

ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอพีเอส-एमเพรสทู และ เรซินซีเมนต์ 3 ระบบ



นายพลาว์สถ์ เลาหรั่งพิสิฐ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

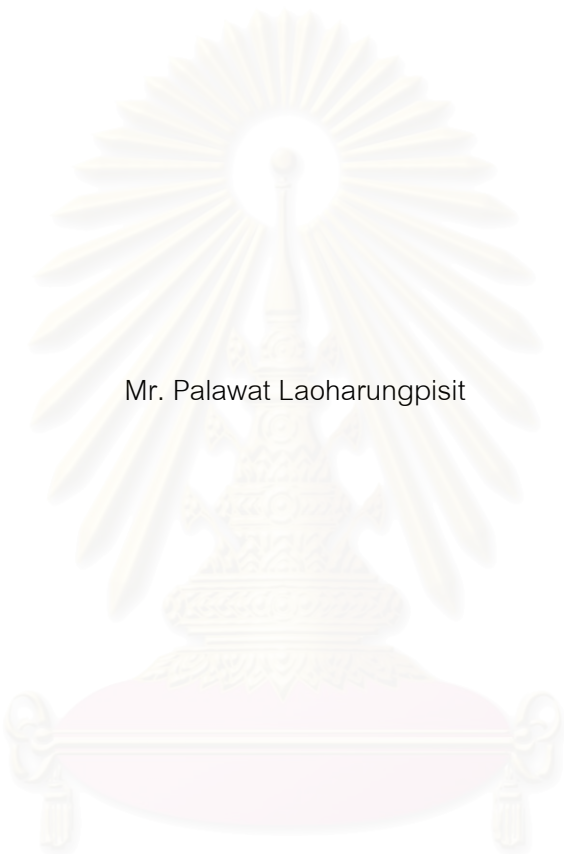
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5377-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN IPS-EMPRESS 2
AND RESIN CEMENT 3 SYSTEMS



Mr. Palawat Laoharungpisit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5377-2

พลาวัสถ์ เล่าหุ่่งพิลิสู : ความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างไอพีเอส-เอ็มเพรสทู และ เรซินซีเมนต์ 3 ระบบ. (SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN IPS-EMPRESS 2 AND RESIN CEMENT 3 SYSTEMS.) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์, 107 หน้า. ISBN 974-17-5377-2.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่าง เรซินซีเมนต์สามระบบ และไอพีเอสเอ็มเพรสทู เปรียบเทียบอิทธิพลของกลไกการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ และอิทธิพลของระยะเวลาทดสอบหลังจากสิ้นสุดเวลาทำงาน โดยเตรียมชิ้นงานเซรามิกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 และ 9 มม.หนา 2 มม.อย่างละ 120 ชิ้น ปรับสภาพผิวด้วยกรดกัดแก้ว ซีเลน และยึดติดกันด้วยเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบ ตามขั้นตอนที่ผู้ผลิตกำหนด ขึ้นทดสอบแบ่งเป็น 12 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 – 4 ยึดด้วยวาไลโอลิงค์ทู ที่เวลา 24 ชั่วโมง 120, 90 และ 60 นาที ตามลำดับ กลุ่มที่ 5 - 8 ยึดด้วยพานาเวียเอฟ และกลุ่มที่ 9 - 12 ยึดด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่เวลาเดียวกัน นำข้อมูลมาทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง และทางเดียว แล้วทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุกก็ย ได้ผลดังนี้ ชนิดซีเมนต์และเวลาต่างมีผลต่อความแข็งแรงยึดเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีมีความแข็งแรงยึดเฉือนต่ำกว่ากลุ่มพานาเวียเอฟและวาไลโอลิงค์ทูอย่างมีนัยสำคัญทุกช่วงเวลา ($p < 0.05$) กลุ่มพานาเวียเอฟมีความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันในทุกเวลา ($p > 0.05$) กลุ่มวาไลโอลิงค์ทู 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยแตกต่างจากอีก 3 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มพานาเวียเอฟ และวาไลโอลิงค์ทู ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่ามีความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กลุ่มที่มีความแข็งแรงยึดเฉือนสูงที่สุดคือ กลุ่มที่ 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า กลุ่มที่ 5 แต่ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนกลุ่มที่ค่าความแข็งแรงยึดเฉือนต่ำที่สุดคือ กลุ่มที่ 12 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ 11 และกลุ่มที่ 10 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มซึ่งทดสอบก่อน 24 ชั่วโมง ที่ใช้ วาไลโอลิงค์ทู และพานาเวียเอฟคือกลุ่มที่ 6, 2, 3, 7, 8 และ 4 จากมากไปน้อยตามลำดับ ซึ่งทั้งหกกลุ่มกลางมีค่าทางสถิติต่ำกว่าสองกลุ่มแรก แต่ก็มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มที่ใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กลุ่มทดสอบที่ 9 มีค่าสถิติที่แตกต่างจากทุกกลุ่มทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะว่าเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรสทูควรใช้เรซินที่มีฟลูออโรอิมิด หรือเอมดีพีเป็นองค์ประกอบหลัก และควรทิ้งระยะเวลาก่อนขัดแต่งอย่างน้อย 60 นาที

ภาควิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4376157532 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORD: HEAT PRESS/ IPS EMPRESS 2/ RESIN CEMENT/ TIME STORAGE

PALAWAT LAOHARUNGPIKIT : SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN IPS-EMPRESS 2 AND RESIN CEMENT 3 SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIRAT WIWATWORAPAN, 107 pp. ISBN 974-17-5377-2.

The purpose of this study was to evaluate shear bond strength for IPS Empress 2 using resin cement 3 systems having different polymerization process and different periods that specimens were stored after working time. IPS Empress 2 cylindrical specimens were prepared in two sizes 120 piece each. The adhesion surfaces were treated with HF, silane before apply resin cements 3 systems following as manufacture instructions. All specimens were divided in 12 groups. Group 1-4 used Variolink II in the difference period of storage time that was 24 hours, 120, 90 and 60 minutes. Group 5-8 used Panavia F for the same 4 different of storage too. Group 9-12 used Super Bond C&B for 4 different of storage times too. All specimens were subjected to shear bond strength (SBS) evaluation. All data were statistically analysed with two-way ANOVA, one-way ANOVA and Tukey's analysis. After analysis found that type of cements and times affected to SBS statistically (p<0.05). Super Bond C&B groups have lower SBS than Panavia F groups and Variolink II groups in every periods of time statistically (p<0.05). In Variolink II groups, the 24 hours group had SBS different from other 3 groups statistically (p<0.05). All Panavia F groups compared to Variolink II groups had no statistically difference (p>0.05). Group 1 had the maximum SBS, greater than group 5 but no significant difference (p<0.05). The minimum SBS was in group 12 that had less SBS than group 11 and 10 but not a significant difference (p<0.05). No significant differences were observed in group 6, 2, 3, 7, 8 and 4 in descending order. These middle 6 groups were groups of Variolink II and Panavia F that tested before 24 hours. The middle 6 groups had significant difference (p>0.05) with the 2 maximum groups and had SBS more than all group that used Super Bond C&B. Group 1 had significant difference (p>0.05) with all other groups. This study recommended that Bis-GMA or MDP based resin cement should be used and store restoration for 60 minutes before adjusted when making IPS Empress 2 restorations

Department.....PROSTHODONTICS..... Student's.....
Field of study.....PROSTHODONTICS..... Advisor's.....
Academic year.....2003..... Co-advisor's.....

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
การออกแบบงานวิจัย.....	8
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	8
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
แนวคิดและทฤษฎี.....	9
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
ครอบครัวเซรามิกส์ล้วน.....	9
ไอพีเอสเอมเพรสทู.....	17
ไอพีเอสเอมเพรสทูส่วนเคลือบบาง.....	21
ไอพีเอสเอมเพรสทูส่วนโครงสร้าง.....	23
การยี่ดอยู่ทางกลศาสตร์.....	26
การยี่ดอยู่ทางเคมี.....	29
เรซินซีเมนต์.....	31

3. วิธีดำเนินการวิจัย	
ประชากร.....	38
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	38
วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
การเตรียมชิ้นงานทดสอบเซรามิก.....	40
การยัดชิ้นทดสอบ.....	43
การแบ่งกลุ่มชิ้นทดสอบ.....	48
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	52
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการวิเคราะห์.....	54
ผลการวิเคราะห์ปัจจัย.....	56
วิเคราะห์ปัจจัยของเรซินซีเมนต์และระยะเวลาต่อความแข็งแรงยึดเค้นเฉลี่ย...56	
วิเคราะห์ปัจจัยของเรซินซีเมนต์.....	57
วิเคราะห์ปัจจัยของระยะเวลาที่เก็บรอ.....	60
ผลการเปรียบเทียบ.....	63
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเค้นแยกตามกลุ่ม 12 กลุ่ม.....	63
เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเค้นแยกตามอิทธิพลของซีเมนต์และเวลา.....	68
เปรียบเทียบลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบ.....	69
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
วิจารณ์วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง.....	76
วิจารณ์ผลการทดลอง.....	76
วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของเรซินซีเมนต์.....	80
วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของระยะเวลาที่เก็บรอ.....	82
วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาที่เก็บรอ.....	84
วิจารณ์ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเค้นเฉลี่ยแยกตาม กลุ่ม 12 กลุ่ม.....	85
วิจารณ์ผลการทดลองแยกพิจารณาเรซินซีเมนต์แต่ละระบบ และเวลา.....	86

ข้อเสนอแนะ.....	89
สรุปผลการวิจัย.....	89
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	111



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกชั้นเคลือบบาง คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก (Schweiger et al 1999).....22
ตารางที่ 2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกส่วนโครงสร้าง คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก (Schweiger et al 1999).....24
ตารางที่ 3	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวาริโอลิงค์ทู คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (Scientific documentation Variolink II 1997, R&D Vivadent).....35
ตารางที่ 4	แสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทูเป็น 4 ส่วน ทั้งหมด 12 กลุ่มทดสอบตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลัง จากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน.....51
ตารางที่ 5	แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa).....54
ตารางที่ 6	แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยไม่แยกกลุ่มตามความแตก ต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไป ทดสอบ.....57
ตารางที่ 7	สรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุกี๋ย์ พิจารณาระบบของเรซินซีเมนต์ที่มี อิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย.....59
ตารางที่ 8	แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์รวม ทั้ง 3 ระบบ มีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยแยกกลุ่มตามความ แตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไป ทดสอบเท่านั้น.....61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 9	สรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุกี๋ พิจารณาระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเคียนเฉลี่ย.....	60
ตารางที่ 10	แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ 12 กลุ่ม.....	64
ตารางที่ 11	แสดงการจัดกลุ่มของข้อมูลค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดสอบของค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบ แยกตามระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานขึ้นทดสอบ โดยใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุกี๋.....	67
ตารางที่ 12	แสดงปริมาณร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแตกหักระหว่างชิ้นงาน.....	74
ตารางที่ 13	แสดงส่วนประกอบหลัก หมู่ทำงาน และการก่อตั้งของเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ ทั้ง 3 ระบบ.....	79
ตารางที่ 14	แสดงส่วนประกอบวัสดุอุดแทรก ขนาดโมเลกุล และสารช่วยยึดติด ของเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ ทั้ง 3 ระบบ.....	80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม รูป ก แสดงฟันหน้าที่ไม่สวยงามต้องการการบูรณะ รูป ข แสดงฟันหน้าที่บูรณะแล้ว ด้วยครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ไม่สวยงามไม่เป็นธรรมชาติ รูป ค แสดงฟันหน้าที่บูรณะด้วยวัสดุเซรามิกล้วนชนิดหนึ่ง.....	10
ภาพที่ 2 แสดงการการส่องผ่านของแสงจากฟัน รูป ก แสดงการการส่องผ่านของแสงจากฟันธรรมชาติ รูป ข แสดงการการส่องผ่านของแสงจากครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ไม่สวยงามไม่เป็นธรรมชาติ รูป ค แสดงการการส่องผ่านของแสงจากฟันที่บูรณะด้วยวัสดุเซรามิกล้วนชนิดหนึ่ง.....	11
ภาพที่ 3 แสดงค่ากำลังตัดขวางของเซรามิกส์ชนิดต่างๆ.....	16
ภาพที่ 4 แสดงภาพขยายส่วนโครงสร้างของระบบเซรามิกล้วนไอพีเอสเอ็มเพรสทูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่มีขนาดเล็กระดับไมครอนมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 60.....	18
ภาพที่ 5 แสดงภาพเตาหลอมกด อีพีห้าศูนย์ศูนย์ (EP500 pressing furnance) ภาพที่ 5 ก แสดงแผนภาพอีพีห้าศูนย์ศูนย์ ภาพที่ 5 ข แสดงลักษณะเตาหลอมกดอีพีห้าศูนย์ศูนย์.....	20
ภาพที่ 6 แสดงการส่องผ่านของแสงจากไอพีเอสเอ็มเพรสทูส่วนโครงสร้างที่ยึดกับฟันธรรมชาติ ภาพที่ 6 ก ยึดด้วยแก้วไอโอโนเมอร์ (Glass Ionomer cement) แสงผ่านได้น้อย ภาพที่ 6 ข ยึดด้วย เรซินซีเมนต์ระบบหนึ่ง แสงผ่านได้มากกว่า (David A.G. และคณะ 1994).....	25
ภาพที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงโครงสร้างระดับไมครอนของไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่ปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้ว ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตสานตัวไปมาโดยปราศจากผลึกของลิเทียมอโทฟอสเฟต ซึ่งถูกละลายออกไปพร้อมกับแก้วเมทริกซ์ (Cattell M.J. และคณะ 2002).....	28
ภาพที่ 8 แสดงแกมมาอมิโนโพรพิลไตรอีนทอกซีซีเลนก่อนและหลังถูกกระตุ้นด้วยกรด (Galip Gurel, 2003).....	30
ภาพที่ 9 แสดงแกมมาอมิโนโพรพิลไตรอีนทอกซีซีเลนเกิดพันธะไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน เกิดเป็นพันธะไฮลอกเซนโควาเลนต์ (Galip Gurel, 2003).....	31

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฎ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 10 แสดงอุปกรณ์สำหรับเตรียมกระสุนขึ้นผึ้ง ภาพที่ 10 ก โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7 หรือ 9 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร ภาพที่ 10 ข หลังจากพิมพ์โลหะไร้สนิมโดยใช้วัสดุพิมพ์ปากซีลีโคเนซนิตพัตตี จะได้แบบพิมพ์ที่มีขนาดเท่าต้นแบบทั้งสอง.....41	
ภาพที่ 11 แสดงชิ้นทดสอบไอพีเอสเอมเพรสทู ภาพที่ 11 ก แสดงชิ้นทดสอบไอพีเอสเอมเพรสทูขนาด 9 มิลลิเมตร ติดเทปกาวยใสเจาะรู 3 มิลลิเมตร ภาพที่ 10 ข แสดงชิ้นทดสอบไอพีเอสเอมเพรสทูขนาด 7 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร.....41	
ภาพที่ 12 แสดงเครื่องเป่าทรายเพ็บบลาสเตอร์ทู (Airborne particle abrader, PenBlaster II, Shofu Inc , Kyoto , Japan) อุปกรณ์สำหรับเตรียมผิวทดสอบไอพีเอสเอมเพรสทู.....43	
ภาพที่ 13 แสดงการยึดชิ้นงานทั้งสองชิ้นของทุกกลุ่ม ให้แรงกดด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model 471, Pacific transducer Corp, CA,U.S.A.) ขนาดน้ำหนัก 1,000 กรัม.....46	
ภาพที่ 14 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ภาพที่ 14 ก ชุดเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ภาพที่ 14 ข แสดงสารซีเอนของระบบเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี.....46	
ภาพที่ 15 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ระบบพานาเวียเอฟ และสารซีเอนของระบบเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ.....47	
ภาพที่ 16 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ระบบวาเลียโวลิงค์ทู และสารซีเอนของระบบเรซินซีเมนต์วาเลียโวลิงค์ทู.....47	
ภาพที่ 17 แสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอมเพรสทูเป็น 4 ส่วน ทั้งหมด 12 กลุ่มทดสอบ.....49	
ภาพที่ 18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความแข็งแรงยึดเชื่อมระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ.....55	

	หน้า
ภาพประกอบ	
ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างชิ้นงานเซรามิกไฮไฟเบอร์คอมโพสิต และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยไม่แยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ.....	58
ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างชิ้นงานเซรามิกไฮไฟเบอร์คอมโพสิต และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยแยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ.....	62
ภาพที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเฉือนระหว่างชิ้นงานเซรามิกไฮไฟเบอร์คอมโพสิต และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ 12 กลุ่ม.....	66
ภาพที่ 22 แสดงการแบ่งลักษณะการแตกหักในรูปแบบต่างๆ (Alvaro D.B., Anusavice K.J. and John J. M. Jr, 2003).....	71
ภาพที่ 23 แสดงลักษณะการแตกหักในรูปแบบแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไฮไฟเบอร์คอมโพสิต.....	72
ภาพที่ 24 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไฮไฟเบอร์คอมโพสิตที่รอบนอก ส่วนตรงกลาง แตกในเนื้อของเรซินซีเมนต์.....	72
ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไฮไฟเบอร์คอมโพสิตที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านแตกในเนื้อของเรซินซีเมนต์.....	73
ภาพที่ 26 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไฮไฟเบอร์คอมโพสิตที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านแตกที่ผิวรอยต่ออีกข้างหนึ่ง.....	73
ภาพที่ 27 แสดงปริมาณร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแตกหักระหว่างชิ้นงาน.....	75

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่า การให้การบำบัดทางทันตกรรมนอกจากทันตแพทย์ต้องคำนึงถึงการบูรณะฟันให้ได้รูปร่าง การทำหน้าที่ รวมทั้งความสบายแก่ผู้ป่วยแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกประการที่ทันตแพทย์ต้องคำนึงถึงก็คือ ความสวยงาม และดูกลมกลืนเหมือนฟันธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องบูรณะฟันบริเวณที่ต้องการความสวยงาม เช่น บริเวณฟันหน้า (anterior teeth) ไม่ว่าจะบูรณะทั้งซี่ หรือทำเฉพาะด้านใกล้ริมฝีปาก (labial surface) เพื่อปิดสีเดิมที่ไม่พึงประสงค์ของฟัน บริษัทผู้ผลิตต่างๆ จึงมีการพัฒนาทันตวัสดุ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว ตัวอย่างเช่น มีการพัฒนาวัสดุอุดฟันเรซินคอมพอสิต (resin composite) ที่มีสีใกล้เคียงฟันธรรมชาติ แต่มีข้อด้อยหลายประการ เช่น มีคุณสมบัติทางกลต่ำ ความไม่คงตัวของสี การรั่วซึมตามขอบ เป็นต้น หรือมีการพัฒนาเซรามิกส์ (ceramics) หลากๆ ชนิด เพื่อใช้เป็น เซรามิกบูรณะฟัน (dental ceramics) และได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีสี และความโปร่งแสง (translucency) ที่ใกล้เคียงฟันธรรมชาติ รวมทั้งมีการกระจายแสง มีความแข็งผิว และที่สำคัญคือ มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อช่องปาก ดังนั้นการบูรณะฟันด้วยเซรามิกชนิดต่างๆ จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบัน (Anusavice, 1996)

มีการพัฒนาเซรามิกบูรณะฟันมาตั้งแต่ ค.ศ. 1903 โดย Land รายงานการทำครอบฟันพอร์ซเลนล้วน (Porcelain jacket crown) แต่มีการพัฒนาแบบก้ำวกระโดดในปี 1958 โดย Vines และคณะ นำเสนอวิธีการเผาผงพอร์ซเลนละเอียดในสุญญากาศ หรือภายใต้ความดันต่ำ (finer porcelain powder for vacuum firing or low-pressure air firing) (J W McLean 2001) ยิ่งมีการพัฒนามากขึ้นก็มีเซรามิกบูรณะฟันมากขึ้นตามไปด้วย เซรามิกบูรณะฟันมีมากมาย แบ่งเป็นชนิดต่างๆ ตามองค์ประกอบ (chemical composition) ส่วนเสริมความแข็งแรง (reinforced components) และตามการขึ้นรูป (fabricating) (J W McLean 2001) เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) เป็นเซรามิกบูรณะฟันที่นิยมมากในปัจจุบัน แม้ต้องใช้ร่วมกับโลหะผสมในงานบูรณะฟันด้วยครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน เนื่องจากพอร์ซเลนมีข้อด้อยคือ เปราะ และแตกหัก

ง่าย (Anusavice, 1996) แต่เมื่อใช้ร่วมกับโลหะที่มีความแข็งแรง ความเหนียว (toughness) ก็จะได้ ฟันปลอมที่มีคุณสมบัติทางกลที่ดี และสวยงามระดับหนึ่ง (Craig, 1997) แต่การมีโลหะเป็นโครงสร้าง อยู่ภายในทำให้การส่องผ่านของแสง (light translucency) เป็นไปได้ยาก จึงทำให้ซี่ฟันปลอมแลดูผิดไป จากธรรมชาติได้ จึงมีการพัฒนาเสริมความแข็งแรงให้แก่ ซึ้นงานเซรามิกบูรณะฟัน เพื่อสามารถบูรณะ เป็นฟันปลอมทั้งซี่ด้วยเซรามิกล้วน (all ceramic) ซึ่งจะให้คุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างของฟัน ธรรมชาติ ทั้งในแง่ของสี ความเรียบของพื้นผิว และที่สำคัญคือการส่องผ่านของแสง (Rosenstiel และ คณะ, 2001)

แก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate glass-ceramic) เป็นเซรามิกที่มี คุณสมบัติดังกล่าว จึงเป็นที่นิยมใช้บูรณะฟันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีฟันที่ต้องการความสวยงาม แก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตรู้จักกันในชื่อทางการค้าว่า ไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS Empress 2, Ivoclar North America, NY, US)

ไอพีเอสเอ็มเพรสทู แบ่งเป็นสองชั้น ชั้นที่อยู่ด้านบนคือเซรามิกชั้นเคลือบบาง (veneering ceramic) เป็นพวกแก้วเซรามิกฟลูออโรอะพาไทท์ (fluoroapatite glass-ceramic) ใช้ สร้างผลึกอะพาไทท์ (apatite crystal) ชนิดเดียวกับโครงสร้างของฟันธรรมชาติ ให้ความสวยงาม เลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติกระเจิงแสง (light-scattering properties) ใกล้เคียงกับฟัน อีกทั้ง ยังมีความโปร่งแสงมาก (Fradeani 2000)

ส่วนโครงสร้าง (substructure) ที่อยู่ด้านล่างให้ความแข็งแรง เป็นส่วนยึดติดกับ ซีเมนต์และฟันหลัก (abutment) มีองค์ประกอบหลักร้อยละ 60 โดยปริมาตรเป็น ผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate crystal [$\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$]) สานกันไปมา (interlock) อย่างเป็นระเบียบ ส่งผลดีในแง่เพิ่มกำลังดัดขวาง (flexural strength) แก่ซึ้นงาน วัดได้ค่าเฉลี่ย 339 ± 20 เมกะปาสคาล (MPa) จึงสามารถใช้ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู เป็นวัสดุบูรณะฟันได้ตั้งแต่ซี่เดียว จนถึงสะพานฟันสามหน่วย (Sorensen 1999, Fradeani 2000)

การยึดซึ้นงาน ไอพีเอสเอ็มเพรสทู ที่มีจุดเด่นในด้านความโปร่งแสง จำเป็นอย่างยิ่งที่ จะต้องเลือกใช้ซีเมนต์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุ จนทำให้วัสดุลดความสวยงามลงไป เช่น สีของซีเมนต์รบกวนสีของเซรามิก เป็นต้น เรซินซีเมนต์ (resin cements) ชนิดต่างๆเป็นทางเลือก อันดับแรก เพราะนอกจากจะให้ให้การยึดในเวลายาวนาน (longevity) ยังมีสีให้เลือกทดลองใส่ก่อน ใช้เรซินซีเมนต์สีนั้นยึดจริง (Roulet 2000) เรซินซีเมนต์ยังมีคุณสมบัติทางกลที่สำคัญคือ ให้แรงยึดสูง มีความแข็งแรง รวมทั้งยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น การละลายตัวต่ำ การรั่วซึมตามขอบ (microleakage) ต่ำกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิม (conventional cements) ดูดซับน้ำได้น้อย (low water

sorption) และมีความคงตัวของสีสูง (Rosenstiel et al 1998) เรซินซีเมนต์ที่ใช้กันมีมากมายหลายชนิด และหลายระบบ การเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเป็นโพลิเมอร์ (polymerization) อย่างสมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์หลายระบบต้องใช้เวลายาวนาน แต่เนื่องจากเซรามิกมีความเปราะจึงจำเป็นต้องต้องยึดชิ้นงานก่อนตรวจสอบรอยกัด หรือจุดสับฟัน เป็นการรบกวนการเกิดปฏิกิริยาของเรซินซีเมนต์โดยตรง

งานวิจัยนี้จึงทำขึ้นเพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (shear bond strength) ระหว่างแก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลเกต ไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ โดยการวัดแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงสถิติ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ และใช้งานเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ ได้ถูกต้อง และเหมาะสมยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเคียนระหว่าง เรซินซีเมนต์ทั้งสามระบบ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของกลไกการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ ต่อความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างเรซินซีเมนต์ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู เมื่อเวลาต่างๆ
3. เพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่าง เรซินซีเมนต์ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู หลังจากสิ้นสุดเวลาทำงาน (working time) ของเรซินซีเมนต์ไปแล้ว ในเวลาต่างๆ

ขอบเขตของการวิจัย

ใช้วัสดุบูรณะฟัน ไอพีเอสเอ็มเพรสทู เพียงชนิดเดียว เพื่อมุ่งเน้นการเปรียบเทียบความสามารถของเรซินซีเมนต์ในการยึดติดกับพื้นผิวของเซรามิก การทดลองในห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่ออ้างอิงผลการทดลองในการบอกแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในทางคลินิก การวิจัยจะทดสอบความแข็งแรงยึดเคียน กับเรซินซีเมนต์สามระบบหลังจากยึดชิ้นงานเซรามิกที่เตรียมพื้นผิวแล้ว โดยการกัดด้วยกรดกัดแก้วไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) และทาซีเลน (silane) ที่ผิวของเซรามิก การไม่ใช้พื้นธรรมชาติยึดกับชิ้นงานเซรามิกเนื่องจากจะทำให้เกิดความแปรปรวนจากสาเหตุต่างๆ โดยเฉพาะความต่างกันของชิ้นงานทดสอบ เป็นผลให้ผลการวิจัยคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ตลอดการทำงานจะทำโดยผู้ทำการทดลองเพียงคนเดียว และใช้อุปกรณ์เดียวกันต่อเนื่องกันตลอดการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อตกลงเบื้องต้น

งานวิจัยนี้เป็นเพียงการทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกันสามระบบ และไอพีเอสเอ็มเพรสทู จึงไม่ทำขึ้นทดสอบ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู ตามรูปแบบเดิมของ ชิ้นงานทันตกรรมบูรณะแบบต่างๆ แต่ออกแบบตามมาตรฐานการทดสอบที่อาร์ 11405:1994 (ISO TR 11405:1994)

ข้อจำกัดของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (In Vitro) เท่านั้น จึงไม่สามารถจำลอง สภาวะแวดล้อมให้เหมือนสภาพในช่องปากทุกประการได้ ตั้งแต่แรงบดเคี้ยว อุณหภูมิ ความชื้น รวมทั้งสภาพความเป็นกรด เบส แต่ควบคุมบางปัจจัยให้ใกล้เคียงกับสภาพในช่องปากได้ เช่น เก็บ ชิ้นงานที่ผ่านขบวนการต่างๆ ไว้ในน้ำกลั่น อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นต้น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จำเป็นต้องเขียนบางคำตรงตัวตามคำอ่าน เนื่องจากไม่สามารถหาคำแปล หรือใช้คำที่มีความหมายใกล้เคียงกันได้ เพราะอาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดหรือสับสนกันได้ แต่ก็มีคำอีกจำนวนหนึ่งที่มีคำไทยที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย หรือสามารถดัดดัดแปลงคำแปลตรงตัว ให้แปลตามขั้นตอนการทำงาน หรือลักษณะผลงานที่ได้ เช่น

“กรดไฮโดรฟลูออริก” (Hydrofluoric acid) จะแปลเป็นไทยสั้นๆ ว่า “กรดกัดแก้ว” หรือ “กรดกัดแก้วไฮโดรฟลูออริก”

“Shear bond strength” คือ “ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว” เป็นคำแปลจากคำว่า “Strength” ที่หมายความว่า “ความแข็งแรง”

“Fabricated technique or fabricated method” ในหัวข้อของวิธีการผลิตชิ้นงาน เซรามิกจะให้คำแปลว่า “การขึ้นรูป”

“Porcelain fused to metal crown” หมายถึง “ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน”

“All ceramics crown” หมายถึง ครอบฟันที่ทำด้วยเซรามิกทั้งชิ้น จึงเรียกว่า “ครอบฟันเซรามิกล้วน”

คำว่า “Hot-press” ไม่ได้แปลตรงตัว หากแต่นำคำแปลมาดัดแปลงโดยอิงตามขั้นตอน และผลงานที่ได้ จากการขึ้นรูปชิ้นงานไอพีเอส-เอ็มเพรสซุ ที่เมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนแล้วจะหลอมตัวจากนั้นจะถูกกดลงในเบ้าหล่อหลังจากเผาไล่ซี้ผึ้งไปแล้ว จึงแปลว่า “หลอมกด”

“Veneering ceramic” แปลตรงตัวว่า “เซรามิกชั้นเคลือบบาง” ซึ่งแปลจากคำว่า “Veneer” ที่แปลว่า “แผ่นบางๆสำหรับเคลือบ หรือ การเคลือบ”

คำว่า “Substructure” หรือ “Core” หรือ “Coping” หมายถึงส่วนเดียวกัน คือ เซรามิกส่วนที่ให้ความแข็งแรงที่เป็นโครงของชิ้นงาน เพื่อใช้ทดแทนโลหะในงานฟันปลอมบาง ส่วนติดแน่น โลหะเคลือบพอร์ซเลน จึงแปลโดยใช้คำเดียวกันว่า “เซรามิกส่วนโครงสร้าง”

“Sprue” คือแท่งซี้ผึ้งที่ต่อจากกระสวนซี้ผึ้ง เรียก “ท่อนำเซรามิกเหลว” หรือเรียกตรงตัวว่า “สปรู”

“Ingot” คือ ก้อน หรือแท่งเซรามิกที่เตรียมสำหรับฉีด เรียกตรงตัวว่า “อินกอต” หรือ “แท่งอินกอต”

“Mold” คือ “เบ้าหลอม” สำหรับฉีดขึ้นรูปเซรามิกที่ได้รับความร้อนจนหลอมตัว

“Investment powder” คือผงสำหรับเตรียมแบบหล่อทนไฟ หรือเบ้าหลอม จึงเรียกว่า “ผงทำเบ้าหลอม”

“Paste” คือ ลักษณะของวัสดุที่กึ่งเหลวกึ่งแข็งคล้ายแป้งเปียก หรือแป้งเคล้าน้ำเหมือนครีม จึงเรียกสั้นๆ ตรงตัวว่า “เพส”

“Working time” คือเวลาที่ทันตแพทย์ทำงานยังสามารถทำงานกับวัสดุได้ นับตั้งแต่เริ่มผสมจนถึง เวลาเริ่มก่อตัว จึงเรียกว่า “เวลาทำงาน” หรือ “ระยะเวลาทำงาน”

สมมติฐานการวิจัย

1. เรซินซีเมนต์ทั้งสามระบบ ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทูไม่แตกต่างกัน
2. กลไกการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกัน ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทูไม่แตกต่างกัน
3. ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เรซินซีเมนต์ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู หลังจากสิ้นสุดเวลาทำงานของเรซินซีเมนต์ไปแล้วตั้งแต่ 60 นาที ไม่แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยจะทำให้ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้ เรซิน ซีเมนต์ ระบบที่สามารถให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทู ได้สูงที่สุด โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติอื่นๆ ของเรซิน ซีเมนต์ ร่วมด้วย เช่น สี หรือความสามารถในการปิดสีของเรซินซีเมนต์

อีกทั้งยังทราบถึงผลกระทบของการถูกรบกวนของชั้นทดสอบหลังเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู เพื่อเป็นแนวทางในการรักษาประสิทธิภาพการยึดอยู่ ในระหว่างการปฏิบัติงานในคลินิก

เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ และใช้งานเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ ได้ถูกต้อง และเหมาะสมยิ่งขึ้น

การออกแบบงานวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

แบ่งกลุ่มทดสอบตามชนิดของเรซินซีเมนต์ นำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่วัดได้ซึ่งมีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล (MPa) มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วจึงวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้ค่าสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม อธิบายผลโดยนำเสนอร่วมกับตารางและแผนภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การบูรณะฟันบริเวณที่ผู้ป่วยต้องการความสวยงามเหมือนธรรมชาติ วัสดุบูรณะฟันที่เป็นทางเลือกอันดับแรกๆ ของทันตแพทย์คือ วัสดุบูรณะฟันเซรามิก ล้วนไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเนื่องด้วยการยึดขึ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรสทูกับฟันธรรมชาติหรือรากเทียมจำเป็นต้องใช้เรซินซีเมนต์ เพื่อให้ได้การยึดอยู่ที่ดี และสวยงาม ผู้วิจัยจึงนำเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบต่างกัน 3 ระบบ มาทดสอบเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดเคียน เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ระบบยึดขึ้นทดสอบ ไอพีเอสเอ็มเพรสทูเข้าด้วยกัน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ครอบฟันเซรามิกสีล้วน

เมื่อทันตแพทย์ทำการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม ทันตวัสดุที่ได้รับการเลือกใช้เป็นอันดับแรกชนิดหนึ่ง คือ เซรามิกสีบูรณะฟันชนิดต่างๆ (dental ceramics) เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีสี และความโปร่งแสง รวมทั้งมีการกระจายแสง ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และคุณสมบัติที่สำคัญยิ่งอีกประการคือ เซรามิกมีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงมีความเข้ากันดีกับเนื้อเยื่อในช่องปาก (biocompatibility) เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) เป็นเซรามิกสีบูรณะฟันที่ทันตแพทย์นิยมใช้มาก แต่เนื่องจากพอร์ซเลนมีข้อด้อยคือ เปราะ และแตกหักง่าย จึงต้องใช้พอร์ซเลนร่วมกับโลหะผสม (dental alloy) ในงานบูรณะฟันด้วยครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน (Anusavice, 1996) แต่การมีโลหะเป็นโครงสร้างอยู่ภายในทำให้ยากต่อการส่องผ่านของแสง (light translucency) เป็นเหตุให้ฟันปลอมดูผิดไปจากฟันธรรมชาติ การบูรณะสีฟันด้วยเซรามิกสีล้วน (all ceramic) แก้ไขข้อด้อยนั้นได้ (Rosenstiel และคณะ, 2001) วัสดุบูรณะฟันเซรามิกสีล้วนมีลักษณะส่งเสริมคุณสมบัติที่ให้ความสวยงาม (esthetic properties)

เกิดการรวมกัน (integration) กับเนื้อเยื่อเหงือกได้อย่างเหมาะสม และมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อสูง ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ก



ภาพที่ 1 ข



ภาพที่ 1 ค

ภาพที่ 1 แสดงการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม รูป ก แสดงฟันหน้าที่ไม่สวยงามต้องการการบูรณะ รูป ข แสดงฟันหน้าที่บูรณะแล้ว ด้วยครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ไม่สวยงามไม่เป็นธรรมชาติ รูป ค แสดงฟันหน้าที่บูรณะด้วยวัสดุเซรามิกล้วนชนิดหนึ่ง (ภาพจากหนังสือ "The science and art of porcelain laminate veneers, Galip Gurel, 2003.")



ภาพที่ 2 ก



ภาพที่ 2 ข



ภาพที่ 2 ค

ภาพที่ 2 แสดงการการส่องผ่านของแสงจากพื้น รูป ก แสดงการการส่องผ่านของแสงจากพื้นธรรมชาติ รูป ข แสดงการการส่องผ่านของแสงจากครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนที่ไม่สวยงามไม่เป็นธรรมชาติ รูป ค แสดงการการส่องผ่านของแสงจากพื้นที่บูรณะด้วยวัสดุเซรามิกล้านชนิดหนึ่ง (Rosenstiel และคณะ, 2001)

วัสดุบูรณะฟันเซรามิกล้านได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1903 โดย Land รายงานการทำครอบฟันพอร์ซเลนล้าน (Porcelain jacket crown) และพัฒนาเรื่อยมา จนแม้ในปัจจุบันก็ยังคงมีวัสดุและวิธีการขึ้นรูปใหม่ๆ จากบริษัทต่างๆ แนะนำมาตลอดอย่างต่อเนื่อง

ในปัจจุบันการใช้วัสดุเซรามิกล้านมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น รวมถึงจำนวนรูปแบบ และระบบเซรามิกล้านที่เพิ่มขึ้นมาก เป็นผลจากผู้ป่วยมีความต้องการให้ชิ้นงานบูรณะมีความสวยงามที่มากขึ้นแม้ว่าจะเป็นการบูรณะฟันในบริเวณฟันหลังก็ตาม ประกอบกับความไม่มั่นใจของผู้ป่วยในเรื่องของความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) และยังรวมไปถึงคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุบูรณะฟันหลังชนิดอื่นๆ มีคุณสมบัติต่ำกว่าวัสดุเซรามิกล้าน เช่น

อะมัลกัม (amalgam) คอมโพสิต (composites) และ โลหะเจือ (alloys) ชนิดต่างๆ แม้ว่าในช่วงแรกการใช้วัสดุเซรามิกล้วนเพื่อบูรณะฟันจะมีอัตราความล้มเหลวสูงมาก (very high failure rate) เนื่องจากการแตกหักสาเหตุเพราะความเปราะของเซรามิกก็ตาม แต่ในปัจจุบันปัญหานี้ได้รับการแก้ไข เนื่องจากการพัฒนาเซรามิกให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น รวมถึงมีการพัฒนาระบบเรซินซีเมนต์ให้มีการใช้งานง่าย และมีความสำเร็จในทางคลินิกสูงขึ้น (Markus B. 2001)

McLean และคณะ (2001) กล่าวว่าในปี 1958 ทันตแพทย์พัฒนาวัสดุบูรณะฟันเซรามิก จนมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นมาก จึงถือได้ว่าเป็นการพัฒนาแบบก้าวกระโดดของวัสดุบูรณะฟันเซรามิกเลยทีเดียว โดย Vines และคณะ ที่ได้ทำการเผา (firing) ผงพอร์ซเลนละเอียดในสุญญากาศ (vacuum-fired porcelain) หรือภายใต้ความดันอากาศต่ำ (low-pressure air firing) ซึ่งทำให้เกิดความสวยงามโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มความโปร่งแสง (translucency) ให้กับชิ้นงาน Weinstein และคณะจึงพัฒนาวิธีการเผาผงพอร์ซเลนละเอียดในสุญญากาศให้เชื่อมกับโลหะเจือทอง (gold alloy) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและให้ความสวยงาม แต่อย่างไรก็ตามพอร์ซเลนในช่วงนี้ยังคงทึบแสง (opaque) อยู่มาก นอกจากนี้ McLean และคณะ (2001) ยังอธิบายถึงลำดับของการพัฒนาเซรามิก บูรณะฟัน ดังนี้

1. **พอร์ซเลนที่ถูกเผาในสุญญากาศ (Vacuum-fired porcelains)** ถือเป็นการพัฒนาแห่งยุคในการเผาพอร์ซเลน โดยในปี 1958 Vines และคณะ นำเสนอการเผาผงพอร์ซเลนละเอียดซึ่งอัดแน่น (pack) ง่ายกว่าผงหยาบ และการเผาในสุญญากาศทำให้ได้พอร์ซเลนที่มีความโปร่งแสงกว่า (translucency) ซึ่งยังเป็นต้นแบบของการเผาพอร์ซเลนแม้ในปัจจุบัน

2. **โลหะเคลือบกระเบื้อง (Metal-ceramics)** เริ่มพัฒนาตั้งแต่ปี 1962 โดย Weinstein และคณะ มีการปรับปรุงเรื่อยๆ มาจนถึงปัจจุบัน

3. **ครอบฟันพอร์ซเลนเสริมฟรอย์ (Foil-reinforced porcelain crowns)** จัดเป็นระบบพอร์ซเลนที่ใช้แผ่นโลหะบางๆ หรือฟรอย์เป็นตัวเสริมความแข็งแรงของระบบ มีใช้มานานแต่ไม่เป็นที่นิยม เช่น Vita-Pt, Captek

4. **เซรามิกที่เสริมความแข็งแรงด้วยอะลูมินา (Alumina-reinforced ceramics)** จัดเป็นพอร์ซเลนที่ใช้อะลูมินาเป็นตัวเสริมความแข็งแรงของระบบ เซรามิกที่เสริมความแข็งแรงด้วยอะลูมินาได้รับการพัฒนาในช่วงทศวรรษที่ 1970 เพื่อทำครอบฟันไร้ขอบโลหะ (collaless) แต่ยังคงต้องใช้โลหะเจือเป็นส่วนโครงสร้างให้ความแข็งแรงอยู่

5. **พอร์ซเลนที่เสริมความแข็งแรงด้วยอะลูมินา (Aluminous porcelains)** ได้จากการกระจายโครงผลึกไปทั่วเมทริกซ์แก้ว ทำให้มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่น (elastic modulus) สูงขึ้น พัฒนาโดย McLean และ Hughes ในปี 1965 ซึ่งวัดค่าความแข็งแรงได้ถึงสองเท่าของเฟลสปาติกพอร์ซเลนแบบดั้งเดิม คือ 180 เมกะพาสคาล (MPa)

6. **พอร์ซเลนที่เคลือบบางโอพาลেসเซนต์ (Opalescent veneer porcelains)** มีคุณสมบัติเกิดแสงสะท้อนสีน้ำเงิน (blue in reflected light) และให้แสงส่องผ่านสีเหลือง (yellowish-red in transmitted light) จากการมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง

7. **พอร์ซเลนที่เคลือบบางด้วยอะลูมินา (Aluminous veneer porcelains)** เดิมพัฒนาเพียงให้มีการขยายตัวจากความร้อนสูงชันกว่าอะลูมินัสพอร์ซเลน แต่พัฒนาจนนำมาใช้ในทางการค้าชื่อว่า ไวตาดีว (Vitadur) ต่อเมื่อมีการพัฒนาแก้วเซรามิก และเซรามิกชนิดใหม่จึงไม่เป็นที่นิยม

8. **เซรามิกชนิดแก้ว (Glass ceramics)** บุกเบิกพัฒนาโดย MacCulloch ตั้งแต่ปี 1968 แต่ต่อมา Grossman และ Adair ก็ผลิตเพื่อการค้าภายใต้ชื่อ ไดคอร์ (Dicor) ตั้งแต่ต้นแก้วเซรามิกประกอบด้วยผลึกเตทราซิลิคฟลูออไรด์ (tetrasilicic fluormica crystals, $K_2Mg_5SiO_2OF_4$) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและต่อต้านการลุกลามของรอยร้าว (fracture propagation) ไดคอร์ยอมให้แสงผ่านได้ดี (high translucency) จึงมีคุณสมบัติที่ดีต่อความกลมกลืนของสีต่อฟันข้างเคียง (chameleon-like effect) แต่ยังคงต้องมีสีภายนอก และสีนั้นก็มีความโน้มที่จะหลุดออกตลอดเวลา จึงแก้ปัญหาโดยใช้ไดคอร์ร่วมกับอะลูมินัสพอร์ซเลนเคลือบบางที่ผลิตขึ้นเฉพาะแต่ต้องมีความหนามากกว่า 1 มิลลิเมตร ก็ยังพบปัญหาการแตกหักจากความไม่เข้าคู่ของการแทรกซึมเมื่อร้อน (thermal diffusivity) หรือของการไหลตัวของวัสดุอ่อนเมื่อร้อน (pyroplastic flow) ขณะเผาอะลูมินัสพอร์ซเลนเคลือบบาง

9. **เซรามิกที่มีอะลูมินาปริมาณสูง (High-alumina ceramics)** ประกอบไปด้วย อะลูมินาบริสุทธิ์ (Al_2O_3) ถึงร้อยละ 95 เป็นอย่างน้อยจึงให้กำลังดัดขวางสูงถึง 800 เมกะพาสกาล (MPa) กรรมวิธีการขึ้นรูปต้องเตรียมขนาดได (die) ให้ใหญ่กว่าตัวจริงเพื่อชดเชยการหดตัวของตัวภายหลัง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ยากที่จะผลิตครอบฟันแต่ละซี่ในช่วงทศวรรษที่ 1960 ต่อเมื่อสามารถใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับเครื่องกลึง (CAD/CAM) จึงสามารถคำนวณและกลึงไดให้ได้สัดส่วนที่ต้องการได้ แต่เครื่องมือยังมีราคาแพงจึงยังไม่เป็นที่นิยมแม้ในปัจจุบัน

10. **เซรามิกอะลูมินาที่ขึ้นรูปด้วยวิธีสลิปแคส (Slip-cast alumina ceramics)** วิธีการนี้เป็นการเตรียมและขึ้นรูปส่วนโครง (substructure) โดยขึ้นรูปให้ส่วนวิญภาคของแข็ง (solid) เหลืออยู่บนไดที่ดูดซับวิญภาคของเหลว (liquid phase) ไปหมดด้วยแรงดูดเสมือนท่อขนาดเล็ก (capillary force) Sadoun ปรับปรุงวัสดุและนำออกทำตลาดในปี 1989 ภายใต้ชื่อทางการค้าว่าอินซีแรม (In-Ceram, Vita Zahnfabrik) โดยเผาผงอะลูมินา (sintered alumina powder) จากนั้นแทรกแก้วโซเดียมแลนทานัมหลอมที่อุณหภูมิต่ำ (low-firing sodium lanthanum glass) จะได้โครงครอบฟันที่แข็งแรง เนื่องจากมีปริมาณอะลูมินาสูงถึงร้อยละ 72 ซึ่งสูงกว่า อะลูมินัสพอร์ซเลนที่มีเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น

11. ครอบฟันเสริมอะลูมินาปริมาณสูง (High-alumina reinforced crowns)
ใช้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์ของอะลูมินาสูง (high-purity alumina) แข็งแรงจนสามารถใช้ทำครอบฟันทดแทนโลหะได้ เมื่อสามารถแก้ไขปรับปรุงข้อด้อยในเรื่องการหดตัวของชิ้นงานสูงหลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ ได้แล้วก็เริ่มผลิตใช้ในทางการค้าในชื่อ ระบบเซรามิกล้วนโพรเซรา (Procera all-ceramic system) มีปริมาณอะลูมินาสูงมากกว่า ร้อยละ 99.9

12. พอร์ซเลนที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ (Lucite-reinforced porcelains) เป็นเซรามิกที่ใช้ลูไซต์เป็นตัวเสริมความแข็งแรง ฉะนั้นจึงมีองค์ประกอบหลัก คือ ผลึกลูไซต์ (leucite crystal) รู้จักกันในชื่อทางการค้า คือ ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress) ขึ้นรูปโดยผ่านกรรมวิธีแทนที่กระสวนขี้ผึ้ง ไอพีเอสเอ็มเพรสมีความแข็งแรงเทียบได้กับ อะลูมินัสปอร์ซเลนที่มีอะลูมินาร้อยละ 50 แม้มีค่าเพียง 180 เมกกะพาสคาล (MPa) แต่มีจุดเด่นคือมีความใสใกล้เคียงฟันธรรมชาติ

ในปี 2001 Markus ได้แบ่งวัสดุบูรณะฟันเซรามิกล้วนออกเป็นประเภทต่างๆ ตามองค์ประกอบ (material composition) และการขึ้นรูป (fabrication) ซึ่งสอดคล้องกับ John W. McLean ที่ตีพิมพ์ไว้ก่อนในปีเดียวกัน ดังนี้

1. เซรามิกชนิดดั้งเดิมแบบผงเคล้าน้ำ (Conventional powder slurry ceramics) คือการเพิ่มส่วนโครงผลึก (crystalline) ให้แก่เฟลสปาทิกพอร์ซเลนชนิดดั้งเดิม (conventional feldspathic porcelains) ที่ใช้กับงานครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (PFM) แล้วจึงนำไปพอก (apply) และขึ้นรูป (built up) โดยตรงบนไดทอนไฟ (refractory die) เซรามิกชนิดนี้มีหลายบริษัทผลิตออกมาจำหน่าย แต่ละบริษัทจะแตกต่างกันตรงที่ส่วนเสริมความแข็งแรง (reinforce components) ซึ่งใช้ลูไซต์ (Lucite) ร่วมกับอะลูมินัออกไซด์ (aluminum oxide) และเซอโคเนีย (zirconia) เป็นต้น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ออปเตกเฮชเอสพี (Optec HSP) ไฮซีแรม (Hi-Ceram) และ มิราจทู (Mirage II) ตามลำดับ

2. เซรามิกที่ขึ้นรูปโดยแรงเหวี่ยง (Castable ceramics) ไดคอร์ (Dicore system, Trubyte, Dentsply) เป็นเซรามิกระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในกลุ่ม ใช้แก้วเซรามิกไมกา (micaceous glass ceramic) ผ่านกระบวนการแทนที่กระสวนขี้ผึ้ง (lost-wax technique) และเหวี่ยงแก้วเซรามิกที่ร้อนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal casting) วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีพิเศษในการให้ความร้อน เรียกว่าซีแรมมิง (ceramming) ควบคุมการเกิดโครงผลึก (crystallization) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

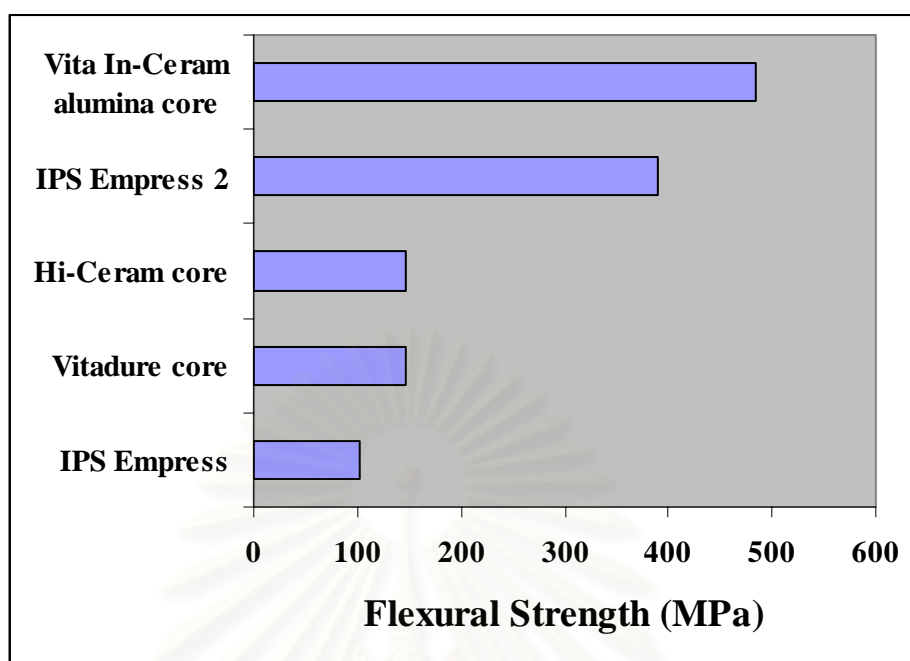
3. **เซรามิกชนิดกลึงโดยเครื่องจักร (Machinable ceramics)** แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ กลึงด้วยคอมพิวเตอร์ (computer-aided milling) และกลึงด้วยการลอกแบบ (copy-milling) พัฒนาเพื่อจัดการเกิดช่องว่าง หรือฟองอากาศขนาดเล็ก (microporosities) รวมถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (inhomogeneities) และการหดตัว (shrinkage) อันเกิดจากกรรมวิธีเดิมที่ผ่านความร้อนสูง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ระบบซีเรค (Cerec system) เดนเซอร์ (Denzer) และโปรเซรา (Procera) ส่วนอีกแบบ เช่น ซีเรย์ (Celay) ตามลำดับ

4. **เซรามิกที่แทรกด้วยแก้ว (Infiltrated ceramics)** เช่น อินซีแรม (In-Ceram) ขึ้นรูปโดยวิธีสลีปแคส (slip cast technique) เพื่อเตรียมโครงอะลูมินา (alumina framework) แทรกแก้วหลอมแลนทานัมอะลูมิโนซิลิกา (Molten lanthanum aluminosilica glass infiltrates) เป็นเซรามิกส่วนโครงสร้างของครอบฟัน แล้วจึงเคลือบบางด้วยเฟลสปาติกพอร์ซเลนเพื่อความสวยงาม โดยใช้เฟลสปาติกพอร์ซเลนที่เข้าคู่กัน อินซีแรมสปิแนล (In-Ceram spinell) มีสปิแนลซึ่งเป็นออกไซด์ของแมกนีเซียม (magnesium) และอะลูมิเนียม (aluminum) เป็นโครง (spinell core) อ่อนแอกว่าโครงอะลูมินา แต่มีความใสกว่า (more translucent) ส่วนอินซีแรมเซอโคเนีย (In-Ceram zirconia) ที่ได้จากการเติมเซอโคเนียที่คงตัว (stabilized zirconia) จะมีกำลังดัดขวาง (flexural strength) ที่สูงขึ้น

5. **เซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยการหลอมกด (Pressable ceramics)** ได้แก่ ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress) และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS Empress II) ส่วนไอพีเอสเอ็มเพรส ใช้แท่งอินกอตเฟลสปาติกที่มีลูไซต์เสริมความแข็งแรง (lucite-reinforced feldspathic ingots) และทำซีแรมเอาไว้ก่อน (precerammed) เพื่อพัฒนาให้ได้ความแข็งแรงมากขึ้นจึงผลิตไอพีเอสเอ็มเพรสทูซึ่งเป็นแก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate glass ceramic) แม้องค์ประกอบต่างกันแต่ใช้วิธีขึ้นรูปเหมือนกันคือ การแทนที่กระสุนขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีหลอมกด และแต่งสีให้สวยงามด้วยวิธีแต้มสี (staining) หรือเคลือบบาง (veneered) (Markus, 2001)

Markus ทำการศึกษาถึงความสำเร็จในระยะยาวของการบูรณะฟันโดยใช้วัสดุต่างๆ และสรุปไว้ในปี 2001 ดังนี้ แม้ว่าวัสดุบูรณะฟันเซรามิกล้วนบางระบบจะยังไม่ผ่านการศึกษาระยะยาวเช่นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน แต่ในการติดตามตลอดระยะเวลา 5 ปี พบว่าครอบฟันเซรามิกล้วนก็ให้ผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจ คือมีอัตราการคงอยู่สูงถึงร้อยละ 84.4 ถึง 100 โดยเฉพาะในพื้นหน้า ยกเว้น ไคโคอร์ ที่มีอัตราการคงอยู่เพียงร้อยละ 48.3 ถึง 100

Rizkalla AS, Jones DW. ทำการวัดค่ากำลังดัดขวางของเซรามิกชนิดต่างๆ และได้รายงานไว้ในปี 2004 ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงค่ากำลังดัดขวางของเซรามิกส์ชนิดต่างๆ

(Figure 1. The Student–Newman–Keuls rank order test comparing the flexural strength of five commercial all ceramic core materials. Rizkalla AS, Jones DW. Dent Mater. 2004)

วัสดุบูรณะฟันเซรามิกล้วนมีหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก เช่นเซรามิกที่มีความโปร่งแสงมากจนถึงมีความโปร่งแสงน้อย มีความแข็งแรงมากจนถึงแข็งแรงน้อย ดังนั้นจึงมีหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้งาน เช่น ความแข็งแรง ความแนบสนิทตามขอบ (marginal adaptation) อัตราการสึกของฟันคู่สบ และความโปร่งแสง เป็นต้น Fradeani M และ Barducci G กล่าวในปี 2000 ว่าวัสดุบูรณะฟันไอพีเอสเอ็มเพรสทู แม้ว่าจะมีกำลังดัดขวาง (flexural strength) น้อยกว่าวัสดุบูรณะฟันเซรามิกล้วนบางระบบก็ตาม แต่จากการพัฒนาจนมีกำลังดัดขวางมากขึ้นกว่าไอพีเอสเอ็มเพรสทูมาก คือมีกำลังดัดขวางถึง 350 ± 50 MPa จึงเพียงพอต่อการนำไปใช้บูรณะฟันหน้าตั้งแต่ซี่เดียวจนถึงสะพานฟันสามหน่วยจนถึงฟันกรามน้อย และเมื่อพิจารณาอัตราการสึก Fradeani ยังพบว่าไอพีเอสเอ็มเพรสทูส่วนโครงสร้าง และฟลูออโรอะพาไทท์ของส่วนเคลือบบางมีอัตราการสึกใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ เมื่อพิจารณาความคงทนต่อสารเคมี (chemical resistance) Fradeani กล่าวว่าเขาไม่พบการลดลงของกำลังดัดขวางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อนำไอพีเอสเอ็มเพรสทูแซในน้ำกลั่น จึงแนะนำให้เตรียมเซรามิกส่วนโครงสร้างบริเวณด้านสัมผัสเหงือกที่ฟันครอบและฟันแวนด้วยไอพีเอสเอ็มเพรสทูเพื่อให้เกิดความแข็งแรง

แก้วเซรามิก ลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate glass-ceramic) เป็นเซรามิกที่มีความแข็งแรงเพียงพอ จึงเป็นที่นิยมใช้บูรณะฟันในกรณีที่ต้องการความสวยงาม และรู้จักกันในชื่อทางการค้าคือ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS Empress 2, Ivoclar North America Inc., Amherst, N.Y., US) (Sorensen 1999) (Oh และคณะ, 2000) (Zawta 2001)

ไอพีเอสเอ็มเพรสทู

ระบบไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS Empress 2) แตกต่างจากระบบไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress) หลายประการ John A. Sorensen ดีพิมพ์ และแนะนำเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS Empress 2) ในปี 1999 ว่าเป็นระบบเซรามิกล้วน (all-ceramic system) สำหรับทำครอบฟัน ซึ่งเดี่ยวจนถึงสะพานฟันสามหน่วย ในงานฟันปลอมบางส่วนติดแน่นได้จนถึงฟันกรามน้อย ซึ่งไอพีเอสเอ็มเพรสทู มีองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงชนิดและลักษณะของโครงสร้างผลึกที่ต่างจากไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS-Empress) อย่างสิ้นเชิง ส่งผลให้มีคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการแตกต่างออกไปเช่นเดียวกัน (Sorensen 1999)

ในปี 2000 Sang-Chun Oh และคณะรายงานลักษณะโครงสร้างระดับไมครอนของแก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate glass ceramic) ในระบบไอพีเอสเอ็มเพรสทูว่าประกอบด้วยผลึกลิเทียมไดซิลิเกตจำนวนมาก มีขนาดเล็กระดับไมครอนลักษณะยาวสานกันไปมาหลากหลายทิศทางแบบอัดกันแน่น (closely packed and multidirectionally interlocking microstructure) และจากเอกสาร material science fundamentals of the IPS Empress2 glass-ceramic ที่ตีพิมพ์โดยบริษัท Ivoclar-vivadent 1998 ระบุว่าผลึกของลิเทียมไดซิลิเกตมีความยาว 2 ไมครอน เส้นผ่าศูนย์กลางกว้างที่สุด 1 ไมครอน ส่วนผลึกของลิเทียมอซิฟอสเฟตมีขนาด 0.1-0.3 ไมครอน

เนื่องจากไอพีเอสเอ็มเพรสทูมีความแข็งแรงสูงขึ้นจึงสามารถนำไปทำเป็นแกนหรือส่วนโครงสร้างของฟันปลอมบางส่วนติดแน่นได้ถึง 3 หน่วยติดกัน และสามารถใช้ได้กับฟันหน้าจนถึงฟันกรามน้อย บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้มีส่วนเชื่อมต่อ (connector) อย่างน้อยขนาด 4x4 มิลลิเมตร เซรามิกเคลือบบางก็ต่างไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง คือ ใช้ผลึกฟลูออโรอะพาไทท์ (fluoroapatite crystals) ซึ่งมีโครงผลึกคล้ายกับ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite) ที่พบในฟันธรรมชาติส่งผลดีต่อความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatible) ให้สูงขึ้น

ผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่ปรับสภาพด้วยกรดแล้วมีลักษณะจำเพาะ (unique) คือ มีผลึกลิเทียมไดซิลิเกตลักษณะยืดยาว (elongated lithium disilicate crystals) สานตัวไปมา (interlocking) โดยปราศจากผลึกของลิเทียมออกโทฟอสเฟต ซึ่งน่าจะเป็นเพราะผลึกลิเทียมออกโทฟอสเฟตถูกละลายออกไปพร้อมกับแก้วเมทริกซ์เป็นชั้นบางๆ ในขณะที่กรดกัด และคงเหลือแต่ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่ไม่ถูกละลายไปด้วยกรดที่ใช้ปรับสภาพ จึงทำให้ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่โผล่ออกมาหลังจากปรับสภาพด้วยกรดบนพื้นผิวเซรามิก ซึ่งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับไอพีเอสเอ็มเพรส คือ ผลึกลูไซต์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของไอพีเอสเอ็มเพรส จะถูกละลายออกไปด้วย (Sang-Chun Oh และคณะ 2000)

ในปี 1999 Schweiger และคณะ ได้พัฒนาส่วนโครงสร้างของระบบเซรามิกล้วน ไอพีเอสเอ็มเพรสทู โดยให้ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate crystal) ที่มีขนาดเล็กระดับไมครอน (crystalline microstructure) มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 60 โดยเรียงตัวแน่น (densely arranged) และเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน (uniform bonded) กับแก้วเมทริกซ์ (glassy matrix) อย่างเป็นระเบียบ ไอพีเอสเอ็มเพรสทูจึงประกอบไปด้วยผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่ยืดตัวออก (elongated) สานกันอยู่ทั่วไป ซึ่งจะช่วยลดการขยายตัวของรอยแตก (crack propagation) ส่งผลที่ดีต่อความเหนียว (toughness) และกำลังดัดขวาง (fractural strength) ของส่วนโครงสร้าง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงภาพขยายส่วนโครงสร้างของระบบเซรามิกล้วนไอพีเอสเอ็มเพรสทู ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่มีขนาดเล็กระดับไมครอนมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 (Figure 2, Schweiger M et al, 1999)

แม้ว่าระบบไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress 2) จะมีความแตกต่างไปจากระบบไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress) หลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแง่ของอินกอตของระบบไอพีเอสเอ็มเพรสประกอบไปด้วยลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) ซึ่งเป็นเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง (high-strength ceramic) แต่อย่างไรก็ตามไอพีเอสเอ็มเพรสก็ยังมีกรรมวิธีการขึ้นรูปส่วนโครงสร้าง (core) เหมือนไอพีเอสเอ็มเพรส (Mito T. 1997)

Mito และ Sorensen อธิบายวิธีการการขึ้นรูปชิ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรส ไว้ในปี 1997 ว่าการขึ้นรูปของไอพีเอสเอ็มเพรสใช้กรรมวิธีฉีดเซรามิกเหลวแทนที่กระสวนซี่ผึ้ง ดังนั้นจึงต้องนำกระสวนซี่ผึ้งมาตีสปรู (spru) เพื่อเป็นทางผ่านของเซรามิกเหลวในบ้าหลอมโดยใช้แท่งซี่ผึ้งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร หรือแท่งซี่ผึ้งเบอร์ 8 (8-gauge) โดยทำมุมประมาณ 45 องศา ยาว 6-8 มิลลิเมตร แล้วนำสปรูยึดติดกับฐานพลาสติก เพื่อเตรียมแบบหล่อทนไฟ (investing) ให้มีทางผ่านของเซรามิกเหลวลักษณะเหมือนท่อกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

การเตรียมแบบหล่อทนไฟ ทำโดยนำกระดาษพันแหวน (ring paper) ประกอบกับฐานพลาสติกที่ตีสปรูและชิ้นงานซี่ผึ้งปิดวงแหวนพลาสติกอีกข้างให้คงรูป จากนั้นจึงนำวัสดุหล่อแบบทนไฟ (investment) ที่ยังไม่ก่อตัว และมีลักษณะเหลวเทลงไปในวงแหวนกระดาษที่เตรียมไว้ ขั้นตอนนี้คล้ายกันกับไอพีเอสเอ็มเพรสแตกต่างกันตรงชนิดของวัสดุหล่อแบบทนไฟและขนาดของแท่งอินกอต (ingot) การเลือกขนาดของแท่งอินกอตมีความสำคัญเพื่อจะไม่เปลืองวัสดุหากเลือกแท่งอินกอตใหญ่เกินไป หรือทำให้ข้อชิ้นงานไม่เต็มหากเลือกขนาดเล็กเกินไป

หลักการเลือกอินกอต จะใช้น้ำหนักของซี่ผึ้งเป็นเกณฑ์ คือ หากซี่ผึ้งมีน้ำหนัก 0.5 กรัม หรือน้อยกว่าให้เตรียมแบบหล่อทนไฟขนาดเล็กและเลือกใช้ก้อนอินกอตขนาดเล็กด้วย หากซี่ผึ้งมีน้ำหนักรวมกว่า 0.5 กรัม แต่ต้องไม่มากกว่า 1.3 กรัม ก็ให้เลือกใช้ก้อนใหญ่และแบบหล่อทนไฟขนาดใหญ่ด้วยจากนั้น ตั้งแบบหล่อทนไฟให้ก่อตัว 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ก่อนที่จะแยกส่วนฐานและฝาพลาสติกออกจากกัน แล้วจึงนำแบบหล่อทนไฟ (burnout furnace) พร้อมกับหัวกด (plunger) เข้าเตาเผาไล่ซี่ผึ้ง ส่วนแท่งอินกอตไอพีเอสเอ็มเพรสไม่ต้องเข้าเตาเพื่อเตรียมอุณหภูมิ (preheated)

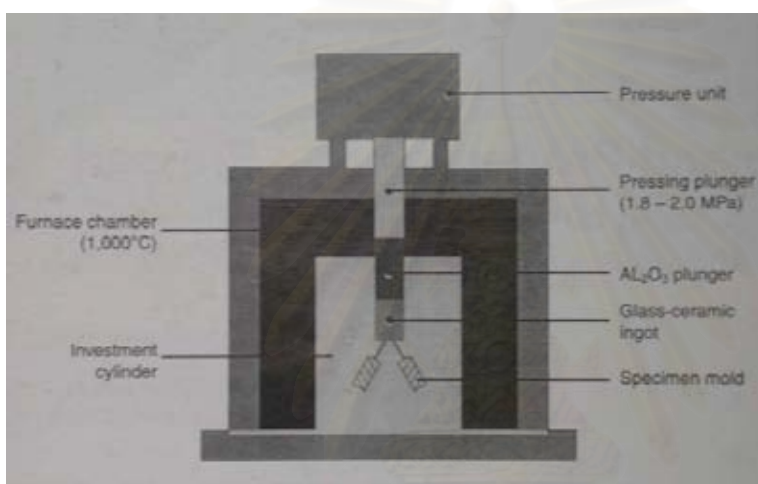
วงจรการเผา หรือ วงจรการให้ความร้อนมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มจากอุณหภูมิห้องจนถึง 250 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิไปที่ละ 5 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ไว้ 30 นาที

ขั้นที่ 2 จากอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสถึง 850 องศาเซลเซียสโดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิไปที่ละ 5 องศาเซลเซียสเช่นกัน และคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ 60 นาที

หลังจากผ่านเตาเผาได้ชิ้นแล้วก็นำแบบหล่อทนไฟ พร้อมหัวกดที่กำลังร้อนรวมทั้งแท่งอินกอตอุณหภูมิห้องโดยเลือกตามสีที่ต้องการ นำไปเข้าเตาเผาหลอมกดเฉพาะ อีพีห้าศูนย์ศูนย์ (EP500 pressing furnace) ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิที่ 920 องศาเซลเซียสและคงอุณหภูมิไว้ 20 นาที ระยะเวลาให้ความดัน 5 บรรยากาศ (bars)

เริ่มให้เตาเป็นสุญญากาศตั้งแต่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และที่ 920 องศาเซลเซียส หลังจากกดหัวกดแล้วก็นำแบบหล่อทนไฟออกทันที แล้วนำไปวางบนฐานวางแบบ



ภาพที่ 5 ก



ภาพที่ 5 ข

ภาพที่ 5 แสดงภาพเตาหลอมกด อีพีห้าศูนย์ศูนย์ (EP500 pressing furnace) ภาพที่ 5 ก แสดงแผนภาพอีพีห้าศูนย์ศูนย์ ภาพที่ 5 ข แสดงลักษณะเตาหลอมกดอีพีห้าศูนย์ศูนย์

เมื่อตั้งทิ้งแบบหล่อทนไฟจนเย็นลงแล้ว จึงกรอเอาชิ้นงานออกจากแบบโดยใช้จานวงแหวน (disk) ตัดตรงตำแหน่งรอยต่อระหว่างหัวกด และแท่งอินกอต จากนั้นฉีดพ่นอนุภาคแก้ว (glass beads blasted) ขนาด 80 ไมครอน ความดัน 4 บรรยากาศ (bars) และเมื่อเข้าใกล้ชิ้นงานต้องลดความดันลงเหลือเพียง 2 บรรยากาศ ชิ้นงานที่ได้ออกมาบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ทำความสะอาดด้วยเครื่องสั่นความถี่เหนือเสียง (ultrasonically cleanser) โดยใช้อินเวคลิควิด (Invex liquid) คือ กรดกัดแก้วความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 10 นาทีจึงล้างออกแล้วเป่าแห้ง

ตามลำดับ ต้องตัดสปูออกด้วยวงแหวนกากเพชร (diamond disk) แล้วจึงขัดแต่งด้วยหัวกรอกกากเพชร (diamond rotary instruments) เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเกิดขึ้น อันจะนำไปสู่การเกิดการแตกหักระดับไมครอน (microcrack) จึงจำเป็นต้องใช้น้ำฉีดไประหว่างขึ้นงานและหัวกรอกตลอดเวลาเพื่อลดอุณหภูมิ

หลังจากกรอแต่งสมบูรณ์แล้ว (final adjustments) นำไอพีเอสเอ็มเพรสทูส่วนโครงสร้างไปฟันด้วยอนุภาคของอะลูมินัมออกไซด์ที่ความดัน 1 บรรยากาศและทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นโดยใช้เครื่องสั่นความถี่เหนือเสียง จากนั้นจึงเริ่มพอกเซรามิกส่วนเคลือบบางหรือแต่งสีให้ขึ้นงานมีลักษณะสวยงามคล้ายธรรมชาติ

ไอพีเอสเอ็มเพรสทูส่วนเคลือบบาง

Fradeani ปี 2000 กล่าวว่า ไอพีเอสเอ็มเพรสทู ประกอบด้วยเซรามิก 2 ชั้น ชั้นที่อยู่ด้านบนคือเซรามิกชั้นเคลือบบาง (veneering ceramic) เป็นแก้วเซรามิกฟลูออโรอะพาไทท์ (fluoroapatite glass-ceramic) ใช้สำหรับสร้างผลึกฟลูออโรอะพาไทท์ (fluoroapatite crystal) คล้ายกับโครงสร้างชั้นเคลือบฟัน จึงให้ความสวยงามเลียนแบบฟันธรรมชาติ และคุณสมบัติกระเจิงแสง (light-scattering properties) ใกล้เคียงกับฟัน อีกทั้งยังมีความโปร่งแสงมาก (high translucency) องค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกชั้นเคลือบบาง คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

ในปี ค.ศ. 1999 Schweiger และคณะ กล่าวว่า ความโปร่งแสงของเซรามิกชั้นเคลือบบางเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุ วัสดุได้ระหว่าง 0.05 และ 0.50 (0 หมายถึงมีความความโปร่งแสง (transparent) สูงสุด ในขณะที่ 1.0 หมายถึงมีความทึบแสง (opaque) สูงสุด) ตาม British Standard BS 5612: 1978 ทำให้ทันตแพทย์สามารถออกแบบขึ้นงานบูรณะฟันให้มีขอบ (margin) อยู่พอดีขอบเหงือก หรือต่ำกว่าขอบเหงือกเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลดีต่อสภาพเหงือก และอวัยวะปริทันต์ (Fradeani 2000)

การขึ้นรูปเซรามิกชั้นเคลือบบางมีกรรมวิธีเหมือนการขึ้นรูปพอร์ซเลน ในงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน คือเผา (sintering process) เป็นขั้นๆ เซรามิกชั้นเคลือบบางมีสีต่างๆ เพื่อใช้งานแต่ละตำแหน่ง คือ เนื้อฟัน (Dentin) ปลายฟัน (Incisal) อิมพัลส์ (Impulse) ทรานสป่า (Transpa) และ เอฟเฟก (Effect) อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูปอยู่ที่ประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส (Oh และคณะ, 2000)

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกชั้นเคลือบบาง คิดเป็นร้อยละ
โดยน้ำหนัก (Schweiger et al 1999)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
SiO ₂	45-70
Al ₂ O ₃	5-22
P ₂ O ₅	0.5-6.5
K ₂ O	3-9
Na ₂ O	4-13
CaO	1-11.0
F , B ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , Li ₂ O , BaO , MgO , ZnO , SrO, TiO ₂ , ZrO ₂ , CeO ₂	0.1-2.5 or 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไอพีเอสเอ็มเพรสทูส่วนโครงสร้าง

เซรามิกส่วนโครงสร้าง (core) ที่อยู่ด้านในให้ความแข็งแรงแก่ชิ้นงาน ขึ้นรูปจากแท่งอินกอต (ingot) ของไอพีเอสเอ็มเพรสทู ด้วยกระบวนการแทนที่กระสวนขี้ผึ้ง (lost wax technique) โดยการหลอมแท่งอินกอตที่อุณหภูมิ 1400-1600 องศาเซลเซียส แล้วฉีดอัดเข้าเบ้าภายใต้อุณหภูมิสูง (high temperature injection molding technique) ที่ 920 องศาเซลเซียส ชิ้นเซรามิกส่วนโครงสร้างมีองค์ประกอบหลักเป็นผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate crystal $[\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}]$) สานกันไปมา (interlock) อย่างเป็นระเบียบ ถึงเกือบร้อยละ 60 โดยปริมาตร อยู่ในแมทริกส์แก้ว (glass matrix) ส่งผลดีในแง่เพิ่มกำลังดัดขวาง (flexural strength) แก่ชิ้นงาน และมีผลึกลิเทียมออร์โธฟอสเฟต (Lithium orthophosphate crystal) ขนาดเล็กกว่ารวมอยู่ด้วย องค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกส่วนโครงสร้าง คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก แสดงในตารางที่ 2

ในปี ค.ศ. 1999 Sorensen ได้ศึกษากำลังดัดขวาง โดยใช้วิธีกดสามจุดให้ดัดงอ (three points bend test) วัดค่าได้ 339 ± 20 เมกะปาสคาล (MPa) ส่วน Fradeani และ Barducci กล่าวในปี ค.ศ. 2000 ว่าค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางของไอพีเอสเอ็มเพรสทู อยู่ที่ 350 ± 50 เมกะปาสคาล จึงสามารถใช้ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู เป็นวัสดุบูรณะฟันได้ตั้งแต่ซี่เดียว จนถึงสะพานฟันสามหน่วยซึ่งฟันหลักไม่ควรอยู่ไกลกลางเกินไปกว่าฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 Brix และคณะ กล่าวว่าค่ากำลังดัดขวาง 350 เมกะปาสคาล มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานเพื่อใช้บูรณะในงานฟันปลอมบางส่วนติดแน่นชิ้นเล็กๆ ทั้งฟันหน้าและหลัง

ในปี 2000 Oh, S. C. และคณะ ศึกษาเปรียบเทียบกำลังดัดขวางของชิ้นทดสอบ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู ก่อน และหลังการหลอมกด (heat pressed) โดยใช้วิธีกดสามจุดให้ดัดงอ รวมทั้งจำลองให้ความร้อนเหมือนขั้นตอนขึ้นรูปการขึ้นรูปเซรามิกชั้นเคลือบบาง พบว่าหลังผ่านกระบวนการการหลอมกดและจำลองให้ความร้อนแก่เซรามิกส่วนโครงสร้าง เพื่อทำชั้นเคลือบบางในระยะแรก เซรามิกส่วนโครงสร้างของไอพีเอสเอ็มเพรสทู มีกำลังดัดขวางเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในทางกลับกันเมื่อจำลองให้ความร้อนเพื่อทำชั้นเคลือบบางครบทุกขั้นตอน พบว่ากำลังดัดขวางลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับทั้งเซรามิกกลุ่มก่อนหลอมกด แสดงว่ากระบวนการขึ้นรูปจนเสร็จสิ้นทุกขั้นตอน ไม่มีผลกระทบต่อกำลังดัดขวางของเซรามิกส่วนโครงสร้างของไอพีเอสเอ็มเพรสทู

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกส่วนโครงสร้าง คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก (Schweiger et al 1999)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
SiO ₂	57-80
Al ₂ O ₃	0-5
La ₂ O ₃	0.1-6.0
MgO	0-5
ZnO	0-8
K ₂ O	0-13
Li ₂ O	11-19
P ₂ O ₅	0-11
Additives	ไม่เกิน 8

การยึดชิ้นงาน ไอพีเอส-เอ็มเพรสทู ที่มีจุดเด่นในด้านความโปร่งแสง จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเลือกใช้ซีเมนต์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความสวยงามของวัสดุ เช่น สีของซีเมนต์สะท้อนออกมาทำให้สีของชิ้นงานเปลี่ยนไป เป็นต้น เรซินซีเมนต์ (resin cements) จึงเป็นทางเลือกอันดับแรก เพราะให้การยึดคงทนในเวลายาวนาน (durability) (Jardel, 1999) มีสีให้เลือก สามารถทดลองสีได้ในชิ้นงานก่อนใช้เรซินซีเมนต์สีนั้นยึดจริง (Roulet, 2000) เรซินซีเมนต์ยังมีคุณสมบัติที่ดี คือ การละลายตัวต่ำ ให้แรงยึดสูง มีความแข็งแรง ดูดซับน้ำได้น้อย (low water sorption) พบการรั่วตามขอบ (microleakage) ต่ำกว่า ซีเมนต์แบบดั้งเดิม (conventional cements) มาก และมีความคงตัวของสี (Rosenstiel และคณะ, 1998) เรซินซีเมนต์ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการคือ เพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานบูรณะที่เป็นเซรามิกฉนวน โดยป้องกันการลุกลามของรอยร้าว (crack propagation) จากรอยตำหนิของผิวด้านใน (internal flaw) Markus B Blatz และคณะ กล่าวสรุปในเรื่องการยึดระหว่างเซรามิก และเรซิน ในปี 2003 ในส่วนของเซรามิกที่มีซิลิกา

องค์ประกอบหลัก (silica-based ceramics) ซึ่งวัสดุกลุ่มนี้ได้แก่ เฟลสปาติกพอร์ซเลน และแก้วเซรามิก ที่รู้จักกันดีในชื่อเซรามิกเคลือบโลหะ (metal ceramics) และแกนเซรามิกความแข็งแรงสูง (high-strength ceramic copings) สำหรับวัสดุบูรณะเซรามิกล้วนตามลำดับ ซึ่งรวมถึง เฟลสปาติกพอร์ซเลนเสริมลูไซต์ (lucite- reinforced feldspathic porcelain) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า ไอพีเอส-เอมพรอส และแก้วเซรามิกเสริมลิเทียมไดซิลิเกต (lithium-disilicate glass-ceramic) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า ไอพีเอส-เอมพรอสทู เมื่อจะยึดโดยใช้เรซินมีขั้นตอนดังนี้ ขัดเรียบ (grinding) จากนั้นกรอด้วยหัวกรอกากเพชร (abrasion) แล้วจึงพ่นอนุภาคของอะลูมินัมออกไซด์ (airborne particle abrasion) ทากรดกัดแก้ว (HF) ซิลีน (silane) ตามลำดับ และ Markus B Blatz และคณะยังอธิบายต่อไปอีกว่าในทุกๆ วิธีการเตรียมพื้นผิวเซรามิก ไอพีเอส-เอมพรอสทูซึ่งมีปริมาณโครงสร้างผลึกสูงจะให้ค่าความแข็งแรงยึดมากกว่าไอพีเอส-เอมพรอส (Markus,2003)



ภาพที่ 6 ก



ภาพที่ 6 ข

ภาพที่ 6 แสดงการส่องผ่านของแสงจากไอพีเอสเอมพรอสทูส่วนโครงสร้างที่ยึดกับฟันธรรมชาติ ภาพที่ 6 ก ยึดด้วยแก้วไอโอโนเมอร์ (Glass Ionomer cement) แสงผ่านได้น้อย ภาพที่ 6 ข ยึดด้วย เรซินซีเมนต์ระบบหนึ่ง แสงผ่านได้มากกว่า (David A.G. และคณะ 1994)

ความแข็งแรงของการยึดระหว่างเรซินซีเมนต์ และเซรามิกมีจุดหลักอยู่ที่ การยึดติดทางกลขนาดเล็ก (micromechanical interlocking) ร่วมกับมีการยึดติดทางเคมี (chemical bonding) ที่บริเวณผิวของเซรามิกด้วย (Sorensen J.A. และคณะ 1991) (Wolf DM และคณะ 1992) (ChenJH และคณะ 1998)

กลไกการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิก แบ่งเป็น 2 ทางหลัก คือ การยึดอยู่ทางกลศาสตร์ (mechanical retention) และการยึดอยู่ทางเคมี (chemical retention)

การยึดอยู่ทางกลศาสตร์ (mechanical retention)

เป็นการปรับสภาพผิวทำให้เกิดความขรุขระเพื่อการส่งเสริมการยึดติดโดยการเพิ่มพื้นที่ผิว เริ่มมีการรายงานวิธีการต่างๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 โดย Jochen แนะนำให้ทำการขัดผิวเซรามิกด้วยหัวกรอหินสีเขียวก่อนยึดขึ้นงานกับเรซินคอมโพสิต (resin composite) ต่อมาในปี ค.ศ. 1977 Jochen และ Caputo ศึกษาเปรียบเทียบการใช้หัวกรอแตกต่างกัน 4 แบบพบว่าเมื่อใช้หัวกรอภาคเพชรชนิดหยาบ (coarse diamond bur) จะให้ค่าแรงยึดดึง (tensile bond strength) สูงสุดเมื่อเทียบกับ หัวกรอหินปราศจากความร้อน (heatless stone) หัวกรอหินสีเขียว (green stone) และจานคาร์โบรันดัม (carborundum disk) วิธีการอื่นๆ ที่ใช้กันในเวลาต่อมามีดังต่อไปนี้

การพ่นอนุภาค (airborne) เป็นการใช้แรงดันพ่นอนุภาคขนาดเล็กลงไปที่ผิวขึ้นงาน เพื่อให้ผิวขึ้นงานขรุขระ มีขนาดและชนิดของอนุภาคที่ใช้มากมาย เช่น ผงอลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide, Al_2O_3) ขนาด 50 ไมครอน เป็นต้น

Thurmond และคณะ (1994) ทดลองปรับสภาพผิวขึ้นงานเซรามิกก่อนยึดขึ้นงานด้วยเรซินคอมโพสิต แบ่งกลุ่มโดยการใช้ และไม่ใช้การเป่าทรายด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน กรดกัดแก้ว (HF) ความเข้มข้นร้อยละ 8 กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 32 และสารซีเลน พบว่าการเป่าทรายด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับกรดกัดแก้วและสารซีเลนให้ค่าแรงยึดสูงที่สุด Kern และคณะ กล่าวในปี 1994 สอดคล้องกับ Calamia และคณะ ในปี 1985 ว่าการเป่าทรายที่มากเกินไปพจนามาซึ่งการแตกหักและการหลุดที่พื้นผิวของเซรามิกมากเกินไป ส่งผลต่อความแนบสนิทของขึ้นงาน มีผู้แนะนำการเตรียมผิวเซรามิกมากมาย เช่น Kupiec และคณะ กล่าวในปี 1996 สอดคล้องกับ Thurmond และคณะปี 1994 แนะนำให้ทำสามขั้นตอนเพื่อเตรียมพื้นผิว คือ เริ่มจากเป่าทรายด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ร่วมกับกรดกัดแก้วและสารซีเลน แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดลองส่วนมากกล่าวสรุปไว้ในแนวทางเดียวกันว่าการเป่าทรายแม้ช่วยให้มีค่าความแข็งแรงยึดสูงขึ้นก็ตาม หากเตรียมผิวเซรามิกโดยเป่าทรายเพียงอย่างเดียวจะไม่ได้ให้ค่าแรงยึดสูงสุด

การกัดผิวด้วยกรด (acid gel etching) นอกจากจะช่วยเพิ่มความขรุขระหรือเพิ่มพื้นที่ผิวแล้วยังช่วยทำความสะอาดผิวขึ้นงานด้วย ช่วงแรกใช้กรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) เพื่อกัดผิวขึ้นงานเซรามิกเหมือนกับการปรับสภาพผิวฟัน แต่ให้ผลไม่ดีนักโดยในปี ค.ศ.

1983 Simonsen และ Calamia กล่าวว่าเมื่อใช้กรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปรับสภาพผิวชิ้นงานเซรามิก พบว่าได้ค่าแรงยึดเพิ่มขึ้น และให้ผลเช่นเดียวกับ Calamia และ Simonsen (1984) ที่ทำการทดลองคล้ายเดิมในปีถัดมา แต่ร่วมกับใช้สารซิลิโคน (silane)

การทดลองช่วงต่อๆ มาเริ่มเปลี่ยนมาใช้กรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid, HF) เพื่อปรับสภาพผิวชิ้นงานเซรามิกก่อนยึดกับเรซินคอมโพสิต การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดกัดแก้ว จะเกิด ปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์บนผิวพอร์ซเลนอยู่ในรูปเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (hexafluoro silicate, H_2SiF_6) และทำให้เกิดลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายรังผึ้งบนผิวของเซรามิก (Borges และ คณะ 2003) แต่เนื่องจากมีอันตรายมากต่อเนื้อเยื่อ ก่อให้เกิดผื่นแดง (erythema) และ รอยไหม้ (burn) ไม่เพียงเท่านั้นกลไกการเกิดในระดับเซลล์ดำเนินต่อไป โดยกรดกัดแก้ว จะแทรกซึมเข้าไป ขัดขวางการทำงานของระดับเซลล์ (cell metabolism) ทำให้เกิดเนื้อตาย (tissue necrosis) ลึกลงไปในเวลาต่อมา การทำงานต้องทำในพื้นที่ ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก จึงเริ่มใช้เจลกรดฟลูออไรด์ หรือ เอพีเอฟ (acidurated phosphate fluoride, APF) ซึ่งมีทั้งไอออนของไฮโดรเจน และฟลูออไรด์ (hydrogen and fluoride ion) แต่ปลดปล่อยเพียงกรดกัดแก้วที่มีความเข้มข้นต่ำออกมา และมีการศึกษาทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการส่งเสริมการยึดติดของกรดทั้งสองตัวมากมาย เพราะกรดทั้งสองตัวนี้สามารถกัดแก้ว และเซรามิกได้ดี โดยละลาย (dissolve) แมทริกซ์แก้ว (glass matrix) ดังนั้นค่าแรงยึดจึงขึ้นกับชนิด และความเข้มข้นของกรด รวมทั้งระยะเวลาในการใช้ กรดกัดด้วย (Jochen, 1973), (Canay S. และคณะ, 2001)

ในปี 2001 Canay และคณะ ได้พิมพ์ผลการทดลองและสรุปผลดังนี้ แม้ว่าจะเป็น ที่แน่นอนแล้วว่าเอพีเอฟ (acidurated phosphate fluoride, APF) มีผลกระทบต่อพื้นผิว ของพอร์ซเลน แต่ก็ยังไม่พอที่จะสามารถสร้างการยึดอยู่ทางกลระดับไมครอน (micromechanical bonding) เมื่อเทียบกับกรดกัดแก้ว คือ เมื่อพิจารณาโดยใช้ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราดพบว่า เอพีเอฟให้พื้นผิวที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน (smooth homogenous) ขณะที่ พื้นผิวที่ปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้วมีลักษณะขรุขระไม่เป็นระเบียบ พบลักษณะช่องและร่องใน รูปแบบ 3 มิติ โดย Canay S. และคณะยังพบว่า ชิ้นงานที่ใช้ทากรดกัดแก้ว 4 นาทีที่มีความขรุขระ มากกว่า 1 นาที และความแตกต่างยิ่งชัดเจนเมื่อเทียบกับทาด้วยเอพีเอฟเป็นเวลา 10 นาที

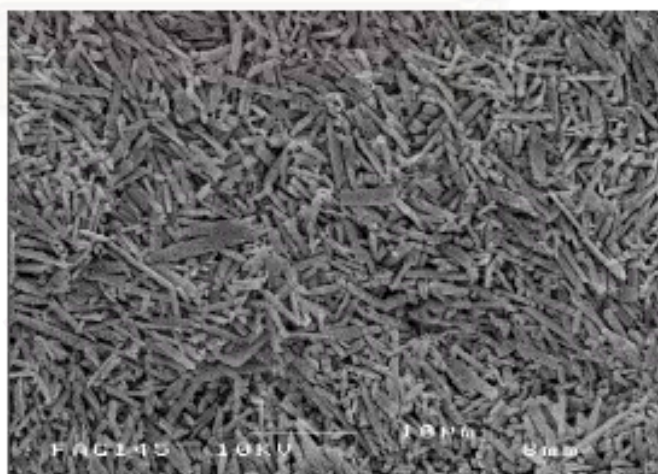
Stangel และคณะ (1987) ทำการทดลองยึดเรซินคอมโพสิต กับเฟลด์สปาทิก พอร์ซเลน แล้ว หาค่าความแข็งแรงยึดเฉือน ร่วมกับการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด ส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิว ด้วยกรดกัดแก้วด้วยความเข้มข้นและเวลาต่างๆ พบว่าใช้กรดกัดแก้วความเข้มข้นร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก เป็นเวลา 2.5 นาที จะให้สภาพผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และค่าแรงยึดเหมาะสมที่สุด Canay S. และคณะ (2001) กล่าวว่ามีการทดลองในอดีตที่

สรุปผลว่า เอพีเอฟส่งเสริมแรงยึดได้ดีเพียงพอ หรือเทียบเท่ากรดกัดแก้วก็ตาม แต่คณะทดลองของเขาที่ใช้เพียงส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด พบว่ากรดกัดแก้วให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเอพีเอฟ

Chen และคณะ (1998) ทดลองวัดค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิก และเรซินคอมโพสิต เมื่อใช้กรดกัดแก้วความเข้มข้น และเวลาต่างๆ พบว่าใช้กรดกัดแก้วความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ส่งเสริมให้แรงยึดมากกว่า ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในทุกๆ ช่วงเวลาเดียวกัน และการใช้กรดจะเริ่มให้ค่าแรงยึดมากขึ้นหากใช้นานมากกว่า 30 วินาทีขึ้นไป

Szep และคณะ (2000) อธิบาย และกล่าวถึงการใช้กรดกัดแก้วเอาไว้ โดยคณะผู้ทดลองพบว่าหากใช้กรดกัดแก้ว เมื่อล้างออกจะมีลักษณะของฟลูออไรด์ (amorphous precipitate of fluoride) ตกตะกอนอยู่ที่ผิวฟันส่งผลดีในแง่ป้องกันฟันผุซ้ำได้

ในปี 2000 Sang-Chun Oh และคณะรายงานลักษณะโครงสร้างระดับไมครอนของแก้วเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่ปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้วว่า ผิวของแก้วเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ปรับสภาพด้วยกรดแล้วมีลักษณะจำเพาะ (unique) คือ มีการสานตัวไปมา (interlocking) ของผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (elongated lithium disilicate crystals) ที่ยืดยาวโดยปราศจากผลึกของลิเทียมอโทฟอสเฟต ซึ่งน่าจะเป็นเพราะถูกละลายออกไปพร้อมกับแก้วเมทริกซ์ที่ถูกละลายออกไปเป็นชิ้นบางๆ ในขณะที่กรดกัดขณะปรับสภาพผิว ภาพกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด จึงแสดงให้เห็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่ไหลออกมาหลังจากปรับสภาพด้วยกรดบนพื้นผิวของแก้วเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู



ภาพที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงโครงสร้างระดับไมครอนของไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่ปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้ว ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตสานตัวไปมาโดยปราศจากผลึกของลิเทียมอโทฟอสเฟต ซึ่งถูกละลายออกไปพร้อมกับแก้วเมทริกซ์ (Cattell M.J. และคณะ 2002)

การยึดอยู่ทางเคมี (chemical retention)

การปรับสภาพผิวของเซรามิก เพื่อยึดกับเรซินซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากหมู่ทำงาน (functional group) ของเรซินซีเมนต์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้กับพื้นผิวของเซรามิก จึงต้องปรับสภาพโดยใช้สารยึดควบคู่ (coupling agent) ซึ่งมีหลายชนิด เช่น ไททาเนท (Titanate), เซอร์โคเนท (Zirconate) และสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน คือสารยึดควบคู่ซิลีน (silane coupling agent) เพราะนอกจากสารซิลีนจะมีหน้าที่หลักในการสร้างพันธะเคมีกับผิวเซรามิกแล้ว ยังส่งเสริมให้เกิดการเปียกผิว (wettability) ที่ผิวของเซรามิกอีกด้วย (Lacy และคณะ 1988)

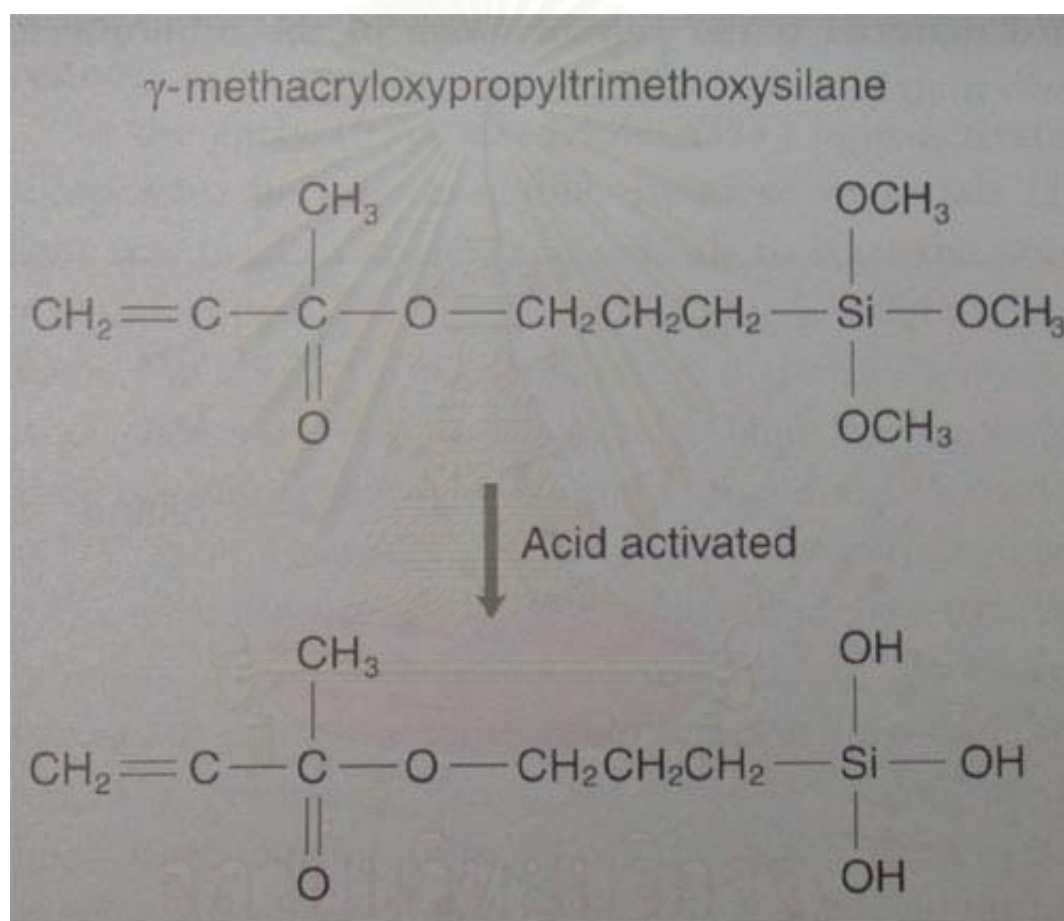
Canay S. พื้นผิวเมื่อปรับสภาพด้วยซิลีนหลังจากปรับสภาพด้วยกรดแล้วพบว่า จะลดความคมของรอยกรดที่รวมตัวกันทั้งหมดที่ผิวด้วย

Stangel และคณะ (1987) Lacy และคณะ (1988) Swift และคณะ (1994) รวมทั้ง Thurmond และคณะ (1994) ได้ทดลองและรายงานผลการใช้สารซิลีน พบว่าทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีระหว่าง เรซินซีเมนต์ กับ พอร์สเลนโดยมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25

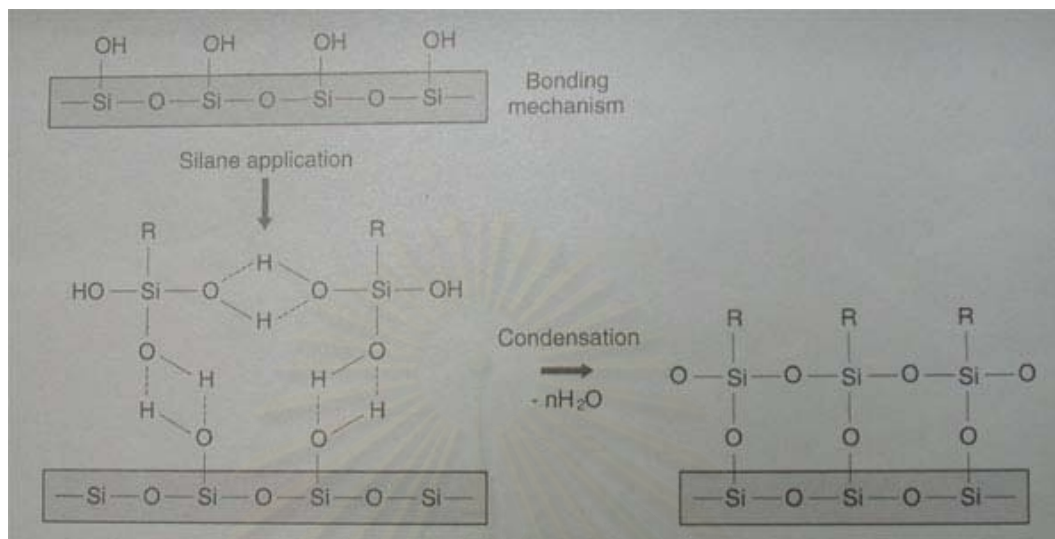
สารซิลีน มีหมู่ทำงานที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ 2 กลุ่ม (bifunctional groups) ทำหน้าที่เป็น สารยึดควบคู่ (coupling agent) ระหว่าง เรซินซีเมนต์ และ เซรามิก สารซิลีน มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไป คือ $R'-Si(OR)_3$ โดย R เป็น โซอินทรีย์สายสั้นๆ (organic side chain) ส่วน R' เป็น โซอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัว คือมีพันธะคู่ของคาร์บอนรอบทำปฏิกิริยากับหมู่ทำงานในแมทริกซ์อินทรีย์ของเรซิน ซิลีนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolyze) เป็น หมู่ไฮดรอกซิล (silanol group) ซึ่งมีซิลิกอน (Si) สร้างพันธะซิลอกเซนโควาเลนต์ (siloxane covalent bond, Si-O-Si) ยึดซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2) กับหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ที่ผิวของชิ้นงานเซรามิก ส่วนหมู่ทำงานอีกข้างจะจับกับหมู่ทำงานของเรซินซีเมนต์ (Soderholm และคณะ 1993) ดังนั้นการทาสารซิลีนในการเตรียมพื้นผิวเซรามิกก็เพื่อให้เกิดพันธะเคมีโควาเลนต์ และพันธะไฮโดรเจน (chemical covalent and hydrogen bond) (Bailey J.H. 1989) การใช้งานจะใช้ร่วมกับกรดอ่อน (weak acid) ในตัวทำละลาย เพื่อส่งเสริมการสร้างพันธะซิลอกเซน ซึ่ง Barghi และคณะปี 2000 อธิบายไว้ตรงกันกับ Culler และคณะ ที่กล่าวไว้ในปี 1986

สารซิลีนที่ใช้ในทางทันตกรรมมีหลายตัว ตัวอย่างเช่น แกมมาอามิโนโพรพิลไตรเอทอกซีซิลีน (γ -aminopropyl triethoxysilane) และที่นิยมใช้คือ แกมมาเมตาไคริลอซีโพรพิลไตรเอทอกซีซิลีน (γ -methacrylopropyl trimethoxysilane) เป็นต้น ซึ่งแบ่งซิลีนคร่าวๆ ออกเป็น 3

กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มสารซีเลนชนิดเดียวที่ไม่ไฮโดรไลต์ (unhydrolyzed single-liquid silain primer) อีกกลุ่ม คือ กลุ่มสารซีเลนชนิดเดียวที่ไฮโดรไลต์แล้ว (prehydrolyzed single-liquid silain primer) และกลุ่มซีเลนระบบแยกชนิด (2- or 3- liquid silain primer) ซึ่งกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มที่แนะนำให้ใช้ เพราะแม้ใช้งานยากกว่าแต่ก็เก็บรักษาง่าย และมีข้อพึงระวังขณะใช้งานน้อยกว่า (Chen และคณะ 1982)



ภาพที่ 8 แสดงแกมมาอิมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีซีเลนก่อนและหลังถูกกระตุ้นด้วยกรด (Galip Gurel, 2003)



ภาพที่ 9 แสดงเกมมาอิมิโนโพรพิลไตรอ็อกซีซีเลนเกิดพันธะไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน เกิดเป็นพันธะไฮลอกเซนโควาเลนต์ (Galip Gurel, 2003)

เรซินซีเมนต์

จุดอ่อนของระบบการบูรณะฟันด้วยเซรามิกล้วนก็คือ ส่วนเรซินซีเมนต์ (Braga R.R. และคณะ 2000) เรซินซีเมนต์มีหลากหลายระบบ แต่ละระบบมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดและบริษัทผู้ผลิต มีข้อเด่นหรือข้อด้อยเหมาะสมกับงานต่างๆ กัน (Braga R.R. และคณะ 1999)

เรซินซีเมนต์มีส่วนประกอบคล้ายวัสดุบูรณะฟันคอมโพสิต คือมีเรซินแมทริกซ์ (resin matrix) เป็นตัวประสาน และมีวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซีเลน (silane-treated inorganic filler) เพิ่มการยึดกันของทั้งสองส่วนประกอบ วัสดุอัดแทรกช่วยส่งเสริมทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง และความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นต้น รวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อน (abrasion resistance) (Anusavice 1996)

Inokoshi และคณะปี ค.ศ. 1993 แบ่งขนาดวัสดุอัดแทรก ออกเป็น 5 ขนาด คือ

1. Micro มีวัสดุอัดแทรกขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน
2. xxFine มีวัสดุอัดแทรกขนาด 0.1-1 ไมครอน
3. xFine มีวัสดุอัดแทรกขนาด 1-5 ไมครอน
4. Fine มีวัสดุอัดแทรกขนาด 5-25 ไมครอน
5. Macro มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่กว่า 25 ไมครอน

ขนาดของวัสดุอัดแทรกที่ใหญ่กว่า 25 ไมครอน ทำให้ความหนาของซีเมนต์ (film thickness) มีมาก อาจทำให้ใส่ชิ้นงานไม่ลงที่

ปริมาณวัสดุอัดแทรก (filler content) มีผลโดยตรงต่อความหนืด (Viscosity) รวมทั้งอัตราการหดตัวหลังเกิดปฏิกิริยาก่อตัวคือ ปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากขึ้นมีผลทำให้ความหนืดของเรซินซีเมนต์สูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้เรซินซีเมนต์มีการหดตัวน้อยลง แต่ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อความหนาของซีเมนต์ (White and Yu, 1993) เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดต่ำทำให้ใส่วัสดุบูรณะลงที่ได้ง่ายกว่า ในปี 2001 Hahn แนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงยึดชิ้นงาน เพื่อลดความไม่แนบของชิ้นงานจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ เพราะเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงหดตัวน้อยกว่าพวกที่มีความหนืดต่ำ

El-Mowafy และคณะ (1999) กับ Braga, R. R. และคณะ (1999) และรวมทั้ง McComb D. (1996) แบ่งเรซินซีเมนต์ตามกลไกการก่อตัวเป็นโพลิเมอร์ (polymerization) ได้ 3 ชนิด คือ

1. ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical activated)
2. ชนิดก่อตัวด้วยแสง (photoactivated)
3. ชนิดก่อตัวควบคู่ (ก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี) (dual activated)

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี ใช้เวลาการก่อตัวค่อนข้างเร็วและคงที่ จึงทำให้มีช่วงเวลาทำงานสั้น (short working time) แต่สามารถเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้สมบูรณ์ โดยไม่ขึ้นกับความหนาของเซรามิกบูรณะฟัน (Braga และคณะ, 1999) กลไกการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของแต่ละบริษัทผู้ผลิตแตกต่างกัน เช่น ใช้เพอร์ออกไซด์เป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยาเคมี (peroxide initiator) ร่วมกับเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (amine accelerator) โดยเร่งให้เพอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) เพื่อทำลายพันธะคู่ (double bond) ที่หมู่ทำงาน (functional group) ในส่วนของโมโนเมอร์ (monomer) และโพลิเมอร์ (polymer) แล้วจับกันใหม่เป็นสายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้น (Anusavice, 1996) บางบริษัทใช้ไตรเอทิลโบรอนในอะซิโตน (Tri-n butyl borane/acetone) หรือ ทีบีบี (TBB) เป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยา เนื่องจากสารชนิดนี้ไวต่อออกซิเจนใน

อากาศหรือน้ำ และแตกตัวให้เพอร์ออกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยาการก่อตัว ในปี ค.ศ.1980 Nakabayashi และ Masuhara พัฒนาไฟร์เมทาคริลอิลออกซีเอทิล-ไตรเมลลิตเทตแอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl-trimellitate anhydride) หรือ ไฟร์เมตา (4-META) ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ (derivative) ของเมทิลเมทาคริเลต (methacrylate) กระตุ้นการก่อตัวด้วย ทีบีบี (TBB) ต่อมาในปี 1983 จึงพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทันตกรรมมีชื่อทางการค้าว่า ซูเปอร์บอนซีแอนปี (Superbond C&B, Sun Medical, Shiga, Japan) (Nakabayashi, 1998)

ซูเปอร์บอนซีแอนปีประกอบด้วย โพลีเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate) เป็นส่วนโพลิเมอร์ และเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) เป็นโมโนเมอร์ ส่วนไฟร์เมตา (4-META) ใส่เพื่อส่งเสริมการแทรกซึม (diffusion promoting monomer) มีทีบีบี (TBB) เป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยา ไม่มีวัสดุอัดแทรกจึงมีความแข็งผิว (surface hardness) และกำลังตัดขวางต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ของบริษัทอื่นๆ แต่มีความยืดหยุ่น (flexibility) สูง ซึ่งเป็นผลดีต่อวัสดุในการรับแรงกระแทก (impact force)

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยแสง มีตัวตั้งต้นปฏิกิริยาเป็นสารพวกไดคีโตน (diketone) เช่น แคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) ถูกกระตุ้นจากแสงสีฟ้า (blue light) ความยาวคลื่นประมาณ 460-468 นาโนเมตร โดยมีเอมีน (amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการก่อตัว เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีเวลาการทำงานนานจนกระทั่งเริ่มฉายแสง แต่ใช้กับชิ้นงานที่แสงสามารถส่องผ่านลงไปถึงชั้นของซีเมนต์ได้เช่น เซรามิก หรือคอมโพสิตเรซินที่มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร (Braga, R. R. et al 1999) El-Mowafy และคณะ (1999) ทดลองยึดชิ้นงานเซรามิกหนา ตั้งแต่ 1 ถึง 6 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าความแข็งผิว (Knoop microhardness) พบว่าค่าที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อชิ้นงานมีความหนาดั้งแต่ 2-3 มิลลิเมตร เพราะแสงส่องผ่านได้ยากขึ้น ให้การเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวไม่สมบูรณ์

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคู่ (ก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี) มีตัวตั้งต้นของเรซินซีเมนต์ทั้งชนิดกระตุ้นด้วยแสง (photoinitiator) และ ส่วนประกอบที่เป็นสารเคมีตัวกระตุ้น (chemical activated component) ของเรซินซีเมนต์ชนิดที่ก่อตัวด้วยสารเคมี จึงได้คุณสมบัติที่ดีของเรซินซีเมนต์ที่ก่อตัวทั้งสองแบบข้างต้น คือได้ทั้งเวลาทำงานที่เหมาะสม และการก่อตัวที่สมบูรณ์ภายใต้ชิ้นงานที่หนาหรือสีเข้ม

วาริโอลิงค์ทู (Variolink II, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) และพานาเวียเอฟ (Panavia F, Kuraray, Okayama, Japan) เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคู่ ที่ใช้ในปัจจุบัน

วาริโอลิงค์ทู มีองค์ประกอบและคุณสมบัติตาม Scientific documentation Variolink II ที่จัดพิมพ์โดย ฝ่ายวิจัยและพัฒนาของบริษัท Vivadent ปี ค.ศ. 1997 ดังนี้คือ มีสี 5 สี มีความโปร่งแสง 3 ระดับ และมีความหนืด 3 แบบคือ แบบหนืดน้อย (low viscosity) หนืดมาก (high viscosity) และหนืดมากที่สุด (ultra-high viscosity) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานร่วมกับ เครื่องชุดหินปูนความถี่เหนือเสียง

องค์ประกอบทางเคมีของวาริโอลิงค์ทู โดยคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยมี บีสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ยูดีจีดีเอ็มเอ (UEDMA:Urethane dimethacrylate) และ ทีอีจีดีเอ็มเอ (TEGDMA:Triethylenglycal dimethacrylate) อยู่ในส่วนเรซินเมทริกซ์ วัสดุอุดแทรกปรับสภาพผิวด้วยสารซีเลน ที่ประกอบด้วย แก้วแบเรียม (Barium glass filler, silanized) จิตเตอเปียมไตรฟลูออไรด์ (Ytterbiumtrifluoride) ออกไซด์รวม (Mixed oxide) และแก้วแบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออโรโรซิลิเกต (Ba- Al- Fluoro-Silicate glass) วัสดุอุดแทรกมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.0 ไมครอน ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด คือ 3 ไมครอน

พานาเวียเอฟ มีสีให้เลือก 3 สี คือ สีเหมือนฟันมีความโปร่งแสง สีขาวโปร่งแสง บางส่วน และสีทึบ (opaque) ไม่มีความโปร่งแสง ส่วนประกอบหลักคือ เทนเมทาคริลอิลออกซิเดคซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) หรือ เอ็มดีพี (MDP) ชุดพื้นฐานของพานาเวียเอฟมี 3 ส่วน คือ แป้งเคล้าน้ำพานาเวียเอฟ (Panavia F paste) ที่ก่อตัวด้วยแสง และก่อตัวด้วยสารเคมีอย่างละ 1 หลอด อีดีไพรเมอร์ (ED primer) มี 2 ขวด บรรจุสารเร่งปฏิกิริยาการก่อตัว และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนเสริมไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีใดๆ คือ ออกซีการ์ดทู (Oxyguard II) 1 หลอดบรรจุสารป้องกันออกซิเจน (oxygen) สัมผัสพานาเวียเอฟขณะก่อตัวเป็นโพลีเมอร์ เนื่องจากกลุ่มฟอสโฟเนต (Phosphonate group) ในเอ็มดีพีไวต่อออกซิเจนมาก จึงต้องใช้สารกันออกซิเจน (oxyguard II) เพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศ หลังการยัดขึ้นงาน

มีการศึกษาทดลองมากมายเกี่ยวกับเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวแบบควบคุมด้วยแสง ร่วมกับปฏิกิริยาเคมี Hasegawa และคณะ (1991) ทำการทดลองโดยใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคุม 3 ยี่ห้อ วัดค่าความแข็ง (hardness) พบว่าได้ค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่วเวลา 30 นาที ถึง 24 ชั่วโมง

มีหลายงานวิจัยที่ให้ผลการทดลองไปในทางเดียวกัน คือ เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัว ที่มีเพียงการก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียวให้ค่าความแข็งแรงไม่สมบูรณ์เท่ากับก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีอย่างสมบูรณ์ Furthermore และคณะ (1991) ทำการศึกษาโดยใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคุม 3 ยี่ห้อ ฉายแสง และไม่ฉายแสงให้ผลเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวาริโอลิงค์ทู คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก
(Scientific documentation Variolink II 1997, R&D Vivadent)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	Base	Catalyst high	Catalyst low
Bis-GMA	13.1	11.0	13.9
Urethane dimethacrylate	6.6	5.5	7.0
Triethylenglycal dimethacrylate	6.6	5.5	7.0
Barium glass filler, silanized	38.4	42.2	36.2
Ytterbiumtrifluoride	25.0	25.0	25.0
Mixed oxide, silanized	5.0	5.0	5.0
Ba- Al- Fluoro-Silicate glass	5.0	5.0	5.0
Catalysts and Stabilizers	0.3	0.8	0.9
Pigments	<0.1	<0.1	<0.1

ส่วนเพชรของพานาเวียเอฟ ประกอบด้วย

1. เอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate)
2. บิสฟีนอลเอโพลีอีทอกซีไดเมตทาคริเลต
(Bis-phenol A polyethoxy dimethacrylate)
3. ไฮโดรฟิลิกไดเมตทาคริเลต (Hydrophilic dimethacrylate)
4. ไฮโดรโฟบิกไดเมตทาคริเลต (Hydrophobic dimethacrylate)
5. สารแขวนลอยซิลิกา (colloidal silica)
6. ผงแก้วแบเรียมเคลือบซิลิโคน (silanated barium glass powder)
7. ผงซิลิกาเคลือบซิลิโคน (silanated silica powder)
8. โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride)
9. เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide)
10. โซเดียมอะโรมาติกซัลโฟเนต (sodium aromatic sulfonate)
11. เอนออนไดฟีนอลพาราโทลูอีนีน (N,N-Diethanol-p-toluedine)
12. สารไวแสง (photosensitizer)

อีดีไพร์เมอร์ ประกอบด้วย

1. เอ็มดีพี
2. ฮีมา (HEMA) หรือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมตทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate)
3. ไฟว์เอนเอมเอสเอ (5-NMSA) หรือ เอนเมตาไครโลอิวไฟว์อะมิโนซาลิซิลิกแอซิด (N-Methacryloyl 5-aminosalicylic acid)
4. โซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต (sodium benzene sulfonate)
5. เอนออนไดฟีนอลพาราโทลูอีนีน (N,N-Diethanol-p-toluedine)
6. น้ำ

El-Badrawy และคณะ (1995) ศึกษาความแข็งแรงของเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัว ควบคุม และก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีรวมทั้งสิ้น 7 ยี่ห้อ พบแม้เก็บขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นไว้ถึง 7 วันก็ตาม หากเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคุมมีการก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียวค่าความแข็งแรงที่ วัดได้จะเหลือเพียงร้อยละ 25 ของค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ซีเมนต์ชนิดนั้นๆ ทำได้ คณะทดลองยังได้ ทำการทดลองโดยใช้ความหนาของเซรามิกหนา ตั้งแต่ 1 ถึง 6 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าความแข็งแรง ของเรซินซีเมนต์ พบว่าค่าที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อชิ้นงานมีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรขึ้นไปแม้เก็บขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นไว้ 7 วันก็ตาม ให้ผลเช่นเดียวกับ El-Mowafy และ คณะ (1999)

Hofmann และคณะ (2001) ทำการทดลองเปรียบเทียบเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัว ควบคุม ระหว่างกลุ่มแรกมีการก่อดัวด้วยสารเคมีแต่เพียงด้านเดียว กับอีกกลุ่มซึ่งมีการก่อดัว สมบูรณ์ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ชิ้นเซรามิกหนา 2.5 มิลลิเมตร และเก็บไว้ 24 ชั่วโมง พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคุม หากมีการก่อดัวด้วยสารเคมีแต่เพียงอย่างเดียว มีค่ากำลังดัด ขวาง (flexural strength) เหลือเพียงร้อยละ 68.9-85.9 ค่าโมดูลัสเหลือเพียงร้อยละ 59.2-94.5 และ ค่าความแข็งวิกเกอร์ (Vickers hardness) วัดได้ร้อยละ 86.1-101.4 ของกลุ่มซึ่งมีการก่อดัว สมบูรณ์ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี

Braga, R. R. และคณะ (1999) ทำการทดลองใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคุม 2 ยี่ห้อ กับเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมี 1 ยี่ห้อ ยึดระหว่างเซรามิก และเนื้อฟัน (dentin) วัดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่เวลา 10, 30, 90, นาที และ 7 วัน พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มทางเดียวกันคือ ค่า ค่อยๆ เพิ่มขึ้น และที่ 7 วันได้ค่าที่มากกว่า 90 นาทีทั้งสามยี่ห้อ และเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคุม ให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมี และเนื่องจากที่ 90 นาทีเรซินซีเมนต์ทุกตัวยังมีค่าแรงยึดเหนี่ยวไม่ถึงค่าสูงสุด จึงไม่ให้ผู้ป่วยออกแรงเคี้ยวลงบนวัสดุบูรณะนานเท่าที่เป็นไปได้ แม้ว่าจะใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคุมก็ตาม

สถานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ชิ้นงานทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทูแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และ 7 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร อย่างละ 120 ชิ้น ยึดติดกันเป็นคู่ๆ ด้วยเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกัน 3 ระบบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron H1612 Ltd.,U.K.)
2. เครื่องฉายแสง (Light curing unit, Translux EC , Kulzer)
3. เครื่องเป่าทรายเพ็บบลาสเตอร์ (Airborne particle abradar, PenBlaster II, Shofu Inc , Kyoto , Japan)
4. เครื่องทำความสะอาดด้วยความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser, Brason 5210, Bransonic Coperation, Germany, 1995)
5. เตาหลอมกด (Hot-press furnance EP500, Ivoclar Ltd)
6. เครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model 471, Pacific transducer Corp, CA,U.S.A.)
7. ด้ามฉีดสามทาง (Triple syring)
8. เครื่องขัดกระดาษทราย (Polishing machine,)
9. กล้องสเตอริโอสโคป (Stereoscope, Zoom Stereo Microscope Model EMZ Series, MEIJI TECCHO Co., Ltd., Japan) กำลังขยาย 30 เท่า

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ไอฟิเอสเอมเพรสทู (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
2. กรดกัดแก้วความเข้มข้นร้อยละ 5 (IPS Ceramic etching gel, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
3. เรซินซีเมนต์ และสารซีเมนต์ที่อยู่ในชุดเรซินซีเมนต์ สามระบบ ดังนี้
 - 3.1 วาโรลิงค์ทู (Variolink II) (Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
 - 3.2 พานาเวียเอฟ (Panavia F) (Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan)
 - 3.3 ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Super-bond C&B) (Sun Medical, Shiga, Japan)
4. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดจากขอบนอก 22 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร จำนวน 120 ชิ้น
5. วัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดพัตตี (Putty body silicone impression material)
6. ขี้ผึ้งหล่อแบบสีน้ำเงิน (blue inlay wax)
7. อะคริลิกเรซินใสชนิดที่ป่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (Clear chemically activated polymerization acrylic resin)
8. กระดาษทราย (Silicon – carbide paper) ความละเอียด 600 grit
9. ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน (Deldent Ltd.)
10. แผ่นเทปกาวใสรูปกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
11. แผ่นเทปกาวใสรูปกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร เจาะรูกลมตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

วิธีดำเนินการวิจัย

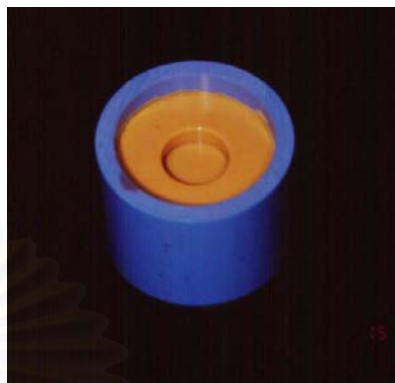
การเตรียมชิ้นงานทดสอบเซรามิก

เตรียมกระสวยขี้ผึ้ง เพื่อทำชิ้นงานทดสอบเซรามิกก่อน เพราะไอพีเอสเอ็มเพรสทู ขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีแทนที่กระสวยขี้ผึ้ง (lost wax technique) โดยเตรียมชิ้นงานต้นแบบตามขนาดที่กำหนดในมาตรฐานการทดสอบที่อาร์ 11405:1994 (The International Organization for standardization) (ISO/TR 11405 : 1994) มีชิ้นงาน 2 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร ทั้งสองขนาดหนา 2 มิลลิเมตรเท่ากัน เตรียมชิ้นงานต้นแบบขนาดละ 1 ชิ้น โดยกลึงโลหะไร้สนิมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7 และ 9 มิลลิเมตรตามลำดับ หนา 2 มิลลิเมตรจำนวนขนาดละ 1 ชิ้น พิมพ์ชิ้นงานต้นแบบโดยใช้วัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดพัตตี (putty body) จะได้แบบพิมพ์ที่มีขนาดเท่าต้นแบบทั้งสอง เทขี้ผึ้งหล่อแบบ (blue inlay wax) ที่หลอมเหลวลงในแบบพิมพ์ รอจนขี้ผึ้งเย็นแล้วแกะออกจากแบบจะได้กระสวยขี้ผึ้งรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ทำจนครบอย่างละ 120 ชิ้น

เตรียมเบ้าหลอม (mold) โดยนำกระสวยขี้ผึ้งติดแท่งขี้ผึ้งยาว 6 – 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เพื่อเป็นรูสำหรับเซรามิกเหลว ไหลผ่านเรียกว่า สปรู (sprue) จากนั้นนำกระสวยขี้ผึ้งที่มีสปรูติดไว้กับขี้ผึ้งรูปกรวยบนฐานพลาสติก ห่อกระดาษพันริง (paper rings) ที่ฐานพลาสติกเพื่อโอบรอบกระสวยขี้ผึ้งแล้วยึดอีกด้านของกระดาษด้วยวงแหวนพลาสติก จะได้ภาชนะรูปทรงกระบอกโดยมีกระสวยขี้ผึ้งอยู่ตรงกลาง และมีกระดาษพันริงเป็นผนังที่ส่วนสูงของภาชนะนั้น ขั้นตอนต่อไปให้เทส่วนผสมระหว่างผงทำเบ้าหลอม (investment powder) และน้ำยา (liquid) โดยใช้อัตราส่วนที่บริษัทกำหนดจนเต็มแบบ รอจนส่วนผสมแข็งตัว (set) ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมงจึงแกะฐานพลาสติกออก จากนั้นนำเบ้าหลอมเข้าเตาอบค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 850 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ขี้ผึ้งภายในเบ้าหลอม และยังเป็นการเร่งอุณหภูมิของเบ้าให้สูงเพื่อป้องกันเซรามิกเหลวแข็งตัวเร็วเกินไปหากสัมผัสเบ้าหลอมที่เย็น ซึ่งจะเป็นผลให้ได้ชิ้นงานไม่สมบูรณ์เต็มแบบหล่อ

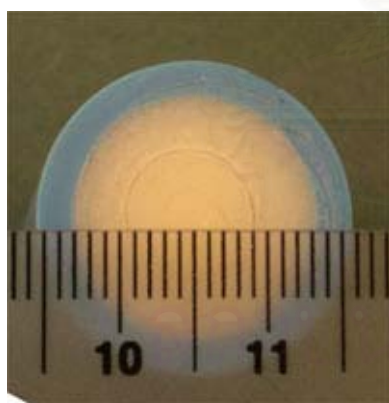


ภาพที่ 10 ก

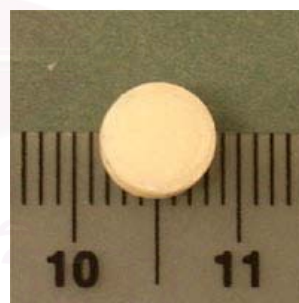


ภาพที่ 10 ข

ภาพที่ 10 แสดงอุปกรณ์สำหรับเตรียมกระสุนขี้ผึ้ง ภาพที่ 10 ก โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7 หรือ 9 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร ภาพที่ 10 ข หลังจากพิมพ์โลหะไร้สนิมโดยใช้วัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดพดีตี จะได้แบบพิมพ์ที่มีขนาดเท่าต้นแบบทั้งสอง



ภาพที่ 11 ก



ภาพที่ 11 ข

ภาพที่ 11 แสดงขั้นตอนสอบไอพีเอสเอมเพรสทู ภาพที่ 11 ก แสดงขั้นตอนสอบไอพีเอสเอมเพรสทูขนาด 9 มิลลิเมตร ติดเทปกาวใสเจาะรู 3 มิลลิเมตร ภาพที่ 10 ข แสดงขั้นตอนสอบไอพีเอสเอมเพรสทูขนาด 7 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร

เตรียมชิ้นงานทดสอบเซรามิกผ่านกระบวนการแทนที่กระสุนขี้ผึ้ง (lost wax technique) โดยวิธีการอัดแท่งอินกอต (ingot) ภายใต้อุณหภูมิสูง หรือเรียกว่าวิธีการฉีดเซรามิกเหลวสู่แบบหล่อ ภายใต้อุณหภูมิสูง (high temperature injection molding technique) ในเตาหลอมกด (Hot-press furnace EP500, Ivoclar Ltd) ที่อุณหภูมิประมาณ 850 – 900 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นทดสอบไอพีเอส-एमเพรสทู รูปกลมแบนเหมือนเหรียญขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร อย่างละ 120 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ทั้งหมดมาขัดเรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (Silicon – carbide paper number 600 grit)

นำชิ้นทดสอบไอพีเอส-एमเพรสทู รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ยึด กับท่อพีวีซี โดยวางด้านที่ใช้ทดสอบลงบนจุดศูนย์กลางของแผ่นเทปกาว 2 หน้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เนื้อพื้นกระจก จากนั้นนำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัดจากขอบนอก 22 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตรมาครอบไว้ให้ชิ้นทดสอบอยู่กึ่งกลาง หยอดอะคริลิกเรซินใสชนิดแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemically activated acrylic resin) ขณะยังเหลวลงไป จะได้ชิ้นทดสอบอยู่ตรงกลางและหน้าตัดของชิ้นงานเสมอขอบของท่อพีวีซีพอดี จนกระทั่งอะคริลิกเรซินแข็งตัว (set) หลังจากตั้งแผ่นเทปกาวออก ขัดแต่งอีกครั้งด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย (polishing machine) ขั้นตอนต่อไปเป่าทรายบนผิวด้านที่ใช้ยึดของชิ้นทดสอบทั้งสองขนาด ด้วยผงอะลูมินัม ออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน จากเครื่องเป่าทรายพื้นบลาสเตอร์ (Airborne particle abrader, PenBlaster II, Shofu Inc, Kyoto, Japan) ความดัน 0.3 เมกะปาสคาล วางชิ้นงานห่างจากหัวเป่า 10 มิลลิเมตรเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นในเครื่องความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic cleaner, model TP 680DH) 10 นาที วางคว่ำให้ด้านที่ใช้ทดสอบอยู่ด้านล่าง เพื่อกำจัดผงทรายอะลูมินัมออกไซด์ที่ตกค้าง รวมทั้งสิ่งสกปรกและอนุภาคแปลกปลอมอื่นๆ จากนั้นทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 12 แสดงเครื่องเป่าทรายเพินบลาสเตอร์ทู (Airborne particle abrader, PenBlaster II, Shofu Inc , Kyoto , Japan) อุปกรณ์สำหรับเตรียมผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู

การยัดชั้นทดสอบ

เตรียมชั้นทดสอบโดยทากรดกัดแก้ว (IPS Ceramic etching gel, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ลงบนชั้นทดสอบด้านที่จะใช้ยัดทั้งสองขนาด เป็นเวลา 20 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น 1 นาที เป่าแห้งด้วยลมสะอาด ติดสติ๊กเกอร์ใสที่เจาะรูกลมตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรบนผิวชิ้นงาน 9 มิลลิเมตร จากนั้นทาสารซีเมนต์ที่อยู่ในชุดเรซินซีเมนต์แต่ละระบบตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตแต่ละบริษัทกำหนดในรูปที่เตรียมไว้ นำชั้นทดสอบทั้งสองยัดกันด้วยเรซินซีเมนต์ โดยผสมอัตราส่วนและวิธีการตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดดังนี้

ซูเปอร์บอนดีแอนบี

1. ผสมพอสเลนส์ ไลเนอร์ เอ็ม (porcelain liner M) โดยหยดส่วนเหลว เอ และส่วนเหลว บี (liquid A and liquid B) อย่างละ 1 หยดในภาดหลุม จากนั้นทาส่วนผสมลงบนพื้นผิวของเซรามิกทั้งสองขนาดบางๆ เพียงชั้นเดียว
2. ผสมซูเปอร์บอนโมโนเมอร์ (Superbond monomer : MMA) กับแคททาลิสต์ เอส (catalyst s : TBB) ในอัตราส่วน 4:1 ในถ้วยกระเบื้อง ทาส่วนผสมบนผิวเซรามิกจากข้อแรก
3. ตวงโพลีเมอร์ ด้วยช้อนตวงขนาด 0.75 กรัมนำไปผสมกับของเหลวที่เหลือในข้อ 2 ผสมให้เข้ากันแล้วทาหลงบนผิวเซรามิกทั้งสอง
4. ยึดชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน และกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน

พานาเวียเอฟ

1. ทาบางๆ ชั้นเดียว บนรูที่เตรียมไว้ด้วย เคลียฟิล พอสเลนส์ บอนด์ แอกติเวเตอร์ (Clearfil porcelain bond activator , silane coupling agent) เป่าให้แห้ง
2. ผสม อีดี ไพรมเมอร์ (ED PRIMER) โดยผสมของเหลว เอ และ ของเหลว บี (liquid A and liquid B) อย่างละ 1 หยดในภาดหลุม ทาส่วนผสมลงบนผิวเซรามิก 1 นาที เป่าเบาๆ ให้แห้ง
3. ตวงเรซินซีเมนต์ทั้ง ครีม เอ และ ครีม บี (paste A and paste B) อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมบนกระดาษผสม 20 วินาทีแล้วแต้มบนผิวเซรามิก
4. ยึดชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน และกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน

วาริโอดิงค์ทุ

1. ทาโมโนบอนด์เอส (Monobond S, silane coupling agent) บางๆ ชั้นเดียว นาน 1 นาที และเป่าให้แห้ง
2. ทาเฮลิโอบอนด์ (Heliobond) บนพื้นผิวของเซรามิกให้ทั่วเก็บไว้ในกล่อง วิวาแพด (Vivapad) ขณะที่กำลังทาผิวอีกชิ้นงานหนึ่ง และขณะกำลังตวงผสมส่วนผสม (paste) เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ เมื่อเฮลิโอบอนด์สัมผัสแสง
3. ตวงไวโอดิงค์ทุ ที่ประกอบด้วย ครีมพื้นฐาน (base paste) และครีมเร่งปฏิกิริยา ชนิดความหนืดน้อย (catalyst paste) ในอัตราส่วน 1 : 1 ใช้เวลาผสมนาน 10 วินาที ระยะเวลาที่สามารถทำงานอยู่ในช่วง 3.5 ± 0.5 นาที ทาลงบนเซรามิก
4. ยึดชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน และกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน

ขณะยึดชิ้นงานทั้งสองชิ้นของทุกกลุ่ม ให้แรงกดด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model 471, Pacific transducer Corp, CA,U.S.A.) ขนาดน้ำหนัก 1,000 กรัม ทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวที่ยึดกันเป็นเวลา 10 นาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออก สำหรับขั้นตอนที่ใช้อานาเวียเอฟ และวาริโอดิงค์ทุ ฉีดออกซีการ์ดทุ (oxyguard II) และ เจลกลีเซอริน (glycerine gel) ตามลำดับเพื่อกันออกซิเจนเข้ามาขัดขวางปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์โดยรอบบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน จากนั้นฉายแสงสีฟ้า (visible blue light) ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร (nm) ที่ด้านข้างและด้านบนของชิ้นงานที่ยึดด้วยซีเมนต์ทั้งสองชนิดด้านละ 40 วินาที เป็นเวลารวม 200 วินาที แล้วนำเข้ากระบวนการทดสอบตามที่กำหนด ระหว่างช่วงเวลาที่กำหนดแช่ชิ้นทดสอบโดยใช้น้ำกลั่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath model SI50) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนดไว้ของแต่ละกลุ่ม ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน (shear strength)



ภาพที่ 13 แสดงการยัดชิ้นงานทั้งสองชิ้นของทุกกลุ่ม ให้แรงกดด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model 471, Pacific transducer Corp, CA,U.S.A.) ขนาดน้ำหนัก 1,000 กรัม



ภาพที่ 14 ก



ภาพที่ 14 ข

ภาพที่ 14 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ภาพที่ 14 ก ชุดเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ภาพที่ 14 ข แสดงสารสีเลนของระบบเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี



ภาพที่ 15 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ระบบพานาเวียเอฟ และสารสีเลนของระบบเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ



ภาพที่ 16 แสดงชุดเรซินซีเมนต์ระบบวาเลียโอลิงค์ทู และสารสีเลนของระบบเรซินซีเมนต์วาเลียโอลิงค์ทู

การแบ่งกลุ่มขึ้นทดสอบ

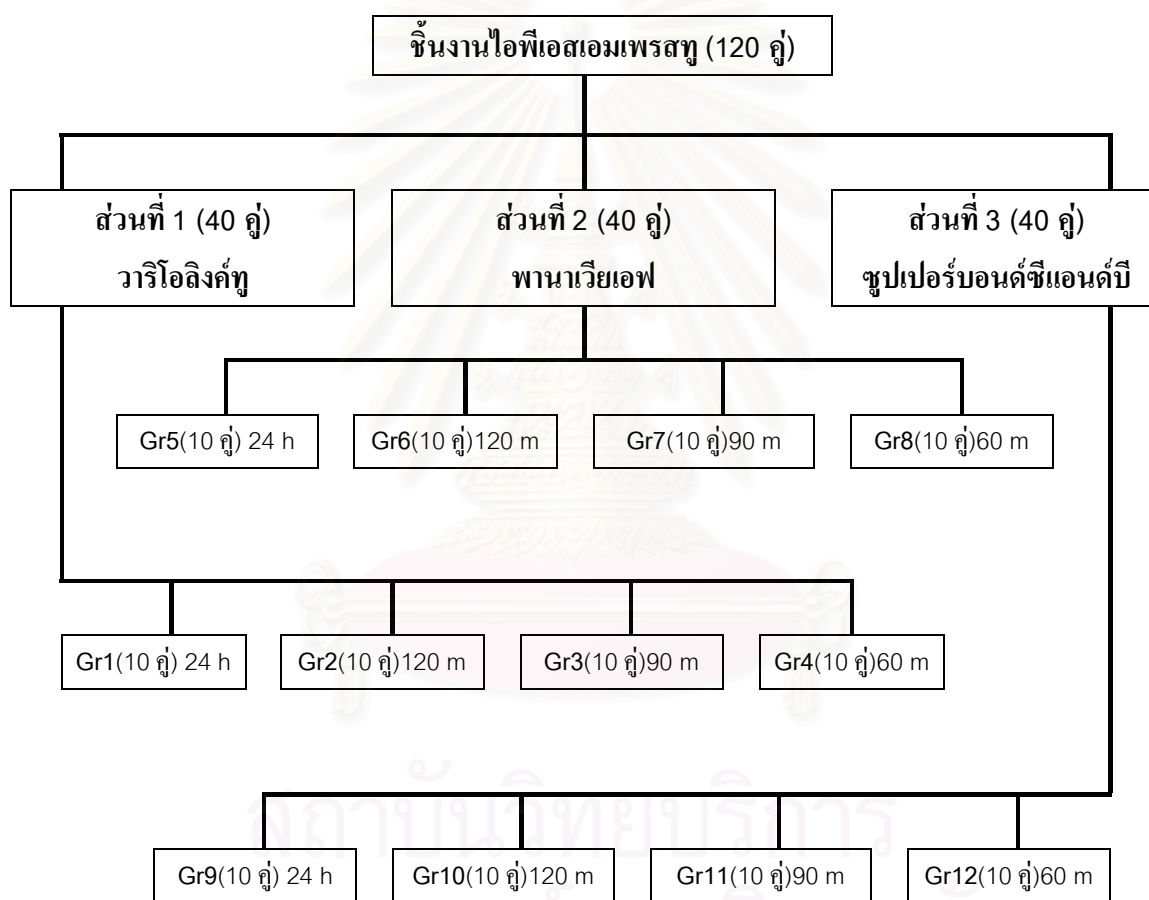
สุ่มตัวอย่างขึ้นทดสอบทั้งสองขนาดเพื่อจับคู่ทีละคู่จนครบ 120 คู่ แล้วสุ่มตัวอย่างอีกครั้งเพื่อแบ่งขึ้นทดสอบออกเป็น 3 ส่วน (parts) ส่วนละ 40 คู่ ซึ่งแต่ละส่วนจะใช้เรซินซีเมนต์ยึดแตกต่างกัน โดย**ส่วนที่ 1** ใช้เรซินซีเมนต์วาริโอลิงค์ทู ยึดขึ้นทดสอบทั้งสองขนาดเข้าหากัน **ส่วนที่ 2** ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ **ส่วนที่ 3** ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี

เมื่อแบ่งขึ้นทดสอบที่จับคู่กันออกเป็นสามส่วนตามชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึดแล้ว แบ่งเป็นกลุ่มเพื่อกำหนดระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน โดยสุ่มขึ้นทดสอบแต่ละส่วนออกเป็นกลุ่มๆ ส่วนละ 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คู่ ตามระยะเวลาที่ทิ้งไว้ คือ กลุ่มทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเดือนหลังจากทิ้งไว้ในน้ำกลั่น 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเดือนเมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำกลั่น 37 องศาเซลเซียส หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน (working time) แล้วเป็นเวลา 120 นาที กลุ่มที่ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเดือนเมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำกลั่น 37 องศาเซลเซียส หลังจากสิ้นสุดเวลาทำงานแล้วเป็นเวลา 90 นาที และกลุ่มที่ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเดือนเมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำกลั่น 37 องศาเซลเซียส หลังจากสิ้นสุดเวลาทำงาน แล้วเป็นเวลา 60 นาที

เมื่อรวมกันทั้ง 4 ส่วน ส่วนละ 4 กลุ่ม จะได้กลุ่มทดสอบรวม 12 กลุ่ม ดังนี้ ส่วนที่ 1 วาริโอลิงค์ทู แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (Gr1) กลุ่มที่ 2 (Gr2) กลุ่มที่ 3 (Gr3) และกลุ่มที่ 4 (Gr4) ส่วนที่ 2 พานาเวียเอฟ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 5 (Gr5) กลุ่มที่ 6 (Gr6) กลุ่มที่ 7 (Gr7) และกลุ่มที่ 8 (Gr8) ส่วนที่ 3 ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 9 (Gr9) กลุ่มที่ 10 (Gr10) กลุ่มที่ 11 (Gr11) และกลุ่มที่ 12 (Gr12)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 17 แสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบไอพีเอสएमเพรสซูเป็น 4 ส่วน ทั้งหมด 12 กลุ่ม
ทดสอบ



กลุ่มทดสอบรวม 12 กลุ่มมีชื่อกลุ่มและตัวอย่างตามชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึด และระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานดังนี้คือ

ส่วนที่ 1 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้เรซินซีเมนต์วาริโอลิงก์ทู และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีตัวอย่างคือ 'Gr1Va24h' หรือ 'Va24h' กลุ่มที่ 2 ใช้วาริโอลิงก์ทู และทิ้งไว้ 120 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr2Va120m' หรือ 'Va120m' กลุ่มที่ 3 ใช้วาริโอลิงก์ทู และทิ้งไว้ 90 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr3Va90m' หรือ 'Va90m' และกลุ่มที่ 4 ใช้วาริโอลิงก์ทู และทิ้งไว้ 60 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr4Va60m' หรือ 'Va60m'

ส่วนที่ 2 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 5 ใช้เรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟ และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีตัวอย่างคือ 'Gr5Pa24h' หรือ 'Pa24h' กลุ่มที่ 6 ใช้ฟานาเวียเอฟ และทิ้งไว้ 120 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr6Pa120m' หรือ 'Pa120m' กลุ่มที่ 7 ใช้ฟานาเวียเอฟ และทิ้งไว้ 90 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr7Pa90m' หรือ 'Pa90m' และกลุ่มที่ 8 ใช้ฟานาเวียเอฟ และทิ้งไว้ 60 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr8Pa60m' หรือ 'Pa60m'

ส่วนที่ 3 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 9 ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีตัวอย่างคือ 'Gr9Su24h' หรือ 'Su24h' กลุ่มที่ 10 ใช้เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และทิ้งไว้ 120 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr10Su120m' หรือ 'Su120m' กลุ่มที่ 11 ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และทิ้งไว้ 90 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr11Su90m' หรือ 'Su90m' และกลุ่มที่ 12 ใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และทิ้งไว้ 60 นาที มีตัวอย่างคือ 'Gr12Su60m' หรือ 'Su60m'

ตารางที่ 4 แสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทูเป็น 4 ส่วน ทั้งหมด 12 กลุ่ม ทดสอบตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Part	Group	Resin cement	Time	Abbreviate
I	1	Variolink II	24 hours	Gr1Va24h
	2	Variolink II	120 minutes	Gr2Va120m
	3	Variolink II	90 minutes	Gr3Va90m
	4	Variolink II	60 minutes	Gr4Va60m
II	5	Panavia F	24 hours	Gr5Pa24h
	6	Panavia F	120 minutes	Gr6Pa120m
	7	Panavia F	90 minutes	Gr7Pa90m
	8	Panavia F	60 minutes	Gr8Pa60m
III	9	Super-bond C&B	24 hours	Gr9Su24h
	10	Super-bond C&B	120 minutes	Gr10Su120m
	11	Super-bond C&B	90 minutes	Gr11Su90m
	12	Super-bond C&B	60 minutes	Gr12Su60m

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

นำชิ้นทดสอบทั้งหมดมาทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Instron H1612 Ltd., U.K.) ชนิดใบมีดเดี่ยว ใช้หัวทดสอบ (load cell) ขนาด 10 กิโลนิวตัน (KN) ทำโดยยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจับและให้แนวของหัวทดสอบขนานไปกับรอยต่อของชิ้นทดสอบ โดยให้ส่วนคมของหัวทดสอบอยู่พอดีรอยต่อ โดยตั้งค่าความเร็วหัวทดสอบ 0.75 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วบันทึกค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้ชิ้นทดสอบหลุดจากกัน

นำค่าแรงที่ได้มากำหนดเป็นความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้สูตร

$$\text{ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว (MPa)} = \frac{\text{แรงยึดเหนี่ยว(N)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด(mm}^2\text{)}}$$

เมื่อคำนวณจะได้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) หรือเมกะพาสคาล (MPa)

จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปส่องกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (Stereoscope, Zoom Stereo Microscope Model EMZ Series, MEIJI TECHO Co., Ltd., Japan) กำลังขยาย 30 เท่า เพื่อตรวจสอบลักษณะการแตกหัก ซึ่งในงานวิจัยนี้แบ่งประเภทการแตกหักออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์และชิ้นทดสอบ การแตกหักในชั้นของเรซิน ซีเมนต์ส่วนการแตกหักทั้งในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวชิ้นทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวมีหน่วยเป็น เมกะปาสกาล (MPa) มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวที่ได้มาทดสอบการกระจายตัว (normality) ด้วยสถิติของโคโมโกรอฟสไมล์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ จะเลือกใช้สถิติแบบพารามेटริก (parametric method) ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะเลือกใช้สถิติแบบไม่ใช่พารามेटริก (non-parametric method) ในการใช้เปรียบเทียบค่าสถิติต่อไป เปรียบเทียบปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานที่มีต่อกำลังความแข็งแรงยึดเหนี่ยว โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) และการทดสอบทูกีย์ (Tukey's test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (confident level 95%, $\alpha = 0.05$)

บทที่ 4

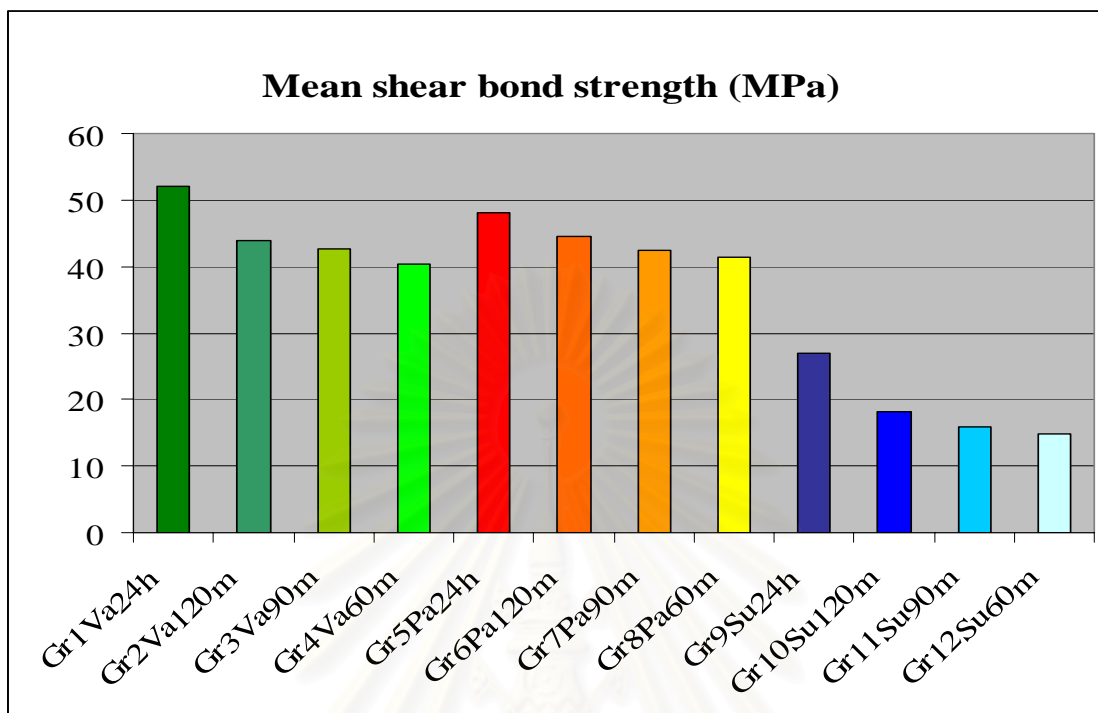
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

เมื่อนำชิ้นงานที่แบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ โดยสุ่ม ทั้งหมดจำนวน 12 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron H1612 Ltd.,U.K.) เพื่อหาค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล แล้วนำค่าเฉลี่ย (mean) ของแต่ละกลุ่ม และนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ที่คำนวณได้ และมีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล เช่นกัน รวบรวมเป็นตารางตามชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล (MPa)

Mean shear bond strength (MPa)				
Resin cement	Super-bondC&B	Panavia F	Variolink II	Total
Time				
24 hours	27.04±2.54	48.18±5.84	52.14±8.99	42.45±12.78
120 minutes	18.29±2.87	44.58±5.82	43.95±5.76	35.61±13.60
90 minutes	15.99±3.55	42.34±6.14	42.57±5.21	33.63±13.60
60 minutes	14.87±2.21	41.34±1.53	40.43±2.03	32.21±12.62
Total	19.05±5.56	44.11±5.66	44.77±7.32	



Gr1 = Variolink II, 24 h ; Gr2 = Variolink II, 120 min ; Gr3 = Variolink II , 90 min; Gr4 = VariolinkII, 60 min ; Gr5 = Panavia F, 24 h ; Gr6 = Panavia F, 120 min ; Gr7 = Panavia F,90 min ; Gr8 = Panavia F, 60 min ; Gr9 = Super-bond C&B, 24 h ; Gr10 = Super-bond C&B, 120 min ; Gr11 = Super-bond C&B, 90 min ; Gr12 = Super-bond C&, 60 min.

ภาพที่ 18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 18 จะพบว่า ชั้นทดสอบเซรามิกที่ใช้เรซินซีเมนต์ต่างชนิด และที่เวลาต่างกันจะให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่แตกต่างกัน โดยชั้นทดสอบเซรามิกที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดวาเลียโอดิงทูยึดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นกลุ่มทดสอบกลุ่มที่ 1 (Gr1Va24h) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด คือ 52.14 เมกกะพาสคาล และชั้นทดสอบเซรามิกที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บียึดเป็นเวลา 60 นาที เป็นกลุ่มทดสอบกลุ่มที่ 12 (Gr12Su60m) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำที่สุด คือ 14.87 เมกกะพาสคาล

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

เมื่อทำการทดสอบการแจกแจง (normality) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวทั้งหมด ด้วยสถิติของโคโมโกรอฟสไมล์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) ดังตารางที่ 21 ตารางที่ 22 และตารางที่ 23 ในภาคผนวก พบว่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่วัดได้มีการแจกแจงปกติ (normal) ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไปจะใช้สถิติแบบพาราเมตริก (parametric)

วิเคราะห์ปัจจัยของเรซินซีเมนต์และระยะเวลาต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย

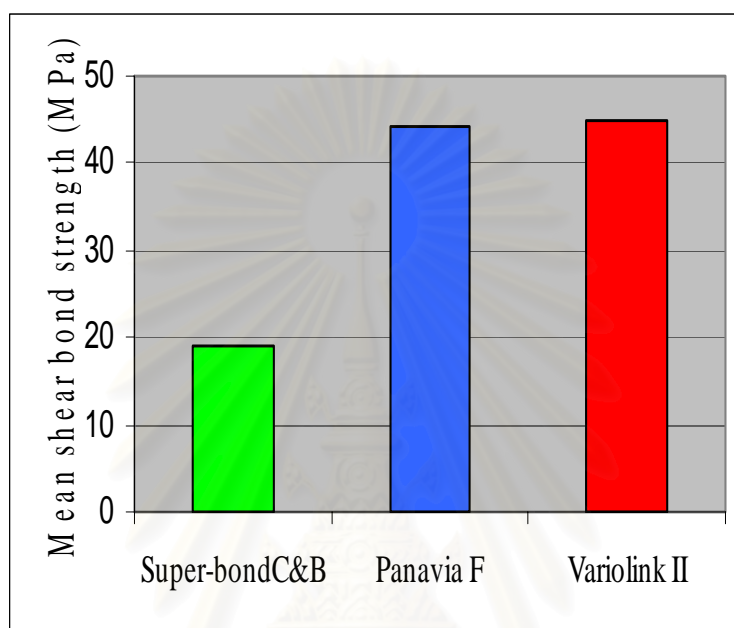
เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (ตารางที่ 24 ในภาคผนวก) พบว่า ปัจจัยของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ และปัจจัยจากชนิดของเรซินซีเมนต์ต่างก็มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและชนิดของเรซินซีเมนต์ไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิเคราะห์ปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์

หากวิเคราะห์ปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว คือ วิเคราะห์ผลของชนิดเรซินซีเมนต์ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยโดยไม่พิจารณาปัจจัยด้านเวลาจะได้ผลดังตารางที่ 6 และภาพที่ 19 คือ มีการเรียงลำดับดังนี้ กลุ่มที่ใช้วาไลโอลิงค์ทูมมีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 44.77 ± 7.32 เมกกะพาสคาล กลุ่มต่อมาคือ พานาเวียเอฟ มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 44.11 ± 5.66 เมกกะพาสคาล และกลุ่มสุดท้ายมีค่าต่ำสุด คือ กลุ่มที่ใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 19.05 ± 5.56 เมกกะพาสคาล

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยไม่แยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ

Resincement	Mean shear bond strength (MPa)
Variolink II	44.77+7.32
Panavia F	44.11±5.66
Super-bondC&B	19.05±5.56



ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยไม่แยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 กลุ่มด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียวผลลัพธ์ที่ได้คือ มีเรซินซีเมนต์อย่างน้อยหนึ่งกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงนำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 กลุ่ม มาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติทดสอบทูก็ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มทดสอบที่ใช้วาไลโอลิงค์ทู และกลุ่มทดสอบพานาเวียเอฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แม้ว่ากลุ่มวาไลโอลิงค์ทูจะมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าเล็กน้อยก็ตาม แต่กลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่พบมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าทั้งสองกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สรุปได้ดังตารางที่ 7 (ตารางที่ 25 และ 26 ในภาคผนวก)

ตารางที่ 7 สรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูก็ย พิจารณาระบบของเรซินซีเมนต์ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยว

	Super-bond C&B	Panavia F	Variolink II
Super-bond C&B		X	X
Panavia F	X		
Variolink II	X		

X = เมื่อเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูก็ย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

วิเคราะห์ปัจจัยของระยะเวลาที่เก็บรอ

วิเคราะห์ปัจจัยของเวลาเพียงอย่างเดียวที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย โดยไม่พิจารณาปัจจัยของเรซินซีเมนต์เลยจะได้ผลดังตารางที่ 8 และ ภาพที่ 20 พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 24 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุด คือ 42.45 ± 12.78 เมกกะพาสคาล รองลงมา คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 120 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย คือ 35.61 ± 13.36 เมกกะพาสคาล กลุ่มต่อมา คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 90 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 33.63 ± 13.60 เมกกะพาสคาล และกลุ่มสุดท้าย คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 60 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 32.21 ± 12.62 เมกกะพาสคาล ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของทั้ง 3 กลุ่ม ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว ผลลัพธ์ที่ได้คือมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มที่แตกต่างไปจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงนำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่มนี้ มาเปรียบเทียบโดยใช้สถิติทดสอบแบบทูกีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาว่ากลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้คือ ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มที่เก็บรอ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่เก็บรอ 120 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กลุ่มที่เก็บรอทดสอบ 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่เก็บรอ 90 นาที และ 60 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และกลุ่มที่เก็บรอ 120 นาที กลุ่ม 90 นาที และกลุ่ม 60 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 9 (ตารางที่ 27 และ 28 ในภาคผนวก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

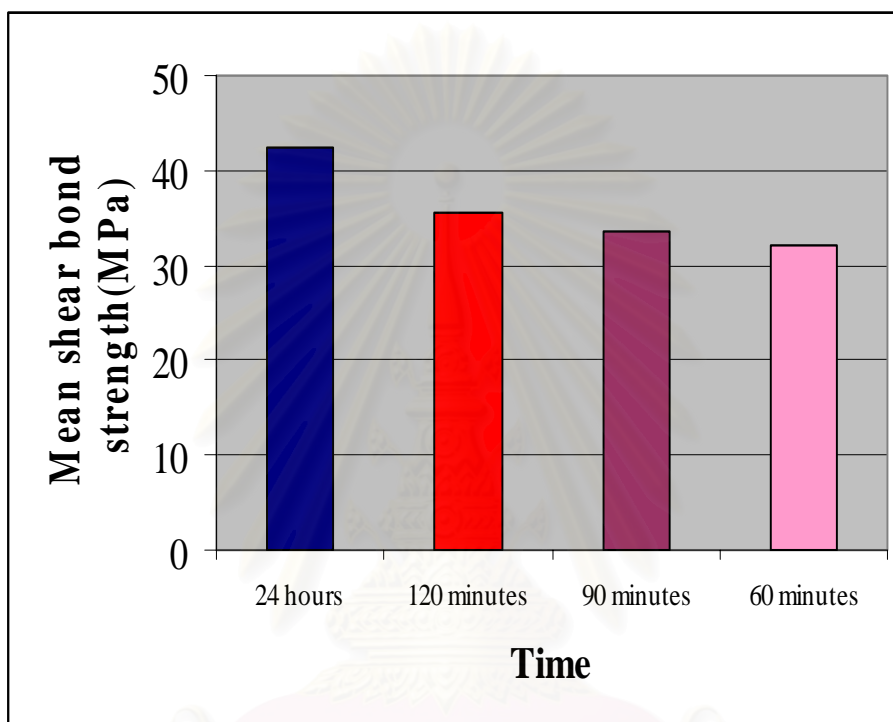
ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเค็อนระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์รวมทั้ง 3 ระบบ มีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยแยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบเท่านั้น

Time	Mean shear bond strength (MPa)
24 hours	42.45±12.78
120 minutes	35.61±13.60
90 minutes	33.63±13.60
60 minutes	32.21±12.62

ตารางที่ 9 สรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี๋ พิจารณาระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเค็อนเฉลี่ย

	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
24 hours			X	X
120 minutes				
90 minutes	X			
60 minutes	X			

X = เมื่อเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี๋ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเค้นระหว่างชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) โดยแยกกลุ่มตามความแตกต่างของระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบ

เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยแยกตามกลุ่ม 12 กลุ่ม

ค่าความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ได้ 12 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 20 หากนำค่าความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อยจะได้ ลำดับ ดังนี้ Gr1, Gr5, Gr6, Gr2, Gr3, Gr7, Gr8, Gr4, Gr9, Gr10, Gr11 และ Gr12 ตามลำดับ และ แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดเฉือนตามลำดับดังนี้ Gr1 = 52.14 ± 8.99 MPa, Gr5 = 48.18 ± 5.84 MPa, Gr6 = 44.58 ± 5.82 MPa, Gr2 = 43.95 ± 5.76 MPa, Gr3 = 42.57 ± 5.21 MPa, Gr7 = 42.34 ± 6.14 MPa, Gr8 = 41.34 ± 1.53 MPa, Gr4 = 40.43 ± 2.03 MPa, Gr9 = 27.04 ± 2.54 MPa, Gr10 = 18.29 ± 2.87 MPa, Gr11 = 15.99 ± 3.55 MPa และ Gr12 = 14.87 ± 2.21 MPa.

เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของทั้ง 12 กลุ่มด้านสถิติการวิเคราะห์ ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) ผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงตามตารางที่ 15 ใน ภาคผนวก พบค่า significant น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มมี ค่าแตกต่างจากกลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงนำ ค่าทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติทดสอบแบบทูกีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหากกลุ่ม ที่มีความแข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยแตกต่างไปจากกลุ่มอื่นๆ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ พบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ทดลองแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังตารางที่ 16 และ 17 ในภาคผนวก และตารางที่ 11 โดยข้อมูลมีลักษณะดังนี้ กลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเฉือนสูงที่สุดคือ กลุ่มที่ 1 (Va24h) ซึ่งมีความมากกว่า กลุ่มที่ 5 (Pa24h) แต่ มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนกลุ่มที่ค่าความแข็งแรง ยึดเฉือนต่ำที่สุดคือ กลุ่มทดสอบที่ 12 (Su60min) ซึ่งมีต่ำกว่ากลุ่มที่ 11 (Su90min) และกลุ่มทดสอบ ที่ 11 มีค่าแรงยึดเฉือนต่ำกว่ากลุ่มที่ 10 (Su120min) ตามลำดับ โดยที่ทั้งสามกลุ่มทดสอบมีค่าความ แข็งแรงยึดเฉือนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ทดสอบความแข็งแรงยึดเค้นก่อนเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้เรซินซีเมนต์ วาลิโอลิงค์ทู และพานาเวียเอฟ คือกลุ่มที่ 6, 2, 3, 7, 8, 4 ตามลำดับจากค่ามากไปหาน้อย ซึ่งทั้งหกกลุ่มมีค่าทางสถิติต่ำกว่าสองกลุ่มสูงสุด แต่ก็มีค่าสูงกว่ากลุ่มทดสอบทุกกลุ่มที่ใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีเป็นเรซินซีเมนต์ทดสอบ

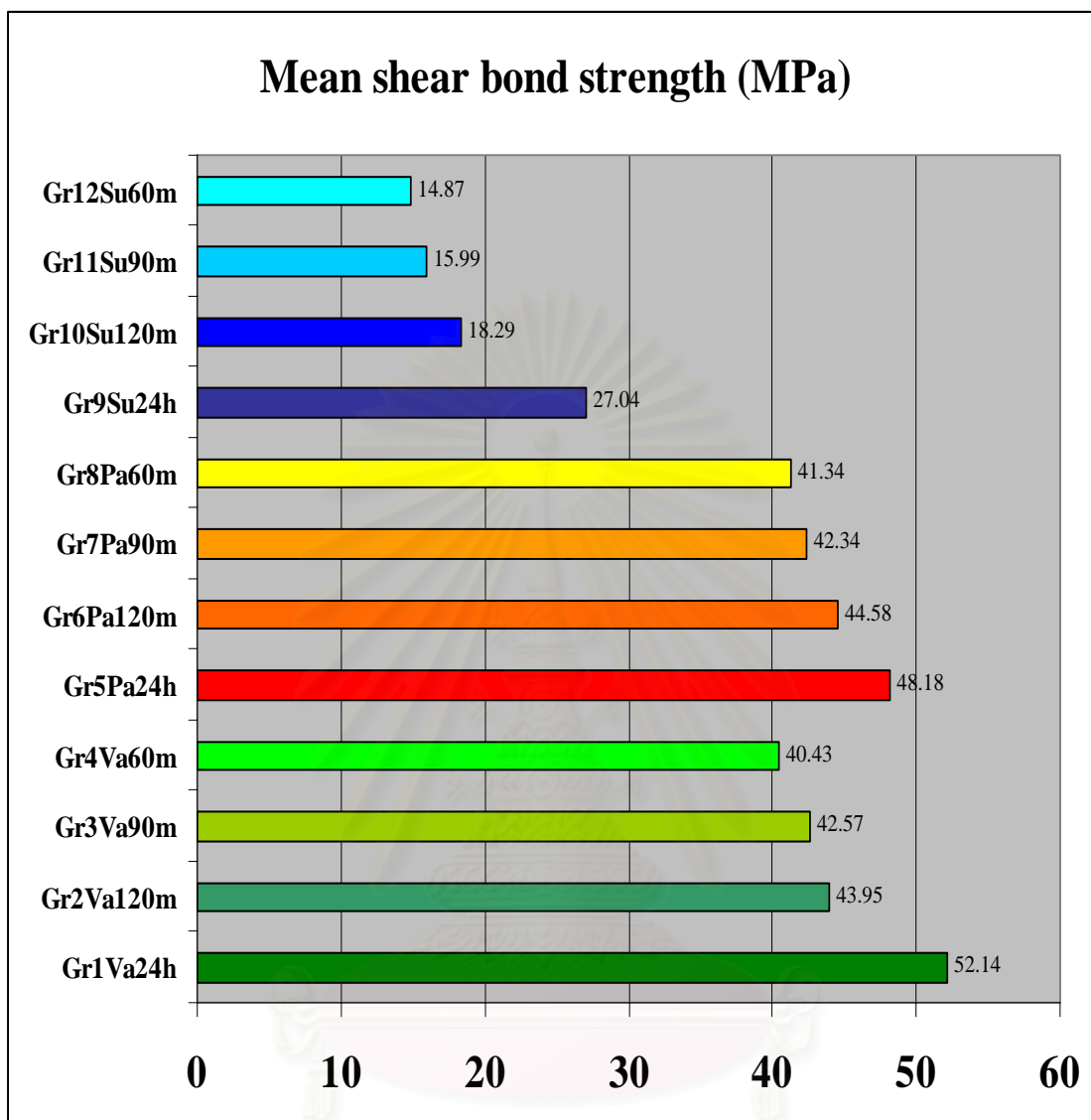
กลุ่มทดสอบที่ 9 (Su24h) มีค่าสถิติที่แตกต่างจากทุกกลุ่มทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่ามากกว่าสามกลุ่มท้าย (กลุ่มที่ 10, 11 และ 12) แต่ต่ำกว่าหกกลุ่มกลาง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ 12 กลุ่ม

Group	Resin cement	Time	Mean shear bond strength (MPa)
1	Variolink II	24 hours	52.14 ± 8.99
2	Variolink II	120 minutes	43.95 ± 5.76
3	Variolink II	90 minutes	42.57 ± 5.21
4	Variolink II	60 minutes	40.43 ± 2.03
5	Panavia F	24 hours	48.18 ± 5.84
6	Panavia F	120 minutes	44.58 ± 5.82
7	Panavia F	90 minutes	42.34 ± 6.14
8	Panavia F	60 minutes	41.34 ± 1.53
9	Super-bond C&B	24 hours	27.04 ± 2.54
10	Super-bond C&B	120 minutes	18.29 ± 2.87
11	Super-bond C&B	90 minutes	15.99 ± 3.55
12	Super-bond C&B	60 minutes	14.87 ± 2.21



ภาพที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบมีหน่วยเป็น เมกกะพาสคาล (MPa) แยกตามกลุ่มทดสอบ 12 กลุ่ม

ตารางที่ 11 แสดงการจัดกลุ่มของข้อมูลค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดสอบของค่าความแข็งแรงยึดเคียนระหว่างชิ้นงานเซรามิก และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบ แยกตามระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานขึ้นทดสอบ โดยใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกีย์

Tukey HSD

group	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1	10	52.14				
5	10	48.18	48.18			
6	10		44.58	44.58		
2	10		43.95	43.95		
3	10		42.57	42.57		
7	10		42.34	42.34		
8	10		41.34	41.34		
4	10			40.43		
9	10				27.04	
10	10					18.29
11	10					15.99
12	10					14.87
	Sig.	.807	.807	.755	1.00	.916

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.00

เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแยกตามอิทธิพลของซีเมนต์และเวลา

จากข้อมูลตารางที่ 10 ตารางที่ 11 และภาพที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มทดสอบเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ทู (กลุ่มที่ 1 - 4) โดยพิจารณาที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน พบว่ากลุ่มที่ 1 ซึ่งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ (กลุ่มที่ 2 - 4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แต่กลุ่มที่เหลือนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มทดสอบเรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟทุกช่วงระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน (กลุ่มที่ 5 - 8) มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ (กลุ่มที่ 9 - 12) โดยพิจารณาที่ระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานพบว่า กลุ่มที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่กลุ่มที่เหลือ (กลุ่มที่ 10 - 12) นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เปรียบเทียบลักษณะการแตกหักของชั้นทดสอบ

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วมาวิเคราะห์รูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอชนิดส่องกราด กำลังขยาย 30 เท่า ผู้วิจัยพบลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้นเพียงสองลักษณะเท่านั้น คือ การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู ซึ่งผู้วิจัยเรียกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อ (Adhesive failure) และการแตกหักในรั่วระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู ร่วมกับแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์ ซึ่งผู้วิจัยจะเรียกว่าการแตกหักแบบผสม (mixed failure)

เมื่อพิจารณานำค่าสถิติมาวิเคราะห์ความถี่และลักษณะการแตกหักของชั้นทดสอบ ดังตารางที่ 18 - 20 ในภาคผนวก และตารางที่ 12 กับภาพที่ 26 ได้ผลดังนี้

กลุ่มที่ 1-4 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์วาเลียโอลิงค์ทูเหมือนกัน แตกต่างกันที่ระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาทดสอบ คือ 24 ชั่วโมง 120 นาที 90 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่ามีการแตกหักแบบผสมมากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบอัตราส่วนร้อยละของการแตกหักแบบผสม ต่อการแตกหักระหว่างรอยต่อ ดังนี้ คือ กลุ่มที่ 1 พบอัตราส่วน 80/20 กลุ่มที่ 2 พบอัตราส่วน 70/30 กลุ่มที่ 3 พบอัตราส่วน 90/10 และกลุ่มที่ 4 พบอัตราส่วน 60/40

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ ที่ระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาที่ทดสอบ 24 ชั่วโมง พบว่ามีการแตกหักแบบผสมสูงถึงร้อยละ 80 มากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบการแตกหักระหว่างรอยต่อเพียงร้อยละ 20

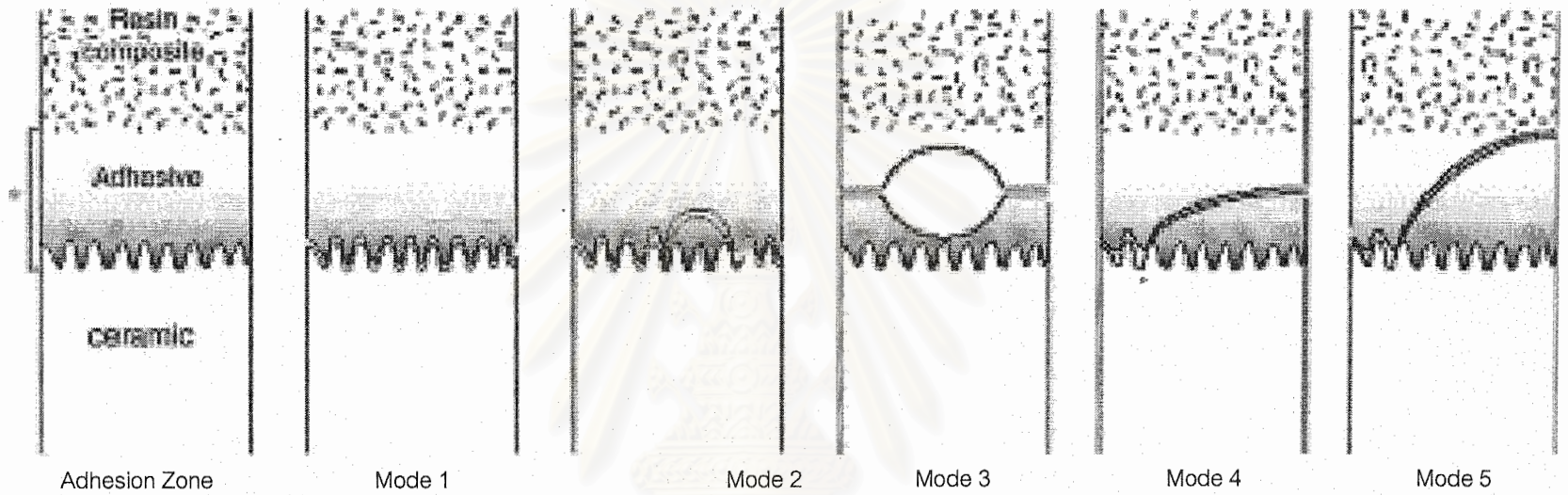
กลุ่มที่ 6 และ 7 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟเหมือนกัน แตกต่างกันที่ระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาที่ทดสอบ คือ 120 นาที และ 90 นาที ตามลำดับ พบว่ามีอัตราการแตกหักแบบผสมเท่ากับการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู ร้อยละ 50

กลุ่มที่ 8 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียเอฟ ที่มีระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาทดสอบ คือ 60 นาที พบว่ามีการแตกหักแบบผสมร้อยละ 60 มากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบการแตกหักระหว่างรอยต่อเพียงร้อยละ 40

กลุ่มที่ 9 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ทั้งระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาที่ทดสอบ 24 ชั่วโมงพบว่ามี การแตกหักแบบผสมร้อยละ 60 มากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบการแตกหักระหว่างรอยต่อเพียงร้อยละ 40

กลุ่มที่ 10 และกลุ่มที่ 11 เป็นกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี เหมือนกันทั้งคู่ ต่างกันตรงระยะเวลาที่รอตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาที่ทดสอบ 120 นาที และ 90 นาทีตามลำดับ พบว่ามีรูปแบบการแตกหักเหมือนกัน คือการแตกหักแบบผสมร้อยละ 70 มากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบการแตกหักระหว่างรอยต่อเพียงร้อยละ 30

กลุ่มที่ 12 เป็นกลุ่มทดสอบสุดท้ายที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี จะทั้งระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดระยะเวลาทำงานจนถึงเวลาที่ทดสอบ 60 นาที พบว่ามีการแตกหักแบบผสมร้อยละ 20 น้อยกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบของไอพีเอสเอ็มเพรสทู คือพบการแตกหักระหว่างรอยต่อสูงถึงร้อยละ 80



ภาพที่ 22 แสดงการแบ่งลักษณะการแตกหักในรูปแบบต่างๆ (Alvaro D.B., Anusavice K.J. and John J. M. Jr, 2003)



ภาพที่ 23 แสดงลักษณะการแตกหักในรูปแบบแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู



ภาพที่ 24 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่รอบนอก ส่วนตรงกลาง แตกในเนื้อของเรซินซีเมนต์



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสซูที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านแตกในเนื้อของเรซินซีเมนต์

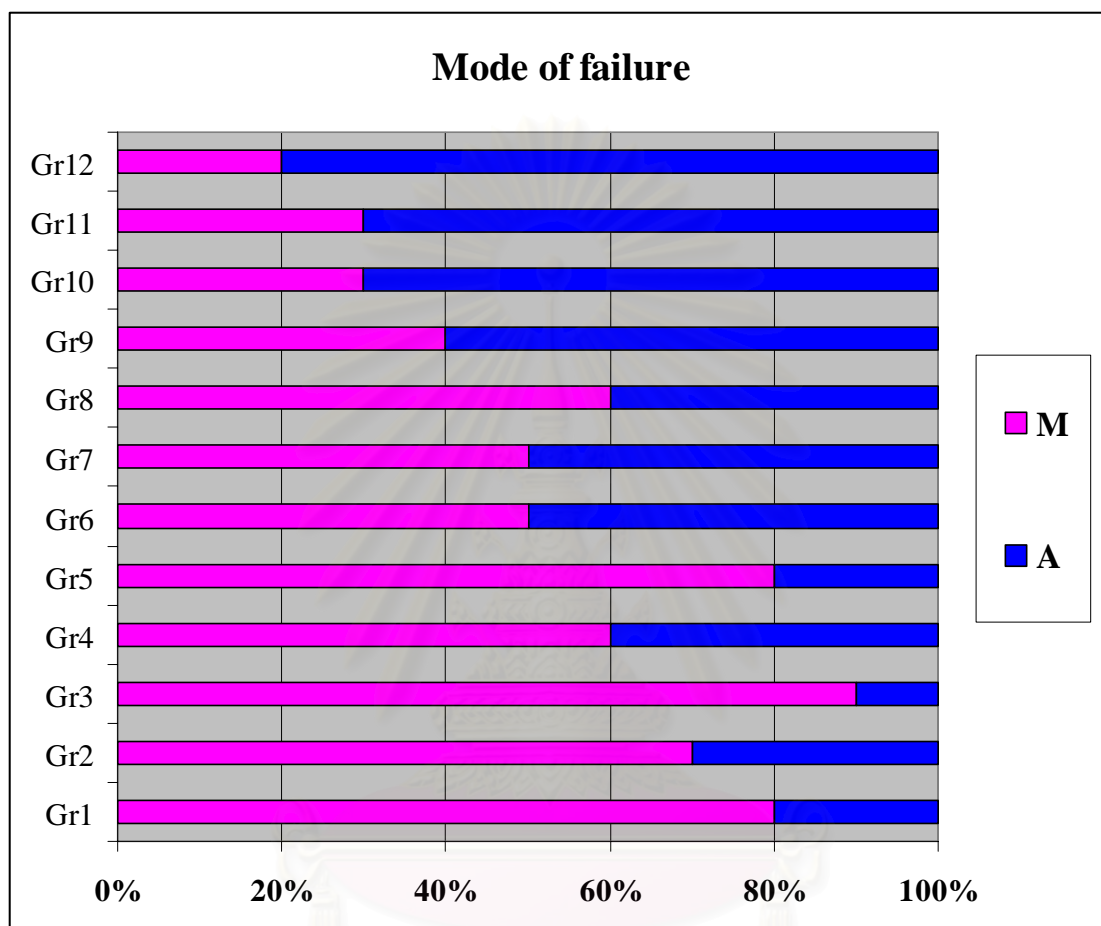


ภาพที่ 26 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม ที่แตกระหว่างระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับผิวทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสซูที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านแตกที่ผิวรอยต่ออีกข้างหนึ่ง

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแตกหักระหว่างชั้นงาน

	Mode of failure	
	Adhesive	Mixed
Gr1Va24h	20	80
Gr2Va120m	30	70
Gr3Va90m	10	90
Gr4Va60m	40	60
Gr5Pa24h	20	80
Gr6Pa120m	50	50
Gr7Pa90m	50	50
Gr8Pa60m	40	60
Gr9Su24h	60	40
Gr10Su120m	30	70
Gr11Su90m	30	70
Gr12Su60m	80	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



M = Mixed mode of cohesive and adhesive failure

A = Adhesive failure between resin cement and IPS Empress surface

ภาพที่ 27 แสดงปริมาณร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแตกหักระหว่างชิ้นงาน

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดสอบ ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง ไอพีเอสเอ็มเพรสทู และเรซินซีเมนต์ ทั้ง 3 ระบบ คือ ซูเปอร์บอนด์ วาลิโอลิงค์ทู และพานาเวียเอฟ ในครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบชนิดของเรซินที่เป็นองค์ประกอบหลักของแต่ละระบบที่ให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว เมื่อใช้ยึดกับไอพีเอสเอ็มเพรสทูสูงที่สุด เพื่อให้การทดสอบเป็นสากล และสามารถนำไปใช้อ้างอิง หรือเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตรวมทั้งงานวิจัยที่จะเกิดขึ้นอีกในลักษณะวัตถุประสงค์เดียวกันในอนาคต จึงทดสอบตามแนวทางขององค์การมาตรฐานสากล คือ The International Organization for standardization (ISO/TR 11405 : 1994) ข้อกำหนดที่อาร์ 11405 : 1994 และดัดแปลงบางขั้นตอนจากผู้ทำวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกัน เช่น Per Derand และคณะปี 2000 เป็นต้น

การทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ชิ้นงานเซรามิกล้วน ชนิดไอพีเอสเอ็มเพรสทูจำนวน 2 ชิ้น รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ให้ชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรฝังในท่อทรงกระบอกพีวีซีด้วยอะคริลิก เรซิน ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี จากนั้นนำท่อพีวีซีที่มีชิ้นงานขนาด 9 มิลลิเมตร ฝังอยู่มาขัดด้านที่มีชิ้นงาน โผล่จันผิว เซรามิกที่จะใช้ทดสอบให้เรียบเสมอกัน พื้นผิวของอะคริลิกเรซินรวมทั้งขอบของท่อพีวีซี พื้นผิวที่ขัดเรียบแล้วจะต้องได้ระนาบและตั้งฉากกับแนวแกนของท่อพีวีซี เพราะหากไม่ตั้งฉากจะส่งผลต่อการทดสอบ ดังจะอธิบายต่อในส่วนวิจารณ์วิธีการทดลอง ผู้วิจัยเลือกใช้ท่อพีวีซีทรงกระบอก เนื่องจากท่อพีวีซีมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกัน ง่ายต่อการออกแบบเครื่องมือจับยึด ก็สามารถออกแบบให้จับชิ้นงานขนาดเดียว ซึ่งจะแข็งแรงใช้งานสะดวก และราคาถูกกว่าแบบที่ใช้จับชิ้นงานหลายๆ ขนาด และการออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงานขนาดเดียวในการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว สามารถออกแบบให้ลดการกระดกของท่อพีวีซีระหว่างที่หัวกดกำลังกดลงบนชิ้นทดสอบอีกด้วยมีผลดีหลายประการดังจะอธิบายต่อในส่วนวิจารณ์วิธีการทดลอง นอกจากนี้พีวีซีมีข้อดีที่ขนาดค่อนข้างมาตรฐานแล้วท่อพีวีซียังมีความแข็งแรงมากพอในการเป็นตัวจับชิ้นงาน (holder) รวมทั้งสามารถยึดได้ดีกับอะคริลิกเรซินอีกด้วย เมื่อขัดชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรจนได้ลักษณะครบตามต้องการแล้ว จากนั้นนำชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตรขัดเพื่อให้ผิวทดสอบเรียบได้ระนาบตั้งฉากกับความยาวของชิ้นงานเพื่อลดความผิดพลาดขณะทำการกดหัว

ทดสอบ การขัดขึ้นงานทั้งสองขนาดใช้กระดาศทรายความละเอียด 600 กริต เป่าอนุภาค (blast) ด้วย อะลูมินัมออกไซด์ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน ความดัน 1 bar และวางหัวเป่าห่างจากผิวชิ้นงาน 10 มิลลิเมตร เพราะถ้าใช้งานขนาดอนุภาคใหญ่กว่านี้ หรือความดันสูงๆ จะทำให้ผิวชิ้นงานหลุดออกเป็นปริมาณมากหรือหลุดออกเป็นชิ้นใหญ่ๆ ซึ่งจะส่งผลคล้ายกับ Spohr และคณะที่ได้ทำการทดลองไว้ในปี 2003 และรายงานว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวของชิ้นงานที่เป่าอนุภาคด้วยอะลูมินัมออกไซด์ขนาดอนุภาค 100 ไมครอน มีค่าน้อยกว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวของชิ้นงานที่เป่าอนุภาคด้วย อะลูมินัมออกไซด์ ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน อย่างมีนัยสำคัญ ($P < .05$) ไม่ว่าจะใช้สารซีเมนต์ร่วมด้วยหรือไม่ โดยอธิบายได้จาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะให้ภาพของชิ้นทดสอบไอพีเอสเอ็ม เพรสทูที่ใช้ อะลูมินัมออกไซด์ขนาด 100 ไมครอน จะให้ความขรุขระที่ผิวของชิ้นงานน้อยกว่าชิ้นงาน ไอพีเอสเอ็มเพรสทูที่ใช้อะลูมินัมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอน

เมื่อเตรียมชิ้นงานทั้งสองดังที่อธิบายตามลำดับแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทำความสะอาดชิ้นงาน โดยผ่านเครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง ขั้นตอนต่อไปจะควบคุมพื้นที่ผิวที่ใช้ยึดติดโดยใช้เทปกาวด้านเดียวที่เจาะรูกลมตรงกลาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ปิดทับบนผิวทดสอบของชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร แล้วจึงยึดชิ้นงานทั้งสองขนาดตามขั้นตอนของเรซินซีเมนต์ แต่ละระบบตามที่บริษัทผู้ผลิตเรซินซีเมนต์ชนิดนั้นๆ กำหนด ซึ่งการควบคุมพื้นที่ยึดติดในลักษณะนี้ เป็นตามคำแนะนำตามแนวทางขององค์การมาตรฐานสากลข้อกำหนดที่อาร์ 11405 : 1994

เมื่อเตรียมชิ้นงานทั้งสองและยึดกันดีแล้ว จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยว เพื่อความเป็นสากลและนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้อ้างอิงได้กับงานวิจัยอื่นๆ จึงเลือกใช้เครื่องทดสอบสากลของบริษัท Instron, Uk. หัวทดสอบมีการเคลื่อนที่ลักษณะกดตรงรอยยึดระหว่างชิ้นงานทั้งสอง ฉะนั้นในบางครั้งจึงเรียกหัวทดสอบว่าหัวกด ตั้งเครื่องให้หัวทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.75 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากชิ้นทดสอบในการทดลองนำร่องมีค่าอยู่ช่วงกว้างคือ ระหว่าง 80 นิวตัน ถึง 650 นิวตัน จึงพิจารณาใช้โหลดเซล ขนาด 10 กิโลนิวตัน เพื่อครอบคลุมทั้งหมดทุกช่วงข้อมูล และป้องกัน โหลดเซลชำรุด หากใช้โหลดเซลขนาดเล็กกว่า ที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมี คือ โหลดเซล ขนาด 100 นิวตัน

ระบบของเรซินซีเมนต์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดสอบครั้งนี้มี 3 ระบบ ดังนี้ คือ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ฟานาเวียเอฟ และวาเลียโอลิงค์ทู โดยพิจารณาจากองค์ประกอบหลักทางเคมีของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ระบบ ที่มีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง และเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ระบบนี้เป็นที่นิยม และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการทันตแพทย์ปัจจุบัน โดยซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีองค์ประกอบหลักคือ โพลีเมทิลเมทาคริลเลต (poly(methyl methacrylate), PMMA), เมทิลเมทา

คลิเลต4เมทาไครโกลอซีเอทิลไตรเมทเทแอนไฮดราต (MMA-4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, MMA – 4 - META) และไตรเอสบิวทิลโบรเรน (tri-n-butylborane, TBB), มีหมู่ทำงาน คือ กลุ่มเมทาคลิเลต (Methacrylate group) ส่วน พานาเวียเอฟ มีองค์ประกอบหลัก คือ บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) เอ็มดีพี (MDP) มีวัสดุอุดแทรก คือ แก้วแบเรียมเคลือบซิลิโคน (Silanated bariumglass) และผงซิลิกาเคลือบซิลิโคน (Silanated Silica powder) สารยึด (Adhesive) ของระบบพานาเวียเอฟ คือ อีดีไพรมเมอร์ มีองค์ประกอบหลักคือ เอ็มดีพี (MDP) และ ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคลิเลต (Hydroxyethylmethacrylate, HEMA):ซึ่งมีหมู่ทำงานคือ กลุ่มเมทาคลิเลต และ เรซินซีเมนต์ระบบสุดท้าย คือเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ทู เรซินซีเมนต์ระบบวาไลโอลิงค์ทู มี องค์ประกอบหลักๆ คือ บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ยูรีเทนไดเมทาคลิเลต (urethane dimethacrylate, UDMA) รวมทั้งไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคลิเลต(Triethylenglycol dimethacrylate, TEGDMA) มีวัสดุอุดแทรก (filler) คือ แก้วแบเรียมเคลือบซิลิโคน (Silanized Bariumglass filler) และจิตเทอเบียมไตรฟลูออไรด์ (Ytterbiumtri fluoride) เรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ทู มี หมู่ทำงานคือ กลุ่มเมทาคลิเลต เป็นเช่นกัน

การเก็บชิ้นงานรอทดสอบ (storage) เป็นการเก็บประเภทที่ 1 คือ การทดสอบระยะสั้น โดยทำการเก็บที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส ตามข้อกำหนดของมาตรฐานการทดสอบทีอาร์ 11405:1994 (ISO/TR 11405 : 1994) เวลาใช้ที่กำหนดแต่ละกลุ่ม คือระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานเพื่อรอการทดสอบ เป็นการนำเวลาตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ และเป็นระยะเวลาทำงานจริงมาพิจารณาร่วมกันเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดกลุ่ม การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยนำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำกลั่นโดยใช้หม้อคูลูมอุณหภูมิ (water bath)

ขั้นตอนสุดท้ายของการทดสอบ คือ การเก็บผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบ โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องทดสอบสากลของบริษัท Instron,UK เพื่อวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวใช้หัวกดแบบไบเบิดที่มีความคมด้านเดียว (single bevel) การเตรียมชิ้นทดสอบผู้ทำการวิจัยระมัดระวังให้ชิ้นงานมีผิวทดสอบได้ระนาบตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของชิ้นงานตามความยาว เพื่อให้หัวกดส่งแรงที่มีทิศทางไปทางเดียวเดียวกับผิวทดสอบที่ยึดด้วย เรซินซีเมนต์ และไม่มีส่วนของพื้นผิวอะคลิติกเรซิน บนชิ้นงานขนาด 9 มิลลิเมตร เอียงและขัดขวางการเคลื่อนที่ของหัวกดจนส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้จับชิ้นงานมีขนาดใกล้เคียงกับท่อพีวีซี จึงลดการกระดกของท่อพีวีซีในแนวตั้ง ขณะที่หัวทดสอบ กดลงบนระนาบทดสอบจึงลดการลื่นไถลระหว่างไบเบิดที่หัวทดสอบและผิวด้านข้างของชิ้นงาน 7 มิลลิเมตร

เนื่องจากการสบฟันในช่องปาก และแรงที่เกิดในระบบบดเคี้ยวมีความซับซ้อนมาก จึงไม่อาจสร้างเครื่องมือที่ให้แรง และทิศทางของแรงใกล้เคียงกันกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากได้ ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแรงในทิศทางเดียวแม้ไม่สอดคล้องกับความ

เป็นจริงทั้งหมด แต่เนื่องจากสามารถควบคุมความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ได้ง่ายและ เป็นค่าที่มีความสำคัญที่ใช้ในการอ้างอิงของบริษัทผู้ผลิต รวมทั้งเป็นค่าความแข็งแรงที่มีผู้วิจัยใน อคติใช้อย่างกว้างขวาง และจะแม้ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายผลที่จะเกิดขึ้นในทางคลินิกจริงได้ ทั้งหมด แต่ก็เพียงพอที่จะสามารถทำให้เห็นภาพกว้างๆ เพื่อใช้อ้างอิง และทำนายผลการทำงานได้ ชัดอย่างเจน และการใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นตัวแทนของแรงในช่องปากสอดคล้องกับงานวิจัยส่วน ใหญ่ที่ทำการทดลองก่อนหน้าซึ่งมีเป็นจำนวนมาก เช่น Cooley RL. (1991), Kato H. (2001) หรือ Ozcan M, Vallittu PK. (2003) เป็นต้น

ตารางที่ 13 แสดงส่วนประกอบหลัก หมู่ทำงาน และการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ ระบบต่างๆ ทั้ง 3 ระบบ

Resin cements	components	Functional group	Polymerization
Super Bond C&B	PMMA MMA 4-META TBB	Methacrylate Group	Chemical
Panavia F	Bis-GMA MDP	Methacrylate Group	Dual
Variolink II	Bis-GMA	Methacrylate Group	Dual

ตารางที่ 14 แสดงส่วนประกอบวัสดุอุดแทรก ขนาดโมเลกุล และสารช่วยยึดติดของเรซินซีเมนต์ระบบต่างๆ ทั้ง 3 ระบบ

Resin cements	Filler content	Molecular size	Adhesion promotor
Super Bond C&B	No	small	4-META
Panavia F	silanated barium glass powder silanated silica powder	large	MDP
Variolink II	silanized Barium glass Ytterbiumtrifluoride	large	-

วิจารณ์ผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของเรซินซีเมนต์

ในการทดลองพบว่าทุกช่วงระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานก่อนนำไปทดสอบ การใช้เรซินซีเมนต์ ระบบพานาเวียเอฟ (44.11 ± 5.66 MPa) และวาเลียโอลิงก์ทู (44.77 ± 7.32 MPa) ให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .05$) แม้ว่ากลุ่มทดสอบที่ใช้วาเลียโอลิงก์ทู และรอทดสอบ 24 ชั่วโมง (Gr9Va24h) จะให้ความแข็งแรงแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดก็ตามแต่เมื่อนำค่าความแข็งแรงแรงยึดเหนี่ยวที่ได้จากเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมทุกช่วงเวลา คือ 19.05 ± 5.56 เมกะพาสคาล มาเปรียบเทียบกับพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .05$) กับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ระบบข้างต้น โดยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีค่าแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่า

ผลการทดลองมีค่าความแข็งแรงแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่ 24 ชั่วโมง (Gr1Su24h, 27.04 ± 2.54 MPa) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kato H และคณะที่ได้ทำการรายงานเมื่อปี 2001 โดยศึกษาแรงยึดเหนี่ยวของเฟลสปาดิกพอร์ซเลนที่ปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆ กับทาซีเลน พบว่าหากใช้เรซินซีเมนต์ที่มี 4 เมทาไครโลอ็อกซีเอทิล ไตรเมทิลเททแอนไฮไดรด์ (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, 4-META) ร่วมเมทิลเมทาคริลเลท (methyl methacrylate, MMA) และไตรเอทิลโบรเรน (tri-n-butylborane, TBB) ซึ่งทั้งหมดเป็น

ส่วนประกอบหลักของเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่เวลา 24 ชั่วโมงสูงถึง 33.3 เมกกะพาสกาล หรือการทดลองของ Cooley RL ที่ทดลองในปี 1991 พบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีที่ 24 ชั่วโมง มีค่า 17.4 ± 4.8 เมกกะพาสกาล นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยอันเกิดกับกลุ่มทดสอบซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีที่เก็บรอ 24 ชั่วโมง ที่วัดได้ในการทดสอบครั้งนี้ ยังให้ผลใกล้เคียงกับ Tulunoglu IF และ Beydemir B. ในปี 2000 ซึ่งทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเมทาบอนด์ซีแอนด์บี (Metabond C&B ที่มีส่วนประกอบและบริษัทผู้ผลิตเดียวกับซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี) เทียบกับเรซินซีเมนต์ของบริษัทอื่นๆ พบว่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีค่า 35.27 ± 2.40 เมกกะพาสกาล รวมทั้ง Nilgum Ozturk, Filiz Aykent ทำการทดลอง และรายงานในปี 2003 พบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพานาเวียเอฟ และเนื้อฟัน (dentin) ที่ 24 ชั่วโมง มีค่า 20.71 ± 4.16 เมกกะพาสกาล Shimada Y., Yamaguchi S., และ Tagami J. รายงานในปี 2002 พบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพานาเวียเอฟที่ใช้กรดกัดแก้ว ทาบนเซรามิกชนิดแก้วที่เวลา 5 และ 30 วินาที ร่วมกับใช้สารซีเลน ได้ผลดังนี้ คือ 31.7 ± 6.93 เมกกะพาสกาล 23.9 ± 5.46 เมกกะพาสกาล ตามลำดับ โดยหากทากรดกัดแก้วทิ้งไว้ถึง 30 วินาที จะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวลดลง ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์วาเลียโอลิงค์ ที่ 24 ชั่วโมง มีค่า 52.2 ± 5.2 เมกกะพาสกาล Peters AD. และ Meiers JC. รายงานในปี 1996 จากการทดลองเพื่อวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว โดยทดสอบหาความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์วาเลียโอลิงค์ชนิดก่อดัวควบคู่ที่เวลาต่างๆ ได้ผลดังนี้ ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่เพียงพอต่อการใช้งาน (attainment) สำหรับเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคู่ คือ 26.1 ± 2.3 เมกกะพาสกาล ที่ 5 นาที

ดังนั้นหากวิเคราะห์ปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว คือ วิเคราะห์เพียงชนิดของเรซินซีเมนต์ ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยโดยไม่พิจารณาปัจจัยด้านเวลา โดยเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 กลุ่มด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว จึงได้ผลดังนี้มีเรซินซีเมนต์อย่างน้อยหนึ่งกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติทดสอบทีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มทดสอบที่ใช้วาเลียโอลิงค์ทู และกลุ่มทดสอบพานาเวียเอฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แม้ว่ากลุ่มวาเลียโอลิงค์ทูจะมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยก็ตาม แต่กลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่พบมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่าทั้งสองกลุ่มอยู่มาก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับทั้งสองกลุ่ม

Braga R.R. และคณะ (2000) และ Matsumura H. และคณะ (1977) กล่าวเป็นไปในทางเดียวกันว่าเรซินซีเมนต์ระบบก่อดัวควบคู่ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าเรซินซีเมนต์ระบบที่ก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากระบบที่ก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีจะมีสารตั้งต้นปฏิกิริยา (initiators) น้อยกว่า ขณะเดียวกันก็มีสารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitors) สำหรับปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันมากกว่าเรซินซีเมนต์ระบบก่อดัวควบคู่

Cenk C. และคณะ รายงานผลการทดลองพร้อมสรุปผลในปี 2003 ว่าปริมาณหรือขนาดของวัสดุอุดแทรกในระบบเรซินซีเมนต์ และสารยึด (adhesive) มีผลโดยตรงต่อค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ดังนั้น หากเรซินซีเมนต์ และสารยึดมีปริมาณวัสดุอุดแทรกในระบบเรซินซีเมนต์น้อยจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น ทว่าหากเรซินซีเมนต์ และสารยึดมีวัสดุอุดแทรกปริมาณมาก แต่ถ้าวัสดุอุดแทรกในระบบเรซินซีเมนต์นั้นมีขนาดเล็ก จะส่งเสริมทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นเช่นกัน Cenk C. และคณะยังอธิบายต่อไปอีกว่าเรซินซีเมนต์ระบบที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อยๆ จะมีส่วนทางแทรกเข้าไปในชิ้นงานยาวมากกว่าระบบที่มีวัสดุอุดแทรกปริมาณมากๆ Kamada K. และ yoshida K. (1998) อธิบายผลของปริมาณวัสดุอุดแทรกในระบบเรซินซีเมนต์ว่า หากระบบเรซินซีเมนต์ และสารยึดที่ไม่มีวัสดุอุดแทรก จะมีคุณสมบัติทางกลต่ำกว่าระบบเรซินซีเมนต์ และสารยึดที่มีวัสดุอุดแทรก โดยเฉพาะกรณีที่ผ่านวงจรเพิ่มลดอุณหภูมิ (thermocycling) ดังนั้นผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้จึงสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองในงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวคือ เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี เป็นระบบเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว และไม่มีวัสดุอุดแทรกจึงให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่าเรซินซีเมนต์อีกสองระบบซึ่งเป็นระบบเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคู่ และมีวัสดุอุดแทรกอยู่ในระบบด้วย

วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของระยะเวลาที่เก็บรอ

หากวิเคราะห์ปัจจัยของเวลาเพียงอย่างเดียวที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย โดยไม่พิจารณาต่อปัจจัยของเรซินซีเมนต์เลย ได้ผลดังนี้ คือ ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 24 ชั่วโมง ในน้ำกลั่นหลังสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน มีค่าสูงสุด คือ 42.45 ± 12.78 เมกกะพาสกาล รองลงมา คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 120 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย คือ 35.61 ± 13.36 เมกกะพาสกาล กลุ่มต่อมา คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาเก็บรอทดสอบ 90 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 33.63 ± 13.60

เมกกะพาสคาล และกลุ่มสุดท้าย คือ กลุ่มทดสอบที่มีช่วงเวลาที่บรอทดสอบ 60 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 32.21 ± 12.62 เมกกะพาสคาล ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของทั้ง 3 กลุ่ม ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว ผลลัพธ์ที่ได้คือมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มที่แตกต่างไปจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงนำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวทั้ง 3 กลุ่มนี้ มาเปรียบเทียบโดยใช้สถิติทดสอบแบบทูกีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่เก็บรอ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่เก็บรอ 120 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กลุ่มที่เก็บรอทดสอบ 24 ชั่วโมง และ 120 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่เก็บรอ 90 นาที และ 60 นาที ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เก็บรอ 120 นาที กลุ่ม 90 นาที และกลุ่ม 60 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

หากพิจารณาลักษณะข้อมูลที่ได้ในแต่ละระบบของเรซินซีเมนต์ก็สอดคล้องกันกับผลข้างต้นคือ เมื่อทดสอบที่เวลามากขึ้นก็จะมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ Ozyesil A. G. และคณะซึ่งทำการทดลองในปี 2004 ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ (polymerization) ของเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่องฉายแสงต่างชนิดกันฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกเคลือบบาง แล้วทดสอบหาอัตราการเปลี่ยนพันธะ (degree of conversion) ของเรซินซีเมนต์ที่เก็บรอ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้โฟเรียทรานสฟอร์มเมชันอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transformation infrared spectroscopy) พบว่า กลุ่มเรซินซีเมนต์ที่ก่อตัวด้วยแสงมีค่าร้อยละของอัตราการเปลี่ยนพันธะตั้งแต่ 15 นาที จนถึงหลัง 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่มีปฏิกิริยาก่อตัวควบคุมมีค่าร้อยละของอัตราการเปลี่ยนพันธะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบที่ 15 นาที น้อยกว่าทดสอบที่ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างกลุ่มที่ทดสอบตั้งแต่ 24 ชั่วโมง และ 7 วัน

Talic Y.F. ทำการทดลองและรายงานผลไว้ในปี 2003 โดยทดสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์เปรียบเทียบกันระหว่างทดสอบทันทีหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน และเก็บรอไว้ 24 ชั่วโมง พบว่าในทุกๆ ระบบของเรซินซีเมนต์ที่เขาใช้ทดสอบมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากเก็บรอขึ้นทดสอบเอาไว้ 24 ชั่วโมงเสียก่อน

Peters A.D. และ Meiers J.C. รายงานในปี 1996 ว่าจากการทดลองเพื่อวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว และหาระยะเวลาก่อตัวของเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ชนิดก่อตัวควบคุมและ

ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีล้วน โดยทดสอบหาความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของของเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ชนิดก่อตัวควบคู่ที่เวลา 2, 3, 5, 60 นาที และ 24 ชั่วโมง หาความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีล้วนที่ 10, 20, 40, 50, 60 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อทดสอบแล้วได้ผลดังนี้ ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ที่เพียงพอต่อการใช้งาน (attainment) สำหรับเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีล้วน คือ 17.5 ± 2.7 เมกะพาสกาล ที่ 60 นาที และสำหรับเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคู่ คือ 26.1 ± 2.3 เมกะพาสกาล ที่ 5 นาที Peters AD. และ Meiers JC. รายงานต่ออีกว่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวควบคู่จะมีค่ามากกว่าชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีล้วนในทุกๆ ช่วงเวลา

จะเห็นว่าทุกๆ งานวิจัยมีผลซึ่งมีแนวโน้มในเรื่องเวลาทดสอบไปในทางเดียวกัน คือ ยิ่งระยะเวลาหลังจากสิ้นสุดเวลาการทำงานให้นานขึ้นค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของของเรซินซีเมนต์ก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น ในทุกๆ ระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเรซินซีเมนต์ที่ก่อตัวควบคู่ ซึ่งคงต้องรวมถึงเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีล้วนด้วย ดังมีผู้วิจัยบางท่านอธิบายในแนวทางของอัตราการเปลี่ยนแปลงพันธะ คือเวลายิ่งนานออกไปอัตราการเปลี่ยนแปลงพันธะก็ยิ่งมากขึ้นผลที่ได้ คือ ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้รวมทั้งข้อสรุปจากงานวิจัยต่างๆ ผู้วิจัยจึงเสนอว่าควรทิ้งระยะเวลาก่อนจัดแต่งอย่างน้อย 60 นาที สำหรับระบบเรซินซีเมนต์ที่ก่อตัวควบคู่

วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาที่เก็บรอ

จากปัจจัยของเรซินซีเมนต์และของระยะเวลาที่เก็บรอจึงแบ่งชิ้นงานออกเป็นกลุ่มๆ ได้ 12 กลุ่มดังแสดงในขั้นตอนและวิธีวิจัย เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยนำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ มาพิจารณาร่วมกับลักษณะการแตกหักพบว่า กลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำๆ จะมีการแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวมากกว่าแบบผสม คือแตกหักระหว่างผิวเซรามิกไอพีเอสเอมเพรสทู และเรซินซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Alvaro D.B. และคณะที่นำเสนอ ไว้ในปี 2003 โดยเน้นพิจารณารูปแบบการแตกหัก และพบว่ากลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำ เพราะปรับสภาพผิว หรือมีการยึดติดไม่เพียงพอจะมีรูปแบบการแตกหักที่บริเวณรอยต่อ เช่นกลุ่มที่ปรับสภาพผิวเซรามิกด้วยสารฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีสภาพกรด (Acidurated phosphate fluoride, APF) เพียงอย่างเดียว

จากบทวิจารณ์ผลการทดลองที่ผ่านมา เมื่อพิจารณากลุ่มเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีพบว่า เป็นเรซินซีเมนต์ระบบก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว และจากผลการ

ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 3 กลุ่มที่ทดสอบก่อน 24 ชั่วโมง กับกลุ่มที่ทดสอบเมื่อ 24 ชั่วโมง ผลจึงสอดคล้องกัน และเมื่อพิจารณารูปแบบการแตกหักก็ให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน คือ เกิดการแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวมากขึ้น เมื่อถึงระยะเก็บรอทดสอบหลังสิ้นสุดระยะเวลาทำงานให้สั้นลง ดังนั้นหากใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีในการยึดชิ้นงาน ไอพีเอสเอ็มเพรสทู ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ คือ ควรทิ้งระยะหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานไปแล้วสัก 120 นาที เพราะค่าค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่วัดได้ยังมีค่าต่ำอยู่มาก เมื่อเทียบกับค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวที่เพียงพอในการใช้งานซึ่ง Peters A. D. และ Meiers J. C. รายงานไว้ในปี 1996

วิจารณ์ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแยกตามกลุ่ม 12 กลุ่ม

ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ได้ 12 กลุ่ม หากนำค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อยจะได้ลำดับ ดังนี้ Gr1Va24h, Gr5Pa24h, Gr6Pa120min, Gr2Va120min, Gr3Va90min, Gr7Pa90min, Gr8Pa60min, Gr4Va60min, Gr9Su24h, Gr10Su120h, Gr11Su90h และ Gr12Su60h

เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของทั้ง 12 กลุ่มด้านสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติทดสอบแบบทูกีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ พบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้ กลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดคือ กลุ่มที่ 1 (Va24h) ซึ่งมีค่ามากกว่า กลุ่มที่ 5 (Pa24h) แต่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนกลุ่มที่ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่ำที่สุดคือ กลุ่มทดสอบที่ 12 (Su60min) ซึ่งมีต่ำกว่ากลุ่มที่ 11 (Su90min) และกลุ่มทดสอบที่ 11 มีค่าแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มที่ 10 (Su120min) ตามลำดับ โดยที่ทั้งสามกลุ่มทดสอบมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ทดสอบความแข็งแรงยึดเหนี่ยวก่อนเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้เรซินซีเมนต์ วาลีโอลิงค์ทู และพานาเวียเอฟ คือกลุ่มที่ 6, 2, 3, 7, 8, 4 ตามลำดับจากค่ามากไปหาน้อย ซึ่งทั้งหกกลุ่มมีค่าทางสถิติต่ำกว่าสองกลุ่มสูงสุด แต่ก็มีค่าสูงกว่ากลุ่มทดสอบทุกกลุ่มที่ใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีเป็นเรซินซีเมนต์ทดสอบกลุ่มทดสอบที่ 9 มีค่าสถิติที่แตกต่างจากทุกกลุ่มทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งสองด้าน คือ ระบบของเรซินซีเมนต์ และระยะเวลาเก็บรอ ร่วมกับการอธิบายผลจากผู้ทำการวิจัยก่อนหน้า ดังที่ได้อธิบายข้างต้นแล้วพบว่า การวิจัยครั้งนี้ แม้พิจารณาปัจจัยทั้งสองด้านพร้อมกันก็ได้ผลสอดคล้องกันกับคำอธิบายข้างต้น รวมทั้งเมื่อพิจารณาลักษณะการแตกหักร่วมด้วย พบว่ากลุ่มทดสอบทั้ง 12 กลุ่ม ก็ให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับ Alvaro D.B. และคณะ (2003) ที่อธิบายลักษณะการแตกหักแล้วในหัวข้อก่อนนี้

วิจารณ์ผลการทดลองแยกพิจารณาเรซินซีเมนต์แต่ละระบบ และเวลา

เมื่อพิจารณาเพียงในกลุ่มทดสอบเรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ทู (กลุ่มที่ 1 – 4) โดยพิจารณาที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน พบว่ากลุ่มที่ 1 ซึ่งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ (กลุ่มที่ 2 – 4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แต่กลุ่มที่เหลือนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้พิจารณาลักษณะการแตกหักร่วมด้วยก็ได้ผลสอดคล้องกันกับคำอธิบายข้างต้น ขณะที่กลุ่มที่ 2-4 โดยเฉพาะในกลุ่มที่ 4 ที่มีค่าต่ำที่สุด คือ 40.43 ± 2.03 เมกะพาสคาลก็ตาม แต่ก็มีค่าสูงเพียงพอต่อการใช้งานตามที่ Peters AD. และ Meiers JC ที่สรุปไว้ในปี 1996 ผู้วิจัยจึงสรุปว่าหากใช้เรซินซีเมนต์วาไลโอลิงค์ทูยึดชิ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรสทู ผู้ทำงานรอเพียง 60 นาทีก็เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามควรทำการทดลองต่อเนื่อง โดยแบ่งเวลาให้ละเอียดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาในช่วงหนึ่งซึ่งโมงแรก

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะในกลุ่มทดสอบเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟทุกช่วงระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน (กลุ่มที่ 5 – 8) มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ได้ผลสอดคล้องกันกับคำอธิบายข้างต้น รวมทั้ง Ozyesil A. G. และคณะ (2004) ที่ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ แล้วทดสอบหาอัตราการเปลี่ยนแปลงพันธะของเรซินซีเมนต์ที่เก็บรอ ณ ระยะเวลาต่างๆดังที่อธิบายแล้วข้างต้นโดยเฉพาะ Peters A.D. และ Meiers J.C. (1996) ที่ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวและพบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ระบบก่อดัวควบคุมมีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นตั้งแต่วางแรกๆ หลังฉายแสงจึงมีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังที่เป็นอยู่ ผู้วิจัยจึงสรุปว่าหากใช้เรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟยึดชิ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรสทู ผู้ทำงานรอ

เพียง 60 นาทีก็เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามควรทำการทดลองต่อเนื่อง โดยแบ่งเวลาให้ละเอียดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาในช่วงหนึ่งชั่วโมงแรกเหมือนกลุ่มทดสอบเรซินซีเมนต์วาเลียอิงค์ยู

เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มทดสอบที่ใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ (กลุ่มที่ 9 - 12) โดยพิจารณาที่ระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานพบว่า กลุ่มที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน 24 ชั่วโมง มีความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่กลุ่มที่เหลือ (กลุ่มที่ 10 - 12) นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับคำอธิบายข้างต้น โดยเฉพาะคำอธิบายของ Peters A.D. และ Meiers J.C. (1996) ที่ทำการทดลองวัดค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวและพบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ระบบก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวจะค่อยๆ สูงขึ้นจนมีค่าสูงเพียงพอต่อการใช้งาน คือ 17.5 ± 2.7 เมกกะพาสคาล ที่ 60 นาที สอดคล้องกับ Thurmond J. W. และคณะทดลองในปี 1994 แล้วสรุปค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำที่สุดที่เพียงพอต่อการใช้งานในทางคลินิกคือ 13 เมกกะพาสคาล รวมทั้ง Ozyesil A. G. และคณะ (2004) ที่ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ แล้วทดสอบหาอัตราการเปลี่ยนแปลงพันธะของเรซินซีเมนต์ที่เก็บรอ ณ เวลาต่างๆดังที่อธิบายแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบผลการวิจัย อันจะทำให้ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้ เรซิน ซีเมนต์ ระบบที่สามารถให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทู ได้สูงที่สุด พบว่า ณ เวลา 24 ชั่วโมง เรซินซีเมนต์ระบบที่ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงที่สุดคือ ระบบที่ใช้บิสฟีเอมเอเพียงชนิดเดียวเป็นส่วนประกอบหลักในเรซินส่วนพื้นฐาน (resin matrix) ซึ่งมีค่ามากกว่าเรซินซีเมนต์ระบบที่ใช้บิสฟีเอมเอเป็นเรซินส่วนพื้นฐาน ร่วมกับเอมดีพี เป็นสารส่งเสริมการยึดติด เนื่องจากเอมดีพีมีหมู่ฟอสเฟตเป็นหมู่ทำงาน จะยึดติดได้ดีกับออกไซด์ของโลหะ และผิวฟัน (Tani C., 1993) (Friederich และ Kern, 2002) แม้จะเป็นดังข้างต้นแต่จากงานวิจัยครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเรซินซีเมนต์ทั้งสองระบบ

ในการทดลองนี้ใช้เพียงไอพีเอสเอ็มเพรสทูซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนพื้นฐานทำให้ผิวสัมผัสส่วนใหญ่เป็นซิลิกา ดังนั้นเอมดีพีที่มีอยู่ในระบบของเรซินซีเมนต์จึงไม่ช่วยส่งเสริมการยึดติดแต่กลับทำให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่ำลง ดังผลการทดลองที่ได้นำเสนอไปแล้วข้างต้น แต่เมื่อพิจารณาเชิงสถิติไม่พบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของทั้งสองระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นหากต้องยึดชิ้นงานไอพีเอสเอ็มเพรสทูกับผิวฟันซึ่งต้องพิจารณาพื้นที่สัมผัสสองส่วน เนื่องจากเมื่อพิจารณาพื้นที่สัมผัสระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ไม่พบความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่สัมผัสระหว่างเรซินซีเมนต์กับผิวฟันพบว่าระบบที่มีเอมดีพีช่วยส่งเสริมการยึดติดจะให้การยึดติดดีขึ้น (Tani C., 1993) ดังนั้นหากพิจารณาเลือกชนิดของเรซินซีเมนต์เพื่อใช้ยึดชิ้นงานเซรามิกล้านไอพีเอสเอ็มเพรสทูกับผิวฟันธรรมชาติ โดยพิจารณาเพียงปัจจัยเดียว คือ ความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ผู้วิจัยจึงแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ระบบที่ใช้บิสฟีโอมเอเป็นเรซินส่วนพื้นฐาน ร่วมกับเอมดีพี เป็นสารส่งเสริมการยึดติด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. ยังต้องมีการทดลองต่อเนื่อง คือ ระยะเวลาที่เก็บรอทดสอบต้องเพิ่มระยะเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะเวลาดำกว่า 60 นาที
2. ทดลองต่อเนื่องในส่วนของคุณสมบัติของอิทธิพลของสารซีเลนโดยสลับคู่สารซีเลน และระบบเรซินซีเมนต์
3. ทดลองต่อเนื่องในส่วนของคุณสมบัติของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยผ่านวงจรเพิ่มลดอุณหภูมิ (thermocycling)

สรุปผลการวิจัย

1. เรซินซีเมนต์ทั้งสามระบบ ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทูแตกต่างกัน โดยซูเปอร์บอนด์ซีเอนด์บีให้ค่าแตกต่างจากอีกสองกลุ่ม
2. ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวยึดระหว่างไอพีเอสเอ็มเพรสทูและเรซินซีเมนต์วาริโอลิงก์ทุกกับพานาเวียเอพมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และไม่แตกต่างกัน
3. กลไกการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกัน ให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทูแตกต่างกัน
4. การก่อตัวของเรซินซีเมนต์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยโพลีเมทิลเมทาคริลเลต จะให้ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวต่อไอพีเอสเอ็มเพรสทูต่ำกว่า ค่าที่ได้จากบีเอสจีเอ็มเอ และบีเอสจีเอ็มเอ ร่วมกับ เอ็มดีพี
5. ค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เรซินซีเมนต์ และ ไอพีเอสเอ็มเพรสทู หลังจากสิ้นสุดเวลาทำงานของเรซินซีเมนต์ไปแล้วตั้งแต่ 60 นาที มีความแตกต่างกัน โดยระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ 120 นาที มีค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกัน แต่ต่างกับกลุ่ม 90 นาที และ 60 นาที

รายการอ้างอิง

- Alvaro D.B., Anusavice K.J. and John J. M. Jr. 2003. Failure analysis of composite bonded to ceramic. Dent Mater. 19:693-699.
- Anusavice, K.J. 1996. Phillips' Science of dental materials. 10th edition, Philadelphia : Saunder Company. 173-299.
- Braga, R. R. et al. 1999. Pilot study on the early shear strength of porcelain - dentin bonding using dual - cure cements. J Prosthet Dent. 81 : 285-289.
- Braga, R. R. et al. 2000. Influence of time and adhesive system on the extrusion shear strength between feldspathic porcelain and bovine dentin. Dent Mater. 16:303-310.
- Brix, O. et al. 2001. Clinical and laboratory case presentations using lithium disilicate glass-reinforced ceramics. Quintessence dent tech. 24:99-114.
- Calamia, J. R. and Simonsen, R. J. 1984. Effect of coupling agent on bond strength of etched porcelain. J Dent Res. 63:179, Abst. No.79.
- Canay S. et al. 2001. Effect of different acid treatments on a porcelain surface. J Oral Rehab. 28:95-101.
- Cattell M.J. et al. 2002. The effect of veneering and heat treatment on the flexural strength of Empress 2 ceramics. J Dent. May;30(4):161-9.
- Cenk C., Ahmet S. and Serdar S. 2003. Effect of different bonding agents on shear bond strengths of composite-bonded porcelain to enamel. J Prosthet Dent. 89:394-399.
- Christgau, M., Friedl, K-H., Schmalz, G., Resch, U. 1999. Marginal adaptation of heat-pressed glass-ceramic veneers to dentin in vitro. Oper Dent. 24:137-146.
- Craig, R.G. 1997. Restorative dental materials. 10th edition, Mosby, Missouri:485.
- Cooley RL, Tseng EY, Evans JG. 1991. Evaluation of a 4-META porcelain repair system. J Esthet Dent. Jan-Feb; 3(1):11-13.
- David A.G. et al. 1994. Porcelain and composite inlays and onlays esthetic posterior restoration. 3rd edition Quintessence Book Publishing Co. Ltd. 63.

- Derand P. and Derand T. 2000. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. Int J Prosthodont. Mar-Apr; 13(2):131-135.
- El-Badrawy, W. A. et al. 1995. Chemical versus dual curing of resin inlay cements. J Prosthet Dent. 73:515-524.
- El-Mowafy, O. M. et al. 1999. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. Oper dent.24:38-44.
- Fradeani M. and Barducci G. 2000. Lithium disilicate glass-ceramic restoration:Indications and guidelines. Quintessence dent tech.23:51-60.
- Friederich R. and Kern M. 2002. Resin bond strength to densely sintered alumina ceramic. Int J Prosthodont. Jul-Aug;15(4):333-8.
- Galip Gurel. 2003. The science and art of porcelain laminate veneers. 1st edition Quintessence Book Publishing Co. Ltd. 30-50.
- Giodano R. 2000. A comparison of all-ceramic restorative systems:Part 2. Gen Dent. Jan-Feb;48(1):38-40.
- Hahn, P., Attin, T., Grofke, M. and Hellwig, E. 2001. Influence of resin cement viscosity on microleakage of ceramic inlays. Dent Mater.17:191-196.
- Hasegawa, E. A. et al. 1991. Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays. J Prosthet Dent. 66:187-192.
- Hofmann, N. et al. 2001. Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. J Oral Rehabil. Nov;28(11):1022-1028.
- Inokoshi S., et al. 1993. Dual-cure luting composites. Part I : filler particle distribution. J Oral Rehab. 20:133-146.
- Jardel, V. et al. 1999. Correlation of topography to bond strength of etched ceramic. Int J Prosthodont. 12:59-64.
- Jochen D. G. et al. 1973. Repair of fractured porcelain denture teeth. J Prosthet Dent. 29(2):228-230.
- Jochen D. G. and Caputo A. A. 1977. Composite resin repair of porcelain denture teeth. J Prosthet Dent. 38(6):673-379.

- Kato H, Matsumura H, Ide T, Atsuta M. 2001. Improved bonding of adhesive resin to sintered porcelain with the combination of acid etching and a two-liquid silane conditioner. J Oral Rehabil. Jan; 28(1):102-108.
- Kamada K, Yoshida K and Atsuta M. 1998 Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material. J Prosthet Dent. May;79(5):508-13.
- Matsumura H., Kato H. and Assuta M. 1997. Shear bond strength to feldspathic porcelain of two luting cements in combination with three surface treatments. J Prosthet Dent. 78:511-517.
- McComb D. 1996. Adhesive luting cements-classes, criteria and usage. Compend Contin Educ Dent.17:759-773.
- McLean J.W.,Hughes,T.H. 1965. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. Brit Dent J. 119:251-267.
- Nakabayashi N. and Pashley, D. H. 1998. Hybridization of dental hard tissues. Quintessence books. Tokyo.
- Nilgum Ozturk, Filiz Aykent. 2003. Dentin bond strengths of two ceramic inlay systems after cementation with three different techniques and one bonding system. J Prosthet dent. 89:275-281.
- Oh, Sang-Chun et al. 2000. Strength and Microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatments. Int J Prosthodont.13:468-472.
- Ozcan M and Vallittu PK. 2003. PK.Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics.Dent Mater. Dec;19(8):725-731.
- Ozturk N and Aykent F. 2003. Dentin bond strengths of two ceramic inlay systems after cementation with three different techniques and one bonding system. J Prosthet Dent. Mar;89(3):275-81.
- Ozyesil AG, Usumez A, Gunduz B. 2004. The efficiency of different light sources to polymerize composite beneath a simulated ceramic restoration. J Prosthet Dent. Feb; 91(2):151-157.

- Peters, A. D. and Meiers, J.C. 1996. Effect of polymerization mode of a dual-cured resin cement on time-dependent shear bond strength to porcelain. Am Dent J. 9:264-268.
- Rizkalla AS, Jones DW. 2004. Mechanical properties of commercial high strength ceramic core materials. Dent Mater. Feb;20(2):207-12.
- Roulet, J.F. and Degrange M 2000. Adhesion the silent revolution in dentistry. 8th edition, Illinois : Quintessence books. 303-328.
- Rosenstiel, S.F., Land, M.F. and Crispin, B.J. 1998. Dental luting agents : A review of the current literature. J Prosthet Dent.80:280-301.
- Rosenstiel, S.F., Land, M.F. and Fujimoto, J. 2001. Contemporary fixed prosthodontics.3rd edition, Mosby, Missouri : 609, 643-645.
- Schweiger M et al. 1999. IPS Empress 2 : A new pressable high-strength glass-ceramic for esthetic all-ceramic restorations. Quintessence dent tech. 22:143-151.
- Sen D. et al. 2000. Shear bond strength of resin luting cement to glass-infiltrated porous aluminum oxide cores. J Prosthet Dent. Feb;83(2):210-5.
- Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. 2002. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. Dent Mater. Jul;18(5):380-8.
- Simonsen, R. J. and Calamia, J. R. 1983. Tensile bond strength of etched porcelain. J Dent Res.62:297, Abst. No.1154 (AADR).
- Sorensen, J.A. 1999. The IPS Empress 2 system : Defining the possibilities. Quintessence dent tech. 22:153-163.
- Talic YF. 2003. Immediate and 24-hour bond strengths of two dental adhesive systems to three tooth substrates. J Contemp Dent Pract. Nov 15;4(4):28-39.
- Tani C. 1993. Efficacy of dentin bonding agents combined with self-etching dentin primers containing Phenyl-P. Dent Mater. Dec;12(2):219-24.
- Thurmond, J. W. et al. 1994. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. J Prosthet Dent. 72:355-359.

- Tulunoglu IF and Beydemir B. 2000 Resin shear bond strength to porcelain and a base metal alloy using two polymerization schemes. J Prosthet Dent. Feb; 83(2):181-6.
- White S., Yu Z. 1993. Physical properties of fixed prothodontic, resin composite luting agents. Int J Prosthodont. 6:384-389.
- Yousef Fouad Talic. 2003. Immediate and 24-hour bond strengths of two dental adhesive systems to three tooth substrates. Contemp Dent Pract. Nov 4; 4:28-32
- Yeo I.S., Yang J.H., Lee J.B. 2003. In vitro marginal fit of three all-ceramic crown systems. J Prosthet Dent. 90:459-464.
- Zawta C. 2001. Fixed partial dentures with an all-ceramic system : a case report. Quintessence Int. 32:351-359.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ตารางที่ 15 แสดงค่าแรงยึดเคียนระหว่างไอพีเอสเอ็มเพรสทู และซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of specimen	Super bond C&B Shear bond strength (MPa)			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	24.57	17.58	18.94	13.38
2	27.39	15.71	14.38	14.91
3	31.79	18.11	10.71	15.49
4	28.80	20.24	13.48	15.61
5	26.54	14.83	14.33	12.85
6	30.07	21.62	15.22	17.67
7	24.30	21.21	13.99	13.30
8	25.38	22.35	15.95	16.74
9	27.05	14.99	22.17	17.73
10	24.48	16.30	20.74	11.02
Mean	27.04	18.29	15.99	14.87
S.D.	2.54	2.87	3.55	2.21
Median	26.80	17.85	14.08	15.20
Mean + SD	29.58	21.16	19.54	17.08
Mean - SD	24.50	15.42	12.44	12.66
Minimum	24.30	14.83	10.71	11.02
Maximum	31.79	22.35	22.17	17.73
Range	7.49	7.52	11.46	6.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 แสดงค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอพีเอสเอ็มเพรสทู และพานาเวียเอฟ ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of specimen	Panavia F			
	Shear bond strength (MPa)			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	49.98	49.41	35.51	38.88
2	49.58	35.47	42.74	41.89
3	49.61	45.88	36.36	42.62
4	52.96	52.04	47.12	42.18
5	42.47	39.70	46.61	41.47
6	40.20	38.88	49.14	43.00
7	53.22	38.90	46.01	42.22
8	38.84	49.61	35.08	39.22
9	48.50	46.53	35.23	42.39
10	56.43	49.40	49.61	39.53
Mean	48.18	44.58	42.34	41.34
S.D.	5.84	5.82	6.14	1.53
Median	49.60	44.38	44.38	42.04
Mean + SD	54.02	50.40	48.48	42.87
Mean - SD	42.34	38.76	36.20	39.81
Minimum	38.84	35.08	35.08	38.88
Maximum	56.43	49.61	49.61	43.00
Range	17.59	14.53	14.53	4.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 แสดงค่าแรงยึดเคียนระหว่างไอพีเอสเอ็มเพรสทู และวาริโอลิงค์ทู ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of specimen	Variolink II			
	Shear bond strength (MPa)			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	43.82	38.74	38.75	40.28
2	46.01	54.51	47.44	42.33
3	50.24	35.46	37.92	43.44
4	56.65	44.47	46.92	38.53
5	42.41	42.58	46.81	42.54
6	53.04	39.49	45.91	36.85
7	68.33	48.64	49.61	38.64
8	44.20	42.94	37.99	40.28
9	65.35	42.36	35.23	40.78
10	51.30	50.29	39.11	40.66
Mean	52.14	43.95	42.57	40.43
S.D.	8.98	5.76	5.21	2.03
Median	50.77	42.76	42.51	40.47
Mean + SD	61.12	49.71	47.78	42.46
Mean - SD	43.16	38.19	37.36	38.40
Minimum	42.41	35.46	35.23	36.85
Maximum	68.33	54.51	49.61	43.44
Range	25.92	19.05	14.38	6.59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 แสดงลักษณะการแตกหักของกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู ที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of specimen	Super bond C&B			
	Mode of failure			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	A	M	M	A
2	M	A	A	A
3	A	M	A	A
4	A	A	A	A
5	A	A	A	A
6	A	A	A	M
7	M	A	A	A
8	M	M	A	A
9	M	A	M	M
10	A	A	M	A

A = Adhesive failure between resin cement and IPS Empress 2 interface

C = Cohesive failure with in resin cement

M = Mixed adhesive and cohesive failure

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 แสดงลักษณะการแตกหักของกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู ที่ยึดด้วยพานาเวีย
เอฟ ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of speimen	Panavia F Mode of failure			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	M	A	M	M
2	M	M	M	M
3	M	M	A	M
4	M	A	A	M
5	A	A	M	A
6	M	A	M	M
7	A	M	A	A
8	M	M	A	A
9	M	M	M	M
10	M	A	M	A

A = Adhesive failure between resin cement and IPS Empress 2 interface

C = Cohesive failure with in resin cement

M = Mixed adhesive and cohesive failure

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 แสดงลักษณะการแตกหักของกลุ่มทดสอบไอพีเอสเอ็มเพรสทู ที่ยึดด้วยวาริโอลิงค์ทู ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Number of speimen	Variolink II Mode of failure			
	24 hours	120 minutes	90 minutes	60 minutes
1	M	M	M	M
2	M	M	M	M
3	A	M	A	M
4	M	M	M	M
5	A	A	M	A
6	M	A	M	M
7	M	M	M	A
8	M	M	M	A
9	M	M	M	M
10	M	A	M	A

A = Adhesive failure between resin cement and IPS Empress 2 interface

C = Cohesive failure with in resin cement

M = Mixed adhesive and cohesive failure

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแยกกลุ่มตามชนิดของเรซินซีเมนต์ และเวลา

Tests of Normality

group	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mpa 1	.160	10	.200*	.897	10	.202
2	.169	10	.200*	.964	10	.830
3	.247	10	.086	.867	10	.093
4	.170	10	.200*	.963	10	.821
5	.222	10	.178	.919	10	.353
6	.199	10	.200*	.895	10	.191
7	.235	10	.125	.830	10	.034
8	.240	10	.106	.835	10	.038
9	.145	10	.200*	.919	10	.351
10	.157	10	.200*	.905	10	.249
11	.205	10	.200*	.926	10	.412
12	.150	10	.200*	.950	10	.674

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 22 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแยกกลุ่มตามชนิดของเรซินซีเมนต์

Tests of Normality

Resin Cement	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mpa VariolinkII	.141	40	.043	.881	40	.001
PanaviaF	.128	40	.098	.955	40	.117
SuperBond	.144	40	.036	.934	40	.022

a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 23 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแยกกลุ่มตามระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน

Tests of Normality

Time	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mpa 24h	.134	30	.180	.931	30	.051
120min	.193	30	.006	.877	30	.002
90min	.209	30	.002	.859	30	.001
60min	.325	30	.000	.724	30	.000

a. Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 24 แสดงการทดสอบข้อมูลด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Mpa

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19176.830(a)	11	1743.348	73.305	.000
Intercept	155317.746	1	155317.746	6530.880	.000
Cement	17203.348	2	8601.674	361.688	.000
Time	1850.672	3	616.891	25.939	.000
Cement * Time	122.810	6	20.468	.861	.526
Error	2568.462	108	23.782		
Total	177063.038	120			
Corrected Total	21745.292	119			

a. R Squared = .882 (Adjusted R Squared = .870)

ตารางที่ 25 แสดงการทดสอบอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทูเกีย

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Strength (MPa)

Tukey HSD

(I) CementCode	(J) CementCode	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
VariolinkII	PanaviaF	.66075	1.39320	.884	-2.6466	3.9681
	SuperBond	25.72325*	1.39320	.000	22.4159	29.0306
PanaviaF	VariolinkII	-.66075	1.39320	.884	-3.9681	2.6466
	SuperBond	25.06250*	1.39320	.000	21.7552	28.3698
SuperBond	VariolinkII	-25.72325*	1.39320	.000	-29.0306	-22.4159
	PanaviaF	-25.06250*	1.39320	.000	-28.3698	-21.7552

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

ตารางที่ 26 แสดงการจัดกลุ่มตามอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทูเกีย

Strength (MPa)

Tukey HSD

CementCode	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
SuperBond	40	19.0480	
PanaviaF	40		44.1105
VariolinkII	40		44.7712
Sig.		1.000	.884

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40.000.

ตารางที่ 27 แสดงการทดสอบอิทธิพลของระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงาน ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Strength (MPa)
Tukey HSD

(I) Min	(J) Min	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
OneDay	120min	6.84233	3.38137	.185	-1.9718	15.6564
	90min	8.81667*	3.38137	.050	.0026	17.6308
	60min	10.23600*	3.38137	.016	1.4219	19.0501
120min	OneDay	-6.84233	3.38137	.185	-15.6564	1.9718
	90min	1.97433	3.38137	.937	-6.8398	10.7884
	60min	3.39367	3.38137	.748	-5.4204	12.2078
90min	OneDay	-8.81667*	3.38137	.050	-17.6308	-.0026
	120min	-1.97433	3.38137	.937	-10.7884	6.8398
	60min	1.41933	3.38137	.975	-7.3948	10.2334
60min	OneDay	-10.23600*	3.38137	.016	-19.0501	-1.4219
	120min	-3.39367	3.38137	.748	-12.2078	5.4204
	90min	-1.41933	3.38137	.975	-10.2334	7.3948

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

ตารางที่ 28 แสดงการจัดกลุ่มตามอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่

Strength (MPa)

Tukey HSD

Min	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
60min	30	32.2143	
90min	30	33.6337	
120min	30	35.6080	35.6080
OneDay	30		42.4503
Sig.		.748	.185

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ตารางที่ 29 แสดงการทดสอบอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์และระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้ หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานตามกลุ่มที่กำหนดไว้ 12 กลุ่ม ด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว

ANOVA

Strength (MPa)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	19176.830	11	1743.348	73.305	.000
Within Groups	2568.462	108	23.782		
Total	21745.292	119			

ตารางที่ 30 แสดงการทดสอบอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์และระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้ หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานตามกลุ่มที่กำหนดไว้ 12 กลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่

Multiple Comparisons

Dependent Variable: MPa

Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	8.18700(*)	2.18092	.014	.9007	15.4733
	3	9.56600(*)	2.18092	.002	2.2797	16.8523
	4	11.70200(*)	2.18092	.000	4.4157	18.9883
	5	3.95600	2.18092	.807	-3.3303	11.2423
	6	7.55300(*)	2.18092	.035	.2667	14.8393
	7	9.79400(*)	2.18092	.001	2.5077	17.0803
	8	10.79500(*)	2.18092	.000	3.5087	18.0813
	9	25.09800(*)	2.18092	.000	17.8117	32.3843
	10	33.84100(*)	2.18092	.000	26.5547	41.1273
	11	36.14400(*)	2.18092	.000	28.8577	43.4303
	12	37.26500(*)	2.18092	.000	29.9787	44.5513
2	1	-8.18700(*)	2.18092	.014	-15.4733	-.9007
	3	1.37900	2.18092	1.000	-5.9073	8.6653
	4	3.51500	2.18092	.901	-3.7713	10.8013
	5	-4.23100	2.18092	.732	-11.5173	3.0553
	6	-.63400	2.18092	1.000	-7.9203	6.6523
	7	1.60700	2.18092	1.000	-5.6793	8.8933
	8	2.60800	2.18092	.988	-4.6783	9.8943

9	16.91100(*)	2.18092	.000	9.6247	24.1973
10	25.65400(*)	2.18092	.000	18.3677	32.9403
11	27.95700(*)	2.18092	.000	20.6707	35.2433
12	29.07800(*)	2.18092	.000	21.7917	36.3643

Cont. next page

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
3	1	-9.56600(*)	2.18092	.002	-16.8523	-2.2797
	2	-1.37900	2.18092	1.000	-8.6653	5.9073
	4	2.13600	2.18092	.998	-5.1503	9.4223
	5	-5.61000	2.18092	.309	-12.8963	1.6763
	6	-2.01300	2.18092	.999	-9.2993	5.2733
	7	.22800	2.18092	1.000	-7.0583	7.5143
	8	1.22900	2.18092	1.000	-6.0573	8.5153
	9	15.53200(*)	2.18092	.000	8.2457	22.8183
	10	24.27500(*)	2.18092	.000	16.9887	31.5613
	11	26.57800(*)	2.18092	.000	19.2917	33.8643
	12	27.69900(*)	2.18092	.000	20.4127	34.9853
	4	1	-11.70200(*)	2.18092	.000	-18.9883
2		-3.51500	2.18092	.901	-10.8013	3.7713
3		-2.13600	2.18092	.998	-9.4223	5.1503
5		-7.74600(*)	2.18092	.027	-15.0323	-.4597
6		-4.14900	2.18092	.755	-11.4353	3.1373
7		-1.90800	2.18092	.999	-9.1943	5.3783
8		-.90700	2.18092	1.000	-8.1933	6.3793
9		13.39600(*)	2.18092	.000	6.1097	20.6823
10		22.13900(*)	2.18092	.000	14.8527	29.4253
11		24.44200(*)	2.18092	.000	17.1557	31.7283
12		25.56300(*)	2.18092	.000	18.2767	32.8493
5		1	-3.95600	2.18092	.807	-11.2423
	2	4.23100	2.18092	.732	-3.0553	11.5173
	3	5.61000	2.18092	.309	-1.6763	12.8963
	4	7.74600(*)	2.18092	.027	.4597	15.0323
	6	3.59700	2.18092	.886	-3.6893	10.8833
	7	5.83800	2.18092	.252	-1.4483	13.1243
	8	6.83900	2.18092	.087	-.4473	14.1253
	9	21.14200(*)	2.18092	.000	13.8557	28.4283
	10	29.88500(*)	2.18092	.000	22.5987	37.1713
	11	32.18800(*)	2.18092	.000	24.9017	39.4743
	12	33.30900(*)	2.18092	.000	26.0227	40.5953
	6	1	-7.55300(*)	2.18092	.035	-14.8393
2		.63400	2.18092	1.000	-6.6523	7.9203
3		2.01300	2.18092	.999	-5.2733	9.2993
4		4.14900	2.18092	.755	-3.1373	11.4353
5		-3.59700	2.18092	.886	-10.8833	3.6893
7		2.24100	2.18092	.997	-5.0453	9.5273

8	3.24200	2.18092	.941	-4.0443	10.5283
9	17.54500(*)	2.18092	.000	10.2587	24.8313
10	26.28800(*)	2.18092	.000	19.0017	33.5743
11	28.59100(*)	2.18092	.000	21.3047	35.8773
12	29.71200(*)	2.18092	.000	22.4257	36.9983

Cont. next page

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7	1	-9.79400(*)	2.18092	.001	-17.0803	-2.5077
	2	-1.60700	2.18092	1.000	-8.8933	5.6793
	3	-.22800	2.18092	1.000	-7.5143	7.0583
	4	1.90800	2.18092	.999	-5.3783	9.1943
	5	-5.83800	2.18092	.252	-13.1243	1.4483
	6	-2.24100	2.18092	.997	-9.5273	5.0453
	8	1.00100	2.18092	1.000	-6.2853	8.2873
	9	15.30400(*)	2.18092	.000	8.0177	22.5903
	10	24.04700(*)	2.18092	.000	16.7607	31.3333
	11	26.35000(*)	2.18092	.000	19.0637	33.6363
	12	27.47100(*)	2.18092	.000	20.1847	34.7573
	8	1	-10.79500(*)	2.18092	.000	-18.0813
2		-2.60800	2.18092	.988	-9.8943	4.6783
3		-1.22900	2.18092	1.000	-8.5153	6.0573
4		.90700	2.18092	1.000	-6.3793	8.1933
5		-6.83900	2.18092	.087	-14.1253	.4473
6		-3.24200	2.18092	.941	-10.5283	4.0443
7		-1.00100	2.18092	1.000	-8.2873	6.2853
9		14.30300(*)	2.18092	.000	7.0167	21.5893
10		23.04600(*)	2.18092	.000	15.7597	30.3323
11		25.34900(*)	2.18092	.000	18.0627	32.6353
12		26.47000(*)	2.18092	.000	19.1837	33.7563
9		1	-25.09800(*)	2.18092	.000	-32.3843
	2	-16.91100(*)	2.18092	.000	-24.1973	-9.6247
	3	-15.53200(*)	2.18092	.000	-22.8183	-8.2457
	4	-13.39600(*)	2.18092	.000	-20.6823	-6.1097
	5	-21.14200(*)	2.18092	.000	-28.4283	-13.8557
	6	-17.54500(*)	2.18092	.000	-24.8313	-10.2587
	7	-15.30400(*)	2.18092	.000	-22.5903	-8.0177
	8	-14.30300(*)	2.18092	.000	-21.5893	-7.0167
	10	8.74300(*)	2.18092	.006	1.4567	16.0293
	11	11.04600(*)	2.18092	.000	3.7597	18.3323
	12	12.16700(*)	2.18092	.000	4.8807	19.4533
	10	1	-33.84100(*)	2.18092	.000	-41.1273
2		-25.65400(*)	2.18092	.000	-32.9403	-18.3677
3		-24.27500(*)	2.18092	.000	-31.5613	-16.9887
4		-22.13900(*)	2.18092	.000	-29.4253	-14.8527
5		-29.88500(*)	2.18092	.000	-37.1713	-22.5987
6		-26.28800(*)	2.18092	.000	-33.5743	-19.0017

7	-24.04700(*)	2.18092	.000	-31.3333	-16.7607
8	-23.04600(*)	2.18092	.000	-30.3323	-15.7597
9	-8.74300(*)	2.18092	.006	-16.0293	-1.4567
11	2.30300	2.18092	.996	-4.9833	9.5893
12	3.42400	2.18092	.916	-3.8623	10.7103

Cont. next page

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
11	1	-36.14400(*)	2.18092	.000	-43.4303	-28.8577
	2	-27.95700(*)	2.18092	.000	-35.2433	-20.6707
	3	-26.57800(*)	2.18092	.000	-33.8643	-19.2917
	4	-24.44200(*)	2.18092	.000	-31.7283	-17.1557
	5	-32.18800(*)	2.18092	.000	-39.4743	-24.9017
	6	-28.59100(*)	2.18092	.000	-35.8773	-21.3047
	7	-26.35000(*)	2.18092	.000	-33.6363	-19.0637
	8	-25.34900(*)	2.18092	.000	-32.6353	-18.0627
	9	-11.04600(*)	2.18092	.000	-18.3323	-3.7597
	10	-2.30300	2.18092	.996	-9.5893	4.9833
	12	1.12100	2.18092	1.000	-6.1653	8.4073
	12	1	-37.26500(*)	2.18092	.000	-44.5513
2		-29.07800(*)	2.18092	.000	-36.3643	-21.7917
3		-27.69900(*)	2.18092	.000	-34.9853	-20.4127
4		-25.56300(*)	2.18092	.000	-32.8493	-18.2767
5		-33.30900(*)	2.18092	.000	-40.5953	-26.0227
6		-29.71200(*)	2.18092	.000	-36.9983	-22.4257
7		-27.47100(*)	2.18092	.000	-34.7573	-20.1847
8		-26.47000(*)	2.18092	.000	-33.7563	-19.1837
9		-12.16700(*)	2.18092	.000	-19.4533	-4.8807
10		-3.42400	2.18092	.916	-10.7103	3.8623
11		-1.12100	2.18092	1.000	-8.4073	6.1653

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงการจัดกลุ่มตามอิทธิพลของระบบเรซินซีเมนต์และระยะเวลาต่างๆ ที่ทิ้งไว้ หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาทำงานตามกลุ่มที่กำหนดไว้ 12 กลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่

MPa

Tukey HSD

group	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
12	10	14.8700				
11	10	15.9910				
10	10	18.2940				
9	10		27.0370			
4	10			40.4330		
8	10			41.3400	41.3400	
7	10			42.3410	42.3410	
3	10			42.5690	42.5690	
2	10			43.9480	43.9480	
6	10			44.5820	44.5820	
5	10				48.1790	48.1790
1	10					52.1350
Sig.		.916	1.000	.755	.087	.807

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพลาว์สวัสดิ์ เลาหรั่งพิสิฐ เกิดที่กรุงเทพมหานครเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2517 สัญชาติไทย เชื้อชาติไทย จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดลในปี พ.ศ. 2541 เข้ารับราชการในตำแหน่งอาจารย์ที่คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตั้งแต่ พ.ศ.2541 ถึงปัจจุบัน ขณะนี้ศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขา ทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย