

ผลของการปรับสภาพผนังคลองรากฟันต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์

นางสาว สุภาพร ดุรงค์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF ROOT CANAL WALL TREATMENTS ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF FIBER  
REINFORCED COMPOSITE POSTS USING SELF-ADHESIVE RESIN CEMENT

Miss Supaporn Durongwong

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการปรับสภาพผนังคลองรากฟัน ต่อค่ากำลังแรงยึดแบบ  
ผลึกของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อใช้เซลฟ์แอคทีฟเร  
ซินซีเมนต์

โดย

นางสาวสุภาพร ดุรงค์วงศ์

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรามารณ์ ทัศนจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.อรพินท์ แก้วปลั่ง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วรณธนะ สัตตบรรณสุข)

สุภาพร ดุรงค์วงศ์ : ผลของการปรับสภาพผนังคลองรากฟันต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟัน  
คอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อใช้เซลฟ์แอเดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (EFFECT OF ROOT CANAL WALL  
TREATMENTS ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF FIBER REINFORCED COMPOSITE  
POSTS USING SELF-ADHESIVE RESIN CEMENT)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทพญ. อิศราวัลย์ บุญศิริ 95 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมิน ค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเรซินซีเมนต์ชนิด ต่างๆ เมื่อยึด  
เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน เพื่อตรวจสอบผลการปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อน ยึด  
เดือยฟันด้วยเซลฟ์แอเดฮีซีฟเรซินซีเมนต์และเปรียบเทียบตำแหน่งของรากฟันต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก โดย  
ใช้ฟันมนุษย์ที่กรามน้อยล่างรากเดี่ยวจำนวน 60 ซี่ แบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่โดยวิธีสุ่ม ตัดตัวฟันออก  
รักษารากฟันและเตรียมพื้นที่สำหรับเดือยฟันไฟบริเคิลียร์ เบอร์ 3 เตรียมคลองรากฟันตามกลุ่มทดลองดังนี้  
กลุ่มที่ 1 ใช้สารยึดติดอี๊กไซท์ดีเอสซีและ วาริโอลิงคทู กลุ่มที่ 2 ใช้สารยึดติดอีดีไพโรเมอร์ทูและ พานาเวียเอฟ  
2.0 กลุ่มที่ 3 ใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม กลุ่มที่ 4-6 ปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อนยึดเดือยฟันด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม  
ด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 5 วินาที หรืออีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 นาน 60 วินาที  
และอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 นาน 60 วินาที ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5  
นาน 15 วินาที ตามลำดับ ตัดฟันทุกซี่เป็น 6 ชั้น แต่ละชั้นหนา  $1 \pm 0.05$  มิลลิเมตร เป็นตัวแทนของส่วนต้น  
กลางและปลายรากฟัน ทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกด้วยเครื่องทดสอบอินสตรอน ความเร็วของหัวกด  
0.5 มิลลิเมตรต่อนาที นำ ข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางและเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ ที่  
ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  และวิเคราะห์ ลักษณะ การแตกที่เกิดขึ้นของทุกชั้นทดสอบ ผลการทดลองพบว่า  
ปัจจัยเรื่องตำแหน่งของรากฟันส่งผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 1 เท่านั้น ( $P < 0.05$ ) ค่ากำลังแรงยึด  
แบบผลึกของกลุ่มที่ 1 ในส่วนต้นมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 ตลอดคลองรากฟัน ค่ากำลังแรงยึดของกลุ่มที่ 1  
ในส่วนกลางรากฟันมีค่า สูงกว่ากลุ่มที่ 2 แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ 3 ตลอดคลองรากฟัน ( $P > 0.05$ ) โดยค่า  
กำลังแรงยึดแบบผลึกของกลุ่มที่ 1-3 ในส่วนปลายรากฟันมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) นอกจากนั้นพบว่าค่า  
กำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มที่ 4 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 3 5 และ 6 ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ 3 และ 6 มีค่าไม่  
ต่างกัน ( $P > 0.05$ )

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อ นิสิต.....

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

# # 5176140232 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : PUSH OUT BOND STRENGTH / SELF ADHESIVE RESIN CEMENT / ROOT CANAL SURFACE TREATMENT

SUPAPORN DURONGWONG : EFFECT OF ROOT CANAL WALL TREATMENTS ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF FIBER REINFORCED COMPOSITE POSTS USING SELF-ADHESIVE RESIN CEMENT. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR ISSARAWAN BOONSIRI, 95 pp.

The objectives of the study were to evaluate push out bond strength of FRC posts luted with different resin cement systems, to investigate the effect of root canal surface treatments before FRC posts luted with self adhesive resin cement and compare different root regions on push out bond strength. Sixty single-rooted mandibular premolars were randomly divided in six groups (n=10), decoronated, endodontically treated and prepared post spaces for Fibrekleer<sup>®</sup> no.3. Root canal surfaces were treated as follows, group 1; applied Excite<sup>®</sup> DSC and Variolink<sup>®</sup> II. Group 2; applied ED primer II and Panavia<sup>™</sup> F 2.0. Group 3; applied RelyX<sup>™</sup> Unicem. Group 4-6; root canal surfaces were treated before before posts were luted with RelyX<sup>™</sup> Unicem, with 37% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> for 5 s, 17% EDTA for 60 s, and 17% EDTA for 60 s +2.5% NaOCl for 15 s, respectively. Each root was sectioned to 6 slices, each 1±0.05 mm thickness to represent the coronal, middle and apical regions. Push out tests were performed by an Instron<sup>®</sup> machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Data were analyzed by two-way ANOVA and Tukey test at P<0.05. Every specimen were evaluated for modes of failure. The results showed that bond strength was significantly affected by root regions only in group 1(P<0.05). Push out bond strength of group 1 in coronal region was higher than group 2 and 3 for all regions (P<0.05). The bond strength of group 1 in middle region was higher than group 2 but not different from group 3 for all regions (P>0.05). Push out bond strengths of group 1-3 in apical region were not significantly different (P>0.05). Moreover, push out bond strength of group 4 was significantly higher than group 3, 5, and 6 (P<0.05). Whereas, there was no significant difference between group 3 and 6 (P>0.05).

Department: Prosthodontics

Student's Signature.....

Field of Study: Prosthodontics

Advisor's Signature.....

Academic Year: 2011

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ หญิงอิศราวัลย์ บุญศิริ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ดูแลเอาใจใส่ และชี้แนะแนวทางในการทำงานให้มีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ดูแลเอาใจใส่ และชี้แนะแนวทางในการทำงานที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้ความรู้และให้คำปรึกษาทางด้านสถิติในงานวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือทุกครั้ง และช่วยให้สามารถทำงานวิจัยได้อย่างราบรื่น

ขอขอบพระคุณบริษัท เอส ดี เอส เคอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อ貸ยฟันคอมโพสิต เสริมเส้นใยยี่ห่อไฟบริเคลียร์และบริษัท สามเอ็ม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อ貸ยไรเอ็กซ์ยูนีเซมมา ทำการทดลองในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขให้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ ขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนทุกคน และผู้ที่มีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
บทที่ 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
การบูรณะฟันหลังการรักษารากฟัน.....	7
วิธีการบูรณะฟันหลังรักษารากฟัน.....	7
การบูรณะโดยการอุดปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน.....	7
การบูรณะด้วยเอ็นโด-คราวน์ (Endo-crown).....	8
ก    การบูรณะด้วยออนเลย์.....	8
ก    การบูรณะด้วยเดือยและแกนอมัลกัมร่วมกับครอบฟัน.....	9
การบูรณะฟันด้วยแกนอมัลกัมหรือเรซินคอมโพสิตและหมุดร่วมกับครอบฟัน.....	10
การบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟันร่วมกับครอบฟัน.....	10
เดือยฟัน.....	10
เดือยฟันโลหะหล่อ.....	10
เดือยฟันสำเร็จรูป.....	11
เรซินซีเมนต์.....	15
โททอลเอิร์ทเรซินซีเมนต์.....	17
เซลฟ์เอิร์ทเรซินซีเมนต์.....	18
เซลฟ์แอดฮีซิฟเรซินซีเมนต์.....	22
คุณสมบัติต่างๆของเซลฟ์แอดฮีซิฟเรซินซีเมนต์.....	24
การศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซิฟเรซินซีเมนต์	
และการปรับสภาพฟันก่อนการใช้เซลฟ์แอดฮีซิฟเรซินซีเมนต์.....	28
ชั้นสเมียร์.....	32

	หน้า
สารต่างๆที่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์.....	33
วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกในพื้นที่บูรณะ ด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยและเรซินซีเมนต์.....	35
บทที่ 3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	39
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	39
วิธีการวิจัย.....	42
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
บทที่ 4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
บทที่ 5. อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	60
อภิปรายผล.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	66
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	95



**สารบัญตาราง**

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารยัดติระบบเซลฟ์ฮีทซ์.....21

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์.....27

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....41

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของกลุ่มทดลองที่ 1-3..... 55

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่มีลักษณะการแตกร้าวแบบต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 1-3.....57

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 ของกลุ่มทดลองที่ 3-6.....58

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่มีลักษณะการแตกร้าวแบบต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 3-6..... 59

**ภาคผนวก**

ตาราง ก การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึก  
 เมื่อใช้พื้นที่ผิวของเดือยฟันในการคำนวณเปรียบเทียบกับเมื่อใช้พื้นที่ผิว  
 ของคลองรากฟันในการคำนวณ.....85

ตาราง ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1-3..... 85

ตาราง ค การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวนด้วยการใช้การทดสอบ  
 ของลีวิน (Levene's test) ของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มทดลองที่ 1-3..... 85

ตาราง ง การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวด้วยการวิเคราะห์  
 ความแปรปรวนทางเดียวในกลุ่มทดลองที่ 1-3.....86

ตาราง จ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางระหว่างกลุ่มทดลองที่ 3-6.....86

ตาราง ฉ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวนด้วยการใช้การทดสอบ  
 ของลีวิน (Levene's test) ของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มทดลองที่ 3-6..... 87

ตาราง ช การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวด้วยการวิเคราะห์  
 ความแปรปรวนทางเดียวในกลุ่มทดลองที่ 3-6.....87

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโมโนเมอร์หลักในระบบสารยึดติด และเรซินซีเมนต์.....	16
ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการเกิดพอลิเมอร์ด้วยแสงและ/หรือด้วยตัวเองของเมทาครีลเลต .....	17
ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ 10-เอ็มดีพีและฟินิลพี.....	19
ภาพที่ 4 แสดงความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์เมื่อ ค่าความเป็นกรดในไพรเมอร์มีค่าแตกต่างกัน .....	19
ภาพที่ 5 แสดงวิธีการทดสอบแรงยึดแบบเฉือน.....	35
ภาพที่ 6 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค .....	36
ภาพที่ 7 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงออก.....	37
ภาพที่ 8 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก.....	38
ภาพที่ 9 แสดงการแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 6 กลุ่ม.....	43
ภาพที่ 10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกรอเตรียมคลองรากฟันและเดือยฟันไฟบริเคลียร์ .....	45
ภาพที่ 11 สารยึดติดยี่ห้อเอ็กซ์ไฮทีดีเอสซีและเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทู .....	46
ภาพที่ 12 เซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 และอีดีไพรเมอร์ทู.....	47
ภาพที่ 13 เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อโรไลเอ็กซ์ยูนิเซม .....	48
ภาพที่ 14 นำรากฟันทดสอบยึดติดกับเครื่องสำรวจความขนาน .....	49
ภาพที่ 15 แสดงการยึดแท่งอะคริลิกบนเครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง และลงบล็อกซิลิโคนที่มีส่วนผสมอะคริลิกเรซิน.....	50
ภาพที่ 16 แสดงการตัดซี่ฟันทดสอบออกเป็นชั้นทดสอบที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้เป็นตัวแทนของรากฟันส่วนบน ส่วนกลางและส่วน ปลายรากฟันตำแหน่งละ 2 ซี่.....	51
ภาพที่ 17 เครื่องทดสอบสากลอินสตรอนรุ่น 8872.....	51
ภาพที่ 18 แสดงการวางชั้นทดสอบลงบนฐานโลหะ .....	52
ภาพที่ 19 แสดงการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก โดยหัด ของเครื่องทดสอบกดลงตรงกลางของเดือยฟันบนชั้นทดสอบ .....	52

ภาพที่ 20 แสดงการแทนค่าในสูตรคำนวณของขึ้นทดสอบ.....	53
ภาพที่ 21 แสดงการแบ่งลักษณะการแตกของขึ้นทดสอบ.....	54

### ภาคผนวก

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการแตกที่ขึ้นการยึดติดระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์.....	88
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกที่ขึ้นการยึดติดที่เดือยฟัน กับเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกในเดือยฟัน.....	88
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมที่ขึ้นการยึดติดของเรซินซีเมนต์ กับเนื้อฟันร่วมกับการแตกร้าวในชั้นเรซินซีเมนต์.....	89
ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการแตกร้าวภายในชั้นเรซินซีเมนต์.....	89
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการแตกที่ขึ้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน.....	90
ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกในชั้นการยึดติดระหว่าง เดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกในชั้นการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์.....	90
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกในชั้นการยึดติดระหว่าง เรซินซีเมนต์และเนื้อฟันร่วมกับการแตกในเนื้อฟัน.....	91
ภาพที่ 8 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 1.....	91
ภาพที่ 9 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 2.....	92
ภาพที่ 10 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 3.....	92
ภาพที่ 11 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 4.....	93
ภาพที่ 12 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 5.....	93
ภาพที่ 13 การตรวจสอบการแตกร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของกลุ่มที่ 6.....	94

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปีค.ศ. 2002 เซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เริ่มนำมาใช้งานในทางทันตกรรม ทำให้ขั้นตอนยึดชิ้นงานบูรณะในคลินิกลดลงเหลือขั้นตอนเดียว ไม่ต้องเตรียม พื้นผิวเนื้อฟันก่อนใช้ เพิ่มความสะดวกสบายในการทำงานให้แก่ทันตแพทย์ และเนื่องจากเรซินซีเมนต์ระบบนี้ไม่กำจัดชั้นสเมียร์บนผิวเนื้อฟันจึงลดโอกาสการเกิดอาการเสียวฟันหลังการใช้<sup>1</sup> จึงนิยมนำมาใช้ยึดชิ้นงานต่างๆ รวมถึงเดือยฟันในฟันที่รักษาคงรูปแล้วเซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยมีมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดอยู่ในส่วนประกอบเพื่อทำหน้าที่ปรับสภาพผิวฟันร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยา ทั้งในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองและด้วยแสง<sup>(1, 2)</sup> เมื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวเนื้อฟันที่ยึดด้วยเซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบชั้นยึดติดผสมผสานกันระหว่างเรซินซีเมนต์กับ พื้นผิวเนื้อฟันลักษณะขรุขระ หนา 2 ไมโครเมตรโดยไม่พบเรซินแทรก<sup>(3, 4)</sup> พบการละลายแร่ธาตุนิวตันบนบนสุดของเนื้อฟันเล็กน้อย ชั้นสเมียร์อุดปิดท่อนเนื้อฟันโดยไม่พบชั้นไฮบริด<sup>(5)</sup> ซึ่งชั้นไฮบริดเป็นลักษณะสำคัญที่แสดงถึงการยึดติดเชิงกลขนาดจุลภาค (micromechanical) ที่สามารถเพิ่มการยึดติดของสารยึดติดได้<sup>(3-5)</sup>

ผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เมื่อยึดในชั้นผิวเคลือบฟัน พบว่ามีค่าต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลล์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์<sup>(3, 6)</sup> เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนยึดด้วยเซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ ทำให้ค่ากำลังแรงยึดมีค่าสูงขึ้น<sup>(6, 7)</sup> ผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เมื่อยึดในชั้นพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟัน พบว่าค่ากำลังแรงยึดมีค่าต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์แต่มีค่าใกล้เคียงกับเซลล์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์<sup>(3, 6)</sup> เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก Hikita และคณะ<sup>(6)</sup> และ Wang และคณะ<sup>(8)</sup> พบว่าค่ากำลังแรงยึดของ เซลล์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ลดลง ชัดแย้งกับ Pisani-Proenca และคณะ<sup>(9)</sup> พบว่าค่ากำลังแรงยึดมีค่าสูงขึ้น และการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยสารละลายอีทีทีเอ ทำให้ค่ากำลังแรงยึดต่ำลง

Bitter และคณะ<sup>(10)</sup> ศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เมื่อใช้ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน พบว่าค่ากำลังแรงยึดมีค่าสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และมีค่าใกล้เคียงกับเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ในขณะที่การศึกษาของ Goracci และคณะ<sup>(11)</sup> พบว่าค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันที่ยึดด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ Sahafi และ Peutzfeldt<sup>(12)</sup> รายงานผลการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดซิตริกหรือล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอซี (ethylene diaminetetra acetic acid plus Cetavlon; EDTAC) ก่อนยึดเดือยฟันด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ พบว่าการปรับสภาพผนังคลองรากฟันไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผนังคลองรากฟัน

อย่างไรก็ตาม Mayhew และคณะ<sup>(13)</sup> พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยกรดซิตริกหรือกรดฟอสฟอริกแล้วล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ก่อนยึดเดือยฟันด้วยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันที่ยึดด้วยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Albashaireh และคณะ<sup>(14)</sup> ซึ่งพบว่าค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันที่ยึดด้วยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพผนังคลองรากฟัน ในขณะที่ Hayashi และคณะ<sup>(15)</sup> พบว่าเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนรากด้วยสารละลายอีดีทีเอซีหรือใช้อีดีทีเอร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ส่งผลให้ค่าความทนแรงเฉือนเนื้อฟันที่ยึดเรซินคอมโพสิตด้วยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าลดลง

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีหลายการศึกษา รายงานผลการใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน ให้ค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ปัจจุบันมีผลการศึกษายึดติด ของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ในคลองรากฟันที่ปรับสภาพ ผนังคลองรากฟัน ด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ไม่มากนัก และยังไม่แสดงผลรูปของวิธีการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันก่อนการยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีประสิทธิภาพ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก (push out bond strength) ของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย กับผนังคลองรากฟันเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกัน และศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างชนิดกันก่อนใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก

### คำถามของการวิจัย

1. ค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกัน มีค่าแตกต่างกันหรือไม่
2. การปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน ก่อนยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกหรือไม่
3. ตำแหน่งรากฟันที่ต่างกันให้ค่ากำลังแรงยึดที่แตกต่างกันหรือไม่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกันเมื่อใช้ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟันและค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์เมื่อใช้ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟันที่มีการปรับสภาพด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน

### สมมุติฐานของงานวิจัย

1. เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ต่างชนิดกัน และนำมายึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน
  - $H_0$  : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกัน เมื่อนำมายึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน มีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
  - $H_1$  : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเรซินซีเมนต์ต่างชนิดกัน เมื่อนำมายึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกเมื่อทำการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วย สารเคมีต่างชนิดกัน ก่อนยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์
  - $H_0$  : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกเมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างกัน ก่อนยึดเดือยฟันด้วยเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$H_1$ : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกเมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิว คลองราก ฟันด้วย สารเคมีต่างกัน ก่อนยึดด้วยฟันด้วยเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีค่าแตกต่างกัน ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเนื้อรากฟันบริเวณที่แตกต่างกันในคลองรากฟัน

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเนื้อ รากฟันในแต่ละส่วนของคลองรากฟัน มีค่า ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$H_1$ : ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเนื้อ รากฟันในแต่ละส่วนของคลองรากฟัน มีค่า แตกต่างกันในที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (experimental research) ในห้องปฏิบัติการ
2. ฟันที่ใช้ในการศึกษาเป็นฟันกรามน้อยล่างซี่แรกของมนุษย์ที่ถูกถอนออกมาโดยมีขนาด ความกว้างของรากฟันในแนวแกม-ลัน  $7 \pm 0.5$  มิลลิเมตรและแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง  $5 \pm 0.5$  มิลลิเมตรรากฟันยาวประมาณ 14 มิลลิเมตร
3. ฟันที่ใช้ในการศึกษาจะถูกเก็บในสารละลายโธมอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ก่อนนำมา ทำการทดสอบ
4. เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ใช้ คือ เดือยเส้นใยแก้วไฟบริเคลียร์ ( FibreKleer<sup>®</sup>, Kerr, Pentron, USA) ชนิดสอบ (taper) เบอร์ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายเดือยฟัน 0.9 มิลลิเมตร
5. โททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ที่ใช้เป็นเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทู ( Variolink<sup>®</sup> II, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) และใช้ สารยึดติดเอ็กไซท์ดีเอสซี ( Excite<sup>®</sup> DSC adhesive bonding, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)
6. เซฟต์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ที่ใช้เป็นเรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 (Panavia<sup>™</sup> F 2.0, Kuraray Medical, Japan) และใช้ร่วมกับไพรเมอร์ระบบเซฟต์เอ็ทซ์ยี่ห้ออีดีไพรเมอร์ทู (ED primer II, Kuraray Medical, Japan)

7. เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่ใช้เป็นเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอกซ์ยูนิเซม ( RelyX™ Unicem, 3M ESPE, USA)
8. เตรียมขึ้นทดสอบในการทดสอบด้วยวิธีการผลึก จากวิธีการศึกษาของ Erdemir และคณะ<sup>16</sup>

### ข้อตกลงเบื้องต้น

การทดลองนี้ทำในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้อ้างอิงถึงการทดลองในสิ่งมีชีวิต ทำการทดลองโดยผู้ทำการทดลองคนเดียวตลอดกระบวนการทดลอง และใช้เครื่องทดสอบเดียวกันตลอดการศึกษาในห้องทันตวัสดุศาสตร์ อาคารสมเด็จย่า ชั้น 9 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อุณหภูมิล้าง

### ข้อจำกัดการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถจำลองสภาวะในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการวิจัยนี้เป็นเพียงการทำนายแนวโน้มของผลการศึกษานี้เมื่อนำไปใช้จริงในคลินิก

### คำสำคัญ

adhesive คือ สารยึดติด

fiber reinforced composite post คือ เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

fracture mode คือ ลักษณะการแตก

push out bond strength คือ ค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก

push out test คือ การทดสอบแบบผลึก

primer คือ ไพรเมอร์

self adhesive resin cement คือ เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์



### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประเมินประสิทธิภาพการยึดติดของเซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในการยึดเดือยฟันและผนังคลองรากฟัน
2. สามารถประเมินประสิทธิภาพของการปรับสภาพเนื้อฟันในคลองรากฟันด้วยวิธีต่างๆก่อนการใช้เซลล์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์
3. เป็นแนวทางในการเลือกชนิดของเรซินซีเมนต์และวิธีการปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อนการยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

### การออกแบบการวิจัย

วิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### การบูรณะฟันหลังการรักษารากฟัน

ในอดีตฟันที่ได้รับการรักษารากมักได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟันเสมอ เนื่องจากฟันที่ผ่านการรักษารากมาแล้ว มักมีเนื้อฟันส่วนตัวฟันเหลืออยู่น้อย เพราะเกิดการสูญเสียเนื้อฟันจากการฉุดและการเปิดทางเพื่อทำการรักษารากฟัน และเชื่อว่าฟันที่ได้รับการรักษารากมีความเปราะมีความแข็งแรงลดลงการใส่เดือยฟันช่วยเพิ่มการยึดอยู่กับแกนฟันและครอบฟัน<sup>(17, 18)</sup> และเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟัน<sup>(19)</sup> รวมทั้งช่วยกระจายแรงที่มากระทำกับฟันให้ลงตามแนวรากฟัน<sup>(20)</sup> ต่อมาในปี ค.ศ. 1992 Sivers และ Johnson<sup>(17)</sup> พบว่าเดือยฟันไม่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟัน ในฟันที่สูญเสียเนื้อฟันเฉพาะบริเวณที่เป็นทางเข้าเพื่อการรักษารากฟันมีความแข็งแรงมากกว่าฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน ปัจจัยที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของซี่ฟัน คือ สันริมฟัน (marginal ridge) โดยพบว่าเมื่อเกิดการสูญเสียสันริมฟันไป 2 ด้าน ทำให้ฟันซี่นั้นมีความแข็งแรงลดลงร้อยละ 67-69<sup>(21)</sup> ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของซี่ฟัน คือ ปริมาณเนื้อฟันธรรมชาติที่เหลืออยู่ การเลือกบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟันทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันเพิ่มมากขึ้น เช่น การบูรณะฟันหน้าล่างซี่ตัดกลาง ทำให้เหลือเนื้อฟันเพียงร้อยละ 58.3<sup>(22)</sup> ปัจจุบันมีการรักษาฟันในแนวทางอนุรักษ์มากขึ้น เพื่อเก็บรักษาเนื้อฟันธรรมชาติไว้ให้มากที่สุด และวัสดุทางทันตกรรมมีการพัฒนามากขึ้น ดังนั้นแนวทางการบูรณะจึงมีทางเลือกใหม่หลายวิธี ซึ่งมีข้อควรพิจารณาร่วมด้วยหลายประการ เช่น ตำแหน่งของซี่ฟันในขากรรไกร ลักษณะรูปร่างของรากฟัน ปริมาณเนื้อฟันที่สูญเสียไป ปริมาณแรงบดเคี้ยว ฟันซี่นั้นทำหน้าที่เป็นฟันหลักของฟันปลอมบางส่วนถอดได้หรือฟันปลอมบางส่วนติดแน่น<sup>(23)</sup>

#### วิธีบูรณะฟันหลังรักษารากฟัน

##### 1. บูรณะโดยการอุดปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันด้วยวัสดุอุดฟัน

นิยมทำในฟันที่ไม่เกิดการสูญเสียเนื้อฟันในบริเวณอื่นๆ นอกจากทางเข้าสู่คลองรากฟัน เพื่อการรักษารากเพียงอย่างเดียว เนื้อฟันที่เหลืออยู่โดยรอบมีความหนามากกว่า 1 มิลลิเมตร<sup>(18)</sup>

โดยบูรณะด้วยวัสดุอุดในช่องปากโดยตรง หรือทำอินเลย์ชนิดเรซินคอมโพสิตหรือเซรามิกยึดด้วยเรซินซีเมนต์ในฟันหลัง ไม่ต้องใส่เดือยฟัน ฟันหลังที่เกิดการสูญเสียเนื้อฟันบริเวณทางเข้าสู่คลองรากฟันเพียงอย่างเดียว บูรณะด้วยการอุดด้วยเรซินคอมโพสิตในบริเวณโพรงเนื้อเยื่อและทางเข้าสู่คลองรากฟันหรืออุดด้วยอมัลกัมร่วมกับอมัลกัมบอนด์ ในฟันหน้าที่มีวัสดุอุดที่ปลายฟัน หรือมีวัสดุอุดทางด้านใกล้กลางหรือไกลกลางด้านใดด้านหนึ่ง หรือมีวัสดุอุดขนาดเล็กทั้งสองด้าน สามารถทำการบูรณะด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิต<sup>(18, 19)</sup> ในฟันหน้าที่มีการเปลี่ยนสี เป็นสีที่คล้ำ อาจเลือกวิธีบูรณะโดยฟอกสีฟันจากในช่องโพรงฟัน และอุดด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตภายหลังใส่น้ำยาฟอกสีฟันไว้ 2 อาทิตย์<sup>(24)</sup> นอกจากนี้ อาจเลือกวิธีบูรณะฟันหน้าด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตบริเวณทางเปิดเข้าสู่คลองรากฟันร่วมกับวีเนียร์ชนิดเซรามิกหรือคอมโพสิต ซึ่งพบว่าไม่ทำให้ฟันมีความแข็งแรงลดลง<sup>(25, 26)</sup>

## 2. บูรณะด้วยเอ็นโด-คราวน์ (endo-crown)

เป็นการบูรณะฟันหลังที่มีเนื้อฟันเหลืออยู่มาก เช่น มีการสูญเสียเนื้อฟันด้านประชิดบริเวณด้านใกล้กลางและไกลกลาง ร่วมกับด้านบดเคี้ยว การเตรียมฟันทำโดยกรอตัดฟันส่วนตรงกลางบริเวณโพรงเนื้อเยื่อจนถึงระดับแท่งกัททาเพอร์ซาที่อุดปิดส่วนต้นของคลองรากฟัน กรอแต่งฟันหลักให้ขึ้นงานบูรณะคลุมปุ่มฟัน และพิมพ์ฟันหลักตามขั้นตอนของการทำเซรามิกด้วยวิธีแคดแคม (CAD-CAM technic) ได้ขึ้นงานเซรามิกและยึดร่วมกับเรซินซีเมนต์ในปี ค.ศ. 2004 Otto<sup>(27)</sup> ติดตามผลการบูรณะฟันหลังด้วยวิธีเอ็นโด-คราวน์ เป็นเวลา 1 ปี ไม่พบการหลุดหรือการแตกของชิ้นงาน Bindl และคณะในปี ค.ศ. 2005<sup>(28)</sup> ติดตามผลการบูรณะฟันหลังที่ไม่มีเฟอร์รูลเป็นระยะเวลา 7 ปี พบว่าในฟันกรามใหญ่มีอัตราความสำเร็จร้อยละ 87.1 และในฟันกรามน้อยมีอัตราความสำเร็จ ร้อยละ 68.8 สาเหตุที่เกิดความล้มเหลวเนื่องจากเกิดการสูญเสียการยึดอยู่ของชิ้นงานบูรณะ วิธีบูรณะฟันหลังการรักษารากฟันด้วยเอ็นโด-คราวน์ควรทำในฟันกรามใหญ่ ไม่ควรทำในฟันกรามน้อย เนื่องจากมีขนาดของโพรงเนื้อเยื่อเล็ก ไม่เพียงพอสำหรับการยึดอยู่ของชิ้นงานบูรณะ

## 3. บูรณะด้วยอนเลย์ (onlay)

การสูญเสียสันริมฟันส่งผลให้ความแข็งแรงตั้งของปุ่มฟัน (cuspal stiffness) มีค่าลดลงและทำให้ปุ่มฟันเกิดการเบนทิศทาง (cuspal deflection) เพิ่มขึ้น ร่วมกับการบดเคี้ยวซ้ำๆ เป็นสาเหตุ

ทำให้ฟันแตกได้<sup>(29)</sup> ดังนั้นในฟันหลังที่สูญเสียสันริมฟันด้านเดียวหรือในฟันที่มีเนื้อฟันดีเหลืออยู่ 2 หรือ 3 ด้าน ควรได้รับการบูรณะโดยคลุมปุ่มฟันด้วยอบนเลย์ที่ทำด้วยวัสดุอมัลกัมเรซินคอมโพสิต เซรามิกหรือโลหะผสม ไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟันเมื่อเนื้อฟันส่วนตัวฟันและโพรงเนื้อเยื่อประสาทฟัน เหลืออยู่เพียงพอเพื่อให้เกิดการยึดอยู่แก่วัสดุบูรณะ Assif และคณะ<sup>(30)</sup> พบว่าในการบูรณะฟันกรามใหญ่โดยคลุมปุ่มฟันทั้งหมด มีค่าความต้านทานการแตกหักใกล้เคียงกับฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันเฉพาะบริเวณทางเปิดเข้าสู่คลองรากฟัน การบูรณะโดยคลุมปุ่มฟันตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ทำให้ปุ่มฟันที่เหลืออยู่มีความอ่อนแอ และถ้าความลึกของโพรงเนื้อเยื่อประสาทฟันในฟันกรามมีมากกว่า 4 มิลลิเมตร ทำให้การยึดอยู่เพียงพอสำหรับอมัลกัม โดยไม่จำเป็นต้องอุดอมัลกัมเพิ่มในคลองรากฟัน<sup>(31)</sup> อมัลกัมควรมีความหนา 4 มิลลิเมตรในบริเวณปุ่มฟันทำงาน (working side) และมีความหนา 3 มิลลิเมตรในปุ่มฟันด้านไม่ทำงาน<sup>(32)</sup> (nonworking side) Goerig และ Mueninghoff<sup>(23)</sup> แนะนำให้บูรณะฟันกรามน้อยบนซี่แรกและฟันกรามน้อยล่างซี่ที่สองโดยการคลุมปุ่มฟันด้านลิ้นในทุกกรณี เพื่อป้องกันการแตกของฟันจากแรงบิดเคี้ยวซึ่งมักเป็นแรงเฉือน แต่ในฟันกรามน้อยล่างซี่แรกนั้นสามารถพิจารณาบูรณะได้เหมือนในฟันหน้า คือการอุดปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันด้วยวัสดุอุด เนื่องจากไม่มีแรงเฉือนที่ปุ่มฟันด้านลิ้น

#### 4. บูรณะด้วยเดือยและแกนอมัลกัมร่วมกับครอบฟัน (post and amalgam core with crown)

เลือกวิธีบูรณะฟันที่เนื้อฟันเหลืออยู่ 1 หรือ 2 ด้านโดยมีปุ่มฟันเหลืออยู่เต็มอย่างน้อย 1 ปุ่ม ซึ่งการสร้างแกนฟันอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำให้การยึดอยู่เพียงพอได้ หรือใช้ในกรณีที่ลักษณะคลองรากฟันโค้งมากไม่สามารถทำเดือยฟันได้ โดยอุดอมัลกัมลึกลงไปในคลองรากฟัน 2-4 มิลลิเมตร เพื่อให้การยึดอยู่แก่แกนฟันที่อุดขึ้นมาและมีการคลุมปุ่มฟัน<sup>(33)</sup> แต่อย่างไรก็ตามถ้าฟันซี่นั้นมีความลึกในส่วนโพรงเนื้อเยื่อประสาทมากกว่า 4 มิลลิเมตร ไม่จำเป็นต้องอุดอมัลกัมในคลองรากฟันเพื่อลดความเสี่ยงในการกรอทะลุผนังคลองรากฟันได้

## 5. บุรณะฟันด้วยแกนฟันอมัลกัมหรือเรซินคอมโพสิตและหมุดร่วมกับครอบฟัน (dentin pin and amalgam or composite core with crown)

ในอดีตแนะนำให้ใช้หมุดร่วมกับวัสดุอุดเพื่อเพิ่มการยึดอยู่ในฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก<sup>(20)</sup> โดยใส่หมุดฟันบริเวณรอยต่อของเนื้อฟันและเคลือบฟัน ลึก 1.5-2 มิลลิเมตร มีเนื้อฟันที่ติดโดยรอบอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร แต่ข้อเสียของการใช้หมุดฟันคือทำให้เกิดความเครียดสูงในเนื้อฟันและทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวในเนื้อฟันได้<sup>(17)</sup>

## 6. บุรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟันร่วมกับครอบฟัน (post and core with crown)

เลือกใช้ในฟันรักษารากที่มีเนื้อฟันเหลืออยู่ 1-2 ด้าน หรือมีเนื้อฟันที่ดีเหลืออยู่น้อย<sup>(18)</sup> หรือในฟันที่ทำหน้าที่เป็นฟันหลักของฟันปลอมบางส่วนถอดได้หรือฟันปลอมบางส่วนติดแน่น เนื่องมาจากเฟอร์รูล คือ ความขนาบบริเวณคอฟันมีความสำคัญต่อความต้านทานการแตกหัก<sup>(34)</sup> ดังนั้นฟันดังกล่าวควรมีเฟอร์รูลเพียงพออย่างน้อย 1-2 มิลลิเมตร<sup>(35)</sup> ถ้าไม่มีเฟอร์รูลในฟันชิ้นนั้นควรรวางแผนการรักษาด้วยการผ่าตัดเพื่อเพิ่มระยะเฟอร์รูลก่อน ใส่เดือยฟันโดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มการยึดอยู่ของแกนฟันก่อนทำครอบฟัน และพบว่าการใส่เดือยฟันเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของซี่ฟันได้ พบว่าฟันที่รักษารากฟันและบุรณะด้วยเดือยฟันร่วมกับเรซินซีเมนต์มีค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงกว่าฟันที่รักษารากฟันและไม่ใส่เดือยฟันก่อนการบุรณะด้วยครอบฟัน<sup>(36, 37)</sup>

### เดือยฟัน (post)

เมื่อพิจารณาชนิดของวัสดุที่นำมาบุรณะฟันรักษารากและวิธีการผลิตเดือยฟัน สามารถแบ่งเดือยฟันได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เดือยฟันโลหะเหวี่ยงและเดือยฟันสำเร็จรูป

#### 1. เดือยฟันโลหะเหวี่ยง (metal cast post)

เดือยฟันชนิดโลหะเหวี่ยงมีรูปร่างเหมือนคลองรากฟันซี่นั้นๆ เกิดจากการนำรอยพิมพ์ปากที่พิมพ์คลองรากฟันที่ได้เตรียมพื้นที่สำหรับเดือยฟัน ไปสร้างเดือยฟันชนิดโลหะเหวี่ยงขึ้น เดือยฟันชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่สูงกว่าเนื้อฟัน เมื่อเกิดแรงกระทำส่งผ่านแรงไปยังเนื้อ รากฟันซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นน้อยกว่า มีหลายการศึกษารายงานถึงการแตกหักของรากฟัน<sup>(35, 36, 38-41)</sup> ลักษณะการแตกมักอยู่บริเวณส่วนกลาง

และปลายรากฟัน ซึ่งไม่สามารถบูรณะซ่อมแซมซี่ฟันได้<sup>(36, 41)</sup> วัสดุที่ใช้ทำเดือยฟันโลหะเหวี่ยงได้แก่

1.1 ประเภทโลหะ ได้แก่โลหะผสมนิกเกิลและโครเมียม โลหะผสมพัลลาเดียมและทอง โลหะผสมคอปเปอร์และอะลูมิเนียม และโลหะผสมทองเดือยฟันชนิดนี้มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะ<sup>(40, 42)</sup> ทำให้รากฟันมีสีคล้ำไม่สวยงามและเป็นสาเหตุให้เกิดรากฟันแตกได้

1.2 ประเภทโลหะ ได้แก่ เซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

## 2. เดือยฟันสำเร็จรูป (prefabricated post)

### 2.1 เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะ (prefabricated metal post)

วัสดุที่นำมาผลิตเป็นเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะ ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม โลหะผสมนิกเกิลและโครเมียม โลหะผสมไททาเนียม คุณสมบัติของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดนี้มีความแข็งแรง เกิดการกัดกร่อน<sup>(42)</sup> และเดือยฟันชนิดนี้มีรูปร่างกลม ทำให้เกิดการหมุนรอบคองของรากฟัน เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะผสมไททาเนียมนำมาใช้เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนของโลหะ แต่ คุณสมบัติของโลหะผสมไททาเนียมนั้นมีความแข็งแรงต้านทานการแตกต่ำ มีโอกาสเกิดการแตกหักของเดือยฟัน ได้เมื่อได้รับแรงบิดเคี้ยว Plotino และคณะ<sup>(43)</sup> รายงานค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่า 108.6 กิกะปาสคาล เดือยฟันสำเร็จรูปไททาเนียมมีค่า 66.1 กิกะปาสคาล เดือยฟันโลหะเหวี่ยงชนิดโลหะผสมทองมีค่า 53.4 กิกะปาสคาล และเนื้อฟันมีค่า 17.5 กิกะปาสคาล เนื่องจากเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะมีมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันมาก<sup>(36, 43)</sup> เมื่อมีแรงมากระทำอย่างแรงส่งผลให้รากฟันแตกได้<sup>(36, 44)</sup> พบว่ามีการแตกหักตั้งแต่มวลกลางของรากฟันไปจนถึงส่วนปลายรากฟันเป็นจำนวนร้อยละ 67 และ 83 ตามลำดับ<sup>(36)</sup> ซึ่งไม่สามารถแก้ไขซ่อมแซมได้

### 2.2 เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดอโลหะ

#### 2.2.1 เดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber post)

Duret และ Reynoud<sup>(45, 46)</sup> พัฒนาเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนขึ้นในปีค.ศ. 1988โดยเส้นใยคาร์บอนเกิดจากการให้ความร้อนแก่สารโพลีอะคริโลไนไทร ( polyacrylonitrile) ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้โพลีอะคริโลไนไทรเกิดสภาพเฉื่อยที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้ทำให้เกิดการกำจัดอะตอมไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน เหลือเพียง

สายโซ่อะตอมคาร์บอนและเกิดเป็นเส้นใยคาร์บอนที่เรียงตัวในทิศทางเดียวกัน จากนั้นนำมายืดออกและฉีดเรซินเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนต่อการเกิดความล้าและการดึง มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน คือ 21-34.4 กิกะปาสคาล<sup>(43, 45)</sup> มีโอกาสทำให้รากฟันแตกกุดน้อยกว่าเนื้อฟันสำเร็จรูปโลหะ เนื่องจาก เนื้อฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน มีความแข็งตึ้นน้อยกว่าเกิดการกระจายแรงได้ดี<sup>(46, 47)</sup> De Oliveira และคณะ<sup>48</sup> รายงานผลค่าความต้านทานการแตกหักในฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเนื้อฟัน เสริมเส้นใยคาร์บอนมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อฟันชนิดโลหะเหวียงเมื่อเนื้อฟันทั้ง 2 ชนิดยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันในฟันที่ไม่มีเพอร์รูล แต่สิ่งสำคัญคือการแตกหักที่เกิดขึ้นในกลุ่มที่บูรณะด้วยเนื้อฟัน เสริมเส้นใยคาร์บอนอยู่บริเวณส่วนตัวฟันหรือส่วนเนื้อฟัน สามารถแก้ไขและบูรณะใหม่ได้ ขณะที่กลุ่มที่บูรณะด้วยเนื้อฟันชนิดโลหะเหวียงพบการแตกหักบริเวณรากฟันเมื่อต้องมีการรักษาซ้ำการร้อยเนื้อฟัน เสริมเส้นใยคาร์บอนทำได้ง่ายกว่า<sup>(49, 50)</sup> การศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเนื้อฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนพบว่าค่ากำลังแรงยึดของเนื้อฟัน เสริมเส้นใยคาร์บอนมีค่าต่ำกว่าเนื้อฟัน เสริมเส้นใยควอตซ์<sup>(51)</sup> แต่มีค่าไม่แตกต่างกับเนื้อฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะไททาเนียมและเนื้อฟันสำเร็จรูปพอลิเอทิลีน<sup>(52)</sup>

### 2.2.2 เนื้อฟันเสริมเส้นใยแก้ว (glass fiber post)

เป็นเนื้อฟันเรซินคอมโพสิตที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยแก้วหรือซิลิกา พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้มีสีสวยงาม และมีลักษณะโปร่งแสงใกล้เคียงเนื้อฟัน ชนิดของแก้วที่นำมาใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น แก้วอิเล็กทรอนิกส์ (electrical glass) แก้วที่มีความแข็งแรงสูง (high-strength glass) หรือ เส้นใยควอตซ์มีความแข็งแรงน้อยกว่าเนื้อฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะ มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน พบว่าส่วนประกอบของเนื้อฟันมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเนื้อฟัน โดยเนื้อฟันที่มีน้ำหนักของเส้นใยแก้วมากกว่ามีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่า<sup>(53)</sup>

การศึกษาค่าความต้านทานการแตกหักของเนื้อฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยพบว่าเนื้อฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วสามารถต้านทานการแตกหักได้ใกล้เคียงกับเนื้อฟันโลหะเหวียง โดยฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเนื้อฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วมีการแตกหักในบริเวณส่วนต้นของรากฟันหรือส่วนวัสดุที่ทำแกนฟัน<sup>(36, 41, 54)</sup> สามารถแก้ไขและบูรณะใหม่ได้แต่ในฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเนื้อฟันโลหะเหวียง พบการแตกหักบริเวณปลายรากฟันซึ่งไม่สามารถแก้ไขบูรณะใหม่ได้

### 2.2.3 เดือยพันเส้นใยพอลิเอทิลีน (polyethylene fiber post)

เดือยพันชนิดนี้ผลิตจากเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเคลือบด้วยสารยึดติด ได้แก่ เดือยพันยี่ห้อริบบอนด์ (Ribbond, Ribbond Inc, Seattle, WA) เส้นใยพอลิเอทิลีนมีการสานกันเพื่อช่วยลดการเกิดรอยแตก (crack propagation) และให้การยึดติดเชิงกลแก่เรซินซีเมนต์ โดยสารยึดติดและเรซินซีเมนต์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างเส้นตรง (linear) ข้อดีของเดือยพันเส้นใยพอลิเอทิลีน คือ สามารถเก็บรักษาเนื้อฟันไว้ได้โดยไม่ต้องกำจัดส่วนคอดของเนื้อฟันในคลองรากฟันซึ่งส่วนคอดเว้าดังกล่าวช่วยเพิ่มการยึดติดของเดือยพันมากขึ้น สามารถอัดลงไปตามรูปร่างของคลองรากฟันและเกิดพอลิเมอร์เมื่อกระตุ้นด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร Erkut และคณะ<sup>(55)</sup> ศึกษาการรั่วซึมที่ชั้นยึดติดระหว่างเดือยพันและผนังคลองรากฟัน พบว่าฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยพันพอลิเอทิลีนเกิดการรั่วซึมที่น้อยที่สุด รองลงมาคือเดือยพันเอเวอร์สติก Turker และคณะ<sup>(56)</sup> รายงานการติดตามผลการบูรณะฟันด้วยเดือยพันพอลิเอทิลีนและครอบฟันเซรามิกเป็นเวลา 1 ปี พบมีการหลุดของเดือยพันเพียง 1 ซี่ จากจำนวนซี่ฟัน 42 ซี่ และฟันที่เกิดการแตกส่วนมากเป็นแบบบูรณะซ้ำได้<sup>(57)</sup>

### 2.2.4 เดือยพันที่ประกอบด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ที่ยังไม่เกิดพอลิเมอร์ (resin-impregnated non-polymerized fiber reinforced resin composite post)

ได้แก่ เดือยพันยี่ห้อเอเวอร์สติก (Everstick<sup>®</sup>, Stick Tech Ltd, Turku, Finland) เดือยพันชนิดนี้ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว (E-glass fiber) และพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์มีการสานกันของกลุ่มเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างเส้นตรง (linear) ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมทิลเมทาครีเลต (polymethylmetacrylate) และกลุ่มที่มีรูปร่างเชื่อมโยงข้าม (cross-linked) ซึ่งประกอบด้วยบิสจีเอ็มเอ (Bisphenol A Dimethacrylate; Bis-GMA) ซึ่งเป็นลักษณะเซมิไอพีเอ็น (semi interpenetrating network; semi IPN) เป็นการลดการเกิดรอยแตก (crack propagation) และให้การยึดติดเชิงกลแก่เรซินซีเมนต์ โดยสารยึดติดและเรซินซีเมนต์สามารถแทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างเส้นตรง การศึกษาค่าแรงยึดติดของเดือยพันเอเวอร์สติก พบว่ามีค่าแรงยึดติดไม่แตกต่างกับเดือยพันสำเร็จรูปชนิดโลหะไททาเนียมและเดือยพันคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน การแตกหักที่เกิดขึ้นในฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยพันชนิดนี้จะแตกในชั้นเรซินซีเมนต์หรือชั้นเดือยพันร้อยละ 56 และเกิดการแตกหักในชั้นยึดติดระหว่างเดือยพันกับเนื้อฟันร้อยละ 30 แสดงให้เห็นว่าเดือย



ฟันชนิดนี้มีการยึดติดที่ดีกับเรซินซีเมนต์<sup>(52)</sup> และเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดที่มีส่วนประกอบของ บิสจีเอ็มเอทีอีจีดีเอ็มเอ (Triethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) ฮีมา (Hydroxyethylmethacrylate; HEMA) สารยึดติดเหล่านี้ทำให้เรซินซีเมนต์แทรกซึมเข้าไปในเดือย ฟันเส้นใยพอลิเอทิลีนได้ดี โดยปริมาณการแทรกซึมของเรซินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นเมื่อให้เวลาในการ แทรกซึมของสารยึดติดนานขึ้น<sup>(58)</sup>

### 2.2.5 เดือยฟันเซอร์โคเนีย (zirconia post)

ส่วนประกอบของเดือยฟันชนิดนี้คือ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ( $ZrO_2$ ) โดยเซอร์โคเนียที่ นำมาใช้ผลิตเดือยฟัน ได้แก่ ยิทเทรียม สเตบิลไลซ์ เตตราโกนอล พอลิคริสตัลลิน เซอร์โคเนีย (Y-TZP) ซึ่งมีเตตราโกนอล เซอร์โคเนียม พอลิคริสตัล ผสมกับยิทเทรียมออกไซด์ ( $Y_2O_3$ ) ร้อยละ 3 โดยมวล เดือยฟันเซอร์โคเนียเป็นเดือยฟันที่มีสีขาว มีความต้านทานต่อการแตกหัก มีความต้าน การดัดงอและความต้านทานการสึกกร่อนสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อผ่านกระบวนการ เทอร์โมไซคลิง แต่ค่าแรงยึดติดในคลองรากฟันต่ำ<sup>(59-61)</sup> เนื่องจากไม่เกิดพันธะเคมีกับเรซินซีเมนต์ โดยฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเซอร์โคเนียมีอัตราการหลุดหรือแตกสูงกว่าฟันที่ได้รับการ บูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ<sup>(60)</sup> Al-harbi และ Nathanson<sup>(59)</sup> พบว่า บริเวณที่เกิดการแตกหักคือชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟัน โดยเรซินซีเมนต์ยึดติดกับ ผนังคลองรากฟันแต่ไม่ยึดติดกับเดือยฟันเมื่อเตรียมพื้นผิวเดือยฟันเซอร์โคเนียด้วยวิธีใช้กรดกัด ร่วมกับทาสารไซเลน (silane coupling agent) พบว่าไม่สามารถเพิ่มการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้ไม่มีสารซิลิกาอยู่ในส่วนประกอบ แต่ถ้าเตรียมพื้นผิวเดือยฟันเซอร์โคเนีย ด้วยวิธีไตรโบเคมีคอลซิลิกา (tribochemical silica coating) สามารถเพิ่มการยึดติดกับเรซิน ซีเมนต์ได้<sup>(61)</sup> และเมื่อพื้นผิวเดือยฟันเซอร์โคเนียเกิดการแตกหักมักไม่สามารถเอาส่วนที่หักออกได้ และไม่สามารถบูรณะฟันซี่นั้นใหม่ได้

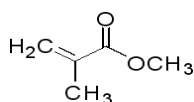
### เรซินซีเมนต์ (resin cement)

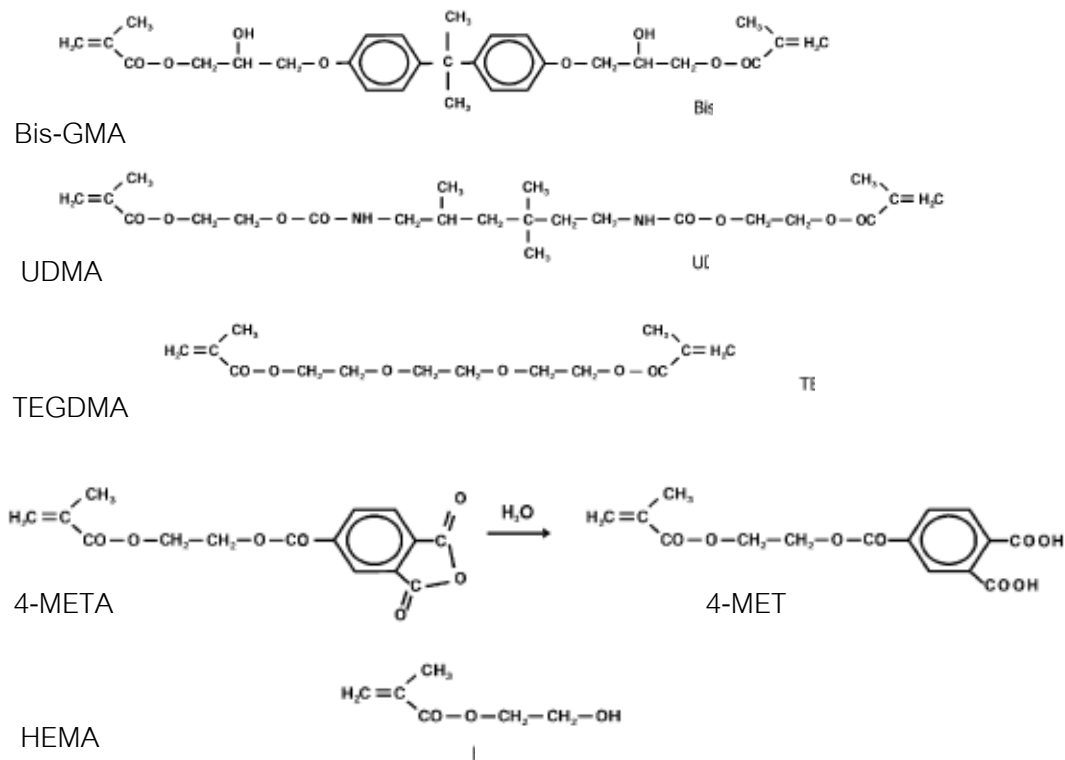
ปัจจุบันเรซินซีเมนต์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในทางทันตกรรม เนื่องจากข้อดีของเรซินซีเมนต์ที่เหนือกว่าซีเมนต์อื่นๆ คือ เกิดการยึดติดกับซีฟันและวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิตด้วยพันธะเคมีและทางจุลกลศาสตร์ มีการละลายตัวต่ำในสภาวะช่องปาก<sup>(62)</sup> และมีสีใกล้เคียงกับเนื้อฟัน

ส่วนประกอบพื้นฐานของเรซินซีเมนต์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท<sup>(2,63)</sup> คือ อะคริลิกเรซินซีเมนต์ (acrylic resin cement) และไดเมทาครีเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement) ในปี ค.ศ. 1950<sup>(64)</sup> อะคริลิกเรซินซีเมนต์ถูกผลิตขึ้นมาในรูปแบบส่วนผสมและส่วนเหลว ส่วนผสมประกอบด้วย เมทิลเมทาครีเลตพอลิเมอร์ (methyl methacrylate polymer) (ภาพที่ 1) วัสดุอุดแทรก (fillers) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา และส่วนของเหลวประกอบด้วยเอ็มเอ็มเอ (methylmethacrylate; MMA) และเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (amine accerelator) สามารถเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเองเมื่อผสมส่วนผสมและส่วนเหลวเข้าด้วยกัน

ต่อมาในปี ค.ศ. 1970 เรซินซีเมนต์พัฒนาขึ้นมาใช้ยึดชิ้นงานบูรณะโดยมีส่วนประกอบใกล้เคียงกับวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิตคือ เรซินเมทริกซ์และวัสดุอุดแทรก ส่วนของเมทริกซ์ประกอบด้วยพอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ (ภาพที่ 1) ได้แก่ บิสจี้เอ็มเอ และมอนอเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ เอ็มเอ็มเอ ยูดีเอ็มเอ (Urethane dimethacrylate; UDMA) และ ทีอีจี้ดีเอ็มเอ เพื่อให้เรซินซีเมนต์มีความเหนียวลดลง มอนอเมอร์ที่ช่วยเพิ่มการยึดติด เช่น ฮีม่า และ โฟร์เมต้า (4-methyloxyethyltrimellitic anhydride; 4-META) โดยใส่เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และแคมโฟควิโนน (Camphoroquinone) เป็นสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งวัสดุอุดแทรก ได้แก่ คอลลอยด์ซิลิกา (colloidal silica) แก้วแบเรียม (barium glass) และแก้วเซอร์โคเนียม (zirconium glass)

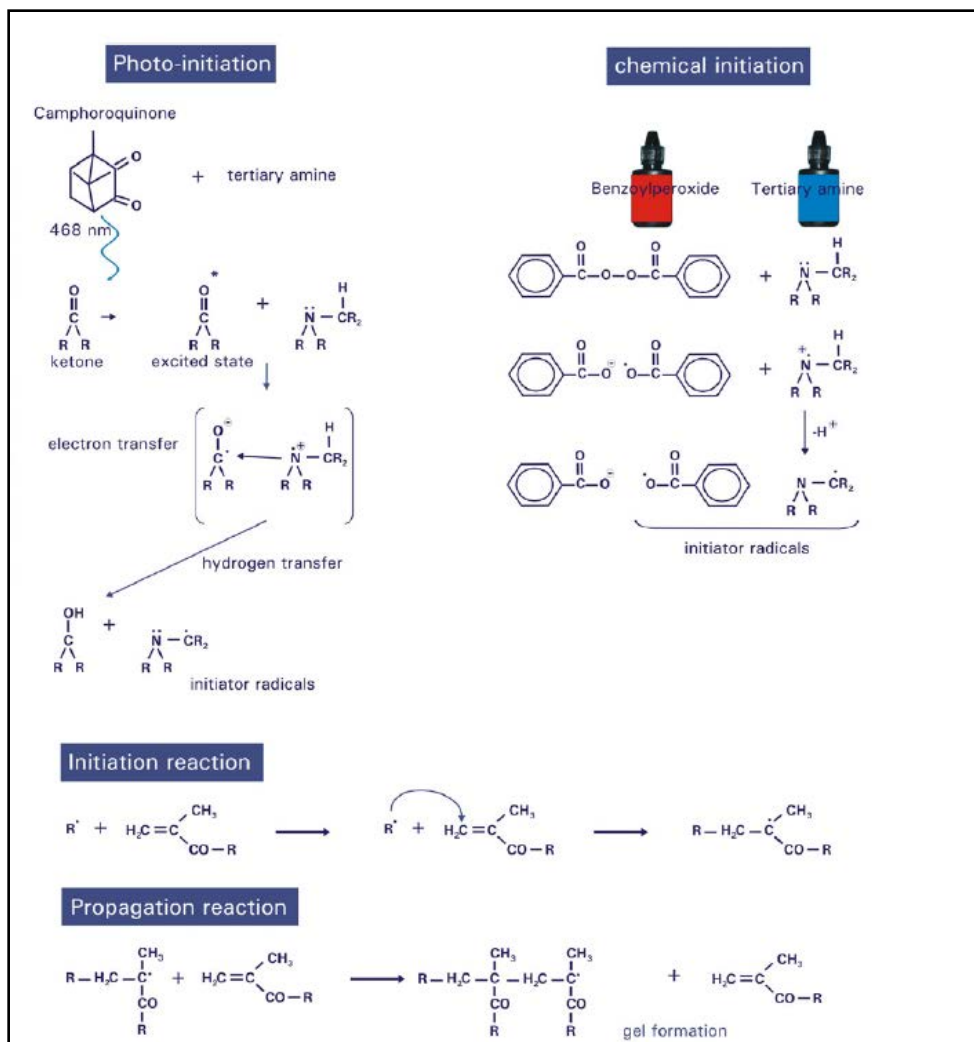
MMA





ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของมอนอเมอร์หลักในระบบสารยึดติด (adhesive) และเรซินซีเมนต์ ได้แก่ เอ็มเอ็มเอ (MMA) บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ยูดีเอ็มเอ (UDMA) ทีอีจีดีเอ็มเอ (TEGDMA) โฟร์เมตต้า (4-META) และ ฮีม่า (HEMA) ตามลำดับ แหล่งที่มาของภาพ Watson และ Curtis ในปีค.ศ. 2008<sup>(64)</sup>

ส่วนมากเรซินซีเมนต์ในระบบนี้เกิดพอลิเมอร์ได้ด้วยตัวเองร่วมกับแสง รูปแบบที่มีขายในท้องตลาด ผลิตเป็น 2 หลอด หลอดหนึ่งมีส่วนประกอบของสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา คือ เอมีน และสารกระตุ้นให้เกิดพอลิเมอร์ด้วยแสงคือ แคมโฟโรควิโนน อีกหลอดหนึ่งมีส่วนประกอบของสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยา คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ การเกิดพอลิเมอร์เริ่มต้นเมื่อผสมส่วนของทั้งสองหลอดเข้าด้วยกัน เกิดการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อเอมีนเร่งให้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) หรือเมื่อใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร เกิดการกระตุ้นให้แคมโฟโรควิโนนเกิดปฏิกิริยาร่วมด้วย (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการเกิดพอลิเมอร์ด้วยแสงและ/หรือด้วยตัวเองของเมทาครีเลต แหล่งที่มาของภาพ Van Landuyt และคณะ ในปี ค.ศ. 2007<sup>(65)</sup>

Ivana และคณะ<sup>(1)</sup> แบ่งกลุ่มเรซินซีเมนต์ตามขั้นตอนการเตรียมผิวฟัน เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

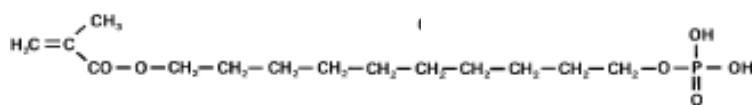
1. **โททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ (total etch resin cement)** เช่น 1) สารยึดติดยี่ห้อซินแทก และเฮลิโอบอนด์ (Syntac<sup>®</sup>/Heliobond<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) หรือสารยึดติดยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ดีเอสซี (Excite<sup>®</sup> DSC, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ หรือวาริโอลิงค์ทู (Variolink<sup>®</sup>, Variolink<sup>®</sup> II, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) 2) สารยึดติดยี่ห้อไพรม์แอนด์บอนด์ เอ็นที (Prime & Bond<sup>®</sup> NT<sup>™</sup>, Dentsply Caulk, USA) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์

ยี่ห้อคาลิบรา (Calibra<sup>®</sup>, Dentsply Caulk, USA) 3) สารยึดติดยี่ห้อออปติบอนด์โซโล พลัส (Optibond<sup>®</sup> Solo Plus, Kerr, USA) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อ เนกซ์สหรือเนกซ์ส 3 (Nexus<sup>®</sup>, Nexus<sup>®</sup> 3, Kerr, USA) เป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดที่มีขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวฟัน ด้วยกรดและล้างน้ำ

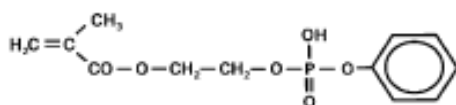
ขั้นตอนการทำงานของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้<sup>(66)</sup> ต้องใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 ปรับสภาพพื้นผิวฟันเพื่อสลายสารอินทรีย์ แล้วล้างน้ำออก ทำให้มีการละลายของผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวเคลือบฟันเกิดเป็นรูพรุนเล็กๆ ขนาดเป็นไมโครเมตร ส่งผลให้เกิดการยึดติดเชิงกลระหว่างเรซินซีเมนต์กับผิวเคลือบฟัน ส่วนชั้นเนื้อฟันเกิดการสลายของชั้นสเมียร์และสารอินทรีย์รอบโครงร่างคอลลาเจน ทำให้โครงร่างคอลลาเจนเสียหาย จากนั้นจึงทาไพรเมอร์เพื่อช่วยปรับสภาพโครงร่างคอลลาเจนให้พร้อมต่อการแทรกผ่านของสารยึดติด โดยสารไพรเมอร์ประกอบด้วยมอนอเมอร์และมีตัวทำละลายประเภทอะซิโตน ( acetone) หรือเอทานอล (ethanol) ตัวทำละลายเหล่านี้เข้าไปอยู่แทนที่น้ำที่อยู่ระหว่างคอลลาเจน นำโมเลกุลของมอนอเมอร์แทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้<sup>(67)</sup> และช่วยเพิ่มพลังงานที่พื้นผิวทำให้เกิดการไหลแผ่ของสารยึดติดได้ดีขึ้น แล้วจึงทาสารยึดติด มีการแทรกซึมของมอนอเมอร์ในสารยึดติดเข้าไปในรูพรุนของเนื้อฟันที่ถูกเตรียมไว้ด้วยกรดในชั้นเคลือบฟันเกิดเป็นเรซินแทกขนาดไมโครเมตร (micro resin tag) และในชั้นเนื้อฟันมีการแทรกซึมของมอนอเมอร์เข้าไปในโครงร่างคอลลาเจนที่ถูกปรับสภาพไว้เกิดเป็นชั้นไฮบริดที่ประกอบด้วยชั้นของเรซินร่วมกับโครงร่างคอลลาเจน<sup>(68)</sup> มีความหนาประมาณ 8-10 ไมโครเมตร<sup>(11)</sup>

**2. เซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ( self etched resin cement)** เช่น 1) ไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดยี่ห้ออีดีไพรเมอร์ (ED primer, Kuraray Medical, Japan) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวีย 21 พานาเวียเอฟ (Panavia<sup>™</sup> 21, Panavia<sup>™</sup> F, Panavia<sup>™</sup> F2.0, Kuraray Medical, Japan) 2) ไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดยี่ห้ออีดีไพรเมอร์ทู ( ED primer II, Kuraray Medical, Japan) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 (Panavia<sup>™</sup> F2.0, Kuraray Medical, Japan) 3) ไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดยี่ห้อมัลติลิงค์ไพรเมอร์เอและบี (Multilink<sup>®</sup> A/B, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อมัลติลิงค์ ( Multilink<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein) เป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดในการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟัน

เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีขั้นตอนการทำงานลดลงเพื่อลดโอกาสการเกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการทำงานและอาการเสียวฟันหลังการรักษา โดยนำหมู่ฟังก์ชันของกรดมาวมกับส่วนของมอนอเมอร์ในไพรเมอร์ ได้แก่ หมู่กรดคาร์บอกซิลิก ( carboxylic acid group) หรือหมู่กรดฟอสฟอริก (phosphate acid group) เช่น 10-เอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; 10-MDP) ฟีนิลพี (2-methacryloxyethyl phenyl hydrogen phosphate; Phenyl-P) (ภาพที่ 3) ความเป็นกรดที่อยู่ในไพรเมอร์ทำหน้าที่สลายสารอินทรีย์ในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันพร้อมกับพวงโครงร่างคอลลาเจนไว้ ความสามารถในการสลายสารอินทรีย์ขึ้นกับค่าความเป็นกรดที่มีสูงหรือต่ำและขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของกรดที่ผสมอยู่ในมอนอเมอร์<sup>(66)</sup>



10-MDP

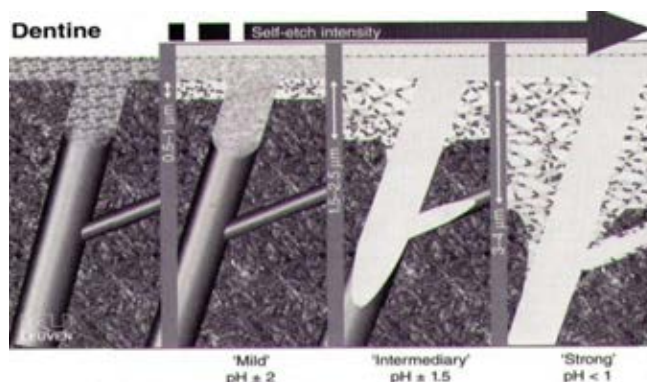


Phenyl-P

ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ 10-เอ็มดีพี (10-MDP) และฟีนิลพี (Phenyl-P)

แหล่งที่มาของภาพ Watson และ Curtis ในปี ค.ศ. 2008<sup>(64)</sup>

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทช์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม<sup>(66)</sup> ตามความเป็นกรด-ต่าง ซึ่งส่งผลให้มีความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์ได้ต่างกัน (ภาพที่ 4) ดังนี้



ภาพที่ 4 แสดงความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์เมื่อความเป็นกรดในไพรเมอร์มีค่าแตกต่างกัน

แหล่งที่มาของภาพ Watson และ Curtis ในปี ค.ศ. 2008<sup>(64)</sup>

1) สารยึดติดเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีความเป็นกรดสูง(Strong self etched adhesive)

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีค่าความเป็นกรด -ต่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ( $\text{pH} \leq 1$ ) ทำให้สารอนินทรีย์ในชั้นเคลือบฟันถูกสลายออกไปได้หมด เกิดเป็นลักษณะเดียวกับที่พบในสารยึดติดระบบโททอลเอ็ทซ์<sup>(69-71)</sup> ในชั้นเนื้อฟันพบว่ามีการสลายไปของสารอนินทรีย์ เกิดการเปิดของท่อเนื้อฟันและโครงร่างคอลลาเจน และเมื่อมีปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แล้วพบชั้นไฮบริดลึกลับประมาณ 2 ไมโครเมตร<sup>(66, 71)</sup>

2) สารยึดติดเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีความเป็นกรดปานกลาง(Intermediary strong self etched adhesive)

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีค่าความเป็นกรดปานกลาง มีค่าความเป็นกรด-ต่างประมาณ 1.5 สารยึดติดในกลุ่มนี้สามารถสลายสารอนินทรีย์ในชั้นเคลือบฟันได้เหมือนกับกลุ่มแรก ลักษณะของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนที่มีการสลายสารอนินทรีย์ได้หมด และในส่วนล่างที่สลายสารอนินทรีย์ได้บางส่วนจึงพบลักษณะชั้นไฮบริดที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลืออยู่

3) สารยึดติดเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีความเป็นกรดต่ำ(Mild self etched adhesive)

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีค่าความเป็นกรดประมาณ 2 มีความสามารถในการสลายสารอนินทรีย์ ในชั้นเนื้อฟันได้ลึกลับประมาณ 1 ไมโครเมตร มีชั้นสเมียร์เหลืออยู่สลายไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้เพียงบางส่วน พบไฮดรอกซีอะพาไทต์เหลืออยู่รอบโครงร่างคอลลาเจน และไม่พบชั้นไฮบริดเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด<sup>(71, 72)</sup> แต่พบลักษณะชั้นที่ประกอบด้วยชั้นสเมียร์ เรซินแทรกและคอลลาเจนที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลืออยู่ เกิดเรซินแทรกปริมาณน้อยและสั้น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่หลงเหลืออยู่สามารถเกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันในมอนอเมอร์ได้

Yoshida และคณะ<sup>(73)</sup> รายงานลักษณะการยึดติดระหว่างหมู่ฟังก์ชันต่างๆ กับแคลเซียมในไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยศึกษา หมู่ฟอสเฟตในฟีนิล-พี 10-เอ็มดีพี และหมู่คาร์บอกซิลิกในโพรเมตา พบว่าหมู่ฟังก์ชันต่างๆสามารถเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียม หมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันให้ค่าแรงยึดติดกับแคลเซียมแตกต่างกัน และให้ความคงทนต่อการละลายน้ำที่แตกต่างกัน ความแข็งแรงในการยึดติดเกิดจากการยึดติดทางจุลกลศาสตร์และพันธะเคมีระหว่างแคลเซียมกับหมู่ฟังก์ชันด้วย

ในการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ( microtensile bond strength) ระหว่างสารยึดติดเซลฟ์เอ็ทซ์ พบว่าสารยึดติดที่มีความเป็นกรดสูงกว่ามักให้ค่ากำลังแรงยึดที่มากกว่าสารยึดติดที่มีความเป็นกรดต่ำกว่า<sup>(71)</sup>

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์

สารยึดติด	ประเภทการใช้งาน	ค่าความเป็นกรดของไพรเมอร์ (pH)
แอดเปอร์พร้อมพ์ แอลป๊อป (Adper™ Prompt™ L-Pop, 3M ESPE, USA)	รวมกรด ไพรเมอร์ และบอนด์เข้าด้วยกัน (one-step self-etch)	0.4
พร้อมพ์ แอลป๊อป 2 (Prompt™ L-Pop 2, 3M ESPE, USA)	รวมกรด ไพรเมอร์ และบอนด์เข้าด้วยกัน	0.8
ซีนโน 3 (Xeno® III, Dentsply, USA)	รวมกรด ไพรเมอร์ และบอนด์เข้าด้วยกัน	1.4
ไอบอนด์ (i-Bond™, Heraeus Kulzer, Germany)	รวมกรด ไพรเมอร์ และบอนด์เข้าด้วยกัน	1.6
แอดฮีซี ไพรเมอร์ (AdheSE® primer, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)	รวมกรดและไพรเมอร์เข้าด้วยกัน และมีบอนด์แยก (two-step self-etch)	1.4
ออปติบอนด์โซโลพลัส เอสอี (Optibond® Solo Plus™ SE, Kerr, USA)	รวมกรดและไพรเมอร์เข้าด้วยกัน และมีบอนด์แยก	1.5
เคลียร์ฟิล เอสอี บอนด์ ไพรเมอร์ (Clearfil™ SE Bond primer, Kuraray Medical, Japan)	รวมกรดและไพรเมอร์เข้าด้วยกัน และมีบอนด์แยก	1.9
ยูนิฟิลบอนด์ ไพรเมอร์ (Unifil® Bond Primer, GC, USA)	รวมกรดและไพรเมอร์เข้าด้วยกัน และมีบอนด์แยก	2.2
พานาเวีย อีดี ไพรเมอร์ (Panavia™ ED primer, Kuraray Medical, Japan)	รวมกรดและไพรเมอร์เข้าด้วยกัน และมีบอนด์แยก	2.2



3. เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (self adhesive resin cement) เช่น เรซินซีเมนต์ยี่ห้ออีโวลู เอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX™ Unicem, 3M ESPE, USA) บิสเซม (Biscem®, Bisco, USA) เคลียร์ฟิลเอสเอ (Clearfil™ SA, Kuraray Medical, Japan) แมกเซมอีไลต์ (Maxcem elite™, KERR, USA) (ตารางที่ 2) เป็นกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดในการปรับสภาพฟันในขั้นตอนเดียว

เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ถูกแนะนำในปีค.ศ. 2002 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเพียงขั้นตอนเดียว ไม่ต้องปรับสภาพฟันผิวเนื้อฟันก่อนยึดชิ้นงานบูรณะ เพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานให้แก่ทันตแพทย์ อีกทั้งเรซินซีเมนต์ระบบนี้ไม่กำจัดชั้นสเมียร์บนพื้นผิวเนื้อฟันทำให้ลดโอกาสการเกิดอาการเสียวฟันหลังการใช้งาน<sup>(1)</sup> การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเนื้อฟันเกิดจากหมู่ฟังก์ชันของกรดที่อยู่ในมอนอเมอร์สลายสารอนินทรีย์แล้วมีการแทรกซึมในชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟัน แล้วเกิดพอลิเมอร์ขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นด้วยตัวเอง ทำให้ความเป็นกรดของมอนอเมอร์ลดลงจนเป็นกลางด้วยความเป็นเบสของฟิลเลอร์ที่อยู่ในส่วนผสม ค่าความเป็นกรด -ต่างเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 6 ในช่วงเวลาไม่กี่นาทีหลังเกิดปฏิกิริยา เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้สลายชั้นสเมียร์และสลายไฮดรอกซีอะพาไทต์ออกได้ไม่หมด จึงพบไฮดรอกซีอะพาไทต์เหลืออยู่รอบโครงร่างคอลลาเจน แคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบของอะพาไทต์เกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในมอนอเมอร์ ได้แก่ หมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์ในโครงสร้างของ 10-เอ็มดีพี<sup>(73)</sup> เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดตรวจสอบ พบบริเวณชั้นที่มีการผสมผสานกันของเรซินและชั้นสเมียร์ (interdiffusion zone) หนา 0-2 ไมโครเมตร แต่ไม่พบชั้นไฮบริดและเรซินแทรก<sup>(3, 4)</sup>

ส่วนประกอบพื้นฐานของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน<sup>(2)</sup> ได้แก่

#### 1) เรซินเมทริกซ์ (resin matrix) ประกอบด้วย

1.1 แอดฮีซีฟมอนอเมอร์ ( adhesive monomer) เช่น เมทาครีเลตฟอสเฟตเอสเทอร์ (methacrylate phosphate ester) และ กลีเซอรอลไดเมทาครีเลต ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (glyceroldimethacrylate dihydrogen phosphate) หมู่ฟอสเฟตที่อยู่ในมอนอเมอร์นี้มีความเป็นกรดสามารถปรับสภาพชั้นสเมียร์ แทรกซึมเข้าไปในโครงร่างคอลลาเจนในเนื้อฟัน สร้างพันธะเคมีกับแคลเซียมในเนื้อฟัน เกิดการยึดติดโดยรวมชั้นสเมียร์ไว้เป็นส่วนหนึ่งของชั้นไฮบริด

1.2 เมทาครีเลตมอนอเมอร์ เช่น บิสจีเอ็มเอ ทีอีจีเอ็มเอ

1.3 สารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา ( initiators and catalysts) ได้แก่ แคมโฟโรควิโนนเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสง และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเคมีโดยมีเทอเทียรีเอมีน ( tertiary amine) เป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระและเริ่มมีการเกิดพอลิเมอร์ต่อไป

1.4 สารคงสภาพและสารสีต่างๆ (stabilizers and optical modifier)

2) วัสดุอุดแทรก (filler)

ได้แก่ วัสดุอุดแทรกแก้วและซิลิกา ที่มีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพ นอกจากนั้นมีการเพิ่มวัสดุอุดแทรกซึ่งมีในกลาสไอโอโนเมอร์ <sup>(1)</sup> ได้แก่ แก้วอะลูมิโน-ซิลิเกต หรือเพิ่มฟลูออไรด์เข้าไป วัสดุอุดแทรกกลุ่มนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เมื่อผสมกับกรดและน้ำ ( acid-base reaction) เช่น ไรโอเอ็กซ์ยูนิเซมของบริษัท 3M ESPE ซึ่งมีฟลูออไรด์อยู่ในส่วนประกอบร้อยละ 10 ฟลูออไรด์ที่อยู่ในส่วนของวัสดุอุดแทรก ถูกละลายออกมาอยู่ในส่วนของเมทริกซ์และปล่อยออกมาจากวัสดุ ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดอัตราการการผุซ้ำบริเวณขอบของวัสดุบูรณะ และมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 <sup>(1)</sup> โดยหวังผลในด้านการต้านเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดกระบวนการดูดซึมกลับของแร่ธาตุ (remineralization) เพื่อลดอัตราการการเกิดฟันผุ

3) สารคู่ควบ (coupling agent)

ได้แก่ ซิลเลน ( silane) ทำหน้าที่เชื่อมยึดส่วนของเมทริกซ์และวัสดุอุดแทรกเข้าด้วยกัน โดยปลายข้างหนึ่งของซิลเลนยึดอยู่กับมอนอเมอร์ของเมทริกซ์และปลายอีกด้านยึดอยู่กับส่วนของวัสดุอุดแทรก

Al-Assaf และคณะ<sup>(5)</sup> ศึกษาการละลายของแร่ธาตุในเนื้อฟันเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ ยึดติดกับเนื้อฟันด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดไมโครสโคป ( FT-IR, Fourier Transform InfraredMicroscope) และตรวจสอบความลึกของการละลายแร่ธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด พบว่าการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุในเนื้อฟัน ได้ลึก 4.17 ไมโครเมตร ส่วนในกลุ่มเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุร้อยละ 51.99- 66.86 มีความลึก 0.95-2.39 ไมโครเมตร ขณะที่ไรโอเอ็กซ์ยูนิเซมซึ่งเป็นเซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 45.03 ละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันได้

ลึก 0 ไมโครเมตร โดยพบชั้นผิวรอยต่อลักษณะขรุขระระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันหนาประมาณ 2 ไมโครเมตร พบชั้นสเมียร์และสเมียร์พลา๊ก (smear plug) อุดปิดท่อนเนื้อฟัน

### คุณสมบัติต่างๆของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์

#### ความแข็งแรงของพันธะเคมี

เนื่องจากเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ไม่กำจัดชั้นสเมียร์ได้ เกิดการยึดติดโดยรวมเอาชั้นสเมียร์เข้ากับชั้นไฮบริดที่หนาเพียง 0-2 ไมโครเมตร ดังนั้นความสามารถในการยึดติดเกิดจากพันธะเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันกับแคลเซียมในเนื้อฟันแทนที่จะเป็นการยึดติดที่เกิดจากมอนอเมอร์แทรกซึมลงในรูพรุนเล็กๆที่เกิดจากสลายสารอินทรีย์ เมื่อทดสอบการเกิดพันธะเคมีระหว่างรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมและไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ พบว่าพันธะเคมีเกิดขึ้นกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ปริมาณร้อยละ 86 มีแคลเซียมที่ไม่เกิดพันธะเคมีเพียงร้อยละ 14<sup>(74)</sup> ดังนั้นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเนื้อฟันได้แข็งแรงบ่งบอกถึงคุณสมบัติเชิงกลของเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ โดยไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เหลืออยู่รอบโครงร่างคอลลาเจนอาจช่วยคงสภาพคอลลาเจนและปกป้องไม่ให้เกิดการสลายได้ (hydrolysis)<sup>(73)</sup>

#### คุณสมบัติเชิงกล

ค่าความทนแรงดัด (flexural strength) ของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่าต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซิน<sup>(4, 75)</sup> แต่ค่าความทนแรงอัด (compressive strength) และความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ (Vickers micro hardness) ของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่าสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์<sup>(75)</sup> เนื่องจากส่วนของเมทริกซ์ประกอบด้วยแก้วอะลูมิโนซิลิเกตและวัสดุอัดแทรกในปริมาณที่มาก ในขณะที่การศึกษาของ Piwowarczyk และ Lauer<sup>(76)</sup> พบว่าค่าความทนแรงอัดของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์

#### คุณสมบัติทางกายภาพ

##### ค่าความเป็นกรด-ด่าง

Saskalauskaite และคณะ<sup>(4)</sup> รายงานค่าความเป็นกรด-ด่างของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม พบว่าในช่วงแรกของการเกิดพอลิเมอร์ ค่าความเป็นกรด-ด่างในกลุ่มเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์มีค่า 2-2.4 ต่ำกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ซึ่งมีค่า 4.8-5.2 แต่มีค่าใกล้เคียงกับ

เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 2.5 ค่าความเป็นกรด -ด่างของเซลฟ์ แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเพิ่มขึ้นจนเป็นกลาง ( pH=7) เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเองร่วมกับแสงหรือ 1 ชั่วโมงเมื่อเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเอง โดย ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น

#### ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์

ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพและสมบัติทางกายภาพที่ดี ของเรซินซีเมนต์ ถ้าเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์มักมีมอนอเมอร์เหลืออยู่ ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพ ของเรซินซีเมนต์ลดลง Kumbuloglu และคณะ<sup>(75)</sup> รายงานปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซมเมื่อมีการเกิดพอลิเมอร์ 15 นาที พบว่าในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเอง มีปริมาณ การเกิดพอลิเมอร์เพียงร้อยละ 26 ขณะที่เมื่อใช้แสงร่วมด้วย มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ร้อยละ 56 แต่ในกลุ่มโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ร้อยละ 62-81 สอดคล้องกับ Vrochari และคณะ<sup>(77)</sup> ศึกษาปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของเซลฟ์แอดฮีซีฟ เรซินซีเมนต์ยี่ห้อต่างๆ ที่เวลา 10 นาทีหลังการผสมเรซินซีเมนต์ พบว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่าเมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับแสง ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 10.82- 24.93 และ 26.40-41.52 ตามลำดับ Bitter และคณะ<sup>(10)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึด (bond strength) ของเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ เมื่อเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเองมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้แสงร่วมด้วย จึงแนะนำ ให้ใช้แสงร่วมด้วยเมื่อต้องการให้เกิดพอลิเมอร์ในเรซินซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเองร่วมกับ แสง<sup>(4, 75, 77, 78)</sup>

#### ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

พบว่าค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และแม็กเซมมีค่าสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์อาร์คและเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ โดยมีค่า 13 10.4 9.6 และ 3.9 กิกะปาสคาลตามลำดับ<sup>(4)</sup> โดยเนื้อพื้มีค่ามอดูลัส ของสภาพยืดหยุ่น 15.8 กิกะปาสคาล<sup>(79)</sup> และเดือยพื้คอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วมีค่ามอดูลัสของ สภาพยืดหยุ่น ประมาณ 16-40 กิกะปาสคาล<sup>(80)</sup>

#### ความแนบสนิทบริเวณขอบของเรซินซีเมนต์กับเนื้อพื้

Frankenberger และคณะ<sup>(81)</sup> ศึกษาความแนบสนิทบริเวณขอบของชิ้นงานบูรณะเมื่อใช้ เรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ ยึดเซรามิกอินเลย์กับเนื้อพื้ ในชั้นเนื้อพื้พบว่ากลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน

ซีเมนต์ให้ค่าความแนบสนิทตามขอบร้อยละ 62-87.4 โดยมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ซึ่งมีค่าร้อยละ 88.6-89.1 และพบว่าความแนบสนิทมีค่าที่ดีที่สุดเมื่อใช้โททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ซึ่งมีค่าร้อยละ 89.7- 93.8 เช่นเดียวกับค่าความแนบสนิทตามขอบในชั้นเคลือบฟัน กลุ่มเซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ให้ค่าความแนบสนิทตามขอบร้อยละ 54.4-69.8 ใกล้เคียงกับกลุ่มเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ซึ่งมีค่าร้อยละ 70.6-76.5 และพบว่าค่าสูงสุดคือกลุ่มโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ซึ่งมีค่าร้อยละ 81.1-96.3 สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ที่มีค่าความเป็นกรดในมอนอเมอร์สูงให้ความแนบสนิทของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันที่ดีและการใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันก่อนในระบบโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ให้ค่าความแนบสนิทตามขอบสูงที่สุดในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน อย่างไรก็ตาม Ibarra และคณะ<sup>(69)</sup> ทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาค ( microleakage) ของเซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เมื่อยึดชิ้นงานเซรามิกวีเนียร์พบว่าในชั้นเนื้อฟันเซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เกิดการรั่วซึมน้อยกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ แต่เซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์เกิดการรั่วซึมในชั้นเคลือบฟันสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ และเมื่อปรับสภาพพื้นผิวชั้นเคลือบฟันและพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ก่อนยึดด้วยเซลฟ์แอตทิฟเรซินซีเมนต์ทำให้การรั่วซึมในชั้นเคลือบฟันน้อยลง แต่พบการรั่วซึมสูงขึ้นในชั้นเนื้อฟัน

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ส่วนประกอบ
รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX™ Unicem, 3M ESPE, USA)	powder: self-curing initiator, light-curing initiator, silane treated silica, glass fillers, calcium hydroxide, pigments (filler load 72% by weight, particle size < 9.5 μm liquid: methacrylated phosphoric esters, dimethacrylate, acetate, stabilizers, self-curing initiator, light-curing initiator
รีไลเอ็กซ์ยู 100 (RelyX™ U100, 3M ESPE, USA)	paste A: TEGDMA, bis-GMA, functionalized dimethacrylate polymer, silane treated silica, silane treated ceramic  paste B: TEGDMA, bis-GMA, functionalized dimethacrylate polymer (EYFH), silane treated silica, silane treated ceramic
แม็กซ์เซม (Maxcem™, Kerr, Orange, CA, USA)	GPDM, comonomers (mono-, di-, and tri-functional methacrylate monomer), self-curing redox activator, photoinitiator (camphorquinone), stabilizer, barium glass fillers, fluoroaluminosilicate glass filler, fumed silica (filler load 67% by weight, particle size 3.6 μm)
มัลติลิงค์ สปริงท์ (Multilink® sprint, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein)	dimethacrylates and acidic monomers, barium glass fillers, ytterbium trifluoride and silicon dioxide (filler load 48% by vol., particle size 5 μm)
บรีซ (Breeze®, Pentron clinical technologies, USA)	bis-GMA, UDMA, TEGDMA, HEMA, 4-META resins, silane treated bariumborosilicate glasses, silica with initiators, stabilizers and UV absorber, pigments, opacifiers
เคลียร์ฟิลเอสเอ (Clearfil™ SA, Kuraray medical, Japan)	paste A: TEGDMA, bis-GMA, 10-MDP, hydrophobic aromatic dimethacrylate, silane treated silica, silane treated barium glass fillers, initiator, camphorquinone, benzoyl peroxide  paste B: bis-GMA, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, silane treated silica, surface treated sodium fluoride, accerelator, pigments (filler load 45% by vol., particle size 2.5 μm)

## การศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์และการปรับสภาพฟันก่อนการ ใช้เซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์

### 1) ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ในชั้นพื้นผิวเคลือบฟัน

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค<sup>(2, 3, 6,11)</sup> และค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน<sup>(82)</sup> ของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์กับชั้น พื้นผิวเคลือบฟันมีค่าต่ำกว่าค่ากำลังแรงยึดของ โททอลเอ็ทซ์เร ซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์โดยเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และส่องผ่าน ไม่พบเรซินแทรกแต่พบองค์ประกอบของแก้วอยู่ในเรซินซีเมนต์ขนาด 1-5 ไมโครเมตร จำนวนมาก<sup>(3, 6, 82)</sup>

#### ● ผลการปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันก่อนยึดด้วยเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์

การปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ก่อนการ  
ใช้เซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ สามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ได้<sup>(6, 7, 69)</sup> เนื่องจากความ  
เป็นกรดของมอนอเมอร์ในเรซินซีเมนต์มีค่าต่ำไม่สามารถละลายแร่ธาตุออกจากชั้นเคลือบฟันได้  
Erickson และคณะ<sup>(83)</sup> รายงานผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอตอิ  
ชิฟเรซินซีเมนต์ในชั้นพื้นผิวเคลือบฟันมีค่าสูงขึ้นเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริก  
ความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที และเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันด้วยสารยึดติด  
ระบบเซลฟ์เอ็ทซ์

### 2) ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ในชั้นพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟัน

การศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ของ  
De Munck และคณะ<sup>(3)</sup> และ Hikita และคณะ<sup>(6)</sup> พบว่าเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์มีค่าต่ำกว่า  
โททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ แต่มีค่าใกล้เคียงกับเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ สอดคล้องกับผลการศึกษา  
ของ Viotti และคณะ<sup>(84)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซิน  
ซีเมนต์ยี่ห้อต่างๆ พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่าเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และโททอลเอ็ทซ์เรซิน  
ซีเมนต์

#### ● ผลการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟันก่อนยึดด้วยเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์

Hikitaและคณะ<sup>(6)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซิน  
ซีเมนต์มีค่าต่ำลงเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา

15 วินาที หรือเมื่อปรับสภาพ พื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ<sup>(8)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีค่าต่ำลงเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 เป็นเวลา 15 วินาที หรือการศึกษาของ Pisani-Proenca และคณะ<sup>(9)</sup> พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอ (Ethylenediamine Tetraacetic acid, EDTA) ความเข้มข้น 0.1 โมล เป็นเวลา 1 นาที ให้ค่ากำลังแรงยึดที่ลดลง เนื่องจากลักษณะของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ถึงบริเวณที่มีการสลายของไฮดรอกซีอะพาไทต์ จึงเกิดเป็นช่องว่าง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่งกราด พบชั้นยึดติดที่ผสมผสานระหว่างเรซินซีเมนต์กับไฮดรอกซีอะพาไทต์รอบคอลลาเจนและมีบริเวณโครงร่างคอลลาเจนที่เรซินซีเมนต์แทรกซึมลงไปไม่ถึง ลักษณะการแตกที่พบเกิดขึ้นในชั้นการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับสารยึดติดทั้งหมด ( adhesive failure)

อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Pisani-Proenca และคณะ<sup>(9)</sup> และ Chen และคณะ<sup>(85)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึดที่สูงขึ้นของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 เป็นเวลา 15 วินาที หรือเมื่อการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วย ไพรเมอร์ระบบเซลฟ์เอ็ทซ์เป็นเวลา 20 วินาที<sup>(9)</sup>

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pavan และคณะ<sup>(86)</sup> รายงานค่ากำลังแรงยึดที่สูงขึ้นของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซมเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 25 เป็นเวลา 10 วินาที แต่ไม่พบความแตกต่างในแอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อแม็กเซมอีไลท์ ขัดแย้งกับการศึกษาของ Tonial และคณะ<sup>(87)</sup> ซึ่งพบว่าเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 22.5 เป็นเวลา 10 วินาทีส่งผลให้ค่ากำลังแรง ยึดของแม็กเซมอีไลท์มีค่าสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดในรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม

### 3) ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน

เนื่องจากลักษณะคลองรากฟันมีความลึกและแคบส่งผลต่อแสงไม่สามารถลงไปกระตุ้นให้เกิดพอลิเมอไรด์ทั่ว ถึงในคลองรากฟันลักษณะรูปร่างของคลองรากฟันที่ให้ค่าซีแฟคเตอร์สูง ( c-factor)<sup>(88)</sup> เกิดความเครียดซึ่งส่งผลต่อการเกิดพอลิเมอไรด์ และลักษณะเนื้อ รากฟันที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของรากฟัน เช่น จำนวนหรือขนาดท่อเนื้อฟัน แขนงคลองรากฟันต่างๆ ( accessory



canals) เนื้อรากฟันที่มีแคลเซียมจับหนา (calcified dentin) ความแข็งของเนื้อฟันที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณเนื้อฟันทุติยภูมิ (secondary dentin) ที่มีลักษณะผิวขรุขระในคลองรากฟัน หรือชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมในขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟันในการรักษารากฟันหรือการเตรียมฟันที่สำหรับเดือยฟัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการยึดติดของเรซินซีเมนต์ได้<sup>(89)</sup> ผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟันหลายการศึกษาพบว่าเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์มีค่าแรงยึดติดที่ต่ำ<sup>(11, 90, 91)</sup> ส่งผลต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษารากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดนี้

Walter และคณะ<sup>(92)</sup> รายงานผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคในเนื้อฟันส่วนปลายรากพบว่าเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่าเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และไม่พบความแตกต่างกันระหว่างค่ากำลังแรงยึดในเนื้อฟันส่วนคอฟันและส่วนปลายรากฟันเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน

Goracci และคณะ<sup>(11)</sup> ศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกเมื่อยึดเดือยฟันในคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ พบว่าค่ากำลังแรงยึดของโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าสูงกว่าเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ โดยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่ากำลังแรงยึดใกล้เคียงกับเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ เนื่องจากเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ไม่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมพื้นผิวเนื้อฟันได้หมด สอดคล้องกับการศึกษาของ Mazzoni และคณะ<sup>(91)</sup> พบว่าเมื่อนำฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันไปผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง (thermocycling) ค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันที่ยึดด้วยโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม Bitter และคณะ<sup>(10)</sup> พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันเมื่อยึดด้วยเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์มีค่าสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ แต่มีค่าใกล้เคียงกับเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์เนื่องจาก 10-เอ็มดีพีที่อยู่ในส่วนประกอบของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 และเมทาคริลเลตฟอสเฟตเอสเทอร์ที่อยู่ในส่วนประกอบของเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวีโลเอ็กซ์ยูนิเซม สามารถเกิดพันธะเคมีที่แข็งแกร่งกับแคลเซียมในเนื้อฟัน<sup>(73)</sup> ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ ซึ่งมีบิสฟีนเอเป็นส่วนประกอบและยังพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันเมื่อยึดด้วยเซลฟ์แอตติฟเรซินซีเมนต์มีค่าสูงขึ้น โดยสูงกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์<sup>(10)</sup>

ผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดในคลองรากฟัน เมื่อยึดเดือยฟันด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน ซีเมนต์มีค่าสูงเนื่องจากองค์ประกอบและคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้ดีในสถานะที่มีน้ำ<sup>(10, 93)</sup> โดย Mazzitelli และคณะ<sup>(94)</sup> ศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน ซีเมนต์ภายใต้ความดันน้ำซึ่งเป็นสถานะจำลองของความดันน้ำในท่อเนื้อฟัน พบว่าเมื่อยึดเรซิน ซีเมนต์ในสถานะปกติ(ไม่มีความดันน้ำ) ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของโททอลเอ็ทซ์เรซิน ซีเมนต์ยี่ห้อคาลิบราให้ค่า 20.8 เมกะปาสคาล สูงกว่าเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวีไลเอ็ทซ์ ยูนิเซมและยี่ห้อบิสเซม ซึ่งมีค่า 11.4 และ 2.4 เมกะปาสคาล ตามลำดับในขณะที่การยึดเรซิน ซีเมนต์ภายใต้ความดันน้ำ พบว่าวีไลเอ็ทซ์ยูนิเซมและบิสเซมมีค่าแรงยึดที่สูงกว่าคาลิบรา โดยมีค่า 16.5 12.4 และ 12 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และพบว่าค่ากำลังแรงยึดภายใต้ความดันน้ำของ เซลฟ์แอดฮีซีฟแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับส่วนประกอบของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์แต่ละยี่ห้อ

- **ผลการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนรากฟันก่อนยึดด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน ซีเมนต์**

Sahafi และ Peutzfeldt<sup>(12)</sup> รายงานผลการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 30 วินาที หรือล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายเอ็ดทีไอซี (ethylenediaminetetraacetic acid plus Cetavlon; EDTAC)ความเข้มข้นร้อยละ 15 ก่อนยึด เดือยฟันด้วยวีไลเอ็ทซ์ยูนิเซมพบว่าผลการปรับสภาพผนังคลองรากฟันไม่ได้เพิ่มค่ากำลังแรงยึดของ วีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม

จากการทบทวนวรรณกรรมของการปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อนใช้เซลฟ์เอ็ทซ์เรซิน ซีเมนต์ ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดใกล้เคียงกับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน ซีเมนต์ พบว่าการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 เป็นเวลา 15 และ 30 วินาที<sup>(14, 95)</sup> หรือการล้างคลองรากฟันด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 หรือปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 40 เป็นเวลา 30 วินาที แล้วล้างตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25<sup>(13)</sup> หรือเมื่อใช้เครื่องมืออัลตราซาวด์ที่มีปลายยาวถึงปลายราก ฟันทำความสะอาดคลองรากฟันก่อนการปรับสภาพด้วยสารละลายเอ็ดทีไอซีความเข้มข้นร้อยละ 17

ร่วมกับสารละลายไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25<sup>(95)</sup> สามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันเมื่อยึดด้วยเซฟท์เอ็กซ์เรซินซีเมนต์ได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อล้างผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ร่วมกับสารละลายไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25<sup>(95)</sup> ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันเมื่อยึดด้วยเซฟท์เอ็กซ์เรซินซีเมนต์มีค่าลดลง เช่นเดียวกับการล้างพื้นผิวเนื้อฟันส่วนรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 เป็นเวลา 1 นาที ก่อนยึดเรซินคอมโพสิตด้วยเซฟท์เอ็กซ์เรซินซีเมนต์ ทำให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเนื้อฟันกับเรซินคอมโพสิตมีค่าลดลง<sup>(15)</sup> สอดคล้องกับ Hayashi และคณะ<sup>(15)</sup> ซึ่งพบว่าเนื้อฟันที่ถูกกำจัดชั้นสเมียร์และแร่ธาตุบนท่อเนื้อฟันออกไปมากให้ค่าความทนแรงเฉือนที่ต่ำกว่าเนื้อฟันที่มีชั้นสเมียร์ปกคลุม

### ชั้นสเมียร์(smear layer)

ชั้นสเมียร์<sup>(96, 97)</sup> คือ ชั้นเศษผงปกคลุมผนังคลองรากฟันและปกคลุมท่อเนื้อฟัน เกิดจากการใช้เครื่องมือขยายคลองรากฟันเพื่อทำความสะอาดและกำจัดส่วนของเนื้อฟันที่ติดเชื่อในผนังคลองรากฟันซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการรักษาคลองรากฟัน เมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าชั้นสเมียร์มีลักษณะออสติฐาน มีรูปร่างไม่แน่นอน และมีลักษณะเป็นแกรนูล (granule)<sup>(98)</sup> ประกอบด้วยเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน เซลล์สร้างเนื้อฟัน (odontoblastic process) และเชื้อแบคทีเรีย<sup>(97)</sup> มีความหนา 1 ถึง 5 ไมโครเมตร<sup>(96)</sup> ชั้นความหนาขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องมือในการตัดเนื้อฟัน มีการแบ่งชั้นสเมียร์เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นพื้นผิวด้านบนและชั้นที่อุดปิดท่อเนื้อฟัน ความลึกของชั้นที่อุดปิดท่อเนื้อฟันนั้นลึกได้ถึง 40 ไมโครเมตร ขึ้นกับลักษณะการใช้เข็มกรอหรือเครื่องมือขยายคลองราก<sup>(96, 99)</sup>

ปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปเรื่องการทำกำจัดชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมเนื้อฟัน เชื่อว่าชั้นสเมียร์ทำหน้าที่กีดขวางไม่ให้แบคทีเรียแทรกเข้าไปในท่อเนื้อฟันและการกำจัดชั้นสเมียร์ทำให้แบคทีเรียแทรกเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ง่ายขึ้น<sup>(100)</sup> แต่การมีชั้นสเมียร์ทำให้ไม่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียในท่อเนื้อฟันได้เมื่อใช้น้ำยาล้างคลองรากฟัน<sup>(101-103)</sup> และอาจขัดขวางการยึดติดและการแทรกซึมของซีเมนต์ฉาบยึดคลองรากฟันเพื่อเข้าไปในท่อเนื้อฟัน<sup>(97, 104)</sup> โดยซีเมนต์แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ 40-60 ไมโครเมตร ซึ่งช่วยป้องกันการรั่วซึมได้

## สารต่างๆที่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้แก่

### 1. เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีติกเอซิด (Ethylene diamine tetraacetic acid; EDTA)

อีดีทีเอเป็นสารที่จับกับแคลเซียมในเนื้อฟัน จับ ได้ลึก 20-30 ไมโครเมตร เมื่อทิ้งไว้ 5 นาที<sup>(101)</sup> ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้ในการล้างคลองรากฟัน คือ อีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 15-17 ที่ค่าความเป็นกรด-ต่างประมาณ 7-8<sup>(105-107)</sup> เมื่อใช้สารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ล้างคลองรากฟันเป็นเวลา 1 นาที สามารถทำความสะอาดผนังคลองรากฟันได้ดี กำจัดชั้นสเมียร์ได้ในส่วนต้นและส่วนกลางของคลองรากฟัน แต่ไม่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ในส่วนปลายรากได้หมด<sup>(108)</sup> เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดพบว่าการกำจัดชั้นสเมียร์ในส่วนต้นและส่วนกลางรากฟันได้ทั้งหมดและพบชั้นที่มีเส้นใยคอลลาเจนจำนวนมาก ท่อนเนื้อฟันส่วนใหญ่ถูกเปิดออกและยังพบสเมียร์ลึกลับฝังอยู่ในท่อนเนื้อฟัน<sup>(15)</sup> ประสิทธิภาพในการล้างคลองรากฟันเมื่อใช้สารละลายอีดีทีเอปริมาณ 5 มิลลิลิตรเทียบเท่ากับปริมาณ 10-15 มิลลิลิตร<sup>(109)</sup> แต่เวลาที่ใช้ในการล้างอีดีทีเอส่งผลต่อลักษณะของพื้นผิวเนื้อฟัน Calt และ Serper<sup>(107)</sup> แนะนำให้ใช้เวลาในการล้างคลองรากฟันด้วย อีดีทีเอไม่เกิน 1 นาที เพราะการล้างนาน 10 นาที ทำให้พื้นผิวเนื้อฟันเกิดการสึกกร่อนมาก (erosive) ทำให้ขนาดของท่อนเนื้อฟันด้านบนมีขนาดกว้าง ส่งผลให้เนื้อฟันมีความแข็งแรงน้อยลงและเป็นสาเหตุทำให้รากฟันเปราะ<sup>(110, 111)</sup> Saito และคณะ<sup>(112)</sup> ศึกษาผลของการกำจัดชั้นสเมียร์เมื่อใช้เวลาในการล้างคลองรากฟันด้วยอีดีทีเอแตกต่างกัน การล้างคลองรากฟันด้วยอีดีทีเอเป็นเวลา 15 30 และ 60 วินาที มีผลต่อการกำจัดชั้นสเมียร์ที่แตกต่างกันในส่วนต้นและส่วนกลางของคลองรากฟัน แต่ไม่แตกต่างกันในส่วนปลายรากฟันเนื่องจากยังคงเหลือชั้นสเมียร์บนพื้นผิว

### 2. โซเดียมไฮโปคลอไรด์

โซเดียมไฮโปคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการละลายเนื้อเยื่อซึ่งเป็นสารอินทรีย์ โดยไม่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมท่อนเนื้อฟัน<sup>15</sup> เมื่อนำมาล้างคลองรากฟันเพื่อทำความสะอาดผนังคลองรากฟัน<sup>(113, 114)</sup>

Yamada และคณะ<sup>(103)</sup> แนะนำให้ใช้น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร่วมกับอีดีทีเอล้างคลองรากฟันเพื่อกำจัดเศษผง เนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันและเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งองค์ประกอบอินทรีย์ เนื่องจากไม่มีน้ำยาล้างคลองรากชนิดใดที่สามารถกำจัดได้ทั้งองค์ประกอบอินทรีย์และละลายแร่ธาตุในชั้นสเมียร์<sup>(103, 114)</sup> จึงแนะนำให้ใช้ในระหว่างขั้นตอนการใช้เครื่องมือขยายคลองรากฟันและ

หลังจากขยายคลองรากฟันเสร็จ เมื่อล้างด้วยสารละลายยี่ห้อที่เอความเข้มข้นร้อยละ 17 เป็นเวลา 1 นาทีร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 15 วินาที สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้ทั้งหมด ท่อน้ำฟันเปิดออกอย่างชัดเจนและเนื้อฟันรอบๆทางเปิดท่อน้ำฟันมีการสึกกร่อน<sup>(15)</sup>

### 3. กรดซิตริก(citric acid)

กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 5-50 สามารถกำจัดชั้นสเมียร์บนพื้นผิวเนื้อฟันได้<sup>(105, 106, 115)</sup> เมื่อล้างคลองรากฟันด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 3 นาที พบท่อน้ำฟันเปิดออก แต่ยังไม่พบชั้นสเมียร์บนพื้นผิวเนื้อฟัน<sup>(116)</sup> ความสามารถในการละลายแคลเซียมของกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 เมื่อแช่ฟันไว้เป็นเวลา 3 นาทีและ 10 นาทีที่มีความใกล้เคียงกัน<sup>(117)</sup> และความสามารถในการละลายแคลเซียมของกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 15 และสารละลายยี่ห้อที่เอความเข้มข้นร้อยละ 15 ในเวลา 5-15 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน<sup>(118)</sup>

### 4. กรดมาเลอิก(maleic acid)

กรดมาเลอิกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีค่าความเป็นกรดอ่อน มีประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ แนะนำให้ใช้ที่ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 7<sup>(119)</sup> เนื่องจากความเข้มข้นสูงกว่านี้ลักษณะของเนื้อฟันระหว่างท่อน้ำฟัน ( intertubular dentin) เกิดความเสียหาย กรดมาเลอิกความเข้มข้นร้อยละ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ในผนังคลองรากฟันได้ดี โดยประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ใกล้เคียงกับสารละลายยี่ห้อที่เอความเข้มข้นร้อยละ 17 ในบริเวณส่วนต้นและส่วนกลางคลองรากฟันและมีประสิทธิภาพดีกว่ายี่ห้อที่เอในส่วนปลายรากฟัน

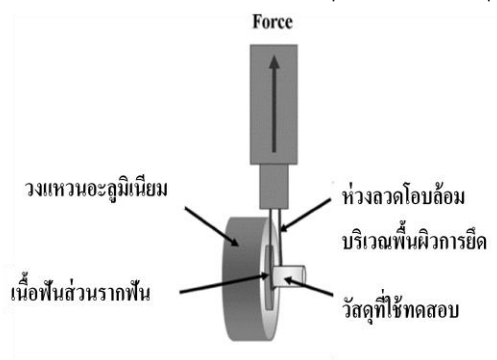
### 5. เอ็มทีเอดี (mixture of a tetracycline isomer, an acid, and a detergent)

เอ็มทีเอดี คือ สารละลายที่มีส่วนประกอบของด็อกซีไซคลินความเข้มข้นร้อยละ 3 (3%doxycycline) กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 4.25 (4.25% citric acid) และสารชำระล้างพอลิซอร์เบท 80 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (0.5% polysorbate 80 detergent) เอ็มทีเอดีมีประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ใกล้เคียงกับยี่ห้อที่เอ แต่ไม่ทำให้เนื้อฟันในผนังคลองรากฟันเกิดการสึกกร่อน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า<sup>(120)</sup> สามารถกำจัดชั้นสเมียร์และมีชั้นเนื้อฟันที่ถูกละลายแร่ธาตุออกไปบางส่วนลึก 10-12 ไมโครเมตร มากกว่าความสามารถในการละลายแร่ธาตุของยี่ห้อที่เอ 2 เท่า<sup>(121)</sup>

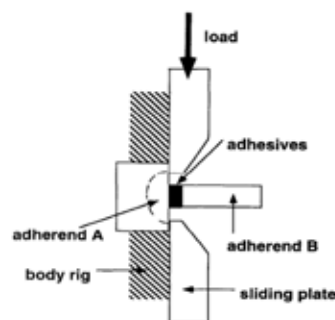
## วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกในฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใย และเรซินซีเมนต์

วิธีทดสอบการยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยและเรซินซีเมนต์มีหลายวิธี เช่น วิธีทดสอบแบบเฉือน (shear test) วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกและวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงออก (pull out bond strength test)

วิธีทดสอบแบบเฉือน นิยมใช้ในการทดสอบค่าการยึดอยู่ระหว่างพื้นผิววัสดุ เช่น ทดสอบค่าการยึดอยู่ของเรซินคอมโพสิตกับพื้นผิวเนื้อฟัน โดยยึดวัสดุที่ต้องการทดสอบบนพื้นผิวเนื้อฟัน นำห่วงลวดโอบล้อมบริเวณพื้นผิวการยึดติด ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) แรงกระทำเกิดขึ้นโดยการดึงให้พื้นผิวการยึดติดมีการแตกออก หรือเป็นแรงกระทำแบบกดที่บริเวณพื้นผิวการยึดติดให้แตกออก (ภาพที่ 5) ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ชี้นทดสอบที่มีขนาดใหญ่ พื้นที่การยึดติดกว้าง และการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ โดยมีการสะสมของแรงกระทำมากบริเวณที่มีสารหนาแน่น และการแตกของชี้นทดสอบมักเป็นการแตกในชั้นเนื้อฟัน (cohesive dentin failure) ซึ่งทำให้เกิดการประเมินค่ากำลังแรงยึดบริเวณพื้นผิวการยึดติดที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากตำแหน่งที่เริ่มมีการแตกไม่ใช่จุดที่อ่อนแอที่สุดของชี้นทดสอบ<sup>(122)</sup>



6.1



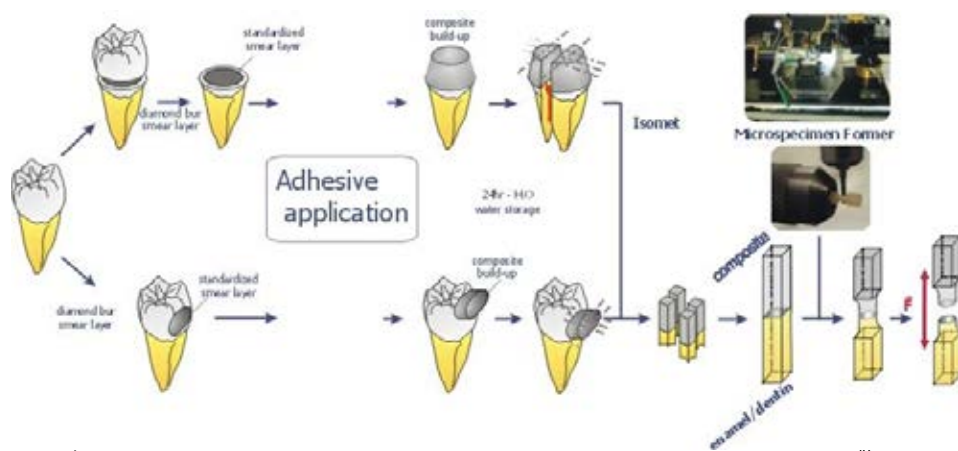
6.2

ภาพที่ 5 แสดงวิธีการทดสอบแรงยึดแบบเฉือน

5.1 แสดงการทดสอบแรงเฉือนโดยใช้ห่วงลวดโอบล้อมบริเวณพื้นผิวการยึดติดและใช้แรงดึงทำให้พื้นผิวการยึดติดแตกออก

5.2 แสดงการทดสอบแรงเฉือนโดยใช้แท่งโลหะกระทำต่อพื้นผิวการยึดติดด้วยแรงกดแหล่งที่มาของภาพ Watanabe และ Nakabayashi ในปีค.ศ. 1994<sup>(123)</sup>

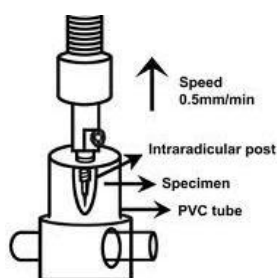
วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคแนะนำให้เป็นวิธีทดสอบที่สามารถใช้ทดสอบกับชิ้นทดสอบขนาดเล็กเพื่อประเมินพื้นผิวการยึดติดได้ดีขึ้น<sup>(124)</sup> ชิ้นทดสอบเกิดจากการตัดแบ่งเนื้อฟันบริเวณที่ต้องการออกเป็นชิ้นขนาดเล็กและนำมายึดติดกับวัสดุที่ต้องการทดสอบ นำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากลด้วยแรงดึงในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวการยึดติด ข้อดีของวิธีทดสอบนี้คือ สามารถประเมินค่ากำลังแรงยึดในแต่ละตำแหน่งของซี่ฟันได้ และได้จำนวนชิ้นทดสอบหลายชิ้นในซี่ฟันหนึ่งซี่ ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้ในการทดสอบค่ากำลังแรงยึดบริเวณพื้นผิวเนื้อฟันและพื้นผิวเคลือบฟัน<sup>(125)</sup> ข้อเสียของวิธีทดสอบนี้คือ การเตรียมชิ้นทดสอบทำได้ยากและใช้เวลานาน เกิดการแตกหักของชิ้นทดสอบระหว่างขั้นตอนการเตรียมได้ง่าย (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค โดยมีการตัดชิ้นฟันออกเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วนำมายึดติดกับวัสดุที่ต้องการทดสอบ แรงกระทำที่เกิดขึ้นเป็นแรงดึงมีแนวแรงตั้งฉากกับพื้นผิวการยึดติด

แหล่งที่มาของภาพ Biomat Leuven research cluster<sup>(126)</sup>

วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงเป็นวิธีทดสอบที่หลีกเลี่ยงลักษณะการแตกร้าวระหว่างพื้นผิวการยึด เช่น ระหว่างเดือยฟันที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน<sup>(127)</sup> แรงที่มากกระทำตั้งฉากกับบริเวณพื้นผิวการยึด โดยการดึงที่ตำแหน่งเดือยฟัน ไม่ส่งแรงเครียดไปยังบริเวณเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน แต่ข้อจำกัดของวิธีทดสอบนี้คือ ค่ากำลังแรงยึดที่ได้เป็นค่าการยึดติดที่เกิดขึ้นตลอดผนังคลองรากฟัน ไม่สามารถวิเคราะห์ค่ากำลังแรงยึดของแต่ละตำแหน่งรากฟันได้ (ภาพที่ 7)

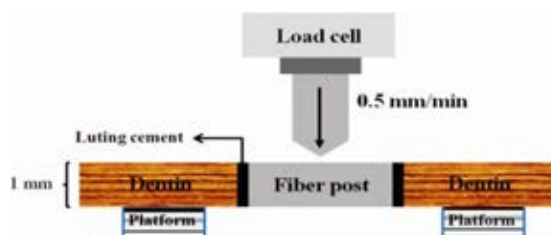


ภาพที่ 7 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงออก โดยแรงกระทำเกิดขึ้นด้วยการดึงเดือยฟันออก จนเกิดการแตกของพื้นผิวการยึดติด แหล่งที่มาของภาพ da Silva และคณะ ปีค.ศ. 2008 <sup>(128)</sup>

วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลักถูกแนะนำ ขึ้นในปี ค.ศ. 1970 เป็นวิธีทดสอบแรงเฉือนระหว่างชั้นพื้นผิวของวัสดุต่างชนิดกัน เพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยึดระหว่างพื้นผิววัสดุ วิธีนี้เป็นที่นิยมทดสอบค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันเสริมเส้นใยที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน แรง ที่มากระทำต่อชิ้นทดสอบเป็นแรงในแนวขนานระหว่างชั้นรอยต่อของพื้นผิวเดือยฟันและพื้นผิวเนื้อฟัน <sup>(129)</sup> รอยแตกที่เกิดในแนวขนานกับชั้นพื้นผิวรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเดือยฟันซึ่งใกล้เคียงกับลักษณะที่เกิดขึ้นในทางคลินิก พบว่าถ้าชิ้นทดสอบมีความหนา มักเกิดการกระจายแรงไม่ไปในทิศทางเดียวกัน จึงประยุกต์วิธีการทดสอบโดยให้ชิ้นทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดการกระจายแรงที่ดี <sup>(130)</sup> ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถวิเคราะห์ค่ากำลังแรงยึดในแต่ละตำแหน่งรากฟันได้เช่นเดียวกับวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคและวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลักของ Goracci และคณะ <sup>(131)</sup> พบว่าวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบที่ยาก ไม่สามารถควบคุมแรงหรือการสั่นสะเทือนของเข็มกรอที่ส่งไปยังบริเวณพื้นผิวการยึดติดของชิ้นทดสอบ เกิดการแตกของชิ้นทดสอบได้ง่าย ค่ากำลังแรงยึดที่ได้มีค่าความแปรปรวนสูง ดังนั้นเมื่อต้องการทดสอบค่าแรงยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน วิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลักเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือมากที่สุด แนะนำให้ทดสอบด้วยวิธีทดสอบแบบผลักระดับจุลภาค (micro push out test) คือชิ้นทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร ในอดีตชิ้นงานที่ทดสอบมีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2 มิลลิเมตร เพื่อลดปัจจัยการกระจายแรงที่ไม่ สม่าเสมอ



กัน และเกิดความถูกต้องมากขึ้นเมื่อตรวจสอบการแตกหักของชั้นพื้นผิวการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์<sup>(130)</sup> (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก ซึ่งทดสอบมีขนาดเล็ก แรงกระทำเป็นแรงกดที่ตำแหน่งเดียวพื้นจนมีการแตกออกของพื้นผิวการยึดติด แหล่งที่มาของภาพ Erdemir U และคณะ ในปี ค.ศ.2010<sup>(16)</sup>

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ฟันกรามน้อยล่างซี่แรกของมนุษย์ ปราศจากรอยผุ รอยร้าวใดๆ จำนวน 60 ซี่
2. พู่กันขนาดเล็ก (Microbrush, SDI, Australia)สำหรับทาสารยึดติดในคลองรากฟัน
3. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ37 (Total etch, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)
4. สารยัดติดซี่ห่อเอ็กไซท์ดีเอสซี ( Excite<sup>®</sup> DSC, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)และเรซินซีเมนต์ซี่ห่อวาริโอลิงค์ทู(Variolink<sup>®</sup> II, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)
5. ไพรเมอร์ระบบเซลฟ์เอ็ทซิ่งซี่ห่ออีดีไพร์เมอร์ทู ( ED primerII, Kuraray Medical, Japan) และเรซินซีเมนต์ซี่ห่อพานาเวีย เอฟ2.0(Panavia<sup>™</sup> F 2.0, Kuraray Medical, Japan)
6. เรซินซีเมนต์ซี่ห่อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX<sup>™</sup> Unicem, 3M ESPE, USA)
7. สารละลายไธมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (0.1% thymol solution)
8. น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9(0.9% normal saline solution)
9. สารละลายอีดีทีทีเคความเข้มข้นร้อยละ 17 (17%Ethylene diamine tetraacetic acid, 17%EDTA)
10. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ2.5 (2.5%Sodium hypochlorite)
11. ซีเมนต์ฉาบยัดคลองรากฟันซี่ห่อเอชพลัส (AH Plus<sup>®</sup>, Dentsply, Germany)
12. แท่งกัตกทาเพอร์ชา (gutta percha, Coltène Whaledent, Germany)
13. แท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลม (paper point)และก้อนสำลีขนาดเล็ก
14. วัสดุอุดชั่วคราว(Cavit<sup>™</sup>, 3M ESPE, USA)
15. อะคริลิกเรซินสำหรับทำบล็อกยึดซี่ฟัน(acrylic resin)
16. บล็อกซิลิโคนรูปทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 22 มิลลิเมตรสูง 25 มิลลิเมตร
17. ฝอยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยซี่ห่อไฟเบรเคียร์เบอร์ 3 (Fibrekleer<sup>®</sup>, Pentron Clinical, USA)

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (low speed cutting machine, ISOMET<sup>®</sup> 1000, Buehler, USA)
2. เครื่องฉายแสง (Elipar<sup>®</sup> Trilight, 3M ESPE, USA) ที่มีความเข้มแสง 500 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm<sup>2</sup>)
3. เครื่องกรอแบบเร็วและช้า รวมทั้งหัวเป่าลมและน้ำแบบ 3 ทาง (Kavo<sup>®</sup>, Heidelberg, Germany)
4. เครื่องขยายคลองรากฟันเยื่อเอ็กซ์มาร์ท (X-Smart<sup>™</sup>, Dentsply-Maillefer, Switzerland)
5. เครื่องปั้นอมัลกัม (Silamat<sup>®</sup> S5, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)
6. เครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง (Leica SP1600 saw microtome, Leica Microsystems, Germany)
7. เครื่องวัดขนาดดิจิทัลของความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร (digital vernier caliper, Mitutoyo, Japan)
8. เครื่องสำรวจความขนาน (surveyor, NEY, USA)
9. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereo microscope ML 9300, Meiji, Japan)
10. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand)
11. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (ultrasonic cleaner, Branson, Germany)
12. เครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิก (Instron<sup>®</sup> universal testing machine 8872, Instron, UK)
13. ไฟล์โปรเทเปอร์ (Protaper<sup>®</sup> file, Dentsply-Maillefer, Switzerland)
14. เข็มกรอสำหรับเดือยฟันเยื่อไฟบริเคลียร์ เบอร์ 3 (Fibrekleer<sup>®</sup>, Pentron Clinical, USA)
15. เครื่องมือชุดเกรซี่ เบอร์ 3-4 ยี่ห่อฮูฟรีดี (Hu-friedy<sup>®</sup> Gracey curette no.3-4, Hu-friedy, USA)

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้	ส่วนประกอบ
เอ็กซ์ไซท์ดีเอสซี (Excite <sup>®</sup> DSC, Ivoclar vivadent, Liechtenstein)	HEMA, Dimethacrylates, phosphoric acid acrylate, silica, ethyl alcohol
วาริโอลิงค์ 2 (Variolink <sup>®</sup> II, Ivoclar vivadent, Liechtenstein)	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, ytterbium trifluoride, barium glass, silica
อีดีไพร์เมอร์ทู (ED primerII, Kuraray, Japan)	primer A: 2-HEMA, 10-MDP, 5-NMSA, water accelerators Primer B: 5-NMSA, accelerator, water, sodium benzene sulphinate
พานาเวียเอฟ 2.0 (Panavia <sup>™</sup> F2.0, Kuraray, Japan)	Paste A: 10-MDP, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, hydrophillic dimethacrylate, silanated silica, photoinitiator, dibenzoyl peroxide Paste B: hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, hydrophillic dimethacrylate, sodium aromatic sulfinate, accelerator, sodium fluoride, silanated barium glass
รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX <sup>™</sup> Unicem, 3M ESPE, USA)	powder: self-curing initiators, light-curing initiators, silane treated silica, glass fillers, calcium hydroxide, pigments (filler load 72% by weight, particle size < 9.5µm) Liquid: methacrylated phosphoric esters, dimethacrylates, acetate, stabilizers, self-curing initiators, light-curing initiators
เด็อยฟันไฟบริเคลียร์ (FibreKleer <sup>®</sup> , Kerr, USA)	Mixture of cured copolymers Bis GMA, UDMA, HDDMA Bariumborosilicate* glasses, glass fibers *contains alumina as minor constituent of the glass

Bis-GMA: Bisphenol A Dimethacrylate

HEMA: Hydroxyethylmethacrylate

TEGDMA: triethylene glycoldimethacrylate

UDMA: urethanedimethacrylate

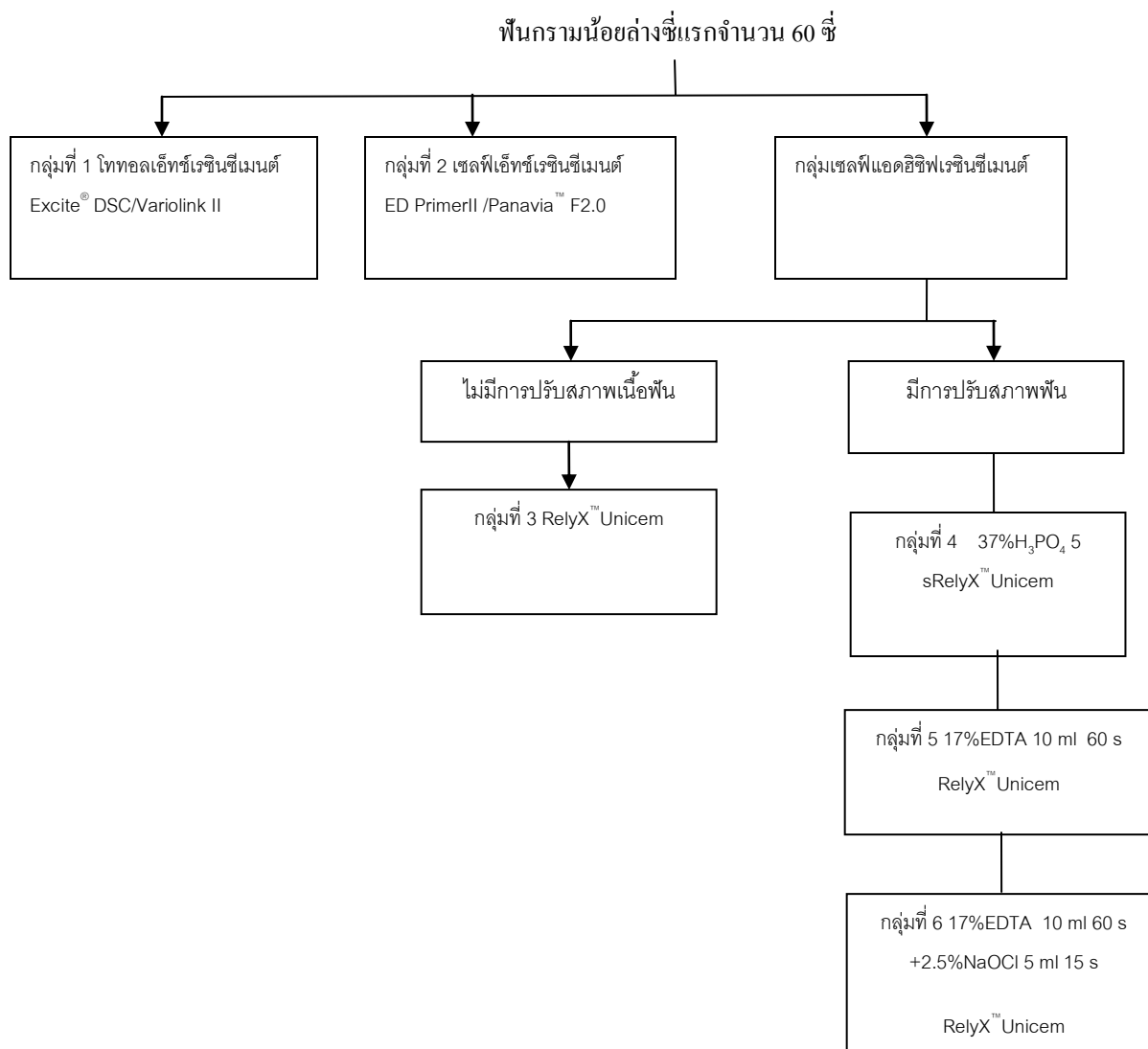
5-NMSA: N-methacryloyl-5-aminosalicylic acid

10-MDP: 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

### วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบผลการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างชนิดกันต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อยึดด้วยเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ (ภาพที่ 9)

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ใช้โททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์โดยใช้สารยึดติดยี่ห้อเอ็กไซทีดีเอสซี ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอดิงค์ทู
- กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ใช้เซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ โดยใช้ไพรเมอร์ระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ยี่ห้ออีดีไพรเมอร์ทู ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0
- กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ โดยใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม
- กลุ่มที่ 4 กลุ่มที่มีการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 5 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำเกลือ ก่อนใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม
- กลุ่มที่ 5 กลุ่มที่มีการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 10 มิลลิลิตรเป็นเวลา 60 วินาที ก่อนใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม
- กลุ่มที่ 6 กลุ่มที่มีการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 วินาทีและสารละลายไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 วินาที ก่อนใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซม



ภาพที่ 9 แสดงการแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่

## ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วย

1. การเลือกฟัน
2. การรักษาคคลองรากฟัน
3. การเตรียมฟันที่สำหรับเดือยฟัน
4. การเตรียมผนังคลองรากฟันและการใช้เรซินซีเมนต์ในแต่ละกลุ่มทดลอง
5. การยึดฟันด้วยแท่นอะคริลิกเรซิน
6. การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดลองหาค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก
7. การทดลองหาค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก
8. การคำนวณค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก
9. การตรวจสอบรูปแบบการแตกร้าวของชิ้นทดสอบ

### 1. การเลือกฟัน

เลือกใช้ฟันมนุษย์ซี่กรามน้อยล่างซี่แรกที่มีรากเดียว จำนวน 60 ซี่ ซึ่งไม่มีรอยผุหรือรอยร้าวใดๆ มีขนาดและรูปร่างของคลองรากฟันใกล้เคียงกันขนาดแนวด้านแก้ม - ลิ้น  $7 \pm 0.5$  มิลลิเมตร และด้านใกล้กลาง-ไกลกลาง  $5 \pm 0.5$  มิลลิเมตร รากฟันยาว  $14 \pm 0.5$  มิลลิเมตร นำฟันที่คัดเลือกมาทำความสะอาดด้วยเครื่องมือชุดเกรซีย์เบอร์ 3-4 เพื่อกำจัดหินปูนและเศษเนื้อเยื่อ แล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้อง<sup>(10)</sup>

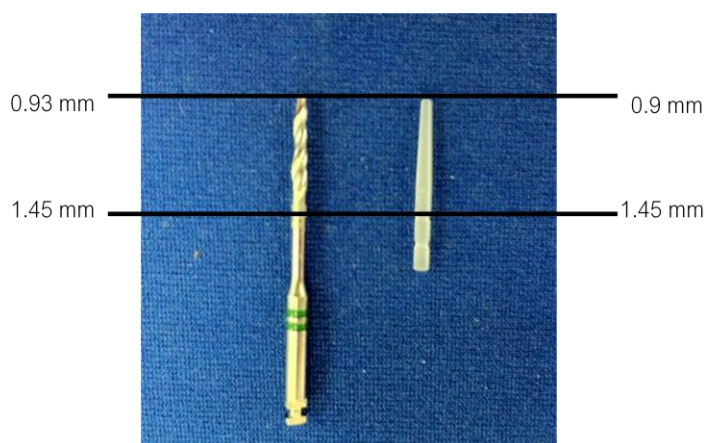
### 2. การรักษาคคลองรากฟัน

ตัดตัวฟันออกจากรากฟันที่บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน ทางแนวด้านแก้ม - ลิ้น ด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ ในแนวตั้งฉากกับแนวแกนฟัน จากนั้นรักษาคคลองรากฟันด้วยวิธีคราวน์ดาวน (crown down technic) โดยใช้ไฟล์โปรเทเปอร์ ร่วมกับเครื่องขยายคลองรากฟันอิเล็กทรอนิกส์กำหนดความยาวในการรักษารากฟันสั้นกว่ารูเปิดปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร เริ่มต้นขยายคลองรากด้วยไฟล์เบอร์เอสเอ็กซ์ (Sx file) จนถึงเบอร์เอฟ 3 (F3 file) จากนั้นขยายด้วยเคไฟล์เบอร์ 35 เป็นขนาดของไฟล์หลักที่ขยายคลองราก ( Master Apical File, MAF)<sup>(16, 95)</sup> ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ทุกครั้งที่เปลี่ยนไฟล์แต่ละขนาด ชับคลองรากฟันให้แห้งด้วยสำลีก้อนเล็กและแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลม อุดคลองรากฟันด้วยแท่งกัทยาเพอร์ชา

โดยวิธีกดอัดด้านข้าง (lateral condensation technic) ปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราวครวเควิท ระหว่างการรักษารากฟันนำผ้าก๊อชชุบน้ำหุ้มรากฟันไว้เพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสียความชื้น จากนั้นนำรากฟันเก็บในกล่องที่มีสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้วัสดุอุดคลองรากฟันแข็งตัวเต็มที่<sup>(132)</sup>

### 3. การเตรียมฟันสำหรับเดือยฟัน

กำจัดแท่งกัตทาเพอร์ชาส่วนต้นออกด้วยเครื่องมือร้อนแล้วตามด้วยเข็มกรอของไฟบริเคลียร์เบอร์ 3 จนเหลือแท่งกัตทาเพอร์ชาที่ปลายราก 4 มิลลิเมตรที่ความยาวเดิม ล้างคลองรากฟันด้วยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9 เป่าลมให้แห้งซับผนังคลองรากฟันให้หมดด้วยสำลีก้อนเล็กและแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลม 4 แท่ง ถ่ายภาพรังสีซีพีฟันทุกซี่เพื่อตรวจสอบว่ายังมีแท่งกัตทาเพอร์ชาหลงเหลือในคลองรากฟันในระยะความยาวทำงานหรือไม่และตรวจสอบความหนาของซีพีฟันไม่หนาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร นำเดือยฟันไฟบริเคลียร์ ขนาดเบอร์ 3 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตรที่ปลายรากและเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.45 มิลลิเมตรที่ส่วนต้น) (ภาพที่ 10) ใส่ในคลองรากฟันที่เตรียมไว้และวัดความยาวของเดือยฟันที่ใส่ในคลองรากฟันเท่ากับระยะการทำงาน ชิดด้วยหมึกสีดำไว้เป็นเครื่องหมาย



ภาพที่ 10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกรอเตรียมคลองรากฟันและเดือยฟันไฟบริเคลียร์



#### 4. การเตรียมผนังคลองรากฟันและการใช้เรซินซีเมนต์ในแต่ละกลุ่มทดลอง

**กลุ่มที่ 1** ใช้สารยึดติดยี่ห้อเอ็กไซท์ดีเอสซี และเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทู (ภาพที่ 11) ปรับสภาพเนื้อฟันในคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที และล้างด้วยน้ำเกลือปริมาณ 5 มิลลิลิตร บรรจุนในหลอดแก้วปลายเข็มใส่ลึกสุดถึงก้นคลองราก เพื่อให้แน่ใจว่าล้างกรดออกหมด เป่าลมให้แห้ง ชุบคลองรากฟันให้หมาดด้วยสำลีก้อนเล็กและแห้ง กระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แห้งเริ่มใช้สารยึดติดยี่ห้อเอ็กไซท์ดีเอสซี โดยกดตามสีน้ำเงินของ หลอดสารยึดติดซึ่งมีสารเริ่มต้นปฏิกิริยาอยู่ที่ปลายขนแปรงให้สัมผัสกับส่วนของเหลวที่อยู่ในหลอดอีก ด้าน เพื่อให้เริ่มเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ นำด้ามแปรงขนาดเล็กทาทั่วผนังคลองรากฟันเป็นเวลา 10 วินาที ชุบให้หมาดด้วยแห้งกระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แห้ง ผสมเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทู สีโปร่งแสง อัตราส่วนเบสและคะตาลีสท์ เท่ากับ 1:1 นำส่วนผสมเรซินซีเมนต์ใส่ในคลองรากฟันด้วย เลนตุโลสไปรอล บั่นด้วยความเร็วต่ำสุด เริ่มบั่นเมื่อปลายเลนตุโลสไปรอลอยู่ลึกถึงก้นคลองรากแล้ว ค่อยๆถอยขึ้นมาจนเรซินซีเมนต์เต็มคลองรากฟันจึงหยุดบั่นเลนตุโลสไปรอล และทาสวนผสมของเร ซินซีเมนต์ที่เดือยฟัน ใส่เดือยฟันลงในคลองรากให้เข้าที่ถึงรอยสีดำที่ทำเครื่องหมายไว้ เช็ดเรซิน ซีเมนต์ส่วนที่เกินออกมานอกคลองรากฟันด้วยฟู่กัน ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที โดยให้ปลายของเครื่องฉายแสงวางตั้งฉากกับแนวเดือยฟันและอยู่ติดปลายเดือยฟันเพื่อควบคุมความ เข้มของแสงทาจลกลีเซอรินที่ผิวเรซินซีเมนต์และรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันเพื่อป้องกัน ไม่ให้ออกซิเจนขัดขวางการเกิดพอลิเมอร์



ภาพที่ 11 สารยึดติดยี่ห้อเอ็กไซท์ดีเอสซีและเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทู

### กลุ่มที่ 2 ใช้ฮีตไฟพรเมอร์ทูและเรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 (ภาพที่ 12)

ผสมฮีตไฟพรเมอร์ทู เอและบี ในอัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 20 วินาที ทำให้ทั่วผนังคลองรากฟัน เป็นเวลา 60 วินาที เป่าลมให้แห้ง ชั้นผนังคลองรากฟันให้หมาดด้วยแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลม จำนวน 4 แท่ง ผสมเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ 2 หลอดเอและบีในอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 นำเรซินซีเมนต์ที่ผสมใส่ในคลองรากฟันด้วยเลนตุโลสไปรอล บั่นด้วยความเร็วต่ำสุด เริ่มบั่นเมื่อปลายเลนตุโลสไปรอลอยู่ลึกถึงก้นคลองรากแล้วค่อยๆถอยขึ้นมาจนเรซินซีเมนต์เต็มคลองรากฟันจึงหยุดบั่นเลนตุโลสไปรอล และทาส่วนผสมของเรซินซีเมนต์ที่เคี้ยวฟัน ใส่เคี้ยวฟันในคลองรากให้เข้าที่ ถึงรอยสีดำที่ทำเครื่องหมายไว้ เช็ดเรซินซีเมนต์ส่วนเกินออกมานอกคลองรากฟันด้วยฟู่กัน ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาทีโดยให้ปลายของเครื่องฉายแสงวางตั้งฉากกับแนวเคี้ยวฟันและอยู่ติดปลายเคี้ยวฟันเพื่อควบคุมความเข้มของแสงทาดิวเรซินซีเมนต์และรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ด้วยอ็อกซีการ์ด (oxyguard, Kuraray Medical, Japan) และทิ้งไว้ 3 นาทีโดยไม่ฉายแสงเพิ่ม



ภาพที่ 12 เซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 และฮีตไฟพรเมอร์ทู

### กลุ่มที่ 3 ใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (ภาพที่ 13)

กดเครื่องกระตุ้น ( activator) ที่ใส่แคปซูลรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมขนาด 0.01 มิลลิลิตรและรอไว้ 4 วินาทีเพื่อให้ส่วนเหลวไหลลงไปผสมกับส่วนผง นำแคปซูลมาบั่นด้วยเครื่องบั่นอมัลกัม เป็นเวลา 15 วินาที ต่อปลายยาวเข้ากับแคปซูล และฉีดเรซินซีเมนต์ลงในคลองรากฟันโดยเริ่มฉีดเมื่อปลายสุดอยู่ที่ส่วนก้นคลองรากฟัน ค่อยๆถอยปลายขึ้นมาและนำออกเมื่อเรซินซีเมนต์เต็มคลองรากฟัน ใส่เคี้ยวฟันลงในคลองรากให้เข้าที่ ถึงรอยสีดำที่ทำเครื่องหมายไว้ เช็ดเรซินซีเมนต์ส่วนที่เกินออกมานอกคลองรากฟันด้วยฟู่กัน ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาทีโดยให้ปลายของเครื่องฉายแสงวางตั้งฉากกับแนวเคี้ยวฟันและอยู่ติดปลายเคี้ยวฟันเพื่อควบคุมความเข้มของแสง



ภาพที่ 13 เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และบรรจุเรซินซีเมนต์ในแคปซูลที่ต่อแกนพลาสติกปลายยาวขนาด 0.01 มิลลิลิตร

#### กลุ่มที่ 4 ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์

ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 5 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำเกลือจำนวน 10 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุในหลอดแก้วปลายเข็ม เป่าลมและซับผนังคลองรากฟันให้หมาดด้วยแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แท่ง จากนั้นผสมรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์ และฉีดลงในคลองรากฟัน ทาส่วนผสมของเรซินซีเมนต์ที่เหลือบนพื้นผิวเดือยฟันแล้วนำใส่ในคลองรากฟันให้เข้าที่ ดังวิธีในกลุ่มที่ 3

#### กลุ่มที่ 5 ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอก่อนใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์

ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอซึ่งบรรจุในหลอดแก้วปลายเข็ม ความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 วินาที เป่าลมและซับผนังคลองรากฟันให้หมาดด้วยแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แท่ง จากนั้นผสมรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์ และฉีดลงในคลองรากฟัน ทาส่วนผสมของเรซินซีเมนต์ที่เหลือบนพื้นผิวเดือยฟันแล้วนำใส่ในคลองรากฟันให้เข้าที่ ดังวิธีในกลุ่มที่ 3

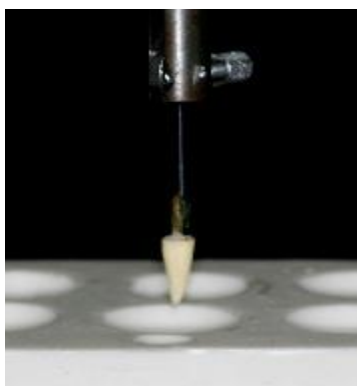
### กลุ่มที่ 6 ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอและโซเดียมไฮโปคลอไรด์ก่อนใช้ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์

ปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 10 มิลลิตร เป็นเวลา 60 วินาที แล้วล้างน้ำเกลือปริมาณ 10 มิลลิตร เป่าลมและซับผนังคลองรากฟันให้หมาดด้วยแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แท่ง จากนั้นล้างผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 10 มิลลิตร เป็นเวลา 15 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำเกลือปริมาณ 10 มิลลิตร สารละลายบรรจุในหลอดแก้วปลายเข็ม เป่าลมและซับผนังคลองรากฟันให้หมาดด้วยแท่งกระดาษซับรูปกรวยแหลมจำนวน 4 แท่ง จากนั้นผสมรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์ และฉีดลงในคลองรากฟัน ทาสวนผสมของเรซินซีเมนต์ที่เหลือบนพื้นผิวเดือยฟันแล้วนำใส่ในคลองรากฟันให้เข้าที่ ดังวิธีในกลุ่มที่ 3

นำซีฟันทุกซี่เก็บในกล่องที่มีสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์<sup>(49)</sup>

### 5. การยึดฟันทดสอบด้วยอะคริลิกเรซิน

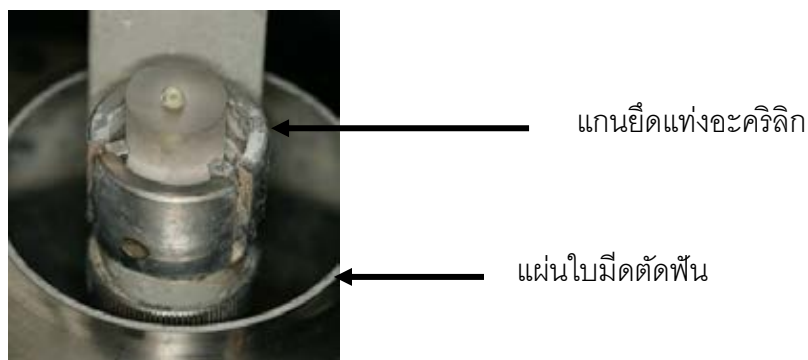
นำรากฟันทดสอบยึดกับเครื่องสำรวจความขนานให้แนวแกนรากฟันตั้งฉากกับระนาบพื้น (ภาพที่ 14) จากนั้นผสมอะคริลิกเรซินลงในบล็อกซีลิโคนรูปทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 22 มิลลิเมตรสูง 25 มิลลิเมตร นำรากฟันทดสอบจุ่มลงในอะคริลิกเรซินให้ขอบของรากฟันพอดีขอบอะคริลิกเรซิน และรอให้อะคริลิกเรซินแข็งตัวนาน 2 ชั่วโมง เก็บในกล่องที่มีสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน



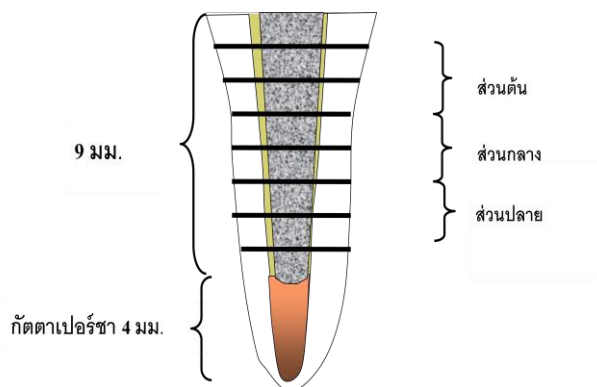
ภาพที่ 14 นำรากฟันทดสอบยึดติดกับเครื่องสำรวจความขนานและลงบล็อกซีลิโคนที่มีส่วนผสมอะคริลิกเรซิน

## 6. การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อทดลองหาค่ากำลังแรงยึดแบบผลัก

นำรากฟันทดสอบทุกซี่มาตัดในแนวตั้งฉากกับแกนฟันด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง(ภาพที่ 15) และขัดเรียบด้วยกระดาษทรายน้ำซิลิกอนความละเอียด 1000 ให้แต่ละชิ้นทดสอบหนา  $1 \pm 0.05$  มิลลิเมตร ตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดดิจิทัลความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบไปตรวจสอบรอยแตก ร้าว และฟองอากาศด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ ที่กำลังขยาย 40 เท่า วัดขนาดเส้นรัศมีของเดือยฟันด้วยโปรแกรมอิมเมจโปรพลัส ( Image Pro<sup>®</sup> Plus, Media Cybernetics, USA) วัดรัศมีทั้ง 2 ด้านของแต่ละชิ้นทดสอบ วัดด้านละ 2 ครั้งและหาค่าเฉลี่ยเป็น  $r_1$  และ  $r_2$  ตามลำดับ คัดเลือกชิ้นทดสอบที่นำมาทดสอบ โดยแต่ละซี่ฟันเป็นตัวแทนของรากฟัน ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนปลายรากฟันตำแหน่งละ 2 ซี่ (ภาพที่ 16) กำหนดจุดศูนย์กลางของเดือยฟันเพื่อเป็นตำแหน่งห้วงทดสอบ



ภาพที่ 15 แสดงการยึดแท่งอะคริลิกบนเครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง



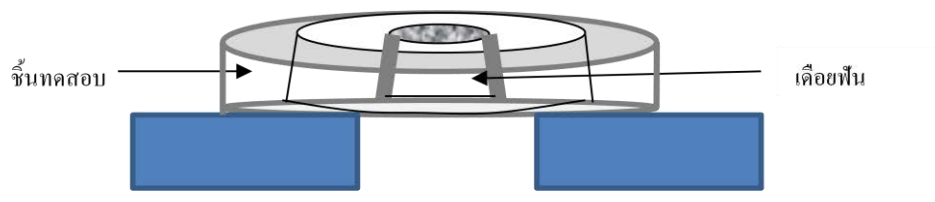
ภาพที่ 16 แสดงการตัดซีฟันทดสอบออกเป็นชิ้นทดสอบที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้เป็นตัวแทนของรากฟันส่วนบน ส่วนกลางและส่วนปลายรากฟันตำแหน่งละ 2 ชิ้น

### 7. การทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก

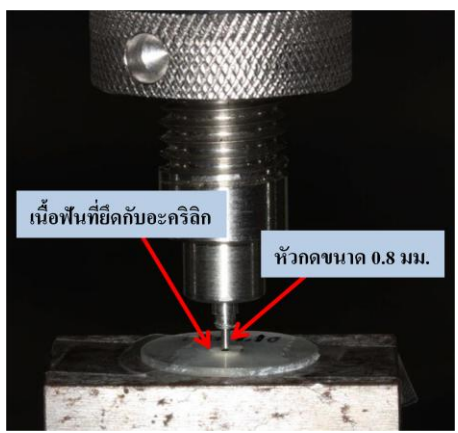
ทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกด้วยเครื่องทดสอบสากลอินสตรอนรุ่น 8872 (ภาพที่ 17) นำชิ้นทดสอบวางบนฐานโลหะที่มีช่องตรงกลาง โดยช่องว่างมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังคลองรากฟันซึ่งเป็นชั้นยึดติดระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์อยู่ และเล็กกว่าเนื้อฟันส่วนรากฟัน ด้านใกล้คอฟันของชิ้นทดสอบคว่ำลงบนฐานเพื่อให้เดือยฟันหลุดออกได้และอยู่ในตำแหน่งที่หัวกดอยู่ตรงศูนย์กลางของเดือยฟัน (ภาพที่ 18) เตรียมหัวกดรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร สำหรับกดชิ้นทดสอบส่วนต้นรากฟัน และขนาด 0.8 มิลลิเมตร สำหรับกดชิ้นทดสอบส่วนกลางกับส่วนปลายรากฟัน (ภาพที่ 19) ความเร็วของหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงขณะเดือยฟันเริ่มมีการหลุดออก (F) ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตัน



ภาพที่ 17 เครื่องทดสอบสากลอินสตรอนรุ่น 8872



ภาพที่ 18 แสดงการวางชั้นทดสอบลงบนฐานโลหะ โดยให้ด้านที่ใกล้ส่วนบนของรากฟันคว่ำลงเพื่อให้เดือยพื้นสามารถหลุดออกได้ช่องว่างตรงกลางบนฐานโลหะ โดยช่องว่างมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังคลองรากฟันซึ่งเป็นชั้นยึดติดระหว่างเดือยพื้นและเรซินซีเมนต์ที่อยู่ และเล็กกว่าเนื้อฟันส่วนรากฟัน



ภาพที่ 19 แสดงการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก โดยหัวกดของเครื่องทดสอบกดลงตรงกลางของเดือยพื้นบนชั้นทดสอบ

8. การคำนวณค่ากำลังแรงยึด<sup>(16)</sup>

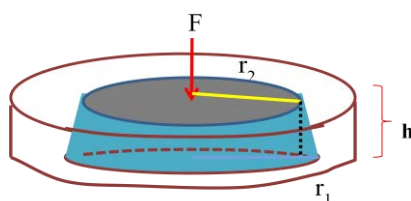
นำค่าแรง (F) ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตันมาคำนวณเพื่อให้ได้ ค่ากำลังแรงยึด (Ó) หน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa) โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\acute{O} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำลงไปบนชิ้นงาน มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)  
 A คือ พื้นที่ผิวของการเชื่อมยึด มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm<sup>2</sup>)

ดังนั้น ค่ากำลังแรงยึด ( MPa) = แรงที่กระทำลงไปบนชิ้นงาน (N)  
 พื้นที่ผิวของการเชื่อมยึด( mm<sup>2</sup>)

โดย  $A = \pi(r_1+r_2)\sqrt{(r_1-r_2)^2+h^2}$   
 เมื่อ  $\pi$  มีค่าคงที่เท่ากับ 3.14  
 $r_1$  คือ รัศมีของเดือยฟันด้านกว้างกว่า  
 $r_2$  คือรัศมีของเดือยฟันด้านแคบกว่า  
 $h$ คือ ค่าความหนาของชิ้นงาน (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 แสดงการแทนค่าในสูตรคำนวณของชิ้นทดสอบ

### 9. การตรวจสอบลักษณะการแตกร้าวของชิ้นทดสอบ

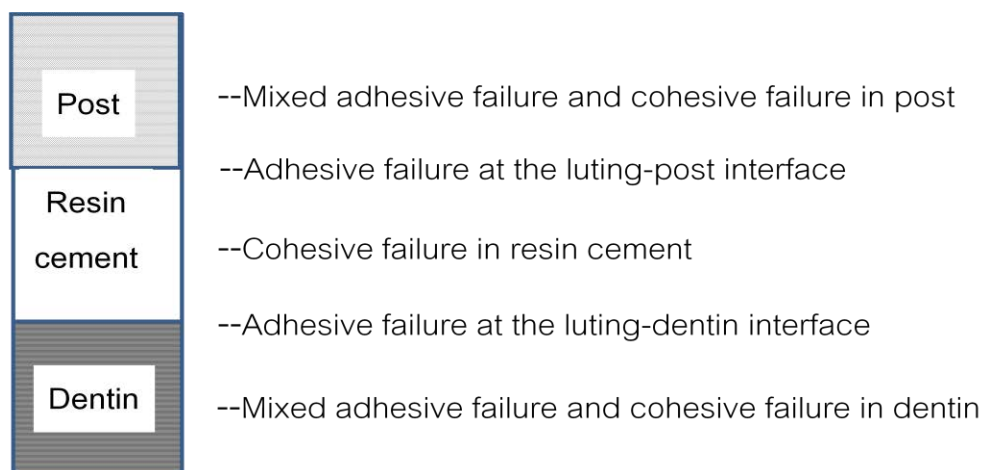
ตรวจสอบลักษณะการแตกของชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดสแตอริโอที่ กำลังขยาย 40 เท่า โดยจำแนกลักษณะการแตกออกเป็น 5 รูปแบบ (ภาพที่ 21) ได้แก่

1. การแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์ (adhesive failure at the luting-post interface)
2. การแตกร้าวแบบผสมโดยแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกในเดือยฟัน (mixed adhesive failure and cohesive failure in post)
3. การแตกร้าวภายในชั้นเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in resin cement)
4. การแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน (adhesive failure at the luting-dentin interface)
5. การแตกร้าวแบบผสมโดยแตกในชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟันร่วมกับการแตกในเนื้อฟัน (mixed adhesive failure and cohesive failure in dentin)

หากพบว่าลักษณะการแตกของชิ้นทดสอบมีการแตกร้าวในชั้นเรซินซีเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 75 ของพื้นผิวการยึดติด จะจัดเป็นลักษณะการแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน<sup>(158)</sup> สุ่มเลือกชิ้นทดสอบของแต่ละกลุ่มทดลอง เป็นตัวแทนของส่วนต้นจากฟัน 2 ชั้น ส่วนกลางจาก



ฟัน 2 ซี่น และส่วนปลายรากฟัน 2 ซี่น นำมาตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่ กำลังขยาย 5000 เท่า เพื่อยืนยันลักษณะการแตกที่ตรวจได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตรโอ



ภาพที่ 21 แสดงการแบ่งลักษณะการแตกของซี่นทดสอบ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส 17.0 (SPSS 17.0, Chicago, Illinois, USA) โดยใช้ค่าสถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way ANOVA) และเปรียบเทียบเชิงซ้อนซิทูเอชัน (Tukey) กำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P < 0.05$ ) ให้ชนิดของเรซินซีเมนต์ การปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อนใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และตำแหน่งของรากฟันเป็นปัจจัยที่ต้องการทดสอบ

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยแยกเป็นการทดสอบต่างๆ ดังนี้

**ตอนที่ 1** เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่มีการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดต่างกัน คือ กลุ่มที่ 1(Var) กลุ่มที่ 2(Pan) และกลุ่มที่ 3(Rex)

**ตอนที่ 2** เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่มีการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างชนิดกันก่อนยึดเดือยฟันด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม คือ กลุ่มที่ 3(Rex) กลุ่มที่ 4(a+Rex) กลุ่มที่ 5(ED+Rex)และกลุ่มที่ 6(ED/Na+Rex)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด

ตรวจสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเรซินซีเมนต์ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (Var) กลุ่มที่ 2 (Pan) และกลุ่มที่ 3 (Rex) (ตารางที่ 4) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

- 1.1 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของกลุ่มที่ 1 ในส่วนต้น มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตลอดคลองรากฟันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )
- 1.2 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของกลุ่มที่ 1 ในส่วนกลางรากฟันมีค่าไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ 3 ตลอดคลองรากฟัน แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 ในส่วนต้นและกลางรากฟัน อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )
- 1.3 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของทั้ง 3 กลุ่มในส่วนปลายรากฟัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )
- 1.4 ปัจจัยตำแหน่งของรากฟันต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในแต่ละกลุ่มทดลอง พบว่าตำแหน่งรากฟันส่งผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 1 แต่ไม่มีผลในกลุ่มที่ 2 และ 3 โดยในกลุ่มที่ 1 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดส่วนต้นรากฟันมีค่าสูงกว่าส่วนกลางและปลายรากฟัน อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มทดลองที่ 1-3 (Mean  $\pm$  SD) (หน่วย MPa) ในตำแหน่งต่างๆของรากฟัน

	Group 1 (Var)	Group 2 (Pan)	Group 3 (Rex)
Coronal	20.96 $\pm$ 3.41 a	10.05 $\pm$ 2.57 c	14.78 $\pm$ 3.42 d
Middle	14.17 $\pm$ 3.44 b,d	9.62 $\pm$ 2.26 c	13.97 $\pm$ 3.86 b,d
Apical	10.87 $\pm$ 4.79 b,c	10.44 $\pm$ 3.47 c	12.04 $\pm$ 3.44 b,c,d

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดง ความไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

### ลักษณะการแตกร้าวของชั้นทดสอบ (ตารางที่ 5)

ลักษณะการแตกร้าวส่วนใหญ่ที่พบใน กลุ่มการทดลองที่ 1-3 เกิดที่ชั้นการยึดติด (adhesive failure) ทั้งการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันและการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ยกเว้นในกลุ่มที่ 3 ไม่พบการแตกร้าวที่ชั้นเรซินซีเมนต์กับเดือยฟัน ยังพบลักษณะการแตกร้าวในชั้นเรซินซีเมนต์ในกลุ่มการทดลองที่ 1-3 โดยพบในบริเวณส่วนต้นและส่วนกลางรากฟัน และไม่พบในส่วนปลายรากฟัน

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่มีลักษณะการแตกหักแบบต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 1-3

Fracture modes	Group 1 (Var)			Group 2 (Pan)			Group 3 (Rex)		
	coronal	middle	apical	coronal	middle	apical	coronal	middle	apical
mixed adhesive failure and cohesive failure in post	0	0	0	0	0	0	0	0	0
adhesive failure at luting-post interface	4	6	8	5	12	13	0	0	0
cohesive failure in resin cement	4	1	0	3	0	0	6	0	0
adhesive failure in luting-dentin interface	6	4	11	12	7	4	14	20	20
mixed adhesive failure and cohesive failure in dentin	6	6	1	0	1	3	0	0	0

## ตอนที่ 2 การปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารเคมีต่างๆก่อนยึดเดือยฟันด้วยวิธีไล เอ็กซ์ยูนีเซม

ตรวจสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกลุ่มการทดลองที่ 3-6 ได้แก่ กลุ่มที่ 3 (Rex) กลุ่มที่ 4 (a+Rex) กลุ่มที่ 5 (ED+Rex) และกลุ่มที่ 6 (ED/Na+Rex) (ตารางที่ 6) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

- 2.1 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 4 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 กับกลุ่มที่ 6 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )
- 2.2 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 5 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 3 กับกลุ่มที่ 6 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )
- 2.3 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 3 มีค่าไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ 6 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )
- 2.4 ปัจจัยเรื่องตำแหน่งรากฟันไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลัดและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกุ่มทดลองที่ 3-6 (Mean  $\pm$  SD) (หน่วย MPa) ในตำแหน่งต่างๆของรากฟัน

	Group 3 (Rex)	Group 4 (a+Rex)	Group 5 (ED+Rex)	Group 6 (ED/Na+Rex)
coronal	14.78 $\pm$ 3.42 a	21.28 $\pm$ 4.41 b	16.51 $\pm$ 4.78 c	13.81 $\pm$ 5.46 a
middle	13.97 $\pm$ 3.86 a	22.36 $\pm$ 5.18 b	15.29 $\pm$ 3.31 c	13.70 $\pm$ 4.19 a
Apical	12.04 $\pm$ 3.44 a	21.09 $\pm$ 4.03 b	15.08 $\pm$ 3.29 c	14.57 $\pm$ 4.94 a

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดง ความไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

### ลักษณะการแตกร้าวของชิ้นทดสอบ (ตารางที่ 7)

กลุ่ม การทดลอง ที่ 3-6 ไม่พบลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟัน ส่วนใหญ่ มีการแตกร้าวแบบผสม ที่ชั้นการยึดติด ระหว่างเรซินซีเมนต์กับ เนื้อฟัน ในทุกตำแหน่งของรากฟัน นอกจากนี้พบการแตกร้าวแบบผสมที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันร่วมกับการแตกในเนื้อฟัน ยกเว้นในกลุ่มที่ 3 โดยพบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มที่ 4 มากกว่ากลุ่มที่ 5 และ 6

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่มีลักษณะการแตกหักแบบต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 3-6

Fracture modes	Group 3 (Rex)			Group 4 (a+Rex)			Group 5 (ED+Rex)			Group 6 (ED/Na+Rex)		
	coronal	middle	apical	coronal	middle	apical	coronal	middle	apical	coronal	middle	apical
mixed adhesive failure and cohesive failure in post	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
adhesive failure at luting-post interface	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
cohesive failure in resin cement	6	0	0	4	5	8	1	1	4	2	1	4
adhesive failure in luting-dentin interface	14	20	20	6	6	7	15	18	14	15	16	15
mixed adhesive failure and cohesive failure in dentin	0	0	0	9	9	5	4	1	2	3	2	1

## บทที่ 5

### อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษานี้ทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลักระหว่างพื้นผิวของเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์และผนังคลองรากฟัน โดยขึ้นทดสอบมีความหนาเพียง  $1 \pm 0.05$  มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดการกระจายแรงได้ดีกว่าขึ้นทดสอบที่หนา วิธีทดสอบนี้เป็นวิธีที่ให้ค่าที่น่าเชื่อถือในการทดสอบหาค่าแรงยึดระหว่างพื้นผิวโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการหาค่ากำลังแรงยึดใน ตำแหน่งต่างๆของ รากฟัน การทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุดภาคเป็นอีกวิธีทดสอบที่ใช้หาค่ากำลังแรงยึดในแต่ละตำแหน่งรากฟันได้เหมือนกัน แต่พบว่าเกิดการแตกของขึ้นทดสอบในขั้นตอนการเตรียมขึ้นทดสอบและขณะทดสอบได้มาก ไม่สามารถควบคุมแรงที่กระทำต่อขึ้นทดสอบระหว่างขั้นตอนการเตรียมขึ้นทดสอบและผลที่ได้มีโอกาสคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีการทดสอบแบบผลัก<sup>(130, 131)</sup>

เรซินซีเมนต์ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ วาริโอลิงค์ทูใช้ร่วมกับสารยึดติดเอ็กไซท์ดีเอสซี เป็นตัวแทนของโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ พานาเวียเอฟ 2.0 ใช้ร่วมกับสารยึดติดอีดีไพรเมอร์ทู เป็นตัวแทนของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และวีไลเอ็กซ์ยูนิเซม เป็นตัวแทนของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เหมือนกับหลายการศึกษาที่ผ่านมา<sup>(11, 90, 133)</sup> การศึกษานี้เลือกใช้สารยึดติดเอ็กไซท์ดีเอสซีร่วมกับเรซินซีเมนต์วาริโอลิงค์ทู ซึ่งเป็นสารยึดติดที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ร่วมกับวาริโอลิงค์ทู<sup>(134)</sup> และเป็นสารยึดติดที่มีคุณสมบัติการเกิดพอลิเมอร์ด้วยตัวเองหรือใช้แสงร่วมด้วย เหมาะกับการใช้ในคลองรากฟันที่มีความลึกและแสงเข้าไม่ถึง แตกต่างจากสารยึดติดซินแทกและเฮลิโอบอนด์ (Syntac®/Heliobond®, Ivoclar vivadent, Leichenstein) ซึ่งใช้ร่วมกับวาริโอลิงค์ทูได้เช่นเดียวกัน แต่สารยึดติดยี่ห้อนี้มีคุณสมบัติการเกิดพอลิเมอร์ด้วยแสง นอกจากนั้น การศึกษานี้เลือกใช้วีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเป็นตัวแทนของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิต<sup>(135)</sup> แนะนำให้ใช้ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในคลองรากฟัน อีกทั้งมีรูปแบบของผลิตภัณฑ์เป็นแคปซูล ซึ่งสามารถควบคุมอัตราส่วนการผสมของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ได้

วิธีทาสารยึดติดในผนังคลองรากฟัน ด้วยแปรงที่มีปลายขนาดเล็ก (microbrush) ในการทดลองเพื่อให้สามารถทาสารยึดติดได้ทั่วผนังคลองรากฟันโดยเฉพาะบริเวณปลายรากฟัน<sup>(136)</sup> การใส่เรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอลิงค์ทูและพานาเวียเอฟ 2.0 ให้ทั่วและเต็มผนังคลองรากฟันโดยใช้เลนตุโรสไปรอล (lentulo-spiral) บันเรซินซีเมนต์ลงในคลองรากฟัน เพื่อลดการเกิดฟองอากาศ<sup>(132, 133)</sup> สำหรับ

รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเรซินซีเมนต์ต้องอาศัยพลาสติกปลายยาว (extension tube) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ โดยต่อเข้ากับแคปซูลของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมออกแรงฉีดกดให้เต็มกันคลองรากฟันแล้วจึงค่อยๆ ถอยขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศ และทาสวนผสมของเรซินซีเมนต์ที่ผิวเดือยฟันก่อนใส่เดือยฟันในคลองรากฟันเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศบริเวณเดือยฟันและเรซินซีเมนต์เช่นเดียวกัน<sup>(133)</sup>

การศึกษานี้ใช้เดือยฟันไฟบริเคลียร์เป็นตัวแทนของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วที่มีบิสจีเอ็มเอเป็นเมทริกซ์ โดยเลือกใช้เดือยฟันไฟบริเคลียร์ชนิดรูปร่างสอบ ( tapered shape) เพื่อให้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงในคลินิก เป็นไปตามรูปร่างของคลองรากฟัน ที่มีรูปร่างสอบ การศึกษานี้เลือกใช้เดือยฟันขนาดเบอร์ 3 ซึ่งส่วนต้นมีขนาด 1.45 มิลลิเมตรและส่วนปลายมีขนาด 0.9 มิลลิเมตร เพื่อให้เดือยฟันมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของคลองรากฟันมากที่สุดและควบคุมความหนาของเรซินซีเมนต์ให้มีความหนาใกล้เคียงกันและบางมากที่สุด ซึ่งเรซินซีเมนต์ที่มีความหนาส่งผลต่อลักษณะการแตกร้าวของชั้นทดสอบในแต่ละตำแหน่งของรากฟันได้ Grandini และคณะ<sup>(137)</sup> และ Valandro และคณะ<sup>(138)</sup> พบว่าชั้นของเรซินซีเมนต์ที่หนาส่งผลให้มีโอกาสเกิดฟองอากาศและเกิดความล้มเหลวของการยึดอยู่ของเดือยฟันในคลองรากฟันได้ นอกจากนี้พบว่าแสงผ่านเดือยฟันไฟบริเคลียร์ได้ดี มีปริมาณแสงผ่านมากกว่าร้อยละ 30 โดยพบว่าเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยทุกยี่ห้อปริมาณการผ่านของแสงสูงสุดเพียงร้อยละ 40<sup>(139)</sup>

ขั้นตอนการทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก ใช้หัวกด 2 ขนาดในการกดเดือยฟันออกจากผนังคลองรากฟัน โดยหัวกดขนาด 1 มิลลิเมตรใช้กดชั้นทดสอบในส่วนต้นรากฟัน (เดือยฟันส่วนต้นมีขนาด 1.45 มิลลิเมตร) และหัวกดขนาด 0.8 มิลลิเมตร สำหรับกดชั้นทดสอบส่วนกลางและปลายรากฟัน (เดือยฟันส่วนปลายมีขนาด 0.9 มิลลิเมตร) ถ้าใช้หัวกดขนาดเล็กกดบนเดือยฟันส่วนต้นของรากฟัน ทำให้แรงกดไม่กระจายแรงไปบนพื้นที่ของเดือยฟันได้ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกภายในเดือยฟันเมื่อถูกกด ถ้าใช้หัวกดขนาดใหญ่ขนาดเดียว อาจเกิดปัญหาการกดลงบนเนื้อของเรซินซีเมนต์ในชั้นทดสอบส่วนกลางและปลายรากฟัน และเลือกใช้ความเร็วหัวกดที่ 0.5 มิลลิเมตรต่ออนาที เป็นความเร็วต่ำเพื่อป้องกันการแตกหักก่อนของชั้นทดสอบขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้<sup>(10)</sup>

วิธีการคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในการทดลองนี้ใช้สูตรการคำนวณเดียวกับหลายการศึกษาที่ผ่านมา<sup>(16, 91, 132, 140)</sup> ใช้พื้นที่ผิวของเดือยฟันในการคำนวณพื้นที่ผิวการยึดติดของเดือยฟันที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน แทนการใช้พื้นที่ผิวของคลองรากฟัน เนื่องจากเรซินซีเมนต์ที่เชื่อมยึดระหว่างคลองรากฟันและเดือยฟันมีความหนาเพียง 150 ไมโครเมตร จากการวัดชั้นทดสอบ



ด้วยโปรแกรมอิมเมจโปรพลัสส์ ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Huber และคณะ<sup>(141)</sup> ซึ่งรายงานความหนาเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์มีค่า 130 ไมโครเมตร เมื่อเตรียมพื้นที่สำหรับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยเข็มกรอเฉพาะของบริษัทผู้ผลิตแล้วทำการยึดเดือยฟันในคลองรากฟัน และ พบว่าการใช้พื้นผิวคลองรากฟันหรือพื้นผิวเดือยฟันในการคำนวณ ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ดังนั้นจึงสะดวกกว่าหากใช้พื้นผิวทรงกรวย ที่แน่นอนของเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย ในการนำมาคำนวณ ค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า<sup>(16, 91, 132, 140)</sup>

### สรุปผลการวิจัยตอนที่ 1

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของกลุ่มที่ 1 ในส่วนต้นรากฟันมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตลอดคลองรากฟัน อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากขั้นตอนการใช้วาริโอลิงค์ทู ต้องมีการละลายแร่ธาตุของพื้นผิวเนื้อฟันด้วยกรดแล้วจึงทาสารยึดติด เพื่อให้สารยึดติดแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันบริเวณที่มีการละลายออกของแร่ธาตุ ซึ่งตำแหน่งส่วนต้นของคลองรากฟันนั้นสามารถควบคุมการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยกรดเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ สามารถควบคุมการทำงานของไพรเมอร์ สารยึดติดเพื่อแทรกซึมเข้าไปยังชั้นคอลลาเจนและควบคุมการระเหยของตัวทำละลายได้ดี<sup>(142, 143)</sup> และเป็นตำแหน่งที่การนำแสงของเดือยฟันกระตุ้นให้เกิดพอลิเมอร์ได้ดี<sup>(144)</sup> เกิดชั้นไฮบริดและเรซินแทรกที่มีความยาวและมีปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง<sup>(142)</sup>

นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าว ส่งผลให้ตำแหน่งที่แตกต่างกันของรากฟันมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกเฉพาะในกลุ่มที่ 1 ซึ่งค่ากำลังแรงยึดในส่วนต้นรากฟันมีค่าสูงกว่า ส่วนกลางรากฟันและปลายรากฟันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามตำแหน่งรากฟันไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และกลุ่มเซลฟ์แอตทิซิป เรซินซีเมนต์ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานน้อยกว่าระบบโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ควบคุมปัจจัยเรื่องความชื้นได้ง่ายกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Giachetti และคณะ<sup>(140)</sup> และปัจจัยเรื่องการควบคุมความชื้นในคลองรากฟันที่ดียังส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของกุ่มที่ 1 มีค่าต่ำลงในส่วนปลายรากฟัน จนมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 2 และ 3 ในตำแหน่งปลายรากฟัน

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของกุ่มที่ 1 ในส่วนกลางมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 3 ตลอดคลองรากฟัน เนื่องจากริไลเอ็ทซ์ยูนิเซมมีสมบัติทนต่อความชื้นได้ดี<sup>(10)</sup> โดยกรดฟอสฟอริกเอสเทอร์ในส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์อาศัยน้ำจากพื้นผิวเนื้อฟันและน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยากรด -เบสเพื่อแตกตัวเป็นไอออน

ของฟอสเฟตและเกิดพันธะเคมีกับไฮดรอกซิลของแคลเซียม กระบวนการนี้ทำให้เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีสมบัติชอบน้ำและเกิดความแนบในการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเนื้อฟัน<sup>(4, 10, 93)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Zicari และคณะ<sup>90</sup> และ Rodavic และคณะ<sup>(146)</sup> ซึ่งรายงานค่ากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ยี่ห้อวาริโอดิงค์ทูและวี โลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาก่อนหน้าซึ่งรายงานค่ากำลังแรงยึดของโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าสูงกว่าเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์<sup>(11, 91, 132)</sup> ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 3 ในส่วนต้นและส่วนกลางรากฟัน มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 ตลอดคลองรากฟัน อาจเนื่องมาจากวิธีการใช้พานาเวียเอฟ 2.0 มีขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยไพรเมอร์ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำทำให้ชั้นไพรเมอร์เกิดลักษณะเนื้อเยื่อที่น้ำซึมผ่านได้ (permeable membrane) น้ำในท่อเนื้อฟันผ่านเข้ามาสู่ชั้นเรซินซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic)<sup>(145)</sup> เกิดความไม่เข้ากัน (incompatibility) ระหว่างมอนอเมอร์กับเรซินซีเมนต์ ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดมีค่าต่ำ แนะนำให้ใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ชนิด 2 ขวด โดยทาไพรเมอร์ก่อนทาสารยึดติดที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อีกชั้น แต่ควรระวังเรื่องความหนาของชั้นสารยึดติดที่อาจหนาเกินไป<sup>(78, 147)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าซึ่งรายงานค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวียเอฟ 2.0 มีค่าน้อยกว่าโททอลเอ็ทซ์เรซินซีเมนต์และเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์<sup>(91, 141, 146)</sup>

ลักษณะการแตกร้าวของชิ้นทดสอบ ในกลุ่มทดลองที่ 1-3 ส่วนใหญ่เป็นลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันและชั้นการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ โดยไม่พบลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ในกลุ่มที่ 3 นอกจากนี้มักพบลักษณะการแตกร้าวในชั้นเรซินซีเมนต์เฉพาะในส่วนต้นคลองรากฟัน เนื่องจากเรซินซีเมนต์มีความหนาที่ตำแหน่งส่วนต้นของคลองรากฟัน กลุ่มทดลองที่ 1 ในส่วนต้นและกลางรากฟันมักพบการแตกร้าวแบบผสมที่ชั้นการยึดติดร่วมกับการแตกร้าวในชั้นเนื้อฟัน แสดงถึงลักษณะการยึดติดที่ดีของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน สอดคล้องกับค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกที่ค่อนข้างสูงในตำแหน่งดังกล่าว โดยในตำแหน่งปลายรากฟันมักพบลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันและชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟัน แสดงถึงการยึดติดที่อ่อนแอและสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกที่ต่ำลงในตำแหน่งปลายรากฟัน ในกลุ่มทดลองที่ 2 พบลักษณะการแตกร้าวส่วนใหญ่ที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันและลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันในทุกตำแหน่งรากฟันอาจพิจารณาได้ว่าทั้งสองบริเวณเป็นตำแหน่งที่

อ่อนแอในชั้นการยึดติด สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกที่ต่ำของกลุ่มการทดลองที่ 2 แตกต่างจากลักษณะการแตกร้าวของกลุ่มการทดลองที่ 3 ซึ่งมักเกิดที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน แต่ไม่พบลักษณะการแตกร้าวที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันดังกล่าว กลุ่มที่ 1 และ 2 แสดงถึงบริเวณที่อ่อนแอของชั้นการยึดติดอยู่ที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน

### สรุปผลการวิจัยตอนที่ 2

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของกลุ่มที่ 4 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 3 5 และ 6 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกช่วยกำจัดชั้น smear ที่หนาปกคลุมผนังคลองรากฟัน<sup>(5)</sup> การศึกษานี้ลดเวลาที่ใช้กรดเหลือเพียง 5 วินาที สอดคล้องกับการศึกษาของ Perdigo และ Lopes<sup>(148)</sup> กับ Abu-Hanna และคณะ<sup>(149)</sup> ซึ่งพบว่าการใช้กรดปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟันเป็นเวลา 5 วินาที ช่วยกำจัดชั้น smear หมดและหลีกเลี่ยงการละลายแร่ธาตุของพื้นผิวเนื้อฟัน บางส่วนเกิดการแทรกผ่านของเรซินได้ทั่วบริเวณที่เกิดการละลายแร่ธาตุของเนื้อฟัน พบเรซินแทรกและชั้นไฮบริดหนา 1-2 ไมโครเมตร เพียงพอต่อความสามารถในการยึดติดที่ดี<sup>(68)</sup> และเหลือแคลเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบของฟันให้เกิดพันธะเคมีกับฟอสเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม<sup>(1)</sup> แต่การปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันส่วนตัวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอเดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีค่าลดลงกว่าการใช้กรดปรับสภาพเนื้อฟันเป็นเวลา 5 วินาที เนื่องจากเรซินซีเมนต์มีความหนืดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปยังบริเวณที่มีการละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันที่ลึกได้<sup>(6)</sup> และการศึกษาของ Gokce และคณะ<sup>(150)</sup> พบว่าผลการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นเวลา 15 วินาที ก่อนใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์ ทำให้มีการละลายของแร่ธาตุและเปิดท่อเนื้อฟันมากเกินไป เกิดการกำจัดชั้น smear ออกหมด ทำให้สูญเสียความสามารถในการปรับสมดุลความเป็นกรด -ด่าง ดังนั้นเมื่อทาไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรดจึงส่งผลให้พื้นผิวเนื้อฟันมีการละลายแร่ธาตุมากขึ้น แต่สารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมไปยังพื้นผิวเนื้อฟันที่มีการละลายของแร่ธาตุได้อย่างทั่วถึง

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มที่ 5 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ 4 แต่สูงกว่ากลุ่มที่ 3 กับ 6 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากการดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพในการละลายแร่ธาตุบนพื้นผิวเนื้อฟันมากกว่าสารละลายอีดีทีเอ<sup>(151)</sup> และค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ (free surface energy) ของเนื้อฟันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกแต่มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับสภาพ

ด้วยสารละลายอีดีทีเอ<sup>(152)</sup> ส่งผลต่อการไหลผ่านของเซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ แต่การปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอให้ค่ากำลังแรงยึดมากกว่าไม่ปรับสภาพ เนื่องจากสารละลายอีดีทีเอเป็นสารที่มีค่าความเป็นกรด -ด่าง 7-8 สามารถจับกับแคลเซียมในเนื้อฟันและสามารถกำจัดชั้นสเมียร์บนพื้นผิวเนื้อฟันได้ และการล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 เป็นเวลา 1 นาที สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้หมดในตำแหน่งส่วนต้นและส่วนกลางรากฟัน แต่ยังพบชั้นสเมียร์และก้อนสเมียร์อุดปิดท่อเนื้อฟันในส่วนปลายรากฟัน<sup>(112)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Gu และคณะ<sup>(153)</sup> ซึ่งพบว่า การปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอก่อนใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอ็ทซ์บนพื้นผิวฟัน ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ในการยึดเดือยฟันมีค่าเพิ่มขึ้น

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่มที่ 6 เมื่อปรับสภาพผนังคลองรากฟันโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ภายหลังการล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอมีค่าใกล้เคียงกับในกลุ่มที่ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Ari และคณะ<sup>(154)</sup> ซึ่งพบว่า การปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ในขณะที่หลายการศึกษาพบว่าการปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอและโซเดียมไฮโปคลอไรด์ก่อนยึดเดือยฟันด้วยเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์ ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์เอ็ทซ์เรซินซีเมนต์มีค่าต่ำลง<sup>(15, 95)</sup> เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์สามารถละลายสารอินทรีย์ทำให้ท่อเนื้อฟันมีการเปิดกว้างมากขึ้นเนื้อฟันบริเวณรอบ (peritubular dentin) และระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) เกิดการสึกกร่อนได้<sup>(15)</sup> ทำให้เซลฟ์แอตอิชิฟเรซินซีเมนต์ซึ่งมีลักษณะหนืดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ถึงบริเวณที่เกิดการละลายของสารอินทรีย์จากโซเดียมไฮโปคลอไรด์และสารอินทรีย์จากอีดีทีเอได้<sup>(3, 155)</sup> และการล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ทำให้มีออกซิเจนตกค้างอยู่ในผนังคลองรากฟันแม้จะล้างตามด้วยน้ำเกลือ<sup>(95)</sup> ทำให้ มีปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ มีการแนะนำให้ใช้สารละลายโซเดียมแอสคอร์เบท (sodium ascorbate) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ล้างคลองรากฟันเป็นเวลา 1 นาที หลังจากล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ซึ่งสารละลายโซเดียมแอสคอร์เบทมีคุณสมบัติเป็นตัวจับออกซิเจน (reducing agent) ที่ตกค้างอยู่ในผนังคลองรากฟันได้<sup>(156, 157)</sup>

ลักษณะการแตกร้าวของชั้นทดสอบในกลุ่มทดลองที่ 3-6 พบเพียง 1 ชั้นทดสอบที่เกิดลักษณะการแตกร้าวที่ขึ้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟัน แสดงถึงการยึดติดที่ดีของเดือยฟันกับ วิไลเอ็กซ์ยูนิเซมโดยส่วนใหญ่ กลุ่มทดลองที่ 3 5 และ 6 มีลักษณะการแตกของชั้นทดสอบที่ขึ้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ กับเนื้อฟัน สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก

ระหว่างเต๋อยฟันและเซฟไฟแอตธิฟเรซินซีเมนต์ในผนังคลองรากฟัน<sup>(146)</sup> ในขณะที่กลุ่มที่ 4 พบลักษณะการแตกร้าวแบบผสมที่ขึ้นการยึดติดร่วมกับการแตกร้าวในชั้นเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มที่ 5 และ 6 โดยไม่พบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มที่ 3 แสดงถึงการยึดติดที่ดีระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน สอดคล้องกับค่ากำลังแรงยึดที่สูงของเต๋อยฟันที่ยึดด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมในผนังคลองรากฟันที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก

ผลการทดลองนี้พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มปรับสภาพผนังคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 5 วินาทีก่อนใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกในกลุ่มวาริโอดิงค์ทูในส่วนต้นรากฟัน และมีค่าสูงกว่าในส่วนกลางและปลายรากฟัน เนื่องจากขั้นตอนการใช้วาริโอดิงค์ทูมีหลายขั้นตอน ในการทดลอง จำเป็นต้องควบคุมความชื้นในคลองรากฟัน และรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีสมบัติชอบน้ำ จึงให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดที่ดีกว่า

การทดลองนี้สนับสนุนให้ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปรับสภาพผนังคลองรากฟันเป็นเวลา 5 วินาที หรือเลือกใช้สารละลายยอดีทีไอเคความเข้มข้นร้อยละ 17 ฉ่างผนังคลองรากฟันเป็นเวลา 1 นาที เพื่อเพิ่มค่ากำลังแรงยึด แบบผลึกของ เต๋อยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อยึดเต๋อยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับผนังคลองรากฟันด้วยเซฟไฟแอตธิฟเรซินซีเมนต์

### สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของเรซินซีเมนต์ ต่างชนิดกัน พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลึกของวาริโอดิงค์ทูในส่วนต้นคลองรากฟันมีค่าสูงกว่าพานาเวียเอฟ 2.0 และรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม แต่ในส่วนกลาง รากฟันมีค่าใกล้เคียงกับรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมตลอด ผนังคลองรากฟัน และค่ากำลังแรงยึดของพานาเวียเอฟ 2.0 ตลอดผนังคลองรากฟันมีค่าน้อยกว่าวาริโอดิงค์ทูและรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมในส่วนต้นและส่วนกลางรากฟันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

2. ตำแหน่งรากฟันส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึกเฉพาะในกลุ่มที่ใช้วาริโอดิงค์ทู โดยค่ากำลังแรงยึดในส่วนต้นรากฟันมีค่าสูงกว่าส่วนกลางและปลายรากฟันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

3. ผลการศึกษา เปรียบเทียบวิธีการปรับสภาพผนังคลองรากฟันก่อนใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม พบว่า ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของกลุ่มที่ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปรับสภาพผนังคลองรากฟัน เป็นเวลา 5 วินาที พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก สูงกว่ากลุ่มที่ใช้สารละลายยอดีทีไอเคความ

เข้มข้นร้อยละ 17 ล้างคลองรากฟัน เป็นเวลา 60 วินาที และทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ทั้งสารละลายย้อมสีที่ีเเคความเข้มข้นร้อยละ 17 ล้างคลองรากฟัน เป็นเวลา 60 วินาทีตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ล้างคลองรากฟัน เป็นเวลา 15 วินาทีและกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผนังคลองรากฟัน อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยตำแหน่งรากฟันไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลักในทุกกลุ่มซึ่งมีการใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม

### ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับผนังคลองรากฟันในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงในคลินิก มีปัจจัยหลายอย่างที่เกิดขึ้นในสภาวะช่องปาก เช่น แรงบดเคี้ยวที่เป็นแรงกระทำซ้ำๆและมีหลายทิศทาง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปาก ส่งผลต่อความคงทนของการยึดอยู่ ของเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจ ถ้ามีการศึกษาปัจจัยดังกล่าวเพิ่มเติม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการทดสอบความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) การทดสอบการล้า (fatigue test) การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermocycling) เพื่อนำไปใช้งานในคลินิกและติดตามผลระยะยาวต่อไป การทดลองครั้งนี้พบว่าการปรับสภาพผนังคลองรากฟันมีผลต่อค่ากำลังแรงยึดของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับผนังคลองรากฟันด้วยเซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การทดลอง ใช้สารเคมี ชนิดอื่นเพื่อปรับสภาพผนังคลองรากฟัน เช่น กรดมาเลอิก กรดซิตริก กรดพอลิอะคริลิก เป็นต้น เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ในการยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับผนังคลองรากฟัน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ทางคลินิกทันตกรรมประดิษฐ์ต่อไป

## รายการอ้างอิง

- (1) Radovic, I., Monticelli, F., Goracci, C., Vulicevic, Z.R., and Ferrari, M.I. Self-adhesive Resin Cement: A Literature Review. J Adhes Dent10 (2008): 251-258.
- (2) ยุทธนา คุณดมยากร. กำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ต่อเคลือบฟันและเนื้อฟัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2551.
- (3) De Munck, J., Vargas, M., Van Landuyt, K., Hikita, K., Lambrechts, P., and Van Meerbeek, B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater 20 (2004):963-971.
- (4) Saskalauskaite, E., Tam, L.E., and McComb, D. Flexural strength, elastic modulus, and pH profile of self-etch resin luting cements. J Prosthodont 17 (2008) : 262-268.
- (5) Al-Assaf, K., Chakmakchi, M., Palaghias, G., Karanika-Kouma, A., and Eliades, G. Interfacial characteristics of adhesive luting resins and composites with dentine. Dent Mater 23 (2007) : 829-839.
- (6) Hikita, K., Van Meerbeek, B., De Munck, J., Ikeda, T., Van Landuyt, K., Maida, T., et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater 23 (2007) : 71-80.
- (7) Lin, J., Shinya, A., and Gomi, H. Bonding of self-adhesive resin cements to enamel using different surface treatments: bond strength and etching pattern evaluations. Dent Mater J29 (2010):425-432.
- (8) Wang, L.H., Chen, J.H., Wang, H.Z., Guo, J.P., and Cao, J. Effect of etching treatment on the bond strength of a new self adhesive resin cement. J US-China Med Sci 4 (2007) : 34-38.

- (9) Pisani-Proenca, J., Salmeron, R.D.C., Amaral, R., Prochnow, E.P., Bottino, M.A., Valandro, L.F., et al. Bonding of auto-adhesive luting materials to dentin after surface treatments. Proceedings of the 42th IADR conference; 2007 Sep 26-29; Thessaloniki, Greece.
- (10) Bitter, K., Meyer-Lueckel, H., Priehn, K., Kanjuparambil, J.P., Neumann, K., and Kielbassa, A.M. Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. Int Endod J 39 (2006) : 809-818.
- (11) Goracci, C., Sadek, F.T., Fabianelli, A., Tay, F.R., and Ferrari, M. Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. Oper Dent 30 (2005) : 627-635.
- (12) Sahafi, A. and Peutzfeldt, A. Retention of adhesively bonded posts: effect of pretreatment of the root canal. J Adhes Dent 11 (2009) : 319-323.
- (13) Mayhew, J.T., Windchay, A.M., Goldsmith, L.J., and Gettleman, L. Effect of root canal sealers and irrigation agents on retention of preformed posts luted with a resin cement. J Endod 26 (2000) : 341-344.
- (14) Albashaireh, Z.S., Ghazal, M., and Kern, M. Effect of acid conditioning of root canal dentin on the retention of adhesively luted glass fiber-reinforced composite (FRC) posts. Am J Dent 22 (2009) : 376-380.
- (15) Hayashi, M., Takahashi, Y., Hirai, M., Iwami, Y., Imazato, S., and Ebisu, S. Effect of endodontic irrigation on bonding of resin cement to radicular dentin. Eur J Oral Sci 113 (2005) : 70-76.
- (16) Erdemir, U., Mumcu, E., Topcu, F.T., Yildiz, E., Yamanel, K., and Akyol, M. Micro push-out bond strengths of 2 fiber post types luted using different adhesive strategies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 110 (2010) : 534-544.
- (17) Sivers, J.E. and Johnson, W.T. Restoration of endodontically treated teeth. Dent Clin North Am 36 (1992) : 631-650.



- (18) Peroz, I., Blankenstein, F., Lange, K.P., and Naumann, M. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review. Quintessence Int 36 (2005) : 737-746.
- (19) Smith, C.T. and Schuman, N. Restoration of endodontically treated teeth: a guide for the restorative dentist. Quintessence Int 28 (1997) : 457-462.
- (20) Trabert, K.C. and Cooney, J.P. The endodontically treated tooth. Restorative concepts and techniques. Dent Clin North Am 28 (1984) : 923-951.
- (21) Reeh, E.S., Douglas, W.H., and Messer, H.H. Stiffness of endodontically-treated teeth related to restoration technique. J Dent Res 68 (1989) : 1540-1544.
- (22) Hussain, S.K., McDonald, A., and Moles, D.R. In vitro study investigating the mass of tooth structure removed following endodontic and restorative procedures. J Prosthet Dent 98 (2007) : 260-269.
- (23) Goerig, A.C., and Mueninghoff, L.A. Management of the endodontically treated tooth. Part I: concept for restorative designs. J Prosthet Dent 49 (1983) : 340-345.
- (24) Barbosa, C.M., Sasaki, R.T., Florio, F.M., and Basting, R.T. Influence of time on bond strength after bleaching with 35% hydrogen peroxide. J Contemp Dent Pract 9 (2008) : 81-88.
- (25) Magne, P., and Douglas, W.H. Cumulative effects of successive restorative procedures on anterior crown flexure: intact versus veneered incisors. Quintessence Int 31 (2000) : 5-18.
- (26) Reeh, E.S., and Ross, G.K. Tooth stiffness with composite veneers: a strain gauge and finite element evaluation. Dent Mater 10 (1994) : 247-252.
- (27) Otto, T. Computer-aided direct all-ceramic crowns: preliminary 1-year results of a prospective clinical study. Int J Periodontics Restorative Dent 24 (2004) : 446-455.

- (28) Bindl, A., Richter, B., and Mormann, W.H. Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry. Int J Prosthodont 18 (2005) : 219-224.
- (29) Panitvisai, P., and Messer, H.H. Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures. J Endod 21 (1995) : 57-61.
- (30) Assif, D., Nissan, J., Gafni, Y., and Gordon, M. Assessment of the resistance to fracture of endodontically treated molars restored with amalgam. J Prosthet Dent 89 (2003) : 462-465.
- (31) Kane, J.J., Burgess, J.O., and Summitt, J.B. Fracture resistance of amalgam coronal-radicular restorations. J Prosthet Dent 63 (1990) : 607-613.
- (32) ดารณี ตัณฑพิโรจน์. การบูรณะฟันที่สูญเสียเนื้อฟันมาก และฟันที่รักษาลงรากฟันแล้ว. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 40 (1990) : 226-233.
- (33) Nayyar, A., Walton, R.E., and Leonard, L.A. An amalgam coronal-radicular dowel and core technique for endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 43 (1980) : 511-515.
- (34) Bolhuis, H.P.B., De Gee, A.J., Feilzer, A.J., and Davidson, C.L. Fracture strength of different core build-up designs. Am J Dent 14 (2001) : 286-290.
- (35) Sorensen, J.A., and Engelman, M.J. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 64 (1990) : 419-424.
- (36) Hayashi, M., Takahashi, Y., Imazato, S., and Ebisu, S. Fracture resistance of pulpless teeth restored with post-cores and crowns. Dent Mater 22 (2006) : 477-485.
- (37) Salameh, Z., Sorrentino, R., Ounsi, H.F., Sadig, W., Atiyeh, F., and Ferrari, M. The effect of different full-coverage crown systems on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary incisors restored with and without glass fiber posts. J Endod 34 (2008) : 842-846.

- (38) Fokkinga, W.A., Kreulen, C.M., Vallittu, P.K., and Creugers, N.H. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. Int J Prosthodont 17 (2004) : 476-482.
- (39) Torbjorner, A., Karlsson, S., and Odman, P.A. Survival rate and failure characteristics for two post designs. J Prosthet Dent 73 (1995) : 439-444.
- (40) Stewardson, D.A. Non-metal post systems. Dent Update 28 (2001) : 326-336.
- (41) Giovani, A.R., Vansan, L.P., de Sousa Neto, M.D., and Paulino, S.M. In vitro fracture resistance of glass-fiber and cast metal posts with different lengths. J Prosthet Dent 101 (2009)
- (42) Arvidson, K., and Wroblewski, R. Migration of metallic ions from screwposts into dentin and surrounding tissues. Scand J Dent Res 86 (1978) : 200-205.
- (43) Plotino, G., Grande, N.M., Bedini, R., Pameijer, C.H., and Somma, F. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. Dent Mater 23 (2007) : 1129-1135.
- (44) Ferrari, M., Vichi, A., and Garcia-Godoy, F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. Am J Dent 13 (2000) :15B-18B
- (45) Qualtrough, A.J., and Mannocci F. Tooth-colored post systems: a review. Oper Dent 28 (2003) : 86-91.
- (46) Baba, N.Z., Golden, G., and Goodacre, C.J. Nonmetallic Prefabricated Dowels: A Review of Compositions, Properties, Laboratory, and Clinical Test Results. J Prosthodont 18 (2009) : 527-536.
- (47) Isidor, F., Odman, P., and Brondum, K. Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. Int J Prosthodont 9 (1996) : 131-136.
- (48) de Oliveira, J.A., Pereira, J.R., Lins do Valle, A., and Zogheib, L.V. Fracture resistance of endodontically treated teeth with different heights of crown ferrule restored with prefabricated carbon fiber post and composite resin core by intermittent loading. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 106 (2008) : e52-57.

- (49) Cormier, C.J., Burns, D.R., and Moon, P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. J Prosthodont 10 (2001) : 26-36.
- (50) Akkayan, B., and Gulmez, T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. J Prosthet Dent 87 (2002) : 431-437.
- (51) Wang, V.J., Chen, Y.M., Yip, K.H., Smales, R.J., Meng, Q.F., and Chen, L. Effect of two fiber post types and two luting cement systems on regional post retention using the push-out test. Dent Mater 24 (2008) : 372-377.
- (52) Bell, A.M., Lassila, L.V., Kangasniemi, I., and Vallittu, P.K. Bonding of fibre-reinforced composite post to root canal dentin. J Dent 33 (2005) : 533-539.
- (53) Newman, M.P., Yaman, P., Dennison, J., Rafter, M., and Billy, E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. J Prosthet Dent 89 (2003) : 360-367.
- (54) Kremeier, K., Fasen, L., Klaiber, B., and Hofmann, N. Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. Dent Mater 24 (2008) : 660-666.
- (55) Erkut, S., Gulsahi, K., Caglar, A., Imirzalioglu, P., Karbhari, V.M., and Ozmen, I. Microleakage in overflared root canals restored with different fiber reinforced dowels. Oper Dent 33 (2008) : 96-105.
- (56) Turker, S.B., Alkumru, H.N., and Evren, B. Prospective clinical trial of polyethylene fiber ribbon-reinforced, resin composite post-core buildup restorations. Int J Prosthodont 20 (2007) : 55-56.
- (57) Ozcopur, B., Akman, S., Eskitascioglu, G., and Belli, S. The effect of different posts on fracture strength of roots with vertical fracture and re-attached fragments. J Oral Rehabil 37 (2010) : 615-623.

- (58) Mannocci, F., Sherriff, M., Watson, T.F., and Vallittu, P.K. Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. Int Endod J 38 (2005) : 46-51.
- (59) Al-harbi, F., and Nathanson, D. In vitro assessment of retention of four esthetic dowels to resin core foundation and teeth. J Prosthet Dent 90 (2003) : 547-555.
- (60) Mannocci, F., Ferrari, M., and Watson, T.F. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. J Adhes Dent 1 (1999) : 153-158.
- (61) Wegner, S.M., and Kern, M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. J Adhes Dent 2 (2000) : 139-147.
- (62) Yoshida, K., Tanagawa, M., and Atsuta, M. In-vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. J Oral Rehabil 25 (1998) : 285-291.
- (63) O'Brien, J.W. Dental material and their selection: Chicago, Quintessence Publishing Co, Inc, 1997.
- (64) Watson, T.F.,and Curtis, R.V. Dental biomaterials. Imaging, testing and modelling: Cambridge England, Woodhead Publishing Limited., 2008.
- (65) Van Landuyt, K.L., Snauwaert, J., De Munck, J, Peumans, M., Yoshida, Y., Poitevin, A., et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials 28 (2007) : 3757-3785.
- (66) Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. Oper Dent 28 (2003) : 215-235.
- (67) Jacobsen, T., and Soderholm, K.J. Some effects of water on dentin bonding. Dent Mater 11(1995) :132-136.
- (68) Nakabayashi, N., and Pashley, D.H. Hybridization of Dental Hard Tissues: Tokyo, Quintessence Publishing Co,Ltd., 1998.

- (69) Ibarra, G., Johnson, G.H., Geurtsen, W., and Vargas, M.A. Microleakage of porcelain veneer restorations bonded to enamel and dentin with a new self-adhesive resin-based dental cement. Dent Mater 23 (2007) : 218-225.
- (70) Esclassan, N.E., Gregoire, G., and Cournot, M. Morphological study of fiber-reinforced post-bonding system-root dentin interface by evaluation of two bonding systems. J Dent 36 (2008) : 204-213.
- (71) El Zohairy, A.A., De Gee, A.J., Mohsen, M.M., and Feilzer, A.J. Effect of conditioning time of self-etching primers on dentin bond strength of three adhesive resin cements. Dent Mater 21 (2005) : 83-93.
- (72) Tay, F.R., Carvalho, R., Sano, H., and Pashley, D.H. Effect of smear layers on the bonding of a self-etching primer to dentin. J Adhes Dent 2 (2000) : 99-116.
- (73) Yoshida, Y., Nagakane, K., Fukuda, R., Nakayama, Y., Okazak, M., Shintani, H., et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. J Dent Res 83 (2004) : 454-458.
- (74) Gerth, H.U., Dammaschke, T., Zuchner, H., and Schafer, E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. Dent Mater 22 (2006) : 934-941.
- (75) Kumbuloglu, O., Lassila, L.V., User, A., and Vallittu, P.K. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. Int J Prosthodont 17 (2004) : 357-363.
- (76) Piwowarczyk, A., and Lauer, H.C. Mechanical properties of luting cements after water storage. Oper Dent 28 (2003) : 535-542.
- (77) Vrochari, A.D., Eliades, G., Hellwig, E., and Wrbas, K.T. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements. Dent Mater 25 (2009) : 1104-1108.
- (78) Pegoraro, T.A., da Silva, N.R., and Carvalho, R.M. Cements for use in esthetic dentistry. Dent Clin North Am 51 (2007) : 453-471.

- (79) Rees, J.S., Jacobsen, P.H., and Hickman, J. The elastic modulus of dentine determined by static and dynamic methods. Clin Mater 17 (1994) : 11-15.
- (80) Pest, L.B., Cavalli, G., Bertani, P., and Gagliani, M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. Dent Mater 18 (2002) : 596-602.
- (81) Frankenberger, R., Lohbauer, U., Schaible, R.B., Nikolaenko, S.A., and Naumann, M. Luting of ceramic inlays in vitro: marginal quality of self-etch and etch-and-rinse adhesives versus self-etch cements. Dent Mater 24 (2008) : 185-191.
- (82) Abo-Hamar, S.E., Hiller, K.A., Jung, H., Federlin, M., Friedl, K.H., and Schmalz, G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. Clin Oral Investig 9 (2005) : 161-167.
- (83) Erickson, R.L., Barkmeier, W.W., and Kimmes, N.S. Bond strength of self-etch adhesives to pre-etched enamel. Dent Mater 25 (2009) : 1187-1194.
- (84) Viotti, R.G., Kasaz, A., Pena, C.E., Alexandre, R.S., Arrais, C.A., and Reis, A.F. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. J Prosthet Dent 102 (2009) :306-312.
- (85) Chen, C., Feng, H., Micheal, F.B., Haifeng, X., Ye, Z., and Feimin, Z. Bond strengths of two self-adhesive resin cements to dentin with different treatments. J Med and Bio Eng 31 (2010) :73-77.
- (86) Pavan, S., dos Santos, P.H., Berger, S., and Bedran-Russo, A.K. The effect of dentin pretreatment on the microtensile bond strength of self-adhesive resin cements. J Prosthet Dent 104 (2010) : 258-264.
- (87) Tonial, D., Ghiggi, P.C., Lise, A.A., Burnett, L.H., Oshima, H.M., and Spohr, A.M. Effect of conditioner on microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. Stomatologija 12 (2010) : 73-79.

- (88) Tay, F.R., Loushine, R.J., Lambrechts, P., Weller, R.N., and Pashley, D.H. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. J Endod 31 (2005) : 584-589.
- (89) Mjor, I.A., Smith, M.R., Ferrari, M., and Mannocci, F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. Int Endod J 34 (2001) : 346-353.
- (90) Zicari, F., Couthino, E., De Munck, J., Poitevin, A., Scotti, R., Naert, I., et al. Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. Dent Mater 24 (2008) : 967-977.
- (91) Mazzoni, A., Marchesi, G., Cadenaro, M., Mazzotti, G., Di Lenarda, R., Ferrari, M., et al. Push-out stress for fibre posts luted using different adhesive strategies. Eur J Oral Sci 117 (2009) : 447-453.
- (92) Walter, R., Miguez, P.A., and Pereira, P.N. Microtensile bond strength of luting materials to coronal and root dentin. J Esthet Restor Dent 17 (2005) : 165-171.
- (93) Moszner, N., Salz, U., and Zimmermann, J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. Dent Mater 21 (2005) : 895-910.
- (94) Mazzitelli, C., Monticelli, F., Osorio, R., Casucci, A., Toledano, M., and Ferrari, M. Effect of simulated pulpal pressure on self-adhesive cements bonding to dentin. Dent Mater 24 (2008) : 1156-1163.
- (95) Zhang, L., Huang, L., Xiong, Y., Fang, M., Chen, J.H., and Ferrari, M. Effect of post-space treatment on retention of fiber posts in different root regions using two self-etching systems. Eur J Oral Sci 116 (2008) : 280-286.
- (96) Mader, C.L., Baumgartner, J.C., and Peters, D.D. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. J Endod 10 (1984) : 477-483.
- (97) McComb, D., and Smith, D.C. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. J Endod 1 (1975) : 238-242.



- (98) Brannstrom, M., Nordenvall, K.J., and Glantz, P.O. The effect of EDTA-containing surface-active solutions on the morphology of prepared dentin: an in vivo study. J Dent Res 59 (1980) : 1127-1131.
- (99) Cameron, J.A. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. J Endod 9 (1983) : 289-292.
- (100) Michelich, V.J., Schuster, G.S., and Pashley, D.H. Bacterial penetration of human dentin in vitro. J Dent Res 59 (1980) : 1398-1403.
- (101) Goldberg, F., and Abramovich, A. Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. J Endod 3 (1977) : 101-105.
- (102) Wayman, B.E., Kopp, W.M., Pinero, G.J., and Lazzari, E.P. Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. J Endod 5 (1979) : 258-265.
- (103) Yamada, R.S., Armas, A., Goldman, M., and Lin, P.S. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. J Endod 9 (1983) : 137-142.
- (104) Oksan, T., Aktener, B.O., Sen, B.H., and Tezel, H. The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. Int Endod J 26 (1993) : 301-305.
- (105) Di Lenarda, R., Cadenaro, M., and Sbaizero, O. Effectiveness of 1 mol L<sup>-1</sup> citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. Int Endod J 33 (2000) : 46-52.
- (106) Garberoglio, R., and Becce, C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Endod 78 (1994) : 359-367.
- (107) Calt, S., and Serper, A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. J Endod 28 (2002) : 17-19.
- (108) Takeda, F.H., Harashima, T., Kimura, Y., and Matsumoto, K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. Int Endod J 32 (1999) : 32-39.

- (109) Mello, I., Robazza, C.R., Antoniazzi, J.H., and Coil, J. Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 106 (2008) : e40-43.
- (110) Saleh, A.A., and Ettman, W.M. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. J Dent 27 (1999) : 43-46.
- (111) Niu, W., Yoshioka, T., Kobayashi, C., and Suda, H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. Int Endod J 35 (2002) : 934-939.
- (112) Saito, K., Webb, T.D., Imamura, G.M., and Goodell, G.G. Effect of shortened irrigation times with 17% ethylene diamine tetra-acetic acid on smear layer removal after rotary canal instrumentation. J Endod 34 (2008) : 1011-1014.
- (113) Baker, N.A., Eleazer, P.D., Averbach, R.E., and Seltzer, S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. J Endod 1 (1975) : 127-135.
- (114) Baumgartner, J.C., and Mader, C.L. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. J Endod 13 (1987) : 147-157.
- (115) Haznedaroglu, F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96 (2003) : 340-344.
- (116) Scelza, M.F., Pierro, V., Scelza, P., and Pereira, M. Effect of three different time periods of irrigation with EDTA-T, EDTA, and citric acid on smear layer removal. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 98 (2004) : 499-503.
- (117) Gonzalez-Lopez, S., Camejo-Aguilar, D., Sanchez-Sanchez, P., and Bolanos-Carmona, V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. J Endod 32 (2006) : 781-784.

- (118) Perez-Heredia, M., Ferrer-Luque, C.M., Gonzalez-Rodriguez, M.P., Martin-Peinado, F.J., and Gonzalez-Lopez, S. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine. Int Endod J 41 (2008) : 418-423.
- (119) Prabhu, S., Rahim, N., and Bhat, K.S. Comparison of removal of endodontic smear layer using sodium hypochlorite, EDTA and different concentrationd of maleic acid--a SEM study. Endodontology 15 (2003) : 20-25.
- (120) Torabinejad, M., Khademi, A.A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W.B., Bozhilov, K., et al. A new solution for the removal of the smear layer. J Endod 29 (2003) : 170-175.
- (121) Tay, F.R., Pashley, D.H., Loushine, R.J., Doyle, M.D., Gillespie, W.T., Weller, R.N., et al. Ultrastructure of smear layer-covered intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. J Endod 32 (2006) : 218-221.
- (122) Versluis, A., Tantbirojn, D., and Douglas, W.H. Why do shear bond tests pull out dentin? J Dent Res76 (1997) :1298-1307.
- (123) Watanabe, I., and Nakabayashi, N. Measurement methods for adhesion to dentine: the current status in Japan. J Dent22(1994) :67-72.
- (124) Sano, H., Shono, T., Sonoda, H., Takatsu, T., Ciucchi, B., Carvalho, R., et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-- evaluation of a micro-tensile bond test. Dent Mater10(1994) :236-240.
- (125) Pashley, D.H., Carvalho, R.M., Sano, H., Nakajima, M., Yoshiyama, M., Shono, Y., et al. The microtensile bond test: a review. J Adhes Dent1(1999) :299-309.
- (126) Van Landuyt, K. Biomat Leuven research cluster (2009) from <http://www.med.kuleuven.be/biomas/research.htm>
- (127) Prisco, D., De Santis, R., Mollica, F., Ambrosio, L., Rengo, S., and Nicolais, L. Fiber post adhesion to resin luting cements in the restoration of endodontically-treated teeth. Oper Dent28(2003) :515-521.

- (128) da Silva, L.M., Andrade, A.M., Machuca, M.F., da Silva, P.M., da Silva, R.V., and Veronezi, M.C. Influence of different adhesive systems on the pull-out bond strength of glass fiber posts. J Appl Oral Sci 16(2008) :232-235.
- (129) Perdigao, J., Geraldini, S., and Lee, I.K. Push-out bond strengths of tooth-colored posts bonded with different adhesive systems. Am J Dent 17 (2004) : 422-426.
- (130) Goracci, C., Grandini, S., Bossu, M., Bertelli, E., and Ferrari, M. Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: a review. J Dent 35 (2007) : 827-835.
- (131) Goracci, C., Tavares, A.U., Fabianelli, A., Monticelli, F., Raffaelli, O., Cardoso, P.C., et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. Eur J Oral Sci 112 (2004) : 353-361.
- (132) Kececi, A.D., Ureyen, K.B., and Adanir, N. 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 (2008) : 121-128.
- (133) Bitter, K., Meyer-Luckel, H., Priehn, K., Martus, P., and Kielbassa, A.M. Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts. Am J Dent 19 (2006) : 138-142.
- (134) Instruction for use: Variolink® II, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, 2003.
- (135) Instruction for use: RelyX™ Unicem Aplicap™ /Maxicap™, 3M ESPE, Seefeld, Germany, 2008.
- (136) Ferrari, M., Grandini, S., Simonetti, M., Monticelli, F., and Goracci, C. Influence of a microbrush on bonding fiber post into root canals under clinical conditions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94 (2002) : 627-631.
- (137) Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Borracchini, A., and Ferrari, M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. J Adhes Dent 7 (2005) : 235-240.

- (138) Valandro, L.F., Filho, O.D., Valera, M.C., and de Araujo, M.A. The effect of adhesive systems on the pullout strength of a fiberglass-reinforced composite post system in bovine teeth. J Adhes Dent 7 (2005) : 331-336.
- (139) Teixeira, E.C., Teixeira, F.B., Piasick, J.R., and Thompson, J.Y. An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. J Am Dent Assoc 137 (2006) : 1006-1012.
- (140) Giachetti, L., Grandini, S., Calamai, P., Fantini, G., and Scaminaci, R.D. Translucent fiber post cementation using light- and dual-curing adhesive techniques and a self-adhesive material: push-out test. J Dent 37 (2009) : 638-642.
- (141) Huber, L., Cattani-Lorente, M., Shaw, L., Krejci, I., and Bouillaguet, S. Push-out bond strengths of endodontic posts bonded with different resin-based luting cements. Am J Dent 20 (2007) : 167-172.
- (142) Malyk, Y., Kaaden, C., Hickel, R., and Ilie, N. Analysis of resin tags formation in root canal dentine: a cross sectional study. Int Endod J 43 (2010) : 47-56.
- (143) Ferrari, M., Mannocci, F., Vichi, A., Cagidiaco, M.C., and Mjor, I.A. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. Am J Dent 13 (2000) : 255-260.
- (144) Kalkan, M., Usumez, A., Ozturk, A.N., Belli, S., and Eskitascioglu, G. Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. J Prosthet Dent 96 (2006) : 41-46.
- (145) Chersoni, S., Acquaviva, G.L., Prati, C., Ferrari, M., Grandini, S., Pashley, D.H., et al. In vivo fluid movement through dentin adhesives in endodontically treated teeth. J Dent Res 84 (2005) : 223-227.
- (146) Radovic, I., Mazzitelli, C., Chieffi, N., and Ferrari, M. Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches. Eur J Oral Sci 116 (2008) : 557-563.

- (147) Carvalho, R.M., Pegoraro, T.A., Tay, F.R., Pegoraro, L.F., Silva, N.R., and Pashley, D.H. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. J Dent 32 (2004) : 55-65.
- (148) Perdigo, J., and Lopes, M. The effect of etching time on dentin demineralization. Quint Int J 32 (2001) : 19-26.
- (149) Abu-Hanna, A., Gordan, V.V., and Mjor, I. The effect of variation in etching times on dentin bonding. Gen Dent 52 (2004) : 28-33.
- (150) Gokce, K., Aykor, A., Ersoy, M., Ozel, E., and Soyman, M. Effect of phosphoric acid etching and self-etching primer application methods on dentinal shear bond strength. J Adhes Dent 10 (2008) : 345-349.
- (151) Chaves, P., Giannini, M., and Ambrosano, G.M. Influence of smear layer pretreatments on bond strength to dentin. J Adhes Dent 3 (2002) : 191-196.
- (152) Attal, J.P., Asmussen, E., and Degrange, M. Effects of surface treatment on the free surface energy of dentin. Dent Mater 10 (1994) : 259-264.
- (153) Gu, X.H., Mao, C.Y., and Kern, M. Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. J Endod 35 (2009) : 583-586.
- (154) Ari, H., Yasar, E., and Belli, S. Effects of NaOCl on bond strengths of resin cements to root canal dentin. J Endod 29 (2003) : 248-251.
- (155) Monticelli, F., Osorio, R., Mazzitelli, C., Ferrari, M., and Toledano, M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. J Dent Res 87 (2008) : 974-979.
- (156) Vongphan, N., Senawongse, P., Somsiri, W., and Harnirattisai, C. Effects of sodium ascorbate on microtensile bond strength of total-etching adhesive system to NaOCl treated dentine. J Dent 33 (2005) : 689-695.
- (157) Weston, C.H., Ito, S., Wadgaonkar, B., and Pashley, D.H. Effects of time and concentration of sodium ascorbate on reversal of NaOCl-induced reduction in bond strengths. J Endod 33 (2007) : 879-881.

ภาคผนวก

ตาราง ก การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลัดเมื่อใช้พื้นที่ผิวของเดือยฟันในการคำนวณเปรียบเทียบกับเมื่อใช้พื้นที่ผิวของคลองรากฟันในการคำนวณ

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
bond	Equal variances assumed	.165	.693	1.799	10	.102	2.51305	1.39683	-.59929	5.62539
	Equal variances not assumed			1.799	9.622	.103	2.51305	1.39683	-.61593	5.64203

ตาราง ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1-3

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2019.385 <sup>a</sup>	8	252.423	20.856	.000
Intercept	30390.887	1	30390.887	2510.993	.000
group	875.203	2	437.601	36.156	.000
section	529.992	2	264.996	21.895	.000
group * section	614.190	4	153.548	12.687	.000
Error	2069.636	171	12.103		
Total	34479.908	180			
Corrected Total	4089.021	179			

a. R Squared = .494 (Adjusted R Squared = .470)

ตาราง ค การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการใช้การทดสอบของลีวีเน (Levene's test) ของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบผลัดในกลุ่มทดลองที่ 1-3

#### Test of Homogeneity of Variances

load

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.139	8	171	.340



ตาราง ง การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว(One way ANOVA)ในกลุ่มทดลองที่ 1-3

### ANOVA

load

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2019.385	8	252.423	20.856	.000
Within Groups	2069.636	171	12.103		
Total	4089.021	179			

ตาราง จ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางระหว่างกลุ่มทดลองที่ 3-6

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:load

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3120.803 <sup>a</sup>	11	283.709	18.187	.000
Intercept	59932.359	1	59932.359	3841.848	.000
group	2994.151	3	998.050	63.978	.000
section	67.049	2	33.525	2.149	.119
group * section	59.603	6	9.934	.637	.701
Error	3556.773	228	15.600		
Total	66609.935	240			
Corrected Total	6677.576	239			

a. R Squared = .467 (Adjusted R Squared = .442)

ตาราง ข การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการใช้การทดสอบของลีวิน (Levene's test) ของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยัดแบบผลึกในกลุ่มทดลองที่ 3-6

#### Test of Homogeneity of Variances

load

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.140	3	236	.334

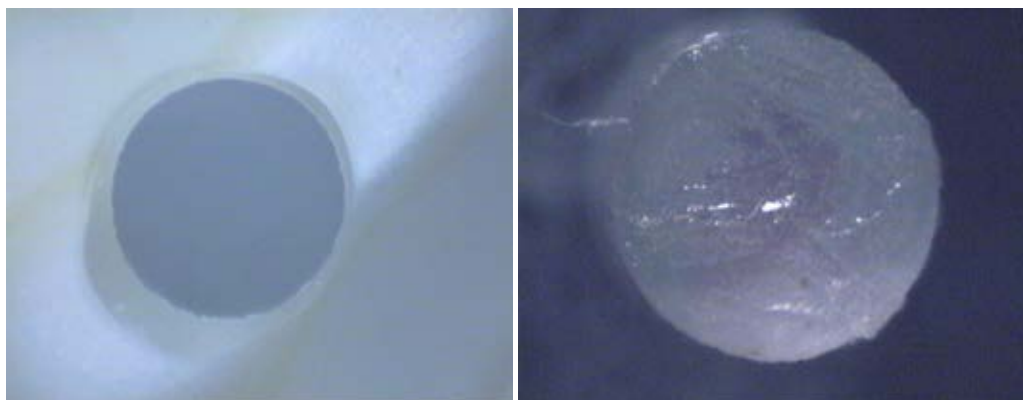
ตาราง ช การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ในกลุ่มทดลองที่ 3-6

#### ANOVA

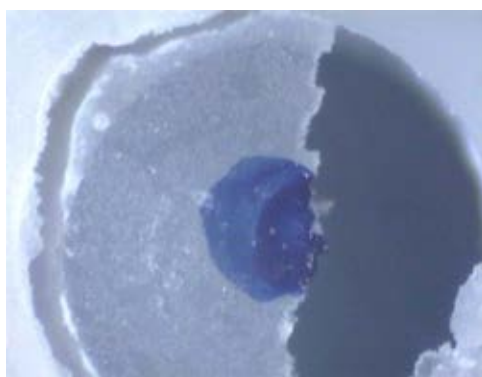
load

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2994.151	3	998.050	63.946	.000
Within Groups	3683.425	236	15.608		
Total	6677.576	239			

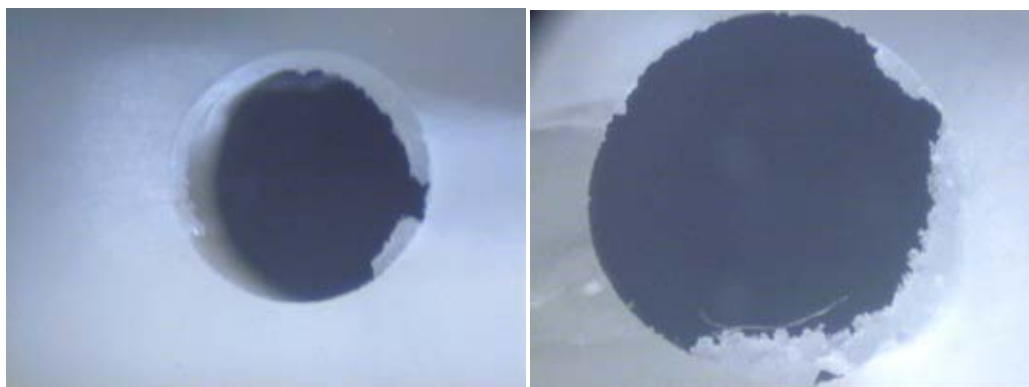
### การตรวจสอบลักษณะรอยแตกของชั้นทดสอบ



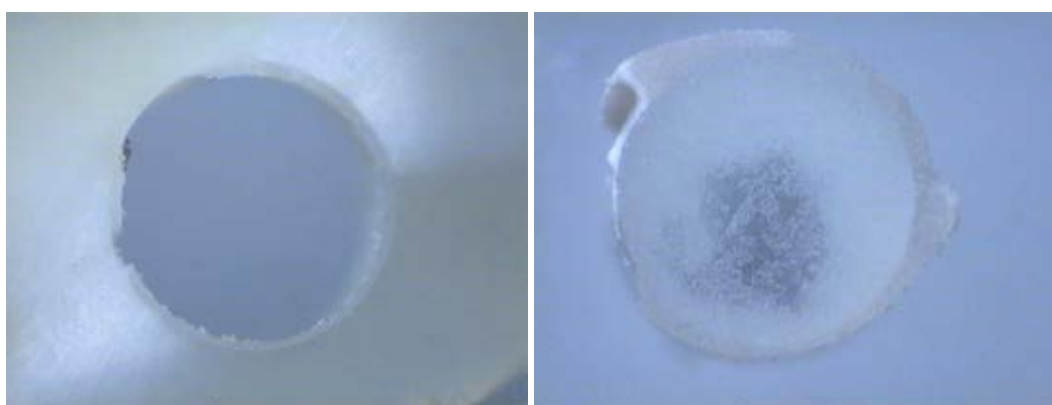
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกที่ชั้นการยึดติดที่เดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ร่วมกับการแตกในเดือยฟัน



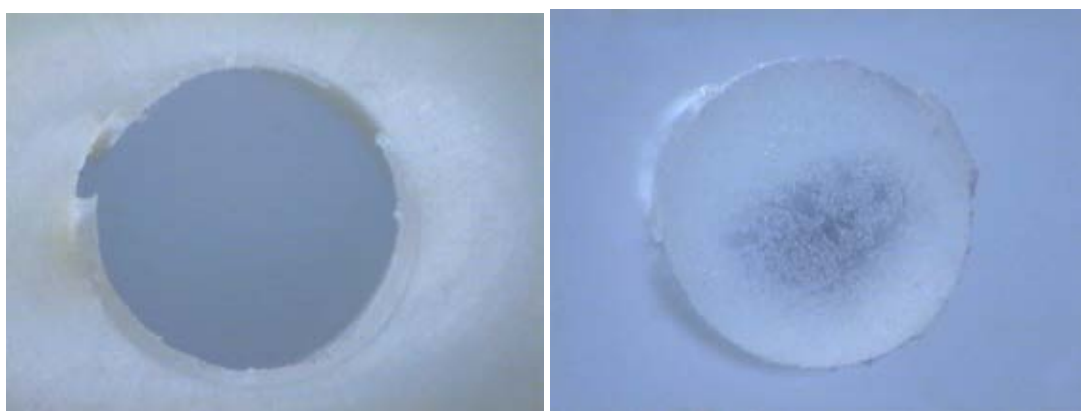
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมที่ชั้นการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันร่วมกับการแตกร้าวในชั้นเรซินซีเมนต์



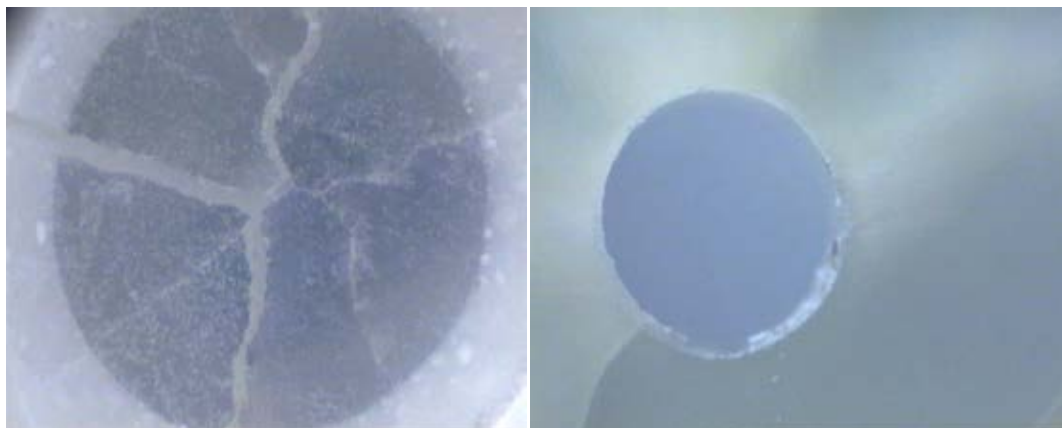
ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการแตกร้าวภายในชั้นเรซินซีเมนต์



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการแตกที่ชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน

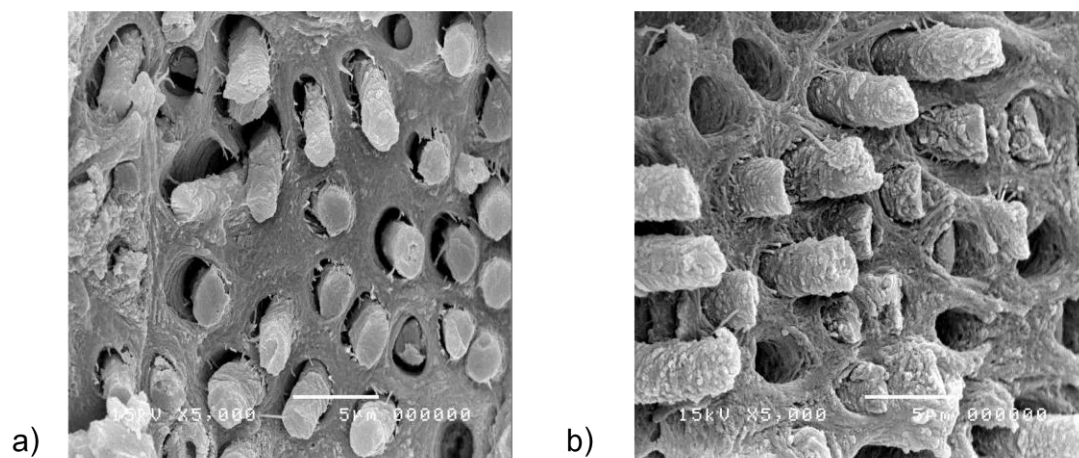


ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกในชั้นการยึดติดระหว่างเดือยฟัน กับเรซินซีเมนต์ ร่วมกับการแตกในชั้นการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์

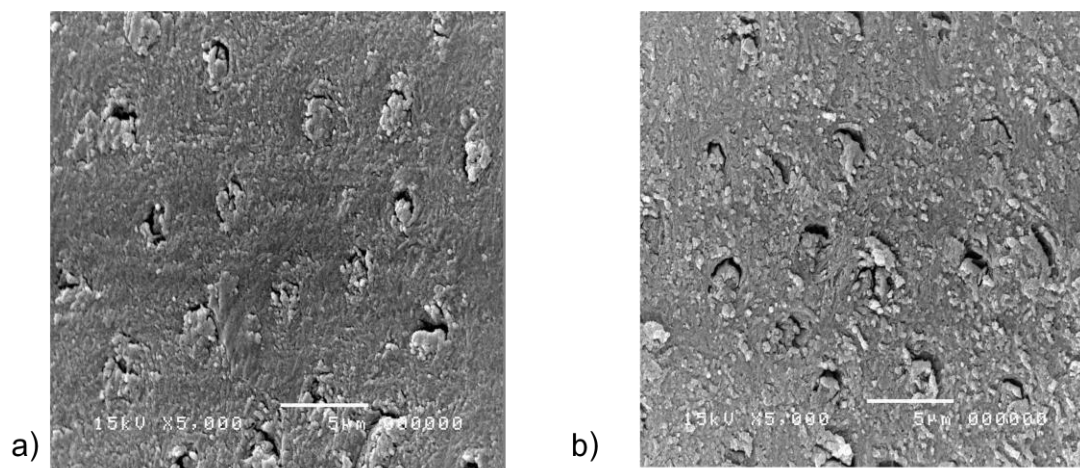


ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบผสมโดยแตกในชั้นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อพิน ร่วมกับการแตกในเนื้อพิน

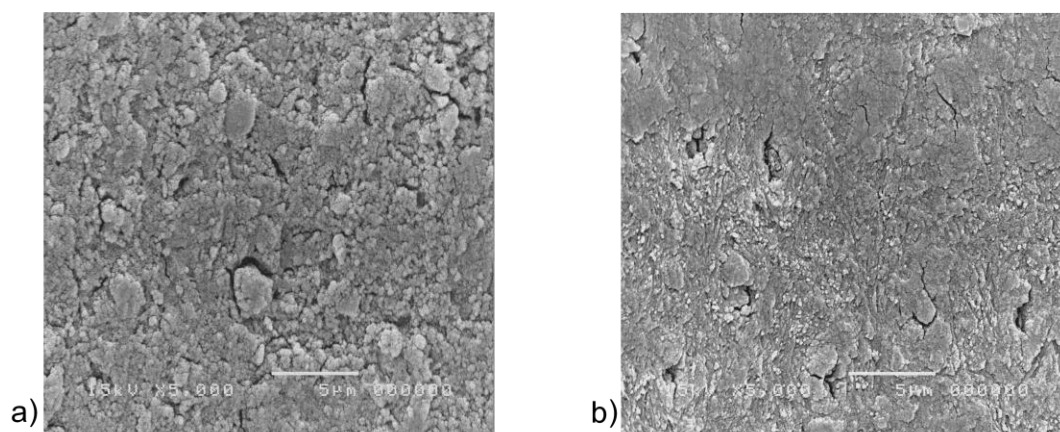
ผลการตรวจสอบการแตกร้าวของชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บริเวณส่วนต้นรากพิน (ภาพ a) และส่วนปลายรากพิน (ภาพ b) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



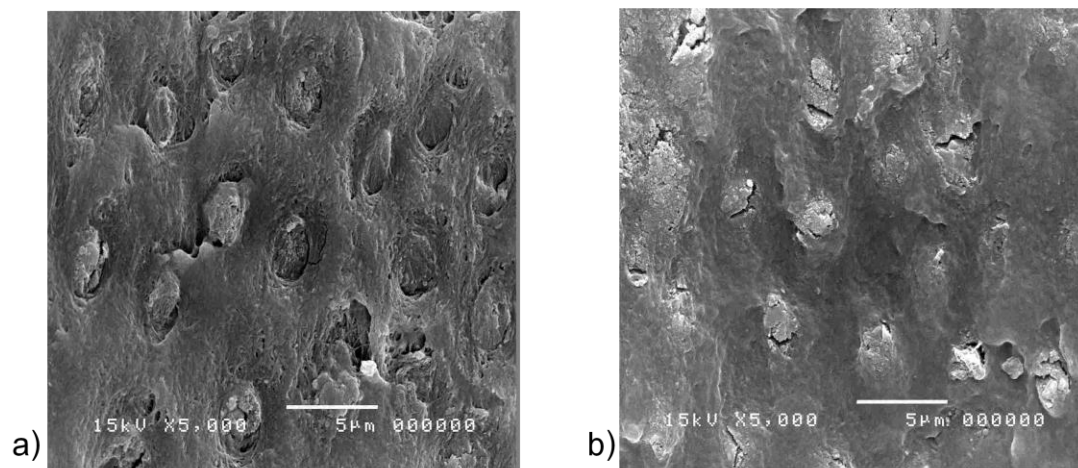
ภาพที่ 8 กลุ่มการทดลองที่ 1 (Var) มีการละลายแร่ธาตุบนพื้นผิวเนื้อพินและชั้นสเมียร์ถูกกำจัดออก ด้วยกรดฟอสฟอริก พบทางเปิดของท่อเนื้อพินถูกเปิดออก มีเรซินสามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อพิน พบเรซินแทรกทั้งในส่วนต้นรากพิน (ภาพ a) และส่วนปลายรากพิน(ภาพ b)



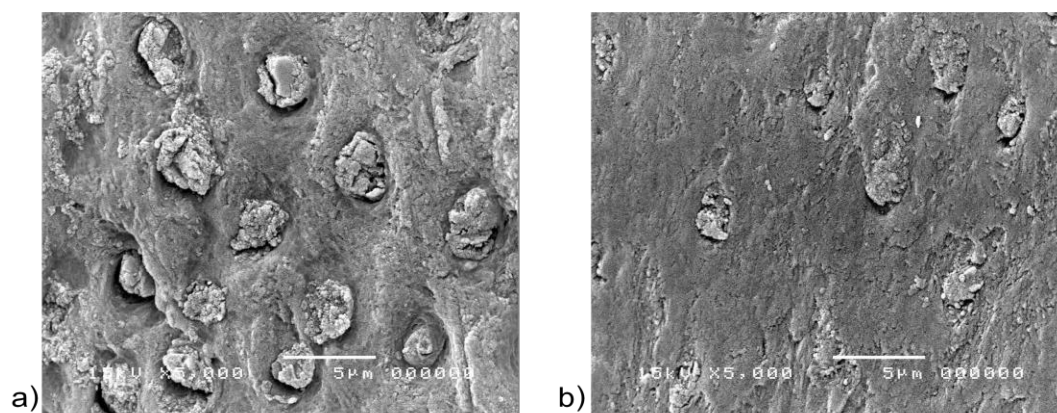
ภาพที่ 9 กลุ่มการทดลองที่ 2 (Pan) พบทางเปิดของท่อเนื้อฟันที่มีเรซินซีเมนต์และชั้นสเมียร์อุดปิด โดยทั่วไปบนพื้นผิวเนื้อฟันทั้งในส่วนต้นรากฟัน (ภาพ a) และส่วนปลายรากฟัน (ภาพ b)



ภาพที่ 10 กลุ่มการทดลองที่ 3 (Rex) พบลักษณะของเรซินซีเมนต์และชั้นสเมียร์หนาปกคลุมทั่วบริเวณพื้นผิวเนื้อฟันไม่พบท่อเนื้อฟัน ทั้งในส่วนต้นรากฟัน (ภาพ a) และส่วนปลายรากฟัน (ภาพ b)

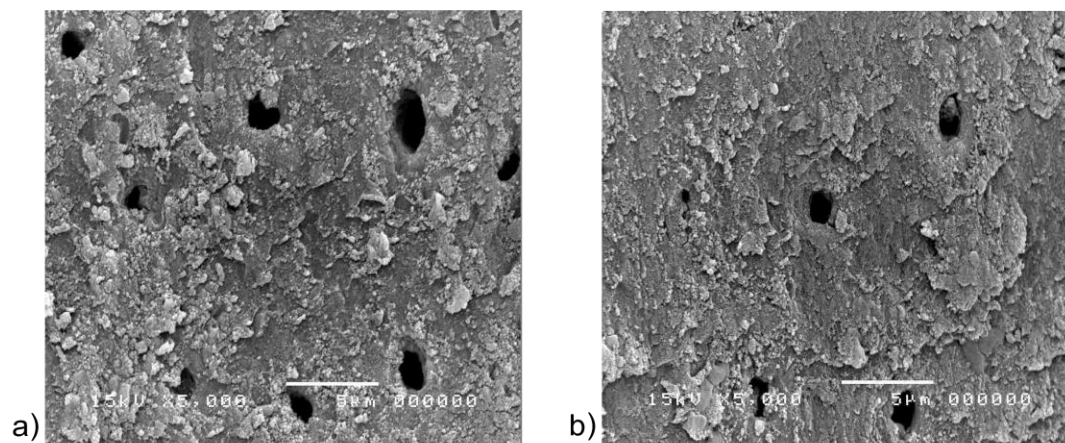


ภาพที่ 11 กลุ่มการทดลองที่ 4 (A+Rex) พบเรซินซีเมนต์อุดปิดบริเวณทางเปิดต่อเนื้อฟันทั้งในส่วนต้นรากฟัน (ภาพ a) และส่วนปลายรากฟัน (ภาพ b)



ภาพที่ 12 กลุ่มการทดลองที่ 5 (ED+Rex) พบเรซินซีเมนต์อุดปิดบริเวณทางเปิดต่อเนื้อฟันโดยทั่วไปในส่วนต้นรากฟัน (ภาพ a) บริเวณส่วนปลายรากฟันพบชั้นเรซินซีเมนต์และชั้นสเมียร์ปกคลุมพื้นผิวเนื้อฟันและพบทางเปิดต่อเนื้อฟันในบางบริเวณที่มีลักษณะของเรซินซีเมนต์ปกคลุม (ภาพ b)





ภาพที่ 13 กลุ่มการทดลองที่ 6 (ED/Na+Rex) พบลักษณะของเรซินซีเมนต์และชั้นสเมียร์ปกคลุม  
พื้นผิวเนื้อรากฟันและพบทางเปิดของท่อเนื้อฟันโดยไม่พบเรซินซีเมนต์ปกคลุมบนบริเวณท่อเนื้อฟัน  
ทั้งในส่วนต้นรากฟัน (ภาพ a) และส่วนปลายรากฟัน (ภาพ b)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาพร ดุรงค์วงศ์ เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2548

### ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2549-2550 เข้ารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลสองพี่น้อง จ.จันทบุรี
- พ.ศ. 2551-ปัจจุบัน ศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย