

ผลของซีเมนต์ต่อความต้านทานการแตกหัก  
ของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบแตกต่างกัน

นางสาว สุกิริติ คุปตภากร




วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-559-322-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FRACTURE RESISTANCE OF METAL-CERAMIC CROWNS :  
EFFECT OF CEMENTS AND MARGIN DESIGNS.



Miss Sukeerati Kuptapakorn

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

Department of Prosthodontics Dentistry

Graduate School

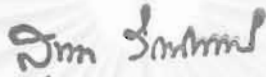
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

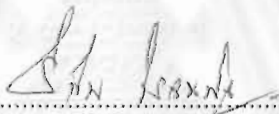
ISBN 974-559-322-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของซีเมนต์ต่อความต้านทานการแตกหักของคอนกรีต  
โลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบแตกต่างกัน  
โดย นางสาว สุกัรติ คุปตภากร  
ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

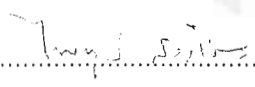
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนนท์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง รำไพ โรจนกิจ )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร. มโน คุรัตน์ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร. ไพฑูรย์ สังวรินหา )

สุกิริติ คุปตภากร : ผลของซีเมนต์ต่อความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ที่มีขอบแตกต่างกัน (FRACTURE RESISTANCE OF METAL-CERAMIC CROWNS :  
EFFECT OF CEMENTS AND MARGIN DESIGNS.) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ทพ.ญ. ดร. กาญจน  
กาญจนทวีวัฒน์ , 110 หน้า. ISBN 974-559-322-2.

การทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน เป็นวิธียุคใหม่ที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง เนื่องจากได้ทั้งความแข็งแรงจากโครงโลหะ  
ภายในและความสวยงามจากพอร์ซเลนที่อยู่ภายนอก การทำครอบฟันขอบโลหะจะทำให้เห็นเส้นสีดำของโลหะบริเวณคอฟัน ดังนั้นใน  
บริเวณที่ต้องการความสวยงามจึงควรทำครอบฟันขอบพอร์ซเลน แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาความขุ่นที่บริเวณคอฟันเนื่องจากแสง  
ไม่สามารถส่องผ่านไปยังเนื้อเยื่อรอบๆได้ การทำครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่รันโครงโลหะด้านหน้าขึ้นไป จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบทาง  
ด้านหน้าแตกต่างกัน 3 แบบ คือชนิดขอบโลหะ ชนิดขอบพอร์ซเลน และชนิดขอบพอร์ซเลนที่รันโครงโลหะขึ้นไป 1 มม. เพื่อให้มีการ  
สะท้อนของแสงบริเวณนี้ได้ดีขึ้น และเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของซีเมนต์ชนิดต่างๆ คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอซิเลตซีเมนต์  
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ เรซินซีเมนต์ ต่อความต้านทานการแตกหักของครอบฟันทั้ง 3 แบบ ทำการทดสอบโดยใช้ฟันกราม  
น้อยบน ที่ไม่มีรอยผุ รอยอุด หรือพยาธิสภาพใดๆและเก็บรักษาไว้ในสารละลายน้ำเกลือที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจนกระทั่งถึง  
เวลาทดลองจำนวน 120 ชั่วโมง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนละ 40 ชั่วโมง เพื่อทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบต่างกัน 3 แบบ โดยส่วน  
ที่ 1 ทำเป็นครอบฟันขอบโลหะ ส่วนที่ 2 ทำเป็นครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับ และส่วนที่ 3 เป็นครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่ถูก  
รันโครงโลหะขึ้นไป 1 มม. จากนั้นแบ่งแต่ละส่วนเป็นกลุ่มย่อยๆ 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ เพื่อนำมายึดด้วยซีเมนต์ 4 ชนิด คือ กลุ่ม 1ก  
2ก และ 3ก ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ กลุ่ม 1ข 2ข และ 3ข ยึดด้วยพอลิคาร์บอซิเลตซีเมนต์ กลุ่ม 1ค 2ค และ 3ค ยึดด้วย  
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ส่วนกลุ่ม 1ง 2ง และ 3ง ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จากนั้น นำมาทดสอบความต้านทานต่อการแตกหัก ได้ค่า  
เฉลี่ยดังนี้ (X+S.D., N.) กลุ่ม 1ก) 2180.29±388.98 กลุ่ม 1ข) 2024.45±279.15 กลุ่ม 1ค) 2170.95±451.97 กลุ่ม 1ง)  
2305.38±234.56 กลุ่ม 2ก) 1508.22±225.87 กลุ่ม 2ข) 1860.24±246.52 กลุ่ม 2ค) 2360.37±262.94 กลุ่ม 2ง) 2310.43±440.58  
กลุ่ม 3ก) 1367.47±345.29 กลุ่ม 3ข) 1275.15±258.34 กลุ่ม 3ค) 1752.85±248.14 กลุ่ม 3ง) 2120.17±530.58 นำข้อมูลไป  
วิเคราะห์ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียว และการทดสอบแบบทูกี สรุปได้ดังนี้ ครอบฟันขอบโลหะมีความต้าน  
ทานการแตกหักที่สูงโดยไม่ขึ้นกับชนิดของซีเมนต์ แต่ครอบฟันขอบพอร์ซเลนและขอบพอร์ซเลนแบบรันโครงโลหะ 1 มม. จะมีค่า  
ความต้านทานการแตกหักเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของซีเมนต์ คือ ทั้งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ทำให้ความต้านทาน  
การแตกหักของครอบฟันขอบพอร์ซเลนเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่เรซินซีเมนต์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถ  
ทำให้ความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบพอร์ซเลนแบบรันโครงโลหะ 1 มม. สูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ภาควิชา ..... ทันตกรรมวัสดุประดิษฐ์

สาขาวิชา ..... ทันตกรรมวัสดุประดิษฐ์

ปีการศึกษา ..... ๒๕๔๒

ลายมือชื่อผู้จัดทำ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## 3972091632 : MAJOR Prosthodontics Dentistry

KEY WORD: REDUCED METAL / RESIN CEMENT / FRACTURE RESISTANCE / PORCELAIN  
FUSED-TO-METAL CROWN

SUKEERATI KUPTAPAKORN : FRACTURE RESISTANCE OF METAL-CERAMIC CROWNS :  
EFFECT OF CEMENTS AND MARGIN DESIGNS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. DR.  
KANCHANA KANCHANATAWEWAT, Ph.D. 110 pp. ISBN 974-559-322-2.

Porcelain-fused-to-metal restorations (PFMs) have been successfully used in dental practice for decades. Metal substructure provides strength while veneering porcelain gives an esthetic appearance. The metal margin may show a dark line at the cervical area. In an esthetic zone, margin made of porcelain is recommended.

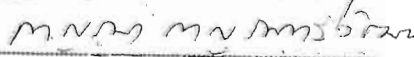
This study was to evaluate the compressive strengths of PFM crowns having metal margin (MM), porcelain margin (PM) and reduced-metal porcelain margin (RM) cemented with different cements. One hundred and twenty extracted of noncarious upper premolar teeth were prepared as a crown preparation, having 90° shoulder, 6° taper, 1.50 mm. axial reduction and 2.00 occlusal reduction. Duplication of each crown were made and used to fabricated crowns having three margin designs: Part 1, MM; Part 2, PM; and Part 3, RM. Ni-Cr alloy (Heranium NA) was used to fabricate substructure and followed with porcelain application (VITA VMK95) according to their manufacturers' recommendations. Crowns were then cemented on their respective teeth under a constant load of 25 N. using Group a) zinc phosphate cement (ZC, Hy-Bond, Shofu); Group b) polycarboxylate cement (PC, Durelon, ESPE); Group c) glass ionomer cement (GI, Fuji Plus, GC); Group d) resin cement (RC, Super-Bond C&B, Sun Medical). There were 10 crowns/group. Specimens were tested on a universal testing instrument in a compression mode (crosshead speed of 0.5 mm./min.). ANOVA and Tukey's statistical analyses ( $p < 0.05$ ) were performed on a data. Mean compressive strengths ( $\bar{X} \pm SD, N.$ ) are: Part 1 Group 1a) 2180.29+388.98; Group 1b) 2024.45+279.15; Group 1c) 2170.95+451.97; Group 1d) 2305.38+234.56; Part 2 Group 2a) 1508.22+225.87; Group 2b) 1860.24+246.52; Group 2c) 2360.37+262.94; Group 2d) 2310.43+440.58; Part 3 Group 3a) 1367.47+345.29; Group 3b) 1275.15+258.34; Group 3c) 1752.85+248.14; Group 3d) 2120.17+530.58. There was no significant difference among metal margin (MM) cemented with all tested cements. Porcelain margin (PM and RM) cemented with ZC either on PC showed less resistance to fracture ( $p < 0.05$ ). This study indicates that RC and GI are recommended for cementing PM but only RC is recommended for cementing RM.

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ชัยรัตน์ วิวัชรพันธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทนต์แพทย์ รัชภาส พานิชอัตรา และ สเปคเต็นทอลแลบ ที่ช่วยเหลือเพื่อ อุปกรณ์บางอย่าง และคำแนะนำที่มีประโยชน์อีกมากมาย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณยาย-บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนด้วยดี ในทุกๆ ด้านแก่ผู้วิจัยโดยเสมอมา และขอขอบคุณเป็นพิเศษแด่ อรุณพงษ์ คุปตภากร



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฅ
บทที่	
1. บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. ปรัชญาและวัฒนธรรม.....	7
3. ระเบียบวิธีการวิจัย.....	32
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	63
5. วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	82
6. บทสรุป.....	93
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	110

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาพอร์ซเลน.....	48
2. สรุปลักษณะในการเตรียมครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ที่มีขอบแตกต่างกัน 3 แบบ .....	62
3. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ชนิดขอบโลหะ.....	67
4. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิด ขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน.....	68
5. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิด ขอบพอร์ซเลนที่ถูกรุ่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. ....	69
6. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบ ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์.....	71
7. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบ ยึดด้วยพอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์.....	71
8. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบ ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	72
9. ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบ ยึดด้วยเรซินซีเมนต์.....	73
10. ค่าทางสถิติของครอบฟันทุกกลุ่ม.....	80
11. ความแตกต่างทางสถิติของครอบฟันทุกกลุ่ม.....	81



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มทดลอง.....	33
2. ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ.....	34
3. ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน.....	34
4. ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.....	35
5. การทดสอบความต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบสากล.....	36
6. ฟันฝังในอะคริลิกเพื่อจับยึด.....	37
7. เซ็มกรอที่ใช้ในการกรอฟัน.....	39
8. การกรอฟันด้วยเครื่องกลึง.....	39
9. ฟันที่กรอแต่งเรียบร้อยแล้ว.....	40
10. แบบหล่อสำหรับแต่งซี่ฝังที่ทำด้วยสารก่อช่องว่าง 2 ชั้น.....	41
11. การจุ่มแบบหล่อลงในซี่ฝังเหลวที่อยู่ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	42
12. การตัดแต่งซี่ฝังบนแบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าสิ้นสุดที่ เส้นขอบด้านนอกสุดของป้ามน.....	43
13. แบบซี่ฝังที่เหวี่ยงออกมาเป็นโครงโลหะแล้ว.....	45
14. โครงโลหะของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ.....	46
15. พอร์ซเลนสำหรับใช้เคลือบโลหะ.....	47
16. กรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ.....	49
17. การตัดแต่งซี่ฝังบนแบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าสิ้นสุดที่ เส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังในแนวแกนกับผนังในแนวเหวี่ยง.....	50
18. โครงโลหะของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน.....	51

19. ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน.....	52
20. การตัดแต่งซี่ฟันบนแบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าสิ้นสุดเหนือเส้นมุมรอยต่อ ระหว่างผนังในแนวแกนกับผนังในแนวตั้งเอียงขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.....	53
21. โครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.....	54
22. ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.....	55
23. ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ที่ใช้สำหรับยึดครอบฟัน.....	56
24. ครอบฟันที่ถูกยึดกับตัวฟันด้วยซีเมนต์แล้ว และนำไปกดด้วยแรงคงที่ 25 N.....	57
25. พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟัน.....	58
26. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟัน.....	59
27. เรซินซีเมนต์ที่ใช้สำหรับยึดครอบฟัน.....	60
28. การทดสอบความต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบสากล.....	61
29. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบโลหะ.....	74
30. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบพอร์ซเลน.....	74
31. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟัน ขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. ....	75
32. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก ของครอบฟันที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์.....	76
33. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก ของครอบฟันที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์.....	76
34. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก ของครอบฟันที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	77
35. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก ของครอบฟันที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์.....	77

36. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ จัดกลุ่มเรียงลำดับ  
ตามความแตกต่างของครอบฟัน.....78
37. แผนภูมิแห่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ จัดกลุ่มเรียงลำดับ  
ตามความแตกต่างของซีเมนต์ที่ใช้ยึดครอบฟัน.....79



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาพยุคปัจจุบันที่สื่อต่างๆ เข้ามามีบทบาทสำคัญในการกำหนดภาพลักษณ์ของคนส่วนใหญ่โดยเฉพาะด้านความสวยงาม ทำให้ผู้คนหันมาสนใจที่จะปรับปรุงบุคลิกภาพของตนเองมากขึ้น เพื่อให้ภาพลักษณ์ของตนที่จะต้องปรากฏต่อสายตาผู้อื่นนั้นแลดูสวยงาม ซึ่งความต้องการดังกล่าว นอกจากจะมีผลกระทบต่อวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมแล้วยังได้แผ่ขยายมาถึงวงการแพทย์และวงการทันตกรรมอีกด้วย นั่นคือ การที่ผู้ป่วยมีความต้องการงานบูรณะภายในช่องปากที่มีความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติมากขึ้นโดยเฉพาะฟันหน้า เพื่อที่ว่าเวลาเคี้ยว พูด ยิ้ม หรือหัวเราะแล้ว จะไม่ทำให้ผู้ใช้ต้องอับอายหรือเสียความมั่นใจในบุคลิกภาพ

จากเหตุผลข้างต้นนี้ จึงทำให้มีการพัฒนาวัสดุบูรณะทางทันตกรรมให้มีสี และความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ซึ่งวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อรองรับต่อความต้องการของผู้ป่วยมีหลายชนิด แต่ที่ใช้กันอย่างสม่ำเสมอและแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันก็มีเพียงคอมโพสิตเรซิน (composite resin) และ พอร์ซเลน (dental porcelain) เท่านั้น

คอมโพสิตเรซิน เป็นวัสดุบูรณะทางทันตกรรมชนิดหนึ่งที่มีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ข้อดีก็คือสามารถนำมาใช้บูรณะฟันได้โดยตรงในช่องปากอย่างง่ายดายและสะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและไฟฟ้าที่ต่ำจึงไม่ทำให้เกิดอาการเสียวฟันหรือมีผลข้างเคียงต่อโพรงประสาทฟันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่องปากอย่างกระทันหัน (Craig, 1993) แต่ข้อเสียก็คือ คอมโพสิตเรซินมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับสภาพภายในช่องปากค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ในช่องปากสามารถยึดเกาะกับสารอัดแทรก (filler) ที่อยู่บริเวณพื้นผิวของคอมโพสิตเรซินได้ง่ายและกำจัดออกยาก จึงทำให้มีการสะสมของแผ่นคราบฟันในบริเวณนั้น ซึ่งนำไปสู่การเกิดฟันผุ

ชั้นที่สองได้ (Yamamoto และคณะ, 1996) นอกจากนี้การเกิดพันธะของคอมโพสิตเรซินกับเนื้อฟันเป็นเพียงแค่การประสานเชิงกล (mechanical interlock) ที่ต้องอาศัยการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรด (etching) ร่วมกับการใช้สารปรับสภาพผิวฟัน (dentine bonding agent) เท่านั้น ไม่มีการเกิดพันธะทางเคมี ประกอบกับคอมโพสิตเรซินจะมีการหดตัวเชิงปริมาตรขณะก่อตัว ซึ่งทำให้คอมโพสิตเรซินส่วนที่อยู่แนบกับโพรงฟันถูกดึงออกมา (Lutz, Krejci and Oldenburg, 1986) จึงทำให้ความแข็งแรงในการยึดติด (bond strength) ระหว่างคอมโพสิตเรซินและตัวฟันยังไม่น่าไว้วางใจ อีกทั้งความแตกต่างที่ค่อนข้างมากของเกณฑ์ความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (coefficient of thermal expansion) ยังเป็นสาเหตุของการร้าวร้าวบริเวณขอบได้อีกด้วย (Roulet, 1987) ยิ่งกว่านั้นถึงแม้ว่าคอมโพสิตเรซินจะได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นจนสามารถต้านทานต่อการสึกกร่อนได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะบูรณะฟันที่สูญเสียเนื้อฟันไปมากๆ หรือบริเวณที่เป็นจุดรับแรงได้ จึงยังมีข้อจำกัดของการใช้งานอยู่แค่เพียงฟันหน้าที่ยังมีเนื้อฟันเหลืออยู่มากพอสมควรและฟันหลังบางบริเวณเท่านั้น ไม่สามารถนำมาบูรณะฟันที่สูญเสียเนื้อฟันไปมากเกือบทั้งซี่ และฟันที่อยู่ในบริเวณที่เป็นจุดรับแรงได้ (Lambrechts, Bream and Vanherle, 1987; McLean, 1990; Roulet, 1987) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวัสดุชนิดอื่นที่มีความสวยงามและมีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติเช่นเดียวกับคอมโพสิตเรซิน แต่มีความแข็งแรงมากกว่า สามารถรองรับแรงจากการบดเคี้ยวได้ดีกว่า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถึงจะสามารถเติมเต็มความต้องการในการบูรณะฟันเพื่อความสวยงามได้ ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่กล่าวมาข้างต้นก็คือพอร์ซเลน (dental porcelain)

พอร์ซเลนได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมเป็นครั้งแรก ตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 18 โดย Chemant (McLean, 1983) เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น มีความแข็งแรง (strength) ที่มากพอ มีความทนทานต่อการสึกกร่อน สามารถทำสำเร็จรูปตามที่ต้องการได้ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับสภาพในช่องปาก ทนทานต่อสภาวะภายในช่องปาก สามารถทำสี และความโปร่งแสงได้หลายระดับเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ คุณสมบัติเหล่านี้ยิ่งทำให้พอร์ซเลนเป็นที่น่าสนใจและสามารถสนองตอบความต้องการในงานบูรณะทางทันตกรรมที่เกี่ยวข้องกับความสวยงามได้อย่างดียิ่ง จนได้รับการพัฒนาต่อมาเรื่อยๆ

แต่ถึงแม้ว่าพอร์ซเลนจะมีคุณสมบัติทางกล ทางเคมีและทางชีวภาพดีเพียงใดก็ตาม แต่ข้อเสียที่สำคัญของพอร์ซเลนก็คือ เปราะและแตกหักง่ายจนไม่สามารถนำมาใช้งานในช่องปากให้ได้ประสิทธิภาพดีตามที่ต้องการโดยปราศจากการปรับปรุงคุณภาพก่อน ดังนั้น จึงได้มีผู้พยายามหาวิธีที่จะทำให้พอร์ซเลนสามารถใช้งานในช่องปากได้อย่างคงทนถาวรยิ่งขึ้น ซึ่งหลักใหญ่ๆ 2 ประการ ในการเอาชนะความเปราะที่เป็นข้อด้อยของพอร์ซเลนก็คือ การเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวพอร์ซเลนเอง (strengthening) และการออกแบบส่วนประกอบของชิ้นงานบูรณะให้มีความเค้นเฉือนน้อยที่สุด (Anusavice, 1993)

การเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนนั้นทำได้หลายวิธี เช่นการทำให้เกิดความเค้นอัดตกค้างบนพื้นผิวโดยการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การทำเทอร์มอลเทมเพอริง (thermal tempering) (Anusavice and Gray, 1989) การเคลือบผิว (glaze) และการเลือกจับคู่พอร์ซเลนสำหรับเคลือบกับโครงโลหะรองรับให้มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนแตกต่างกันเล็กน้อย วิธีการทั้งหมดนี้จะก่อให้เกิดแรงเค้นอัดตกค้างที่พื้นผิวของพอร์ซเลน ซึ่งจะช่วยหักล้างแรงจากภายนอกที่มากระทำต่อชิ้นงานบูรณะได้ จึงทำให้ชิ้นงานแข็งแรงขึ้น

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นในการเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนอีกเช่น การยับยั้งไม่ให้เกิดการเติบโตของรอยแตกเล็กๆที่เกิดจากร่องหรือรอยตำหนิบริเวณพื้นผิว ซึ่งทำได้โดยการเติมอนุภาคที่มีความแข็งแรงลงไปเนื้อพอร์ซเลนเพื่อดูดซับพลังงานของการแตกหักและยับยั้งการเติบโตของรอยแตก (McLean and Hughes, 1965)

วิธีแก้ปัญหาความเปราะของพอร์ซเลนอีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของชิ้นงานบูรณะให้เกิดความเค้นเฉือนน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการกรอกลมุ่มแหลมของฟันที่จะครอบให้หมด และอย่าเปลี่ยนความหนาของพอร์ซเลนอย่างทันทีทันใด เพื่อป้องกันการสะสมความเค้น หรือการนำพอร์ซเลนมากเคลือบบนโลหะ เพราะโลหะที่มีความแข็งตึง (rigid) จะช่วยลดการโค้งงอ (flexure) ของพอร์ซเลนที่ได้รับแรงเค้นลงได้ (Ringle, Mackert and Fairhurst, 1983) จึงลดโอกาสที่จะมีการเติบโตของรอยแตกบริเวณพื้นผิวของพอร์ซเลน ทำให้พอร์ซเลนซึ่งมีความเปราะตามธรรมชาติแข็งแรงขึ้น และนี่คือหลักสำคัญซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน

ระบบครอบฟันชนิดนี้ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังจะเห็นได้จากรายงานการสำรวจของ American Dental Association เมื่อปี ค.ศ. 1990 พบว่าร้อยละ 71 ของครอบฟันที่ทันตแพทย์ในสหรัฐอเมริกาใส่ให้กับผู้ป่วยจะมีฟอร์ชเลนเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้ครอบฟันระบบนี้ได้รับการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่องด้วย

ส่วนรูปแบบของครอบฟันโลหะเคลือบฟอร์ชเลนก็จะมีได้หลายลักษณะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน รูปแบบหนึ่งของครอบฟันโลหะเคลือบฟอร์ชเลนที่ใช้กันมาแต่ดั้งเดิมจะมีขอบโดยรอบเป็นโลหะรองรับทั้งหมด (metal collar) (Malone and Koth, 1989; Rosenstiel, Land and Fujimoto, 1995) ซึ่งมีข้อดีคือจะทำให้ชิ้นโลหะเหวี่ยงที่แข็งตรึง (rigid) สามารถรองรับฟอร์ชเลนได้ดี ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งเมื่อผ่านกระบวนการเผาฟอร์ชเลนและเมื่อถูกใช้บดเคี้ยวในช่องปาก (DeHoff and Anusavice, 1984; Faucher and Nicholas, 1980; Shillingburg, Hobo and Fisher, 1973) นอกจากนี้ยังมีผลต่อความแนบสนิทที่ดีของครอบฟันอีกด้วย

แต่ข้อเสียที่รุนแรงและไม่สามารถแก้ไขได้ของครอบฟันชนิดนี้คือ การมองเห็นเส้นสีดำ (dark line) อันเนื่องมาจากขอบของโลหะที่ไม่ได้ถูกคลุมโดยฟอร์ชเลน ซึ่งมักจะทำให้ผู้ป่วยยอมรับไม่ได้กับความไม่สวยงามนี้ และนำไปสู่ความล้มเหลวของชิ้นงานในที่สุด

ดังนั้นจึงมีอีกรูปแบบหนึ่งของการทำขอบของครอบฟันโลหะเคลือบฟอร์ชเลนที่พอจะแก้ไขปัญหานี้เนื่องจากการเห็นสีของขอบโลหะได้ นั่นก็คือ การทำครอบฟันโลหะเคลือบฟอร์ชเลนชนิดที่ไม่มีขอบโลหะด้านหน้า (collarless porcelain-fused-to-metal crown) คือส่วนของโลหะด้านหน้า (labial or buccal) จะสิ้นสุดที่เส้นมุมระหว่างผนังตามแกนกับผนังในแนวเหงือก (axio-gingival line angle) เท่านั้น ซึ่งรูปแบบการทำครอบฟันนี้จะทำให้ได้ความสวยงามเพิ่มขึ้น เนื่องจากการซ่อนขอบของโลหะไว้ข้างใน แต่ถึงแม้จะแก้ปัญหาการมองเห็นขอบโลหะได้แล้วก็ตาม อีกปัญหาหนึ่งซึ่งยังคงแก้ไขไม่ได้ก็คือความขุ่นที่บริเวณคอฟันอันเกิดเนื่องจากการทาฟอร์ชเลนทึบแสง (opaque porcelain) เพื่อบังสีของโลหะที่อยู่ภายใน นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการเกิดเงาดำบริเวณรากฟันและเนื้อเยื่อเหงือกครอบฟัน เนื่องจากแสงไม่สามารถส่องผ่านโลหะเพื่อกระจายต่อไปยังบริเวณที่กล่าวถึงนี้ได้ (Geller, 1983)

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงมีการพัฒนารูปแบบของขอบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนให้สามารถเอาชนะการเกิดเงาดำ หรือความขุ่นบริเวณขอบจนทำให้สามารถสร้างครอบฟันที่มีสีสัน โดยเฉพาะบริเวณคอฟันให้กลมกลืนกับความโปร่งแสงของรากฟัน (translucent root structure) ที่อยู่ข้างเคียงได้อย่างเป็นธรรมชาติ นั่นก็คือการร่นความยาวของขอบโครงโลหะของตัวครอบฟัน (metal coping) ที่อยู่ภายในพอร์ซเลนขึ้นไปทางด้านตัวฟัน (coronal aspect) ซึ่งจะมีข้อดีคือ ทำให้ไม่ต้องทาพอร์ซเลนที่บดแสงเพื่อบังสีของโลหะ จึงไม่ทำให้พอร์ซเลนบริเวณคอฟันขุ่นทึบ นอกจากนี้ การร่นขอบโลหะขึ้นไปทำให้เพิ่มเนื้อที่บริเวณขอบเหนือสำหรับเป็นที่อยู่ของพอร์ซเลนมากขึ้น เมื่อพอร์ซเลนหนาขึ้นจึงมีสีและการสะท้อนแสงที่สวยใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากขึ้นตามไปด้วย

เนื่องจากความสำเร็จทางคลินิกและอายุการใช้งานในช่องปากของครอบฟัน มิได้ขึ้นอยู่กับชนิดที่เหมาะสมของครอบฟันเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับการเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟันกับตัวฟันด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานบูรณะที่สร้างขึ้นเพื่อจุดประสงค์ของความสวยงามเป็นสิ่งสำคัญ ซีเมนต์ดั้งเดิมที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนาน เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ อาจไม่ดีพอที่จะตอบรับต่อระดับความต้องการที่สูงขึ้น เนื่องจากความขุ่นทึบโดยธรรมชาติของตัวซีเมนต์ที่ขัดต่องานบูรณะเพื่อความสวยงามที่ต้องการความโปร่งแสงเป็นหัวใจหลัก เช่นการทำวีเนียร์ (veneer) นอกจากนี้ ซิงค์ฟอสเฟตยังไม่มีความสามารถในการสร้างพันธะกับตัวฟันและวัสดุที่ใช้ในการทำชิ้นงานบูรณะด้วย (Craig, 1993)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีเรซินซีเมนต์ ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ที่เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการทำงานทางด้านทันตกรรมที่ต้องเกี่ยวข้องกับความสวยงาม ในขณะเดียวกันก็ต้องการการยึดติดที่ดีเยี่ยม ทั้งนี้เพราะไม่เพียงแต่เรซินซีเมนต์จะสามารถทำให้มีสีและความใสได้ตามต้องการแล้ว ยังสามารถสร้างพันธะยึดติดกับตัวฟันและวัสดุบูรณะได้อย่างแน่นหนาด้วย (Craig, 1993) นอกจากนี้ยังมีรายงานมากมายที่พบว่า เรซินซีเมนต์สามารถเสริมความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงานพอร์ซเลนที่ยึดอยู่ด้วยได้ เพราะเรซินซีเมนต์จะเข้าไปปิดร่องรอยตำหนิต่างๆที่เป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหักบนพื้นผิวของพอร์ซเลนและยับยั้งการเจริญต่อไปของรอยแตก (propagation of crack) นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ยังทำให้การ



ถ่ายทอดแรงจากครอบฟันลงสู่ตัวฟันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงช่วยลดการเกิดความเค้น และเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักได้ (Groten and Probster, 1997)

ส่วนซีเมนต์ชนิดอื่น เช่น พอลิคาร์บอกซิลเลตซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่มีการนำมาใช้เพราะเชื่อในข้อดีคือ สามารถยึดติดกับฟันได้ด้วยการเกิดพันธะทางเคมี มีส่วนประกอบที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อโพรงประสาทฟัน และสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ เพื่อยับยั้งการเกิดฟันผุได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการศึกษาใดที่พบว่าซีเมนต์ชนิดต่างๆ ดังกล่าวมีบทบาทในการยับยั้งการเจริญของรอยแตก และสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักให้แก่ชิ้นงานพอร์ซเลนได้

ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ต้องการเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) ระหว่างครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบแตกต่างกัน 3 แบบ คือชนิดขอบโลหะ ชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน และชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. เพื่อให้พอร์ซเลนบริเวณขอบปราศจากโลหะรองรับ และต้องการเปรียบเทียบผลของซีเมนต์ 4 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิลเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ ที่มีต่อความต้านทานการแตกหักของครอบฟัน เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้ในคลินิกต่อไป โดยที่การทดลองทั้งหมดนี้จะทำในฟันธรรมชาติที่ถูกถอนออกมา เพื่อเหตุผลทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อให้การทดลองได้ผลใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรม

“พอร์ซเลน” ได้ถือกำเนิดขึ้นเป็นเวลาหลายพันปีมาแล้ว โดยมีจุดเริ่มต้นจากการทำเครื่องปั้นดินเผา ต่อมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 การทำพอร์ซเลนในยุโรปได้มีวิวัฒนาการก้าวหน้ามากขึ้นจนถึงขนาดสามารถทำสีและความโปร่งแสง ให้ดูมีความลึกของสีได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงเป็นจุดริเริ่มของการนำพอร์ซเลนมาใช้ในทางทันตกรรม ต่อมาในประมาณกลางศตวรรษที่ 18 Fauchard และคณะ จึงนำเอาพอร์ซเลนมาใช้ทดแทนฟันที่สูญเสียไป แต่ก็ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามการนำพอร์ซเลนมาใช้ทางทันตกรรมก็ประสบผลสำเร็จในช่วงตอนกลางศตวรรษที่ 19 เมื่อมีการคิดค้นวิธีทำครอบฟันพอร์ซเลนเจ็ดเกิด (porcelain jacket crown) บนแผ่นทองคำขาว (platinum matrix) ขึ้นมาได้ ซึ่งครอบฟันชนิดนี้ ทำจากพอร์ซเลนล้วน ๆ (McLean, 1983)

ส่วนประกอบของพอร์ซเลนสำหรับใช้ในทางทันตกรรมจะแตกต่างจากพอร์ซเลนที่ใช้ทำภาชนะและเครื่องสุขภัณฑ์ โดยส่วนประกอบที่สำคัญและเป็นส่วนประกอบหลักก็คือ เฟลด์สปาร์ (feldspar) ซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 75-85 นอกนั้นจะเป็นซิลิกาหรือควอร์ตซ์ (silica or quartz) และสารเพิ่มสี (pigments) ต่างๆ

เฟลด์สปาร์ คือ potassium aluminium silicate ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) และ / หรือ sodium aluminium silicate ( $Ka_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) เมื่อเผาถึงจุดหลอมเหลวจะมีลักษณะคล้ายแก้ว และแม้จะเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกก็ยังคงรูปร่างไว้ได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับพอร์ซเลนที่ใช้ทางทันตกรรม คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างของเฟลด์สปาร์ คือ แนวโน้มที่จะก่อตัว (form) เป็นลูไซต์ (lucite) เมื่อถูกหลอม ซึ่งตัวลูไซต์ หรือ potassium-aluminium-silicate นี้ จะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (coefficient of thermal expansion) ที่สูง (ประมาณ  $20-25 \times 10^{-6} / ^\circ C$ ) เมื่อเทียบกับตัวเฟลด์สปาร์เอง (ซึ่งน้อยกว่า  $10^{-6} / ^\circ C$ ) จึงทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของพอร์ซเลนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับพอร์ซเลนที่จะนำมาเคลือบกับโลหะ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

เหตุที่ทำให้พอร์ซเลนได้รับความนิยมนำมาใช้ในทางทันตกรรมอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่น นั่นก็คือ พอร์ซเลนเป็นวัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่มีความสวยงาม มีสีฟันและการสะท้อนแสงที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ นอกจากนี้ พอร์ซเลนยังมีเสถียรภาพทางเคมีสูง จึงแน่ใจได้ว่าจะไม่ปลดปล่อยสารที่เป็นอันตรายออกมา ทำให้มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อในช่องปากเป็นอย่างดี และความสวยงามของพอร์ซเลนก็จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป และด้วยเหตุที่พอร์ซเลนสามารถขัดแต่งและเคลือบผิวให้มีพื้นผิวที่เรียบมันได้ ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการสะสมแผ่นคราบฟัน และจุลินทรีย์จึงน้อยลงด้วย ซึ่งนับว่าเป็นผลดีต่อสภาพเนื้อเยื่อเหงือกและฟัน (Craig, 1993)

คุณสมบัติที่สำคัญอีก 2 ประการของพอร์ซเลนก็คือ พอร์ซเลนมีการนำความร้อนและการนำกระแสไฟฟ้าที่ต่ำมากซึ่งแตกต่างกับโลหะ จึงช่วยลดการเสียวฟันหลังการทำฟัน (post-operative sensitivity) และการเกิดกัลวานิกช็อก (galvanic shock) ดังเช่นที่เกิดกับโลหะได้ นอกจากนี้พอร์ซเลนยังมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันและเคลือบฟัน ดังนั้นถ้าขอบครอบฟันพอร์ซเลนแนบสนิทดี ก็จะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องการรั่วซึม (Anusavice, 1996)

ถึงแม้ว่าพอร์ซเลนจะมีความแข็งแรงอัดที่สูงมาก (350-550 MPa) แต่กลับมีความแข็งแรงดึงที่ต่ำ (20-40 MPa) (Noort, 1994) เพราะว่าพอร์ซเลนมีคุณสมบัติของแก้วอยู่นั่นคือ ขาดความทนทานต่อการแตกหัก เนื่องจากแก้วสามารถจะทนความเคียดสูงสุดได้ น้อยกว่าร้อยละ 0.1 ดังนั้นมันจึงมีความไวสูงต่อการเกิดรอยแตกเล็กๆ บนพื้นผิว ที่จะนำไปสู่การแตกหักได้ และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งของการเลือกใช้พอร์ซเลน

เนื่องจากพอร์ซเลนมีการนำความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นเมื่อนำพอร์ซเลนออกมาจากเตาเผาเพื่อทิ้งไว้ให้เย็น จะทำให้พอร์ซเลนบริเวณพื้นผิวเย็นลงเร็วกว่าพอร์ซเลนที่อยู่ภายใน และหดตัวลงมากกว่าด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดแรงกดอัด (compressive load) ที่บริเวณผิวด้านนอก และมีความเค้นตึงค้าง (residual tensile stress) ที่ผิวด้านใน ถ้าหากมีความ

แตกต่างของการเปลี่ยนแปลงทางมิติ (dimensional change) ที่มากพอก็จะทำให้พื้นผิวด้านในที่อยู่ภายใต้แรงดึง (tension) ขาดออกจากกันเพื่อลดความเค้นลง ดังนั้นพื้นผิวภายในก็จะเต็มไปด้วยรอยแตกเล็กๆ (microcrack หรือที่รู้จักกันในนามของ Griffith's flaw) มากมาย (Yamamoto, 1985) และจะมีการสะสมความเค้น (stress concentration) ที่ปลายของรอยแตกเหล่านี้ ทำให้เป็นจุดอ่อนที่จะนำไปสู่การแตกหักของชิ้นพอร์ซเลนได้ (catastrophic failure)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าเป็นการยากที่จะนำพอร์ซเลนมาใช้งานในทางทันตกรรมให้ได้ประสิทธิภาพโดยไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติเสียก่อน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว จึงมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง และพบว่า การเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการทำให้เกิดความเค้นอัดตกค้างที่พื้นผิวของพอร์ซเลนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ซึ่งวิธีการก็คือแทนที่ไอออนภาค  $\text{Na}^+$  ซึ่งอยู่บนพื้นผิวของพอร์ซเลนด้วยไอออนภาค  $\text{K}^+$  ที่มีขนาดใหญ่กว่าประมาณร้อยละ 35 การทำเช่นนี้จะทำให้ไอออนภาค  $\text{K}^+$  เข้าไปเบียดแทรกในช่องเดิมที่เคยเป็นของ  $\text{Na}^+$  จึงเกิดแรงเค้นอัดตกค้างขึ้นรอบๆ ไอออนภาค  $\text{K}^+$  ซึ่งแรงเค้นอัดที่เพิ่มขึ้นนี้วัดได้ถึง 700 MPa วิธีการนี้จะดีสำหรับพื้นผิวภายในของครอบฟัน อินเลย์ วีเนียร์ ที่จะไม่ต้องถูกรอยหรือถูกกัดพื้นผิวด้วยกรดอีกแล้ว เนื่องจากมีรายงานว่ากระบวนการทั้งสองนี้ จะทำให้สูญเสียไอออนภาค  $\text{K}^+$  ไป แต่ทั้งนี้ วิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับพอร์ซเลนบางประเภทเช่น อลูมินัสปอร์ซเลน เซรามิกแก้ว หรือพอร์ซเลนเฟลด์สปาทิกที่ใช้อยู่ทั่วไป เนื่องจากมี  $\text{K}^+$  เป็นส่วนประกอบเป็นจำนวนมากอยู่แล้ว (Anusavice and Hojjatie, 1992)

วิธีเทอร์มอลเทมเพอริง (thermal tempering) เป็นวิธีเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุที่เปราะได้อีกวิธีหนึ่ง โดยอาศัยหลักการของการทำให้เกิดแรงอัดตกค้างบนพื้นผิวเช่นกัน ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากอัตราการหดตัวที่ไม่เท่ากันขณะเปลี่ยนอุณหภูมิของพื้นผิวด้านนอกกับส่วนแกนด้านในของวัสดุ แต่วิธีนี้มักจะใช้กับกระจก และบานประตูที่เป็นแก้วเสียเป็นส่วนใหญ่ (Anusavice and Gray, 1989)

การปรับปรุงคุณสมบัติของพอร์ซเลนโดยการเติมอนุภาคอื่นที่มีความแข็งแรงแกร่ง (toughness) ให้เข้าไปกระจายอยู่ในเนื้อพอร์ซเลนเพื่อดูดซับแรงที่จะทำให้เกิดการเติบโต

ของรอยแตกเช่น อนุภาคอลูมินา ( $Al_2O_3$ ) (McLean and Hughes, 1965) หรือการเติมอนุภาคอื่น ที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกโดยการดึงพลังงานที่จะต้องใช้ในการเติบโตของรอยแตกมาได้เช่น เซอร์โคเนีย (zirconia) (Morena, Lockwood and Fairhurst, 1986) ก็นับว่าเป็นวิธีที่ดีในการเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนเช่นกัน แต่มักจะใช้ในพอร์ซเลนที่จะนำมาทำครอบฟันเซรามิกล้วน (all-ceramic restoration) เสียมากกว่า

อีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้สามารถนำเอาพอร์ซเลนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือ การนำเอาพอร์ซเลนเฟลด์สปาทิกมาเคลือบบนโลหะ โดยความพยายามนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นของศตวรรษ ที่ 20 (Binns, 1983) แต่ไม่ค่อยประสบความสำเร็จนัก เนื่องจากมีปัญหาเรื่องความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของโลหะและพอร์ซเลน ต่อมาในปี 1962 Weinstein และคณะ ได้รายงานการเคลือบพอร์ซเลนบนโครงโลหะได้เป็นผลสำเร็จ เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอร์ซเลนให้มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับโลหะได้ โดยการเติม  $K_2O$  frit ประมาณ ร้อยละ 11-15 ลงในส่วนผสมของเฟลด์สปา ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการเผาจะทำให้เกิดการก่อตัวของผลึกไลต์เพิ่มมากขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับโครงโลหะ

เหตุที่ต้องเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนด้วยโลหะจะแสดงให้เห็นได้จากการทดลองง่ายๆ ที่น่าสนใจ พบว่า เมื่อนำแผ่นโลหะหี่งขนาด  $6 \times 15 \times 0.3$  ม.ม.<sup>3</sup> มาเคลือบด้วยพอร์ซเลนทึบแสง (opaque porcelain) 2 ชั้น แล้วเคลือบด้วยพอร์ซเลนเนื้อฟัน (dentin porcelain) โดยให้ความหนาของทั้งหมดเท่ากับ 1 ม.ม. โดยตลอด หลังจากนั้นนำไปเคลือบเงา (glaze) แล้วนำมาตัดโค้งด้วยนิ้วมือจะเห็นได้ว่าชั้นแผ่นโลหะหี่งที่มีความหนาเพียง 0.3 ม.ม. ซึ่งโดยปกติแล้วจะนิ่มมากและสามารถงอได้ง่ายแม้ใช้แรงจากนิ้วมือ แต่เมื่อนำไปเคลือบด้วยชั้นพอร์ซเลนซึ่งมีความหนาเพียง 0.7 ม.ม. กับทั้งยังมีความเปราะโดยธรรมชาติอยู่ด้วย กลับทำให้แผ่นโลหะเคลือบพอร์ซเลนมีความแข็งแรงขึ้นมากจนไม่สามารถจะงอได้ด้วยนิ้วมือ และเมื่อนำแผ่นโลหะเคลือบพอร์ซเลนไปทดสอบกำลังดัดขวาง (bending test) โดยให้แรงกดลงตรงกลางชิ้นงาน ส่วนปลายทั้ง 2 ด้านถูกรองรับไว้ ผลปรากฏว่าสามารถรับแรงได้มากถึง 250 นิวตัน และที่น่าประหลาดใจยิ่งกว่านั้นก็คือ ชั้นโลหะเคลือบ

พอร์ซเลนสามารถงอได้บ้างโดยไม่เกิดการแตกในเนื้อพอร์ซเลน ทั้งที่โดยปกติแล้วพอร์ซเลนจะมีความเปราะมาก สามารถทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการนำแผ่นโลหะมาเคลือบด้วยพอร์ซเลน นอกจากจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของทั้งระบบแล้วยังสามารถช่วยลดความแข็งแต่เปราะ (hardness & fragility) ซึ่งเป็นสมบัติโดยธรรมชาติของพอร์ซเลนได้ด้วย เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากแผ่นโลหะหือยจะทำหน้าที่ป้องกันและกระจายแรงในเนื้อพอร์ซเลน ไม่ให้เกิดความเค้นดึงที่จะทำให้รอยแตกเล็กๆ บริเวณพื้นผิวขยายใหญ่ขึ้นและแตกต่อไปได้ (propagation of crack) นั่นก็คือ ชั้นพอร์ซเลนจะแตกหักได้ยากขึ้น คือแข็งแรงมากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ยังได้รับผลประโยชน์จากการเลือกจับคู่โลหะกับพอร์ซเลนที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนแตกต่างกันเล็กน้อยอีกด้วย เนื่องจากถ้าให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะมากกว่าพอร์ซเลนเล็กน้อย (ไม่เกิน  $0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) เมื่อนำโลหะไปผ่านกระบวนการเคลือบพอร์ซเลน แล้วปล่อยให้เย็นลง ชั้นโลหะซึ่งเย็นเร็วกว่าก็จะหดตัวได้เร็วกว่าชั้นพอร์ซเลน จึงก่อให้เกิดแรงเค้นอัดขึ้นที่ด้านของพอร์ซเลนตรงที่เป็นรอยต่อ ดังนั้นเมื่อมีแรงจากภายนอกมากกระทำให้เกิดแรงเค้นดึงขึ้นที่พื้นผิวของพอร์ซเลนบริเวณรอยต่อ แรงนี้ก็จะถูกหักล้างไปได้โดยแรงเค้นอัดที่ค้างอยู่ ซึ่งเป็นการลดการขยายใหญ่ขึ้นของรอยแตกเล็กๆ ได้อีกทางหนึ่ง ผลที่ได้ก็คือ ชั้นพอร์ซเลนจะมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น และนั่นคือจุดเริ่มต้นของการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ใช้กันอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน (Yamamoto, 1990)

ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปพอจะจำแนกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดขอบโลหะ (metal collar) และ ชนิดขอบพอร์ซเลน (collarless porcelain margin) ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะจะมีโลหะรองรับพอร์ซเลนทั้งหมดรวมทั้งทางด้านหน้า (facial) ก็จะมีขอบโลหะเป็นแถบคาด (metal collar) ขนาดประมาณ 0.5-1 มม. เพื่อรองรับพอร์ซเลนด้วย (Shillingburg และคณะ, 1973) ซึ่งข้อดีของขอบครอบฟันชนิดนี้คือ ทำให้ตัวโครงโลหะมีความแข็งตริง (rigid) ทั้งยังเปรียบเสมือนวงแหวนรัดตัวโครงโลหะไว้ ให้สามารถต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอันเกิดเนื่องมาจากการเผาพอร์ซเลนและการบดเคี้ยวอาหารได้ (DeHoff and Anusavice, 1984; Faucher and Nicholas, 1980; Nielson and Tuccillo, 1972; Tuccillo and Nielson, 1971)

นอกจากนี้ขอบโลหะยังมีความแนบสนิทของขอบ (maginal adaptation) ที่ดี (McLean and Fraunhofer, 1971; Omar, 1987) และมีวิธีการทำที่ไม่ยุ่งยาก

แต่ข้อเสียที่รุนแรงที่สุดของขอบครอบฟันชนิดนี้คือ ความไม่สวยงาม โดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้าหรือฟันกรามน้อย เพราะเมื่อยิ้มก็จะมองเห็นขอบโลหะสีเงินบริเวณคอฟันได้ และโลหะซึ่งมีดัชนีการสะท้อนแสง (reflective index) ที่ไม่ดี จะทำให้การส่องผ่านของแสง (light transmission) ไปสู่คอฟันเสียไปจึงเห็นเป็นเงาดำ (darkened appearance) ของทั้งบริเวณคอฟันและขอบเหงือก (Geller, 1983; Kaiser and Hummert, 1994; Yamamoto, 1985) นอกจากนี้การที่มีรอยต่อหลายรอย (เนื้อฟัน-โลหะ, โลหะ-พอร์ซเลนทึบแสง, พอร์ซเลนทึบแสง-พอร์ซเลนเนื้อฟัน) จะทำให้ฟันฉีกหักซึ่งจะเกิดการสะสมคราบฟันบริเวณคอฟันได้ง่าย (Salem, 1988)

วิธีแก้ไขข้อเสียของขอบครอบฟันชนิดนี้ที่มักใช้กันก็คือ การซ่อนขอบไว้ใต้เหงือก แต่ถ้าผู้ป่วยมีเหงือกที่บางใส ก็ยังคงมองเห็นเงาสีทองของขอบโลหะใต้ขอบเหงือกได้อยู่ (Kaiser and Hummert, 1994) และยังทำความสะอาดได้ยากขึ้นอีกด้วย (Youdelis, Weaver and Sapkos, 1973) นอกจากนี้ ทันตแพทย์ก็ตรวจหาความผิดปกติของขอบครอบฟันได้ยากอีกเช่นกัน วิธีนี้มักจะทำให้เกิดเหงือกอักเสบหรือเหงือกร่น (gingival irritation or gingival recession) ตามมา ทั้งเนื่องจากกระบวนการกรอฟัน การแยกเหงือกเพื่อพิมพ์ปาก หรือการยึดด้วยซีเมนต์ และถึงแม้ว่าเหงือกจะไม่ร่นในตอนแรก แต่เมื่อเกิดเหงือกร่นตามธรรมชาติเมื่อผู้ป่วยแก่ตัวลง ก็จะทำให้ขอบโลหะที่ซ่อนไว้โผล่ออกมาได้ วิธีซ่อนขอบโลหะอีกวิธีหนึ่งคือ ซัดขอบโลหะให้บางแล้วพอกพอร์ซเลนปิดทับ แต่จะทำให้ขอบครอบฟันที่ทำขึ้นมานั้น มีรูปร่างที่บริเวณคอฟัน ป่องมากกว่าปกติ (overcontour) ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพเหงือกของผู้ป่วย (Eissmann, Radke and Noble, 1971; Koivumaa and Wenstrom, 1960; Morris, 1962; Perel, 1971; Stein and Kuwata, 1977; Youdelis และคณะ, 1973) และพอร์ซเลนบางๆ ก็จะไม่สามารถปิดสีขุ่นทึบของพอร์ซเลนทึบแสงได้ นอกจากนี้ขอบโลหะบางๆ ก็อาจบิดเบี้ยว (distortion) ไปมาได้ ทั้งจากการเผาพอร์ซเลน จากแรงดันของเหลว (hydraulic pressure) ตอนยึดครอบฟันด้วยซีเมนต์ และ

จากการใช้งานในช่องปาก ซึ่งจะเพิ่มโอกาสให้พอร์ซเลนบริเวณนั้นแตกได้ง่ายขึ้น (Lanzano and Hill, 1988)

ต่อมาในปี 1960 Hagen ได้เสนอกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนขึ้น โดยมีจุดประสงค์ในตอนแรกเพื่อใช้กับการบูรณะฟันหน้า รูปแบบของการเตรียมฟันก็คือ ด้านหน้าจะเป็นบ่า (shoulder) และด้านลึ้นจะเป็นแชมเฟอร์ (chamfer) ส่วนตัวครอบโลหะ (metal coping) ที่อยู่ด้านในจะมีความยาวด้านลึ้นถึงขอบเคโว-เซอร์เฟซ (cavo-surface margin) ส่วนความยาวด้านหน้าจะลึ้นสุดอยู่เพียงแค่เส้นมุมระหว่างผนังตามแกนกับผนังในแนวเหงือก (axio-gingival line angle) ภายในเท่านั้น และมีพอร์ซเลนปิดทับด้านนอก ดังนั้นจึงมองไม่เห็นขอบโลหะเลย (collarless restoration) แต่ก็ยังคงความแข็งแรงอยู่ได้ เพราะยังมีโลหะรองรับอยู่ภายใน ต่อมาได้มีการดัดแปลงเพื่อนำไปใช้กับฟันหลังด้วย โดยเฉพาะฟันกรามน้อย เพื่อความสวยงามในบริเวณนั้น

ในปี 1977 Sozio and Riley ได้เสนอรูปแบบของการเตรียมฟันเพื่อทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนแบบใหม่ขึ้นนั่นคือ ด้านหน้าเป็นบ่าตั้ง (shoulder) ส่วนด้านลึ้นเป็นมุมปาด (bevel) และมีรอยต่ออยู่ที่กึ่งกลางด้านประชิดของฟัน (mid-interproximal region) จุดประสงค์ก็เพื่อทำครอบฟันให้มีพอร์ซเลนคลุมอยู่ด้านหน้าทั้งหมด และซ่อนตัวครอบโลหะเอาไว้ภายใน เพื่อความสวยงามและเป็นธรรมชาติของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน

ส่วนในแง่ความแข็งแรงและความเหมาะสม (adaptability) ของขอบครอบฟันชนิดนี้ Schneider, Levi and Mori (1976) และ Strating, Pameijer and Gildenhuys (1981) ได้หาค่าความเปิดของขอบพอร์ซเลน (marginal opening) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 40-50  $\mu\text{m}$ . ส่วน Omar (1987) และ McLean and Fraunhauser (1971) ได้ทำการทดลองเพื่อวัดความเหมาะสมของขอบพอร์ซเลนเทียบกับขอบโลหะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางคลินิก และ Miller (1983) ก็ได้กล่าวว่าความเปิดของขอบพอร์ซเลนไม่แตกต่างจากขอบโลหะมากนัก แต่ว่าจะมีรูปร่างของขอบที่ดีกว่า และยอมรับได้มากกว่า จึงทำให้การตอบสนองของเหงือกดีกว่าด้วย ต่อมาในปี 1988 Richter-Snapp และคณะ ได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ความเหมาะสมของขอบครอบฟันทั้งแบบโลหะและแบบพอร์ซเลนโดยใช้ทั้งโลหะมีสกุล



และโลหะไร้สกุล ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการเคลือบพอร์ซเลน และวัดความแนบของพอร์ซเลน ตั้งแต่ก่อนทำออกซิเดชัน (oxidation) หลังทำออกซิเดชัน (oxidation) หลังการเผาพอร์ซเลนทึบแสง (opaque porcelain) ครั้งแรก หลังเผาพอร์ซเลนเนื้อฟัน (body porcelain) และหลังเคลือบ (glaze) พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อความแนบสนิทของขอบครอบฟันทั้งสอง ดังนั้นการจะเลือกใช้ขอบครอบฟันชนิดใดขึ้นกับการตัดสินใจของทันตแพทย์ ส่วนในแง่ของความแข็งแรงของขอบครอบฟัน Gardner และคณะ (1997) ได้ทำการทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบเป็นโลหะเทียบกับขอบพอร์ซเลน โดยยึดกับฟันเขี้ยวบนที่ทำเทียมขึ้นมา (maxillary canine analogue) ด้วยซีเมนต์กาสีโอไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงเรซิน (resin-modified glass ionomer cement) พบว่า ขอบพอร์ซเลนมีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าขอบโลหะอย่างมีนัยสำคัญ และแรงที่ทำให้ขอบทั้ง 2 แตกหักก็มีค่าสูงกว่าแรงบดเคี้ยวธรรมดามาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่ออยู่ในสภาพที่มีการบดเคี้ยวอย่างปกติแล้ว ชนิดของขอบจะไม่มีผลต่อความล้มเหลวทางคลินิก

จากข้างต้นที่กล่าวมานี้ จะเห็นว่าการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนให้มีขอบด้านหน้าเป็นพอร์ซเลน จะมีข้อดีในแง่ของความสวยงามที่เพิ่มขึ้น เพราะได้กำจัดเส้นสีดำของขอบโลหะและลดการเกิดเงาดำ (darkening) เนื่องจากการสะท้อนแสงของโลหะออกไปได้ จึงไม่ต้องซ่อนขอบโลหะไว้ใต้ขอบเหงือก ลดการระคายเคือง (gingival irritation) และการเกิดเหงือกอักเสบ (gingival inflammation) ลงได้ แต่ข้อเสียที่ยังคงแก้ไม่ได้ของขอบครอบฟันชนิดนี้ก็คือการเกิดเงาดำบริเวณคอฟันและขอบเหงือก เนื่องจากโลหะที่อยู่ภายใต้พอร์ซเลนยังคงเป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) อยู่ จึงป้องกันไม่ให้เห็นแสงที่ส่องเข้ามายังคอฟัน กระจายต่อไปยังรากฟันและเนื้อเยื่อเหงือกที่อยู่ข้างเคียง ทำให้บริเวณนี้มองเห็นเป็นเงาดำ ขาดความกลมกลืนกับความใสของรากฟันและเนื้อเยื่อเหงือก (Geller, 1983)

นอกจากนี้ การทำครอบฟันที่มีโลหะยาวลงมาถึงเส้นมุมระหว่างผนังตามแกนและผนังในแนวเหงือก ทำให้ต้องแบ่งเฉลี่ยเนื้อที่บริเวณนั้นเพื่อเป็นที่อยู่ของทั้งโลหะ พอร์ซเลนทึบแสง และพอร์ซเลนเนื้อฟัน ความหนาของพอร์ซเลนเนื้อฟันจึงไม่เพียงพอที่จะบังความขุ่นทึบของพอร์ซเลนทึบแสงได้ ดังที่ Chiche และคณะ (1986) และ Behrend (1982)

ได้กล่าวไว้ว่า การทาพอร์ซเลนทึบแสงปิดลงมาถึงคอฟฟัน จะทำให้การสะท้อนแสงบริเวณคอฟฟันไม่ค่อยสวย มีผลต่อเนื้อฟัน รากฟัน และเนื้อเยื่อเหงือกในบริเวณข้างเคียง เพราะพอร์ซเลนทึบแสงจะทำให้เกิดความขุ่นทึบ (opacity) และมีค่าความส่องสว่าง (value) ที่สูงขึ้น รวมทั้งมีความขรุขระ (roughness) ที่มากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้แก่ความโปร่งแสง (translucency) ที่เราต้องการให้เกิดในบริเวณคอฟฟัน

อาจมีวิธีที่จะแก้ไขข้อเสียซึ่งเป็นธรรมชาติของขอบครอบฟันชนิดนี้ได้ก็คือการกรอเนื้อฟันให้มากขึ้น หรือทำให้ขอบครอบฟันบริเวณนั้นมีความป่องมากขึ้น (overcontour) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ก็เพื่อที่จะเพิ่มความหนาของพอร์ซเลนเนื้อฟัน (dentin porcelain) ให้มีสีและการส่องผ่านของแสงที่ดีขึ้น แต่ผลเสียที่จะเกิดขึ้นก็คือ อาจทำอันตรายต่อโพรงประสาทฟันและเนื้อเยื่อเหงือก ซึ่งจะทำให้เกิดเหงือกอักเสบและโรครีทันต์ตามมาในภายหลังได้

ก่อนหน้านั้นในปี 1979 Vryonis ได้เคยเสนอครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นความยาวของโลหะที่รองรับทางด้านหน้าขึ้นไปทางด้านบดเคี้ยว (reduced-metal-porcelain margin) เป็นระยะทาง 0.4 มม. ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้แสงส่องผ่านไปยังรากฟันในบริเวณใกล้เคียงได้ แต่ก็ยังคงต้องทาพอร์ซเลนทึบแสงเพื่อปิดสีของโลหะอยู่ ทำให้เหลือเนื้อที่สำหรับเป็นที่อยู่ของพอร์ซเลนเนื้อฟันค่อนข้างน้อย ยังไม่เพียงพอต่อการส่องผ่านของแสงไปยังรากฟัน จึงยังไม่สวยงามเพียงพอ

ในเวลาต่อมา Behrend (1982) และ Chiche (1986) ได้กล่าวถึงการทาขอบครอบฟันพอร์ซเลนโดยการร่นโลหะที่รองรับให้สั้นสุดเหนือบ่า หรือเหนือเส้นมุมระหว่างผนังตามแกนกับผนังในแนวเหงือกกว่า จะเพิ่มพื้นที่ให้พอร์ซเลนมากขึ้น ทำให้พอกพอร์ซเลนครอบคลุมส่วนของบ่าทั้งหมดได้ พอร์ซเลนจึงมีความหนามากเพียงพอที่จะทำให้มีค่าความส่องสว่างที่ดี มีการส่องผ่านของแสงที่สวยงามขึ้น และมีการสะท้อนแสงจากเนื้อเยื่อเหงือกได้ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติที่อยู่ข้างเคียง นอกจากนี้ยังกำจัดความขุ่นทึบและขรุขระของพอร์ซเลนทึบแสงบริเวณคอฟฟัน ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่แก้ไม่ได้ของครอบฟันขอบพอร์ซเลนแบบธรรมดาได้ด้วย แต่ทั้ง Behrend และ Chiche ก็ไม่ได้แนะนำว่า ควรจะร่นโลหะรองรับขึ้นไปเท่าใด

ในปี 1987 Geller and Kwiatkowsky และปี 1990 Korson ได้เสนอให้รันโลหะที่รองรับพอร์ซเลนขึ้นไปทางตัวฟันอย่างน้อยที่สุด 2 ม.ม. และมากที่สุดไม่เกิน 4 ม.ม. จะทำให้ตัดปัญหาเรื่องการเกิดเงาดำเนื่องจากความทึบแสงของโลหะ และตัดปัญหาเรื่องความขุ่นทึบบริเวณคอฟันเนื่องจากพอร์ซเลนทึบแสงออกไปได้ ดังนั้นสีและการสะท้อนแสงของขอบครอบฟันจึงกลมกลืนกับเนื้อฟันธรรมชาติที่อยู่ข้างเคียงมากที่สุด แต่การรันโลหะที่รองรับพอร์ซเลนขึ้นไป 2-4 ม.ม. นั้น ก็มีข้อเสียอย่างเห็นได้ชัด คือ วิธีการที่มีความยากกว่าขอบพอร์ซเลนธรรมดา มาก ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาพอร์ซเลนเพื่อกอบำโดยเฉพา (shoulder porcelain) ขึ้นมา เพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้นก็ตาม ดังนั้นจึงได้มีผู้ทำการทดลองเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการรันขอบโลหะขึ้นไป

ในปี 1995 Lehner, Mannchen และ Scharrer ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรง (strength) ของขอบพอร์ซเลนที่มีความยาวของโลหะรองรับต่างๆ กัน โดยใช้ชิ้นทดลองเป็นแผ่นโลหะมีสกุล (noble alloy) เคลือบพอร์ซเลนขนาด  $0.5 \times 5 \times 10$  ม.ม.<sup>3</sup> โดยมีระดับความยาวของพอร์ซเลนที่ปราศจากโลหะรองรับต่างกันคือ แผ่นโลหะที่เคลือบพอร์ซเลนพอดีกับความยาวแผ่น แผ่นโลหะที่มีพอร์ซเลนยาวเลยแผ่นโลหะ 1 ม.ม. และ 2 ม.ม. เพื่อเป็นตัวแทนของขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับทั้งหมด รันโลหะรองรับขึ้นไปทางตัวฟัน 1 ม.ม. และ 2 ม.ม. ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปรับแรงอัด (compressive force) จนกว่าจะแตก จากผลการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความต้านทานต่อการแตกหัก (fracture resistance) ในทุกกลุ่ม สรุปได้ว่า การรันโลหะที่รองรับพอร์ซเลนขึ้นไป 1 ม.ม. หรือ 2 ม.ม. ไม่ทำให้ความแข็งแรงแตกต่างจากขอบที่มีโลหะรองรับพอร์ซเลนทั้งหมด

ต่อมาในปี 1997 O' Boyle และคณะ ก็ได้ทำการศึกษาขอบของครอบฟันชนิดนี้อีก ในแง่ปริมาณการส่องผ่านของแสงสู่เนื้อฟันข้างเคียง และในแง่ของความแข็งแรง โดยทำเป็นครอบฟันของฟันตัดซี่กลาง 20 ซี่ ที่ด้านลิ้นและด้านปลายฟันเป็นโลหะเหมือนกันหมด แต่ด้านหน้าจะแบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก โครงโลหะรองรับพอร์ซเลนจะยาวลงมาถึงเส้นมุมระหว่างผนังตามแกนกับผนังในแนวเหวี่ยง กลุ่ม 2 โครงโลหะถูกรันไปทางด้านบดเคี้ยว 1 ม.ม. กลุ่ม 3 โครงโลหะถูกรันไปทางด้านบดเคี้ยว 2 ม.ม. กลุ่ม 4 โครงโลหะถูกรันไปทางด้านบดเคี้ยว 3 ม.ม. จากนั้นนำมายึดติดกับแม่แบบฟันครอบโลหะ (metal die)

ด้วยเรซินซีเมนต์ แล้วนำไปปรับแรงกดบนด้านปลายฟันจนกระทั่งแตก จากการทดลองพบว่า การร่นโลหะรองรับขึ้นไป ทำให้เหลือเนื้อที่สำหรับพอร์ซเลนบริเวณขอบมากขึ้น จึงสามารถเพิ่ม การส่องผ่านของแสงได้จริง การร่นโครงโลหะขึ้นไปแค่ 1 มม. กลับมีการส่องผ่านของแสงได้ มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ร่นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานต่อการแตกหักไม่ได้แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีวิธีการทำไม่ยุ่งยากไปกว่ากลุ่มแรกนัก ในขณะที่วิธีการทำของ ขอบที่ถูกร่นขึ้นไป 2-3 มม. มีความยุ่งยากกว่ามากและไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้อย่าง ดีพอ จึงมีความเห็นว่าการร่นโลหะรองรับบริเวณขอบขึ้นไปไม่เกิน 2 มม. น่าจะก่อให้เกิด ประสิทธิภาพดีที่สุดทั้งในแง่ความสวยงามและความแข็งแรง

ดังนั้นจะเห็นว่าการทำขอบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดนี้ มีข้อดีคือ สามารถ กำจัดโลหะที่เป็นตัวการของความทึบแสงบริเวณคอฟันออกไปได้ แสงที่ส่องเข้ามาจึงกระจาย ผ่านไปยังรากฟันและเนื้อเยื่อเหงือกได้ดีขึ้น ทำให้บริเวณนี้มีความโปร่งแสงที่กลมกลืนกับ บริเวณข้างเคียง ลดปัญหาการเกิดเงาดำ นอกจากนี้การร่นขอบโลหะขึ้นไปทางด้านตัวฟัน ยังทำให้ไม่ต้องสูญเสียเนื้อฟันบริเวณขอบให้แกโลหะและพอร์ซเลนที่ทึบแสง จึงเป็นการเพิ่ม เนื้อที่ให้กับพอร์ซเลนเนื้อฟันให้มีความหนามากขึ้น ผลดีที่เกิดตามมาคือ พอร์ซเลนบริเวณนั้น จะมีสีและการสะท้อนแสงที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากขึ้น แก้ปัญหาเรื่องความขาวขุ่นที่บริเวณคอฟันไปได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาเรื่องการกรอเนื้อฟันมากเกินไป หรือการเพิ่มความปองให้ครอบฟันมากกว่าปกติ เพื่อเพิ่มความหนาของพอร์ซเลนได้ด้วย

แต่การทำครอบฟันขอบพอร์ซเลนในลักษณะที่ไม่มีโครงโลหะรองรับนี้ ทำให้ต้อง ย้อนกลับมาพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดจากข้อต่อซึ่งเป็นธรรมชาติของตัวพอร์ซเลน นั่นคือ ความเปราะ และความแข็งแรงดิ่งที่ต่ำ จึงอาจทำให้บริเวณที่ไม่มีโลหะรองรับเสี่ยงต่อการ แตกหักได้ง่าย (McLean, 1989) โดยเฉพาะบริเวณคอฟันด้านหน้า (labio-cervical or bucco-cervical) ซึ่งเป็นจุดศูนย์รวมของความเค้น (stress concentration)

เหตุที่เชื่อว่าบริเวณคอฟันด้านหน้าเป็นจุดศูนย์รวมของความเค้น เนื่องจากในปี 1960 Rost and Brodie ได้สังเกตเห็นว่ามีรอยแตกเป็นเส้นขวาง อาจพบเส้นเดียวหรือ หลายเส้นหรือรวมกันเป็นร่องลึกรูปปลีมีที่บริเวณคอฟันทางด้านหน้าของฟันตัดและฟันเขี้ยว ซึ่งรอยลึกนี้พบได้ทั้งในฟันปลอม วัสดุบูรณะฟัน และในเนื้อฟันธรรมชาติ จึงเชื่อว่ารอยลึก

เหล่านั้น น่าจะเกิดจากการทำงานที่มากผิดปกติ (hyperactive) ของเนื้อเยื่ออ่อน และกล้ามเนื้อที่อยู่บริเวณนั้น

ในปี 1984 Lee and Eakle ซึ่งยังคงสงสัยถึงสาเหตุการเกิดของรอยสึกรูปลิ้มที่คอฟันว่า แรงเสียดสีจากการแปรงฟัน หรือสภาวะกรดในช่องปากทำให้ฟันสึกเพียงซึ่งเดียวได้อย่างไร หรือฟันสึกได้เหงือกซึ่งเป็นบริเวณที่แปรงสีฟันไม่น่าจะเข้าถึงได้อย่างไร จึงได้ให้ข้อสังเกตว่า อาจเป็นไปได้ที่สาเหตุใหญ่จะเกิดจากความเค้นเนื่องจากแรงบิดเคี้ยว เพราะแรงที่ไม่ได้ลงตรง ๆ บนด้านบดเคี้ยวของฟัน จะทำให้เกิดการสะสมความเค้น (stress concentration) ที่บริเวณคอฟัน เขาจึงได้ตั้งสมมติฐานขึ้นว่า สาเหตุเริ่มต้นของการเกิดรอยสึกน่าจะเป็นความเค้นดึง (tensile stress) เนื่องจากแรงบิดเคี้ยว และการสบฟันที่ผิดปกติ ต่อมาสภาพเวดล้อมในช่องปากอาจเป็นสาเหตุเสริมที่ช่วยให้โครงสร้างของฟันมีการเสื่อมสลายไปจนเห็นเป็นรอยสึกขึ้น จากนั้นเขาจึงได้ทดสอบสมมติฐานด้วยการซักประวัติและตรวจคนไข้กว่า 100 คน ที่มีรอยสึกบริเวณคอฟันอย่างละเอียด และบันทึกการสบฟันเพื่อศึกษาดูว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

เมื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดแล้ว Lee และ Eakle ได้กล่าวถึงความเค้นที่เกิดขึ้นบนฟันระหว่างที่มีการบดเคี้ยวว่า มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ ความเค้นอัด (compressive stress) ความเค้นดึง (tensile stress) และความเค้นเฉือน (shear stress) ซึ่งความเค้นอัดเป็นความต้านทานต่อแรงอัด ความเค้นดึงเป็นความต้านทานต่อแรงดึงหรือแรงยืด ส่วนความเค้นเฉือนเป็นความต้านทานต่อแรงบิดหรือแรงพลิก

โดยปกติแล้ว เนื้อฟันจะสามารถทนต่อการรองรับแรงดึงได้มากกว่าเคลือบฟัน เพราะมีความยืดหยุ่นที่สูงกว่า จึงมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากกว่าโดยไม่แตกหัก ส่วนเคลือบฟันที่อยู่ข้างบนนั้นจะค่อนข้างแข็งตึง (rigid) เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อยกว่า ทำให้มีความเปราะและแตกหักง่ายกว่าเนื้อฟันที่มีการยืดหยุ่นและเปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่ข้างใต้

นอกจากนี้ความสามารถในการรองรับแรงบิดเคี้ยวยังขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่กระทำด้วย คือ เคลือบฟันจะสามารถต้านทานต่อแรงกดได้มากกว่าแรงที่กระทำในทิศทางที่ตั้งแหว่งเคลือบฟัน (enamel rods) ออกจากกัน จากการศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานและลักษณะการแตกของฟันผิวเคลือบฟัน (Powers, Craig and Ludema, 1973) พบว่า

รอยร้าวเนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นรอบๆแท่งเคลือบฟัน และผ่านไปยังสารที่เรียงตัวกันรอบๆ ผลึก 5 เหลี่ยม (interprismatic substance) จากนั้นรอยร้าวเล็กๆนี้จะรวมกันเป็นรอยแตกที่ใหญ่ขึ้น ทำให้เคลือบฟันที่แข็งแต่เปราะนี้อ่อนแอลง

ในการสบฟันแบบปกติ (ideal occlusion) แรงบดเคี้ยวจะลงมาตามแนวแกนของฟัน และกระจายออกไป ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของเนื้อฟัน และการผลักไฮดรอกซีอะปาไทต์ ในเคลือบฟันได้น้อยมาก แต่ถ้าวการสบฟันเป็นไปอย่างผิดปกติ จะมีแรงที่กระทำจากด้านข้าง (lateral force) จำนวนหนึ่งเกิดขึ้นมาและแรงนี้สามารถทำให้เกิดการโค้งงอ (bending) ของฟันได้ สิ่งก็ตามมากก็คือ เกิดความเค้นที่กระทำต่อตัวฟันขึ้น 2 ชนิด นั่นก็คือ ความเค้นอัด และความเค้นดึง ความเค้นอัดจะเกิดบนด้านที่ฟันถูกโค้งงอไป ส่วนความเค้นดึงจะเกิดด้านตรงกันข้าม

บริเวณที่มีความเค้นดึงสูงที่สุด คือ บริเวณใกล้ๆ จุดหมุน (fulcrum) ซึ่งอยู่บริเวณคอฟันด้านหน้า ในขณะที่ความเค้นอัดจะเกิดมากบริเวณจุดสบฟัน จุดหมุนและปลายรากฟัน เนื่องจากทั้งเนื้อฟันและเคลือบฟันจะสามารถทนต่อความเค้นอัดได้ดีจึงไม่มีการฉีกขาดของโครงสร้างฟัน แต่ในทางตรงข้ามทั้งเนื้อฟันและเคลือบฟันจะทนต่อความเค้นดึงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงทำให้เกิดการฉีกขาดแยกออกจากกันของฟันระเคมีระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ได้

จากการรวบรวมข้อมูลของ Lee and Eakle พบว่าในผู้ป่วยที่มีรอยสึกบนคอฟัน (ที่ไม่น่าจะเกิดจากการแปรงฟัน หรือ ความเป็นกรดในช่องปาก) ส่วนใหญ่แล้วจะมีการสบฟันที่ไม่ค่อยดีนัก เช่น ไม่มีฟันเขี้ยวเป็นตัวป้องกันไม่ให้กระทบกันเมื่อเคี้ยวอาหารไกร (canine protect) จุดสบฟันไม่มีเสถียรภาพ มีแรงจากด้านข้างกระทำต่อตัวฟันทำให้เกิดจุดหมุนขึ้น หรือมีนิสัยชอบนอนกัดฟัน ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถนำมาประกอบคำอธิบายการฉีกขาดของแท่งเคลือบฟันโดยความเค้นดึงได้ ประกอบกับการศึกษาของ Brady and Woody ในปี 1977 ที่พบว่า เมื่อมีการฉีกขาดของฟันระเคมีระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ จะทำให้เกิดช่องว่างที่อนุภาคของของเหลว เช่น น้ำ สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ ซึ่งเมื่อมีโมเลกุลของน้ำคั่งอยู่ก็ไม่สามารถจะเกิดการซ่อมสร้างฟันระเคมีขึ้นมาใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีความเค้นจากการบดเคี้ยว

เกิดขึ้นซ้ำๆอีก หรือมีการกระทำจากภายนอก เช่น แรงเสียดสีจากการแปรงฟัน หรือ สภาพแวดล้อมที่เป็นกรด ก็จะทำให้ผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ แยกออกจากกันมากขึ้นๆ จนกลายเป็นรอยร้าว (crack) ที่ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขั้นที่เคลือบฟันแตกหักเป็นชิ้นๆ หลุดออกมาได้

ดังนั้น Lee and Eakle จึงได้สรุปการศึกษาที่ตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ นั่นคือ ถ้ามีการสบฟันที่ไม่ปกติและแรงไม่ได้ถูกถ่ายเทลงตามแนวแกนฟัน ก็จะทำให้เกิดแรงจากด้านข้างขึ้น ซึ่งแรงจากด้านข้างนี้จะมีผลทำให้ฟันถูกโค้งงอ และสิ่งที่เกิดตามมาก็คือ มีความเค้นดึงเกิดขึ้นที่บริเวณจุดหมุน ทำให้พันธะเคมีของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ในเคลือบฟันฉีกขาดได้ จากนั้นจึงเกิดช่องว่างพอให้โมเลกุลของน้ำหรือของเหลวแทรกซึมเข้าไปภายในและขัดขวางการซ่อมสร้างพันธะเคมีขึ้นมาใหม่ ซึ่งจากเหตุผลนี้ทำให้เคลือบฟันบริเวณนั้นอ่อนแอลง ง่ายต่อการเกิดรอยร้าวและสึกกร่อน เมื่อถูกแรงหรือสารเคมีจากภายนอกมากระทำ จึงเป็นจุดเริ่มต้นของรอยสึกคอฟันต่อไปได้

ในปี 1972 Hood ได้ทำการทดลองเพื่อดูการกระจายความเค้น (stress distribution) ในวัสดุบูรณะฟัน class V ที่ได้รับแรงในแนวตรง (axial load) ผ่านลงบนด้านบนเคี้ยว โดยใช้ฟันกรามน้อยนำมากรอให้ได้ลักษณะ cavity class V แล้วอุดด้วย resin inlay ที่เป็นวัสดุประเภท photoelastic จากนั้นนำไปรับแรงที่ลงตรง ๆ บนด้านบดเคี้ยว แล้วหาการกระจายความเค้นในวัสดุบูรณะด้วยวิธี "frozen stress photoelastic" พบว่าจะมีการสะสมความเค้นเกิดขึ้นบริเวณคอฟันได้ ซึ่ง Morin และคณะ (1988) ก็ได้ยืนยันว่า เมื่อมีแรงกระทำบนด้านบดเคี้ยวก็จะทำให้มีการโค้งงอของยอดปุ่มฟันได้

ในปี 1991 Grippo ได้เสนอชื่อใหม่ล่าสุดที่ใช้เรียกรอยสึกชนิดนี้คือ "abfraction" (หมายถึง to break away) ซึ่ง Grippo ได้นิยามว่า เป็นพยาธิสภาพของการสูญเสียเนื้อฟันส่วนที่แข็งไป เนื่องจากได้รับแรงจากสภาพแวดล้อม (biomechanical loading force) จนเกิดความล้า (fatigue) จากการโค้งงอของเคลือบฟันและเนื้อฟันบริเวณจุดที่ได้รับแรง

ในปี 1992 Bream, Lambrechts and Vanherle และ Burke, 1995 ได้ทำการทดสอบทฤษฎีการเกิดรอยสึกที่คอฟันของ Lee and Eakle ที่ว่าแรงจากด้านข้างจะทำให้เกิดความเค้น ซึ่งจะไปทำลายพันธะของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ในเคลือบฟัน ทำให้มีการเสื่อมสภาพ จนเกิดรอยสึกรูปลิ้มขึ้นได้ โดยเขาได้ทำการตรวจผู้ป่วยที่มีรอยสึกรูปลิ้มที่คอฟัน

ทุกคน บันทึกลักษณะการสพฟันและถ่ายรูป จากนั้นก็พิมพ์รอยสีกนั้นด้วยวัสดุพิมพ์ปาก เทปูน แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (stereomicroscope) และกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) จากการสังเกตลักษณะของ รอยสีกที่ระยะการเกิดต่าง ๆ กัน ประกอบกับทิศทางของแรงจากด้านข้าง ยิ่งทำให้สนับสนุน ทฤษฎีของ Lee and Eakle ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะรอยสีกที่อยู่ใต้เหงือกซึ่งไม่น่าที่จะเกิดได้จาก การแปรงฟันหรือความเป็นกรดในช่องปาก แต่น่าจะเกิดจากความเค้นดึงเป็นสาเหตุมากกว่า นอกจากนี้ใน ผู้ป่วยที่มีนิสัยนอนกัดฟัน ก็จะมีรอยสีกได้มากกว่าด้วย และเขายังกล่าว ต่อไปอีกว่า วัสดุบูรณะคอฟันที่อยู่บริเวณที่เคยมีรอยสีกเนื่องจากความเค้นดึงมาก่อน จะกลายเป็นตัวรองรับความเค้นดึงต่อไปอีกได้ ซึ่งจะทำให้วัสดุบูรณะนั้นเกิดรอยสีกตามขอบ หรือยึดติดกับฟันได้ไม่ดีพอ จนกระทั่งแตกหักหลุดออกมาเองได้

จากทั้งหมดที่กล่าวมาแล้ว ทำให้นำไปสู่ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดเมื่อพิจารณาทำ ครอบฟันพอร์ซเลนขอบโลหะชนิดที่รับโลหะรองรับขึ้นไป 1 มม. อีกทั้งยังต้องนำมาใช้ใน บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการแตกหักสูงเนื่องจากเป็นศูนย์รวมของความเค้น เช่นบริเวณคอฟัน ด้านหน้าของฟันกรามน้อยด้วยแล้ว ก็อาจจะทำให้ขอบครอบฟันแตกหักและนำไปสู่การบูรณะ ที่ล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงควรจะมีวิธีการอื่นที่จะมาเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนที่ปราศจาก โลหะรองรับในบริเวณนี้

วิธีที่นำมาใช้เสริมความแข็งแรงให้แก่ครอบฟันพอร์ซเลนล้วน หรือพอร์ซเลนวีเนียร์ ซึ่ง กำลังเป็นที่สนใจอยู่ในปัจจุบันคือ การยึดขึ้นพอร์ซเลนล้วนด้วยเรซินซีเมนต์ โดยเฉพาะเรซิน ซีเมนต์ที่มีสารยึดติด (adhesive resin cement) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ในคลินิก ทันตกรรม มีขั้นตอนและวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และมีการวิจัยรับรองว่า การใช้เรซิน ซีเมนต์ยึดขึ้นงานพอร์ซเลนล้วน จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงแก่ชิ้นงานได้

ในปี 1987 Grossman and Nelson ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการ รับแรงก่อนที่จะเกิดการแตกหักของครอบฟันเซรามิกแก้ว (glass ceramic restoration; Dicor) ที่ถูกยึดบนฟันกรามด้วยซีเมนต์ 2 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ พบว่าในกลุ่มที่ถูกยึดด้วยเรซินซีเมนต์ซึ่งมีการเกิดพันธะระหว่างเนื้อฟัน-ซีเมนต์-ครอบฟัน



จะมีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าในกลุ่มที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ซึ่งไม่มีการเกิดพันธะระหว่างเนื้อฟัน-ซีเมนต์-ครอบฟัน ถึงร้อยละ 66 ซึ่งเขาคิดว่า เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการสร้างพันธะที่แข็งแรงระหว่างเนื้อฟัน-ซีเมนต์-ครอบฟัน จะทำให้แรงที่กระทำต่อครอบฟันถ่ายทอดลงสู่ตัวฟันได้ดีขึ้น ซึ่งเทียบได้กับการถ่ายทอดแรงบิดเคี้ยวในฟันธรรมชาติที่มีเคลือบฟันยึดกับเนื้อฟันอย่างแน่นหนา

ต่อมาในปี 1989, Grossman ได้ทำการทดสอบแบบ photoelastic เพื่อดูกลวิธีในการถ่ายทอดแรงที่กระทำต่อวัสดุบูรณะเซรามิกแก้วที่ถูกยึดด้วยเรซินซีเมนต์ พบว่ามีการถ่ายทอดความเค้นผ่านรอยต่อระหว่างฟัน-ครอบฟัน โดยสมบูรณ์ทำให้การสะสมความเค้นบริเวณนี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

หลังจากนั้น Derand, 1991 ได้ทำการศึกษาด้วยวิธีไฟไนต์อีเลเมนต์ (finite element method) เพื่อดูว่า เรซินซีเมนต์จะมีผลต่อการกระจายความเค้นของอินเลย์เซรามิก (ceramic inlays) ที่ยึดกับฟันธรรมชาติอย่างไร ซึ่งการทดลองนี้จะเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์ 2 ชนิด คือ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement) และ เรซินซีเมนต์ ที่ยึดอินเลย์เซรามิกกับฟันกรามน้อย จากนั้นนำมารับแรงกดแล้วดูการกระจายความเค้น ได้ข้อสรุปว่าอินเลย์เซรามิก ที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์มีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เพราะว่าเรซินซีเมนต์ทำให้เกิดการยึดกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ จึงมีการกระจายความเค้นได้ดีกว่า และเกิดการสะสมความเค้นตามจุดต่างๆน้อยกว่า

ต่อมาในปี 1994 Mesaros, Evans and Swartz ได้ทำการทดลองเพื่อสนับสนุนการใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดเซรามิกแก้ว (Dicor) กับเนื้อฟันวัว (bovine dentin) โดยเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับสารยึดเนื้อฟัน (dentin bonding agent) กับไม่ใช้สารยึดเนื้อฟัน จากนั้นนำชิ้นงานไปรับแรงกดจนกระทั่งแตกหัก ได้ผลสรุปว่า หากทำให้เกิดพันธะอย่างสมบูรณ์ระหว่างเนื้อฟันกับเซรามิกแก้ว โดยใช้ระบบสารยึดเนื้อฟันร่วมกับเรซินซีเมนต์แล้ว จะทำให้ความต้านทานต่อการแตกหักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย เพราะเปรียบเสมือนว่าเป็นการรับและถ่ายทอดแรงของชิ้นงานที่เป็นเนื้อเดียวกัน

ในปีเดียวกัน Yoshinari and Derand (1994) ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อกำลังล้า (fatigue strength) ของครอบฟันเซรามิกล้วน (all-ceramic crowns) หลายชนิด โดยซีเมนต์ที่เลือกใช้คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ พบว่า ครอบฟันเซรามิกล้วนที่ยึดกับเรซินซีเมนต์จะมีกำลังล้าสูงกว่าที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เขาจึงได้ให้เหตุผลว่า การที่ครอบฟันมีกำลังล้าสูงขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากขั้นตอนในการใช้ระบบเรซินซีเมนต์อย่างสมบูรณ์แบบ โดยที่ตอนแรกเมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกรด จะทำให้ปลายของร่องรอยตำหนิต่างๆ (flaw tips) บนพื้นผิวพอร์ซเลนตื้นขึ้น จากนั้นเมื่อทาสารยึดซีเลน (silane bonding agent) ร่วมกับเรซินซีเมนต์ลงไป ก็จะเป็นการปิดทับปลายร่องรอยตำหนิได้อย่างแนบสนิท ลดโอกาสที่จะเกิดการเติบโตต่อไปของรอยแตก (propagation of cracks) ได้ นอกจากนี้การเกิดพันธะเคมีที่ทำให้มีการยึดกันอย่างแน่นหนาระหว่างเนื้อฟันและครอบฟัน จะทำให้พื้นผิวด้านในของครอบฟันเกิดการงอตัว (deflect) น้อยลงเมื่อได้รับแรงกด ดังนั้นความเค้นบริเวณนี้จึงเกิดขึ้นน้อยลงด้วย

แต่การให้เหตุผลของ Yoshinari and Derand นี้ จะขัดกับผลจากการทดลองของ Thompson and Anusavice (1994) ที่ได้ทำการทดลองศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกแก้ว (Dicor) ด้วยกรดว่าจะมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยได้ตั้งสมมติฐานว่าการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุบูรณะพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกรดจะช่วยกำจัด และลดขนาดของร่องรอยตำหนิบนผิวพอร์ซเลนที่เป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหักลง ทำให้พอร์ซเลนมีความแข็งแรงมากขึ้น จากนั้นจึงทำการทดสอบสมมติฐานโดยเตรียมชิ้นเซรามิกแก้วรูปแผ่นให้มีร่องรอยตำหนิอย่างสม่ำเสมอและเท่ากันทุกแผ่น นำชิ้นงานส่วนหนึ่งไปกัดพื้นผิวด้วยกรดที่มี  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  10% นาน 2 นาที จึงล้างออกและเป่าให้แห้ง จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดไปรับแรงกดจนกว่าจะเกิดการแตกหักแล้วบันทึกผล นอกจากนี้ยังใช้วิธี fractographic เพื่อดูพื้นผิวที่เกิดการแตกหักอีกด้วย จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกแก้วด้วยกรด ไม่สามารถเปลี่ยนขนาดของรอยตำหนิขนาดใหญ่ให้เล็กลงอย่างมีนัยสำคัญได้ และไม่ได้ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วย แต่อาจตั้งสมมติฐานได้ว่า การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดจะช่วยให้ประสิทธิภาพการไหลแผ่ของเรซิน

ซีเมนต์ไปบนพื้นผิวของพอร์ซเลนที่ขึ้น ทำให้เรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับพอร์ซเลนได้อย่างแน่นหนามากขึ้น ความแข็งแรงของชั้นพอร์ซเลนจึงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ในปี 1997 Groten and Probster ได้ทำการทดลองเพื่อดูความแตกต่างของชนิดและขั้นตอนของเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเสริมความแข็งแรงของครอบฟันพอร์ซเลน โดยตั้งสมมติฐานว่า ชนิดของซีเมนต์ยึดครอบฟันที่ต่างกันจะมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟัน และการปรับสภาพพื้นผิวด้านในของครอบฟันพอร์ซเลนด้วยเรซินบอนด์เอเจนท์ (resin bonding agent) จะมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟัน และการปรับสภาพพื้นผิวของฟันโลหะที่เตรียมไว้สำหรับครอบ (supporting die) ด้วยแอดฮีซีฟเซอร์เฟสคอนดิชันนิง (adhesive surface conditioning) จะมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันเช่นกัน จากนั้นจึงได้ทำการทดลองโดยนำครอบฟันเซรามิกล้าน (IPS - Empress) 120 ซี แบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ซี แล้วใช้ซีเมนต์ชนิดต่างๆ กันคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ ในการยึดครอบฟัน และแต่ละชนิดก็จะมี และไม่มี การปรับสภาพครอบฟัน และมี และไม่มี การปรับสภาพตัวฟันที่จะครอบแล้วนำครอบฟันทั้งหมดมารับแรงจนกระทั่งแตกหัก แล้วบันทึกค่าจากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ไม่มีผลในการเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันพอร์ซเลนเลย ไม่ว่าจะมีการปรับสภาพพื้นผิวหรือไม่ก็ตาม แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวของพอร์ซเลนและการใช้แอดฮีซีฟบอนด์เอเจนท์อย่างสมบูรณ์แบบ จะทำให้ครอบฟันพอร์ซเลนมีความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีการสร้างพันธะที่แข็งแรงเกิดขึ้นระหว่างครอบฟัน-เรซินซีเมนต์ และ เรซินซีเมนต์-ตัวฟัน

ดังนั้นจากการรวบรวมการศึกษาทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด พอจะสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลทำให้เรซินซีเมนต์สามารถเสริมความแข็งแรงให้แก่พอร์ซเลนได้ก็คือคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดี รวมทั้งขั้นตอนกระบวนการในการใช้งานของซีเมนต์นั่นเอง เพราะการปรับสภาพพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกรดในตอนแรกจะช่วยทำให้ร่องหรือรอยตำหนิที่เป็นมุมแหลมตื้นขึ้นและช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) ของพอร์ซเลน ทำให้บอนด์เอเจนท์และตัวเรซินซีเมนต์ สามารถไหลแผ่เข้าไปปิดร่องรอยตำหนิบนพื้นผิวของพอร์ซเลน ซึ่งจะเป็นจุด

เริ่มต้นของการแตกร้าวจึงลดโอกาสที่จะเติบโตต่อไปของรอยแตกได้ และเมื่อมีการยึดกันอย่างสมบูรณ์ระหว่าง พอร์ซเลน-เรซินซีเมนต์ และ เรซินซีเมนต์-เนื้อฟันแล้ว ก็เปรียบเสมือนว่าชิ้นงานทั้งชิ้นและฟัน เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน จึงทำให้แรงที่กระทำบนครอบฟันถ่ายทอดผ่านลงสู่ตัวฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการกระจายความเค้นได้ดี จึงลดการสะสมความเค้นบริเวณรอยต่อของชิ้นงานพอร์ซเลนกับตัวฟันได้ นอกจากนี้ การหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยา (polymerization shrinkage) ของเรซินซีเมนต์ ทำให้มีการไล่แรงอัดลงไปในพื้นผิวด้านในของพอร์ซเลน อนุภาคของพอร์ซเลนจึงถูกอัดเข้ามาวมกันแน่นยิ่งขึ้น ซึ่งสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นนี้เป็นเหตุผลที่ใช้อธิบายว่า เหตุใดชิ้นงานพอร์ซเลนที่ถูกยึดด้วยเรซินซีเมนต์จึงมีความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นได้

นอกจากเรซินซีเมนต์แล้ว การทำงานในคลินิกทันตกรรมยังมีซีเมนต์ให้เลือกใช้ได้หลายชนิด ซีเมนต์สำคัญที่ยังมีการใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (zinc phosphate cement) พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (polycarboxylate cement) และ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement)

ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์นั้นเป็นซีเมนต์ดั้งเดิม (conventional cement) มีการใช้งานมานานที่สุด มีสูตรและส่วนผสมที่แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงจากเมื่อ 90 ปีที่แล้ว (Gorodovsky and Zidan, 1992) นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับใช้และมีการศึกษาทดสอบคุณสมบัติมานานที่สุด จึงมักใช้เป็นซีเมนต์มาตรฐานในการทดสอบซีเมนต์ระบบใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นมา ถึงแม้ว่าซิงค์ฟอสเฟตจะมีคุณสมบัติทางกายภาพค่อนข้างดี ใช้งานง่าย ราคาถูก และเป็นที่ยอมรับก็ตาม แต่ข้อเสียที่สำคัญก็คือ หากสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นก่อนสิ้นสุดการเกิดปฏิกิริยาหรือแข็งตัว จะทำให้อ่อนนุ่มยุบซุง และเสียคุณสมบัติไปได้ และแม้จะแข็งตัวเต็มที่แล้ว แต่หากสัมผัสกับน้ำหรือความชื้น เป็นเวลานาน ๆ ก็จะทำให้เกิดการสึกกร่อน และละลายตัวของซีเมนต์ได้ ดังนั้นจึงมีรายงานว่าซีเมนต์ชนิดนี้จะใช้ได้ผลดีในระยะยาวกับงานบูรณะที่เนบสนิทดีเท่านั้น (well-designed and well - fitting restoration) นอกจากนี้ ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งก็คือ ซิงค์ฟอสเฟตจะไม่ยึดกับฟันด้วยพันธะทางเคมี แต่มีเพียงแค่การประสานในเชิงกล (mechanical interlock) เท่านั้น และไม่ยึดติดกับโลหะทางทันตกรรมที่ใช้ในการทำครอบฟันอย่างหนาแน่นพอด้วย (Dilts และคณะ, 1985; Craig, 1993; Going and

Mitchem, 1975; McComb, 1982; Phillips, 1973) ข้อด้อยอีกข้อหนึ่งของซิงค์ฟอสเฟตที่จริงๆ แล้วแม้ไม่ใช่ข้อเสียแต่ก็ทำให้ซิงค์ฟอสเฟตไม่เหมาะสำหรับงานบูรณะที่ต้องการความสวยงาม โดยเฉพาะชิ้นงานฟอร์ชเลนที่ต้องการความโปร่งแสงเพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสงได้อย่างสวยงามกลมกลืนก็คือ ความขุ่นทึบที่เป็นธรรมชาติของซีเมนต์ตัวนี้ ดังนั้นซีเมนต์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและยาวนานอย่างซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ จึงอาจไม่ดีเพียงพอเสียแล้วในการใช้กับงานบูรณะระบบใหม่ๆ ที่ต้องการทั้งความสวยงาม ความแข็งแรง และการยึดติดที่ดี

ส่วนพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ มีคุณสมบัติโดยทั่วไปคือ ความแข็งแรงอัดประมาณ 50-60 MPa ซึ่งต่ำกว่าซิงค์ฟอสเฟต แต่มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าเล็กน้อย พอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์สามารถยึดติดกับฟันได้ โดยกลุ่มคาร์บอซิลในกรดพอลิอะคริลิกจะเกิดพันธะกับแคลเซียมในไฮดรอกซีอะพาไทต์ของฟัน โดยเฉพาะในส่วนของเคลือบฟันที่มีสารอินทรีย์มากกว่าในเนื้อฟัน จึงสามารถเกิดพันธะได้มากกว่า แต่ข้อควรระวังก็คือ พอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ จะมีระยะเวลาในการทำงาน (working time) ที่สั้นมาก (ประมาณ 2-3 นาที) หากเลยช่วงเวลานี้ไปแล้ว จำนวนของกลุ่มคาร์บอซิลจะลดน้อยลงจนไม่เพียงพอที่จะเกิดพันธะกับแคลเซียมในฟัน ความแข็งแรงพันธะระหว่างซีเมนต์กับฟันจึงลดลงไปด้วย นอกจากนี้พอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ ยังไม่ได้มีคุณสมบัติที่เหนือกว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ในแง่การยึดติดของซีเมนต์กับชิ้นงานบูรณะด้วย

ความล้มเหลวที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ก็คือการละลายตัวในช่องปาก ถึงแม้ว่าการละลายตัวของซีเมนต์ชนิดนี้ในน้ำกลั่นจะมีค่าต่ำ แต่เมื่อเปลี่ยนมาอยู่ในสภาวะของกรดอินทรีย์ที่มีค่า pH 4.5 หรือต่ำกว่า จะทำให้พอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์มีการละลายตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้การลดอัตราส่วนผงต่อส่วนเหลวยังทำให้การละลายตัวและการเสื่อมสลาย (degradation) ของซีเมนต์ในช่องปากเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วย (Anusavice, 1996)

ส่วนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีคุณสมบัติโดยทั่วไปคือ ค่าความแข็งแรงอัดที่ใกล้เคียงกับซิงค์ฟอสเฟต และมีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่มีค่าเกณฑ์ความยึดหยุ่นที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นซีเมนต์ชนิดนี้จึงค่อนข้างอ่อน สามารถมีการเปลี่ยนแปลง

รูปร่างได้มาก เมื่อได้รับแรงบดเคี้ยว ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานบูรณะที่เปราะได้ ข้อดีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือ มีการยึดติดกับเนื้อฟันด้วยพันธะทางเคมี มีการยึดเกาะกับโลหะไร้สกุลและโลหะมีสกุลบางกลุ่ม และมีการปล่อยฟลูออไรด์อย่างต่อเนื่อง ช่วยป้องกันฟันผุได้ แต่ข้อเสียของซีเมนต์ชนิดนี้ก็คือ มีการแข็งตัวเต็มที่ค่อนข้างช้ามาก จึงทำให้ความแข็งแรงพันธะและความแข็งผิวมีค่าต่ำอยู่เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน 2-3 วันแรก ซึ่งจะทำให้ซีเมนต์ที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่นี้ มีโอกาสละลายตัวในช่องปากได้สูง จึงทำให้ความสมบูรณ์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่อยู่บริเวณขอบของครอบฟันเสียไป จากการทดลองของ Thompson, Rapp and Parker (1998) พบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพต่ำในการป้องกันการรั่วซึมตามขอบของชิ้นงานบูรณะ ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดฟันผุในชั้นที่สองได้ นอกจากนี้ ถึงแม้ว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะยึดติดกับฟันได้ด้วยพันธะทางเคมี แต่ก็ไม่มีบทบาทสำคัญในการเสริมความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงานบูรณะที่เป็นพอร์ซเลน แต่อย่างใด (Yoshinari and Derand, 1994)

ส่วนทางเลือกใหม่ของการยึดติดที่น่าจับตามองที่สุดในช่วงทศวรรษนี้ก็คือ เรซินซีเมนต์ เนื่องจากไม่เพียงแต่จะสามารถทำให้มีความโปร่งแสง ทึบแสง และมีสีฟันได้ตามต้องการเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ในแง่ความสวยงามได้อย่างเต็มที่แล้ว เรซินซีเมนต์ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ดี โดยเฉพาะการยึดติดอย่างมีประสิทธิภาพ จากการรวบรวมของ Craig (1993) ซึ่งรายงานว่าเรซินซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงอัดประมาณ 180-320 MPa และมีค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 30-63 MPa ซึ่งมากกว่าซิงค์ฟอสเฟตที่มีค่าความแข็งแรงอัดประมาณ 96-133 MPa และค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 3.1-4.5 MPa อย่างเห็นได้ชัด ส่วนประสิทธิภาพในการยึดติดนั้น เนื่องจากว่าเรซินซีเมนต์ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้ จัดเป็นเรซินซีเมนต์ประเภทที่มีสารยึดติด (adhesive resin cement) (Burke and McCaughey, 1993 และ Craig, 1993) ซึ่งจะมีสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับทั้งตัวฟันและโลหะได้ ซึ่งในระบบของเรซินซีเมนต์ที่เลือกใช้ในการวิจัยจะมีกลไกในการสร้างพันธะซึ่งอธิบายได้ดังนี้ คือ ในขั้นตอนแรกต้องมีการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟัน (dental pretreatment) เสียก่อน ด้วยกรดซิตริก 10% และเพอริกคลอไรด์ 3% เพื่อกำจัดชั้นปนเปื้อน (smear layer) และละลายแร่ธาตุบางส่วน (demineralization) จากเนื้อฟันออกไป ทำให้

โมโนเมอร์ยึดติด ( adhesive monomer ในที่นี้คือ 4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride หรือ 4-META) สามารถแทรกซึมเข้าไปในหลอดเนื้อฟัน (dental tubules) ได้ (Nakabayashi, 1992)

จากนั้นเมื่อทำส่วนของเรซินซึ่งประกอบด้วย 4-META และ methyl methacrylate (MMA) ในผง poly(methyl methacrylate) (PMMA) โดยมี tri-n-butyl borane (TBB) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ทั้งหมดเรียกโดยรวมว่า 4-META/MMA-TBB resin) ตัวโมโนเมอร์ซึ่งมีความไวในการแทรกซึมสูงจะแทรกซึมเข้าไปในส่วนคอลลาเจนของเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันทั้งในลักษณะนั้น โดย TBB จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศและน้ำ จากนั้นจึงเปลี่ยนไปเป็นเพอรอกไซด์ (peroxide) ซึ่งจะแตกตัวเป็นอนุมูล (radicals) เพื่อไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ MMA กับ PMMA โดยมี 4-META ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ MMA เข้าร่วมปฏิกิริยาในฐานะพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ดังนั้นจึงทำให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์ ห่อหุ้ม (envelopment and encapsulation) ชั้นคอลลาเจนและผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีอะปาไทต์เอาไว้ เกิดเป็นชั้นลูกผสม (hybrid layer) ขึ้น เหตุที่ได้ชื่อเรียกดังนี้นี้เนื่องจาก ในระดับโมเลกุล ชั้นนี้จะเป็นส่วนผสมระหว่างส่วนประกอบของเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์ที่เกิดการพอลิเมอไรเซชันแล้ว ซึ่งจะอยู่ระหว่างเนื้อฟันที่ยังไม่ถูกปรับสภาพกับชั้นเรซินซีเมนต์ที่เกิดการพอลิเมอไรเซชัน จะเห็นได้ว่าทั้งหมดนี้ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลในระดับโมเลกุลขึ้น (micromechanical retention) ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ ความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินและเนื้อฟัน (Nakabayashi, Kojima and Masuhara, 1982)

ส่วนในโลหะ 4-META จะสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กับออกซิเจนและ/หรือกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ในชั้นออกไซด์ (oxide layer) ของโลหะ โดยเฉพาะโลหะไร้สเกล (Ni-Cr) ที่ใช้ในการทดลองนี้ ในส่วนของพอร์ซเลนนั้น เรซินซีเมนต์ทุกชนิดไม่สามารถยึดติดกับพอร์ซเลนได้โดยตรงด้วยพันธะเคมี ต้องใช้สารยึดซีเลน (silane coupling agents) เป็นตัวเชื่อม ซึ่งสารซีเลนนี้จะมีปลายข้างหนึ่งที่สามารถสร้างพันธะกับ  $\text{SiO}_2$  ในพอร์ซเลนและปลายอีกข้างสร้างพันธะกับ organic resin matrix ในเรซินซีเมนต์ (Wolf และคณะ, 1993) นอกจากนี้ยังมีการยึดติดเชิงกลโดยปรับสภาพผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระ มีรูพรุน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะยึดได้อีกด้วย จากการศึกษาของ Calamia and

Simonsen (1984) พบว่าการใช้สารยึดซีเมนต์ร่วมกับเรซินซีเมนต์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึด (bond strength) ขึ้นได้ถึงร้อยละ 20 และช่วยเพิ่มความต้านทานการแตกหักให้แก่ชิ้นงานบูรณะที่เป็นพอร์ซเลนได้อีกด้วย

แต่เรซินซีเมนต์ก็มีข้อพิจารณาทางคลินิกที่ทำให้ทันตแพทย์ส่วนมากลังเลใจที่จะเลือกใช้คือ ขั้นตอนในการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องกรอส่วนของเคลือบฟันออกไปทั้งหมดเช่นในการทำครอบฟัน แต่ซีเมนต์ทุกชนิดที่ได้กล่าวถึงไปก่อนหน้านี้ไม่ว่าจะเป็นซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอออกซิเลตซีเมนต์ หรือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ต่างก็มีส่วนเหลวที่เป็นกรดด้วยกันทั้งสิ้น ส่วนเหลวของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์คือกรดฟอสฟอริก ในขณะที่ส่วนเหลวของพอลิคาร์บอออกซิเลตซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือกรดพอลิอะคริลิก และโพลีเมอร์ เมื่อมีการยึดติดชิ้นงานเข้ากับตัวฟัน ก่อนที่ซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนสภาพเป็นเจล (gel) ส่วนเหลวที่เป็นกรดจะไหลแผ่ไปบนเนื้อฟันและเคลือบฟันและทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นแร่ธาตุของเนื้อฟัน (mineralized tissue) ซึ่งค่าความเป็นกรด (pKa) ของกรดฟอสฟอริกมีค่าประมาณ 2.42 และกรดพอลิอะคริลิกประมาณ 4.25 จะทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) ของเนื้อฟันขึ้น เมื่อทดลองล้างซีเมนต์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic cement) เหล่านี้ออกจากผิวฟันก่อนที่จะแข็งตัว แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะเห็นได้ว่าการกัดพื้นผิวฟันอย่างค่อนข้างรุนแรง (Pashley และคณะ, 1985) ดังนั้น เมื่อไรก็ตามที่มีการใช้ซีเมนต์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดเหล่านี้ จะทำให้เกิดการกัดพื้นผิวฟันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ไม่ว่าจะเป็นในขั้นตอนของการยึดชิ้นงานบูรณะ หรือการรองพื้นโพรงฟันที่มีเนื้อฟันเผย (dentin exposed) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า การปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยกรดที่มีอยู่ในขั้นตอนของการใช้เรซินซีเมนต์จึงมีใช้สิ่งใหม่เลย เพราะซีเมนต์ทุกตัวก็มีการกัดพื้นผิวฟันด้วยกันทั้งสิ้น (Nakabayashi and Pashley, 1998)

จากทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วสรุปได้ว่าความสำเร็จของการทำงานบูรณะชนิดติดแน่นนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆ อย่าง องค์ประกอบสำคัญที่ได้กล่าวถึงในที่นี้คือ ความสวยงาม การยึดติดแน่นของชิ้นงานกับตัวฟัน และความแข็งแรงของตัวชิ้นงานเอง ความสวยงามของ



ชิ้นงานได้จากการเลือกทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. เพื่อให้พอร์ซเลนบริเวณนั้นมีสีและการสะท้อนแสงได้อย่างสวยงามกลมกลืนกับบริเวณใกล้เคียงอย่างเต็มที่ นอกจากนี้การเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความโปร่งแสงควบคู่กับชิ้นงานก็ยิ่งช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ในด้านความสวยงามอีกด้วย

การเลือกใช้เรซินซีเมนต์กับชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. นอกจากจะได้รับผลประโยชน์ในแง่ความสวยงามแล้ว ตัวซีเมนต์เองยังมีจุดเด่นในแง่การยึดติดที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพดี สามารถสร้างพันธะได้ทั้งกับตัวฟันและชิ้นงานบูรณะ ทำให้ครอบฟันทั้งชิ้นและตัวฟันรับแรงได้อย่างเป็นหน่วยเดียวกัน ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นจริง การใช้เรซินซีเมนต์ก็น่าจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. ให้มีค่าสูงขึ้นได้เมื่อเทียบกับการยึดด้วยซีเมนต์ที่ไม่มีการสร้างพันธะกับฟันและชิ้นงานบูรณะอย่างซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า การทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. อาจทำให้ความแข็งแรงของขอบครอบฟันบริเวณด้านหน้าลดลงไปได้ ยิ่งเมื่อนำมาใช้งานในช่องปากซึ่งอาจมีแรงจากด้านข้างทำให้เกิดความเค้นสะสมในบริเวณคอฟันด้านหน้าด้วยแล้ว ก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ขอบของครอบฟันบริเวณซึ่งปราศจากโลหะเสริมความแข็งแรง เกิดการแตกหัก และนำไปสู่ความล้มเหลวของงานบูรณะได้

แม้จะมีการทดลองของ Lehner, 1995 ที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของขอบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. แล้วก็ตาม แต่ก็ยังเป็นเพียงการทดสอบกับแบบจำลองของขอบครอบฟันที่มีรูปร่างแตกต่างไปจากฟันธรรมชาติเท่านั้น ส่วนการทดลองของ O'Boyle, 1997 แม้ว่าจะทำการทดลองโดยทำครอบฟันที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และนำไปปรับแรงกดที่มีทิศทางใกล้เคียงกับสภาพในช่องปากก็ตาม แต่ก็ไม่ได้ทำในฟันธรรมชาติและนอกจากนี้ยังใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึดครอบฟันทุกกลุ่ม จึงทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่า เหตุที่ความต้านทานต่อการแตกหักของกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครมโลหะรองรับขึ้นไปทางด้าน

ตัวฟัน 1 ม.ม. มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มครอบฟันที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน นั้น เนื่องมาจากการเสริมความแข็งแรงด้วยเรซินซีเมนต์ หรือเป็นเพราะความแข็งแรงของตัวครอบฟันเอง

ดังนั้นการทดลองนี้จึงต้องการทดสอบความสามารถในการรองรับแรงหรือความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีความแตกต่างกันของขอบครอบฟันทางด้านหน้า 3 แบบด้วยกันคือ ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน และครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. และเปรียบเทียบผลของซีเมนต์ชนิดต่างๆ คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิลเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ ที่มีต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันทั้ง 3 แบบ โดยถือว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์คือซีเมนต์ควบคุม ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบซีเมนต์ชนิดต่างๆ การทดลองนี้ทำขึ้นงานทดลองเป็นครอบฟันที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และมีการรับแรงที่มีทิศทางใกล้เคียงกับสภาพภายในช่องปาก

อนึ่ง การทดลองนี้จะทำในฟันธรรมชาติของมนุษย์ที่ถูกถอนออกมาด้วยเหตุผลทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อให้การทดลองมีความใกล้เคียงกับสภาพตามธรรมชาติมากที่สุด ทั้งในแง่การทำรูปร่างของครอบฟัน การสร้างพันธะระหว่างเรซินซีเมนต์กับฟันธรรมชาติ และค่าเกณฑ์ความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ในการรับแรงของฟันธรรมชาติเพื่อที่จะได้นำมาเป็นแนวทางในการในการเลือกใช้ชนิดของงานบูรณะและชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ยึดได้อย่างเหมาะสมในทางคลินิกต่อไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

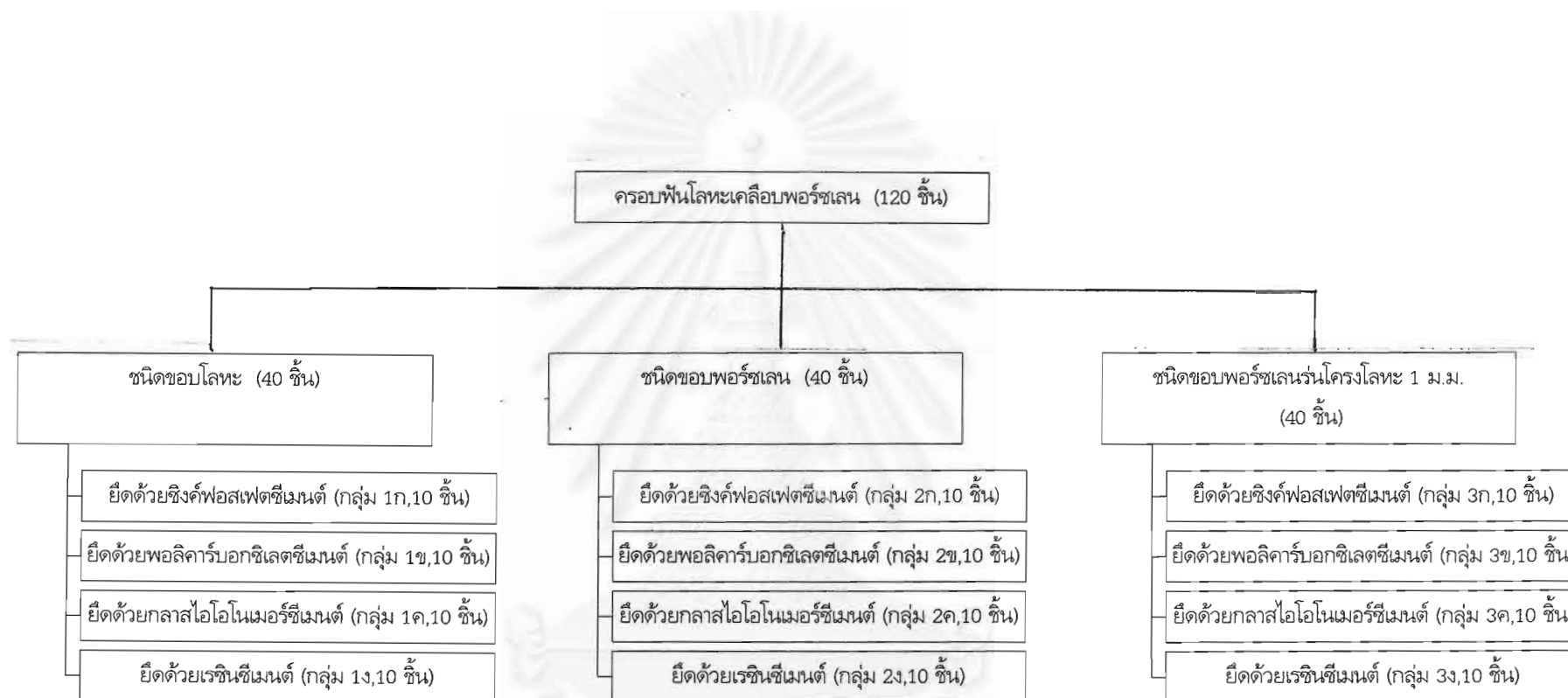
#### ระเบียบวิธีการวิจัย

##### วิธีการทดลอง

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้คือ เพื่อประเมินค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบทางด้านหน้าแตกต่างกัน 3 แบบคือ ชนิดขอบโลหะ ชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน (ขอบพอร์ซเลน) และ ชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. (ขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ) ซึ่งครอบฟันแต่ละแบบถูกยึดด้วยซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟันชนิดต่างๆกัน 4 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ เรซินซีเมนต์

ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนของฟันกรามน้อยบนทั้งหมด 120 ชิ้น โดยแบ่งชิ้นงานทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน ส่วนละ 40 ชิ้น ตามความแตกต่างของขอบทางด้านหน้า จากนั้นแบ่งแต่ละส่วนออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น เพื่อยึดด้วยซีเมนต์ต่างชนิดกัน คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ (รูปที่ 1) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

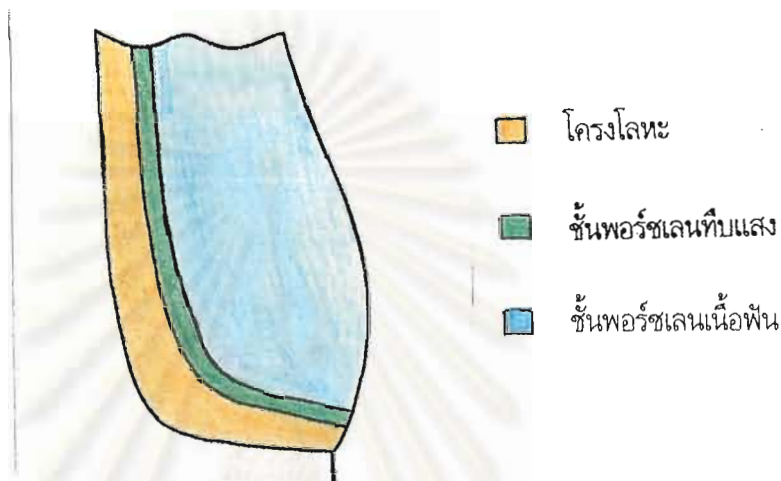
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มทดลอง

ส่วนที่ 1 (ประกอบด้วย กลุ่ม 1ก 1ข 1ค และ 1ง รวม 40 ชิ้น)

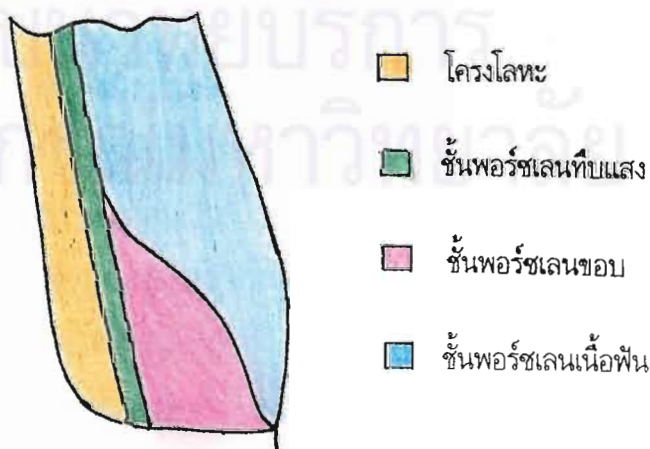
เตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ คือมีโลหะยาวเลยออกมาถึงขอบด้านนอกของบ่ามน ดังนั้นกรอบพื้นชนิดนี้จะมีโครงโลหะรองรับพอร์ซเลนเอาไว้ทั้งหมด (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

ส่วนที่ 2 (ประกอบด้วย กลุ่ม 2ก 2ข 2ค และ 2ง รวม 40 ชิ้น)

เตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับลิ้นสุดเพียงแค่ขอบด้านในของบ่ามน โดยมีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลนเท่านั้น ส่วนพอร์ซเลนบริเวณบ่ามนจะปราศจากโลหะรองรับ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

ส่วนที่ 3 (ประกอบด้วย กลุ่มที่ 3ก 3ข 3ค และ 3ง รวม 40 ชิ้น)

เตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นกรอบฟีนโหลเคลือบพอร์ชเลนที่ถูกรันโครงโลหะรองรับทางด้านหน้าขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. โดยขอบทางด้านหน้าตั้งแต่บริเวณเอามสูงขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. จะประกอบด้วยเนื้อพอร์ชเลนล้นๆที่ปราศจากโลหะรองรับ เพื่อเหตุผลทางด้านความสวยงาม (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ภาพจำลองแสดงชั้นต่างๆของกรอบฟีนโหลเคลือบพอร์ชเลนชนิดขอบพอร์ชเลนที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม.

เมื่อเตรียมกรอบฟันซึ่งมีความแตกต่างกันของขอบบริเวณด้านหน้าทั้ง 3 ชนิดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำมายึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆกันตามกลุ่มย่อยที่ได้แบ่งไว้แล้วดังนี้คือ

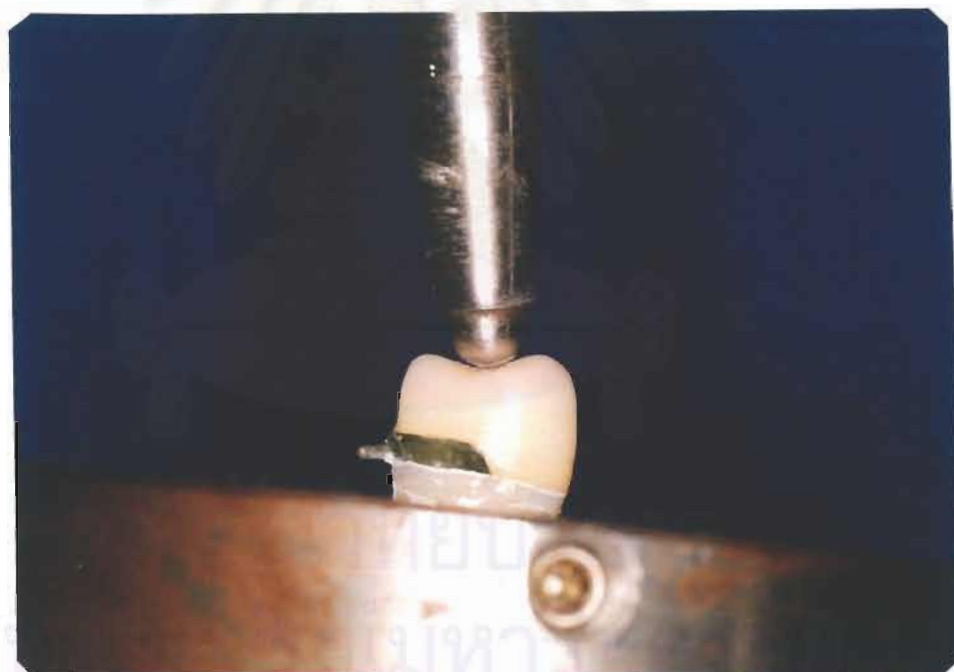
กลุ่ม 1ก กลุ่ม 2ก และกลุ่ม 3ก ใช้ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ เป็นตัวยึด

กลุ่ม 1ข กลุ่ม 2ข และกลุ่ม 3ข ใช้ พอลิคาร์บอกซิลเลตซีเมนต์ เป็นตัวยึด

กลุ่ม 1ค กลุ่ม 2ค และกลุ่ม 3ค ใช้ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นตัวยึด

กลุ่ม 1ง กลุ่ม 2ง และกลุ่ม 3ง ใช้ เรซินซีเมนต์ เป็นตัวยึด

ภายหลังจากที่ได้ยึดครอบฟันกับตัวฟันด้วยซีเมนต์ตามกลุ่มที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นตัวอย่างไปเก็บไว้ในภาชนะที่มีความชื้นร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบโดยการกดจนกระทั่งชิ้นงานแตกหัก ด้วยเครื่องทดสอบสากล ที่มีหัวกดรูปกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.76 มม. น้ำหนักสูงสุดของหัวกด 5 กิโลนิวตันและมีความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของหัวกด 0.5 มม.ต่อนาที (รูปที่ 5) บันทึกน้ำหนักของหัวกดที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักเป็นนิวตัน (N.) จากนั้นจึงนำค่าของน้ำหนักที่ทำให้ครอบฟันแตกหักทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียว (Analysis of Variance (ANOVA)) เพื่อหาความแตกต่างที่มีระหว่างกลุ่ม แล้วใช้วิธีทดสอบแบบทูกี (Tukey's test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบสากล



### การเตรียมชิ้นงาน

ใช้ฟันกรามน้อยบน (maxillary premolar) ที่ถูกถอนเพื่อการจัดฟันและปราศจากรอยผุ รอยอุด หรือพยาธิสภาพใดๆ หลังจากถอนแล้วเก็บรักษาในสารละลายน้ำเกลือ (isotonic normal saline solution) ที่อุณหภูมิ 10 °C จนกระทั่งถึงเวลาทดลอง จึงเลือกฟันที่มีขนาดใกล้เคียงกันออกมา 120 ซี่ นำมาแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนละ 40 ซี่ จากนั้นแบ่งแต่ละส่วนออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ โดยให้แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของความยาวเส้นรอบวงฟัน ความกว้างในแนวหน้า-หลัง (bucco-lingual width) และความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesio-distal width) บริเวณคอฟัน ต่างกันได้ไม่เกินร้อยละ 2.5 ในแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำฟันทั้งหมดมาฝังส่วนที่เป็นรากไว้ในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวได้เอง<sup>1</sup> (autopolymerization acrylic resin) เพื่อสำหรับเป็นที่จับยึด และให้ส่วนที่เป็นตัวฟันทั้งหมดตั้งขึ้น ให้แนวแกนฟัน (long axis) ขนานกับแนวตั้ง (vertical plane) (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ฟันฝังในอะคริลิกเพื่อจับยึด

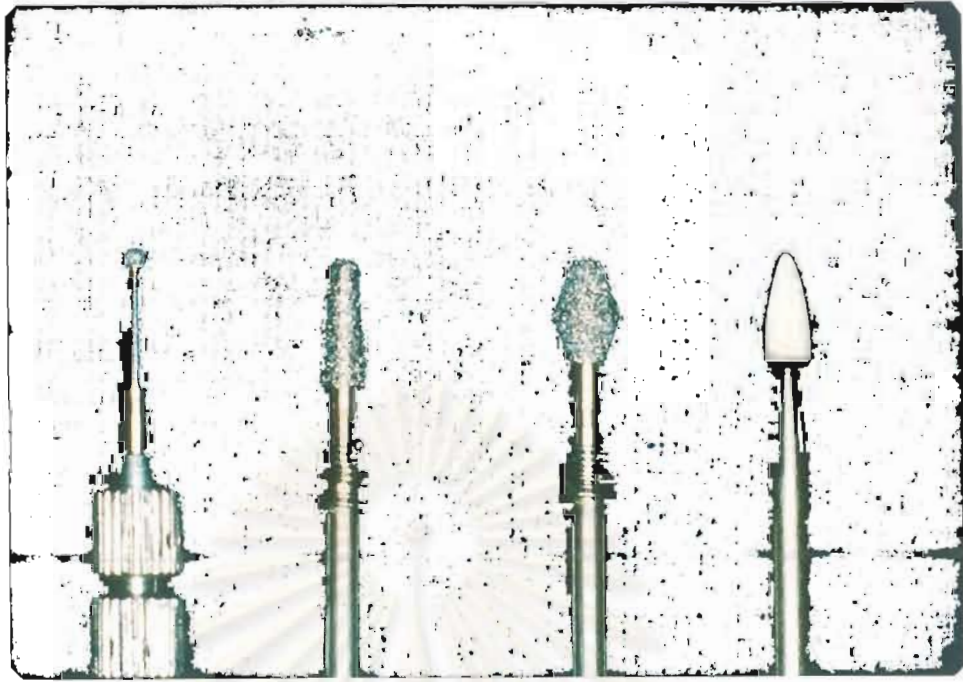
<sup>1</sup> Kerr, Sybron U.S.A.



ต่อจากนั้น นำฟันที่ฝังอยู่ในอะคริลิกมากรอแต่ง (tooth preparation) เพื่อเตรียมไว้สำหรับรองรับครอบฟัน โดยมีเส้นสิ้นสุด (finishing line) เป็นลักษณะบ่ามน  $90^{\circ}$  ( $90^{\circ}$  round shoulder) กว้าง 1.2 มม. และมีความสูงของผนังในแนวแกน (axial wall) 4 มม. โดยรอบ ซึ่งการควบคุมความกว้างของบ่ามนทำได้โดยการใช้เข็มกรอทรงกลม<sup>2</sup> ที่มีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม. (รูปที่ 7ก) กรอลึกมิดหัวกรอพอดีโดยรอบซี่ฟัน จากนั้นจึงใช้เข็มกรอรูปรียาวที่มีความยาวรัศมีตรงปลายหัวกรอเท่ากับ 1.2 มม. (รูปที่ 7ข) กรอในขั้นต่อไป ส่วนวิธีควบคุมการกรอฟันให้ได้ความสอที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกซี่ ทำได้โดยการใช้เครื่องกลึง (milling machine)<sup>3</sup> ที่มีแนวแกนของเข็มกรอขนานกับแนวตั้ง เมื่อต้องการกรอฟันในเบื้องต้นจะนำฟันที่ถูกฝังยึดไว้ในเรซินอะคริลิกมาติดตั้งบนฐานโลหะที่เคลื่อนที่ได้และสามารถปรับความเอียงของแนวแกนฟันได้เสียก่อน ก่อนกรอ จะต้องมีการปรับฐานโลหะให้แนวแกนฟันขนานกับแนวแกนของเข็มกรอแล้วจึงดำเนินการกรอด้วยเข็มกรอเพชรรูปรียาวที่มีความยาวรัศมีตรงปลายหัวกรอ 1.2 มม. (รูปที่ 8) ส่วนด้านบดเคี้ยวจะใช้เข็มกรอเพชรรูปถังเบียร์ (barrel shape) (รูปที่ 7ค) กรอในแนวขนานกับแนวระดับ (horizontal plane) จนได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการแล้ว จึงกรอลบเหลี่ยมมุม (round all angle) และขัดแต่งพื้นผิว (surface finish) ให้เรียบสม่ำเสมอด้วยเข็มกรอหินขัดชนิดละเอียด (fine stone bur) (รูปที่ 7ง) จนได้รูปร่างฟันสำหรับรองรับครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดต่างๆ (รูปที่ 9)

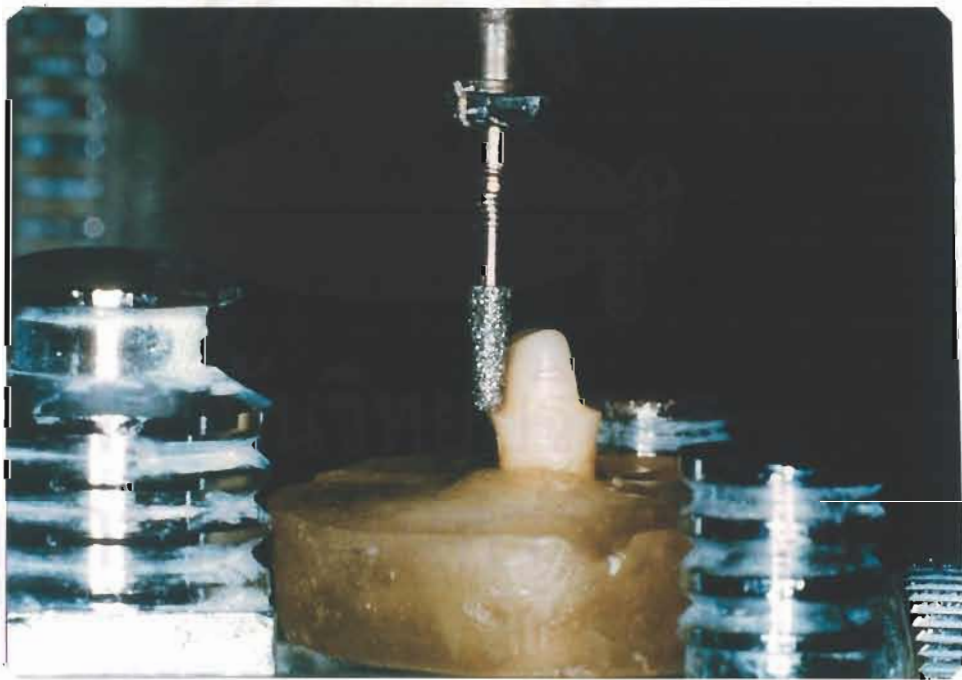
<sup>2</sup> Komet , Gebr. Brassier GmbH , Lemgo , Germany

<sup>3</sup> EWL 990 KaVo Elektrotechnisches Werk. Germany



รูปที่ 7 เข็มกรอที่ใช้ในการกรอฟัน เรียงลำดับจากซ้ายมาขวา

- ก. เข็มกรอรูปกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม.      ข. เข็มกรอรูปเรียวรัศมีตรงปลาย 1.2 มม.  
 ค. เข็มกรอรูปถังเบียร์      ง. เข็มกรอหินขัดชนิดละเอียด



รูปที่ 8 การกรอฟันด้วยเครื่องกลึง



รูปที่ 9 ฟันที่กรอแต่งเรียบร้อยแล้ว

ต่อจากนั้นจึงนำฟันแต่ละซี่มาพิมพ์ด้วยวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคน (light-body additional type silicone impression material)<sup>4</sup> และเทด้วยพลาสติกชนิดที่ 4 (type IV die stone)<sup>5</sup> ที่ผสมผงและน้ำตามอัตราส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด เพื่อทำแม่แบบสำหรับแต่งซี่ฟัน เมื่อพลาสติกแข็งตัว จึงแกะแม่แบบสำหรับแต่งซี่ฟัน (working die) ออกมาทาเคลือบด้วยสารช่วยแข็ง (surface hardener)<sup>6</sup> เพื่อให้แม่แบบสำหรับแต่งซี่ฟันมีพื้นผิวที่แข็งแรงขึ้น ป้องกันการเกิดรอยขีดขูดและละลายน้ำในระหว่างกระบวนการทำครอบฟัน จากนั้นนำแม่แบบทั้งหมดมาทาด้วย สารก่อก่อช่องว่าง (die spacer)<sup>7</sup> เพื่อทำให้เกิดช่องว่างระหว่างตัวฟันกับครอบฟันสำหรับเป็นที่อยู่ของซีเมนต์ยึดครอบฟันในภายหลัง โดยการทาสารก่อก่อช่องว่างนี้จะทา 2 ชั้น เพื่อให้มีช่องว่างประมาณ 40  $\mu\text{m}$ . เพียงพอต่อความหนาของซีเมนต์ที่จะใช้ยึดครอบฟัน และทำให้สูงจากเส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังตามแนวแกนกับผนัง

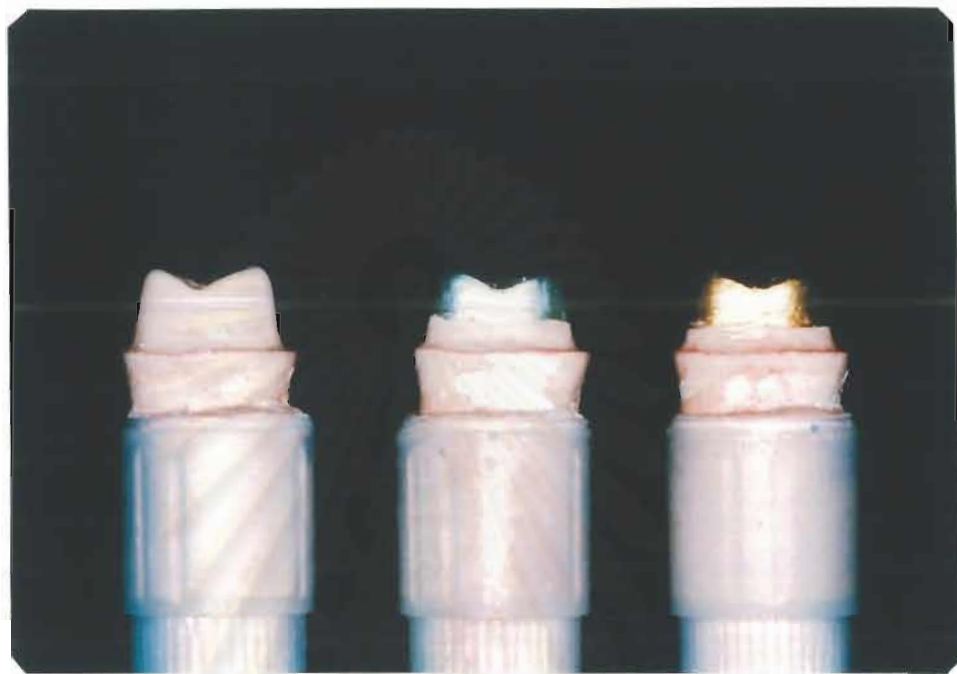
<sup>4</sup> Coltene , Whaledent New Jersey U.S.A.

<sup>5</sup> Velmix , Kerr Sybron U.S.A.

<sup>6</sup> Hartbad , Renfert Hilzingen

<sup>7</sup> Nice-fit , Shofu Kyoto Japan

โนแนวเหงือก (axio-gingival line angle) 1 ม.ม. เพื่อให้ขอบของครอบฟันที่อยู่ต่ำกว่าสาร  
ก่อช่องว่าง มีความแนบสนิทกับตัวฟัน (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 แบบหล่อสำหรับแต่งซี่ผึ้งที่ทำด้วยสารก่อช่องว่าง 2 ชั้น

เมื่อเสร็จจากขั้นตอนการเตรียมแม่แบบสำหรับทำงานแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำ  
แม่แบบทั้งหมดมาหุ้มด้วยซี่ผึ้ง แล้วทำการตัดแต่งซี่ผึ้งให้มีความหนาและรูปร่างตามที่กำหนด  
เพื่อนำไปเปลี่ยนให้กลายเป็นโครงโลหะเพื่อรองรับพอร์ซเลนของครอบฟันโลหะเคลือบ  
พอร์ซเลนต่อไป โดยมีวิธีการทำตั้งแต่การแต่งซี่ผึ้งจนถึงการเคลือบพอร์ซเลนที่แตกต่างกันไป  
ในแต่ละส่วน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 1 (ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ)

นำแม่แบบมาทาสารคั่นกลาง (separating media)<sup>8</sup> เพื่อป้องกันซีฟิ่งติดกับแม่แบบ แล้วจึงนำไปจุ่ม (dip) ในซีฟิ่งเหลว<sup>9</sup> ที่อยู่ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิให้สามารถกำหนดความหนาของซีฟิ่งได้<sup>10</sup> เพื่อรับความหนาของซีฟิ่งที่เคลือบแม่แบบให้มีความหนา 0.5 มม. เท่าๆกันโดยตลอด (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 การจุ่มแบบหล่อลงในซีฟิ่งเหลวที่อยู่ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

จากนั้นทำการตัดแต่งขอบซีฟิ่งด้านใกล้แก้ม (buccal) ให้สิ้นสุดที่เส้นขอบด้านนอกสุดของบ่ามน (cavo-surface margin) (รูปที่ 12) ตัดแต่งซีฟิ่งบริเวณอื่นให้มีรูปร่างโดยทั่วไปเหมาะสมสำหรับนำไปเหวี่ยงเป็นโครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนต่อไป

<sup>8</sup> Renfert Hilzingen

<sup>9</sup> Picodip , Renfert Hilzingen

<sup>10</sup> Hotty , Renfert Hilzingen



อนึ่งการตัดแต่งซี่ผึ้งบริเวณขอบนั้นจะทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (stereomicroscope) เพื่อให้ขอบของครอบฟันเป็นแนวเรียบคม และมีขอบเขตที่ชัดเจนมากที่สุดตั้งแต่ที่ยังเป็น โครงซี่ผึ้ง ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้สามารถปรับแต่งครอบฟันภายหลังจากที่เหวียงเป็นโครงโลหะแล้ว ให้ใส่เข้าที่แนบสนิทกับตัวฟันได้ง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 12 การตัดแต่งซี่ผึ้งบนแบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าสิ้นสุดที่ขอบนอกสุดของบ่ามน

ต่อมาจึงนำแบบซี่ผึ้ง (wax pattern) ที่ได้ ไปยึดกับแกนค้ำรูเท (sprue wax) และตัวก่อเบ้า (crucible former)<sup>11</sup> ขนาด 1 นิ้ว เพื่อนำไปลงปูนหล่อโลหะ (investment)<sup>12</sup> ที่ผสมอัตราส่วนผงและน้ำตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด คือ 100 ก. ต่อ 23 ม.ล. โดยใช้แบบซี่ผึ้ง 2 ตัว ต่อการลงปูนหล่อโลหะ 1 ชุด (1 ring) เพื่อให้มีการขยายตัวเนื่องจากการแข็งตัว (setting expansion) ของปูนหล่อโลหะอย่างเต็มที่ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในสภาพปกติที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) อย่างน้อย 45 นาที โดยไม่มีการรบกวนเพื่อให้แข็งตัวเต็มที่ จึงนำไปเผาใน

<sup>11</sup> Whipmix Corp. Kentucky U.S.A.

<sup>12</sup> Powercast , Whipmix Corp. Kentucky U.S.A.

เตาเผา<sup>13</sup> ที่อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วปรับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้น 8 °C / นาที จนกระทั่งอุณหภูมิ 430°C คงไว้ช้านาน 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 14 °C / นาที จนถึงอุณหภูมิ 800 °C แล้วคงอุณหภูมินี้ไว้ 30 นาที เพื่อไล่ซี้ผึ้งให้หมดไปและทำให้ปูนหล่อโลหะมีอุณหภูมิสูงพอสำหรับเทเวียงโลหะ จากนั้นจึงย้ายเข้าปูนหล่อโลหะจากเตาเผามาสู่เตาเทเวียงโลหะ<sup>14</sup> เพื่อเทเวียงโลหะ<sup>15</sup> ให้เป็นโครงของครอบฟันตามรูปร่างของซี้ผึ้งที่ได้ตัดแต่งไว้ในปูนหล่อโลหะต่อไป ซึ่งโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นโลหะไร้สกุล (base metal alloy) ประกอบด้วย

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
นิกเกิล (Ni)	59.3
โครเมียม (Cr)	24.0
โมลิบดีนัม (Mo)	10.0
เหล็ก (Fe)	< 2.0
แมงกานีส (Mn)	< 2.0
แทนทาลัม (Ta)	< 2.0
ซิลิกอน (Si)	< 2.0
นियोเบียม (Nb)	< 2.0

จุดหลอมเหลว.....1190 °C – 1300 °C

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน..... $14.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

เมื่อได้โครงโลหะ (รูปที่ 13) แล้ว นำมาตัดแกนค้ำรูปเทออกด้วยแผ่นคาร์บอนันดัม (carborandum disk) เสร็จแล้วจึงนำไปลองสวมบนแบบหล่อ ใช้หัวกรอเหล็กรูปกลม (steel round bur)<sup>16</sup> กรอแต่งจุดค้ำโดยใช้ ฟิตเช็กเกอร์ (fit checker)<sup>17</sup> ช่วยในการหาดำแหน่ง

<sup>13</sup> EWL 5636 , KaVo Germany

<sup>14</sup> Degussa , GmbH Germany

<sup>15</sup> Heranium NA , Heraeus Gulzer Germany

<sup>16</sup> Dedeco International Inc. New York U.S.A.

<sup>17</sup> GC Corporation , Tokyo Japan

จุดคำที่ต้องการการกรอบปรับเพื่อปรับให้โครงโลหะใส่ลงแบบหล่อได้เหมาะสมที่สุด ซึ่งการกรอบปรับแต่งทั้งหมดจะกระทำภายใต้กล้องขยาย (stereoscope) จากนั้นนำโครงโลหะมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาครอบฟัน (crown gauge) ให้หนา 0.5 มม. เท่ากันโดยตลอด หากหนาเกินไปก็กรอบออกด้วยหัวกรอคาร์ไบด์รูปทรง (cylinder carbide bur) สำหรับกรอโลหะ แต่หากบางเกินไปก็จะตัดโครงโลหะชิ้นนั้นออกจากการทดลอง จากนั้นขัดแต่งโครงโลหะทั้งหมดด้วยหัวขัดคาร์ไบด์ชนิดละเอียด แล้วนำไปล้างทำความสะอาดในน้ำไหลและนำไปล้างซ้ำอีกทีด้วยน้ำกลั่นในเครื่องเขย่าที่มีความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser) นาน 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกติดค้างออกจนหมด แล้วจึงนำโครงโลหะมาผึ่งให้แห้งก่อนนำไปเผาในขั้นตอนนี้ต่อไป



รูปที่ 13 แบบซีฟิ่งที่เหวี่ยงออกมาเป็นโครงโลหะแล้ว

การเผาโลหะเพื่อไล่ออกไฮดรอกไซด์ค้าง ทำโดยนำโครงโลหะไปเผาในชั้นบรรยากาศ (air fired) ที่อุณหภูมิ 980 °C นาน 5 นาที เมื่อนำออกจากเตาเผา (porcelain furnace)<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Tru-Fire , Jelenko New York U.S.A



แล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้เป็นสนิท จึงนำโครงโลหะมาเป่าทราย (sandblast) ด้วยผงอะลูมินา (alumina,  $Al_2O_3$ ) ขนาดอนุภาค 150  $\mu m$ . ที่ความดัน 80 psi และระยะห่าง 10 ม.ม. เพื่อกำจัดชั้นออกไซด์ที่ผิวของโครงโลหะ จากนั้นจึงนำมาล้างในน้ำไหลและล้างในเครื่องเขย่า ความถี่เหนือเสียงนาน 5 นาที นำโครงโลหะมาผึ่งไว้ให้แห้งเพื่อเตรียมสำหรับนำไปเคลือบพอร์ซเลนต่อไป (รูปที่ 14)



รูปที่ 14 โครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

ขั้นตอนในการเคลือบพอร์ซเลนลงบนโครงโลหะ (ซึ่งพอร์ซเลนที่ใช้ในการทดลองนี้คือ VMK 95<sup>19</sup> ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับ  $14.0-14.4 \times 10^{-6} / ^\circ C$  (รูปที่ 15) โดยขั้นแรกจะเป็นการทำพอร์ซเลนทึบแสงครั้งแรก (wash opaque) บนโครงโลหะ ซึ่งการทานี้จะต้องทำให้บางที่สุด จากนั้นจึงนำไปเผาในสุญญากาศ จุดประสงค์ของการทำขั้นตอนนี้ก็เพื่อเผาไล่สิ่งสกปรกตกค้างบนผิวโครงโลหะให้ผ่านออกจากชั้นพอร์ซเลนทึบแสงไป ทำให้เกิดชั้นออกไซด์ที่มีความสำคัญในการสร้างพันธะเคมีระหว่างโครงโลหะและพอร์ซเลน

<sup>19</sup> VMK 95 , VITA Zahnfabrik Bad Sackingen Germany

และช่วยหลอมอนุภาคของพอร์ซเลนเข้าด้วยกัน (sintering) เกิดการยึดติดของโครงโลหะและชั้นพอร์ซเลน ขั้นตอนต่อมาของการเคลือบพอร์ซเลนก็คือการทาพอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่สอง (opaque layer) การทำในขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อบังสีของโลหะไม่ให้ส่องผ่านพอร์ซเลนทึบแสงออกมาได้ ต่อจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการก่อตัวฟันขึ้นมา โดยใช้พอร์ซเลนเนื้อฟันและพอร์ซเลนเคลือบฟันแล้วจึงนำไปเผาตามอุณหภูมิและสภาวะที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต ส่วนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาพอร์ซเลนแต่ละขั้นตอนนี้ ดูได้จากตารางการเผา (firing table) ตารางที่ 1



รูปที่ 15 พอร์ซเลนสำหรับใช้เคลือบโลหะ

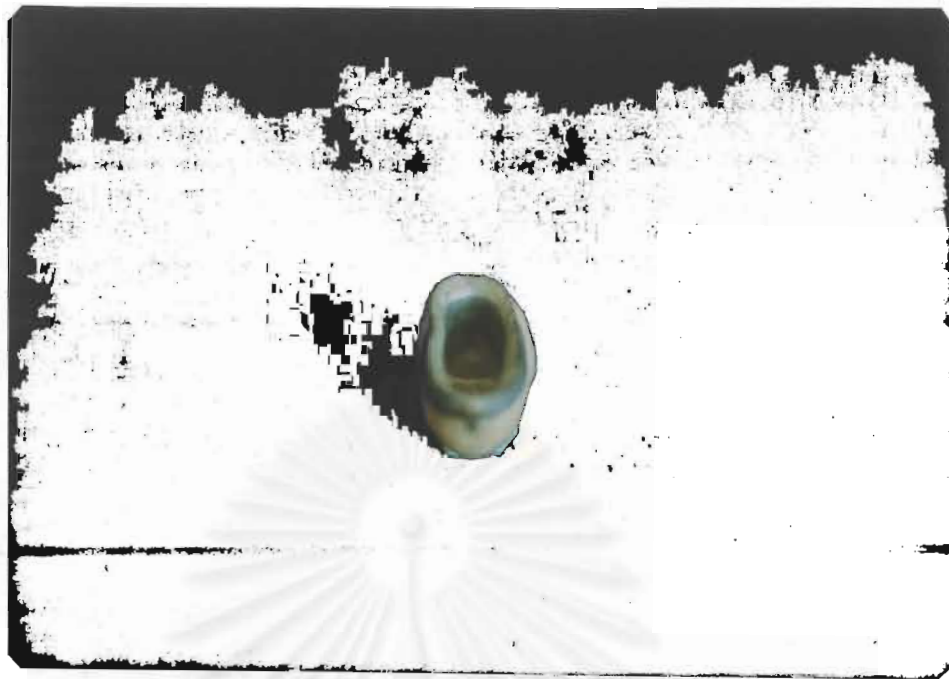
	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิเริ่มต้น	คงอุณหภูมิเริ่มต้น	เพิ่มให้ถึงอุณหภูมิ	คงอุณหภูมิสูงสุด	เผาในสุญ-
	( <sup>o</sup> C)	( <sup>o</sup> C)	ไว้นาน (นาที)	สูงสุดในเวลา (นาที)	ไว้นาน (นาที)	ญากาศ (นาที)
ออกซิเดชัน	980	600	0	4	5	-
พอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่ 1	960	600	6	6	1	6
พอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่ 2	950	600	6	6	1	6
เผาขอบครั้งที่ 1	940	600	6	6	1	6
เผาขอบครั้งที่ 2	940	600	6	6	1	6
เผาตัวฟันครั้งที่ 1	930	600	6	6	1	6
เผาตัวฟันครั้งที่ 2	920	600	6	6	1	6
เผาเคลือบ	930	600	4	3	1	-

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิ และ เวลาในการเผาพอร์ซเลน

เมื่อได้ชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีลักษณะรูปร่าง (contour) ถูกต้องเหมาะสม (รูปที่ 16) แล้ว นำมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาครอบฟันให้ได้ความหนาโดยทั่วไป 1.5 มม. เท่ากันโดยตลอด ส่วนด้านเบตเคียวให้มีความหนา 2.0 มม. โดยใช้หัวกรอหินสำหรับกรอพอร์ซเลนกรอแต่ง เมื่อได้ความหนาและรูปร่างที่ต้องการแล้ว ใช้หัวกรอหินชนิดละเอียดขัดแต่งให้เรียบร่อนจากนั้นจึงนำไปล้างทำความสะอาดและนำไปผ่านกระบวนการเผาเคลือบ (glaze) ด้วยการทาน้ำยาเคลือบ<sup>20</sup> แล้วนำไปเผาในอุณหภูมิและสภาพที่กำหนดในตารางที่ 1 อีกเป็นขั้นตอนสุดท้าย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>20</sup> VMK 95, VITA Zahnfabrik Bad Sackingen Germany



รูปที่ 16 ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

เมื่อผ่านการเคลือบแล้วจึงนำครอบฟันมาลองสวมกับฟันที่จะครอบให้ตรงซึ่ง ตรวจสอบความแนบสนิทของขอบโดยรอบ หากขอบครอบฟันไม่แนบสนิทก็อาจต้องมีการกรอปรับแต่งพื้นผิวด้านในของครอบฟันเล็กน้อยโดยใช้ฟิตเช็กเกอร์ช่วยในการหาตำแหน่งจุดสูงที่ต้องกรอปรับ เมื่อลองครอบฟันเรียบร้อยแล้ว นำครอบฟันไปเป่าทรายที่พื้นผิวด้านใน เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและออกไซด์ส่วนเกิน โดยเป่าทรายที่อนุภาคอะลูมินา 50  $\mu\text{m}$ . ระยะห่าง 10 ม.ม. และความดัน 80 psi จากนั้นจึงนำมาล้างทำความสะอาดในน้ำไหลแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียงนาน 5 นาที จึงนำขึ้นมาเป่าให้แห้งด้วยลมสะอาดปราศจากไอน้ำและน้ำมัน เพื่อเตรียมไว้สำหรับยึดเข้ากับตัวฟันด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆต่อไป

#### การเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 2 (ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน)

นำแม่แบบที่ทำสารคั่นกลางแล้วไปจุ่มในซีฟิ่งเหลวและตัดแต่งให้ได้ความหนา 0.5 ม.ม. เท่ากันโดยตลอดตามที่กำหนดและมีรูปร่างโดยทั่วไปเหมาะสมสำหรับนำไปเหวี่ยงเป็นโครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนตามขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 1

แต่สิ่งที่แตกต่างออกไปคือ การตัดแต่งขอบซี่ฝังบริเวณด้านหน้าให้สิ้นสุดที่เส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังตามแกนกับผนังในแนวเหืองอก (axio-gingival line angle) (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 การตัดแต่งซี่ฝังบนแบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าสิ้นสุดที่เส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังในแนวแกนกับผนังในแนวเหืองอก

จากนั้นจึงนำแบบซี่ฝังที่ได้ ไปเปลี่ยนให้เป็นโครงโลหะ กรอแต่ง ทำการเผาไล่ออกไซด์ ตกค้าง และทำความสะอาด (รูปที่ 18)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 18 โครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

ต่อมาจึงนำไปผ่านกระบวนการเคลือบวอชโอเพค และพอร์ซเลนที่บดแสง ตามกรรมวิธีในการเตรียมขึ้นครอบฟันส่วนที่ 1 เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้แล้ว ยังไม่สามารถที่จะก่อพอร์ซเลนเนื้อฟันและพอร์ซเลนปลายฟันได้ในทันทีเหมือนกับการเตรียมขึ้นงานส่วนที่ 1 เนื่องจากโครงโลหะในส่วนที่ 2 นี้ไม่มีส่วนของโลหะที่ยาวเลยออกมารองรับพอร์ซเลนบริเวณปากมนทางด้านหน้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนของการสร้างขอบด้านแก้ม (buccal margin) ของครอบฟันด้วยวิธีการซึ่งเรียกว่า ไตเรคท์ลิฟท์ (direct-lift method) วัสดุที่จำเป็นมากสำหรับวิธีนี้ก็คือสารคั่นกลาง (separating media)<sup>21</sup> ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้พอร์ซเลนเกาะติดกับแบบหล่อและอาจขาดเวลาตั้งโครงโลหะขึ้นจากแบบหล่อ ส่วนวัสดุสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือพอร์ซเลนขอบ (margin porcelain)<sup>22</sup> ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับวิธีนี้โดยเฉพาะ นอกจากนั้นยังมีการควบแน่นพอร์ซเลน (porcelain condensation) ซึ่งสำคัญมากเพราะจะต้องควบแน่นพอร์ซเลนขอบก่อนที่จะนำไปเผาให้ดีที่สุด เพื่อลดการหดตัวขณะหลอม (sintering shrinkage) ของพอร์ซเลน

<sup>21</sup> Cerama-Sep , Belle de St. Claire

<sup>22</sup> VMK 95 , VITA Zahnfabrik Bad Sackingen Germany

แต่อย่างไรก็ตามพอร์ซเลนก็ยังคงมีการหดตัวอยู่ ดังจะเห็นได้ว่าหลังจากเผาพอร์ซเลนขอบครั้งแรกจะมีร่องบริเวณขอบ (marginal discrepancy) ขนาดประมาณ 0.2-0.3 มม. ซึ่งเกิดเนื่องจากพอร์ซเลนมีการหดตัวเชิงเส้น (linear firing shrinkage) ประมาณร้อยละ 15 จึงต้องทำการเติมพอร์ซเลนขอบลงบนร่องที่ขาด จากนั้นจึงนำไปเผาซ้ำ หลังจากการเผาครั้งที่ 2 นี้แล้ว พอร์ซเลนขอบจะมีการหดตัวเพียงแค่ 30-45  $\mu\text{m}$ . เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แต่ถ้ามีการหดตัวเกิดขึ้นจนมองเห็นได้ด้วยตา ก็ควรจะเติมพอร์ซเลนซ้ำใหม่ ต่อจากนั้นจึงเป็นขั้นตอนของการสร้างตัวฟันขึ้นมาด้วยพอร์ซเลนเนื้อฟัน และพอร์ซเลนเคลือบฟัน แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการเคลือบเป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังการเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 1 ส่วนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาพอร์ซเลนแต่ละขั้นตอนนั้นดูได้จากตารางการเผา (firing table) ตารางที่ 1

เมื่อได้ชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีรูปร่างลักษณะถูกต้องเหมาะสมตามที่กำหนดแล้ว (รูปที่ 19) จึงนำมาตรวจตราความเรียบร้อยและทำความสะอาด เพื่อเตรียมไว้สำหรับยึดเข้ากับตัวฟันด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆตามขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 1



รูปที่ 19 ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

### การเตรียมขึ้นครอบฟันในส่วนที่ 3 (ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนรุ่น โครงโลหะ 1 ม.ม.)

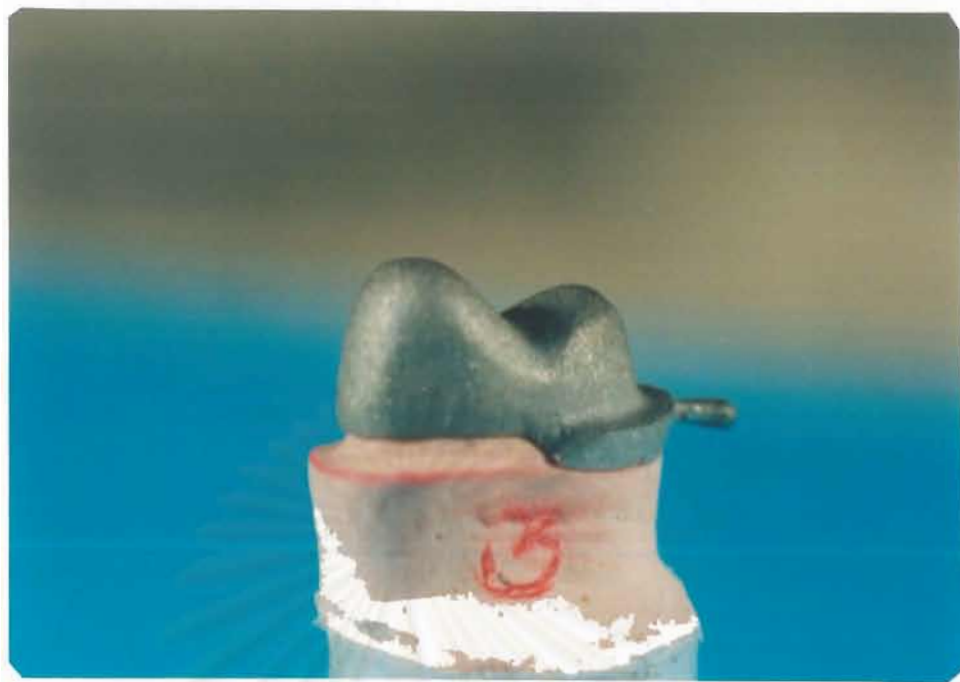
วิธีการกรอแต่งฟัน การเตรียมแม่แบบสำหรับแต่งซี่ฟัน และการแต่งซี่ฟันโดยทั่วไป  
เหมือนกับการเตรียมขึ้นครอบฟันในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 แต่สิ่งที่แตกต่างออกไปคือ  
การตัดแต่งขอบซี่ฟันบริเวณด้านหน้าให้ลื่นสุดเหนือเส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังตามแนวแกนกับ  
ผนังตามแนวเหวี่ยงที่ขอบด้านในของบ่ามันขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. (รูปที่ 20)



รูปที่ 20 การตัดแต่งซี่ฟันบนแม่แบบหล่อให้มีขอบทางด้านหน้าลื่นสุดเหนือเส้นมุมรอยต่อ  
ระหว่างผนังในแนวแกนกับผนังในแนวเหวี่ยงขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

จากนั้นจึงนำแบบซี่ฟันที่ได้ไปเปลี่ยนให้เป็นโครงโลหะ กรอแต่ง ทำการเผาไล่ออกไซด์  
ตกค้างและทำความสะอาดตามกรรมวิธีในการเตรียมขึ้นครอบฟันส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2  
(รูปที่ 21)





รูปที่ 21 โครงโลหะของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน  
ที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

จากนั้นจึงนำมาเคลือบพอร์ซเลนลงบนโลหะตามขั้นตอนที่ได้กระทำในส่วนที่ 2  
ดังต่อไปนี้ คือ ขั้นแรกเป็นการทาวอชโอเพคบนโครงโลหะ ต่อมาจึงเป็นการทาพอร์ซเลนทึบ  
แสง การก่อพอร์ซเลนขอบครั้งที่ 1 การก่อพอร์ซเลนขอบครั้งที่ 2 การสร้างตัวฟันและปลายฟัน  
การแก้ไขรูปร่างฟันครั้งสุดท้าย และการเผาเคลือบ (รูปที่ 22)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 22 ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน  
ที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

จากนั้นจึงนำมาตรวจตราความเรียบร้อยและทำความสะอาดเพื่อเตรียมไว้สำหรับยึดเข้ากับตัวฟันด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆตามขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2

#### การยึดครอบฟันกับตัวฟันด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ

การเตรียมตัวฟันก่อนจะยึดด้วยซีเมนต์ เริ่มจากนำฟันมาขัดทำความสะอาดด้วยถ้วยยางจุ่มผงฟิวมิสผสมน้ำกลั่น จากนั้นฉีดน้ำล้างและเป่าพอดหมด ๆ ด้วยลมสะอาด แบ่งฟันและครอบฟันเพื่อยึดกับซีเมนต์ตามกลุ่มที่กำหนดดังนี้

กลุ่ม 1ก 2ก และ 3ก ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์<sup>23</sup> (รูปที่ 23) โดยการซั่งผงซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ 0.290 ก. วางบนแผ่นแก้วผสม (glass slab) แบ่งเป็นกอง ๆ กองละ 1/2 , 1/4 และ 1/8 หยดส่วนเหลวลงข้างๆ 0.10 ม.ล. (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) เกลี่ยส่วนผงเข้าผสมที่ละกองเริ่มจากกองละ 1/8 ก่อน ผสมเป็นวงกว้างๆ ค่อย ๆ เพิ่มส่วนผงที่ละกอง จนได้ความหนืดของซีเมนต์ตามต้องการคือ เมื่อใช้พาย (spatula) ตะ

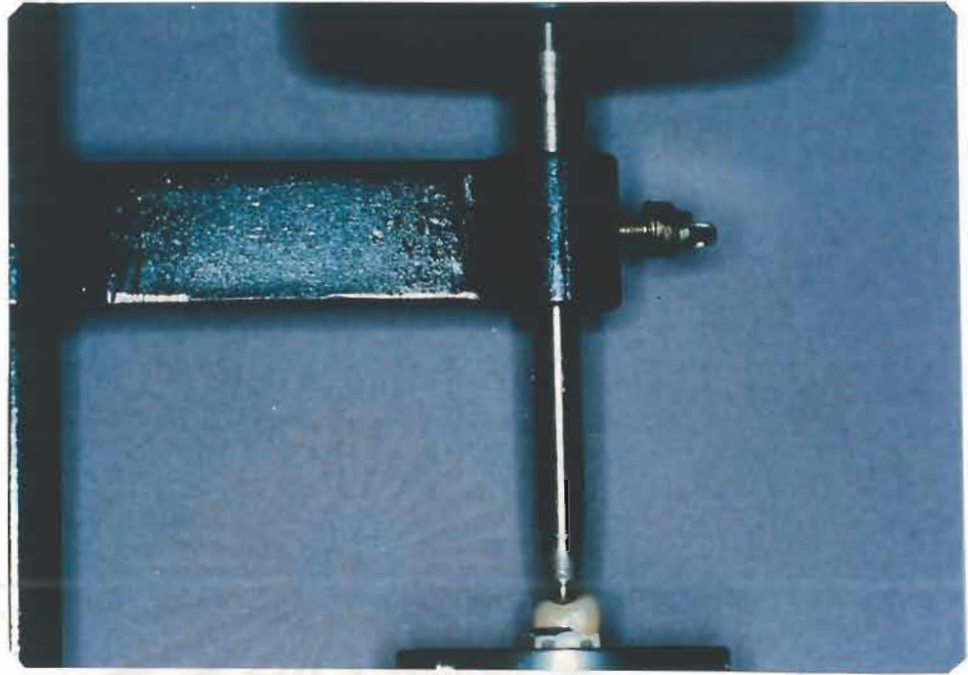
<sup>23</sup> Hy-Bond , Shofu Kyoto Japan

ซีเมนต์ยักขึ้นในแนวตั้งสูง 1 นิ้ว ซีเมนต์จะเกาะเป็นสายโดยไม่ขาด จึงปาดซีเมนต์ใส่ครอบฟัน แล้วนำไปสวมลงบนฟัน รวมเวลาดังแต่เริ่มผสมไม่ควรเกิน 3 นาที จากนั้นนำไปกดบน เครื่องกดด้วยแรงคงที่ 25 นิวตัน นาน 10 นาที จนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ (รูปที่ 24)



รูปที่ 23 ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์สำหรับใช้ยึดครอบฟันกับตัวฟัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 24: ครอบฟันที่ถูกยึดกับตัวฟันด้วยซีเมนต์แล้ว  
และนำไปกดด้วยแรงคงที่ 25 นิวตัน

กลุ่ม 1ข 2ข และ 3ข ยึดด้วยพอลิคาร์บอเนตซีเมนต์<sup>24</sup> (รูปที่ 25) โดยการชั่งส่วนผงของพอลิคาร์บอเนตซีเมนต์ 0.200 ก. วางลงบนแผ่นแก้วสำหรับผสม ซึ่งส่วนเหลวของซีเมนต์หยดลงข้างๆ ส่วนผง 0.200 ก. (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) เคลือบส่วนผงทั้งหมดเข้าผสมกับส่วนเหลวในครั้งเดียว ใช้เวลาในการผสมทั้งหมดไม่เกิน 30 วินาที ปาดซีเมนต์ใส่ในครอบฟันแล้วนำไปสวมบนฟัน รวมเวลาดังแต่เริ่มผสมจนกระทั่งสวมครอบฟันลงบนฟันได้เข้าที่ ไม่เกิน 2 นาทีจากนั้นนำไปกดด้วยแรงคงที่ 25 นิวตัน นาน 10 นาทีจนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>24</sup> Durelon , ESPE GmbH Germany



รูปที่ 25 พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์สำหรับการยึดครอบฟัน

กลุ่ม 1ค 2ค และ 3ค ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์<sup>25</sup> (รูปที่ 26) โดยการเตรียมพื้นผิวของตัวฟันที่จะทำการครอบดังนี้คือ นำฟันที่ขัดด้วยผงฟิวมิสผสมน้ำเปล่าและล้างสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาทาด้วยสารปรับสภาพผิวที่อยู่ในชุดเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่จะใช้ยึด (Fuji Plus conditioner) ทิ้งไว้ 20 วินาที จึงล้างออกด้วยน้ำสะอาดและเป่าลมเบาๆพอแห้ง ซึ่งส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 0.200 ก. วางลงบนแผ่นกระดาษสำหรับผสม ซึ่งส่วนเหลวของซีเมนต์หยดลงข้างๆส่วนผง 0.100 ก. (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) เกลี่ยส่วนผงทั้งหมดเข้าผสมกับส่วนเหลวในครั้งเดียว ใช้เวลาผสมทั้งหมดไม่เกิน 20 วินาที ปาดซีเมนต์ใส่ในครอบฟันแล้วนำไปสวมบนฟัน กัดครอบฟันให้เข้าที่ภายใน 30 วินาทีหลังจากผสมเสร็จ จากนั้นนำไปกดด้วยแรงคงที่ 25 นิวตัน นาน 10 นาทีจนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่

<sup>25</sup> Fuji II Plus , GC Corp. U.S.A.





รูปที่ 26 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สำหรับการยึดครอบฟัน

กลุ่ม 1ง 2ง และ 3ง ยึดด้วยเรซินซีเมนต์<sup>26</sup> (รูปที่ 27) เตรียมพื้นผิวด้านในของครอบฟันส่วนที่เป็นพอร์ซเลน โดยการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 65 (65% aqueous solution of phosphoric acid) นาน 60 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำและเป่าให้แห้ง ตามด้วยทาซีเลนอนดิงเอเจนท์ (silane bonding agent) ทิ้งไว้ 60 วินาที ใช้ลมสะอาดเป่าให้แห้ง ส่วนการเตรียมตัวฟันที่จะครอบทำได้ดังนี้คือ นำฟันที่ขัดผิวและล้างสะอาดแล้ว มาทาด้วยตัวเร่งสีเขียว (green activator) ซึ่งอยู่ในชุดของเรซินซีเมนต์ นาน 10 วินาที ตัวเร่งสีเขียวนี้ประกอบด้วยกรดซิตริก และเฟอริกคลอไรด์ (10% citric acid & 3% ferric chloride) จากนั้นล้างออกด้วยน้ำและเป่าลมพอแห้ง เมื่อเตรียมพื้นผิวของทั้งครอบฟันและตัวฟันเสร็จแล้ว จึงผสมเรซินซีเมนต์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตนั้นคือ หนดยด์โมโนเมอร์ (monomer) ลงในจานหลุมที่เตรียมไว้ 4 หยด แล้วตามด้วยหนดยด์ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) 1 หยด ใช้พู่กันคนพอเข้ากัน จากนั้นชั่งผงโพลิเมอร์ (polymer) 0.180 ก. ใส่ลงในหลุมที่มีส่วนผสมของโมโนเมอร์และตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ คนเบาๆพอเข้ากัน แล้วใช้พู่กันนั้นป้ายส่วนผสมของเรซินซีเมนต์มาเคลือบที่พื้นผิวด้านในของครอบฟันอย่างรวดเร็ว

<sup>26</sup> Super Bond C&B , Sun medical Japan

จากนั้นจึงสวมครอบฟันลงบนตัวฟันโดยทันที ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้สวมครอบฟันเข้าที่ แนบสนิทดีแล้วจึงนำฟันที่ครอบแล้วไปกดด้วยเครื่องกดที่แรงคงที่ 25 นิวตัน นาน 10 นาที จนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่



รูปที่ 27 เรซินซีเมนต์สำหรับใช้ในการยึดครอบฟัน

หลังจากนั้นจึงนำครอบฟันทั้งหมดมาเก็บในตู้ที่มีความชื้นร้อยละ 60 และ อุณหภูมิ 37 °C นาน 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปทดสอบการรับแรงต่อไป

#### การทดสอบความสามารถในการรับแรง

นำชิ้นงานที่เตรียมไว้มายึดกับแป้นที่มีพื้นเอียง 10° โดยให้ด้านใกล้แก้มเอียงลงต่ำ จากนั้นนำมาติดตั้งบนเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine)<sup>27</sup> ที่มีหัวกดเป็น ลูกกลมโลหะแข็ง (hardened steel ball) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.76 มม. ปรับให้หัวกดตกลงบนกึ่งกลางด้านบดเคี้ยวของฟันโดยใช้กระดาษบันทึกการกดสบ (articulating paper) ช่วย

<sup>27</sup> Model 5583, Instron Corporation Canton Massachusetts U.S.A.

ในการปรับให้หัวกดแตะกับฟันทั้ง 2 จุด คือบริเวณพื้นเอียงของด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้น ด้วยน้ำหนักที่เท่า ๆ กัน (รูปที่ 28) จึงเดินเครื่องทดสอบให้กดน้ำหนักลงบนด้านบดเคี้ยวด้วยความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวกด (crosshead speed) 0.5 ม.ม.ต่อนาทีจนกระทั่งขึ้นงานเกิดการแตกหักขึ้น บันทึกน้ำหนักที่จุดแตกหัก (fracture point load) ไว้เป็นนิวตัน (N.)

นำค่าของน้ำหนักที่ใช้กดจนครอบฟันแตกหักทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยใช้วิธี Oneway Analysis of Variance (ANOVA) และวิธี Tukey's test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่มว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (confidence level 95% ,  $\alpha = 0.05$ )



รูปที่ 28 การทดสอบความต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบสากล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



	คัดเลือกฟัน และ แบ่งกลุ่ม จากนั้นนำม ยัดด้วย เรซินอะคริลิก เพื่อเป็นที่จับยึด	กรอแต่งฟันให้มีเส้น- สิ้นสุดเป็นปามน 90 องศา กว้าง 1.2 มม. และมี ความสูงของผนัง 4 มม.	นำฟันแต่ละซี่ มาพิมพ์ด้วย วัสดุพิมพ์ปาก และเทด้วย พลาสติกอร์ทีน จากนั้น- ทาด้วยสารช่วยแข็ง และ สารก่อช่องว่าง เพื่อเตรียม ไว้เป็นแม่แบบสำหรับทำงาน	นำแม่แบบมาเคลือบด้วยซีฟิ่ง และ ตัดแต่งให้ได้ความหนาและรูปร่าง ตามที่กำหนด	นำแบบซีฟิ่งไปลงปูน สำหรับหล่อโลหะ เพื่อ เปลี่ยนให้เป็นโครงโลหะ สำหรับครอบฟันโลหะ- เคลือบพอร์ซเลน	ขัดแต่งโครงโลหะให้ได้ความหนา ตามที่กำหนดไว้ จากนั้น นำมา ผ่านกระบวนการเคลือบ พอร์ซเลน	ปรับแต่งให้มีความหนา ตามที่กำหนด จากนั้น นำไปเผาเคลือบ เป็น ขั้นตอนสุดท้าย	ยึดด้วยซีเมนต์ ต่างชนิดกัน ตามกลุ่มที่ได้ กำหนดไว้
ส่วนที่ 1	✓	✓	✓	ขอบซีฟิ่งด้านหน้าสิ้นสุดที่เส้นขอบ ด้านนอกของปามน	✓	สามารถก่อเป็นตัวฟันขึ้นมาได้เลย โดยไม่ต้องสร้างขอบพอร์ซเลนก่อน	✓	✓
ส่วนที่ 2	✓	✓	✓	ขอบซีฟิ่งด้านหน้า สิ้นสุดที่เส้นมุม รอยต่อระหว่างผนังตามแกน กับ ผนังในแนวเฉียง	✓	ไม่สามารถก่อเป็นตัวฟันขึ้นมาได้ ต้องมีการสร้างขอบพอร์ซเลน ขึ้นมาก่อน ด้วยวิธี ไดรเรคท์-ลิฟท์	✓	✓
ส่วนที่ 3	✓	✓	✓	ขอบซีฟิ่งด้านหน้า สิ้นสุดเหนือ เส้นมุมรอยต่อระหว่างผนัง- ตามแกนและผนังในแนวเฉียง สูงขึ้นมาทางด้านตัวฟัน 1 มม.	✓	ไม่สามารถก่อเป็นตัวฟันขึ้นมาได้ ต้องมีการสร้างขอบพอร์ซเลน ขึ้นมาก่อน ด้วยวิธี ไดรเรคท์-ลิฟท์	✓	✓

ตารางที่ 2 สรุปขั้นตอนในการเตรียมครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีขอบแตกต่างกัน 3 แบบ

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน 3 แบบที่มีความยาวของโครงโลหะที่รองรับทางด้านหน้าแตกต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นกลุ่มครอบฟันขอบโลหะ ส่วนที่ 2 เป็นกลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลน และส่วนที่ 3 เป็นครอบฟันขอบพอร์ซเลนหน้าโครงโลหะ 1 ม.ม. ซึ่งครอบฟันในแต่ละส่วนยังถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ อีก 4 กลุ่ม โดยการนำมายึดด้วยซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟันที่ชนิดต่างกัน 4 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิดที่มีต่อความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟัน จากนั้นจึงนำชิ้นงานทดลอง ไปทดสอบในเครื่องทดสอบสากล ที่มีน้ำหนักสูงสุดของหัวกด 5 กิโลนิวตัน และความเร็วของการเคลื่อนที่ 0.5 ม.ม.ต่อนาที บันทึกค่าความต้านทานต่อการแตกหัก ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนของแต่ละกลุ่มเป็นนิวตัน (N.) ไว้ในตารางที่ 3 ถึง ตารางที่ 9 รูปที่ 29 ถึง รูปที่ 37 ส่วนค่าทางสถิติและความแตกต่างทางสถิติของกลุ่มทดลองต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 10 และ ตารางที่ 11 ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

#### ตอนที่ I เปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละส่วน

ผลการทดลองในส่วนที่ 1 (กลุ่ม 1ก กลุ่ม 1ข กลุ่ม 1ค และ กลุ่ม 1ง)

ซึ่งเป็นครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะที่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ที่ต่างกัน 4 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (กลุ่ม 1ก=2180.29±388.98 N.) พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (กลุ่ม 1ข=2024.45±279.15 N.) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (กลุ่ม 1ค =2170.95±451.97 N.) และ เรซินซีเมนต์ (กลุ่ม 1ง=2305.38±234.56 N.) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความต้านทานต่อการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ผลการทดลองในส่วนที่ 2 (กลุ่ม 2ก กลุ่ม 2ข กลุ่ม 2ค และ กลุ่ม 2ง)

ซึ่งเป็นกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนและถูกยึดด้วยซีเมนต์ต่างชนิดกัน พบว่า ในกลุ่มที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่สูงมาก โดยกลุ่มที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (กลุ่ม 2ค =  $2360.37 \pm 262.94$  N.) มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่สูงที่สุด และกลุ่มที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ (กลุ่ม 2ง =  $2310.43 \pm 440.58$  N.) จะมีการร่อนลงมา และทั้ง 2 กลุ่มนี้จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนกลุ่มที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ (กลุ่ม 2ข =  $1860.24 \pm 246.52$  N.) และ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (กลุ่ม 2ก =  $1508.22 \pm 225.87$  N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในระดับต่ำ โดยกลุ่มที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่ากลุ่มที่มีค่าอยู่ในระดับสูงทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักไม่ต่างจากกลุ่มที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลการทดลองในส่วนที่ 3 (กลุ่ม 3ก กลุ่ม 3ข กลุ่ม 3ค และ กลุ่ม 3ง)

ซึ่งเป็นกลุ่มกรอบพื้นขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. และถูกยึดด้วยซีเมนต์ต่างชนิดกัน พบว่า ในกลุ่มที่ถูกยึดด้วยเรซินซีเมนต์ (กลุ่ม 3ง =  $2120.17 \pm 530.58$  N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่สูงที่สุด และสูงกว่าอีก 2 กลุ่มที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (กลุ่ม 3ก =  $1367.47 \pm 345.29$  N.) และพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ (กลุ่ม 3ข =  $1275.15 \pm 258.34$  N.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนกลุ่มที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์ (กลุ่ม 3ข) ถึงแม้จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่ต่ำที่สุด แต่ก็ไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกับกลุ่มที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (กลุ่ม 3ก) และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (กลุ่ม 3ค =  $1752.85 \pm 248.14$  N.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

## ตอนที่ II เปรียบเทียบผลการทดลองตามชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ยึด

เมื่อใช้ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์เป็นตัวยึด (กลุ่ม 1ก กลุ่ม 2ก และ กลุ่ม 3ก)

พบว่า กลุ่มครอบฟันขอบโลหะ (กลุ่ม 1ก =  $2180.29 \pm 388.98$  N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักสูงที่สุด และสูงกว่ากลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลน (กลุ่ม 2ก =  $1508.22 \pm 225.87$  N.) และครอบฟันขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ก =  $1367.47 \pm 345.29$  N.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกันในกลุ่มครอบฟันชนิดขอบพอร์ซเลนทั้ง 2 แบบ คือ กลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน (กลุ่ม 2ก) และครอบฟันขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ก) ไม่พบว่ามีค่าความแตกต่างของความต้านทานต่อการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

เมื่อใช้พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์เป็นตัวยึด (กลุ่ม 1ข กลุ่ม 2ข และ กลุ่ม 3ข)

พบว่า ในกลุ่มครอบฟันขอบโลหะ (กลุ่ม 1ข =  $2024.45 \pm 279.15$  N.) และกลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลน (กลุ่ม 2ข =  $1860.24 \pm 246.52$  N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในระดับสูง โดยกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักสูงที่สุด และไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลนที่มีค่าสูงรองลงมา ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มที่กล่าวมาแล้วนี้ จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักสูงมากกว่ากลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ข =  $1275.15 \pm 258.34$  N.) ที่มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

เมื่อใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นตัวยึด (กลุ่ม 1ค กลุ่ม 2ค และ กลุ่ม 3ค)

พบว่า กลุ่มครอบฟันขอบพอร์ซเลน (กลุ่ม 2ค =  $2360.37 \pm 262.94$  N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักสูงที่สุด แต่ก็ไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกลุ่มครอบฟันขอบโลหะที่มีค่าสูงรองลงมา (กลุ่ม 1ค =  $2170.95 \pm 451.97$  N.) ส่วนครอบฟัน

ขอบพอร์ชเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ค=1752.85±248.14 N.) จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักต่ำที่สุดและต่ำกว่ากลุ่มครอบฟันขอบพอร์ชเลน (กลุ่ม 2ค) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

เมื่อใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด (กลุ่ม 1ง กลุ่ม 2ง และ กลุ่ม 3ง)

พบว่า ครอบฟันที่มีความยาวโลหะบริเวณขอบแตกต่างกันทั้ง 3 แบบ มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในระดับสูง โดยที่กลุ่มครอบฟันขอบพอร์ชเลน จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักสูงที่สุด (กลุ่ม 2ง=2310.43±440.58 N.) รองลงมาคือกลุ่มครอบฟันขอบโลหะ (กลุ่ม 1ง=2305.38±234.56 N.) และกลุ่มครอบฟันขอบพอร์ชเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ง=2120.17±530.58 N.) ตามลำดับ โดยที่ทั้ง 3 กลุ่มนี้มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่สูงมาก และไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 3 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ชนิดขอบโลหะ

	กลุ่ม 1ก	กลุ่ม 1ข	กลุ่ม 1ค	กลุ่ม 1ง
	2184.87	2231.78	1676.32	2373.90
	2217.61	2107.34	1767.13	2318.87
	1839.42	2648.82	1817.14	2413.37
	2004.07	1959.19	1654.95	1874.75
	2191.42	1904.81	2455.97	1950.61
	2158.68	2067.96	2465.18	2463.60
	2584.45	2013.58	1893.96	2514.95
	1377.42	1936.51	2436.27	2566.30
	2540.32	1632.89	2813.16	2410.64
	2704.63	1741.66	2729.46	2166.79
ค่าเฉลี่ย	2180.29	2024.45	2170.95	2305.38
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	388.98	279.15	451.97	234.56

กลุ่ม 1ก - ยึดด้วย ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

กลุ่ม 1ข - ยึดด้วย พอลิคาร์บอกซีเลตซีเมนต์

กลุ่ม 1ค - ยึดด้วย กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลุ่ม 1ง - ยึดด้วย เรซินซีเมนต์

ตารางที่ 4 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของกรอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

	กลุ่ม 2ก	กลุ่ม 2ข	กลุ่ม 2ค	กลุ่ม 2ง
	1904.27	2098.66	2176.53	2864.45
	1736.85	1985.73	2038.07	2617.51
	1705.01	2040.51	2105.83	2450.04
	1418.44	2018.18	2752.90	2846.45
	1092.85	1924.21	2530.07	2315.16
	1513.96	1690.35	2390.67	2143.68
	1482.12	1807.91	2247.24	2242.84
	1424.72	2075.55	2317.95	1861.48
	1417.41	1327.87	2812.89	1414.01
	1386.59	1633.45	2231.57	2348.68
ค่าเฉลี่ย	1508.22	1860.24	2360.37	2310.43
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	225.87	246.52	262.94	440.58

สถาบันวิจัยและพัฒนา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่ม 2ก - ยึดด้วย ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์  
 กลุ่ม 2ข - ยึดด้วย พอลิคาร์บอกซีเลตซีเมนต์  
 กลุ่ม 2ค - ยึดด้วย กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์  
 กลุ่ม 2ง - ยึดด้วย เรซินซีเมนต์



ตารางที่ 5 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกรันโครงโลหะรองรับทางด้านหน้าขึ้นไป 1 ม.ม.

	กลุ่ม 3ก	กลุ่ม 3ข	กลุ่ม 3ค	กลุ่ม 3ง
	2002.38	1456.97	2088.13	2649.15
	1052.52	1874.23	1631.29	2703.43
	1838.46	1128.94	1624.37	2844.47
	1132.80	989.66	1907.08	2061.20
	1314.58	1032.42	1346.75	2462.62
	1268.21	1310.30	1956.44	1353.77
	920.49	1253.11	1422.60	1748.98
	1152.63	1392.78	2014.56	1421.14
	1528.30	1116.35	1735.06	2063.38
	1464.28	1196.81	1802.31	1893.59
ค่าเฉลี่ย	1367.47	1275.15	1752.85	2120.17
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	345.29	258.34	248.14	530.58

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่ม 3ก - ยึดด้วย ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์  
 กลุ่ม 3ข - ยึดด้วย พอลิคาร์บอเนตซีเมนต์  
 กลุ่ม 3ค - ยึดด้วย กระจกไอโอนแมอร์ซีเมนต์  
 กลุ่ม 3ง - ยึดด้วย เรซินซีเมนต์

ตารางที่ 6 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

	กลุ่ม 1ก	กลุ่ม 2ก	กลุ่ม 3ก
	2184.87	1904.27	2002.38
	2217.61	1736.85	1052.52
	1839.42	1705.01	1838.46
	2004.07	1418.44	1132.80
	2191.42	1092.85	1314.58
	2158.68	1513.96	1268.21
	2584.45	1482.12	920.49
	1377.42	1424.72	1152.63
	2540.32	1417.41	1528.30
	2704.63	1386.59	1464.28
ค่าเฉลี่ย	2180.29	1508.22	1367.47
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	388.98	225.87	345.29

กลุ่ม 1ก - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

กลุ่ม 2ก - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

กลุ่ม 3ก - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

ตารางที่ 7 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกรีเลตซีเมนต์

	กลุ่ม 1ข	กลุ่ม 2ข	กลุ่ม 3ข
	2231.78	2098.66	1456.97
	2107.34	1985.73	1874.23
	2648.82	2040.51	1128.94
	1959.19	2018.18	989.66
	1904.81	1924.21	1032.42
	2067.96	1690.35	1310.30
	2013.58	1807.91	1253.11
	1936.51	2075.55	1392.78
	1632.89	1327.87	1116.35
	1741.66	1633.45	1196.81
ค่าเฉลี่ย	2024.45	1860.24	1275.15
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	279.15	246.52	258.34

กลุ่ม 1ข - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

กลุ่ม 2ข - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

กลุ่ม 3ข - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

ตารางที่ 8 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยกาส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

	กลุ่ม 1ค	กลุ่ม 2ค	กลุ่ม 3ค
	1676.32	2176.53	2088.13
	1767.13	2038.07	1631.29
	1817.14	2105.83	1624.37
	1654.95	2752.90	1907.08
	2455.97	2530.07	1346.75
	2465.18	2390.67	1956.44
	1893.96	2247.24	1422.60
	2436.27	2317.95	2014.56
	2813.16	2812.89	1735.06
	2729.46	2231.57	1802.31
ค่าเฉลี่ย	2170.95	2360.37	1752.85
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	451.97	262.94	248.14

กลุ่ม 1ค - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

กลุ่ม 2ค - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

กลุ่ม 3ค - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

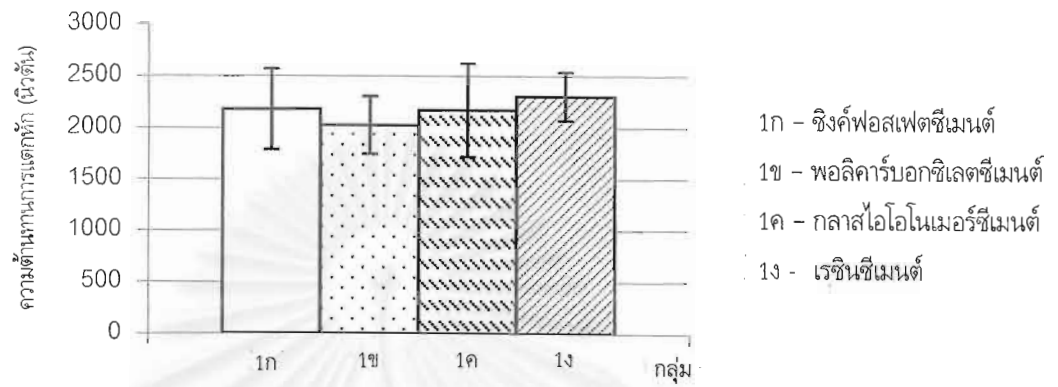
ตารางที่ 9 แสดงค่าความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
ทั้ง 3 แบบ ที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์

	กลุ่ม 1ง	กลุ่ม 2ง	กลุ่ม 3ง
	2373.90	2864.45	2649.15
	2318.87	2617.51	2703.43
	2413.37	2450.04	2844.47
	1874.75	2846.45	2061.20
	1950.61	2315.16	2462.62
	2463.60	2143.68	1353.77
	2514.95	2242.84	1748.98
	2566.30	1861.48	1421.14
	2410.64	1414.01	2063.38
	2166.79	2348.68	1893.59
ค่าเฉลี่ย	2305.38	2310.43	2120.17
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	234.56	440.58	530.58

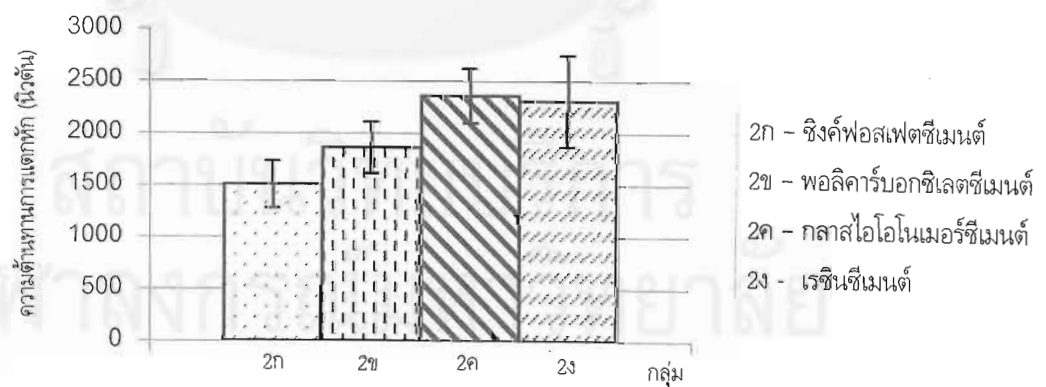
กลุ่ม 1ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

กลุ่ม 2ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

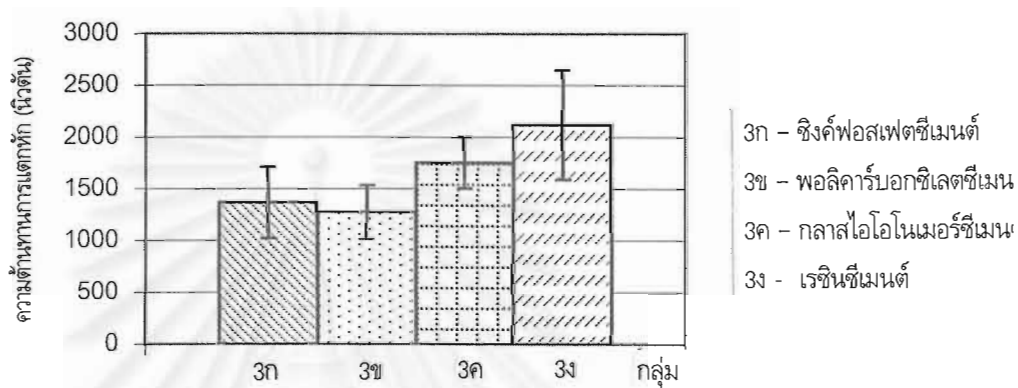
กลุ่ม 3ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน -  
ที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.



รูปที่ 29 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบโลหะ

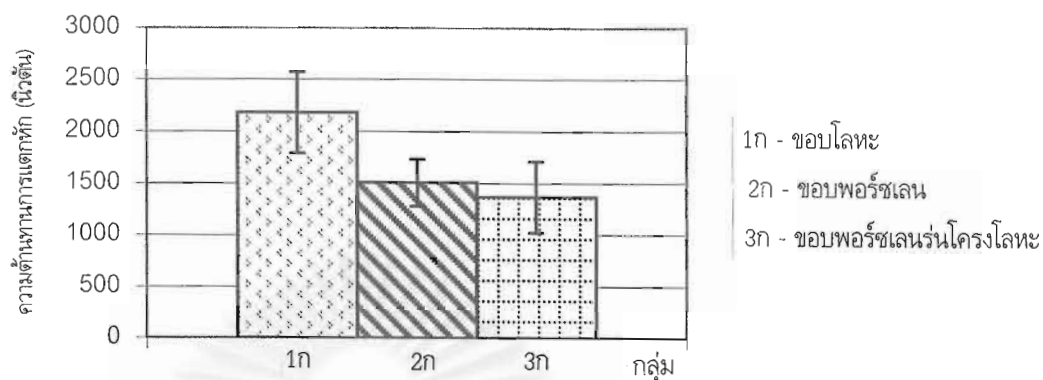


รูปที่ 30 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบพอร์ซเลน

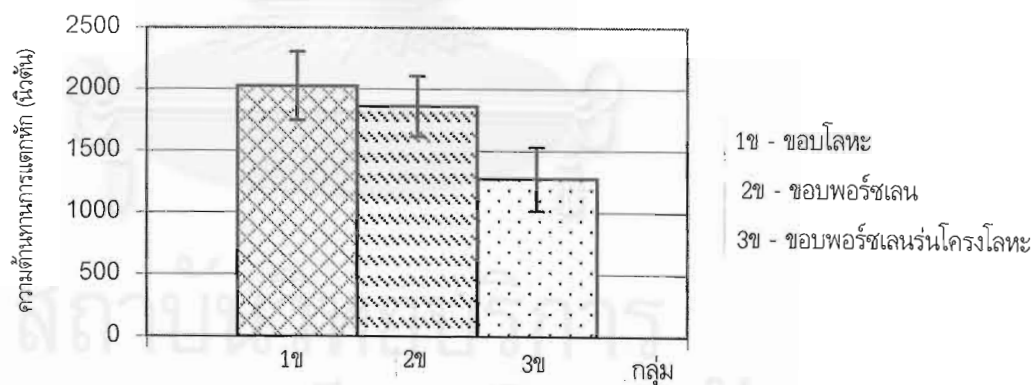


รูปที่ 31 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟัน  
ขอบพอร์ซเลนรุ่นโครงโลหะ 1 มม.

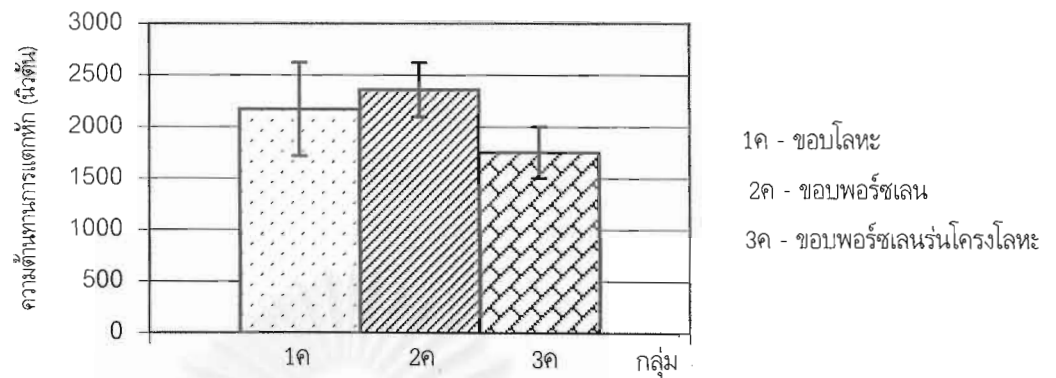




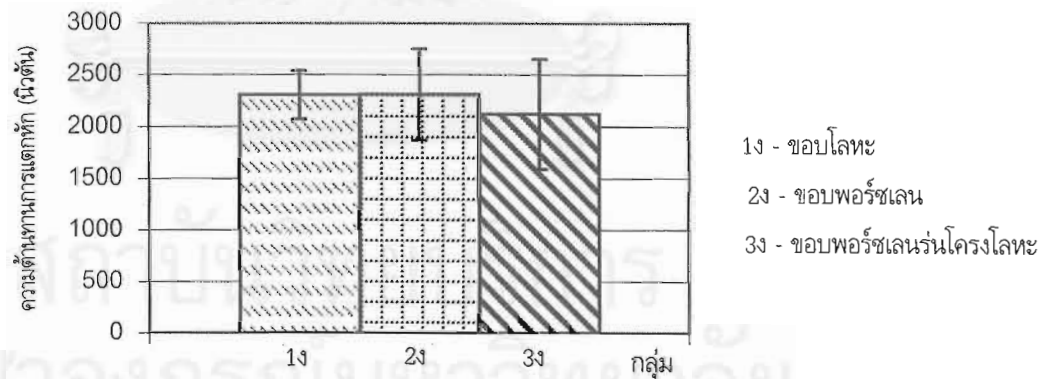
รูปที่ 32 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต่างจำนวนการแตกหัก  
ของกรอบฟันที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์



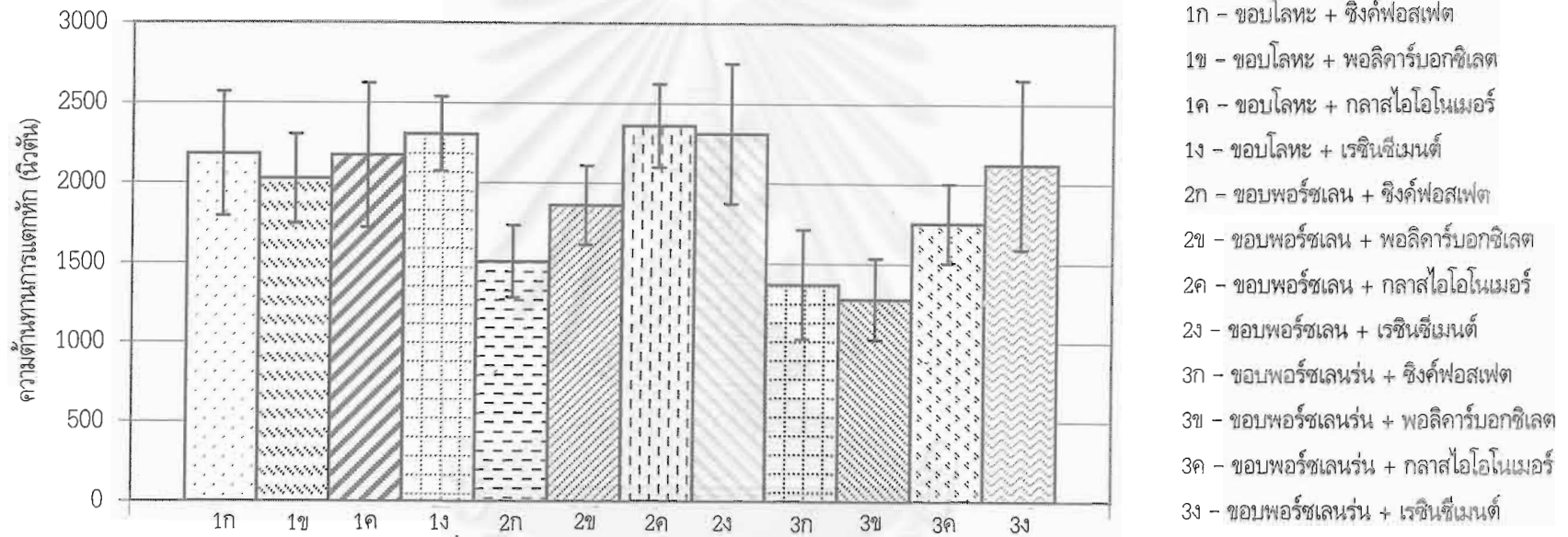
รูปที่ 33 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต่างจำนวนการแตกหัก  
ของกรอบฟันที่ยึดด้วยพอลิคาร์บอกลีตซีเมนต์



รูปที่ 34 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก  
ของกรอบพื้นที่ยึดด้วยกลาสไฟเบอร์ซีเมนต์

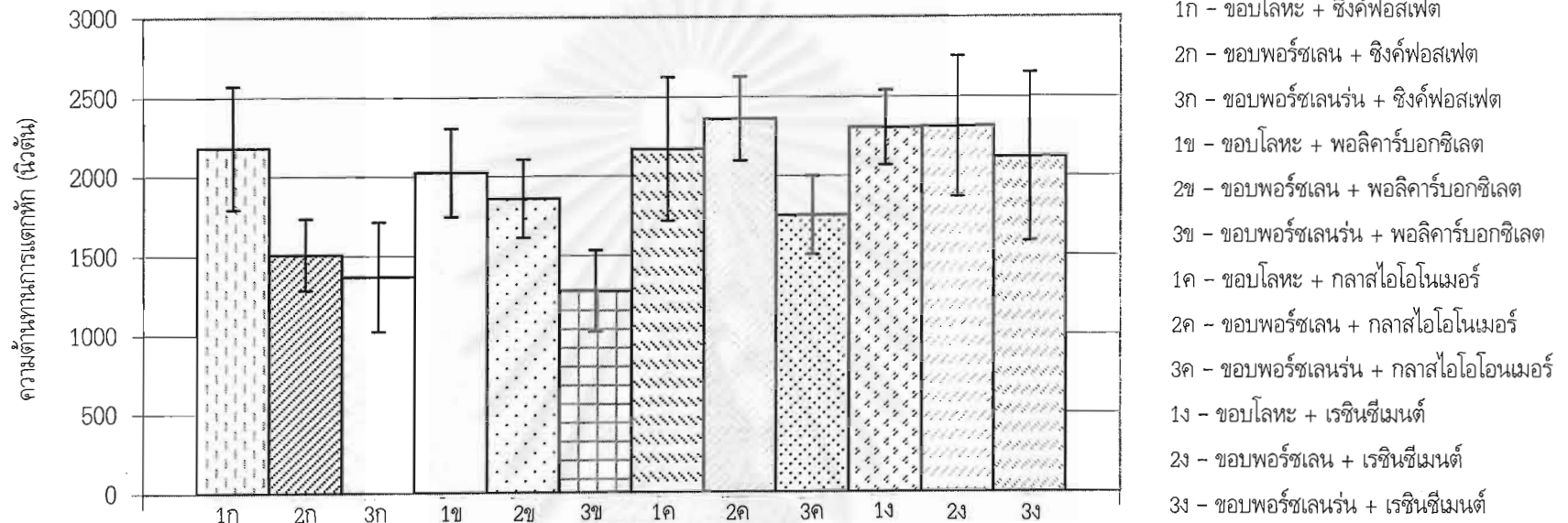


รูปที่ 35 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก  
ของกรอบพื้นที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์



รูปที่ 36 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของกรอบพื้นโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ

จัดกลุ่มเรียงลำดับตามความแตกต่างของกรอบพื้น



รูปที่ 37 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนทั้ง 3 แบบที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ จัดกลุ่มเรียงลำดับตามความแตกต่างของซีเมนต์ที่ใช้ยึด

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LOAD	Between Groups	1.6E+07	11	1450520	12.499	.000
	Within Groups	1.3E+07	108	116052		
	Total	2.8E+07	119			

## Post Hoc Tests

## LOAD

Tukey HSD<sup>a</sup>

group	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
group 3ข	10	1275.16			
group 3 ก	10	1367.47	1367.47		
group 2 ก	10	1508.22	1508.22		
group 3 ค	10	1752.86	1752.86	1752.86	
group 2 ข	10		1860.24	1860.24	1860.24
group 1 ข	10			2024.45	2024.45
group 3 ง	10			2120.17	2120.17
group 1 ค	10			2170.95	2170.95
group 1 ก	10			2180.29	2180.29
group 1 ง	10				2305.38
group 2 ง	10				2310.43
group 2 ค	10				2360.37
Sig.		.087	.067	.193	.059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000

ตาราง ที่ 10 แสดงค่าทางสถิติของกรอบพื้นที่ทุกกลุ่ม

ตารางที่ 11 ความแตกต่างทางสถิติของครอบฟันทุกกลุ่ม

Mean	กลุ่ม	1ก	1ข	1ค	1ง	2ก	2ข	2ค	2ง	3ก	3ข	3ค	3ง
2180.29	1ก	-											
2024.45	1ข	NS	-										
2170.95	1ค	NS	NS	-									
2305.38	1ง	NS	NS	NS	-								
1508.22	2ก	*	*	*	*	-							
1860.24	2ข	NS	NS	NS	NS	NS	-						
2360.37	2ค	NS	NS	NS	NS	*	NS	-					
2310.43	2ง	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	-				
1367.47	3ก	*	*	*	*	NS	NS	*	*	-			
1275.15	3ข	*	*	*	*	NS	*	*	*	NS	-		
1752.85	3ค	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	*	NS	NS	-	
2120.17	3ง	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	NS	-

\* - มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

NS - ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

กลุ่ม 1ก 1ข 1ค และ 1ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ

กลุ่ม 2ก 2ข 2ค และ 2ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

กลุ่ม 3ก 3ข 3ค และ 3ง - ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกรันโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม.

กลุ่ม 1ก 2ก และ 3ก - ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

กลุ่ม 1ข 2ข และ 3ข - ยึดด้วยพอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์

กลุ่ม 1ค 2ค และ 3ค - ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลุ่ม 1ง 2ง และ 3ง - ยึดด้วยเรซินซีเมนต์

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

การพัฒนาระบบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีความก้าวหน้าขึ้นมาเป็นลำดับนั้น นับเป็นความพยายามของวงการทันตกรรมที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ป่วยทั้งด้าน ความสวยงามและความคงทนในการใช้งาน โดยเฉพาะในด้านความสวยงาม จึงได้มีการ ออกแบบขอบของครอบฟันให้มีพอร์ซเลนปิดโลหะทางด้านหน้าทั้งหมด แต่ก็พบว่าขอบชนิดนี้ ยังไม่สามารถบรรลุจุดประสงค์ทางด้านความสวยงามได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากขอบพอร์ซเลน ยังมีความขุ่นทึบอันเนื่องมาจากพอร์ซเลนมีความหนาไม่เพียงพอที่จะบังสีของโลหะ ถ้าต้องการ แก้ปัญหาโดยการพอกพอร์ซเลนให้หนาขึ้น ครอบฟันที่ได้ก็จะมีขอบที่รูปร่างป่องกว่าปกติ ซึ่งเป็นผลเสียต่อเหงือกทำให้เกิดเหงือกอักเสบได้ นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการเกิดเงาดำ บริเวณรากฟันและเนื้อเยื่อเหงือกรอบๆครอบฟันเนื่องมาจากแสงไม่สามารถส่องผ่านโลหะเพื่อ กระจายต่อไปยังบริเวณที่กล่าวถึงนี้ได้ วิธีที่จะแก้ปัญหานี้ได้ก็คือร่นโลหะรองรับบริเวณขอบ ขึ้นไปทางด้านบนเดี่ยวน 1 ม.ม. ดังนั้นขอบของครอบฟันบริเวณคอฟันจึงมีแต่เนื้อพอร์ซเลน ล้วนๆ ทำให้มีสีและการสะท้อนแสงที่สวยงาม แต่ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดตามมาก็คือ วิธีการทำ ที่ยุ่งยากขึ้นและอาจทำให้บริเวณขอบที่เป็นพอร์ซเลนมีการแตกหักได้ง่ายขึ้น จึงต้องหาวิธีการ เสริมความแข็งแรงวิธีอื่นให้แก่พอร์ซเลนที่ปราศจากโลหะรองรับ เช่นการยึดด้วยซีเมนต์ที่มี คุณสมบัติช่วยในการเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลน เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำขึ้นเพื่อศึกษาความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะ เคลือบพอร์ซเลนที่มีความยาวของโครงโลหะรองรับบริเวณด้านหน้าแตกต่างกัน 3 แบบ คือ ชนิดขอบโลหะ ชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน (ขอบพอร์ซเลน) และชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครงโลหะที่รองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. (ขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 ม.ม.) ที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพล ของซีเมนต์ที่อาจมีผลต่อครอบฟันทั้ง 3 แบบ โดยใช้ซิงค์ฟอสเฟตเป็นซีเมนต์ควบคุม เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ทางคลินิก



เนื่องจากพอร์ชเลนเป็นวัสดุที่มีความเปราะโดยธรรมชาติ หากจะนำมาใช้ในช่องปาก ให้ได้ประสิทธิภาพดี จำเป็นต้องมีการเสริมความแข็งแรงเสียก่อน วิธีการที่เป็นที่นิยมและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายคือ นำมาเคลือบบนโลหะ นั่นก็คือการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ชเลน ที่มีโครงโลหะรองรับเพื่อให้ความแข็งแรงอยู่ภายในและมีพอร์ชเลนซึ่งมีสีสัมผัสสวยงามคล้ายฟันธรรมชาติเคลือบอยู่ภายนอกนั่นเอง ดังนั้นความแข็งแรงของครอบฟันชนิดนี้จึงได้จากโครงโลหะที่รองรับโดยตลอดรอบๆ ไม่จำเป็นต้องอาศัยกรรมวิธีเสริมความแข็งแรงวิธีอื่นๆอีก เช่น การยึดด้วยซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติช่วยในการเสริมความแข็งแรง (Shillingburg และคณะ, 1973)

จากการศึกษานี้พบว่า ครอบฟันขอบโลหะทั้ง 4 กลุ่มที่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ (กลุ่ม 1ก =  $2180.29 \pm 388.98$  N. กลุ่ม 1ข =  $2024.45 \pm 279.15$  N. กลุ่ม 1ค =  $2170.95 \pm 451.97$  N. และ กลุ่ม 1ง =  $2305.38 \pm 234.56$  N.) มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในระดับสูง และแต่ละกลุ่มก็ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ชเลนแบบที่มีโลหะรองรับพอร์ชเลนเอาไว้ทั้งหมด จะได้รับการเสริมความแข็งแรงจากโครงโลหะที่อยู่ภายในครอบฟันเอง การยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่างๆ ทั้งที่ไม่มีและ มีคุณสมบัติในการช่วยเสริมความแข็งแรง จะไม่มีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันชนิดนี้

แต่เมื่อมีการรันโครงโลหะเพื่อความสวยงาม ทำให้พอร์ชเลนบางส่วนปราศจากโลหะรองรับ แม้เพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้ครอบฟันทั้งชิ้นมีความแข็งแรงลดลง ดังเห็นได้จากกลุ่ม ครอบฟันขอบพอร์ชเลน (กลุ่ม 2ก =  $1508.22 \pm 225.87$  N.) และครอบฟันขอบพอร์ชเลนรันโครงโลหะ 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ก =  $1367.47 \pm 345.29$  N.) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มเป็นครอบฟันที่มีพอร์ชเลนบางส่วนปราศจากโลหะรองรับ และถูกยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ที่ทำหน้าที่เพียงยึดครอบฟันเข้ากับตัวฟันและเติมเต็มช่องว่างระหว่างครอบฟันกับตัวฟันเท่านั้น ไม่มีคุณสมบัติในการช่วยเสริมความแข็งแรง ดังนั้นครอบฟันทั้ง 2 กลุ่มนี้จึงมีค่าความต้านทานการแตกหักที่ต่ำกว่ากลุ่มครอบฟันขอบโลหะ (กลุ่ม 1ก =  $2180.29 \pm 388.98$  N.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และครอบฟันชนิดขอบพอร์ชเลนทั้ง 2 แบบนี้จะมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของซีเมนต์ที่นำมาใช้ยึดด้วย ซึ่งจะได้กล่าวถึง

ในลำดับต่อไป

การร่นโครงโลหะรองรับพอร์ชเลนบริเวณขอบทางด้านหน้าขึ้นไปทางด้านตัวฟัน ทำให้มีเนื้อที่สำหรับพอร์ชเลนเพิ่มมากขึ้น ขอบพอร์ชเลนบริเวณนี้จึงมีสีและการสะท้อนของแสงที่สวยงามขึ้นกว่าขอบพอร์ชเลนที่มีโครงโลหะรองรับโดยตลอดแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป แต่การร่นโครงโลหะขึ้นไป 1 ม.ม. อาจมีผลต่อความแข็งแรงของครอบฟัน

จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของครอบฟันขอบพอร์ชเลนทั้ง 2 แบบ คือ แบบที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ชเลน (กลุ่ม 2ก =  $1508.22 \pm 225.87$  N.) และแบบที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. (กลุ่ม 3ก =  $1367.47 \pm 345.29$  N.) โดยพิจารณาแต่เฉพาะในกลุ่มที่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ เพื่อตัดความแปรปรวนเนื่องจากผลของซีเมนต์ออกไปก่อน กลับพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความต้านทานต่อการแตกหักของทั้ง 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถึงแม้การร่นโครงโลหะรองรับของครอบฟันจะมีผลทำให้ความแข็งแรงลดลงไป แต่การร่นโครงโลหะเพียงเล็กน้อยให้ลึกลงสุดอยู่แค่เส้นมุมรอยต่อระหว่างผนังในแนวแกนกับผนังในแนวเฉียงเพื่อทำครอบฟันขอบพอร์ชเลนแบบที่มีการใช้งานกันอยู่โดยทั่วไป กับการร่นโครงโลหะขึ้นไปทางด้านตัวฟันมากขึ้นอีกเล็กน้อยเพียงแค่ 1 ม.ม. เพื่อทำให้ได้ครอบฟันขอบพอร์ชเลนแบบใหม่ที่มีความสวยงามกว่า จะไม่ทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปในแนวเดียวกับผลการศึกษาของ Lehner ในปี 1995 ที่ได้หาแนวทางในการประเมินค่าความต้านทานต่อการแตกหักของแผ่นโลหะเคลือบพอร์ชเลนขนาด  $0.5 \times 5 \times 10$  มม.<sup>3</sup> ที่มีระดับการรองรับของโลหะต่างๆกันคือ แผ่นโลหะที่เคลือบพอร์ชเลนพอดีกับความยาวแผ่น แผ่นโลหะที่มีพอร์ชเลนยาวเลยแผ่นโลหะออกมา 1 ม.ม. และ 2 ม.ม. เพื่อเลียนแบบขอบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ชเลนชนิดขอบพอร์ชเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ชเลน ขอบพอร์ชเลนที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไป 1 ม.ม. และ 2 ม.ม. ตามลำดับ โดยโลหะที่ใช้เป็นโลหะมีสกุล จากนั้นนำชิ้นโลหะเคลือบพอร์ชเลนไปรับแรงกดบริเวณขอบจนกระทั่งเกิดการแตกหัก จึงบันทึกค่าที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักและนำไปวิเคราะห์พบว่า ชิ้นโลหะเคลือบพอร์ชเลนที่ปราศจากโลหะรองรับบริเวณขอบ 2 ม.ม. จะมีค่า

ความต้านทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างจากชิ้นที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงให้ข้อสรุปแบบเปรียบเทียบไว้ว่า ในกรณีที่เป็นการครอบฟันโลหะ เคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน การร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟันไม่เกิน 2 ม.ม. น่าจะไม่ทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักลดลงไปจากครอบฟันโลหะเคลือบ พอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน

แต่การทดลองของ Lehner นี้ ก็เป็นเพียงแนวคิดและทดลองด้วยแบบจำลองเท่านั้น ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน จริงๆได้ เนื่องจากไม่มีรูปร่างที่ใกล้เคียงกับครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนตามความเป็นจริง และไม่ได้ยึดแผ่นชิ้นงานเข้ากับตัวฟันธรรมชาติด้วยซีเมนต์ชนิดใดๆ

นอกจากนี้ การทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ O'Boyle (1997) ที่ได้ทำการ ศึกษาความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน ที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับพอร์ซเลนทางด้านหน้าขึ้นไปในระดับต่างๆกัน คือ 0 ม.ม. 1 ม.ม. 2 ม.ม. และ 3 ม.ม. ตามลำดับ โดยใช้โลหะพื้นฐานทำเป็นครอบฟันตัดซึ่งกลางบนขึ้น 20 ซี่ ที่มีขอบแตกต่างกัน 4 แบบดังที่กล่าวมา จากนั้นนำมายึดเข้ากับแบบจำลองตัวฟันที่ทำจาก โลหะด้วยเรซินซีเมนต์ก่อนที่จะนำไปรับแรงกดบนด้านปลายฟันจนกระทั่งเกิดการแตกหัก แล้วนำค่าความต้านทานต่อการแตกหักที่ได้มาวิเคราะห์และได้ข้อสรุปว่า การร่นโครงโลหะที่ รองรับพอร์ซเลนขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1-2 ม.ม. ไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของครอบฟัน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การทดลองของ O'Boyle ก็ยังไม่สามารถสรุปได้อย่าง ชัดเจนว่า ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ปราศจากโลหะรองรับบริเวณ ขอบ 1-2 ม.ม. จะมีความแข็งแรงไม่แตกต่างไปจากครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบ พอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลนจริง เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เรซิน ซีเมนต์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นในการยึดครอบฟัน จึงไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในกรณี ที่ยึดด้วยซีเมนต์ชนิดอื่นที่ไม่มีความสามารถในการเสริมความแข็งแรงให้แก่ครอบฟัน

นอกจากนี้ การทดลองของ O'Boyle ยังใช้แบบจำลองตัวฟันที่ทำด้วยโลหะในการยึด ครอบฟัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกับฟันธรรมชาติอย่างแน่นอน ทั้งในแง่ของการสร้างพันธะกับ

ซีเมนต์ที่ใช้ยึด และในแง่ของการรับและกระจายแรง ดังนั้น ค่าที่ได้จากการทดลองของ O'Boyle จึงยังไม่ใกล้เคียงกับสภาพตามความเป็นจริงนัก

แต่งานวิจัยนี้ ใช้พันธกรรมชาติในการสร้างชิ้นงานครอบฟันและรองรับชิ้นงานเมื่อนำไปรับแรง รวมทั้งใช้ซีเมนต์ชนิดต่างๆหลายชนิดในการยึดครอบฟัน เช่นซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปที่ไม่มีความสามารถในการเสริมความแข็งแรงให้แก่ฟอร์ชเลน และซีเมนต์ชนิดใหม่ๆ ที่เชื่อว่ามีสามารถในการเสริมความแข็งแรงให้แก่ฟอร์ชเลนได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีความแตกต่างจากการทดลองของ Lehner และ O'Boyle และค่อนข้างครอบคลุมความไม่สมบูรณ์ของการทดลองทั้งของ Lehner และ O'Boyle ได้ จึงช่วยยืนยันสมมติฐานได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นว่าการร่นโครงโลหะรองรับทางด้านหน้าขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. เพื่อจุดประสงค์ในด้านความสวยงาม ไม่ได้ทำให้ความแข็งแรงของครอบฟันมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากขอบฟอร์ชเลนธรรมดาที่มีการใช้งานกันอยู่โดยทั่วไป ถึงแม้จะยึดด้วยซีเมนต์ที่ไม่มีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ฟอร์ชเลนก็ตาม

แต่ข้อเสียของขอบครอบฟันชนิดนี้ก็คือมีวิธีการทำที่ยุ่งยากขึ้น อาจทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อฟอร์ชเลนได้ จึงจำเป็นต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษในการอัดแน่น (condense) ฟอร์ชเลน และการดึงครอบฟันขึ้นจากแม่แบบ จึงทำให้พออนุมานได้ว่ายิ่งร่นโลหะที่รองรับฟอร์ชเลนขึ้นไปมากเท่าใด ก็ยิ่งควบคุมคุณภาพของขอบฟอร์ชเลนได้ยากขึ้นเท่านั้น

การใช้ซีเมนต์ชนิดต่างๆในการยึดครอบฟัน มีผลทำให้ความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันขอบฟอร์ชเลนและขอบฟอร์ชเลนร่นโครงโลหะ 1 มม. เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ยึด ขึ้นอยู่กับว่าซีเมนต์ชนิดใดมีคุณสมบัติในการช่วยเสริมความแข็งแรง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันขอบฟอร์ชเลนที่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ 4 ชนิด โดยมีซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ซึ่งเป็นซีเมนต์ที่ทำหน้าที่เพียงปิดผนึกช่องว่างระหว่างตัวฟันกับครอบฟันเท่านั้น ไม่มีคุณสมบัติในการเสริมความแข็งแรงเป็นซีเมนต์ควบคุม เทียบกับซีเมนต์อีก 3 ชนิดคือ พอลิคาร์บอซิเลตซีเมนต์ ซึ่งเป็นซีเมนต์ที่ยังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่ยึดติดกับเนื้อฟันด้วยพันธะทางเคมี และเรซินซีเมนต์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี และจากหลายๆงานวิจัยพบว่า สามารถเสริมความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงานฟอร์ชเลนล้วนได้

จากการทดลองที่ทำโดย Anusavice and Hojjatie (1992); Derand (1991); Grossman (1989); Grossman and Nelson (1987); Groten and Probster (1997); Mesaros และคณะ (1994); Yoshinari and Derand (1994) และ ทำให้สรุปได้ว่า การใช้เรซินซีเมนต์อย่างสมบูรณ์แบบ คือมีทั้งการกัดพื้นผิวชั้นงานพอร์ซเลนที่จะยึดด้วยกรด ร่วมกับการใช้ซีเลนบอนด์เอเจนท์ในการยึดชั้นงานพอร์ซเลนล้น จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของชั้นพอร์ซเลนล้นนั้นเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อยึดด้วยซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่มีความสามารถในการสร้างพันธะกับโครงโลหะ ตัวฟัน และส่วนที่เป็นพอร์ซเลนเช่นซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ซึ่งจากผลการทดลองนี้ พบว่า การใช้เรซินซีเมนต์ จะทำให้ครอปฟันทั้งแบบขอบพอร์ซเลน (กลุ่ม 2  $=2310.43 \pm 440.58$  N.) และแบบขอบพอร์ซเลนร่นโครงโลหะ 1 มม. (กลุ่ม 3  $=2120.17 \pm 530.58$  N.) มีความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นสูงกว่าการยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กระบวนการที่เรซินซีเมนต์ทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอปฟันเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในส่วนของพอร์ซเลน กระบวนการกัดพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกรดจะช่วยให้ปลายของรอยแตกเล็กๆที่ขึ้นและกว้างขึ้น ลดการสะสมความเค้นลงได้ จากนั้นเมื่อทาสีเลนบอนด์เอเจนท์ที่มีปลายข้างหนึ่งสามารถสร้างพันธะกับซิลิกอนไดออกไซด์ที่พื้นผิวของพอร์ซเลนและปลายอีกข้างหนึ่งสร้างพันธะกับสารอินทรีย์ในเรซินซีเมนต์ร่วมด้วย ทำให้เรซินซีเมนต์ไหลแทรกเข้าไปปิดรอยแตกเล็กๆบริเวณพื้นผิวด้านในของพอร์ซเลนและยึดรอยแตกเล็กๆเหล่านี้ไว้ด้วยกันทำให้ลดโอกาสที่รอยแตกเล็กๆนี้จะขยายตัวเป็นรอยร้าวใหญ่ๆ

ในส่วนของโลหะ 4-META ในเรซินซีเมนต์ สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มออกซิเจน และ/หรือ กลุ่มไฮดรอกซิล ในชั้นออกไซด์ของโลหะผสมไร้สกุลที่ใช้ในการทดลองได้ดี (Wolf และคณะ, 1993)

ในส่วนของเนื้อฟัน เนื่องจากขั้นตอนในการใช้เรซินซีเมนต์อย่างสมบูรณ์แบบ มีการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยกรดซिटริกเข้มข้นร้อยละ 10 และเฟอริกคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 3 เพื่อกำจัดชั้นปนเปื้อน (smear layer) และละลายแร่ธาตุบางส่วนออกจากเนื้อฟัน (demineralization) เกิดเป็นชั้นคอลลาเจน (collagen matrix) ขึ้น ซึ่งจะทำให้โมโนเมอร์

(4-META) สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ และเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแข็งตัวห่อหุ้มชั้นคอลลาเจนเอาไว้ เกิดการยึดติดเชิงกลในระดับโมเลกุลขึ้น (Nakabayashi และคณะ, 1982)

ซึ่งการเกิดพันธะอย่างสมบูรณ์ระหว่างครอบฟัน-ซีเมนต์-ตัวฟัน ทำให้ครอบฟันทั้งชิ้นและตัวฟันเสมือนเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน แรงที่กระทำลงบนครอบฟันจึงถ่ายทอดลงสู่ตัวฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมความเค้นซึ่งจะนำไปสู่การแตกหักของครอบฟันได้ ประกอบกับเรซินซีเมนต์จะมีการหดตัวเล็กน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) ซึ่งเปรียบเสมือนการใส่แรงอัดลงไปบนพื้นผิวด้านในของฟอร์ชเลน ทำให้อนุภาคของฟอร์ชเลนถูกอัดเข้ามารวมกันแน่นยิ่งขึ้น การที่จะทำให้ฟอร์ชเลนแตกหักได้ ต้องใช้แรงมากขึ้นเพื่อนำมาหักล้างแรงอัดส่วนนี้ก่อน

ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นเหตุผลที่ใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นของความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันขอบฟอร์ชเลนทั้ง 2 แบบที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์

ถึงแม้งานวิจัยของ Derand (1991); Yoshinari and Derand (1994); Groten and Probst (1997) จะพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ไม่มีผลในการช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงานฟอร์ชเลนล้วน แต่จากผลการทดลองนี้กลับพบว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานการแตกหักของครอบฟันขอบฟอร์ชเลน (กลุ่ม 2ค =  $2360.37 \pm 262.94$  N.) ให้มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์เป็นตัวยึด (กลุ่ม 2ก =  $1508.22 \pm 225.87$  N.) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เช่นเดียวกับเรซินซีเมนต์

เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถสร้างพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออน และ/หรือฟอสเฟตไอออน บนพื้นผิวเนื้อฟัน และกลุ่มออกซิเจน และ/หรือกลุ่มไฮดรอกซิลในชั้นออกไซด์ของโลหะไร้สกุลได้ (Craig, 1993) ขณะที่กดครอบฟันให้เข้าที่ในขั้นตอนการยึดครอบฟัน ตัวซีเมนต์จะไหลแผ่ไปห่อหุ้มพื้นผิวเนื้อฟันและสร้างพันธะกับตัวฟันและโครงโลหะภายใน ทำให้เกิดการยึดติดที่ดีและมีการถ่ายทอดแรงลงสู่ตัวฟันอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ ยังเป็นชนิดดัดแปลงเรซิน (resin-modified glass-ionomer) คือได้รับการพัฒนาให้มีเรซินเป็นส่วนผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในด้าน

การก่อตัวและความแข็งแรงของตัววัสดุให้ดีขึ้น จึงทำให้มีคุณสมบัติของเรซินด้วย นั่นคือมีการหดตัวเมื่อเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัว (Sidhu and Watson, 1995) ดังนั้นเมื่อซีเมนต์ที่ยึดเนื้อฟันกับโครงโลหะเข้าด้วยกันเกิดการหดตัวขึ้นเล็กน้อย จึงเปรียบเสมือนการใส่แรงอัดลงไปบนพื้นผิวด้านในของครอบฟัน การที่จะทำให้ครอบฟันเกิดการแตกหักได้ ต้องใช้แรงส่วนหนึ่งไปหักล้างแรงอัดนี้ก่อน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ใช้อธิบายว่า เหตุใดค่าความต้านทานการแตกหักในกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลนจึงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นตัวยึด

แต่ในทางตรงข้าม เมื่อใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในการยึดครอบฟันขอบพอร์ซเลนรุ่นโครงโลหะ 1 ม.ม. ที่บริเวณขอบเป็นเนื้อพอร์ซเลนล้วนๆ (กลุ่ม 3ค=1752.86±248.14 N.) กลับให้ผลในการช่วยเสริมความแข็งแรงได้อย่างไม่เด่นชัดเท่าที่ควร อาจเกิดจากการที่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่สามารถสร้างพันธะกับเนื้อพอร์ซเลนได้โดยตัวของซีเมนต์เอง นอกจากนี้ในขั้นตอนใช้งานของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังไม่มีการใช้สารยึดติดอื่นเช่นสารซีเลนร่วมด้วย ประกอบกับข้อด้อยที่สำคัญของซีเมนต์ชนิดนี้ที่ยังคงมีคุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แบบดั้งเดิมอยู่ นั่นคือมีค่าเกณฑ์ความยืดหยุ่นที่ค่อนข้างต่ำ (3.5-6.4 GPa) (O'Brien, 1997) ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเมื่อได้รับแรง (Burgess และคณะ, 1993) ซึ่งสาเหตุนี้อาจเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญที่ทำให้วัสดุที่แข็งแต่เปราะเช่นพอร์ซเลนซึ่งถูกซีเมนต์ชนิดนี้รองรับอยู่ เกิดการแตกหักได้ง่าย นอกจากนี้ซีเมนต์ชนิดนี้ยังมีแนวโน้มที่จะเกิดการดูดน้ำเมื่ออยู่ในสภาพที่มีความชื้นก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวอย่างเต็มที่ ทำให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ขณะแข็งตัวได้ เปรียบเสมือนกับการใส่แรงค้ำค้ำลงบนพื้นผิวด้านในของครอบฟัน ซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อพอร์ซเลนล้วนๆ ที่มีความไวสูงต่อการแตกหักภายใต้แรงค้ำ (McComb, 1996) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการอธิบายว่า เหตุที่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่สามารถทำให้ครอบฟันขอบพอร์ซเลนรุ่นโครงโลหะ 1 ม.ม. มีค่าความต้านทานการแตกหักเพิ่มขึ้นได้อย่างเด่นชัดเป็นเพราะ ความแข็งแรงของเนื้อพอร์ซเลนล้วนๆ ที่ปราศจากโลหะรองรับ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติช่วยเสริมความแข็งแรงของซีเมนต์เป็นอย่างมาก

ส่วนการใช้พอลิคาร์บอออกซิเลตเป็นตัวยึดนั้น พบว่าไม่มีผลทำให้กรอบฟันขอบพอร์ซเลนทั้ง 2 แบบ (กลุ่ม 2ข=1860.25±246.52 N. และกลุ่ม3ข=1275.15±258.34 N. ) มีความต้านทานการแตกหักต่างไปจากการยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมซึ่งคัพอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เนื่องมาจากพอลิคาร์บอออกซิเลตซีเมนต์มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับซึ่งคัพอสเฟตซีเมนต์ และไม่มีคุณสมบัติพิเศษใดที่ช่วยเพิ่มการยึดติดกับพอร์ซเลน (Anusavice, 1996)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ได้แนวทางซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดต่างๆดังนี้ คือครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะจะมีความแข็งแรงเนื่องจากโครงโลหะที่รองรับอยู่ข้างใต้โดยรอบแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องยึดด้วยซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติในการช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ครอบฟันอีก ส่วนครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนแบบที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลนนั้นสามารถเลือกใช้ได้ทั้งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงเรซินและเรซินซีเมนต์ เพราะสามารถทำให้ค่าความต้านทานการแตกหักเพิ่มขึ้นได้

แต่หากจะพิจารณาทำครอบฟันขอบพอร์ซเลนรุ่นโครงโลหะ 1 มม. เพื่อเพิ่มความสวยงามของครอบฟันให้มากยิ่งขึ้น สมควรอย่างยิ่งที่จะเลือกใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึดครอบฟันชนิดนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แน่นอนในการช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่เนื้อพอร์ซเลนส่วนที่ปราศจากโลหะรองรับ บริเวณขอบทางด้านหน้าของครอบฟัน

แต่ทั้งนี้ โดยความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ความสำเร็จของครอบฟันติดแน่นชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับแค่เพียงความสวยงามและความแข็งแรงเท่านั้น ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จ คือ การรั่วซึมตามขอบครอบฟันอันเนื่องมาจากการละลายตัวในช่องปาก (solubility) ของซีเมนต์ที่ใช้ยึด ถ้าซีเมนต์ที่ใช้มีการละลายในช่องปากสูง ก็จะทำให้บริเวณขอบของครอบฟันมีการรั่วซึม ของเหลวภายในปากจึงสามารถเข้าไปทำให้เกิดฟันผุขึ้นที่สองภายในครอบฟัน และเกิดการระคายเคืองของโพรงประสาทฟันตามมาได้ โดยเฉพาะครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน เนื่องจากในขั้นตอนของการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลน จะต้องเกิดการหดตัวของพอร์ซเลนในบริเวณขอบ



อย่างแน่นอน จึงควรยอมรับและตระหนักว่า ถึงอย่างไรครอบฟันชนิดนี้จะต้องมีช่องว่างบริเวณขอบ (marginal gap) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ถึงแม้จะมองไม่เห็นก็ตาม ดังนั้นซีเมนต์ที่เลือกใช้กับครอบฟันชนิดนี้จึงควรมีการละลายตัวในช่องปากต่ำมาก จึงจะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วซึมของของเหลวภายในปากเข้าไปในครอบฟันได้

จากการศึกษาของ Lee and Swartz (1972); Wu, Hutton and Mashall (1997); และ Thompson, Rapp and Parker (1998) ซึ่งได้ทำการวัดความสัมพันธ์ของช่องว่างบริเวณขอบ (marginal gap) กับการรั่วซึมของซีเมนต์ (marginal leakage) โดยเปรียบเทียบระหว่างเรซินซีเมนต์กับซีเมนต์ที่ใช้กันโดยทั่วไป (conventional cement) ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซีเลตซีเมนต์ และ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่าการรั่วซึมของซีเมนต์บริเวณขอบไม่สัมพันธ์กับขนาดความกว้างของช่องว่าง แต่จะสัมพันธ์กับชนิดของซีเมนต์ นั่นคือการใช้เรซินซีเมนต์ที่ยึดติดกับตัวฟันและชิ้นงานบูรณะอย่างแน่นหนา จะป้องกันการรั่วซึมได้มากกว่าซีเมนต์ที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากคุณสมบัติการละลายตัวที่ต่ำมากของซีเมนต์ (Christensen, 1993) ซึ่งคุณสมบัตินี้เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความสำเร็จของครอบฟัน เพราะยิ่งซีเมนต์ปิดผนึกรอยต่อของขอบครอบฟันกับตัวฟัน (marginal seal) ได้ดีเท่าใดก็จะยิ่งป้องกันการระคายเคืองของโพรงประสาทฟัน (pulpal irritation) และการเกิดฟันผุชั้นที่สอง (secondary caries) อันเกิดเนื่องจากการรั่วซึมของขอบครอบฟันได้ดีขึ้นเท่านั้น (Going, 1972)

ซึ่งสอดคล้องกับการรวบรวมข้อมูลทางคลินิกของ Burke, Qualthrough and Wilson (1998) ที่ติดตามผลในคนไข้ที่ใส่ครอบฟันพอร์ซเลนและใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด มีระยะเวลาเฉลี่ยของการใช้งาน 2.43 ปี พบว่าทุกซี่มีขอบที่แนบสนิทดีไม่พบการรั่วซึม หรือฟันผุชั้นที่สองบริเวณรอยต่อของขอบครอบฟัน

แต่การทดลองนี้ก็ไม่ได้ครอบคลุมปัญหาในแง่เปรียบเทียบการรั่วซึมของซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด จากขอบพอร์ซเลนทั้ง 2 แบบเอาไว้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไปถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วซึมตามขอบและคุณสมบัติการละลายตัวของซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด เพราะจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จและอายุการใช้งานในช่องปากของชิ้นงานบูรณะที่สำคัญยิ่งอีกตัวหนึ่ง

จากผลการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าของแรงที่ทำให้ครอบฟันแตกหักในทุกกลุ่มมีค่ามากกว่าแรงบดเคี้ยวในฟันหลังซึ่งศึกษาโดย Waltimo and Kononen (1993) และ Probst (1992) ว่ามีค่าประมาณ 200-540 นิวตัน แต่สภาวะแวดล้อมในการทดลองก็เทียบไม่ได้กับในช่องปาก เพราะในช่องปากจะมีแรงจากการบดเคี้ยวและแรงเนื่องจากการกลืนกระทำซ้ำ ๆ สลับกันไปตลอดวันทุกวัน ซึ่งแรงค่าต่ำๆ ที่แม้จะมีค่าน้อยกว่าแรงสูงสุดที่จะทำให้ครอบฟันแตกหัก แต่กระทำอยู่ซ้ำๆ นี้ จะทำให้ขอบพอร์ซเลนเกิดการล้า (fatigue) จนในที่สุดก็เกิดการแตกหักขึ้นภายใต้แรงค่าต่ำๆ นี้ได้ ประกอบกับสภาวะภายในปากยังมีน้ำและความชื้นซึ่งจะทำให้รอยตำหนิเล็ก ๆ (microdefect) ภายในเนื้อพอร์ซเลนขยายใหญ่ขึ้นจนเป็นจุดอ่อนให้พอร์ซเลนสึกกร่อนและแตกหักภายใต้แรงที่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองได้ (DeLong and Douglas, 1983; DeLong, Goodkind and Douglas, 1984) ดังนั้นหากจะตอบคำถามในแง่ความทนทานและอายุการใช้งานของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงแล้ว ควรจะทำการศึกษาทดลองในสภาวะที่ใกล้เคียงกับช่องปากต่อไป

นอกจากนี้ผลจากการศึกษาวิจัยนี้ก็ยังไม่ได้ครอบคลุมผลของเรซินซีเมนต์ทั้งหมด เนื่องจากว่าเรซินซีเมนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายประเภท อาทิเช่น คอมโพสิตเรซินซีเมนต์ (composite resin cement) ที่มีองค์ประกอบพื้นฐานของคอมโพสิตเรซิน ไม่มีคุณสมบัติในการยึดติดกับเนื้อฟันและโลหะได้ด้วยตัวของซีเมนต์เอง และมีการก่อตัวแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด หรือ เรซินซีเมนต์ประเภทที่มีคุณสมบัติยึดติด (adhesive resin cement) ซึ่งมีสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับทั้งเนื้อฟันและโลหะได้ เช่น กลุ่มฟอสฟอเนต หรือกลุ่มคาร์บอกซิล เป็นต้น ส่วนตัวแทนของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเรซินซีเมนต์ประเภทที่มีคุณสมบัติยึดติดที่มีกลุ่มคาร์บอกซิล คือ 4-META เป็นองค์ประกอบที่ทำให้ยึดติดเพียงประเภทเดียวเท่านั้น ซึ่งถ้าเปลี่ยนไปใช้เรซินซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ในการยึดครอบฟัน อาจไม่ให้ผลดังเช่นการใช้ซีเมนต์ประเภทที่กล่าวถึงนี้ก็เป็นได้ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของเรซินซีเมนต์ประเภทต่างๆ ในการช่วยเสริมความแข็งแรงของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะต่อไป

## บทที่ 6

### บทสรุป

การทดลองที่ออกแบบขึ้นมาทั้งหมดนี้ เป็นความพยายามที่จะศึกษาความสามารถในการรองรับแรงของขอบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่มีความแตกต่างกัน 3 แบบคือ ชนิดขอบโลหะ ชนิดขอบพอร์ซเลนที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน และชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับบริเวณด้านหน้าขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. ทำให้พอร์ซเลนบริเวณนั้นปราศจากโลหะรองรับเพื่อเหตุผลทางด้านความสวยงาม นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของซีเมนต์ยึดครอบฟันชนิดต่างๆ ที่อาจมีผลต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันทั้ง 3 แบบนี้ด้วยคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พอลิคาร์บอกซิลเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ เรซินซีเมนต์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดที่เป็นขอบโลหะมีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่า ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน และชนิดที่ถูกร่นโครงโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (เมื่อเปรียบเทียบในระหว่างกลุ่มที่ยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์)
2. ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนแบบที่มีโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน กับแบบที่ถูกร่นโลหะรองรับขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 ม.ม. มีค่าความต้านทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (เมื่อเปรียบเทียบในระหว่างกลุ่มที่ยึดด้วยซีเมนต์ควบคุมคือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์)
3. ผลของซีเมนต์ที่มีต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันแต่ละรูปแบบ
  - 3.1 ในกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะ ชนิดของซีเมนต์ ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบโลหะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

- 3.2 ในกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่มีโครงโลหะรองรับตลอดความยาวของพอร์ซเลน การใช้กาส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
- 3.3 ในกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดขอบพอร์ซเลนที่ถูกรันโครงโลหะรองรับทางด้านหน้าขึ้นไปทางด้านตัวฟัน 1 มม. การยึดด้วยเรซินซีเมนต์จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- Anusavice, K.J. 1993. Recent developments in restorative dental ceramics.  
**J. Am. Dent. Assoc.** 124: 72-82.
- Anusavice, K.J. 1996. **Phillips' science of dental materials**. 10<sup>th</sup> ed. Philadelphia :  
W.B. Saunder.
- Anusavice, K.J., and Gray, A.E. 1989. Influence of framework design , contraction  
mismatch and thermal history on porcelain checking in fixed partial dentures.  
**Dent. Mater.** 5: 58-63.
- Anusavice, K.J., and Hojjatie, B. 1992. Tensile stress in glass ceramic-crowns : effect of  
flaws and cement voids. **Int. J. Prosthodont.** 5: 351-358.
- Behrend, D.A. 1982. Ceramometal restorations with supragingival margins.  
**J. Prosthet. Dent.** 47: 625-632.
- Binns, D. 1983. The chemical and physical properties of dental porcelain. pp.41-72  
in McLean J.W.(ed.), **Dental ceramics : proceedings of the 1<sup>st</sup> International  
symposium on ceramics**. Chicago : Quintessence Publishing Co. Ltd.
- Brady, J.M., and Woody, R.D. 1977. Scanning microscopy of cervical erosion.  
**J. Am. Dent. Assoc.** 94: 726-729.
- Bream, M., Lambrechts, P., and Vanherle, G. 1992. Stress-induced cervical lesions.  
**J. Prosthet. Dent.** 67: 718-722.
- Burgess, J.O., Barghi, N., and Chan, D.C.N. 1993. A comparative study of 3  
glass-ionomer base materials. **Am. J. Dent.** 6: 137-147.
- Burke, F.J.T. 1995. The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of  
dentin-bonded all-ceramic crowns. **Quintessence Int.** 26: 293-300.
- Burke, F.J.T., and McCaughey, A.D. 1993. Resin luting materials : the current status.  
**Dent. Update:** 109-115.
- Burke, F.J.T., Qualthrough, A.J.E., and Wilson, N.H.F. 1998. A retrospective evaluation of  
a series of dentin-bonded ceramic crowns. **Quintessence Int.** 29: 103-106.
- Calamia, J.R., and Simonsen, R.J. 1984. The effect of coupling agents on bond strength  
of etched porcelain. **J. Dent. Res.** 63: 197. (Abstr.79)

- Chiche, G., Rodriquet, J., Pinault, A., and Genini, P. 1986. Improved esthetics for the ceramometal crowns. **Int. Perio. Restorative. Dent.** 1: 76-87.
- Christensen, G.J. 1993. The rise of resin for cementing restorations. **J. Am. Dent. Assoc.** 124: 104-105.
- Craig, R.G. 1993. **Restorative dental materials.** 9<sup>th</sup> ed. St.Louis : The C.V. Mosby.
- DeHoff, P.H.,and Anusavice, K.J. 1984. Effect of metal design on marginal distortion of metal ceramic crowns. **J. Dent. Res.** 63: 1327-1331.
- Delong, R., and Douglas, W.H. 1983. Development of an artificial oral environment for the testing of dental restorations : bi-axial force and movement control. **J. Dent. Res.** 62: 32-36.
- Delong, R., Goodkind, R.J. and Douglas, W.H. 1984. Corosion-fatigue of the bond between Nickel-Chrome casting alloy and porcelain. **J. Prosthet. Dent.** 52: 344-348.
- Derand, T. 1991. Stress analysis of cemented or resin-bonded loaded porcelain inlays. **Dent. Mater.** 7: 21-24.
- Dilts, W.E., Duncanson, M.G.Jr., Miranda, F.G., and Brackett, S.E. 1985. Relative shear bond-strength of luting media with various core materials. **J. Prosthet. Dent.** 53: 505-508.
- Eissmann, H.F., Radke, R.A., and Noble, W.H. 1971. Physiologic design criteria for fixed dental restorations. **Dent. Clin. North. Am.** 15: 543-568.
- Faucher, R.R., and Nicholas,J.I. 1980. Distortion related to margin design in porcelain-fused-to-metal restorations. **J. Prosthet. Dent.** 43: 149-155.
- Gardner, F.M., Tillman-McCombs, K.W., Gaston, M.L., and Runyan, D.A. 1997. In vitro failure load of metal collar margins compared with porcelain facial margins of metal ceramic crowns. **J. Prosthet. Dent.** 78: 1-4.
- Geller, W. 1983. Dark and shadow zones : An important aspect of the creative shading technic. **Quintessence Dent. Technol.** 7: 483-486.
- Geller,W. and Kwiatkowski, S.J. 1987. The Willi's glas crown : a new solution in the dark and shadowed zones of esthetic porcelain restorations. **Quintessence Dent. Technol.** 11: 233-242.
- Going, R.E., 1972. Microleakage around dental restorations : a summarizing review.

- J. Am. Dent. Assoc.** 84: 1349-1357.
- Going, R.E., and Mitchem, J. 1975. Cements for permanent luting : a summarizing review. **J. Am. Dent. Assoc.** 91: 107-117.
- Gorodovsky, S., and Zidan, O. 1992. Retentive strength , disintegration and marginal quality of luting cements. **J. Prosthet. Dent.** 68: 269-274.
- Grippio, J.O. 1991. Abfractions : a new classification of hard tissue lesions of teeth. **J. Esthet. Dent.** 3: 14-19.
- Grossman, D.G. 1989. Photoelastic examination of bonded crown interfaces. **J. Dent. Res.** 68: 271. (Abstr. 718)
- Grossman, D.G., and Nelson, J.W. 1987. The bonded Dicor crowns. **J. Dent. Res.** 66: 206. (Abstr.800)
- Groten, M., and Probst, L. 1997. The influence of different cementation modes on the fracture resistance of feldspathic ceramic crowns. **Int. J. Prosthodont.** 10: 169-177.
- Hagen, W.H.B. 1960. A combination gold and porcelain crown. **J. Prosthet. Dent.** 10 : 325-329.
- Hood, J.A.A. 1972. Experimental studies on tooth deformation : stress distribution in class V restorations. **N. Z. Dent. J.** 68: 116-129.
- Kaiser, D.A., and Hummert, T.W. 1994. Assessment of gingival margin thickness before margin placement. **J. Prosthet. Dent.** 71: 325-326.
- Koivumaa, K.K., and Wenstrom, A. 1960. A histological investigation of the changes in gingival margin adjacent to gold crowns. **Odon. Tids.** 68: 373-378.
- Korson, D. 1990. **Natural ceramics.** London : Quintessence Publishing Co.Ltd.
- Lambrechts, P., Bream, M., and Vanherle, G. 1987. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. **Oper. Dent.** 12: 53-78.
- Lanzano, J.A., and Hill, T.J. 1988. The fabrication and clinical utilization of the collarless veneer crowns. **Quintessence Dent. Technol.**: 75-81.
- Lee, H., and Swartz, M. 1972. Evaluation of composite resin crown and bridge luting agents. **J. Dent. Res.** 51: 756-766.
- Lee, W.C., and Eakle, W.S. 1984. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical

- erosive lesions of teeth. **J. Prosthet. Dent.** 52: 374-380.
- Lehner, C.R., Mannchen, R., and Scharrer, P. 1995. Variable reduced metal support for collarless metal ceramic crowns : a new method for strength evaluation. **Int. J. Prosthodont.** 8: 337-345.
- Lutz, F., Krejci, I. and Oldenburk, T.R. 1986. Elimination of polymerization stress at the margins of posterior composite resin restorations : a new restorative technique. **Quintessence Int.** 17: 777-784.
- Malone, W.F.P., and Koth, D.L.1989. **Tylman's theory and practice of fixed prosthodontics.** 8<sup>th</sup> ed. Missouri : Ishiyaku EuroAmerica, Inc.
- McComb, D. 1982. Retention of casting with glass-ionomer cement. **J. Prosthet. Dent.** 48: 285-288.
- McComb, D. 1996. Adhesive luting cements : classes , criteria and usage. **Compendium.** 17: 759-774.
- McLean, J.W. 1983. **Dental ceramics : proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposiums on ceramics.** Chicago : Quintessence Publishing Co. Ltd.
- McLean,J.W. 1989. Long-term esthetic dentistry. **Quintessence Int.** 20: 701-708.
- McLean, J.W. 1990. The failure restoration : causes of failure and how to prevent them. **Int. Dent. J.** 40: 354-358.
- McLean, J.W. and Hughes, T.H. 1965. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. **Br. Dent. J.** 119: 251-267.
- McLean, J.W., and von Fraunhofer, J.A. 1971. The estimate of cement film thickness by an in vivo technique. **Br. Dent. J.** 131: 107-111.
- Mesaros, A.J., Evans, D.B., and Schwartz, P.S. 1994. Influence of dentin bonding agent on the fracture load of Dicor. **Am. J. Dent.** 7: 137-140.
- Miller, L. 1983. A clinician's interpretation of tooth preparation and the design of metal substructures for metal-ceramic restorations. pp. 153-203 in McLean J.W. (ed.), **Dental ceramics : proceedings of the 1<sup>st</sup> International symposium on ceramics.** Chicago : Quintessence Publishing Co. Ltd.
- Morena, R., Lockwood, P.E., and Fairhurst, C.W. 1986. Fracture toughness of commercial dental porcelains. **Dent. Mater.** 2: 58-62.



- Morin, D.L., Douglas, W.H., Cross, M. and Delong, R. 1988. Biophysical stress analysis of restored teeth : experimental strain measurement. **Dent. Mater.** 4: 41-48.
- Morris, M.L. 1962. Artificial crown contours and gingival health. **J. Prosthet. Dent.** 42 : 1146-1156.
- Nakabayashi, N. 1992. Adhesive bonding with 4-META. **Oper. Dent.** 17: 125-130.
- Nakabayashi, N., Kojima, K., and Masuhara, E. 1982. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. **J. Biomed. Mater. Res.** 16: 265-273. cited in Nakabayashi N. ; Pashley D.H. (eds.) 1998. **Hybridization of dental hard tissues.** Japan : Quintessence Publishing Co.Ltd.
- Nakabayashi, N. and Pashley, D.H. 1998. **Hybridization of dental hard tissues.** Japan : Quintessence Publishing Co.Ltd.
- Nielsen, J.P., and Tuccillo, J.J. 1972. Calculation of interfacial stress in dental porcelain bonded to gold alloy substrate. **J. Dent. Res.** 50: 1043-1047.
- Noort, R.V. 1994. **Introduction to dental materials.** Spain : Mosby.
- O'Boyle, K.H., Norling, B.K., Cagna, D.R., and Phoenix, R.D. 1997. An investigation of new metal framework design for metal ceramic restorations. **J. Prosthet. Dent.** 78: 295-301.
- O'Brien, W.J. 1997. **Dental materials and their selection.** 2<sup>nd</sup> ed. Ill : Quintessence Publishing Co.Inc. p.151-174.
- Omar, R. 1987. Scanning electron microscope of marginal fit of ceramometal restorations with facial butted porcelain margins. **J. Prosthet. Dent.** 58: 13-18.
- Pashley, D.H., O'Meara, J.A., Williams, E.C., and Kepler, E.E. 1985. Dentin permeability : effect of cavity varnishes and bases. **J. Prosthet. Dent.** 53: 511-516.
- Perel, M.L. 1971. Axial crown contours. **J. Prosthet. Dent.** 25: 642-649.
- Phillips, R.W. 1973. **Skinner's science of dental materials.** 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia : W.B. Saunders.
- Powers, J.M., Craig, R.G., and Ludema, K.C. 1973. Frictional behavior and surface failure of human enamel. **J. Dent. Res.** 52: 1327-1331.
- Probster, L. 1992. Compressive strength of two modern all-ceramic crowns. **Int. J. Prosthodont.** 5: 409-414.

- Richter-Snapp, K., Aquilino, S.A., Svare, C.W., and Turner, K.A. 1988. Change in marginal fit as related to margin design , alloy type and porcelain proximity in porcelain-fused-to-metal restoration. **J. Prosthet. Dent.** 60: 435-439.
- Ringle, R.D., Mackert, J.R. Jr., and Fairhurst, C.W. 1983. An x-ray spectrometric technique for measuring porcelain-metal adherence. **J. Dent. Res.** 62: 933-936.
- Rosenstiel, S.F., Land, M.F., and Fujimoto, J. 1995. **Contemporary fixed prosthodontics.** 2<sup>nd</sup> ed. Missouri : Mosby-Yearbook,Inc.
- Rost, T., and Brodie, A.G. 1961. Possible etiologic factors in dental erosion. **J. Dent. Res.** 40: 385.
- Roulet, J.F. 1987. A material scientist's view : assessment of wear and marginal integrity. **Quintessence Int.** 18: 543-552.
- Salem, G. 1988. Margin design for esthetic posterior metal ceramic crowns. **J. Prosthet. Dent.** 60: 418-424.
- Schneider, D.M., Levi, M.S., and Mori, D.F. 1976. Porcelain shoulder adaptation using direct refractory dies. **J. Prosthet. Dent.** 36: 583-587.
- Shillingburg, H.T.Jr., Hobo, S., and Fisher, D.W. 1973. Preparation design and marginal distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. **J. Prosthet. Dent.** 29: 276-284.
- Sidhu, S.K., and Watson, T.F. 1995. Resin-modified glass-ionomer materials : a status report for the American Journal of Dentistry. **Am. J. Dent.** 8: 59-67.
- Sozio, R.B., and Riley, E.J. 1977. A precision ceramic-metal restoration with a facial butted margin. **J. Prosthet. Dent.** 37: 517-522.
- Stein, R.S., and Kuwata, M. 1977. A dentist and a dental technologist analyze current ceramo-metal procedures. **Dent. Clin. North. Am.** 21: 729-749.
- Strating, H., Pameijer, C.H., and Gildenhuys, R.R. 1981. Evaluation of the marginal integrity of ceramo-metal restorations. Part I **J. Prosthet. Dent.** 46: 59-65.
- Thompson, J.Y., and Anusavice, K.J. 1994. Effect of surface etching on the fracture strength and fracture toughness of Dicor disks containing controlled flaws. **J. Dent. Res.** 73: 505-510.
- Thompson, J.Y., Rapp, M.M., and Parker, A.J. 1998. Microscopic and energy dispersive x-ray analysis of surface adaptation of dental cements to dental ceramic

- surfaces. **J. Prosthet. Dent.** 79: 378-383.
- Tuccillo, J.J., and Neilsen, J.P. 1971. Interfacial stress measurements in bonded porcelain-gold alloy systems. **J. Dent. Res.** 50: 131. (Abstr.)
- Vryonis, P. 1979. A simplified approach to the complete porcelain margin. **J. Prosthet. Dent.** 42: 592-593.
- Waltimo, A., and Kononen, M. 1993. A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults. **Scand. J. Dent. Res.** 101: 1711-1715.
- Wolf, D.M., Powers, J.M., and O'Keefe, K.L. 1993. Bond strength of composite to etched and sandblasted porcelain. **Am. J. Dent.** 6: 155-158.
- Wu, Y.H., Hutton, J.E. and Marshall, G.W. 1997. In vitro enamel demineralization and the marginal gap of simulated cast restorations with 3 different cements. **J. Prosthet. Dent.** 78: 96-103.
- Yamamoto, K., Ohashi, S., Taki, E., and Hirata, K. 1996. Adherence of oral streptococci to composite resin of varying surface roughness. **Dent. Mater. J.** 5: 201-204.
- Yamamoto, M. 1985. **Principles and methods of Makoto Yamamoto.** Chicago : Quintessence Pub.Co.Ltd.Inc.
- Yamamoto, M. 1990. **Color atlas of basic technique for metal ceramic : an introduction to ceramic technique.** Chicago : Quintessence Pub.Co.Ltd.
- Yoshinari, M., and Derand, T. 1994. Fracture strength of all-ceramic crowns. **Int. J. Prosthodont.** 7: 329-338.
- Youdelis, R.A., Weaver, J.D., and Sapkos, S. 1973. Facial and lingual contours of artificial complete crown restorations and their effects on periodontium. **J. Prosthet. Dent.** 29: 61-66.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS release 7.0

MICROSOFT Windows 98

Oneway

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Oneway



**Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
LOAD group group 1a	10	2180.2890	388.9802	123.0063	1902.0295	2458.5485
group 1b	10	2024.4540	279.1457	88.2736	1824.7653	2224.1427
group 1c	10	2170.9540	451.9661	142.9242	1847.6371	2494.2709
group 1d	10	2305.3780	234.5592	74.1741	2137.5846	2473.1714
group 2a	10	1508.2220	225.8743	71.4277	1346.6413	1669.8027
group 2b	10	1860.2420	246.5174	77.9556	1683.8942	2036.5898
group 2c	10	2360.3720	262.9370	83.1480	2172.2783	2548.4657
group 2d	10	2310.4300	440.5841	139.3249	1995.2553	2625.6047
group 3a	10	1367.4650	345.2924	109.1910	1120.4578	1614.4722
group 3b	10	1275.1570	258.3425	81.6951	1090.3500	1459.9640
group 3c	10	1752.8590	248.1419	78.4694	1575.3491	1930.3689
group 3d	10	2120.1730	530.5898	167.7872	1740.6121	2499.7339
Total	120	1936.3329	489.2917	44.6660	1847.8897	2024.7761

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Descriptives

			Minimum	Maximum
LOAD	group	group 1a	1377.42	2704.63
		group 1b	1632.89	2648.82
		group 1c	1654.95	2813.16
		group 1d	1874.75	2566.30
		group 2a	1092.85	1904.27
		group 2b	1327.87	2098.66
		group 2c	2038.07	2812.89
		group 2d	1414.01	2864.45
		group 3a	920.49	2002.38
		group 3b	989.66	1874.23
		group 3c	1346.75	2088.13
		group 3d	1353.77	2844.47
		Total	920.49	2864.45

## Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
LOAD	2.259	11	108	.016

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LOAD	Between Groups	15955719.325	11	1450519.939	12.499	.000
	Within Groups	12533643.459	108	116052.254		
	Total	28489362.784	119			

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD

Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
group 1a	group 1b	155.8350	152.350	.997	-353.1547	664.8247
	group 1c	9.3350	152.350	1.000	-499.6547	518.3247
	group 1d	-125.0890	152.350	1.000	-634.0787	383.9007
	group 2a	672.0670*	152.350	.001	163.0773	1181.0567
	group 2b	320.0470	152.350	.623	-188.9427	829.0367
	group 2c	-180.0830	152.350	.989	-689.0727	328.9067
	group 2d	-130.1410	152.350	.999	-639.1307	378.8487

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD  
Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
group 1a	group 3a	812.8240*	152.350	.000	303.8343	1321.8137
	group 3b	905.1320*	152.350	.000	396.1423	1414.1217
	group 3c	427.4300	152.350	.193	-81.5597	936.4197
	group 3d	60.1160	152.350	1.000	-448.8737	569.1057
group 1b	group 1a	-155.8350	152.350	.997	-664.8247	353.1547
	group 1c	-146.5000	152.350	.998	-655.4897	362.4897
	group 1d	-280.9240	152.350	.790	-789.9137	228.0657
	group 2a	516.2320*	152.350	.044	7.2423	1025.2217
	group 2b	164.2120	152.350	.995	-344.7777	673.2017
	group 2c	-335.9180	152.350	.550	-844.9077	173.0717
	group 2d	-285.9760	152.350	.770	-794.9657	223.0137
	group 3a	656.9890*	152.350	.002	147.9993	1165.9787
	group 3b	749.2970*	152.350	.000	240.3073	1258.2867
	group 3c	271.5950	152.350	.824	-237.3947	780.5847
group 3d	-95.7190	152.350	1.000	-604.7087	413.2707	
group 1c	group 1a	-9.3350	152.350	1.000	-518.3247	499.6547
	group 1b	146.5000	152.350	.998	-362.4897	655.4897
	group 1d	-134.4240	152.350	.999	-643.4137	374.5657
	group 2a	662.7320*	152.350	.002	153.7423	1171.7217
	group 2b	310.7120	152.350	.666	-198.2777	819.7017
	group 2c	-189.4180	152.350	.984	-698.4077	319.5717
	group 2d	-139.4760	152.350	.999	-648.4657	369.5137
	group 3a	803.4890*	152.350	.000	294.4993	1312.4787
	group 3b	895.7970*	152.350	.000	386.8073	1404.7867
	group 3c	418.0950	152.350	.220	-90.8947	927.0847
group 3d	50.7810	152.350	1.000	-458.2087	559.7707	
group 1d	group 1a	125.0890	152.350	1.000	-383.9007	634.0787
	group 1b	280.9240	152.350	.790	-228.0657	789.9137
	group 1c	134.4240	152.350	.999	-374.5657	643.4137
	group 2a	797.1560*	152.350	.000	288.1663	1306.1457
	group 2b	445.1360	152.350	.148	-63.8537	954.1257
	group 2c	-54.9940	152.350	1.000	-563.9837	453.9957
	group 2d	-5.0520	152.350	1.000	-514.0417	503.9377
	group 3a	937.9130*	152.350	.000	428.9233	1446.9027
	group 3b	1030.2210*	152.350	.000	521.2313	1539.2107
	group 3c	552.5190*	152.350	.021	43.5293	1061.5087
group 3d	185.2050	152.350	.987	-323.7847	694.1947	

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD

Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
group 2a	group 1a	-672.0670*	152.350	.001	-1181.0567	-163.0773
	group 1b	-516.2320*	152.350	.044	-1025.2217	-7.2423
	group 1c	-662.7320*	152.350	.002	-1171.7217	-153.7423
	group 1d	-797.1560*	152.350	.000	-1306.1457	-288.1663
	group 2b	-352.0200	152.350	.476	-861.0097	156.9697
	group 2c	-852.1500*	152.350	.000	-1361.1397	-343.1603
	group 2d	-802.2080*	152.350	.000	-1311.1977	-293.2183
	group 3a	140.7570	152.350	.999	-368.2327	649.7467
	group 3b	233.0650	152.350	.929	-275.9247	742.0547
	group 3c	-244.6370	152.350	.903	-753.6267	264.3527
group 3d	-611.9510*	152.350	.006	-1120.9407	-102.9613	
group 2b	group 1a	-320.0470	152.350	.623	-829.0367	188.9427
	group 1b	-164.2120	152.350	.995	-673.2017	344.7777
	group 1c	-310.7120	152.350	.666	-819.7017	198.2777
	group 1d	-445.1360	152.350	.148	-954.1257	63.8537
	group 2a	352.0200	152.350	.476	-156.9697	861.0097
	group 2c	-500.1300	152.350	.059	-1009.1197	8.8597
	group 2d	-450.1880	152.350	.137	-959.1777	58.8017
	group 3a	492.7770	152.350	.067	-16.2127	1001.7667
	group 3b	585.0850*	152.350	.011	76.0953	1094.0747
	group 3c	107.3830	152.350	1.000	-401.6067	616.3727
group 3d	-259.9310	152.350	.862	-768.9207	249.0587	
group 2c	group 1a	180.0830	152.350	.989	-328.9067	689.0727
	group 1b	335.9180	152.350	.550	-173.0717	844.9077
	group 1c	189.4180	152.350	.984	-319.5717	698.4077
	group 1d	54.9940	152.350	1.000	-453.9957	563.9837
	group 2a	852.1500*	152.350	.000	343.1603	1361.1397
	group 2b	500.1300	152.350	.059	-8.8597	1009.1197
	group 2d	49.9420	152.350	1.000	-459.0477	558.9317
	group 3a	992.9070*	152.350	.000	483.9173	1501.8967
	group 3b	1085.2150*	152.350	.000	576.2253	1594.2047
	group 3c	607.5130*	152.350	.007	98.5233	1116.5027
group 3d	240.1990	152.350	.914	-268.7907	749.1887	



### Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD

Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
group 2d	group 1a	130.1410	152.350	.999	-378.8487	639.1307
	group 1b	285.9760	152.350	.770	-223.0137	794.9657
	group 1c	139.4760	152.350	.999	-369.5137	648.4657
	group 1d	5.0520	152.350	1.000	-503.9377	514.0417
	group 2a	802.2080*	152.350	.000	293.2183	1311.1977
	group 2b	450.1880	152.350	.137	-58.8017	959.1777
	group 2c	-49.9420	152.350	1.000	-558.9317	459.0477
	group 3a	942.9650*	152.350	.000	433.9753	1451.9547
	group 3b	1035.2730*	152.350	.000	526.2833	1544.2627
	group 3c	557.5710*	152.350	.019	48.5813	1066.5607
group 3d	190.2570	152.350	.983	-318.7327	699.2467	
group 3a	group 1a	-812.8240*	152.350	.000	-1321.8137	-303.8343
	group 1b	-656.9890*	152.350	.002	-1165.9787	-147.9993
	group 1c	-803.4890*	152.350	.000	-1312.4787	-294.4993
	group 1d	-937.9130*	152.350	.000	-1446.9027	-428.9233
	group 2a	-140.7570	152.350	.999	-649.7467	368.2327
	group 2b	-492.7770	152.350	.067	-1001.7667	16.2127
	group 2c	-992.9070*	152.350	.000	-1501.8967	-483.9173
	group 2d	-942.9650*	152.350	.000	-1451.9547	-433.9753
	group 3b	92.3080	152.350	1.000	-416.6817	601.2977
	group 3c	-385.3940	152.350	.333	-894.3837	123.5957
group 3d	-752.7080*	152.350	.000	-1261.6977	-243.7183	
group 3b	group 1a	-905.1320*	152.350	.000	-1414.1217	-396.1423
	group 1b	-749.2970*	152.350	.000	-1258.2867	-240.3073
	group 1c	-895.7970*	152.350	.000	-1404.7867	-386.8073
	group 1d	-1030.2210*	152.350	.000	-1539.2107	-521.2313
	group 2a	-233.0650	152.350	.929	-742.0547	275.9247
	group 2b	-585.0850*	152.350	.011	-1094.0747	-76.0953
	group 2c	-1085.2150*	152.350	.000	-1594.2047	-576.2253
	group 2d	-1035.2730*	152.350	.000	-1544.2627	-526.2833
	group 3a	-92.3080	152.350	1.000	-601.2977	416.6817
	group 3c	-477.7020	152.350	.087	-986.6917	31.2877
group 3d	-845.0160*	152.350	.000	-1354.0057	-336.0263	

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD

Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
group 3c	group 1a	-427.4300	152.350	.193	-936.4197	81.5597
	group 1b	-271.5950	152.350	.824	-780.5847	237.3947
	group 1c	-418.0950	152.350	.220	-927.0847	90.8947
	group 1d	-552.5190*	152.350	.021	-1061.5087	-43.5293
	group 2a	244.6370	152.350	.903	-264.3527	753.6267
	group 2b	-107.3830	152.350	1.000	-616.3727	401.6067
	group 2c	-607.5130*	152.350	.007	-1116.5027	-98.5233
	group 2d	-557.5710*	152.350	.019	-1066.5607	-48.5813
	group 3a	385.3940	152.350	.333	-123.5957	894.3837
	group 3b	477.7020	152.350	.087	-31.2877	986.6917
	group 3d	-367.3140	152.350	.408	-876.3037	141.6757
	group 3d	group 1a	-60.1160	152.350	1.000	-569.1057
group 1b		95.7190	152.350	1.000	-413.2707	604.7087
group 1c		-50.7810	152.350	1.000	-559.7707	458.2087
group 1d		-185.2050	152.350	.987	-694.1947	323.7847
group 2a		611.9510*	152.350	.006	102.9613	1120.9407
group 2b		259.9310	152.350	.862	-249.0587	768.9207
group 2c		-240.1990	152.350	.914	-749.1887	268.7907
group 2d		-190.2570	152.350	.983	-699.2467	318.7327
group 3a		752.7080*	152.350	.000	243.7183	1261.6977
group 3b		845.0160*	152.350	.000	336.0263	1354.0057
group 3c		367.3140	152.350	.408	-141.6757	876.3037

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

Homogeneous Subsets

## LOAD

Tukey HSD<sup>a</sup>

group	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
group 3b	10	1275.1570			
group 3a	10	1367.4650	1367.4650		
group 2a	10	1508.2220	1508.2220		
group 3c	10	1752.8590	1752.8590	1752.8590	
group 2b	10		1860.2420	1860.2420	1860.2420
group 1b	10			2024.4540	2024.4540
group 3d	10			2120.1730	2120.1730
group 1c	10			2170.9540	2170.9540
group 1a	10			2180.2890	2180.2890
group 1d	10				2305.3780
group 2d	10				2310.4300
group 2c	10				2360.3720
Sig.		.087	.067	.193	.059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุกิริติ คุปตภากร เกิดที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี  
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา  
2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา ทันตกรรม  
ประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
เมื่อ พ.ศ. 2539 ปัจจุบันรับราชการที่โรงพยาบาลสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย