

ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมพอสิต
หลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี



นางสาวสรลาลี อรรถชยะพิศุทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BOND STRENGTH BETWEEN PREFABRICATED FIBER-REINFORCED POSTS AND
RESIN COMPOSITE CORE AFTER CHEMICAL SURFACE TREATMENT

Miss Saralee Aukayapisudhi



ศูนย์วิทยุทันตกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับ
แกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วย
สารเคมี

โดย

นางสาวสรลีย์ อรรถมยะพิศุทธิ์

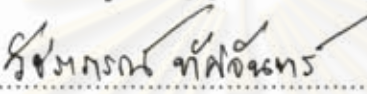
สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ

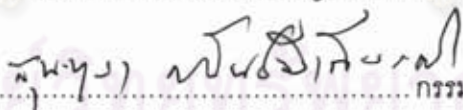
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วีชราภรณ์ ทัตจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุนทรา พันธุ์มีเกียรติ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร.วรรณธนะ สัตตบรรณคุช)

สราลี อรรถยะพิศุทธิ์ : ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับแกน
ฟันเรซินคอมโพสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี (BOND STRENGTH
BETWEEN PREFABRICATED FIBER-REINFORCED POSTS AND RESIN
COMPOSITE CORE AFTER CHEMICAL SURFACE TREATMENT) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ทพญ.อิศราวัลย์ บุญศิริ, 122 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินผลความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูป
เสริมเส้นใยและวัสดุสร้างแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมี
ชนิดต่างๆที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกัน

เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์ชนิดละ 80 แห่ง (Easy Post® และ DT
light Post®) ปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 15, 30 และ
60 วินาที, สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 และ 35 นาน 1, 2, 3, 4, 5
และ 10 นาที และความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที นำขึ้นทดสอบทดสอบแรงยึดแบบกดด้วย
เครื่องทดสอบสากล วัดค่าความแข็งแรงยึด ทดสอบทางสถิติด้วยสถิติการแปรปรวนแบบทาง
เดียวอะโนวาโดยแยกกลุ่มของเดือยฟัน ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี นำไปเปรียบเทียบ
เชิงซ้อนแบบแอลเอสดี(ระดับนัยสำคัญที่ 0.05)

ผลการทดลองพบว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วและเส้นใยควอตซ์ให้ค่าความแข็งแรงยึดสูง
ที่สุด เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30
นาน 5 นาทีและร้อยละ 30 นาน 10 นาที ตามลำดับ (นัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$)

สรุปผลการทดลองพบว่าชนิดของสารเคมีที่ความเข้มข้นและระยะเวลาเหมาะสมในการ
เลือกใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึด
คือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที ช่วยเพิ่มค่าความ
แข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ และลดระยะเวลาการทำงานในคลินิกลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ปีการศึกษา...2553

ลายมือชื่อนิสิต สราลี อรรถยะพิศุทธิ์

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ทพญ.อิศราวัลย์ บุญศิริ

5076121232 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : PREFABRICATED FIBER-REINFORCED POSTS / MICROTENSILE BOND STRENGTH / RESIN COMPOSITE / SURFACE TREATMENT / ENDODONTICALLY TREATED TEETH

SARALEE AUKAYAPISUDHI: BOND STRENGTH BETWEEN PREFABRICATED FIBER-REINFORCED POSTS AND RESIN COMPOSITE CORE AFTER CHEMICAL SURFACE TREATMENT. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.ISSARAWAN BOONSIRI, 122 pp.

The objective of this study was to evaluate the effects of bond strength between prefabricated fiber-reinforced post and resin composite core after post surface treatments with different types and concentrations of chemical agents, and durations of the treatment.

Eighty of both prefabricated glass and quartz fiber-reinforced posts were included. (Easy Post® and DT light® Post) Posts surface were treated by 4 % hydrofluoric acid at 15, 30 and 60 seconds, 30% and 35% hydrogen peroxide at 1, 2, 3, 4, 5 and 10 minutes, and 24% hydrogen peroxide at 10 minutes. The specimens were tested by push-out bond strength by universal testing machine and were measured the bond strength. The statistical analysis with one way ANOVA was performed on each group of the posts. Multiple comparisons of types and concentrations of chemical agents were completed with LSD ($\alpha=0.05$).

The result of this study showed the highest bond strength after treatment with 30% hydrogen peroxide for 5 and 10 minutes, in glass and quartz fiber groups, respectively ($p<0.05$).

In conclusion, the appropriate type of chemical agent, concentration and duration of time for post surface treatment, which can enhance bond strength between resin composite and prefabricated glass and quartz fiber-reinforced post, is 30% hydrogen peroxide and 5 minutes, since this combination can increase bond strength while decrease clinical time.

Department : Prosthodontics.....

Student's Signature

Saralee Aukayapisudhi

Field of Study : Prosthodontics.....

Advisor's Signature

Issarawan Boonsiri

Academic Year : 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ทพญ. อิศราวัลย์ บุญศิริ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้การดูแลเป็นอย่างดี และได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และทำให้ขั้นตอนต่างๆในการดำเนินงาน มีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้ และคำปรึกษาทางด้านสถิติในงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกด้านต่างๆเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่รัก ที่เป็นกำลังใจเสมอมา ทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	
• ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
• วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
• ขอบเขตงานวิจัย.....	3
• ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
• ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
• คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
• การออกแบบการวิจัย.....	4
• สมมติฐานการวิจัย.....	4
• ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
• ลำดับขั้นตอนในการเสนองานวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
• แนวคิดและทฤษฎี.....	6
• เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
• การบูรณะฟันหลังการรักษาคลองรากฟัน.....	7
• ชนิดของเดือยฟัน.....	11
• วัสดุสำหรับสร้างแกนฟัน.....	19
• วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิต.....	20

บทที่	หน้า
<ul style="list-style-type: none"> • การยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน..... 	21
<ul style="list-style-type: none"> • การปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟัน..... 	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
<ul style="list-style-type: none"> • เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 	27
<ul style="list-style-type: none"> • ระเบียบวิธีวิจัย..... 	28
<ul style="list-style-type: none"> • การเลือกวิธีทดสอบ..... 	30
<ul style="list-style-type: none"> • การแบ่งกลุ่มทดลอง..... 	32
<ul style="list-style-type: none"> • ขั้นตอนการสร้างแกนฟันและการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์..... 	33
<ul style="list-style-type: none"> • การศึกษาลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด..... 	39
<ul style="list-style-type: none"> • การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 	41
<ul style="list-style-type: none"> • การวิเคราะห์ข้อมูล..... 	41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
<ul style="list-style-type: none"> • กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว..... 	42
<ul style="list-style-type: none"> • กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์..... 	45
<ul style="list-style-type: none"> • กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน..... 	48
<ul style="list-style-type: none"> • เปรียบเทียบการแตกหักของชิ้นทดสอบ..... 	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
<ul style="list-style-type: none"> • วิจารณ์ผลการทดลอง..... 	54
<ul style="list-style-type: none"> • ข้อเสนอแนะ..... 	62
<ul style="list-style-type: none"> • สรุปผลการวิจัย..... 	62
รายการอ้างอิง.....	63

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	122



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบ.....	28
2	แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง.....	33
3	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยชนิด ความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ต่างๆ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและ แสง.....	43
4	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย ชนิด ความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือย ฟันต่างๆ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและ แสง.....	46
5	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย ชนิด ความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือย ฟันต่างๆ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและ แสง.....	48
6	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้น ใยแก้ว (Easypost).....	50
7	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้น ใยควอตซ์(DT light post).....	51
8	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้น ใยคาร์บอน (Composi Post).....	52
9	แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอม โพสิตเสริมเส้นใยแก้ว.....	74
10	แสดงการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิต เสริมเส้นใยแก้ว.....	75

ตารางที่		หน้า
11	แสดงการทดสอบสถิติANOVA ของกลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว.....	75
12	แสดงการทดสอบ Post Hoc กลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว.....	76
13	แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์.....	88
14	แสดงการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์.....	89
15	แสดงการทดสอบสถิติANOVA ของกลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์.....	89
16	แสดงการทดสอบ Post Hoc กลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์.....	90
17	แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน.....	102
18	แสดงการทดสอบ T-test กลุ่มเดียวพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน.....	102

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้ว ควอตซ์ และคาร์บอน.....	29
2	วัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮลแฝ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและบ่มตัวด้วยแสง.....	29
3	กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4.....	29
4	แสดงขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน.....	34
5	ขั้นตอนการสร้างแกนฟันใส่ท่อพลาสติก.....	35
6	เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน.....	35
7	ชิ้นงานเมื่อสร้างแกนฟันแล้ว (Core Build up).....	35
8	เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็ง (Microtome).....	36
9	ชิ้นงานที่เตรียมเพื่อทดสอบ (Specimen).....	36
10	แผนภาพแสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงยึด (Bond strength).....	37
11	แสดงอุปกรณ์และวิธีการทำการทดสอบแรงผลัก(Push out test).....	38
12	แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบผลัก(Push out test).....	38
13	แสดงขั้นตอนการศึกษาลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	40
14	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไฮลแฝ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง.....	42
15	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไฮลแฝ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง.....	45

ภาพที่		หน้า
16	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลผ่านชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง.....	48
17	แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสแตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดือยฟันสำเร็จเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่เกิดการแตกหักชนิดผสม.....	52
18	แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสแตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดือยฟันสำเร็จเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่เกิดการแตกหักชนิดผสม.....	53
19	แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสแตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดือยฟันสำเร็จเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่เกิดการแตกหักชนิดยึดอยู่.....	53
20	เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้ว Easy Post®.....	57
21	เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยควอตซ์ DT light® post.....	59
22	เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอน Composi® post.....	61
23	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิว.....	103
24	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 15 วินาที.....	103
25	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 30 วินาที.....	104

ภาพที่	หน้า	
26	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 60 วินาที.....	104
27	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 1 นาที.....	105
28	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 2 นาที.....	105
29	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 3 นาที.....	106
30	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 4 นาที.....	106
31	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที.....	107
32	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 10 นาที.....	107

ภาพที่	หน้า	
40	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิว.....	111
41	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 15 วินาที.....	112
42	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 30 วินาที.....	112
43	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮดรอฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 60 วินาที.....	113
44	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 1 นาที.....	113
45	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 2 นาที.....	114
46	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 3 นาที.....	114

ภาพที่	หน้า	
54	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 5 นาที.....</p>	118
55	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 10 นาที.....</p>	119
56	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที.....</p>	119
57	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย คาร์บอนที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิว.....</p>	120
58	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย คาร์บอนที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที.....</p>	120
59	<p>ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย คาร์บอนที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮดรอกเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที.....</p>	121

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากด้วยเดือยฟัน และแกนฟันชนิดโลหะ เหยียงร่วมกับครอบฟัน เป็นรูปแบบการบูรณะที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันที่เกิดการสูญเสียเนื้อฟันธรรมชาติไปมากหรือเหลือเนื้อฟันไม่เพียงพอต่อการยึดอยู่แก่ครอบฟัน (Sorensen และคณะ, 1985) แม้ว่าการบูรณะด้วยวิธีดังกล่าวให้ผลสำเร็จทางคลินิกเป็นที่น่าพอใจ แต่มีรายงานถึงความล้มเหลวของการรักษาซึ่งความล้มเหลวที่พบได้บ่อยที่สุดได้แก่การหลุดของเดือยฟันโลหะเหยียงออกจากคลองรากฟัน (Torbjorner และคณะ, 1995) ในผู้ป่วยที่มีปัญหาเดือยฟันโลหะเหยียงขยับแต่ไม่หลุดเป็นสาเหตุให้เกิดแรงเค้นต่อเนื้อฟัน ทำให้เนื้อรากฟันแตกเนื่องจากความล้า (fatigue failure) การแตกมักเกิดที่รากฟันบริเวณปลายของเดือยฟันโลหะเหยียงหรือรากแตกต่ำกว่าระดับขอบกระดูกเบ้ารากฟัน ทำให้การแตกหักที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่ไม่สามารถบูรณะใหม่ได้ (Scherrer และคณะ, 1993) นอกจากนี้การสร้างขึ้นงานเดือยฟันโลหะเหยียงยังมีขั้นตอนที่ซับซ้อนต้องใช้เวลามากทั้งในคลินิกและห้องปฏิบัติการ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเดือยฟันสำเร็จรูปขึ้นมาทดแทน

การบูรณะฟันภายหลังรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิต เสริมเส้นใยและสร้างแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับครอบฟันนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Ferrari และคณะ, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันที่เลือกใช้ครอบฟันชนิดเซรามิกทั้งซี่ เพื่อให้เกิดการสะท้อนและการส่องผ่านของแสงเหมือนฟันธรรมชาติ (Koutayas และคณะ, 1999)

การยึดติดที่ดีระหว่างผนังคลองรากฟัน เดือยฟัน และวัสดุยึดแกนฟัน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จทางคลินิกของการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษารากมาแล้วด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับการสร้างแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (Monticelli และคณะ, 2003) การสร้างวัสดุบูรณะที่สามารถผสานรวมเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อฟันธรรมชาติ (Monoblock restoration) และมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมือนกันทั้งชิ้น (single biomechanical complex) ถือเป็นจุดหมายหลักของการบูรณะ เพื่อให้เกิดลักษณะดังกล่าวควรเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนกับเนื้อฟันธรรมชาติ และต้องสร้างให้เกิดการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างเนื้อฟันและวัสดุที่บูรณะ (Duret และคณะ, 1996) แนวคิดนี้สอดคล้องกับคำกล่าวของ

Aksornmuang และคณะ (Aksornmuang และคณะ, 2004) ที่กล่าวว่า ความสำเร็จของการบูรณะฟื้นด้วยเต็อยพินเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ขึ้นกับการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างเรซินซีเมนต์กับแกนฟันและผนังคลองรากฟัน แนวคิดดังกล่าวส่งผลให้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับปรุงค่าแรงยึดระหว่างเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆกับเรซินซีเมนต์และวัสดุแกนฟันเรซินคอมโพสิต (Monticelli และคณะ, 2006; Perdigao และคณะ, 2006; Radovic, และคณะ, 2007; Wrbas และคณะ, 2007)

โดยพบว่าค่าแรงยึดระหว่างเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วกับวัสดุแกนฟันเรซินคอมโพสิต ขึ้นกับชนิดของเรซินคอมโพสิตและวิธีการปรับสภาพพื้นผิวของเต็อยพินสำเร็จรูปเสริมเส้นใย (Vano และคณะ, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Salameh และคณะ, 2006 และ Wrbas และคณะ, 2007

แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบของชนิด ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟันด้วยเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย

การวิจัยนี้ศึกษาผลของชนิด ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อค่าแรงยึดติดระหว่างเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆกับวัสดุแกนฟันเรซินคอมโพสิต เพื่อเป็นพื้นฐานในการพิจารณาเลือกชนิดของเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวในระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาพพื้นผิวให้เกิดการยึดติดระหว่างเต็อยพินและแกนฟันอย่างมีคุณภาพซึ่งส่งผลต่อความสำเร็จของการบูรณะฟัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกและสภาพพื้นผิวเต็อยพินสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ เมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยเชิงทดลองทำในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆด้วยชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่มีต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

ข้อตกลงเบื้องต้น

กระบวนการทดลอง การเก็บข้อมูล และการแปลผล ดำเนินการโดยผู้ทำการวิจัยเพียงคนเดียว และใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันตลอดการทดลอง

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบทางห้องปฏิบัติการซึ่งไม่สามารถควบคุมปัจจัยเหมือนสภาวะในช่องปากได้ทุกประการ ดังนั้นผลการวิจัยจึงเป็นเพียงการทำนายแนวโน้มจำเป็นต้องศึกษา และติดตามผลในสภาวะแวดล้อมช่องปากตลอดจนผลการรักษาทางคลินิกร่วมด้วย

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้คำว่า

“เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย” แปลจาก Prefabricated fiber-reinforced posts

“ความแข็งแรงยึด” แปลจาก Bond strength

“เรซินคอมโพสิต” แปลจาก Resin composite

“การปรับสภาพพื้นผิว” แปลจาก Surface Treatment

“ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน” แปลจาก Endodontically treated teeth

การออกแบบการวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง (Experimental research)

สมมติฐานงานวิจัย

ปัจจัยเรื่องชนิด ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาต่อสภาพพื้นผิว

H0: การปรับสภาพพื้นผิวพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดและสภาพของพื้นผิวเดียวกับพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

H1: การปรับสภาพพื้นผิวพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดและสภาพของพื้นผิวเดียวกับพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวโน้มความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดียวกับพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ กับแกนพื้นเรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเดียวกับพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยด้วยชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกัน
2. เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้ชนิด ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดียวกับพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตชนิดเสริมเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันเพื่อให้เกิดความสำเร็จมากที่สุด และลดระยะเวลาการทำงานในคลินิก
3. เป็นแนวทางในการศึกษาทางคลินิกต่อไป

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาลักษณะของพื้นผิวเดือยฟันแต่ ละชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope) ส่วนที่ สองศึกษาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างพื้นผิวสัมผัสของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอม โพลีดีเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิต โดยแบ่งกลุ่มตามชนิด ความเข้มข้นของสารเคมีและ ระยะเวลาที่แตกต่างกันที่นำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและ ประเภทของเดือยฟันที่มีเส้นใยชนิดต่างๆ โดยเตรียมชิ้นทดลองเพื่อทดสอบความแข็งแรงยึดแบบ ผลัก (push out) นำค่าแรงที่ทำให้เดือยฟันหลุดออกจากวัสดุเรซินคอมโพสิต (นิวตัน)หารด้วย พื้นผิวสัมผัส (ตารางมิลลิเมตร) เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดบริเวณผิวสัมผัส (เมกะ ปาสคาล) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทดสอบ แอลเอสดีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อธิบายผลโดยนำเสนอร่วมกับตารางและแผนภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ปัจจุบันการใช้เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและสร้างแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับการบูรณะด้วยครอบฟันเป็นรูปแบบการรักษาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ความสำเร็จของการบูรณะฟันรักษารากขึ้นกับขั้นตอนการรักษารากฟันและการสร้างเดือยฟันและครอบฟันที่ดีแล้ว การสร้างการยึดติดที่แข็งแรงและมีคุณภาพบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน เดือยฟันและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟันเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะที่สร้างขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดติดบริเวณรอยต่อดังกล่าว โดยมุ่งเน้นศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้สารเคมีเพื่อปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย เพื่อเพิ่มค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุเรซินคอมโพสิตที่นำมาใช้สร้างแกนฟัน โดยหวังว่าผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการเลือกใช้สารเคมีที่นำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้งานทางคลินิก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรักษาคลองรากฟัน เป็นการรักษาทางทันตกรรมในฟันที่เกิดอุบัติเหตุหรือฟันที่ผู้สึกทะลุโพรงประสาทฟันจนเกิดการติดเชื้อของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน หรือในฟันที่วางแผนการรักษาเพื่อทำครอบฟันในขั้นตอนกรอเตรียมฟันหลักต้องกรอตัดฟันมากจนทะลุโพรงประสาทฟัน

เห็นได้ว่าฟันธรรมชาติที่ผ่านขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันมักสูญเสียเนื้อฟันธรรมชาติไปมาก ซึ่งเกิดจากฟันผุทะลุโพรงประสาทฟันต้องรักษาคลองรากฟัน การกรอเตรียมทางเข้าเพื่อรักษาคลองรากฟัน ดังนั้นการบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟันจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนเนื้อฟันส่วนที่สูญเสียไป สร้างให้ฟันชิ้นนั้นกลับมามีรูปร่าง ความสวยงาม และการทำหน้าที่เหมือนเดิม และยังช่วยอนุรักษ์เนื้อเยื่อที่อยู่รอบฟันอีกด้วย

การศึกษายืนยันคุณสมบัติของเนื้อฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันว่ามีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากฟันที่มีชีวิต (Reeh และคณะ, 1989; Sedgley และคณะ, 1992) ส่วนของเนื้อฟันที่บางและเคลือบฟันที่ไม่มีส่วนเนื้อฟันรองรับที่เพียงพอ (Unsupported tooth structure) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ฟันที่รักษาคลองรากฟันมาแล้วไม่แข็งแรง เสี่ยงต่อการแตกหักเมื่อใช้งาน (Assif และคณะ, 1989) นอกจากนี้การเปิดทางเข้าไปโพรงประสาทฟัน เพื่อรักษารากฟันเป็นการทำลายส่วนของเนื้อฟันส่วนของหลังคาของโพรงประสาทฟัน เมื่อฟันได้รับแรงบดเคี้ยวเนื้อฟันมีความเค้นเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของตัวฟัน และพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน มีความแข็งแรงลดลงถึงร้อยละ 14 โดยฟันในขากรรไกรบนมีความแข็งแรงมากกว่าฟันในขากรรไกรล่าง และฟันตัดหน้าล่างมีความอ่อนแอมากที่สุด (Guttman, 1977) นอกจากนี้การสูญเสียเส้นประสาทภายในโพรงฟันยังส่งผลกระทบต่อ การตอบสนองการรับรู้ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่เกิดกับฟันและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง ทำให้การรับรู้ความรู้สึกจากแรงบดเคี้ยวลดลง (Loewenstein และคณะ, 1955) ฟันที่รักษาคลองรากฟันมีระดับความทนต่อความเจ็บปวดมากกว่าฟันที่มีชีวิตอยู่ประมาณ 2 เท่า (Randow และคณะ, 1989) ระดับความทนต่อความเจ็บปวดเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้ฟันที่รักษาคลองรากฟันมีโอกาสเสี่ยงต่อการแตกหักมากกว่าฟันที่มีชีวิต (Morgano, 1996)

เห็นได้ว่าการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันประสบผลสำเร็จได้ ขึ้นกับประสิทธิภาพของการรักษาคลองรากฟัน ขั้นตอนการบูรณะหลังการรักษาคลองรากฟันที่ไม่ดีเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของการรักษา (Ray และคณะ, 1995) ดังนั้นการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วด้วยวิธีการที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทันตแพทย์ต้องให้ความสนใจ

การบูรณะฟันหลังการรักษาคลองรากฟัน

มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญสองประการ คือ พยายามเก็บเนื้อฟันธรรมชาติไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และสร้างชิ้นงานบูรณะเพื่อปกป้องปุ่มฟัน (Cusp protection) โดยการคลุมหรือเชื่อมปุ่มฟันเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในฟันหลัง (Robbins, 1990)

ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันแล้ว มักบูรณะด้วยการใส่เดือยฟันในคลองรากฟันร่วมกับทำครอบฟันในทุกกรณี เพราะเชื่อว่าเดือยฟันจำเป็นสำหรับการยึดอยู่ของครอบฟัน และช่วยเสริมความแข็งแรงในฟันชิ้นนั้น (Colman, 1979) โดยเดือยฟันที่อยู่ในคลองรากฟันทำหน้าที่ช่วยกระจายแรงมากกระทำบนตัวฟันไปสู่เนื้อฟันในคลองรากตลอดความยาวของรากฟัน

(Kantor และคณะ, 1977) เมื่อมีแรงบิดเคี้ยวมากจะทำมักเกิดแรงเค้นสะสมบริเวณคอฟฟัน (Assif และคณะ, 1989; Hunter และคณะ, 1989) การใส่เดือยฟันช่วยลดแรงเค้นในบริเวณดังกล่าวได้ (Assif และคณะ, 1994; Yang และคณะ, 2001; Otle และคณะ, 2002)

Robbins และคณะพบว่าเดือยฟันไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ฟันที่รักษาคคลองรากฟันแต่อย่างใด (Robbins และคณะ, 1993) (โดยเฉพาะขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟันเพื่อรองรับเดือยฟัน) และการใส่เดือยฟันเป็นปัจจัยที่ทำให้รากฟันอ่อนแอลงหรือเกิดการแตกหักของส่วนรากฟัน (Guzy และคณะ, 1979; Milot และคณะ, 1992; Morgano, 1996; Heydecke และคณะ, 2001) ดังนั้นฟันที่รักษาคคลองรากฟันมาแล้วจึงไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟันในทุกกรณี โดยพิจารณาเลือกใส่เดือยฟันเฉพาะในฟันที่มีเนื้อฟันในส่วนตัวฟันไม่เพียงพอให้การยึดติดแก่ครอบฟันเท่านั้น โดยเดือยฟันทำหน้าที่ให้การยึดติดแก่แกนฟัน (root canal-retained restoration) ทำให้ส่วนแกนฟันให้การยึดอยู่ที่เพียงพอต่อครอบฟันที่สร้างขึ้นไปได้ (Sorensen และคณะ, 1990; Morgano และคณะ, 1999; Fernandes และคณะ, 2001)

การบูรณะฟันหลังการรักษาคคลองรากฟันทำได้หลายวิธี เช่น

1. การอุดปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันด้วยวัสดุอุดฟัน (Direct filling)
2. การบูรณะด้วยการคลุมปุ่มฟันด้วยอะมัลกัม เรซินคอมโพสิต หรือชิ้นงานโลหะเหวี่ยง (Amalgam, Resin Composite or Metal Onlay)
3. การบูรณะด้วยการใส่หมุดร่วมกับแกนอะมัลกัมหรือเรซินคอมโพสิต (Pin-Retained Amalgam or Resin Composite Core) ร่วมกับครอบฟัน
4. การบูรณะด้วยแกนเดือยฟันอะมัลกัม (Amalgam Post and Core) ร่วมกับครอบฟัน
5. การบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนอะมัลกัม เรซินคอมโพสิต หรือแก้วไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผสมโลหะเงิน (Prefabricated Post with Amalgam, Resin Composite or Modified Glass ionomer cement Core) ร่วมกับครอบฟัน
6. การบูรณะด้วยแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยง (Individual Cast Post and Core) ร่วมกับครอบฟัน

การเลือกวิธีของการบูรณะขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลือเป็นสำคัญ กรณีที่มีเนื้อฟันเหลือจำนวนมากหลังการรักษาคลองรากฟันและมีสันริมฟัน (Marginal ridge) ที่สมบูรณ์มักบูรณะด้วยวัสดุอุดฟันโดยไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟัน (Lovdahl และคณะ, 1977; Guzy และคณะ, 1979; McDonald, King และคณะ, 1991) จากการศึกษาในห้องทดลองของ Tan และคณะพบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ฟันตัดบนซี่กลางที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันโดยไม่ใส่เดือยฟัน และบูรณะด้วยแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงร่วมกับครอบฟันโดยมีเฟอร์รูลสูง 2 มิลลิเมตรรอบซี่ฟัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Tan และคณะ, 2005) ดังนั้นความแข็งแรงของฟันหลังการรักษาคลองรากฟันขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่มากกว่าการมีหรือไม่มีเดือยฟัน

Linn และคณะ (Linn และคณะ, 1994) แนะนำว่าการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันควรยึดหลักการคลุมปุ่มฟัน แม้ว่าฟันซี่นั้นมีสันริมฟันที่สมบูรณ์หรือไม่ จากการศึกษาของ Sorensen และ Martinoff พบว่าฟันที่รักษาคลองรากฟันบูรณะโดยไม่ครอบฟันจะมีอัตราเกิดฟันแตกร้อยละ 24.2 ในขณะที่ครอบฟันทั้งซี่มีอัตราเกิดฟันแตกเพียงร้อยละ 5.2 (Sorensen และคณะ, 1985)

ส่วนการพิจารณาใส่เดือยฟันร่วมด้วยหรือไม่ขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่หลังการรักษาคลองรากฟันเป็นสำคัญ เพราะอัตราความสำเร็จของการบูรณะด้วยครอบฟันขึ้นกับการมีเฟอร์รูล (Ferrule) ที่เหมาะสม มากกว่าการมีหรือไม่มีเดือยฟัน (Isidor และคณะ, 1999; Nicholls, 2001; Sorensen และคณะ, 1990; Sorensen และคณะ, 1985; Tan และคณะ, 2005)

การบูรณะฟันรักษารากด้วยแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยง เนื้อฟันส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเฟอร์รูลที่อยู่ล้อมรอบเดือยฟันช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกให้กับฟันซี่นั้น (Barkhorndar และคณะ, 1989; Loney และคณะ, 1990; Milot และคณะ, 1992) ปริมาณเนื้อฟันในส่วนตัวฟันที่เพิ่มขึ้น มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปพร้อมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Pereira และคณะ, 2006) แรงที่ใช้เพื่อทำให้ฟันเกิดการแตกหักมักมีค่าลดลงเมื่อฟันไม่มีเฟอร์รูล และฟันที่มีเฟอร์รูลสูงไม่เท่ากันรอบซี่ (non uniform ferrule) มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักต่ำกว่าฟันที่มีเฟอร์รูลสูงอย่างน้อย 2 มิลลิเมตรรอบซี่ฟัน (Tan และคณะ, 2005)

การรักษาคลองรากฟันที่มีเนื้อฟันในส่วนผนังโพรงฟันสูงน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการยึดอยู่ของส่วนแกนฟัน จำเป็นต้องสร้างส่วนเดือยฟันยื่นเข้าไปในคลองราก

พันเพื่อทำหน้าที่เกิดการยึดติดเชิงกลกับส่วนแกนพันด้วยอิมัลชันเข้าไปในส่วนของคลองราก พันเล็ก 2-4 มิลลิเมตรร่วมกับการบูรณะด้วยครอบฟัน (Nayyar และคณะ, 1982) วิธีนี้ให้ประสิทธิภาพในการรองรับครอบฟันไม่แตกต่างจากการบูรณะด้วยแกนเดือยฟันชนิดโลหะเหวี่ยงหรือเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนอะมัลกัมและครอบฟัน (Gelfand และคณะ, 1984)

Fokkinga และคณะ (Fokkinga และคณะ, 2005) ศึกษาในห้องทดลองหาความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ (static load) ของฟันกรามน้อยบนที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและไม่มีเนื้อฟันส่วนเพอร์รูลโดยรอบซี่ฟัน เปรียบเทียบการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับการสร้างตัวฟันด้วยเรซินคอมโพสิต เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับการบูรณะตัวฟันด้วยเรซินคอมโพสิต เดือยฟันเรซินคอมโพสิตชนิดขึ้นรูปตามลักษณะคลองราก (custom-made glass fiber) ร่วมกับการบูรณะตัวฟันด้วยเรซินคอมโพสิต และบูรณะตัวฟันด้วยเรซินคอมโพสิตโดยไม่มีเดือยฟันร่วมด้วย พบว่าค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่และรูปแบบการแตกหักของฟันในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน โดยการแตกหักมักเกิดขึ้นในส่วนของเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันบริเวณที่ต่ำกว่าระดับกระดูก จากการศึกษาสรุปว่า ชนิดของวัสดุเดือยฟันไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่บูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต ในกรณีที่ไม่มีเพอร์รูลล้อมรอบซี่ฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Raygot และคณะ (Raygot และคณะ, 2001) ศึกษาความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่และรูปแบบการแตกหักของฟันหน้าบนที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและมีเนื้อฟันส่วนเพอร์รูลน้อยกว่าปกติ (1 มิลลิเมตร) เปรียบเทียบระหว่างการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต เดือยฟันเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต และแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงร่วมกับครอบฟันชนิดโลหะล้วน พบว่าค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน และรูปแบบการแตกหักส่วนใหญ่เกิดขึ้นในส่วนของตัวฟันเหนือต่อระดับขอบเรซินบล็อกที่ใช้ยึดซี่ฟันสำหรับทดสอบใช้เป็นตัวแทนของกระดูก การศึกษาค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ของฟันหน้าที่มีเนื้อฟันส่วนเพอร์รูล 2 มิลลิเมตรรอบซี่ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วและเส้นใยเซอริคอนร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตและครอบฟันโลหะทั้งซี่ เปรียบเทียบกับการบูรณะด้วยแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยง ร่วมกับครอบฟันโลหะทั้งซี่ พบว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงต้องใช้แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันเรซินคอมโพสิต เนื่องจากโลหะเหวี่ยงมีความแข็งแรงมากกว่าจึงมีความต้านทานต่อการบิดงอเมื่อได้รับแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเดือยฟันเรซินคอมโพสิต การแตกหักที่เกิดขึ้นในทั้งสองกลุ่มมีลักษณะแตกในแนวเฉียงเข้าไปใน

ส่วนของรากฟันต่ำกว่าระดับขอบเรซินบล็อก (ร้อยละ 81.8) โดยปริมาณแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักในทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่าปริมาณแรงที่เกิดจากการกัดด้วยฟันหน้าในภาวะปกติ (Qing และคณะ, 2007)

จากการศึกษาที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีเนื้อฟันเหลือส่วนเพอร์ริอูลโดยรอบซี่ฟันเพียงพอนิดของวัสดุเดือยฟันเป็นปัจจัยที่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อลักษณะการแตกหักเนื่องจากแรงที่มากกระทำเกิดการกระจายไปยังผิวรากฟันบริเวณส่วนต้นของรากฟัน (Coronal third of the root) ส่วนกรณีที่ไม่มีเพอร์ริอูลเพียงพอมักเกิดการสะสมของแรงเค้นบริเวณรอยต่อระหว่างแกนเดือยฟันและเนื้อฟันเป็นสาเหตุให้เกิดการหักของแกนเดือยฟัน (Morgano และคณะ, 1999)

ชนิดของเดือยฟัน

เดือยฟันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวิธีการทำเดือยฟัน คือ เดือยฟันที่สร้างขึ้นเองให้มีรูปร่างตามลักษณะคลองรากฟันของผู้ป่วยแต่ละราย (custom-made post) และเดือยฟันชนิดสำเร็จรูป (prefabricated post) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดหรืออาจแยกประเภทตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ เดือยฟันที่ทำด้วยโลหะ (metallic post) และชนิดของวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ (non-metallic post) เช่น พอร์ซเลนหรือเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย เป็นต้น

แกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยง (Cast post and core)

ทันตแพทย์นิยมใช้วัสดุที่มีความแข็งจำพวกโลหะผสม เช่น ทอง หรือโลหะผสมอื่นๆ เช่น นิกเกิล-โครเมียม หรือโคบอลต์-โครเมียม นำมาเหวี่ยงขึ้นรูปเพื่อสร้างแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงให้มีรูปร่างเหมือนคลองรากฟันของผู้ป่วยแต่ละราย มีการศึกษาย้อนหลังในระยะเวลา 6 ปี พบว่าแกนเดือยฟันชนิดนี้ให้อัตราความสำเร็จร้อยละ 90.6 (Bergman และคณะ, 1989) ข้อดีของแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงคือ มีความแข็งมากกว่าเนื้อฟันธรรมชาติ และเดือยฟันแนบสนิทกับผนังคลองรากฟันได้ดีกว่าเดือยฟันชนิดสำเร็จรูป (Sorensen และคณะ, 1990) ความแนบสนิทช่วยเพิ่มการยึดอยู่ของชิ้นงาน ส่วนเดือยฟันที่ไม่แนบกับผนังคลองรากฟันมักมีชั้นซีเมนต์ที่หนา เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เปรียบเทียบกับแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยง พบว่าซีเมนต์มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus Elasticity) และความแข็งแรงกดต่ำกว่าเดือยฟันโลหะเหวี่ยงมาก

เมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวกระทำต่อเดือยฟันมักเกิดการเคลื่อนขยับของเดือยฟัน ทำให้เกิดความล้าในชั้นของซีเมนต์ เกิดการแตกหักของชั้นซีเมนต์ เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเดือยฟันและผนังคลองรากฟัน ทำให้เดือยฟันหลุดจากคลองรากฟัน กรณีที่เดือยฟันไม่หลุดออกมาเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวต่อไป ก่อให้เกิดแรงเค้นกระทำต่อรากฟันบริเวณนั้นทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันเนื่องจากความล้า (Scherrer และคณะ, 1993) โดยจุดสูงสุดของกระดูกที่รองรับฟันเป็นจุดหมุนในแนวแก้ม-ลิ้น (bucco-lingual) (Assif และคณะ, 1994) เมื่อกระดูกที่รองรับฟันเกิดการละลาย ทำให้ระดับความสูงของเบ้ากระดูกรากฟันลดลง เสมือนเป็นการเลื่อนตำแหน่งจุดหมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งใกล้ปลายรากมากขึ้น ทำให้ความยาวของคานเหนือจุดหมุนเพิ่มมากขึ้น เดือยฟันจึงขยับและหลวมหลุดได้ง่ายขึ้น (Fernandes และคณะ, 2001) ถ้าใช้เรซินซีเมนต์เป็นวัสดุในการยึดเดือยฟันเข้ากับคลองรากฟัน พบว่าความหนาของซีเมนต์ทำหน้าที่เสมือนตัวดูดซับแรงจากเดือยฟันกระจายสู่เนื้อฟัน (Dietschi และคณะ, 1997)

แม้ว่าเดือยฟันโลหะเหวี่ยงมีข้อดีหลายประการแต่ด้วยขั้นตอนการสร้างชิ้นงานที่มีขั้นตอนซับซ้อนและใช้เวลาในคลินิกและทางห้องปฏิบัติการมากขึ้น จึงมีการพัฒนาเดือยฟันสำเร็จรูป เพื่อลดเวลาและขั้นตอนการทำงานในคลินิกให้น้อยลง

เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะ (Metal prefabricated post)

ต้นปีค.ศ. 1970 เริ่มนำเดือยฟันสำเร็จรูปทำจากโลหะ ร่วมกับการบูรณะส่วนแกนฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต ต่อมานำเดือยฟันสำเร็จรูปทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม หรือ ทองเหลือง ฉาบผิวด้วยทอง หรือทำด้วยโลหะผสมไทเทเนียมมาใช้ รูปร่างและผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปมีหลายรูปแบบ เช่นมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีผิววนอกขนานกันโดยตลอด (cylindrical) ทรงกระบอกขนานกันในส่วนต้นร่วมกับส่วนปลายเป็นรูปปลี (cylindro-conical) หรือมีลักษณะเป็นรูปปลี (conical) ผิวเรียบ (smooth) มีปากเป็นร่อง (serrated) หรือมีลักษณะเป็นเกลียว (Threaded) เพื่อช่วยในแง่การยึดติดเชิงกลกับวัสดุบูรณะที่ใช้ทำแกนฟันและผนังคลองรากฟัน เดือยฟันสำเร็จรูปที่สร้างให้มีลักษณะพื้นผิวเป็นเกลียวให้ค่าการยึดอยู่มากที่สุด เนื่องจากส่วนเกลียวถูกขันเข้าไปในเนื้อรากฟัน ทำให้เกิดแรงเค้นสะสมในเนื้อรากฟันมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวมักนำไปสู่การแตกของรากฟันได้ (Standlee และคณะ, 1980)

การบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันซึ่งเป็นจุดที่ง่ายต่อการเกิดการแตกหัก ความล้มเหลวที่พบส่วนมากเกิดจากการแตกหักของวัสดุสร้างแกนฟันมากกว่าการหลุดของเดือยฟัน

หรือการแตกของรากฟัน (Chan และคณะ, 1982) จากการศึกษาของ Torbjorner และคณะ พบว่า ฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดความล้มเหลวร้อยละ 8 ส่วนฟันที่บูรณะด้วยแกนเดือยฟันชนิดโลหะเหวี่ยงเกิดความล้มเหลวร้อยละ 15 (Torbjorner และคณะ, 1995)

จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการแตก (Failure mode) ของฟันหน้าบนที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมยึดติดกับคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ เมื่อมีแรงกระทำคงที่ พบว่าฟันที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบซี่ฟัน เกิดการแตกในแนวเฉียงจากด้านริมฝีปากไปยังด้านเพดานตรงตำแหน่งปลายสุดของความยาวของเดือยฟัน ส่วนฟันที่ไม่มีเฟอร์รูล เกิดการแตกในแนวตั้งขยายเข้าไปในส่วนรากฟัน เมื่อพิจารณาปริมาณแรงที่ทำให้เกิดการแตก พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่าแรงกัดที่มากกว่าปกติและไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นฟันที่มีเฟอร์รูลที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและยึดติดในคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน (Al-Hazaimeh และคณะ, 2001; Barjau-Escribano และคณะ, 2006) แม้ว่าเดือยฟันสำเร็จรูปทำด้วยโลหะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยาก ซับซ้อนลงได้ แต่ก็ยังคงพบปัญหาการสะท้อนสีของโลหะที่ใช้ทำเดือยฟัน โดยเฉพาะในฟันที่มีเนื้อฟันบริเวณรากฟัน กระดูกรั่ว รากฟันทางด้านริมฝีปากหรือเหงือกที่บาง ทำให้เหงือกมีสีคล้ำ สีไม่สวย นอกจากนั้น ความแตกต่างของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นระหว่างเดือยฟันและเนื้อฟัน ยังส่งผลให้เกิดการสะสมแรงเค้นบริเวณรอยต่อของเดือยฟันและเนื้อฟัน เกิดเป็นจุดที่ง่ายต่อการเกิดความล้มเหลวของการบูรณะ พบว่าโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันประมาณ 20 เท่า โลหะไททาเนียมมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันประมาณ 10 เท่า (Duret และคณะ, 1996; Maccari และคณะ, 2003)

เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย (Fiber-reinforced prefabricated post)

ในอดีตนิยมเสริมความแข็งแรงให้กับฟันที่รักษารากด้วยเดือยฟันและแกนฟันที่ทำด้วยโลหะเหวี่ยงร่วมกับครอบฟัน ปัจจุบันนิยมใช้เดือยฟันสำเร็จรูปมากขึ้นเนื่องจากใช้เวลาในการรักษาน้อยและขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก แต่ควรเลือกใช้ใบรายชื่อที่มีเนื้อฟันเหลืออยู่มากพอควร

การเติมเส้นใยเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของเดือยฟัน เช่น ความทน (Strength) ความแข็งตึง (stiffness) ความสว่าง (lightness) ความต้านทานการ

กัดกร่อน (corrosion resistance) และความต้านทานการล้า (fatigue resistance) (Qualtrough และคณะ, 2003) ชนิดของเส้นใยที่นำมาเติมเข้าไปในเมทริกซ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิต ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน, เส้นใยควอตซ์ และเส้นใยแก้ว

Duret และคณะ กล่าวว่าสารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆได้รับการศึกษาทางทันตกรรม และทางศัลยกรรมพบว่าสารประกอบคาร์บอนมีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ และมีคุณสมบัติทางกลที่น่าพอใจ (Duret และคณะ, 1990) เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอนเป็นเดือยฟันชนิดแรกที่น่าเส้นใยคาร์บอนมาฝังในอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์และมีลักษณะความยืดหยุ่นที่ขึ้นกับการทิศทางการทำให้แรง และมีความอดุลย์ยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของฟัน ซึ่งช่วยลดความเค้นที่มีต่อฟัน (Qualtrough และคณะ, 2003)

ปีค.ศ. 1990 Duret และคณะ (Duret และคณะ, 1990) นำเสนอผลการศึกษาเดือยฟันสำเร็จรูปผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนซึ่งมีอัตราเกิดความล้มเหลวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเดือยฟันสำเร็จรูปที่ผลิตจากโลหะผสม

ปีค.ศ. 1996 Purton และคณะ ศึกษาเปรียบเทียบค่า มอดุลัสความยืดหยุ่นตามขวาง (Transverse modulus of elasticity) ระหว่างเดือยฟันเรซินคอมโพสิตกับเดือยฟันเหล็กกล้าไร้สนิมภายใต้แรงกระทำในแนวตัดขวางที่เกิดจากการทดสอบด้วยวิธีกด 3 จุด (Three point bending) พบว่า เดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเดือยฟันเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถสร้างเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงและยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอเพราะความแข็งแรงของเส้นใยคาร์บอนต้านทานแรงบิดเคี้ยวได้เพื่อใช้บูรณะฟันจึงอนุรักษ์เนื้อฟันธรรมชาติได้มากกว่า เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนสามารถนำมาใช้แทนเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม และแกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงได้ (Purton และคณะ, 1996)

ข้อด้อยของเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอน คือ สีของเส้นใยคาร์บอนมีสีดำแตกต่างจากเนื้อฟันธรรมชาติ ทำให้ส่งผลต่อความสวยงามเมื่อใช้บูรณะฟันในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับความสวยงามเมื่อครอบฟันเซรามิกทั้งซี่ชนิดอัดด้วยความร้อน ได้แก่ Empress I (Heat process) (Nakamura และคณะ, 2002)

ข้อดีอย่างดั่งกล่าวของเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนจึงนำเส้นใยควอตซ์มาหุ้มรอบเพื่อปิดสีของเส้นใยคาร์บอน และต่อมาจึงเปลี่ยนชนิดของเส้นใยจากเส้นใยคาร์บอนมาเป็นเส้นใยแก้วหรือ เส้นใยควอตซ์ ทำให้ได้เดือยฟันที่มีความโปร่งแสง (Translucent) และมีสีใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ ไม่เกิดปัญหาความสวยงามเมื่อเลือกใช้ในฟันหน้า และสามารถใช้ร่วมกับครอบฟันเซรามิกทั้งซี่โดยไม่ทำให้สีและความใสของครอบฟันเปลี่ยนไป (Nakamura และคณะ, 2002) และขณะฉายแสงเพื่อกระตุ้นให้วัสดุเรซินคอมโพสิตเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้สมบูรณ์ เพราะเดือยฟันมีความโปร่งแสงช่วยนำแสงผ่านไปกระตุ้นคอมโพสิตที่อยู่บริเวณส่วนล่างของรากฟันเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์ได้

Malferrari และคณะ (Malferrari และคณะ, 2003) ประเมินทางคลินิกในฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ พบว่ามีความล้มเหลวเกิดขึ้นเพียงร้อยละ 1.7 ซึ่งเป็นความล้มเหลวชนิดยึดอยู่ (Adhesive failure) และความล้มเหลวแบบเชื่อมแน่น (Cohesive failure) และเป็นความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในชั้นของเรซินคอมโพสิต และระหว่างชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟัน ไม่มีการแตกหักของรากฟันหรือเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ ยังพบอีกว่าเส้นใยควอตซ์นั้นมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ และต้านทานการกัดกร่อนได้ (Malferrari และคณะ, 2003) เส้นใยควอตซ์ เส้นใยแก้วที่นำมาใช้แทนเส้นใยคาร์บอนนั้นข้อดีของเส้นใยเหล่านี้มีเหมือนกับเส้นใยคาร์บอน แต่มีสีที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติจึงให้ความสวยงามมากกว่า เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีลักษณะทางภาพถ่ายรังสีเป็นแบบโปร่งแสง ซึ่งจะแตกต่างจากเดือยฟันโลหะเหลืองซึ่งจะมีลักษณะภาพถ่ายรังสีเป็นแบบทึบแสง (Schwartz RS และคณะ, 2004)

ดังนั้นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตชนิดเสริมเส้นใย จึงเป็นรูปแบบของเดือยฟันสำเร็จรูปที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย (Ferrari และคณะ, 2000; Fredriksson และคณะ, 1998; Mannocci และคณะ, 2002) นับตั้งแต่เริ่มผลิตออกสู่ตลาดในทศวรรษที่ 90

เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ประกอบด้วยส่วนของเส้นใยช่วยเสริมความแข็งแรงและส่วนพอลิเมอร์เมทริกซ์ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับแรงเค้นที่เกิดขึ้นภายในเดือยฟัน ชนิดของเมทริกซ์มี 2 ประเภท โดยทั่วไปมักเป็นอีพ็อกซีเรซินหรือพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สูง และมีโครงสร้างแบบตาข่ายในปริมาณมาก (Highly cross-linked structure) เพื่อให้เกิดความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับความแข็งแรงกด (compressive strength) ที่เกิดขึ้นได้โดยเดือยฟันไม่เกิดการแตกหัก (Lassila และคณะ, 2004) เมทริกซ์อีกชนิด

คือ ไอพีเอ็น พอลิเมอร์ (Interpenetrating Polymer Network) มีองค์ประกอบเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นและแบบตาข่ายผสมกันโดยที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกัน (Mannocci และคณะ, 2005) อัตราส่วนจำนวนเส้นใยต่อเมทริกซ์ (fiber/matrix ratio) เป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับค่ากำลังดัดขวางของเดือยฟันเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิด (Seefeld และคณะ, 2007)

ในแง่คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ พบว่าเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน เมื่อมีแรงกระทำมักเกิดลักษณะการกระจายแรงคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในเนื้อฟันธรรมชาติ (Pegoretti และคณะ, 2002)

Plotino และคณะ (Plotino และคณะ, 2007) ศึกษาคุณสมบัติการยืดหยุ่น (flexural properties) ของเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย เดือยฟันสำเร็จรูปที่สร้างจากโลหะและเนื้อฟันในคลองรากฟัน ด้วยวิธีกด 3 จุด พบว่าเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน, เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยซิลิกา-เซอร์โคเนียม เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยเซอร์โคเนียมและแก้ว แกนเดือยฟันโลหะเหวี่ยงด้วยทอง เดือยฟันชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม เดือยฟันไททานเนียม และเนื้อฟัน มีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 34.4 (3.6), 24.4(3.8), 28.2(3.4), 53.4(4.5), 108.6(10.7), 66.1(9.6) และ 17.5(3.8) กิกกะปาสคาลตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีคุณสมบัติยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันมากกว่าเดือยฟันโลหะ ดังนั้นเดือยฟันที่ทำด้วยโลหะจึงมีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูป เรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย

จากคุณสมบัติดังกล่าวฟันที่รักษารากบูรณะด้วยเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตเมื่อมีแรงกระทำมักเกิดการกระจายแรงคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในฟันธรรมชาติ ซึ่งต่างจากการบูรณะด้วยเดือยฟันโลหะที่มักเกิดความเค้นปริมาณมากบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยฟันและเนื้อฟัน (Pegoretti และคณะ, 2002) เป็นสาเหตุให้รากฟันแตกได้

การศึกษาดูด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์ (Finite Element) เกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟันและรูปร่างของเดือยฟันต่อลักษณะการกระจายแรงบริเวณรากฟันในฟันหน้าที่ไม่มีเฟอร์รูล โดยสร้างแบบจำลอง 4 กลุ่ม คือ เดือยฟันขนาดเล็กและยาว เดือยฟันขนาดเล็กและสั้น เดือยฟันขนาดใหญ่และยาว เดือยฟันขนาดใหญ่และสั้น เปรียบเทียบระหว่างเดือยฟันที่ทำด้วยโลหะผสมทองชนิดที่ 4 เดือยฟันสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต และเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต พบว่าชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟันมีผลต่อปริมาณความเค้นที่เกิดบริเวณผิวรากฟันทางด้านริมฝีปากกรอบส่วนปลายของเดือยฟัน

โดยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีแรงเค้นบริเวณปลายรากน้อยกว่าเดือยฟันทำด้วยโลหะในทุกกลุ่มทดลอง และเดือยฟันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมีแรงเค้นบริเวณปลายรากน้อยกว่าเดือยฟันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ เดือยฟันที่ยาวน้อยกว่า 2/3 ของความยาวรากมีแรงเค้นกระทำต่อเนื้อฟันมากกว่าเดือยฟันที่ยาวกว่า 2/3 ของความยาวราก ไม่ว่าจะในกลุ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กหรือใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเดือยฟันโลหะเหวี่ยงและเดือยฟันสำเร็จรูปโลหะร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตพบว่ามีความไม่แตกต่างกันไม่ว่าในกลุ่มที่มีเดือยฟันยาวหรือสั้น (Nakamura และคณะ, 2006)

ดังนั้นการใช้เดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันช่วยลดโอกาสเกิดการแตกของรากฟันในลักษณะที่สามารถบูรณะได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ เดือยฟันที่ทำด้วยโลหะหรือเซอร์โคเนีย (Mannocci และคณะ, 1999; Maccari และคณะ, 2003; Nakamura และคณะ, 2006)

Nauman และคณะ (Nauman และคณะ, 2007) ศึกษาอิทธิพลของความแข็งของวัสดุที่ใช้ทำเดือยฟันที่มีต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดบนซี่กลางที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและบูรณะด้วยครอบฟันเคลือบกระเบื้องทั้งซี่ ภายใต้แรงอุณหภูมิศาสตร์ (Thermomechanical loading) ซึ่งจำลองระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี โดยเปรียบเทียบระหว่างฟันที่มีเฟอร์รูลและไม่มีเฟอร์รูล เทียบกับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปไทเทเนียมซึ่งมีความอดุลล์ความยืดหยุ่นเท่ากับ 110 กิกกะปาสคาล และเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วซึ่งมีความอดุลล์ความยืดหยุ่นเท่ากับ 30-40 กิกกะปาสคาล พบว่าฟันที่ไม่มีเฟอร์รูลค่าความอดุลล์ความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันของเดือยฟันสำเร็จรูปมีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของฟันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีลักษณะเฟอร์รูลรอบซี่ฟัน ดังนั้นปริมาณเนื้อฟันที่เหลือหลังการรักษาคลองรากฟันจึงมีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักมากกว่าค่าความอดุลล์ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเดือยฟัน

เมื่อศึกษาในฟันเขี้ยวที่มีคลองรากผาย (Flared root canal) โดยเปรียบเทียบระหว่างฟันเขี้ยวที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยยึดด้วยเรซินซีเมนต์ กับฟันเขี้ยวที่บูรณะด้วยเดือยฟันโลหะเหวี่ยงยึดด้วยเรซินซีเมนต์ พบว่าทั้งสองกรณีมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้น พบว่ากลุ่มฟันเขี้ยวที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย เกิดการหักของเดือยฟันใน

ส่วนตัวฟันหรือบริเวณคอฟันร้อยละ 70 และพบการแตกหักแบบไม่สามารถบูรณะได้ร้อยละ 30 ส่วนฟันเขี้ยวที่บูรณะด้วยเดือยฟันโลหะเหวี่ยงยึดด้วยเรซินซีเมนต์ พบว่าการแตกหักบริเวณกลางรากฟันซึ่งไม่สามารถบูรณะได้ถึงร้อยละ 70 (Bonfante และคณะ, 2007)

ดังนั้นฟันที่เหลือเนื้อฟันน้อย (Compromised root structure) ไม่มีเฟอริกูล การเลือกใช้เดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต และยึดครอบฟันด้วยเรซินซีเมนต์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ (Mendoza และคณะ, 1997, Al-Haxaimeh และคณะ, 2001)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะฟันรักษาคลองรากด้วยครอบฟันร่วมกับเดือยฟันและแกนฟัน คือ การสร้างการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างผิวคลองรากฟัน เดือยฟัน และวัสดุที่ใช้ทำแกนฟันเป็นเนื้อเดียวกัน (Monoblock) (Monticelli และคณะ, 2003) การสร้างชิ้นงานที่สามารถผสานรวมเป็นหนึ่งเดียวกับเนื้อฟันธรรมชาติ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมือนกันทั้งชิ้น (single biomechanical complex) ถือเป็นจุดหมายหลักของการบูรณะ ซึ่งการเกิดลักษณะดังกล่าวได้ จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนหรือใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติมากที่สุด และต้องสร้างให้เกิดการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างเนื้อฟันและวัสดุที่ใช้บูรณะ (Duret และคณะ, 1996) และต้านทานการหลุดที่เพียงพอ กรณีนี้ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟันและการยึดติดระหว่างแกนฟันและเนื้อฟันธรรมชาติเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของครอบฟันที่สร้างขึ้น (Morgano และคณะ, 1999)

วัสดุสำหรับสร้างแกนฟัน (Core Material)

วัสดุที่ใช้สร้างแกนฟันมีหลายชนิด โดยทั่วไปนิยมใช้ อมัลกัม หรือ เรซินคอมโพสิต Morgano และคณะ (Morgano และคณะ, 1999) กล่าวถึงคุณสมบัติในอุดมคติของวัสดุแกนฟัน คือ ต้องมีความแนบสนิทกับผิวสัมผัส (good adaptation) กับรากฟัน และมีการยึดติดที่ดีกับพื้นผิวเดือยฟัน บริเวณผิวสัมผัสต้องมีลักษณะต่อเนื่องไม่มีฟองอากาศตลอดแนว เนื่องจากฟองอากาศทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความเค้น และเป็นจุดเริ่มต้นของความล้มเหลวเชิงกลของผิวสัมผัสนั้นๆ ควรมีค่าความแข็งแรง (Compressive strength) ที่เพียงพอที่ต้านแรงบดเคี้ยวได้ มีค่าความแข็งดัดขวางที่เพียงพอ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ ต้านทานการรั่วซึมบริเวณผิวสัมผัสระหว่างแกนและเนื้อฟัน ใช้งานง่าย สามารถยึดติดกับเนื้อฟันส่วนที่เหลือได้ มีค่าสัมประสิทธิ์การหดและขยายตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ มีความเสถียรทางมิติ ดูดน้ำน้อย และมีความสามารถในการป้องกันการเกิดฟันผุ

อมัลกัมเป็นวัสดุบูรณะที่มีความแข็งแรงกดสูง มีค่ามอดุลัสของยืดหยุ่นสูง มีความเสถียรทางมิติมาก สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ ข้อด้อยของวัสดุชนิดนี้ คือใช้เวลาในการก่อตัวนานไม่สามารถหล่อแต่งรูปร่างได้ทันทีหลังบูรณะ และมีสีที่แตกต่างจากเนื้อฟันธรรมชาติ จึงไม่สามารถนำอมัลกัมมาใช้ในบริเวณที่ต้องการความสวยงามได้ (Abou-Rass 1992) จากข้อด้อยของอมัลกัมที่กล่าวมาส่งผลให้เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม สำหรับสร้างแกนฟันร่วมกับเดือยฟันสำเร็จรูป เลือกใช้ได้ทั้งชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light cured) ชนิดบ่มเอง (self cured) หรือชนิดที่บ่มด้วยแสงร่วมกับการบ่มเอง (dual cured)

Monticelli และคณะ (Monticelli และคณะ, 2005) พบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable composite) ให้ลักษณะเนื้อวัสดุและผิวรอยต่อระหว่างเดือยฟันกับเรซินคอมโพสิตที่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด แต่ในแง่คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่มีคุณสมบัติเชิงกลประมาณร้อยละ 60-90 เมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป (Bayne และคณะ, 1998) เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่มีปริมาณเรซินมากกว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มักเกิดการหดตัวมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป ส่งผลให้เกิดความเค้นซึ่งมีผลรบกวนการยึดติดระหว่างผิว (Alvarez-Gayosso และคณะ, 2004)

Vano และคณะ (Vano และคณะ, 2006) พบว่าค่าแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยขึ้นกับชนิดของเรซินคอมโพสิตและชนิดของการปรับสภาพพื้นผิว โดยวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเป็นตัวกำหนดลักษณะพื้นผิวของเดือยฟัน (surface characteristics)

วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิต (Resin Composite)

วัสดุบูรณะฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นเรซิน ได้รับการวิจัยและพัฒนาในปี ค.ศ.1956 โดย Bowen (Bowen, 1956) ใช้ฮีฟ็อกซีเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนเป็นวัสดุสร้างชิ้นงานบูรณะในห้องปฏิบัติการแล้วนำไปยึดในโพรงฟันของผู้ป่วย วิธีดังกล่าวให้ผลการรักษาที่น่าพอใจ แต่มีปัญหาในการขึ้นรูปชิ้นงานต้องใช้เวลาานานมาก สำหรับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ ได้มีการปรับปรุงวัสดุโดยเปลี่ยนมาใช้อนุพันธ์ของเมตาคริเลตที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่มี

หมู่ทำปฏิกิริยา 2 หมู่ คือ บิสฟีนอล ไกลซีดีล เมตาคริเลต หรือ บิสจีเอ็มเอ ร่วมกับวัสดุอัดแทรกซึ่ง เป็นสารจำพวกสารอนินทรีย์นำมาผลิตวัสดุบูรณะฟันใช้ชื่อทางการค้าว่า คอมโพสิต เนื่องจาก ภายในโมเลกุลของมอนอเมอร์มีหมู่ไฮโดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ทำหน้าที่อยู่ 2 กลุ่ม แต่ละโมเลกุลของ มอนอเมอร์สามารถเกิดพันธะของไฮโดรเจนระหว่างกันได้ทำให้วัสดุมีความเหนียวสูง เพื่อแก้ปัญหา ดังกล่าว Lee และคณะ (Lee และคณะ, 1970) ปรับปรุงส่วนผสมโดยเพิ่ม ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมตาคริเลท (TEGDMA) เพื่อทำให้วัสดุมีความเหลวเพิ่มขึ้น และเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกได้ มากขึ้นโดยไม่มีผลต่อความเหนียวของวัสดุ

องค์ประกอบของวัสดุเรซินคอมโพสิต

องค์ประกอบหลักของวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในปัจจุบันประกอบด้วย 4 กลุ่มใหญ่

1. อินทรีย์พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Organic polymer matrix)

โดยทั่วไปนิยมใช้บิสจีเอ็มเอ หรือ ยูดีเอ็มเอ ซึ่งมีพันธะคู่คาร์บอนอยู่ภายใน โมเลกุลบริเวณปลายทั้งสองด้าน จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ชนิดปฏิกิริยาการเกิด พอลิเมอร์ชนิดควบแน่น บริษัทผู้ผลิตมักผสมสารประกอบน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีพันธะคู่คาร์บอน เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลท (Triethylene glycol dimethacrylate) เพื่อควบคุมความ เหนียวของ อินทรีย์พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Organic polymer matrix)

2. วัสดุอัดแทรกชนิดสารอนินทรีย์ (Inorganic filler particle)

วัสดุอัดแทรกเป็นสารอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก (fine particle) เช่น แก้ว หรือ ควอตซ์ หรือเป็นสารอนินทรีย์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กมาก (microfine particle) เช่น ซิลิกาชนิดห้อยแขวน (colloidal silica) สามารถใช้ขนาด รูปร่าง และการกระจายของอนุภาคเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ประเภทของวัสดุเรซินคอมโพสิต

3. สารควบคู่ (Coupling agent)

มักเป็นออร์แกนโนซิลอน (Organosilane) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่าง วัสดุอัดแทรกและส่วนเมทริกซ์

4. ระบบตัวเร่ง (Initiator-accelerator system)

สารกระตุ้น (Accelerator) และสารเริ่มต้น (initiator) ทำหน้าที่ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของวัสดุ เป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเป็นแบบบ่มด้วยตัวเอง บ่มด้วยแสง หรือแบบร่วม

วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิตที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นชนิดที่เกิดการบ่มตัวด้วยแสง โดยบริษัทผู้ผลิตเติมสารแคมโฟโรควิโนน (Camphoroquinone) สลายตัวให้อนุมูลอิสระสำหรับเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เมื่อสัมผัสกับแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 450-490 นาโนเมตร อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนำไปใช้ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เพื่อให้วัสดุแข็งตัว ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลของพอลิเมอร์เมทริกซ์ เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นตาข่ายสามมิติ (cross-linked three dimensional network) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการพบบโมเลกุลของเมตาคริเลตในพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ยังไม่ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 25-50 เป็นส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับเรซิน คอมโพสิตที่เติมเข้ามาใหม่ได้

การยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน

Monticelli และคณะ (Monticelli และคณะ, 2003) กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะด้วยครอบฟันร่วมกับเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย และแกนเรซินคอมโพสิต คือ การสร้างการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างพื้นผิวคลองรากฟัน พื้นผิวเดือยฟันและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน Duret และคณะ (Duret และคณะ, 1996) กล่าวว่า การสร้างชิ้นงานที่สามารถผสมผสานรวมเป็นหนึ่งเดียวกับเนื้อฟันธรรมชาติ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมือนกัน ทั้งขึ้นถือเป็นจุดหมายหลักของการบูรณะ เพื่อให้ลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนหรือใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติมากที่สุด และต้องให้เกิดการยึดติดที่ดีระหว่างเนื้อฟันและวัสดุที่นำมาใช้บูรณะ Morgano และคณะ (Morgano และคณะ, 1999) กล่าวว่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน และการยึดติดระหว่างแกนฟันและเนื้อฟันธรรมชาติ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของครอบฟันที่สร้างขึ้น

จะเห็นได้ว่าบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันกับแกนฟัน และแกนฟันกับพื้นผิวเนื้อฟัน และแกนฟันกับซีเมนต์ยึดเดือยฟันโดยรอบ เป็นบริเวณสำคัญที่มีผลต่อการเกิดการผื่นในส่วนของตัวฟัน (Coronal seal) และการรองรับเชิงกล (mechanical support) ที่เพียงพอแก่ครอบฟันที่สร้างขึ้น สัมพันธ์กับการเกิดความการล้มเหลวของชิ้นงาน ดังนั้นการยึดอยู่ และความเสถียรระหว่างเดือยฟันและแกนฟันจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะ (Gateau และคณะ, 1999) ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้สร้างแกนฟัน ควรมีคุณสมบัติให้การยึดติดที่ดีกับส่วนเนื้อฟันและเดือยฟันที่เลือกใช้นอกจากนั้นยังต้องมีความแนบที่ดีกับผิวสัมผัส (Sadek และคณะ, 2007)

การยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการการเกิดพอลิเมอร์มาแล้วเกิดได้ 2 ลักษณะ (Mannocci และคณะ, 2005) คือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระ (free radical) ของเรซินคอมโพสิตกับพันธะคู่ที่ยังเหลืออยู่จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (unconverted double bonds) ของหมู่ทำหน้าที่ (functional group) ของพอลิเมอร์
2. เกิดจากมอนอเมอร์ของเรซินคอมโพสิตแทรกซึม (Interdiffusion) เข้าไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์

เมื่อพิจารณาการยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีส่วนเมทริกซ์เป็นอีพ็อกซีเรซินกับเรซินคอมโพสิต พบว่าไม่มีการยึดติดด้วยพันธะเคมีระหว่างวัสดุทั้งสอง เพราะส่วนเมทริกซ์มีลักษณะเป็นอีพ็อกซีเรซินที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ (Well-polymerized epoxy resin) จึงไม่มีพันธะคู่ของหมู่ทำหน้าที่เหลือสำหรับทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของเรซินคอมโพสิต (Mannocci และคณะ, 2005)

ส่วนการยึดติดที่เกิดจากการแทรกซึมบริเวณผิวสัมผัส (Interdiffusion bonding phenomenon) เกิดขึ้นได้ในกรณีที่เดือยฟันสร้างจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทั้งหมดหรือบางส่วนเป็นพอลิเมอร์แบบเส้น (Linear polymer) เช่นไอพีเอ็น พอลิเมอร์ (IPN: Interpenetrating polymer) นอกนั้นมอนอเมอร์ของเรซิน ต้องมีความสามารถในการละลายโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้น หรือ ไอพีเอ็น พอลิเมอร์นั้นๆด้วย ซึ่งความสามารถในการทำละลายของมอนอเมอร์แต่ละตัวขึ้นกับค่าความสามารถในการทำละลายซึ่งควรมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับวัสดุที่ถูกละลาย จากการศึกษาของ Mannocci และคณะในปีค.ศ. 2005 พบว่ามอนอเมอร์ของเรซินคอมโพสิต (บิส

จีเอ็มเอ และ ไตรเอทีลิน ไกลคอล ไดเมตาคริลेट และ ไฮโดรซีเอทิลเมตาคริลेट) สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของ ไอพีเอ็น พอลิเมอร์ของเดือยฟันเอดเวอร์สติก (everStick post) ได้ แต่ไม่พบลักษณะดังกล่าวในเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตที่มีโครงสร้างเป็นโครงตาข่าย (cross-linked) (Mannocci และคณะ, 2005) ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนการศึกษาของ Sahafi และคณะ (Sahafi และคณะ, 2003) พบว่าแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าต่ำกว่าค่าแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟันธรรมชาติ

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความพยายามเตรียมสภาพพื้นผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิต ในระยะแรกแนะนำให้ใช้สารไซเลน ทาบริเวณพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์ (Sahafi และคณะ, 2003) ซึ่งต่อมานำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยและแกนฟันเรซินคอมโพสิต (Aksornmuang และคณะ, 2004; Goracci และคณะ, 2005)

การปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟัน (Post surface treatment)

การปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใย เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของเดือยฟันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดของเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ หรือเรซินคอมโพสิตที่นำมาทำเป็นแกนฟันซึ่งมีวิธีทำได้หลายวิธี แต่จะวิธีทำให้ลักษณะของพื้นผิวเดือยฟันมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีทางกล (Mechanical) โดยการใช้เข็มกรอกากเพชร (Diamond Bur) กรอไปรอบๆเดือยฟัน หรือบาก เพื่อเพิ่มความขรุขระ และเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการยึดติดของเดือยฟัน เพื่อให้เกิดการยึดติดทางกลของเดือยฟันเสริมเส้นใยและเรซินคอมโพสิต

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีทางกลขนาดเล็ก โดยการพ่นทราย (Sandblast) ด้วยผลึกอลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอนหรือผลึกซิลิกาขนาด 30 ไมครอน พ่นลงไปบนเดือยฟันเสริมเส้นใยที่ความดัน 1-2.5 บาร์ เพื่อทำให้พื้นผิวของเดือยฟันเสริมเส้นใยเกิดความขรุขระ ซึ่งลักษณะดังกล่าวช่วยให้เกิดแรงยึดที่ดีขึ้น จากการศึกษาของ Sahafi และคณะ ในปีค.ศ. 2003 พบว่าผลของการพ่นผลึกอลูมินา หรือ ผลึกซิลิกา บนพื้นผิวของเดือยฟันเซอริโคเนียมทำให้ค่า

ความแข็งแรงยึดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sahafi และคณะ, 2003) และในปีค.ศ.2005 Balbosh ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยด้วยการพ่นผลึกอลูมินาขนาด 50 ไมครอนที่ความดัน 2.5 บาร์ พบว่ามีผลเพิ่มการยึดติดแบบเชื่อมยึดติดทางกล (Mechanical interlocked) ระหว่างซีเมนต์ กับพื้นผิวที่ขรุขระของเดือยฟัน(Balbosh และคณะ, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ D'Arcangelo และคณะ พบว่าเมื่อพ่นผลึกอลูมินาขนาด 50 ไมครอนที่ความดัน 2.5 บาร์ เป็นเวลา 10 วินาที บนพื้นผิวของเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันและเรซินคอมโพสิตได้ (D'Arcangelo และคณะ, 2007)

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ที่มีสภาพความเป็นกรดต่าง สามารถละลายอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติดและทำให้เส้นใยที่ฝังอยู่ภายในโผล่ออกมาเกิดการยึดติดกับสารโซเลนที่ทาดีขึ้น จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดได้(Bitter และคณะ, 2007) ซึ่งสารเคมีที่นำมาใช้ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate), โซเดียมเอทอกไซด์ (Sodium Ethoxide), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) และกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid)

จากการศึกษาของ Monticelli และคณะ พบว่าการใช้สารละลายอัลคาไลท์โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นเวลา 10 นาที ละลายส่วนอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ ทำให้เส้นใยโผล่ออกมา เมื่อทาสารโซเลนทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยและเรซินคอมโพสิตที่ดีขึ้น สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Monticelli และคณะ, 2006) เช่นเดียวกับสารละลายโซเดียมเอทอกไซด์ ละลายบางส่วนของเมทริกซ์ทำให้อีพ็อกซีเรซินหลุดออกโดยผ่านขบวนการเกิดการออกซิเดชันของสาร (Bronson และคณะ, 2001; Baskin และคณะ, 1979) ในปีค.ศ.2006 Monticelli และคณะศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ ด้วยสารละลายโซเดียมเอทอกไซด์ พบว่าสารละลายโซเดียมเอทอกไซด์สามารถละลายบางส่วนของเมทริกซ์ ทำให้อีพ็อกซีเรซินส่วนผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์หลุดออก ทำให้เส้นใยควอตซ์ส่วนนอกโผล่ออกมาและสารละลายไม่ทำลายเส้นใย

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถละลายเรซินที่พื้นผิวของอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ และทำให้พันธะของอีพ็อกซีเรซินแตกเกิดความขรุขระบนพื้นผิวช่วยเพิ่มยึดติดแบบทางกลขนาดเล็ก (Micromechanical) ระหว่างอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟันกับหมู่เมทาโคเลทของเรซินคอมโพสิต มีการศึกษาพบว่าเมื่อนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย ช่วยละลายอีพ็อกซีเรซินทำให้เส้นใยที่อยู่ข้างในโผล่ออกมาทำปฏิกิริยากับ

สารไฮโดรเจนไดออกไซด์ขึ้น เป็นผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต (Vano และคณะ, 2005, Monticelli และคณะ, 2006) ซึ่งความเข้มข้นและเวลาที่แนะนำคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 10% ใช้เวลา 20 นาที และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 24% ใช้เวลา 10 นาที ซึ่งความเข้มข้นทั้งสองนี้ให้ผลในการเพิ่มความแข็งแรงยึดได้ดีเท่ากัน

ปีค.ศ. 2008 Yenisey และคณะศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ และเส้นใยแก้ว โดยใช้สารละลายเมทิลลีนคลอไรด์ เป็นเวลา 5 นาที พบว่าไม่สามารถละลายอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยทั้งสองได้ (Yenisey และคณะ, 2008)

กรดไฮโดรฟลูออริกก็เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่น่าสนใจนำมาปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่มีพื้นฐานเป็นแก้ว และเซรามิก จากการศึกษาของ Vano และคณะ พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 4% ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วเป็นเวลา 1 นาที มีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้ แต่อย่างไรก็ตามกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลต่อรูปร่างของเดือยฟัน ส่วนของเมทริกซ์ถูกละลายออกไปเล็กน้อยถึงเส้นใยถูกทำลายไปด้วย (Vano และคณะ, 2006) ในปี ค.ศ. 2007 D'Arcangelo และคณะทดลองปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 9.5% เป็นเวลา 15 วินาที พบว่าเกิดการทำลายเส้นใยและส่วนของอีพ็อกซีเรซินไปมาก (D'Arcangelo และคณะ, 2007)

สารควบคู่ไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์-อนินทรีย์ นำมาใช้เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน เช่น โลหะกับเรซินคอมโพสิต เซรามิกกับเรซินคอมโพสิต และเรซินคอมโพสิตกับเรซินคอมโพสิต โดยเรซินคอมโพสิตมีหมู่เมตาคริเลทเป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นสารช่วยเพิ่มการยึดติดได้ ในปีค.ศ. 2003 Sahafi และคณะนำสารไฮโดรเจนทาบริเวณพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ (Sahafi และคณะ, 2003) หลังจากนั้นนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและแกนฟันเรซินคอมโพสิต (Aksornmuang และคณะ, 2004; Goracci และคณะ, 2005) Monticelli และคณะพบว่าสารไฮโดรเจนช่วยเพิ่มคุณสมบัติไฮลแฝ่(wettability) ของพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย (Monticelli และคณะ, 2006) ในปีค.ศ.2007 Bitter และคณะนำสารไฮโดรเจนมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพ

ลิตเสริมเส้นใย พบว่าช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินคอมโพสิตได้ (Bitter และคณะ, 2007)

สารไซเลนทำปฏิกิริยาเพื่อสร้างพันธะเคมีเฉพาะส่วนของเรซินคอมโพสิตที่ใช้สร้างแกนกับส่วนของเส้นใยที่ไม่มีส่วนเมทริกซ์หุ้มเท่านั้น (Aksornmuang และคณะ; 2004, Goracci และคณะ; 2005) เพราะส่วนเมทริกซ์ของเดือยฟันมีคุณสมบัติเป็นพอลิเมอร์ชนิดมีโครงสร้างพอลิเมอร์ในปริมาณมาก (highly cross-linked polymer) จึงไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยากับไซเลน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน (Elipar® Trilight, 3M ESPE, Germany)
2. วัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง Multicore Flow® (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24
4. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30
5. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)
6. กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 (Porcelain Etchant, 4% Buffered-Hydrofluoric acid gel, Bisco Inc, Schaumburg, IL, USA)
7. เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว Easy post® (Krugg, Milano, Italy)
8. เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ DT light post® (RTD st. Egreve, Grenoble, France)
9. เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน CompositPost® (RTD st. Egreve, Grenoble, France)
10. เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็ง (Leica, รุ่น SP1600, Leica, Germany)
11. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิทัลชนิดความละเอียด 0.01 (Mitutoyo, Japan)
12. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL รุ่น JSM-5410LV, JEOL, Japan)
13. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอพร้อม CCD, TV, VDO (Meiji, ML 9300, Meiji, Techno Co Ltd. Japan) และกล้องถ่ายรูปรุ่น EOS 100 (Cannon, Japan)
14. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (ultrasonic cleaner รุ่น 5210 Branson, Germany)
15. กาวไซยาโนอะครีเลต
16. เครื่องทดสอบสากระบบไฮดรอลิก (Instron รุ่น 8872, Instron, USA)
17. เครื่องคอมพิวเตอร์
18. โปรแกรม SPSS รุ่น 13 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA)

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาความแข็งแรงยึด (Bond strength) ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองแสง สำหรับสร้างส่วนแกนฟัน โดยพิจารณาปัจจัยความแตกต่างของสารที่นำมาปรับสภาพผิวของเดือยฟัน โดยการศึกษาี้เลือกใช้เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย 3 ชนิด และวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง (Multicore Flow)

ตารางที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบ

Materials	Composition
DT Light Post (RTD st. Egreve Grenoble, France)	Translucent quartz fiber (60%) Epoxy resin matrix (40%)
Easy Post (Krugg, Milano, Italy)	Zirconium-enriched glass fiber (60% wt) Epoxy resin matrix (40% wt)
Composi Post (RTD st. Egreve Grenoble, France)	Unidirectional Carbon Fiber (64% wt) Epoxy resin matrix (36%wt)
MultiCore Flow: Matrix (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Bis-GMA (bisphenol glycidyl methacrylate) UDMA (urethane dimethacrylate) TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate) (29wt %)
MultiCore Flow: Filler (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Barium glass Ytterbiumtrifluoride Ba-Al-Fluorosilicate glass Highly dispersed silicon dioxide (70 wt %, particle size = 0.04-25 μm)



รูปที่ 1 เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ควอตซ์ และคาร์บอน (EasyPost® , DT light post® , ComposiPost®)



รูปที่ 2 วัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง (Multicore Flow®)



รูปที่ 3 กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 (Porcelain Etchant®)

การเลือกวิธีการทดสอบ

เพื่อศึกษาค่าแรงยึดบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและเรซินคอมโพสิต ผู้วิจัยออกแบบการทดลองเพื่อการศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้เพื่อปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซิน คอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ โดยเลือกใช้กรดไฮโดรฟลูออริก และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆดังต่อไปนี้

1. กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 (HF4%) ที่เวลา 15, 30 วินาที และ 1 นาที
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 (H_2O_2 35%) ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 นาที
3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 (H_2O_2 30%) ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 นาที
4. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 24 (H_2O_2 24%) 10 นาที กลุ่มควบคุม

เลือกใช้เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยเครื่องหมายการค้า 3 ชนิด ได้แก่ EasyPost® เป็นตัวแทนของเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีเส้นใยแก้วเสริมความแข็งแรง (Glass fiber), DT light Post® เป็นตัวแทนของเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีเส้นใยควอตซ์เสริมความแข็งแรง (Quartz fiber) และ ComposiPost® เป็นตัวแทนของเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีเส้นใยคาร์บอนเสริมความแข็งแรง (Carbon fiber)

การศึกษานี้เลือกวิธีทดสอบค่าความแข็งแรงยึด (Bond strength test) เพื่อทดสอบค่าความแข็งแรงยึดบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่นชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ และการคำนวณพื้นที่ผิวยึดติด ตลอดจนขั้นตอนการทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ประยุกต์และดัดแปลงจากงานที่มีวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกัน

ปี ค.ศ. 1996 Drummond และคณะ ทดลองพบว่าการใช้วิธีผลัก (push out) ทำให้ทราบถึงแรงยึดติด (Bonding strength) มากกว่าทดสอบแรงเฉือน (Shear test) เพราะการกด

ทำให้เกิดแรงที่ขนานกับพื้นผิวของรอยต่อระหว่างชั้นเนื้อฟันและชั้นยึดติด (dentin-bonding interface) ทำให้ได้ค่าแรงยึดเค้น (Shear bond) อย่างแท้จริง (Drummond และคณะ, 1996)

เมื่อพิจารณาวิธีการทดสอบแบบดึงและกด (pull out and push out test) พบว่าการทดสอบโดยให้แรงกระทำต่อเดือยฟันทั้งขึ้นหรือให้แรงกระทำต่อชิ้นตัวอย่างที่หนา มักเกิดแรงที่ไม่เป็นระเบียบ (highly non-uniform stress) กระทำต่อผิวยึดติด (adhesive interface) ทำให้ค่าแรงยึดติดบริเวณผิวสัมผัสมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ในปี ค.ศ. 2004 Goracci และคณะ วิจัยเกี่ยวกับวิธีทดสอบหาค่าความแข็งแรงยึดด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าวิธีทดสอบแบบกดได้ผลที่น่าเชื่อถือมากกว่าวิธีทดสอบแบบดึง เพราะวิธีทดสอบแบบกดนั้นไม่เกิดการหักของชิ้นงานก่อนเริ่มทดสอบ ในขณะที่วิธีทดสอบแบบดึงเกิดการแตกหักของชิ้นงานก่อนเริ่มทดสอบ และ Goracci ลดความหนาของชิ้นงานลงเหลือเพียง 1 มิลลิเมตร เรียกว่า การทดสอบแบบผลัดขนาดเล็ก (micro push out test) ทำให้เกิดการกระจายแรงได้สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นข้อดีของวิธีทดลองแบบนี้ (Goracci และคณะ, 2004)

ปีค.ศ. 2008 Wang และคณะ ทดลองความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปกับคลองรากฟัน พบว่าการใช้วิธีทดสอบแบบผลัด (push out) มีการกระจายตัวของข้อมูลและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย (Wang และคณะ, 2008)

ดังนั้นการทดลองนี้ ผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกวิธีทดสอบแบบกด (Push out test) สำหรับวัดค่าความแข็งแรงยึดบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและบ่มตัวด้วยแสง โดยรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ และเตรียมชิ้นตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อลดโอกาสการเกิดตำหนิบริเวณผิวสัมผัส และลดการแตกหักของชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแบ่งกลุ่มการทดลอง

1. แบ่งกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยตามชนิดของเส้นใย 3 กลุ่ม
2. กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์ สุ่มแบ่งเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแต่ละชนิดออกเป็นชนิดละ 16 กลุ่ม กลุ่มละ 5 แห่ง ตามชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใย

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง

	15 sec	30 sec	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	10 min
4% HF	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5					
35% H ₂ O ₂			D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5
30% H ₂ O ₂			D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5	D n= 5 E n= 5
24% H ₂ O ₂								D n= 5 E n= 5

หมายเหตุ: D= DT Light post, E= Easy Post

3. กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน ใช้กลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 และกลุ่มที่ 2 รอผลของการทดลองของกลุ่มเดือยฟันเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว และควอตซ์ เลือกกลุ่มที่ให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงสุดหรือใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม และมีระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันลดลงหรือน้อยกว่า 10 นาที นำมาทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 ที่เป็นกลุ่มทดลอง

ขั้นตอนการสร้างแกนฟันและการทดสอบความแข็งแรงยึด (Core build-up and Bond strength test procedure)

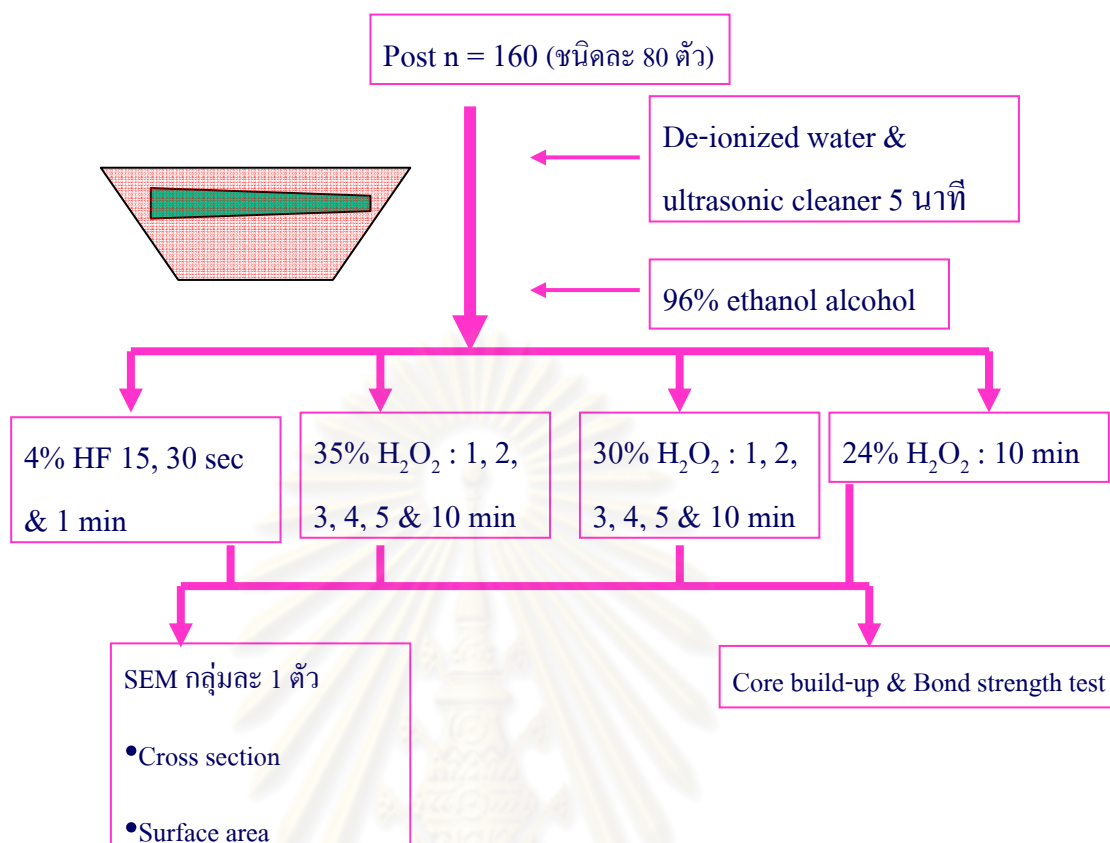
1. นำเดือยฟันที่เตรียมไว้ ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกร่วมกับน้ำปราศจากไอออน (deionized water) นาน 5 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยเอทานอลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 96 แล้วเป่าแห้ง แบ่งกลุ่มในแต่ละชนิดของเดือยฟันออกเป็น 16 กลุ่ม
2. นำไปปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีความเข้มข้นดังต่อไปนี้
 - HF 4% ที่เวลา 15, 30 วินาที และ 1 นาที
 - H₂O₂ 30% ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 นาที
 - H₂O₂ 35% ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 นาที

กลุ่มควบคุมคือ H₂O₂ 24% 10 นาที

กลุ่มกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 4 ที่ใช้เป็นเจล นำเดือยฟันแช่ลงในเจลที่บรรจุอยู่ในปิ๊กเกอร์พลาสติกเพื่อพื้นผิวเดือยฟันสัมผัสกับกรดไฮโดรฟลูออริกตลอดทั้งพื้นผิวเดือยฟัน

กลุ่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นำเดือยฟันแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่บรรจุอยู่ในปิ๊กเกอร์แก้วพร้อมทั้งคนสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เดือยฟันลอยอยู่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อที่เดือยฟันสัมผัสกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตลอดทั้งเดือยฟัน

3. นำเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยจากแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันแล้ว กลุ่มละ 1 แท่ง มาทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกร่วมกับน้ำปราศจากไอออน (deionized water) นาน 3 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยเอทานอลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 96 แล้วเป่าแห้ง (gently air dry)
4. นำเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ตัดตามแนวขวางด้วยแผ่นกรอากเพชรแบบจาน (diamond disk) ร่วมกับด้ามกรอฟันไมโครมอเตอร์ ชนิดมีน้ำหล่อตัดเดือยฟันตามแนวขวางของเดือยฟัน ในกลุ่มของเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้ว และเส้นใยคาร์บอนเพื่อตัดส่วนปลายของเดือยที่มีลักษณะเป็นรอยหว้าออกไป



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน

5. ใช้คีมคีบเดือยฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวแล้ว วางบนแผ่นแก้ว (Glass slab) ใช้เครื่องสำรวจความขนานช่วยตั้งแท่งเดือยฟันให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ ยึดติดเดือยฟันกับแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต นำท่อพลาสติกใส (Cylindrical plastic matrix) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับความสูงของส่วนขนานของเดือยฟันแต่ละชนิด วางท่อพลาสติกใสล้อมแท่งเดือยฟันที่ยึดติดกับแผ่นแก้ว ปรับตำแหน่งท่อพลาสติกให้เดือยฟันอยู่กึ่งกลางวงของท่อพลาสติก ยึดตำแหน่งท่อพลาสติกกับแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต
6. ฉีดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ใส่ลงในท่อพลาสติกใส โดยฉีดเรซินคอมโพสิตให้แนบกับพื้นผิวเดือยฟันให้มากที่สุด ใช้เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน (Halogen light curing unit) ที่มีกำลัง 600 เมกกะวัตต์-ตารางเซนติเมตรฉายแสงนาน 40 วินาที เพื่อให้วัสดุแข็งตัว โดยฉายแสงในทิศทางตามแนวเดือยฟัน ตั้งฉากกับผิวของเรซินคอมโพสิต แยก

แท่งเรซินคอมโพสิตออกจากแผ่นแก้วแล้วฉายแสงเพิ่มบริเวณด้านที่สัมผัสกับแผ่นแก้ว 40 วินาที และฉายแสงบริเวณผิวโดยรอบก่อนแกะท่อพลาสติกใสที่ล้อมอยู่ออก



รูปที่ 5 ขั้นตอนการสร้างแกนฟันใสท่อพลาสติก



รูปที่ 6 เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน



รูปที่ 7 ชิ้นงานเมื่อสร้างแกนฟันแล้ว (Core Build up)

- นำชิ้นงานที่เตรียมยึดกับตัวจับชิ้นงานของเครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง(microtome) โดยใช้เรซินติดชิ้นงานให้ตั้งฉากกับใบมีด โดยฉีบน้ำขมตัดชิ้นงานเพื่อลดความร้อน ได้ชิ้นงานรูปทรงกระบอกที่มีเดือยฟันเรซินคอมโพสิตอยู่กึ่งกลางและมีเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่นหนาประมาณ 1.2 มิลลิเมตรโดยรอบ แล้วนำไปขัดให้เรียบและมีความหนา 1 มิลลิเมตร

(± 0.05 มม.) นำชิ้นงานที่ได้ตรวจดูด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 35 เท่า เลือกลักษณะชิ้นงานที่สมบูรณ์ไม่มีรอยแตกร้าว รุพูน และช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่าง เดือยฟันและเรซินคอมโพสิต

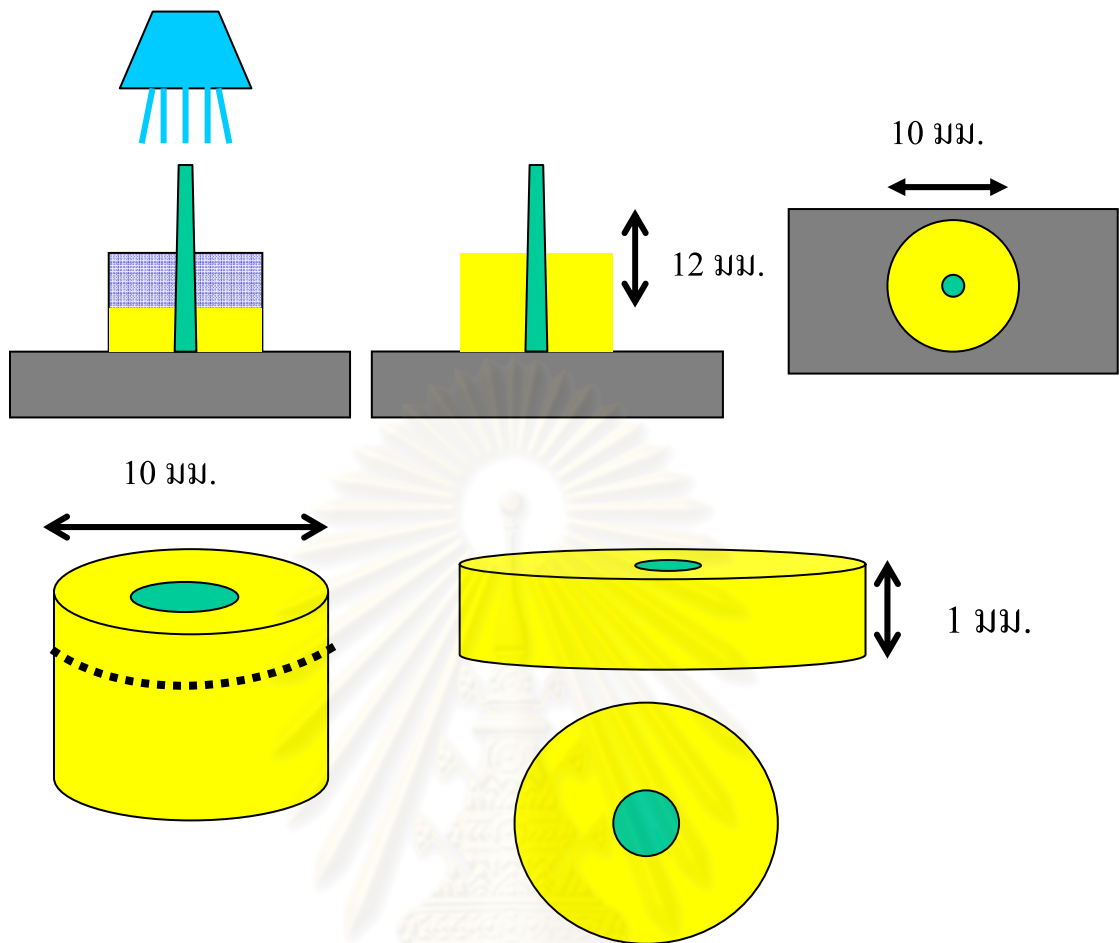


รูปที่ 8 เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็ง (Microtome)



รูปที่ 9 ชิ้นงานที่เตรียมเพื่อทดสอบ (specimen)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

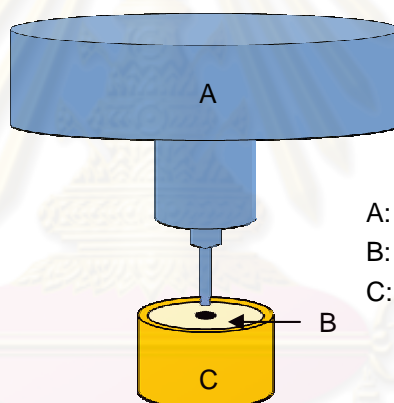


รูปที่ 10 ภาพแสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็งแรงยึด (Bond strength)

8. นำชิ้นงานที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว แยกตามกลุ่มที่กำหนดข้างต้น กลุ่มละ 15 ชิ้น (3-4 ชิ้น จากเดือยฟันแต่ละแท่ง) นำชิ้นงานในแต่ละกลุ่มมาทดสอบแรงยึด โดยวางชิ้นงานลงบนแท่นจับชิ้นงานของเครื่องอินสตรอนนำไปทดสอบแรงยึด ให้แรงกด (push out) ที่ความเร็วหัวกด (Cross head speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที (Bitter และคณะ, 2006) จนเกิดการแตกหักที่ชิ้นงาน



รูปที่ 11 แสดงอุปกรณ์สำหรับทดสอบแบบผลัด (push out test)



A: หัวกดชิ้นงาน
B: ชิ้นงาน
C: แท่นจับชิ้นงาน

รูปที่ 12 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบผลัด (push out test)

9. นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ มาตรวจดูบริเวณที่เกิดการแตกหัก เพื่อจำแนกชนิดของการแตกหัก ด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 15 เท่า โดยจำแนกชนิดการแตกหักเป็นความล้มเหลวชนิดยึดอยู่ (Adhesive failure) เมื่อเกิดการแตกที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันและเรซินคอมโพสิต และความล้มเหลวชนิดเชื่อมแน่น (Cohesive failure) เมื่อการแตกเกิดภายในชั้นของเรซินคอมโพสิตหรือเกิดการแตกในเนื้อของเดือยฟัน หรือ ความล้มเหลวชนิดผสม (Combination) เมื่อมีการแตกร่วมกันระหว่างความล้มเหลวชนิดยึดอยู่และความล้มเหลวชนิดเชื่อมแน่น

10. คำนวณค่าแรงยึด (bond strength) จากสมการ

$$\sigma \text{ (MPa)} = F/A$$

เมื่อ F คือแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก (นิวตัน)

A คือพื้นที่ผิวสัมผัสของเดือยฟันเรซินคอมโพสิต

(Bonding surface area) (ตารางมิลลิเมตร)

เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของเดือยฟันมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจึงสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$A = 2\pi R \times H$$

π เป็นค่าคงที่เท่ากับ 3.14

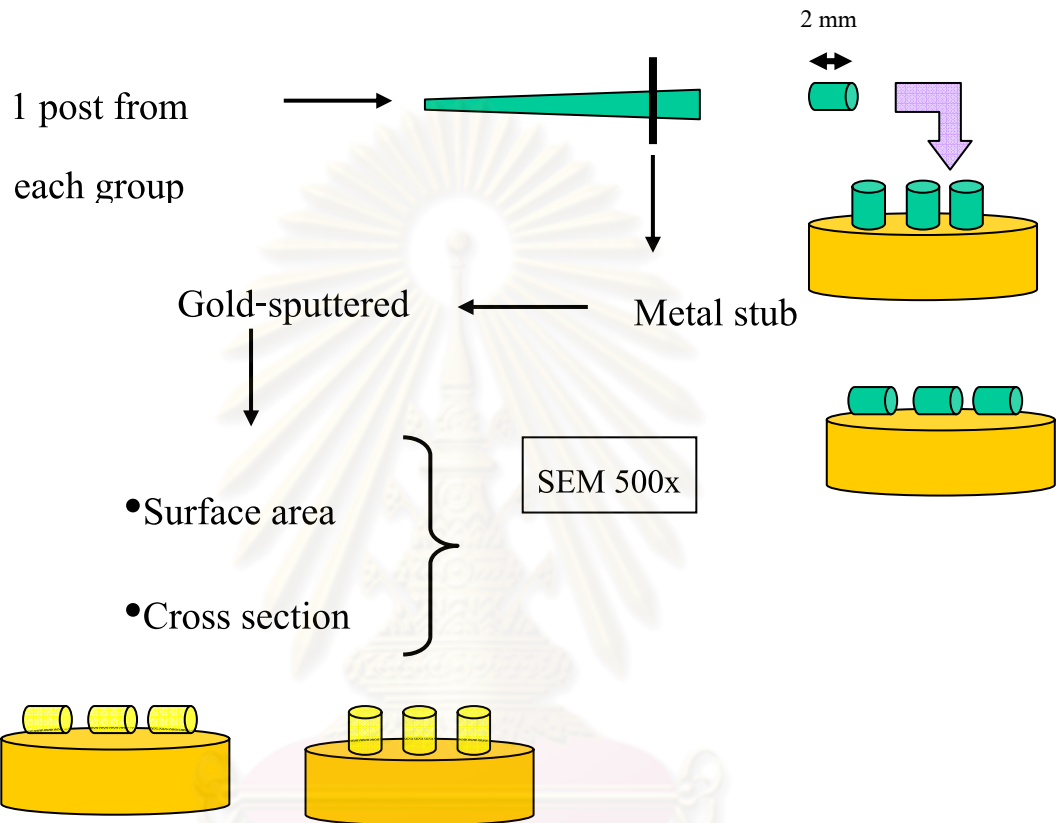
R คือ รัศมีของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย

H คือ ความหนาของชิ้นงาน เท่ากับ 1 มิลลิเมตร

ศึกษาลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

- นำเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่เตรียมไว้เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจากแต่ละชนิดของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ชนิดดิจิทัล
- นำเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวตามกลุ่มแยกตามชนิดของเส้นใยไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกร่วมกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) นาน 5 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยเอทานอลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 96 แล้วเป่าแห้ง
- เดือยฟันที่ทำความสะอาดแล้วตัดด้วยแผ่นกรอากเพชรรูปจาน (diamond disk) ร่วมกับด้ามกรอพื้นไมโครมอเตอร์ ชนิดมีน้ำหล่อตามแนวขวางของเดือยฟันให้ตั้งฉากกับผิวเดือยฟันให้มีความยาวขึ้นละ 2 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น นำมายึดกับแท่นโลหะ (metallic stub) เคลือบผิวด้วยทอง (gold-sputtered) เพื่อให้ชิ้นงานที่ต้องการศึกษามีคุณสมบัตินำไฟฟ้า นำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ระดับกำลังขยาย 500 เท่า โดยชิ้นแรก

พิจารณาลักษณะพื้นผิวโดยรอบ ชั้นที่สองศึกษาลักษณะหน้าตัด (cross-sectioned) ของ
 เดือยฟันหลังการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน



รูปที่ 13 แสดงขั้นตอนการศึกษาลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วย
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกค่าแรงกดที่ทำให้เดือยพื้นหลุดออกจากชิ้นงาน และนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึก

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกของแต่ละกลุ่มมาหาค่าเฉลี่ย (μ) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของแต่ละกลุ่มเดือยพื้นโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดในแต่ละกลุ่มของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้น นำไปเทียบกับกลุ่มควบคุมคือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 และวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติแบบแอลเอสดี (LSD) โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 13.0 (SPSS Inc.; Chicago, IL, USA)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

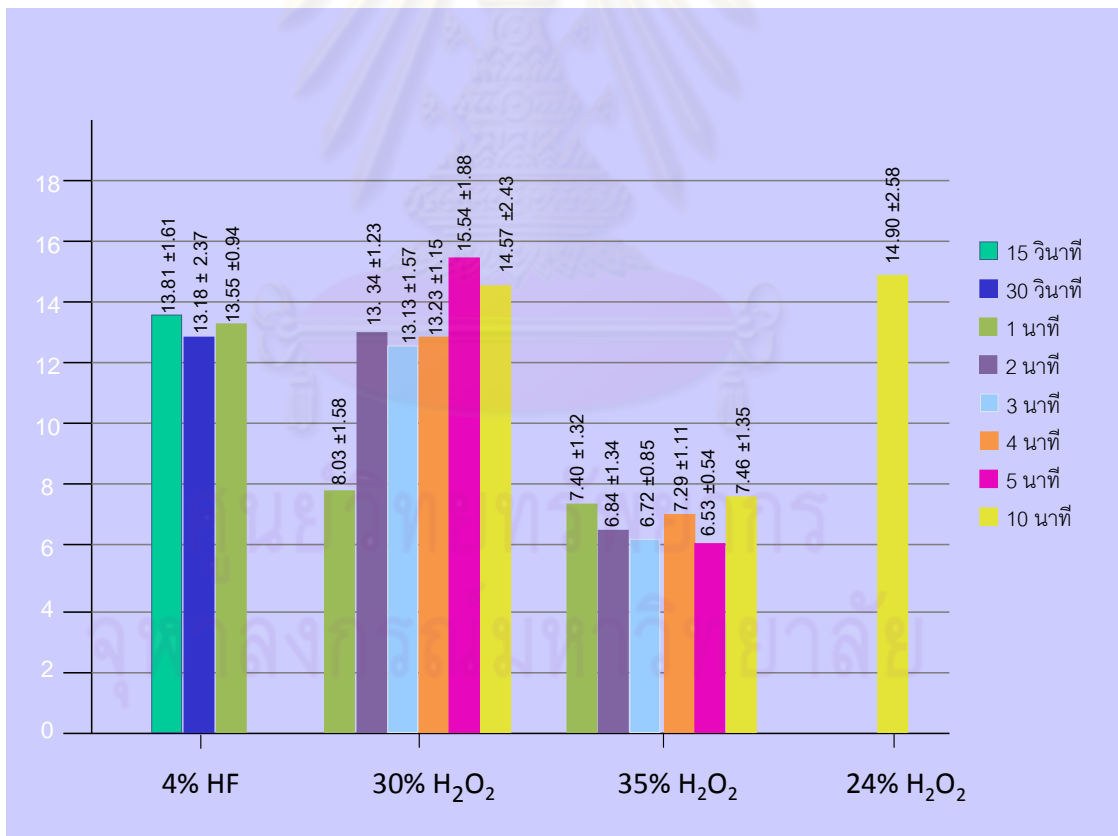
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

เมื่อนำชิ้นงานทั้งหมด 510 ชิ้น จาก 34 กลุ่มทดลอง (กลุ่มละ 15 ชิ้น) โดยแยกตามประเภทของเส้นใย ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากลอินสตรอนเพื่อหาค่าแรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก และนำค่าดังกล่าวคำนวณหาค่าแข็งแรงยึดแบบผลัดกับบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิตแล้วนำค่าดังกล่าวคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่ม

กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว



รูปที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดกันระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้น และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

ตารางที่ 3 ตารางค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

วิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึด (MPa)
HF 4% 15 วินาที	13.81 ± 1.61
HF 4% 30 วินาที	13.18 ± 2.37
HF 4% 1 นาที	13.55 ± 0.94
H ₂ O ₂ 30% 1 นาที	8.03 ± 1.58
H ₂ O ₂ 30% 2 นาที	13.34 ± 1.23
H ₂ O ₂ 30% 3 นาที	13.13 ± 1.57
H ₂ O ₂ 30% 4 นาที	13.23 ± 1.15
H ₂ O ₂ 30% 5 นาที	15.54 ± 1.88 *
H ₂ O ₂ 30% 10 นาที	14.57 ± 2.43
H ₂ O ₂ 35% 1 นาที	7.40 ± 1.32
H ₂ O ₂ 35% 2 นาที	6.84 ± 1.34
H ₂ O ₂ 35% 3 นาที	6.72 ± 0.85
H ₂ O ₂ 35% 4 นาที	7.29 ± 1.11
H ₂ O ₂ 35% 5 นาที	6.53 ± 0.54
H ₂ O ₂ 35% 10 นาที	7.46 ± 1.35
H ₂ O ₂ 24% 10 นาที	14.90 ± 2.58

จากตารางและแผนภูมิแท่งพบว่า กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุเรซิน คอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสงแตกต่างกัน เมื่อใช้สารเคมีต่างชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีรวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวที่ต่างกัน กลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ย

ความแข็งแรงยึดสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 15 วินาที (13.81 ± 1.61 MPa) ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 10 นาที (7.46 ± 1.35 MPa) ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 5 นาที (15.54 ± 1.88 MPa) เมื่อนำช่วงเวลาที่ดีที่สุดของแต่ละความเข้มข้นมาเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที (14.90 ± 2.58 MPa) ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมพบว่ากลุ่มที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาทีเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุด ส่วนกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกต่ำสุดคือกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 5 นาที (6.53 ± 0.54 MPa)

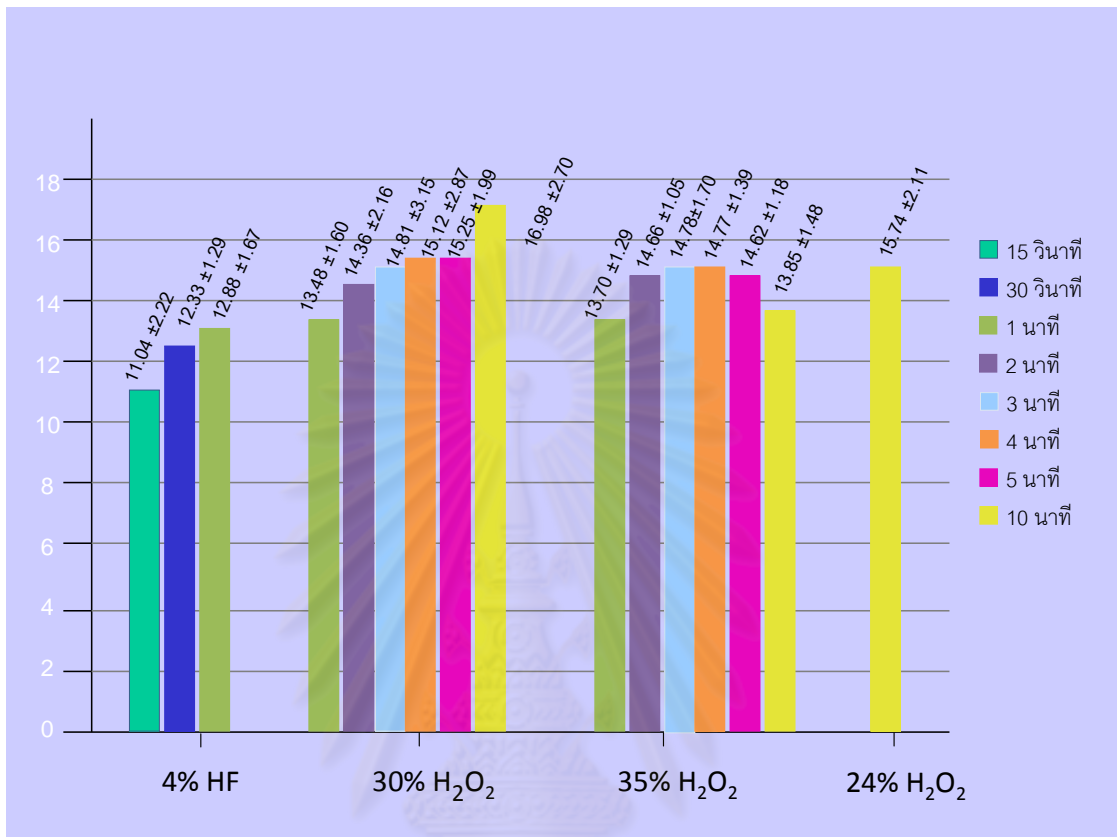
ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

เมื่อทดสอบการแจกแจงข้อมูล (Test of normal distribution) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกด้วยสถิติของโคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล (test of variances) ด้วยสถิติทดสอบของเลวิน (Levene's test) (ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 ในภาคผนวก) พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกที่วัดได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่ความแปรปรวนของชุดข้อมูลไม่เท่ากัน

เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าปัจจัยของระยะเวลา ชนิดของสารเคมีและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังแสดงในตารางที่ 11 และ 12 ในภาคผนวก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์



รูปที่ 15 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้น และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวตัวอย่างเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนพื้นแบบไหลผ่านชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ตารางค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนฟันแบบไฮลแ่งชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

วิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน เสริมเส้นใยควอตซ์	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความแข็งแรงยึด (MPa)
HF 4% 15 วินาที	11.04 ± 2.22
HF 4% 30 วินาที	12.33 ± 1.29
HF 4% 1 นาที	12.88 ± 1.67
H ₂ O ₂ 30% 1 นาที	13.48 ± 1.60
H ₂ O ₂ 30% 2 นาที	14.36 ± 2.16
H ₂ O ₂ 30% 3 นาที	14.81 ± 3.15
H ₂ O ₂ 30% 4 นาที	15.12 ± 2.87
H ₂ O ₂ 30% 5 นาที	15.25 ± 1.99
H ₂ O ₂ 30% 10 นาที	16.99 ± 2.70*
H ₂ O ₂ 35% 1 นาที	13.70 ± 1.29
H ₂ O ₂ 35% 2 นาที	14.66 ± 1.05
H ₂ O ₂ 35% 3 นาที	14.78 ± 1.70
H ₂ O ₂ 35% 4 นาที	14.77 ± 1.39
H ₂ O ₂ 35% 5 นาที	14.62 ± 1.18
H ₂ O ₂ 35% 10 นาที	13.85 ± 1.48
H ₂ O ₂ 24% 10 นาที	15.74 ± 2.11

จากตารางและแผนภูมิแท่งพบว่า กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์และวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไฮลแ่งชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสงแตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยความ

แข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 1 นาที (12.88 ± 1.67 MPa) ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 3 นาที (14.78 ± 1.70 MPa) ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุดคือกลุ่มที่ใช้เวลานาน 10 นาที (16.99 ± 2.70 MPa) เมื่อนำช่วงเวลาที่ดีที่สุดของแต่ละความเข้มข้นมาเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที (15.74 ± 2.11 MPa) ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม พบว่ากลุ่มที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาทีเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงสุด ส่วนกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกต่ำสุดคือกลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 15 วินาที (11.04 ± 2.22 MPa)

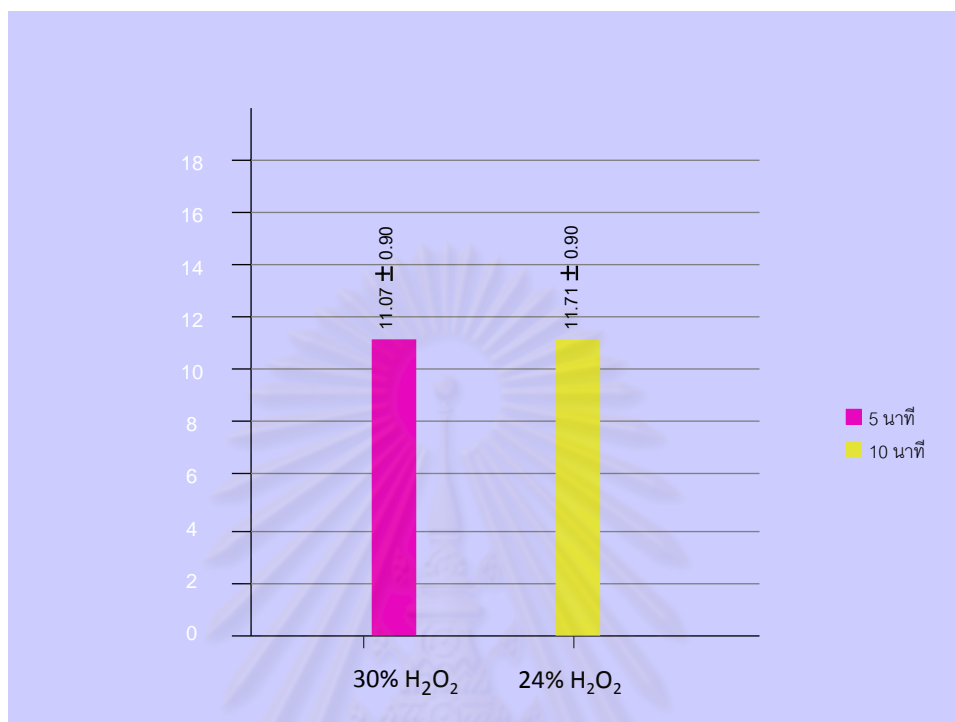
ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

เมื่อทดสอบการแจกแจงข้อมูล (Test of normal distribution) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกด้วยสถิติของโคลโมโกรอฟสเมอรันอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล (test of variances) ด้วยสถิติทดสอบของเลวิน (Levene's test) (ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 ในภาคผนวก) พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกที่วัดได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่ความแปรปรวนของชุดข้อมูลไม่เท่ากัน

เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าปัจจัยของชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังแสดงในตารางที่ 15 และ 16 ในภาคผนวก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน



รูปที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวตัวอย่างเรซินเสริมเส้นใยคาร์บอน กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนพื้นแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิด ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวตัวอย่างเรซินเสริมเส้นใยคาร์บอน กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนพื้นแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

วิธีการปรับสภาพพื้นผิวตัวอย่างเรซินเสริมเส้นใยคาร์บอน	ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงยึด (MPa)
H ₂ O ₂ 30% 5 นาที	11.07 ± 0.90
H ₂ O ₂ 24% 10 นาที	11.71 ± 0.90

จากตารางและแผนภูมิแท่งพบว่า กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยและวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสงไม่แตกต่างกัน กลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันนาน 5 นาที มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลัก (11.07 ± 0.90 MPa) ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 24 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันนาน 10 นาที มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลัก (11.71 ± 0.90 MPa)

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ทดสอบการแจกแจงข้อมูล (Test of normal distribution) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดแบบผลักด้วยสถิติของโคลโมโกรอฟสมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล (test of variances) ด้วยสถิติทดสอบของเลวิน (Levene's test) (ดังแสดงในตารางที่ 17 ในภาคผนวก) พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดที่วัดได้มีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนของชุดข้อมูลเท่ากัน

เมื่อนำข้อมูลมาทำการทดสอบโดยการวิเคราะห์ผลต่างค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงยึด พบว่าปัจจัยของระยะเวลาและความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ดังแสดงในตารางที่ 18 ในภาคผนวก)

เปรียบเทียบการแตกหักของชิ้นทดสอบ

เมื่อนำชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ควอตซ์ และคาร์บอน ที่ได้ผ่านการทดสอบหาความแข็งแรงยึดแบบผลักนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 15 เท่า พบว่าลักษณะการเกิดการแตกหักในชิ้นงานมีเพียง 2 ลักษณะคือ การแตกหักชนิดยึดอยู่ หรือการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย กับวัสดุเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง (Adhesive failure) และการแตกหักชนิดผสม หรือการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตกับวัสดุสร้างแกนฟัน ร่วมกับการแตกหักภายในเดือยฟัน

สำเร็จรูป หรือการแตกหักภายในวัสดุสร้างแกนฟัน (Combination) ดังแสดงในตารางที่ 6, 7, 8 และรูปที่

ตารางที่ 6 ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว (Easypost)

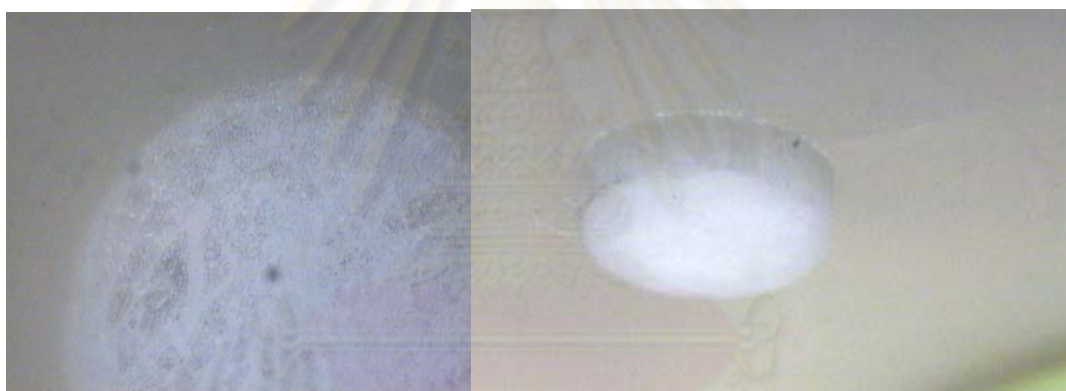
วิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน เสริมเส้นใยแก้ว	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงาน	
	ยึดอยู่	ผสม
HF 4% 15 วินาที	5	10
HF 4% 30 วินาที	6	9
HF 4% 1 นาที	3	12
H ₂ O ₂ 30% 1 นาที	5	10
H ₂ O ₂ 30% 2 นาที	6	9
H ₂ O ₂ 30% 3 นาที	3	12
H ₂ O ₂ 30% 4 นาที	1	14
H ₂ O ₂ 30% 5 นาที	0	15
H ₂ O ₂ 30% 10 นาที	6	9
H ₂ O ₂ 35% 1 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 35% 2 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 35% 3 นาที	3	12
H ₂ O ₂ 35% 4 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 35% 5 นาที	6	9
H ₂ O ₂ 35% 10 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 24% 10 นาที	6	9

ตารางที่ 7 ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ควอตซ์ (DT light post)

วิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน เสริมเส้นใยควอตซ์	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงาน	
	ยึดอยู่	ผสม
HF 4% 15 วินาที	9	6
HF 4% 30 วินาที	7	8
HF 4% 1 นาที	7	8
H ₂ O ₂ 30% 1 นาที	1	14
H ₂ O ₂ 30% 2 นาที	1	14
H ₂ O ₂ 30% 3 นาที	0	15
H ₂ O ₂ 30% 4 นาที	2	13
H ₂ O ₂ 30% 5 นาที	3	12
H ₂ O ₂ 30% 10 นาที	2	13
H ₂ O ₂ 35% 1 นาที	7	8
H ₂ O ₂ 35% 2 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 35% 3 นาที	4	11
H ₂ O ₂ 35% 4 นาที	0	15
H ₂ O ₂ 35% 5 นาที	3	12
H ₂ O ₂ 35% 10 นาที	2	13
H ₂ O ₂ 24% 10 นาที	3	12

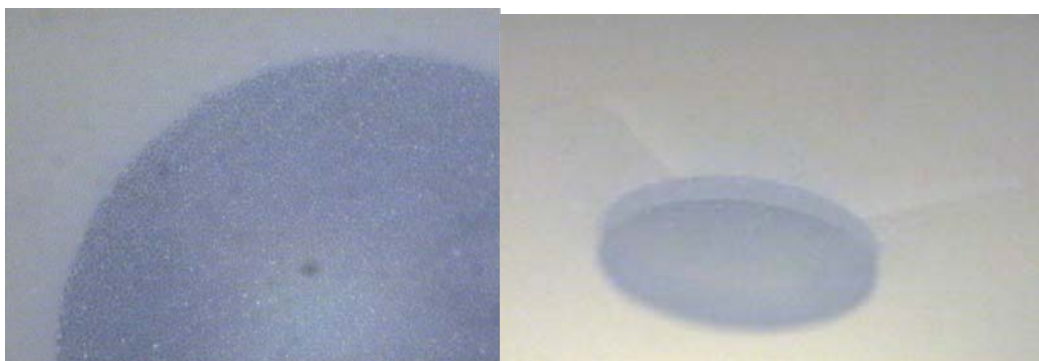
ตารางที่ 8 ชนิดของการแตกหักของชิ้นงานกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน (Composi Post)

วิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน	ชนิดของการแตกหักของชิ้นงาน	
	ยึดอยู่	ผสม
H ₂ O ₂ 30 % 5 นาที	13	2
H ₂ O ₂ 24%10 นาที	10	5

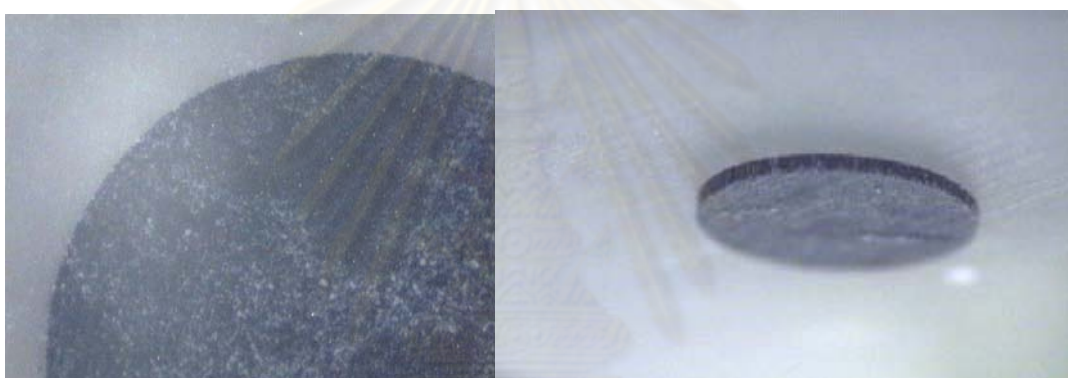


รูปที่ 17 แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่เกิดการแตกหักชนิดผสม

ศูนย์วิจัยทันตวิทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 18 แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดี่ยวพื้นสำเร็จเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่เกิดการแตกหักชนิดผสม



รูปที่ 19 แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคปของชิ้นงานเดี่ยวพื้นสำเร็จเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่เกิดการแตกหักชนิดยึดอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกที่แตกต่างกันเมื่อใช้ชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ

ความสำเร็จของการบูรณะพื้นรักษารากด้วยครอบพื้นร่วมกับเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคือ การยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างผนังคลองรากพื้น พื้นผิวเดือยพื้น และวัสดุยึดเดือยพื้น (Monticelli, 2003) Choi และคณะมีความเห็นว่าองค์ประกอบของเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยมีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยพื้นและวัสดุที่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นเรซิน(Choi ,2010) การยึดติดของเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยที่มีส่วนของเมทริกซ์เป็นอีพ็อกซีเรซินกับแกนเรซินคอมโพสิตนั้นไม่เกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมี เพราะส่วนของเมทริกซ์เป็นอีพ็อกซีเรซินที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรสม์แล้วไม่มีพันธะคู่เหลือเพื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของเรซินคอมโพสิต(Mannocci, 2005) การยึดติดเกิดจากการแทรกซึมของเรซินคอมโพสิตที่บริเวณพื้นผิวเดือยพื้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนเตรียมสภาพพื้นผิวของเดือยพื้น เพื่อให้เกิดความขรุขระช่วยเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนพื้นแบบไหลแผ่

การปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยด้วยสารเคมีชนิดต่างๆที่มีสภาพความเป็นกรดต่าง สามารถละลายอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ของเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใย ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการยึดติดและทำให้เส้นใยแก้วและควอตซ์ที่ฝังอยู่ภายในไหลออกมาเกิดการยึดติดทางเคมีกับสารไฮเลน และสารไฮเลนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลแผ่ (wettability) ของวัสดุเรซินคอมโพสิตกับพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใย ช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดได้(Bitter และคณะ, 2007) Goracci และคณะและ Aksornmuang และคณะนำสารไฮเลนมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย พบว่าสามารถเพิ่มแรงยึดระหว่างเดือยพื้นสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินคอมโพสิตได้ เนื่องจากสารไฮเลนทำปฏิกิริยาเพื่อสร้างพันธะเคมีเฉพาะส่วนของเรซินคอมโพสิตที่ใช้สร้างแกนกับส่วนของเส้นใยที่ไม่มีส่วนเมทริกซ์หุ้มเท่านั้น (Aksornmuang , 2004; Goracci และคณะ,2005) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำสารไฮเลนมาทำการทดลอง เนื่องจากต้องการทราบค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมโพสิตแกนพื้นแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้นด้วยสารเคมี โดยไม่มีตัวแปรซึ่งอาจมีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดมาเกี่ยวข้อง

กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 พบว่าค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยกเว้นกลุ่มที่ใช้เวลานาน 15 วินาที ขณะที่เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเส้นใยควอตซ์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 1 นาทีมีค่าความแข็งแรงสูงสุด(12.8789 ± 1.667 MPa) และมีค่าความแข็งแรงยึดแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 20a, 20b, 20f, 20e, 21a และ 21b ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกพบว่าพื้นผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเส้นใยแก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วพบว่ามีอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ละลายออกไปทำให้เส้นใยแก้วเผยออกมา พร้อมกับเส้นใยแก้วถูกกรดไฮโดรฟลูออริกกัดทำลายจึงทำให้พื้นผิวเดือยฟันมีลักษณะที่ขรุขระมากขึ้น เรซินคอมโพสิตจึงแทรกซึมเข้าไปช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างพื้นผิวเดือยฟันและเรซินคอมโพสิตแกนฟันชนิดไหลแผ่ได้ (Vano และคณะ,2006) ในขณะที่เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเส้นใยควอตซ์เมื่อใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 1 นาทีทำให้พื้นผิวของเดือยฟันมีความขรุขระมากพอที่ทำให้เรซินคอมโพสิตแทรกซึมเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดได้ การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเส้นใยควอตซ์ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ส่วนของกลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้ว มีค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่ากลุ่มที่เสริมเส้นใยควอตซ์ เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารเคมีที่นำมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่มีพื้นฐานเป็นแก้ว และเซรามิก ดังนั้นกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถทำลายอีพ็อกซีเรซินที่เป็นเมทริกซ์และเส้นใยแก้วได้แต่ไม่ทำลายเส้นใยควอตซ์ ทำให้กลุ่มที่เสริมเส้นใยแก้วมีพื้นที่ในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตแกนฟันชนิดไหลแผ่ได้มากกว่าเส้นใยควอตซ์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schmage และคณะพบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 60 วินาทีละลายส่วนของอีพ็อกซีเมทริกซ์ของเดือยฟันทำลายส่วนของเส้นใยแก้วบริเวณด้านหน้าของเดือยฟันออกไปด้วย (Schmage และคณะ,2009)

เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินเส้นใยแก้วและควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่ระยะเวลาต่างๆมีค่าความแข็งแรงยึดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่ระยะเวลาต่างๆมีค่าความแข็งแรงยึดแตกต่างกันในบางกลุ่มคือกลุ่มเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่ใช้เวลา 5 นาที และเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ใช้เวลา 10 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดสูงสุดของแต่ละกลุ่ม ผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปละลายอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ทำให้พันธะของอีพ็อกซีเรซินแตกออกช่วยเพิ่มการยึดติดแบบทางกลขนาดเล็กระหว่างอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟันกับหมู่เมทาครอยเลตของเรซินคอมโพสิต (Yenisey และคณะ,2008) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้พื้นผิวเดือยฟันมีความขรุขระทำให้เส้นใยที่อยู่ข้างในเผย

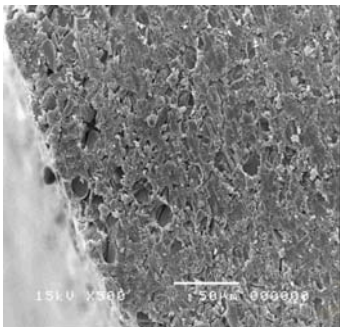
ออกมาทำปฏิกิริยากับสารไซเลนได้มากขึ้นเป็นผลทำให้เพิ่มค่าความแข็งแรงยึด Vano และคณะ และ Monticelli และคณะแนะนำความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้ว ควอตซ์ และคาร์บอนคือ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที จึงพิจารณาเลือกสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีมาเป็นกลุ่มควบคุม แต่เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ใช้พบว่าใช้เวลานาน ไม่เหมาะสมกับการทำงานในคลินิกจริง จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าถ้าใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้นช่วยลดเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันลง แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นมากไปมีผลทำให้ค่าแรงยึดติดลดลงได้ (Vano M และคณะ, 2006; Monticelli M และคณะ, 2006) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงลดเวลาการใช้สารเคมีกัดพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานจริงในคลินิก

กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้ว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีเป็นความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที ได้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกที่มากกว่ากลุ่มควบคุม ถ้าใช้เวลา 10 นาทีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกลุ่มควบคุม ถ้าเพิ่มความเข้มข้นเป็นร้อยละ 35 พบว่าค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกต่ำกว่ากลุ่มควบคุมมาก เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเดือยฟันโดยดูจากรูปที่ 20a, 20c, 20d และ 20e แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวเดือยฟันที่เสริมเส้นใยแก้วเมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 เห็นว่าอีพ็อกซีเมทริกซ์ถูกละลายออกไป ถ้าเพิ่มความเข้มข้นถึงร้อยละ 35 พบว่าอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์โดนละลายออกไปมากเกินไป เช่นเดียวกับงานวิจัยของเพลินพิศ และคณะที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้วพบว่ามีการแตกหักของอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ในชั้นที่ลึกลงไป (เพลินพิศ และคณะ, 2553)

เมื่อดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าจำนวนของเส้นใยแก้วมีความหนาแน่นน้อยกว่ากลุ่มเส้นใยควอตซ์ เส้นผ่าศูนย์กลางของเดือยฟันเส้นใยแก้วมากกว่าควอตซ์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grandini และคณะพบว่าเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วยี่ห้อ Easypost มีความหนาแน่นของเส้นใยแก้วในเดือยฟันจำนวน 29 เส้นต่อตารางมิลลิเมตร ในขณะที่เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ยี่ห้อ DT Light post มีความหนาแน่นของเส้นใยควอตซ์ในเดือยฟันจำนวน 32 เส้นต่อตารางมิลลิเมตร (Grandini และคณะ, 2005) เมื่อปรับสภาพพื้นผิวและอีพ็อกซีเรซินละลายออกไปทำให้เส้นใยแก้วเผยออกมาอาจมีเส้นใยบางส่วนที่อยู่บริเวณพื้นผิวเดือยฟันหลุดออกไปได้ทำให้จำนวนเส้นใยที่จะทำปฏิกิริยากับเรซินคอมโพสิตลดลง และเรซินคอมโพสิตยึดเดือยฟันไม่สามารถแทรกซึมเข้า

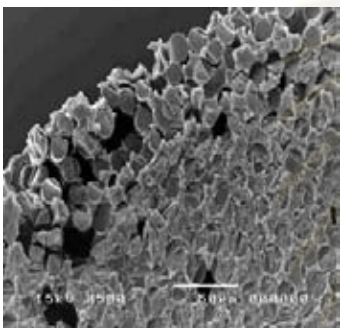
ไปเติมเต็มส่วนที่ฉีกหักซึ่งโดนละลายออกไปทำให้เกิดเป็นช่องว่างเกิดขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรง
ยี่ดลดลง

รูปที่ 20 เดียวพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยแก้ว Easy Post®



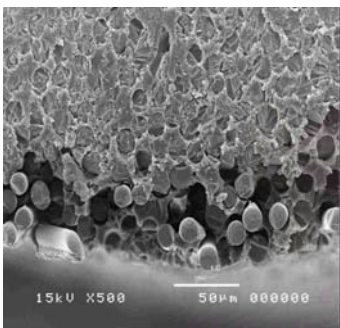
รูปที่ 20a แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่
ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20a Show the glass fiber post surface with out
surface treatment(x500)



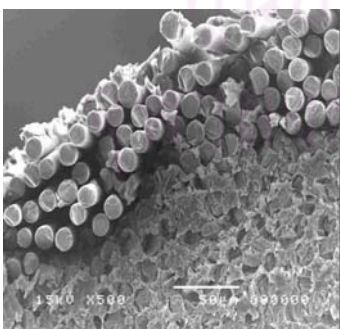
รูปที่ 20b แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่
มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความ
เข้มข้นร้อยละ 4 นาน 1 นาที(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20b Show the glass fiber post surface
treatment with HF 4% 1 minute(x500)



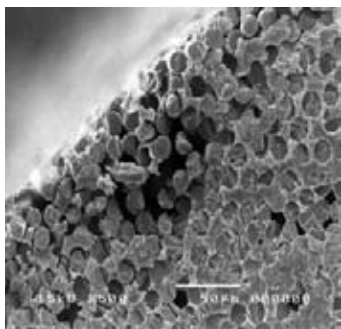
รูปที่ 20c แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่
มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์
ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที
(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20c Show the glass fiber post surface
treatment with H₂O₂ 30% 5 minutes(x500)



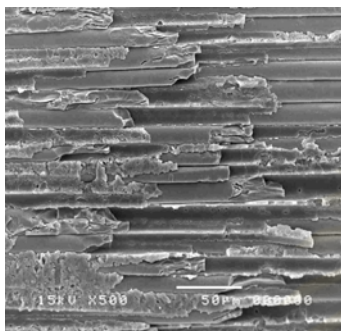
รูปที่ 20d แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยแก้ว
ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์
ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 5 นาที
(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20d Show the glass fiber post surface
treatment with H₂O₂ 35% 5 minutes(x500)



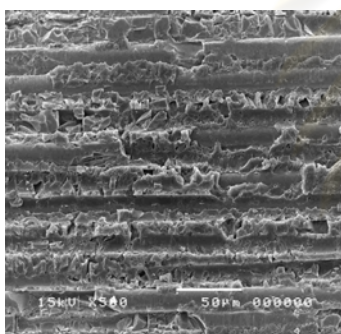
รูปที่ 20e แสดงภาพตัดขวางเดี่ยวพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20e Show the glass fiber post surface treatment with H₂O₂ 24% 10 minutes(x500)



รูปที่ 20f แสดงภาพพื้นผิวเดี่ยวพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 1 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20f Show the glass fiber post surface treatment with HF 4% 1 minute(x500)



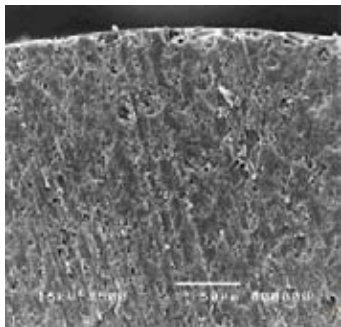
รูปที่ 20g แสดงภาพพื้นผิวเดี่ยวพื้นเสริมเส้นใยแก้วที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 20g Show the glass fiber post surface treatment with H₂O₂ 24% 10 minutes(x500)

ในขณะที่กลุ่มเดี่ยวพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีเป็นความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที ได้ค่าความแข็งแรงยึดที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) ถ้าใช้เวลา 10 นาทีได้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุดและมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)และมีค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดสูงกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) ถ้าเพิ่มความเข้มข้นเป็นร้อยละ 35 พบว่าค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดนั้นต่ำลงเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเดี่ยวพื้นโดยดูจากรูปที่ 21a, 21c, 21d, และ 21e แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวเดี่ยวพื้นที่เสริมเส้นใยควอตซ์ เมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที เห็นว่าอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ถูกละลายออกไปทำให้เส้นใยเผยออกมา เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็นสารละลายไฮโดรเจน

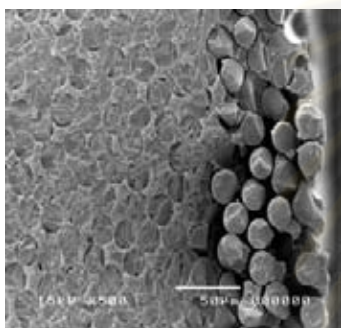
เปอร์ออกไซด์เป็น ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 5 นาทีที่มีผลต่อกลุ่มเสริมเส้นใยควอตซ์น้อยกว่า ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที

รูปที่ 21 เดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยควอตซ์ DT light® post



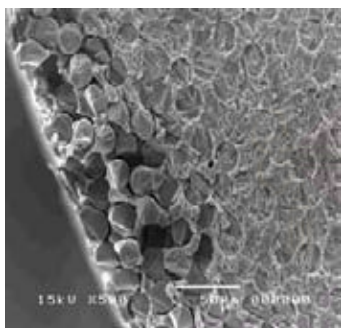
รูปที่ 21a แสดงภาพตัดขวางเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ ที่ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 21a Show the quartz fiber post surface with out surface treatment(x500)



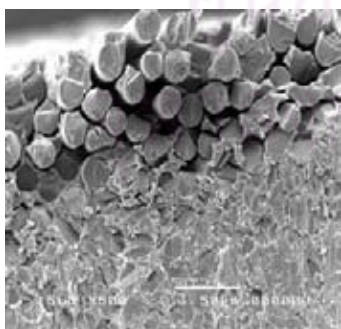
รูปที่ 21b แสดงภาพตัดขวางเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 1 นาที(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 21b Show the quartz fiber post surface treatment with HF 4% 1 minute(x500)



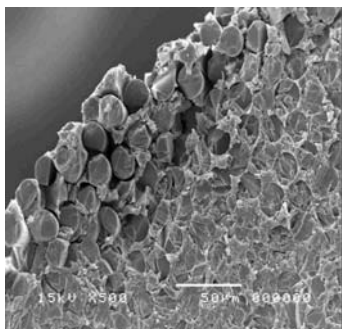
รูปที่ 21c แสดงภาพตัดขวางเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 21c Show the quartz fiber post surface treatment with H₂O₂ 30% 10 minutes(x500)



รูปที่ 21d แสดงภาพตัดขวางเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 5 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 21d Show the quartz fiber post surface treatment with H₂O₂ 35% 5 minutes(x500)



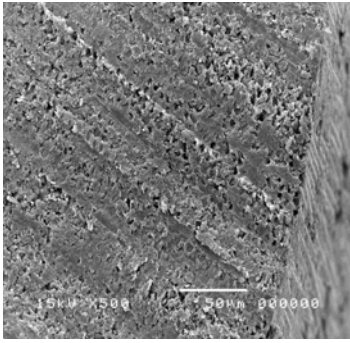
รูปที่ 21e แสดงภาพตัดขวางเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 21e Show the glass fiber post surface treatment with H_2O_2 24% 10 minutes(x500)

ในขณะที่กลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนทำการทดลองเพียง 2 กลุ่มเนื่องจากในปัจจุบันมีเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนจำหน่ายในท้องตลาดน้อยและส่วนที่มีจำหน่ายก็จะเป็นลักษณะปากเป็นร่อง แต่ทำการทดลองเพื่อให้ทราบถึงค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีลักษณะผิวเรียบ กับวัสดุสร้างแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อทำการทดลองกลุ่มเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์ พบว่าสารละลายที่นำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันที่มีค่าความแข็งแรงยึดสูงสุดหรือใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม และมีระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันลดลงหรือน้อยกว่า 10 นาทีก็คือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีเป็นความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที ได้ค่าความแข็งแรงยึดที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเดือยฟันโดยดูจากรูปที่ 22a, 22b และ 22c แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวเดือยฟันที่เสริมเส้นใยคาร์บอน เมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที เห็นว่าอีพ็อกซีเรซินเมทริกซ์ถูกละลายออกไปทำให้เส้นใยเผยออกมา เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน

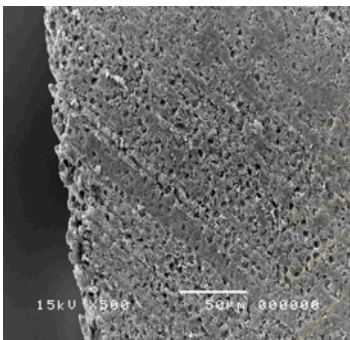
ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานหลังการทดสอบ พบว่ามีลักษณะการเกิดการแตกหักอยู่ 2 ชนิดคือชนิดยึดอยู่และชนิดผสม กลุ่มเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์พบการแตกหักชนิดผสมมากกว่าชนิดยึดอยู่ ส่วนกลุ่มเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนนั้นพบการแตกหักชนิดยึดอยู่มากกว่าชนิดผสม การแตกหักของชิ้นงานนั้นอาจขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเดือยฟันที่นำมาทดลอง เนื่องจากหัวกดชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 มิลลิเมตร แต่เส้นผ่านศูนย์กลางของเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว ควอตซ์ และคาร์บอนมีขนาด 1.80, 2.20 และ 2.00 ตามลำดับ ขนาดของเดือยฟันที่มีความแตกต่างกันนั้น อาจมีผลต่อชิ้นงานขณะออกแรงกดได้ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถจำแนกได้ว่าการแตกหักที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของเส้นใยกับเรซินคอมโพสิต หรือเกิดในชั้นของเดือยฟัน หรือเรซินคอมโพสิตเพียงอย่างเดียว

รูปที่ 22 เดือยพื้นสำเร็จรูปเสริมเส้นใยคาร์บอน Compositi® post



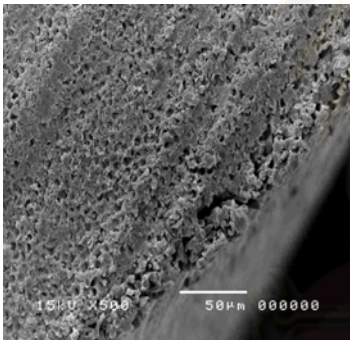
รูปที่ 22a แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว(กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 22a Show the carbon fiber post surface with out surface treatment(x500)



รูปที่ 22b แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 22b Show the carbon fiber post surface treatment with H_2O_2 30% 5minutes (x500)



รูปที่ 22c แสดงภาพตัดขวางเดือยพื้นเสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที (กำลังขยาย 500 เท่า)

Fig 22c Show the carbon fiber post surface treatment with H_2O_2 24% 10 minutes(x500)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

ควรทดลองต่อไปถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยผ่านวงจรเพิ่มอุณหภูมิ (thermocycling) และอิทธิพลของแรงกระทำซ้ำๆ(Fatigue)ที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึด

สรุปผลการวิจัย

สารเคมีที่เหมาะสมที่นำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วและคาร์บอน คือ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที เพราะมีค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงที่สุดและมีระยะเวลาการทำงานในคลินิกลดลง ส่วนสารเคมีที่เหมาะสมที่นำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์คือ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที เพราะมีค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกสูงที่สุด หากต้องการลดระยะเวลาการทำงานในคลินิกสามารถใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที เพราะมีค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึกที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าไปใช้งานในคลินิก

รายการอ้างอิง

พิศเพลิน ชนาเทพพร, ดารพร แซ่ลี, จัตราวัน สวัสดิ์พาณิชย์ และ เอกพันธ์ กวีสานนท์. 2553

การศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการขัดสีแบบพ่นอนุภาค อะลูมิเนียมออกไซด์ในอากาศต่อลักษณะพื้นผิวของหลักฟันไฟเบอร์. ว.ทันต.

ขอนแก่น;13(1):37-47.

Abou-Rass, M. 1992. Post and core restoration of endodontically treated teeth. Curr Opin Dent. 2(2):99-107.

Aksornmuang, J., Foxton, R.M., Nakajima, M., and Tagami, J. 2004. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. J Dent 32(6): 443-450.

Al-Hazaimeh, N., and Gutteridge, D.L. 2001. An in vitro study into the effect of the ferrule preparation on the fracture resistance of crowned teeth incorporating prefabricated post and composite core restoration. Int Endod J 34(1): 40-46.

Alvarez-Gayosso, C., Barcelo-Santana, F., Guerrero-Ibarra, J., Saez-Espinola, G., and Canseco-Martinez, M.A. 2004. Calculation of contraction rates due to shrinkage in light-cured composites. Dent Mater 20(3): 228-35.

Assif, D., Oren, E., Marshak, B.L., and Aviv, I. 1989. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. J Prosthet Dent 61(5): 535-543.

Assif, D., and Gorfil, C. 1994. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth J Prosthet Dent 71(6): 565-567.

Balbosh, A., Ludwig, K., and Kern, M. 2005. Comparison of titanium dowel retention using four different luting agents. J Prosthet Dent 94(3):227-33.

Balbosh, A., and Kern, M. 2006. Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. J Prosthet Dent 95(3): 218-23.

Barjau-Escribano, A., et al. 2006. Influence of prefabricated post material on restored teeth: Fracture strength and stress distribution. Oper Dent 31(1): 47-54.

Barkhorndar, R. A., Radke, R., and Abbasi, J. 1989. Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. J Prosthet Dent 61(6): 676-678.

- Baskin, D.G., Erlandansen, S.L., and Parson, J.A. 1979. Influence of hydrogen peroxide or alcoholic sodium hydroxide on the immunocytochemical detection of growth hormone and prolactin after osmium fixation. J Histochem Cytochem 27(9): 1290-1292.
- Bateman, G., Ricketts, D.N., and Saunders, W.P. 2003. Fibre-based post systems: a review. Br Dent J 195(1): 43-48.
- Bayne, S.C., Thompson, J.Y., Swift, E.J. Jr, Stamatiades, P., and Wilkerson, M. 1998. A characterization of first-generation flowable. J Am Dent Assoc 129(5): 567-577.
- Bergman, B., Lundquist, P., Sjogren, U., and Sundquist, G. 1989. Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. J Prosthet Dent 61(1): 10-15.
- Bitter, K., et al. 2006. Bond strength of resin cements to fiber reinforced composite post. Am J Dent 19(3): 138-142.
- Bitter, K., Meyer-Luckel, H., Priehn, K., Kanjuparambi, J.P., Neuman, K., and Kielbassa, A.M. 2006. Effect of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. Int Endod J 39(10): 809-818.
- Bitter, K., Noetzel, J., Neuman, K., and Kielbassa, A.M. 2007. Effect of silanization on bond strengths of fiber posts to various resin cements. Quintessence Int 38(2): 121-128.
- Bitter, K., and Kielbassa, A.M. 2007. Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systema: A review. Am J Dent 20(6): 353-360
- Bonfante, G., Kaizer, O.B., Pegoraro, L.F., and de Valle, A.L. 2007. Fracture strength of teeth with flared root canals restored with glass fiber post. Int Dent J 57(3):153-160.
- Boschian, P.L., Cavalli, G., Bertani, P., and Gagliani, M. 2002. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push out tests and SEM observations. Dent Mater 18(6): 596-602.
- Bouillaguet, S., et al. 2003. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. Dent Mater 19(3):199-205.
- Bowen, R.L. 1956. Use of epoxy resins in restorative materials. J Dent Res 35(3):360-369.
- Brorson, S.H. 2001. Deplasticizing or etching of epoxy sections with different concentrations of sodium ethoxide to enhance the immunogold labeling. Micron 32(2): 101-105.
- Chan, R.W., and Bryant, R.W. 1982. Post-core foundations for endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 48(4): 401-406.

- Cheleux, N., Sharrock, P., and Degrange, M. 2007. Surface treatments on quartz fiber post: Influence on adhesion and flexural properties. Am J Dent 20(6): 375-379.
- Choi, Y., Pae, A., Park, E.J., and Wright, R.F. 2010. The effect of surface treatment of fiber-reinforced posts on adhesion of a resin-based luting agent. J Prosthet Dent. 103(6):362-368.
- Colman, H.L. 1979. Restoration of endodontically treated teeth. Dent Clin North Am 23(4): 647-662.
- D'Arcangelo, C., et al. 2007. Effect of surface treatments on tensile bond strength and on morphology of quartz-fiber posts. J Endod 33(3): 264-267.
- D'Arcangelo, C., and Vanini, L. 2007. Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations. J Adhes Dent 9(3): 319-326.
- Dietschi, D., Romelli, M., and Goretti, A. 1997. Adaptation of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing. Int J Prosthodont 10(6): 498-507.
- Drummond, J.L., Sakaguchi, R.L., Racean, D.C., Wozny, J., and Steinberg, A.D. 1996. Testing mode and surface treatment effects on dentin bonding. J Biomed Mater Res. 32(4):533-541.
- Duret, B., Duret, F., and Raynaud, M. 1996. Long-life physical property preservation and postendodontic rehabilitation with the Composipost. Comp Continuing Educ Dent Suppl 20(Suppl): s50-s56.
- Fernandes, A.S., and Dessai, G.S. 2001. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: A review. Int J Prosthodont 14(4): 355-363.
- Ferrari, M., Vichi, A., and Garcia-Godoy, F. 2000. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. Am J Dent 13(Special No.): 15B-18B.
- Fokkinga, W.A., et al. 2005. Ex vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without post on maxillary premolar. Int Endod J 38(4): 230-237.
- Fredriksson, M., Astback, J., Pamenius, M., and Arvidson, K. 1998. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon reinforced-reinforced epoxy resin posts. J Prosthet Dent 80(2): 151-157.
- Gateau, P., Sabek, M., and Dailey, B. 1999. Fatigue testing and microscopic evaluation of post and core restorations under artificial crowns. J Prosthet Dent 82(3): 341-347.

- Gelfand, M., Goldman, M., and Sanderman, E. 1984. Effect of complete veneer crown on the compressive strength of endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 52(5): 635-638.
- Goracci, C., et al. 2004. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. Eur J Oral Sci; 112(4): 353–361
- Goracci, C., et al. 2005. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. Dent Mater 21(5): 437-444.
- Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Tay, F.R., Ferrari, M. 2005. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test. Dent Mater 21(2): 75-82.
- Guttman, J.L. 1977. Preparation of endodontically treated teeth to receive a post-core restoration. J Prosthet Dent 38(4): 413-419.
- Guzy, G.E., and Nicholls, J.I. 1979. In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent 42(1): 39-44.
- Heydecke, G., Butz, F., and Strub, J.R. 2001 Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study. J Dent. 29(6):427-433
- Heydecke, G., and Peters, M.C. 2002. The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct post and cores: a systematic review. J Prosthet Dent 87(4): 380-386.
- Hunter, A.J., Feiglin, B., and Williams, J.F. 1989. Effect of post placement on endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 62(2): 166-172.
- Isidor, F., Brondum, K., and Ravnholt, G. 1999. The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. Int J Prosthodont 12(1): 78-82.
- Kantor, M.E., and Pines, M.S. 1977. A comparative study of restorative technique for pulpless teeth. J Prosthet Dent 38(4): 405-412.

- Kececi, A.D., Kaya, U., and Adanir, N. 2008. Micro push-out bond strengths of four fiber-reinforced composite post systems and 2 luting materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 105(1):121-128.
- Koutayas, S., and Kern, M. 1999. All-ceramic posts and cores: The state of the art. Quintessence Int 30(6): 383-392.
- Lassila, L.V., Tanner, J., Le Bell, A.M., Narva, K., and Vallittu, P.K. 2004. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. Dent Mater 20(1): 29-36.
- Lee, H.L. Jr., and Swartz, M.L. 1970. Scanning electron microscope study of composite restorative materials. J Dent Res. 49(1):149-158.
- Linn, J., and Messer, H.H. 1994. Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. J Endod 20(10): 479-485.
- Loewenstein, W.R., and Rathkamp, R. 1955. A study on the pressoreceptive sensibility of the tooth. J Dent Res 34(2): 287-294.
- Loney, R.W., Kotowicz, W.E., and McDowell, G.C. 1990. Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. J Prosthet Dent. 63(5):506-512.
- Lovdahl, P.E., and Nicholls, J.I. 1977. Pin-retained amalgam cores vs. cast-gold dowel-cores. J Prosthet Dent 38(5): 507-514.
- Maccari, P.C., Conceicao, E.N., and Nunes, M.F. 2003. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with three different prefabricated esthetic posts. J Esthet Restor Dent 15(1): 25-30; discussion 31.
- Malferrari, S., Monaco, C., and Scoti, R. 2003. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. Int J Prosthodont 16(1): 39-44.
- Mannocci, F., Ferrari, M., and Watson, T.F. 1999. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. J Adhes Dent 1(2): 153-158.
- Mannocci, F., Bertelli, E., Sherriff, M., Watson, T.F., and Ford, T.R. 2002. Three year clinical comparison of survival of endodontically treated teeth restored with either full cast coverage or direct composite restoration. J Prosthet Dent 88(3): 297-301.

- Mannocci, F., Sherriff, M., Watson, T.F., and Vallittu, PK. 2005. Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. Int Endod J 38(1): 46-51.
- Mazzitelli, C., Ferrari, M., Toledano, M., Osorio, E., Monticelli, F., and Osorio, R. 2008. Surface roughness analysis of fiber post conditioning processes. J Dent Res 87(2):186-190.
- McDonald, A.V., King, P.A., and Setchell, D.J. 1990. In vitro study to compare impact fracture resistance of intact root-treated teeth. Int Endod J. 23(6):304-312.
- Mendoza, D.B., Eakle, W.S., Kahl, E.A., and Ho, R. 1997. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. J Prosthet Dent 78(1): 10-14.
- Milot, P., and Stein, S. 1992. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. J Prosthet Dent 68(3): 37-40.
- Monticelli, F., Grandini, S., Goracci, C., and Ferrari, M. 2003. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. Int J Prosthodont 16(6): 593-596.
- Monticelli, F., Goracci, C., Grandini, S., Garcia-Godoy, F., and Ferrari, M. 2005. Scanning electron microscopic evaluation of fiber post-resin core units built up with different resin composite materials. Am J Dent 18(1): 61-65.
- Monticelli, F., et al. 2006. Improving the quality of the quartz fiber postcore bond using sodium ethoxide etching and combined silane/adhesive coupling. J Endod 32(5): 447-451.
- Monticelli, F., et al. 2006. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. Dent Mater 22(7): 602-609.
- Monticelli, F., et al. 2006. A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. J Endod 32(1): 44-47.
- Monticelli, F., et al. 2007. Effect of adhesive systems and surface treatment of methacrylate resin-based fiber posts on post-resin-dentin bonds. Am J Dent 20(4): 231-234.
- Monticelli, F., Ferrari, M., and Toledano, M. 2008. Cement system and surface treatment selection for fiber post luting. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 13(3):E214-E221.
- Morgano, S.M. 1996. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. J Prosthet Dent 75(1): 375-380.

- Morgano, S.M., and Brackett, S.E. 1999. Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. J Prosthet Dent 82(6): 643-657.
- Nakamura, T., Saito, O., Fuyikama, J., and Ishigaki, S. 2002. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the color of heat-pressed ceramic crowns. J Oral Rehabil 29(9): 805-809.
- Nakamura, T., et al. 2006. Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material. Dent Mater J 25(1): 145-150.
- Naumann, M., Preuss, A., and Frankenberger, R. 2007. Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. Dent Mater 23(2): 138-44.
- Nayyar, A., McDonald, T.R., Turner, F., and Koth, D.L. 1982. Strength of premolar coronoradicular buildups restores with cast crowns. J Dent Res 61(1): 70.
- Nicholls, J.I. 2001. The dental ferrule and the endodontically compromised tooth. Quintessence Int 32(2): 171-173.
- Oliveira, F.C., Denehy, G.E., and Boyer, D.B. 1987. Fracture resistance of endodontically prepared teeth using various restorative materials. J Am Dent Assoc 115(1): 57-60.
- Ottle, P., Hahn, L., Lower, H.C., and Fay, M. 2002. Fracture characteristics of carbon fiber, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads. J Oral Rehabil 29(2): 175-183.
- Pegoretti, A., Fambri, L., Zappini, G., and Bianchetti, M. 2002. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. Biomaterials 23(13): 2667-2682.
- Perdigao, J., Geraldini, S., and Lee, I.K. 2004. Push-out bond strengths of tooth-colored posts bonded with different adhesive systems. Am J Dent 17(6): 422-426
- Perdigao, J., Gomes, G., and Lee, I.K. 2006. The effect of silane on the bond strengths of fiber posts. Dent Mater 22(8): 752-758.
- Pereira, J.R., de Ornelas, F., Conti, P.C., and do Valle, A.L. 2006. Effect of crown ferrule on the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with prefabricated posts. J Prosthet Dent 95(1): 50-54.
- Plotino, G., Grande, N.M., Bedini, R., Pameijer, C.H., and Somma, F. 2007. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. Dent Mater 23(9): 1129-1135.
- Purton, D.G., and Payne, J.A. 1996. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. Quintessence Int 27(2): 93-97.

- Qing, H., Zhu, Z., Chao, Y., and Zhang, W. 2007. In vitro evaluation of the fracture resistance of anterior endodontically treated teeth restored with glass fiber and zircon posts. J Prosthet Dent 97(2): 93-98.
- Qualtrough, A.J., and Mannocci, F. 2003. Tooth-colored post systems: a review. Oper Dent 28(1): 81-96.
- Radovic, I., et.al. 2007. Accelerated aging of adhesive-mediated fiber post-resin composite bonds: A modeling approach. J Dent 35(8): 683-9.
- Randow, K., and Glantz, P.O. 1989. On cantilever loading of vital and non-vital teeth: an experimental clinical study. Acta Odontol Scand 44(5): 271-277.
- Ray, H.A., and Trope, M. 1995. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. Int Endod J 28(1): 8-12.
- Raygot, C.G., Chai, J., and Jameson, L. 2001. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber reinforced resin post system in vitro. Int J Prosthodont 14(2): 141-145.
- Reeh, E.S., Douglas, W.H., and Messer, H.H. 1989. Stiffness of endodontically treated teeth related to restoration technique. J Dent Res 68(11): 1540-1544.
- Robbins, J. 1990. Guidelines for the restoration of endodontically treated teeth. J Am Dent Assoc 120(5): 475-489.
- Robbins, J., Earnest, L., and Schumann, S. 1993. Fracture resistance of endodontically-treated cuspids. Am J Dent 6(3): 159-161.
- Sadek, F.T., et al. 2007. Bond strength performance of different resin composites used as core materials around fiber posts. Dent Mater 23(1): 95-99.
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. 2003. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia. J Adhes Dent 5(2): 153-162.
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. 2004. Effect of surface treatment of prefabricated posts on bonding of resin cement. Oper Dent 29(1):60-68.
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. 2004. Retention and failure morphology of prefabricated posts. Int J Prosthodont 17(3): 307-312.

- Salameh, Z., et al. 2006. Adhesion between prefabricated fiber-reinforced posts and different composite resin cores: a microtensile bond strength evaluation. J Adhes Dent 8(2): 113-117.
- Scherrer, S.S., and de Rijk, W.G. 1993. The fracture resistance of all ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. Int J Prosthodont 6(5): 462-467.
- Schmage, P., Cakir, F.Y., Nergiz, I., and Pfeiffer, P.2009. Effect of surface conditioning on the retentive bond strengths of fiberreinforced composite posts. J Prosthet Dent.102(6):368-377.
- Schwartz, R.S., and Robbins, J.W. 2004. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. J Endod 30(5): 289-301.
- Sedgley, C.M., and Messer, H.H. 1992. Are endodontically treated teeth more brittle? J Endod 18(7): 332-335.
- Seefeld, F., Wenz, H.J., Ludwig, K. and Kern, M. 2007. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. Dent Mater 23(3): 265-271.
- Sorensen, J.A., and Martinoff, J.T. 1985. Endodontically treated teeth as abutments. J Prosthet Dent 53(5): 631-636.
- Sorensen, J.A., and Engelman, M.J. 1990. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 63(5): 529-536.
- Standlee, J.P., Caputo, A.A., Holcomb, J., and Trabert, K.C. 1980. The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. J Prosthet Dent 44(4):398-404.
- Tan, P.L., et al. 2005. In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configuration. J Prosthet Dent 93(4): 331-336.
- Torbjorner, A., Karlsson, S., and Odman, PA. 1995. Survival rate and failure characteristic for two post designs. J Prosthet Dent 73(4): 439-444
- Valandro, L.F., et al. 2006. Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: effect of post surface conditioning. J Adhes Dent 8(2): 105-111.
- Vano, M., et al. 2006. The adhesion between fiber posts and composite resin cores:the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments of posts. Int Endod J 39(1): 31-39.

- Wang, V.J., et al. 2008. Effect of two fiber post types and two luting cement systems on regional post retention using the push-out test. Dent Mater 24(3):372-377.
- Wrbas, K.T., Altenburger, M.J., Schirrmeyer, J.F., Bitter, K., and Kielbassa, A.M. 2007. Effect of adhesive resin cements and post surface silanization on the bond strengths of adhesively inserted fiber post. J Endod 33(7): 840-843.
- Wrbas, K.T., Schirrmeyer, J.F., Altenburger, M.J., Agrafioti, A., and Hellwig, E. 2007. Bond strength between fibre posts and composite resin cores: effect of post surface silanization. Int Endod J 40(7): 538-543.
- Yang, H.S., Lang, L.A., Molina, A., and Felton, D.A. 2001. The effect of dowel design and load direction on dowel-and-core restoration. J Prosthet Dent 85(6): 558-567.
- Yenisey, M., and Kuluk, S. 2008. Effect of chemical surface treatments of quartz and glass fiber posts on the retention of a composite resin. J Prosthet Dent 99(1):38-45.



ศูนย์วิทยุทันตวิทยา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดียวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้ว

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
1-16		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Megapascal	HF 4% 15 sec	.158	15	.200*	.907	15	.120
	HF 4% 30 sec	.112	15	.200*	.980	15	.971
	HF 4% 1 min	.219	15	.052	.880	15	.048
	Hydrogenperoxide 35% 1min	.141	15	.200*	.965	15	.777
	Hydrogenperoxide 35% 2 min	.171	15	.200*	.971	15	.877
	Hydrogenperoxide 35% 3 min	.103	15	.200*	.988	15	.998
	Hydrogenperoxide 35% 4 min	.199	15	.113	.900	15	.094
	Hydrogenperoxide 35% 5 min	.124	15	.200*	.950	15	.524
	Hydrogenperoxide 35% 10 min	.158	15	.200*	.951	15	.538
	Hydrogenperoxide 30% 1 min	.216	15	.058	.915	15	.162
	Hydrogenperoxide 30% 2 min	.115	15	.200*	.954	15	.596
	Hydrogenperoxide 30% 3 min	.125	15	.200*	.935	15	.321
	Hydrogenperoxide 30% 4 min	.156	15	.200*	.898	15	.090
	Hydrogenperoxide 30% 5 min	.150	15	.200*	.941	15	.389
	Hydrogenperoxide 30% 10 min	.172	15	.200*	.920	15	.191
	Hydrogenperoxide 24% 10 min	.236	15	.024	.884	15	.055

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

a. Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 10 แสดงการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้ว

Test of Homogeneity of Variances

Megapascal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.143	15	224	.000

ตารางที่ 11 แสดงการทดสอบสถิติANOVA ของกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้ว

Robust Tests of Equality of Means

Megapascal

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	73.601	15	145.156	.000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 แสดงการทดสอบ Post Hoc (LSD) กลุ่มเดียวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย
 แก้วที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายต่างๆ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Megapascal

LSD

(I) 1-16	(J) 1-16	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HF 4% 15 sec	HF 4% 30 sec	.6308900	.5810736	.279	-.514180	1.775960
	HF 4% 1 min	.2585513	.5810736	.657	-.886519	1.403621
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	6.4126667(*)	.5810736	.000	5.267597	7.557737
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.9719267(*)	.5810736	.000	5.826857	8.116997
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	7.0917733(*)	.5810736	.000	5.946703	8.236843
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	6.5146000(*)	.5810736	.000	5.369530	7.659670
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	7.2757400(*)	.5810736	.000	6.130670	8.420810
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	6.3508933(*)	.5810736	.000	5.205823	7.495963
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.7771333(*)	.5810736	.000	4.632063	6.922203
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	.4636800	.5810736	.426	-.681390	1.608750
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	.6826000	.5810736	.241	-.462470	1.827670
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	.5783333	.5810736	.321	-.566737	1.723403
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-1.7303933(*)	.5810736	.003	-2.875463	-.585323
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-.7588867	.5810736	.193	-1.903957	.386183

	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.0934267	.5810736	.061	-2.238497	.051643
HF 4% 30 sec	HF 4% 15 sec	-.6308900	.5810736	.279	-1.775960	.514180
	HF 4% 1 min	-.3723387	.5810736	.522	-1.517409	.772731
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	5.7817767(*)	.5810736	.000	4.636707	6.926847
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.3410367(*)	.5810736	.000	5.195967	7.486107
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	6.4608833(*)	.5810736	.000	5.315813	7.605953
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	5.8837100(*)	.5810736	.000	4.738640	7.028780
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	6.6448500(*)	.5810736	.000	5.499780	7.789920
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	5.7200033(*)	.5810736	.000	4.574933	6.865073
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.1462433(*)	.5810736	.000	4.001173	6.291313
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-.1672100	.5810736	.774	-1.312280	.977860
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	.0517100	.5810736	.929	-1.093360	1.196780
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.0525567	.5810736	.928	-1.197627	1.092513
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.3612833(*)	.5810736	.000	-3.506353	-1.216213
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.3897767(*)	.5810736	.018	-2.534847	-.244707
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.7243167(*)	.5810736	.003	-2.869387	-.579247
HF 4% 1 min	HF 4% 15 sec	-.2585513	.5810736	.657	-1.403621	.886519
	HF 4% 30 sec	.3723387	.5810736	.522	-.772731	1.517409
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	6.1541153(*)	.5810736	.000	5.009045	7.299185
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.7133753(*)	.5810736	.000	5.568305	7.858445
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	6.8332220(*)	.5810736	.000	5.688152	7.978292

Hydrogen peroxide 35% 4 min	6.2560487(*)	.5810736	.000	5.110979	7.401119	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	7.0171887(*)	.5810736	.000	5.872119	8.162259	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	6.0923420(*)	.5810736	.000	4.947272	7.237412	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.5185820(*)	.5810736	.000	4.373512	6.663652	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	.2051287	.5810736	.724	-939941	1.350199	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	.4240487	.5810736	.466	-.721021	1.569119	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	.3197820	.5810736	.583	-.825288	1.464852	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-1.9889447(*)	.5810736	.001	-3.134015	-.843875	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.0174380	.5810736	.081	-2.162508	.127632	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.3519780(*)	.5810736	.021	-2.497048	-.206908	
Hydrogen peroxide 35% 1 min	HF 4% 15 sec	-6.4126667(*)	.5810736	.000	-7.557737	-5.267597
	HF 4% 30 sec	-5.7817767(*)	.5810736	.000	-6.926847	-4.636707
	HF 4% 1 min	-6.1541153(*)	.5810736	.000	-7.299185	-5.009045
Hydrogen peroxide 35% 2 min	.5592600	.5810736	.337	-.585810	1.704330	
Hydrogen peroxide 35% 3 min	.6791067	.5810736	.244	-.465963	1.824177	
Hydrogen peroxide 35% 4 min	.1019333	.5810736	.861	-1.043137	1.247003	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	.8630733	.5810736	.139	-.281997	2.008143	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.0617733	.5810736	.915	-1.206843	1.083297	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	-.6355333	.5810736	.275	-1.780603	.509537	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	-5.9489867(*)	.5810736	.000	-7.094057	-4.803917	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-5.7300667(*)	.5810736	.000	-6.875137	-4.584997	

	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-5.8343333(*)	.5810736	.000	-6.979403	-4.689263	
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-8.1430600(*)	.5810736	.000	-9.288130	-6.997990	
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-7.1715533(*)	.5810736	.000	-8.316623	-6.026483	
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-7.5060933(*)	.5810736	.000	-8.651163	-6.361023	
Hydrogen peroxide 35% 2 min	HF 4% 15 sec	-6.9719267(*)	.5810736	.000	-8.116997	-5.826857	
	HF 4% 30 sec	-6.3410367(*)	.5810736	.000	-7.486107	-5.195967	
	HF 4% 1 min	-6.7133753(*)	.5810736	.000	-7.858445	-5.568305	
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-.5592600	.5810736	.337	-1.704330	.585810	
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	.1198467	.5810736	.837	-1.025223	1.264917	
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.4573267	.5810736	.432	-1.602397	.687743	
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	.3038133	.5810736	.602	-.841257	1.448883	
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.6210333	.5810736	.286	-1.766103	.524037	
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	-1.1947933(*)	.5810736	.041	-2.339863	-.049723	
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-6.5082467(*)	.5810736	.000	-7.653317	-5.363177	
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-6.2893267(*)	.5810736	.000	-7.434397	-5.144257	
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-6.3935933(*)	.5810736	.000	-7.538663	-5.248523	
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-8.7023200(*)	.5810736	.000	-9.847390	-7.557250	
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-7.7308133(*)	.5810736	.000	-8.875883	-6.585743	
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-8.0653533(*)	.5810736	.000	-9.210423	-6.920283	
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	HF 4% 15 sec	-7.0917733(*)	.5810736	.000	-8.236843	-5.946703
		HF 4% 30 sec	-6.4608833(*)	.5810736	.000	-7.605953	-5.315813
HF 4% 1 min		-6.8332220(*)	.5810736	.000	-7.978292	-5.688152	

Hydrogen peroxide 35% 1 min		-6791067	.5810736	.244	-1.824177	.465963
Hydrogen peroxide 35% 2 min		-1198467	.5810736	.837	-1.264917	1.025223
Hydrogen peroxide 35% 4 min		-5771733	.5810736	.322	-1.722243	.567897
Hydrogen peroxide 35% 5 min		.1839667	.5810736	.752	-.961103	1.329037
Hydrogen peroxide 35% 10 min		-.7408800	.5810736	.204	-1.885950	.404190
Hydrogen peroxide 30% 1 min		-1.3146400(*)	.5810736	.025	-2.459710	-.169570
Hydrogen peroxide 30% 2 min		-6.6280933(*)	.5810736	.000	-7.773163	-5.483023
Hydrogen peroxide 30% 3 min		-6.4091733(*)	.5810736	.000	-7.554243	-5.264103
Hydrogen peroxide 30% 4 min		-6.5134400(*)	.5810736	.000	-7.658510	-5.368370
Hydrogen peroxide 30% 5 min		-8.8221667(*)	.5810736	.000	-9.967237	-7.677097
Hydrogen peroxide 30% 10 min		-7.8506600(*)	.5810736	.000	-8.995730	-6.705590
Hydrogen peroxide 24% 10 min		-8.1852000(*)	.5810736	.000	-9.330270	-7.040130
Hydrogen peroxide 35% 4 min	HF 4% 15 sec	-6.5146000(*)	.5810736	.000	-7.659670	-5.369530
	HF 4% 30 sec	-5.8837100(*)	.5810736	.000	-7.028780	-4.738640
	HF 4% 1 min	-6.2560487(*)	.5810736	.000	-7.401119	-5.110979
Hydrogen peroxide 35% 1 min		-.1019333	.5810736	.861	-1.247003	1.043137
Hydrogen peroxide 35% 2 min		.4573267	.5810736	.432	-.687743	1.602397
Hydrogen peroxide 35% 3 min		.5771733	.5810736	.322	-.567897	1.722243
Hydrogen peroxide 35% 5 min		.7611400	.5810736	.192	-.383930	1.906210
Hydrogen peroxide 35% 10 min		-.1637067	.5810736	.778	-1.308777	.981363
Hydrogen peroxide 30% 1 min		-.7374667	.5810736	.206	-1.882537	.407603

Hydrogen peroxide 30% 2 min		-6.0509200(*)	.5810736	.000	-7.195990	-4.905850
Hydrogen peroxide 30% 3 min		-5.8320000(*)	.5810736	.000	-6.977070	-4.686930
Hydrogen peroxide 30% 4 min		-5.9362667(*)	.5810736	.000	-7.081337	-4.791197
Hydrogen peroxide 30% 5 min		-8.2449933(*)	.5810736	.000	-9.390063	-7.099923
Hydrogen peroxide 30% 10 min		-7.2734867(*)	.5810736	.000	-8.418557	-6.128417
Hydrogen peroxide 24% 10 min		-7.6080267(*)	.5810736	.000	-8.753097	-6.462957
Hydrogen peroxide 35% 5 min	HF 4% 15 sec	-7.2757400(*)	.5810736	.000	-8.420810	-6.130670
	HF 4% 30 sec	-6.6448500(*)	.5810736	.000	-7.789920	-5.499780
	HF 4% 1 min	-7.0171887(*)	.5810736	.000	-8.162259	-5.872119
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-.8630733	.5810736	.139	-2.008143	.281997
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-.3038133	.5810736	.602	-1.448883	.841257
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.1839667	.5810736	.752	-1.329037	.961103
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.7611400	.5810736	.192	-1.906210	.383930
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.9248467	.5810736	.113	-2.069917	.220223
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	-1.4986067(*)	.5810736	.011	-2.643677	-.353537
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-6.8120600(*)	.5810736	.000	-7.957130	-5.666990
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-6.5931400(*)	.5810736	.000	-7.738210	-5.448070
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-6.6974067(*)	.5810736	.000	-7.842477	-5.552337
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-9.0061333(*)	.5810736	.000	-10.151203	-7.861063
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-8.0346267(*)	.5810736	.000	-9.179697	-6.889557
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-8.3691667(*)	.5810736	.000	-9.514237	-7.224097

Hydrogen peroxide 35% 10 min	HF 4% 15 sec	-6.3508933(*)	.5810736	.000	-7.495963	-5.205823	
	HF 4% 30 sec	-5.7200033(*)	.5810736	.000	-6.865073	-4.574933	
	HF 4% 1 min	-6.0923420(*)	.5810736	.000	-7.237412	-4.947272	
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	.0617733	.5810736	.915	-1.083297	1.206843	
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	.6210333	.5810736	.286	-.524037	1.766103	
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	.7408800	.5810736	.204	-.404190	1.885950	
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	.1637067	.5810736	.778	-.981363	1.308777	
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	.9248467	.5810736	.113	-.220223	2.069917	
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	-.5737600	.5810736	.325	-1.718830	.571310	
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-5.8872133(*)	.5810736	.000	-7.032283	-4.742143	
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-5.6682933(*)	.5810736	.000	-6.813363	-4.523223	
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-5.7725600(*)	.5810736	.000	-6.917630	-4.627490	
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-8.0812867(*)	.5810736	.000	-9.226357	-6.936217	
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-7.1097800(*)	.5810736	.000	-8.254850	-5.964710	
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-7.4443200(*)	.5810736	.000	-8.589390	-6.299250	
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	HF 4% 15 sec	-5.7771333(*)	.5810736	.000	-6.922203	-4.632063
		HF 4% 30 sec	-5.1462433(*)	.5810736	.000	-6.291313	-4.001173
		HF 4% 1 min	-5.5185820(*)	.5810736	.000	-6.663652	-4.373512
		Hydrogen peroxide 35% 1 min	.6355333	.5810736	.275	-.509537	1.780603
Hydrogen peroxide 35% 2 min		1.1947933(*)	.5810736	.041	.049723	2.339863	
Hydrogen peroxide 35% 3 min		1.3146400(*)	.5810736	.025	.169570	2.459710	
Hydrogen peroxide 35% 4 min		.7374667	.5810736	.206	-.407603	1.882537	

Hydrogen peroxide 35% 5 min	1.4986067(*)	.5810736	.011	.353537	2.643677	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	.5737600	.5810736	.325	-.571310	1.718830	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	-5.3134533(*)	.5810736	.000	-6.458523	-4.168383	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-5.0945333(*)	.5810736	.000	-6.239603	-3.949463	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-5.1988000(*)	.5810736	.000	-6.343870	-4.053730	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-7.5075267(*)	.5810736	.000	-8.652597	-6.362457	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-6.5360200(*)	.5810736	.000	-7.681090	-5.390950	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-6.8705600(*)	.5810736	.000	-8.015630	-5.725490	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	HF 4% 15 sec	-.4636800	.5810736	.426	-1.608750	.681390
	HF 4% 30 sec	.1672100	.5810736	.774	-.977860	1.312280
	HF 4% 1 min	-.2051287	.5810736	.724	-1.350199	.939941
Hydrogen peroxide 35% 1 min	5.9489867(*)	.5810736	.000	4.803917	7.094057	
Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.5082467(*)	.5810736	.000	5.363177	7.653317	
Hydrogen peroxide 35% 3 min	6.6280933(*)	.5810736	.000	5.483023	7.773163	
Hydrogen peroxide 35% 4 min	6.0509200(*)	.5810736	.000	4.905850	7.195990	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	6.8120600(*)	.5810736	.000	5.666990	7.957130	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	5.8872133(*)	.5810736	.000	4.742143	7.032283	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.3134533(*)	.5810736	.000	4.168383	6.458523	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	.2189200	.5810736	.707	-.926150	1.363990	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	.1146533	.5810736	.844	-1.030417	1.259723	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.1940733(*)	.5810736	.000	-3.339143	-1.049003	

	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.2225667(*)	.5810736	.036	-2.367637	-.077497	
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.5571067(*)	.5810736	.008	-2.702177	-.412037	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	HF 4% 15 sec	-.6826000	.5810736	.241	-1.827670	.462470	
	HF 4% 30 sec	-.0517100	.5810736	.929	-1.196780	1.093360	
	HF 4% 1 min	-.4240487	.5810736	.466	-1.569119	.721021	
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	5.7300667(*)	.5810736	.000	4.584997	6.875137	
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.2893267(*)	.5810736	.000	5.144257	7.434397	
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	6.4091733(*)	.5810736	.000	5.264103	7.554243	
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	5.8320000(*)	.5810736	.000	4.686930	6.977070	
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	6.5931400(*)	.5810736	.000	5.448070	7.738210	
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	5.6682933(*)	.5810736	.000	4.523223	6.813363	
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.0945333(*)	.5810736	.000	3.949463	6.239603	
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-.2189200	.5810736	.707	-1.363990	.926150	
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.1042667	.5810736	.858	-1.249337	1.040803	
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.4129933(*)	.5810736	.000	-3.558063	-1.267923	
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.4414867(*)	.5810736	.014	-2.586557	-.296417	
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.7760267(*)	.5810736	.003	-2.921097	-.630957	
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	HF 4% 15 sec	-.5783333	.5810736	.321	-1.723403	.566737
		HF 4% 30 sec	.0525567	.5810736	.928	-1.092513	1.197627
HF 4% 1 min		-.3197820	.5810736	.583	-1.464852	.825288	
Hydrogen peroxide 35% 1 min		5.8343333(*)	.5810736	.000	4.689263	6.979403	

Hydrogen peroxide 35% 2 min	6.3935933(*)	.5810736	.000	5.248523	7.538663	
Hydrogen peroxide 35% 3 min	6.5134400(*)	.5810736	.000	5.368370	7.658510	
Hydrogen peroxide 35% 4 min	5.9362667(*)	.5810736	.000	4.791197	7.081337	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	6.6974067(*)	.5810736	.000	5.552337	7.842477	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	5.7725600(*)	.5810736	.000	4.627490	6.917630	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	5.1988000(*)	.5810736	.000	4.053730	6.343870	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	-1.146533	.5810736	.844	-1.259723	1.030417	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	.1042667	.5810736	.858	-1.040803	1.249337	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.3087267(*)	.5810736	.000	-3.453797	-1.163657	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.3372200(*)	.5810736	.022	-2.482290	-1.192150	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.6717600(*)	.5810736	.004	-2.816830	-5.26690	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	HF 4% 15 sec	1.7303933(*)	.5810736	.003	.585323	2.875463
	HF 4% 30 sec	2.3612833(*)	.5810736	.000	1.216213	3.506353
	HF 4% 1 min	1.9889447(*)	.5810736	.001	.843875	3.134015
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	8.1430600(*)	.5810736	.000	6.997990	9.288130
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	8.7023200(*)	.5810736	.000	7.557250	9.847390
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	8.8221667(*)	.5810736	.000	7.677097	9.967237
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	8.2449933(*)	.5810736	.000	7.099923	9.390063
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	9.0061333(*)	.5810736	.000	7.861063	10.151203
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	8.0812867(*)	.5810736	.000	6.936217	9.226357
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	7.5075267(*)	.5810736	.000	6.362457	8.652597

Hydrogen peroxide 30% 2 min	2.1940733(*)	.5810736	.000	1.049003	3.339143	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	2.4129933(*)	.5810736	.000	1.267923	3.558063	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	2.3087267(*)	.5810736	.000	1.163657	3.453797	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	.9715067	.5810736	.096	-.173563	2.116577	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	.6369667	.5810736	.274	-.508103	1.782037	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	HF 4% 15 sec	.7588867	.5810736	.193	-.386183	1.903957
	HF 4% 30 sec	1.3897767(*)	.5810736	.018	.244707	2.534847
	HF 4% 1 min	1.0174380	.5810736	.081	-.127632	2.162508
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	7.1715533(*)	.5810736	.000	6.026483	8.316623
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	7.7308133(*)	.5810736	.000	6.585743	8.875883
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	7.8506600(*)	.5810736	.000	6.705590	8.995730
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	7.2734867(*)	.5810736	.000	6.128417	8.418557
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	8.0346267(*)	.5810736	.000	6.889557	9.179697
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	7.1097800(*)	.5810736	.000	5.964710	8.254850
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	6.5360200(*)	.5810736	.000	5.390950	7.681090
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	1.2225667(*)	.5810736	.036	.077497	2.367637
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	1.4414867(*)	.5810736	.014	.296417	2.586557
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	1.3372200(*)	.5810736	.022	.192150	2.482290
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.9715067	.5810736	.096	-2.116577	.173563
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.3345400	.5810736	.565	-1.479610	.810530

Hydrogen peroxide 24% 10 min	HF 4% 15 sec	1.0934267	.5810736	.061	-.051643	2.238497
	HF 4% 30 sec	1.7243167(*)	.5810736	.003	.579247	2.869387
	HF 4% 1 min	1.3519780(*)	.5810736	.021	.206908	2.497048
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	7.5060933(*)	.5810736	.000	6.361023	8.651163
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	8.0653533(*)	.5810736	.000	6.920283	9.210423
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	8.1852000(*)	.5810736	.000	7.040130	9.330270
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	7.6080267(*)	.5810736	.000	6.462957	8.753097
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	8.3691667(*)	.5810736	.000	7.224097	9.514237
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	7.4443200(*)	.5810736	.000	6.299250	8.589390
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	6.8705600(*)	.5810736	.000	5.725490	8.015630
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	1.5571067(*)	.5810736	.008	.412037	2.702177
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	1.7760267(*)	.5810736	.003	.630957	2.921097
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	1.6717600(*)	.5810736	.004	.526690	2.816830
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.6369667	.5810736	.274	-1.782037	.508103
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	.3345400	.5810736	.565	-.810530	1.479610

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดี่ยวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์

		Tests of Normality ^a			Shapiro-Wilk		
1-16		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Megapascal	HF 4% 15 sec	.122	15	.200*	.946	15	.457
	HF 4% 30 sec	.124	15	.200*	.966	15	.795
	HF 4% 1 min	.209	15	.078	.919	15	.188
	Hydrogenperoxide 35% 1 min	.219	15	.051	.894	15	.078
	Hydrogenperoxide 35% 2 min	.175	15	.200*	.955	15	.615
	Hydrogenperoxide 35% 3 min	.118	15	.200*	.970	15	.860
	Hydrogenperoxide 35% 4 min	.217	15	.057	.839	15	.012
	Hydrogenperoxide 35% 5 min	.158	15	.200*	.936	15	.337
	Hydrogenperoxide 35% 10 min	.121	15	.200*	.954	15	.584
	Hydrogenperoxide 30% 1 min	.131	15	.200*	.973	15	.900
	Hydrogenperoxide 30% 2 min	.106	15	.200*	.964	15	.762
	Hydrogenperoxide 30% 3 min	.227	15	.036	.884	15	.055
	Hydrogenperoxide 30% 4 min	.224	15	.041	.939	15	.375
	Hydrogenperoxide 30% 5 min	.295	15	.001	.820	15	.007
	Hydrogenperoxide 30% 10 min	.201	15	.103	.963	15	.751
	Hydrogenperoxide 24% 10 min	.198	15	.117	.879	15	.046

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

a. Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 14 แสดงการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์

Test of Homogeneity of Variances

Megapascal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.986	15	224	.000

ตารางที่ 15 แสดงการทดสอบสถิติANOVA ของกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์

Robust Tests of Equality of Means

Megapascal

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	7.674	15	155.995	.000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 แสดงการทดสอบ Post Hoc(LSD) กลุ่มเดียวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย
ควอตซ์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายต่างๆ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Megapascal

LSD

(I) 1-16	(J) 1-16	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HF 4% 15 sec	HF 4% 30 sec	-1.2846173	.7166492	.074	-2.696854	.127620
	HF 4% 1 min	-1.8342107(*)	.7166492	.011	-3.246448	-.421974
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-2.6529600(*)	.7166492	.000	-4.065197	-1.240723
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-3.6113467(*)	.7166492	.000	-5.023584	-2.199110
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-3.7356333(*)	.7166492	.000	-5.147870	-2.323396
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-3.7277200(*)	.7166492	.000	-5.139957	-2.315483
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	-3.5717600(*)	.7166492	.000	-4.983997	-2.159523
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	-2.8064000(*)	.7166492	.000	-4.218637	-1.394163
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	-2.4323933(*)	.7166492	.001	-3.844630	-1.020156
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-3.3181667(*)	.7166492	.000	-4.730404	-1.905930
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-3.7677933(*)	.7166492	.000	-5.180030	-2.355556
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-4.0719333(*)	.7166492	.000	-5.484170	-2.659696
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-4.2093467(*)	.7166492	.000	-5.621584	-2.797110
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-5.9451133(*)	.7166492	.000	-7.357350	-4.532876

	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-4.6934867(*)	.7166492	.000	-6.105724	-3.281250
HF 4% 30 sec	HF 4% 15 sec	1.2846173	.7166492	.074	-.127620	2.696854
	HF 4% 1 min	-.5495933	.7166492	.444	-1.961830	.862644
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-1.3683427	.7166492	.057	-2.780580	.043894
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-2.3267293(*)	.7166492	.001	-3.738966	-.914492
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-2.4510160(*)	.7166492	.001	-3.863253	-1.038779
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-2.4431027(*)	.7166492	.001	-3.855340	-1.030866
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	-2.2871427(*)	.7166492	.002	-3.699380	-.874906
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	-1.5217827(*)	.7166492	.035	-2.934020	-.109546
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	-1.1477760	.7166492	.111	-2.560013	.264461
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-2.0335493(*)	.7166492	.005	-3.445786	-.621312
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-2.4831760(*)	.7166492	.001	-3.895413	-1.070939
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-2.7873160(*)	.7166492	.000	-4.199553	-1.375079
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.9247293(*)	.7166492	.000	-4.336966	-1.512492
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-4.6604960(*)	.7166492	.000	-6.072733	-3.248259
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-3.4088693(*)	.7166492	.000	-4.821106	-1.996632
HF 4% 1 min	HF 4% 15 sec	1.8342107(*)	.7166492	.011	.421974	3.246448
	HF 4% 30 sec	.5495933	.7166492	.444	-.862644	1.961830
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-.8187493	.7166492	.254	-2.230986	.593488
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-1.7771360(*)	.7166492	.014	-3.189373	-.364899
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-1.9014227(*)	.7166492	.009	-3.313660	-.489186

Hydrogen peroxide 35% 4 min	-1.8935093(*)	.7166492	.009	-3.305746	-.481272	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	-1.7375493(*)	.7166492	.016	-3.149786	-.325312	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.9721893	.7166492	.176	-2.384426	.440048	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	-.5981827	.7166492	.405	-2.010420	.814054	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	-1.4839560(*)	.7166492	.040	-2.896193	-.071719	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-1.9335827(*)	.7166492	.008	-3.345820	-.521346	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-2.2377227(*)	.7166492	.002	-3.649960	-.825486	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-2.3751360(*)	.7166492	.001	-3.787373	-.962899	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-4.1109027(*)	.7166492	.000	-5.523140	-2.698666	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-2.8592760(*)	.7166492	.000	-4.271513	-1.447039	
Hydrogen peroxide 35% 1 min	HF 4% 15 sec	2.6529600(*)	.7166492	.000	1.240723	4.065197
	HF 4% 30 sec	1.3683427	.7166492	.057	-.043894	2.780580
	HF 4% 1 min	.8187493	.7166492	.254	-.593488	2.230986
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-.9583867	.7166492	.182	-2.370624	.453850
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-1.0826733	.7166492	.132	-2.494910	.329564
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-1.0747600	.7166492	.135	-2.486997	.337477
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	-.9188000	.7166492	.201	-2.331037	.493437
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.1534400	.7166492	.831	-1.565677	1.258797
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	.2205667	.7166492	.759	-1.191670	1.632804
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-.6652067	.7166492	.354	-2.077444	.747030
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-1.1148333	.7166492	.121	-2.527070	.297404

	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-1.4189733(*)	.7166492	.049	-2.831210	-.006736
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-1.5563867(*)	.7166492	.031	-2.968624	-.144150
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-3.2921533(*)	.7166492	.000	-4.704390	-1.879916
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-2.0405267(*)	.7166492	.005	-3.452764	-.628290
Hydrogen peroxide 35% 2 min	HF 4% 15 sec	3.6113467(*)	.7166492	.000	2.199110	5.023584
	HF 4% 30 sec	2.3267293(*)	.7166492	.001	.914492	3.738966
	HF 4% 1 min	1.7771360(*)	.7166492	.014	.364899	3.189373
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	.9583867	.7166492	.182	-.453850	2.370624
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.1242867	.7166492	.862	-1.536524	1.287950
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.1163733	.7166492	.871	-1.528610	1.295864
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	.0395867	.7166492	.956	-1.372650	1.451824
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	.8049467	.7166492	.263	-.607290	2.217184
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.1789533	.7166492	.101	-.233284	2.591190
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	.2931800	.7166492	.683	-1.119057	1.705417
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.1564467	.7166492	.827	-1.568684	1.255790
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.4605867	.7166492	.521	-1.872824	.951650
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.5980000	.7166492	.405	-2.010237	.814237
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-2.3337667(*)	.7166492	.001	-3.746004	-.921530
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.0821400	.7166492	.132	-2.494377	.330097
Hydrogen peroxide 35% 3 min	HF 4% 15 sec	3.7356333(*)	.7166492	.000	2.323396	5.147870
	HF 4% 30 sec	2.4510160(*)	.7166492	.001	1.038779	3.863253
	HF 4% 1 min	1.9014227(*)	.7166492	.009	.489186	3.313660

Hydrogen peroxide 35% 1 min	1.0826733	.7166492	.132	-.329564	2.494910	
Hydrogen peroxide 35% 2 min	.1242867	.7166492	.862	-1.287950	1.536524	
Hydrogen peroxide 35% 4 min	.0079133	.7166492	.991	-1.404324	1.420150	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	.1638733	.7166492	.819	-1.248364	1.576110	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	.9292333	.7166492	.196	-.483004	2.341470	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.3032400	.7166492	.070	-.108997	2.715477	
Hydrogen peroxide 30% 2 min	.4174667	.7166492	.561	-.994770	1.829704	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.0321600	.7166492	.964	-1.444397	1.380077	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.3363000	.7166492	.639	-1.748537	1.075937	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.4737133	.7166492	.509	-1.885950	.938524	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-2.2094800(*)	.7166492	.002	-3.621717	-.797243	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.9578533	.7166492	.183	-2.370090	.454384	
Hydrogen peroxide 35% 4 min	HF 4% 15 sec	3.7277200(*)	.7166492	.000	2.315483	5.139957
	HF 4% 30 sec	2.4431027(*)	.7166492	.001	1.030866	3.855340
	HF 4% 1 min	1.8935093(*)	.7166492	.009	.481272	3.305746
Hydrogen peroxide 35% 1 min	1.0747600	.7166492	.135	-.337477	2.486997	
Hydrogen peroxide 35% 2 min	.1163733	.7166492	.871	-1.295864	1.528610	
Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.0079133	.7166492	.991	-1.420150	1.404324	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	.1559600	.7166492	.828	-1.256277	1.568197	
Hydrogen peroxide 35% 10 min	.9213200	.7166492	.200	-.490917	2.333557	
Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.2953267	.7166492	.072	-.116910	2.707564	

Hydrogen peroxide 30% 2 min	.4095533	.7166492	.568	-1.002684	1.821790	
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.0400733	.7166492	.955	-1.452310	1.372164	
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.3442133	.7166492	.631	-1.756450	1.068024	
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.4816267	.7166492	.502	-1.893864	.930610	
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-2.2173933(*)	.7166492	.002	-3.629630	-.805156	
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.9657667	.7166492	.179	-2.378004	.446470	
Hydrogen peroxide 35% 5 min	HF 4% 15 sec	3.5717600(*)	.7166492	.000	2.159523	4.983997
	HF 4% 30 sec	2.2871427(*)	.7166492	.002	.874906	3.699380
	HF 4% 1 min	1.7375493(*)	.7166492	.016	.325312	3.149786
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	.9188000	.7166492	.201	-.493437	2.331037
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-.0395867	.7166492	.956	-1.451824	1.372650
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.1638733	.7166492	.819	-1.576110	1.248364
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.1559600	.7166492	.828	-1.568197	1.256277
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	.7653600	.7166492	.287	-.646877	2.177597
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.1393667	.7166492	.113	-.272870	2.551604
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	.2535933	.7166492	.724	-1.158644	1.665830
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.1960333	.7166492	.785	-1.608270	1.216204
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.5001733	.7166492	.486	-1.912410	.912064
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.6375867	.7166492	.375	-2.049824	.774650
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-2.3733533(*)	.7166492	.001	-3.785590	-.961116
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.1217267	.7166492	.119	-2.533964	.290510

Hydrogen peroxide 35% 10 min	HF 4% 15 sec	2.8064000(*)	.7166492	.000	1.394163	4.218637
	HF 4% 30 sec	1.5217827(*)	.7166492	.035	.109546	2.934020
	HF 4% 1 min	.9721893	.7166492	.176	-.440048	2.384426
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	.1534400	.7166492	.831	-1.258797	1.565677
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-.8049467	.7166492	.263	-2.217184	.607290
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.9292333	.7166492	.196	-2.341470	.483004
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.9213200	.7166492	.200	-2.333557	.490917
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	-.7653600	.7166492	.287	-2.177597	.646877
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	.3740067	.7166492	.602	-1.038230	1.786244
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	-.5117667	.7166492	.476	-1.924004	.900470
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.9613933	.7166492	.181	-2.373630	.450844
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-1.2655333	.7166492	.079	-2.677770	.146704
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-1.4029467	.7166492	.052	-2.815184	.009290
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-3.1387133(*)	.7166492	.000	-4.550950	-1.726476
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-1.8870867(*)	.7166492	.009	-3.299324	-.474850
Hydrogen peroxide 30% 1 min	HF 4% 15 sec	2.4323933(*)	.7166492	.001	1.020156	3.844630
	HF 4% 30 sec	1.1477760	.7166492	.111	-.264461	2.560013
	HF 4% 1 min	.5981827	.7166492	.405	-.814054	2.010420
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	-.2205667	.7166492	.759	-1.632804	1.191670
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	-1.1789533	.7166492	.101	-2.591190	.233284
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	-1.3032400	.7166492	.070	-2.715477	.108997
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	-1.2953267	.7166492	.072	-2.707564	.116910

Hydrogen peroxide 35% 5 min	-1.1393667	.7166492	.113	-2.551604	.272870
Hydrogen peroxide 35% 10 min	-.3740067	.7166492	.602	-1.786244	1.038230
Hydrogen peroxide 30% 2 min	-.8857733	.7166492	.218	-2.298010	.526464
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-1.3354000	.7166492	.064	-2.747637	.076837
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-1.6395400(*)	.7166492	.023	-3.051777	-.227303
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-1.7769533(*)	.7166492	.014	-3.189190	-.364716
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-3.5127200(*)	.7166492	.000	-4.924957	-2.100483
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-2.2610933(*)	.7166492	.002	-3.673330	-.848856
Hydrogen peroxide HF 4% 15 sec 30% 2 min	3.3181667(*)	.7166492	.000	1.905930	4.730404
HF 4% 30 sec	2.0335493(*)	.7166492	.005	.621312	3.445786
HF 4% 1 min	1.4839560(*)	.7166492	.040	.071719	2.896193
Hydrogen peroxide 35% 1 min	.6652067	.7166492	.354	-.747030	2.077444
Hydrogen peroxide 35% 2 min	-.2931800	.7166492	.683	-1.705417	1.119057
Hydrogen peroxide 35% 3 min	-.4174667	.7166492	.561	-1.829704	.994770
Hydrogen peroxide 35% 4 min	-.4095533	.7166492	.568	-1.821790	1.002684
Hydrogen peroxide 35% 5 min	-.2535933	.7166492	.724	-1.665830	1.158644
Hydrogen peroxide 35% 10 min	.5117667	.7166492	.476	-.900470	1.924004
Hydrogen peroxide 30% 1 min	.8857733	.7166492	.218	-.526464	2.298010
Hydrogen peroxide 30% 3 min	-.4496267	.7166492	.531	-1.861864	.962610
Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.7537667	.7166492	.294	-2.166004	.658470
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.8911800	.7166492	.215	-2.303417	.521057

Hydrogen peroxide 30% 10 min		-2.6269467(*)	.7166492	.000	-4.039184	-1.214710
Hydrogen peroxide 24% 10 min		-1.3753200	.7166492	.056	-2.787557	.036917
Hydrogen peroxide 30% 3 min	HF 4% 15 sec	3.7677933(*)	.7166492	.000	2.355556	5.180030
	HF 4% 30 sec	2.4831760(*)	.7166492	.001	1.070939	3.895413
	HF 4% 1 min	1.9335827(*)	.7166492	.008	.521346	3.345820
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	1.1148333	.7166492	.121	-.297404	2.527070
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	.1564467	.7166492	.827	-1.255790	1.568684
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	.0321600	.7166492	.964	-1.380077	1.444397
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	.0400733	.7166492	.955	-1.372164	1.452310
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	.1960333	.7166492	.785	-1.216204	1.608270
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	.9613933	.7166492	.181	-.450844	2.373630
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.3354000	.7166492	.064	-.076837	2.747637
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	.4496267	.7166492	.531	-.962610	1.861864
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	-.3041400	.7166492	.672	-1.716377	1.108097
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.4415533	.7166492	.538	-1.853790	.970684
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-2.1773200(*)	.7166492	.003	-3.589557	-.765083
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.9256933	.7166492	.198	-2.337930	.486544
Hydrogen peroxide 30% 4 min	HF 4% 15 sec	4.0719333(*)	.7166492	.000	2.659696	5.484170
	HF 4% 30 sec	2.7873160(*)	.7166492	.000	1.375079	4.199553
	HF 4% 1 min	2.2377227(*)	.7166492	.002	.825486	3.649960
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	1.4189733(*)	.7166492	.049	.006736	2.831210
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	.4605867	.7166492	.521	-.951650	1.872824

Hydrogen peroxide 35% 3 min	.3363000	.7166492	.639	-1.075937	1.748537
Hydrogen peroxide 35% 4 min	.3442133	.7166492	.631	-1.068024	1.756450
Hydrogen peroxide 35% 5 min	.5001733	.7166492	.486	-.912064	1.912410
Hydrogen peroxide 35% 10 min	1.2655333	.7166492	.079	-.146704	2.677770
Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.6395400(*)	.7166492	.023	.227303	3.051777
Hydrogen peroxide 30% 2 min	.7537667	.7166492	.294	-.658470	2.166004
Hydrogen peroxide 30% 3 min	.3041400	.7166492	.672	-1.108097	1.716377
Hydrogen peroxide 30% 5 min	-.1374133	.7166492	.848	-1.549650	1.274824
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.8731800(*)	.7166492	.010	-3.285417	-.460943
Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.6215533	.7166492	.387	-2.033790	.790684
Hydrogen peroxide HF 4% 15 sec 30% 5 min	4.2093467(*)	.7166492	.000	2.797110	5.621584
HF 4% 30 sec	2.9247293(*)	.7166492	.000	1.512492	4.336966
HF 4% 1 min	2.3751360(*)	.7166492	.001	.962899	3.787373
Hydrogen peroxide 35% 1 min	1.5563867(*)	.7166492	.031	.144150	2.968624
Hydrogen peroxide 35% 2 min	.5980000	.7166492	.405	-.814237	2.010237
Hydrogen peroxide 35% 3 min	.4737133	.7166492	.509	-.938524	1.885950
Hydrogen peroxide 35% 4 min	.4816267	.7166492	.502	-.930610	1.893864
Hydrogen peroxide 35% 5 min	.6375867	.7166492	.375	-.774650	2.049824
Hydrogen peroxide 35% 10 min	1.4029467	.7166492	.052	-.009290	2.815184
Hydrogen peroxide 30% 1 min	1.7769533(*)	.7166492	.014	.364716	3.189190
Hydrogen peroxide 30% 2 min	.8911800	.7166492	.215	-.521057	2.303417

	Hydrogen peroxide 30% 3 min	.4415533	.7166492	.538	-.970684	1.853790
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	.1374133	.7166492	.848	-1.274824	1.549650
	Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.7357667(*)	.7166492	.016	-3.148004	-.323530
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	-.4841400	.7166492	.500	-1.896377	.928097
Hydrogen peroxide 30% 10 min	HF 4% 15 sec	5.9451133(*)	.7166492	.000	4.532876	7.357350
	HF 4% 30 sec	4.6604960(*)	.7166492	.000	3.248259	6.072733
	HF 4% 1 min	4.1109027(*)	.7166492	.000	2.698666	5.523140
	Hydrogen peroxide 35% 1 min	3.2921533(*)	.7166492	.000	1.879916	4.704390
	Hydrogen peroxide 35% 2 min	2.3337667(*)	.7166492	.001	.921530	3.746004
	Hydrogen peroxide 35% 3 min	2.2094800(*)	.7166492	.002	.797243	3.621717
	Hydrogen peroxide 35% 4 min	2.2173933(*)	.7166492	.002	.805156	3.629630
	Hydrogen peroxide 35% 5 min	2.3733533(*)	.7166492	.001	.961116	3.785590
	Hydrogen peroxide 35% 10 min	3.1387133(*)	.7166492	.000	1.726476	4.550950
	Hydrogen peroxide 30% 1 min	3.5127200(*)	.7166492	.000	2.100483	4.924957
	Hydrogen peroxide 30% 2 min	2.6269467(*)	.7166492	.000	1.214710	4.039184
	Hydrogen peroxide 30% 3 min	2.1773200(*)	.7166492	.003	.765083	3.589557
	Hydrogen peroxide 30% 4 min	1.8731800(*)	.7166492	.010	.460943	3.285417
	Hydrogen peroxide 30% 5 min	1.7357667(*)	.7166492	.016	.323530	3.148004
	Hydrogen peroxide 24% 10 min	1.2516267	.7166492	.082	-.160610	2.663864
Hydrogen peroxide 24% 10 min	HF 4% 15 sec	4.6934867(*)	.7166492	.000	3.281250	6.105724
	HF 4% 30 sec	3.4088693(*)	.7166492	.000	1.996632	4.821106
	HF 4% 1 min	2.8592760(*)	.7166492	.000	1.447039	4.271513

Hydrogen peroxide 35% 1 min	2.0405267(*)	.7166492	.005	.628290	3.452764
Hydrogen peroxide 35% 2 min	1.0821400	.7166492	.132	-.330097	2.494377
Hydrogen peroxide 35% 3 min	.9578533	.7166492	.183	-.454384	2.370090
Hydrogen peroxide 35% 4 min	.9657667	.7166492	.179	-.446470	2.378004
Hydrogen peroxide 35% 5 min	1.1217267	.7166492	.119	-.290510	2.533964
Hydrogen peroxide 35% 10 min	1.8870867(*)	.7166492	.009	.474850	3.299324
Hydrogen peroxide 30% 1 min	2.2610933(*)	.7166492	.002	.848856	3.673330
Hydrogen peroxide 30% 2 min	1.3753200	.7166492	.056	-.036917	2.787557
Hydrogen peroxide 30% 3 min	.9256933	.7166492	.198	-.486544	2.337930
Hydrogen peroxide 30% 4 min	.6215533	.7166492	.387	-.790684	2.033790
Hydrogen peroxide 30% 5 min	.4841400	.7166492	.500	-.928097	1.896377
Hydrogen peroxide 30% 10 min	-1.2516267	.7166492	.082	-2.663864	.160610

* The mean difference is significant at the .05 level.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 แสดงการทดสอบการกระจายปกติของข้อมูลกลุ่มเดียวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน

Tests of Normality

Group	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BondStrength Hydrogenperoxide 30% 5 min	.161	15	.200*	.966	15	.802
Hydrogenperoxide 24% 10 min	.175	15	.200*	.881	15	.050

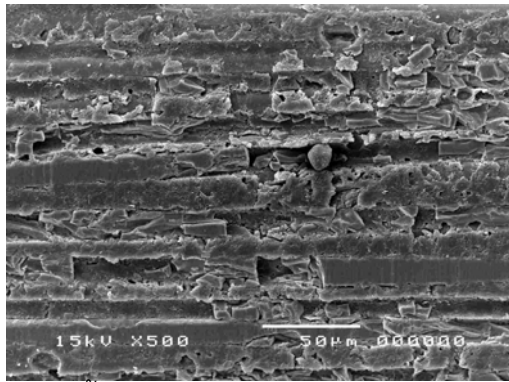
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

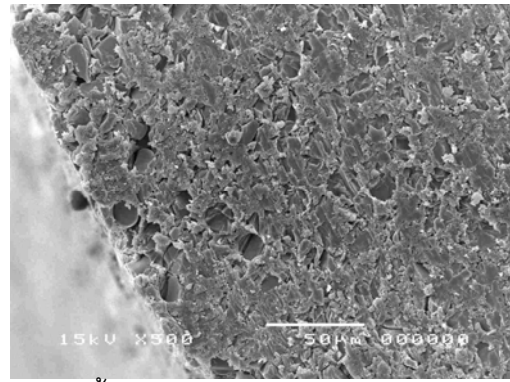
ตารางที่ 18 แสดงการทดสอบ T-test กลุ่มเดียวฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน

Independent Samples Test

	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
BondStreng Equal variances ass	.253	.619	-1.959	28	.060	.6431992	.3282816	1.31565	0.292552
Equal variances not assumed			-1.959	27.999	.060	.6431992	.3282816	1.31565	0.292559

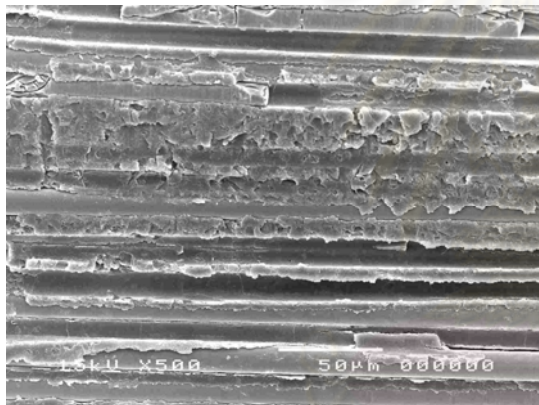


พื้นผิวเดือยพัน (ขยาย 500 เท่า)

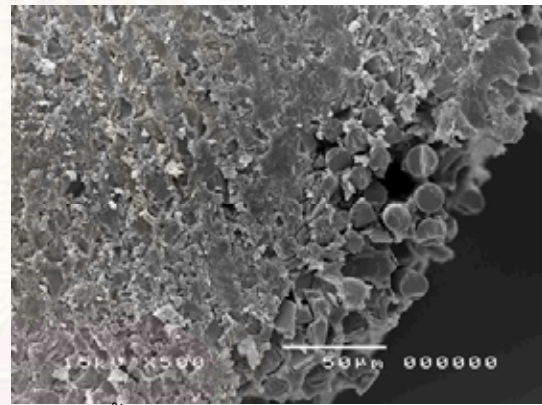


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 14 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิว

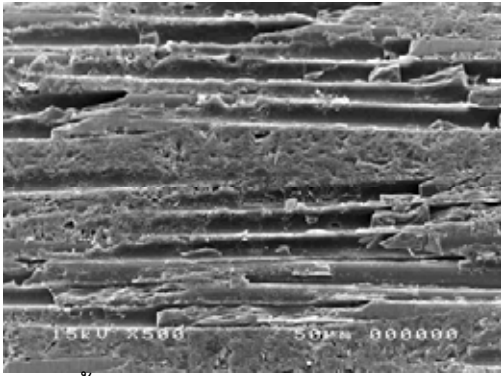


พื้นผิวเดือยพัน (ขยาย 500 เท่า)

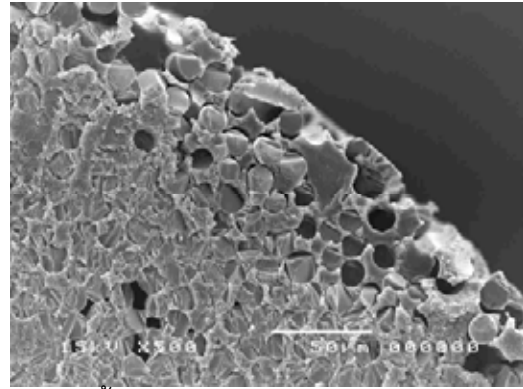


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 15 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 15 วินาที

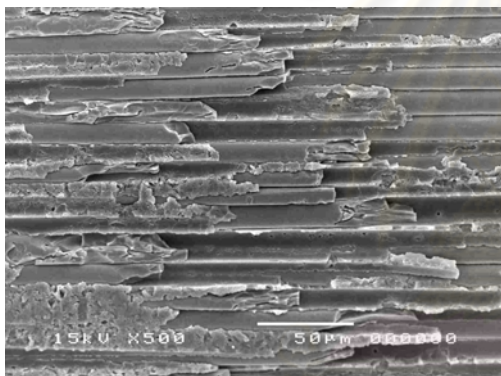


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

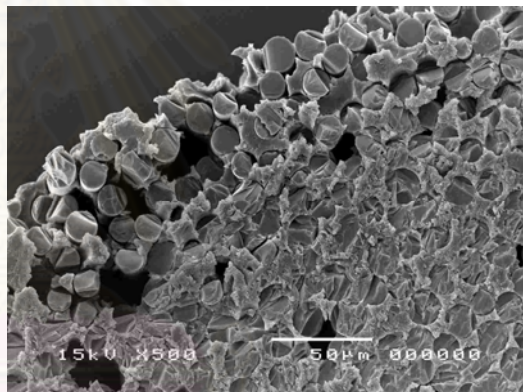


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 16 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 30 วินาที

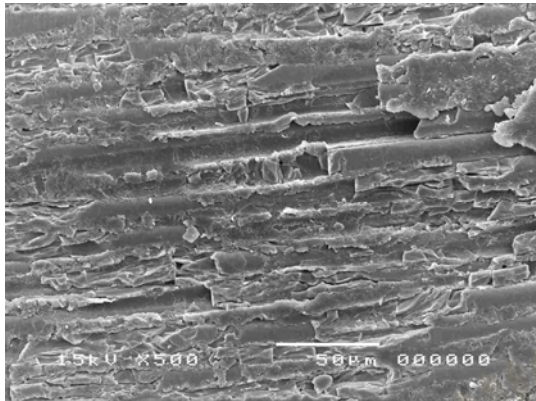


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

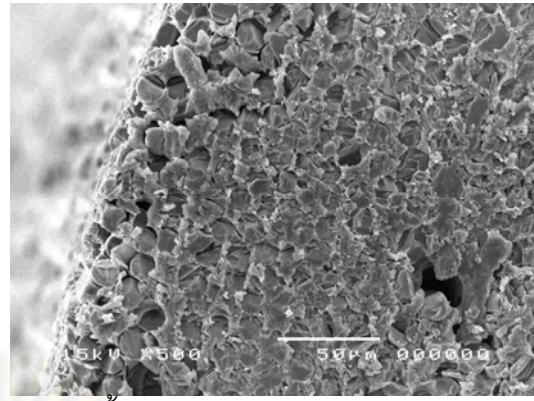


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 17 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 60 วินาที

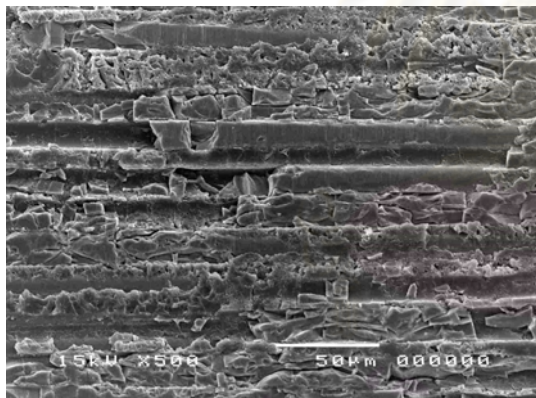


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

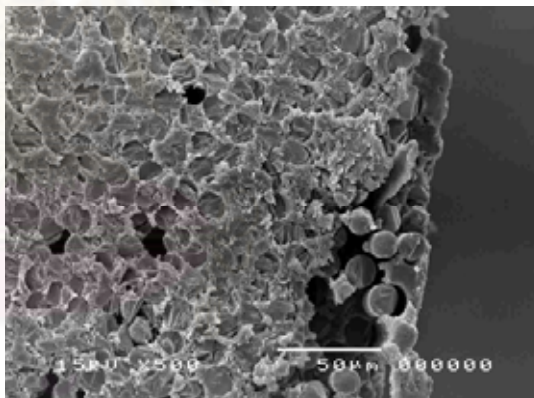


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 18 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 1 นาที

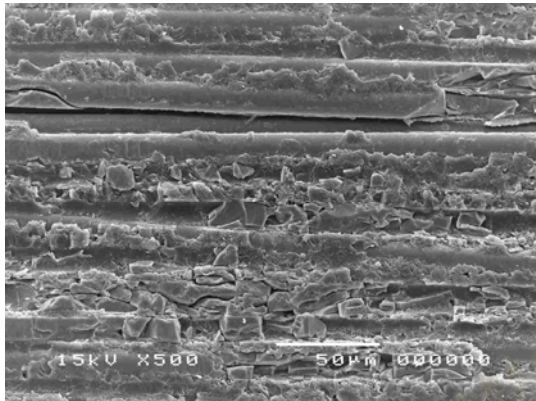


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

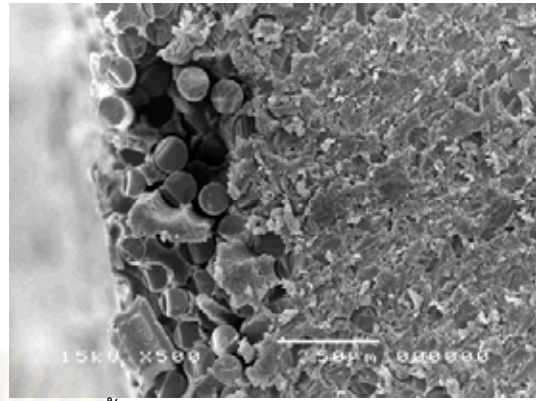


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 19 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 2 นาที

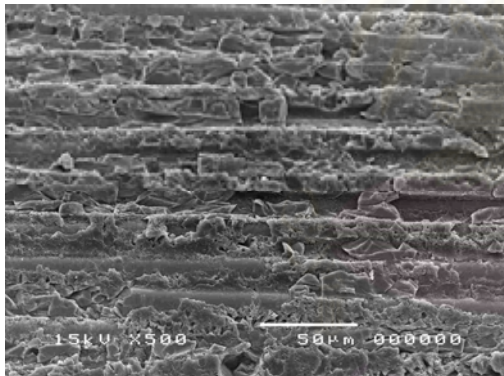


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

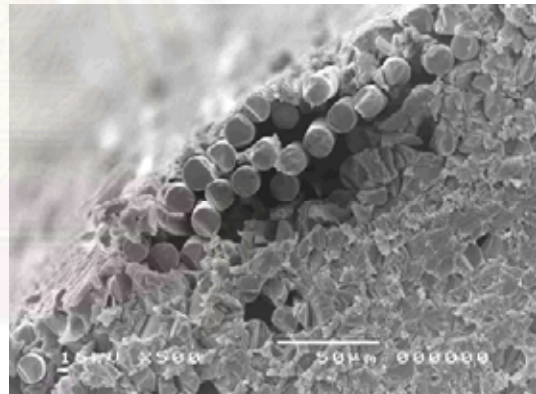


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 20 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 3 นาที

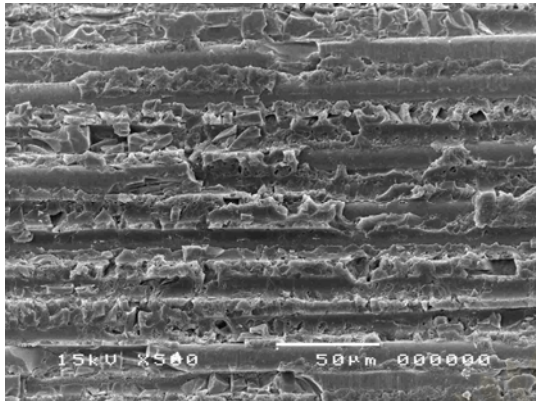


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

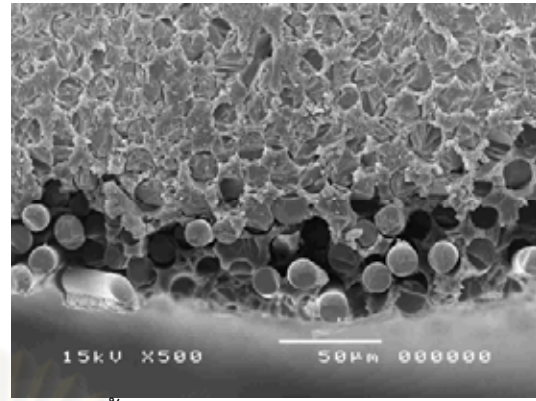


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 21 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 4 นาที

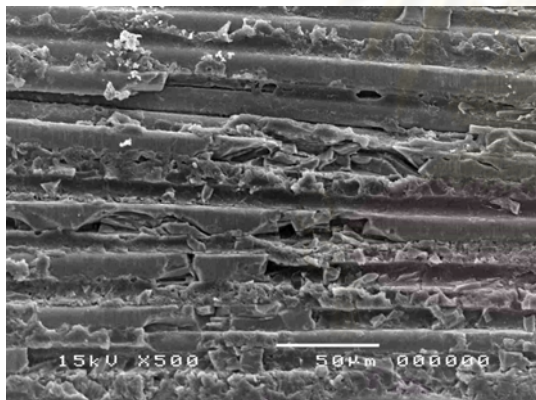


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

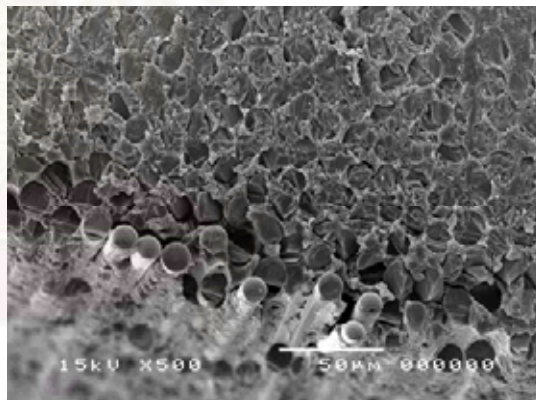


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 22 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที

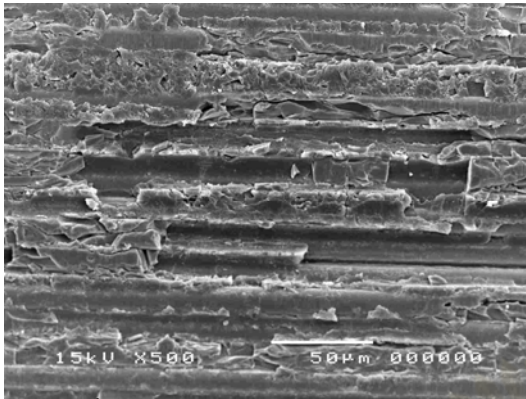


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

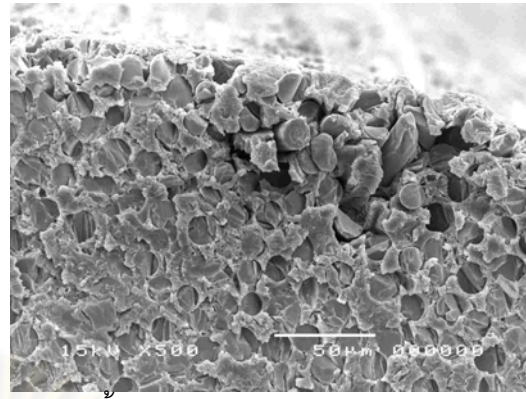


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 23 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 10 นาที

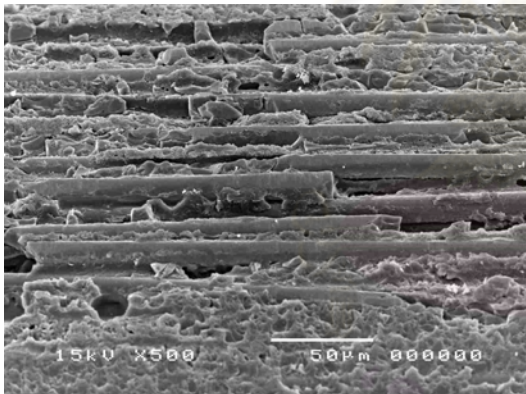


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

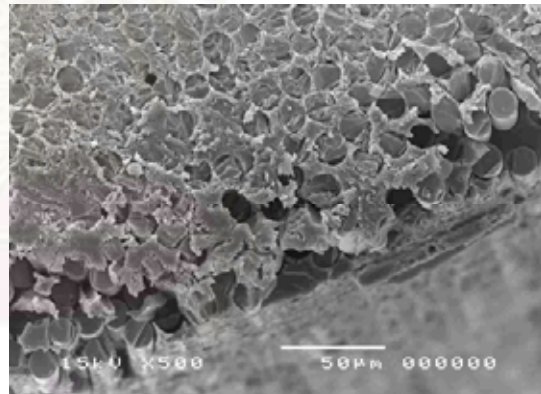


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 24 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 1 นาที

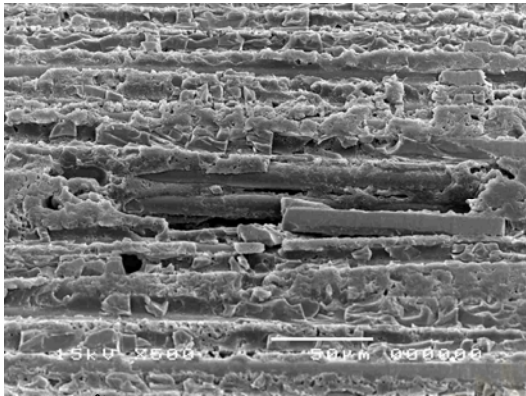


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

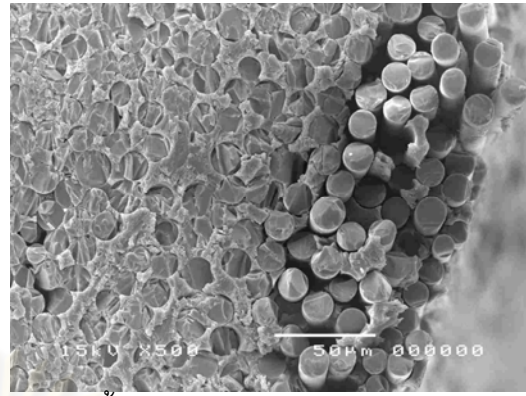


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 25 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 2 นาที

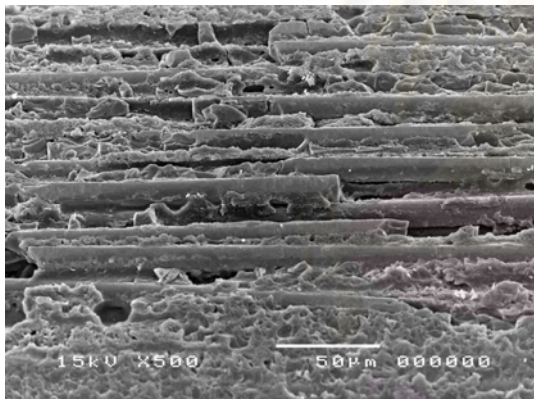


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

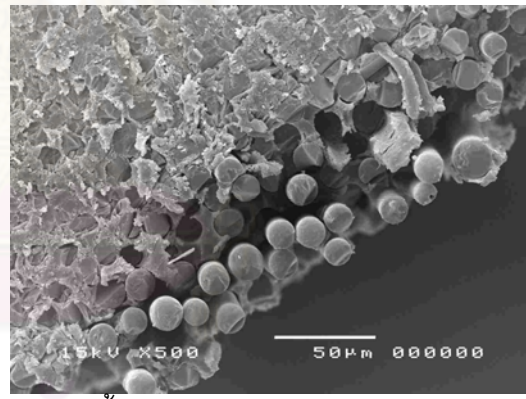


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 26 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 3 นาที

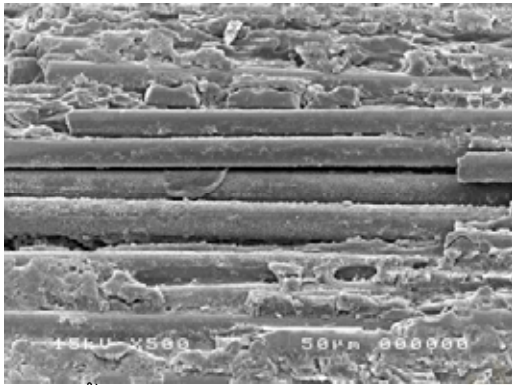


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

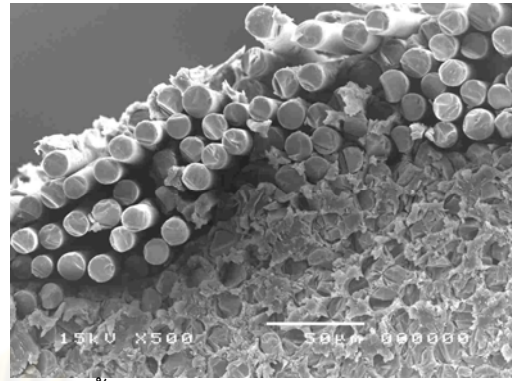


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 27 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 4 นาที

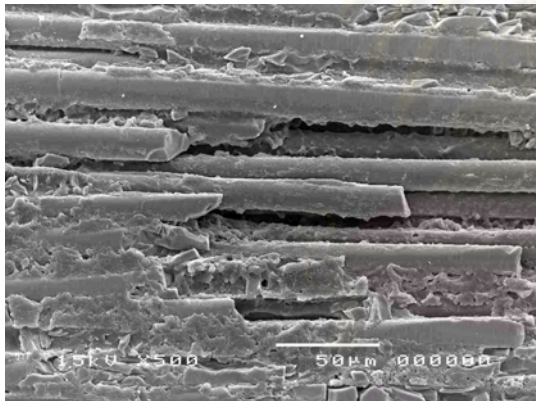


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

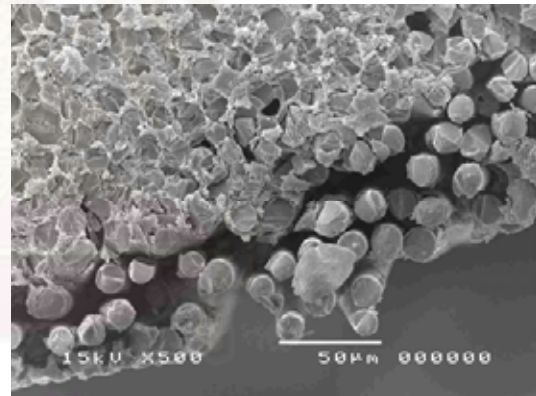


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 28 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 5 นาที

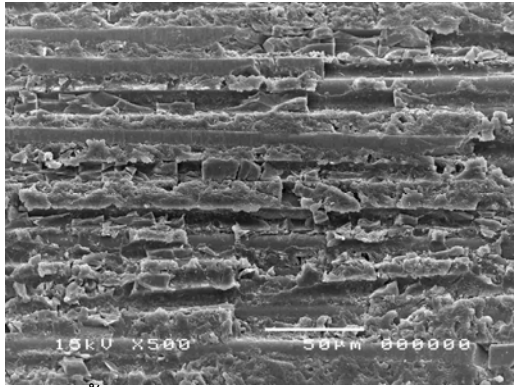


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

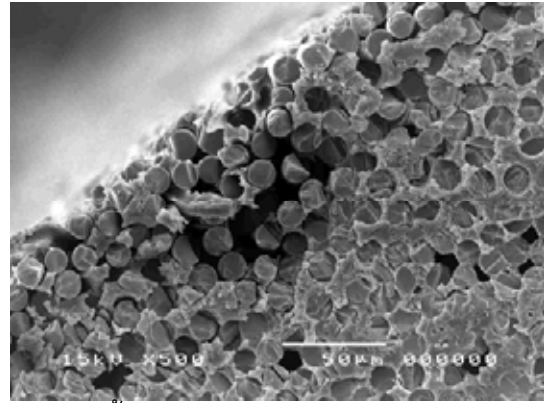


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 29 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 10 นาที

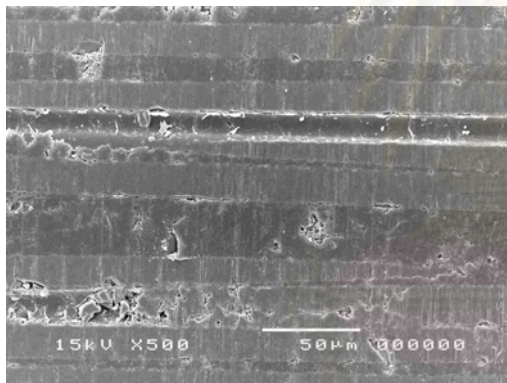


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

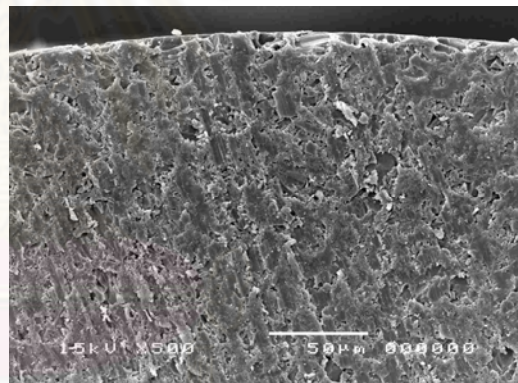


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 30 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยแก้วที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที

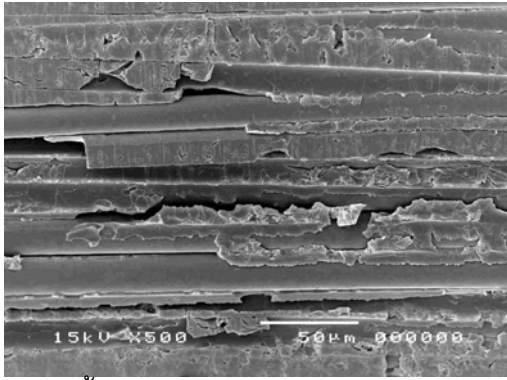


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

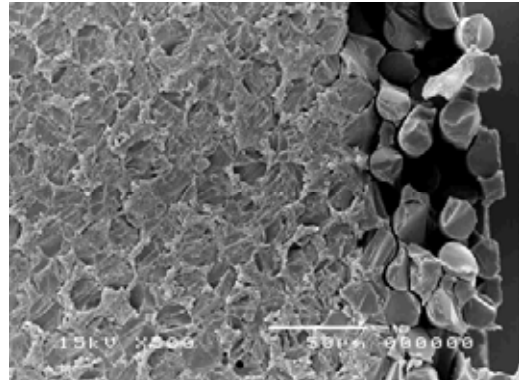


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 31 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิว



พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

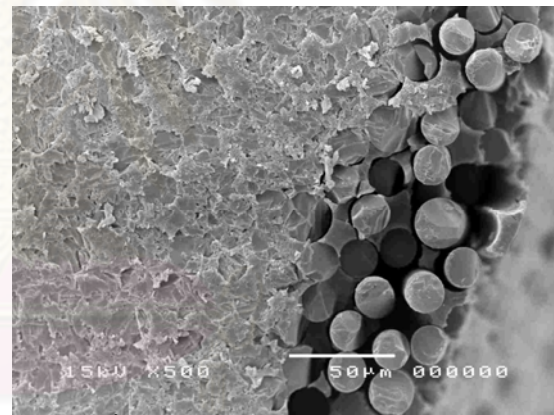


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 32 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 15 วินาที

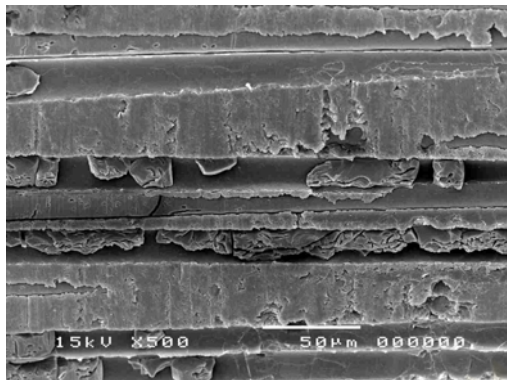


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

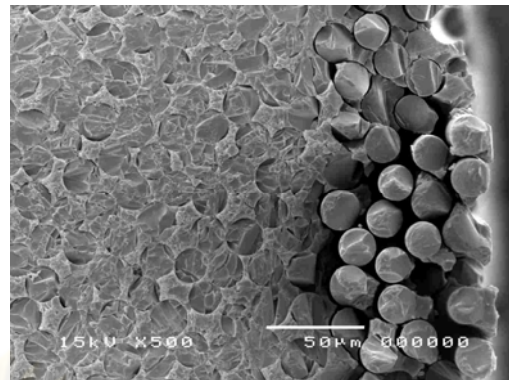


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 33 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 30 วินาที

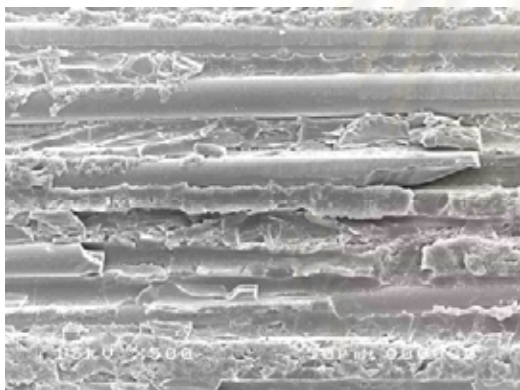


พื้นผิวเดือยพิน (ขยาย 500 เท่า)

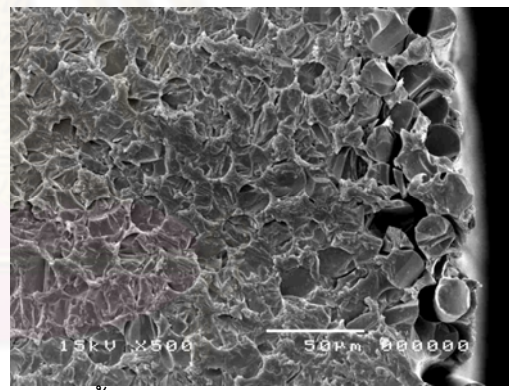


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 34 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพินสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 60 วินาที

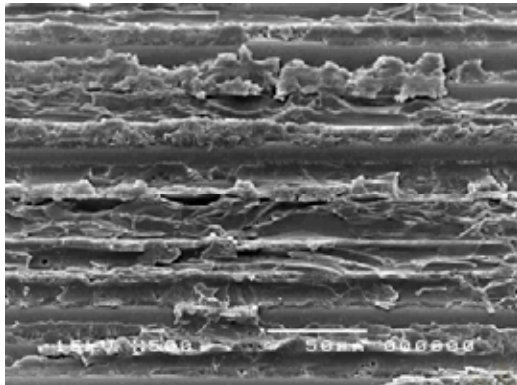


พื้นผิวเดือยพิน (ขยาย 500 เท่า)

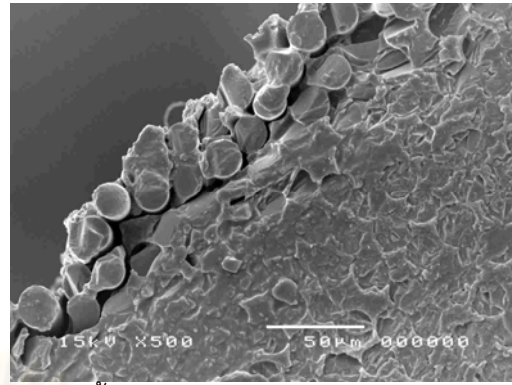


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 35 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพินสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 1 นาที

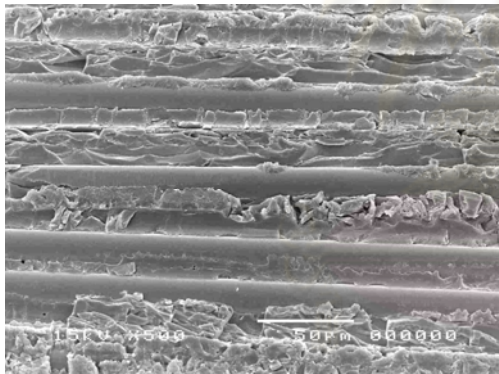


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

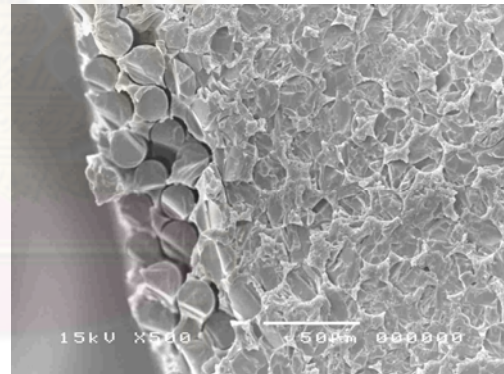


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 36 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคอตซซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 2 นาที

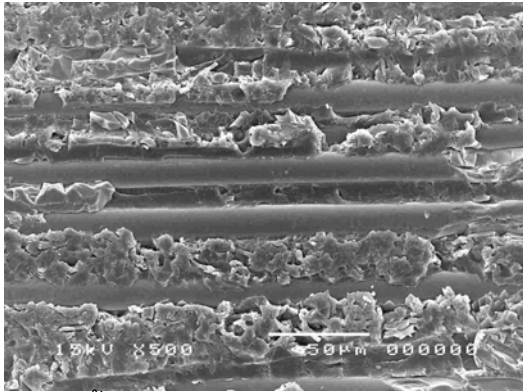


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

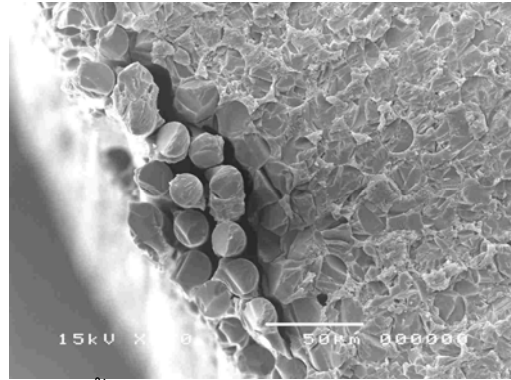


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 37 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคอตซซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 3 นาที

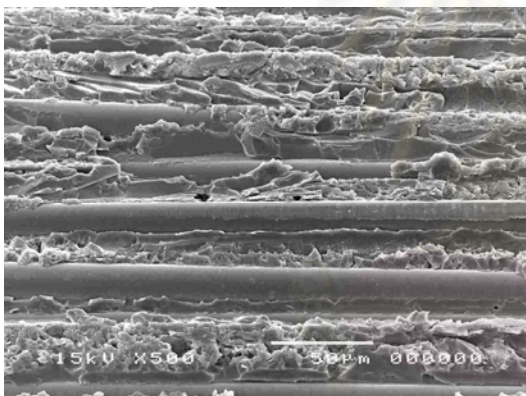


พื้นผิวเดือยฟัน (ขยาย 500 เท่า)

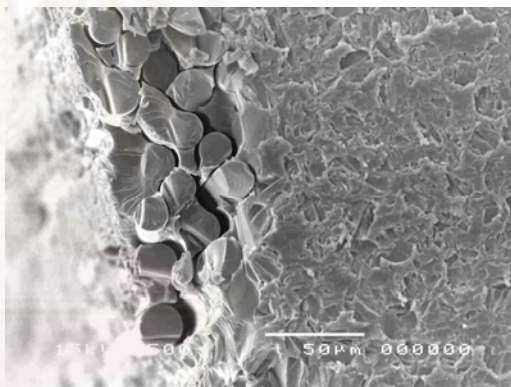


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 38 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 4 นาที

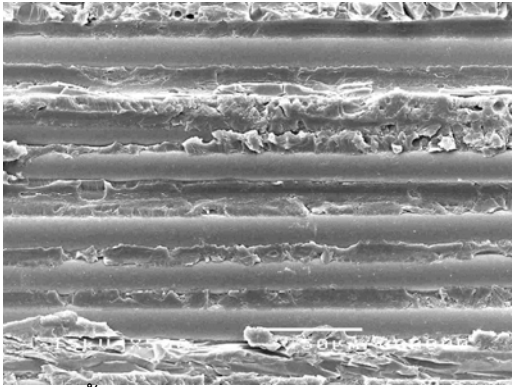


พื้นผิวเดือยฟัน (ขยาย 500 เท่า)

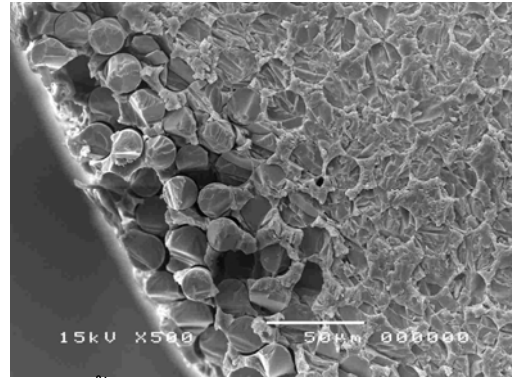


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที

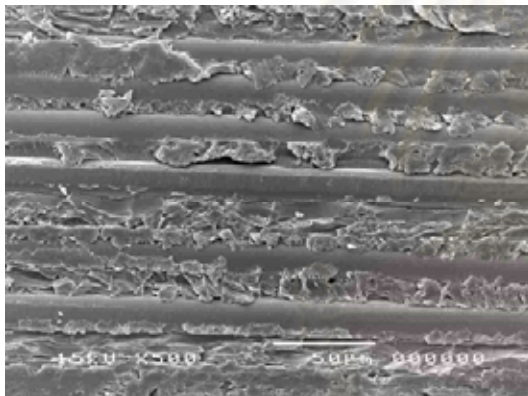


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

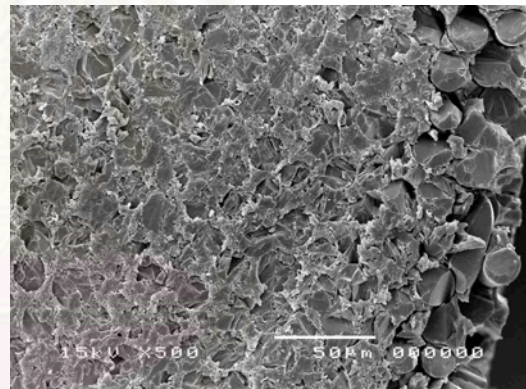


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 40 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 10 นาที

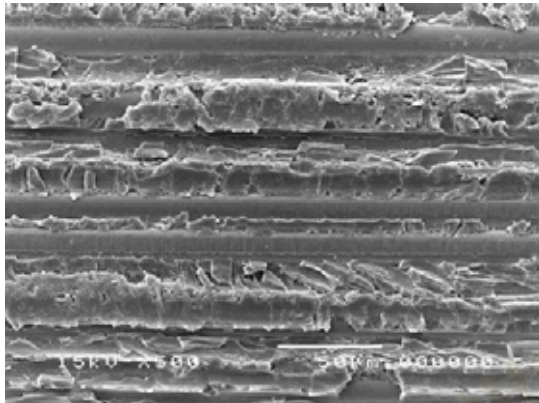


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

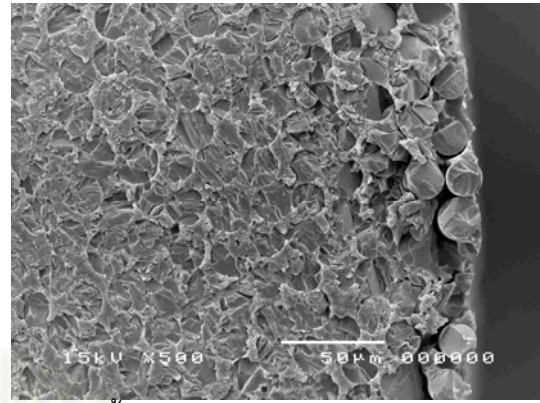


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 41 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 1 นาที

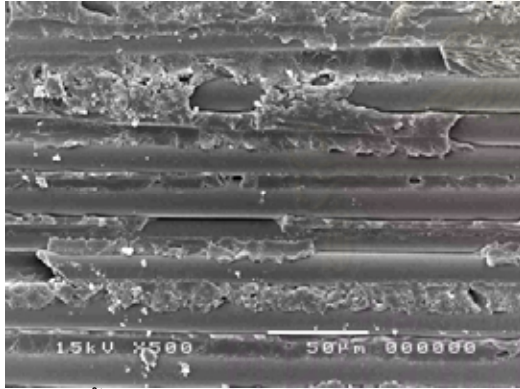


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

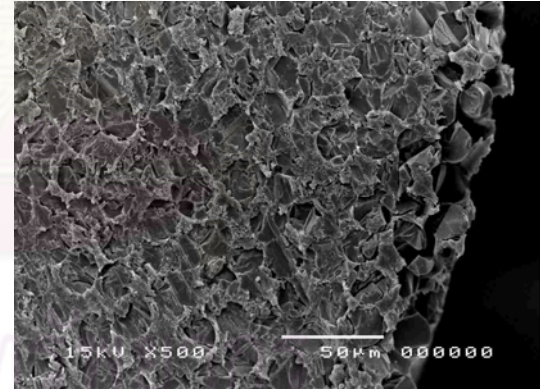


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิเตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 2 นาที

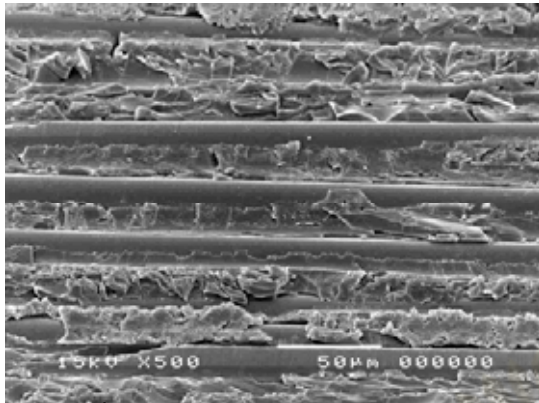


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

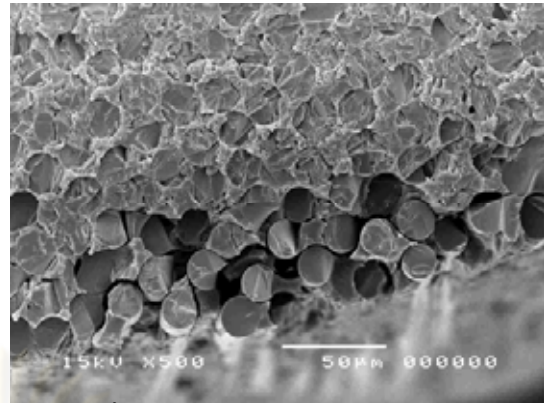


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 43 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิเตเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 3 นาที

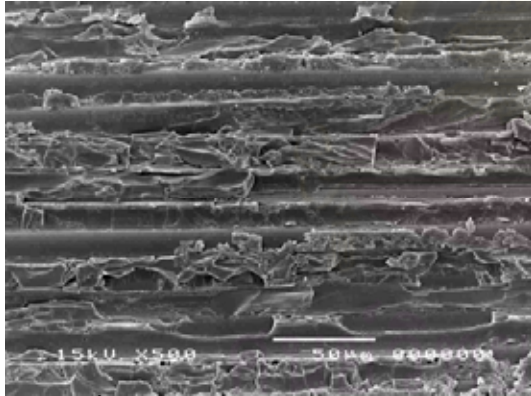


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

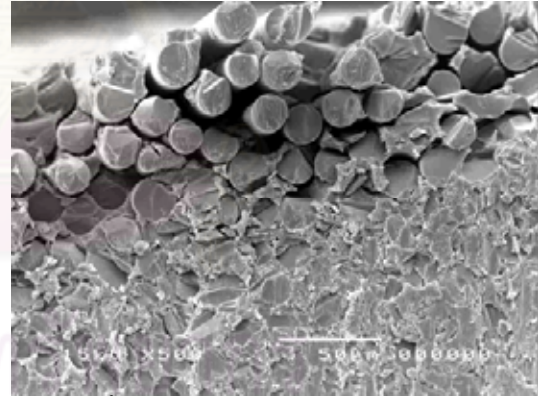


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 44 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิทีเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 4 นาที

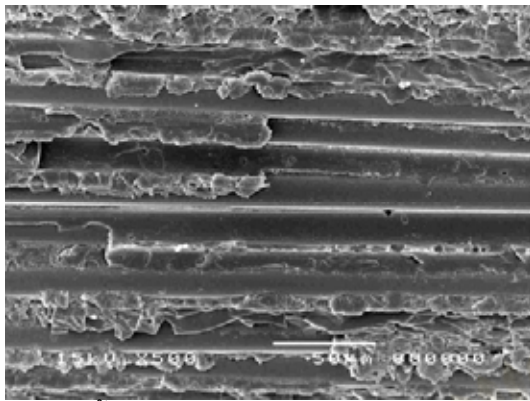


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

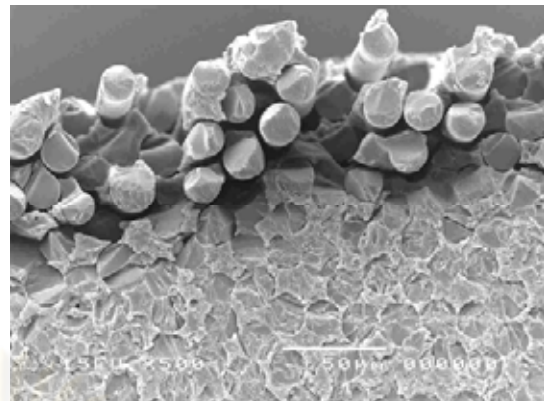


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 45 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิทีเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 5 นาที

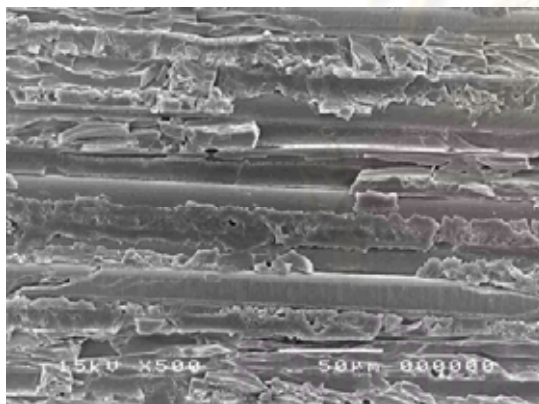


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)

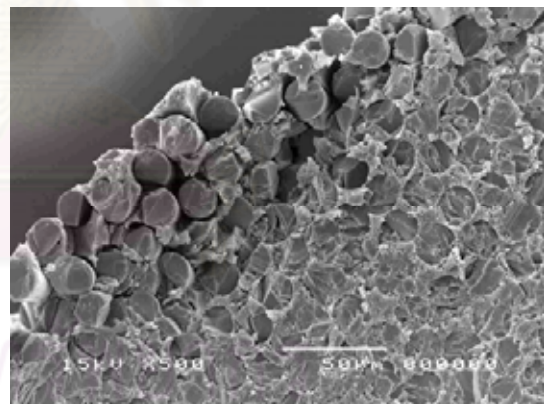


พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 46 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิทีเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่เวลา 10 นาที

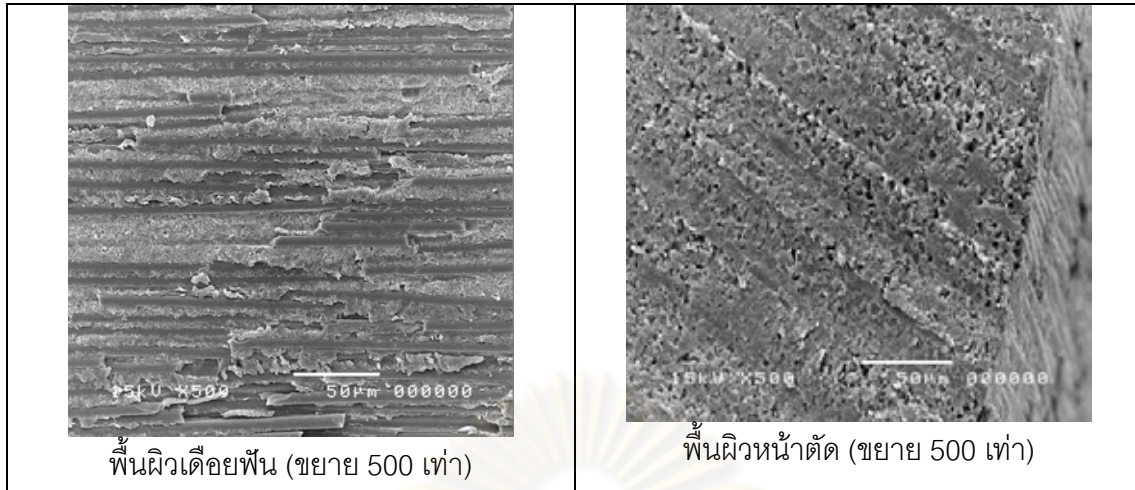


พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)



พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

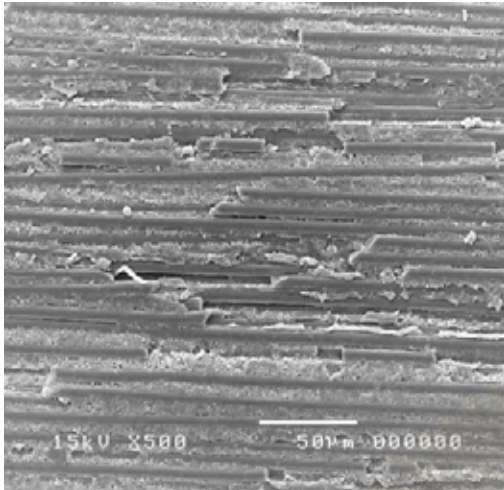
รูปที่ 47 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอลิทีเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที



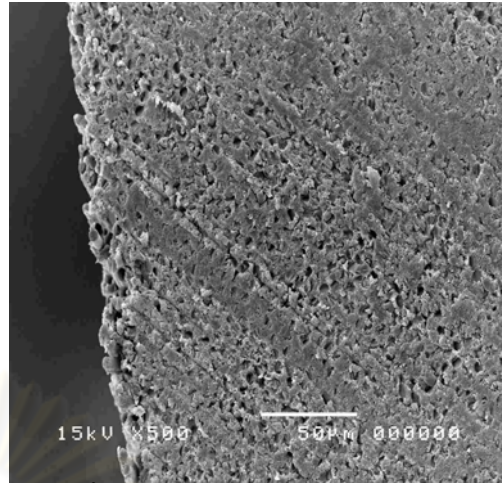
รูปที่ 48 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดี่ยยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิว



รูปที่ 49 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดี่ยยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 ที่เวลา 10 นาที



พื้นผิวเดือยพื้น (ขยาย 500 เท่า)



พื้นผิวหน้าตัด (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 50 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวเดือยพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่เวลา 5 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสราลี อรรถยะพิศุทธิ์ เกิดที่เมืองฮอดตาวา ประเทศแคนาดา เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523 สัญชาติไทย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต พ.ศ. 2547 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ปัจจุบันทำงานเป็นพนักงานของมหาวิทยาลัยตำแหน่ง ทันตแพทย์ โรงพยาบาลศิริราช คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล และได้ลาศึกษาต่อในหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย