมี เพื่อผลการยึดติดที่ดีในการซ่อมแซม

หลักการในการยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตนั้น อาจมีความใกล้เคียงกับการยึดติดในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต การเตรียมพื้นผิวเรซินคอมโพสิตมักประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การเพิ่มพื้นที่ผิว

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการยึดติดทางกล คล้ายกับขั้นตอนการใช้กรดละลายส่วนอนินทรีย์ของฟันเพื่อให้เกิดพื้นที่ผิวมากขึ้น ส่วนวิธีที่ใช้เพิ่มพื้นที่ผิวเรซินคอมโพสิตได้แก่ การใช้เข็มกรอทางทันตกรรม (dental bur) แบบต่างๆ และการใช้การเป่าอนุภาค สำหรับการใช้กรดกัดพื้นผิวนั้นให้ผลที่ไม่แน่นอน อาจทำให้วัสดุสูญเสียความแข็งแรงได้ ลดแรงยึดติดในการซ่อมแซมได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเรซินคอมโพสิต*(41)* ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กรดในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการซ่อมแซม *(31)* ควรใช้กรดที่มีฤทธิ์ในการทำความสะอาดพื้นผิวเท่านั้น*(30)*

2. การแทรกซึม

พื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ถูกเตรียมมีความหยาบในระดับจุลภาค (microroughness surface) และเนื่องจากเรซินคอมโพสิตไม่สามารถแนบกับพื้นผิวดังกล่าวได้ดี*(32)* จึงจำเป็นที่จะต้องใช้สารที่มีความหนืดต่ำที่สามารถไหลแผ่แนบไปกับพื้นผิวเพื่อให้เกิดแรงยึดทางกล และควรมีความสามารถที่จะยึดกับเรซินคอมโพสิตในชั้นต่อไปได้ ในลักษณะเดียวกับการใช้สารยึดติดในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต สารที่มีการใช้ในการซ่อมแซม ได้แก่ สารยึดติดประเภทต่างๆเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ และไซเลน

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่อาจเกิดการยึดติดทางเคมีได้ โดยเกิดได้ระหว่างสารความหนืดต่ำและผิวเรซินคอมโพสิตที่สัมผัสกัน*(66)*

3. การบูรณะ

การใช้เรซินคอมโพสิตที่มีความแข็งแรงบูรณะในชั้นต่อมา เพื่อให้วัสดุที่ซ่อมแซมมีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงบดเคี้ยวได้

จากการศึกษาในห้องทดลอง การทำให้พื้นผิวหยาบด้วยการเป่าอนุภาคนั้นมักจะให้แรงยึดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตสูงกว่าการใช้เข็มกรอ*(67)* เนื่องจากทำให้วัสดุเกิดพื้นที่ผิวที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่การทำให้พื้นผิวหยาบด้วยการเป่าอนุภาคนั้น จำเป็นต้องใช้ เครื่องเป่าอนุภาคในช่องปาก (intraoral air abrasion device) ซึ่งมีราคาประมาณ 9,000-15,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เข็มกรอ ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีอยู่ในการรักษาทางทันตกรรม การใช้เข็มกรอยังสามารถกำจัดวัสดุบูรณะเก่าที่เสียหาย พร้อมกับการเตรียมพื้นผิวเพื่อการซ่อมแซมได้ด้วยเครื่องมือเดียวกัน การใช้เข็มกรอจึงอาจจะมีความเป็นไปได้มากกว่าเมื่อพิจารณาถึงสภาวะการซ่อมแซมในช่องปากจริง ในการศึกษานี้ ใช้กระดาษทรายในการขัดผิวเรซินคอมโพสิต เพื่อจำลองพื้นผิวที่เกิดจากเข็มกรอกากเพชร ถึงแม้จะยังไม่มีการศึกษาที่ทำการทดลองเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวที่เกิดขึ้นระหว่างกระดาษทราย และเข็มกรอกากเพชร การใช้ กระดาษทรายเบอร์ 80 และ 600 น่าจะเทียบได้กับเข็มกรอกากเพชรหยาบมาก (super coarse) และละเอียด (fine) ตามลำดับ อ้างอิงจากการศึกษาของ Tani และ Finger*(68)* ที่ได้รายงานถึงขนาดอนุภาคขัดของกระดาษทรายและเข็มกรอกากเพชร

ถึงแม้แรงยึดหลักในการซ่อมแซมจะมาจากแรงยึดทางกล แต่ จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าการที่กระดาษทรายเบอร์ 80 และ 600 ให้แรงยึดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจ เป็นเพราะความหยาบผิวที่เกิดขึ้นนั้น ไม่แตกต่างกันเพียงพอที่จะทำให้ เกิดแรงยึดในการซ่อมแซมที่แตกต่างกันได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น *(67)* ที่พบว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าอนุภาคให้ลักษณะพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่แตกต่างกับการใช้เข็มกรอกากเพชร และให้แรงยึดที่สุงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

จากการนำชิ้นงานในการทดลองที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยกระดาษทราย มาตรวจสอบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surface roughness tester, Talyscan 150, England) โดยใช้หัวสไตลัส (stylus) และตั้งค่าความละเอียดในแกน X และ Y ที่ 5 ไมครอน ค่า cut off เท่ากับ 0.08 พบว่าพื้นผิวเรซินคอมโพสิตที่ได้รับการขัดกระดาษทรายทั้งเบอร์ 80 และ 600 ให้ค่า Sa ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p=.004) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบทีที่เป็นอิสระจากกัน (Independent pair T-test) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 5 (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่า Sa ของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตที่รับการขัดกระดาษทราย

	กระดาษทราย	n	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Sa	80 grit	5	.182560	.0130563
	600 grit	5	.072422	.0443799

ดังนั้นการใช้เข็มกรอที่มีความหยาบแตกต่างกันจากการทดลองที่ใช้กระดาษทรายเป็นตัวแทนของเข็มกรอแต่ละความหยาบ ทำให้เกิดพื้นผิวที่มีค่า Sa ซึ่งแสดงถึงความหยาบที่แตกต่างกัน โดยกระดาษทรายเบอร์ 80 ให้ค่า Sa ที่สูงกว่ากระดาษทรายเบอร์ 600 ผลจากความหยาบพื้นผิวที่แตกต่างกันน่าจะทำให้เกิดแรงยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตที่แตกต่างกัน แต่จากการผลทดลอง พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าความหยาบผิวที่แตกต่างกันทางสถิติ อาจไม่มากพอที่ทำให้เกิดความแตกต่างทางแรงยึดติดได้ และอาจเกิดจากการใช้สารไพร์เมอร์ในขั้นตอนการซ่อมแซมตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อการยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต (ดังที่จะกล่าวถึงผลของไพร์เมอร์ต่อไป) ทำให้ประสิทธิภาพของการยึดติดในการซ่อมแซมลดลง และไม่เกิดความแตกต่างของกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคได้

ขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวก่อนการทาสารยึดติดด้วยการฉีดน้ำล้าง ตามคำแนะนำในการซ่อมเรซินคอมโพสิตของผู้ผลิตนั้น เมื่อพิจารณาภาพจากกล้อง จุลทรรศน์อิเลคตรอน พบว่าชิ้นงานที่ได้รับการขัดกระดาษทรายและล้างน้ำ (ภาพที่ 25) มีพื้นผิวที่มีชั้นเสมียร์ ไม่เหมือนกับผิวชิ้นงานกลุ่มควบคุมที่แตกหักที่ไม่มีชั้นเสมียร์ (ภาพที่ 26) ซึ่งการที่มีชั้นเสมียร์หลงเหลืออยู่ อาจขัดขวางการไหลแผ่ของสารยึดติด ทำให้มีความแตกต่างระหว่างค่ากำลังแรงยึดของกลุ่มที่ถูกขัดด้วยกระดาษทรายทั้งสองลดลง ในการกำจัดชั้นเสมียร์บนผิวเรซินคอมโพสิต อาจต้องใช้กรดร่วมด้วย กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 สามารถทำความสะอาดพื้นผิวได้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานของผิวเรซินคอมโพสิต*(30)* หากมีฟันธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องในพื้นที่ที่ต้องซ่อมแซม ก็สามารถใช้กรดฟอสฟอริกเตรียมพื้นผิวฟันและเรซินคอมโพสิตได้พร้อมกัน โดยไม่เกิดผลเสียต่อการซ่อมแซม

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้สารยึดติดในการซ่อมแซม เนื่องจากในการซ่อมแซม ในช่องปากมักจะมีฟันธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องในพื้นที่ซ่อมแซม ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้สารยึดติดในการ

เตรียมพื้นผิวฟันธรรมชาติอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้สารยึดติด จึงมีความสะดวก สามารถเตรียม ผิวฟันธรรมชาติ พร้อมกับผิวเรซินคอมโพสิต ได้ในเวลาเดียวกัน แต่ถ้าในตำแหน่งที่ต้องการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตนั้น การใช้สารยึดติดในการซ่อมแซม อาจไม่มีความจำเป็นในการใช้ส่วนของไพร์เมอร์ เนื่องจากอาจทำให้เพิ่มความชอบน้ำของชั้นยึดติด (bond interface) ทำให้ลดความคงทนชั้นยึดติด ส่งผลให้กำลังแรงยึดลดลง *(12, 67)* ดังนั้นการใช้ไพร์มเมอร์ในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตตามที่บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำนั้น หากไม่มีส่วนของฟันธรรมชาติ อาจไม่ทำให้เกิดประโยชน์ใดๆ หรืออาจส่งให้เกิดผลเสียดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต เมื่อไม่ใช้ส่วนของไพร์มเมอร์ร่วมด้วย ส่วนการใช้ไซเลนร่วมในการเตรียมพื้นผิวนั้น ยังให้ผลไม่แน่ชัด บางการศึกษา *(30, 35)* พบว่าการใช้ไซเลนไม่เพิ่มการยึดติดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต นอกจากนั้น การใช้ไซเลนอาจเป็นการเพิ่มความชอบน้ำของชั้นยึดติดเช่นเดียวกับการใช้ไพร์เมอร์ ซึ่งทำให้ความคงทน ในระยะยาวลดลง

ในการซ่อมแซมวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตในช่องปาก ทันตแพทย์อาจไม่ทราบถึงชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ต้องได้รับการซ่อมแซม ดังนั้นการเลือกใช้สารยึดติด จึงมักจะเลือกใช้ตามประเภทวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม สำหรับเรซินคอมโพซิตชนิดไซลอเรน ทางผู้ผลิตได้แนะนำให้ใช้กับสารยึดติดระบบไซลอเรนเท่านั้น ถึงแม้จะไม่มีส่วนประกอบของไซลอเรนมอนอเมอร์อยู่ในสารยึดติดเอง แต่ทางผู้ผลิตก็อ้างว่าสารยึดติดสามารถยึดกับเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนได้ ถึงแม้จะมีการเสนอทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี ระหว่างสารยึดติดระบบไซลอเรนกับเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน*(9)* แต่จนกว่าจะมีความเข้าใจในกลไกการยึดติด และผลของการใช้สารยึดติดนอกเหนือที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ หากไม่ทราบถึงชนิดของเรซินคอมโพสิตตั้งต้นที่ต้องการจะซ่อมแซม ก็ควรจะใช้สารยึดติดให้สอดคล้องกับชนิดของเรซินคอมโพสิตที่เลือกใช้ในการซ่อมแซม

เมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม กำลังแรงยึดจากวัสดุทั้งสองชนิด ซึ่งอาจจะตรงหรือไม่ตรงกับชนิดของวัสดุที่แตกหักและรอการซ่อมแซมนั้น ให้แรงยึดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจจะอธิบายได้ว่า การยึดติดในการซ่อมแซมนั้นเกิดจากการยึดติดเชิงกลเป็นหลัก ส่วนผลของการยึดติดจากทางเคมีนั้น อาจมีผลน้อยจนไม่เห็นความแตกต่าง ซึ่งควรจะต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อยืนยันถึงผลที่เกิดขึ้น หรือวิธีที่สามารถทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ผ่านการใช้งานแล้ว

จากการตรวจกล้องสเตอริโอไมโครสโคป พบว่าชิ้นงานในกลุ่มที่ได้รับการซ่อมแซมส่วนใหญ่จะเกิดความล้มเหลวแบบระหว่างวัสดุ ซึ่งการแตกจะเกิดอยู่ในบริเวณรอยต่อ แรงยึดที่วัดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงแสดงถึงค่ากำลังยึดติดจริง โดยรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ ที่มีความคอดบริเวณรอยต่อนั้น ส่งผลให้แรงดึงไปสะสมอยู่ที่รอยต่อตรงตำแหน่งที่ต้องการจะวัดได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการเตรียมชิ้นงานให้มีความขอด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานรูปแท่งที่มักจะเกิดการแตกที่บริเวณอื่นที่ไม่ต้องการวัดได้ เนื่องจากแรงเกิดการสะสมทั่วทั้งชิ้นงานเท่ากัน อย่างไรก็ตามการเตรียมรูปร่างชิ้นงานด้วยมือนั้น อาจทำให้ได้รูปร่างของชิ้นงานทดสอบที่ไม่สม่ำเสมอ และอาจเกิดแรงกดต่อชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกก่อนการทดสอบ (pre-testing failure) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ พบการแตกก่อนการทดสอบน้อยกว่า 1% จึงทำการเตรียมชิ้นงานเพิ่มเติม และไม่ได้นำชิ้นที่มีการแตกก่อนการทดสอบเข้ามาในการคำนวน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อชิ้นงานมีแรงยึดน้อยกว่า 5 เมกะปาสคาล จะมีโอกาสเกิดการแตกก่อนการทดสอบได้สูง แต่ในการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยแรงยึดติดตั้งแต่ 16.20 ถึง 44.80 เมกะปาสคาล จึงน่าจะมีโอกาสเกิดการแตกก่อนการทดสอบได้น้อย

การทดสอบแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคในการศึกษาครั้งนี้ ทำการเตรียมรูปร่างชิ้นงานให้มีความคอดบริเวณรอยต่อ ทำให้แรงดึงเกิดที่บริเวณรอยต่อที่ต้องการจะทดสอบมากที่สุด ดังจะเห็นจากความล้มเหลวที่เกิดขึ้น ทุกชิ้นงานในทุกกลุ่มการซ่อมแซมเกิดที่บริเวณรอยต่อทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับการการทดสอบแรงยึดเฉือน (shear strength) ที่แรงทดสอบอาจเกิดหลายทิศทาง ทำให้ค่าที่วัดได้อาจแปลผลได้ยาก อย่างไรก็ตามการเตรียมรูปร่างชิ้นงานด้วยมือนั้น อาจมีผลต่อแรงยึดแต่ละชิ้นงานไม่เท่ากัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมแรงตัดให้เท่ากันทุกชิ้น ค่าที่วัดได้อาจมีความไม่เที่ยงตรง หากใช้เครื่องมือที่มีความแน่นอนในการเตรียมรูปร่างชิ้นงาน จะทำให้วัดแรงยึดได้เที่ยงตรงกว่าการใช้มือเตรียมรูปร่างชิ้นงาน

เมื่อเปรียบเทียบถึงผลของการจำลองอายุการใช้งาน พบว่ากลุ่มที่ได้รับการจำลองอายุการใช้งานจะมีค่ากำลังแรงยึดที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการจำลองอายุการใช้งาน แสดงถึงความมีประสิทธิภาพของการจำลองอายุการใช้งานด้วยเทอร์โมไซคลิง ถึงแม้ในช่องปากจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แตกต่างเช่นเดียวกัน แต่ความถี่อาจไม่เท่ากับในการทดลอง การทำเทอร์โมไซคลิงจึงเหมือนกับการจำลองอายุการใช้งานในเวลานานที่ใช้เวลาในการทดลองในช่วงสั้น โดยจุดมุ่งหมายของการจำลองอายุการใช้งานหลังการซ่อมแซมในการทดลองครั้งนี้ คือต้องการให้มีสภาวะที่สามารถทำให้เห็นความแตกต่างในเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดสอบได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ จึงทำการตัดชิ้นงานให้มีความบาง (0.8 มิลลิเมตร) ก่อนการเทอร์โมไซคลิง เพื่อให้ผลของอุณหภูมิน้ำ และการเสื่อมจากน้ำ เกิดได้ทั่วถึงพื้นที่ยึดติดได้อย่างทั่วถึง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นที่มักจะทำการจำลองอายุการใช้งานทั้งชิ้นซ่อมแซมที่มี

ความหนา ก่อนการนำไปตัดเป็นชิ้นเพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยึด ทำให้ผลของการจำลองอายุการใช้งานอาจส่งผลต่อชิ้นงานได้ไม่ทั่วถึง *(58)*แรงยึดของชิ้นงานที่อยู่คนละตำแหน่ง จึงอาจแตกต่างกันได้

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้สภาวะการศึกษาครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า

1. เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ได้รับการซ่อมแซม จะมีค่ากำลังแรงยึดน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตที่ไม่ได้รับการซ่อมแซม
2. ความหยาบผิวบนเรซินคอมโพสิต ที่เกิดจากการขัดกระดาษทราย ไม่มีผลต่อแรงยึดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน
3. ชนิดของเรซินคอมโพสิต ไม่ว่าจะเป็นเมทาไครเลต หรือไซลอเรน ไม่มีผลต่อแรงยึดในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดที่สอดคล้องกับชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการซ่อมแซม
4. การจำลองอายุการใช้งาน มีผลทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่ได้รับการซ่อมแซม มีแรงยึดติดลดลง แต่ไม่มีผลต่อแรงยึดในเนื้อวัสดุของเรซินคอมโพสิตที่ไม่ได้รับการซ่อมแซม

ความสำคัญทางคลินิก

ชนิดของเรซินคอมโพสิต และการเตรียมพื้นผิวด้วยกระดาษทรายที่ความหยาบต่างกัน ไม่มีผลต่อการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาถึงความจำเป็นของการใช้ไพรม์เมอร์ในการซ่อมแซมตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ เนื่องจากอาจไม่เกิดประโยชน์ และอาจส่งผลกระทบต่อการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้ใช้การเตรียมพื้นผิวเพียงวิธีเดียว คือการใช้ขัดกระดาษทราย ซึ่งในทางคลินิกยังมีวิธีอื่นในการเตรียมพื้นผิว เช่น การเป่าอนุภาค การใช้กรดกัด การใช้เข็มกรอ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาถึงผลของการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆในการซ่อมแซมเรซินคอมพสิตแบบไซลอเรน จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป

รวมถึงการใช้สารยึดติดต่างระบบ หรือวิธีการใช้ที่แตกต่างจากที่ผู้ผลิตแนะนำ เช่น การใช้สารยึดติดระบบเมทาไครเลตในการซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน การใช้เฉพาะส่วนของบอนดิงในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต โดยไม่ใช้ส่วนของไพร์เมอร์ เพื่อความเข้าใจถึงผลของสารยึดที่เกิดขึ้นในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

(1) Manhart, J., Chen, H., Hamm, G., and Hickel, R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. Oper Dent 29(5) (Sep-Oct 2004): 481-508.

(2) Pashley, D. H. Clinical considerations of microleakage. J Endod 16(2) (Feb 1990): 70-7.

(3) Segura, A., and Donly, K. J. In vitro posterior composite polymerization recovery following hygroscopic expansion. J Oral Rehabil 20(5) (Sep 1993): 495-9.

(4) Weinmann, W., Thalacker, C., and Guggenberger, R. Siloranes in dental composites. Dent Mater 21(1) (Jan 2005): 68-74.

(5) Papadogiannis, D., Kakaboura, A., Palaghias, G., and Eliades, G. Setting characteristics and cavity adaptation of low-shrinking resin composites. Dent Mater (2009).

(6) Moncada, G., Fernandez, E., Martin, J., Arancibia, C., Mjor, I. A., and Gordan, V. V. Increasing the longevity of restorations by minimal intervention: a two-year clinical trial. Oper Dent 33(3) (May-Jun 2008): 258-64.

(7) Gregory, W. A., Pounder, B., and Bakus, E. Bond strengths of chemically dissimilar repaired composite resins. J Prosthet Dent 64(6) (Dec 1990): 664-8.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(8) Kao, E. C., Pryor, H. G., and Johnston, W. M. Strength of composites repaired by laminating with dissimilar composites. J Prosthet Dent 60(3) (Sep 1988): 328-33.

(9) Tezvergil-Mutluay, A., Lassila, L. V., and Vallittu, P. K. Incremental layers bonding of silorane composite: the initial bonding properties. J Dent 36(7) (Jul 2008): 560-3.

(10) Ivanovas, S., Hickel, R., and Ilie, N. How to repair fillings made by silorane-based composites. Clin Oral Investig (Oct 16 2010).

(11) Maneenut, C., Sakoolnamarka, R., and Tyas, M. J. The repair potential of resin composite materials. Dent Mater 27(2) (Feb 2011): e20-7.

(12) Luhrs, A. K., Gormann, B., Jacker-Guhr, S., and Geurtsen, W. Repairability of dental siloranes in vitro. Dent Mater 27(2) (Feb 2011): 144-9.

(13) Kanca, J., 3rd, and Suh, B. I. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. Am J Dent 12(3) (Jun 1999): 107-12.

(14) Uhl, A., Mills, R. W., Rzanny, A. E., and Jandt, K. D. Time dependence of composite shrinkage using halogen and LED light curing. Dent Mater 21(3) (Mar 2005): 278-86.

(15) Ernst, C. P., Meyer, G. R., Klocker, K., and Willershausen, B. Determination of polymerization shrinkage stress by means of a photoelastic investigation. Dent Mater 20(4) (May 2004): 313-21.

(16) Lien, W., and Vandewalle, K. S. Physical properties of a new silorane-based restorative system. Dent Mater 26(4) (Apr 2010): 337-44.

(17) Leprince, J., Palin, W. M., Mullier, T., Devaux, J., Vreven, J., and Leloup, G. Investigating filler morphology and mechanical properties of new low-shrinkage resin composite types. J Oral Rehabil (Feb 19 2010).

(18) Ilie, N., and Hickel, R. Investigations on mechanical behaviour of dental composites. Clin Oral Investig 13(4) (Dec 2009): 427-38.

(19) Mine, A., De Munck, J., Van Ende, A., Cardoso, M. V., Kuboki, T., Yoshida, Y., et al. TEM characterization of a silorane composite bonded to enamel/dentin. Dent Mater 26(6) (Jun 2010): 524-32.

(20) Duarte, S., Jr., Phark, J. H., Varjao, F. M., and Sadan, A. Nanoleakage, ultramorphological characteristics, and microtensile bond strengths of a new low-shrinkage composite to dentin after artificial aging. Dent Mater 25(5) (May 2009): 589-600.

(21) Brackett, W. W., Ito, S., Tay, F. R., Haisch, L. D., and Pashley, D. H. Microtensile dentin bond strength of self-etching resins: effect of a hydrophobic layer. Oper Dent 30(6) (Nov-Dec 2005): 733-8.

(22) Breschi, L., Mazzoni, A., Ruggeri, A., Cadenaro, M., Di Lenarda, R., and De Stefano Dorigo, E. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. Dent Mater 24(1) (Jan 2008): 90-101.

(23) Navarra, C. O., Cadenaro, M., Armstrong, S. R., Jessop, J., Antoniolli, F., Sergo, V., et al. Degree of conversion of Filtek Silorane Adhesive

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

System and Clearfil SE Bond within the hybrid and adhesive layer: an in situ Raman analysis. Dent Mater 25(9) (Sep 2009): 1178-85.

(24) Gordan, V. V., Garvan, C. W., Blaser, P. K., Mondragon, E., and Mjor, I. A. A Long-term evaluation of alternative treatments to replacement of resin-based composite restorations: results of a seven-year study. J Am Dent Assoc 140(12) (Dec 2009): 1476-84.

(25) Tyas, M. J., Anusavice, K. J., Frencken, J. E., and Mount, G. J. Minimal intervention dentistry--a review. FDI Commission Project 1-97. Int Dent J 50(1) (Feb 2000): 1-12.

(26) Truffier-Boutry, D., Place, E., Devaux, J., and Leloup, G. Interfacial layer characterization in dental composite. J Oral Rehabil 30(1) (Jan 2003): 74-7.

(27) Vankerckhoven, H., Lambrechts, P., van Beylen, M., Davidson, C. L., and Vanherle, G. Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins. J Dent Res 61(6) (Jun 1982): 791-5.

(28) von Beetzen, M., Li, J., Nicander, I., and Sundstrom, F. Factors influencing shear strength of incrementally cured composite resins. Acta Odontol Scand 54(5) (Oct 1996): 275-8.

(29) Kupiec, K. A., and Barkmeier, W. W. Laboratory evaluation of surface treatments for composite repair. Oper Dent 21(2) (Mar-Apr 1996): 59-62.

(30) Swift, E. J., Jr., Cloe, B. C., and Boyer, D. B. Effect of a silane coupling agent on composite repair strengths. Am J Dent 7(4) (Aug 1994): 200-2.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(31) Tate, W. H., DeSchepper, E. J., and Powers, J. M. Bond strength of resin cements to a hybrid composite. Am J Dent 6(4) (Aug 1993): 195-8.

(32) Rathke, A., Tymina, Y., and Haller, B. Effect of different surface treatments on the composite-composite repair bond strength. Clin Oral Investig (2008).

(33) Yesilyurt, C., Kusgoz, A., Bayram, M., and Ulker, M. Initial repair bond strength of a nano-filled hybrid resin: effect of surface treatments and bonding agents. J Esthet Restor Dent 21(4) (2009): 251-60.

(34) Frankenberger, R., Kramer, N., Ebert, J., Lohbauer, U., Kappel, S., ten Weges, S., et al. Fatigue behavior of the resin-resin bond of partially replaced resin-based composite restorations. Am J Dent 16(1) (Feb 2003): 17-22.

(35) Soderholm, K. J., and Roberts, M. J. Variables influencing the repair strength of dental composites. Scand J Dent Res 99(2) (Apr 1991): 173-80.

(36) Bonstein, T., Garlapo, D., Donarummo, J., Jr., and Bush, P. J. Evaluation of varied repair protocols applied to aged composite resin. J Adhes Dent 7(1) (Spring 2005): 41-9.

(37) Bouschlicher, M. R., Reinhardt, J. W., and Vargas, M. A. Surface treatment techniques for resin composite repair. Am J Dent 10(6) (Dec 1997): 279-83.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(38) Papacchini, F., Radovic, I., Magni, E., Goracci, C., Monticelli, F., Chieffi, N., et al. Flowable composites as intermediate agents without adhesive application in resin composite repair. Am J Dent 21(1) (Feb 2008): 53-8.

(39) Stangel, I., Nathanson, D., and Hsu, C. S. Shear strength of the composite bond to etched porcelain. J Dent Res 66(9) (Sep 1987): 1460-5.

(40) Lacy, A. M., LaLuz, J., Watanabe, L. G., and Dellinges, M. Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. J Prosthet Dent 60(3) (Sep 1988): 288-91.

(41) Brosh, T., Pilo, R., Bichacho, N., and Blutstein, R. Effect of combinations of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. J Prosthet Dent 77(2) (Feb 1997): 122-6.

(42) Ozcan, M., Alander, P., Vallittu, P. K., Huysmans, M. C., and Kalk, W. Effect of three surface conditioning methods to improve bond strength of particulate filler resin composites. J Mater Sci Mater Med 16(1) (Jan 2005): 21-7.

(43) Tezvergil, A., Lassila, L. V., and Vallittu, P. K. Composite-composite repair bond strength: effect of different adhesion primers. J Dent 31(8) (Nov 2003): 521-5.

(44) Papacchini, F., Monticelli, F., Hasa, I., Radovic, I., Fabianelli, A., Polimeni, A., et al. Effect of air-drying temperature on the effectiveness of silane primers and coupling blends in the repair of a microhybrid resin composite. J Adhes Dent 9(4) (Aug 2007): 391-7.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(45) Fawzy, A. S., El-Askary, F. S., and Amer, M. A. Effect of surface treatments on the tensile bond strength of repaired water-aged anterior restorative micro-fine hybrid resin composite. J Dent 36(12) (Dec 2008): 969-76.

(46) Rodrigues, S. A., Jr., Ferracane, J. L., and Della Bona, A. Influence of surface treatments on the bond strength of repaired resin composite restorative materials. Dent Mater 25(4) (Apr 2009): 442-51.

(47) Lucena-Martin, C., Gonzalez-Lopez, S., and Navajas-Rodriguez de Mondelo, J. M. The effect of various surface treatments and bonding agents on the repaired strength of heat-treated composites. J Prosthet Dent 86(5) (Nov 2001): 481-8.

(48) Li, H., Burrow, M. F., and Tyas, M. J. The effect of thermocycling regimens on the nanoleakage of dentin bonding systems. Dent Mater 18(3) (May 2002): 189-96.

(49) Soderholm, K. J., Zigan, M., Ragan, M., Fischlschweiger, W., and Bergman, M. Hydrolytic degradation of dental composites. J Dent Res 63(10) (Oct 1984): 1248-54.

(50) Ferracane, J. L., and Marker, V. A. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. J Dent Res 71(1) (Jan 1992): 13-9.

(51) Ozcan, M., Barbosa, S. H., Melo, R. M., Galhano, G. A., and Bottino, M. A. Effect of surface conditioning methods on the microtensile bond

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

strength of resin composite to composite after aging conditions. Dent Mater 23(10) (Oct 2007): 1276-82.

(52) Papacchini, F., Toledano, M., Monticelli, F., Osorio, R., Radovic, I., Polimeni, A., et al. Hydrolytic stability of composite repair bond. Eur J Oral Sci 115(5) (Oct 2007): 417-24.

(53) Brendeke, J., and Ozcan, M. Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. J Adhes Dent 9(4) (Aug 2007): 399-406.

(54) Nakajima, M., Sano, H., Zheng, L., Tagami, J., and Pashley, D. H. Effect of moist vs. dry bonding to normal vs. caries-affected dentin with Scotchbond Multi-Purpose Plus. J Dent Res 78(7) (Jul 1999): 1298-303.

(55) Silva, N. R., Calamia, C. S., Harsono, M., Carvalho, R. M., Pegoraro, L. F., Fernandes, C. A., et al. Bond angle effects on microtensile bonds: laboratory and FEA comparison. Dent Mater 22(4) (Apr 2006): 314-24.

(56) Soares, C. J., Soares, P. V., Santos-Filho, P. C., and Armstrong, S. R. Microtensile specimen attachment and shape--finite element analysis. J Dent Res 87(1) (Jan 2008): 89-93.

(57) Ghassemieh, E. Evaluation of sources of uncertainties in microtensile bond strength of dental adhesive system for different specimen geometries. Dent Mater 24(4) (Apr 2008): 536-47.

(58) Loguercio, A. D., Uceda-Gomez, N., Carrilho, M. R., and Reis, A. Influence of specimen size and regional variation on long-term resin-dentin bond strength. Dent Mater 21(3) (Mar 2005): 224-31.

(59) Poitevin, A., De Munck, J., Van Landuyt, K., Coutinho, E., Peumans, M., Lambrechts, P., et al. Critical analysis of the influence of different parameters on the microtensile bond strength of adhesives to dentin. J Adhes Dent 10(1) (Feb 2008): 7-16.

(60) Betamar, N., Cardew, G., and Van Noort, R. The effect of variations in hourglass specimen design on microtensile bond strength to dentin. J Adhes Dent 9(5) (Oct 2007): 427-36.

(61) Goracci, C., Sadek, F. T., Monticelli, F., Cardoso, P. E., and Ferrari, M. Influence of substrate, shape, and thickness on microtensile specimens' structural integrity and their measured bond strengths. Dent Mater 20(7) (Sep 2004): 643-54.

(62) Betamar, N., Cardew, G., and Van Noort, R. Influence of specimen designs on the microtensile bond strength to dentin. J Adhes Dent 9(2) (Apr 2007): 159-68.

(63) Papacchini, F., Magni, E., Radovic, I., Mazzitelli, C., Monticellia, F., Goracci, C., et al. Effect of intermediate agents and pre-heating of repairing resin on composite-repair bonds. Oper Dent 32(4) (Jul-Aug 2007): 363-71.

(64) Yaman, B. C., Efes, B. G., Dorter, C., Gomec, Y., Erdilek, D., and Yazicioglu, O. Microleakage of repaired class V silorane and nano-hybrid composite restorations after preparation with erbium:yttrium-aluminum-garnet laser and diamond bur. Lasers Med Sci 26(2) (Mar 2011): 163-70.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(65) Rinastiti, M., Ozcan, M., Siswomihardjo, W., and Busscher, H. J. Effects of surface conditioning on repair bond strengths of non-aged and aged microhybrid, nanohybrid, and nanofilled composite resins. Clin Oral Investig (May 25 2010).

(66) Papacchini, F., Dall'Oca, S., Chieffi, N., Goracci, C., Sadek, F. T., Suh, B. I., et al. Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a microfilled hybrid resin: effect of surface treatment and oxygen inhibition. J Adhes Dent 9(1) (Feb 2007): 25-31.

(67) Costa, T. R., Ferreira, S. Q., Klein-Junior, C. A., Loguercio, A. D., and Reis, A. Durability of surface treatments and intermediate agents used for repair of a polished composite. Oper Dent 35(2) (Mar-Apr 2010): 231-7.

(68) Tani, C., and Finger, W. J. Effect of smear layer thickness on bond strength mediated by three all-in-one self-etching priming adhesives. J Adhes Dent 4(4) (Winter 2002): 283-9.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต

สกอตช์บอนด์ มัลติเพอพัส (Scotchbond Multipurpose)

1. Clean the composite surface and tooth structure using a plain flour of slurry. Rinse and dry thoroughly and isolate from moisture. Note: if bonding only to composite, pumice the composite, apply primer and adhesive as indicated (etching is not necessary in this case)

2. Roughen composite surface with bur or diamond.

3. Etchin: Apply Scotchbond etchant (phosphoric or maleic) to both enamel, dentin and composite. Wait 15 seconds. Rinse for 15 seconds. Dry for 2 seconds.

4. Priming: Apply Adper Scotchbond multi-pupose primer to etched enamel, dentin and composite. Dry gently for 5 seconds.

5. Adhesive application: Apply Adper Scotchbond multi-purpose adhesive to the primed tooth structure and composite.

6. Adhesive curing: Light cure for 10 seconds.

7. Restorative placement, cure and finishing: Refer to manufacturer's instructions for placement, cure and finishing restorative material

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตในการซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต

สารยึดติดระบบ P90 (P90 system adhesive)

- Convetional methacrylate composite and compomer fillings can be repaired using Filtek P90® and P90 System Adhesive as decribed in these instruction for use.

- Filtek P90 filling can be repaired with methacrylate composite and compomer ffilling materials and the appropriate adhesive. Please follow the instructions for use of the specific material.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 1 กระดาษทรายเบอร์ 80 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.77	1.14	0.878	22.98	26.1791
2	0.77	1.19	0.916	15.83	17.276
3	0.77	1.19	0.916	17.58	19.1859
4	0.81	1.14	0.923	33.64	36.4306
5	0.74	1.25	0.925	14.18	15.3297
6	0.74	1.25	0.925	38.25	41.3514
7	0.76	1.22	0.927	23.14	24.9569
8	0.77	1.21	0.932	34.30	36.8144
9	0.78	1.22	0.952	16.43	17.2657
10	0.79	1.22	0.964	24.28	25.1919
11	0.82	1.19	0.976	24.98	25.5995
12	0.77	1.27	0.978	21.96	22.4563
13	0.79	1.24	0.98	32.51	33.187
14	0.80	1.23	0.984	28.75	29.2175
15	0.77	1.28	0.986	25.03	25.3957
16	0.77	1.28	0.986	30.62	31.0674
17	0.76	1.31	0.996	22.36	22.4588
18	0.79	1.28	1.011	15.06	14.8932
19	0.81	1.26	1.021	22.36	21.9087
20	0.82	1.26	1.033	18.30	17.712
ค่าเฉลี่ย					25.1939
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					7.55670

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 2 กระดาษทรายเบอร์ 600 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลตที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.78	1.10	0.858	20.24	23.5897
2	0.81	1.09	0.8829	16.95	19.1981
3	0.84	1.06	0.8904	21.65	24.3149
4	0.81	1.13	0.9153	18.97	20.7254
5	0.80	1.15	0.92	17.13	18.6196
6	0.78	1.18	0.9204	19.66	21.3603
7	0.79	1.17	0.9243	21.32	23.0661
8	0.80	1.16	0.928	21.81	23.5022
9	0.78	1.20	0.936	12.66	13.5256
10	0.78	1.20	0.936	18.25	19.4979
11	0.78	1.22	0.9516	24.60	25.8512
12	0.80	1.20	0.96	16.16	16.8333
13	0.80	1.20	0.96	19.28	20.0833
14	0.81	1.19	0.9639	30.64	31.7875
15	0.77	1.26	0.9702	32.51	33.5086
16	0.77	1.26	0.9702	38.88	40.0742
17	0.79	1.23	0.9717	19.78	20.3561
18	0.76	1.28	0.9728	22.71	23.345
19	0.80	1.22	0.976	13.51	13.8422
20	0.76	1.33	1.0108	28.43	28.1262
ค่าเฉลี่ย					23.0604
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					6.47623

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 3 กระดาษทรายเบอร์ 80 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรนที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.65	1.26	0.819	15.60	19.0476
2	0.77	1.15	0.886	11.96	13.5065
3	0.82	1.10	0.902	14.39	15.9534
4	0.77	1.19	0.916	13.11	14.3075
5	0.75	1.24	0.93	8.38	9.01075
6	0.78	1.21	0.944	32.44	34.3717
7	0.71	1.33	0.944	27.04	28.635
8	0.75	1.26	0.945	21.60	22.8571
9	0.83	1.14	0.946	32.52	34.3691
10	0.79	1.22	0.964	13.17	13.6647
11	0.79	1.23	0.972	26.23	26.9939
12	0.78	1.26	0.983	36.20	36.8335
13	0.77	1.28	0.986	28.73	29.1498
14	0.76	1.30	0.988	20.61	20.8603
15	0.76	1.30	0.988	28.83	29.1802
16	0.78	1.27	0.991	39.51	39.8849
17	0.79	1.28	1.011	42.72	42.2468
18	0.77	1.32	1.016	21.67	21.3203
19	0.88	1.16	1.021	23.23	22.7567
20	0.84	1.24	1.042	23.32	22.3886
ค่าเฉลี่ย					24.8669
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					9.40647

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 4 กระดาษทรายเบอร์ 600 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.79	1.05	0.83	19.42	23.4117
2	0.76	1.14	0.866	20.55	23.7188
3	0.75	1.19	0.893	24.36	27.2941
4	0.80	1.12	0.896	32.33	36.0826
5	0.78	1.15	0.897	16.87	18.8071
6	0.80	1.14	0.912	18.69	20.4934
7	0.78	1.17	0.913	15.62	17.1159
8	0.81	1.13	0.915	19.96	21.8071
9	0.77	1.19	0.916	23.30	25.4284
10	0.77	1.20	0.924	13.03	14.1017
11	0.76	1.23	0.935	21.75	23.267
12	0.77	1.22	0.939	17.05	18.1499
13	0.75	1.26	0.945	31.73	33.5767
14	0.79	1.20	0.948	24.46	25.8017
15	0.79	1.21	0.956	24.40	25.5257
16	0.80	1.21	0.968	32.81	33.8946
17	0.77	1.28	0.986	25.09	25.4566
18	0.77	1.29	0.993	21.89	22.0377
19	0.78	1.28	0.998	12.41	12.4299
20	0.80	1.27	1.016	26.99	26.565
ค่าเฉลี่ย					23.7483
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					6.17229

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 5 กลุ่มควบคุม ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.77	1.62	1.247	46.34	37.1493
2	0.76	1.57	1.193	50.60	42.407
3	0.76	1.49	1.132	59.86	52.8612
4	0.79	1.41	1.114	71.33	64.0363
5	0.78	1.41	1.1	51.98	47.2631
6	0.74	1.40	1.036	41.83	40.3764
7	0.77	1.34	1.032	61.82	59.9147
8	0.80	1.26	1.008	63.74	63.2341
9	0.80	1.26	1.008	43.83	43.4821
10	0.74	1.36	1.006	30.51	30.316
11	0.78	1.29	1.006	47.46	47.1676
12	0.77	1.27	0.978	36.32	37.1408
13	0.78	1.24	0.967	52.48	54.2597
14	0.76	1.22	0.927	62.62	67.5367
15	0.74	1.25	0.925	37.55	40.5946
16	0.78	1.17	0.913	51.17	56.0706
17	0.78	1.11	0.866	58.06	67.0594
18	0.78	1.10	0.858	30.63	35.6993
19	0.80	1.15	0.92	39.03	42.4239
20	0.77	1.26	0.97	37.27	38.4148
ค่าเฉลี่ย					48.3704
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					11.44758

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 6 กระดาษทรายเบอร์ 80 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.78	1.05	0.819	8.89	10.8547
2	0.77	1.07	0.824	16.77	20.3544
3	0.81	1.02	0.826	11.48	13.8949
4	0.79	1.06	0.837	18.12	21.6384
5	0.77	1.10	0.847	8.93	10.5431
6	0.73	1.18	0.861	19.88	23.0787
7	0.87	1.00	0.87	19.18	22.046
8	0.81	1.08	0.875	18.46	21.102
9	0.76	1.16	0.882	19.18	21.7559
10	0.77	1.16	0.893	8.84	9.897
11	0.77	1.17	0.901	16.88	18.7368
12	0.80	1.13	0.904	13.63	15.0774
13	0.80	1.13	0.904	11.11	12.2898
14	0.68	1.34	0.911	14.74	16.1765
15	0.76	1.20	0.912	8.64	9.47368
16	0.77	1.19	0.916	11.83	12.9106
17	0.76	1.21	0.92	19.16	20.8351
18	0.74	1.26	0.932	10.30	11.0468
19	0.85	1.11	0.944	6.77	7.17541
20	0.80	1.21	0.968	24.39	25.1963
ค่าเฉลี่ย					16.2042
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					5.51698

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 7 กระดาษทรายเบอร์ 600 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเมทาไครเลต ที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.77	1.03	0.793	15.64	19.7201
2	0.77	1.06	0.816	8.41	10.3038
3	0.77	1.07	0.824	8.33	10.1105
4	0.78	1.06	0.827	8.88	10.7402
5	0.77	1.10	0.847	20.11	23.7426
6	0.78	1.09	0.85	15.09	17.7488
7	0.76	1.12	0.851	26.43	31.0503
8	0.80	1.08	0.864	9.37	10.8449
9	0.80	1.08	0.864	30.20	34.9537
10	0.76	1.15	0.874	10.64	12.1739
11	0.79	1.12	0.885	19.39	21.9146
12	0.78	1.14	0.889	23.22	26.1134
13	0.78	1.15	0.897	12.50	13.9353
14	0.76	1.19	0.904	28.35	31.3467
15	0.79	1.15	0.909	18.86	20.7595
16	0.76	1.20	0.912	13.29	14.5724
17	0.77	1.19	0.916	8.05	8.78533
18	0.66	1.42	0.937	6.71	7.15962
19	0.79	1.29	1.019	7.64	7.49681
20	0.79	1.13	0.893	22.73	25.4621
ค่าเฉลี่ย					17.9467
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					8.63467

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 8 กระดาษทรายเบอร์ 80 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.80	1.07	0.856	9.60	11.215
2	0.81	1.10	0.891	9.47	10.6285
3	0.76	1.18	0.897	9.38	10.4594
4	0.78	1.15	0.897	14.95	16.6667
5	0.81	1.12	0.907	16.45	18.1327
6	0.81	1.13	0.915	18.10	19.7749
7	0.81	1.13	0.915	28.07	30.6675
8	0.79	1.16	0.916	12.06	13.1602
9	0.75	1.24	0.93	20.10	21.6129
10	0.79	1.19	0.94	9.57	10.1798
11	0.78	1.22	0.952	17.75	18.6528
12	0.77	1.24	0.955	14.69	15.3854
13	0.71	1.35	0.959	17.24	17.9864
14	0.77	1.26	0.97	12.47	12.853
15	0.81	1.20	0.972	9.51	9.78395
16	0.78	1.25	0.975	14.42	14.7897
17	0.82	1.21	0.992	11.73	11.8222
18	0.80	1.27	1.016	20.84	20.5118
19	0.77	1.32	1.016	20.55	20.2184
20	0.82	1.25	1.025	28.09	27.4049
ค่าเฉลี่ย					16.5953
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					5.75934

ตารางที่ 9 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ 9 กระดาษทรายเบอร์ 600 และบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไซลอเรน ที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.77	1.14	0.878	26.63	30.3372
2	0.77	1.15	0.886	11.29	12.7499
3	0.80	1.12	0.896	20.34	22.7009
4	0.79	1.16	0.916	21.47	23.4286
5	0.77	1.21	0.932	24.88	26.7039
6	0.80	1.17	0.936	24.75	26.4423
7	0.78	1.23	0.959	26.71	27.8403
8	0.79	1.22	0.964	16.56	17.182
9	0.78	1.24	0.967	17.76	18.3623
10	0.79	1.23	0.972	11.52	11.8555
11	0.79	1.23	0.972	5.10	5.24853
12	0.79	1.23	0.972	22.02	22.6613
13	0.76	1.28	0.973	20.72	21.2993
14	0.79	1.24	0.98	16.56	16.9049
15	0.81	1.21	0.98	9.39	9.58066
16	0.78	1.26	0.983	10.20	10.3785
17	0.80	1.23	0.984	14.41	14.6443
18	0.77	1.29	0.993	22.08	22.2289
19	0.78	1.28	0.998	14.79	14.8137
20	0.80	1.27	1.016	23.84	23.4646
ค่าเฉลี่ย					18.9414
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					6.84634

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 ขนาดและแรงยึดของชิ้นงานที่ใช้คำนวนกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของกลุ่มที่ กลุ่มตวบคุม ที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

ชิ้นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างบริเวณรอยแตก (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	แรงยึด (นิวตัน)	กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)
1	0.78	1.07	0.835	48.00	57.5126
2	0.80	1.09	0.872	36.68	42.0642
3	0.76	1.15	0.874	20.28	23.2037
4	0.77	1.15	0.886	30.59	34.5455
5	0.77	1.16	0.893	31.93	35.7479
6	0.77	1.17	0.901	23.43	26.0073
7	0.78	1.18	0.92	39.39	42.7966
8	0.78	1.07	0.835	48.00	57.5126
9	0.80	1.09	0.872	36.68	42.0642
10	0.76	1.15	0.874	20.28	23.2037
11	0.77	1.15	0.886	30.59	34.5455
12	0.77	1.16	0.893	31.93	35.7479
13	0.77	1.17	0.901	23.43	26.0073
14	0.78	1.18	0.92	39.39	42.7966
15	0.78	1.07	0.835	48.00	57.5126
16	0.80	1.09	0.872	36.68	42.0642
17	0.76	1.15	0.874	20.28	23.2037
18	0.77	1.15	0.886	30.59	34.5455
19	0.77	1.16	0.893	31.93	35.7479
20	0.77	1.17	0.901	23.43	26.0073
ค่าเฉลี่ย					44.8010
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					10.76577

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล ด้วยสถิติ Shapiro-Wilk

	Group	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Micro tensile bond strength	80 grit/Z250 24hrs.	.945	20	0.304
	600 grit/Z250 24hrs.	.927	20	0.135
	80 grit/P90 24hrs.	.968	20	0.713
	600 grit/P90 24hrs.	.964	20	0.621
	Control 24 hrs.	.930	20	0.157
	80 grit/Z250 Thermocycling	.925	20	0.124
	600 grit/Z250 Thermocycling.	.924	20	0.117
	80 grit/P90 Thermocycling	.915	20	0.080
	600 grit/P90 Thermocycling	.971	20	0.779
	Control thermocycling	.952	20	0.394

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โดยใช้ สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง จำแนกตามความหยาบของกระดาษทราย และวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

Dependent Variable:Bond strength

F	df1	df2	Sig.
2.210	3	76	.094

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Sandpaper + RepairMat + Sandpaper * RepairMat

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Bond strength

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	58.683[a]	3	19.561	.347	.792
Intercept	46918.452	1	46918.452	831.799	.000
Sandpaper	52.882	1	52.882	.938	.336
RepairMaterial	.651	1	.651	.012	.915
Sandpaper * RepairMater	5.150	1	5.150	.091	.763
Error	4286.858	76	56.406		
Total	51263.993	80			
Corrected Total	4345.542	79			

a. R Squared = .014 (Adjusted R Squared = -.025)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โดยใช้ สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง

Test of Homogeneity of Variances

Bond strength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.520	4	95	.002

ANOVA

Bond strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9392.572	4	2348.143	32.917	.000
Within Groups	6776.755	95	71.334		
Total	16169.327	99			

Robust Tests of Equality of Means

Bond strength

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	32.917	4	76.797	0.0000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบแทมแฮน

Multiple Comparisons

Bond strength
Tamhane

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
80 grit/Z250 24hrs.	600 grit/Z250 24hrs.	2.13350	2.22537	.985	-4.4888	8.7558
	80 grit/P90 24hrs.	.32695	2.69801	1.000	-7.7132	8.3671
	600 grit/P90 24hrs.	1.44560	2.18175	.999	-5.0535	7.9447
	Control 24 hrs.	-23.17650*	3.06717	.000	-32.3776	-13.9754
600 grit/Z250 24hrs.	80 grit/Z250 24hrs.	-2.13350	2.22537	.985	-8.7558	4.4888
	80 grit/P90 24hrs.	-1.80655	2.55366	.999	-9.4544	5.8413
	600 grit/P90 24hrs.	-.68790	2.00048	1.000	-6.6333	5.2575
	Control 24 hrs.	-25.31000*	2.94099	.000	-34.1931	-16.4269
80 grit/P90 24hrs.	80 grit/Z250 24hrs.	-.32695	2.69801	1.000	-8.3671	7.7132
	600 grit/Z250 24hrs.	1.80655	2.55366	.999	-5.8413	9.4544
	600 grit/P90 24hrs.	1.11865	2.51574	1.000	-6.4300	8.6673
	Control 24 hrs.	-23.50345*	3.31307	.000	-33.3712	-13.6358
600 grit/P90 24hrs.	80 grit/Z250 24hrs.	-1.44560	2.18175	.999	-7.9447	5.0535
	600 grit/Z250 24hrs.	.68790	2.00048	1.000	-5.2575	6.6333
	80 grit/P90 24hrs.	-1.11865	2.51574	1.000	-8.6673	6.4300
	Control 24 hrs.	-24.62210*	2.90813	.000	-33.4259	-15.8183
Control 24 hrs.	80 grit/Z250 24hrs.	23.17650*	3.06717	.000	13.9754	32.3776
	600 grit/Z250 24hrs.	25.31000*	2.94099	.000	16.4269	34.1931
	80 grit/P90 24hrs.	23.50345*	3.31307	.000	13.6358	33.3712
	600 grit/P90 24hrs.	24.62210*	2.90813	.000	15.8183	33.4259

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โดยใช้ สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน โดยจำแนกตามความหยาบของกระดาษทราย และวัสดุที่ใช้ซ่อมแซม

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

Dependent Variable:Bond strength

F	df1	df2	Sig.
2.710	3	76	.051

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Sandpaper + RepairMat + Sandpaper * RepairMat

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Bond strength

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	95.007[a]	3	31.669	.685	.564
Intercept	24281.805	1	24281.805	524.907	.000
Sandpaper	83.584	1	83.584	1.807	.183
RepairMat	9.602	1	9.602	.208	.650
Sandpaper * RepairMat	1.821	1	1.821	.039	.843
Error	3515.703	76	46.259		
Total	27892.516	80			
Corrected Total	3610.710	79			

a. R Squared = .026 (Adjusted R Squared = -.012)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โดยใช้ สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ของกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

Test of Homogeneity of Variances

Bond strength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.362	4	95	.003

ANOVA

Bond strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12088.888	4	3022.222	50.213	.000
Within Groups	5717.836	95	60.188		
Total	17806.724	99			

Robust Tests of Equality of Means

Bond strength

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	50.213	4	74.119	0.000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบแทมแฮน

Bond strength

Multiple comparison: Tamhane

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
80 grit/Z250 Thermocycling	600 grit/Z250 Thermocycling.	-1.74255	2.29123	.998	-8.6253	5.1402
	80 grit/P90 Thermocycling	-.39114	1.78335	1.000	-5.6911	4.9088
	600 grit/P90 Thermocycling	-2.73720	1.96608	.849	-8.5957	3.1213
	Control thermocycling	-28.59687*	2.70498	.000	-36.8056	-20.3882
600 grit/Z250 Thermocycling .	80 grit/Z250 Thermocycling	1.74255	2.29123	.998	-5.1402	8.6253
	80 grit/P90 Thermocycling	1.35141	2.32086	1.000	-5.6079	8.3107
	600 grit/P90 Thermocycling	-.99466	2.46404	1.000	-8.3401	6.3507
	Control thermocycling	-26.85432*	3.08593	.000	-36.0509	-17.6578
80 grit/P90 Thermocycling	80 grit/Z250 Thermocycling	.39114	1.78335	1.000	-4.9088	5.6911
	600 grit/Z250 Thermocycling.	-1.35141	2.32086	1.000	-8.3107	5.6079
	600 grit/P90 Thermocycling	-2.34607	2.00053	.942	-8.3015	3.6093
	Control thermocycling	-28.20573*	2.73013	.000	-36.4737	-19.9377
600 grit/P90 Thermocycling	80 grit/Z250 Thermocycling	2.73720	1.96608	.849	-3.1213	8.5957
	600 grit/Z250 Thermocycling.	.99466	2.46404	1.000	-6.3507	8.3401
	80 grit/P90 Thermocycling	2.34607	2.00053	.942	-3.6093	8.3015
	Control thermocycling	-25.85966*	2.85284	.000	-34.4312	-17.2882
Control thermocycling	80 grit/Z250 Thermocycling	28.59687*	2.70498	.000	20.3882	36.8056
	600 grit/Z250 Thermocycling.	26.85432*	3.08593	.000	17.6578	36.0509
	80 grit/P90 Thermocycling	28.20573*	2.73013	.000	19.9377	36.4737
	600 grit/P90 Thermocycling	25.85966*	2.85284	.000	17.2882	34.4312

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน ระหว่างกลุ่มแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการจำลองอายุการใช้งาน

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	.698	.409	4.297	38	.000	8.98970	2.09214	4.75439	13.22501
Equal variances not assumed			4.297	34.773	.000	8.98970	2.09214	4.74144	13.23795

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	3.962	.054	2.119	38	.041	5.11365	2.41349	.22778	9.99951
Equal variances not assumed			2.119	35.238	.041	5.11365	2.41349	.21518	10.01212

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	5.776	.021	3.354	38	.002	8.27161	2.46629	3.27887	13.26435
Equal variances not assumed			3.354	31.490	.002	8.27161	2.46629	3.24475	13.29847

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	1.003	.323	2.332	38	.025	4.80690	2.06118	.63425	8.97955
Equal variances not assumed			2.332	37.599	.025	4.80690	2.06118	.63279	8.98101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	.229	.635	1.016	38	.316	3.56933	3.51389	-3.54417	10.68284
Equal variances not assumed			1.016	37.858	.316	3.56933	3.51389	-3.54505	10.68372

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายดิษพงศ์ ยังเจริญ

วัน เดือน ปี เกิด 24 พฤศจิกายน 2525

วุฒิการศึกษา ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีสำเร็จการศึกษา 2550

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2550 ทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลปากน้ำหลังสวน อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย