

การรื้อซึมในฟันรักษาคลองรากที่ได้รับการอุดด้วยซีเมนต์ที่มียูจินอล  
: ผลของการล้างด้วยสารชนิดต่าง ๆ ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์



นางสาว สุภัคตรา ต่อทีณะ

สถาบันวิทยบริการ  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์  
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1478-5

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEAKAGE OF ROOTS OBTURATED WITH EUGENOL- CONTAINING  
ENDODONTIC SEALER : THE EFFECT OF IRRIGATION AGENTS  
BEFORE LUTING WITH RESIN CEMENT



Miss Supuktra Torteeka

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Sciences in Prosthodontics

Department of Prosthodontics  
Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1478-5



สุภักศตรา ต่อชีวะ : การรั่วซึมในฟันรักษาคลองรากที่ได้รับการอุดด้วยซีเมนต์ที่มียูจีนอล

: ผลของการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์

( LEAKAGE OF ROOTS OBTURATED WITH EUGENOL- CONTAINING ENDODONTIC SEALER

: THE EFFECT OF IRRIGATION AGENTS BEFORE LUTING WITH RESIN CEMENT) อาจารย์ที่

ปรึกษา ทพญ. ดร. ปิยะมล อัครบุษธานี ทพ. รุจ จำเดิมแผด็จศึก 88 หน้า. ISBN 974-17-1478-5

โดยทั่วไปในการใช้เรซินซีเมนต์ยึดเดือยฟันในคลองรากที่ได้รับการอุดด้วยวัสดุอุดคลองรากที่มียูจีนอล ซึ่งจะมีการตกค้างของยูจีนอลอยู่ในคลองรากฟัน จะทำให้เกิดโพลิเมอร์ไรเซชันของเรซินไม่สมบูรณ์ เกิดแรงยึดที่น้อยลง เกิดการรั่วซึมภายในคลองรากมากขึ้น ฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการล้างคลองรากฟันด้วยสารชนิดต่างๆที่สามารถลดยูจีนอลที่ตกค้างภายในรากฟัน การศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมที่เกิดขึ้นทดสอบโดยการใส่สารซิลเวอร์ไนเทรต และเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน หลังจากการล้างทำความสะอาดคลองรากด้วย น้ำเกลือ แอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ โดยการใส่ฟันรากเดี่ยว จำนวน 164 ซี่ นำมาแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3 ตอน ผลการทดลองพบว่า ตอนที่ 1 เปรียบเทียบการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากฟันระหว่างอุดเติมคลองราก กับกลุ่มที่ได้รับการใช้เครื่องมือลนไฟตัดวัสดุอุดคลองรากออก เหลือวัสดุอุดปลายราก 3 มิลลิเมตร ให้ค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $P > 0.05$  (T-test) ตอนที่ 2 เปรียบเทียบการรั่วซึมที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟันหลังจากการล้างคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ พบว่าค่าเฉลี่ยการรั่วซึมกลุ่มที่ใช้ น้ำเกลือ น้อยกว่าสารชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญที่  $P < 0.05$  (LSD test) ขณะที่ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมระหว่างแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม และตอนที่ 3 ทดสอบการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากระหว่างเรซินซีเมนต์ (พานาเวียเอฟ) กับเนื้อฟัน และการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อม หลังจากการล้างคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ พบว่าค่าเฉลี่ยการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะทางการรั่วซึมระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน พบว่าค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของแอลกอฮอล์ กับ อะซีโตน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมน้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วย อะซีโตน น้ำเกลือ กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อม พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน และ อีดีทีเอ ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมมากกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลือให้ค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมมากกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยแอลกอฮอล์ และกรดฟอสฟอริก อย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์	ลายมือชื่ออนิสิต.....
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4276127032 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORDS : EUGENOL / RESIN CEMENT / IRRIGATION AGENTS / LEAKAGE / SHEAR BOND  
STRENGTH / POLYMERIZATION

SUPUKTRA TORTEEKA : LEAKAGE OF ROOTS OBTURATED WITH EUGENOL- CONTAINING  
ENDODONTIC SEALER : THE EFFECT OF IRRIGATION AGENTS BEFORE LUTING WITH RESIN  
CEMENT. THESIS ADVISOR : DR. PYAMOL ALBUSTANY , ROOT CHUMDERMPAETSUK. 88  
pp. ISBN 974-17-1478

Composite luting agent commonly used to cement post in endodontically treated teeth is effected by eugenol presented in endodontic sealer. Eugenol is known to cause incomplete polymerization, decrease bond strength and increase radicular leakage. It is essential to irrigate root canal with proper irrigation agent to minimize this effect.

This study investigated the effect of irrigation agents used in endodontically treated tooth (with eugenol containing endodontic sealer) on radicular leakage and bond strength. The irrigation agents used before luting with resin cement were normal saline , ethyl alcohol , acetone , phosphoric acid and EDTA. One hundred sixty four single roots were obturated with eugenol containing endodontic sealer. Using silver nitrate as tracer, the study was divided in three parts. Part one; mean leakage of completely filled root canal was compared to partially filled root canal (3 mm. gutta purcha remaining). The result indicated no significant difference ( $p > 0.05$  , T-test ). Part two of the experiment ; five irrigation agents were used in partially filled root canal. Normal saline exhibited the least leakage while other four agents exhibited no significant difference ( $p < 0.05$  ,LSD test ). Part three; Panavia F luting agent was used to cement partially filled root canal after irrigating with five agents. The result indicated that there was no significant different in mean apical leakage. Alcohol exhibited less leakage between dentine-resin interface when compared to acetone. There was no significant difference in dentine-resin interface leakage for the four remaining groups (acetone , normal saline , phosphoric acid and EDTA ). Irrigating with acetone and EDTA yielded significantly higher bond strength than normal saline, which also yielded higher bond strength than alcohol and phosphoric acid.

Department	Prosthodontics	Student's Signature.....
Field of student	Prosthodontics	Advisor's Signature .....
Academic year	2002	Co - advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปิยะมล อัลบุสทานี และ อาจารย์ ทันตแพทย์ รุจ จำเดิมแผด็จศึก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้ความสำคัญแก่วิจัย ให้ความรู้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ที่จะนำมาใช้เป็นแนวคิดดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณอาจารย์ที่เป็นกำลังใจและกรุณาสละเวลาที่มีค่ามาช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ จนสามารถจัดทำต้นฉบับจนสำเร็จ สมบูรณ์ได้ในที่สุด

ขอขอบคุณคณาจารย์ในภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ที่ให้ความเอ็นดู และเป็นกำลังใจในการทำงาน พร้อมทั้งได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความเมตตาตลอดมา ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องสถิติ

นอกจากนี้ ยังได้รับความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ออกแบบ จากเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้รับความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์พร้อมทั้งคำแนะนำและความช่วยเหลือในการวิจัยจากเจ้าหน้าที่ ศูนย์ทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก

สิ่งสำคัญที่ผู้วิจัยได้รับ ไม่ใช่เพียงความรู้ทางวิชาการ ความรู้ในกระบวนการวิจัย หรือทักษะในการปฏิบัติงาน แต่ยังมีกำลังใจ และความปรารถนาดีจากบุคคลรอบข้าง ขอขอบคุณอย่างจริงใจในความหวังดี และความช่วยเหลือที่ทุกคนมอบให้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาผู้ให้กำเนิด รวมทั้งบุคคลในครอบครัวที่ช่วย ดูแลเอาใจใส่ให้ความรัก ความอบอุ่น เป็นกำลังใจ และช่วยส่งเสริมในเรื่องการเรียนตลอดมา

สุภัคตรา ต่อชีวะ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ซ
สารบัญภาพ .....	ฅ
บทที่	
1. บทนำความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
2. ปรัชศน์วรรณกรรม .....	5
3. ระเบียบวิจัยการทดลอง .....	24
4. วิเคราะห์ผลการวิจัย .....	35
5. อภิปรายผลการวิจัย .....	49
6. บทสรุป .....	63
รายการอ้างอิง .....	66
ภาคผนวก .....	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	88

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงผลระยะทางรั้วซีมเฉลี่ยที่ปลายราก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั้วซีมต่ำสุด และ ระยะทางการรั้วซีมสูงสุด.....	36
2. แสดงผลระยะทางรั้วซีมเฉลี่ยในคลองราก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั้วซีมต่ำสุด และระยะทางการรั้วซีมสูงสุด.....	37
3. แสดงผลระยะทางรั้วซีมเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั้วซีมต่ำสุด และ ระยะทางการรั้วซีมสูงสุด ที่บริเวณปลายราก ในการทดลองตอนที่ 3.....	39
4. แสดงผลระยะทางรั้วซีมเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั้วซีมต่ำสุด และ ระยะทางการรั้วซีมสูงสุด ที่บริเวณรากพื้นส่วนบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้กับเรซิน ซีเมนต์.....	40
5. แสดงผลความแข็งแรงพันธะเนื้อเฉลี่ย (เมกะปาสคาล) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแข็งแรงพันธะเนื้อต่ำสุด และความแข็งแรงพันธะเนื้อสูงสุด ระหว่างเนื้อพื้กับ เรซินซีเมนต์.....	42



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1. แสดงลักษณะการล้าง ขยายและ อุดคลองรากฟัน.....	25
2. แสดงลักษณะของพลาสติก ฝาปิดพร้อมหมุดยึดรากฟัน.....	28
3. แสดงลักษณะของรากฟันที่จะยึดติดกับอะคริลิกในพลาสติกใสทรงกระบอก.....	29
4. แสดงลักษณะของชิ้นงานในกลุ่มการทดลองตอนที่ 3 การตัดขวางบริเวณพื้นที่มีการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ให้ได้ชิ้นงานหนา 2.0 มม. และเหลือรากฟันที่มีกัตาเปอร์ชา 3 มม. กับเรซินซีเมนต์ส่วนบน 2 มม. ....	29
5. แสดง เครื่องตัดฟัน ไอโซเมท (Isomet) และลักษณะการวางชิ้นงานเพื่อตัดฟัน.....	30
6. แสดงการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องไอโซเมท เพื่อนำชิ้นงานมาทดลองในตอนที่ 3.....	30
6. แสดงลักษณะชิ้นงานหลังจากตัดได้ชิ้นงานส่วนบนหนา 2 มม. นำไปทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออก และรากฟันส่วนปลายรากนำไปทดสอบการรั่วซึม.....	30
8. แสดงลักษณะของรากฟันที่ทายาธาเล็บก่อนนำไปแช่สารทดสอบการรั่วซึมในตอนที่ 3.....	31
9. แสดงลักษณะของฟันที่ได้หลังจากนำไปแช่สารทดสอบการรั่วซึม และนำไปผ่านกระบวนการทำให้ฟันใส ก่อนนำไปวัดระยะการรั่วซึม.....	31
10. แสดงลักษณะแท่นยึดจับชิ้นงานที่ประกอบด้วยฐานแท่นเหล็กรองรับ, แผ่นเหล็กที่ช่วยรองรับ และลักษณะของหัวกด ที่ใช้การทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออก.....	32
11. แสดง ลักษณะของเครื่องมือแท่นยึดชิ้นงานในการทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออกด้วยเครื่องลอยด์ (LLOYD).....	33
12. แสดงลักษณะของแท่นจับและเหล็กที่ใช้พุงและรองรับชิ้นงาน ที่มีรูขนาดเส้นรอบวง 2.0 มม. และ รูปแสดงลักษณะของการนำชิ้นงานใส่แท่นจับสำหรับทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อม แบบผลึกออก.....	33
13. แผนภูมิแท่ง แสดงผลระยะทางรั่วซึมเฉลี่ยที่ปลายรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 1.....	35
14. แผนภูมิแท่ง แสดงผลการรั่วซึมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในคลองราก ในการทดลองตอนที่ 2.....	37
15. แผนภูมิแท่งแสดงการรั่วซึมที่ปลายรากฟัน ภายหลังจากการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ในการทดลองตอนที่ 3 .....	38

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
16. แผนภูมิแท่งแสดงการรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ในการทดลองตอนที่ 3 .....	40
17. แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนแบบผลึกออกในการทดลองตอนที่ 3.....	41
18. แสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากในกลุ่มการทดลองที่1.1 .....	43
19. แสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากในกลุ่มการทดลองที่1.2 .....	43
20. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยน้ำเกลือ .....	44
21. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยแอลกอฮอล์ .....	44
22. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยอะซีโตน .....	45
23. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยกรดฟอสฟอริก 37 %.....	45
24. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วย อีดีทีเอ.....	46
25. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วย แอลกอฮอล์.....	46
26. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน.....	47
27. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลือ .....	47
28. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยกรดฟอสฟอริก .....	48
29. รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ.....	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากด้วยการใช้เดือยฟัน ถูกพิจารณาเลือกใช้เป็นโครงสร้างที่ช่วยให้เกิดการยึดอยู่ของครอบฟันในกรณีที่ฟันมีโครงสร้างของส่วนตัวฟันเหลือน้อย แต่จะพบได้ว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันมีการล้มเหลวเกิดขึ้นตามการศึกษาของ Sorensen และ Martinoff (1984) รวมทั้ง Margano (1993) โดยแบ่งความล้มเหลวที่เกิดขึ้นใน 3 รูปแบบคือ 1. รากฟันแตก 2. ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากตัวเดือยฟัน และ 3. การสูญเสียความสามารถในการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับรากฟัน โดยพบว่า รากฟันแตกถือว่าเป็นความล้มเหลวที่รุนแรงที่สุด และการหลุดของเดือยฟันเป็นความล้มเหลวที่เกิดขึ้นมากที่สุด (Torbjerner และคณะ, 1995 ; Bergman และคณะ, 1989) ทั้งนี้ Nergiz (1997) พบว่าความสามารถในการยึดติดของเดือยฟันจะมีมากในเดือยฟันที่ยาวมากกว่าสั้น เดือยฟันที่มีทรงขนานมากกว่าทรงสอบ เดือยฟันชนิดมีเกลียว (thread) ที่มีแรงกระทำ (active) จะให้การยึดอยู่มากกว่าชนิดที่ไม่มีแรงกระทำ (passive) นอกจากนี้ปัจจัยที่เกี่ยวกับรูปร่างลักษณะของเดือยฟันแล้วความสามารถในการยึดอยู่ของเดือยฟันยังเกิดจากผลของการใช้ซีเมนต์ในการยึด โดย Assif และ ferbner (1982) รวมทั้ง Goldman (1984) กับทั้ง Tjan และ Nemetz (1992) พบว่าการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์มีค่ามากกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ ซิงค์ฟอสเฟต นอกจากนี้การใช้สารช่วยการยึดอยู่ (adhesive bonding agent) จะช่วยเพิ่มการยึดอยู่เมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์

ในปัจจุบันระบบการใช้สารยึดติด ได้รับการพัฒนามากขึ้น ดังนั้นจะพบได้ว่า การนำเรซินซีเมนต์มาใช้ในการยึดติดกับรากฟันจึงมีเพิ่มขึ้น เช่นในกรณีที่ต้องการแรงยึดติดแน่นที่มากในรากฟันที่สั้น กว้าง ใหญ่ การยึดติดเดือยเซรามิก หรือการยึดติดเดือยคาร์บอนไฟเบอร์ (carbon fiber post) ทั้งนี้การปรับสภาพผิวของเนื้อฟันให้เหมาะสมด้วยสารเฉพาะเช่น กรด ไพรเมอร์ จะช่วยทำให้เกิดชั้นไฮบริด (hybrid layer) และเรซินแทก (resin tag) ที่สมบูรณ์ (Nakabayashi, 1985) ทำให้เกิดการยึดติดแน่นและเชื่อมติดเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ทำให้ลดอุบัติการณ์การหลุดและรากฟันแตกหัก

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า การเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของโพลีเมอร์จะถูกยับยั้งและหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยาจากสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่สามารถพบได้ในสารที่ใช้ในทางทันตกรรม เช่น ยูจีนอล (Eugenol), ฟีนอล (Phenol), ครีซอล (Cresol) และ ไทมอล (Thymol) ซึ่งเป็นส่วนผสมในวัสดุต่างๆ เช่น สารที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อที่ใช้ทำความสะอาดเนื้อฟัน (dentin disinfectants)

วัสดุอุดคลองรากฟัน ซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดชั่วคราว ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์ และอื่นๆ (FujiSawa และ Kadoma, 1997)

ดังนั้นการยึดเดือยฟันด้วยเรซินซีเมนต์ในคลองรากที่ได้รับการรักษาด้วยการใช้วัสดุอุดคลองรากที่มีส่วนผสมของยูจินอลและมีการตกค้างของยูจินอลอยู่ในคลองรากฟัน จะทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินไม่สมบูรณ์ เกิดความแข็งแรงยึดที่น้อยลง และอาจทำให้เกิดการรั่วซึมภายในคลองรากมากขึ้น เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการล้างคลองรากฟันด้วยสารชนิดต่างๆที่สามารถลดยูจินอลที่ตกค้างภายในรากฟัน เช่น แอลกอฮอล์ 37% กรดฟอสฟอริก ตามผลการทดลองของ Tjan และ Nemetz (1992) หรือการใช้สารที่มีผลในการนำชั้นสเมียร์ออกจากคลองราก ( Di Lenard และคณะ ,2000) แต่ทั้งนี้การใช้สารต่างๆล้างภายในคลองรากฟันอาจส่งผลกระทบต่อสารปิดสนิทแน่นของวัสดุอุดที่บริเวณปลายราก เนื่องจากเป็นสารที่มีความสามารถในการทำให้เนื้อฟันอ่อนนุ่ม สามารถละลายสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงเป็นที่น่าศึกษาว่าสารที่ใช้ในการล้างคลองรากฟันก่อนการยึดเดือยจะส่งผลกระทบต่อสารปิดสนิทแน่นที่บริเวณปลายรากรวมถึงผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ในพื้นที่ที่ได้รับการรักษารากฟันและถูกเตรียมช่องว่างในการยึดกับเดือยฟัน

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากภายหลังการอุดเต็มรากฟัน เปรียบเทียบกลุ่มที่มีการนำกั๊ตตาเปอร์ซาลอกเพื่อเตรียมช่องว่างสำหรับเดือยฟัน และเหลือกั๊ตตาเปอร์ซาลอก 3 มิลลิเมตร
2. เพื่อศึกษาการรั่วซึมในคลองรากฟันบริเวณปลายรากหลังจากการล้างทำความสะอาดคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ
3. เพื่อศึกษาการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากหลังจากการล้างทำความสะอาดคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ
4. เพื่อศึกษาการรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์หลังจากการล้างทำความสะอาดคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ
5. เพื่อเปรียบเทียบผลของสารที่ใช้ล้างชนิดต่างๆต่อค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน

### สมมติฐานการวิจัย

1. การรั่วซึมที่บริเวณปลายรากภายหลังการอุดเต็มรากฟัน เปรียบเทียบกลุ่มที่มีการนำกัตาเปอร์ชาออก เพื่อเตรียมช่องว่างสำหรับเดือยฟัน และเหลือกัตาเปอร์ชาปลายราก 3 มิลลิเมตร ไม่แตกต่างกัน
2. การรั่วซึมในคลองรากฟันที่บริเวณปลายรากหลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองราก ไม่แตกต่างกัน
3. การรั่วซึมที่บริเวณปลายรากหลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองราก ไม่แตกต่างกัน
4. การรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์หลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดคลองรากและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้าง ไม่แตกต่างกัน
5. ความแข็งแรงพันธะเชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน หลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองรากก่อนทำการยึดเรซินซีเมนต์ มีค่าไม่แตกต่างกัน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงความสามารถในการทำความสะอาดและการลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองรากฟันของสารชนิดต่างๆ จากการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์ที่นำมายึดเดือยฟัน โดยการแปรผลจากค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อม และการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์

ทราบถึงผลของสารที่ใช้ชนิดต่างๆ ต่อการปิดสนิทที่บริเวณปลายรากฟัน ทำให้เกิดการระมัดระวังในการเลือกใช้สารล้างคลองรากฟันที่เหมาะสม

นำผลที่ได้ไปใช้ประยุกต์ในการทำความสะอาดเพื่อลดผลของยูจินอลที่มีในสารประกอบต่างๆ ต่อเรซินซีเมนต์หรือระบบสารยึดติดอื่นๆ

### ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้ผลอ้างอิงถึงการทดลองในสิ่งมีชีวิต
2. ฟันที่ใช้เป็นฟันคลองรากเดี่ยวที่มีรากตรง ปลายรากปิด ขนาดความยาวรากภายหลังการตัดที่ระดับสูงจากปลายราก 10 มิลลิเมตร รากไม่มีรอยร้าว หรือความผิดปกติอื่นๆ และเก็บฟันไว้ในระยะเวลา 6 เดือนหลังจากถอน
3. เก็บฟันในน้ำเกลือ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในช่วงระหว่างทำการทดลอง

4. ตลอดกระบวนการทดลอง ดำเนินการโดยผู้ทำการทดลอง 1 คน และใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดการทดลอง

### ข้อจำกัดการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถควบคุมบางปัจจัยให้เหมือนกับในช่องปากได้จริง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การได้รับแรง นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับฟันที่เก็บมาจากบุคคลต่างๆซึ่งอาจทำให้โครงสร้างของฟันแตกต่างกัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรม

#### ยูจินอลและการตกค้างในเนื้อฟัน

ยูจินอลเป็นสารที่พบในน้ำมันกานพลู (oil of clove) ได้ถึง 80 % เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล ทำให้มีฤทธิ์ของแอลกอฮอล์ที่เป็นกรดอ่อน พบได้ว่าสารประกอบฟีนอลได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมมาเป็นเวลานานแล้ว ไม่ว่าจะเป็น ยูจินอล ไทมอล ครีซอล ซึ่งเป็นส่วนประกอบในสารที่ใช้ฆ่าเชื้อในเนื้อฟัน สารที่ใช้ในการรักษาและอุดคลองรากฟัน วัสดุอุดชั่วคราว ซีเมนต์ที่ใช้ยึดชั่วคราว ทั้งนี้เพราะฟีนอลมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ (germicidal activity) และลดความรู้สึกเจ็บเฉพาะที่ (Fuisawa และ Kadoma, 1992 ; Markowitz, 1992)

โดยทั่วไป เราจะพบยูจินอลเป็นส่วนประกอบหลักในซีเมนต์ที่มีการทำปฏิกิริยาระหว่าง ซิงค์ออกไซด์ กับยูจินอล ทั้งที่เป็นซิงค์ออกไซด์-ยูจินอล ซีเมนต์สังเคราะห์ (conventional) ซิงค์ออกไซด์-ยูจินอลซีเมนต์เสริมแรงอัด (reinforce zinc oxide-eugenol cement) เช่น ไออาร์เอ็ม (IRM) ,อีบีเอ (EBA) หรือ ซิงค์ออกไซด์-ยูจินอลสำหรับอุดคลองราก โดยซิงค์ออกไซด์กับยูจินอลจะทำปฏิกิริยาแบบคีเลชัน (chelation) ได้ซิงค์ยูจิโนเลต  $Zn(C_{10}H_{11}O_2)_2$  กับ น้ำ ซิงค์ยูจิโนเลตที่ได้จะมีลักษณะเป็นการรวมตัวของสารประกอบแบบวงจรปิด ที่มีอะตอมและเรดิคัลยึดล้อมรอบไอออนของสังกะสีที่เป็นโลหะ โดยปฏิกิริยาการก่อตัวสามารถอธิบายได้ดังสมการ



เมื่อซิงค์ออกไซด์รวมกับน้ำปริมาณเล็กน้อย จะได้ ซิงค์ไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะรวมตัวกับยูจินอลแล้วได้ ซิงค์ยูจิโนเลต กับ น้ำ ซึ่งน้ำจะกลับไปเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาต่อ สารประกอบสุดท้ายที่ได้จะเป็นซิงค์ยูจิโนเลตเมทริก กับผงของซิงค์ออกไซด์ ปฏิกิริยาในสมการที่ 2 จะเกิดไปด้านขวาเมื่อมีปริมาณยูจินอลมากและน้ำปริมาณน้อย ขณะเดียวกันก็สามารถย้อนกลับไปด้านซ้ายได้ เมื่อซิงค์ยูจิโนเลตสัมผัสกับของเหลว เช่น น้ำลาย หรือน้ำในท่อเนื้อฟัน จะเกิดการละลายได้ยูจินอล กับซิงค์ไฮดรอกไซด์และซิงค์ออกไซด์ โดยยูจินอลที่เกิดขึ้นนี้สามารถแทรกซึมเข้าเนื้อฟัน และผ่านไปยังน้ำลายได้ ในการทดลองของ Hume(1984) ที่ใช้ ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลอุดในโพรงฟันด้านบดเคี้ยว มีความหนาของเนื้อฟันเหนือโพรงประสาท 2 มิลลิเมตร โดยใช้ยูจินอลที่ผสมติดกับสารทริเทียม (tritium-labelled eugenol) พบว่ายูจินอลจะถูกปลดปล่อยเข้าเนื้อฟันและโพรงประสาทฟันอย่างช้าๆและมีความเข้มข้น

ของยูจีนอล  $10^{-2}$  mol/L ที่เนื้อฟันบริเวณใต้ต่อซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล  $10^{-3}$  mol/L ที่บริเวณกลางเนื้อฟัน และ  $10^{-4}$  mol/L ที่ของเหลวในโพรงประสาท ความเข้มข้นนี้จะคงอยู่ที่ 3, 10 และ 14 วัน ที่ทำการทดลอง และการปลดปล่อยของยูจีนอลในการทดลองนี้ไม่ได้ดูผลของอัตราส่วนระหว่างส่วนผงกับส่วนเหลว แต่พบว่ายูจีนอลจะถูกปลดปล่อยมากขึ้น และมีอัตราการซึมผ่านมากขึ้นตามสัดส่วนของการถูกละลายน้ำของ ยูจีนอล

ในการทดลองของ Meryon (1988) สรุปว่า เนื้อฟันที่มีความหนาที่มากกว่าจะป้องกันการซึมผ่านของยูจีนอลไปยังโพรงประสาทฟันได้มากกว่า จากการที่ยูจีนอลเกิดคีเลชันกับแคลเซียมในเนื้อฟัน (Rotberg & De Shazer, 1966) และเกิดการยึดจับกันกับสารประกอบอินทรีย์ในเนื้อฟันเช่น ไชมัน ซีรัม อัลบูมิน (serum albumin) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับคอลลาเจน (Fujisawa, 1981) ทำให้เกิดการซึมผ่านที่ช้าลง การทดลองนี้ให้ข้อเสนอนี้ว่าการใช้กรดกัดเนื้อฟันก่อนจะเป็นการทำให้เกิดการซึมผ่านของยูจีนอลได้สะดวกและมากขึ้น

Kielbassa (1997) ได้ทำการทดลองดูผลในระยะเวลาของการซึมผ่านของยูจีนอลที่ 1 วัน, 7 วัน และ 21 วัน เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนในการผสมของซิงค์ออกไซด์กับยูจีนอลที่แตกต่างกัน โดยตรวจสอบจากปริมาณของยูจีนอลที่ซึมผ่านเนื้อฟันที่มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร พบว่า ปริมาณยูจีนอลที่ซึมผ่านมีมากในซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลที่มีอัตราส่วน ผงต่อน้ำ 2:1 ทั้งนี้เพราะมียูจีนอลอิสระที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเหลือมาก นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณยูจีนอลมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น

ดังนั้นจะพบได้ว่าเมื่อมีการใช้ซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์กับยูจีนอล จะมีการซึมผ่านของยูจีนอลเข้าไปในเนื้อฟัน ในขณะที่เดียวกันก็จะเกิดการรวมตัวแบบคีเลชัน ของยูจีนอลกับแคลเซียมในเนื้อฟันและเกิดการยึดจับกันกับสารประกอบอินทรีย์ในเนื้อฟันเช่น ไชมัน ซีรัม อัลบูมิน และคอลลาเจน โดยจะมีการตกค้างของยูจีนอลมากกว่าระดับใดนั้นขึ้นกับการมียูจีนอลอิสระที่เกิดขึ้น การแทรกซึมของของเหลว หรือการตกค้างของน้ำที่ก่อให้เกิดการละลายของซิงค์ยูจีนอล นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความหนาของเนื้อฟันที่เหลืออยู่ จากการทดลองที่ผ่านมาทำการทดลองที่เนื้อฟันบริเวณตัวฟัน ซึ่งจะพบได้ว่ามีความสามารถในการแพร่ผ่านของสารในบริเวณนี้ได้มากกว่าเนื้อฟันบริเวณรากฟัน จึงทำให้ยูจีนอลมีการซึมผ่านเนื้อฟันออกมาในน้ำลายได้และพบการซึมผ่านเนื้อฟันที่หนา 2 มิลลิเมตรได้มากขึ้นตามระยะเวลาโดยการทดลอง 21 วัน แต่ในรากฟันเช่นกรณีของคลองรากฟัน การยอมให้สารแพร่ผ่านบริเวณนี้น้อย ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Fogel และคณะ (1988) ที่พบว่า การแพร่ผ่านของของเหลวมีปริมาณลดน้อยลงเนื่องจากการมีจำนวนท่อเนื้อฟันที่น้อยกว่าโดยจำนวนท่อเนื้อฟันจะน้อยลงตามลำดับจากทิศทางที่ตัวฟันไปยังปลายรากฟัน และมีขนาดของท่อเนื้อฟันที่เล็ก ดังนั้นในกรณีของคลองรากฟันหากเกิดมีการสัมผัสกับยูจีนอลน่าจะส่งผลให้เกิดการตกค้างของยูจีนอลอยู่ในรากฟันในระยะเวลาานาน



## ผลของยูจินอลต่อการขบวนการเกิดโพลิเมอร์

Fujisawa (1992) ได้ทำการศึกษาผลของสารประกอบฟีนอล 6 ชนิด ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) ในระบบที่มีสารตั้งต้น ปฏิกิริยาด้วยสาร เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide, BPO) และอะโซบิสไอโซบิวทีไนเตรต (azobisisobutyronitrile, AIBN) ด้วยการตรวจสอบผลของ ช่วงระยะเวลาการเหนี่ยวนำปฏิกิริยา, ไอพี (induction period, IP) และอัตราการเกิดโพลิเมอร์ช่วงต้น, ไออาร์พี (initial rate of polymerization, IRP) พบว่า ไอพี (แสดงค่าเป็นนาที่) มีค่ามากไปหาน้อยดังนี้ ยูจินอล > ไทมอล > ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) > ครีซอล > ไกวอะคอล (guaiacol) > ฟีนอล >>> แซฟรอล (safrole) > เมทอล (methol) และนอกจากนี้ Fujisawa (1997) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของยูจินอลจะทำให้ ไอพี เพิ่มขึ้นและ ไออาร์พี น้อยลง นั่นคือจะต้องใช้เวลามากขึ้นในขั้นตอนการเริ่มต้นปฏิกิริยา และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาในระยะเริ่มต้นลดน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากับศูนย์เมื่อความเข้มข้นของยูจินอลเท่ากับ 0.5 โมลเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องและนำมาใช้อธิบายร่วมกับการทดลองอื่นๆก่อนหน้านี้ ที่พบว่า ยูจินอลที่ผสมอยู่ในซีเมนต์รองพื้นทำให้กระบวนการเกิดโพลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ และทำให้ลดคุณสมบัติทางกายภาพของโพลิเมอร์ (Reibis, 1971; Marshall, 1982; Millstein, 1983; Millstein, 1992)

ยูจินอลจัดเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ในลักษณะของการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ (radical scavengers) (Burton, 1981) โดยยูจินอลจะแย่งจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระบบที่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์แบบรวมตัวโดยอนุมูลอิสระ (Anusavice, 1996)

ปัจจุบันระบบสารยึดติดได้มีการพัฒนามากขึ้นเรื่อยๆและเป็นที่ยอมรับใช้ในทางทันตกรรม ไม่ว่าจะเป็นการอุดวัสดุอุดฟันสีธรรมชาติ หรือระบบการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ ซึ่งมีการเกิดอนุมูลอิสระทั้งที่เป็นระบบการสลายสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง และการสลายสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยสารเคมี ดังนั้นเราจะพบได้ว่าสารประกอบฟีนอลจะสามารถส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ของระบบสารยึดติด ดังจะพบได้จากการทดลองต่างๆ เช่น

Dilts (1986) ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนที่บริเวณส่วนตัวฟันของเคียวฟัน (core) โดยผลของการใช้ซิงค์ออกไซด์-ยูจินอล ซีเมนต์ เป็นซีเมนต์ชั่วคราวก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Paige และคณะ (1986) ทำการทดลองดูผลความแตกต่างที่บริเวณพื้นผิวของส่วนแกนตัวฟันที่เป็นคอมพอสิตเรซิน เมื่อมีการสัมผัสกับซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอล พบว่าผิวของคอมพอสิตเรซินที่มีการสัมผัสกับซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอลจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม

Hansen และ Asmussen (1987) ทดลองดูผลของวัสดุอุดชั่วคราว ซิงค์ออกไซด์ยูจินอล ต่อสารเดนทีนบอนด์ (dentin-bonding) ด้วยการตรวจสอบความกว้างของช่องที่เกิดจากการหดตัว

บริเวณขอบ ( Marginal contraction gap) พบว่าช่องที่เกิดจากการหดตัวบริเวณขอบ กว้างที่สุดในกลุ่มการทดลองที่มีการใช้ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์อุดในโพรงฟันระยะเวลาหนึ่งก่อนทำความสะอาดแล้วทาสารยึดเนื้อฟัน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการอุดด้วยสารใดๆ และ กลุ่มที่มีการอุดด้วยเควิต (cavit®) ซึ่งเป็นวัสดุอุดชั่วคราวที่ไม่มียูจินอล โดยสามารถสรุปได้ว่าการใช้วัสดุอุดชั่วคราวซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์จะก่อให้เกิดการรั่วซึมในระดับไมโครเมตรในวัสดุที่ยึดด้วยเรซิน

Macchi (1991) ทดสอบความแข็งแรงดึง ( tensile bond strength) ในพื้นที่มีการผสมวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการรักษารากฟันได้แก่ ไออาร์เอ็ม( IRM® ), ซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดคลองรากฟันที่มียูจินอล, วัสดุอุดปิดชั่วคราวเควิต (cavit ®) และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทาทับบนผิวเนื้อฟันหนา 1 มิลลิเมตร เป็นระยะเวลา 15 นาที และ 48 ชั่วโมง ก่อนทำการยึดกับแท่งคอมพอสิตเรซิน พบว่าวัสดุที่มีส่วนผสมของฟันอลจะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในบางชิ้นงานที่ทำการทดสอบพบมีการหลุดของชิ้นงานโดยไม่ได้รับแรง นอกจากนี้ยังพบว่าในกลุ่มสารที่มีส่วนประกอบของฟันอลจะให้ค่ากำลังความแข็งแรงยึดที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 48 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับ 15 นาที ทั้งนี้ Macchi อธิบายว่าน่าจะเกิดจากการที่มียูจินอลอิสระแทรกซึมเข้าไปในชั้นสเมียร์ (smear layer) และท่อเนื้อฟัน ซึ่งการทำความสะอาดเฉพาะทางกลไม่สามารถกำจัดยูจินอลหรือฟันอลออกไปได้หมด

Paul และSchar (1997) ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมในเนื้อฟันที่มีการสัมผัสกับซีเมนต์ ยึดชั่วคราวที่มียูจินอลและไม่มียูจินอล และทำความสะอาดพื้นผิวเนื้อฟันด้วยผงหินขัดฟัมมิชก่อนทำการยึดกับสารเดนทีนบอนด์ชนิดต่างๆ พบว่าซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอลให้ค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดลองนี้ พบว่า ในสภาวะที่มีความชื้นตลอดเวลา ทำให้เกิดการแทรกซึมของยูจินอลเข้าไปในเนื้อฟัน ซึ่งไม่สามารถนำยูจินอลออกได้จากการทำความสะอาดด้วยผงหินขัดฟัมมิช

Mayerและคณะ(1997) ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงและลักษณะทางจุลกายวิภาคที่เกิดขึ้นของ ยูจินอลบริสุทธิ์ที่สัมผัสกับฟัน 15 นาที และยูจินอลที่ผสมอยู่ในวัสดุยึดฟันชั่วคราว ที่สัมผัสกับฟัน 24 ชั่วโมง เมื่อมีการใช้สารทำความสะอาดและล้างยูจินอลออกใน 2 รูปแบบคือ กรดฟอสฟอริก 37% เป็นระยะเวลา 15 วินาที และ สารปรับสภาพผิวด้วยตัวเอง ( self-conditioner) ที่ประกอบด้วยกรดที่ล้างชั้นสเมียร์บางส่วนร่วมกับสารไพรเมอร์ ( primer) พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีสัมผัสกับยูจินอลโดยมีนัยสำคัญในกลุ่มที่สัมผัสกับยูจินอลบริสุทธิ์และใช้การล้างชั้นสเมียร์บางส่วน และในกลุ่มที่ใช้กรดฟอสฟอริก37% ล้างชั้นสเมียร์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคพบว่า ในกลุ่มควบคุมแสดงให้เห็นสารยึดติดที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันเต็มท่อเนื้อฟันที่เกิดการขยายใหญ่เป็นเรซินแท้ที่สมบูรณ์ มีชั้นไฮบริดเกิดขึ้นโดยแยกชั้นกับ

เนื้อพืชมืดที่ไม่มีสารยึดติดแทรกซึมได้ชัดเจน ส่วนในกลุ่มที่มีการสัมผัสกับ ยูจีนอลบริสุทธิ์และยูจีนอลที่ผสมอยู่ในวัสดุยึดฟันชั่วคราว กรณีใช้สารปรับสภาพผิวด้วยตัวเอง พบท่อเนื้อพืชมืดมีเรซินแทรกที่สมบูรณ์น้อยและมีการแทรกซึมของเรซินเป็นชั้นที่กว้างและไม่ปกติ และในกลุ่มที่ใช้กรด มีการเปิดกว้างของท่อเนื้อพืชมืด มีการแทรกซึมของเรซินเป็นชั้นที่กว้างและไม่ปกติ โดยไม่สามารถแยกชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นกับเนื้อพืชมืดที่ไม่มีสารยึดติดแทรกซึมได้ชัดเจน ดังนั้นจากการทดลองที่ผ่านมาจึงเห็นความสำคัญเกี่ยวกับวิธีที่ใช้ในการทำความสะดวกและกำจัดยูจีนอล เพื่อช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากยูจีนอลไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงยึดหรือการเกิดการรั่วซึมในระดับไมโครเมตร จากการดูลักษณะทางจุลกายวิภาค

Schwartz และคณะ (1998) ทำการทดลองดูผลของซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดคลองรากเปรียบเทียบระหว่างชนิดที่มียูจีนอลและไม่มียูจีนอล ต่อความแข็งแรงดึงระหว่างเดือยฟัน ที่ทำการยึดในคลองรากฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และ เรซินซีเมนต์ ได้ผลสรุปว่าเรซินซีเมนต์ ที่มีการสัมผัสกับยูจีนอลไม่ได้ให้ค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และระหว่างผลของการใช้ซีเมนต์ในการอุดคลองรากฟันชนิดที่มียูจีนอลและไม่มียูจีนอลพบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะน้อยลงในกลุ่มที่ใช้ซีเมนต์ในการอุดคลองรากฟันชนิดที่มียูจีนอลแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้จากการทดลองมีการอุดคลองรากฟัน 2 อาทิตย์แล้วเตรียมคลองรากฟันสำหรับการทำเดือยฟัน โดยก่อนการยึดเดือยฟันด้วยซีเมนต์มีการล้างคลองรากด้วย อีทีอีเอ ซึ่งมีฤทธิ์ในการล้างชั้นสเมียร์ที่มียูจีนอลตกค้างออกไป ดังนั้นผลที่ได้จึงมีค่าไม่แตกต่างกัน

Tjan และ Nemetz (1992) ทำการทดลองดูผลของซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดคลองรากฟันชนิดที่มียูจีนอลต่อค่าความแข็งแรงดึงของเดือยฟันสำเร็จรูปด้วยเรซินซีเมนต์ ทั้งนี้ศึกษาผลของการใช้สารในการทำ ความสะอาดและล้างยูจีนอลออกจากคลองราก โดยการทดลองใช้ยูจีนอลที่เป็นส่วนเหลวของซีเมนต์ที่ใช้อุดคลองรากสัมผัสกับผนังคลองรากเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการล้างด้วยน้ำเปล่า, เอทิลแอลกอฮอล์ , เอทิลแอลกอฮอล์ + 25% กรดซिटริก, เอทิลแอลกอฮอล์ + อะซีโตน และกรดฟอสฟอริก 37% ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีสัมผัสกับยูจีนอล และกลุ่มที่ทำการยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ในคลองรากที่สัมผัสกับยูจีนอลและล้างด้วยน้ำเปล่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายูจีนอลมีผลกระทบเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ และพบว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยการล้างคลองรากฟันด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ และกรดฟอสฟอริก 37% มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากการทดลองที่ให้ค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้สัมผัสยูจีนอล นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์พบว่าค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จะน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์และ กรดฟอสฟอริก 37% แต่มากกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยวิธีอื่นๆ ทั้งนี้ Tjan และ Nemetz ให้ความเห็นว่าการประคบฟันอลมีผลกระทบต่อเรซินซีเมนต์ , แอลกอฮอล์มีความสามารถในการละลายยูจีนอลได้มากกว่าน้ำในขณะที่เดียวกันก็มีความสามารถในการแผ่นพื้นผิวเนื้อพืชมืดได้ดี , กรดฟอสฟอริก 37% เป็นกรดที่สามารถกำจัด

ชั้นสเมียร์ได้ดีในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดการเปิดกว้างของท่อเนื้อฟัน ดังนั้นจึงเกิดฟันผุที่เหมาะสมในการเกิดการยึดติดทางกลในระดับไมโครเมตร

แต่ในขณะเดียวกันก็มีการศึกษาที่พบว่าการใช้ยูจินอลไม่ส่งผลกระทบต่อระบบสารยึด เช่น Ganss และ Jung (1998) ที่ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระหว่างคอมพอสิตเรซินกับเนื้อฟัน Jung และคณะ (1998) ทดลองวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระหว่างคอมพอสิตเรซินกับเคลือบฟัน โดยการทดลองทั้งสองศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์ ซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอล และ ซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่ไม่มียูจินอล ผลทดลองพบว่า ซีเมนต์ที่มียูจินอลให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มที่ไม่มียูจินอล Peters (2000) ทำการทดลองวัดความแนบสนิทที่บริเวณขอบระหว่างวัสดุอุดฟันคอมพอสิตกับเนื้อฟัน โดยให้มีการปนเปื้อนของเนื้อฟันในโพรงฟันที่เตรียมสำหรับอุด ด้วยซีเมนต์อุดรากฟันที่มียูจินอล และซีเมนต์ที่ไม่มียูจินอล (คิแทก, KETAC®) เป็นระยะเวลา 15 นาที พบว่าการปนเปื้อนของซีเมนต์ทั้งสองชนิดให้ค่าความแนบสนิทของวัสดุกับเนื้อฟันไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากการทดลองที่ผ่านมาจะพบได้ว่าการทำความสะอาดผิวและกำจัดผลของยูจินอลเป็นส่วนสำคัญก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ทั้งนี้สารที่ใช้ในการทำความสะอาดอาจมีฤทธิ์ในการละลาย และล้างยูจินอลในกรณีที่มียูจินอลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อฟัน หรือมีกลไกการกำจัดชั้นสเมียร์ที่มียูจินอลตกค้าง โดยสารเหล่านี้หากทำหน้าที่ได้ดี จะเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่สมบูรณ์ ไม่ให้เกิดการรั่วซึมระหว่างวัสดุกับเนื้อฟัน ทั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่าในกรณีของการบูรณะด้วยเดือยฟัน สารที่ใช้ในการล้างเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการปิดสนิทของวัสดุอุดปลายรากที่เข้าร่วมกับซีเมนต์อุดปลายรากที่มียูจินอลด้วยหรือไม่

### ระบบสารยึดติดและเรซินซีเมนต์

ปัจจุบันเรซินซีเมนต์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยการพัฒนาซีเมนต์ชนิดนี้เพื่อลดข้อบกพร่องของซีเมนต์ชนิดอื่นๆ เช่น การละลายของซีเมนต์จากช่องเคลวในช่องปาก การมีฤทธิ์เป็นกรดที่ส่งผลให้เกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ ( demineralized dentine) ข้างใต้ชั้นซีเมนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วซึมในชั้นนี้เมื่อมีการละลายของซีเมนต์ ทำให้มีการผุของฟันรอบสอง ( secondary carries) เกิดอาการเสียวภายหลังการรักษา หรือทำให้การยึดอยู่ของวัสดุที่ใช้ในทางทันตกรรมลดน้อยลง นอกจากนี้ฤทธิ์ความเป็นกรดของซีเมนต์ ยังก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อโพรงประสาทฟัน ปัจจุบันเรซินซีเมนต์ได้มีการพัฒนาขึ้นมากมายหลายชนิด โดยมีสารที่ใช้ในการยึดติดและกลไกที่แตกต่างกัน เช่น พานาเวียเอฟ (Panavia F®) เป็นระบบที่แข็งตัวได้ในสองกลไก คือสามารถแข็งตัวได้ด้วยตัวเองโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน และระบบการใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา ประกอบด้วยเรซินบิสจีเอ็มเอ ( BIS-GMA resin ) , สารควอทซ์ที่มีการเคลือบซิลเลน (silinated quartz filling ) และ



เอ็มดีพี (MDP) ในการปรับสภาพผิวจะใช้ อีดีไพรเมอร์ (ED primer) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกรดผสมกับสารไพรเมอร์ที่ช่วยในการยึด เมื่อทาสารนี้แล้วไม่ต้องล้างน้ำออก

จากการพัฒนาเรซินซีเมนต์เพื่อให้เป็นซีเมนต์ที่ไม่ละลายในของเหลวในช่องปาก ก่อให้เกิดค่าแรงยึดกับเคลือบฟันหรือเนื้อฟันที่มีค่ามากเพียงพอ และสามารถยึดเชื่อมกับเนื้อฟันเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน Bounocore(1955) ได้มีการนำกรดฟอสฟอริกทาที่เคลือบฟันมาใช้ร่วมกับระบบสารยึดติดนี้พบว่าสามารถเพิ่มแรงยึดได้ถึง 16-21 เมกกะพาสคาล (MPa) ทั้งนี้เพราะการใช้กรดฟอสฟอริกในเคลือบฟันจะทำให้เกิดการทำความสะอาด การกำจัดชั้นสเมียร์ ละลายปริสซึม เกิดช่องว่างระหว่างปริสซึม และเกิดพื้นผิวที่ขรุขระ เพิ่มพื้นที่ผิวเคลือบฟันทำให้เกิดการแทรกซึมของโมโนเมอร์ได้ดี และก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ จึงทำให้เกิดการยึดอยู่ที่แข็งแรงระหว่างเรซินและเคลือบฟัน (Nakabayashi และ Pashley ,1997a) Nakabayashi (1982) ได้อธิบายหลักการของสารยึดติดในปัจจุบัน คือปรากฏการณ์ ไฮบริดเดชัน (hybridization) ในกรณีการยึดกับเนื้อฟัน ความสำคัญของการเกิดแรงยึดที่มากเพียงพอในเนื้อฟัน คือการเกิดการสร้างชั้นไฮบริดในชั้นเนื้อฟัน (Hybridized dentin) ซึ่งเป็นการผสมกันในระดับโมเลกุลระหว่างเรซินโพลีเมอร์กับคอลลาเจน จากการมีเรซินโมโนเมอร์แทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ (demineralized dentine tissue) เกิดลักษณะของเส้นใยคอลลาเจนถูกล้อมรอบด้วยเรซิน และเกิดเรซินแทรก ยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟันขนาดประมาณไม่เกิน 20 ไมโครเมตร ช่วยในการผนึกท่อเนื้อฟัน โดยชั้นไฮบริดในชั้นเนื้อฟันนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นชั้นป้องกันการซึมผ่าน (impermeable membrane) ที่สามารถป้องกันสารพิษหรือสิ่งกระตุ้นที่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันที่ผ่านเข้าทางท่อเนื้อฟัน มีความแข็งแรงสามารถต้านทานต่อการละลายในกรด และต่าง เช่นกรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮโปคลอไรด์ นอกจากนี้ชั้นไฮบริดในชั้นเนื้อฟันนี้ยังช่วยในการลดการเกิดการรั่วซึมในระดับไมโครเมตร ลดการเกิดการผุของฟันรอบสอง และลดอาการเสียวฟันหลังการรักษา

การเกิดชั้นไฮบริดในเนื้อฟันจะเกิดได้มากน้อย จะขึ้นตรงต่อการยอมให้มีการแพร่ผ่านของสารที่ใช้ในระบบสารยึดติดในชั้นเนื้อฟัน ส่งผลให้มีการซึมผ่านของเรซินโมโนเมอร์ได้อย่างมีศักยภาพ นอกจากนี้การแทรกซึมของโมโนเมอร์ผ่านเข้าไปในเนื้อฟันยังเกี่ยวเนื่องกับส่วนประกอบในโมโนเมอร์ของแต่ละระบบของสารยึด ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่า การยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

### ขั้นตอนการทำงานของระบบสารยึดติด

เริ่มต้นด้วยการทำความสะอาดและปรับสภาพผิวฟันให้เหมาะสมกับสารยึด โดยใช้สารที่มีชื่อเรียกได้หลายๆอย่าง เช่น กรด (etchants) , สารปรับสภาพผิว (conditioner) โดยสารเหล่านี้ทำหน้าที่ใน

การกำจัดชั้น สเมียร์ทั้งหมดหรือบางส่วน ทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุในพื้นที่ผิวฟัน สารปรับสภาพผิวฟันที่มีฤทธิ์เป็นกรด ถูกนำมาใช้ไม่เพียงแต่ช่วยในการเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันภายในทูล (intratubular dentin) จากการกำจัดชั้นสเมียร์ และ สเมียร์ปลั๊ก (smear plug) เท่านั้น ยังเป็นการใช้สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถดึงสารอินทรีย์ในชั้นเนื้อฟันบนผิวฟันส่วนบน 2-5 ไมโครเมตรของ เมทริกซ์ระหว่างทูล (intertubular matrix) ทำให้เกิดการเปิดกว้างของท่อเนื้อฟัน ประมาณ 20 นาโนเมตร ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการแทรกซึมของเรซินเข้าไปในคอลลาเจนไฟเบอร์ได้ดี โดยผิวฟันหลังจากการใช้กรดกัดและล้างน้ำออกแล้ว จะประกอบด้วยน้ำ 13.4% เนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ 86.6% และจะอยู่ในสภาพที่พร้อมในการให้โมโนเมอร์ในระบบสารยึด (adhesive monomer) แทรกซึมเข้าไปใน โครงสร้างคอลลาเจนไฟเบอร์ (collagen fiber network) ที่ยังคงเหลืออยู่

หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการใช้สารไพรเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่ละลายในสารละลาย เช่น น้ำ อะซีโตน หรือแอลกอฮอล์ โดยสารละลายอินทรีย์เหล่านี้จะเข้าไปแทนที่น้ำในชั้นเนื้อฟัน ก่อให้เกิดการขยายตัวอีกครั้งของโครงสร้างคอลลาเจน ช่วยให้เกิดการแทรกซึมของโมโนเมอร์เข้าไปในคอลลาเจนได้ดีทำให้เกิดสภาพเหมาะสมต่อสารบอนด์ ที่เป็น อันฟิลเรซิน (unfilled resin) และมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกโมโนเมอร์ (hydrophobic monomer) ที่เข้ากันไม่ได้ในสภาวะที่มีน้ำ โดยทั้งนี้เพราะ ไพรเมอร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดคุณสมบัติการเป็นสารละลาย (solubility parameter) ประกอบด้วยขั้วไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ที่เข้ากันได้ดีในสภาวะที่มีน้ำ ซึ่งทำให้เกิดความสามารถในการทำให้พื้นผิวสัมผัสเปียก (wetting property) เกิดการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันได้ดี และ ขั้วไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ที่ทำให้เกิดการสร้างพันธะที่ติดกับสารบอนด์ที่จะต้องใช้ในขั้นตอนต่อไป จากหลักทั่วไปของคุณสมบัติสารที่มีความสามารถในการทำให้พื้นผิวสัมผัสเปียก สารนั้นควรมีความตึงผิว (surface tension) ที่เท่ากันหรือน้อยกว่าความตึงผิวของพื้นผิวสารที่จะสัมผัส ดังนั้นไพรเมอร์ควรมีความตึงผิวที่น้อยกว่าพลังงานพื้นผิวอิสระ (free surface energy) ของฟันที่ได้ใช้กรดกัดแล้ว โดยทั้งนี้ ทุไฮดรอกซีเอทิลเมทาครีเลต หรือ ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate or HEMA) เป็นสารหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของไพรเมอร์จากการที่ ฮีมา มีคุณสมบัติโมโนเมอร์ที่มี 2 ขั้วกลุ่มทำงาน (bifunctional monomer) ที่มีขั้วไฮโดรฟิลิก มีความสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อฟัน และขั้วไฮโดรโฟบิก ที่มีความสามารถเข้ากันได้ดีกับเรซิน แต่ถ้า ฮีมา ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำลายหรือของเหลวในช่องปาก โมโนเมอร์จะถูกละลายบางส่วน ทำให้พลังงานพื้นผิวอิสระลดน้อยลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การแผ่ของเรซิน ดังนั้นในทางคลินิกจึงควรหลีกเลี่ยงการถูกปนเปื้อนที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติของไพรเมอร์

ในปัจจุบัน เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในทางคลินิก จึงมีการผลิตระบบสารยึดติดออกมาในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน เช่น การใช้กรด ตามด้วยสารไพรเมอร์ผสมสารบอนด์ และรูปแบบการใช้ กรดผสมไพรเมอร์ (เซลฟ์เอชชิงไพรเมอร์ ,self-etching primer) ตามด้วยสารบอนด์

การใช้กรด ตามด้วยสารไพรเมอร์ผสมสารบอนด์ เมื่อได้มีการเตรียมสภาพผิวฟันด้วยการใช้กรดแล้วล้างน้ำออก เนื้อฟันควรจะยังคงมีความชื้นอยู่ ทั้งนี้เพื่อเป็นการคงสภาพของคอลลาเจน ในลักษณะของ การเตรียมเนื้อฟันแบบชื้น (moist technique) Gwinnette (1994) พบว่าหากมีการเป่าแห้งหลังจากการใช้กรดปรับสภาพผิว เส้นใยคอลลาเจนจะยุบตัวลง สูญเสียช่องว่างระหว่างเส้นใย เกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งไม่ต้องการน้ำ ทำให้ไพรเมอร์ ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ เกิดชั้นไฮบริดที่ไม่สมบูรณ์ และความแข็งแรงที่น้อยลง ทั้งนี้ Nakabayashi และ Takarada (1992) พบว่า ในสภาพฟันที่ถูกทำให้แห้งเกินไป (overdry) เมื่อได้รับน้ำหรือสารไพรเมอร์อีกครั้ง เส้นใยคอลลาเจนจะคืนตัวแต่ไม่เท่าเดิม และต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในเนื้อฟันที่มีความชื้นเหมาะสมจะให้ความแข็งแรงในการยึดอยู่สูงกว่าเนื้อฟันที่แห้ง หากมีปริมาณน้ำไม่เหมาะสมเกิดสภาวะน้ำแห้งไปหรือชื้นเกินไป จะส่งผลต่อคุณภาพชั้นไฮบริด Mitchem และ Gronas (1991) พบว่าการมีน้ำตกค้างอยู่มากเกินไปก่อนการทาสารไพรเมอร์ จะทำให้ความแข็งแรงในการยึดต่ำลง อาจมีสาเหตุจากน้ำที่ตกค้างรวมกับน้ำในเนื้อฟันทำให้ตัวทำละลายเจือจาง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ลักษณะที่พบจะเป็นเรซินกอลบูล (resin globule) ที่ผนังคอลลาเจน หรือในช่องว่าง หรืออาจพบลักษณะก้อนน้ำเล็กๆ (tiny blister) เกิดการรวมตัวเป็นก้อนขวางต่อเนื้อฟัน ทำให้ไม่เกิดเรซิน แทก ดังนั้นจะพบว่า การใช้กรด ตามด้วยสารไพรเมอร์ผสมสารบอนด์ เป็นกระบวนการไวต่อการทำงาน (technique sensitive) ก่อให้เกิดความหลากหลายในคุณภาพของระบบสารยึดติด

การใช้ กรดผสมไพรเมอร์ (เซลฟ์เอชชิงไพรเมอร์) ตามด้วยสารบอนด์ ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดขั้นตอนในทางคลินิก ป้องกันการยุบตัวของคอลลาเจนในการเป่าแห้งหลังจากการล้างกรด โดยการออกแบบสารปรับสภาพผิวฟันที่เป็นกรดอ่อนและไพรเมอร์ในขวดเดียวกัน สารนี้จะถูกทาโดยตรงบนชั้นผิวสเมียร์ที่ปกคลุมเนื้อฟันที่แห้ง ไม่ต้องล้างออก ชั้นสเมียร์จะถูกแปรเปลี่ยนสภาพจากการทำงานของไพรเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนทำให้เกิดการละลายชั้นสเมียร์และสเมียร์พลักเพียงเล็กน้อย ในขณะที่เดียวกันกับที่มีการแทรกซึมของโมโนเมอร์ผ่านชั้นสเมียร์ เข้าไปในเนื้อฟันที่ไม่มีการยุบตัวของคอลลาเจนและต่อเนื้อฟันบางส่วนทำให้เกิด ชั้นไฮบริดของสเมียร์ (hybridized smear layer) และชั้นไฮบริดของเนื้อฟัน การที่มีการเปิดต่อเนื้อฟันที่จำกัดหรือน้อยกว่าในการใช้กรดแล้วล้างออก ทำให้สารแพร่ผ่านเข้าออกในต่อเนื้อฟันน้อยลงจึงลดโอกาสการเสียฟันที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ระบบนี้จะลดการเกิดสภาวะฟันแห้งมากไปและฟันชื้นมากไป ดังนั้นจึงมีกระบวนการไวต่อการทำงานน้อยกว่ากรดตามด้วยไพรเมอร์ผสมสารบอนด์ WatanabeและNakabayashi (1993) ให้แนวคิดเกี่ยวกับการยึดผ่านชั้นสเมียร์ว่า หากชั้นนี้มีความหนาประมาณ 2 ไมโครเมตรและอัดตัวกันแน่น จะต้านการแทรกซึมของสาร

ปรับสภาพ ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันดี (Intact dentin) ข้างใต้ได้และมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักที่บริเวณรอยต่อที่ไฮบริดของสเมียร์กับไฮบริดของเนื้อฟันข้างใต้เมื่อมีแรงกระทำที่ระหว่างชั้นสองชั้นนี้ และ หากเกิดชั้นไฮบริดในเนื้อฟันน้อยกว่า 0.5 ไมโครเมตร จะทำให้เรซินที่เชื่อมกับเรซินแทรกอบๆ ชั้นไฮบริดเกิดการรื้อร้าวได้ง่าย นอกจากนี้ในสเมียร์ซึ่งมีส่วนประกอบของเนื้อฟันสามารถเป็นตัวปรับสภาพบัฟเฟอร์ (buffer capacity) จึงมีแนวโน้มปรับสภาพความเป็นกรดของไพโรเมอร์ให้เป็นกรดอ่อนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์น้อย (Wang และ Hume, 1988) ดังนั้นสารปรับสภาพชนิดนี้ในทางอุดมคติต้องมีความสามารถแทรกผ่านชั้นสเมียร์และเนื้อฟันได้ลึกอย่างน้อย 3 ไมโครเมตร นั่นคือแทรกผ่านสเมียร์ได้ลึก 2 ไมโครเมตร และลงไปสู่ชั้นเนื้อฟันแน่นข้างใต้อีก 1 ไมโครเมตร จึงจะให้ความแนบสนิทและความแข็งแรงในการยึดที่ดี

### โครงสร้างเนื้อฟัน และการยอมให้สารแพร่ผ่าน

เนื้อฟันประกอบด้วยท่อเนื้อฟันที่มีทิศทางการเรียงตัวในแนวรอยต่อ เคลือบฟันเนื้อฟัน (DEJ) ไปยังโพรงประสาทฟัน โดยมีลักษณะเป็นท่อที่มีความกว้างมากในบริเวณที่ติดกับโพรงประสาท เส้นรอบวง ประมาณ 3 ไมโครเมตร และมีขนาดเล็กบริเวณใกล้รอยต่อเคลือบฟันเนื้อฟันเส้นรอบวงประมาณ 0.8 ไมโครเมตร (Garberoglio & Branstrom, 1976) จากการที่เนื้อฟันมีลักษณะกว้างด้านในใกล้โพรงประสาท จึงทำให้พื้นที่ของเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) น้อยลงแต่จะมีความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันต่อพื้นที่มากกว่า ( $1.9 \times 10^6$  tubules/cm<sup>2</sup> ที่ DEJ และ  $4.5 \times 10^6 - 6.5 \times 10^6$  tubules/cm<sup>2</sup> ที่บริเวณใกล้โพรงประสาทฟัน) ลักษณะของท่อเนื้อฟันจะถูกล้อมรอบด้วยชั้นที่มีคอลลาเจนน้อยและมีแร่ธาตุในเนื้อฟันมาก (hypermineralized, collagen poor) ที่เรียกว่าเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) โดยรวมแล้วเนื้อฟันจะประกอบด้วย แร่ธาตุ 55% สารประกอบอินทรีย์ 30% และ เป็นของเหลว 15%

คุณสมบัติการยอมให้สารซึมผ่านของเนื้อฟันมีความสำคัญในระบบสารยึดติด ในกรณีที่มีการแทรกซึมของวัสดุได้เต็มท่อเนื้อฟัน เรียกว่าการแทรกซึมแบบทรานเดนทีน (transdentin permeability) โดยปกติการแทรกซึมของวัสดุเข้าไปในเนื้อฟันจะเกิดได้น้อย เนื่องจากการที่ฟันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ธาตุ มีความพรุนต่ำ ร่วมกับการมีชั้นสเมียร์ปกคลุม ทำให้เกิดการแทรกซึมแค่บางส่วนไม่เต็มท่อเนื้อฟันซึ่งเรียกว่าการแทรกซึมแบบอินทราทิวบูลลา (Intratubular permeability) และการยอมให้มีการซึมผ่านเข้าไปในเนื้อฟันนั้นพบได้ว่าในฟันซี่เดียวกันจะยอมให้มีการซึมผ่านที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณ เช่น เนื้อฟันในส่วนตัวฟันจะยอมให้มีการซึมผ่านมากกว่าบริเวณส่วนรากฟัน ทั้งนี้เพราะท่อเนื้อฟันที่บริเวณตัวฟันมีความหนาแน่นมากกว่าเป็น 2 เท่าของส่วนรากฟัน และในกรณีที่ตัดฟันเป็นชิ้นระนาบ เนื้อฟันในบริเวณใกล้โพรงประสาทจะยอมให้มีการซึมผ่านมากกว่าเนื่องจากมีความชื้นมากกว่าและมีความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันมากกว่าบริเวณรอบนอก 4 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อฟันที่มี



การบูร จะยอมให้มีการซึมผ่านน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการมีแบคทีเรีย หรือในฟันที่มีคอฟันลึก ซึ่งมีลักษณะสเคลอโรติก เซอวิคคัล เดนทีน (sclerotic cervical dentin) จะยอมให้มีการซึมผ่านน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการมีแร่ธาตุสะสมอยู่มากในเนื้อฟัน

### ลักษณะและส่วนประกอบของชั้นสเมียร์

ชั้นสเมียร์เป็นคำที่นิยมนำมาใช้เพื่ออธิบายถึงเศษฟันที่ตกค้างภายหลังจากการกรอตัดฟัน หรือเป็นเศษเนื้อฟันที่ปกคลุมผิวฟัน Eick และคณะ (1970) พบว่ามีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมโครเมตรถึง 15 ไมโครเมตร อยู่ที่ชั้นผิวฟันและฝังอยู่ในชั้นสารอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0.5 ไมโครเมตร ในขณะที่ Brannstrom (1982) ได้บันทึกความลึกของชั้นสเมียร์ไว้ที่ 1 – 5 ไมโครเมตร ทั้งนี้ส่วนประกอบของชั้นสเมียร์ได้ถูกนำเสนอโดย Eick และคณะ, 1970 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประกอบด้วย แคลเซียมและฟอสเฟต ร่วมกับสารประกอบอินทรีย์ที่มี ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และ คาร์บอน เป็นส่วนประกอบ ซึ่งลักษณะส่วนประกอบของชั้นสเมียร์จะมีลักษณะตามโครงสร้างของเนื้อฟันในบริเวณนั้นโดยรูปร่างลักษณะ ความหนาและส่วนประกอบของชั้นสเมียร์จะขึ้นกับวิธีการในการตัดฟันผิวฟัน โดยพบว่าความหยาบของหัวกรอปากเพชรที่ใช้ การตัดแบบแห้ง จะเป็นวิธีที่ทำให้เกิดความลึกของชั้นสเมียร์มากที่สุด (Gwinnett , 1984) นอกจากนี้การเพิ่มมากขึ้นของค่าแรงเหวี่ยงเข้าสู่ศูนย์กลางจากการเคลื่อนที่ที่มากขึ้น และการใช้เครื่องมือที่ทำงานชิดติดกับเนื้อฟันในพื้นที่ต่างๆ เช่นการใช้เกด กลิตเดน ดริลล์ หรือหัวกรอสำหรับทำเดือยฟัน จะทำให้เกิดชั้น สเมียร์ที่หนาและทนทานต่อการหลุดมากกว่าชั้นสเมียร์ที่เกิดขึ้นจากการอุดฟัน (Czontskowsky และคณะ, 1990) โดยการอัดแน่นในท่อเนื้อฟันเป็นผลมาจากแรงที่เกิดจากการทำงานของหัวกรอและเครื่องมือรักษาครอบรากฟัน (Mader และคณะ, 1984) และอาจเกิดจากทฤษฎีแรงดูดที่เกิดขึ้นในท่อขนาดเล็ก (capillary action) ที่ทำให้มีการแพร่ของสเมียร์เข้าในท่อเนื้อฟันได้มากถึง 110 ไมโครเมตร ตามการทดลองของ Aktener และคณะ (1989)

ชั้นสเมียร์เคยถูกคิดว่าเป็นชั้นที่ปกคลุมผิวฟันสามารถทำหน้าที่ปกป้องโพรงประสาทฟันจากสารกระตุ้นที่อันตราย แต่พบว่าคุณสมบัตินี้จะอยู่เพียงชั่วคราว ทั้งนี้เพราะชั้นสเมียร์จะถูกละลายได้ในของเหลวภายในช่องปาก และมักมีการปนเปื้อนกับเชื้อจุลินทรีย์ (microorganism) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดออกก่อนการใช้ระบบสารยึดติด

### ชั้นไฮบริดและระบบสารยึดติด

การศึกษาชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นภายหลังการเตรียมเนื้อฟันด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด พบว่าสารปรับสภาพผิวที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะทำให้ชั้นสเมียร์และผิวเนื้อฟันส่วนบนเกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ และหลังจากการล้างน้ำออกจะพบว่ายังมี คอลลลาเจนของชั้นสเมียร์ที่ถูกกรดกัดตกค้างอยู่เนื่องจากคอลลลาเจนจะไม่ถูกละลายด้วยกรด ดังนั้นเราจึงพบว่า ถ้าเราใช้ เซลฟ์เอซซิงไพรเมอร์ที่ไม่ต้องมีการล้างน้ำ

ออก คอลลาเจนในชั้นสเมียร์จะกลายเป็นส่วนประกอบในชั้นไฮบริด ซึ่งการทดลองในระยะหลังพบว่า ค่าความแข็งแรงยึดจากการใช้ระบบสารยึดนี้ยังคงมีค่าสูง แต่ทั้งนี้ควรมีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อดี และข้อเสียของการมีคอลลาเจนในชั้นสเมียร์ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในชั้นไฮบริด ที่มากกว่านี้

### ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในระบบสารยึดติด และชั้นไฮบริด

ในเนื้อฟันที่มีแร่ธาตุปกติจะพบว่าช่องว่างขนาด 20 ไมโครเมตรที่อยู่ก้นระหว่าง คอลลาเจน ไพบริลจะเป็นที่อยู่ของผลึกอะพาไทต์ (apatite crystallite) ที่ประกอบด้วย  $Ca_{10}(PO)_6X_2$  โดย X สามารถเป็น คาร์บอน ฟลูออไรด์ หรือ ไฮดรอกซิล อีออน ลักษณะของ ฟอสเฟต อีออน จะมีลักษณะเป็น นอน-โปรตอนเนต ไตรวาเลนต์ (non- protonated trivalent form) ทำให้มีความสามารถในการเป็นตัวปรับสภาพบัฟเฟอร์ เกิดความเป็นกลาง ของไฮโดรเจนอีออน ที่ได้มาจากกรด หรือเป็น ไฮโดรเจนอีออนที่ได้มาจากผลผลิตในขบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย เมื่อมีการจับกันของ ไฮโดรเจนอีออนและฟอสเฟตแล้วจะเกิดการละลายตัวของผลึกอะพาไทต์ ทำให้ฟอสเฟตละลายไปยัง ช่องว่างในช่องปาก กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเรื่อยๆจนเกิดการอิมตัวของ แคลเซียมและฟอสเฟต ดังนั้นเราจะพบว่าความลึกของการเกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ นอกจากจะเกิดจากปัจจัยของ ชนิดของกรด ความเข้มข้นและระยะเวลาในการใช้กรดแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยทางความสามารถในการทำให้เนื้อฟัน เป็นกลางของตัวเนื้อฟันเองด้วย กรดที่นำมาใช้ในการเตรียมสภาพผิวของเนื้อฟัน สามารถใช้ได้ทั้งกรด อินทรีย์และกรดอนินทรีย์ ในกรณีของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก จะมีความสามารถในการคีเลตกับ แคลเซียมอีออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทำให้ลดแนวโน้มของการตกตะกอนของแคลเซียมและ ฟอสเฟต ส่วนกรดอนินทรีย์ เช่นกรดฟอสฟอริก มักจะทำให้เกิดแนวโน้มของการตกตะกอนของ แคลเซียม และฟอสเฟต

ถ้าพื้นผิวเนื้อฟันส่วนบน 2 – 5 ไมโครเมตรเกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ เกิดการดึงน้ำ และมีการ แทรกซึมของสารโมโนเมอร์สมบูรณ์ ชั้นของไฮบริดในเนื้อฟันที่ได้จะประกอบด้วย เรซิน 70%โดย ปริมาตร และ คอลลาเจน 30%โดยปริมาตร แต่การกระจายตัวของเรซินมักจะไม่สม่ำเสมอ ภายใน จะมีช่องว่างรอบๆคอลลาเจน ไพบริล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเกิดเรซิน 70%โดยปริมาตร จะเกิดได้ยาก ทั้งนี้เกิดจากปัจจัยหลายๆข้อ ดังนี้

- 1 การมีน้ำตกค้างเหลืออยู่จำนวนมากในขั้นตอนการใช้ระบบสารยึด
- 2 เกิดการล้มของคอลลาเจน (collagen network collapse)
- 3 เกิดการแทรกซึมของเรซินที่ไม่สมบูรณ์
- 4 เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์

เป็นที่น่าสนใจว่าน้ำที่เกิดขึ้นและคงเหลืออยู่ในช่องว่างระหว่างไฟบริล ( interfibrillar space ) จะถูกกำจัดออกได้อย่างไรในขั้นตอนการใช้ระบบสารยึดติด เพราะการมีน้ำตกค้างที่มากเกินไปจะสะสมอยู่ภายในช่องว่าง ตามมาด้วยการถูกล้อมรอบด้วยเรซิน และจะคงอยู่ในชั้นไฮบริดภายหลังจากมีการโพลีเมอไรเซชัน ทำให้คุณสมบัติเชิงกายภาพของเรซินเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีการนำคุณสมบัติของไพรเมอร์ที่มีความสามารถในการแทรกซึมมาใช้เพื่อก่อให้เกิดการคงรูปและความแข็งแรงของคอลลาเจน โดยจะพบว่ามีความพยายามในการแก้ไขเพื่อไม่ให้มีน้ำตกค้างมากเกินไปดังนี้

1. การใช้ สารละลายที่ผสมเข้ากันได้กับน้ำ (water-miscible solvent) ( Suh,1991) เช่น อะซีโตนในการดึงน้ำออกจากช่องว่างที่เต็มไปด้วยน้ำและทำให้เกิดการแห้งของคอลลาเจน ไฟบริล คงเหลือปริมาณน้ำที่น้อยแต่เพียงพอต่อไฮโดรฟิลิกโมโนเมอร์ไพรเมอร์ให้ยังคงมีความสามารถในการละลายได้ และไพรเมอร์นี้จะทำหน้าที่แทนที่น้ำที่อยู่รอบๆคอลลาเจน และก่อให้เกิดการล้อมรอบคอลลาเจนด้วยเรซินในภายหลัง
2. การใช้ไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบเป็นโมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ เช่น ฮีมาหรือกรดโพลีอัลคิลในอิก (polyalkenoic acid) โดยจะมีการดึงน้ำ ด้วยกระบวนการทางกายภาพ เช่นการเป่าแห้งด้วยอากาศเบาๆ ข้อเสียของกระบวนการนี้คือ อัตราของการระเหยไปของน้ำจะขึ้นกับการมีความชื้นเดิม ความรุนแรงของการใช้อากาศเป่า (Burrow และคณะ,1995) โดยทั้งนี้ปริมาณของน้ำที่สูญเสียไป จะก่อให้เกิดการหดตัวในชั้นไฮบริด แต่เป็นการหดตัวที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียที่รุนแรงเมื่อเปรียบเทียบกับกรหดตัวของโครงสร้างเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุที่ไม่มีไพรเมอร์ซึมผ่านเข้าไปถึงทำให้ไม่เกิดการโพลีเมอไรเซชันตามมา (Gwinnett, 1994d)
3. การใช้ไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบของฟีนิล-พี (phenyl-P) โดยมีการเพิ่มความเข้มข้นของโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดจาก 5% เป็น 20-25 % โมโนเมอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยอนุพันธ์ของฟอสเฟตในการทำหน้าที่เป็นโมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ และก่อให้เกิดความเป็นกรดที่เพียงพอที่ PH 1.5 ( Itou และคณะ, 1994) โดย ฟีนิล-พี นี้จะผสมอยู่ใน ฮีมา 30-50% ดังนั้นสารประกอบนี้จึงมีความเป็นกรดและเป็นสารไพรเมอร์ได้ในเวลาเดียวกัน นั่นคือมีการละลายของชั้นสเมียร์และมีการซึมเข้าไปในเนื้อฟัน เมื่อมีการละลายตัวของอินทรีย์สารออกมาจากเนื้อฟันได้เป็นแคลเซียมและฟอสเฟต ปริมาณของสารเหล่านี้จะเป็นตัวจำกัดกระบวนการในการเกิดการละลายตัว และจะเกิดการตกตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟตเป็นชั้นเล็กๆลอยเป็นสารแขวนลอยอยู่ใน ฮีมา และกลายเป็นส่วนหนึ่งของชั้นไฮบริด ( Watanabe และคณะ , 1994 ; Nikaido และคณะ, 1995)

ข้อเสียของการใช้โมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ โดยเฉพาะในระบบ ที่เป็นของเหลว น้ำจะถูกดึงออกด้วยแรงดันละอองน้ำ (vapor pressure) ( Sweeney และ Beuchat ,1993) ถ้ามีการเป่าด้วยลม จะพบ

ความเข้มข้นของ ฮีมา: น้ำ เพิ่มขึ้น ส่งผลในแรงดันละอองน้ำ น้อยลง ทำให้ขบวนการดึงน้ำต่อมาเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้น ในระบบที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์และอะซีโตน จะได้รับผลกระทบในลักษณะนี้น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ระบบที่มีแอลกอฮอล์และอะซีโตน จะทำให้เกิดการแทรกซึมได้ทั่วถึงในชั้นเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ แต่ว่าการเกิด โพลีเมอร์ไรเซชันและโคโพลีเมอร์ไรเซชัน ยังเป็นการเกิดขึ้นร่วมกับการทำหน้าที่ของสารยึดติด อื่นๆ ถ้าเรซินแทรกซึมและเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุน (void & porosity) อยู่ภายในคอลลาเจนไฟเบอร์ ที่จะก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนของน้ำในเนื้อฟันและ เอ็มไซม์ไฮโดรไลติก ( Bean และคณะ, 1994) ตามมา

### ปัญหาที่เกิดขึ้นในขบวนการปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน

เรซินที่แข็งแรงจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีแรงยึดที่มากในขณะที่เดียวกันยังขึ้นกับส่วนประกอบในเรซิน โดยพบว่า พีเอ็มเอ็มเอ , โพลีฮีมา ซึ่งเป็นโพลีเมอร์แบบเส้น (linear polymer) จะไม่แข็งแรงเท่าโพลีเมอร์ตาข่าย (cross-link polymer) เช่น TEGDMA, UDMA, Bis-GMA นอกจากนี้ความแข็งแรงของเรซินยังขึ้นกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากโมโนเมอร์ไปเป็นโพลีเมอร์ พบว่าโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างตาข่าย จะมีความเหนียวกว่าทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนจากโมโนเมอร์ไปเป็นโพลีเมอร์ได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดปริมาณของโพลีเมอร์โครงสร้างตาข่าย โดยทั่วไปจึงมีส่วนผสม TEGDMA/Bis-GMA 55-65%

ปริมาณของโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา จะทำให้โพลีเมอร์ที่ได้มีลักษณะเหมือนพลาสติก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพของเรซินที่ได้

การเกิดปฏิกิริยาโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารเคมี เราจะพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นแบบช้าๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยความเค้นภายใน ( internal stress) และเกิดการหดตัวโดยการหดตัวที่เกิดขึ้นจะเป็นการหดตัวเข้าหาศูนย์กลางของก้อนเรซิน

การหดตัวที่เกิดขึ้นในขบวนการโพลีเมอร์ ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญต่อการยึดติดโดยตรง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้น ( 10-15 เมกกะพาสคาล) แต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับลักษณะของโพรงฟันที่ถูกเตรียมจากการบูรณะ และขึ้นตรงกับสัดส่วนของอินฟิวเรซิน โดยถ้ามีปริมาณของฟิวเรซินมาก การหดตัวจะเกิดขึ้นน้อย

### การรั่วซึมและวิธีวัดการรั่วซึม

การรั่วซึมที่บริเวณตัวฟันและปลายรากฟันเป็นสาเหตุหลักของการล้มเหลวในการรักษารากฟัน ทั้งนี้เพราะเกิดการแพร่ผ่านได้ของเชื้อจุลินทรีย์และสารพิษ โดยการรั่วซึมระดับไมโครเมตรในฟันที่รักษารากนั้นจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของของเหลวและจุลินทรีย์ไปตามรอยต่อระหว่างวัสดุอุดรากับเนื้อฟัน หรือบริเวณช่องว่างที่เกิดขึ้นในวัสดุอุดรากฟัน มีการศึกษามากมายที่พบว่ามีการรั่วซึมในระดับ



ไมโครเมตรจากบริเวณปลายรากฟันและตัวฟัน ( Saunders และ Saunders,1994 ; Leonaed และคณะ,1996) โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึม เช่น องค์ประกอบทางกายวิภาคและรูปร่างลักษณะของราก ความชำนาญในการเตรียมคลองรากและการอุดรากฟัน ความแนบสนิทของวัสดุอุดคลองรากและคุณสมบัติของวัสดุอุดรากฟัน และเกี่ยวข้องกับกระบวนการบูรณะต่อภายหลังด้วยการอุดปิดหรือการใส่เดือยและครอบฟัน

ดังนั้นในการเตรียมคลองรากสำหรับการทำเดือยฟันด้วยการนำวัสดุอุดคลองรากกัตตาเปอร์ชากออก เป็นกระบวนการที่สำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อการปิดสนิทของวัสดุอุดปลายรากฟัน Haddix และคณะ(1990) สรุปวิธีการนำกัตตาเปอร์ชากออก 3 วิธี คือ 1. การใช้สารเคมีทำให้อ่อนนุ่ม เช่น คลอโรฟอรม เป็นวิธีทำให้เกิดการรั่วซึมปลายรากมากที่สุด 2. การใช้ความร้อน โดยการใช้เครื่องมือลนไฟตัดกัตตาเปอร์ชากออกแล้วใช้พลังเทอร์มัลกัตตาเปอร์ชากที่เหลือให้แน่น เป็นวิธีที่ปลอดภัยแต่อาจใช้ไม่ได้ในคลองรากที่เล็ก 3. การใช้เครื่องกลเช่นหัวกรอเกลด กลัดเดน ดริว ในการนำกัตตาเปอร์ชากออก เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ต้องใช้ข้ออย่างระมัดระวัง วิธีการที่ 2 และ3 จะลดการรั่วซึมที่จะเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ในคลองรากจะต้องเหลือกัตตาเปอร์ชาก 3-5 มิลลิเมตร (Shillingburg ,1982 ; Weine,1982) โดยมีการทดลองต่างๆมากมายที่เกี่ยวกับปริมาณที่เหลืออยู่ของกัตตาเปอร์ชาก ซึ่งพบว่า 3 มิลลิเมตรคือระยะที่น้อยที่สุดในการป้องกันการรั่วซึมที่จะเกิดขึ้น (Portell และคณะ, 1982) และนอกจากนี้การรั่วซึมปลายรากยังเกี่ยวเนื่องกับชนิดของวัสดุอุดคลองรากที่ใช้ โดย Limkangwalmongkol และคณะ(1991)ได้ทำการทดลองวัดการรั่วซึมที่ปลายรากในวัสดุอุดคลองรากชนิดต่างๆ พบว่า การใช้ AH26 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ระบบสารช่วยยึดติดเรซิน มีการรั่วซึมน้อยกว่าการใช้วัสดุอุดคลองรากชนิด ซิงค์ออกไซด์ยูจินอล (Tubil-Seal),แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Apexit, Sealapex ) และ Saunders และคณะ (1992) พบว่า การใช้วัสดุอุด คลองรากชนิด กลาสไอโอโนเมอร์ให้การรั่วซึมน้อยกว่าซิงค์ออกไซด์ยูจินอล

การวัดการรั่วซึมสามารถทำได้ในหลายๆวิธี โดยแต่ละวิธีจะมีการเคลื่อนที่ของอิออนและโมเลกุลของสารต่างๆ เพื่อนำไปประเมินการรั่วซึม ซึ่งมีวิธีการต่างๆเช่น

การวัดการรั่วซึมของแบคทีเรีย (Chailertvanitkul, 1996 ) โดยใช้แบคทีเรียขนาด 0.5-1 ไมโครเมตร ผ่านช่องว่างรอยต่อระหว่างวัสดุ ด้วยการเพาะเชื้อแบคทีเรียในสารที่เป็นกรดซึ่งต้องใช้เทคนิคพิเศษในการทดลองและการแปรผล

การวัดการรั่วซึมแรงดันฟองอากาศ (air pressure) (Bachicha และคณะ, 1998) เป็นการวัดการเคลื่อนที่ของของเหลวและฟองอากาศภายใต้แรงดันอากาศที่กำหนด วิธีการนี้ต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษเพราะแรงดันอากาศที่มากเกินไปจะทำให้วัสดุหลุดหรือแตกได้

การวัดการรั่วซึมจากการเปลี่ยนแปลงประจุ ( electrochemical method )( Jacobson และ Von Frunhofer,1976) ด้วยการติดขั้วไฟฟ้าที่ฟันจุ่มในภาชนะที่มีกระแสไฟฟ้า

การวัดการแทรกซึมของสีย้อม (Ahlberg,1995) โดยสีย้อมที่ใช้มีหลายชนิดเช่น เมทิลีนบลู (methylene blue) อินเดียอิงค์ (India ink) สารละลายสีเบซิค ฟุคซิน (basic fusin) พบว่าเมทิลีนบลูซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยมีความสามารถในการแทรกซึมได้ดีกว่าอินเดียอิงค์ที่มีสารแขวนลอยของคาร์บอนขนาดโมเลกุลใหญ่ประมาณ 10 ไมโครเมตร และสารละลายสีเบซิค ฟุคซินที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของท่อเนื้อฟัน

การวัดการแทรกซึมของสารเคมี (Chemical tracers) ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการใช้สีย้อม ทั้งนี้เพราะการวัดการรั่วซึมโดยสารเคมีจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทำปฏิกิริยาของสารเคมีหนึ่งหรือมากกว่า โดยวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้สารประกอบที่ไม่มีสี 2 ชนิดเพื่อให้เกิดการตกตะกอนสารที่บดแสง เช่น การใช้เกลือของซิลเวอร์ร่วมกับสารเดเวลอปเปอร์ ซึ่งเป็นหลักการของภาพถ่าย โดยในการวัดการรั่วซึมนี้สารเคมีที่ใช้จะต้องมีการแทรกซึมเข้าไปในบริเวณที่มีการรั่วซึมทั้งสองชนิด จึงจะเกิดการตกตะกอนเห็นการรั่วซึมได้ โดยทั่วไปสารที่นำมาใช้ในการวัดการรั่วซึมชนิดนี้คือ 50%ซิลเวอร์ไนเทรต เมื่อนำชิ้นงานมาแช่สารที่เวลาต่างๆ ซิลเวอร์ไนเทรตซึ่งมีขนาดอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.059 นาโนเมตร จะสามารถแทรกซึมไปในบริเวณที่มีการรั่วซึมได้ดี แต่ทั้งนี้ผู้วัดการรั่วซึมไม่สามารถวัดการรั่วซึมตามแนวอนุภาคที่ซิลเวอร์ไนเทรตแทรกซึมได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะสารเดเวลอปเปอร์มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ในทุกตำแหน่งตามซิลเวอร์ไนเทรตทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาและตกตะกอนเห็นสีได้ทุกตำแหน่ง และลักษณะของสีที่พบจะมีความแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับ วิธีการใช้เดเวลอปเปอร์ที่มีระยะเวลาแตกต่างตั้งแต่ 3 – 16 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่สารซิลเวอร์ไนเทรต โดยจะพบสีได้ตั้งแต่ สีเงิน ดำ เทา น้ำเงิน เหลือง น้ำตาล โดยสีจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคที่ตกตะกอนและการเติบโตของผลึกตะกอน ซึ่งจะเป็นไปตามขนาดของช่องว่างต่างๆ ข้อดีของการเลือกใช้การวัดการรั่วซึมชนิดนี้คือขนาดของอนุภาคสารที่ใช้ค่อนข้างเล็กทำให้เกิดการแทรกซึมที่ดี และสีที่มองเห็นในการวัดการรั่วซึมเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารสองชนิดก่อให้เกิดการตกตะกอนและการเติบโตของผลึกตะกอน ทำให้มีความทนทานและติดแน่นไม่ก่อให้เกิดการละลายของสารย้อมสีในขั้นตอนต่างๆ ในการนำไปประเมินผลการรั่วซึม และลักษณะการติดสีจะแยกได้ชัดเจนและมีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างรอยต่อวัสดุอุดกับเนื้อฟัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทดลองที่ผ่านมา เช่น การวัดการรั่วซึมในสารเดนทินบอนด์ จะมีการใช้ ซิลเวอร์ไอออน (Sano และคณะ,1995 ; Paul และคณะ,1999) นำมาวัดการรั่วซึมในระดับนาโนเมตร เนื่องจากซิลเวอร์ไอออนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมาก ทำให้สามารถแทรกซึมผ่านขอบรอยต่อระหว่างวัสดุอุดกับเนื้อฟันที่เกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมี และการยึดติดเชิงกลเข้าไปได้ถ้าเกิดการล้มเหลวในการยึดติดในเนื้อวัสดุ หรือระหว่างวัสดุกับเนื้อฟัน

หลังจากการย้อมสีฟันแล้ว เป็นขั้นตอนในการวัดการแทรกซึมของสีย้อมซึ่งทำได้หลายวิธี

(Ahlberg, 1995) เช่น การละลายส่วนของเนื้อเยื่อแข็งหรือการทำให้ฟันใสด้วยการแช่ในกรดไนตริก ความเข้มข้น 5% เป็นเวลา 3 วันตามด้วยการแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ที่ ความเข้มข้น 70% 95% และ 100% แล้วทำให้ใสในเมทิลซาลิไซเลต (methyl salicylate) พบว่าวิธีการนี้มีการละลายออกบางส่วน ของสารสีย้อม แต่เป็นวิธีที่สามารถเห็นการรั่วซึมได้ในสามมิติ นอกจากนี้ยังมีการวัดระยะทางที่สี แทรกซึมด้วยการตัดฟัน เช่นการตัดฟันในแนวขนานกับความยาว (longitudinal section) ซึ่งเป็นวิธีที่ ใช้ในการวัดการแทรกซึมในรากฟัน ทั้งนี้สามารถมองเห็นการแทรกซึมของสีเข้าไปในวัสดุอุดฟันและ เนื้อฟัน แต่มีข้อจำกัดที่สามารถวัดการแทรกซึมได้ในระนาบการตัดฟันเท่านั้น การตัดฟันเป็นชิ้นบางๆ ตามขวางของฟัน (cross section) ที่มีข้อจำกัดในเรื่องความหนาของใบเลื่อยที่ใช้ตัดฟัน

### ความแข็งแรงยึดในระบบสารยึดติด

เรซินแทกที่เกิดขึ้นในเนื้อฟันภายในท่อเนื้อฟัน (intratubular resin tag) มีความสำคัญต่อค่า ความแข็งแรงยึดที่เกิดขึ้นของระบบสารยึดติด (Tam และ Pilliar, 1993) โดยเรซินแทกที่เกิดขึ้นจะให้ ค่ากำลังความแข็งแรงยึดจากการที่โมโนเมอร์แทรกซึมเข้าคอลลาเจนไฟบริลรอบๆลูมินาทุบูลที่มีการใช้ กรดปรับสภาพแล้ว ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การเกิดไฮบริดของเรซินแทก ทั้งนี้จะพบว่าเรซินแทกที่ เกิดขึ้นและมีขนาดเส้นศูนย์กลางขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดค่าความแข็งแรงยึดที่มากกว่าเรซินแทกขนาด เล็ก และนอกจากนี้ Pashley และคณะ (1996a.) ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรง ยึดจะเกิดขึ้นในระยะ 2-3 ไมโครเมตรของเรซินแทกที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน และค่าที่ได้จะมีผลที่ไม่แตก ต่างจากเดิมแม้ว่าจะมีเรซินแทกที่เข้าไปลึกกว่าระยะนี้ ทั้งนี้เพราะค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จากการที่มี พื้นที่ผิวในการยึดที่มากขึ้นนั้น มีค่ามากกว่าความแข็งแรงยึดโคฮีซีฟ (cohesive strength) ของเรซินทำ ให้เมื่อมีการแตกหัก ค่าที่ได้จะเป็นค่ากำลังความแข็งแรงยึดที่เกิดจากการแตกหักที่เริ่มต้นในเนื้อ เรซิน ไม่ใช่ความแข็งแรงยึดที่เกิดจากการแตกหักแบบแอดฮีซีฟ (adhesive failure) ระหว่างรอยต่อเนื้อฟัน กับเรซิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงยึดของระบบสารยึดติดจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่โดยรวมของ เรซินแทก และค่าความแข็งแรงยึดโคฮีซีฟของโพลีเมอร์

ชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นในเนื้อฟันระหว่างทุบูล จะให้ค่าความแข็งแรงยึดของเรซินเป็นสัดส่วนกับ ปริมาณของเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน โดยค่าความแข็งแรงยึดโดยรวมที่เกิดขึ้นจากชั้นไฮบริดและเรซิน แทกจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามความลึกของชั้นเนื้อฟัน ทั้งนี้จะขึ้นตรงกับผลของพื้นที่การเกิดเรซินแทก มากกว่าพื้นที่การเกิดชั้นไฮบริดที่มีค่าคงที่ ( Nakabayashi, 1985)

Gwinnett (1993) ทำการทดลองดูค่าความแข็งแรงยึดที่เกิดขึ้นจากบริเวณต่างๆ พบว่า เมื่อมี การยึดในชั้นสเมียร์ได้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือน 10 เมกกะพาสคาลเมื่อมีการกำจัดชั้นสเมียร์แต่ยัง คงมีสเมียร์ลึกลงได้ค่าความแข็งแรงยึด 20 เมกกะพาสคาล เมื่อทำการทดลองให้เกิดเรซินแทกแต่ไม่ เกิดไฮบริดวัดค่าความแข็งแรงยึดได้ 27 เมกกะพาสคาล และเมื่อมีการทำให้เกิดชั้นไฮบริดและเรซิน

เทกวัดค่าความแข็งแรงยึดได้ 33 เมกกะพาสคาล ดังนั้นจะพบได้ว่าค่าความแข็งแรงยึดที่ได้ในระบบสารยึดติดจะมีค่ามากเมื่อสามารถทำให้เกิดได้ทั้งชั้นไฮบริดและเรซินแทรก

### การวัดค่าความแข็งแรงยึดของระบบสารยึดติด

ค่าความแข็งแรงยึดติดที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าที่ได้จากการหาแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักหารด้วยพื้นที่ผิวของการยึด ออกมาในหน่วยเมกกะพาสคาล ค่าที่ได้จะขึ้นตรงกับปัจจัยต่างๆ ทั้งนี้ในการทดลองต่างๆค่าที่ได้มีความแตกต่างกันในช่วงที่กว้าง เพราะมีความแตกต่างกันของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองไม่ว่าจะเป็นเนื้อฟัน ชนิดของสารยึดติด ระยะเวลาที่ใช้สารปรับสภาพ ชนิดของสารไพรเมอร์ เทคนิคการใช้สารยึดติด การเก็บชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง และวิธีที่ใช้ในการทดลอง โดย Pashley และคณะ(1995) ได้รวบรวมความแตกต่างของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองต่างๆดังนี้

#### ชิ้นงานทดลอง-เนื้อฟัน

ฟันมนุษย์ ฟันวัว / เนื้อฟันที่ผิว ตรงกลาง หรือชั้นใน /ด้านบดเคี้ยว ด้านแก้มหรือด้านข้าง/ ซี่ฟันต่างๆ/ การเตรียมผิวเนื้อฟัน/หัวกรอที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

#### สารไพรเมอร์

ปริมาณสารที่ใช้ /ระยะเวลาที่ใช้ / เทคนิคการเตรียมเนื้อฟันแบบแห้ง ขึ้น

#### การเก็บชิ้นงาน

สารที่ใช้ /อุณหภูมิ / ระยะเวลา

#### การใช้กรดปรับสภาพผิวเนื้อฟัน

มีการใช้กรดหรือไม่ / ชนิดของกรดที่ใช้ / ความเข้มข้น / ระยะเวลา /การล้าง เป่าแห้ง

#### การยึดติด

ปริมาณสารยึดติด / ระยะเวลา / การเป่าให้สารแพร่บนผิวฟัน /ขนาดของพื้นที่ที่ใช้ใน

การยึด /การฉายแสง

#### วิธีที่ใช้ทดสอบ

ความแข็งแรงพันธะเฉือน ความแข็งแรงดึง / แรงกด และความเร็ว

นอกจากนี้จะพบว่าการวัดค่าความแข็งแรงยึดติดในระบบสารยึดติดของเนื้อฟันจะพบได้ว่าค่าที่ได้จะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะเนื้อฟันในแต่ละซี่มีองค์ประกอบทางเคมีทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารที่แตกต่างกันและมีความซับซ้อนทางโครงสร้างทางกายภาพที่ความลึกที่แตกต่างกัน

การวัดค่าความแข็งแรงยึดติดที่ใช้ในปัจจุบัน จะพบว่าไม่มีวิธีการวัดชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะสามารถวัดค่าความแข็งแรงยึดติดได้ถูกต้องแม่นยำเหมือนกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก ทั้งนี้เพราะแรงบดเคี้ยวที่เกิดขึ้นจริงมีทั้งแรงยึดดึง แรงกด และ ความแข็งแรงพันธะเฉือน



จากการรวบรวมงานวิจัยของ AL-Salehi และ Burke (1997) จะพบว่า 80%ของการทดลองจะใช้การทดลองความแข็งแรงพันธะเฉือน และ 9% เป็นการทดลองวัดค่าความแข็งแรงดึง ทั้งนี้เพราะการวัดค่าความแข็งแรงดึงต้องการชิ้นงานที่ใหญ่กว่า เพื่อใช้ในการทำให้เครื่องจับ จับชิ้นงาน ทำให้ลักษณะชิ้นงานที่ต้องเตรียมใหญ่กว่าพื้นที่การยึดติดที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก

แต่ในปัจจุบัน Sano และ คณะ (1994b) ได้เสนอวิธีการวัดความแข็งแรงดึงในระดับจุลภาค (microtensile) ซึ่งจะเตรียมชิ้นงานในขนาดเล็ก ทำให้เหมือนกับขนาดพื้นที่ที่เกิดในช่องปากมากขึ้น

เนื่องจากโดยทั่วไปการทดลองต่างๆในอดีตมักจะใช้การวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือน Drummond และคณะ(1996) จึงได้ทำการทดลองดูความแตกต่างของการวัดความแข็งแรงพันธะเฉือนใน 2 วิธี คือการวัดความแข็งแรงพันธะเฉือนแบบระนาบ (traditional planar) เปรียบเทียบกับการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนแบบผลักออก (push out) ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การใช้วิธีการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนแบบผลักออกจะสามารถประมาณค่าที่ได้ดีกว่าแบบระนาบ ทั้งนี้เพราะแรงที่ให้ชิ้นงานจะมีการกระจายไปที่รอยต่อระหว่างเรซินกับเนื้อฟัน เนื่องจากหัวกดที่ให้แรงมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเรซินที่ยึดกับเนื้อฟัน แต่การทดลองนี้มีข้อเสียอยู่ที่การเตรียมชิ้นงานที่ยุ่งยากและการจัดวางวางชิ้น ให้ได้ระนาบกับหัวกดที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าความแข็งแรงยึดโดยทั่วไปจะพบว่าถ้าแรงที่ให้ในการทดลองไม่สม่ำเสมอเป็นหนึ่งเดียวกันจะทำให้เกิดการกระจายความเค้น (stress distribution) ที่ผิดปกติ สามารถทำให้ถึงกำลังดึงประลัย (ultimate strength) ในเนื้อฟันหรือโพลีเมอร์บริเวณเล็กๆและร้าวต่อไปในบริเวณข้างเคียง ส่งผลให้เกิดการแตกหักในที่สุด ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดที่ได้มาจากการแตกหักของเนื้อฟันหรือโพลีเมอร์ไม่ใช่ค่าความแข็งแรงยึดระหว่างรอยต่อเนื้อฟันกับโพลีเมอร์ที่แท้จริง ทั้งนี้ Sano และคณะ (1994a) พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จะขึ้นกับพื้นที่ผิวยึดติด โดยพื้นที่ที่ใหญ่จะเกิดการแตกหักได้ในแรงที่น้อยกว่าการใช้พื้นที่ที่น้อย ทั้งนี้เพราะพื้นที่ผิวยึดติดที่น้อยจะทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ( flaw) หรือจุดบกพร่องเล็กๆ (defects) เช่น ฟองอากาศเล็กๆ กลุ่มน้ำเล็กๆ หรือบริเวณที่มีการแยกชั้นระหว่างสารละลายกับเรซิน ในปริมาณที่น้อยที่บริเวณรอยต่อของการยึดติด จุดบกพร่องเล็กๆเหล่านี้สามารถส่งผลให้เกิดการสะสมความเค้นในระหว่างที่ให้แรงในการทดสอบ ทำให้เกิดความเค้นเฉพาะที่ ก่อให้เกิดการแตกหัก โคฮีซีฟที่รอยต่อบริเวณต่างๆ ดังนั้นการใช้ชิ้นงานทดลองที่มีขนาดเล็กจึงให้ค่าความแข็งแรงยึดที่สูงกว่า

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีการทดลอง

##### จำนวนฟันตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ศึกษาผลของการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากและตัวฟันในฟันที่ได้รับการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ และทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวแบบผลักออก (push out shear bond strength) โดยเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างกลุ่มฟันที่ทำความสะอาดและล้างยูจินอลที่เป็นส่วนผสมอยู่ในซีเมนต์ที่ใช้อุดคลองรากด้วยวิธีการต่างๆ

แบ่งวิธีและสารที่ใช้ในการล้างคลองรากได้ 5 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 ล้างด้วย น้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

แบบที่ 2 ล้างด้วย เอธิลแอลกอฮอล์ 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

แบบที่ 3 ล้างด้วย อะซีโตน 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

แบบที่ 4 ล้างด้วย กรดฟอสฟอริก 37% 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

แบบที่ 5 ล้างด้วย อีดีทีเอ 17% 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

โดยใช้ฟันจำนวน 164 ซี่ แบ่งเป็น 11 กลุ่มการทดลอง กลุ่มแรก 14 ซี่ และกลุ่มที่เหลือกลุ่มละ 15 ซี่

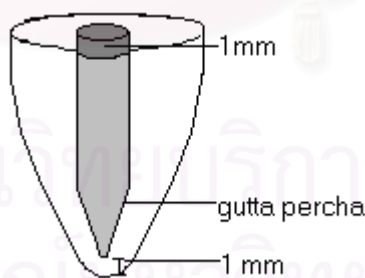
##### การเก็บและการตัดฟันตัวอย่าง

เลือกเก็บฟันรากเดี่ยวที่ถอนมาไม่เกิน 6 เดือน ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน รากตรงไม่โค้งงอ ปลายรากปิดและเจริญสมบูรณ์ จำนวน 164 ซี่ เก็บในน้ำเกลือ (sterile isotonic sodium chloride solution 9%) ที่อุณหภูมิห้อง

นำฟันตัวอย่างทั้งหมด 164 ซี่ ผ่านขั้นตอนการทำทำความสะอาดฟัน โดยกำจัดเนื้อเยื่อและเอ็นยึดปริทันต์รอบรากฟันโดยไม่ทำลายผิวราก โดยแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) ความเข้มข้น 2.5% เป็นเวลา 30 นาที ตัดตัวฟันออกจากรากฟันด้วยหัวกรอกรากเพชรทรงตรง (fissure diamond bur) เบอร์ 012 ที่ต่อกับเครื่องกรอความเร็วสูง 330,000 รอบต่อนาที วางหัวกรอตั้งฉากกับแนวแกนฟันที่ระดับสูงจากปลายรากฟันในแนวใกล้-ไกล ความยาวรากฟันเฉลี่ย 10-10.5 มิลลิเมตร เลือกเฉพาะรากฟันที่เคโฟล์ ขนาด 20 ไม่สามารถดันผ่านรูเปิดปลายรากได้ เกณฑ์ในการตัดฟันที่นำมาศึกษา คือฟันรากเดี่ยวไม่มีการอุดตันในคลองราก ครอบรากตรง ไม่มีรอยหักของรากฟัน ปลายรากฟันปิดและเจริญสมบูรณ์

### การรักษาคลองรากฟัน

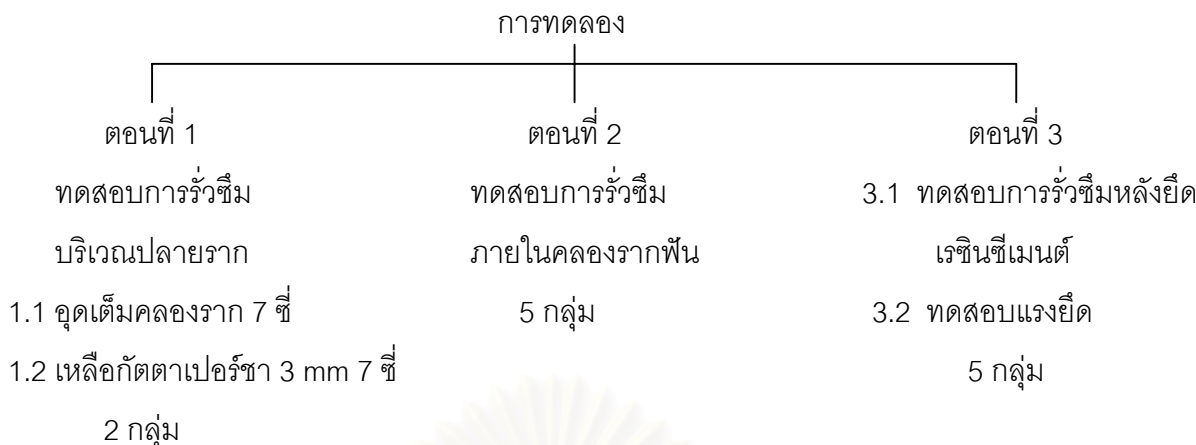
นำรากฟันที่เหลือความยาว 10 –10.5 มิลลิเมตร มารักษาคคลองรากฟัน โดยระหว่างการรักษาคลองรากฟันใช้ผ้าก๊อชชุบน้ำหมาดๆ หุ้มรอบผิวรากฟันให้เกิดความชื้นกับรากฟันตลอดเวลา กำจัดเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟัน วัดความยาวคลองรากฟันด้วยการใช้ไฟล์ขนาด 10 ผ่านทะลุพอดีปลายรากฟัน แล้วลดความยาวลง 1 มิลลิเมตร ใช้ เกท กลิดเดน ดริลล์ (Gates Glidden drills) ขนาด 1,2,3,4 กรอขยายคลองรากยาวประมาณ 6-6.5 มิลลิเมตรจากส่วนบน เปลี่ยนเกท กลิดเดน ดริลล์ ทุกๆ 5 คลองรากฟัน ขยายคลองรากให้มีขนาดที่ปลายรากเท่ากับไฟล์ขนาด 40 ขยายให้เกิดความต่อเนื่องระหว่างปลายรากกับบริเวณที่ใช้เกท กลิดเดน ดริลล์ ที่ขยายส่วนบนไว้ ล้างทำความสะอาดคลองรากด้วยน้ำเกลือ ชุบให้แห้งด้วยกระดาษซับคลองราก เพื่อเตรียมอุดคลองรากฟัน กำหนดความยาวของกัตตาเปอร์ชาเบอร์ 40 ที่ใช้เป็นแกนกลางอุดคลองรากฟัน และเตรียมกัตตาเปอร์ชาขนาดเล็ก ผสม จูฟ้าซีลเลอร์ อัตราส่วนผง 0.17 กรัมต่อน้ำมันกานพลู 0.04 มิลลิกรัม โดยการชั่งส่วนผงในเครื่องชั่ง (Balance) ( BP 3100s , Sartorius, Goettingen,Germany) ขนาดความละเอียด 0.01 กรัม และ วัดปริมาตรส่วนของเหลวด้วยอัตโนมิติปิเปต (Transferpipette)ขนาด10–100 ไมโครลิตร นำไปเคลือบที่ผนังคลองรากฟันด้วยไฟล์ให้ทั่วและเคลือบที่แท่งกัตตาเปอร์ชาหลัก อุดคลองรากด้วยวิธีใช้แรงดันออกข้าง (lateral condensation) ตัดกัตตาเปอร์ชาส่วนเกิน และตัดให้ต่ำกว่าขอบบนของรากฟัน 1 มิลลิเมตร อุดปิดให้แน่นด้วยเควิต ดังรูปที่ 1 รอให้ซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ 4 ชั่วโมงแล้วเก็บฟันไว้ในน้ำเกลือเป็นเวลา 2 วัน ก่อนการเตรียมช่องว่างสำหรับเดือยฟัน



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการล้าง ขยายและ อุดคลองรากฟัน

### การแบ่งกลุ่มการทดลอง

นำฟันที่ได้รับการรักษาแล้วมาแบ่งกลุ่มการทดลองแบบสุ่ม โดยแบ่งเป็น 11 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 จำนวน 14 ซี่ และกลุ่มที่เหลือกลุ่มละ 15 ซี่ โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน คือ



### ตอนที่ 1 ทดสอบการรั่วซึมบริเวณปลายราก

โดยนำฟันที่ได้รับการรักษารากเรียบร้อยแล้ว จำนวน 14 ซี่ มาทดสอบการรั่วซึมที่บริเวณปลายราก แบ่งเป็น 2 กลุ่มทดลอง

- 1.1 รากฟันจำนวน 7 ซี่ ที่ได้รับการอุดเต็มคลองราก
- 1.2 รากฟันจำนวน 7 ซี่ อุดเต็มคลองรากทิ้งไว้ 2 วัน แล้วใช้เครื่องมือลนไฟให้ร้อนแดงถึงจุดข้างอิงเดียวกัน แล้วรีบนำมาตัดกััดตาเปอร์ชาออกให้เหลือ กััดตาเปอร์ชาปลายราก 3 มิลลิเมตร ใช้พล็กเกอร์ปลายตัดฉากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 มิลลิเมตร ดันและอัดกััดตาเปอร์ชาที่เหลือให้แน่น ปิดคลองรากส่วนบนด้วยเควิต

### การทดสอบการรั่วซึม

ตอนที่ 1 ทดสอบการรั่วซึมที่ปลายรากฟัน โดยทาน้ำยาทาเล็บ (nail vanish) ที่ละชั้นแล้วปล่อยให้แห้งเป็นจำนวน 2 ชั้น โดยทารอบๆรากฟันยกเว้นบริเวณปลายรากฟันระยะ 1 มิลลิเมตร

นำฟันทั้งหมดแช่ในสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ( ด้วยการเตรียมจากการชั่งซิลเวอร์ไนเทรต 50 กรัม ผสมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 100 ลูกบาศก์มิลลิเมตร) แช่ฟันในสารละลายที่ 37 องศาเซลเซียส เก็บในที่มืดด้วยการหุ้มด้วยแผ่นตะกั่ว เป็นเวลา 2 วัน ล้างออกด้วยน้ำกลั่นก่อนแช่ในสารละลายเดเวลอปเพอร์ ภายใต้แสงไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยการแช่ในน้ำกลั่น 6 ชั่วโมง

นำฟันที่ได้ไปทำให้นิ่มและใสโดยการแช่ในกรดไนตริก ความเข้มข้น 5 % เป็นระยะเวลา 3 วัน ฟันที่ได้จะมีลักษณะนิ่ม ใช้เข็มผ่านได้ ตามด้วยการแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 70% เป็นเวลา 24 ชั่วโมงตามด้วย แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 95% และ 100% อย่างละ 1 ชั่วโมง แล้วทำให้ใสใน เมทิลซาลิไซเลต (methyl salicylate) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำฟันฝนในกระดาษทรายขนาดเบอร์

400 เพื่อนำเนื้อฟันส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออก โดยค่อยๆ ฝนที่ละเอียด นำไปตรวจวัดระยะจุดเริ่มต้นของการวัดการร่วซึมในกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ วัดผลการร่วซึมของสีซิลเวอร์ในเทรตด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังขยาย 45 เท่า บันทึกผลเป็นระยะทางของการร่วซึม แต่ละชิ้นงานเป็นจำนวน 3 ครั้งวัดระยะการร่วซึมที่เวลาไม่ต่อเนื่องกัน โดยวัดระยะที่มีการร่วซึมไกลที่สุด จากปลายรากฟันในแนวตั้งขนานกับแกนตามยาวรากฟัน เทียบระยะที่บันทึกได้จากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกับสเกลมาตรฐาน ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าเฉลี่ย

## **ตอนที่ 2 ทดสอบการร่วซึมภายในคลองรากฟัน**

โดยนำกัตตาเปอร์ชาออกจากคลองรากฟันด้วยเครื่องมือไฟฟ้า ให้เหลือกัตตาเปอร์ชาปลายรากฟัน 3 มิลลิเมตร ใช้พลังเกอร์ตันและอัดกัตตาเปอร์ชาที่เหลือให้แน่น ล้างด้วยวิธีและสารต่างๆ 5 แบบ โดยใช้ฟันจำนวน 75 ซี่ แบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ 5 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ซี่ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ล้างด้วย น้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 2 ล้างด้วย เอธิลแอลกอฮอล์ 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 3 ล้างด้วย อะซีโตน 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 4 ล้างด้วย 37% กรดฟอสฟอริก 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 5 ล้างด้วย 17% อีดีทีเอ 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

### **การทดสอบการร่วซึม**

ตอนที่ 2 ทดสอบการร่วซึมภายในคลองรากฟัน โดยการทายาธาเล็บหุ้มผิวนอกของรากฟันทั้งหมด สารที่ใช้ทดสอบจะแพร่จากภายในคลองรากฟัน ระหว่างวัสดุอุดรากฟันกับเนื้อฟันในแนวตั้งจากบนสุดของวัสดุอุดคลองรากฟันไปในแนวปลายราก

หลังจากนั้นทำการทดลองต่อเพื่อดูการร่วซึม โดยการใส่ซิลเวอร์ในเทรต ตามด้วยกระบวนการทำให้ฟันใส เหมือนการทดลองในตอนที่ 1

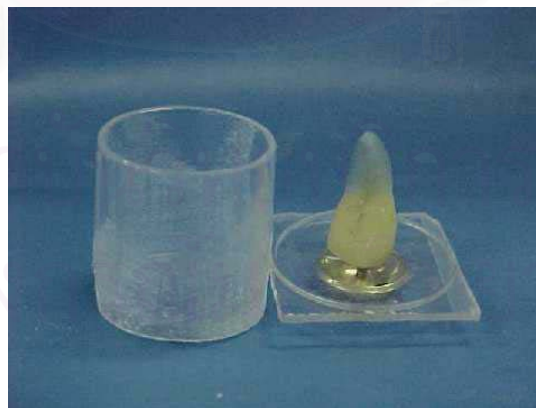
นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเฉลี่ยหาค่าเฉลี่ย โดยวัดระยะที่มีการร่วซึมไกลที่สุด จากส่วนบนสุดของกัตตาเปอร์ชาภายในคลองรากฟัน ในแนวตั้งลงมาทางปลายรากฟัน

**ตอนที่ 3 ทดสอบการร่วซึมบริเวณปลายรากและบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันบริเวณส่วนบนของรากฟัน และการทดสอบความแข็งแรงพันธะเคออน เมื่อทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ภายหลังการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีต่างๆ 5 แบบ เหมือนตอนที่ 2 โดยใช้รากฟัน 65 ซี่**

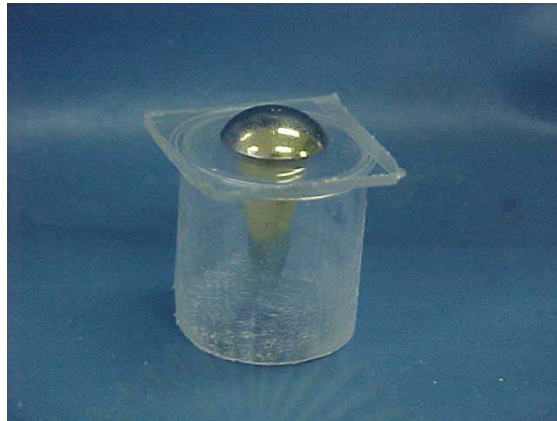


การทดลองในตอนที่ 3 เป็นการทดสอบการรั่วซึม และการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อม โดยทำการทดสอบทั้งสองอย่างในชิ้นงานรากฟันเดียวกัน และในการทดสอบการรั่วซึมยังทำการทดสอบในสองบริเวณคือ บริเวณปลายรากฟันและบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันบริเวณส่วนบนของรากฟัน

ขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นโดยนำกัตตาเปอร์ช่าออกจากคลองรากฟันด้วยเครื่องมือลนไฟ ให้เหลือกัตตาเปอร์ช่าปลายรากฟัน 3 มิลลิเมตร ใช้พลังเกอร์ตันและอัดกัตตาเปอร์ช่าที่เหลือให้แน่น หุ้มปลายรากด้วยซีเมนต์ต่อขอบพิมพ์ปากบางๆ เพื่อป้องกันอคริลิกติดบริเวณรูเปิดปลายราก นำชิ้นงานที่ได้ไปยึดติดกับอคริลิกในกล่องพลาสติกใสขนาดเป็นมาตรฐานเดียวกัน ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.7 เซนติเมตร สูง 1.8 เซนติเมตร มีฝาพลาสติกใสที่เจาะรูตรงกลางที่จุดศูนย์กลางวงกลมของฝาปิด เพื่อยึดหมุดโลหะขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร มีส่วนแกนหมุดยาว 1 เซนติเมตรแทงผ่านตั้งฉากกับฝาพลาสติกนำรากฟันที่ได้รับการขยายคลองราก อุดและนำกัตตาเปอร์ช่าออกเรียบร้อยแล้ว แต่ยังไม่ได้อัดคลองรากด้วยสารชนิดต่างๆ มายึดติดกับแท่งหมุดโลหะ โดยให้แกนตามยาวของคลองรากขนานกับแนวตั้ง ดังรูปที่ 2 และ 3 ผสมอคริลิกแล้วเทลงในกล่องพลาสติกประมาณสองในสามส่วนของกล่องพลาสติก นำรากฟันที่ยึดติดกับหมุดพร้อมฝาปิด จุ่มลงในอคริลิก ให้รากฟันอยู่ตรงกลางรัศมีวงกลมของกล่องพลาสติก โดยอ้างอิงจากเส้นรอบวงกลมที่มีอยู่ที่ฝาปิด รอให้อคริลิกแข็งตัว หลังจากนั้นผสมอคริลิกเหลวเทใส่กล่องพลาสติกอีกครั้งเพื่อให้ปลายรากฟันอยู่ในอคริลิก เป็นระยะ 9 มิลลิเมตร ในทุกชิ้นงาน

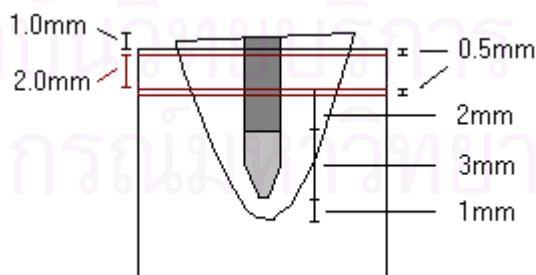


รูปที่ 2 แสดงลักษณะของพลาสติก ฝาปิดพร้อมหมุดยึดรากฟัน



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของรากฟันที่จะยึดติดกับอะคริลิกในพลาสติกใสทรงกระบอก

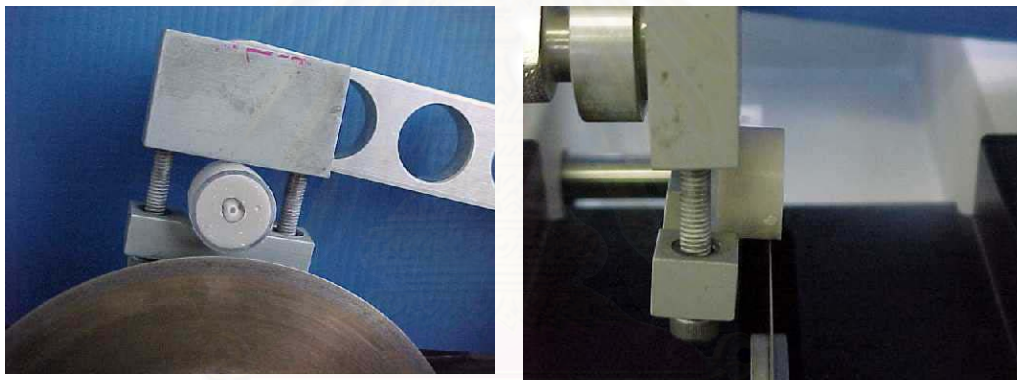
หลังจากนั้นล้างด้วยวิธีและสารต่างๆ 5 แบบ ตามการทดลองตอนที่ 2 ซับแห้งด้วยการใช้กระดาษซับคลองรากขนาดใหญ่ 5 ชั้นต่อคลองราก แล้วทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ (Panavia F) โดยการทาอีดีไพรเมอร์ ด้วยการใช้สำลีพันไฟเบอร์ขนาด 30 จุ่มไพรเมอร์ให้ชุ่มแล้วนำไปทาในคลองรากฟันให้ทั่ว ทิ้งไว้ 60 วินาที แล้วปั่นเรซินซีเมนต์ด้วยเลนทูล สไปรอล (lentulo spiral) ขนาด 30 ยาว 25 มิลลิเมตรให้เต็มคลองรากฟันใช้ออกซิการ์ด์ปิดทับด้านบนบนซีเมนต์ รอจนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ 10 นาที แซ่ชิ้นงานในน้ำเกลือ 24 ชั่วโมงให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาตัดฟันในลักษณะการตัดขวางบริเวณช่องฟันที่มีการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ดังรูปที่ 4 ด้วยเครื่อง Isomet (1000 series 15 ,Buehler, USA) ดังรูปที่ 5 ให้ได้ความหนาของชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร และยังคงมีความหนาของเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6 เพื่อนำไปทดสอบการรั่วซึม และนำชิ้นงานหนา 2 มิลลิเมตรไปทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลักออก ดังรูปที่ 7



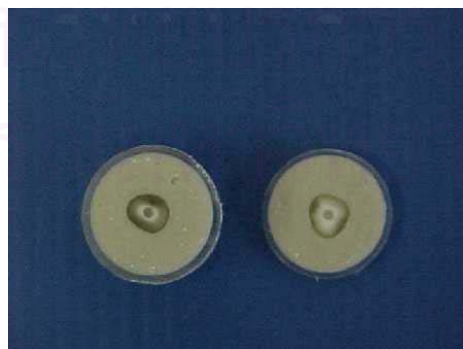
รูปที่ 4 แสดงลักษณะของชิ้นงานในกลุ่มการทดลองตอนที่ 3 การตัดขวางบริเวณฟันที่มีการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ให้ได้ชิ้นงานหนา 2.0mm. และเหลือรากฟันที่มีกัตาเปอร์ชา 3 mm. กับเรซินซีเมนต์ส่วนบน 2 mm.



รูปที่ 5 แสดง เครื่องตัดพื้น Isomet และลักษณะการวางชิ้นงานเพื่อตัดพื้น



รูปที่ 6 แสดงการตัดชิ้นงานด้วยเครื่อง Isomet เพื่อนำชิ้นงานมาทดลองในตอนที่ 3



รูปที่ 7 แสดงลักษณะชิ้นงานหลังจากตัดได้ชิ้นงานส่วนหนา 2 mm นำไปทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออก และรากพื้นส่วนปลายรากนำไปทดสอบการรั่วซึม



### การทดสอบการรั่วซึม

ตอนที่ 3 ทดสอบการรั่วซึมบริเวณปลายรากและภายในคลองรากฟัน โดยทาน้ำยาทาเล็บ รอบๆรากฟันยกเว้นบริเวณปลายรากฟันระยะ 1 มิลลิเมตร และยกเว้นบริเวณรอยต่อของเนื้อฟันและ เรซินซีเมนต์ 1 มิลลิเมตร ที่บริเวณส่วนบนของราก ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงลักษณะของรากฟันที่ทายาทาเล็บก่อนนำไปเข้าสารทดสอบการรั่วซึมในตอนที่ 3

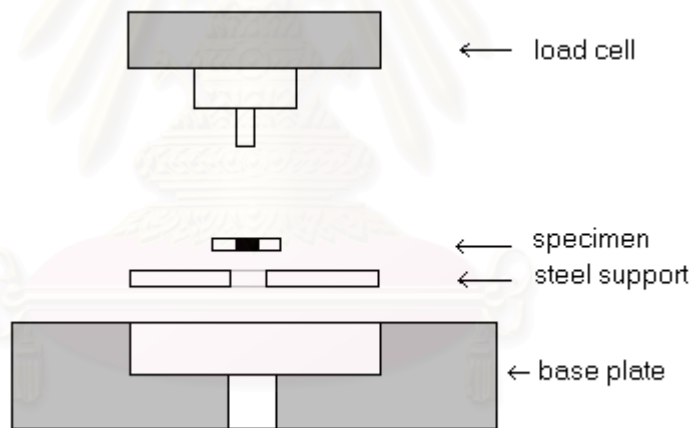
นำฟันทั้งหมดแช่ในสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตแล้วนำฟันที่ได้ไปทำให้นิ่มและใส ตามการทดลองตอนที่ 1 นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยค่าเฉลี่ย โดยวัดระยะที่มีการรั่วซึมไกลที่สุด จากบริเวณปลายรากฟันในแนวตั้งขึ้นมาทางส่วนบนของฟัน และจากรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ในส่วนบนสุดของรากฟันในแนวตั้งลงมาทางปลายรากฟัน



รูปที่ 9 แสดงลักษณะของฟันที่ได้หลังจากนำไปเข้าสารทดสอบการรั่วซึม และนำไปผ่าน กระบวนการทำให้ฟันใส ก่อนนำไปวัดระยะการรั่วซึม

### การทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อม

นำชิ้นงานที่ได้จากการตัดฟันในรากฟันที่ได้ทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ หนา 2.0 มิลลิเมตร มาวางในแท่นจับเพื่อยึดฟันไว้ไม่ให้ฟันเคลื่อนที่ และวางในตำแหน่งที่ถูกต้องกับหัวกดที่ใช้ทดสอบ นั่นคือบริเวณที่มีเรซินซีเมนต์ขนาดเส้นรอบวง 1.25 มิลลิเมตรที่อยู่ตรงกลางตำแหน่งคลองรากฟัน จะต้องอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของแท่นจับที่มีรูขนาดเส้นรอบวง 4 มิลลิเมตร และอยู่กึ่งกลางของรูวงกลมของเหล็กที่ใช้พยุงและรองรับชิ้นงานที่มีขนาดรูวงกลมที่เล็กกว่าแท่นจับโดยมีขนาดเส้นรอบวง 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 12 ทำการทดสอบแรงยึดด้วยเครื่อง ลอยด์ (LLOYD) รุ่น LR 10 K ที่ใช้หัวกดที่มีลักษณะเป็นแท่งหน้าตัดเรียบ เส้นรอบวง 1.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11 ใช้แรงกด 1 KN ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ( ISO/TR11405:1994 แนะนำ  $0.75 \pm 0.30$  มิลลิเมตรต่อนาที)



รูปที่ 10 แสดงลักษณะแท่นยึดจับชิ้นงานที่ประกอบด้วยฐานแท่นเหล็กรองรับ, แผ่นเหล็กที่ช่วยรองรับ และลักษณะของหัวกด ที่ใช้การทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบ ผลักออก



รูปที่ 11 แสดง ลักษณะของเครื่องมือแท่นยึดชิ้นงานในการทดสอบความแข็งแรงพันธะฉนวนแบบผลึกออกด้วยเครื่องลloyd



รูปที่ 12 แสดงลักษณะของแท่นจับและเหล็กที่ใช้พยุ่งและรองรับชิ้นงาน ที่มีขนาดเส้นรอบวง 2.0 มิลลิเมตร และ รูปแสดงลักษณะของการนำชิ้นงานใส่แท่นจับสำหรับทดสอบความแข็งแรงพันธะฉนวนแบบผลึกออก

### การทดสอบสถิติ

ในตอนี่ 1 นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวนของการรั่วซึมที่ปลายราก เปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างกลุ่มที่อุดเต็มคลองรากกับกลุ่มที่เหลือกัตาเปอร์ซา 3 มิลลิเมตร โดยการใช้การวิเคราะห์สถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( confidential level 95%,  $\alpha = 0.05$ )

ในตอนี่ 2 และ3 เป็นการทดสอบการรั่วซึมและการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลัดออก ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ 5 ชนิดตามการทดลอง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำไปทดสอบการແก้แจะของประชากรและค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากร ซึ่งถ้าพบว่ามีการແก้แจะของประชากรปกติ และค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน จะนำมาวิเคราะห์ผลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ( one way ANOVA) เพื่อดูผลของปัจจัยการใช้สารทำความสะอาดคลองรากชนิดต่างๆ ต่อการรั่วซึมที่บริเวณปลายราก ที่ตัวฟัน และค่าแรงยึด หากได้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ให้ทำการทดสอบต่อด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างคู่

## บทที่ 4

### วิเคราะห์ผลการวิจัย

การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการวัดการรั่วซึมที่เกิดขึ้นจากผลของการล้างคลอง รากด้วยสารเคมีชนิดต่างๆที่คาดว่าจะสามารถลดปริมาณของสารยูจินอลที่ตกค้างในคลองรากฟัน หลังจากได้รับการอุดคลองรากด้วยซีเมนต์ที่มียูจินอลเป็นส่วนประกอบ และวัดค่าความแข็งแรงพันธะ เนื้อเยื่อเนื้อ เมื่อทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ภายหลังการล้างคลองรากฟันด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ตามแบบของการทดลอง โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน ซึ่งผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

#### ตอนที่ 1 ทดสอบการรั่วซึมปลายราก

ฟันจำนวน 14 ซี่ที่ได้รับการรักษารากฟันเรียบร้อยแล้วถูกนำมาแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 2 กลุ่ม นำมาทดสอบการรั่วซึมที่ปลายรากดังรูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่ 18 และ 19 วัดระยะการรั่วซึมของ สารซิลเวอร์ในเทรตด้วยกล้องจุลทรรศน์ สเตอริโอกำลังขยาย 45 เท่า จำนวน 3 ครั้ง เทียบระยะที่วัด ได้จากกล้องกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 45 เท่ากับสเกลมาตรฐาน แล้วนำผลที่ได้มาเฉลี่ย

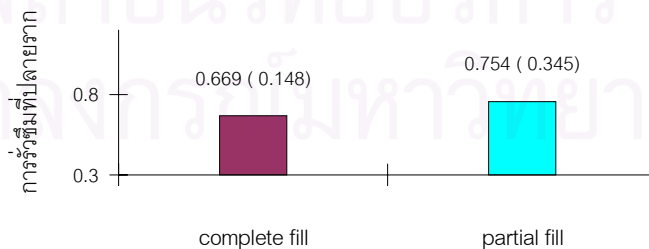
กลุ่ม 1 รากฟันจำนวน 7 ซี่ ที่ได้รับการอุดเต็มคลองราก

กลุ่ม 2 รากฟันจำนวน 7 ซี่ อุดเต็มคลองรากทิ้งไว้ 2 วัน แล้วใช้เครื่องมือลงไฟตัด

กัตตาเปอร์ซาออกให้เหลือ กัตตาเปอร์ซาปลายราก 3 มิลลิเมตร ใช้พลัง

เกอร์ตันและอัดกัตตาเปอร์ซาที่เหลือให้แน่น ปิดคลองรากส่วนบนด้วยคิววิท

จากผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางต่ำสุด และ ระยะทางสูงสุด และนำมาวิเคราะห์สถิติในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วย T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 13 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 13 แผนภูมิแท่ง แสดงผลระยะทางรั่วซึมเฉลี่ยที่ปลายรากฟัน(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในตอนที่ 1



ตารางที่ 1 แสดงผลระยะทางร้วชึมเฉลี่ยที่ปลายราก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการร้วชึมต่ำสุด และ ระยะทางการร้วชึมสูงสุด (a : สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม , T-test ,  $\alpha = 0.05$ )

กลุ่ม	จำนวน (ซี่)	ค่าเฉลี่ยระยะทาง (มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะทางต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ระยะทางสูงสุด (มิลลิเมตร)
1	7	0.669 <sup>a</sup>	0.418	0.000	1.234
2	7	0.754 <sup>a</sup>	0.345	0.495	1.501

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ากลุ่มการทดลองที่อุดมคณกรากฟันให้ค่าเฉลี่ยการร้วชึมเฉลี่ย 0.669 มิลลิเมตรน้อยกว่า กลุ่มที่มีการนำกัตตาเปอร์ชากออก ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยการร้วชึม 0.754 มิลลิเมตร แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์สถิติในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วย T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ระยะการร้วชึมที่บริเวณปลายรากระหว่างกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงผลให้เห็นว่าฟันที่ได้รับการรักษารากเรียบร้อยแล้ว เมื่อถูกนำมาเตรียมคณกรากสำหรับการใส่เดือยฟันจากวิธีการใช้ความร้อนในการนำกัตตาเปอร์ชากออกแล้วอัดกัตตาเปอร์ชากที่เหลื่อให้แน่นและมีความยาวของกัตตาเปอร์ชากที่เหลื่อ 3 มิลลิเมตร เป็นวิธีการที่สามารถป้องกันการร้วชึมที่บริเวณปลายรากได้ ไม่แตกต่างจากฟันที่ได้รับการรักษารากที่อุดกัตตาเปอร์ชากเต็มความยาวคณกรากฟัน และจากผลของการทดลองในตอนี้ จึงนำผลที่ได้มายืนยันวิธีการทดลองในตอนต่อไปที่ใช้ค่าระยะที่เหลื่ออยู่ของกัตตาเปอร์ชาก 3 มิลลิเมตร มาใช้ในการทดสอบการร้วชึมที่ได้รับผลกระทบจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ 5 อย่าง ก่อนการอุดด้วยเรซินซีเมนต์

## ตอนที่ 2 ทดสอบการร้วชึมในคณกรากฟัน

วัดระยะทางของการร้วชึมภายในคณกรากฟันของฟันที่มีใช้เครื่องมือลนไฟนำกัตตาเปอร์ชากออก แล้วใช้พลังเกอร์อัดให้แน่นและให้เหลื่อกัตตาเปอร์ชาก 3 มิลลิเมตร ล้างด้วยสารชนิดต่างๆ หลังจากนั้นนำไปผ่านขบวนการแซ่สารเคมีที่ใช้ในการทำให้เกิดการร้วชึม และ การทำให้ฟันใสเพียงพอให้เห็นการร้วชึมของซิลเวอร์ไนเตรดตั้งรูปตัวอย่างที่ 20, 21, 22, 23 และ 24 วัดระยะการร้วชึมภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 45 เท่า โดยเก็บข้อมูลการวัดทั้งหมด 3 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย การทดลองนี้เป็นการวัดการร้วชึมที่เกิดจากผลของการล้างด้วยสารเคมีที่แบ่งเป็นการทดลอง 5 กลุ่มคือ

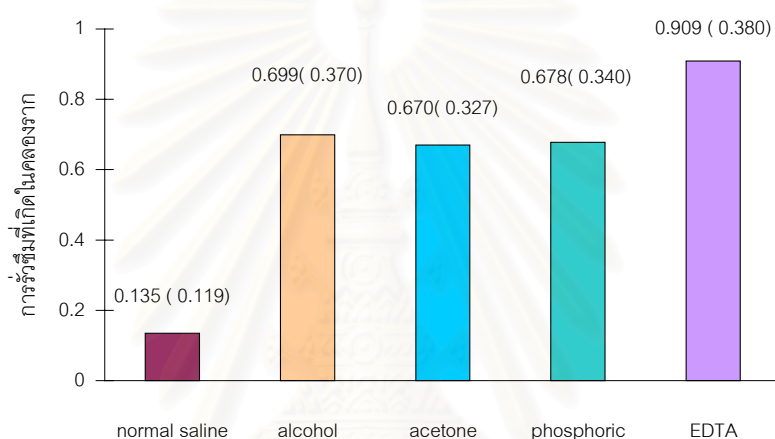
กลุ่มที่ 1 ล้างด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 2 ล้างด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 3 ล้างด้วย อะซีโตน 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

กลุ่มที่ 4 ล้างด้วย 37%กรดฟอสฟอริก 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร  
 กลุ่มที่ 5 ล้างด้วย 17% อีดีทีเอ 1 นาที ตามด้วยน้ำเกลือ 2 มิลลิลิตร

วัดระยะเวลาการรั่วซึมของสารซิลเวอร์ไนเตรดด้วยกล้องจุลทรรศน์ สเตอริโอกำลังขยาย 45 เท่า จำนวน 3 ครั้ง เทียบระยะที่วัดได้จากกล้องกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 45 เท่ากับสเกลมาตรฐาน แล้วนำผลที่ได้มาเฉลี่ย วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางต่ำสุด และ ระยะทางสูงสุด และวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ดังรูปที่ 14 และ ตารางที่ 2



รูปที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงผลการรั่วซึมเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่เกิดขึ้นในคลองราก ในตอนที่ 2

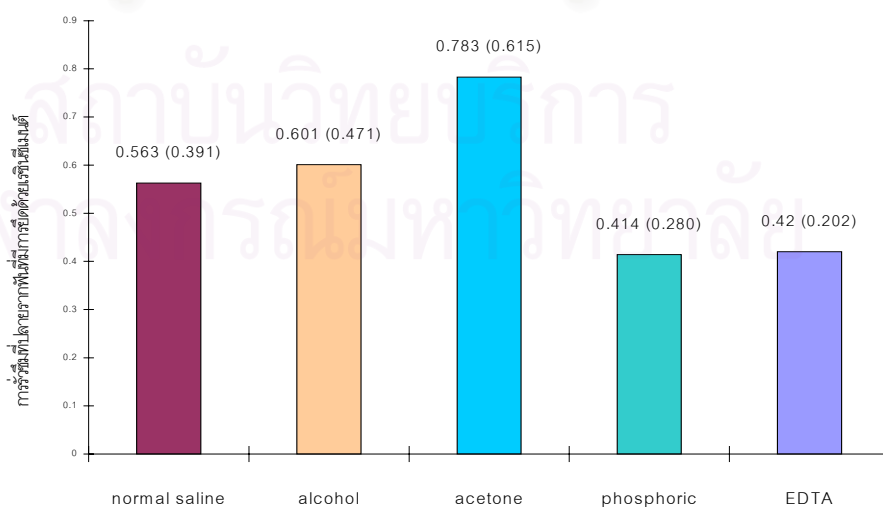
ตารางที่ 2 แสดงผลระยะทางรั่วซึมเฉลี่ยในคลองราก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั่วซึมต่ำสุด และระยะทางการรั่วซึมสูงสุด (a, b : สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม, LSD,  $\alpha = 0.05$ )

กลุ่ม	จำนวน (ซี่)	ระยะทางเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ระยะสูงสุด (มิลลิเมตร)
น้ำเกลือ	15	0.135 <sup>a</sup>	0.119	0.000	0.290
แอลกอฮอล์	15	0.699 <sup>b</sup>	0.370	0.000	1.568
อะซีโตน	15	0.670 <sup>b</sup>	0.327	0.213	1.226
กรดฟอสฟอริก	15	0.678 <sup>b</sup>	0.340	0.411	1.455
อีดีทีเอ	15	0.909 <sup>b</sup>	0.380	0.495	1.866

จากตารางที่ 2 จะพบได้ว่าระยะทางการรั้วซึมเฉลี่ยมีค่าน้อยไปมากดังนี้กลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลือ 0.135 มิลลิเมตร กรดฟอสฟอริก 0.678 มิลลิเมตร แอลกอฮอล์ 0.699 มิลลิเมตร อะซีโตน 0.670 มิลลิเมตร และค่าระยะทางรั้วซึมมากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ 0.909 มิลลิเมตร เมื่อนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าระยะทางการรั้วซึมเฉลี่ยจากการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆมีค่าต่างกันอย่างน้อยใน 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงหาความสัมพันธ์ทางสถิติต่อโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการล้างคลองรากด้วยน้ำเกลือให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั้วซึมน้อยกว่าการล้างด้วยแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั้วซึมระหว่างแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างกลุ่มของสารทั้ง 4 ชนิด

ตอนที่ 3 ทดสอบการรั้วซึมบริเวณปลายราก รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันที่ส่วนบนรากฟัน และการทดสอบแรงยึด เมื่อทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ภายหลังการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีต่างๆ 5 แบบ

การวัดการรั้วซึมแบ่งบริเวณในการวัดระยะทางการรั้วซึม 2 บริเวณ คือที่บริเวณปลายรากฟัน กับ บริเวณรากฟันส่วนบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ โดยในส่วนปลายรากฟันให้ผลการทดลองเป็นระยะทางเฉลี่ยจากการวัดระยะทางการรั้วซึม 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย สเตอริโอ 45 เท่า นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางต่ำสุด ระยะทางสูงสุด และวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ผลการทดลองดัง รูปที่ 15 และ ตารางที่ 3



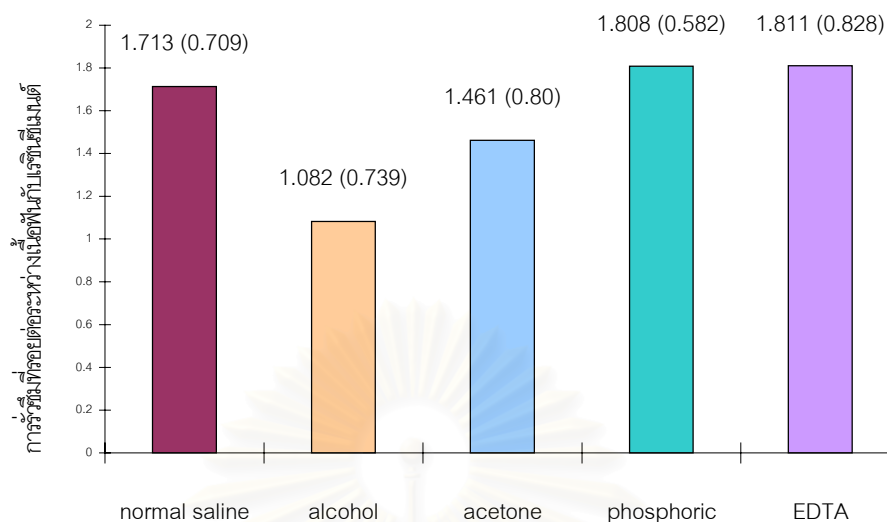
รูปที่ 15 แผนภูมิแท่งแสดงการรั้วซึมที่ปลายรากฟัน ภายหลังจากการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ในตอนที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลระยะทางร้วชึมเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการร้วชึมต่ำสุด และ ระยะทางการร้วชึมสูงสุด ที่บริเวณปลายราก ในการทดลองตอนที่ 3 ( a :สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม , LSD,  $\alpha = 0.05$ )

กลุ่ม	จำนวน ( ซี่ )	ระยะทางเฉลี่ย ( มิลลิเมตร )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะต่ำสุด ( มิลลิเมตร )	ระยะสูงสุด ( มิลลิเมตร )
น้ำเกลือ	15	0.563 <sup>a</sup>	0.391	0.000	1.295
แอลกอฮอล์	15	0.601 <sup>a</sup>	0.471	0.000	1.811
อะซีโตน	15	0.783 <sup>a</sup>	0.615	0.156	2.133
กรดฟอสฟอริก	15	0.414 <sup>a</sup>	0.280	0.000	0.853
อีดีทีเอ	15	0.420 <sup>a</sup>	0.202	0.000	0.693

จากตารางที่ 3 จะพบว่าระยะทางการร้วชึมเฉลี่ยที่บริเวณปลายรากมีค่าน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มที่ล้างด้วยกรดฟอสฟอริก 0.414 มิลลิเมตร อีดีทีเอ 0.420 มิลลิเมตร น้ำเกลือ 0.563 มิลลิเมตร แอลกอฮอล์ 0.601 มิลลิเมตร และค่าระยะทางร้วชึมมากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน 0.783 มิลลิเมตร เมื่อนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าระยะทางการร้วชึมเฉลี่ยจากการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆไม่มีกลุ่มใดที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นคือการล้างด้วยสารชนิดต่างๆทั้ง 5 ชนิดไม่มีผลกระทบต่อการร้วชึมที่ปลายรากในระยะทางการร้วชึมที่แตกต่างกัน

การวัดการร้วชึมอีกบริเวณ คือการร้วชึมบริเวณรากฟันส่วนบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ดังรูปตัวอย่างแสดงการร้วชึมจากผลของการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ รูปที่ 25,26,27,28 และ 29 ผลที่ได้เป็นระยะทางเฉลี่ยจากการวัดระยะทางการร้วชึม 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย สเตอริโอ 45 เท่า นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะทางต่ำสุด ระยะทางสูงสุด และวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ผลการทดลองดัง รูปที่ 16 และ ตารางที่ 4



รูปที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยการรั่วซึม (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันในการทดลองตอนที่ 3

ตารางที่ 4 แสดงผลระยะทางรั่วซึมเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะทางการรั่วซึมต่ำสุด และระยะทางการรั่วซึมสูงสุด ที่บริเวณรากฟันส่วนบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ (a, b : สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม , LSD,  $\alpha = 0.05$ )

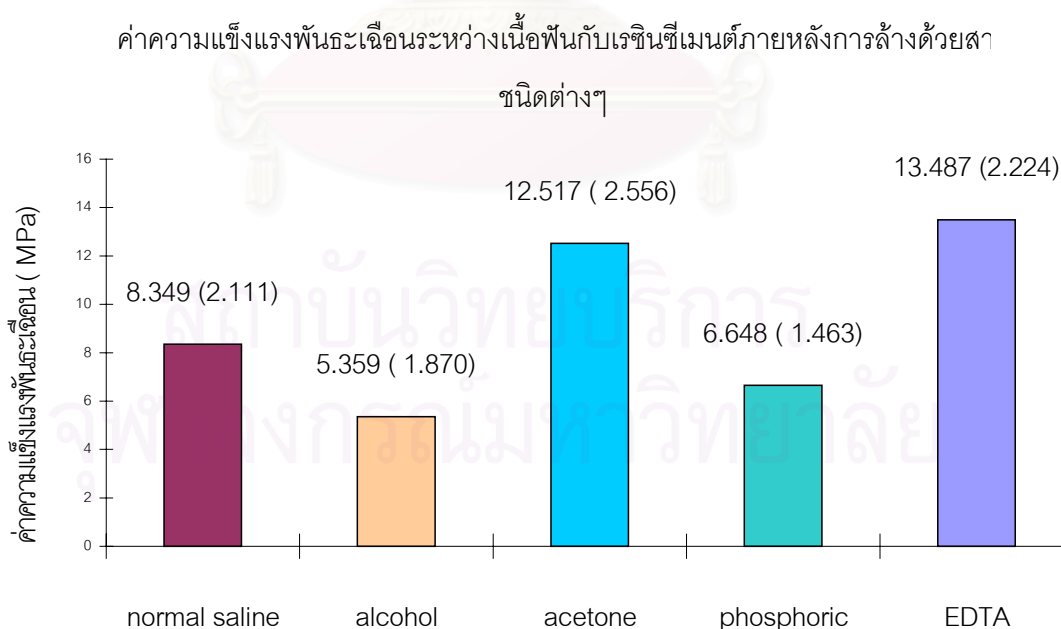
กลุ่ม	จำนวน (ซี่)	ระยะทางเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ระยะสูงสุด (มิลลิเมตร)
น้ำเกลือ	15	1.713 <sup>b</sup>	0.709	0.285	2.571
แอลกอฮอล์	15	1.082 <sup>b</sup>	0.739	0.100	2.285
อะซีโตน	15	1.461 <sup>a,b</sup>	0.800	0.048	2.800
กรดฟอสฟอริก	15	1.808 <sup>b</sup>	0.582	0.800	2.510
อีดีทีเอ	15	1.811 <sup>b</sup>	0.828	0.229	2.997

จากตารางที่ 4 จะพบได้ว่าระยะทางการรั่วซึมเฉลี่ยมีค่าน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มที่ล้างด้วยแอลกอฮอล์ 1.082 มิลลิเมตร อะซีโตน 1.461 มิลลิเมตร น้ำเกลือ 1.713 มิลลิเมตร กรดฟอสฟอริก 1.808 มิลลิเมตร และค่าระยะทางรั่วซึมมากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ 1.811 มิลลิเมตร เมื่อนำ



ผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าระยะทางการรื้อซี่มเฉลี่ยจากการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆมีค่าต่างกันอย่างน้อยใน 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงหาความสัมพันธ์ทางสถิติต่อโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการล้างคลองรากด้วยแอลกอฮอล์ ให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการรื้อซี่มน้อยกว่าการล้างด้วยอะซีโตน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ให้ค่าการรื้อซี่มน้อยแตกต่างจากการล้างด้วย กรดฟอสฟอริก น้ำเกลือและ อีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะทางการรื้อซี่มระหว่าง น้ำเกลือ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างกลุ่มของสารทั้ง 4 ชนิด

การทดสอบสุดท้ายในการทดลองตอนที่ 3 คือการทดสอบความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออกกระหว่างเนื้อฟัน และ เรซินซีเมนต์ ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ค่าที่ได้มาจากการวัดด้วยเครื่องลอยด์ ที่ใช้แรงกด 1 KN ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าแรงยึดเป็นนิวตันแล้วคำนวณบันทึกค่าแรงยึดเป็นเมกะปาสคาล (MPa) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ผลการทดลองดัง รูปที่ 17 และ ตารางที่ 5

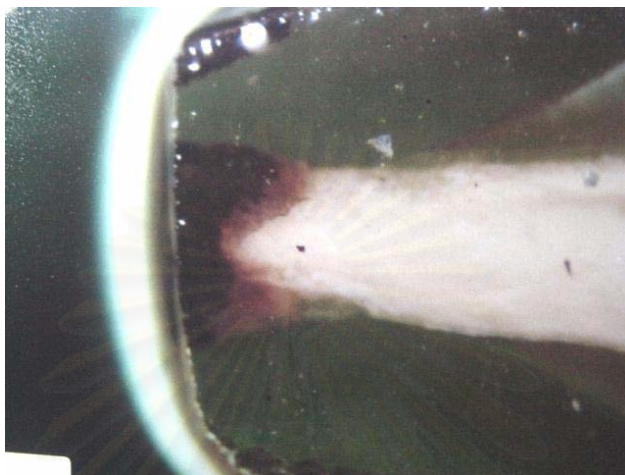


รูปที่ 17 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะเชื่อมแบบผลึกออก ( ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในการทดลองตอนที่ 3

ตารางที่ 5 แสดงผลความแข็งแรงพันธะเชื่อมเฉลี่ย (เมกะปาสคาล) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแข็งแรงพันธะเชื่อมต่ำสุด และความแข็งแรงพันธะเชื่อมสูงสุด ระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ภาย หลังการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ (a , b , c : สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม , LSD,  $\alpha = 0.05$ )

กลุ่ม	จำนวน (ซี่)	แรงยึดเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แรงยึดต่ำสุด (เมกะปาสคาล)	แรงยึดสูงสุด (เมกะปาสคาล)
น้ำเกลือ	15	8.349 <sup>b</sup>	2.111	4.593	11.176
แอลกอฮอล์	15	5.359 <sup>a</sup>	1.870	2.602	8.350
อะซีโตน	15	12.517 <sup>c</sup>	2.556	9.273	17.589
กรดฟอสฟอริก	15	6.648 <sup>a</sup>	1.463	4.796	9.050
อีดีทีเอ	15	13.487 <sup>c</sup>	2.224	10.827	17.720

จากตารางที่ 5 จะพบได้ว่าค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมเฉลี่ยมีค่าน้อยไปมากจากผลของการล้างคลองรากด้วยสารชนิดต่าง 5 ชนิด ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ดังนี้ กลุ่มที่ล้างด้วยแอลกอฮอล์ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมน้อยที่สุดเท่ากับ 5.359 เมกะปาสคาล ตามด้วย กรดฟอสฟอริก 6.648 เมกะปาสคาล น้ำเกลือ 8.349 เมกะปาสคาล อะซีโตน 12.517 เมกะปาสคาล และค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมที่มากที่สุดคือกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ มีค่าแรงยึด 13.487 เมกะปาสคาล เมื่อนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมเฉลี่ยจากผลของการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์มีค่าต่างกันอย่างน้อยใน 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ทางสถิติต่อโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีการทดสอบแอลเอสดี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการล้างคลองรากด้วยแอลกอฮอล์ และกรดฟอสฟอริก ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะเชื่อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่น้อยกว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มที่มีการล้างด้วยน้ำเกลือ อย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าเฉลี่ยในกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลือพบว่ามีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน และ อีดีทีเอ และค่าเฉลี่ยแรงยึดมากที่สุดพบในกลุ่มที่ล้างด้วย อะซีโตน และ อีดีทีเอ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



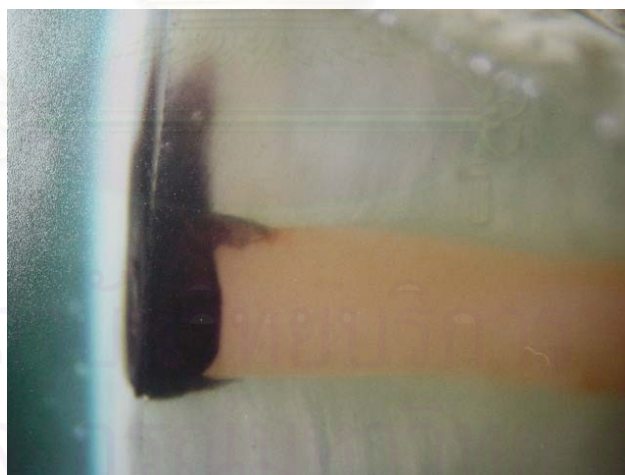
รูปที่ 18 แสดงการรื้อซึมที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากในกลุ่มการทดลองที่1.1



รูปที่ 19 แสดงการรื้อซึมที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากในกลุ่มการทดลองที่1.2



รูปที่ 20 รูปตัวอย่างแสดงการรบกวนที่เพิ่มขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2  
เมื่อมีการล้างด้วยน้ำเกลือ



รูปที่ 21 รูปตัวอย่างแสดงการรบกวนที่เพิ่มขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2  
เมื่อมีการล้างด้วยแอลกอฮอล์



รูปที่ 22 รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลอง  
ตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยอะซีโตน



รูปที่ 23 รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลอง  
ตอนที่ 2 เมื่อมีการล้างด้วยกรดฟอสฟอริก 37 %





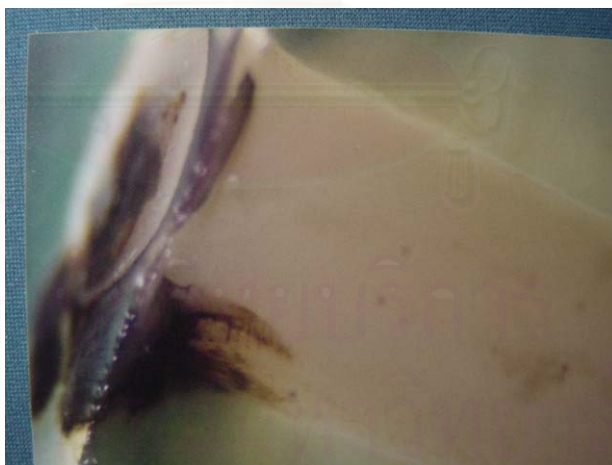
รูปที่ 24 รูปตัวอย่างแสดงการรื้อรื้อที่ที่เกิดขึ้นที่ภายในคลองรากฟัน ในการทดลองตอนที่ 2  
เมื่อมีการล้างด้วย อีดีทีเอ



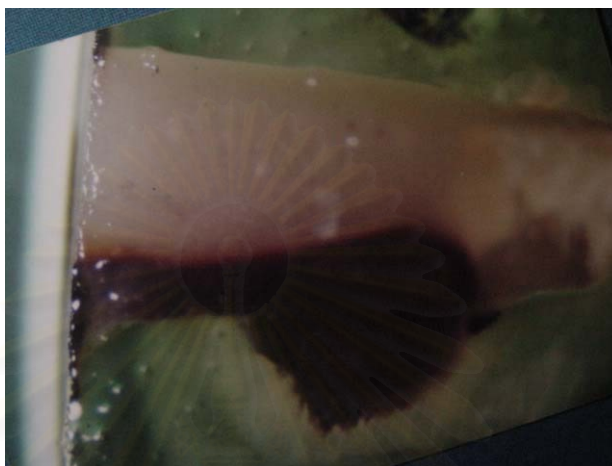
รูปที่ 25 รูปตัวอย่างแสดงการรื้อรื้อที่ที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์  
ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วย แอลกอฮอล์



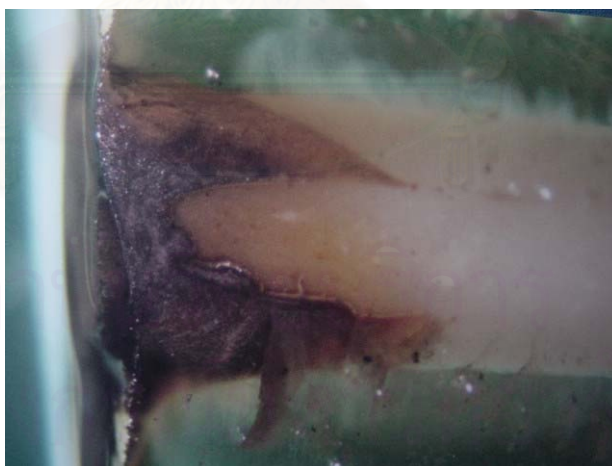
รูปที่ 26 รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์  
ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน



รูปที่ 27 รูปตัวอย่างแสดงการรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์  
ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำเกลือ



รูปที่ 28 รูปตัวอย่างแสดงการรื้อซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์  
ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วยกรดฟอสฟอริก



รูปที่ 29 รูปตัวอย่างแสดงการรื้อซึมที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์  
ในการทดลองตอนที่ 3 ในกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองนี้ ศึกษาการรื้อรื้อที่เกิดขึ้นในตัวฟันและที่บริเวณปลายรากฟัน ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ ซึ่งการรื้อรื้อเหล่านี้เป็นสาเหตุหนึ่งในการล้มเหลวของการรักษารากฟันและการบูรณะฟัน หลังจากการรักษารากฟันเสร็จเรียบร้อยแล้วด้วยการใส่เดือยฟันและครอบฟัน เป็นต้น ทั้งนี้ เพราะเมื่อเกิดการรื้อรื้อ จะทำให้เกิดการแพร่ผ่านของเชื้อจุลินทรีย์และสารพิษไปตามรอยต่อระหว่างวัสดุอุดรากฟันกับเนื้อฟัน ซึ่งจะทำให้การรักษาด้วยการใส่เดือยและครอบฟันไม่ประสบผลสำเร็จตามมา และนอกจากนี้ในการทดลองได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ ดังนั้นความสำคัญ ในการบูรณะฟันที่รักษารากประสบผลสำเร็จเรียบร้อยแล้ว จึงขึ้นกับกระบวนการและขั้นตอนในการเตรียมคลองรากฟันสำหรับการทำเดือยฟันให้เหมาะสมกับการยึดเดือยฟันด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ ซึ่งจะส่งผลต่อการรื้อรื้อและการยึดของเดือยฟันและครอบฟันตามมา

### อภิปรายขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟันสำหรับการทำเดือยฟัน โดยหลักการทั่วไปแล้ว คลองรากฟันจะต้องเหลือวัสดุอุดปลายรากฟันอย่างน้อย 3-5 มิลลิเมตร จึงจะป้องกันการรื้อรื้อได้ดี ( Shillinburg, 1982 ; Weine ,1982) โดยระยะ 3 มิลลิเมตร คือระยะที่น้อยที่สุดที่สามารถป้องกันการรื้อรื้อได้ (Portell และคณะ,1982) และการเหลืออยู่ของวัสดุกัตตาเปอร์ชาที่ปลายราก จะต้องอยู่ในลักษณะที่สมบูรณ์ แน่น จึงจะสามารถป้องกันการรื้อรื้อได้ ดังนั้นในการเตรียมคลองรากฟันโดยการนำวัสดุอุดคลองรากฟันกัตตาเปอร์ชาออก จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของวัสดุอุดคลองรากฟัน โดย Haddix และคณะ(1990) ได้สรุปวิธีการในการนำกัตตาเปอร์ชาออก 3 วิธี ดังนี้

1. การใช้สารเคมีทำให้อ่อนนุ่ม เช่น คลอโรฟอรั่ม ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการรื้อรื้อปลายรากมากที่สุด
2. การใช้ความร้อน โดยการใช้เครื่องมือลนไฟตัดกัตตาเปอร์ชาออกแล้วใช้พลังเกอร์อัดกัตตาเปอร์ชาที่เหลือให้แน่น เป็นวิธีที่ปลอดภัยแต่อาจใช้ไม่ได้ในคลองรากที่เล็ก
3. การใช้เครื่องกลเช่นหัวกรอเกลด กลัดเดน ดริลล์ ในการนำกัตตาเปอร์ชาออก เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ต้องใช้อย่างระมัดระวัง

จะพบได้ว่า วิธีการที่ 2 และ3 จะลดการรื้อรื้อที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้วิธีการที่ 2 โดยการใช้เครื่องมือลนไฟค่อยๆนำกัตตาเปอร์ชาออกแล้วอัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นวิธีการที่ปลอดภัย

ต่อการที่จะตัดกัตตาเปอร์ซาเกินจากที่ต้องการ ไม่ทำให้เกิดการละลายของกัตตาเปอร์ซาและสารอุดเชื่อมซึ่งจะทำให้เกิดการรั่วซึมที่มากตามมา และสามารถทำได้ง่ายในรากฟันของการทดลองที่เตรียมคลองรากในลักษณะที่ใหญ่และตรง

การวัดการรั่วซึม สามารถทำได้หลายวิธี ในการทดลองนี้เลือกใช้ซิลเวอร์ในเทรต ที่อนุภาคของซิลเวอร์ไอออนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมาก 0.059 นาโนเมตร สามารถแทรกซึมผ่านขอบรอยต่อระหว่างวัสดุอุดกับเนื้อฟันได้ดี เกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมี และการยึดติดเชิงกลได้ ถ้าเกิดการล้มเหลวในการยึดติดในเนื้อวัสดุ หรือระหว่างวัสดุกับเนื้อฟัน โดยการทดลองที่ผ่านมามักจะใช้ ซิลเวอร์ในเทรตกับการทดลองเรื่องเดนทีนบอนด์ และมีการวัดค่าด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด จึงได้ค่าการรั่วซึมที่ค่อนข้างมาก แต่ในการทดลองนี้เป็นการวัดระยะการรั่วซึมที่ได้ค่าการรั่วซึมที่ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการที่ใช้ในการวัดที่ให้ความละเอียดที่แตกต่างกัน โดยการทดลองนี้ใช้การวัดด้วยการขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์สแตอริโอกำลังขยาย 45 เท่า วัดระยะการรั่วซึม 3 ครั้งในเวลาที่แตกต่างกันแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย นอกจากนี้ในการวัดการรั่วซึมเป็นระยะที่เห็นได้จากการนำฟันที่ผ่านการแช่ซิลเวอร์ในเทรตเพื่อให้เกิดการแทรกซึมของสารเรียบร้อยแล้ว มาผ่านกระบวนการละลายส่วนเนื้อเยื่อแข็งด้วยการแช่กรดไนตริก ความเข้มข้น 5 % เป็นเวลา 3 วัน ตามด้วยการแช่ในเอทิล แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 70 , 95 และ 100 % แล้วนำมาแช่ต่อในเมทิลซาลิไซเลต เพื่อทำให้โครงสร้างของฟันที่เหลือใส (Ahlberg , 1995) เพื่อให้สามารถนำมาวัดระยะการรั่วซึม พบว่าวิธีนี้สามารถทำให้เกิดการละลายของสารย้อมสีเล็กน้อย ดังนั้นความแม่นยำและถูกต้องในการวัดระยะการรั่วซึมในการทดลองนี้จึงอาจได้ค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารซิลเวอร์ในเทรตตามการทดลองของสารเดนทีนบอนด์อื่นๆ แต่ข้อดีของการใช้วิธีนี้ในการวัดระยะการรั่วซึมคือ สามารถมองเห็นการรั่วซึมที่เกิดขึ้นได้ในทุกมิติของชิ้นงาน จึงเป็นการดูการรั่วซึมได้รอบ ไม่ถูกจำกัดอยู่เพียงระนาบเดียวที่นำมาวัดระยะการรั่วซึมซึ่งอาจทำให้เกิดการพลาดค่าที่ถูกต้องได้ และค่าที่ได้จากการใช้วิธีนี้ยังได้ค่าที่ถูกต้องและละเอียดกว่าการวัดที่ใช้วิธีการตัดฟันตามขวางเป็นชิ้นบางเพื่อวัดระยะการรั่วซึมซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องความหนาของไบเล็อยทำให้ค่าที่ได้มีค่าหยาบตามความหนาของไบเล็อย

ในการทดลองตอนที่ 1 เป็นการวัดระยะการรั่วซึมจากปลายรากฟัน จากการที่ปล่อยให้ซิลเวอร์ในเทรตแทรกซึมผ่านรูเปิดปลายรากที่ได้มีการใช้ไฟล์ เบอร์ 10 ผ่านทะลุพอดีปลายราก แต่ไฟล์เบอร์ 20 ไม่สามารถดันผ่านรูเปิดปลายรากได้ ดังนั้นสารซิลเวอร์ในเทรตจึงสามารถแทรกซึมผ่านรูเปิดปลายราก ที่ไม่ได้มีการเคลือบยาทาเล็บป้องกันการแทรกซึมไว้ พบว่าที่บริเวณปลายรากฟันจะมีการย้อมติดสีซิลเวอร์ในเทรตค่อนข้างมากเห็นได้ด้วยตาเปล่าเป็นสีน้ำตาลถึงดำ จึงเป็นการยากในการหาจุดตั้งต้นของการวัดระยะการรั่วซึมจากจุดเริ่มต้นที่กัตตาเปอร์ซาที่อุดอยู่บริเวณปลายรากห่างจากจุดปลายราก 1 มิลลิเมตร ดังนั้น ในการทดลองนี้ก่อนการวัดระยะการรั่วซึมที่ปลายราก จำเป็นต้องมี



การฝนปลายรากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร จากปลายรากสุดถึงระยะที่มีกัตตาเปอร์ซาที่ได้ทำการอุดไว้ โดยค่อยๆฝนปลายรากกับกระดาษทรายเบอร์ 400 ที่ละน้อย ล้างแล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดู จุดตั้งต้นของกัตตาเปอร์ซา ดังนั้นเป็นไปได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดระยะการรั่วซึมในครั้งนี้ได้ค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้เพราะอาจมีความผิดพลาดในการฝนปลายรากฟันในบางครั้งที่อาจมีการฝนกินเนื้อฟันเกินความเป็นจริงเล็กน้อย

### อภิปรายผลการวิจัยในตอนที่ 1

จากการทดลองในตอนที่ 1 การรั่วซึมปลายรากฟันเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่อุดเต็มคลองรากฟัน กับกลุ่มที่มีการนำกัตตาเปอร์ซาออกด้วยกระบวนการการใช้เครื่องมือมือฉีดยา แล้วกดอัดกัตตาเปอร์ซาให้แน่นเหลือ 3 มิลลิเมตร ให้ผลการทดลองออกมาว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมในกลุ่มที่มีการนำกัตตาเปอร์ซาออกจะมีค่ามากกว่า (0.754 มิลลิเมตร กับ 0.669 มิลลิเมตร) และระยะทางการรั่วซึมสูงสุดเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปหลักการที่ใช้และวิธีการที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ว่า การรั่วซึมที่เกิดขึ้นจะไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลองที่อุดเต็มคลองรากฟัน กับกลุ่มที่เป็นตัวแทนของฟันที่ได้รับการเตรียมคลองรากฟันสำหรับการทำเดือยฟัน ด้วยการนำกัตตาเปอร์ซาออกด้วยการใช้เครื่องมือมือฉีดยาแล้วกดและอัดให้แน่น ซึ่งผลการทดลองที่ได้ นี้ตรงตามการทดลองของ Haddix และคณะ (1990) ที่พบว่าการนำกัตตาเปอร์ซาออกจากรากฟันด้วยการใช้เครื่องมือที่ร้อนแล้วอัดแน่นด้วยพลังเทอร์โมพลาสติก จะไม่ส่งผลกระทบต่อ การปิดสนิทแน่นปลายราก ถ้ายังคงมีกัตตาเปอร์ซาเหลืออยู่อย่างน้อย 3 มิลลิเมตร ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 1 นี้ จึงสามารถนำหลักการและวิธีการไปใช้ต่อไปในการทดลองต่อไปเพื่อวัดระยะการรั่วซึมที่เกิดขึ้นจากผลของการล้างด้วยสารเคมีชนิดต่างๆภายในคลองรากฟันก่อนการยึดด้วยซีเมนต์ เพื่อให้ได้การยึดติดแน่นของเดือยฟันที่ดี

การรั่วซึมที่เกิดขึ้นจากการทดลองของทั้งสองกลุ่มการทดลอง ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการรั่วซึมที่ปลายรากสามารถเกิดขึ้นได้ในการทำงานโดยทั่วไป ทั้งนี้เป็นผลจากการอุดคลองรากฟันที่ไม่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมแน่นสนิทระหว่างกัตตาเปอร์ซากับเนื้อฟันได้ตลอดความยาวของรากฟันที่ได้รับการอุด ซึ่งอาจเป็นผลจากเทคนิคที่ใช้และความชำนาญในการอุดคลองรากฟันที่ไม่มากพอ ส่งผลให้เกิดช่องว่างและจุดบกพร่องเล็กๆ ที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมได้ โดยทั้งนี้การเหลือวัสดุอุดในคลองรากฟันได้มากขึ้นจะเป็นการป้องกันการรั่วซึมที่จะเกิดขึ้นตามมา

ในกรณีของการอุดคลองรากฟัน Madison และ Krell (1984) รวมทั้ง Evan และ Simon (1986) พบว่าการมีหรือไม่มีของชั้นสเมียร์ ไม่ให้ผลแตกต่างต่อการปิดสนิทแน่นที่บริเวณปลายราก และในการศึกษาของ Saunders และ Saunders (1992) ให้ผลที่ค่อนข้างแน่ชัดแล้วว่าการรั่วซึมของ

คลองรากส่วนคอพื้นจะเกิดขึ้นน้อยกว่าในกลุ่มการทดลองที่มีการกำจัดชั้นสเมียร์ โดยทั้งนี้การทดลองให้ผลที่แตกต่างกันเพราะใช้สารที่ล้างเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์แตกต่างกัน

การทดลองนี้เป็นการทำในห้องปฏิบัติการ ไม่ได้เป็นการทำในช่องปากของผู้ป่วย ดังนั้นจึงเป็นการง่ายในการที่จะควบคุมความร้อนของเครื่องมือลนไฟให้ได้ระดับความร้อนเดียวกัน โดยการลนไฟให้เครื่องมือเปลี่ยนสีเป็นสีแดงถึงจุดอ้างอิงทุกครั้งแล้วรีบนำมาใช้งานทันที รวมทั้งในการทดลองนอกปากสามารถระมัดระวังและสามารถควบคุมเครื่องมือได้ค่อนข้างดีกว่าการทำงานในช่องปาก นอกจากนี้ในการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการกดและอัดกัตาเปอร์ชามีพื้นที่หน้าตัดที่ใกล้เคียงกับความกว้างของพื้นที่หน้าตัดของคลองรากฟันในระดับที่เหลือกัตาเปอร์ช่า 3 มิลลิเมตร จึงเป็นการง่ายในการควบคุมขึ้นการทดลองแต่ละชิ้นให้มีการอัดแน่นได้ค่อนข้างมาก จึงเป็นผลให้การนำกัตาเปอร์ช่าออกในการเตรียมคลองรากไม่มีผลต่อการรั่วซึมแตกต่างไปจากกลุ่มที่มีการอุดเต็มในคลองรากฟัน และในการทดลองนี้ค่าสูงสุดของระยะการรั่วซึมจึงมีเพียง 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าระยะ 3 มิลลิเมตรทำให้ป้องกันการรั่วซึมได้ ซึ่งในทางคลินิกผลของการรั่วซึมจึงน่าจะมีแนวโน้มที่จะมีค่าการรั่วซึมมากกว่านี้ เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้อง

Goldman และคณะ (1984) พบว่าชั้นสเมียร์ที่พบบนผิวเนื้อฟันยังมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการยึดอยู่ของเดือยฟันและครอบฟัน โดยเสนอแนะเกี่ยวกับสารที่สามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์สามารถใช้ได้ตั้งแต่ กรด และ สารคีเลตถึง ชนิดต่างๆ ซึ่งสารเหล่านี้จะกำจัดชั้นสเมียร์ตั้งแต่ชั้นพื้นผิวและสามารถนำ สเมียร์พลัค (plug) ในบริเวณปลายสุดของท่อเนื้อฟันที่ติดกับผิวฟันออกได้ ในการทดลองนี้แสดงผลให้เห็นว่าการใช้ อีดีทีเอ ความเข้มข้น 17% สามารถกำจัดสเมียร์ในท่อเนื้อฟัน โดยซีเมนต์ที่ใช้คือ บิสซีเอ็มเอเรซิน ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟัน ทำให้มีค่าความแข็งแรงยึดที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการใช้ อีดีทีเอ ความเข้มข้น 17% และในการทดลองของ Dahl และ Niom (1977) แสดงให้เห็นผลของการทำความสะอาดผิวฟันด้วยการใช้ฟัมมิช ซึ่งพบว่าให้ค่าความแข็งแรงยึดอยู่มากกว่าในการใช้โพลิคาบอกรีเลตซีเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีกำจัดชั้นสเมียร์

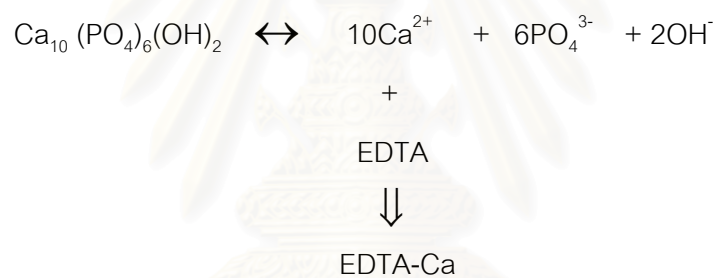
ดังนั้นจึงพบว่ามีความจำเป็นในการกำจัดชั้นสเมียร์โดยหวังผลของการป้องกันการรั่วซึมและค่าความแข็งแรงยึดที่มากขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่ทำการรักษาด้วยการใช้สารที่มีโพลิเมอร์เป็นองค์ประกอบ การใช้สารเคมีล้างทำความสะอาดมีความจำเป็นมากขึ้น ไม่เพียงแต่เป็นการกำจัดชั้นสเมียร์ปกติที่ตกค้างเท่านั้นแต่ยังเป็นการกำจัดสารบางชนิดที่ตกค้างซึ่งส่งผลต่อการทำงานในขั้นต่อไป เช่นยูจินอลที่จัดว่าเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชัน

มีการทดลองในอดีตที่แสดงผลให้เห็นว่า ยูจินอลส่งผลต่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน โดย Paul และ Scharer (1997) ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมในเนื้อฟันที่มีการสัมผัสกับซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอลและไม่มียูจินอล และทำความเข้าใจความสะอาดพื้นผิวเนื้อฟันด้วยหินพัมมิชก่อนทำการยึดกับเดนทีนบอนด์ชนิดต่างๆ พบว่าซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่มียูจินอลให้ค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการทดลองนี้ พบว่า ในสภาวะที่มีความชื้นตลอดเวลา ทำให้เกิดการแทรกซึมของยูจินอลเข้าไปในเนื้อฟัน ซึ่งไม่สามารถนำยูจินอลออกได้จากการทำความสะอาดด้วยผงหินขัดพัมมิช

## อภิปรายขั้นตอนการวิจัยในตอนที่ 2

จากการทดลองที่ผ่านมาจะพบได้ว่าการทำความสะอาดผิวและกำจัดผลของยูจินอลเป็นกระบวนการที่สำคัญก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ทั้งนี้สารที่ใช้ในการทำความสะอาดอาจมีฤทธิ์ในการละลายและล้างยูจินอล ในกรณีที่มียูจินอลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อฟัน หรือมีกลไกการกำจัดชั้นสเมียร์ที่มียูจินอลตกค้าง โดยสารเหล่านี้หากทำหน้าที่ได้ดี จะเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์ ไม่ก่อให้เกิดการรั่วซึมระหว่างวัสดุกับเนื้อฟัน ทั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่าในกรณีของการบูรณะด้วยเดือยฟัน สารที่ใช้ในการล้างคลองรากเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการปิดสนิทแน่นของวัสดุอุดปลายรากที่เข้าร่วมกับซีเมนต์อุดปลายรากที่มียูจินอลด้วยหรือไม่ จึงเป็นที่มาของการทดลองในตอนที่ 2 โดยการทดลองนี้เลือกสารที่นำมาใช้ในการกำจัดชั้นสเมียร์และยูจินอลที่ตกค้าง 5 ชนิด ได้แก่ น้ำเกลือ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้โดยทันตแพทย์ทั่วไป หาง่าย ราคาไม่แพง สะอาดปลอดภัยโรคไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ มีพิษน้อย อายุการใช้งานนาน เก็บรักษาง่าย มีค่าความตึงผิว (surface tension) 66 ดายน์ต่อเซ็นติเมตร (dyne / cm) ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำเกลือเป็นสารกลุ่มตัวควบคุมการทดลอง แอลกอฮอล์ เป็นสารที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวัน มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ถูกนำมาใช้เป็นหนึ่งในการล้างคลองราก ทั้งนี้เพราะเป็นหนึ่งในสารที่มีการทดลอง (Tjan และ Nemetz, 1992) แล้วให้ผลการทดลองว่าสามารถกำจัดยูจินอลได้ ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงยึดที่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะแอลกอฮอล์เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงมีความสามารถที่จะละลายยูจินอลได้ และแอลกอฮอล์ยังมีความตึงผิวที่น้อย จึงมีความสามารถในการไหลแผ่บนพื้นผิวฟันได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สารล้างทำความสะอาดคลองรากควรมี เพราะจะเป็นการทำให้มีการสัมผัสที่ใกล้ชิด (intimate contact) กับทุกพื้นผิว นอกจากนี้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 70%-90% ยังมีความสามารถในการเป็นสารที่ดึงโมเลกุลของน้ำและกำจัดสารที่ตกค้างในคลองราก ทำให้คลองรากแห้งได้มากขึ้น อะซีโตนเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก และมีอัตราการระเหยสูง มีความตึงผิวน้อย ประมาณ 23.5 ดายน์ต่อเซ็นติเมตร จึงถูกนำมาใช้ในการกำจัดน้ำมันที่นิยมนำมาใช้ผสมในสารอุดเชื่อม สามารถละลายน้ำได้และมีความสามารถในการเป็นสารที่ดึงโมเลกุลของน้ำ กรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้น 37% ทั้งนี้ กรดฟอสฟอริกเป็นกรดที่ทันตแพทย์ทั่วไปคุ้นเคยในการทำงาน หาง่าย มีใช้ประจำในคลินิก ราคาไม่แพง กรดชนิดนี้มีความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์ได้ดีในระยะเวลาสั้น เป็นกรดชนิดแรงมีค่า pH=0.1 (Windholz,1988) พบว่าเมื่อใช้กรดกัดพื้นผิวฟันจะทำให้มีการกำจัดชั้นสเมียร์ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟันบางส่วน เกิดการเปิดกว้างขึ้นของปากท่อเนื้อฟันประมาณ 3 เท่า และเกิดการตกค้างของสารอินทรีย์ในกรดเป็นแผ่นฟิล์มที่เนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน แต่ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาที่ใช้งาน และสุดท้ายคือ เอ็ดที่ลินไดเอมีน เททราอะซีติก (Ethylenediaminetetraacetic acid) หรืออีดีทีเอ 17% pH= 7.5 ถูกนำคุณสมบัติมาใช้เริ่มต้นโดย Ostby(1957) เป็นสารคีเลติง (chelating agent) ที่มีความสามารถในการทำความสะอาดพื้นผิวเนื้อฟันได้ดี โดยสามารถกำจัดเศษตกค้างของเนื้อฟันและชั้นสเมียร์ โดยสารอีดีทีเอ มีความสามารถในการจับกับแคลเซียม เกิดสารประกอบ อีดีทีเอ-แคลเซียม ที่คงตัว โดยหลักการจะทำงานได้ในสภาวะที่เป็นกลาง และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะหยุดเมื่อถึงจุดสมดุล แสดงเป็นสมการได้ดังนี้



ประสิทธิภาพของ อีดีทีเอที่นำมาใช้ สามารถกำจัดสเมียร์ได้ ในหลายๆส่วนผสม หลายความเข้มข้น หลายปริมาณที่แตกต่างกันในการใช้และเวลาที่แตกต่างกัน Fehr และ Nygaard-Ostby, (1963) พบว่าสารคีเลติงสามารถทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุในเนื้อฟันได้ลึกถึง 20-30 ไมครอน ใน 5 นาที แต่ผลของสารคีเลติงจะมีประสิทธิภาพน้อยลงบริเวณส่วนหนึ่งในสามที่ปลายรากฟัน (Fraser, 1974) สารตัวนี้มีความตึงผิว 46 ดายน์ต่อเซ็นติเมตร Goldman และคณะ(1982) ทำการทดลองใช้สารร่วมกัน พบว่าสารผสมระหว่าง อีดีทีเอ 17% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตามด้วย NaOCl 5.25% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพสูงสุดในการล้างคลองราก นั่นคือมีการทำความสะอาดได้ดีในชั้นผิวนอกที่มีการตกค้างของเศษเนื้อเยื่อ และมีการกำจัดสเมียร์ในชั้นสเมียร์และในท่อเนื้อฟัน ในขณะที่การใช้ คีเลติงชนิดเดียวตามการทดลองของ Yamada และคณะ (1983) การใช้ 17%อีดีทีเอ อย่างเดียวมีความสามารถในการกำจัดสเมียร์ได้ดีแต่ยังคงมีการตกค้างของเศษเนื้อเยื่อเล็กน้อย เช่นเดียวกันกับผลการทดลองของ Lenarda และคณะ(2000) ที่ใช้ 15% อีดีทีเอ ล้างในคลองราก 20 วินาที จะพบได้ว่าสามารถทำให้เห็นท่อเนื้อฟันเปิดไม่มีสเมียร์ตกค้างในท่อเนื้อฟัน เทียบต่อพื้นที่ผิว



เนื้อฟันได้ 10.36% โดยพบว่า ที่บริเวณหนึ่งในสามที่ปลายราก ประสิทธิภาพการกำจัดสเมียร์จะน้อยกว่าที่บริเวณหนึ่งในสามที่กลางฟัน ( 9.91% กับ 16.1%) สำหรับในการทดลองนี้เราเลือกที่จะใช้ 17% อีดีทีเอ เป็นเวลา 1 นาที ทั้งนี้เพราะเป็นความเข้มข้นที่มากเพียงพอในการทำงาน และสามารถหาสารได้ง่ายในการใช้งานในคลินิก และใช้ระยะเวลาที่ไม่นานเกินไป

## อภิปรายผลการวิจัยในตอนที่ 2

การรื้อขี้ที่เพิ่มขึ้นจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นในคลองรากนี้จะพบได้ว่าสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ไม่มีการเชื่อมติดสนิทแน่นระหว่างกัตตาเปอร์ชาและเนื้อฟัน ที่มีการเชื่อมติดด้วยซีเมนต์อุดคลองราก ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย คือ การทำงานที่ไม่สามารถอุดคลองรากได้แน่นสนิททุกพื้นที่ การละลายของวัสดุเชื่อมอุดคลองรากจากการล้างด้วยสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการละลาย การที่มีการทำลายโครงสร้างของเนื้อฟันที่เป็นผลของสารเคมี หรือเกิดจากการที่มีการละลายของวัสดุอุดกัตตาเปอร์ชา แต่จากการทดลองในครั้งนี้สารเคมีที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกัตตาเปอร์ชา ดังนั้นการรื้อขี้ที่เกิดขึ้นจึงน่าจะเป็นผลของปัจจัยที่เหลือ

ผลการทดลองในตอนที่ 2 วัดการรื้อขี้ที่เกิดขึ้นเมื่อล้างด้วยสารชนิดต่างๆ พบว่า น้ำเกลือซึ่งไม่มีผลต่อการกำจัดสเมียร์ มีประสิทธิภาพเป็นเพียงตัวล้างทำความสะอาดและนำสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ออกจากคลองราก ให้ค่าเฉลี่ยการรื้อขี้ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.135 มิลลิเมตร ในขณะที่สารชนิดอื่นที่เหลือให้ค่าเฉลี่ยการรื้อขี้มากกว่าเป็นลำดับดังนี้ กรดฟอสฟอริก 0.678 มิลลิเมตร แอลกอฮอล์ 0.699 มิลลิเมตร อะซีโตน 0.670 มิลลิเมตร และค่าระยะทางรื้อขี้มากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วย อีดีทีเอ 0.909 มิลลิเมตร โดยการล้างคลองรากด้วยน้ำเกลือให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการรื้อขี้ที่น้อยกว่าการล้างด้วย แอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะทางการรื้อขี้ระหว่างแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างกลุ่มของสารทั้ง 4 ชนิด

ผลการทดลองในตอนนี้แสดงถึงผลของประสิทธิภาพของสารที่ใช้ล้างในคลองรากในรูปแบบของการละลายสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ในบริเวณที่มีการสัมผัสกับสารในเวลาที่กำหนด ในการทดลองนี้เราวัดประสิทธิภาพการทำงานออกมาในรูปแบบของการรื้อขี้ที่เกิดขึ้นว่าจะมีผลต่อการปิดสนิทแน่นปลายรากหรือไม่ โดยการทดลองมุ่งหวังระว่างอันตรายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้สารเหล่านี้ ซึ่งพบว่า การใช้ 17% อีดีทีเอ สามารถทำให้เกิดการรื้อขี้ได้มากที่สุด แต่ระยะทางที่รื้อขี้ยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อกรปิดสนิทแน่นที่ปลายรากเมื่อใช้สารวัดการรื้อขี้ด้วยซิลเวอร์ในเทรต และวัดการรื้อขี้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 45 เท่า ดังนั้น การเลือกใช้สารชนิดนี้จึงควร



ระมัดระวังหากมีการใช้ความเข้มข้นที่มากกว่านี้ หรือใช้ในระยะเวลาที่มากกว่านี้ ในการทดลองนี้เมื่อมีการเปรียบเทียบ อีดีทีเอ กับสารแอลกอฮอล์ อะซีโตน และ กรดฟอสฟอริก พบว่าค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ทั้งนี้เราจะพบได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของสารในคลองรากฟันที่เราเตรียมไว้อาจไม่เท่ากันเนื่องจากสารมีความตึงผิวที่แตกต่างกัน ทำให้การไหลผ่านพื้นผิวฟันอาจต่างกัน (Tasman และคณะ, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคลองรากที่มุมปลายสุดที่สัมผัสกับกัตตาเปอร์ชาซึ่งเป็นจุดสำคัญของการตั้งต้นวัสดุการรั่วซึมในการทดลองนี้ ซึ่งในจุดนี้เป็นบริเวณที่มีคลองรากเล็กและแคบ สารที่มีความตึงผิวสูงจะไม่สามารถเข้าถึงบริเวณนี้ได้ ทำให้ค่าการรั่วซึมจะน้อยกว่าความเป็นจริง เช่น อีดีทีเอ เป็นสารที่มีค่าแรงตึงผิวมากกว่า แอลกอฮอล์ และ อะซีโตน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าที่บริเวณจุดเริ่มต้นการรั่วซึมตามการทดลองในตอนนี้อีดีทีเอ อาจจะมีการสัมผัสพื้นผิวเนื้อฟันน้อยกว่า ทำให้ค่าการรั่วซึมออกมาน้อยกว่าความน่าจะเป็นและให้ผลไม่แตกต่างจากแอลกอฮอล์ กรดฟอสฟอริก และ อะซีโตน

### อภิปรายผลการวิจัยในตอนที3

ในการทดลองตอนที่ 3 การวัดระยะทางการรั่วซึมที่เกิดขึ้น โดยการสังเกตผลเมื่อมีการใช้สารชนิดต่างๆล้างทำความสะอาดคลองรากก่อนทำการอุดด้วยเรซินซีเมนต์ โดยดูการรั่วซึมในสองบริเวณคือปลายรากฟัน และที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ พบว่าที่บริเวณปลายรากฟันระยะทางการรั่วซึมเฉลี่ยที่บริเวณปลายรากมีค่าน้อยไปมากดังนี้กลุ่มที่ล้างด้วยกรดฟอสฟอริก 0.414 มิลลิเมตร อีดีทีเอ 0.420 มิลลิเมตร น้ำเกลือ 0.563 มิลลิเมตร แอลกอฮอล์ 0.601 มิลลิเมตร และค่าระยะทางการรั่วซึมมากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน 0.783 มิลลิเมตร เมื่อนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าระยะทางการรั่วซึมเฉลี่ยจากการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกัน นั่นคือการล้างด้วยสารชนิดต่างๆทั้ง 5 ชนิดไม่มีผลกระทบต่อการรั่วซึมที่ปลายราก การรั่วซึมที่เกิดขึ้นให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้ในการทดลองตอนที่ 1 ทั้งนี้เพราะการวัดการรั่วซึมที่ใช้ในการทดลองเกิดจากการที่ปล่อยให้สารซิลเวอร์ในเทรตแทรกซึมจากบริเวณรูเปิดปลายรากขึ้นมาในแนวตั้งสู่ส่วนบนตัวรากฟันที่มีเรซินซีเมนต์ รวมกับผลของการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนทำการอุดด้วยเรซินซีเมนต์ ตามการทดลองในตอนที 2 ไม่มีสารชนิดใดที่ทำให้เกิดการรั่วซึมจากภายในคลองรากเกิน 3 มิลลิเมตรซึ่งเป็นระยะที่เหลือน้อยของกัตตาเปอร์ชา ดังนั้นผลที่ได้ในตอนสุดท้ายนี้จึงเป็นการยืนยันลักษณะการรั่วซึมบริเวณปลายรากที่เป็นผลของการอุดคลองรากฟันในลักษณะทั่วไป ไม่ได้เกิดจากผลของการล้างด้วยสารชนิดต่าง ๆ แต่ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้ ไม่ได้หมายความว่า การล้างด้วยสารชนิดต่างๆจะไม่มีผลกระทบต่อการปิดสนิทแน่นที่ปลายรากฟัน หากมีการทดลองที่ปล่อยให้มีการแทรกซึมของซิลเวอร์ในเทรตในสองบริเวณพร้อมกันคือจากบริเวณปลายราก และจากภายในคลองรากเหมือนในการทดลองตอนที่ 2 การรั่วซึมที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นผลรวมของการบรรจุกันระหว่างการรั่วซึมที่เกิดได้

ตามปกติจากการอุดคลองราก กับการรั่วซึมที่เกิดขึ้นภายในคลองรากจากผลของการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ เช่น ค่าการรั่วซึมในคลองรากของแอลกอฮอล์ในตอนที่ 2 มีค่ามากที่สุด 1.568 มิลลิเมตร และในตอนที่ 3 ค่าการรั่วซึมปลายรากมีค่า 1.811 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำผลทั้งสองค่ามารวมกันจะเกิน 3 มิลลิเมตร หากการรั่วซึมเกิดในแนวเดียวกันและมาบรรจบกัน แต่ทั้งนี้ค่าที่ได้เป็นระยะทางการรั่วซึมสูงสุดที่เกิดขึ้น ไม่ใช่ค่าเฉลี่ย ดังนั้นจากตัวอย่างที่เกิดขึ้นส่งผลให้ระยะ 3 มิลลิเมตรไม่สามารถป้องกันการรั่วซึมที่จะเกิดขึ้นได้ ทำให้ควรมีการพิจารณาในการเลือ่วสดุอุดคลองรากฟันให้มากขึ้นเมื่อต้องการใช้สารล้างคลองรากที่มีความสามารถทำให้เกิดการรั่วซึมได้มาก

สุดท้ายของการทดลองเป็นการพิจารณาที่บริเวณรอยต่อของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน โดยดูการรั่วซึมที่เกิดขึ้นจากผลของการล้างด้วยสารชนิดต่างๆและการวัดค่าความแข็งแรงพันธะเชื่อมที่เกิดขึ้น เมื่อมีการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการใช้ระบบสารยึดติด ผลที่ได้ทั้งสองการทดลองเป็นผลที่อาจจะเกิดจากการกำจัดชั้นสเมียร์ การล้างสารยูจินอลที่ตกค้างภายในคลองรากฟัน ซึ่งส่งผลต่อการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ และเป็นผลจากความสามารถของระบบสารยึดติดที่ใช้และสภาพของเนื้อฟันที่เหมาะสมในการใช้ระบบสารยึดติด ทั้งนี้คุณภาพของระบบสารยึดเรซินที่ดี เราสามารถพิจารณาจากชั้นการมีเรซินแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟัน หรือชั้นไฮบริดในเนื้อฟัน ( resin dentin interdiffusion zone : RDIZ) และ การเกิดเรซินแทรก โดยประเมินจาก

1. การเกิดขึ้นไฮบริดที่มีรูปแบบเนื้อเดียวกัน ( uniformity ) และการมีเรซินแทรก ตลอดแนวความยาวของรอยต่อเนื้อฟันกับสารยึดติด
2. การไม่มีช่องว่างและไม่เกิดฟองเล็กๆในเนื้อสารยึดติด ระหว่างสารยึดติดและเรซินซีเมนต์ และภายในชั้นเรซินซีเมนต์ ( Ferrai และคณะ,2001)

โดยทั่วไปแล้วการเกิดเรซินแบบสมบูรณ์จะเกิดได้ยาก ทั้งนี้เกิดจากปัจจัยหลายๆข้อ ( Eick และคณะ, 1997) เช่น

1. การมีน้ำตกค้างเหลืออยู่จำนวนมากในขั้นตอนการใช้ระบบสารยึดติด
2. เกิดการล้มของเครือข่ายคอลลาเจน ( collagen network collapse)
3. เกิดการแทรกซึมของเรซินที่ไม่สมบูรณ์
4. เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์

จากการทดลอง จะพบว่าเราไม่สามารถควบคุมให้เกิดขึ้นไฮบริดที่สมบูรณ์ได้จากปัจจัยในข้อที่ 1, 3 และ 4 นั่นคือ

การมีน้ำตกค้างในเนื้อฟันจากขั้นตอนการทดลองที่ควบคุมโดยการใช้กระดาษซับในคลองราก 5 ชั้นต่อคลองรากก่อนการใช้ อีดี ไพโรเมอร์ อาจไม่เพียงพอต่อการซับน้ำออก ทำให้เกิดการมีน้ำตกค้างอยู่มากเกินไปก่อนการทำสารไพโรเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงในการยึดต่ำลง อาจมีสาเหตุจากน้ำ

ที่ตกค้างรวมกับน้ำในท่อเนื้อฟันทำให้ตัวทำละลายเจือจาง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของสารไพโรเมอรัลดลง ลักษณะที่พบจะเป็นเรซินกลอบบูล ที่ผนังคอลลาเจน หรือในช่องว่าง หรืออาจพบลักษณะ ที่นี้ บริสเตอร์ เกิดการรวมตัวเป็นก้อนขวางท่อเนื้อฟัน ทำให้ไม่เกิดเรซิน แทก

การมีส่วนตกค้างของชั้นสเมียร์รวมถึงการไม่สามารถล้างสารยูจินอลได้ ยังส่งผลต่อการแทรกซึมของเรซินที่ไม่สมบูรณ์ โดย Watanabe และ Nakabayashi (1993) ให้แนวคิดเกี่ยวกับการยึดผ่านชั้นสเมียร์ว่า หากชั้นนี้มีความหนาประมาณ 2 ไมโครเมตรและอัดตัวกันแน่น จะต้านการแทรกซึมของสารปรับสภาพ ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันที่ดีและแน่นข้างใต้ได้ และมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักที่บริเวณรอยต่อที่ไฮบริดของสเมียร์กับไฮบริดของเนื้อฟันข้างใต้เมื่อมีแรงมากระทำที่ระหว่างสองชั้นนี้ และหากการเกิดชั้นไฮบริดในเนื้อฟันน้อยกว่า 0.5 ไมโครเมตร จะทำให้เรซินที่เชื่อมกับ เรซินแทก รอบๆ ชั้นไฮบริดเกิดการร้าวซึมได้ง่าย นอกจากนี้ในสเมียร์ซึ่งมีส่วนประกอบของเนื้อฟันสามารถเป็นตัวปรับสภาพความเป็นกลางของกรดและด่าง (buffer capacity) จึงมีแนวโน้มปรับสภาพความเป็นกรดของไพโรเมอร์ให้เป็นกรดอ่อนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์น้อยลง และการมีสารยูจินอลตกค้างจะทำให้มีโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา ทำให้โพลีเมอร์ที่ได้มีลักษณะเหมือนพลาสติก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพของเรซินที่ได้ ส่งผลต่อการแนบสนิทและความแข็งแรงยึดที่เกิดขึ้น

ในการทดลองนี้ ใช้เรซินซีเมนต์ในลักษณะที่ปล่อยให้บ่มตัวด้วยสารเคมีที่มีการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันแบบช้าๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยความเค้นภายใน และเกิดการหดตัว โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นจะเป็นการหดตัวเข้าหาศูนย์กลางของก้อนเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดเต็มในคลองรากฟันทำให้การหดตัวที่เกิดขึ้นจากขบวนการโพลีเมอร์ไรเซชัน ส่งผลโดยตรงกับบริเวณรอยต่อเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญต่อความแข็งแรงยึดติดที่ทำให้บ่มตัวและการร้าวซึมที่เกิดขึ้นได้มากขึ้น จากผลของความสัมพันธ์ของความเค้นที่เกิดขึ้น ( 10-15 MPa)

ในการทดลองนี้ สามารถลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบสารยึดติดในแง่ของการลุ่มของเครือข่ายคอลลาเจนจากการที่โซลุ่มเป่าแล้วทำให้ไพโรเมอร์ไม่สามารถแทรกซึมเข้าเนื้อฟันได้ ทั้งนี้เราเลือกใช้ระบบสารยึดติดที่เป็นกรดผสมไพโรเมอร์ ร่วมกับสารบอนด์ โดยการออกแบบสารปรับสภาพผิวฟันที่เป็นกรดอ่อนและไพโรเมอร์ในขวดเดียวกัน สารนี้จะถูกทาโดยตรงบนชั้นผิวสเมียร์ที่ปกคลุมเนื้อฟันที่แห้ง ไม่ต้องล้างออก ชั้นสเมียร์จะถูกแปรเปลี่ยนสภาพจากการทำงานของไพโรเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนทำให้เกิดการละลายชั้นสเมียร์และสเมียร์ฟลักเพียงเล็กน้อย ในขณะเดียวกันกับที่มีการแทรกซึมของโมโนเมอร์ผ่านชั้นสเมียร์ เข้าไปในเนื้อฟันที่ไม่มีการยุบตัวของคอลลาเจนและท่อเนื้อฟันบางส่วนทำให้เกิด ชั้นไฮบริดของสเมียร์ ( hybridized smear layer) และชั้นไฮบริดของเนื้อฟัน

ระยะการรั่วซึมที่นำมาพิจารณาในตอนสุดท้ายคือการรั่วซึมบริเวณรากฟันส่วนบนที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ พบว่าระยะทางเฉลี่ยการรั่วซึมมีค่าน้อยไปมากดังนี้ แอลกอฮอล์ อะซีโตน น้ำเกลือ กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ โดยแอลกอฮอล์ให้ค่าไม่แตกต่างจากอะซีโตน แต่น้อยกว่าน้ำเกลือ กรดฟอสฟอริก และอีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ จากผลที่ได้ การรั่วซึมที่เกิดของน้ำเกลือให้ค่ามากกว่าแอลกอฮอล์ อะซีโตน ทั้งนี้จะเกิดจากคุณสมบัติของ แอลกอฮอล์และอะซีโตนที่มีความสามารถในการละลายสารอินทรีย์และเป็นตัวทำละลายที่ดี ส่งผลให้มีการกำจัดชั้นสเมียร์และยูจินอลได้ดีกว่าน้ำเกลือทำให้เกิดการโพลีเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ ส่วน กรดฟอสฟอริก และอีดีทีเอ พบว่าให้ค่าการรั่วซึมที่มากกว่า ทั้งนี้จะเกิดจากคุณสมบัติของกรดฟอสฟอริก ซึ่งเป็นกรดที่ค่อนข้างแรงสามารถกำจัดสเมียร์ ละลายสารอินทรีย์ในเนื้อฟัน และทำให้เกิดการเปิดกว้างของท่อเนื้อฟันได้ในระดับที่ลึก ดังนั้นถ้ามีการแทรกซึมของโมโนเมอร์เข้าไปได้ไม่ทั่วถึงชั้นเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุได้ทั้งหมด จะทำให้มีโอกาสเกิดการรั่วซึมให้เห็นได้มาก ในขณะที่ อีดีทีเอ เป็นสาร คีเลติงมีความสามารถในการจับกับแคลเซียม ทำให้เกิดการละลายของสารอินทรีย์ในเนื้อฟัน เกิดชั้นเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุได้มาก ทำให้การแทรกซึมของโมโนเมอร์อาจไม่ทั่วถึงได้เช่นกัน ดังนั้นผลการทดลองจึงออกมาในลักษณะคล้ายกันเมื่อมีการใช้สารทั้งสองชนิดนี้ล้างทำความสะอาดครองรากฟันก่อนการใช้ระบบสารยึดติดปกติ จึงเป็นไปได้ว่าสารทั้งสองทำให้เกิดชั้นเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุได้ในระดับความลึกที่โพรเมอร์ในการใช้งานปกติไม่สามารถแทรกซึมไปได้ทั่วถึงบริเวณลึกสุดของชั้นเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุ ทำให้บริเวณนั้นไม่เกิดการโพลีเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์

ทั้งนี้การวัดการรั่วซึมในการทดลองที่ใช้ เป็นการปล่อยให้สารซิลเวอร์ไนเทรตแทรกซึมจากรอยต่อของเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์จากส่วนบนสุดของรากฟัน ลงมาตามยาวของรากฟัน เป็นไปได้ว่าการรั่วซึมที่เกิดขึ้น อาจเกิดขึ้นได้ในหลายบริเวณคือ

- การรั่วซึมที่เนื้อเรซินซีเมนต์ที่อาจไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้มีช่องว่างในเนื้อซีเมนต์จากการผสมซีเมนต์และวิธีที่ใช้ในการนำซีเมนต์ลงสู่คลองรากฟัน
- การรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์ที่เกิดจากคุณสมบัติความหนืดของซีเมนต์ที่ส่งผลต่อการไหลผ่านเนื้อฟัน
- การรั่วซึมที่เกิดขึ้นในชั้นไฮบริดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระดับนาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองได้ชัดเจนในการทดลองนี้ ซึ่งวัดค่าการรั่วซึมด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ กำลังขยาย 45 เท่า
- การรั่วซึมที่บริเวณเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุออก โดยสารย้อมสีสามารถแทรกซึมได้ตั้งแต่ส่วนบนสุดของรากฟันลงมาตามยาวของรากฟันในชั้นนี้จนถึงระดับความลึกที่ไม่มีเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุ โดยทั้งนี้ส่วนบนสุดของผนังคลองราก จะเป็นบริเวณที่ได้รับการสัมผัสกับสารล้างคลองรากมากที่สุดก่อให้เกิดชั้นเนื้อฟันที่ถูกดัดแร่ธาตุในความลึกที่มากที่สุด



และในบริเวณปลายรากฟันที่สึกลงมากการสัมผัสของสารและประสิทธิภาพของสารจะน้อยกว่าจึงทำให้เกิดชั้นเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุในความลึกที่น้อยกว่า

ในการทดลอง หากการร่วซึมที่เกิดขึ้นเกิดในชั้นเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุออก เราจะสามารถเห็นการร่วซึมได้มาก ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะของการทดลองที่ปล่อยให้มีการแทรกซึมของสารซิลเวอร์ในเทรตจากบริเวณบนสุดของตัวฟันที่ไม่มีการใช้ยาทาเล็บทาป้องกันการแทรกซึมรอบๆเรซินซีเมนต์ในระยะ 1 มิลลิเมตร ดังนั้นสารซิลเวอร์ในเทรตจึงสามารถแทรกซึมในชั้นเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุที่ไม่มีการเกิดเรซินที่สมบูรณ์เข้าไปได้ถึง ตั้งแต่ส่วนบนสุดของตัวฟันลงมาในแนวตั้งสู่ปลายรากฟัน จนกระทั่งถึงระดับความลึกที่เนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุมีการแทรกซึมของไพโรเมอร์ทั่วถึงและเกิดเรซินโพลิเมอร์ที่สมบูรณ์

การวัดค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนในการทดลองสุดท้าย พบว่าค่าที่ได้จากน้อยไปมากคือ แอลกอฮอล์ กรดฟอสฟอริก น้ำเกลือ อะซีโตน และ อีดีทีเอ ตามลำดับ จะพบได้ว่าค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนที่ได้เมื่อความสัมพันธ์กับการร่วซึมที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเห็นได้ชัดเจนจากการล้างด้วยสาร อีดีทีเอ ที่พบค่าการร่วซึมที่มาก แต่ ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนที่มากด้วย ในขณะที่ กรดฟอสฟอริกให้ค่าการร่วซึมที่มากแต่ให้ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนที่น้อย ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการร่วซึมที่เกิดขึ้นไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความแข็งแรงพันธะเฉือน สอดคล้องกับการทดลองของ Fortin และคณะ(1994) ที่ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดกับการร่วซึมระดับไมโครเมตรในระบบสารยึดติด เช่นเดียวกับกับผลการทดลองของ Patricaและคณะ (2001) ที่ทำการทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงยึดกับการร่วซึมระดับนาโนเมตร โดยพบว่าสารในระบบยึดติดชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลองให้ค่าการร่วซึมและค่าความแข็งแรงยึดไม่ไปในรูปแบบเดียวกัน คือบางชนิดมีความสัมพันธ์กัน ในขณะที่บางชนิดไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้เพราะค่าความแข็งแรงยึดติดจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สารที่ใช้ก่อให้เกิดการปรับสภาพเนื้อฟันที่เหมาะสมต่อการแทรกซึมของไพโรเมอร์ แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างในการเกิดขึ้นไฮบริด และเรซินแทรก ซึ่งให้ผลโดยตรงต่อค่าความแข็งแรงยึดอยู่ นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงยึดที่เกิดขึ้นเป็นผลเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากผลรวมของแรงต่อหน่วยพื้นที่ (Sano และคณะ ,1994a) ทำให้จุดบกพร่องเล็กๆที่เห็นได้ว่าการร่วซึมอาจไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงยึดโดยรวม (Nakabayashi ,1985) ในขณะที่จุดบกพร่องเล็กๆนั้นแสดงให้เห็นการร่วซึมที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การร่วซึมที่เกิดขึ้นอาจเกิดในชั้นเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ ทำให้เห็นการร่วซึมที่มากใน ขณะที่ ผลการทดลองวัดค่าความแข็งแรงยึดที่ได้มีค่ามากตามมาด้วย ทั้งนี้ ค่าความแข็งแรงยึดที่ได้ อาจเป็นค่าความแข็งแรงยึดโคฮีซีฟของเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ ในขณะที่ผลการทดลองที่ให้ค่าการร่วซึมที่น้อย และให้ค่าการยึดอยู่ที่น้อยตามมา อาจเกิดจากการล้างด้วยสารเคมีและการใช้สารปรับสภาพเนื้อฟันมีความสามารถที่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุลึกใน



ปริมาณที่เหมาะสม และส่งผลให้ไม่เกิดเรซินแตก ที่เล็ก และมีขนาดใหญ่มากพอให้เกิดความแข็งแรง ยึดที่ดีได้ แต่สามารถทำให้เกิดการแทรกซึมของไพรเมอร์ได้ดีและไม่มีจุดบกพร่องในเนื้อฟัน ทำให้เห็น การรั่วซึมที่น้อยกว่า

จากการทดลองผลที่ได้พบว่าน้ำเกลือให้ค่าความแข็งแรงยึดอยู่เฉลี่ย 8.349 เมกะพาสคาล เป็นค่าที่น้อยเมื่อเทียบการทดลองอื่นๆ เช่น Watanabeและคณะ (1994) ให้ค่าความแข็งแรงยึดถึง 10.4 เมกะพาสคาล โดยใช้ฮอลบอนทู ( All-bond 2 , Bisco ) และ Gwinnett,1993 ทดลองโดยใช้ ฮอลบอนทูกับพื้นผิวที่ไม่ได้มีการกำจัดชั้นสเมียร์ ได้ค่าความแข็งแรงพันธะเดือน  $10.2 \pm 3.0$  เมกะพาสคาล ทั้งนี้เพราะการทดลองที่ทำ เป็นการทดลองในเนื้อฟัน ซึ่งจะพบว่ามีการคลาดเคลื่อนและมีความแปรปรวนเกิดขึ้นได้มาก ทั้งนี้เพราะฟันที่ใช้ในการทดลองแต่ละซี่มีความแตกต่างกันในด้านองค์ประกอบอย่างมาก หรือแม้แต่ฟันในซี่เดียวกันยังมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดในแต่ละการทดลองแตกต่างกัน นอกจากนี้ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ต่ำกว่าการทดลองอื่น ทั้งนี้เพราะน้ำเกลือซึ่งไม่มีผลต่อการกำจัด สเมียร์มีประสิทธิภาพเป็นเพียงตัวล้างความสะอาดและ นำสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ออกจากคลองราก และไม่สามารถกำจัดปัจจัยในเรื่องผลของยูจินอลที่ใช้ในการทดลองนี้ได้

จากการทดลองค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จากการล้างด้วยน้ำเกลือให้ผลที่มากกว่าการล้างด้วย แอลกอฮอล์ และกรดฟอสฟอริก ซึ่งคาดว่าจะสามารถกำจัดผลของยูจินอลและกำจัดชั้นสเมียร์ได้ ทั้งนี้ในการล้างด้วยแอลกอฮอล์ ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำลายที่ดีและมีความสามารถในการละลายน้ำ ก่อให้เกิดการดึงน้ำออกจากเนื้อฟัน เป็นไปได้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ล้างในคลองรากเป็นเวลา 1 นาที แอลกอฮอล์สามารถละลายและกำจัดผลของยูจินอลได้ แต่ยังไม่ีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการดึงน้ำ ออกจากเนื้อฟันที่มีน้ำตักค้างอยู่ในท่อเนื้อฟัน อาจจะทำให้เกิดการละลายของแอลกอฮอล์ในน้ำหรือมีการตักค้างของแอลกอฮอล์ในเนื้อฟัน และเมื่อรวมกับแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ใน อีดีไพรเมอร์ ในระบบสาร ยึดติดอาจทำให้เกิดขัดขวางการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน เกิดเป็นเรซินกลอบูล ขวางท่อเนื้อฟัน ทำให้ไม่เกิดเรซินแตก (Tay และคณะ,1995) ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากการทดลองของ Tjan และ Nemetz (1992) ที่แอลกอฮอล์ให้ความแข็งแรงยึดมากที่สุดในกลุ่มทดลอง ทั้งนี้ในการทดลองของ Tjan และ Nemetz (1992) ไม่บอกระยะเวลาที่ใช้ในการล้างด้วยสารแอลกอฮอล์ และไม่มีการล้างตาม ด้วยน้ำเกลือ นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้จากการล้างด้วยกรดฟอสฟอริก และอีดีทีเอ ยังมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จากการล้างด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่าที่น้อย จากการที่ฟอสฟอริกเป็นกรดที่รุนแรงกว่าอีดีทีเอ เมื่อใช้กรดกัดพื้นผิวฟันเป็นเวลา 1 นาทีจะทำให้มีการกำจัดชั้นสเมียร์ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันบางส่วน เกิดการเปิดกว้างขึ้นของปากท่อเนื้อฟัน และทำให้คอลลาเจนเสียสภาพ (denature collagen) เป็นไปได้ที่จะ ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดน้อย ซึ่งตรงกับการทดลองของ Benderli และ Yucel (1999) ที่ทำการทดลอง

โดยใช้กรด 37% ฟอสฟอริก ที่ระยะเวลา 15 วินาทีกับ 60 วินาที พบว่าค่าความแข็งแรงยึดที่ได้ที่เวลา 60 วินาทีมีค่าน้อยกว่า 15 วินาที และการทดลองของ Paul และคณะ, 1999 ที่ทำการทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่างการใช้กรดฟอสฟอริกในระดับนาโนเมตรกับค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค (microtensile bond strength) เมื่อมีการใช้กรดฟอสฟอริก 37% ที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งพบว่าเมื่อใช้กรด 60 วินาที ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ได้มีน้อยกว่าที่ 30 วินาที และให้ค่าการรั่วซึมมากขึ้นเมื่อใช้กรดในระยะเวลาที่มากขึ้น ส่วนการใช้ อีดีทีเอ ซึ่งเป็นสารคีเลต มีความสามารถในการทำความสะอาดพื้นผิวเนื้อฟันได้ดี โดยสามารถกำจัดเศษตกค้างของเนื้อฟันและชั้นสเมียร์ โดยสาร อีดีทีเอ มีความสามารถในการจับกับแคลเซียม โดยทั้งนี้ สารนี้จะไม่ทำให้เกิดคอลลาเจนเสียสภาพ ทำให้เกิดการยึดติดที่ดีตามการทดลองของ Miyasaka และ Nakabayashi (1999)

จากการทดลองพบว่าอะซีโตนเป็นสารที่ให้การรั่วซึมในระดับที่น้อยในขณะเดียวกันให้ค่าการยึดอยู่มาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอะซีโตนเป็นตัวทำลายที่ดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำมาใช้กำจัดน้ำมันในส่วนผสมของสารอุดเชื่อม ซึ่งอะซีโตนทำหน้าที่นี้ได้ดีกว่าแอลกอฮอล์ นอกจากนี้มีค่าความตึงผิวต่ำ จึงสามารถไหลแผ่บนพื้นผิวฟันได้ดี ในขณะเดียวกันมีอัตราการระเหยที่เร็ว ดังนั้นอะซีโตนจึงมีความสามารถในการลดผลของยูจินอล และทำความสะอาดในคลองรากได้ด้วยผลของน้ำเกลือที่ใช้ล้างในขั้นตอนต่อมาตามการทดลอง โดยไม่ทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุ เกิดชั้นเนื้อฟันที่ถูกต้อง แร่ธาตุ ที่อาจเกิดการแทรกซึมของไพโรเมอร์เข้าไปได้ไม่ทั่วถึงแล้วก่อให้เกิดการรั่วซึมตามมา หรือก่อให้เกิดการทำลายของคอลลาเจน เหมือนกับการใช้กรดนำมาเป็นสารที่ใช้ในการล้างคลองราก ซึ่งเมื่อรวมกับผลความเป็นกรดของอีดี ไพโรเมอร์ จะทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุ ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จากการใช้อะซีโตนมีค่าความแข็งแรงยึดมากกว่ากลุ่มการทดลองที่ใช้กรด

การใช้เกลือในการล้างทำความสะอาดคลองราก เป็นวิธีที่สะดวกและกระทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ก่อนการยึดเดือยฟัน จากการทดลองน้ำเกลือไม่ได้ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมที่มากที่สุด ในขณะที่เดียวกันไม่ได้ให้ค่าความแข็งแรงยึดที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะน้ำเกลือสามารถลดสิ่งสกปรกที่ตกค้างได้ ถึงแม้จะไม่มีฤทธิ์ของการลดผลของยูจินอล และไม่ก่อให้เกิดการละลายของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งทำให้ไม่มีผลในการกำจัดสเมียร์ แต่ในการทดลองเนื้อฟันได้ถูกปรับสภาพผิวด้วยการใช้ระบบสารยึดติดในขั้นตอนปกติตามมา ดังนั้นค่าความแข็งแรงยึดที่ได้จึงไม่น้อยที่สุดในการทดลอง

## บทที่ 6

### บทสรุป

การทดลองนี้ มุ่งประเด็นในเรื่องของการล้างผลที่ตกค้างของยูจินอลในคลองรากฟัน ซึ่งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะพบได้ในการใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดเดือยฟันในคลองรากที่ต้องการความแข็งแรงยึดติดที่แน่นมากเช่นในรากที่สั้น กว้างการยึดติดเดือยเซรามิก ทั้งนี้การใช้สารต่างๆเพื่อล้างผลตกค้างของยูจินอลและการกำจัดชั้นสเมียร์ จะเกิดผลในลักษณะต่างๆ ในการทดลองนี้วัดผลการทดลอง เรื่องการรั่วซึมที่เกิดขึ้น และค่าความแข็งแรงพันธะเดือย โดยสรุปงานวิจัยพบว่า

1. การรั่วซึมที่บริเวณปลายรากภายหลังการอุดเต็มรากฟัน เปรียบเทียบกลุ่มที่มีการนำกัตะตาเปอร์ซอร์ซาออกด้วยวิธีการใช้ความร้อน เพื่อเตรียมช่องว่างสำหรับเดือยฟัน และเหลือกัตะตาเปอร์ซอร์ซาปลายราก 3 มิลลิเมตร ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกัน
2. การรั่วซึมที่บริเวณภายในคลองรากเมื่อมีการนำกัตะตาเปอร์ซอร์ซาออกโดยใช้ความร้อนและเหลือกัตะตาเปอร์ซอร์ซาปลายราก 3 มิลลิเมตร แล้วใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลด ปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองราก พบว่าการล้างคลองรากด้วยน้ำเกลือให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมน้อยกว่าการล้างด้วยแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และอีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมระหว่างแอลกอฮอล์ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างกลุ่มของสารทั้ง 4 ชนิด
3. การรั่วซึมที่บริเวณปลายรากหลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลด ปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองราก แล้วทำการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ภายในคลองราก พบว่าระยะทางการรั่วซึมเฉลี่ยที่บริเวณปลายรากหลังจากการล้างด้วยสารกลุ่มต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกัน นั่นคือการล้างด้วยสารชนิดต่างๆทั้ง 5 ชนิดไม่มีผลกระทบต่อการรั่วซึมที่ปลายราก โดยระยะทางการรั่วซึมยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อการปิดสนิทแน่นที่ปลายราก

4. การรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์หลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดคลองรากและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้าง พบว่าการล้างคลองรากด้วยแอลกอฮอล์ ให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมน้อยกว่าการล้างด้วยอะซีโตน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ให้ค่าการรั่วซึมน้อยแตกต่างจากการล้างด้วย น้ำเกลือ กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะทางการรั่วซึมระหว่าง น้ำเกลือ อะซีโตน กรดฟอสฟอริก และ อีดีทีเอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างกลุ่มของสารทั้ง 4
5. ความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน หลังจากการใช้สารชนิดต่างๆ ในการทำความสะอาดและลดปริมาณยูจินอลที่ตกค้างในคลองรากก่อนทำการยึดเรซินซีเมนต์ พบว่าการล้างคลองรากด้วยแอลกอฮอล์ และกรดฟอสฟอริก ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะเฉือนน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มที่มีการล้างด้วยน้ำเกลือที่มีค่าการรั่วซึมน้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยอะซีโตน และ อีดีทีเอ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดมากที่สุดในกลุ่มที่ล้างด้วย อะซีโตน และ อีดีทีเอ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### ข้อเสนอแนะ

1. การนำสารเคมีมาใช้ล้างคลองราก ต้องมีความระมัดระวัง ทั้งนี้สารที่มีผลทำให้เกิดเนื้อฟันที่ถูกดึงแร่ธาตุ จะสามารถทำให้เกิดการรั่วซึมได้ในที่มาก และหากใช้สารในความเข้มข้นที่แตกต่างกันไป และใช้ระยะเวลาที่ไม่เท่ากันกับการทดลองที่ผ่านมา อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อการปิดสนิทที่ปลายรากได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อถึงผลของการรั่วซึมในการใช้สารเคมีที่น่าสนใจ ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไป
2. หลังจากทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงยึด ควรมีการตรวจสอบลักษณะการแตกหักว่าเกิดขึ้นในลักษณะโคฮีซีฟ แอดฮีซีฟ หรือแบบผสม ทั้งนี้ทำให้สามารถตรวจสอบกระบวนการที่ใช้และผลที่ได้ในการทดลองว่าถูกต้องและเหมาะสมหรือไม่
3. การใช้กรดฟอสฟอริก 37% ระยะเวลา 60 วินาที มาใช้ในการล้างคลองราก ก่อนการยึดเดือยฟันตามระบบขั้นตอนของระบบสารยึดปกติ ไม่มีความจำเป็น ทั้งนี้อาจทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างเนื้อฟันมากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความเป็นกรดที่มีอยู่ในการ

ปรับสภาพผิวเนื้อพื้ของระบบสารยึดติดปกติ กรดฟอสฟอริกทำให้เกิดการรั่วซึมที่มากขึ้นและให้ค่าความแข็งแรงยึดที่น้อยลง

4. สามารถนำ อีดีทีเอ มาใช้ในการล้างคลองรากก่อนทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ โดยจะพบว่าสารนี้ช่วยทำให้ค่าความแข็งแรงยึดมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันจะก่อให้เกิดการรั่วซึมที่มากขึ้นตามลำดับ เพราะฉะนั้นควรเลือกใช้คลองรากที่มีกัตตาเปอร์ซาล์อ์ที่อยู่ในปริมาณที่มาก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

- Ahlberg,K.M.F., Assavanop,P., Tay,W.M. 1995. A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. *Int endod J.* 28 : 30-4.
- Aktener ,B.O., CengiZ,T., Piskin,B. 1989. The penetration of smear material into dentinal tubules during instrumentation with surface active reagent: a scanning electronmicroscopic study. *J Endodon.* 15: 588-90.
- AL-Salehi,S.K., Burke,F.J.T. 1997. Methods used in dentin bonding tests:An analysis of 50 investigations on bond strength. *Quintessence Int.* 28 :717-23.
- Anusavice,K.J.1996. **Phillips' science of dental materials.** 10<sup>th</sup> ed. Pennsylvania:W.B. Saunders. pp.211-3.
- Assif,D.&Ferber,A. 1982. Retention of dowels using a composite resin as a cementing medium. *J.Prosthet.Dent.* 49:292-6.
- Bachicha,W.S., DiFiore,P.M., Miller,D.A., Lautenschlager.E.P., Pashley,D.H. 1998. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endodon.* 24 : 703-8.
- Bean,T.A., Zhuang,W.C., Tong,P.Y., Eick,J.D., Yourtee, D.M. 1994. Effect of esterase on methacrylates and methacrylate polymers in enzyme simulator for biodurability and biocompatibility testing. *J Biomed Mater Res.* 28:59-63.
- Bergman,B. Lundquist,P., Sjogren,U.,Sundquist,G. 1989. Restorative and endodontic results after treatment with cast post & cores. *J.Prosthet.Dent.* 61:10-15.
- Brannstrom,M. 1982. **Dentin and pulp in restorative dentistry.** London: Wolfe Medical Publication Ltd
- Buonocore.M.G. 1955. A simple method of increasing the adhesion of acry filling materials to enamel surface. *J Dent Res.* 34:849-53.
- Burrow,M.F., Taniguchi, Y., Nikaido,T., Satah,M., Inai,N., Tagami,J. 1995. Influence of temperature and relative humidity on early bond strengths dentin. *J Dent.* 23:41-5.

- Burton,G.W., Ingold,K.U. 1981. Autoxidation of biological molecules. 1. The antioxidant activity of vitamin E and related chain-breaking phenolic antioxidants in vitro. **J.Am.Chem.Soc.** 103:6472-7.
- Cameron,J.A. 1983. The use of ultrasonics in the removalof the smear layer: A scanning electron microscope study. **J Endodon.** 9: 289-92.
- Chailertvanikul,P., Saunders,W.P., Mackenzie,D. 1996. An assessment of microbial coronal leakage in teeth root filled with gutta-percha and three different sealers. **Int Endod J.** 29:387-2.
- Czontskowsky,M.,Wilson,E.G.,Holstein,F.A. 1990. The smear layer in endodontics. **Dental Clinics of North America.** 34:13-25.
- Dahl,B.L.,Niom. 1977. Effect of cleansing procedures on the retentive ability of two luting cements to ground dentin in vitro. **Acta Odontol Scand.** 36:137-42.
- Di Lenarda,R.,Cadenaro,M.& Sbaizero,O. 2000. Effectiveness of 1 mol L<sup>-1</sup> citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. **In Endo J.** 33:46-52.
- Dilts,W.E., Miller,R.C.,Miranda,F.J., Duncanson.M.G.1986. Effect of zinc oxide-eugenol on shear bond strengths of selectd core/cement combinations. **J.Prosthet.Dent.** 55:206-8.
- Drummond J.L., Sakaguchi,R.L., Racean,D.C., Wozny,J.,Steinberg,A.D.1996. Testing mode and surface treatment effects on dentin bonding. **J Bio Mater Res.** 32 :533-41.
- Eick,J.D., Gwinnett.A.J., Pashley,D.H., Robinson,S.J. 1997. Current concepts on adhesion to dentin. **Crit Rev Oral Biol Med.** 8:306-35.
- Eick,J.D.,Wilko,R.A., Anderson.C.H., Sorensen,S.E. 1970. Scanningelectron microscopic of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. **J Dent Res.** 49:1359-68.
- Evan,J.T.,Simon.J.H.S. 1986. Evaluation of the apical seal produced by injected thermoplasticized gutta-percha in the absence of smear layer and root canal sealer. **J Endodon.** 12:101-7.
- Fehr, f.R., Nygaard-Ostby,B. 1963. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. **Oral Surg Oral Med Oral Patho.** 16:199-205.
- Ferracance,J.L. 1995. Current trends in dental composites. **Crit Rev Oral Biol Med.** 6:302-18.

- Ferrai,m., Vichi,A.,Grandini,S. 2001. Efficacy of different adhesive techniques on bonding to root canal walls:an SEM investigation. **Dent Mater.** 17:422-9.
- Fogel ,H.M., Marshall,F.L., Pashley,D.H. 1988. Effects of Distance from the pulp and Thickness on the Hydraulic Conductance of Human Radicular Dentin. **J Dent Res.** 67 :1381-5.
- Fortin, D., Swift, E. J., Denehy,. G. E., Reinhardt, J. W. 1994. Bond strength an Microleakage of current dentin adhesives. **Dent Mater.** 10: 253-8.
- Fraser,J.G. 1974.Chelating agents:Their softening effect on root canal dentin. **Oral Surg Ora Med Oral Patho.** 37:803-11.
- Fujisawa,S., Masuhara,E. 1981. Binding of eugenol and o-ethoxy-benzoic acid to bovine serum albumin. **J Dent Res.** 60: 860-4.
- Fujisawa,S., Kadoma,Y. 1992. Effect of phenolic compounds on the polymerization of methyl methacrylate. **Dent Mater.** 8: 324-6.
- Fujisawa,S., Kadoma,Y. 1997. Action of eugenol as a retarder against polymerization of methyl methacrylate by benzoyl peroxide. **Biomaterials.** 18 :701-3.
- Ganss,C., Jung,M.1998. Effect of Eugenol-containing Temporary Cements on Bonding Strength of Composite to Dentin. **Oper Dent.** 23:55-62.
- Goldman,L.B., Bogis,J., Cavalleri,R.,Lin,P.S. 1982. Scanning electron microscopic study of the effects of various irrigants and combination on the walls or prepare root canals. **J Endodon.** 11:487-92.
- Goldman,M.,DE Vitre,R. & Pier,M.1984 Effect of the dentine smeared layer on tensile strength of cement posts. **J Prosthet Dent.** 52:485-8.
- Gwinnette,A.J. 1984. Smear layer:Morphological consideration. **Oper Dent.** (suppl) 3:3-12.
- Gwinnette,A.J. 1993. Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. **Am J Dent.** 6:7-9.
- Gwinnette,A.J. 1994a. Dentin bond strength after air drying and rewetting. **Am J Dent.** 7(3): 144-8.
- Gwinnette,A.J. 1994d. Chemically conditioned dentin : a comparison of conventional and environmental scanning electron microscopy. **Dent Mater.** 10:150-5.
- Haddix,J.E., Mattison,G.D., Shulman,C.A., Pink,F.E.1990. Post preparation techniques and their effect on the apical seal. **J Prosthet Dent.** 64:515-9.

- Hansen,E.K., Asmussen, E. 1987Influence of temporary filling materials on effect of dentin-bonding agents. **J Dent Res.** 95:516-20.
- Hume, W.R. 1984a. An analysis of the release and the diffusion through dentin of eugenol from zinc-oxide eugenol mixtures. **Scand J Dent Res.** 52:253-60.
- Hume,W.R. 1994. Influence of dentine on the pulpward release of eugenol or acids from reatorative material. **J Oral Rehab.** 21:469-73.
- Imai,Y., Kadoma,Y., Akimoto,T., Okakura.K.,Ohta,T. 1991. Importance of polymerization initiator systems and interfacial initiation of polymerization in adhesive bonding of resin to dentin. **J Dent Res.** 70:1088-91.
- Itou,K., Toril,Y., Suzuki,K., Nakai,H., Inoue,K. 1994. Adhesion of restorative resin to tooth : adhesion promoted by Liner bond II. **Adhes Dent.** 12:174-181.
- Jacobson,S.M., Von Frunhofer,J.A. 1976. The investigation of microleakage in root canal therapy: an electrochemical technique. **Oral Surg.** 48:817-23.
- Jung,M. , Ganss,C., Senger,S. 1998. Effect of Eugenol-containing Temporary Cements on Bond Strength of Composite to Enamel. **Oper Dent.** 23:63-8.
- Kielbassa,A.M., Attin,T., Hellwig,E. 1997. Diffusion Behavior of Eugenol from Zinc Oxide-Eugenol Mixtures through Human and Bovine Dentin in vitro.**Oper Dent.**22:15-20.
- Leonard,J.E., Gutmann,J.L., Guo,I.Y. 1996. Apical and coronal seal of roots obturated with a dentine bonding agent and resin. **In Endo J.** 29 :76-83.
- Limkangwalmongkol,S., Burtscher,P., Abbott,P.V., Sandler,A.B., Bishop,B.M. 1991. A Comparative Study of the Apical Leakage of four Root Canal Sealers and Lateral Condensed Gutta-percha. **J Endodon.** 17:495-9.
- Macchi,R.L., Capurro.M.A., Cebada,F.R., Kohen,S.1991. Influence of endodontic materials on the bonding of composite resin to dentin. **Endod Dent Traumatol.** 8:26-9.
- Mader,C.L., Baumgartner,J.C., Peter,D.D. 1984.Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. **J Endodon.** 10: 477-83.
- Madison,S., Krell,K.V. 1984 Comparison of ethylene-diamine tetracetic acid and Sodium hypochlorite on the apical seal endodontically treated teed. **J Endodon.** 10:499-503.
- Margano,S.M. & Milot,P. 1993. Clinical suscess of cast metal posts and cores. **J Prosthet Dent.**70:11-6.

- Markowitz,K., Moynihan,M., Kim,S. 1992. Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol. **Oral Surg Oral Med Oral Patho.** 73: 729-37.
- Marshall,S.J., Marshall,G.W., Harcourt,J.K. 1982. The influence of various cavity bases on the microhardness of composites. **Aust Dent J.** 27:291-5.
- Meryon,W.R., Johnson,S.G., Smith,A.J.1988. Eugenol release and the cytotoxicity of different zinc oxide-eugenol combination. **J Dent.** 16:66-70.
- Millstein,P.L., Nathanson,D. 1983. Effect of eugenol and eugenol cements on cured composite resin. **J Prosthet Dent.** 50:211-5.
- Millstein,P.L., Nathanson,D.1992. Effect of temporary cementation on permanent cement retention to composite resin cores. **J Prosthet Dent.** 67:856-9.
- Mitchem,J.C., Gronas,D.G.1991. Adhesion to dentin with and without smear layer under varying degree of wetness. **J Prosthet Dent.** 66:619-22.
- Miyasaka,K., Nakabayashi, N. 1999. Combination of EDTA conditioner and Phenyl-p /HEMA self- etching primer for bonding to dentin. **Dent Mater.** 15:153-7.
- Monteiro, S., Sigurjons, H., Swartz, M. L., Phillips, R. W., Rhodes, B. F. 1986. Evaluation of materials and techniques for restoration of erosion areas. **J Prosthet Dent.** 55:434 - 42.
- Mayer,T., Pioch,T.,Duschner,H.,Staehe,H.J. 1997. Dentinal adhesion and histomorphology of two dentinal bonding agents under the influence of eugenol. **Quintessence International.** 28:57-62.
- Nakabayashi,N. 1982. Resin reinforced dentin due to infiltration of monomers into the dentin at adhesive interface. **J Jpn Dent Mater.** 1: 78-81.
- Nakabayashi,N. 1985. Bonding of restorative materials to dentine : the present status in Japan. **Int Dent J.** 35:154-7.
- Nakabayashi,N.,Pashley,D.1997a. Acid conditioning and hybridization of substrate.,In **Hybridization of dental hard tissue.** 1<sup>ed.</sup> Tokyo: Quintessence Publising Co,Ltd :3:37-54.
- Nakabayashi,N.,Takarada.K. 1992. Effect of HEMA on bonding to dentin. **Dent Mater.** 8: 125 –30.
- Nergiz,I., Schmage,P., Platzer,U., McMullan-Vogel,C.G. 1997.Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts. **J Prosthet Dent .**78:451-7.



- Nikaido,T., Yamada,T., Koh,Y., Birrow,M.F., Takasu,T. 1995. Effect of air-powder polishing on adhesion of bonding systems to tooth substrates. **Dent Mater.** 11:258-64.
- Ostby,B.N. 1957. Chelation in root canal therapy. **Odont.Tidskr.** 65:3-11.
- Paige,H., Hirsch,S.M., Gelb,m.N. 1986. Effect of temporary cements on crown-to-composite resin core bond strength. **J Prosthet Dent.** 55:49-52.
- Pashley,D.H., Ciucchi,B.,Sano,H.,Yoshiyama,M., Carvalho,R.M. 1995. Adhesion testing of dentin bonding agent:A review. **Dent Mater.** 11:117-125.
- Pashley,D.H., Ciucchi,B.,Sano,H., Carvalho,R.M., Russell,C.M. 1996a. Bond strength versus dentine structure : A modeling approach. **Arch Oral Biol.** 40: 1109-1118.
- Patricia,N.R., Pereira, Okuda,M., Nakajima,M.,Sano,H.,Tagami,J.,Pashley,D.H. 2001. Relationship between bond strengths and nanoleakage: Evaluation of a new assessment method. **Am J Dent.** 14:100-4.
- Paul,S.J., Scharer,P.S. 1997. Effect of provisional cements on the bond strength of various adhesive bonding systems on dentine. **J Oral Rehab.** 24 :8 –14.
- Paul,S.J., Welter,D.A., Ghazi,M., Pashley,D.1999. Nanoleakage at the dentin adhesive interface vs  $\mu$  - tensile bond strength. **Oper Dent.** 24:181-8.
- Peters,O., Gohring,T.N., Lutz,F. 2000. Effect of eugenol-containing sealer on marginal adaptation of dentine-bonded resin filling. **Int Endod J.** 33:53 -9.
- Portell,F.R., Bernier,W.E., Lorton,L., Peter,D.D.1982. The effect of immediate versus delayed dowel space preparation on the integrity of the apical seal. **J Endodon.** 8:154-60.
- Reibis,M.H., Broadsky,J.F. 1971. Strength parameters of composite resin. **J Prosthet Dent.** 26:178-85.
- Rotberg,S.J., De Shazer D.O.1966. The complexing action of eugenol on sound dentin. **J Dent Res.** 45:307-10.
- Sano,H., Shono,T., Takatsu,T.,Hosoda,H. 1994a. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. **Oper Dent.** 19:59-64.
- Sano,H., Shono,T., Sonoda,H.,Takatsu,T., Ciucchi,B., Carvalho,R. 1994b. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength: Evaluation of a microtensile bond test. **Dent Mater.** 10 :236-40.
- Sano,H., Yoshiyama,M., Ebisu,S., Burrow,M.F., Takatsu,T.,Ciucchi,B., Carvalho,R., Pashley,D.1995. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within

- the hybrid layer. *Operative Dentistry*. 20:160-7.
- Saunders,W.P., Sounders,E.M.1992. The effect of smear layer upon the coronal leakage of gutta-percha root fillings and glass ionomer cement.. *Int Endod J*. 25:245-9.
- Saunders,W.P., Sounders,E.M.1994 Coronal leakage as a cause of failure in root canal therapy: a review. *Endodontics and dental Traumatology*. 10:105-8.
- Schwartz,R.S., Murchison,D.F., Walker,W.A. 1998. Effects of eugenol and noneugenol endodontic sealer cements on post retention. *J Endodon*. 24:564-7.
- Sen,B.H., Wesseling,P.R., Turkun,M. 1995 The smear layer : a phenomenon in root canal Therapy. *Int Endod J*. 28:141-48.
- Shillingburg,H.T., Kessler,J.C. 1982. **Restoration of the endodontically treated tooth**. Chicago.Quintessence Pub, pp13-44.
- Sorensen,J.A. and Martinoff,J.T. 1984. Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent*. 52:28-35.
- Suh,B.I. 1991. All bond : fourth-generation dentin bonding system. *J Dent Res*. 74( Spec Iss) :88.
- Sweeney,T.E., Beuchat,C.A. 1993. Limitations of methods of osmometry : measuring the osmolality of biological fluids. *Am J Physiol*. 264:469-80.
- Tam,L.E., Pilliar,R.M. 1993. Fracture toughnees of dentinal composite adhesive surface. *J Dent Res*. 72:953-59.
- Tasman,F., Cehreli,Z.C., Ogan,C., Etikan,I. 2000. Surface tension of root canal irrigants. *J Endodon*. 26: 586-7.
- Tay,F.R., Gwinnett,A.J., Pang, K.M., Wei,S.H.Y. 1995. Variability in microleakage observed in a total-etch wet-bonding technique under different handling condition. *Dent Res*. 75:1168-78.
- Tjan,A.H.L.& Nemetz,H. 1992 Effect of eugenol-containing endodontic sealer on retention of prefabricated posts luted with an adhesive composite re cement. *Quintessence International*. 23:839-44.
- Torbjorner,A.,Kalsson,S., Odman,P.A. 1995 Survival rate and failure characteristic for two post designs. *J Prosthet Dent*. 73:565-567.
- Wang,J.D., Hume,W.R. 1988. Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentin. *Int Endod J*. 21:17-26.

- Watanabe,I., Nakabayashi,N. 1993. Bonding durability photocured phenyl-P in TEGDMA to smear layer – retained bovine dentin. **Quintessence Int.** 24: 335-42.
- Watanabe,I., Nakabayashi,N., Pashley,D.H. 1994. Bonding to ground dentin by Phenyl-P self- etching primer. **J Dent Res.** 73:1212-20.
- Weine,F.S. 1982. **Endodontic therapy.** 3<sup>th</sup> ed. St Louis: CV Mosby Co, pp 595.
- White,R.R.,Goldman,M.,Lin,P. 1984. The influence of the smeared layer upon dentin tubule penetration by plastic filling materials. **J Endodon.** 10:558-62.
- Windholz,M.1988. **An encyclopedia of chemicals and drugs,**9<sup>th</sup> edition, Rahway:Merek&Co Inc pp 3378-79.
- Yamada,R.S., Armas,A., Goldman,M.,Lin,P.S. 1983. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solution: part 3. **J Endodon.** 9:137-42.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## พานาเวียเอฟ ซีเมนต์ ( Kuraray CO.,LTD Osaka, Japan )

พานาเวียเอฟซีเมนต์ เป็นเรซินซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบบ่มตัวคู่ (dual curing) เกิดการบ่มตัวในสภาวะที่ใสแสง และการบ่มตัวด้วยสารเคมี นำมาใช้ได้กับโลหะ คอมพอสิตและพอร์ซเลน

ข้อบ่งชี้แนะนำให้ใช้ในงานการยึดโลหะครอบฟันและสะพานฟัน อินเลย์ ออนเลย์ พอร์ซเลน ครอบฟัน และออนเลย์ คอมพอสิตครอบฟัน อินเลย์ ออนเลย์ การยึดติดเดือยฟัน และการใช้เป็นอัมัลกัม บอนด์ และมีข้อแนะนำให้หลีกเลี่ยงเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุที่ป้องกันโพรงประสาทฟัน หรือวัสดุอุดชั่วคราว ที่มีส่วนผสมของยูจินอล

ประกอบด้วย

1. สารปรับสภาพ อีดีไพร์เมอร์ ( ED primer) ที่ประกอบด้วย
  - เท็นเมทาคริลอิลอ็อกซีแคคคาเมทิลลินฟอสฟอริกเอซิด หรือ เอ็มดีพี ( 10-Methacryloyloxydecamethylene phosphoric acid or MDP)ซึ่งมีกลุ่มฟอสเฟตทำหน้าที่ยึดกับผิวฟัน
  - ทุไฮดรอกซีเอทิลเมทาครีเลต หรือ ฮีมา ( 2- hydroxyethyl methacrylate or HEMA)
  - เอ็นเมทาอะครีลอิลอ็อกซีอะมิโนซาลิไซคลิกเอซิด หรือ ไพวีเอ็นเอ็มเอสเอ ( n- Methacryloyl 5-Aminosalicylic acid or 5-NMSA)
2. เรซิน คือ มอดิไฟด์บิสจีเอ็มเอ ( Modified Bis- GMA ใน MDP)
3. อินออร์กานิกฟิลเลอร์ ( inorganic fillers) คือ ควอทซ์ 78%
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แสงและสารเคมีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ หรือ บีพีโอ ( benzoyl peroxide or BPO)
5. ตัวยับยั้งปฏิกิริยา คือ ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลซีลเลอร์ ( Polyethylene glycol sealer) อ็อกซีการ์ด ( Oxyguard) ช่วยกันออกซิเจนจากการเกิดปฏิกิริยาไฟลิเมอร์ไรเซชัน



ตารางแสดงข้อมูลระยะการรั่วซึม (มิลลิเมตร) ที่บริเวณปลายรากในการทดลองตอนที่ 1

	กลุ่มที่ 1 ระยะการรั่วซึม(มิลลิเมตร)	กลุ่มที่ 2 ระยะการรั่วซึม(มิลลิเมตร)
1	0.876	0.556
2	0.472	0.602
3	0.480	0.495
4	1.234	0.731
5	0.000	0.594
6	0.563	1.051
7	1.059	0.780

ตารางแสดงข้อมูลระยะการรั่วซึม (มิลลิเมตร) ที่บริเวณภายในคลองรากฟันภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ ในการทดลองตอนที่ 2

	น้ำเกลือ	แอลกอฮอล์	อะซีโตน	กรดฟอสฟอริก	อีดีทีเอ
1	0.259	0.647	1.090	0.450	0.716
2	0.010	0.547	0.457	0.503	1.485
3	0.274	0.571	1.211	0.450	0.686
4	0.000	0.795	0.213	0.873	0.899
5	0.213	0.373	0.785	0.411	0.998
6	0.008	0.000	0.564	1.455	0.709
7	0.274	1.013	0.914	0.571	1.143
8	0.000	0.922	0.594	0.807	1.203
9	0.000	0.823	1.226	0.442	0.571
10	0.168	1.143	0.610	0.457	0.495
11	0.000	1.568	0.564	0.411	0.526
12	0.168	0.428	0.342	1.371	1.866
13	0.290	0.571	0.411	0.549	0.701
14	0.229	0.640	1.059	0.523	0.800
15	0.038	0.457	0.457	0.899	0.838

ตารางแสดงข้อมูลระยะการรั่วซึม (มิลลิเมตร) ที่บริเวณปลายราก ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆ  
ในการทดลองตอนที่ 3

	น้ำเกลือ	แอลกอฮอล์	อะซีโตน	กรดฟอสฟอริก	อีดีทีเอ
1	0.000	0.229	0.411	0.388	0.693
2	0.906	0.678	1.401	0.280	0.343
3	0.000	0.183	1.927	0.800	0.480
4	0.571	0.594	0.823	0.229	0.388
5	0.780	0.328	0.571	0.114	0.396
6	0.000	0.480	0.274	0.457	0.411
7	0.328	0.000	0.571	0.411	0.480
8	0.571	0.388	0.914	0.000	0.411
9	0.845	0.297	1.028	0.716	0.533
10	0.541	0.800	2.132	0.000	0.594
11	0.328	1.410	0.206	0.769	0.000
12	0.388	0.686	0.343	0.518	0.594
13	0.411	1.811	0.236	0.198	0.343
14	1.295	0.708	0.160	0.853	0.000
15	1.059	0.427	0.754	0.457	0.640

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงข้อมูลระยะการรั่วซึม (มิลลิเมตร) ที่บริเวณรากฟันส่วนบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับ  
เรซินซีเมนต์ ภายหลังจากการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3

	น้ำเกลือ	แอลกอฮอล์	อะซีโตน	กรดฟอสฟอริก	อีดีทีเอ
1	2.571	0.099	2.034	1.531	2.835
2	1.523	0.899	1.973	1.143	1.143
3	1.942	0.274	0.381	1.561	2.285
4	1.028	0.411	2.285	2.288	2.057
5	0.464	0.457	1.143	2.057	1.249
6	1.570	0.366	2.997	1.714	2.171
7	1.600	1.577	0.891	2.171	1.462
8	1.283	0.229	0.046	2.500	0.823
9	2.500	1.410	1.181	0.912	2.835
10	0.289	2.285	0.914	2.285	0.798
11	2.500	1.584	2.500	1.280	1.950
12	2.003	2.057	1.325	1.912	0.229
13	1.935	1.988	1.029	2.460	2.997
14	2.285	1.258	1.737	2.510	2.057
15	2.201	1.341	1.485	0.800	2.278

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงข้อมูลค่าความแข็งแรงพันธะฉนวนแบบปลั๊กออก ( MPa) ระหว่างเนื้อพินกับเรซินซีเมนต์ ภาย  
หลังการล้างด้วยสารชนิดต่างๆก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ในการทดลองตอนที่ 3

	น้ำเกลือ	แอลกอฮอล์	อะซีโตน	กรดฟอสฟอริก	อีดีทีเอ
1	5.952	5.001	9.623	8.050	17.720
2	5.749	4.670	12.147	5.621	15.260
3	10.982	5.224	16.418	7.563	14.840
4	10.118	6.127	15.270	5.864	11.176
5	4.593	6.846	12.516	6.525	12.138
6	11.176	7.379	9.273	8.729	10.827
7	6.380	3.825	17.589	4.796	17.347
8	6.156	2.602	14.000	6.359	11.758
9	9.040	3.592	10.904	4.962	14.840
10	10.070	6.583	10.271	5.564	12.982
11	8.438	3.408	14.560	5.155	12.918
12	7.796	8.098	9.593	8.729	12.138
13	8.943	8.350	12.079	5.621	15.171
14	9.904	2.835	11.685	9.050	11.574
15	9.940	5.845	11.827	7.127	11.622

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Group Statistics**

group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
LEAK control	7	.668986	.417767	.157901
remove gutta percha	7	.754114	.345402	.130550

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower		Upper
LEAK	Equal variances assumed	.737	.408	-.416	12	.685	-8.51E-02	.204880	-.531524	.361267
	Equal variances not assumed			-.416	11.591	.685	-8.51E-02	.204880	-.533280	.363023

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Report

groug		LEAK	APILEAK	BONDST	COROLEAK
normal saline	Mean	.134527	.536167	8.34913	1.712900
	N	15	15	15	15
	Std. Deviation	.117950	.390964	2.11134	.708882
	Minimum	.0000	.0000	4.593	.2894
	Maximum	.2894	1.2948	11.176	2.5710
ethy alcohol	Mean	.699093	.601013	5.35900	1.082087
	N	15	15	15	15
	Std. Deviation	.369416	.471484	1.86966	.739367
	Minimum	.0000	.0000	2.602	.0990
	Maximum	1.5675	1.8105	8.350	2.2850
acetone	Mean	.699687	.783467	12.51700	1.461247
	N	15	15	15	15
	Std. Deviation	.326643	.614912	2.55632	.800167
	Minimum	.2132	.1599	9.273	.0457
	Maximum	1.2262	2.1326	17.589	2.9970
acid	Mean	.677960	.413793	6.64767	1.808033
	N	15	15	15	15
	Std. Deviation	.340338	.280462	1.46293	.582243
	Minimum	.4113	.0000	4.796	.7995
	Maximum	1.4547	.8530	9.050	2.5100
EDTA	Mean	.908873	.420413	13.48740	1.811133
	N	15	15	15	15
	Std. Deviation	.379617	.201766	2.22358	.828214
	Minimum	.4950	.0000	10.827	.2285
	Maximum	1.8660	.6931	17.720	2.9970
Total	Mean	.624028	.550971	9.27204	1.575080
	N	75	75	75	75
	Std. Deviation	.407090	.428803	3.80659	.769136
	Minimum	.0000	.0000	2.602	.0457
	Maximum	1.8660	2.1326	17.720	2.9970

### Tests of Normality

group		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			
		Statistic	df	Sig.	
LEAK	normal saline	.193	15	.136	
	ethy alcohol	.156	15	.200*	
	acetone	.209	15	.077	
	acid	.290	15	.001	
	EDTA	.177	15	.200*	
	APILEAK	normal saline	.131	15	.200*
APILEAK	ethy alcohol	.210	15	.074	
	acetone	.168	15	.200*	
	acid	.126	15	.200*	
	EDTA	.217	15	.056	
	COROLEAK	normal saline	.156	15	.200*
	COROLEAK	ethy alcohol	.201	15	.105
acetone		.105	15	.200*	
acid		.133	15	.200*	
EDTA		.166	15	.200*	
BONDST		normal saline	.169	15	.200*
BONDST		ethy alcohol	.127	15	.200*
	acetone	.167	15	.200*	
	acid	.171	15	.200*	
	EDTA	.195	15	.131	

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

\*\* . This is an upper bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Test of Homogeneity of Variance

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
LEAK	2.499	4	70	.050
APILEAK	3.306	4	70	.015
COROLEAK	.605	4	70	.661
BONDST	1.299	4	70	.279

## ANOVA

## Oneway

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COROLEAK	Between Groups	5.775	4	1.444	2.659	.040
	Within Groups	38.001	70	.543		
	Total	43.776	74			
APILEAK	Between Groups	1.390	4	.347	1.991	.105
	Within Groups	12.217	70	.175		
	Total	13.607	74			
BONDST	Between Groups	770.250	4	192.562	44.631	.000
	Within Groups	302.017	70	4.315		
	Total	1072.267	74			
LEAK	Between Groups	5.025	4	1.256	12.150	.000
	Within Groups	7.238	70	.103		
	Total	12.263	74			

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: APILEAK

Tamhane

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
normal saline	ethy alcohol	-6.48E-02	.153	1.000	-.546636	.416942
	acetone	-.247300	.153	.894	-.827615	.333015
	acid	.122373	.153	.983	-.258306	.503052
	EDTA	.115753	.153	.979	-.239336	.470843
ethy alcohol	normal saline	6.485E-02	.153	1.000	-.416942	.546636
	acetone	-.182453	.153	.990	-.793670	.428764
	acid	.187220	.153	.892	-.251467	.625907
	EDTA	.180600	.153	.876	-.238400	.599600
acetone	normal saline	.247300	.153	.894	-.333015	.827615
	ethy alcohol	.182453	.153	.990	-.428764	.793670
	acid	.369673	.153	.383	-.180264	.919610
	EDTA	.363053	.153	.364	-.173720	.899827
acid	normal saline	-.122373	.153	.983	-.503052	.258306
	ethy alcohol	-.187220	.153	.892	-.625907	.251467
	acetone	-.369673	.153	.383	-.919610	.180264
	EDTA	-6.62E-03	.153	1.000	-.279931	.266691
EDTA	normal saline	-.115753	.153	.979	-.470843	.239336
	ethy alcohol	-.180600	.153	.876	-.599600	.238400
	acetone	-.363053	.153	.364	-.899827	.173720
	acid	6.620E-03	.153	1.000	-.266691	.279931

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: LEAK

LSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
normal saline	ethy alcohol	-.564567*	.117	.000	-.798750	-.330383
	acetone	-.565160*	.117	.000	-.799344	-.330976
	acid	-.543433*	.117	.000	-.777617	-.309250
	EDTA	-.774347*	.117	.000	-1.008530	-.540163
ethy alcohol	normal saline	.564567*	.117	.000	.330383	.798750
	acetone	-5.93E-04	.117	.996	-.234777	.233590
	acid	2.113E-02	.117	.858	-.213050	.255317
	EDTA	-.209780	.117	.078	-.443964	2.44E-02
acetone	normal saline	.565160*	.117	.000	.330976	.799344
	ethy alcohol	5.933E-04	.117	.996	-.233590	.234777
	acid	2.173E-02	.117	.854	-.212457	.255910
	EDTA	-.209187	.117	.079	-.443370	2.50E-02
acid	normal saline	.543433*	.117	.000	.309250	.777617
	ethy alcohol	-2.11E-02	.117	.858	-.255317	.213050
	acetone	-2.17E-02	.117	.854	-.255910	.212457
	EDTA	-.230913	.117	.053	-.465097	3.27E-03
EDTA	normal saline	.774347*	.117	.000	.540163	1.008530
	ethy alcohol	.209780	.117	.078	-2.4E-02	.443964
	acetone	.209187	.117	.079	-2.5E-02	.443370
	acid	.230913	.117	.053	-3.3E-03	.465097

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



## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: COROLEAK

LSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
normal saline	ethy alcohol	.630813*	.269	.022	9.42E-02	1.167401
	acetone	.251653	.269	.353	-.284934	.788241
	acid	-9.51E-02	.269	.725	-.631721	.441454
	EDTA	-9.82E-02	.269	.716	-.634821	.438354
ethy alcohol	normal saline	-.630813*	.269	.022	-1.167401	-.9.4E-02
	acetone	-.379160	.269	.163	-.915748	.157428
	acid	-.725947*	.269	.009	-1.262534	-.189359
	EDTA	-.729047*	.269	.008	-1.265634	-.192459
acetone	normal saline	-.251653	.269	.353	-.788241	.284934
	ethy alcohol	.379160	.269	.163	-.157428	.915748
	acid	-.346787	.269	.202	-.883374	.189801
	EDTA	-.349887	.269	.198	-.886474	.186701
acid	normal saline	9.513E-02	.269	.725	-.441454	.631721
	ethy alcohol	.725947*	.269	.009	.189359	1.262534
	acetone	.346787	.269	.202	-.189801	.883374
	EDTA	-3.10E-03	.269	.991	-.539688	.533488
EDTA	normal saline	9.823E-02	.269	.716	-.438354	.634821
	ethy alcohol	.729047*	.269	.008	.192459	1.265634
	acetone	.349887	.269	.198	-.186701	.886474
	acid	3.100E-03	.269	.991	-.533488	.539688

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

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: BONDST

LSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
normal saline	ethy alcohol	2.99013*	.758	.000	1.47742	4.50285
	acetone	-4.16787*	.758	.000	-5.68058	-2.65515
	acid	1.70147*	.758	.028	.18875	3.21418
	EDTA	-5.13827*	.758	.000	-6.65098	-3.62555
ethy alcohol	normal saline	-2.99013*	.758	.000	-4.50285	-1.47742
	acetone	-7.15800*	.758	.000	-8.67071	-5.64529
	acid	-1.28867	.758	.094	-2.80138	.22405
	EDTA	-8.12840*	.758	.000	-9.64111	-6.61569
acetone	normal saline	4.16787*	.758	.000	2.65515	5.68058
	ethy alcohol	7.15800*	.758	.000	5.64529	8.67071
	acid	5.86933*	.758	.000	4.35662	7.38205
	EDTA	-.97040	.758	.205	-2.48311	.54231
acid	normal saline	-1.70147*	.758	.028	-3.21418	-.18875
	ethy alcohol	1.28867	.758	.094	-.22405	2.80138
	acetone	-5.86933*	.758	.000	-7.38205	-4.35662
	EDTA	-6.83973*	.758	.000	-8.35245	-5.32702
EDTA	normal saline	5.13827*	.758	.000	3.62555	6.65098
	ethy alcohol	8.12840*	.758	.000	6.61569	9.64111
	acetone	.97040	.758	.205	-.54231	2.48311
	acid	6.83973*	.758	.000	5.32702	8.35245

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