การรั่วซึมของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

นางสาว อริยา ทวีรัตน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0907-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEAKAGE OF RESIN CEMENTS AT DENTINOENAMEL JUNCTION

Miss Ariya Thaveeratana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-17-0907-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรั่วซึมของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน
โดย	นางสาว อริยา ทวีรัตน์
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง รำไพ โรจนกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. วันดี อภิณหสมิต)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุชิต พูลทอง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อริยา ทวีรัตน์ : การรั่วซึมของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน
(LEAKAGE OF RESIN CEMENTS AT DENTINOENAMEL JUNCTION)
อ.ที่ปรึกษา: รศ. ทญ. ดร. มรกต เปี่ยมใจ, 106 หน้า ISBN 974-17-0907-2

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต้านการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน เคลือบฟัน และเนื้อฟัน ทดสอบโดยใช้ฟันกรามแท้ของมนุษย์ตัดขวางบริเวณส่วนกลาง 1/3 ของตัวฟันเพื่อเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมขนาด 2x4x1 ม.ม. กลุ่มละ 48 ชิ้น แต่ละชิ้นประกอบด้วยเคลือบฟันและเนื้อฟันซึ่งห่างจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันข้างละ 1 ม.ม. สุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ชิ้น ยึดชิ้นตัวอย่างกับแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (กลุ่มที่ 1 และ 4) พานาเวียเอฟซีเมนต์ (กลุ่มที่ 2 และ 5) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (กลุ่ม 3 และ 6) แช่ชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมทั้งหมดในน้ำกลั่น อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เคลือบผิวด้วยสีทาเล็บยกเว้นด้านหน้า แช่กลุ่ม 1-3 ในสารละลายเบสิกฟุชซินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูและวัดการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของชิ้นตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอและด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ แช่กลุ่ม 4-6 ในสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูและวัดการรั่วซึมระดับนาโนเมตรภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ธาตุเพื่อศึกษาการกระจายของธาตุเงิน เตรียมชิ้นควบคุม 3 ชิ้น และชิ้นตัวอย่างกลุ่มละ 7 ชิ้น เพื่อศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและชั้นไฮบริดเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางและการทดสอบแทมเฮนทีทู ในกลุ่มควบคุมพบว่าเนื้อฟันมีการรั่วซึมของสีย้อมมากกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ไม่พบการรั่วซึมของสีย้อมบริเวณเคลือบฟัน เนื้อฟันมีการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตไม่แตกต่างกับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตมากกว่าเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบความแตกต่างของการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์กับชั้นฟัน กลุ่มเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีการรั่วซึมของสีย้อมและสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตบริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์กับเนื้อฟันและระหว่างซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มพานาเวียเอฟซีเมนต์มีการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตบริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์กับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่พบการรั่วซึมของสีย้อมและสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด หลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ กลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์มีความหนาของชั้นไฮบริดของเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันคงที่ กลุ่มพานาเวียเอฟซีเมนต์และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีขนาดชั้นไฮบริดของเนื้อฟันบางลง โครงสร้างและส่วนประกอบของชั้นฟันมีผลต่อการยอมให้สารผ่านตามธรรมชาติ การยึดของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด บริเวณเคลือบฟันสามารถต้านทานการรั่วซึมระดับนาโนเมตรตามธรรมชาติได้ การเกิดชั้นไฮบริดที่สมบูรณ์ของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์โดยการเตรียมผิวฟันแบบแห้งสามารถป้องกันการรั่วซึมระดับนาโนเมตรได้ การยึดของพานาเวียเอฟซีเมนต์กับเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันโดยการเตรียมผิวฟันแบบใช้สารปรับสภาพร่วมกับไพร์เมอร์โดยไม่ต้องล้างออกสามารถต้านทานการรั่วซึมระดับไมโครเมตรแต่ไม่สามารถต้านทานการรั่วซึมระดับนาโนเมตรได้ และการเตรียมผิวฟันแบบชื้นโดยใช้เวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ไม่สามารถต้านทานการรั่วซึมระดับไมโครเมตรได้

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

42761308-32: MAJOR PROSTHODONTIC DENTISTRY.

KEY WORD: RESIN CEMENT/ DENTINOENAMEL JUNCTION/ MICROLEAKAGE/ NANOLEAKAGE.

ARIYA THAVEERATANA: LEAKAGE OF RESIN CEMENTS AT DENTINOENAMEL JUNCTION:

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. MORAKOT PIEMJAI, Ph.D. 106 pp. ISBN 974-17-0907-2.

The objectives of this study were to compare the microleakage and nanoleakage at the interface of dentinoenamel junction (DEJ), enamel and dentin bonded with either Superbond C&B (SB), Panavia F (PN) or Valiolink II (VL) cements. Extracted human permanent molars were cross-sectioned at the middle third of coronal part to prepare 2x4x1 mm specimens with DEJ aligning in the middle, 1 mm of enamel and dentin on each side. Ninety-six specimens were divided into control and sample groups of 48 specimens. Each group was subdivided into 6 groups of 8 specimens. Samples were cemented to composite resin veneers using different resin cements: Groups 1, 4; 2, 5; 3, 6 with SB; PN; VL, respectively. All specimens were stored in distilled water at 37 ^{o}C for 24 h. All surfaces of specimens were coated with two layers of nail vanish except a cross-sectional surface for dye penetrating. Groups 1-3 were immersed in 0.5% basic fuchsin dye for 24 h prior to determine and measure the dye penetration using stereoscopy and digital micrometer. Groups 4-6 were immersed in 50% silver nitrate for 24 h and silver penetration was measured by digital micrometer and examined by stereoscopy, backscattered electron image and scanning electron microscopy attached energy dispersive X-ray spectrometer. Three control and seven sample specimens for each group were prepared to investigate DEJ and the quality of hybrid layer respectively using SEM.

ANOVA and Tamhane's statistical analyses were performed. For control groups, the distance of dye penetration in dentin was significantly higher than in DEJ and enamel ($p<0.01$). No dye penetration in enamel was found. The distance of silver penetration in DEJ was not significantly different when compared with that in dentin but significantly higher than in enamel. Significant differences were disclosed among sample groups in microleakage and nanoleakage at the tooth-resin interface. No leakage was found at all enamel-resin interfaces. No leakage at the tooth-cement interface was observed in groups 1SB, 2PN and 4SB. Groups 3VL and 6VL had highest leakage at the resin interfaces of dentin and DEJ. After chemical modification using HCl and NaOCl solution, the thickness of hybrid layer in enamel, dentin and DEJ of SB was consistent whereas hybridized dentin were thinner in PN and VL. The results of this study suggested that the differences in components and structures influence tooth permeability. Hybridized enamel with resin could resist natural nano-permeability. Complete hybridization via dry bonding using SB could prevent leakage at resin interfaces of enamel, DEJ and dentin. Self etching and priming using PN could resist microleakage but not nanoleakage at resin interfaces of dentin and DEJ. The highest leakage indicated that wet bondind using VL could not provide reliable bonding to DEJ and dentin.

Department/Program	Prosthodontics	Student's signature…….
Field of study	Prosthodontics	Advisor's signature…….
Academic year	2002	Co- advisor's signature……..……

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลาย ๆ ฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ในการให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่มีคุณค่าและการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดถึงสนับสนุนวัสดุในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

กรรมการทุกท่านในการให้คำแนะนำที่มีประโยชน์และแก้ไขวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. สมพร สวัสดิสรรพ์ ในการเตรียมสารละลายสีย้อม

อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ และอาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. จรัญญา หุ่นศรีสกุล ในการให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้สถิติ

อาจารย์และบุคลากรทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คลินิกบัณฑิตศึกษา ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดถึงวัสดุและเครื่องมือประกอบการวิจัย คลินิกนอกเวลาในการเก็บฟันตัวอย่าง และบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด บริษัทยูนิตี้ จำกัด บริษัทซันเมดดิเคิล จำกัดในการอนุเคราะห์วัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทบวงมหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและทุนศึกษาต่อ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้กำลังใจช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

อริยา ทวีรัตน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ซ

สารบัญภาพ.....ญ

บทที่

1. บทนำความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
2. ปริทัศน์วรรณกรรม..... 5
3. ระเบียบวิธีการวิจัย.....18
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 36
5. อภิปรายผลการวิจัย.....59
6. สรุปผลการทดลอง.....67

รายการอ้างอิง.....69

ภาคผนวก.....74

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางเคมีของเคลือบฟันและเนื้อฟัน.....7
2. ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระดับไมโครเมตร ในกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร).....36
3. ความแตกต่างสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระดับไมโครเมตร ระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร) 37
4. ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระดับนาโนเมตร ในกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร) 41
5. ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระดับนาโนเมตร ระหว่างกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร).....42
6. ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับไมโครเมตร (มิลลิเมตร) 79
7. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ของกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู 82
8. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างชั้นฟันของกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู.....83
9. การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่าง โดยการทดสอบทีแบบจับคู่.....84
10. การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่าง โดยการทดสอบทีแบบจับคู่.....85
11. การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่าง โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู.....86
12. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่าง โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู.....88
13. ความแตกต่างทางสถิติของการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มตัวอย่าง.....91

14. ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับนาโนเมตร (มิลลิเมตร) ……..…92
15. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด
ของกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู ……..……..95
16. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างชั้นฟันของกลุ่มควบคุม
โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู……..……...96
17. การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่าง
โดยการทดสอบทีแบบจับคู่……..……..…97
18. การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่าง
โดยการทดสอบทีแบบจับคู่……..……..…98
19. การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่าง
โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู……..……..99
20. การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่าง
โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู……..……101
21. ความแตกต่างทางสถิติของการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มตัวอย่าง……..……104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

1. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน และรอยหยักของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน……9
2. แผ่นเรซินคอมโพสิตขนาด 2x4x1 มิลลิเมตร……19
3. การตัดฟันเพื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุม……23
4. ชิ้นตัวอย่างพร้อมด้ามจับและทิศทางการตัดชิ้นงาน……26
5. แผนผังการแบ่งกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมเพื่อศึกษาการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร….27
6. แผนผังการแบ่งกลุ่มควบคุมเพื่อศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน……33
7. แผนผังการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาการยึดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด……35
8. การวางชิ้นตัวอย่างในแบบหล่อเรซินอะคริลิกและการตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อศึกษาการยึดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด…….. 36
9. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของชิ้นควบคุมจากแนวตั้งฉากกับแกนฟัน (x40) และชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์จากแนวขนานกับแกนฟัน (x200)…….. 41
10. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มควบคุม กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ และพานาเวียเอฟซีเมนต์ซีเมนต์จากด้านที่สีเข้า (x40).....47
11. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มควบคุมจากแนวตั้งฉากกับแกนฟัน (x40) กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟและเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์จากแนวขนานกับแกนฟัน (x400) …….. 48
12. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงตำแหน่งและการกระจายของธาตุเงินบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด…….. 49

13. ภาพถ่ายแสดงลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของกลุ่มควบคุมจาก
a) กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอหลังขัดชิ้นงาน (x200)
b) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดภายหลังขัดชิ้นงาน
c) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดภายหลังขัดชิ้นงานและแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที 51
14. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
แสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์
a) ภายหลังขัดชิ้นงาน b) ภายหลังขัดชิ้นงานและแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที c) ภายหลังขัดชิ้นงาน แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที.....55
15. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
แสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของกลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์
a) ภายหลังขัดชิ้นงาน b) ภายหลังขัดชิ้นงานและแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที c) ภายหลังขัดชิ้นงาน แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที.....56
16. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
แสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์
a) ภายหลังขัดชิ้นงาน b) ภายหลังขัดชิ้นงานและแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที c) ภายหลังขัดชิ้นงาน แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที.....57
17. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
แสดงการยึดบริเวณเคลือบฟันของกลุ่มตัวอย่างเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด
a) ภายหลังขัดชิ้นงาน b) ภายหลังขัดชิ้นงาน แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที.....58
18. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
แสดงการยึดบริเวณเนื้อฟันของกลุ่มตัวอย่างเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด
a) ภายหลังขัดชิ้นงาน b) ภายหลังขัดชิ้นงาน แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที 59

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาวะเสียวฟัน (postoperative sensitivity) การเกิดฟันผุขั้นที่สอง (secondary caries) และการเกิดพยาธิสภาพของโพรงฟัน (pulpal pathology) ภายหลังการบูรณะฟันและการใส่ฟันชนิดติดแน่น ตลอดจนการเปลี่ยนสี (discoloration) บริเวณรอยต่อระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะ มักพบได้บ่อยในทางทันตกรรม สาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือ การรั่วซึมซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ส่งผลถึงความทนทานและการคงอยู่ในช่องปากของการบูรณะฟันเป็นเวลานานได้ (durability & longevity) ซึ่งจัดเป็นความสำเร็จในการรักษาทางทันตกรรม ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการรั่วซึมมีหลายอย่าง ได้แก่ โครงสร้างของฟัน (dental structure) ชนิดของซีเมนต์ (cements) ช่องว่างบริเวณขอบวัสดุบูรณะ (marginal gap formation) ขั้นตอนในการซีเมนต์ (cementation) การเตรียมชิ้นงานในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น[1,2] ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการรั่วซึมที่มาจากโครงสร้างของฟันและชนิดของเรซินซีเมนต์ (resin cements)

โครงสร้างตามธรรมชาติของฟันประกอบด้วยเคลือบฟัน (enamel) รอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (dentinoenamel junction) เนื้อฟัน (dentin) และเนื้อเยื่อโพรงฟัน (pulpal tissue) รอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติพิเศษมีความแข็งแรงสามารถยึดเคลือบฟันไว้กับเนื้อฟันซึ่งมีสัดส่วนขององค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ผสมผสานระหว่างเคลือบฟัน และเนื้อฟันซึ่งอาจส่งผลให้บริเวณนี้มีคุณสมบัติในการยอมให้สารผ่านได้ยาก การศึกษาส่วนใหญ่แสดงถึงกำลังแรงยึดบริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟัน[3-5]และการรั่วซึมบริเวณเคลือบฟันและเนื้อฟัน[1,2,6-9] แต่ไม่มีรายงานใดที่กล่าวถึงคุณสมบัติพิเศษในการยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน การที่ส่วนประกอบของฟันแตกต่างกันในแต่ละชั้นได้แก่ เคลือบฟัน เนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน อาจมีผลต่อการยึดที่ต่างกันทำให้เกิดการรั่วซึมที่ต่างกันได้

ปัจจุบันการยึดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) มีการพัฒนาระบบการยึดของซีเมนต์ดีขึ้นเป็นลำดับ เรซินซีเมนต์เป็นวัสดุหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วและได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ลดการกรอตัดเนื้อฟันโดยไม่จำเป็น มีแรงยึดกับผิวฟันที่ดี ไม่ละลายน้ำ และคุณสมบัติที่

เด่นของเรซินซีเมนต์ประการหนึ่งคือ เรซินซีเมนต์สามารถต้านทานการรั่วซึมได้ดีกว่า[2,6-9] เรซินซีเมนต์หลายชนิดได้พัฒนาและปรับปรุงรูปแบบการเตรียมผิวฟัน ตลอดจนลักษณะการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ที่ต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณสมบัติในการยึดและการรั่วซึมที่ต่างกันด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบคุณสมบัติต้านการรั่วซึมระดับไมโครเมตร (microleakage) และนาโนเมตร(nanoleakage) บริเวณเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน เมื่อยึดด้วย
   เรซินซีเมนต์ 3 ชนิด คือ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B) พานาเวียเอฟ (Panavia F) และเวลิโอลิงค์ทู (Valiolink II)
2. เปรียบเทียบลักษณะการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน เคลือบฟันและเนื้อฟัน และศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

สมมุติฐานการวิจัย

1. ระยะรั่วซึมของสารบริเวณเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ไม่แตกต่างกัน
2. ระยะรั่วซึมของสารเมื่อยึดฟันด้วยเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน
3. ระยะรั่วซึมของสารเนื่องจากปัจจัยร่วมของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด และชั้นทั้ง 3 ของฟันไม่แตกต่างกัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การศึกษานี้แบ่งเป็น 3 ตอน คือ
   1.1 เปรียบเทียบการรั่วซึมระดับไมโครเมตร
   1.2 เปรียบเทียบการรั่วซึมระดับนาโนเมตร
   1.3 เปรียบเทียบลักษณะการยึดของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด บริเวณชั้นต่าง ๆ ของฟัน และศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การทดลองนี้ทำในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้อ้างอิงถึงการทดลองในสิ่งมีชีวิต ตลอดกระบวนการทดลองดำเนินการโดยผู้ทำการทดลองคนเดียวและใช้อุปกรณ์เดียวกัน ตลอดการศึกษาที่ห้องทันตวัสดุศาสตร์ อาคารสมเด็จย่าชั้น 9 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อุณหภูมิประมาณ 23±2 องศาเซลเซียส

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ชิ้นงาน คือ แผ่นเรซินคอมโพสิต (resin composite veneer)

ชิ้นตัวอย่าง คือ ชิ้นฟันซึ่งยึดแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์

ซีเมนต์ (cement) คือ สารช่วยยึดวัสดุบูรณะกับผิวฟัน

ดีมิเนอรอลไรซด์เดนทีน (demineralized dentin) คือ เนื้อฟันที่มีการกำจัดไฮดรอกซีอะปาไทต์ (hydroxyapatite) ออก ทำให้เส้นใยคอลลาเจน (collagen fiber) เผยออกมา

ดีมิเนอรอลไรซด์เดนทีนที่หลงเหลือ (remaining demineralized dentin) คือ เนื้อฟันใต้ชั้นไฮบริดซึ่งถูกกำจัดไฮดรอกซีอะปาไทต์ออกและที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซิน

สารยึด (bonding agent) คือ สารที่ช่วยในการยึดซีเมนต์หรือวัสดุบูรณะกับผิวฟัน

อีนาเมลสปินเดิล (enamel spindle) คือ ส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟัน (odontoblast) ที่อยู่ในท่อเนื้อฟัน (tubules) ยื่นผ่านรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันไปแทรกอยู่ระหว่างเซลล์อะมีโลบลาสต์ (ameloblast) ในระยะที่มีการสร้างเนื้อเยื่อฟัน ซึ่งจะถูกฝังในเคลือบฟันที่สร้างขึ้นในเวลาต่อมา

อีนาเมลทัฟฟ์ (enamel tuff) คือ แท่งเคลือบฟัน (enamel rod) ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นสั้น ๆ อยู่รวมกลุ่มคล้ายกอหญ้า มีการตกผลึกน้อยกว่าปกติ (hypocalcified enamel rod) และจัดเป็นโครงสร้างที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางของแท่งเคลือบฟันบนรอยหยักของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน[10]

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการยอมให้สารต่าง ๆ ในช่องปากรั่วซึมเข้าระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการแทรกซึมของแบคทีเรียและสารต่าง ๆ จากเคลือบฟันเข้าสู่เนื้อฟัน

2. ทราบประสิทธิภาพการต้านการรั่วซึมระดับไมโครเมตร และนาโนเมตรของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดเพื่อเป็นความรู้สำหรับทันตแพทย์ในการเลือกใช้วัสดุทางทันตกรรม

3. ทราบกลไกหรือลักษณะการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันตามสภาพธรรมชาติและขณะยึดกับเรซินซีเมนต์เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม

โครงสร้างฟัน

ฟันประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่แข็ง 2 ชั้น[10,11] ได้แก่ เคลือบฟัน (enamel) และเนื้อฟัน (dentin) ซึ่งแต่ละชั้นมีลักษณะและคุณสมบัติที่ต่างกัน เคลือบฟันเป็นเนื้อเยื่อที่มีการสะสมแร่ธาตุมากที่สุดและแข็งแรงที่สุดในร่างกาย ส่วนนี้ถูกสร้างจากเซลอะมีโลบลาสต์ ซึ่งทำหน้าที่สร้างเมทริกซ์ของเคลือบฟัน (enamel matrix) และควบคุมการสะสมแร่ธาตุ ซึ่งมีอนินทรียสาร (inorganic substance) คือ เกลือแคลเซียม (calcium salt) มีไฮดรอกซีอะปาไทต์เป็นส่วนประกอบหลัก ในขณะที่สารประกอบโปรตีน น้ำ และเมทริกซ์ (matrix) เป็นส่วนน้อย โครงสร้างจะมีรูพรุนบางส่วนทำให้สารเคมีหรือโมเลกุลบางชนิดซึมผ่านได้ เคลือบฟันจะมีความหนาบริเวณยอดปุ่มฟัน (cusp tip) และสันริมฟัน (marginal ridges) แต่จะบางบริเวณคอฟัน การโปร่งใสขึ้นกับการเกิดผลึกเคลือบฟันซึ่งประกอบด้วยผลึกของไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกันเป็นจำนวนมาก เรียงตัวเป็นแท่งเรียกว่าแท่งเคลือบฟัน แท่งเคลือบฟันเรียงตัวกันแน่นและตั้งฉากจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันออกมาที่ผิวเคลือบฟัน เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscopy) พบว่าแต่ละแท่งจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ 5 ไมโครเมตร (micrometer) โดยบริเวณใกล้เนื้อฟันมีขนาด 4 ไมโครเมตร และใกล้ผิวเคลือบฟันมีขนาด 8 ไมโครเมตร แท่งเคลือบฟันถูกหุ้มด้วยรอทชีส (rod sheath) การเรียงตัวของแท่งเคลือบฟันจะโค้งเป็นคลื่น ส่วนด้านบดเคี้ยว 1/3 (occlusal 1/3) มีทิศทางเฉียงเข้าหาร่อง (groove) และหลุม (pits) ของฟัน ส่วนกลางฟัน 1/3 (middle 1/3) จะทอดในแนวนอน สำหรับส่วนคอฟัน 1/3 (cervical 1/3) ในฟันแท้จะทอดแนวนอนและเฉียงลงไปทางรากฟัน เมื่ออายุมากขึ้นปริมาณน้ำระหว่างแท่งเคลือบฟันจะลดลงทำให้การซึมผ่านของสารต่าง ๆ ลดลง

เนื้อฟัน[11] เป็นเนื้อเยื่อแข็งที่มีชีวิตประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (specialized cells) คือ เซลล์สร้างเนื้อฟัน นอกจากนี้ยังมีสารระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ได้แก่ โปรทีโอไกลแคน (proteoglycans) คอลลาเจน (collagen) เป็นต้น ซึ่งเซลล์สร้างเนื้อฟันจะพบบริเวณรอยต่อเนื้อฟันกับโพรงฟัน (pulp) โดยยื่นแขนงเข้าไปในท่อเนื้อฟัน และมีการสะสมแร่ธาตุ (calcification) รอบ ๆ แขนงเซลล์สร้างเนื้อฟันและท่อเนื้อฟันขึ้นเป็นผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ซึ่งเป็นส่วนอนินทรียสาร มีผลทำให้เนื้อฟันมีความแข็งมากกว่ากระดูก แต่น้อยกว่าเคลือบฟัน ท่อเนื้อฟันจะทอดจากด้านใกล้โพรงฟันไปตั้งฉากกับบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันซึ่งจะโค้งเป็นรูปตัวเอส (s) บริเวณตัว

ฟัน และยืดเป็นเส้นตรงบริเวณรากฟัน แต่ละท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 2.5 ไมโครเมตร[12] มีขนาดใหญ่บริเวณใกล้โพรงฟันประมาณ 3 ไมโครเมตร และค่อย ๆ เล็กลงขนาดประมาณ 0.9-1 ไมโครเมตร บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน เนื้อฟันชั้นที่สอง (secondary dentin) มีส่วนของแร่ธาตุสะสมอยู่มากกว่าชั้นแรก (primary dentin) ส่วนอินทรียสาร (organic substance) ในเนื้อฟันส่วนใหญ่ได้แก่ เส้นใยคอลลาเจน แต่ละเส้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05-0.2 ไมโครเมตร มีแถบขวาง (cross band) ห่างกันประมาณ 640 อังสตรอม (angström) รวมตัวกันเป็นมัด การเรียงตัวของเส้นใยคอลลาเจนจะทอดตัวไม่เป็นระเบียบรอบ ๆ ท่อเนื้อฟัน เมื่อเกิดการสะสมแร่ธาตุคอลลาเจนจะถูกหุ้มด้วยผลึกของไฮดรอกซี-อะปาไทต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่าแท่งไฮดรอกซีอะปาไทต์มีลักษณะแบนยาวประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ลักษณะเหมือนในเคลือบฟันแต่ขนาดเล็กกว่า ผลึกของอะปาไทต์จะทอดตามความยาวของเส้นใยคอลลาเจนซึ่งเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและพันกันเป็นตาข่าย (network) ทำให้การเรียงตัวของผลึกมีลักษณะไม่แน่นอนด้วย การสะสมแร่ธาตุซึ่งเป็นผลจากการตกผลึกเกิดขึ้นระหว่างเส้นใยคอลลาเจน เริ่มจากบริเวณกลอบูลา (globular area) เล็ก ๆ แล้วรวมกันเป็นขนาดใหญ่ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการรวมตัวกันของผลึก มีการสะสมแร่ธาตุน้อยเรียก ไฮโปมิเนอไรเซชัน (hypomineralization) พบบริเวณอินเตอร์กลอบูลาเดนทีน (interglobular dentin) พบมากบริเวณแนวเดียวกับเส้นอินครีเมนทอล (incremental line) และใกล้กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน นอกจากนี้เนื้อฟันที่อยู่รอบ ๆ ท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) จะมีการสะสมแร่ธาตุมากกว่าบริเวณที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) [13]

Pashley และ Lazzari[14] กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างฟันและปริมาณของท่อเนื้อฟันจะมีผลต่อคุณสมบัติยอมให้สารผ่านได้ต่างกัน Maroli และคณะ[15] พบว่าเนื้อฟันส่วนคอฟันยอมให้สารผ่านง่ายกว่าส่วนด้านบดเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับส่วนกลางฟันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และไม่มีผลแตกต่างกันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesiodistal) อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางเคมีบริเวณเคลือบฟันและเนื้อฟันมีความแตกต่างกันหลายประการ สามารถเปรียบเทียบได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

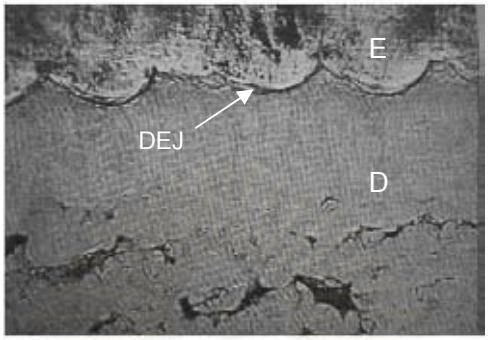
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางเคมีของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน [10,16]

คุณสมบัติ	เคลือบฟัน	เนื้อฟัน
ความยืดหยุ่น (flexibility)	น้อย	มาก
การยอมให้สารผ่าน	ยาก	ง่าย
ปริมาณสารอนินทรีย์	มาก	น้อย
ร้อยละโดยน้ำหนัก	95	70
ร้อยละโดยปริมาตร	87	47
ปริมาณสารอินทรีย์		
ร้อยละโดยน้ำหนัก	1	20
ร้อยละโดยปริมาตร	2	33
น้ำ		
ร้อยละโดยน้ำหนัก	4	10
ร้อยละโดยปริมาตร	11	20
เซลล์ที่สร้าง	อะมีโลบลาสต์	เซลล์สร้างเนื้อฟัน

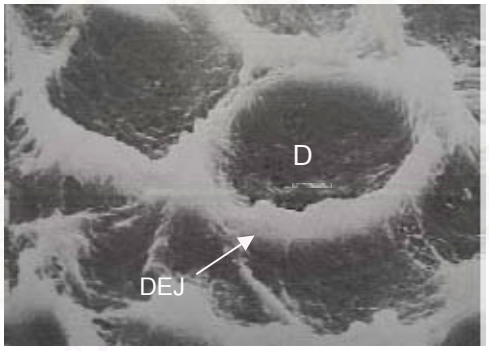
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระหว่างชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน[10] มีเนื้อเยื่อพิเศษช่วยในการยึดชั้นทั้งสองไว้ด้วยกัน เรียกว่า รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ซึ่งเกิดบริเวณเบซอลลามินา (basal lamina) ขณะมีการแยกตัวระหว่างเซลล์อะมีโลบลาสต์และเซลล์สร้างเนื้อฟันในระยะก่อนที่เซลล์สร้างเนื้อฟันจะเปลี่ยนแปลงหน้าที่ จะเกิดเยื่อบาง ๆ ที่มีความต่อเนื่อง (continuous membrane) มาแยกระหว่างปุ่มเนื้อกำเนิดฟัน (dental papilla) และเยื่อบุผิวฟันด้านใน (inner dental epithelium) ชั้นเยื่อบาง ๆ นี้จะเจริญเป็นรอยต่อ-เคลือบฟันกับเนื้อฟันต่อไป ลักษณะรอยหยักของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันพบก่อนที่จะสร้างส่วนเนื้อเยื่อแข็งเสร็จ ลักษณะรอยหยักเป็นรอยหว่ำแยกจากกัน (crater like depression) ขอบของรอยหยักยกตัวเชื่อมกันอย่างต่อเนื่องหนาประมาณ 5-12 ไมโครเมตร รอยหยัก (scalloped) หรือขอบบิดเบี้ยวอาจมีสาเหตุจากการลดความเครียดขณะที่ตกผลึก

Whittaker[17] ศึกษารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (transmission electron microscopy) เปรียบเทียบระหว่างฟันมนุษย์กับฟันลิง (*Macaca irus*) พบว่าสัตว์ที่อยู่ในสายพันธุ์ (species) เดียวกัน มีลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันต่างกัน รอยหยักในฟันมนุษย์มีขนาดใหญ่และโค้งมากกว่าฟันลิง พบว่าฟันแท้ของมนุษย์และลิงมีรอยหยักขนาดใหญ่ ชัดเจน และจำนวนมากกว่าฟันน้ำนม รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นส่วนเนื้อฟันยื่นเข้าไปในเคลือบฟัน (รูปที่ 1a) และจะกำหนดรูปแบบการสร้างตัวของเคลือบฟัน ซึ่งบริเวณนี้มีความหนาประมาณ 8-15 ไมโครเมตร (รูปที่ 1b) ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นการยึดแบบเชิงกลระดับจุลภาคคล้ายกับการยึดของระบบสารยึดในปัจจุบันซึ่งจัดเป็นการยึดที่แข็งแรงมาก นอกจากนี้ยังพบอีนาเมลทัฟฟ์และท่อของอีนาเมลสปินเดิล แต่ไม่พบอีนาเมลสปินเดิล Lin และคณะ[18] ศึกษารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในมนุษย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบลักษณะเป็นรอยหยักเข้าหาเคลือบฟันชัดเจน ขนาดประมาณ 2-10 ไมโครเมตร มีรูพรุนมากกว่า แต่มีการสะสมแร่ธาตุน้อยกว่าเคลือบฟัน ปริมาณปริซึม (prisms) น้อยและขนาดเล็กกว่าในเคลือบฟัน Yamamoto[19] กล่าวว่าบริเวณนี้มีลักษณะโพรงเล็ก ๆ ที่มารวมกันเป็นตาข่ายในระยะที่มีการสร้างเนื้อฟันประกอบกันเป็นรอยหยักซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของแท่งเคลือบฟันร่วมกับผิวของเนื้อฟันมีลักษณะเป็นหลุม (dimples) ขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากมายภายในบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน



a)



b)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด **a)** ลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (ลูกศร) ยื่นจากเนื้อฟันเข้าหาเคลือบฟัน (x300) **b)** รอยหยักของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (ลูกศร) บริเวณเนื้อฟันของมนุษย์ (x1,000)[17]

D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน

Doukoudakis และคณะ[20] ศึกษาในฟันมนุษย์ทั้งในฟันหน้าและฟันหลังจำนวน 70 ซี่ พบว่า การยื่น (propagations) จากเนื้อฟันไปยังเคลือบฟันนี้ทำหน้าที่ช่วยในการยึดแบบเชิงกล (mechanical retention) และให้ผลสอดคล้องกับการรายงานของ Lin และคณะ[18] Sela[21] ซึ่งกล่าวว่า รอยหยักที่ขรุขระบริเวณรอยต่อเคลือบฟันและเนื้อฟันจะช่วยเพิ่มแรงยึดให้มากขึ้น บริเวณที่รับแรงมากนั้นรอยต่อเคลือบ-ฟันกับเนื้อฟันจะมีความหนามากด้วย การกระจายรอยหยักของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันจะเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณที่ทำหน้าที่รับแรงบดเคี้ยวได้แก่ บริเวณยอดปุ่มฟัน สันริมฟันในฟันหลัง และบริเวณปุ่มด้านลิ้น (cingulum) ในฟันหน้าและค่อย ๆ ลดลงในบริเวณที่ไม่ได้ทำหน้าที่ดังกล่าวซึ่งได้แก่ บริเวณด้านสัมผัสประชิด (proximal contact) และจะเริ่มหายไปในบริเวณที่มีการสึกเหตุบดเคี้ยว (attrition) โดยเฉพาะบริเวณคอฟันพบว่าลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันค่อนข้างเรียบเนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้มีการรับแรงโดยตรง อย่างไรก็ตาม Lee และ Eakle[22] เชื่อว่าแรงจากการบดเคี้ยวสามารถส่งผ่านไปยังคอฟันในลักษณะแรงดึง (tensile forces) ทำให้พันธะทางเคมีของแท่งเคลือบฟันหลุดจากกัน Crippo และ Masi[23] กล่าวว่าสาเหตุหลักซึ่งทำให้เกิดฟันสึกบริเวณคอฟันแบบแอ็บแฟ็รกชัน (abfraction) คือ การรับแรงบดเคี้ยวที่มากเกินปกติ (excessive occlusal loads) นอกจากนี้ Doukoudakis และคณะกล่าวเสริมว่าการที่เคลือบฟันบริเวณคอฟันบางกว่าปกติ และรอยหยักบริเวณคอฟันหายไปทำให้เกิดการหลุดของเคลือบฟันบริเวณนี้ง่ายขึ้น

Poich และ Staehle[3] ศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือน (shear bond strength) บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน พบว่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนในฟันมนุษย์ (38.99 เมกกะปาสคาล; Mpa) ไม่แตกต่างกับฟันวัว (37.40 เมกกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ฟันกรามน้อยล่างมีค่ามากที่สุด (46.15 เมกกะปาสคาล) ฟันเขี้ยวล่างมีค่าน้อยที่สุด (32.63 เมกกะปาสคาล) การเตรียมฟัน 3 ประเภท ได้แก่ทำให้เย็น แห้ง หรือการใช้สารกำจัดฟันผุชนิดอะมิโนบูไทเรท (amino butyrate) ทำให้กำลังแรงยึดแบบเฉือนลดลง แต่ไม่มีผลเมื่อฟันสัมผัสกับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) ซึ่งใช้ล้างคลองรากการแตกหักมักเกิดที่เนื้อฟัน แต่ไม่เกิดที่เคลือบฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน แสดงว่าบริเวณเคลือบฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อฟัน

ส่วนประกอบรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน Miles[24] สันนิษฐานว่าประกอบด้วย เมทริกซ์ น้ำ อนินทรียสาร โปรตีน เคอราติน (keratin) และเส้นใยคอลลาเจน ซึ่ง Lin และคณะ[18] พบว่าเป็นคอลลาเจนชนิดที่ 1 (type I collagen) โดยอธิบายว่าเส้นใยนี้ยื่นจากตาข่ายคอลลาเจนในเนื้อฟันเข้าสู่เคลือบฟันซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน บางส่วนรวมกันเป็นมัดคอลลาเจนขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.08-0.12 ไมโครเมตร มีแถบขวางขนาด 600

อังสตรอม ซึ่งการกระจายตัวของตาข่ายคอลลาเจนสัมพันธ์กับการทำหน้าที่บดเคี้ยว ดังนั้นการยึดบริเวณนี้เป็นแรงยึดที่ได้จากเส้นใยเสริม (fibril reinforced bond) ซึ่งมีแร่ธาตุสะสมในระดับปานกลาง แร่ธาตุบริเวณนี้เป็นการผสมผสานกันระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่พบในเคลือบฟันและเนื้อฟัน ผลึกมีการจัดเรียงตัวและขนาดที่ต่างกัน ความสอดคล้องทางชีวกลศาสตร์ของพื้นผิวบริเวณนี้จะช่วยในการต้านทานแรงจากการบดเคี้ยวได้ดี Roth และ Clames[10] กล่าวว่าบริเวณนี้เป็นที่อยู่ของอีนาเมลทัฟฟ์ ซึ่งประกอบด้วยปริซึมและสารประกอบระหว่างปริซึมซึ่งมีการสะสมแร่ธาตุที่น้อยกว่าปริซึมในเคลือบฟัน แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผู้ใดรายงานส่วนประกอบที่ชัดเจน รวมทั้งการยอมให้สารผ่านเข้าออกในบริเวณนี้ด้วย

ลักษณะการเชื่อมยึดของวัสดุเรซินกับผิวฟัน

Bounocore[25] เริ่มนำสารยึดมาใช้กับเคลือบฟันโดยใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ทาที่ผิวเคลือบฟันเพื่อให้เกิดรอยขรุขระจำนวนมาก Busscher และคณะ[26] เสริมว่าเป็นการช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) ทำให้สารยึดซึ่งเป็นมอนอเมอร์สามารถแทรกซึมเข้าไปง่าย เมื่อแข็งตัวจะยึดแบบเชิงกลกับผิวเคลือบฟัน ในทางคลินิกพบว่าให้ผลดีในระยะยาว สารยึดตัวแรกที่นำมาใช้คือ เรซินชนิดอันฟิลบีสจีเอ็มเอ (Unfilled Bis-GMA resin) เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวเคลือบฟันเป็นเวลา 60 วินาที พบว่าชิ้นตัวอย่างมีค่ากำลังแรงแบบเฉือนประมาณ 16-21 เมกกะปาสคาล Barkmeire และ Erickson[27] พบว่าระบบใหม่ ๆ ในปัจจุบันเมื่อนำมายึดกับเคลือบฟันสามารถให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนมากกว่า 30 เมกกะปาสคาล การกัดผิวเคลือบฟันเพื่อทำความสะอาดผิว กำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) ของเคลือบฟัน เพิ่มความหยาบผิวฟันในระดับไมโครเมตร[28] ละลายผลึกปริซึมและช่องว่างระหว่างผลึกปริซึม เพื่อให้มอนอเมอร์ไหลแทรกซึมเข้าไปในบริเวณผิวที่เตรียมไว้ เมื่อเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ จึงทำให้เกิดการยึดอยู่ที่แข็งแรงระหว่างชั้นเรซินกับเคลือบฟัน

ลักษณะการเชื่อมยึดของวัสดุเรซินกับผิวเคลือบฟัน

Nakabayashi และ Pashley[29] อธิบายหลักการยึดอยู่ของสารยึดในปัจจุบันซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป คือ ปรากฏการณ์ไฮบริไดเซชัน (hybridization) ซึ่งเกิดจากผลึกภายในและระหว่างปริซึมละลายตัวออกมา ในขณะเดียวกันเรซินแทรกซึมผ่านเข้าทดแทนไฮดรอกซีอะปาไทต์ซึ่งถูกละลายด้วยกรดและทำหน้าที่หุ้มไฮดรอกซีอะปาไทต์ส่วนที่เหลือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ได้เป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) เป็นแนวเส้นตรงที่ขนานกับผิวยึดซึ่งปกคลุมชั้นเคลือบฟันอย่างต่อเนื่อง พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดแบบดึง (tensile bond strength) ประมาณ 30 เมกกะปาสคาล[30] นอกจากนี้ยัง

สามารถต้านทานต่อสารละลายประเภทกรดเช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์

ลักษณะการเชื่อมยึดของวัสดุเรซินกับผิวเนื้อฟัน

การใช้กรดกัดผิวเพื่อละลายส่วนไฮดรอกซีอะปาไทต์ทำให้เกิดช่องว่างในส่วนเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันเพื่อให้มอนอเมอร์แทรกซึมเข้าไปและเกิดไฮบริไดเซชัน ชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนซึ่งถูกหุ้มด้วยเรซิน ทั้งในบริเวณระหว่างท่อเนื้อฟัน และรอบ ๆ ท่อเนื้อฟัน เรซินส่วนที่ยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟันเรียกว่า เรซินแทก (resin tags) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05 ไมโครเมตร สามารถยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟันลึกประมาณ 16-23 ไมโครเมตร เพื่อช่วยผนึกท่อเนื้อฟัน ลดการเคลื่อนที่ของของเหลวในท่อเนื้อฟันป้องกันการระคายเคืองแก่โพรงฟัน[31] นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังแรงยึดแบบดึงระหว่างผิวเรซินกับเนื้อฟันมีค่าประมาณ 18 เมกกะปาสคาล Nakamichi และคณะ[32] พบว่าการยึดของเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟันด้านนอก (superficial dentin) มีกำลังแรงยึดแบบเฉือนมากกว่าเนื้อฟันชั้นใน (deep dentin) ซึ่งประกอบด้วยท่อเนื้อฟันจำนวนมาก

Retief[33] พบว่าความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้กัดผิวเคลือบฟันที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 10-45 Nakabayashi และคณะ[34] พบว่าการใช้กรดที่มีความเข้มข้นมากหรือใช้เวลาในการกัดผิวเนื้อฟันนาน ทำให้เกิดความหนาของชั้นดีมิเนอรอลไรซด์เดนทีนมาก ความลึกในการแทรกซึมของกรดเข้าไปในเนื้อฟันไม่ได้ช่วยให้กำลังแรงยึดสูงขึ้น แต่จะมีผลเสียต่อการยึดเนื่องจากเรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปหุ้มดีมิเนอรอลไรซด์เดนทีนได้หมด ทำให้มีดีมิเนอรอลไรซด์เดนทีนที่หลงเหลือ เกิดความอ่อนแอบริเวณนี้ได้ จากการเปรียบเทียบกำลังแรงยึดแบบดึงระหว่างเรซินกับเนื้อฟันมนุษย์[34] และฟันวัว[35] โดยใช้สารละลาย 10-3 หรือเฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride) ร้อยละ 3 ในกรดซิตริก (citric acid) ร้อยละ 10 ร่วมกับมอนอเมอร์ชนิดโฟร์เมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบี (4-META-MMA/TBB) พบว่าเมื่อใช้กรดกัดเป็นเวลา 10 วินาที ฟันมนุษย์และฟันวัวให้ค่ากำลังยึดแบบดึงสูงกว่า 30 วินาที และ 60 วินาที เมื่อใช้เวลา 10 วินาที ฟันมนุษย์พบการแตกในชั้นเรซินเท่านั้นและยิ่งใช้กรดนานขึ้นจะพบการแตกหักในชั้นของเรซินและดีมิ-เนอรอลไรซด์เดนทีนที่เหลือร่วมด้วย แต่ไม่พบในชั้นแอดฮีซีพ (adhesive failure) แสดงถึงการมีดีมิเนอ-รอลไรซด์เดนทีนที่หลงเหลืออาจเกิดการแตกหักบริเวณนี้ได้ง่าย

การศึกษาชั้นไฮบริดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด[36] โดยนำฟันที่ยึดด้วยสารยึดแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เพื่อละลายผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ในเนื้อฟันใต้ชั้นไฮบริดที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซินออก ทำให้เห็นชั้นไฮบริดชัดเจนขึ้น และแช่ต่อในสารละลายโซเดียม-ไฮโปคลอไรท์ร้อยละ 1 เพื่อกำจัดคอลลาเจนที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซิน จะเห็นความแตกต่างระหว่างเนื้อฟันส่วนที่ถูกหุ้มและไม่ถูกหุ้มชัดเจนขึ้น ชั้นไฮบริดที่สามารถทนต่อสารละลาย

กรดไฮดรอคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ได้ดีสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานฟันผุที่ดีด้วย

ซีเมนต์ชนิดเรซิน

เป็นสารยึดประเภทเรซินนำมาใช้ในการบูรณะงานทางทันตกรรม เมื่อเทียบกับซีเมนต์ทั่วไป พบว่ามีคุณสมบัติในการยึดที่ดีกับผิวฟัน และชิ้นงานวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ เซรามิก หรือโลหะ นิยมใช้กับชิ้นงานประเภท ครอบฟัน (crown) อุดฝัง (inlay) อุดครอบ (onlay) เดือยฟัน (post) แกนฟัน (core build-up) สะพานฟันติดแน่นบางส่วน (resin bonded bridge) และเป็นวัสดุรองพื้นสำหรับอมัลกัม (liner for amalgam) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินซีเมนต์มีกำลังแรงยึดดีมาก ละลายน้ำได้น้อย ความหนาของฟิล์ม (film thickness) ค่อนข้างบางประมาณ 18-40 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์ ลดการรั่วซึมได้ดีทั้งการศึกษาในคลินิกและในห้องปฏิบัติการ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการบูรณะฟัน (strengthen the restoration)[37] การหดตัวเมื่อเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์มีน้อย[38] ข้อจำกัดของเรซินซีเมนต์ได้แก่ เทคนิคหรือขั้นตอนการใช้งานโดยวิธีการซีเมนต์ค่อนข้างซับซ้อน ไวต่อความผิดพลาด (technic sensitivity) เพิ่มขั้นตอนการทำงานมากขึ้น เมื่อเรซินซีเมนต์แข็งตัวแล้วหากทิ้งไว้จะเขี่ยออกยาก การรื้อชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ค่อนข้างยากเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีราคาแพง เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งมีวิธีการใช้งานและลักษณะการบ่มตัวที่ต่างกัน[39]

ปัจจุบันระบบสารยึดมีการพัฒนาประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถแบ่งระบบสารยึดที่นิยมใช้ตามการเตรียมสภาพผิวฟันเป็น 3 ประเภทได้แก่ การยึดโดยเตรียมผิวฟันแห้ง (dry bonding) การยึดโดยการเตรียมผิวฟันชื้น (wet bonding) และการยึดโดยเตรียมผิวฟันแบบใช้กรดร่วมกับสารปรับสภาพโดยไม่ล้างออก (self etching and priming)

1. การยึดโดยเตรียมผิวฟันแบบแห้ง

เป็นระบบแรกเริ่มที่ใช้กันคือ ใช้กรดกัดผิวฟัน ล้างออก และเป่าลมให้แห้ง จากนั้นใช้ไพร์เมอร์และ/หรือสารยึดทาผิวฟัน เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพ คอลลาเจนจะยุบตัว[40,41] หากได้รับน้ำหรือไพร์เมอร์ที่เหมาะสม คอลลาเจนจะสามารถคืนตัวได้โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กับคอลลาเจนเปปไทท์ (collagen peptide) จะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล[36,42] ซึ่งกรดที่ใช้มีทั้งระบบกรดกัดรวม (total etching) ทั้งเนื้อฟันและเคลือบฟันพร้อม ๆ กันหรือแยกกรดกัดเฉพาะตำแหน่งของฟันได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์[43]

2. การยึดโดยการเตรียมผิวฟันแบบชื้น

ในกรณีที่ใช้กรดปรับสภาพ เนื้อฟันเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติไป และเมื่อเป่าแห้งเส้นใยคอลลาเจนยุบตัวลงและแข็งขึ้น ทำให้ไพร์เมอร์หรือมอนอเมอร์ไม่สามารถแทรกเข้าไปเกิดชั้นไฮบริดที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากภาวะฟันแห้งเกินไป (overdry) การคืนตัวของคอลลาเจนจะไม่เท่าเดิมและต้องใช้เวลานานขึ้นในการปรับสภาพเมื่อเปรียบเทียบกับคอลลาเจนในเนื้อฟันที่ชื้น ดังนั้นเนื้อฟันที่จะยึดควรอยู่ในสภาพที่ชื้นเล็กน้อยเพื่อคงสภาพ คุณสมบัติและช่องว่างของคอลลาเจนไว้[44,45] ระบบที่มีการเตรียมผิวฟันแบบชื้นได้แก่ ออลบอนด์ทู (All Bond 2) เวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ เป็นต้น De Jou และคณะ[46] เปรียบเทียบการทาไพร์เมอร์บนเนื้อฟันที่มีภาวะชื้นหรือแห้งมากเกินปกติโดยใช้สกอตบอนด์มัลติเพอร์พอส (Scotchbond multipurpose) พบว่าเนื้อฟันภาวะที่แห้งจะเกิดการรั่วซึมมากกว่าเนื้อฟันที่ชื้น Mitchem และ Gronas[47] กับ Tay และคณะ[48] พบว่าการมีน้ำตกค้างอยู่มากเกินไป (overwet) บนผิวฟันก่อนทาไพรเมอร์ทำให้กำลังแรงยึดต่ำลง อาจมีสาเหตุจากปริมาณน้ำที่ตกค้างรวมกับน้ำในท่อเนื้อฟันทำให้ตัวทำละลายเจือจางมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารยึดน้อยลง[48,49] อาจเกิดเรซินกลอบลู (resin globule) ที่ผนังคอลลาเจนหรือในช่องว่างระหว่างคอลลาเจน หรืออาจพบไทนีบริสเตอร์ (tiny blister) ซึ่งเกิดการรวมตัวของน้ำเป็นก้อนขวางท่อเนื้อฟันทำให้ไม่เกิดเรซินแทกซึ่งจะมองไม่เห็นในทางคลินิก อย่างไรก็ตามภาวะทั้งสองนี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในคลินิก Tay และคณะ[48] กับNakabayashi และ Pashley[50] พบว่าเนื้อฟันที่ชื้นพอเหมาะจะให้กำลังแรงยึดสูงกว่าเนื้อฟันที่แห้ง หากมีปริมาณน้ำไม่เหมาะสมจะเกิดภาวะน้ำมากเกินไปหรือภาวะฟันแห้งเกินไป ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของชั้นไฮบริด

3. การยึดโดยการเตรียมผิวฟันแบบใช้กรดร่วมกับไพร์เมอร์โดยไม่ล้างออก

Watanabe และคณะ[51] เริ่มพัฒนาระบบสารยึดที่ลดขั้นตอนการทำงานในคลินิกลง ป้องกันการยุบตัวของคอลลาเจนจากการเป่าแห้ง การตกค้างของกรดแก่บนผิวฟันจากการล้างออกไม่หมดและการตกค้างของน้ำที่มีมากเกินไป โดยใช้สารปรับสภาพที่ประกอบด้วยกรดอ่อนและไพร์เมอร์ซึ่งอยู่ในขวดเดียวกันปรับสภาพเนื้อฟันและชั้นสเมียร์พร้อมกัน ทาทิ้งไว้ 30 วินาที ไม่ต้องล้างออกแต่เป่าลมเบา ๆ การทาทิ้งไว้นานจะทำให้สารปรับสภาพมีเวลาในการละลายและแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ไปยังเนื้อฟันด้านล่าง Watanabe และ Nakabayashi[52] ให้แนวคิดเกี่ยวกับการยึดผ่านชั้นสเมียร์ว่า หากชั้นนี้มีความหนาถึง 2 ไมโครเมตร และอัดตัวกันแน่นจะต้านการแทรกผ่านของสารปรับสภาพ ทำให้เกิดชั้นไฮบริดที่บางมากเกินไป ก่อให้เกิดการรั่วซึมได้ง่าย นอกจากนี้ชั้นสเมียร์สามารถปรับสภาพบัฟเฟอร์ได้ (buffer capacity) อาจจะปรับเปลี่ยนสภาพกรดอ่อนให้เจือจางลง ประสิทธิภาพของสารยึดจะลดลง ทำให้กำลังแรงยึดต่ำลงด้วย หากมีแรงกระทำอาจจะเกิดแตกหักระหว่างชั้นสเมียร์และชั้นไฮบริดได้ ดังนั้น สารปรับสภาพชนิดนี้ต้องสามารถแทรกผ่านชั้นส

เมียร์ลงไปยังเนื้อฟันด้านล่างอย่างน้อย 1 ไมโครเมตร เพื่อให้เกิดชั้นไฮบริดที่ให้ความแนบสนิทและความแข็งแรง ระบบที่มีการเตรียมผิวฟันแบบนี้ได้แก่ พานาเวียเอฟซีเมนต์ ดังนั้นการเตรียมชิ้นฟันเพื่อศึกษาการยึดของชั้นไฮบริดโดยเฉพาะการเตรียมฟันแบบใช้กรดร่วมกับไพร์เมอร์โดยไม่ล้างออก ควรเตรียมผิวฟันโดยการขัดเปียกด้วยกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicone carbide) ขนาด 180 400 และ 600 กริต ตามลำดับ[53] เพื่อให้ได้ผิวฟันที่มีปริมาณของชั้นสเมียร์ขนาดใกล้เคียงกับชั้นสเมียร์ที่เกิดจากการกรอฟัน

การรั่วซึมระหว่างสารยึดกับผิวฟัน[54]

การรั่วซึมระหว่างสารยึดกับผิวฟันทำให้แบคทีเรียของเหลว โมเลกุล และประจุชนิดต่าง ๆ สามารถผ่านเข้าไปในท่อเนื้อฟันหรือโพรงฟันได้ ทำให้เกิดอันตรายต่อฟัน หรือการสูญเสียวัสดุบูรณะ สำหรับการยึดในเคลือบฟันมักจะไม่พบการรั่วซึม เนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นอนินทรียสาร มีน้ำและอินทรียสารน้อย มีการยึดที่แนบสนิทกับสารช่วยยึด ในทางตรงกันข้ามเนื้อฟันซึ่งมีปริมาณน้ำ ส่วนประกอบอินทรียสารที่มากกว่า ยอมให้มีการแทรกผ่านของสารง่ายกว่า ตลอดจนตำแหน่งต่าง ๆ บนตัวฟันได้แก่ ตัวฟันส่วนบน ส่วนกลางฟัน คอฟัน ความลึกของเนื้อฟันแต่ละชั้น เช่น เนื้อฟันด้านนอก หรือเนื้อฟันด้านใน ทิศทางท่อเนื้อฟัน ล้วนมีผลต่อการแทรกผ่านของสารได้ง่ายและแตกต่างกัน[15] ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันซึ่งมีความผสมผสานระหว่าง 2 ชั้นดังกล่าว ว่ามีคุณสมบัติยอมให้สารผ่านหรือต้านการรั่วซึมต่างกันอย่างไร นอกจากนี้ลักษณะการเชื่อมของเรซินกับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันยังไม่มีรายงานผลว่ามีลักษณะอย่างไร จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการศึกษาถึงปัญหา ลักษณะการยึดและการรั่วซึมบริเวณดังกล่าว

การรั่วซึมของสารที่ใช้วัดในทางทันตกรรมแบ่งเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การรั่วซึมระดับไมโครเมตร[55] และการรั่วซึมระดับนาโนเมตร[56] การรั่วซึมระดับไมโครเมตรในการบูรณะฟัน มักจะเกิดช่องว่างระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิต ซึ่งอาจเกิดจากการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ ประกอบกับคุณสมบัติการขยายตัวของเรซินคอมโพสิตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีค่าต่างจากฟันมาก[57] เป็นต้น วิธีการวัดการรั่วซึมระดับไมโครเมตรที่นิยมกันมากที่สุด มีประสิทธิภาพดี เตรียมง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายได้แก่ การแช่ชิ้นตัวอย่างด้วยสารละลายสีย้อม (dyes penetration) ซึ่งจะมีหลายชนิด ได้แก่ สารละลายเบสิกฟุชซิน (basic fuchsin) สารละลายเมททิลลีนบลู (methylene blue) สารละลายโทลูอิดีน (toluidine) เป็นต้น และนำมาตรวจดูการรั่วซึมภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereo microscopy) ที่มีการขยาย 10-70 เท่า[55] นอกจากนี้ความเข้มข้นและระยะเวลาในการย้อมมีผลต่อการแทรกซึมของสีย้อม พบว่าการใช้สารละลายเบสิกฟุชซินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะสามารถใช้เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาการรั่วซึมที่ดี มีสีแดงเห็นชัดเจน มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 3.5 อนุภาคของสีย้อมมีขนาด

เล็กประมาณ 120 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับเชื้อแบคทีเรีย(microorganism) สามารถเข้าไปจับกับโครงสร้างของฟันและส่วนอินทรียสาร บริเวณเคลือบฟันซึ่งมีอนินทรียสารมากจะติดสีได้น้อย

การรั่วซึมระดับนาโนเมตร[56] เนื่องจากการเกิดไฮบริไดเซชันในเนื้อฟันอาจเกิดช่องว่างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรซึ่งอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนที่ไม่ถูกทดแทนด้วยเรซินภายในชั้นไฮบริดหรือช่องว่างบริเวณด้านล่างชั้นไฮบริดจากการที่เรซินแทรกซึมเข้าบริเวณเนื้อฟันที่ถูกกรดกัดไม่สมบูรณ์หรือแทรกซึมไม่ทั่วตาข่ายคอลลาเจน เรซินแทกไม่ผนึกแน่นกับผนังท่อเนื้อฟัน การตกค้างของโอลิโกเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่หรือเกิดเป็นพอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุจากขณะเกิดเป็นพอลิเมอร์มีการหดตัวเข้าหาชิ้นงานทำให้เส้นใยคอลลาเจนด้านล่างยืดตัวมากเกินไปเกิดการฉีกขาด เนื่องจากเกิดการสะสมความเครียด (stress concentration) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 10-17 เมกกะปาสคาล[58] ทำให้เกิดการแทรกซึมของสารอนุภาคขนาดเล็กเข้าไปได้ถึงแม้ว่าจะไม่เห็นช่องว่างเกิดขึ้น ทำให้ช่องว่างบริเวณนี้สามารถติดต่อสู่ภายนอกได้ เกิดการผ่านเข้าออกของน้ำและสารต่าง ๆ ระหว่างชั้นไฮบริดและผิวฟัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความทนทานและการใช้งานในระยะยาวของการบูรณะทางทันตกรรม

การวัดรอยรั่วซึมระดับนาโนเมตรที่ยอมรับและเป็นที่นิยม คือแช่ในสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต (silver nitrate solution) เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก[56] มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 2.0 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในที่มืด นำมาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในระบบภาพจากสัญญานอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (backscattered electron image) เพื่อดูอนุภาคเงินควรเคลือบชิ้นตัวอย่างด้วยอนุภาคคาร์บอน (carbon particles) หรืออนุภาคทอง (gold particles) เพราะธาตุคาร์บอนมีน้ำหนักอะตอม (12.01) ต่ำกว่าธาตุเงิน (167.87) ทำให้เห็นธาตุเงินชัดเจน การเคลือบด้วยธาตุทองซึ่งมีน้ำหนักอะตอม (196.97) มากกว่าจะบดบังธาตุเงินทำให้เกิดผลคลาดเคลื่อนได้ และการที่จะเห็นสีธาตุเงินนั้นจะต้องมีปริมาณมากพอ

นอกจากนี้การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพร้อมเครื่องวิเคราะห์ธาตุ (scanning electron microscopy attached energy dispersive X-ray spectrometor) เพื่อวิเคราะห์ธาตุเงิน ทำให้ทราบปริมาณธาตุเงินในบริเวณต่าง ๆ และช่วยในการยืนยันสีขาวของธาตุเงินแยกจากปรากฏการณ์การตกค้างของกระแสอิเล็กตรอน (charging effect) ธาตุเงินมีขนาดเล็กมากประมาณ 0.059 นาโนเมตร สามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างขนาดเล็กและคงอยู่ในบริเวณรอยรั่วซึมได้ถึงแม้ว่าจะไม่พบช่องว่างระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะ การพัฒนาระบบสารยึดกันอย่างมากและรวดเร็ว แต่ยังไม่มีระบบใดที่สามารถป้องกันการรั่วซึมระดับนาโนเมตรได้ ซึ่งผลกระทบทางคลินิกอาจจะไม่ชัดเจน ถึงแม้ว่าแบคทีเรีย(0.5-1.0 ไมโครเมตร) จะมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างดังกล่าว แต่อาจมีการรั่วซึมของอนุภาคอื่นที่มีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียเช่น เอนไซม์และพิษ

จากแบคทีเรียหรือประจุจากสารละลายต่าง ๆ จากช่องปากเข้าไปในช่องนี้ได้ ในทางตรงกันข้ามหากมีการรั่วซึมของแคลเซียมหรือฟอสเฟตเข้าไปตกตะกอนอาจจะเป็นประโยชน์ในการช่วยเพิ่มความต้านทานการแพร่ผ่านของสารอื่น ๆ ในระยะยาวได้[50]

แผ่นเรซินคอมโพสิตเป็นตัวแทนของชิ้นงานประดิษฐ์ (prosthesis) ซึ่งสามารถเตรียมในห้องปฏิบัติการได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย Tyas[59] แนะนำให้ยึดชิ้นงานเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นวัสดุบูรณะฟันหลัง เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์แบบบ่มตัวด้วยแสง (light curing) มีปริมาณสารอัดแทรก (fillers) สูง[60] มีคุณสมบัติทางกายภาพดี ทนต่อกำลังแรงดึงสูง ความแข็งผิว (surface hardness) สูง ทนต่อการสึก (laboratory wear) ต้านทานการติดสีดี (color stability) เรซินคอมโพสิตสามารถต้านทานการดูดซึมสารต่าง ๆ ได้ดี หากเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์สมบูรณ์และผ่านการขัดเรียบ นอกจากนี้ Jacobson และ Rees[38] แนะนำให้เตรียมผิวชิ้นงานเรซินคอมโพสิตด้วยการเป่าทราย (sand-blasting) เพื่อเพิ่มการยึดเชิงกล (mechanical interlocking)

ในการทดลองนี้ต้องการทราบลักษณะการยึดและการรั่วซึมบริเวณระหว่างชั้นเรซินกับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันภายหลัง 24 ชั่วโมง โดยไม่ทำการทดสอบเทอร์โมซัยคลิง (thermocycling) มีนักวิจัยหลายกลุ่มให้ความคิดเห็นที่ต่างกัน Nakabayashi และ Pashley[50] พบว่าการทดสอบเทอร์โมซัยคลิงกับการยึดระหว่างเรซินกับเนื้อฟันนั้นอาจจะไม่เหมาะสมเพราะความร้อนที่สูง 60 องศาเซลเซียส นั้นอาจทำลายคอลลาเจนเมทริกซ์ (collgen matrix) มีผลให้กำลังแรงยึดลดลง และทำให้แปลผลคลาดเคลื่อนได้ Prati และคณะ[61] พบว่าแรงจากการบดเคี้ยวและการทำเทอร์โมซัยคลิงไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับไมโครเมตรเมื่อทำการบูรณะฟันโดยการอุดคลาสทู (class II) ด้วยเรซินคอมโพสิตเมื่อใช้สารยึดที่ต่างกัน Crim และคณะ[62] พบว่าการทดสอบเทอร์โมซัยคลิงทำให้การรั่วซึมระดับไมโครเมตรมากกว่าการไม่ทดสอบเทอร์โมซัยคลิงเมื่อทำการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ประชากร

1. ฟันกรามแท้ของมนุษย์
2. เรซินซีเมนต์ที่มีการใช้โดยทั่วไปในงานทันตกรรม

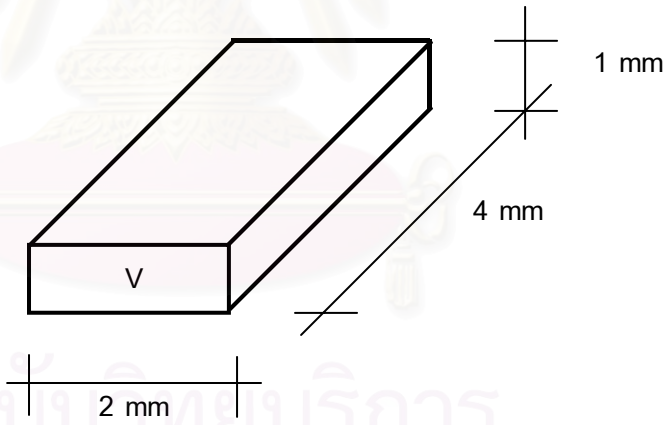
กลุ่มตัวอย่าง

1. ฟันกรามแท้ของมนุษย์ซึ่งถอนไม่เกิน 3 เดือน ไม่มีการผุ สึก รอยร้าว หรือความผิดปกติใด ๆ[53] เก็บในน้ำเกลือ (normal saline) ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงเวลาทำการทดลอง
2. เรซินซีเมนต์ที่นิยมใช้กันทั่วไป จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B, lot no. 80402, Sun-Medical Co.,LTD Shiga, Japan) พานาเวียเอฟ (Panavia F, lot no. 51176, Kuraray Co.,LTD Osaka, Japan) เวลิโอลิงค์ทู (Valiolink II, lot no. 548785BN, Ivoclar Vivadent, North America)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือในการวิจัยและการจัดการกระทำ

1. เตรียมแผ่นเรซินคอมโพสิต (รูปที่ 2) จำนวน 48 ชิ้น โดยใช้พลาสติกอินสตรูเมนต์ (plastic instrument) ตักวัสดุ 3 เอ็มฟิลเท็กพี 60 (3M Filtek™ P60, Lot no. 8100B2, 3M, USA) ใส่ในแบบพลาสติกขนาด 2X4X1 มิลลิเมตร ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ด้วยเครื่องฉายแสง (Curing light, 3M dental product, St. Paul, Germany) ซึ่งปลายของท่อฉายแสง (curing tip) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 มิลลิเมตร ความยาวคลื่นประมาณ 420 นาโนเมตร ตามคำแนะนำบริษัทผู้ผลิต ขัดแต่งด้วยกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ (Buehler-MET™ Metallographic grinding paper, USA) ความละเอียด 400 และ 600 กริต ตรวจความหนาของแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ระบบดิจิตอล (Digital micrometer, Mitutoyo 293, Japan) หน่วยเป็นมิลลิเมตรที่ระดับความแม่นยำ 0.001 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 แผ่นเรซินคอมโพสิตขนาด 2x4x1 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เตรียมผิวแผ่นเรซินคอมโพสิตบริเวณด้านที่ต้องการจะยึดโดยการเป่าทรายด้วยอนุภาคอลูมินา (Alumina particles) ขนาด 50 ไมโครเมตร ที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อเตรียมผิวชิ้นงานให้เหมือนกันทั้งหมด จากนั้นล้างทำความสะอาดในน้ำไหล แล้วนำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonics 5210, Transonic Digitals, Diethelm, Germany) 10 นาที เป่าแห้ง 2-3 วินาที เพื่อเตรียมไว้สำหรับยึดเข้ากับตัวฟันด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดต่อไป
3. สุ่มตัวอย่างฟันกรามแท้ ฝังเฉพาะส่วนรากฟันถึงรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน ลงในแบบเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยสารเคมี (Formatray®, Kerr, USA) ซึ่งมีขนาด 15x15x20 มิลลิเมตร โดยให้แกนฟันตั้งฉากกับแนวระนาบ (horizontal plane)
4. วาดแนวระนาบบริเวณด้านบดเคี้ยวที่ต้องการตัดฟันออกประมาณ 2 มิลลิเมตร จากยอดปุ่มฟันด้วยดินสอ
5. ตัดฟันออกตามแนวที่วาดไว้ (รูปที่ 3-T1) ด้วยเครื่องตัดฟัน (Isomet 1000 series 15, Buehler, USA) ซึ่งมีน้ำหล่อตลอดเวลา ความเร็ว 600 รอบต่อนาที แรงกด 150 นิวตัน การตัดขวาง (cross section) ผ่านทั้ง 3 บริเวณซึ่งจะมีด้านบดเคี้ยวเป็นระนาบประกอบด้วยเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบชั้นทั้ง 3 ได้พร้อมกัน ตรวจสภาพความสมบูรณ์ของฟัน หากมีรอยร้าวคัดออก
6. เตรียมผิวฟันบริเวณที่จะทดลอง โดยขัดเปียกด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Digital polising system, IMPTECH, DPS3200, IMPTECH international, South Africa) และกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ความละเอียดประมาณ 400 และ 600 กริต ตามลำดับ ความเร็ว 100 รอบต่อนาที แต่ละขนาดใช้เวลาขัด 30 วินาที ล้างออกด้วยน้ำสะอาด
7. กำหนดตำแหน่งฟันที่จะทำการทดลองในแต่ละด้านของฟันได้แก่ ด้านทางใกล้กลาง (mesial) ด้านทางไกลกลาง (distal) ด้านทางแก้ม (buccal) ด้านทางลิ้น (lingual) เฉพาะบริเวณที่มีรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นเส้นตรงเท่านั้น กำหนดขอบเขตผิวฟันที่ต้องการยึดบนด้านบดเคี้ยวขนาด 2x4 มิลลิเมตร บนตำแหน่งที่มีระยะเคลือบฟันและเนื้อฟันห่างจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันออกไปข้างละ 1 มิลลิเมตร
8. สุ่มฟันเพื่อเตรียมยึดกับแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด การวางชิ้นงานจะวางให้อยู่กึ่งกลางรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 3-T2) การเตรียมชิ้นตัวอย่างฟันแต่ละซี่ จะใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเดียวเพื่อลดความยุ่งยากจากขั้นตอนในการทำงาน ลดการปนเปื้อนจากซีเมนต์ชนิดอื่น

9. การผสมเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดทำตามวิธีการที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดดังนี้

9.1 ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (การยึดโดยการเตรียมผิวฟันแบบแห้ง)

9.1.1 ตวงส่วนผง ประมาณ 0.061 กรัม ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Precision electronic balance, A&D, FA-200, Japan) ระดับความแม่นยำ 0.001 มิลลิเมตร

9.1.2 เตรียมฟัน โดยทาสารละลายเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 วินาที ล้างออก 10 วินาที เป่าลมเบา ๆ 10 วินาที

9.1.3 เป่าถาดกระเบื้องซึ่งแช่เย็นจัดอุณหภูมิประมาณ 0-4 องศาเซลเซียส ให้แห้งเพื่อไล่น้ำที่ตกค้าง ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา 1 หยดกับมอนอเมอร์ 4 หยด ภายใน 5 วินาที ทาบริเวณผิวฟันที่ต้องการยึด

9.1.4 ผสมซีเมนต์ โดยเทส่วนผงในหลุมของถาดกระเบื้องที่ผสมส่วนเหลวไว้แล้วใช้พู่กันผสมทั้ง 2 ส่วนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

9.1.5 ทาซีเมนต์บาง ๆ บนแผ่นเรซินคอมโพสิตบริเวณที่ได้เตรียมผิวแล้วด้วยพู่กัน นำมายึดกับฟันตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ กดให้แนบกับฟันด้วยปากคีบ (forcep) กดให้แนบสนิทด้วยแรงจากลูกเหล็กทรงกระบอกขนาด 10 นิวตัน เป็นเวลา 10 นาที จนกระทั่งซีเมนต์แข็งตัวระยะสุดท้าย (final setting time)

9.2 พานาเวียเอฟ (การยึดโดยเตรียมผิวฟันแบบใช้กรดร่วมกับไพร์เมอร์โดยไม่ต้องล้างออก)

9.2.1 เตรียมผิวฟัน โดยหยดอีดีไพร์เมอร์ขวดเอและบีด้วยอัตราส่วน 1:1 ลงในถ้วยพลาสติกของบริษัทผสมให้เข้ากันภายใน 3 วินาที ด้วยพู่กัน ทาผิวฟันทิ้งไว้ 30 วินาที เป่าลมเบา ๆ 2-3 วินาที ทาซ้ำอีกครั้งและทิ้งไว้ 30 วินาที โดยไม่ล้างออก

9.2.2 ผสมซีเมนต์ โดยบีบส่วนเบสและตัวเร่งปฏิกริยาลงบนกระดาษสำหรับผสม ด้วยอัตราส่วน 1:1 ตามขีดที่บริษัทระบุไว้ ใช้พายพลาสติกผสมทั้ง 2 ส่วนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

9.2.3 ทาซีเมนต์บาง ๆ บนแผ่นเรซินคอมโพสิตบริเวณที่ได้เตรียมผิวแล้ว ด้วยพู่กัน นำมายึดบนฟันตามตำแหน่งที่ต้องการ กดให้แนบกับฟันด้วยปากคีบ กดต่อด้วยแรงจากลูกเหล็กทรงกระบอกขนาด 10 นิวตัน ฉายแสงบริเวณซีเมนต์เป็นเวลา 20 วินาที

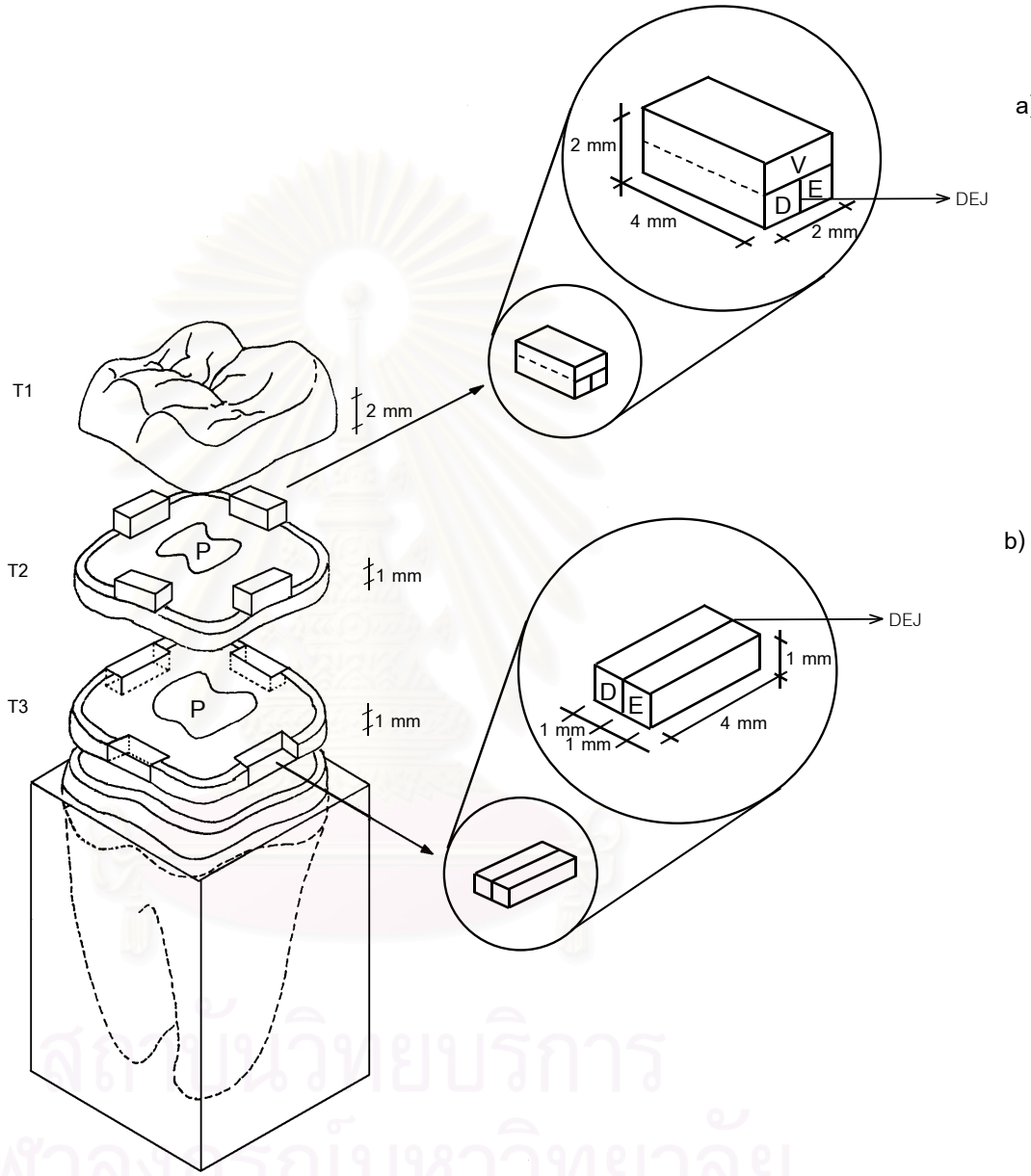
9.3 เวลิโอลิงค์ทู (การยึดโดยการเตรียมผิวฟันแบบชั้น)

9.3.1 เตรียมผิวฟัน โดยทาสารละลายกรดฟอสฟอริกร้อยละ 37 เป็นเวลา 10 วินาที ล้างออก 15 วินาที เป่าลมเบา ๆ 2-3 วินาที

9.3.2 ใช้พู่กันแตะสารละลายเอ็กไซท์ 1 หยด ทาบาง ๆ บนฟันบริเวณที่ได้เตรียมผิวแล้ว ฉายแสง 20 วินาที

9.3.3 ผสมซีเมนต์ โดยบีบส่วนเบสและตัวเร่งปฏิกริยาลงบนกระดาษผสมด้วยอัตราส่วน 1:1 ตามขีดที่บริษัทระบุไว้ ใช้พายพลาสติกผสมทั้ง 2 ส่วนจนเป็นเนื้อเดียวกันภายใน 10 วินาที ใช้พู่กันทาซีเมนต์บาง ๆ บริเวณแผ่นเรซินคอมโพสิตที่เตรียมผิวแล้ว นำมายึดกับฟัน กดให้แนบด้วยปากคีบ จากนั้นกดต่อด้วยแรงจากลูกเหล็กทรงกระบอก ขนาด 10 นิวตัน ฉายแสงบริเวณชั้นซีเมนต์ 40 วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 การตัดฟันเพื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุม a) ภาพขยายขนาดชิ้นตัวอย่าง b) ภาพขยายขนาดชิ้นควบคุม

T1 = แผ่นฟันที่ตัดทิ้งจากยอดปุ่มฟัน 2 มิลลิเมตร T2 = แผ่นฟันที่เตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างซึ่งยึดกับแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ T3 = แผ่นฟันที่เตรียมชิ้นควบคุม D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน P = โพรงฟัน V = แผ่นเรซินคอมโพสิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. ตัดฟันแต่ละซี่ที่ยึดแผ่นเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์แล้วในแนวตั้งฉากกับแกนฟันออกเป็นแผ่นด้วยเครื่องตัดฟันหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากระดับชิ้นงานซึ่งประกอบด้วยแผ่นฟันและแผ่น
เรซินคอมโพสิตหนาอย่างละ 1 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมเป็นกลุ่มตัวอย่าง (รูปที่ 3-T2)
11. ตัดฟันส่วนที่เหลือแต่ละซี่ให้ขนานกับแนวระนาบเดิม ออกเป็นแผ่นด้วยเครื่องตัดฟัน หนาประมาณ 1 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมเป็นกลุ่มควบคุม (รูปที่ 3-T3) การเตรียมชิ้นควบคุมในทิศทางเดียวกับชิ้นตัวอย่างบนฟันซี่เดียวกัน เพื่อป้องกันผลคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งและทิศทางการตัดชิ้นตัวอย่าง
12. แช่กลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมทั้งหมดในน้ำกลั่น (distilled water) เก็บในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (contherm, digital series incubator, contherm scientific LTD., Lower Hutt, New Zealand) 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
13. นำกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมทั้งหมดออกจากตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
    13.1 เตรียมชิ้นตัวอย่าง โดยตัดแต่งแผ่นฟันตัวอย่างแต่ละด้านเป็นชิ้นตัวอย่างขนาด 2X4X2 มิลลิเมตร (รูปที่ 3a) กลุ่มละ 16 ชิ้น ด้วยเข็มกรอกากเพชรทรงสอบยาว (taper diamond bur) พร้อมน้ำหล่อตลอดเวลาและหัวกรอฟันความเร็วสูง (high speed handpiece)
    13.2 เตรียมชิ้นควบคุม โดยตัดแต่งแผ่นฟันควบคุมแต่ละด้านซึ่งอยู่ตำแหน่งเดียวกับชิ้นตัวอย่างขนาด 2X4X1 มิลลิเมตร (รูปที่ 3b) กลุ่มละ 16 ชิ้น จำนวน 48 ชิ้น ด้วยเข็มกรอกากเพชรทรงสอบยาวพร้อมน้ำหล่อตลอดเวลาและหัวกรอฟันความเร็วสูง โดยแต่ละด้านของชิ้นควบคุมจะเป็นตัวแทนชิ้นตัวอย่างในด้านนั้น ๆ
    13.3 ขัดผิวชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมทุกด้าน ให้เรียบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 กริต ด้านละ 5 วินาที ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ล้างน้ำสะอาด
    13.4 ยึดแท่งพลาสติกยาว 15 มิลลิเมตร ด้านบนชิ้นควบคุมและแผ่นเรซินคอมโพสิตของชิ้นตัวอย่าง (รูปที่ 4a) ด้วยกาว (Power glue, Alteco, Osaka, Japan) ทิ้งไว้ 3 นาที โดยจะติดค่อนมาทางด้านที่เปิดให้สีเข้า เพื่อใช้ในการจับชิ้นควบคุมและชิ้นตัวอย่างขณะทดลอง
14. เคลือบผิวรอยต่อทั้ง 6 ด้านของชิ้นตัวอย่างและกลุ่มควบคุมทั้งหมด ด้วยน้ำยาทาเล็บ (nail coating,Thailand) 2 ชั้น แต่ละชั้นทิ้งไว้ให้แห้ง 10 นาที
15. ขัดเคลือบผิวแนวขนานกับแกนฟันที่ต้องการให้มีการรั่วซึมของสีย้อมด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 และ 600 กริต ขนาดละ 5 วินาที ตามลำดับ ด้วยความเร็ว

80 รอบต่อนาที จะเห็นด้านหน้าที่ต้องการเปิดให้สีย้อมเข้าประกอบด้วยเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 4a)

16. แบ่งกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมแบบสุ่มเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้นตัวอย่างและ 8 ชิ้นควบคุม

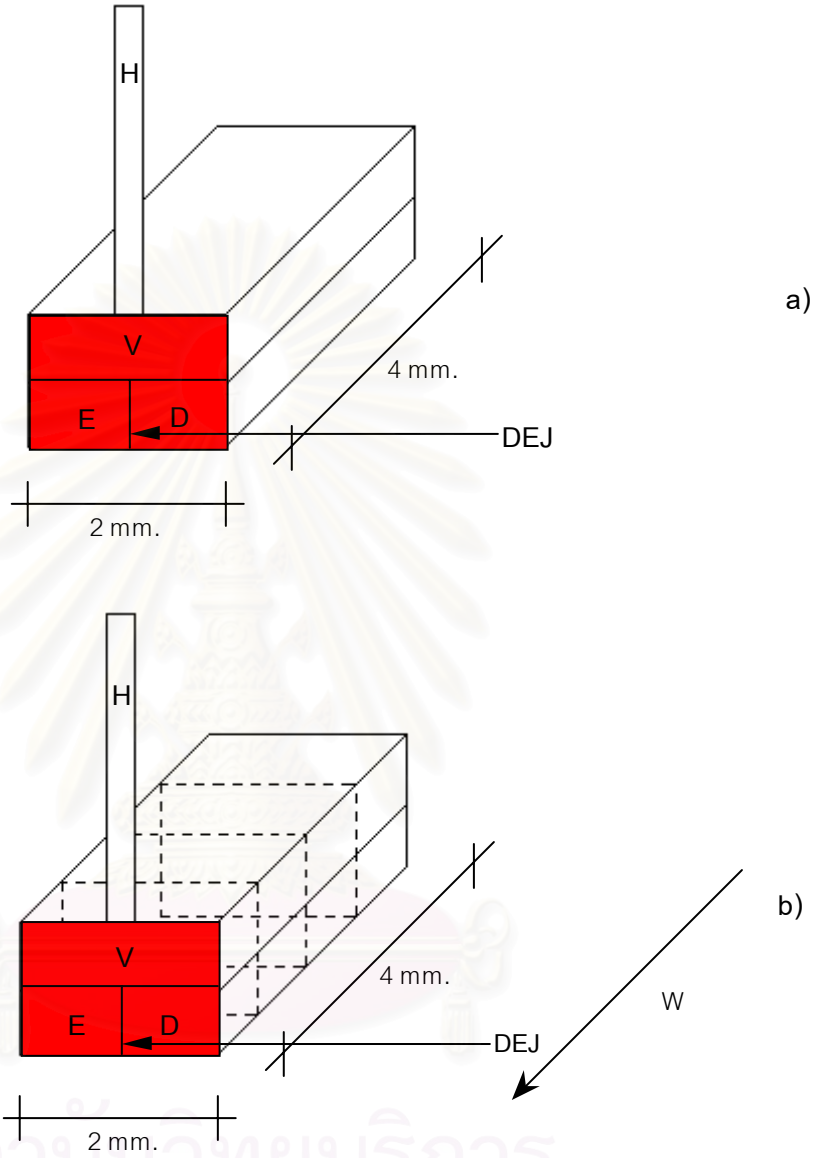
16.1 กลุ่มที่ 1 และ 4 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ยึดด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ โดยที่กลุ่ม C1 และ C4 เป็นกลุ่มควบคุมตามลำดับ

16.2 กลุ่มที่ 2 และ 5 เป็นกลุ่มที่ยึดด้วยพานาเวียเอฟซีเมนต์ โดยที่กลุ่ม C2 และ C5 เป็นกลุ่มควบคุมตามลำดับ

16.3 กลุ่มที่ 3 และ 6 เป็นกลุ่มที่ยึดด้วยเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ โดยที่กลุ่ม C3 และ C6 เป็นกลุ่มควบคุมตามลำดับ

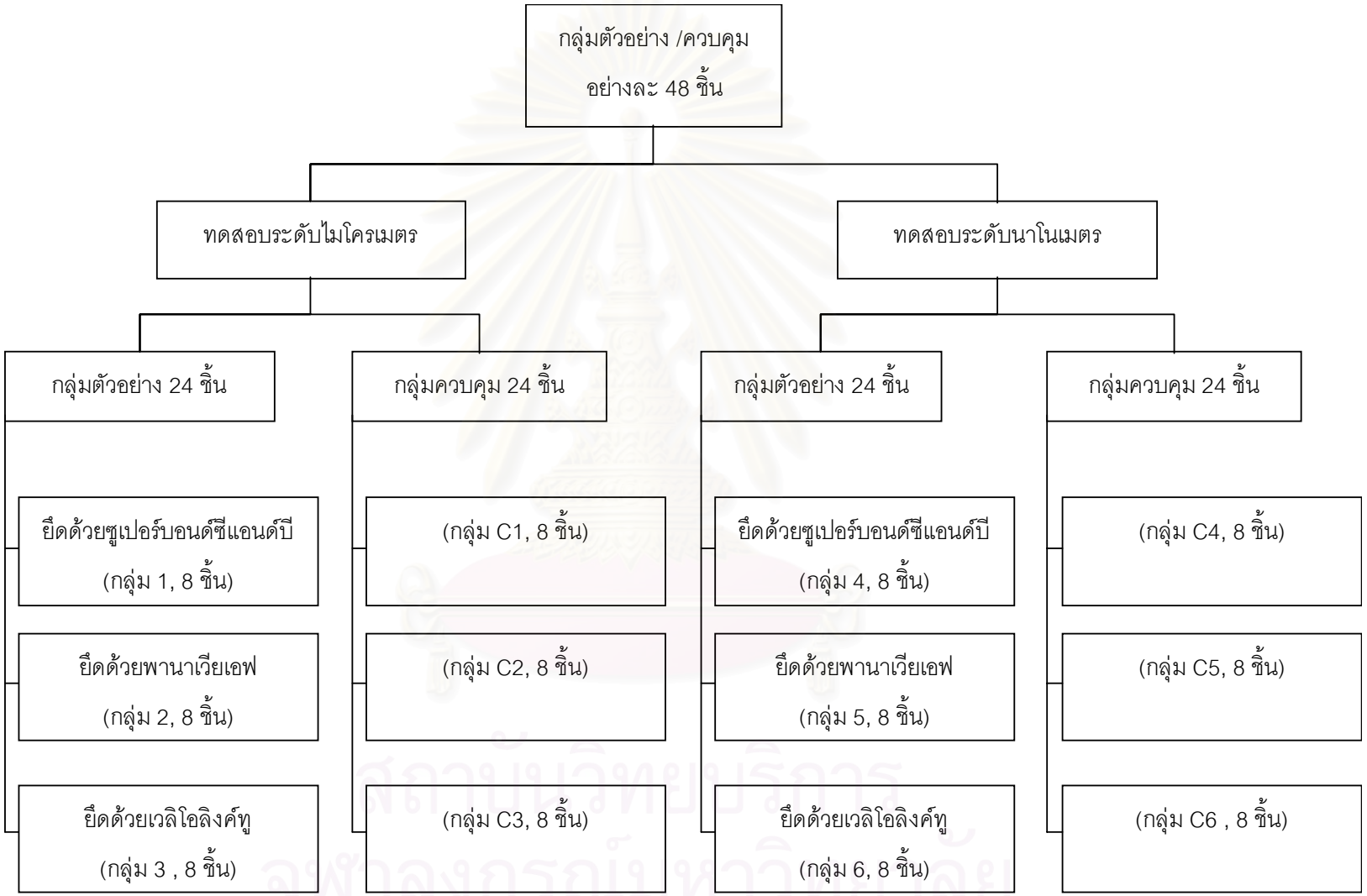
กลุ่มที่ 1 2 3 C1 C2 และ C3 ศึกษาการรั่วซึมระดับไมโครเมตร กลุ่มที่ 4 5 6 C4 C5 และ C6 ศึกษาการรั่วซึมระดับนาโนเมตรตามลำดับ ตามแผนผังการแบ่งกลุ่มทดลอง (รูปที่ 5)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 **a)** ชิ้นตัวอย่างพร้อมด้ามจับ (H) **b)** ทิศทางการตัดชิ้นงานจากด้านหลังไปด้านหน้า (W)
สีแดง = ด้านหน้าที่สีเข้า D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน V = แผ่นเรซินคอมโพสิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 แผนผังการแบ่งกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุมเพื่อศึกษาการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร

ตอนที่ 1 ศึกษาการรั่วซึมระดับไมโครเมตร

1. แช่กลุ่มตัวอย่าง 1 2 3 และกลุ่มควบคุม C1 C2 C3 ในสารละลายเบสิกฟุซซินเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการรั่วซึมของสีย้อม
2. ล้างชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น 1 นาที ซับให้แห้ง ขัดสีทาเล็บออกทุกด้านด้วยเครื่องขัดวัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 กริต ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ด้านละ 5 วินาที เพื่อเห็นลักษณะชิ้นตัวอย่างชัดเจน (รูปที่ 4a)
3. ตัดชิ้นตัวอย่างในแนวขนานกับแกนฟันจากด้านหลังไปด้านหน้า (รูปที่ 4b) ด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 กริต ความเร็ว 60 รอบต่อนาที ตรวจการรั่วซึมทุก ๆ ระยะเวลาที่ขัด 5 วินาที ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า ตัดชิ้นตัวอย่างต่อและดูกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอสลับกันไป จนกระทั่งเห็นสีย้อมครั้งแรกบริเวณระหว่างซีเมนต์กับเคลือบฟัน ซีเมนต์กับเนื้อฟัน หรือซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน วัดระยะรั่วซึมตำแหน่งละ 2 ครั้ง ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ บันทึกผลหน่วยเป็นมิลลิเมตร ทศนิยม 3 ตำแหน่ง การตัดชิ้นตัวอย่างตามแนวขนานกับแกนฟันต้องรักษาระนาบในการตัดไว้เสมอเพื่อความแม่นยำในการวัดระยะรั่วซึม
4. ตัดชิ้นตัวอย่างในแนวขนานกับแกนฟันบริเวณตำแหน่งที่มีการรั่วซึมให้มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาลักษณะและยืนยันการรั่วซึมบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์
   สเตอริโอชนิดแสงส่องผ่าน (light stereo microscopy) ที่กำลังขยาย 200 เท่า
5. วัดระยะรั่วซึมของสีย้อมในกลุ่มควบคุมแนวตั้งฉากกับแกนฟันบริเวณแต่ละชั้นฟัน ตำแหน่งละ 2 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า บันทึกผลเพื่อนำมาคำนวณหน่วยเป็นมิลลิเมตร ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 ศึกษาการรั่วซึมระดับนาโนเมตร

1. แช่กลุ่มตัวอย่าง 4 5 6 และกลุ่มควบคุม C4 C5 C6 ในสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เก็บในที่มืดโดยหุ้มด้วยกระดาษอลูมิเนียม (aluminium foil) ที่อุณหภูมิ 37 องศา- เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 1 นาที และแช่ในน้ำยาทำให้เกิดภาพ (photodeveloping solution) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence light)
2. ล้างชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น 1 นาที ซับให้แห้ง ขัดสีทาเล็บออกทุกด้านด้วยเครื่องขัดวัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 กริต ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ด้านละ 5 วินาที เพื่อเห็นลักษณะชิ้นตัวอย่างอย่างชัดเจน
3. ตัดชิ้นตัวอย่างในแนวขนานกับแกนฟันจากด้านหลังไปด้านหน้าด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ และกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 400 กริต ความเร็ว 60 รอบต่อนาที ตรวจการรั่วซึมทุก ๆ ระยะเวลาที่ขัด 5 วินาที ตรวจการรั่วซึมทุก ๆ 5 วินาที ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า ตัดชิ้นตัวอย่างต่อและดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอสลับกันไป จนกระทั่งเมื่อเห็นสีย้อมครั้งแรก ระหว่างซีเมนต์กับเคลือบฟัน ซีเมนต์กับเนื้อฟัน หรือซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน วัด ระยะรั่วซึมตำแหน่งละ 2 ครั้ง ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ บันทึกผลหน่วยเป็นมิลลิเมตร ทศนิยม 3 ตำแหน่ง การตัดชิ้นตัวอย่างตามแนวขนานกับแกนฟันต้องรักษาระนาบในการตัดไว้เสมอเพื่อความแม่นยำในการวัดระยะรั่วซึม
4. ตัดชิ้นตัวอย่างในตำแหน่งที่มีการรั่วซึมหนา 0.2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปศึกษาลักษณะและยืนยันการรั่วซึมระหว่างชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงส่องผ่านที่ กำลังขยาย 400 เท่า
5. วัดระยะรั่วซึมของสีย้อมในกลุ่มควบคุมแนวตั้งฉากกับแกนฟันบริเวณแต่ละชั้นฟัน ตำแหน่งละ 2 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า บันทึกผลเพื่อนำมาคำนวณหน่วยเป็น มิลลิเมตร ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
6. ขัดผิวชิ้นตัวอย่างทั้งหมดและชิ้นควบคุมที่พบธาตุเงิน ขัดเปียกให้เรียบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 600 1200 กริต ผงขัดกากเพชรขนาด 3 และ 1 ไมโครเมตร(diamond suspension) และผงขัดแกมมาอลูมินาขนาด 0.05 ไมไครเมตร (slurry gamma alumina) ตามลำดับ ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ขนาดละ 10 วินาที ทำความสะอาดทุกชิ้นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที เพื่อกำจัดผงขัด

7. ติดชิ้นตัวอย่างทั้งหมดและชิ้นควบคุมบนแท่นคาร์บอน (carbon stab) นำเข้าตู้อบแห้ง (dry keeper,Sanplatec corp, Japan) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้นในชิ้นตัวอย่าง จากนั้นเคลือบด้วยคาร์บอน 1 นาที ด้วยเครื่องเคลือบสุญญากาศ (Evapourator JEE-4X, JOEL, Japan) ศึกษาการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์กับชั้นต่าง ๆ ของฟันและการกระจายตัวของธาตุเงิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในระบบภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่กำลังขยาย 500 และ 2,000 เท่า พร้อมทั้งวิเคราะห์ธาตุเงินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พร้อมเครื่องวิเคราะห์ธาตุ (JSM-5008LV, JEOL, Japan) เพื่อยืนยันธาตุเงิน บันทึกผล พร้อมถ่ายภาพ

ตัวแปรในการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ มี 2 ตัว คือ
   1.1 ชนิดของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี พานาเวียเอฟ และเวลิโอลิงค์ทู
   1.2 ชั้นของฟัน 3 ชั้น ได้แก่ เคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะรั่วซึมระหว่างชั้นต่าง ๆ ของฟันกับเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลดิบระยะรั่วซึม และระยะตัดสุดท้ายของกลุ่ม ตัวอย่างและระยะรั่วซึมของกลุ่มควบคุม โดยระยะรั่วซึมระดับไมโครเมตรแสดงในตารางที่ 6 และระยะรั่วซึมระดับนาโนเมตรแสดงในตารางที่ 14

2. ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมแต่ละกลุ่มทั้งในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.01$ เพื่อศึกษาความแตกต่างหรือเหมือนกันของกลุ่มควบคุมในแต่ละกลุ่มซีเมนต์ว่าสามารถใช้อ้างอิงถึงประชากรกลุ่มใหญ่ได้หรือไม่ และศึกษาการรั่วซึมในแต่ละชั้นฟันของกลุ่มควบคุมว่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

3. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะรั่วซึมระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่างแต่ละคู่ทางสถิติ โดยใช้การทดสอบทีแบบจับคู่ (paired t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังใส่สิ่งแทรกแซง (intervention) โดยการใช้เรซินซีเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ว่าการใช้เรซินซีเมนต์มีอิทธิพลต่อการรั่วซึมหรือไม่

4. ทดสอบศึกษาอิทธิพลของปัจจัยซีเมนต์ ชั้นฟัน และทั้งสองปัจจัยร่วมกันว่ามีผลต่อการรั่วซึมหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way analysis of variance) จากนั้นทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วยการทดสอบแทมเฮนทีทู (Tamhane's T2 test) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 3 ศึกษารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มควบคุมและการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดในกลุ่มตัวอย่าง

3.1 ศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มควบคุม

1. เตรียมชิ้นควบคุมขึ้นใหม่จำนวน 3 ชิ้น (รูปที่ 6)
2. วางชิ้นควบคุมทั้ง 3 ชิ้น ในแบบหล่อซิลิโคน (silicone mold) เพื่อเทแบบด้วยเรซินอะคริลิกแบบใสชนิดบ่มตัวด้วยสารเคมีขนาด 10x25x5 มิลลิเมตร
3. ตัดชิ้นควบคุมในแนวขนานกับแกนฟันออกเป็น 3 ส่วน นำไปขัดเปียกให้เรียบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 600 และ 1200 กริต ผงขัดกากเพชรขนาด 3 และ 1 ไมโครเมตร และผงขัดแกมมาอลูมินาขนาด 0.05 ไมไครเมตร ตามลำดับ ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ขนาดละ 10 วินาที ทำความสะอาดทุกชิ้นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที เพื่อกำจัดผงขัด
4. ศึกษาชิ้นควบคุมชิ้นที่ 1 โดยดูลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังชนิดแสงส่องผ่านที่กำลังขยาย 200 เท่า บันทึกผลและถ่ายภาพ
5. แช่ชิ้นควบคุมที่ 3 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่น เป่าลมเบา ๆ
6. ติดชิ้นควบคุมที่ 2 และ 3 บนแท่นทองเหลือง (bronze stab) นำเข้าตู้อบแห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบด้วยทอง 1 นาที ศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันโดยเปรียบเทียบกับเคลือบฟันและเนื้อฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 บันทึกผลพร้อมถ่ายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6 แผนผังการแบ่งกลุ่มควบคุมเพื่อศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

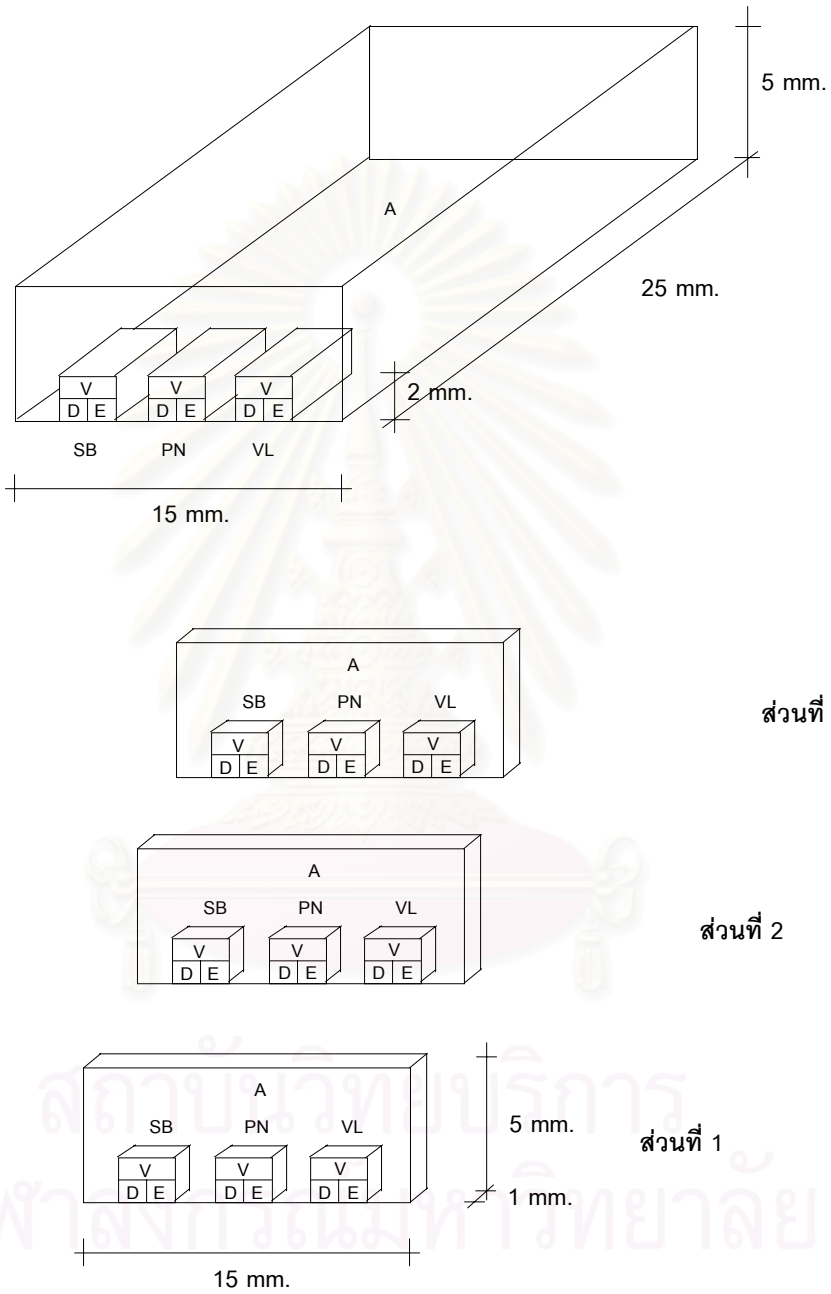
3.2 ศึกษาการยึดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดในกลุ่มตัวอย่าง

1. เตรียมชิ้นตัวอย่างแต่ละซีเมนต์ขึ้นใหม่ตามขั้นตอน 1-13 จำนวน 21 ชิ้น แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 7 ชิ้น ตามชนิดเรซินซีเมนต์ (รูปที่ 7)
2. วางชิ้นตัวอย่างทั้ง 3 ชิ้น ในแบบหล่อซิลิโคนเพื่อเทแบบด้วยเรซินอะคริลิกแบบใสชนิดบ่มตัวด้วยสารเคมีขนาด 15x25x5 มิลลิเมตร (รูปที่ 8a)
3. ตัดชิ้นตัวอย่างในแนวขนานกับแกนฟันออกเป็น 3 ส่วน (รูปที่ 8b) นำไปขัดเปียกให้เรียบด้วยเครื่องขัดผิววัสดุและกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 600 และ 1200 กริต ผงขัดกากเพชรขนาด 3 และ 1 ไมโครเมตร และผงขัดแกมมาอลูมินาขนาด 0.05 ไมโครเมตร ตามลำดับความเร็ว 80 รอบต่อนาที ขนาดละ 10 วินาที ทำความสะอาดทุกชิ้นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที เพื่อกำจัดผงขัด
4. แช่ชิ้นตัวอย่างที่ 2 และ 3 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่น เป่าลมเบา ๆ
5. แช่ชิ้นตัวอย่างที่ 3 ต่อในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น เป่าลมเบา ๆ
6. ติดชิ้นตัวอย่างทั้งหมดบนแท่นทองเหลือง นำเข้าตู้อบแห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบด้วยทอง 1 นาที ศึกษาการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันโดยเปรียบเทียบกับเคลือบฟันและเนื้อฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 2,000 เท่า บันทึกผลพร้อมถ่ายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7 แผนผังการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาการยึดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8 a) การวางชิ้นตัวอย่างในแบบหล่อเรซินอะคริลิกขนาด 15x25x5 มิลลิเมตร b) การตัดชิ้นตัวอย่างออกเป็น 3 ส่วน เพื่อศึกษาการยึดของเรซินซีเมนต์โดยการเตรียมชิ้นงานตามรูปที่ 6 แต่ละส่วนมีขนาด 15x1x5 มิลลิเมตร

A = เรซินอะคริลิก D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน PN = ชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ SB = ชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ V = แผ่นเรซินคอมโพสิต VL = ชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับไมโครเมตรในแต่ละชั้น

1.1 **เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับไมโครเมตรในกลุ่มควบคุม** (รูปที่ 9a)

จากการวิเคราะห์สถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูในกลุ่มควบคุมของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 2) พบว่าเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรมากกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรไม่แตกต่างกับเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$)

ตารางที่ 2 ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับไมโครเมตร ในกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร)

ชั้นฟัน (จำนวน 24 ชิ้น)	ระยะรั่วซึม ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
เนื้อฟัน	0.193±0.046	|
รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน	0.020±0.030	|
เคลือบฟัน	0.000±0.000	

\| = มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู ($p>0.01$)

(อ้างอิงจากตารางที่ 8)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร)

ซีเมนต์	เนื้อฟัน จำนวน 8 ชิ้น		รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน จำนวน 8 ชิ้น		เคลือบฟัน จำนวน 8 ชิ้น		ระยะตัดสุดท้าย
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	
SB	0.197±0.029	0.000±0.000[a]	0.014±0.024	0.000±0.000[a]	0.000±0.000	0.000±0.000[a]	0.178±0.022
PN	0.193±0.057	0.000±0.000[a]	0.019±0.032	0.000±0.000[a]	0.000±0.000	0.000±0.000[a]	0.191±0.017
VL	0.190±0.055	0.423±0.144[b]	0.026±0.036	0.287±0.090[c]	0.000±0.000	0.000±0.000[a]	0.200±0.011

ระยะตัดสุดท้าย = ระยะตัดฟันที่วัดได้เป็นระยะสุดท้ายในกลุ่มตัวอย่าง หรือความหนาสุดท้าย

ระยะรั่วซึม = ระยะรั่วซึมระหว่างชั้นฟันกับซีเมนต์ของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มควบคุม = ระยะรั่วซึมของกลุ่มควบคุม

———— = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดสอบค่าทีแบบจับคู่ (ตารางที่ 9)

a, b, c = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดสอบแบบแทมเฮนทีทู (ตารางที่ 13)

SB = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ PN = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ VL= กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์

(อ้างอิงจากตารางที่ 6, 9, 13)

1.2 เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่างในชั้นของฟันเรียงตามการรั่วซึมจากมากไปน้อยดังนี้

1.2.1 ผลการทดลองบริเวณเนื้อฟัน (กลุ่ม SBD, PND, VLD)

จากการวิเคราะห์สถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของระยะรั่วซึมบริเวณเนื้อฟันในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 7) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (0.197±0.029 ม.ม.) พานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.193±0.057 ม.ม.) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.190±0.055 ม.ม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.01)

จากการทดสอบทีแบบจับคู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 9) ไม่พบระยะรั่วซึมบริเวณรอยต่อซีเมนต์กับเนื้อฟันที่ระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ (0.0178±0.022 ม.ม.) และพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.191±0.017 ม.ม.) ระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างจากระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.01) (ตารางที่ 10) กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.423±0.144 ม.ม.) มีระยะรั่วซึมบริเวณเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.01)

พบระยะรั่วซึมระหว่างรอยต่อซีเมนต์กับเนื้อฟันในกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (รูปที่ 9b) แต่ไม่พบในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.000±0.000 ม.ม.) ที่ระยะตัดสุดท้าย จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 13) พบว่ากลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

1.2.2 ผลการทดลองบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (กลุ่ม SBJ, PNJ, VLJ)

จากการวิเคราะห์โดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 7) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (0.014±0.024 ม.ม.) พานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.019±0.032 ม.ม.) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.026±0.036 ม.ม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.01)

จากการทดสอบทีแบบจับคู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 9) ไม่พบระยะรั่วซึมของรอยต่อซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันที่ระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ (0.0178±0.022 ม.ม.) และพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.191±0.017 ม.ม.) พบว่าระยะรั่วซึมใน

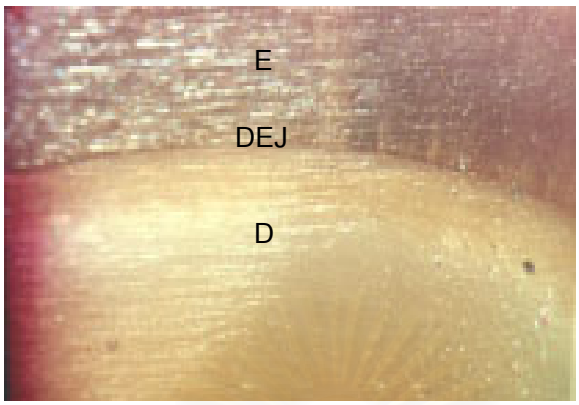
กลุ่มควบคุมของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์น้อยกว่าระยะตัดสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) (ตารางที่ 10) กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.287 ± 0.090 ม.ม.) มีระยะรั่วซึมบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

พบระยะรั่วซึมระหว่างรอยต่อซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (รูปที่ 9b) แต่ไม่พบในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.000 ± 0.000 ม.ม.) ที่ระยะตัดสุดท้าย จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 13) พบว่ากลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

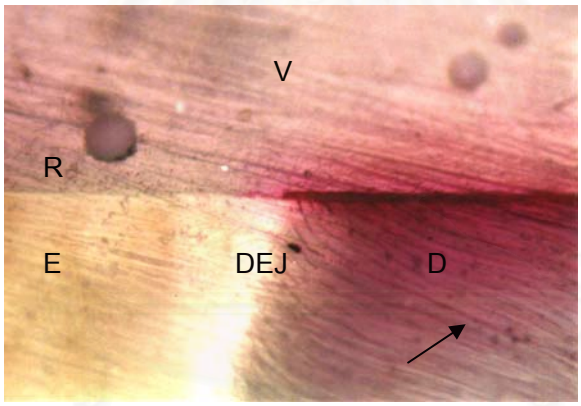
1.2.3 ผลการทดลองบริเวณเคลือบฟัน (กลุ่ม SBE, PNE, VLE)

ไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรบริเวณรอยต่อชั้นซีเมนต์กับเคลือบฟันทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะตัดสุดท้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a)



b)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับไมโครเมตร a) ชิ้นควบคุมแนวตั้งฉากกับแกนฟัน แสดงการรั่วซึมของสีย้อมเข้าในเนื้อฟันบริเวณที่ติดสีแดงที่ระยะ 0.196 ม.ม. ในรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันระยะ 0.014 ม.ม. ไม่พบสีย้อมในเคลือบฟัน (x40) b) ชิ้นตัวอย่างแนวขนานกับแกนฟันของเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ที่ระยะ 0.317 ม.ม. แสดงการรั่วซึมของสีย้อมบริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์กับเนื้อฟัน และซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (x200)
ลูกศร = ท่อเนื้อฟัน D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน R = เรซินซีเมนต์
V = แผ่นเรซินคอมโพสิต

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับนาโนเมตรในแต่ละชั้นฟัน

2.1 เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับนาโนเมตรในกลุ่มควบคุม (รูปที่ 11a)

จากการวิเคราะห์สถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของกลุ่มควบคุมของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4) เนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรมากกว่าเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรไม่แตกต่างกับเนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$)

ตารางที่ 4 ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับนาโนเมตร ในกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร)

ชั้นฟัน (จำนวน 24 ชิ้น)	ระยะรั่วซึม ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
เนื้อฟัน	0.419±0.045		
รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน	0.387±0.061	|	|
เคลือบฟัน	0.235±0.037		

\| = มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู ($p>0.01$)
(อ้างอิงจากตารางที่ 16)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ความแตกต่างทางสถิติของระยะรั่วซึมเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับกลุ่มควบคุม (มิลลิเมตร)

ซีเมนต์	เนื้อฟัน จำนวน 8 ชิ้น		รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน จำนวน 8 ชิ้น		เคลือบฟัน จำนวน 8 ชิ้น		ระยะตัดสุดท้าย
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มตัวอย่าง	
SB	0.421±0.054	0.000±0.000[a]	0.389±0.064	0.000±0.000[a]	0.23± 0.043	0.000±0.000[a]	0.201±0.010
PN	0.429±0.045	0.517±0.085[b]	0.395±0.070	0.416±0.110[b]	0.247±0.040	0.000±0.000[a]	0.195±0.011
VL	0.407± 0.036	1.146±0.116[c]	0.376±0.055	0.971±0.137[c]	0.226±0.029	0.000±0.000[a]	0.193±0.011

ระยะตัดสุดท้าย = ระยะตัดฟันที่วัดได้เป็นระยะสุดท้ายในกลุ่มตัวอย่างหรือความหนาสุดท้าย

ระยะรั่วซึม = ระยะรั่วซึมระหว่างชั้นฟันกับซีเมนต์ของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มควบคุม = ระยะรั่วซึมของกลุ่มควบคุม

———— = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดสอบค่าทีแบบจับคู่ ($p<0.01$) (ตารางที่ 17)

a , b, c = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดสอบแบบแทมเฮนทีทู (ตารางที่ 21)

SB = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ PN = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ VL= กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์

(อ้างอิงจากตารางที่ 14, 17, 21)

2.2 เปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่างในชั้นของฟัน เรียงตามการรั่วซึมจากมากไปน้อยดังนี้

2.2.1 ผลการทดลองบริเวณเนื้อฟัน (กลุ่ม SBD, PND, VLD)

จากการวิเคราะห์สถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 15) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (0.421±0.054 ม.ม.) และพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.429±0.045 ม.ม.) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.407±0.036 ม.ม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$)

จากการทดสอบทีแบบจับคู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 17) ไม่พบการรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ที่ระยะตัดสุดท้าย (0.200±0.010 ม.ม.) แต่กลุ่มควบคุมมีระยะรั่วซึมมากกว่าระยะตัดสุดท้ายในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (ตารางที่ 18) ส่วนกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.517±0.085 ม.ม.) พบระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (1.146±0.116 ม.ม.) พบระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 21) พบว่ากลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) นอกจากนี้พานาเวียเอฟซีเมนต์พบสีเข้าในเนื้อซีเมนต์ได้มากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่นโดยเฉพาะด้านเนื้อฟัน เห็นชัดเจนในการรั่วซึมระดับนาโนเมตรจะพบซีเมนต์ติดสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (รูปที่ 10c ,11b)

จากการศึกษาชิ้นตัวอย่างที่ขัดเรียบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในระบบภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับและเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ไม่พบธาตุเงินบริเวณรอยต่อระหว่างทุกชั้นของฟันกับชั้นซีเมนต์ (รูปที่ 12a) กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟ พบธาตุเงินในชั้นไฮบริดเนื้อฟันอย่างต่อเนื่องและในท่อเนื้อฟัน บางชิ้นมีลักษณะกระจาย ขาดเป็นช่วง ๆ ค่อย ๆ ลดลงเมื่อใกล้บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 12b) กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทู พบธาตุเงินเต็มทั้งขอบบนและล่างของชั้นไฮบริดเนื้อฟันอย่างต่อเนื่องและในท่อเนื้อฟัน ปริมาณธาตุเงินค่อย ๆ ลดลงเมื่อใกล้บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 12c)

2.2.2 ผลการทดลองบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (กลุ่ม SBJ, PNJ, VLJ)

จากการวิเคราะห์สถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 15) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (0.389±0.064 ม.ม.) พานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.395±0.070 ม.ม.) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.376±0.055 ม.ม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$)

จากการทดสอบทีแบบจับคู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 17) ไม่พบการรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ที่ระยะตัดสุด-ท้าย (0.200±0.010 ม.ม.) และมีระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุมมากกว่าระยะตัดสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (ตารางที่ 18) กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.416±0.110 ม.ม.) มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) กลุ่มตัว-อย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.971±0.137 ม.ม.) มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 21) พบว่ากลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และพานาเวียเอฟซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์มีระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

จากการศึกษาชิ้นตัวอย่างที่ขัดเรียบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในระบบภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับและตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซี-แอนด์บีซีเมนต์ ไม่พบธาตุเงินบริเวณชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 12a) กลุ่มตัวอย่าง
พานาเวียเอฟซีเมนต์ (รูปที่ 12b) และกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (รูปที่ 12c) พบธาตุเงินบริเวณรอยต่อชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันและรอยต่อชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน และจากการวิเคราะห์ธาตุพบว่าปริมาณธาตุเงินน้อยกว่าบริเวณเนื้อฟัน

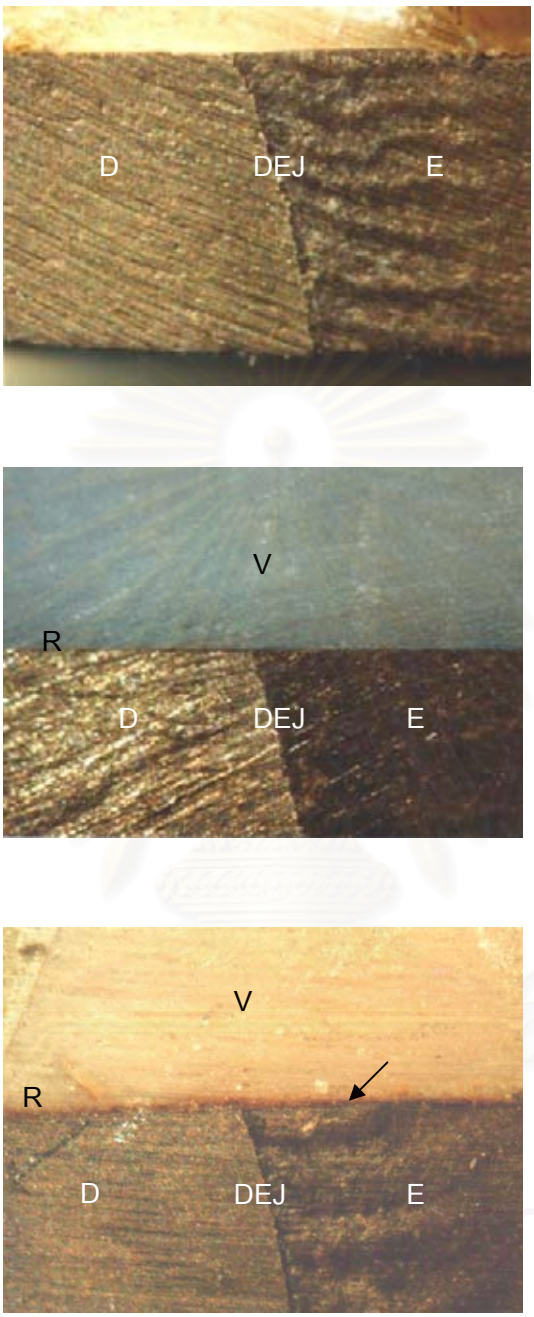
2.2.3 ผลการทดลองบริเวณเคลือบฟัน (กลุ่ม SBE, PNE, VLE)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทูของระยะรั่วซึมในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 15) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (0.233±0.043 ม.ม.) พานาเวียเอฟซีเมนต์ (0.247±0.040 ม.ม.) และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (0.226±0.029 ม.ม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$)

ไม่พบระยะรั่วซึมบริเวณชั้นซีเมนต์กับเคลือบฟันที่ระยะตัดสุดท้ายในกลุ่มตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด จากการทดสอบทีแบบจับคู่ของระยะรั่วซึมระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่าง (ตารางที่ 17) พบว่า กลุ่มควบคุมมีระยะรั่วซึมมากกว่ากลุ่มตัวอย่างเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะรั่วซึมกลุ่มควบคุมกับระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่าง (ตารางที่ 18) พบว่ากลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน กลุ่มควบคุมพานาเวียเอฟซีเมนต์มีระยะรั่วซึมมากกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นและมากกว่าระยะตัดสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

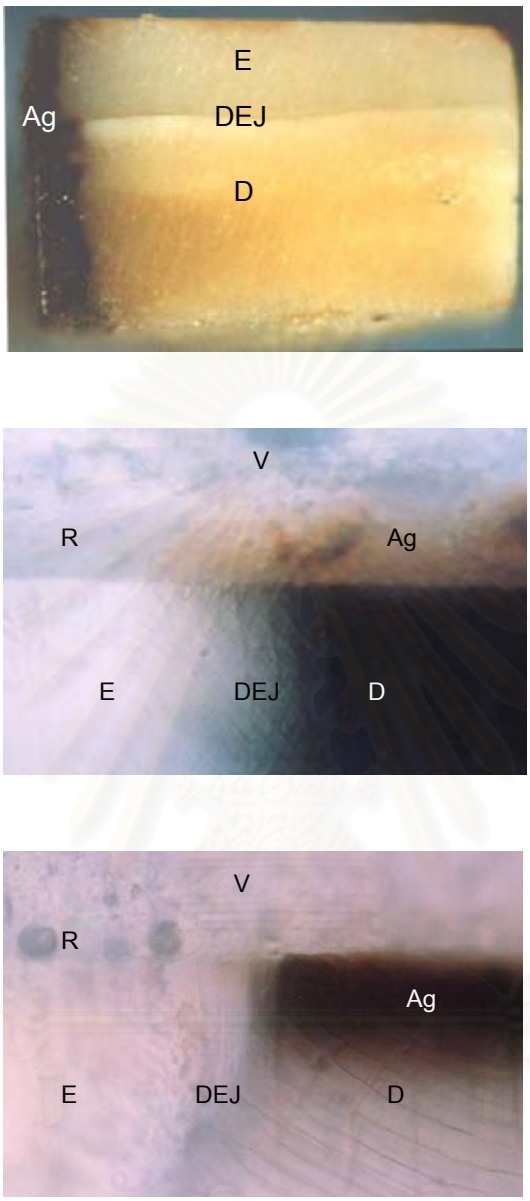
จากการศึกษาชิ้นตัวอย่างที่ขัดเรียบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในระบบภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับและตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ไม่พบธาตุเงินที่ระหว่างชั้นซีเมนต์กับเคลือบฟันที่ระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ทุกชนิด (รูปที่ 12a, b, c)

ลักษณะการรั่วซึมของสารละลายสีย้อมและสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตทั้งในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรในกลุ่มตัวอย่างตามลำดับ พบการติดสีบริเวณเคลือบฟัน เนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน รอยต่อระหว่างชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันและชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 10a, b) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะมีปัจจัยของโครงสร้างฟันและชนิดเรซินซีเมนต์ร่วมกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมระหว่างชั้นฟันและชนิดของเรซินซีเมนต์มีผลต่อการรั่วซึมทั้งระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร (ตารางที่ 11 และ 19 ตามลำดับ) เช่น การรั่วซึมระหว่างชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันของเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์มีค่ามากกว่าชั้นอื่นของซีเมนต์ชนิดเดียวกันและซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับนาโนเมตรจากด้านที่สีเข้า a) ชิ้นควบคุมพบการติดสีสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตบริเวณเคลือบฟัน (สีดำ) และเนื้อฟัน (สีเทา) b) ชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ไม่พบการติดสีบริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์และฟัน c) ชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์พบว่าสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตรั่วซึมเข้าบริเวณระหว่างรอยต่อซีเมนต์กับฟันในแต่ละชั้น (ลูกศร) (x40)
D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน R = เรซินซีเมนต์ V = แผ่นเรซินคอมโพสิต

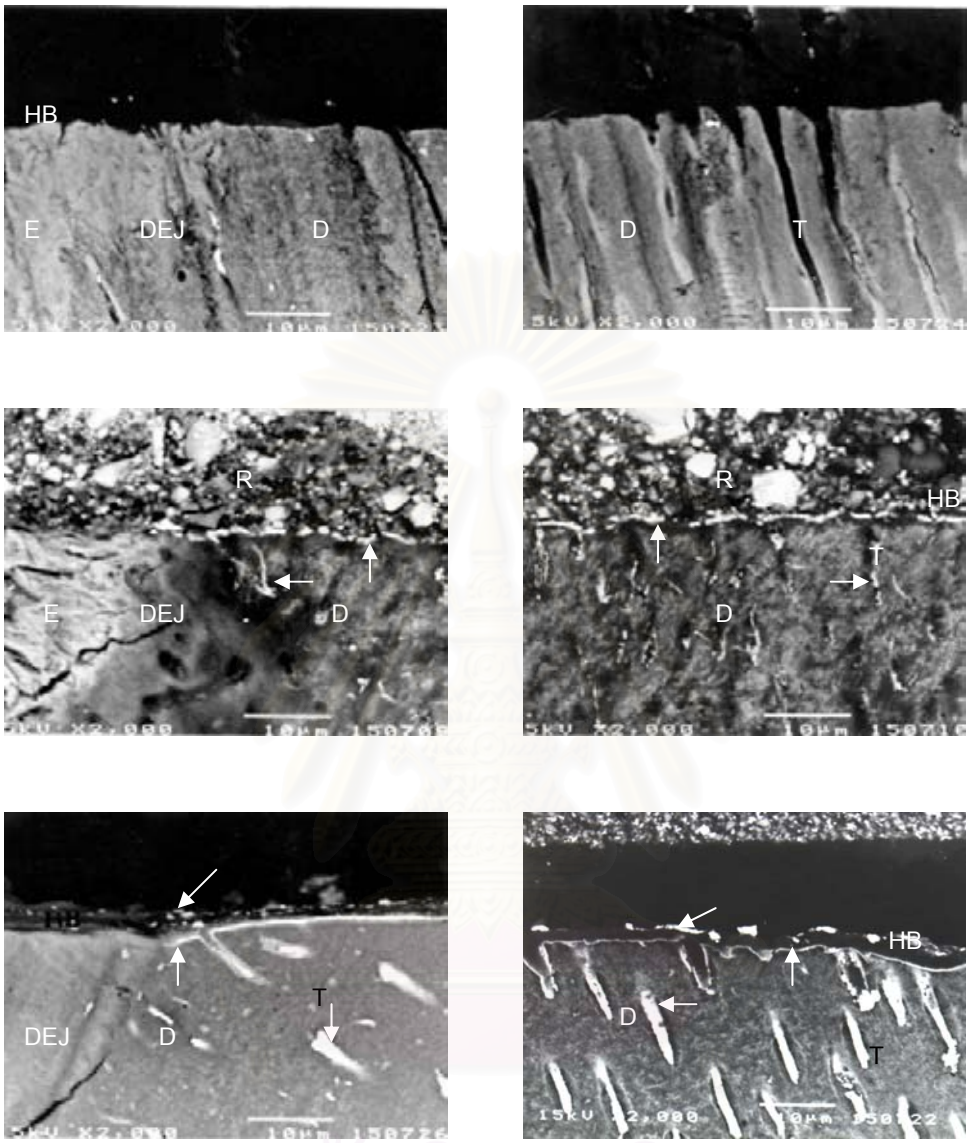
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอแสดงการรั่วซึมระดับนาโนเมตร **a)** กลุ่มควบคุมแนวตั้งฉากกับแกนฟัน สารละลายซิลเวอร์ไนเทรต์รั่วซึมเข้าในเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันระยะ 0.488 ม.ม. ในเคลือบฟันที่ระยะ 0.257 ม.ม. (x40) **b)** ชิ้นตัวอย่างแนวขนานกับแกนฟันของพานาเวียเอฟซีเมนต์ที่ระยะ 0.348 ม.ม. แสดงการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตระหว่างรอยต่อชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันไปสิ้นสุดระหว่างรอยต่อชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเข้าในชั้นซีเมนต์ (x400) **c)** ชิ้นตัวอย่างแนวขนานกับแกนฟันของเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ที่ระยะ 0.927 ม.ม. แสดงการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตระหว่างรอยต่อชั้นซีเมนต์กับเนื้อฟันไปสิ้นสุดระหว่างชั้นซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบ-ฟันกับเนื้อฟัน (x400)

Ag = ธาตุเงิน D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน R = เรซินซีเมนต์

V = แผ่นเรซินคอมโพสิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงตำแหน่งและการกระจายของธาตุเงิน (ลูกศร) บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเนื้อฟันของ a) ชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ที่ระยะ 0.286 ม.ม. ไม่พบธาตุเงิน b) ชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ที่ระยะ 0.465 ม.ม.พบธาตุเงินในชั้นไฮบริดของเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟัน-กับเนื้อฟันและในท่อเนื้อฟัน c) ชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ที่ระยะ 0.881 ม.ม พบธาตุเงินบริเวณขอบบนและขอบล่างของชั้นไฮบริดและในท่อเนื้อฟัน

ลูกศร = ธาตุเงิน D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน HB = ชั้นไฮบริด
R = เรซินซีเมนต์ T = ท่อเนื้อฟัน

ตอนที่ 3 ศึกษาลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มควบคุมและลักษณะการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดในกลุ่มตัวอย่าง (รูปที่ 13-18)

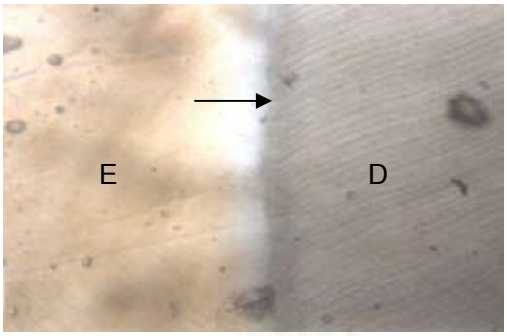
3.1 ลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

เมื่อศึกษารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยาย 200 เท่า พบว่าบริเวณนี้มีการยึดที่แน่นต่อเนื่อง มีลักษณะขุรขระ ไม่มีรอยแยก เห็นท่อเนื้อฟันยื่นยาวจากเนื้อฟันมาสิ้นสุดที่รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันชัดเจน (รูปที่ 13a) จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นรอยหยักโค้งเว้าจากเนื้อฟันเข้าหาเคลือบฟัน (รูปที่ 13b)

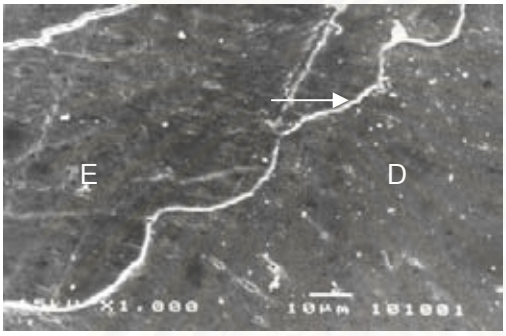
เมื่อแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที พบร่องบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันกว้างและลึกขึ้น พบรอยแตกในเคลือบฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันชัดเจนมากขึ้น (รูปที่ 13c) ซึ่งลักษณะผลึกเคลือบฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันสั้น มีการเรียงตัวในทิศทางต่างจากในเคลือบฟัน

เมื่อแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที พบรูเปิดของท่อเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ลักษณะของท่อเนื้อฟันที่มาเปิดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการทอดตัวในทิศทางแนวเดียวกันต่างจากท่อเนื้อฟันในเนื้อฟันที่มีการเรียงตัวหลายทิศทาง (ดังรูปที่ 14, 15, 16c-ซ้าย)

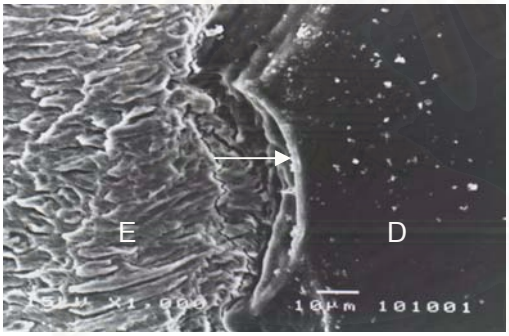
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a)



b)



c)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 13 ภาพถ่ายแสดงลักษณะรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของกลุ่มควบคุม a) ภายหลังขัดชิ้นงานและศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอพบท่อเนื้อฟันจำนวนมากมาสิ้นสุดที่รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (ลูกศร) (x200) b) ภายหลังขัดชิ้นงานและศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบลักษณะรอยหยักยื่นจากเนื้อฟันโค้งเข้าหาเคลือบฟัน c) ภายหลังแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบรอยหยักชัดเจนขึ้น รอยแตกในเคลือบฟันใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ผลึกเคลือบฟันบริเวณรอย-ต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันสั้น มีการเรียงตัวหลายทิศทางต่างจากในเคลือบฟัน
D = เนื้อฟัน E = เคลือบฟัน ลูกศร = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

3.2 ลักษณะการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

ศึกษาเปรียบเทียบรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันกับเคลือบฟัน และเนื้อฟัน ที่ระยะห่างจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันประมาณ 600 ไมโครเมตร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 2,000 เท่า ดังนี้

3.2.1 ในชิ้นงานขัดเรียบ

ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด พบรอยแตกบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟัน ชิ้นงานส่วนใหญ่ 5 ใน 7 ชิ้น มีการแตกอย่างต่อเนื่องไปยังบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นซีเมนต์กับ
ชั้นไฮบริดเนื้อฟันเท่านั้น (รูปที่ 14a,16a,18a, c-ซ้าย) ชิ้นงาน 2 ใน 7 ชิ้น พบการยึดที่ต่อเนื่องระหว่างเรซินซีเมนต์กับชั้นฟันทั้ง 3 ชั้น (รูปที่ 15a, 18b-ซ้าย) พบเรซินซีเมนต์ยึดกับเคลือบฟันแน่นเป็นเนื้อเดียวกันในชิ้นงานทุกชิ้น (รูป17a, b, c-ซ้าย)

3.2.2 ในชิ้นงานขัดเรียบและแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกละลายส่วนอนินทรียสารในเคลือบฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันออกทำให้เห็นผลึกเคลือบฟันชัดเจนและเห็นรอยแตกในเคลือบฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันชัดเจนขึ้น

กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ พบชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันต่อเนื่องจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันที่มีความหนาสม่ำเสมอ พบเรซินแทกปริมาณเล็กน้อยบริเวณชั้นไฮบริดเนื้อฟัน (รูปที่ 14b, 18a)

กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ พบชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อ-ฟันต่อเนื่องจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันที่มีความหนาสม่ำเสมอ เนื่องจากรอยแตกบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ทำให้เกิดการแยกชั้นไฮบริดเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ (รูปที่ 15b, 16b) พบเรซินแทกปริมาณน้อยกว่าชั้นไฮบริดเนื้อฟัน (รูปที่ 18b, c) ตามลำดับ

3.2.3 ในชิ้นงานขัดเรียบ แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ละลายเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันออกทำให้เห็นการยึดของชั้นไฮบริดชัดเจนขึ้น พบรอยแตกในเคลือบฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันชัดเจนขึ้น

กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ ชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีลักษณะยื่นยาวลงมาเล็กน้อยจากบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีความหนาประมาณ 3-4 ไมโครเมตร (รูปที่ 14c-ซ้าย และขวา) ซึ่งต่อเนื่องมาจากชั้นไฮบริดเคลือบฟัน (รูปที่ 17a-ขวา) ไปยังชั้นไฮบริดเนื้อฟัน (รูปที่ 18a-ขวา) มีความหนาสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดประมาณ 4 ไมโครเมตร ปริมาณเรซินแทกบริเวณเนื้อฟัน (รูปที่18a-ขวา) มีจำนวนมากกว่าบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 14c-ขวา)

กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ชั้นไฮบริดในเคลือบฟันต่อเนื่องไปยังเนื้อฟันแต่ความหนาไม่สม่ำเสมอ โดยชั้นไฮบริดส่วนบนหุ้มแท่งเคลือบฟันทั้งหมดมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซี-แอนด์บีซีเมนต์ ส่วนล่างมีการยื่นยาวของเรซินเข้าไปในช่องว่างระหว่างปริซึมเป็นเรซินแทกมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง (honey comb) มีความหนาทั้งชั้นไฮบริดและเรซินแทกประมาณ 10 ไมโครเมตร (รูปที่ 15c, 17b-ขวา) ในส่วนของเนื้อฟันจะบางลง หนาประมาณ 2 ไมโครเมตร (รูปที่ 15c,18b-ขวา) ชั้นไฮบริดบริเวณเคลือบฟันใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีลักษณะรูปร่างต่างไปจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันโดยมีลักษณะยื่นยาวลงมาเล็กน้อย (รูปที่ 15c) ชั้นไฮบริดบริเวณเนื้อฟันใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีจำนวนเรซินแทกน้อยและขนาดเล็กกว่าชั้นไฮบริดเนื้อฟัน (รูปที่ 18b-ขวา)

กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ ชั้นไฮบริดในเคลือบฟันต่อเนื่องไปยังเนื้อฟันแต่ความหนาไม่สม่ำเสมอ โดยชั้นไฮบริดเคลือบฟันซึ่งส่วนบนหุ้มแท่งเคลือบฟันทั้งหมดมีขนาดหนากว่าชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ส่วนล่างมีการยื่นยาวของเรซินเข้าไปในช่องว่างระหว่างปริซึมเป็นเรซินแทกมีลักษณะคล้ายรังผึ้งมีขนาดใหญ่และชัดเจนมากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ความหนาทั้งชั้นไฮบริดและเรซินแทกประมาณ 20 ไมโครเมตร (รูปที่ 16c, 17c-ขวา) แต่ในส่วนของเนื้อฟันความหนาประมาณ 2 ไมโครเมตร (รูปที่ 16c, 18c-ขวา) ชั้นไฮบริดเคลือบฟันบริเวณใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีลักษณะต่างไปจากชั้นไฮบริดเคลือบฟัน (รูปที่ 16c) คือมีลักษณะขรุขระน้อยกว่าชั้นไฮบริดเคลือบฟัน ชั้นไฮบริดบริเวณเนื้อฟันใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีจำนวนเรซินแทกน้อยและขนาดเล็กกว่าชั้นไฮบริดเนื้อฟัน (รูปที่ 18c-ขวา)

ลักษณะและความหนาของเรซินซีเมนต์

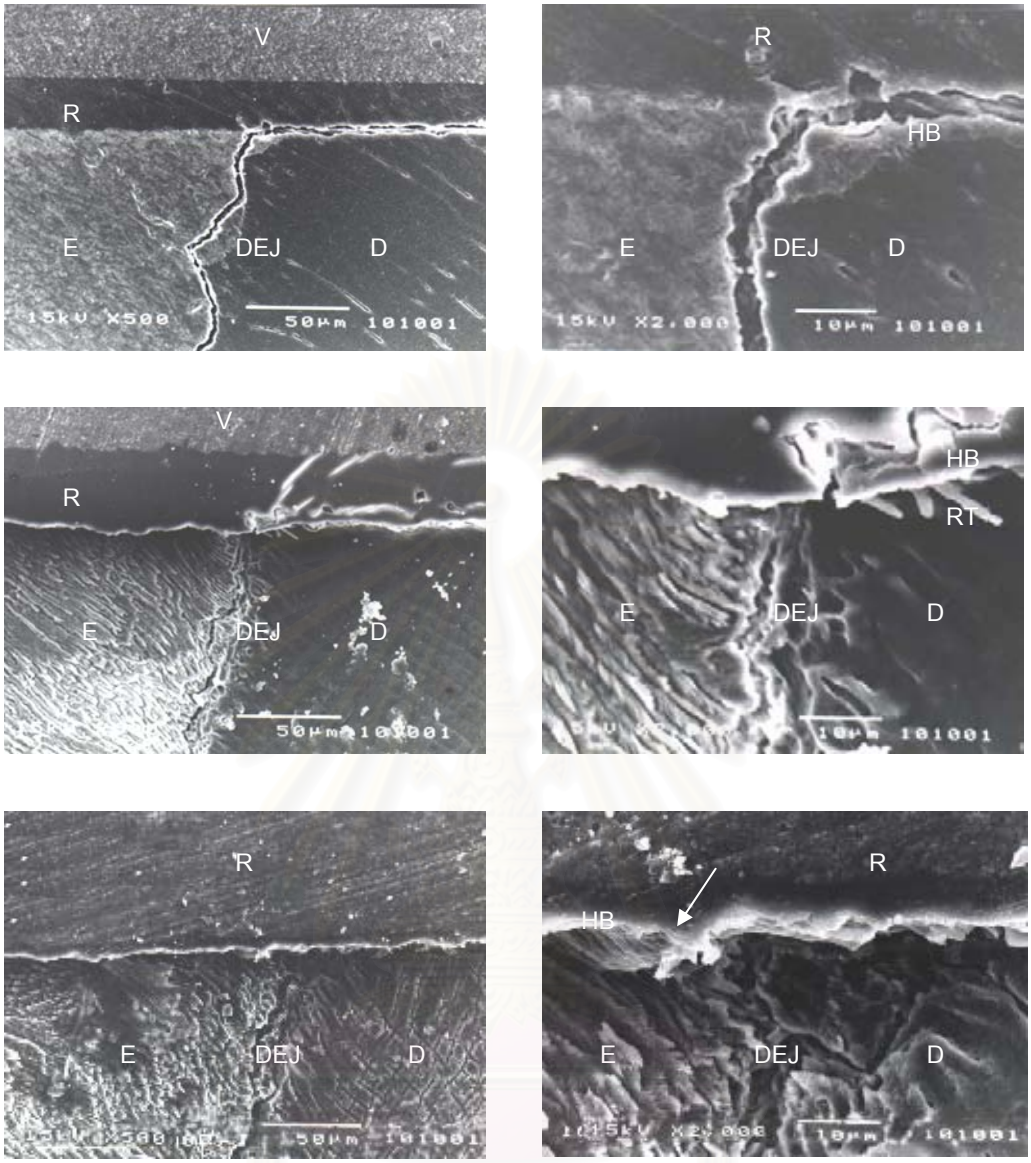
ลักษณะและความหนาของซีเมนต์แต่ละชนิดวัดจากภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ซึ่งแตกต่างกันดังนี้

กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์พบเนื้อซีเมนต์เรียบ เนียน และมีความหนาประมาณ 20-30 ไมโครเมตร

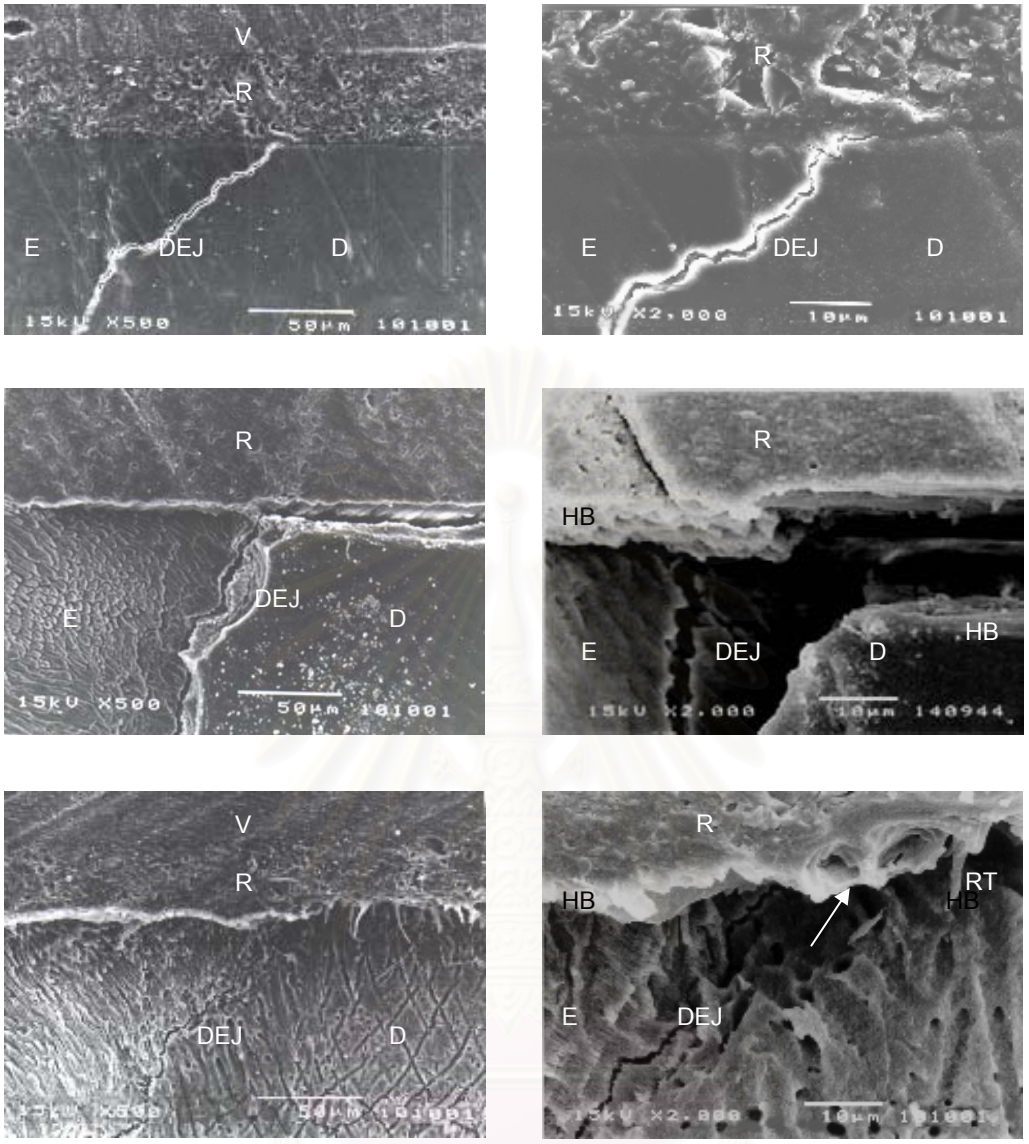
กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์พบเนื้อซีเมนต์หยาบ ขรุขระ มีรูปร่างหลายลักษณะ เช่น รูปเหลี่ยม รูปกลม เป็นต้น และมีความหนาประมาณ 30-40 ไมโครเมตร

กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์พบเนื้อซีเมนต์หยาบ ขรุขระ ลักษณะก้อนขนาดเล็กกว่าพานาเวียเอฟซีเมนต์มีจำนวนมาก และมีความหนาประมาณ 30-40 ไมโครเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

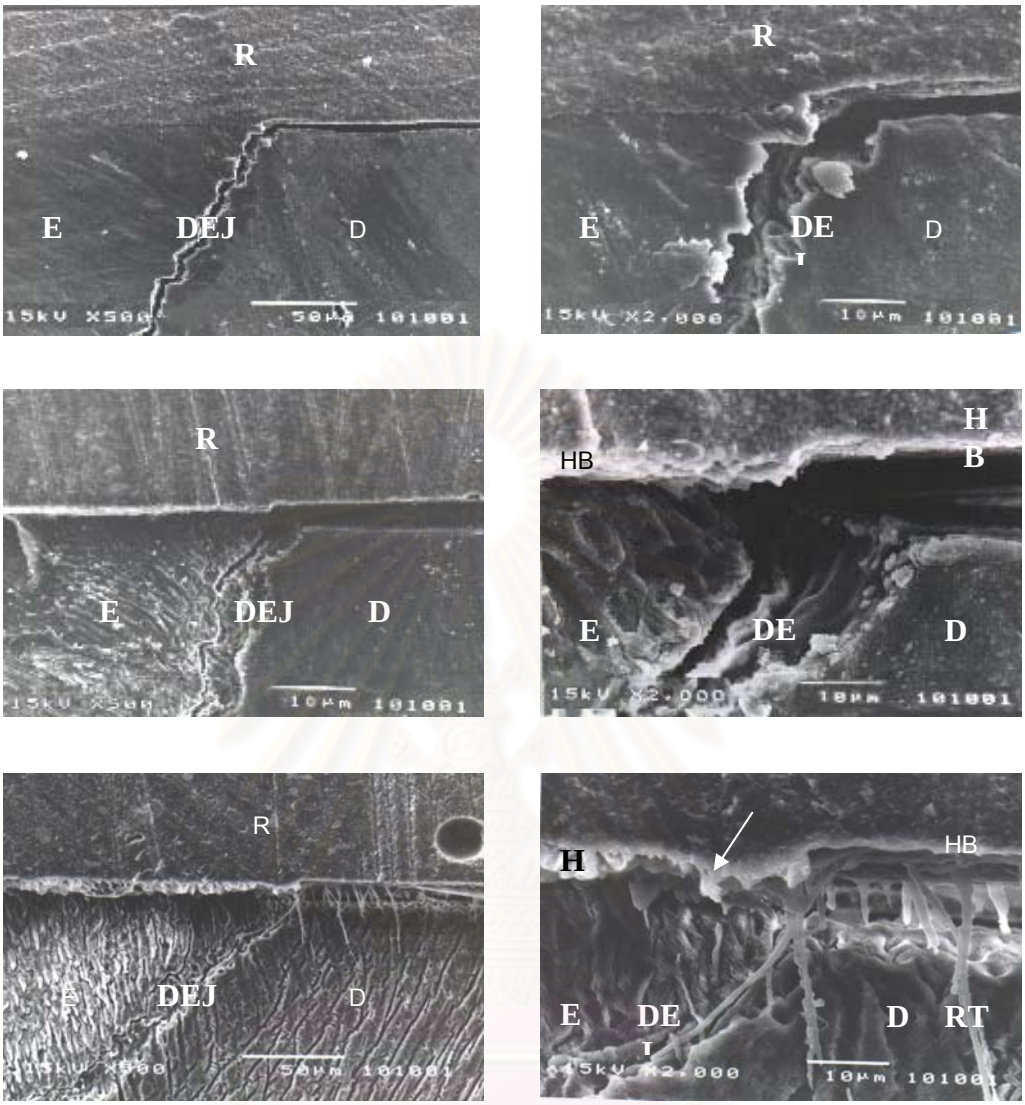


รูปที่ 14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ a) หลังขัดชิ้นงาน พบรอยแตกบริเวณใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟันต่อเนื่องไปยังชั้นซีเมนต์ในเนื้อฟัน การยึดระหว่างซีเมนต์กับเคลือบฟันยังต่อเนื่อง b) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที พบชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันต่อเนื่องจากชั้น-ไฮบริดเคลือบฟันความหนาสม่ำเสมอ พบเรซินแทกปริมาณเล็กน้อยบริเวณชั้นไฮบริดเนื้อฟัน และพบรอยแตกบริเวณใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟันชัดเจนขึ้น c) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที ชั้นไฮบริดต่อเนื่องจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันไปยังชั้นไฮบริดเนื้อฟันความหนาประมาณ 4 ไมโครเมตร ชั้นไฮบริดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (ลูกศร) มีลักษณะยื่นยาวลงมาเล็กน้อยต่างจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันและชั้นไฮบริดเนื้อฟัน พบรูเปิดของท่อเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อ และทอดตัวในทิศทางที่ต่างจากท่อเนื้อฟันในเนื้อฟันที่มีการเรียงตัวหลายทิศทาง
D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน G = ช่องว่าง HB = ชั้นไฮบริด R = เรซินซีเมนต์ RT = เรซินแทก T = ท่อเนื้อฟัน



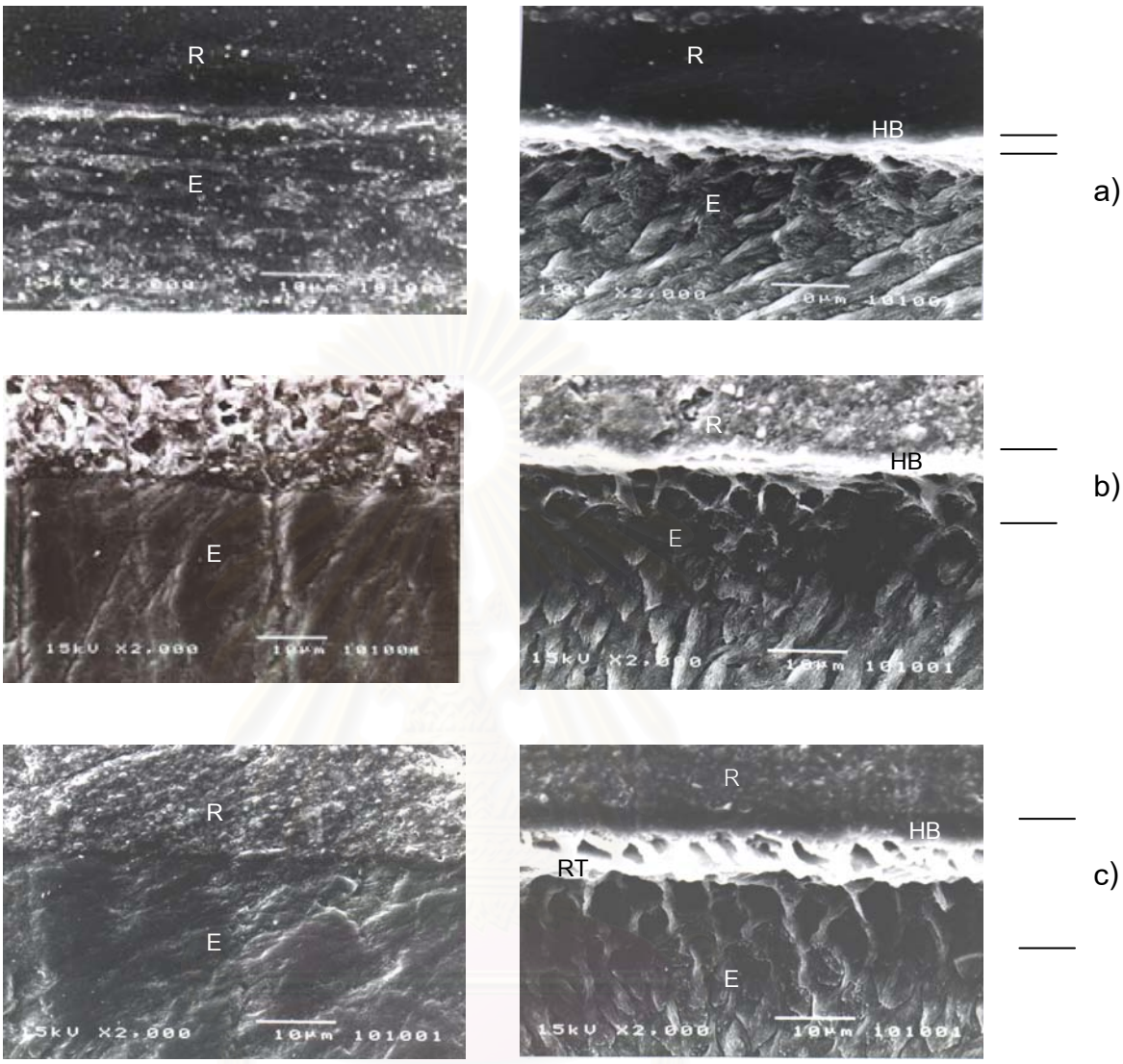
รูปที่ 15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของชิ้นตัว-อย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ a) หลังขัดชิ้นงาน พบรอยแตกจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟันไปสิ้นสุดที่รอยยึดของเรซินซีเมนต์กับฟัน การยึดระหว่างซีเมนต์กับเคลือบฟันและเนื้อฟันมีลักษณะยึดอย่างต่อเนื่อง b) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที พบชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันต่อ-เนื่องจากชั้นไฮบริดเคลือบฟัน แต่แยกจากชั้นไฮบริดเนื้อฟัน รอยแยกบริเวณดังกล่าวต่อเนื่องมาจากรอยแยกของรอยต่อ-เคลือบฟันกับเนื้อฟันซึ่งเกิดในชั้นรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟัน c) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที ชั้นไฮบริดเคลือบฟันขนาด 5 ไมโครเมตร ต่อเนื่องไปยังชั้นไฮบริดเนื้อฟันซึ่งมีลักษณะค่อนข้างเรียบและขนาดบางลงประมาณ 2 ไมโครเมตร พบเรซินแทกปริมาณเล็กน้อย ชั้นไฮบริดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (ลูกศร) มีลักษณะยื่นยาวลงมาเล็กน้อยต่างจากชั้นไฮบริดเคลือบฟันและชั้นไฮบริดเนื้อฟัน พบรูเปิดของท่อเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อ และทอดตัวในทิศทางที่ต่างจากท่อเนื้อฟันในเนื้อฟันที่มีการเรียงตัวหลายทิศทาง

D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน HB = ชั้นไฮบริด R = เรซินซีเมนต์ RT = เรซินแทก T = ท่อเนื้อฟัน



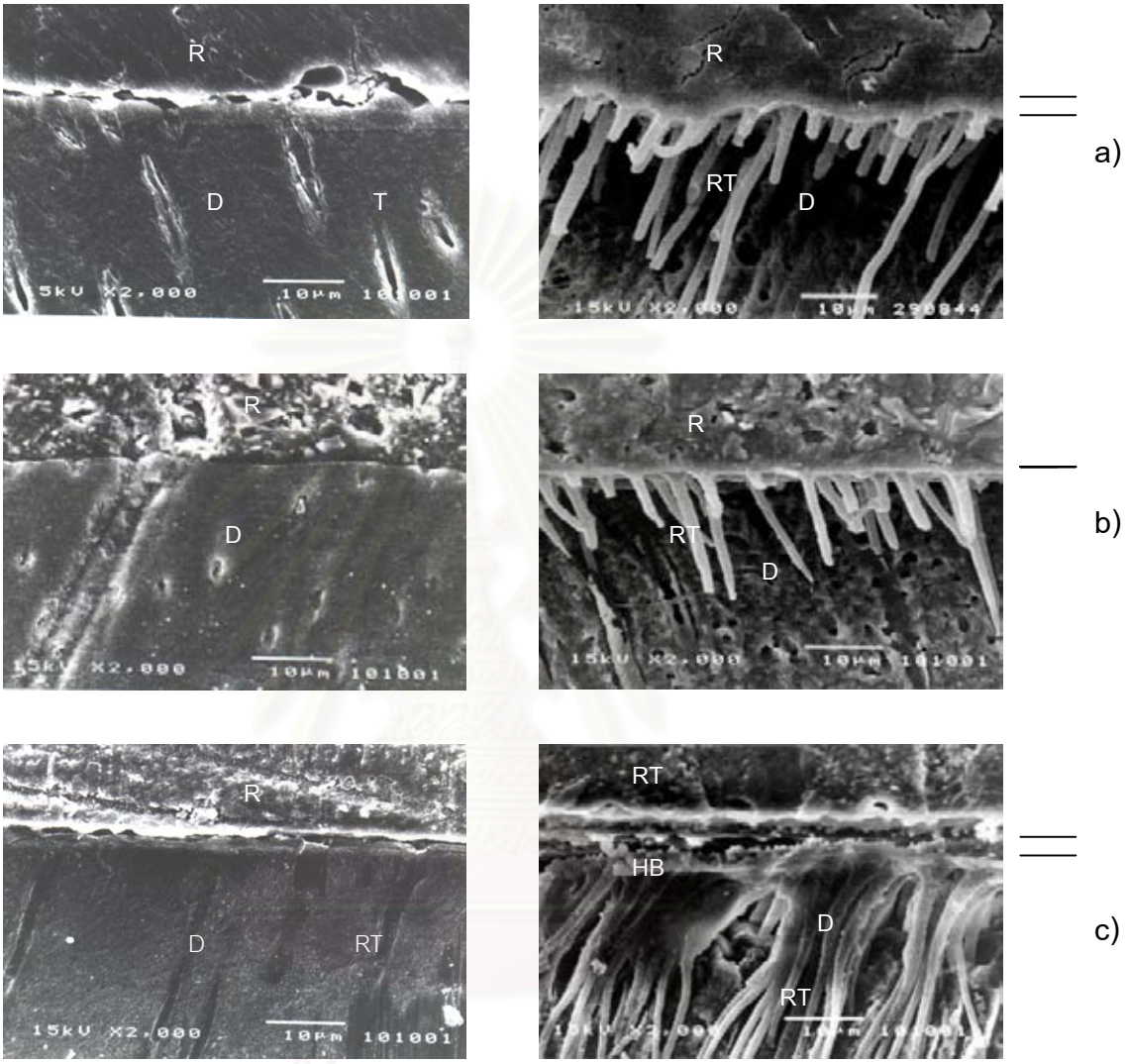
รูปที่ 16 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยายแสดงการยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ a) หลังขัดชิ้นงาน พบรอยแตกบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟันต่อเนื่องไปยังชั้นซีเมนต์ในเนื้อฟัน การยึดระหว่างซีเมนต์กับเคลือบฟันยังต่อเนื่อง การยึดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันต่อเนื่องไปกับการยึดบริเวณเนื้อฟัน b) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที ชั้นไฮบริดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันยึดกับชั้นไฮบริดเคลือบฟันแต่แยกกับไฮบริดเนื้อฟัน และพบรอยแตกบริเวณใกล้รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและบางส่วนในเคลือบฟันชัดเจนขึ้น c) เมื่อแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที ชั้นไฮบริดเคลือบฟันต่อเนื่องไปยังชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันซึ่งมีลักษณะยื่นยาวเล็กน้อย (ลูกศร) ชั้นไฮบริดเนื้อฟันมีขนาดบางลง พบเรซินแทกในชั้นไฮบริดเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์และซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์ พบรูเปิดของท่อเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อ และทอดตัวในทิศทางที่ต่างจากท่อเนื้อฟันในเนื้อฟันที่มีการเรียงตัวหลายทิศทาง

D = เนื้อฟัน DEJ = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน E = เคลือบฟัน HB = ชั้นไฮบริด R = เรซินซีเมนต์ RT = เรซินแทก T = ท่อเนื้อฟัน



รูปที่ 17 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงการเปรียบเทียบการยึดของเรซินซีเมนต์กับเคลือบฟันก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที พบว่าก่อนการแช่สารละลายดังกล่าว (ซ้าย) การยึดระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด กับเคลือบฟัน มีลักษณะเหมือนกันคือ เป็นการยึดที่แน่นและต่อเนื่อง a) ชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ (ขวา) ความหนาของชั้นไฮบริดไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดประมาณ 4 ไมโครเมตร สม่ำเสมอ b) ชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ (ขวา) ชั้นไฮบริดส่วนบนหุ้มแท่งเคลือบฟันทั้งหมดมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ ในขณะที่ส่วนล่างมีการยื่นยาวของเรซินเข้าไปในช่องว่างระหว่างปริซึมเป็นเรซินแทกที่มีลักษณะคล้ายรังผึ้ง ความหนาของชั้นไฮบริดและเรซินแทกรวมกันประมาณ 10 ไมโครเมตร c) ชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ (ขวา) ชั้นไฮบริดส่วนบนหุ้มแท่งเคลือบฟันทั้งหมดและมีความหนากว่าในชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ส่วนล่างพบการยื่นยาวของเรซินเข้าไปในช่องว่างระหว่างปริซึมเป็นเรซินแทกโดยมีลักษณะคล้ายรังผึ้งขนาดใหญ่และชัดเจนมากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ความหนาของชั้นไฮบริดและเรซินแทกประมาณ 20 ไมโครเมตร

= ความหนาของชั้นไฮบริด E = เคลือบฟัน HB =ชั้นไฮบริด R = เรซินซีเมนต์ RT = เรซินแทก



รูปที่ 18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงการเปรียบเทียบลักษณะการยึดของเนื้อฟันก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตรเป็นเวลา 30 วินาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 1 เป็นเวลา 60 นาที a) ชิ้นตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ ความหนาของชั้นไฮบริดสม่ำเสมอทั้งก่อนและหลังแช่สารละลาย b) ชิ้นตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์ความหนาของชั้นไฮบริดมีขนาดบางลงเล็กน้อยหลังการแช่สารละลายทั้ง 2 ชนิด c) ชิ้นตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ ชั้นไฮบริดไม่สมบูรณ์มีการสลายตัว ขนาดบางและไม่ต่อเนื่อง ภายหลังการแช่สารละลายทั้ง 2 ชนิด

═ ความหนาของชั้นไฮบริด D = เนื้อฟัน HB = ชั้นไฮบริด R = เรซินซีเมนต์ RT = เรซินแทก T = ท่อเนื้อฟัน

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

จากตารางที่ 7 และ 15 พบว่าการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรในกลุ่มควบคุมบริเวณเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทดสอบด้วยแทมเฮนทีทูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) แสดงว่ากลุ่มควบคุมของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้มีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและระดับนาโนเมตรใกล้เคียงกันและสามารถอ้างอิงถึงประชากรได้

จากผลการทดลองพบว่าโครงสร้างของฟัน ชนิดของเรซินซีเมนต์ และปัจจัยร่วมทั้งสองปัจจัยมีผลต่อการต้านการรั่วซึมบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นต่าง ๆ ของฟันกับเรซินซีเมนต์ทั้งระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 8) พบว่าเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรมากกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเคลือบฟันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรไม่แตกต่างกับเคลือบฟันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) ซึ่งแสดงถึงเนื้อฟันยอมให้สารละลายสีย้อมที่มีอนุภาคขนาด 120 ไมโครเมตรผ่านง่ายกว่าชั้นอื่น ส่วนเคลือบฟันไม่ยอมให้อนุภาคขนาดนี้ผ่านได้เลย นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อฟันและรอยต่อ-เคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรมากกว่าเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรไม่แตกต่างกับเนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.01$) (ตารางที่ 16) แสดงถึงรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันยอมให้อนุภาคของเงินที่มีขนาดเล็กประมาณ 0.059 ไมโครเมตร ผ่านได้ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบที่ต่างกัน[14] ทำให้มีผลต่อการรั่วซึมของสารละลายสีย้อมและสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตที่ต่างกัน การที่เนื้อฟันมีการรั่วซึมของสารละลายสีย้อมมากกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเนื่องจากโครงสร้างเนื้อฟันมีจำนวนท่อเนื้อฟันที่สารผ่านเข้าง่ายกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (รูปที่ 16c) และมีส่วนประกอบเป็นอินทรียสารและน้ำ[10,16] ประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จึงยอมให้สารระดับไมโครเมตรผ่านเข้าออกได้ดีกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน แสดงถึงการยอมให้แบคทีเรียขนาด 120 ไมโครเมตร และเล็กกว่าสามารถผ่านเข้าออกซึ่งก่อให้เกิดผลเสียทางคลินิกได้ การที่รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรใกล้เคียงกับเนื้อฟันแต่ต่างจากเนื้อฟันในระดับไมโครเมตรน่าจะเนื่องมาจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีโครงสร้างเป็นท่อเนื้อฟันมาเปิดปริมาณน้อยกว่าเนื้อฟันและมีขนาดเล็กกว่า (รูปที่ 16c) จาก

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบท่อเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในเนื้อฟัน อีกทั้งขนาดของเรซินแทกที่เล็กลงในกลุ่มตัวอย่าง (รูปที่ 16c) แสดงให้เห็นว่าท่อเนื้อฟันบริเวณนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าในส่วนเนื้อฟัน นอกจากนี้ในรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันยังพบโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันซึ่งยอมให้สารผ่านยากกว่าเนื้อฟันข้าง ๆ หรือภายในท่อเนื้อฟัน ประกอบกับมีการสะสมแร่ธาตุที่มากกว่าเนื้อฟันทำให้พบการแทรกผ่านของสารละลายสีย้อมน้อยกว่าเนื้อฟัน และจากการที่รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีส่วนประกอบและโครงสร้างบางส่วนใกล้เคียงกับเนื้อฟันจึงทำให้สารละลายซิลเวอร์ไนเทรตสามารถซึมผ่านได้ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน และเนื่องจากส่วนเคลือบฟันมีโครงสร้างที่เป็นผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์อัดตัวกันแน่น (รูปที่ 13c) ไม่มีช่องว่างระดับไมโครเมตร มีส่วนประกอบหลักคือ อนินทรียสารปริมาณร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก[10,16] ทำให้จุลชีพไม่สามารถผ่านเข้าออกได้จึงช่วยในการป้องกันฟันผุได้ดี สำหรับการรั่วซึมระดับนาโนเมตรพบว่าสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตสามารถรั่วซึมเข้าบริเวณเคลือบฟันได้ แสดงถึงการมีช่องว่างระดับนาโนเมตรในเคลือบฟันตามธรรมชาติซึ่งอาจไม่มีผลต่อการเกิดฟันผุโดยตรง แต่อาจมีผลจากพิษของแบคทีเรียหรือประจุขนาดเล็กที่สามารถแทรกเข้าไปได้ นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตอาจจะมีส่วนในการละลายผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ออก ทำให้เกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กประมาณ 0.059 นาโนเมตร ระหว่างปริซึมจำนวนมากส่งผลให้มีการรั่วซึมได้มากขึ้น ดังนั้นการที่ชั้นฟันแต่ละชั้นยอมให้สารขนาดประมาณ 0.059 นาโนเมตร ผ่านได้ตามธรรมชาติไม่จำเป็นที่บริษัทจะผลิตซีเมนต์หรือวัสดุทันตกรรมใด ๆ ที่สามารถลดการรั่วซึมระดับนาโนเมตรเพราะสารขนาดเล็กสามารถรั่วซึมเข้าชั้นต่าง ๆ ของฟันได้ตามธรรมชาติอยู่แล้ว

การที่เนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีคุณสมบัติยอมให้สารผ่านในระดับไมโครเมตรได้ ดังนั้นในการกรอแต่งฟันหากมีส่วนเนื้อฟันหรือรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันที่เผย ย่อมเปิดโอกาสให้เกิดการแทรกผ่านของแบคทีเรียเข้าสู่โพรงฟันและอาจทำให้เกิดโรคได้ง่าย นอกจากนี้อาจเกิดการเสียวฟันภายหลังการบูรณะฟันเนื่องจากการที่สารภายนอกไปกระตุ้นสารภายในเนื้อฟัน ดังนั้นการบูรณะฟันควรกรอแต่งฟันเท่าที่จำเป็น และการบูรณะฟันที่จำกัดในบริเวณเคลือบฟันมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จสูงกว่าบริเวณอื่น

จากการทดลองนี้พบว่าเมื่อยึดฟันกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด นั้นมีผลต่อการรั่วซึมทั้งระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรที่บริเวณชั้นฟันโดยค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์ดังนี้ ไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ทั้งบริเวณเนื้อฟันรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน และเคลือบฟัน (รูปที่ 12a) เมื่อเปรียบกับกลุ่มควบคุมพบว่าระยะรั่วซึม

ระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรในกลุ่มควบคุมมีค่ามากกว่าระยะตัดสุดท้ายของฟันทั้ง 3 ชั้น แสดงว่าการใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ทำให้การรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบริเวณฟันทั้ง 3 ชั้น ลดลงจากการรั่วซึมตามธรรมชาติในฟันทุกชั้น เมื่อวิเคราะห์สถิติค่าทีแบบจับคู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ซีเมนต์ชนิดนี้มีการเตรียมผิวฟันแบบแห้ง สารปรับสภาพคือ สารละลายเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 ซึ่งกรดซิตริกเป็นกรดอ่อน ใช้เวลาในการละลายเนื้อฟัน 10 วินาที สารละลายเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ช่วยในการคงสภาพ (stabilize) ของเส้นใยคอลลาเจนที่ดีหลังจากการเป่าแห้ง และมอนอเมอร์ซึ่งประกอบด้วยโฟว์เมตาและเมทิลเมททาคริยเลท สามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นดีมิเนอ-รอลไรซด์เดนทีนได้ดีและทั่วถึง เมื่อเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์ จึงไม่พบช่องว่างภายในชั้นไฮบริดหรือบริเวณรอยต่อชั้นไฮบริดกับฟันทำให้สารละลายทั้งในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรไม่สามารถซึมผ่านได้[29] ซึ่งจะเป็นผลดีกับการบูรณะฟัน ลักษณะของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นทั้งในเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากัน (รูปที่ 14c) ทนต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮโปคลอไรต์ได้ดี ชี้ให้เห็นว่าสามารถป้องกันฟันผุได้ดีด้วย[36] ในการทดลองนี้ใช้สารละลาย 10-3 เป็นสารปรับสภาพ ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้เตรียมผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 วินาที ดังนั้นการนำสารละลาย 10-3 มาใช้เป็นระบบกรดกัดรวมทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยใช้กรดกัดเป็นเวลา 10 วินาที สามารถเกิดเป็นชั้นไฮบริดเคลือบฟันที่สมบูรณ์และป้องกันการรั่วซึมของสารเข้าสู่ตัวฟันได้

ไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรในกลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์บริเวณเนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเคลือบฟัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่าการใช้พานาเวียเอฟซีเมนต์ช่วยต้านทานการรั่วซึมระดับไมโครเมตรบริเวณเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันจากการรั่วซึมตามธรรมชาติได้ แต่พบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมแสดงถึงการใช้พานาเวียเอฟซีเมนต์ไม่สามารถต้านทานการรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณเนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน การที่ไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรแต่มีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรแสดงว่าภายใต้ชั้นไฮบริดมีช่องว่างขนาดเล็กกว่าระดับไมโครเมตร แสดงถึงการป้องกันจุลชีพได้แต่ไม่สามารถป้องกันพิษของแบคทีเรียประจุหรือโมเลกุลขนาดเล็กได้ จากการศึกษาตำแหน่งและการกระจายของธาตุเงิน พบธาตุเงินกระจายทั่วไปในชั้นไฮบริดทั้งชั้นอย่างต่อเนื่องทั้งบริเวณเนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและภายในท่อเนื้อฟัน (รูปที่ 12b) ทั้งนี้อาจเนื่องจากพานาเวียเอฟซีเมนต์มีการเตรียมผิวฟันแบบใช้สารปรับสภาพและไพร์เมอร์ร่วมกันโดยไม่ล้างออก ซึ่งสารละลายที่ใช้เป็นกรดอ่อนทำการปรับสภาพชั้นสเมียร์และละลายส่วนเนื้อฟันปกติ ชั้นสเมียร์

ประกอบด้วยเศษเนื้อฟันที่ตกค้างบนผิวฟันรวมตัวกันอย่างหลวม ๆ มีความหนาประมาณ 0.5-2 ไมโครเมตร ชั้นสเมียร์ที่มีความหนามากอาจจะต้านการแพร่ผ่านของเรซิน[43] และทำให้สารปรับสภาพซึ่งเป็นกรดอ่อนเจือจางลงไปอีก[63] ชั้นสเมียร์จัดเป็นโครงสร้างที่อ่อนแอกว่าเนื้อฟันปกติ[64] ซึ่ง Eick และคณะ[65] รายงานว่าชั้นนี้ประกอบด้วย แคลเซียม ฟอสเฟต อินทรียสารพวกซัลเฟอร์ ไนโตรเจน คาร์บอน เป็นต้น เมื่อสารปรับสภาพที่เป็นกรดไปละลายส่วนอนินทรียสารในส่วนเนื้อฟันออก อินทรียสารในชั้นสเมียร์ที่ตกค้างเหลืออยู่มากจะไปขัดขวางการแทรกซึมของเรซินทำให้ไม่สามารถผ่านชั้นสเมียร์ได้เต็มที่ เมื่อเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ได้ชั้นไฮบริดสเมียร์ (hybridized smear layers) จึงเกิดช่องว่างระดับนาโนเมตรในชั้นไฮบริดที่เรซินแทรกซึมไปไม่ทั่วถึง มีความแข็งแรงและสมบูรณ์น้อยกว่าชั้นไฮบริดของเนื้อฟันปกติ[29] ซึ่งช่องว่างจำนวนมากเหล่านี้กระจายอยู่ทั่วไปในชั้นไฮบริดและมีทางติดต่อไปยังท่อเนื้อฟันทำให้สารละลายซิลเวอร์ไนเทรตสามารถรั่วซึมผ่านเข้าฟันทางในท่อเนื้อฟันได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้าไปในชั้นซีเมนต์เฉพาะด้านเนื้อฟันเท่านั้นแสดงถึงการมีรูพรุนในชั้นซีเมนต์ จากการศึกษาชั้นไฮบริดโดยการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮโปคลอไรต์พบว่าความหนาของชั้นไฮบริดเคลือบฟันประมาณ 5 ไมโครเมตร (รูปที่ 17b-ขวา) และบางลงเหลือประมาณ 2 ไมโครเมตร (รูปที่ 18b-ขวา) ในชั้นเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันแสดงให้เห็นว่าเป็นชั้นไฮบริดที่ไม่สมบูรณ์และไม่มีคุณภาพ

พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรในกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์บริเวณเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่าสภาพการรั่วซึมในธรรมชาติ และมากกว่าเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีและพานาเวียเอฟ ($p<0.01$) จากการศึกษาตำแหน่งและการกระจายของธาตุเงินพบธาตุเงินบริเวณขอบบนและล่างของชั้นไฮบริดบริเวณเนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและภายในท่อเนื้อฟัน (รูปที่ 12c) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซีเมนต์ชนิดนี้มีการเตรียมผิวฟันโดยใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ละลายผิวฟัน เป็นเวลา 10 วินาที การปรับสภาพเนื้อฟันโดยใช้กรดที่เข้มข้นมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อเนื้อฟัน ทำให้ส่วนดีมิเนอรอลไรซ์เดนทีนและคอลลาเจนที่สูญเสียสภาพธรรมชาติหลงเหลืออยู่มาก หากเรซินมอนอเมอร์ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิมอร์ได้สมบูรณ์และทั่วถึง ทำให้ชั้นดีมิเนอรอลไรซ์เดนทีนหลงเหลืออยู่ ส่วนของดีมิเนอรอลไรซ์เดนทีนที่เหลืออยู่ใต้ชั้นไฮบริดมีช่องว่างมากมายซึ่งเคยเป็นที่อยู่ของไฮดรอกซีอะปาไทต์และมีส่วนของคอลลาเจนที่ถูกสลายได้ง่าย[66] ทำให้สารละลายสีย้อม[67] และสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตผ่านเข้าไปได้ง่าย นอกจากนี้ในการเตรียมผิวฟันแบบชื้นหากการควบคุมความชื้นไม่เหมาะสม[48,49] ขณะที่เรซินแทรกเข้าไปแทนที่น้ำ น้ำบางส่วนระเหยออกมาไม่หมดและหลงเหลืออยู่ ซึ่งไม่สามารถรวมกับเรซินได้เกิดการตกค้าง

ของน้ำบริเวณที่มีการยึด ขัดขวางประสิทธิภาพการแทรกซึมของเรซิน หากน้ำตกค้างอยู่ด้านล่างเกิดเป็นช่องว่างภายในท่อเนื้อฟันซึ่งเรียกว่าเรซินกลอบูล ขณะเดียวกันน้ำที่ตกค้างอยู่ด้านบนอาจจะกลาย เป็นช่องว่างที่เรียกว่าไทนีบริสเตอร์บริเวณขอบบนของชั้นไฮบริดเนื้อฟันได้ และสารละลายซิลเวอร์-ไนเทรตสามารถรั่วซึมเข้าขอบล่างผ่านไปยังท่อเนื้อฟันต่อได้ เมื่อผ่านการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮโปคลอไรต์ลักษณะชั้นไฮบริดที่พบในเคลือบฟันมีความหนาประมาณ 15 ไมโครเมตรสม่ำเสมอ (รูปที่ 17c) ส่วนชั้นไฮบริดในเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีลักษณะแตกต่างออกไป (รูปที่ 16c, 18c-ขวา) โดยเฉพาะชั้นไฮบริดเนื้อฟันซึ่งไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง มีความหนาลดลงแสดงให้เห็นถึงการเกิดชั้นไฮบริดที่ไม่สมบูรณ์และไม่มีคุณภาพ

การรั่วซึมระดับไมโครเมตรในกลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ มีผลโดยตรงทางคลินิกหากมีการรั่วซึมของแบคทีเรียต่าง ๆ ของเหลว โมเลกุล หรือประจุบางชนิดเข้าไประหว่างวัสดุบูรณะกับฟัน ซึ่งสามารถผ่านเนื้อฟันทางท่อเนื้อฟันและเข้าสู่โพรงฟันทำให้เกิดอาการเสียวฟันภายหลังการบูรณะฟัน ฟันผุขั้นที่สองอาจส่งผลให้เกิดพยาธิสภาพในเนื้อเยื่อโพรงฟันซึ่งเป็นอันตรายต่อฟันได้[1-2] สำหรับการรั่วซึมระดับนาโนเมตรในพานาเวียเอฟซีเมนต์นั้น พิษของแบคทีเรียของเหลว ประจุ และโมเลกุลขนาดเล็กสามารถซึมผ่านชั้นไฮบริดไปยังท่อเนื้อฟันและเข้าสู่โพรงฟันได้ อาจส่งผลเสียได้เช่นเดียวกับเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ และส่งผลต่อความแข็งแรงและทนทานในการบูรณะฟันทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้ นอกจากนี้หากโครงสร้างฟันมีลักษณะยอมให้สารผ่านง่ายได้แก่ ฟันที่มีรอยร้าว หรือรอยแตกในชั้นเคลือบฟัน รอยต่อเคลือบ-ฟันกับเนื้อฟัน หรือเนื้อฟัน สิ่งเหล่านี้ช่วยส่งเสริมการรั่วซึมของสารเข้าสู่เนื้อฟันและโพรงฟันได้ง่ายขึ้น

Davidson และคณะ[58] กล่าวว่าการบูรณะฟันด้วยวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิต อาจทำให้เกิดการรั่วซึมระดับไมโครเมตรจากการหดตัววัสดุประเภทเรซินคอมโพสิตขณะเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิ-เมอร์ ประกอบกับคุณสมบัติการขยายตัวของเรซินคอมโพสิตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีค่าต่างจากฟัน ยกเว้นกรณีที่เรซินคอมโพสิตเป็นชั้นที่บางหรือมีการไหลแผ่ที่ดีขณะที่กำลังบ่มตัวจะทำให้เกิดการหดตัวขณะบ่มตัวน้อยมาก สำหรับการศึกษานี้ใช้แผ่นเรซินคอมโพสิตที่เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์แล้วและเรซินซีเมนต์ที่ใช้มีปริมาณน้อยและค่อนข้างบาง ดังนั้นจึงไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรจากสาเหตุดังกล่าว

ขณะทดลองชิ้นตัวอย่างและชิ้นควบคุมทั้งหมดแช่น้ำกลั่น เก็บในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดสภาวะใกล้ความจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตามการศึกษาไม่ได้ทำในช่องปากทุกขั้นตอนจึงไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในสภาพที่ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ตลอดเวลาทั้งอุณหภูมิและความชื้นขณะทำการทดลอง อุณหภูมิในช่องปาก (37 องศาเซลเซียส) สูงกว่าในห้องปฏิบัติการ (23 องศาเซลเซียส) อาจจะมีผลต่อการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ในช่องปากซึ่งเกิดเร็วกว่าปกติ นอกจากนี้ความชื้นในช่องปากจะมีมากกว่าและควบคุมได้ยากกว่าอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการเชื่อมยึดของวัสดุในการปฏิบัติการจริงมากกว่าการทดลอง

Miles[24] กล่าวว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นบริเวณที่มีการยึดที่ดีและมีความแข็งแรงมากในการยึดเคลือบฟันกับเนื้อฟันไว้ด้วยกัน จากการทดลองนี้ลักษณะบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันที่พบในกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอเชื่อมกันแน่นไม่มีช่องว่าง แต่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบเป็นช่องว่างระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน เนื่องจากส่วนประกอบของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันประกอบด้วย เมทริกซ์ น้ำ เคอราติน สารอนินทรีย์ และคอลลาเจนชนิดที่ 1[18] เมื่อผ่านการตัดและเตรียมชิ้นงานเพื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแล้ว อาจทำให้ส่วนประกอบเหล่านี้แตกหรือหายไปบางส่วน นอกจากนั้นรอยแตกอาจเกิดเพราะมีส่วนที่เป็นอนินทรียสารอยู่มาก ขณะทำให้แห้งจึงเกิดรอยแตกได้ง่าย เป็นลักษณะปกติที่พบได้ในการเตรียมเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด อีกทั้งการเตรียมซึ่งทำให้แห้งด้วยการเป่าแห้งและใช้ตู้อบจะทำให้ชิ้นตัวอย่างหดตัวได้มาก จึงแนะนำให้ใช้การทำให้แห้งที่จุดวิกฤต (critical point drying) ซึ่งทำให้เกิดการหดตัวได้น้อยกว่า นอกจากนี้รอยแตกมักเกิดบริเวณเคลือบฟันใกล้บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมากกว่าบริเวณอื่น อาจเนื่องมากจาก ทิศทางการเรียงตัวของแท่งเคลือบฟันบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางและปริมาณไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่น้อยกว่า[17,18] ทำให้เคลือบฟันบริเวณนี้อ่อนแอกว่าปกติ หรือการเตรียมชิ้นงานโดยการทำให้แห้งก็อาจมีผลต่อการแตกบริเวณนี้ได้ ซึ่งแย้งกับการทดลองของ Pioch และคณะ[3] ซึ่งรายงานว่าเคลือบฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันแข็งแรงมากกว่าเนื้อฟัน

จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบลักษณะการยึดเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันดังนี้ ชั้นไฮบริดบริเวณเคลือบฟันของรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ต่อเนื่องมาจากบริเวณชั้นไฮบริดเคลือบฟัน ส่วนการเกิดชั้นไฮบริดกับเนื้อฟันบริเวณรอยต่อ-เคลือบฟันกับเนื้อฟันจะสมบูรณ์หรือยึดได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์เช่นเดียวกับการยึดของเรซินกับเนื้อฟัน เนื่องจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ละลาย

บางส่วนของเคลือบฟัน เนื้อฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันจึงเห็นรอยแตกชัดเจนขึ้น (รูปที่ 14, 15, 16c) รอยแตกบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันที่เกิดขึ้นจึงไม่พาดผ่านส่วนของชั้นซีเมนต์และชั้นไฮบริดเคลือบฟัน และชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน จึงสามารถเห็นลักษณะชั้นไฮบริดในรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันได้อย่างชัดเจน ชั้นไฮบริดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีความหนาใกล้เคียงกับชั้นไฮบริดเคลือบฟันของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดแต่มีรูปร่างต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะ จำนวนและทิศทางการเรียงตัวของแท่งเคลือบฟันที่มีขนาดสั้นลง มีจำนวนลดลงและเรียงตัวในทิศทางต่างจากแท่งเคลือบฟันในธรรมชาติ ชี้ให้เห็นว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีส่วนประกอบที่เป็นอนินทรียสารในรูปของแท่งเคลือบฟัน ส่วนชั้นไฮบริดเนื้อฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์ ในกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์การเกิดชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันสมบูรณ์ต่อเนื่องมาจากชั้นเคลือบฟันไปยังไฮบริดเนื้อฟัน มีความหนาสม่ำเสมอ ส่วนกลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์และเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์ ชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและชั้นไฮบริดเนื้อฟันมีลักษณะบางลง การพบเรซินแทกบริเวณนี้แสดงถึงบริเวณนี้เป็นที่สิ้นสุดของท่อเนื้อฟัน กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีเท่านั้นที่สามารถต้านทานการรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันได้ แสดงให้เห็นว่านอกจากโครงสร้างและส่วนประกอบของฟันแล้วการเลือกใช้วัสดุทันตกรรมที่ดีช่วยป้องกันอันตรายจากการรั่วซึมได้ นอกจากนี้พบว่าชิ้นตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดรอยแยกระหว่างชั้นไฮบริดเนื้อฟันกับชั้นซีเมนต์ซึ่งมักจะเกิดรอยแยกที่เริ่มมาจากเคลือบฟันบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากสาเหตุดังกล่าวมาแล้ว รอยแตกจากบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันนี้ทำให้เกิดรอยแตกยังต่อเนื่องไประหว่างรอยต่อระหว่างชั้นซีเมนต์กับชั้นไฮบริดเนื้อฟันเท่านั้น แต่ไม่พบรอยแตกต่อไปยังบริเวณระหว่างเนื้อฟันกับชั้นไฮบริดเนื้อฟัน แสดงถึงการยึดระหว่างชั้นไฮบริดกับเนื้อฟันนั้นแข็งแรงมากกว่าการยึดระหว่างชั้นซีเมนต์กับชั้นไฮบริดเนื้อฟัน ในกรณีที่วัสดุได้รับแรงมาก ถ้าเกิดการแตกขึ้น หากเป็นการยึดที่แข็งแรงมักจะแตกในบริเวณชั้นซีเมนต์ก่อน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการแตกที่พบในการศึกษาทางคลินิกที่รายงานโดย Tay และคณะ[68] ดังนั้นกรณีที่มีการแตกหรือหลุด ส่วนเนื้อฟันที่มีชั้นไฮบริดปกคลุมอยู่สามารถป้องกันการรั่วซึมผ่านไปยังชั้นเนื้อฟันและโพรงฟันได้

จากการทดลองเมื่อนำเคลือบฟันมายึดกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด สามารถลดการรั่วซึมระดับนาโนเมตรได้เนื่องจากการยึดของชั้นไฮบริดกับเคลือบฟันมีคุณสมบัติที่ดีและต่อเนื่อง ไม่พบช่องว่างภายในชั้นไฮบริด และป้องกันการรั่วซึมที่ดีในเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด นั่นแสดงให้เห็นว่าการเกิดไฮบริไดเซ

ชั้นของเคลือบฟันทำได้ง่ายกว่าเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ทั้งนี้เพราะส่วนประกอบในเคลือบฟันร้อยละ 95 เป็นอนินทรียสารและไม่มีร่างแหคอลลาเจน[10, 16]

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบข้อมูลลักษณะบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันเพิ่มเติม ลักษณะการยึดของชั้นไฮบริดบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ชนิดอื่นโดยเปรียบเทียบกับเคลือบฟันและเนื้อฟัน การศึกษาต่อไปควรศึกษากำลังแรงยึดแบบดึงร่วมกับการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรของเรซินซีเมนต์ และตรวจดูลักษณะการแตกหักว่าเกิดในชั้นใดเพื่อความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแรงยึดของชั้นไฮบริดกับชั้นต่าง ๆ ของฟันกับการรั่วซึมที่เกิดขึ้น ศึกษาการยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับรอยต่อเคลือบรากฟันกับเนื้อฟัน เพื่อจะทราบกลไกการยึดในกรณีที่การบูรณะฟันมีขอบเขตอยู่บริเวณรอยต่อเคลือบรากฟันกับเนื้อฟัน เปรียบเทียบการรั่วซึมของเรซินซีเมนต์ในทางคลินิกกับในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งการศึกษาชนิดของเรซินซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ใช้ในการทดลองนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

การรั่วซึมตามธรรมชาติของฟันแสดงถึงความสามารถในการยอมให้สารผ่านได้ พบว่าเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรสูงกว่าเคลือบฟัน และรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน แต่รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันและเคลือบฟันมีการรั่วซึมระดับไมโครเมตรไม่แตกต่างกัน ไม่พบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรในเคลือบฟัน เนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมระดับนาโนเมตรไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญ พบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณเคลือบฟันตามธรรมชาติ แต่เมื่อยึดเคลือบฟันกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าชั้นไฮบริดเคลือบฟันของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านการรั่วซึมระดับนาโนเมตรตามธรรมชาติ และต้านทานการละลายจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ได้ดี

การเกิดชั้นไฮบริดที่สมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์กับชั้นฟันขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์ การใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนบี (การเตรียมผิวฟันแบบแห้ง) และพานาเวียเอฟ (การเตรียมผิวฟันแบบใช้สารปรับสภาพร่วมกับไพร์เมอร์โดยไม่ล้างออก) ในการยึดชิ้นงานช่วยต้านทานการรั่วซึมระดับไมโครนั้นพบว่าทั้งบริเวณเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันยึดได้ดีกว่าการใช้เวลิโอลิงค์ทู (การเตรียมผิวฟันแบบชื้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) การใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีในการยึดชิ้นงานช่วยต้านการรั่วซึมระดับนาโนเมตรทั้งบริเวณเนื้อฟันและรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันได้ดีกว่าการใช้พานาเวียเอฟและเวลิโอลิงค์ทู ทั้งนี้เป็นเพราะชั้นไฮบริดเนื้อฟันของกลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีเป็นชั้นไฮบริดชนิดเดียวที่สมบูรณ์ และทนต่อการละลายจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ได้

ชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันในกลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีต่อเนื่องไปกับชั้นไฮบริดเคลือบฟันและเนื้อฟัน มีความหนาสม่ำเสมอ ทนต่อการละลายจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ได้ดีต่างจากกลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟและเวลิโอลิงค์ทูซึ่งชั้นไฮบริดรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันมีความหนาลดลงและไม่สมบูรณ์ตามลำดับ การรั่วซึมระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรของฟันที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและเมื่อนำฟันมายึดกับเรซินซีเมนต์สามารถส่งผลต่อการบูรณะฟันทางคลินิกทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้

รายการอ้างอิง

1. Going RE, Microleakage around dental restorations: a summarizing review. J Am Dent Assoc 1972:84:1349-1357.
2. White SN, Sorensen JA, Kang SK, and Caputo AA. Microleakage of new crown and fixed partial denture luting agents. J Prosthet Dent 1992;67:156-161.
3. Pioch T and Staehle HJ. Experimental investigation of the shear strengths of teeth in the region of the dentinoenamel junction. Quintessence Int 1996;27:711-714.
4. Goel VK, Khera SC, Ralston J, and Chang KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth - a finite element investigation. J Prosthet Dent 1991;66:451-459.
5. Douglas WH and Lin CP. Structure-property relations and crack resistance at the bovine dentin-enamel junction. J Dent Res 1994;73:1072-1078.
6. Tjan AH, Dunn JR, and Grant BE. Marginal leakage of cast gold crowns luted with an adhesive resin cement. J Prosthet Dent 1992;67:11-15.
7. Tuntiprawon M, Semsuti-anuwat N, and Promieng N. Microleakage of luting cements and light-cured composite resin. CU Dent J 1996;19:179-188.
8. Blair KF, Koeppen RG, Schwartz RS, and Davis RD. Microleakage associated with resin composite-cemented, cast glass ceramic restoration. Int J Prosthodont 1993;6:579-584.
9. Piemjai M, Miyasaka K, Iwasaki Y, and Nakabayashi N. Comparison of microleakage of three acid-base luting cements versus one resin-bonded cement for Class V direct composite inlays. J Prosthet Dent 2002;88:598-603.
10. Roth G and Clames R. Dental mineralized tissue. In: Oral biology. 1st ed. St. Louis: Mosby, 2000. pp. 173-188.
11. Klyvert MM. Histology and embryology. In: Darby ML, Bushee EJ. editors. Mosby's comprehensive review of dental hygiene. 2nd ed. St. Louis: Mosby, 1991. pp. 34-46.
12. Ten Cate AR. Dentin-pulp complex. In: Ladig D. editor. Oral histology: Development, structure and function. 5th ed. St. Louis: Mosby, 2000. pp. 150-178.
13. Brannstrom M. Dentin and pulp in restorative Dentistry. Dental Therap 1981;9-44.

14. Pashley DH and Lazzari EP. Dentin conditions and diseases. In: CRC handbook of experimental aspects of oral biochemistry. 1st ed. NY: CRC Press, 1983 pp. 97-170.

15. Maroli S, Khera SC, and Krell KV. Regional variation in permeability of young dentin. Oper Dent 1992;17:93-100.

16. Nikiforuk G. The nature of tooth substance. In: Understanding dental caries: etiology, mechanism, basic and clinical aspects. 1st ed. Basel: S. Karger AG, 1984. pp. 83-116.

17. Whittaker DK. The enamel-dentine junction of human and *Macaca irus* teeth: a light and electron microscopic study. J Anat 1978;125:323-335.

18. Lin PC, Douglas WH, and Erlandsen SL. Scanning electron microscopy of type I collagen at the dentin-enamel junction of human teeth. J Histochem Cytochem 1993;41:381-388.

19. Yamamoto H. Electron microscopic studies on the dentin surface of the dentinoenamel junction. Shikwa Gakuho 1992;92:1019-1040.

20. Doukoudakis S, Kranias N, Spanou M, and Stavridakas M. Morphologic characteristics of dentin at the dentinoenamel junction as viewed by scanning electron microscopy. J Esthet Dent 1997;9:94-99.

21. Sela J, Sela M, Lustamann J, and Ulmansky M. Dentinoenamel junction area of a resorbing permanent incisor studied by means of scanning electron microscopy. J Dent Res 1974;34:110-113.

22. Lee W and Eakle W. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. J Prosthet Dent 1984;52:374-380.

23. Crippo J and Masi J. Role of biodental engineering in the etiology of tooth caries. J Esthet Dent 1991;3:71-76.

24. Miles AW. Structure of dentine. In: Structure and chemical organization of teeth. 1st ed. St. Louis: Mosby, 1967. pp. 61-163.

25. Bounocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic materials to enamel surface. J Dent Res 1955;34:849-853.

26. Busscher HJ, Retief DH, and Arends J. Relationship between surface free energies of dental resins and bond strengths to etched enamel. Dent Mater 1987;3:60-63.

27. Barkmeire WW and Erickson RL. Shear bond strength of composite to enamel and dentin using Scothbond Multi-purpose. Am J Dent 1994;7:175-179.

28. Retief DH, Busscher HJ, de' Boer P, Jangebloed WL, and Arends J. A laboratory evaluation of three etching solutions. Dent Mater 1986;2:202-206.

29. Nakabayashi N and Pashley DH. Evolution of dentin-resin bonding. In: Hybridization of dental hard tissue. 1st ed. Tokyo: Quintessence Publishing, 1997. pp. 1-20.

30. Gwinnett AJ and Matsui A. A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesives. Arch Oral Biol 1967;12:1615-1619.

31. Nakabayashi N and Pashley DH. Characterization of the hybrid layer. In: Hybridization of dental hard tissue. 1st ed. Tokyo: Quintessence Publishing, 1997. pp. 57-85.

32. Nakamichi I, Iwaku M, and Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. J Dent Res 1983;62:1076-1081.

33. Retief DH. The use of 50 percent phosphoric acid as an etching agent in orthodontics: a rational approach. Am J Orthod 1975;68:165-178.

34. Nakabayashi N, Watanabe A, and Arao T. A tensile test to facilitate identification of defects in resin bonded dentin specimens. J Dent 1998;26:379-385.

35. Arao T and Nakabayashi N. Effect of miniaturized dumbbell-shaped specimen to identify bonding of resin to bovine dentin. J Jpn Dent Mater 1997;16:175-181.

36. Nakabayashi N and Takarada K. Effect of HEMA on bonding to dentin. Dent Mater 1992;8:125-130.

37. Grossman DG and Nelson JW. The bonded Dicor crown. J Dent Res 1987;66:206

38. Jacobsen PH and Rees JS. Luting agents for ceramic and polymeric inlays and onlays. Int Dent J 1992;42:145-149.

39. Rosenstiel S, Land M, and Crispin B. Dental luting agents: A review of the current literature. J Prosthet Dent 1998;80:280-301.

40.Garberoglio R and Brannstrom M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. Arch Oral Biol 1976;21:355-362.

41. Sugizaki J. The effects of various primers on dentin adhesion of resin composites. Jpn J

Conserv Dent 1991;34:228-265.

42. Suzuki K, Takahashi M, and Nakai H. Treatment of dentin by aqueous solution of amino acid derivative-HEMA. Adhesive Dent 1990;8:43-51.
43. Nakabayashi N and Pashley DH. Acid conditioning and hybridization of substrates. In: Hybridization of dental hard tissues. 1st ed. Tokyo: Quintessence Publising, 1997. pp. 37-56.
44. Kanca J. A method for bonding to tooth structure using phosphoric acid as a dentine enamel conditioner. Quintessence Int 1991;22:285-290.
45. Gwinnett AJ. Dentin bond strength after air drying and rewetting. Am J Dent 1994;7: 144-148.
46. De'jou J, Sindres V, and Camps J. Influence of criteria on the results of *in vitro* evaluation of microleakage. Dent Mater 1996;12:342-349.
47. Mitchem JC and Gronas DG. Adhesion to dentin with and without smear layer under varying degrees of wetness. J Prosthet Dent 1991;66:619-622.
48. Tay FR, Gwinnett AJ, and Wei SHY. The overwet phenomenon: an optical, micromorphological study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. Am J Dent 1996;9:43-48.
49. Tay FR, Gwinnett AJ, and Wei SHY. The overwet phenomenon: a scanning electron microscopic study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. Am J Dent 1996;9:109-114.
50. Nakabayashi N and Pashley DH. The quality of hybridized dentin. In: Hybridization of dental hard tissues. 1st ed. Tokyo: Quintessence Publising, 1997 pp. 85-93.
51. Watanabe I, Nikaido T, and Nakabayashi N. Adhesion to ground dentin: investigation of a bonding agent. Jpn J conserv Dent 1990;33:138-143.
52. Watanabe A and Nakabayashi N. Bonding durability of photocured phenyl-P in TEGDMA to smear layer-retained bovine dentin. Quintessence Int 1993;24:335-342.
53. Technical Committee ISO/TC 106, Dentistry; Subcommittee SC 1, Filling and restorative materials. Dental materials-guidance on testing of adhesion to tooth structure. Switzerland. International Standard ISO/TR 11405; 1994. pp. 1-14.
54. Taylor MJ and Lynch E. Microleakage. J Dent 1992;20:3-10.

55. Alani AH and Toh C. Detection of microleakage around dental restorations: a review. Oper Dent 1997;22:173-185.

56. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, and Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. Oper Dent 1995;20:18-25.

57. Staninec M, Giles WS, Saiku JM, and Hattori M. Caries penetration and cement thickness of three luting cement agents. Int J Prosthodont 1988;1:259-263.

58. Davidson CL, de'Gee AJ, and Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. J Dent Res 1984;63: 1396-1399.

59. Tyas MJ. Dental amalgam-What are the alternatives ? Int Dent J 1994;44:303-308.

60. McCabe JF and Kagi S. Mechanical properties of a composite inlay material following post-curing. Br Dent J 1991;171:246-248.

61. Prati C, Tao L, Simpson M, and Pashley DH. Permeability and microleakage of class II resin composite restorations. J Dent 1994;22:49-56.

62. Crim GA, Swartz ML, and Phillips RS. Comparison of four thermocycling techniques. J Prosthet Dent 1985;53:50-53.

63. Wang J-D and Hume WR. Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentin. Int Endod J 1988;21:17-26.

64. Pashley DH. Dentin bonding: overview of the substrate with respect to adhesive material. J Esthet Dent 1991;3:46-50.

65. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, and Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. J Dent Res 1970;49:1359-1368.

66. Piemjai M and Nakabayashi N. Effect of dentin conditioners on wet bonding of 4-META/MMA-TBB-resin. Adhesive Dent 2001;3:325-331.

67. Tuntiprawon M, Watanabe A, Iwasaki Y, and Nakabayashi N. Effect of remaining demineralized dentin on microleakage. J Dent Res 2001;80:556.

68. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM, and Wei SHY. Structural evidence of a sealed tissue interface with total etch wet bonding technique, *in vivo*. J Dent Res 1994;73: 629-636.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์

เป็นเรซินซีเมนต์ที่เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์แบบบ่มตัวด้วยปฏิกริยาทางเคมี นิยมใช้ในการยึดกับโลหะไร้ตระกูล (non-precious metal) โลหะโครบอลโครเมียม โลหะนิเกิลโครเมียม และโลหะเจือ (dental alloy) ซึ่งเรซินต้องการปฏิกริยาออกซิเดชัน (oxidation) ที่ผิวของโลหะเหล่านี้ ร่วมกับเป่าทรายเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกทำให้ผิวโลหะขุรขระ ช่วยเสริมสภาพความชื้นในการยึด (wetting of adhesion) สำหรับโลหะมีตระกูลควรทำการเป่าทรายร่วมกับการเคลือบผิวด้วยตะกั่ว (tin-plating) หรือทาด้วยวีไพร์เมอร์ (V-primer) หากใช้กับพอร์ซเลนควรทาไซเลนคอปปิงเอเจนต์ (silane coupling agent) ซึ่งจะทำหน้าที่ยึดกับสารประกอบซิลิคอนไดออกไซด์ในพอร์ซเลนและโฟว์เมททาจะทำหน้าที่ยึดกับสารประกอบอลูมินาในพอร์ซเลน ประกอบด้วย

1. เรซินมอนอเมอร์ (resin monomer) คือ โฟว์เมททาคริลอ็อกซีแอทธิลไตรเมลลิติกแอนด์ไฮ-ดรายด์ (4-methacryloxyethyl-trimellitic anhydride or 4-META) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) ประกอบด้วยส่วนไฮดรอโฟบิก (hydrophobic) และส่วนไฮดรอฟิลิก (hydrophilic)

2. แอดฮีซีพเรซิน (adhesive resin) คือ เมทิลเมททาคริยเลทร้อยละ 5 (methymethacrylate or MMA) และโพลีเมทิลเมททาคริยเลทร้อยละ 67 (polymethymethacrylate or PMMA) ซึ่งเป็นส่วนอินทรียสาร

3. ตัวเร่งปฏิกริยาคือ ไตรเอ็นบิวธิลบอเรน (tri-N-butyl-borane or TBB) ควรเก็บที่อุณหภูมิห้อง

4. สารปรับสภาพคือ เฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 ในขวดสีเขียว และกรดฟอสฟอริกร้อยละ 10 ในขวดสีแดง

ความหนาของซีเมนต์ขึ้นกับสัดส่วนระหว่างผงกับส่วนของเหลว หากใช้สัดส่วนผงต่อของเหลวปริมาณ 1 ต่อ 4 จะมีความหนา 15 ไมโครเมตร และหากสัดส่วนผงต่อของเหลวปริมาณ 2 ต่อ 4 จะมีความหนา 50 ไมโครเมตร

วิธีใช้ เตรียมผิวฟันโดยใช้กรดฟอสฟอริกซึ่งเป็นกรดแก่สำหรับเคลือบฟัน จะไปละลายส่วนของไฮดรอกซีอะปาไทท์เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเป่าผิวฟันให้แห้ง ส่วนเนื้อฟันใช้สารละลาย 10-3 ซึ่งจะไปละลายส่วนของไฮดรอกซีอะปาไทท์เป็นเวลา 10 วินาที ล้างออก 10 วินาที เป่าผิวฟันให้แห้ง 10 วินาที ทาผิวฟันด้วยมอนอเมอร์ชนิดโฟว์เมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบี/เมทิลเมททาคริยเลท จะทำหน้าที่แทรกซึมเข้าไปในบริเวณช่องว่างซึ่งเคยเป็นที่อยู่ของไฮดรอกซีอะปาไทต์เมื่อเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์จะได้ชั้นไฮบริดซึ่งเป็นส่วนประกอบของเรซินและฟัน

พานาเวียเอฟซีเมนต์

มีข้อบ่งใช้คล้ายกับซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีซีเมนต์ ทั้งการใช้งานกับโลหะและพอร์ซเลน เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์แบบบ่มตัวด้วยแสงและปฏิกริยาทางเคมี (dual curing) ประกอบด้วย

1. สารปรับสภาพ คือ สารละลายอีดีไพร์เมอร์ซึ่งประกอบด้วย

1.1 เท็นเมททาคริลโอลิลอ็อกซีแดคคาเมทธิลลีนฟอสฟอริกเอซิค หรือเอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecamethylene phosphoric acid or MDP) ซึ่งมีกลุ่มฟอสฟอเนตทำหน้าที่ช่วยในการยึดกับผิวฟัน

1.2 ทูไฮดรอกซีเอทธิลเมททาคริยเลต หรือฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate or HEMA) ช่วยนำเรซินเข้าไปทำปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์

1.3 เอ็นเมททาอะคัยโลอิวไฟร์อะมิโนซาลิซัยคลิกเอซิค หรือไฟร์เอ็นเอ็มเอสเอ (N-Methacryloyl 5-Aminosalicyclic acid or 5-NMSA)

2. เรซิน คือ มอดิไฟด์บิสจีเอ็มเอ (Modified Bis-GMA in MDP)

3. อินออกานิกฟิลเลอร์ (inorganic fillers) คือ ควอทซ์ร้อยละ 78

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แสงและสารเคมีบีพีโอหรือเบ็นโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide or BPO)

5. ตัวยับยั้งปฏิกิริยา คือ ออกซิเจน ดังนั้นต้องใช้โพลีเอทธิลีนไกลคอลซีเลอร์ (polyethylene glycol sealer) หรือออกซีการ์ด (oxygaurd) เพื่อช่วยกันออกซิเจนในการเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์

วิธีใช้ เตรียมผิวฟันโดยทาสารละลายอีดีไพร์เมอร์ส่วนเอและบีที่ผสมแล้ว บนผิวฟัน 30 วินาที เพื่อละลายชั้นสเมียร์ ผสมเบสและตัวเร่งปฏิกริยาในปริมาณที่บริษัทกำหนด ทาซีเมนต์ที่ชิ้นงาน กดชิ้นงานให้แนบสนิท กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออก ฉีดด้วยออกซีการ์ด ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที บริเวณที่แสงไปไม่ถึง เช่นบริเวณใต้เหงือกหรือภายใต้ชิ้นงานจะเกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์แบบบ่มด้วยสารเคมีแทน ความหนาแผ่นฟิล์ม ประมาณ 19 – 45 ไมโครเมตร ขึ้นกับการทำงาน ระยะเวลาในการทำงาน 3 นาที

เวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์

เป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้กับวัสดุประเภทเซรามิก เซโรเมอร์ (ceromer) เรซินคอมโพสิต เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์แบบบ่มตัวด้วยแสงและปฏิกริยาทางเคมี มีความหนืด 2 แบบ ขึ้นอยู่กับปริมาณฟิลเลอร์และมอนอเมอร์ต่างกัน ชนิดที่มีความหนืดน้อย (low viscosity) ใช้กับงานครอบฟัน ครอบฟันบางส่วน สะพานฟันติดแน่นบางส่วน ชนิดที่มีความหนืดสูง (high viscosity) ใช้กับงานอุดฝัง แกนฟัน จัดเป็นระบบกรดกัดผิวฟันแบบรวมซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. สารปรับสภาพประกอบด้วยกรดฟอสฟอริกชนิดเจล (phosphoric acid gel) ร้อยละ 37 ซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) รงควัตถุ (pigments)

2. เอ็กไซท์ (Excite) เป็นสารช่วยยึด บ่มตัวด้วยแสง (light curing) ละลายน้ำได้น้อย ประกอบด้วยฟอสฟอนิกเอซิกอะคริยเลต (phosphonic acid acrylate) และฮีมา

3. เรซิน คือ บิสจีเอ็มเอ ไดเมททาคริยเลต (dimethacrylates)

4. มอนอเมอร์ ประกอบด้วย บิสจีเอ็มเอ ยูเรเทนไดเมททาคริยเลท (urethane dimethacrylate) ไตรเอธิลลีนไกลคอลไดเมททาอะคริเลต (triethylene glycol dimethacrylate)

5. อินออกานิกฟิลเลอร์ ประกอบด้วย แบเรียมกลาส (barium glass) ประมาณร้อยละ 71 แย็ตเตอเบียมไตรฟลูออไรด์ (Ytterbium trifluoride) แบเรียมอลูมิเนียมฟลูออโรซิลิเกตกลาส (Ba-Al fluorosilicate glass)

6. สารเติมแต่ง (additional ingredients) มีขนาด 0.04-3.0 ไมโครเมตร ได้แก่ ซิลิกา (highly dispersed silica dioxide)

7. ตัวเริ่มปฏิกริยา คือ สเตบิไลเซอร์ (stabilizer) ในเอทานอล (ethanol) และรงควัตถุ

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แสง

ตัวยับยั้ง คือ ออกซิเจน

วิธีใช้ ใช้สารปรับสภาพทาผิวเคลือบฟันเป็นเวลา 15-30 วินาที และผิวเนื้อฟันเป็นเวลา 10 วินาที ล้างออกด้วยสเปรย์น้ำ (water spray) 15 วินาที เป่าลมซึ่งปราศจากน้ำและน้ำมัน 2-3 วินาที ผิวฟันควรชื้นตลอดเวลา ทาสารยึดเอ็กไซท์ 10 วินาที บนผิวฟันด้วยแท่งฟองน้ำ (Vivadent applicator) เป่าลมเบา ๆ เพื่อช่วยในการปรับสภาพคอลลาเจน ให้เรซินมอนอเมอร์แทรกซึมเข้าไปเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ได้ง่ายและให้ตัวทำละลายที่ตกค้างระเหยออกไป ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที สังเกตุผิวฟันจะมีลักษณะมันใส (glossy appearance) ผสมซีเมนต์แล้วนำมายึดกับฟัน ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที

เวลาทำงานประมาณ 3.5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ความหนาฟิล์ม ประมาณ 22 ไมโครเมตร ควรเก็บซีเมนต์ไว้ให้พ้นแสง หากทิ้งไว้โดนแสงอาจมีผลต่อปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ขณะใช้งานได้

หากผสมไม่ดีมีฟองอากาศจะทำให้เกิดปฏิกริยาเป็นพอลิเมอร์ช้า ออกซิเจนจะยับยั้งการแข็งตัวของซีเมนต์ ดังนั้นที่ผิวซีเมนต์ประมาณ 50 ไมโครเมตร จะไม่แข็งตัว อาจจะเคลือบผิวรอยต่อชิ้นงานและซีเมนต์ด้วยเจลกลีเซอรีน (glycerine gel) หรือทิ้งซีเมนต์ส่วนเกินไว้เพื่อกันออกซิเจนเข้าไปด้านใน

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรซินซีเมนต์ก่อนใช้งานเป็นสิ่งจำเป็น จะทำให้การบูรณะฟันประสบความสำเร็จและคงอยู่ที่นานได้ ควรเลือกใช้เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดให้เหมาะสมกับงาน เรซินซีเมนต์ที่ดีควรมีคุณสมบัติทางกายภาพดี มีการยึดที่ดี ต้านการละลายน้ำได้สูง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงขั้นตอนการทำงาน ลักษณะการแข็งตัวของซีเมนต์และการเก็บรักษา ควรปิดภาชนะบรรจุเรซินซีเมนต์ทุกชนิดให้แน่นภายหลังการใช้งาน และควรเก็บเรซินซีเมนต์ในตู้เย็นอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดรรชนีตัวอักษร

Control1, Control 2 = การวัดระยะรั่วซึมของกลุ่มควบคุมครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

D, dentin = เนื้อฟัน

DEJ, dentinoenamel junction = รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

E, enamel = เคลือบฟัน

Endcut1, Endcut2 = ระยะตัดสุดท้ายของชิ้นตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

Leakage1, Leakage2 = การวัดระยะรั่วซึมของกลุ่มตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

M = ค่าเฉลี่ย

PN = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์

PND = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์บริเวณเนื้อฟัน

PNE = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์บริเวณเคลือบฟัน

PNJ = กลุ่มตัวอย่างพานาเวียเอฟซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

SB = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์

SBD = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์บริเวณเนื้อฟัน

SBE = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์บริเวณเคลือบฟัน

SBJ = กลุ่มตัวอย่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนบีซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

VL = กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์

VLD = กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์บริเวณเนื้อฟัน

VLE = กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์บริเวณเคลือบฟัน

VLJ = กลุ่มตัวอย่างเวลิโอลิงค์ทูซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับไมโครเมตรบริเวณเนื้อฟัน (มิลลิเมตร)

			control1	control2	control ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1		0.210	0.210	0.210	0.000	0.000	0.000	0.167	0.204	0.186
	2		0.224	0.224	0.224	0.000	0.000	0.000	0.194	0.233	0.214
	3		0.140	0.140	0.140	0.000	0.000	0.000	0.174	0.146	0.160
	4		0.196	0.196	0.196	0.000	0.000	0.000	0.202	0.197	0.200
	5		0.182	0.182	0.182	0.000	0.000	0.000	0.182	0.183	0.183
	6		0.182	0.182	0.182	0.000	0.000	0.000	0.150	0.156	0.153
	7		0.224	0.224	0.224	0.000	0.000	0.000	0.188	0.176	0.182
	8		0.210	0.224	0.217	0.000	0.000	0.000	0.145	0.156	0.151
		M	0.196	0.198	0.197	0.000	0.000	0.000	0.175	0.181	0.178
		SD	0.028	0.029	0.029	0.000	0.000	0.000	0.020	0.029	0.022
PN	1		0.140	0.140	0.140	0.000	0.000	0.000	0.201	0.210	0.206
	2		0.224	0.224	0.224	0.000	0.000	0.000	0.182	0.200	0.191
	3		0.196	0.196	0.196	0.000	0.000	0.000	0.187	0.186	0.187
	4		0.140	0.140	0.140	0.000	0.000	0.000	0.150	0.165	0.158
	5		0.252	0.238	0.245	0.000	0.000	0.000	0.183	0.181	0.182
	6		0.140	0.070	0.105	0.000	0.000	0.000	0.195	0.204	0.200
	7		0.238	0.238	0.238	0.000	0.000	0.000	0.216	0.170	0.193
	8		0.252	0.252	0.252	0.000	0.000	0.000	0.214	0.218	0.216
		M	0.198	0.187	0.193	0.000	0.000	0.000	0.191	0.192	0.191
		SD	0.051	0.064	0.057	0.000	0.000	0.000	0.021	0.019	0.017
VL	1		0.224	0.252	0.238	0.586	0.580	0.583	0.210	0.197	0.204
	2		0.252	0.252	0.252	0.680	0.680	0.680	0.198	0.195	0.197
	3		0.140	0.070	0.105	0.330	0.334	0.332	0.176	0.188	0.182
	4		0.140	0.140	0.140	0.240	0.241	0.241	0.210	0.210	0.210
	5		0.140	0.140	0.140	0.318	0.316	0.317	0.195	0.198	0.197
	6		0.196	0.196	0.196	0.400	0.398	0.399	0.215	0.215	0.215
	7		0.252	0.224	0.238	0.422	0.437	0.430	0.188	0.188	0.188
	8		0.210	0.210	0.210	0.400	0.400	0.400	0.209	0.206	0.208
		M	0.194	0.186	0.190	0.422	0.423	0.423	0.200	0.200	0.200
		SD	0.049	0.064	0.055	0.145	0.144	0.144	0.013	0.010	0.011

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับไมโครเมตรบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (มิลลิเมตร)

		control1	control2	control ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.167	0.204	0.186
	2	0.070	0.070	0.070	0.000	0.000	0.000	0.194	0.233	0.214
	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174	0.146	0.160
	4	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.202	0.197	0.200
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.183	0.183
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.156	0.153
	7	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.188	0.176	0.182
	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.145	0.156	0.151
	M	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.175	0.181	0.178
	SD	0.024	0.024	0.024	0.000	0.000	0.000	0.020	0.029	0.022
PN	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.201	0.210	0.206
	2	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.000	0.182	0.200	0.191
	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.187	0.186	0.187
	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.165	0.158
	5	0.070	0.070	0.070	0.000	0.000	0.000	0.183	0.181	0.182
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.195	0.204	0.200
	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.216	0.170	0.193
	8	0.070	0.070	0.070	0.000	0.000	0.000	0.214	0.218	0.216
	M	0.019	0.019	0.019	0.000	0.000	0.000	0.191	0.192	0.191
	SD	0.032	0.032	0.032	0.000	0.000	0.000	0.021	0.019	0.017
VL	1	0.070	0.070	0.070	0.286	0.286	0.286	0.210	0.197	0.204
	2	0.000	0.000	0.000	0.256	0.253	0.255	0.198	0.195	0.197
	3	0.000	0.000	0.000	0.176	0.188	0.182	0.176	0.188	0.182
	4	0.000	0.000	0.000	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210
	5	0.000	0.000	0.000	0.318	0.316	0.317	0.195	0.198	0.197
	6	0.000	0.000	0.000	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215
	7	0.070	0.070	0.070	0.422	0.437	0.430	0.188	0.188	0.188
	8	0.070	0.070	0.070	0.400	0.400	0.400	0.209	0.206	0.208
	M	0.026	0.026	0.026	0.285	0.288	0.287	0.200	0.200	0.200
	SD	0.036	0.036	0.036	0.090	0.091	0.090	0.013	0.010	0.011

ตารางที่ 6.3 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับไมโครเมตรบริเวณเคลือบฟัน (มิลลิเมตร)

		control1	control2	control ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167	0.204	0.186
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.194	0.233	0.214
	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174	0.146	0.160
	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.202	0.197	0.200
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.183	0.183
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.156	0.153
	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.176	0.182
	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.145	0.156	0.151
	M	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.175	0.181	0.178
	SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.029	0.022
PN	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.201	0.210	0.206
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.200	0.191
	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.187	0.186	0.187
	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.165	0.158
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.183	0.181	0.182
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.195	0.204	0.200
	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.216	0.170	0.193
	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.214	0.218	0.216
	M	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.191	0.192	0.191
	SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.019	0.017
VL	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.210	0.197	0.204
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.198	0.195	0.197
	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.176	0.188	0.182
	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.210	0.210	0.210
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.195	0.198	0.197
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.215	0.215	0.215
	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.188	0.188
	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.209	0.206	0.208
	M	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.200	0.200
	SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.010	0.011

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดของกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบแทมเฮนทีทูในชั้นเนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน และเคลือบฟันตามลำดับ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: control microleakage ave. (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	4.3750E-03	2.4246E-02	.997	-8.07499E-02	8.9500E-02
	VL	7.0000E-03	2.4246E-02	.985	-7.55193E-02	8.9519E-02
PN	SB	-4.37500E-03	2.4246E-02	.997	-8.94999E-02	8.0750E-02
	VL	2.6250E-03	2.4246E-02	1.000	-9.58943E-02	.10114
VL	SB	-7.00000E-03	2.4246E-02	.985	-8.95193E-02	7.5519E-02
	PN	-2.62500E-03	2.4246E-02	1.000	-.10114	9.5894E-02

Dependent Variable: control microleakage ave. (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	-5.25000E-03	1.5484E-02	.976	-5.53812E-02	4.4881E-02
	VL	-1.22500E-02	1.5484E-02	.823	-6.79887E-02	4.3489E-02
PN	SB	5.2500E-03	1.5484E-02	.976	-4.48812E-02	5.5381E-02
	VL	-7.00000E-03	1.5484E-02	.969	-6.72490E-02	5.3249E-02
VL	SB	1.2250E-02	1.5484E-02	.823	-4.34887E-02	6.7989E-02
	PN	7.0000E-03	1.5484E-02	.969	-5.32490E-02	6.7249E-02

Dependent Variable: control microleakage ave. (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	.00000	.00000	.	.[a]	.
	VL	.00000	.00000	.	.[a]	.
PN	SB	.00000	.00000	.	.[a]	.
	VL	.00000	.00000	.	.[a]	.
VL	SB	.00000	.00000	.	.[a]	.
	PN	.00000	.00000	.	.[a]	.

a. Range values cannot be computed.

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างชั้นฟันของกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

Descriptives

control ave. (mm)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dentin	24	.19308	4.6429E-02	9.4773E-03	.17348	.21269	.105	.252
DEJ	24	1.9833E-02	3.0031E-02	6.1301E-03	7.1522E-03	3.2514E-02	.000	.070
Enamel	24	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.000	.000
Total	72	7.0972E-02	9.2831E-02	1.0940E-02	4.9158E-02	9.2786E-02	.000	.252

Test of Homogeneity of Variances

control ave. (mm)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
32.851	2	69	.000

ANOVA

control ave. (mm)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.542	2	.271	265.666	.000
Within Groups	7.032E-02	69	1.019E-03		
Total	.612	71			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: control ave. (mm)

Tamhane

(I) location structure	(J) location structure	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dentin	DEJ	.17325*	9.2158E-03	.000	.13799	.20851
	Enamel	.19308*	9.2158E-03	.000	.16207	.22410
DEJ	Dentin	-.17325*	9.2158E-03	.000	-.20851	-.13799
	Enamel	1.9833E-02	9.2158E-03	.011	-2.27307E-04	3.9894E-02
Enamel	Dentin	-.19308*	9.2158E-03	.000	-.22410	-.16207
	DEJ	-1.98333E-02	9.2158E-03	.011	-3.98940E-02	2.2731E-04

*. The mean difference is significant at the .01 level.

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบทีแบบจับคู่

	Paired Differences							
	Mean	**Std.Deviation**	**Std.Error Mean**	**99% Confidence Interval of the Difference**		**t**	**df**	**Sig. (2-tailed)**
				Lower	**Upper**			
SBD	-0.196	2.860E-02	1.011E-02	-0.232	-0.161	-19.468	7	.000*
SBJ	-1.40E-02	2.366E-02	8.367E-03	-4.33E-02	1.528E-02	-1.673	7	.138
SBE	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-	-
PND	-0.193	5.674E-02	2.006E-02	-0.263	-0.122	-9.595	7	.000*
PNJ	-1.925E-02	3.169E-02	1.121E-02	-5.85E-02	1.996E-02	-1.718	7	.130
PNE	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-	-
VLD	0.233	0.104	3.678E-02	0.104	0.361	6.328	7	.000*
VLJ	0.261	6.614E-02	2.338E-02	0.179	0.342	11.140	7	.000*
VLE	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-	-

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบทีแบบจับคู่

	Paired Differences							
	Mean	**Std.Deviation**	**Std.Error Mean**	**99% Confidence Interval of the Difference**		**t**	**df**	**Sig. (2-tailed)**
				Lower	**Upper**			
SBD	-1.856E-02	2.775E-02	9.814E-03	-5.291E-02	1.578E-02	-1.891	7	.100
SBJ	0.164	1.519E-02	5.371E-03	-0.145	0.183	30.593	7	.000*
SBE	0.178	2.242E-02	7.927E-03	0.150	0.206	22.492	7	.000*
PND	-1.125E-03	5.604E-02	1.981E-02	-7.046E-02	6.821E-02	-0.057	7	.956
PNJ	0.172	3.171E-02	1.121E-02	0.132	0.211	15.351	7	.000*
PNE	0.191	1.746E-02	6.172E-03	0.169	0.212	31.002	7	.000*
VLE	0.199	1.125E-02	3.977E-03	0.185	0.213	50.253	7	.000*

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: microleakage real

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.639[a]	8	.205	63.664	.000
Intercept	.447	1	.447	138.962	.000
CEMENT	.895	2	.447	138.962	.000
LOCATION	.248	2	.124	38.564	.000
CEMENT * LOCATION	.497	4	.124	38.564	.000
Error	.203	63	3.219E-03		
Total	2.289	72			
Corrected Total	1.842	71			

a. R Squared = .890 (Adjusted R Squared = .876)

Post Hoc Tests

Cement

Multiple Comparisons

Dependent Variable: microleakage real

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	.00000	1.6378E-02	.	.[a]	.
	VL	-.23646*	1.6378E-02	.000	-.37204	-.10087
PN	SB	.00000	1.6378E-02	.	.[a]	.
	VL	-.23646*	1.6378E-02	.000	-.37204	-.10087
VL	SB	.23646*	1.6378E-02	.000	.10087	.37204
	PN	.23646*	1.6378E-02	.000	.10087	.37204

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .01 level.

a. Range values cannot be computed.

location structure

Multiple Comparisons

Dependent Variable: microleakage real

Tamhane

(I) location structure	(J) location structure	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dentin	DEJ	4.5292E-02	1.6378E-02	.789	-.12233	.21291
	Enamel	.14087	1.6378E-02	.013	-5.09017E-03	.28684
DEJ	Dentin	-4.52917E-02	1.6378E-02	.789	-.21291	.12233
	Enamel	9.5583E-02	1.6378E-02	.012	-2.48251E-03	.19365
Enamel	Dentin	-.14087	1.6378E-02	.013	-.28684	5.0902E-03
	DEJ	-9.55833E-02	1.6378E-02	.012	-.19365	2.4825E-03

Based on observed means.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

Dependent Variable: microleakage real

Tamhane

(I) sig	(J) sig	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SBD	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
PND	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
VLD	SBD	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	PND	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	SBJ	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	PNJ	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	VLJ	.13587	2.8368E-02	.801	-.17098	.44273
	SBE	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	PNE	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
	VLE	.42263*	2.8368E-02	.003	8.1308E-02	.76394
SBJ	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.

Dependent Variable: microleakage real

Tamhane

(I) sig	(J) sig	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
PNJ	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
VLJ	SBD	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	PND	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	VLD	-.13587	2.8368E-02	.801	-.44273	.17098
	SBJ	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	PNJ	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	SBE	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	PNE	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
	VLE	.28675*	2.8368E-02	.002	7.2888E-02	.50061
SBE	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
PNE	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.

Dependent Variable: microleakage real

Tamhane

(I) sig	(J) sig	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
VLE	SBD	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PND	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLD	-.42263*	2.8368E-02	.003	-.76394	-8.13077E-02
	SBJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNJ	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	VLJ	-.28675*	2.8368E-02	.002	-.50061	-7.28877E-02
	SBE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	2.8368E-02	.	.[a]	.

*. The mean difference is significant at the .01 level.

a. Range values cannot be computed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับไมโครเมตรของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ความแตกต่างสถิติของการรั่วซึมระดับไมโครเมตรระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

Mean (mm.)		SBD	PND	VLD	SBJ	PNJ	VLJ	SBE	PNE	VLE
0.000	SBD	-								
0.000	PND	NS	-							
0.423	VLD	*	*	-						
0.000	SBJ	NS	NS	*	-					
0.000	PNJ	NS	NS	*	-	-				
0.287	VLJ	*	*	NS	*	*	-			
0.000	SBE	NS	NS	*	NS	NS	*	-		
0.000	PNE	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	-	
0.000	VLE	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS	-

* = มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยการทดสอบแทมเฮนที่ทู

\- = ไม่สามารถคำนวณค่าสถิติได้

NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแทมเฮนที่ทู

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14.1 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณเนื้อฟัน (มิลลิเมตร)

		controls 1	controls 2	controls ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1	0.463	0.386	0.425	0.000	0.000	0.000	0.201	0.195	0.198
	2	0.488	0.514	0.501	0.000	0.000	0.000	0.198	0.188	0.193
	3	0.463	0.386	0.425	0.000	0.000	0.000	0.215	0.195	0.205
	4	0.386	0.308	0.347	0.000	0.000	0.000	0.183	0.205	0.194
	5	0.437	0.463	0.450	0.000	0.000	0.000	0.213	0.222	0.218
	6	0.514	0.437	0.476	0.000	0.000	0.000	0.190	0.195	0.193
	7	0.463	0.308	0.386	0.000	0.000	0.000	0.186	0.199	0.193
	8	0.360	0.360	0.360	0.000	0.000	0.000	0.213	0.213	0.213
	M	0.447	0.395	0.421	0.000	0.000	0.000	0.200	0.202	0.201
	SD	0.051	0.073	0.054	0.000	0.000	0.000	0.013	0.011	0.010
PN	1	0.488	0.488	0.488	0.511	0.511	0.511	0.193	0.197	0.195
	2	0.514	0.386	0.450	0.627	0.627	0.627	0.202	0.197	0.200
	3	0.386	0.463	0.425	0.475	0.360	0.418	0.217	0.210	0.214
	4	0.463	0.308	0.386	0.598	0.415	0.506	0.182	0.182	0.182
	5	0.360	0.360	0.360	0.545	0.600	0.573	0.210	0.170	0.190
	6	0.463	0.514	0.489	0.629	0.610	0.619	0.180	0.180	0.180
	7	0.386	0.463	0.425	0.395	0.400	0.398	0.215	0.193	0.204
	8	0.514	0.308	0.411	0.485	0.485	0.485	0.196	0.196	0.196
	M	0.447	0.411	0.429	0.533	0.501	0.517	0.199	0.191	0.195
	SD	0.061	0.081	0.045	0.082	0.104	0.085	0.014	0.013	0.011
VL	1	0.463	0.437	0.450	1.225	1.228	1.227	0.189	0.189	0.189
	2	0.488	0.308	0.398	1.024	0.993	1.009	0.201	0.198	0.200
	3	0.360	0.360	0.360	1.250	1.247	1.249	0.212	0.196	0.204
	4	0.463	0.463	0.463	1.100	1.065	1.083	0.176	0.180	0.178
	5	0.386	0.386	0.386	1.123	1.149	1.136	0.179	0.171	0.175
	6	0.360	0.437	0.398	1.251	1.221	1.236	0.205	0.184	0.195
	7	0.308	0.437	0.373	1.313	1.217	1.265	0.208	0.199	0.204
	8	0.463	0.386	0.425	0.970	0.965	0.968	0.197	0.197	0.197
	M	0.411	0.402	0.407	1.157	1.136	1.146	0.196	0.189	0.193
	SD	0.066	0.051	0.036	0.122	0.113	0.116	0.013	0.010	0.011

ตารางที่ 14.2 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (มิลลิเมตร)

		controls 1	controls 2	controls ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1	0.386	0.386	0.386	0.000	0.000	0.000	0.201	0.195	0.198
	2	0.488	0.488	0.488	0.000	0.000	0.000	0.198	0.188	0.193
	3	0.386	0.386	0.386	0.000	0.000	0.000	0.215	0.195	0.205
	4	0.308	0.308	0.308	0.000	0.000	0.000	0.183	0.205	0.194
	5	0.437	0.437	0.437	0.000	0.000	0.000	0.213	0.222	0.218
	6	0.437	0.437	0.437	0.000	0.000	0.000	0.190	0.195	0.193
	7	0.308	0.308	0.308	0.000	0.000	0.000	0.186	0.199	0.193
	8	0.360	0.360	0.360	0.000	0.000	0.000	0.213	0.213	0.213
	M	0.389	0.389	0.389	0.000	0.000	0.000	0.200	0.202	0.201
	SD	0.064	0.064	0.064	0.000	0.000	0.000	0.013	0.011	0.010
PN	1	0.488	0.488	0.488	0.511	0.511	0.511	0.193	0.197	0.195
	2	0.386	0.386	0.386	0.374	0.374	0.374	0.202	0.197	0.200
	3	0.386	0.386	0.386	0.355	0.356	0.356	0.217	0.210	0.214
	4	0.308	0.308	0.308	0.296	0.247	0.271	0.182	0.182	0.182
	5	0.360	0.360	0.360	0.483	0.446	0.465	0.210	0.170	0.190
	6	0.463	0.463	0.463	0.625	0.610	0.617	0.180	0.180	0.180
	7	0.463	0.463	0.463	0.345	0.350	0.348	0.215	0.193	0.204
	8	0.308	0.308	0.308	0.385	0.380	0.383	0.196	0.196	0.196
	M	0.395	0.395	0.395	0.422	0.409	0.416	0.199	0.191	0.195
	SD	0.070	0.070	0.070	0.109	0.111	0.110	0.014	0.013	0.011
VL	1	0.437	0.437	0.437	0.936	0.918	0.927	0.189	0.189	0.189
	2	0.308	0.308	0.308	0.881	0.881	0.881	0.201	0.198	0.200
	3	0.360	0.360	0.360	1.043	1.043	1.043	0.212	0.196	0.204
	4	0.463	0.463	0.463	0.986	1.010	0.998	0.176	0.180	0.178
	5	0.386	0.386	0.386	0.831	0.824	0.827	0.179	0.171	0.175
	6	0.360	0.360	0.360	0.909	0.982	0.946	0.205	0.184	0.195
	7	0.308	0.308	0.308	1.313	1.217	1.265	0.208	0.199	0.204
	8	0.386	0.386	0.386	0.884	0.884	0.884	0.197	0.197	0.197
	M	0.376	0.376	0.376	0.973	0.970	0.971	0.196	0.189	0.193
	SD	0.055	0.055	0.055	0.152	0.124	0.137	0.013	0.010	0.011

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14.3 ข้อมูลดิบระยะรั่วซึมระดับนาโนเมตรบริเวณเคลือบฟัน (มิลลิเมตร)

		controls 1	controls 2	controls ave.	leakage1	leakage2	leakage ave.	endcut1	endcut2	endcut ave.
SB	1	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.201	0.195	0.198
	2	0.180	0.231	0.206	0.000	0.000	0.000	0.198	0.188	0.193
	3	0.180	0.154	0.167	0.000	0.000	0.000	0.215	0.195	0.205
	4	0.283	0.257	0.270	0.000	0.000	0.000	0.183	0.205	0.194
	5	0.154	0.257	0.206	0.000	0.000	0.000	0.213	0.222	0.218
	6	0.306	0.283	0.295	0.000	0.000	0.000	0.190	0.195	0.193
	7	0.206	0.206	0.206	0.000	0.000	0.000	0.186	0.199	0.193
	8	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.213	0.213	0.213
	M	0.228	0.238	0.233	0.000	0.000	0.000	0.200	0.202	0.201
	SD	0.055	0.041	0.043	0.000	0.000	0.000	0.013	0.011	0.010
PN	1	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.193	0.197	0.195
	2	0.283	0.257	0.270	0.000	0.000	0.000	0.202	0.197	0.200
	3	0.180	0.257	0.218	0.000	0.000	0.000	0.217	0.210	0.214
	4	0.296	0.296	0.296	0.000	0.000	0.000	0.182	0.182	0.182
	5	0.206	0.257	0.231	0.000	0.000	0.000	0.210	0.170	0.190
	6	0.154	0.206	0.180	0.000	0.000	0.000	0.180	0.180	0.180
	7	0.306	0.283	0.295	0.000	0.000	0.000	0.215	0.193	0.204
	8	0.219	0.231	0.225	0.000	0.000	0.000	0.196	0.196	0.196
	M	0.238	0.256	0.247	0.000	0.000	0.000	0.199	0.191	0.195
	SD	0.056	0.028	0.040	0.000	0.000	0.000	0.014	0.013	0.011
VL	1	0.206	0.206	0.206	0.000	0.000	0.000	0.189	0.189	0.189
	2	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.201	0.198	0.200
	3	0.180	0.193	0.187	0.000	0.000	0.000	0.212	0.196	0.204
	4	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.176	0.180	0.178
	5	0.257	0.206	0.231	0.000	0.000	0.000	0.179	0.171	0.175
	6	0.193	0.193	0.193	0.000	0.000	0.000	0.205	0.184	0.195
	7	0.257	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.208	0.199	0.204
	8	0.231	0.206	0.219	0.000	0.000	0.000	0.197	0.197	0.197
	M	0.230	0.222	0.226	0.000	0.000	0.000	0.196	0.189	0.193
	SD	0.032	0.030	0.029	0.000	0.000	0.000	0.013	0.010	0.011

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดของกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบแทมเฮนทีทูในชั้นเนื้อฟัน รอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน และเคลือบฟันตามลำดับ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: nanoleakage average of controls (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	-8.00000E-03	2.3005E-02	.985	-9.69621E-02	8.0962E-02
	VL	1.4437E-02	2.3005E-02	.905	-6.95731E-02	9.8448E-02
PN	SB	8.0000E-03	2.3005E-02	.985	-8.09621E-02	9.6962E-02
	VL	2.2437E-02	2.3005E-02	.650	-5.09266E-02	9.5802E-02
VL	SB	-1.44375E-02	2.3005E-02	.905	-9.84481E-02	6.9573E-02
	PN	-2.24375E-02	2.3005E-02	.650	-9.58016E-02	5.0927E-02

Dependent Variable: nanoleakage average of controls (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	-6.50000E-03	3.1634E-02	.997	-.12487	.11187
	VL	1.2750E-02	3.1634E-02	.966	-9.27155E-02	.11822
PN	SB	6.5000E-03	3.1634E-02	.997	-.11187	.12487
	VL	1.9250E-02	3.1634E-02	.910	-9.32234E-02	.13172
VL	SB	-1.27500E-02	3.1634E-02	.966	-.11822	9.2716E-02
	PN	-1.92500E-02	3.1634E-02	.910	-.13172	9.3223E-02

Dependent Variable: nanoleakage average of controls (mm)

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	-1.37438E-02	1.8971E-02	.889	-8.71647E-02	5.9677E-02
	VL	7.0000E-03	1.8971E-02	.976	-5.95732E-02	7.3573E-02
PN	SB	1.3744E-02	1.8971E-02	.889	-5.96772E-02	8.7165E-02
	VL	2.0744E-02	1.8971E-02	.594	-4.24800E-02	8.3968E-02
VL	SB	-7.00000E-03	1.8971E-02	.976	-7.35732E-02	5.9573E-02
	PN	-2.07438E-02	1.8971E-02	.594	-8.39675E-02	4.2480E-02

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างชั้นฟันของกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบแทมแฮนทีทู

Descriptives

controls ave. (mm)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dentin	24	.41885	4.4976E-02	9.1807E-03	.39986	.43785	.347	.501
DEJ	24	.38667	6.1004E-02	1.2452E-02	.36091	.41243	.308	.488
Enamel	24	.23506	3.7308E-02	7.6155E-03	.21931	.25081	.167	.296
Total	72	.34686	9.3939E-02	1.1071E-02	.32479	.36893	.167	.501

Test of Homogeneity of Variances

controls ave. (mm)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.418	2	69	.097

ANOVA

controls ave. (mm)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.462	2	.231	97.195	.000
Within Groups	.164	69	2.379E-03		
Total	.627	71			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: controls ave. (mm)

Tamhane

(I) location structure	(J) location structure	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dentin	DEJ	3.2188E-02	1.4079E-02	.125	-1.59253E-02	8.0300E-02
	Enamel	.18379*	1.4079E-02	.000	.14681	.22078
DEJ	Dentin	-3.21875E-02	1.4079E-02	.125	-8.03003E-02	1.5925E-02
	Enamel	.15161*	1.4079E-02	.000	.10591	.19730
Enamel	Dentin	-.18379*	1.4079E-02	.000	-.22078	-.14681
	DEJ	-.15161*	1.4079E-02	.000	-.19730	-.10591

*. The mean difference is significant at the .01 level.

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบทีแบบจับคู่

	Paired Differences							
	Mean	**Std.Deviation**	**Std.Error Mean**	**99% Confidence Interval of the Difference**		**t**	**df**	**Sig. (2-tailed)**
				Lower	**Upper**			
SBD	-0.421	5.437E-02	1.922E-02	-0.488	-0.354	-21.901	7	.000*
SBJ	-0.389	6.368E-02	2.251E-02	-0.468	-0309	-17.266	7	.000*
SBE	-0.233	4.292E-02	1.517E-02	-0.286	-0.179	-15.339	7	.000*
PND	8.806E-02	8.703E-02	3.077E-02	-1.963E-02	0.195	2.862	7	.024
PNJ	2.025E-02	8.728E-02	3.086E-02	-8.775E-02	0.128	0.656	7	.533
PNE	-0.246	4.020E-02	1.421E-02	-0.296	-0.197	-17.347	7	.000*
VLD	0.739	0.134	4.749E-02	0.573	0.906	15.574	7	.000*
VLJ	0.595	0.163	5.778E-02	0.393	0.798	10.304	7	.000*
VLE	-0.226	2.932E-02	1.036E-02	-0.262	-0.189	-21.782	7	.000*

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับนาโนเมตรระหว่างกลุ่มควบคุมกับระยะตัดสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบทีแบบจับคู่

	Paired Differences							
	Mean	**Std.Deviation**	**Std.Error Mean**	**99% Confidence Interval of the Difference**		**t**	**df**	**Sig. (2-tailed)**
				Lower	**Upper**			
SBD	-0.139	5.698E-02	2.015E-02	-0.210	-6.880E-02	-6.914	7	.000*
SBJ	-0.107	6.868E-02	2.428E-02	-0.192	-2.207E-02	-4.409	7	.003*
SBE	-3.212E-02	4.670E-02	1.651E-02	-8.990E-02	2.565E-02	-1.946	7	.093
PNE	-5.155E-02	4.022E-02	1.422E-02	-0.101	-1.793E-03	-3.626	7	.008*
VLE	-3.325E-02	3.341E-02	1.182E-02	-7.459E-02	8.095E-03	-2.814	7	.026

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: nano real distance

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.243[a]	8	1.405	240.566	.000
Intercept	11.607	1	11.607	1986.901	.000
CEMENT	3.517	2	1.759	301.019	.000
LOCATION	5.906	2	2.953	505.450	.000
CEMENT * LOCATION	1.820	4	.455	77.897	.000
Error	.368	63	5.842E-03		
Total	23.218	72			
Corrected Total	11.611	71			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .964)

Post Hoc Tests

cement

Multiple Comparisons

Dependent Variable: nano real distance

Tamhane

(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SB	PN	-.12306	2.2064E-02	.105	-.30070	5.4576E-02
	VL	-.51810*	2.2064E-02	.000	-.87533	-.16088
PN	SB	.12306	2.2064E-02	.105	-5.45762E-02	.30070
	VL	-.39504*	2.2064E-02	.006	-.76833	-2.17507E-02
VL	SB	.51810*	2.2064E-02	.000	.16088	.87533
	PN	.39504*	2.2064E-02	.006	2.1751E-02	.76833

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .01 level.

location structure

Multiple Comparisons

Dependent Variable: nano real distance

Tamhane

(I) location structure	(J) location structure	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dentin	DEJ	9.2167E-02	2.2064E-02	.749	-.22301	.40734
	Enamel	.64835*	2.2064E-02	.000	.39357	.90314
DEJ	Dentin	-9.21667E-02	2.2064E-02	.749	-.40734	.22301
	Enamel	.55619*	2.2064E-02	.000	.34225	.77013
Enamel	Dentin	-.64835*	2.2064E-02	.000	-.90314	-.39357
	DEJ	-.55619*	2.2064E-02	.000	-.77013	-.34225

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .01 level.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบความแตกต่างการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบแทมเฮนทู

Dependent Variable: leakage ave. (mm)

Tamhane

(I) CL	(J) CL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SBD	PND	-.51706*	3.7821E-02	.000	-.71913	-.31500
	VLD	-1.14631*	3.7821E-02	.000	-1.42076	-.87187
	SBJ	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNJ	-.41550*	3.7821E-02	.000	-.67488	-.15612
	VLJ	-.97138*	3.7821E-02	.000	-1.29535	-.64740
	SBE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
PND	SBD	.51706*	3.7821E-02	.000	.31500	.71913
	VLD	-.62925*	3.7821E-02	.000	-.88072	-.37778
	SBJ	.51706*	3.7821E-02	.000	.31500	.71913
	PNJ	.10156	3.7821E-02	.887	-.13893	.34206
	VLJ	-.45431*	3.7821E-02	.000	-.74549	-.16313
	SBE	.51706*	3.7821E-02	.000	.31500	.71913
	PNE	.51706*	3.7821E-02	.000	.31500	.71913
	VLE	.51706*	3.7821E-02	.000	.31500	.71913
VLD	SBD	1.14631*	3.7821E-02	.000	.87187	1.42076
	PND	.62925*	3.7821E-02	.000	.37778	.88072
	SBJ	1.14631*	3.7821E-02	.000	.87187	1.42076
	PNJ	.73081*	3.7821E-02	.000	.45938	1.00225
	VLJ	.17494	3.7821E-02	.435	-.13250	.48237
	SBE	1.14631*	3.7821E-02	.000	.87187	1.42076
	PNE	1.14631*	3.7821E-02	.000	.87187	1.42076
	VLE	1.14631*	3.7821E-02	.000	.87187	1.42076
SBJ	SBD	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PND	-.51706*	3.7821E-02	.000	-.71913	-.31500
	VLD	-1.14631*	3.7821E-02	.000	-1.42076	-.87187
	PNJ	-.41550*	3.7821E-02	.000	-.67488	-.15612
	VLJ	-.97138*	3.7821E-02	.000	-1.29535	-.64740
	SBE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.

Dependent Variable: leakage ave. (mm)

Tamhane

(I) CL	(J) CL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
PNJ	SBD	.41550*	3.7821E-02	.000	.15612	.67488
	PND	-.10156	3.7821E-02	.887	-.34206	.13893
	VLD	-.73081*	3.7821E-02	.000	-1.00225	-.45938
	SBJ	.41550*	3.7821E-02	.000	.15612	.67488
	VLJ	-.55588*	3.7821E-02	.000	-.85831	-.25344
	SBE	.41550*	3.7821E-02	.000	.15612	.67488
	PNE	.41550*	3.7821E-02	.000	.15612	.67488
	VLE	.41550*	3.7821E-02	.000	.15612	.67488
VLJ	SBD	.97138*	3.7821E-02	.000	.64740	1.29535
	PND	.45431*	3.7821E-02	.000	.16313	.74549
	VLD	-.17494	3.7821E-02	.435	-.48237	.13250
	SBJ	.97138*	3.7821E-02	.000	.64740	1.29535
	PNJ	.55588*	3.7821E-02	.000	.25344	.85831
	SBE	.97138*	3.7821E-02	.000	.64740	1.29535
	PNE	.97138*	3.7821E-02	.000	.64740	1.29535
	VLE	.97138*	3.7821E-02	.000	.64740	1.29535
SBE	SBD	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PND	-.51706*	3.7821E-02	.000	-.71913	-.31500
	VLD	-1.14631*	3.7821E-02	.000	-1.42076	-.87187
	SBJ	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNJ	-.41550*	3.7821E-02	.000	-.67488	-.15612
	VLJ	-.97138*	3.7821E-02	.000	-1.29535	-.64740
	PNE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
PNE	SBD	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PND	-.51706*	3.7821E-02	.000	-.71913	-.31500
	VLD	-1.14631*	3.7821E-02	.000	-1.42076	-.87187
	SBJ	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNJ	-.41550*	3.7821E-02	.000	-.67488	-.15612
	VLJ	-.97138*	3.7821E-02	.000	-1.29535	-.64740
	SBE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	VLE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.

Dependent Variable: leakage ave. (mm)

Tamhane

(I) CL	(J) CL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
VLE	SBD	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PND	-.51706*	3.7821E-02	.000	-.71913	-.31500
	VLD	-1.14631*	3.7821E-02	.000	-1.42076	-.87187
	SBJ	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNJ	-.41550*	3.7821E-02	.000	-.67488	-.15612
	VLJ	-.97138*	3.7821E-02	.000	-1.29535	-.64740
	SBE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.
	PNE	.00000	3.7821E-02	.	.[a]	.

*. The mean difference is significant at the .01 level.

a. Range values cannot be computed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 ความแตกต่างทางสถิติของการรั่วซึมระดับนาโนเมตรของกลุ่มตัวอย่าง

Mean (mm.)		SBD	PND	VLD	SBJ	PNJ	VLJ	SBE	PNE	VLE
0.000	SBD	-								
0.517	PND	*	-							
1.146	VLD	*	*	-						
0.000	SBJ	NS	*	*	-					
0.415	PNJ	NS	NS	*	NS	-				
0.971	VLJ	*	*	NS	*	*	-			
0.000	SBE	*	*	*	*	*	*	-		
0.000	PNE	*	*	*	*	*	*	NS	-	
0.000	VLE	*	*	*	*	*	*	NS	NS	-

* = มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

\- = ไม่สามารถคำนวณค่าสถิติได้

NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแทมเฮนทีทู

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอริยา ทวีรัตน์ เกิดที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2538 เข้ารับราชการเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2541 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย