

ผลของกาวยาไฟรเมอร์ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อน
ระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม



นายศิริพงศ์ ศิริมงคลวัฒน์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์


คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1512-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF ADHESIVE PRIMERS ON THE SHEAR BOND STRENGTH
BETWEEN RESIN CEMENTS AND CASTING ALLOYS



Mr.Siripong Sirimongkolwattana

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 2002

ISBN 974-17-1512-9

| | |
|-------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของกาวยาโปรเมอร์ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม |
| โดย | นายศิริพงษ์ ศิริมงคลวัฒน์ |
| สาขาวิชา | ทันตกรรมประดิษฐ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงอิศราวัลย์ บุญศิริ |

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ศุภบุรณ์ นุรณเวช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงอิศราวัลย์ บุญศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. มโน คุ้มรัตน์)

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

ศิริพงศ์ ศิริมงคลวัฒน์ : ผลของกาวไพรเมอร์ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม(EFFECT OF ADHESIVE PRIMERS ON THE SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN RESIN CEMENTS AND CASTING ALLOYS)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงอิศราวัลย์ บุญศิริ, 123 หน้า.

ISBN 974-17-1512-9

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกาวไพรเมอร์ 6 ชนิด (เมตาฟอสต์ ซีไซด์ ทุ โอเพคไพรเมอร์ วิ ไพรเมอร์ เมทัลไทท์ เมทัลไพรเมอร์ ทุ และอัลลอยไพรเมอร์) ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด(พานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี)และโลหะหล่อผสม 2 ชนิด(นิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม และทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง) โดยทำโลหะหล่อผสมแต่ละชนิดเป็นรูปทรงกระบอกจำนวน 100 คู่ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 และ 9 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำขึ้นโลหะหล่อผสมเป่าทรายอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค และยึดขึ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดร่วมกับการใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ หลังเสร็จงานในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นำมาทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากล โดยใช้ความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ผลการทดสอบพบว่าโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม กลุ่มที่ใช้พานาเวีย เอฟร่วมกับซีไซด์ ทุ โอเพคไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มไม่ใช้กาวไพรเมอร์ กลุ่มที่ใช้ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ร่วมกับเมตาฟอสต์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง กลุ่มที่ใช้พานาเวีย เอฟร่วมกับเมทัลไพรเมอร์ ทุ และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีร่วมกับเมทัลไทท์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดและแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ นำกลุ่มที่มีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดแยกตามชนิดเรซินซีเมนต์ และชนิดโลหะหล่อผสมมาเตรียมพื้นผิว และยึดขึ้นงานอีกครั้ง จากนั้นแช่ขึ้นงานในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมงก่อนแช่ขึ้นงานในอ่างน้ำอุณหภูมิ 4 ± 2 และ 55 ± 2 องศาเซลเซียส สลับกันอ่างละ 30 วินาที จำนวน 10,000 รอบ หลังการทำเทอร์โมไซคลิก พบว่าโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม กลุ่มพานาเวีย เอฟที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกเพียงกลุ่มเดียว ส่วนโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง พบว่าทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยก่อนทำเทอร์โมไซคลิกอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์

ภาควิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545.....

4376113232:MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORD:ADHESIVE PRIMER/CASTING ALLOY/RESIN CEMENT

SIRIPONG SIRIMONGKOLWATTANA:EFFECT OF ADHESIVE PRIMERS ON THE
SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN RESIN CEMENTS AND CASTING ALLOYS

THESIS ADVISOR:ASSOCIATE PROFESSOR ISSARAWAN BOONSIRI,123 pp.

ISBN 974-17-1512-9

The purpose of this study was to evaluate the effect of six adhesive primers, i.e., METAFAST (MF), Cesead II Opaque Primer(CP II), V PRIMER (VP), METALTITE(MT), METAL PRIMER II (MP II), and ALLOY PRIMER(AP), on the shear bond strength between two resin cements, Panavia F(PF) and Superbond C&B(SB), and two casting alloys, Nickel-Chromium-Molybdenum-Beryllium (Ni-Cr-Mo-Be) and Gold-Palladium-Silver-Copper(Au-Pd-Ag-Cu). Casting alloys cylinders (\varnothing 7x2, \varnothing 9x2mm,100 pairs each) were tested. They were sandblasted with 50 micron aluminum oxide, cleaned with the ultrasonic cleaner, and then cemented with each of two resin cements with or without primer. After that they were stored in a 37 ± 2 °C waterbath for 24 hrs, and then subjected to the shear bond test using universal testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Results showed the highest mean shear bond strength on the Ni-Cr-Mo-Be alloy using PF with CP II and also demonstrated a significant difference compared to those without primer. The ones using SB with MF exhibited the greatest mean shear bond strength but no significant difference was found when compared with no primer. The Au-Pd-Ag-Cu alloy that used PF with MP II and SB with MT showed the highest mean of the shear bond strength and were significantly different compared to those with no primer. The group with highest mean of the shear bond strength on each of resin cements and casting alloys was retreated and rebonded. The specimens were stored in a 37 ± 2 °C waterbath for 24 hrs, and then subjected to thermocycling (4 ± 2 and 55 ± 2 °C ,30 sec. for each cycle) for 10,000 thermal cycles. After thermocycling process, the Ni-Cr-Mo-Be alloy showed significantly lower mean of shear bond strength than the group without thermocycling in PF without primer only. The Au-Pd-Ag-Cu alloy yielded significantly lower mean shear bond strength than those without thermocycling except the group using SB with MT.

Department.....Prosthodontics.....Student's signature.....

Field of study.....Prosthodontics.....Advisor's signature.....

Academic year.....2002.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงอิศราวัลย์ บุญศิริ เป็นอย่างสูง ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำปรึกษาช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ ให้กำลังใจ และชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย อย่างดีเยี่ยม ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ สะดวกราบรื่นและมีประสิทธิภาพ ตลอดการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์(พิเศษ) ท่านผู้หญิงเพ็ชรา เตชะกัมพุช และคุณธนัชพร คุณารัตนอังกูร ที่ได้กรุณาลดราคาค่าเหี้ยมชิ้นงานโลหะหล่อผสม ขอขอบพระคุณบริษัทอุดม เมดิคอล อีคิวแมนท์ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี และกาวไพรเมอร์ ชนิดวี ไพรเมอร์ บริษัทยูนิตี้เด็นทัล จำกัด ที่ช่วยนำเข้าและเอื้อเฟื้อกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์ MR.Edwin J Balchin ผู้จัดการบริษัทจีซี จำกัด ประเทศสิงคโปร์ ที่ได้จัดส่งและเอื้อเฟื้อกาวไพรเมอร์ ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทุ รวมทั้งขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุและศูนย์วิจัย ซิววิทยาช่องปาก ทั้งที่คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยแนะนำการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไข วิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสำเร็จลุล่วง

ศิริพงศ์ ศิริมงคลวัฒน์นะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ท |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| วัตถุประสงค์การวิจัย..... | 4 |
| ขอบเขตการวิจัย..... | 4 |
| ข้อตกลงเบื้องต้น..... | 4 |
| ข้อจำกัดการวิจัย..... | 4 |
| การออกแบบการวิจัย..... | 4 |
| คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย..... | 5 |
| สมมุติฐานการวิจัย..... | 5 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| ปัญหาการวิจัย..... | 5 |
| 2. ปรีทัศน์วรรณกรรม..... | 6 |
| การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์..... | 8 |
| คุณสมบัติของเรซินซีเมนต์..... | 12 |
| การยึดติดกับโครงสร้างของฟัน..... | 14 |
| การยึดติดกับโลหะ..... | 15 |
| โลหะผสม..... | 16 |
| การเตรียมพื้นผิวโลหะ..... | 20 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม..... | 30 |
| การทำเทอร์โมไซเคิล..... | 31 |
| 3. ระเบียบวิธีวิจัย..... | 32 |
| วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... | 32 |
| ขั้นตอนการเตรียมชิ้นโลหะหล่อผสม..... | 37 |
| ขั้นตอนการยึดชิ้นโลหะหล่อผสม..... | 38 |
| ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเค้น..... | 41 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ขั้นตอนการทำเทอร์โมไซคลิง..... | 43 |
| ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล..... | 44 |
| 4. ผลการทดลอง..... | 45 |
| โลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม..... | 45 |
| โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง..... | 60 |
| 5. บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ..... | 76 |
| วิจารณ์วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... | 76 |
| วิจารณ์ผลการทดลอง..... | 79 |
| ข้อเสนอแนะ..... | 83 |
| 6. สรุปผลการวิจัย..... | 86 |
| รายการอ้างอิง..... | 88 |
| ภาคผนวก..... | 97 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 123 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 แสดงชนิดของโลหะผสม..... | 33 |
| ตารางที่ 2 แสดงชนิดของเรซินซีเมนต์และกาวไพรเมอร์..... | 34 |
| ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็นกลุ่มย่อย..... | 39 |
| ตารางที่ 4 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 45 |
| ตารางที่ 5 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ของ..... โลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมโดยไม่คำนึงถึงชนิดของ เรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 47 |
| ตารางที่ 6 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย..... ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 48 |
| ตารางที่ 7 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย..... ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ ชนิดพานาเวีย เอฟก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 51 |
| ตารางที่ 8 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม..... กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 53 |
| ตารางที่ 9 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)และ..... ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | 55 |
| ตารางที่ 10 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักและค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย..... ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | 57 |
| ตารางที่ 11 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 60 |
| ตารางที่ 12 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ของ..... โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงโดยไม่คำนึงถึงชนิดของ เรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 62 |
| ตารางที่ 13 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย..... ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | 63 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| ตารางที่14 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย.....66 | 66 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่15 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย.....67 | 67 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่16 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง.....68 | 68 |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่17 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)และ.....70 | 70 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง | |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่18 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักและค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย.....72 | 72 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้ | |
| และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่19 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....98 | 98 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม | |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่20 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....99 | 99 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม | |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่21 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....100 | 100 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง | |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่22 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....101 | 101 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับ | |
| เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่23 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม.....102 | 102 |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| ตารางที่24 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม..... | 103 |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่25 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง..... | 104 |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่26 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง..... | 105 |
| กับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่27 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... | 106 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม | |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่28 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... | 107 |
| (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง | |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่29 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม..... | 108 |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่30 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง..... | 109 |
| กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่31 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทางของโลหะหล่อผสม..... | 110 |
| นิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่32 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของโลหะหล่อผสม..... | 110 |
| นิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่33 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของโลหะหล่อผสม..... | 111 |
| นิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่34 แสดงการทดสอบไคสควอร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการแตกหัก..... | 112 |
| กับชนิดของเรซินซีเมนต์ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่35 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของ..... | 113 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| ตารางที่36 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของ..... | 113 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่37 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน..... | 114 |
| ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่38 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน..... | 114 |
| ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่39 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน..... | 114 |
| ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ซีดีทู ฮู โฟคไพร์เมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่40 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน..... | 115 |
| ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้เมตาฟอสต์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่41 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของ..... | 115 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่42 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของ..... | 116 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่43 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทางของโลหะหล่อผสม..... | 116 |
| ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่44 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของโลหะหล่อผสม..... | 117 |
| ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่45 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของโลหะหล่อผสม..... | 117 |
| ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| ตารางที่46 แสดงการทดสอบโคสแควร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการแตกหัก..... | 118 |
| กับชนิดของเรซินซีเมนต์ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่47 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเคียนเฉลี่ยของ..... | 119 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่48 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเคียนเฉลี่ยของ..... | 119 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ | |
| ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่49 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเคียน..... | 120 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่50 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเคียน..... | 120 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่51 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเคียน..... | 120 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทู ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่52 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเคียน..... | 121 |
| ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้เมทัลไทท์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่53 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเคียนเฉลี่ยของ..... | 121 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดพานาเวีย เอฟเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |
| ตารางที่54 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเคียนเฉลี่ยของ..... | 122 |
| ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหัก | |
| แบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ | |
| ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง | |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างสารเคมีที่อยู่ในเรซินซีเมนต์และกาวไฟรเมอร์..... | 26 |
| รูปที่ 2 แสดงเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด..... | 35 |
| รูปที่ 3 แสดงกาวไฟรเมอร์ 6 ชนิด..... | 36 |
| รูปที่ 4 แสดงชิ้นโลหะหล่อผสม 2 ขนาด..... | 37 |
| รูปที่ 5 แสดงท่อพีวีซีขนาดมิลลิเมตร..... | 37 |
| รูปที่ 6 แสดงอะคริลิกเรซินชนิดยูนิฟาสต์..... | 37 |
| รูปที่ 7 แสดงโลหะหล่อผสมขนาดเส้นผ่านกลาง 9 มิลลิเมตรที่ยึดกับท่อพีวีซี..... | 37 |
| รูปที่ 8 แสดงเครื่องเป่าทราย..... | 38 |
| รูปที่ 9 แสดงเครื่องอัลตราโซนิก..... | 38 |
| รูปที่ 10 แสดงเทปกาวด้านเดียวมีรูตรงกลาง..... | 40 |
| รูปที่ 11 แสดงการติดเทปกาวบนกึ่งกลางชิ้นโลหะหล่อผสมขนาด 9 มิลลิเมตร..... | 40 |
| รูปที่ 12 แสดงเครื่องคูโรมิเตอร์..... | 40 |
| รูปที่ 13 แสดงชิ้นงานที่ยึดเรียบร้อยก่อนการทดสอบ..... | 40 |
| รูปที่ 14 แสดงอ่างควบคุมอุณหภูมิ..... | 41 |
| รูปที่ 15 แสดงเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน..... | 42 |
| รูปที่ 16 แสดงการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน..... | 42 |
| รูปที่ 17 แสดงกล่องจุลทรรศน์สำหรับการผ่าตัด..... | 43 |
| รูปที่ 18 แสดงเครื่องเทอร์โมไซคลิก..... | 43 |
| รูปที่ 19 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ..... โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้ และไม่ใช้กาวไฟรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก | 46 |
| รูปที่ 20 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ..... โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับการใช้และไม่ใช้กาวไฟรเมอร์ โดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก | 47 |
| รูปที่ 21 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ..... โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับการใช้และไม่ใช้กาวไฟรเมอร์ ร่วมกับเรซินซีเมนต์ ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก | 49 |
| รูปที่ 22 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ..... หล่อโลหะผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้และไม่ใช้กาวไฟรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก | 50 |
| รูปที่ 23 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ..... โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับเรซินซีเมนต์ ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไฟรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก | 52 |

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|---|
| รูปที่36 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ.....71 | โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ |
| รูปที่37 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง.....72 | กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง |
| รูปที่38 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล).....73 | การลักษณะแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดโดยไม่คำนึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง |
| รูปที่39 แสดงลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ(กำลังขยาย 30 เท่า).....75 | |
| รูปที่40 แสดงลักษณะการแตกหักภายในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์.....75 | กับโลหะผสมกันหรือการแตกหักแบบผสม(กำลังขยาย 30 เท่า) |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การยึดติด (Adhesion) เป็นแรงที่ทำให้สาร 2 ชนิดยึดติดกัน เมื่อวัสดุทั้ง 2 ชนิดสัมผัสซึ่งกันและกัน โดยโมเลกุลสารชนิดหนึ่งจะยึดกับโมเลกุลของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยสารที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการยึดติด เรียกว่า กาวหรือสารเชื่อมยึด (adhesive)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการยึดติดของวัสดุมี 2 ทฤษฎี (Roulet และ Degrange, 2000) คือ

1. การยึดติดตามทฤษฎีทางกลศาสตร์ (mechanical theory) โดยอาศัยความขรุขระและความหยาบของพื้นผิววัสดุที่ใช้ยึด เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวบริเวณที่จะใช้ยึดให้มากขึ้น และทำให้เกิดแรงดึงดูดคะพิลลารี (capillary forces) โดยเกิดการแพร่กระจาย (diffusion) ของกาวหรือสารเชื่อมยึด ขณะเดียวกันถ้าพื้นผิวมีความขรุขระลึกมากเกินไป และใช้สารเพิ่มการยึดติดที่ไม่เหลวเพียงพอ ทำให้เกิดการกักขังของอากาศได้

2. การยึดติดตามทฤษฎีของการดึงดูดกันระหว่างผิว (adsorption theory) โดยอาศัยการยึดติดด้วยพันธะทางเคมีระหว่างกาวหรือสารเชื่อมยึดและวัสดุที่ใช้ยึด ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากพันธะไอออนิก (ionic bonding) พันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) แรงไฮโดรเจน (hydrogen forces) แรงดึงดูดระหว่างขั้ว (dipole interaction forces) หรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals forces) เพื่อทำให้เกิดการยึดติดของสาร

การยึดติดของวัสดุ 2 ชนิดด้วยกาว ขึ้นกับ

1. ความสามารถในการเปียก (wettability) ของวัสดุที่จะใช้ยึด
2. ความหนืด (viscosity) ของกาว
3. รูปร่างลักษณะและความหยาบของพื้นผิววัสดุที่จะใช้ยึด

ลักษณะของการยึดติดเกิดขึ้นได้ กาวต้องมีความสามารถในการเปียกที่ดีกับพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ยึด ซึ่งความสามารถในการเปียกของกาวคำนวณจากการวัดมุมสัมผัส (contact angle) ด้วยการหยดกาวบนพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ยึด ถ้ากาวมีความสามารถในการเปียกดีจะมีมุมสัมผัสต่ำ โดยองค์ประกอบที่มีผลต่อมุมสัมผัสคือแรงตึงบนพื้นผิว (surface tension) ของกาว และพลังงานอิสระบนพื้นผิววัสดุที่ใช้ยึด (surface free energy) ในกรณีที่มุมสัมผัสต่ำค่าพลังงานอิสระบนพื้นผิววัสดุที่ใช้ยึดมากกว่าค่าของแรงตึงบนพื้นผิว

ในทางทันตกรรมซีเมนต์เชื่อมยึด(luting cement)ถูกนำมาใช้เพื่อยึดชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์กับโครงสร้างของฟันหรือเดือยฟัน (post and core) และผนึกช่องว่างระหว่างวัสดุที่ใช้ยึดทั้งสองได้ ดังนั้นซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดติดของชิ้นงานควรมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้ มีกำลังอัดและความคงทนที่ไม่เกิดการฉีกขาดบริเวณรอยต่อของวัสดุกับซีเมนต์ หรือภายในเนื้อของซีเมนต์ สามารถป้องกันอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันจากสิ่งรบกวนภายนอก ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อภายในช่องปาก สามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบาง มีความหนืดที่เหมาะสม มีการละลายตัวในช่องปากต่ำ และสามารถยึดชิ้นงานบูรณะทางทันตกรรมประดิษฐ์ให้ติดอยู่ในช่องปากได้ยาวนานที่สุด (เจน รัตน์ไพศาลม2533;Diaz-Arnoldและคณะ,1999) ปัจจุบันมีการพัฒนาซีเมนต์เชื่อมยึด ให้มีคุณสมบัติดีขึ้นเช่น บางชนิดสามารถปล่อยฟลูออไรด์เพื่อป้องกันฟันผุหรือสามารถเชื่อมยึดติดกับโครงสร้างฟันได้

ปัจจุบันเรซินซีเมนต์มีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากได้พัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆ ให้เหมาะสมกับการทำงานทันตกรรม Rosenstiel และคณะ (1998) พบว่าเรซินซีเมนต์มีการละลายน้ำน้อย มีความแข็งแรงและความคงทนต่อการสึกกร่อนสูง ทำให้ทนต่อการรั่วซึมที่ขอบครอบฟันได้ดี มีความสามารถในการยึดติดทางเคมีกับโครงสร้างของฟันสูง และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีจากคุณสมบัติเหล่านี้ เรซินซีเมนต์จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางกับงานครอบฟันหรือสะพานฟันชนิดติดแน่น โดยเฉพาะสะพานฟันชนิดแมรี่แลนด์ (maryland bridge) การยึดชิ้นอุดฝัง(inlay)หรือชิ้นอุดครอบ (onlay) โลหะ การยึดครอบฟันชนิดเทเลสโคปิก (telescopic crown) งานที่เกี่ยวข้องกับความสวยงามเช่นชิ้นอุดฝัง ชิ้นอุดครอบหรือชิ้นวีเนียร์ (veneer) ด้วยเซรามิกหรือคอมโพสิตเรซิน งานซ่อมพอร์ซเลนแตกบนครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง(Matsumura และ Atsuta ,1996) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการยึดติดของชิ้นงานที่ขาดคุณสมบัติการยึดติดและต้านการหลุด

โลหะผสมพื้นฐาน (base metal alloy) ได้พัฒนาขึ้นมาอย่างมากสำหรับงานทางทันตกรรม ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้นเช่น มีความแข็งแรงสูง สามารถเชื่อมยึดกับพอร์ซเลนได้ดี และมีความต้านทานต่อการบิดงอ (sag resistance) มากกว่าโลหะกลุ่มอื่น แต่จากการศึกษาโลหะผสมพื้นฐานนิเกิล-โครเมียม-เบริลเลียม (Ni-Cr-Be alloy) พบว่ามีข้อเสียเช่นผู้ป่วยเกิดอาการแพ้ nickel โครเมียม หรือเบริลเลียม อีกทั้งเบริลเลียมมีแนวโน้มชักนำให้เกิดมะเร็ง (carcinogen) แต่เนื่องจากโลหะผสมพื้นฐานมีราคาต่ำ จึงยังคงใช้ในงานทันตกรรมประดิษฐ์อยู่ ในขณะที่โลหะผสมมีตระกูล (noble alloy) มีคุณสมบัติทางกายภาพดี มีความเหมาะสมบริเวณขอบสูง สามารถปรับแต่งการสบฟันได้ง่ายเมื่อเทียบกับโลหะผสมพื้นฐาน(Gentleman,1991)และมีคุณสมบัติการเข้าได้กับเนื้อเยื่อสูงกว่าโลหะผสมพื้นฐาน(Grill และคณะ,2000)

การยึดชิ้นงานที่มีส่วนประกอบของโลหะด้วยเรซินซีเมนต์อาศัยการเชื่อมยึดของเรซินซีเมนต์กับออกไซด์ (oxide) ของนิเกิล โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง ดีบุก และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ

โลหะบนพื้นผิวที่ถูกเตรียมให้เหมาะสม ดังนั้นการเตรียมพื้นผิว (surface treatment) ของโลหะก่อนการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ค่าความแข็งแรงและความทนทานของแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสมมีค่าสูงสุด และวัสดุบูรณะสามารถคงทนและติดอยู่ในช่องปากได้ยาวนาน ไม่เกิดความเสียหาย

การเตรียมพื้นผิวของโลหะ มีหลายวิธีเช่น การใช้สารเคมีกัดพื้นผิว การเคลือบพื้นผิวด้วยซิลิโคน ออกไซด์ การใช้กาวไพรเมอร์ เป็นต้น จากการศึกษาของเจลิเมคค์ดี สิริวิชัย (2543) เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ 5 ชนิดได้แก่ เอปี้ คาลิบรา พานาเวีย เอฟ ริไลเอ็กซ์อาร์ค และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีกับโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม โดยเตรียมพื้นผิวด้วยการใช้กาวไพรเมอร์ 2 ชนิดคือ เมตาฟาสต์และอัลลอยไพรเมอร์ พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าเรซินซีเมนต์สามชนิดที่เหลือ และการใช้กาวไพรเมอร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การเตรียมพื้นผิวโลหะมีหลายวิธีต้องใช้เครื่องมือและขั้นตอนการทำที่ยุ่งยาก มีราคาแพง ต้องใช้เวลามาก และไม่สะดวกที่จะนำมาใช้ในคลินิก ดังนั้นการปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยกาวไพรเมอร์ชนิดต่างๆมีแนวโน้มนำมาใช้งานทางคลินิกมากขึ้น เนื่องจากใช้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษ และราคาไม่แพง กาวไพรเมอร์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งในปัจจุบันพบว่ากาวไพรเมอร์ที่มีขายในท้องตลาดทั้งในและต่างประเทศมีหลายชนิด งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบกาวไพรเมอร์ชนิดต่างๆ ในการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะหล่อผสมพื้นฐานและโลหะหล่อผสมมีตระกูล ก่อนนำไปยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดจากการศึกษาที่ผ่านมาคือพานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวได้หรือไม่ และกาวไพรเมอร์ชนิดใดเหมาะสมกับเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสมชนิดใด รวมทั้งผลการทำเทอร์โมไซคลิงต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสมแต่ละชนิด เพื่อสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้อย่างถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์สองชนิดกับโลหะหล่อผสม
2. เพื่อศึกษาผลการใช้กาวไพรเมอร์ต่อความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสม
3. เพื่อศึกษาผลการทำเทอร์โมไซคลิกต่อความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสมที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยเป็นการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์สองชนิดกับโลหะหล่อผสมสองชนิด โดยเตรียมพื้นผิวโลหะหล่อผสมด้วยการเป่าทรายอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอนร่วมกับการใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ มุ่งเน้นเปรียบเทียบความสามารถของเรซินซีเมนต์ในการยึดติดกับพื้นผิวโลหะหล่อผสม ผลการใช้กาวไพรเมอร์ และผลการทำเทอร์โมไซคลิกต่อความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนของเรซินซีเมนต์

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. รูปแบบชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบออกแบบเพื่อสะดวกในการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนตามมาตรฐานการทดสอบ จึงไม่ทำในรูปแบบครอบฟัน
2. ใช้แรง 1 กิโลกรัมกดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบขณะยึดกับเรซินซีเมนต์เป็นแรงที่ต่ำกว่าการยึดครอบฟันในช่องปาก เนื่องจากการยึดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีแรงต้านต่อการยึดซีเมนต์น้อยกว่าการยึดครอบฟันในช่องปาก

ข้อจำกัดการวิจัย

1. การวิจัยเป็นการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสมในห้องปฏิบัติการเท่านั้น
2. การวิจัยเป็นการทดสอบตัวแทนของโลหะหล่อผสมพื้นฐานและโลหะหล่อผสมมีตระกูล อย่างละหนึ่งชนิด
3. การวิจัยใช้เรซินซีเมนต์สองชนิด

การออกแบบการวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้คำว่า "การยึดติด" แปลจาก adhesion

"กาว" แปลจาก adhesive

"ความแข็งแรง" แปลจาก strength

"ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน" แปลจาก shear bond strength

"โลหะผสม" แปลจาก alloy

"โลหะหล่อผสม" แปลจาก casting alloy

สมมุติฐานการวิจัย

1. ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดกับโลหะหล่อผสมไม่แตกต่างกัน
2. การใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสม ไม่แตกต่างกัน
3. ผลการทำเทอร์โมไซคลิกมีผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสม ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ไม่แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนกับโลหะหล่อผสมแต่ละชนิดได้สูงสุด
2. สามารถเลือกใช้กาวไพรเมอร์ที่เหมาะสมกับชนิดของเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม
3. ทราบถึงผลของการทำเทอร์โมไซคลิกต่อความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ต่อโลหะหล่อผสมที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

ปัญหาการวิจัย

1. เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนกับโลหะหล่อผสมเท่ากันหรือไม่ ชนิดใดให้ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนสูงสุด
2. การใช้กาวไพรเมอร์มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ต่อโลหะหล่อผสมหรือไม่
3. การทำเทอร์โมไซคลิกมีผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ต่อโลหะหล่อผสมที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หรือไม่

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม

ซีเมนต์เชื่อมยึดที่ใช้ในปัจจุบัน (Diaz-Arnoldและคณะ, 1999; Craig, 1997) สามารถแบ่งได้ดังนี้

ซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์

เป็นซีเมนต์ที่ใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยส่วนผสมประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ 90 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเหลวประกอบด้วย ฟอสฟอริก 67 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือคือ น้ำ 33 เปอร์เซ็นต์ เพื่อควบคุมการแตกตัวเป็นไอออนของกรด ซีเมนต์ชนิดนี้ถ้าผสมอย่างพอเหมาะจะให้ความหนาของแผ่นฟิล์มตามกำหนดของสมาคมทันตแพทย์อเมริกา ข้อ 8 (ADA specification No.8) ข้อดีของซีเมนต์ชนิดนี้ คือมีค่ากำลังอัดและความแข็งแรงหลังการก่อตัวสูง เป็นฉนวนกันความร้อนได้ มีความหนาของแผ่นฟิล์มบางและสามารถกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกได้ง่าย แม้ซีเมนต์ชนิดนี้มีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น แต่ยังมีข้อด้อยหลายประการ เช่น มีความเป็นกรดสูงในช่วงแรกของการก่อตัว อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน มีการละลายตัวในช่องปากสูง ไม่เกิดการเชื่อมยึดกับโครงสร้างของฟันด้วยพันธะทางเคมี และไม่มีคุณสมบัติต้านต่อฟันผุ

โพลีคาร์บอกซีเลต ซีเมนต์

Smith (1968) เป็นผู้นำมาใช้ในงานทันตกรรมและพัฒนาซีเมนต์ชนิดนี้ โดยนำซิงค์ ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกรดโพลีอะคริลิกแทนกรดฟอสฟอริก เกิดเป็นซีเมนต์ชนิดใหม่ที่มีความแข็งแรงพอเหมาะ ไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน และสามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันด้วยพันธะทางเคมี ส่วนผสมประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียมออกไซด์หรือดีบุกออกไซด์ช่วยเพิ่มความแข็งแรง แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือฟลูออไรด์และเกลือชนิดอื่นๆ ช่วยควบคุมเวลาการก่อตัวให้เหมาะสม ก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด - ด่าง ซีเมนต์ชนิดนี้มีค่าความเป็นกรดสูงในระยะแรกและลดลงอย่างรวดเร็วขณะเกิดปฏิกิริยาก่อตัว เมื่อเปรียบเทียบกับซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์โมเลกุลของกรดโพลีอะคริลิกมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้จำกัดการแพร่ผ่านของกรดสู่เนื้อฟัน อัตราส่วนผสมต่อส่วนเหลวมีความสำคัญเช่นเดียวกับซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์ พบว่าถ้าอัตราส่วนผสมต่อส่วนเหลวน้อยกว่าปกติจะให้ความแข็งแรงลดลง Øilo และ Espevik (1991) พบว่ากำลังต้านแรงอัดของโพลีคาร์บอกซีเลต ซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าของซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์ และเมื่อได้รับแรงหลังการก่อตัวเต็มที่ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างง่ายกว่าซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์ การกำจัดซีเมนต์ควรทำหลังการก่อตัวเต็มที่ เพื่อป้องกันการดึงซีเมนต์บริเวณขอบครอบฟัน

กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ พัฒนามาจากโพลีคาร์บอกซีเลต ซีเมนต์ และซิลิเกต ซีเมนต์ ส่วนผง คือ อะลูมิเนียม ซิลิเกต กลาส (aluminum silicate glass) ส่วนเหลวมีโคโพลิเมอร์ของกรดโพลีอัลคีนอิก (polyalkenoic acid) หลายชนิด ได้แก่ กรดอิทาโคอิก (itaconic acid) กรดมาเลอิก (maleic acid) และกรดไตรคาร์บอกซิลิก (tricarboxylic acid) นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) เพื่อช่วยการไหลแผ่และเพิ่มเวลาการทำงาน การยึดติดกับโครงสร้างฟันโดยอาศัยการรวมตัวกับโลหะ (chelation) ของคาร์บอกซิลิกกับแคลเซียมและฟอสเฟตในอะพาไทท์ของเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน การเกิดอาการเสียวฟันหลังการยึดขึ้นงานเกิดจากกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ต้องการน้ำสำหรับการเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดการดึงน้ำจากเนื้อฟัน อีกทั้งค่าความเป็นกรดสูงขณะเริ่มต้นปฏิกิริยา หรือเกิดการสูญเสียสมดุลย์ของน้ำขณะก่อตัวทำให้เกิดการรั่วซึม ข้อดีของซีเมนต์ชนิดนี้คือมีกำลังแรงอัดและความแข็งแรงสูง สามารถเกิดพันธะทางเคมีกับโครงสร้างฟัน และสามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้

เรซินดัดแปลงกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์

เรซินดัดแปลงกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ก่อตัวด้วยโครงสร้างเกลือโลหะโพลีอะครีเลต และโพลีเมอร์ ซีเมนต์ มีปฏิกิริยาก่อตัวเป็นกรด-ด่างระหว่างส่วนผงฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส และส่วนเหลวของกรดโพลีอัลคีนอิกดัดแปลง มีกลุ่มเมธาครีเลตแขวนลอยอยู่ การก่อตัวของอนุภาคอิสระเมธาครีเลตด้วยปฏิกิริยาเคมีและแสงเรียกระบวนการนี้ว่า เรซินดัดแปลงหรือไฮบริด กลาสไอโอโนเมอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์และเรซินซีเมนต์เข้าด้วยกัน โดยซีเมนต์ชนิดนี้สามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ สามารถยึดกับโครงสร้างฟันด้วยพันธะทางเคมีและวิถีทางจุลกลศาสตร์ มีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงอัดและแรงดึงสูงแต่น้อยกว่าเรซินซีเมนต์ ขั้นตอนการทำงานที่น้อยกว่าเรซินซีเมนต์ แต่อย่างไรก็ตามซีเมนต์ชนิดนี้ยังมีปัญหาเรื่องการสูญเสียสมดุลย์ของน้ำได้ง่าย ซึ่งส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซีเมนต์

เรซินคอมโพสิต ซีเมนต์

Anusavice (1996) พบว่าการพัฒนาเรซินซีเมนต์นั้นเป็นผลต่อเนื่องมาจากการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตเรซิน ดังนั้น เรซินซีเมนต์โดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลักเหมือนวัสดุอุดคอมโพสิตเรซิน ได้แก่ เรซินแมทริกซ์ (resin matrix) ที่เป็น ไดอะครีเลท โมโนเมอร์ (diacrylate monomer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีความหนืดมากจึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมไดเมธาครีเลท โมโนเมอร์ (dimethacrylate monomer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพื่อลดความหนืด ร่วมกับการเติมสารอัดแทรก (filler) จำพวก ซิลิกา (silica) หรืออนุภาคของแก้ว (glass particle) ยึดกันด้วยสาร

คัปปลิง ออร์แกนโนซิลิโคน (organo silane coupling agent) โดยขนาดและปริมาณของสารยึดเกาะที่ผสมอยู่ที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด เรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยอาศัยการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ด้วยการใช้กรดกัดผิวฟันให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก เพื่อให้โมโนเมอร์ที่ชอบน้ำไหลเข้าไปเพื่อก่อให้เกิดการยึดติดทางกลศาสตร์ วัสดุยึดเกาะมักเป็นพวกแก้วหรือซิลิกา 50 -70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้กำลังแรงยึดสูงขึ้น ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้น สามารถทนทานต่อการสึกกร่อนเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามถ้าวัสดุยึดเกาะมีปริมาณมากจะทำให้ซีเมนต์มีความเหนียว การไหลแผ่ลดลง และเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์บางชนิดมีการเติมองค์ประกอบของฟลูออไรด์ เช่น ยิทเทอร์เบียมไตรฟลูออไรด์ (ytterbium trifluoride) หรือแบเรียมฟลูออโรซิลิเกต (barium fluoro silicate) เพื่อให้สามารถปล่อยฟลูออไรด์ช่วยป้องกันฟันผุได้เช่น พานาเวีย ฟลูออโร ซีเมนต์ หรือพานาเวีย เอฟ (Panavia F)

การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์

1. การจำแนกตามส่วนประกอบพื้นฐาน (Smith ;1989)

เรซินซีเมนต์ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ โพลีเมทาครีเลต (polymethacrylates) ซึ่งมาจากเมทิลเมทาครีเลต (methylmethacrylates) หรือ อโรมาติกไดเมทาครีเลต (aromatic dimethacrylates) สามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ ได้ 2 กลุ่มตามส่วนประกอบพื้นฐานคือ

1.1 อะคริลิก เรซินซีเมนต์ (acrylic resin cement)

ส่วนประกอบด้วยเมทิลเมทาครีเลต โพลีเมอร์หรือโคโพลีเมอร์ มีเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) มีวัสดุยึดเกาะและเม็ดสี (pigment) รวมอยู่ด้วย ส่วนเหลวคือเมทิลเมทาครีเลต โมโนเมอร์ (methylmethacrylate monomer) โดยมีเอมีน (amine) เป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยโมโนเมอร์ทำให้ส่วนโพลีเมอร์ละลายและอ่อนตัวลงพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) โดยหลังการก่อตัวจะเกิดโพลีเมอร์ชนิดใหม่ที่มีการเชื่อมต่อนโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน คุณสมบัติเมื่อเปรียบเทียบกับอะคริลิก เรซินซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม พบว่ามีความแข็งแรงและพลังงานแตกหัก (toughness) สูงกว่า มีการละลายน้ำต่ำกว่า แต่เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับโครงสร้างฟันที่มีความชื้น จึงเกิดการรั่วซึมตามขอบและอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันได้

1.2 อะคริลิก เรซินซีเมนต์ ชนิดดัดแปลง (modified acrylic resin cement)

พัฒนามาจากอะคริลิก เรซินซีเมนต์ โดยเติมสารเพิ่มการยึดติดทำให้ เกิดพันธะเคมีกับ โครงสร้างของฟันและโลหะหล่อผสม เช่น โฟร์เมทาครีลไดไฮโดรเจน ไตรเมทิลเทต แอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl - trimellitate anhydride) หรือ โฟร์เมตา (4-META) เข้าไปในส่วนของเมทิล เมทาครีเลต โมโนเมอร์ และมีสารช่วยเร่งปฏิกิริยา คือ ไตรเอินบิวทิลโบรเนน (tri-n-butyl - borane) หรือทีบีบี (TBB) แต่เนื่องจากอะคริลิก เรซินซีเมนต์ประเภทนี้ มีปริมาณวัสดุอุดแทรกต่ำ ทำให้มี ความแข็งแรงปานกลาง เมื่อมีการรับแรงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปได้ เนื่องจากดูดซึมน้ำได้มาก ทำให้ซีเมนต์สูญเสียคุณสมบัติที่ดีและเป็นที่ยอมรับของจลนทรีย์

1.3 ไดเมทาครีเลต ซีเมนต์ (dimethacrylate cement)

ปัจจุบันไดเมทาครีเลต ซีเมนต์ ส่วนใหญ่พัฒนาอยู่ในรูปของบิส-จีเอ็มเอ โดยรวม อะโรเมติกไดเมทาครีเลตและโมโนเมอร์ ส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายกับวัสดุอุดฟันคอมโพสิตเรซิน มี ส่วนประกอบ ของเซรามิกเป็นวัสดุอุดแทรกในปริมาณที่แตกต่างกัน วัสดุเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเหลว หรือเพสต์ (paste) 2 หลอดหรืออยู่ในรูปผงและของเหลว ส่วนผงประกอบด้วยแก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate glass) หรือแก้วซิลิกา (silica glass) และมีเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ของ เหลวประกอบด้วย บิส-จีเอ็มเอหรืออะโรมาติก ไดเมทาครีเลต ส่วนใหญ่เป็นบิส ฟีนอล เอ (bis phenol A) หรือยูรีเทน ไดเมทาครีเลต (urethane dimethacrylate) ได้แก่ อะริฟาทิก ยูรีเทน (ariphatic urethane) และไดเมทาครีเลต โมโนเมอร์ โดยมีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยา บางชนิดมี การเติมโมโนเมอร์ที่มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มการยึดกับฟันและโลหะหล่อผสม เช่น ฟอสเฟตหรือ คาร์บอกซิล ส่วนวัสดุที่อยู่ในรูปของเพสต์ มีส่วนประกอบโดยรวมคล้ายคลึงกับชนิดผงและของเหลว โดยแต่ละเพสต์จะรวมโมโนเมอร์และวัสดุอุดแทรกเข้าไว้ด้วยกัน

2. การจำแนกตามการเกิดโพลีเมอไรเซชัน (Mccomb, 1996 ; Burke และ Mccanghey , 1993 ; ISO, 2000)

แบ่งเรซินซีเมนต์ตามกลไกการเกิดโพลีเมอไรเซชัน ได้ 3 ชนิด คือ

- 2.1 เรซินซีเมนต์ ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical cured, auto cured, self cured)
- 2.2 เรซินซีเมนต์ ชนิดก่อตัวด้วยแสง (light cured)
- 2.3 เรซินซีเมนต์ ชนิดก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (dual cured)

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอาศัยระบบการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วยเพอร์ออกไซด์และเอมีน (peroxide initiator and amine accelerator system) โดยทำมาในรูปสองหลอด หรือแยกส่วนผงกับของเหลว (two-paste, power liquid) เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีช่วงเวลาการเกิดโพลิเมอร์ที่แน่นอน จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ บางผลิตภัณฑ์มีการเติมโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน เพื่อคุณสมบัติการยึดติดกับโครงสร้างของฟันและโลหะหล่อผสมเช่น เมทาคริลิลซีเอทิลฟีนิลฟอสเฟต (methacryloxyethyl-phenyl phosphate) หรือ ฟีนิลพี (phenyl-P) หรือ โพรเมตา หรือ กลุ่มฟอสเฟต โดยเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของโพรเมตา การก่อตัวถูกกระตุ้นด้วยไตรเอีนบิวทิลบอเรน หรือทีบีบี (TBB) โดยปลายพันธะคู่ (double bond) สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่อื่นได้ ซึ่งคล้ายกับการทำหน้าที่ของพันธะคู่ในเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของฟอสเฟต ทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมของเนื้อฟันหรือออกไซด์ของโลหะได้ ดังนั้นเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี จึงใช้ในการยึดครอบฟัน สะพานฟันหรือเดือยฟันที่ทำด้วยโลหะหล่อผสมพื้นฐานได้ดี แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมระยะเวลาการทำงาน และการก่อตัวได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ซีแอนด์บี เมตาบอนด์ (C&B Metabond) พานาเวีย 21 (Panavia 21) ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Superbond C&B) เป็นต้น

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยแสง

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี เริ่มปฏิกิริยาด้วยสารไดคีโตน (diketone) เช่น แคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) เป็นตัวถูกกระตุ้นจากแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 460-468 นาโนเมตร โดยมีเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการก่อตัว เมื่อเติมสารพวกซีเลนจะช่วยประสิทธิภาพการยึดกับพอร์ซเลนและคอมโพสิตเรซิน มีหลายสีให้เลือกใช้ ปัจจุบันบางผลิตภัณฑ์เป็นชนิดไม่เกิดปฏิกิริยาการก่อตัว สำหรับใช้ลองยึดชิ้นงานเพื่อเทียบสีก่อนการยึดซีเมนต์ชนิดถาวรเช่น วาโรลิงค์ (variolink) เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เหมาะสำหรับยึดชิ้นงานที่แสงสามารถส่องผ่านลงไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีการก่อตัวได้เช่นกรณียึดชิ้นงานพอร์ซเลนวีเนียร์หรือคอมโพสิตเรซินวีเนียร์ที่มีความหนาไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร ไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่หนาหรือมีสีเข้ม เพราะจะลดการส่องผ่านของแสงลงไปไม่ถึงชั้นของเรซินซีเมนต์ ทำให้การเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวลดลงหรือไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้การฉายแสงต้องนานเพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาการก่อตัวอย่างสมบูรณ์โดยเฉพาะพอร์ซเลนวีเนียร์ ควรใช้เวลานานกว่าคอมโพสิตวีเนียร์ เนื่องจากพอร์ซเลนวีเนียร์สามารถดูดซับแสงได้ปริมาณร้อยละ 40-50 (Strang และคณะ, 1987) ปัญหาที่พบคือเกิดอาการเสียวฟันหลังการยึดวัสดุบูรณะได้ ตัวอย่างวัสดุ เช่น ชอยซ์ (Choice) อินซัวร์ (Insure) เป็นต้น

เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อด้อยของเรซินซีเมนต์สองชนิดแรกคือสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้ทั้งในส่วนของการก่อตัวด้วยแสงและการก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี ประกอบด้วยสารเริ่มต้นปฏิกิริยาทั้งสองประเภทคือ เพอร์ออกไซด์-เอมีนและแคมโฟโรควิโนน เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีในบริเวณที่แสงผ่านไม่ได้ จึงนิยมใช้เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้กับชิ้นงานบูรณะที่มีความหนาแน่นสูง มีส่วนประกอบของโลหะร่วมด้วยหรือการยึดติดยึดฟัน ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ได้แก่ พานาเวีย เอฟ อิมเพอร์วา ดูออล (Imperva Dual)

Braga และคณะ (1999) พบว่าเมื่อพิจารณาความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ไม่แนะนำให้ใช้แรงมากระทำบนชิ้นงานบูรณะก่อน 90 นาทีหลังการยึดชิ้นงาน ไม่ว่าจะใช้เรซินซีเมนต์ชนิดใด

3. การจำแนกตามชนิดของวัสดุอุดแทรก (Craig, 1997)

วัสดุอุดแทรกในเรซินซีเมนต์คล้ายคลึงกับวัสดุอุดแทรกในวัสดุอุดคอมโพสิตเรซิน แต่มีปริมาณน้อยกว่า เพื่อให้มีความเหนียวต่ำและสามารถยึดชิ้นงานเข้าที่ได้ง่าย

3.1 ไมโครฟิลเรซินซีเมนต์ ซีเมนต์ชนิดนี้มีวัสดุอุดแทรกจำพวกซิลิกาไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบทำให้มีคุณสมบัติที่ดีคือ การสึกกร่อนต่ำและสามารถขัดได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มไฮบริด

1.2 ไฮบริดเรซินซีเมนต์ วัสดุอุดแทรกคือเซรามิกร่วมกับซิลิกาไฮดรอกไซด์ โดยเซรามิกช่วยเพิ่มความแข็งแรง ลดการหลุดร่วงจากขอบแนวการโพลีเมอไรเซชัน โดยเรซินซีเมนต์ในปัจจุบันส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มนี้

1.3 ชนิดไม่มีวัสดุอุดแทรก เป็นโครงสร้างระหว่างโมโนเมอร์กับโพลีเมอร์ มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นเมทิล เมธาครีเลตและโคโมโนเมอร์ โดยมีเอมีนและเพอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติของเรซินซีเมนต์

1. คุณสมบัติทางชีวภาพ (Biologic Properties)

คุณสมบัติของซีเมนต์ในอุดมคติ ต้องไม่เกิดการระคายเคืองและเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก Inokoshi และคณะ (1998) ทำการทดลองในฟันลิง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปฏิกิริยาการตอบสนองของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันต่อการใช้เรซินซีเมนต์ ชนิดก่อดัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (ซิงค์ฟอสเฟต ซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์) การศึกษาของ Caughman และคณะ (1990) พบว่าเรซินซีเมนต์ทำให้เกิดพิษต่อเซลล์สร้างเส้นใยของเหงือก (gingival fibroblast) และเซลล์เยื่อบุผิวช่องปาก (oral epithelium) ตั้งแต่ระดับน้อยมากที่ไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยสายตา จนถึงขั้นทำลายเซลล์อย่างสมบูรณ์

ในการใช้เรซินซีเมนต์ ชนิดก่อดัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี ต้องมีการฉายแสงที่นานพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการก่อดัวได้เต็มที่ Stanley (1994) พบว่าถ้าปฏิกิริยาการก่อดัวเกิดไม่สมบูรณ์ โมโนเมอร์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเป็นสาเหตุให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันได้ โดยพบการตอบสนองของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันระดับปานกลางในกรณีไม่ได้ทำการฉายแสง ส่วนการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมี Pameijer และ Stanley (1992) พบว่ามีการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันน้อยมากในช่วง 5 วันแรก ดังนั้นการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมีจะมีโอกาสเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันน้อยกว่าชนิดก่อดัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี การเกิดการระคายเคืองเกิดจาก

1. การเกิดการรั่วซึมตามขอบของชิ้นงานบูรณะ ทำให้เกิดการซึมผ่านของเชื้อจุลินทรีย์เข้าไป ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดรอยผุใต้ชิ้นงานบูรณะและการอักเสบของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน โดยในปัจจุบันมีการผลิตเรซินซีเมนต์ที่สามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ เพื่อหวังผลในการป้องกันฟันผุ เช่น พานาเวีย เอฟ

2. ความเป็นพิษของเรซินซีเมนต์ จากการศึกษาของ Motokawa และคณะ (1990) พบว่าบิสฟีเอ็มเอในเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน

3. อุณหภูมิที่สูงขึ้นระหว่างฉายแสง เกิดความร้อนผ่านไปยังเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันได้ (Tjan และคณะ, 1988)

2. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

2.1 ความทนแรงอัด (compressive strength) และความทนแรงดึง (tensile strength)

เรซินซีเมนต์มีขีดยึดปฏิบัติ (proportional limit) และความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม (resilience) ใกล้เคียงกับเรซินดัดแปลงกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ แต่สูงกว่าซิงค์ ฟอสเฟต ซีเมนต์และโพลีคาร์บอกซีเลต ซีเมนต์ รวมทั้งมีกำลังความแข็งแรงอัดและพลังงานการแตกหักที่สูงกว่าซีเมนต์ชนิดอื่นๆ (Mitchell และคณะ, 1999 ; Knobloch และคณะ, 2000) จากการศึกษารายงานของ White และ Yu (1993) พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดที่มีวัสดุอัดแทรกมีความต้านทานต่อแรงอัด และความทนแรงดึงสูงกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดไม่มีวัสดุอัดแทรก Rosensteil และคณะ (1998) รายงานความทนแรงอัดของเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 179 – 255 เมกะปาสคาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเรซินซีเมนต์

2.2 การดูดซับน้ำและการละลาย (water sorption and solubility)

เรซินซีเมนต์ที่มีการดูดซับน้ำมีความสัมพันธ์กับการสลายตัวทางเคมี (chemical degradation) และการสลายตัวทางกายภาพ (physical degradation) โดยทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะระหว่างวัสดุอัดแทรกกับแมทริกซ์ ทำให้ส่วนของเรซินเมทริกซ์อ่อนนุ่มลง เพราะมีน้ำเข้าไปแทรก ทำให้คุณสมบัติทางกลมีการเปลี่ยนแปลงเช่น ความแข็งผิวลดลง ความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง

Yoshida และคณะ (1998) ศึกษาการละลายของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิดคือ ออลบอนด์ ซีแอนด์บี (All-Bond C&B) พานาเวีย 21 และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเปรียบเทียบกับซิงค์ ฟอสเฟตซีเมนต์ (Elite Coment 100) โพลีคาร์บอกซีเลต ซีเมนต์ (Hy – Bond Carbo – Plus) และกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Fuji I) นำไปแช่ในน้ำกลั่นและสารละลายกรดแลคติก 0.001 โมลต่อลิตร (mol/L) pH 4.0 พบว่า เรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดมีการละลายตัวต่ำกว่าซีเมนต์ในระบบดั้งเดิม และมีการละลายตัวในกรดแลคติกมากกว่าในน้ำกลั่น

Mojon และคณะ (1996) ศึกษาผลของน้ำกลั่น น้ำลายเทียม และน้ำลายธรรมชาติ ต่อความแข็งผิวของ ซีเมนต์ 3 ชนิด คือ ซิงค์ฟอสเฟต ซีเมนต์ (Fleck ' s) กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (GC Fuji I) และเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย จากการวัดค่าความแข็งผิวของนูน (knoop hardness) พบว่าการแช่ซีเมนต์ในน้ำกลั่น น้ำลายเทียม และน้ำลายธรรมชาติ มีผลกระทบต่อพานาเวีย ขณะที่ซิงค์ฟอสเฟต ซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์มีความแข็งผิวลดลง โดยในน้ำกลั่นมีความแข็งผิวลดลงมากกว่าในน้ำลายเทียมหรือน้ำลายธรรมชาติ

2.3 การรั่วซึม (microleakage)

การเกิดการรั่วซึมตามขอบของชิ้นงานบูรณะทำให้เกิดการซึมผ่านของเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปด้านในได้ชิ้นงานบูรณะ ก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างของฟันและทำให้อายุการใช้งานของวัสดุบูรณะลดลง จากการศึกษาของ Blair และคณะ (1993) พบว่าเรซินซีเมนต์มีการรั่วซึมน้อยกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น เนื่องจากการใช้สารยึดเนื้อฟัน ช่วยผนึกให้ซีเมนต์แนบสนิทกับเนื้อฟัน เช่นเดียวกับการทดลองของ White และคณะ (1995)

2.4 ความต้านทานต่อการสึกกร่อน (wear resistance)

Peutzfeldt (1995) ศึกษาพบว่า ปริมาณวัสดุอุดแทรกที่เพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้เรซินซีเมนต์มีความต้านทานต่อการสึกกร่อนสูงขึ้น โดยอัตราการสึกกร่อนยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกว้างของช่องว่างระหว่างชิ้นงานบูรณะกับตัวฟัน พบว่าถ้าช่องว่างยิ่งกว้างมากอัตราการสึกกร่อนจะเกิดมากขึ้น

2.5 การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัว (Polymerization shrinkage)

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัว จะทำให้เกิดความเค้น (stress) ในเนื้อของซีเมนต์ นำไปสู่การเกิดการเสียวฟันภายหลังการยึดชิ้นงานบูรณะ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและโครงสร้างฟันทำให้เกิดการติดสีบริเวณขอบ และเป็นที่สะสมของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เกิดฟันผุและเหงือกอักเสบกรณีที่มีรอยต่ออยู่ติดบริเวณเนื้อเยื่อเหงือก

Sorensen และ Munksgaard (1995) พบว่ามีการขยายของชิ้นอุดฝังเซรามิกทำให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อของชิ้นงานและตัวฟัน เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากการหดตัวจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน

การยึดติดกับโครงสร้างของฟัน

การยึดติดกับเคลือบฟันเป็นการยึดติดทางกล โดยใช้กรดกัดที่ผิวของเคลือบฟัน เพื่อให้เกิดการละลายของสารอินทรีย์ในผิวเคลือบฟันออกบางส่วน เพื่อที่เรซินซีเมนต์สามารถไหลแทรกเข้าไปในรูพรุนที่เกิดขึ้น เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาการก่อตัว จะเกิดเป็นเรซิน แทก (resin tag) เป็นการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ระหว่างเรซินซีเมนต์กับผิวเคลือบฟัน โดยลักษณะรูพรุนบนพื้นผิวเคลือบฟันที่ได้ขึ้นกับ ชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรดและเวลาที่ใช้ในการกัดผิวเคลือบฟัน

การยึดติดกับเนื้อฟันเป็นการยึดติดทางกล เช่นเดียวกับในเคลือบฟัน หลังการใช้กรดกัดผิวเนื้อฟัน จะมีการสูญเสียแร่ธาตุเกิดเป็นรูพรุนเล็กๆขึ้นโดย Nakabayashi และคณะ (1995) พบว่าการใช้สารละลายที่มีส่วนผสมของกรดซัลฟิวริก 10 เปอร์เซ็นต์และเฟอร์ริก คลอไรด์ (ferric chloride) 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 วินาที ร่วมกับการใช้ฮีมา (HEMA) 60 วินาที จะช่วยให้การยึดติดกับ

เนื้อฟันดีขึ้น การยึดติดของเรซินซีเมนต์จะเกิดจากการซึมผ่านและการแพร่กระจายของโมโนเมอร์ (monomer) ลงในส่วนที่เป็นรูพรุน หลังการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเป็นชั้นผสมของเนื้อฟันที่เสริมด้วยเรซิน (hybrid layer of resin reinforced dentin) ร่วมกับการเกิดเรซิน แทกมีค่าความแข็งแรงของพันธะประมาณ 18.7 เมกะปาสคาลเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดเนื้อฟัน

การยึดติดกับโลหะ

เรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับโลหะด้วยพันธะทางเคมี ซึ่งเกิดจากการเติมโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันในส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับพื้นผิวของโลหะ

กลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) มีส่วนประกอบในรูปแบบต่างๆ เช่น โฟร์เมตา โฟร์เอตา (4-AETA) แม็คเพ็น (Mac-10) สามารถเกิดพันธะทางเคมีกับออกไซด์ของโลหะได้ ซึ่งถูกแนะนำโดย Tanaka และคณะ (1981) ในการใช้โฟร์เมธาครีลไดอิลออกซีเอทิล ไตรเมทิลเทต แอนไฮไดรด์ หรือ โฟร์เมตา โดยมีไตรเอทิลบอเรนหรือทีบีพี เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ร่วมกับสารละลายของ 3% เพอริก คลอไรด์ช่วยในการยึดติดกับโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียมด้วยการใช้กรดเกลือกัดพื้นผิวโลหะและออกไซด์ด้วยกรดไนตริก เมื่อนำไปผ่านเทอร์โมไซคลิกพบว่าการใช้เรซินที่มีองค์ประกอบของโฟร์เมตาสามารถคงการยึดติดได้ดี ไม่มีการแทรกซึมของน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้เช่นซีแอนด์บี เมตาบอนด์ ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี อิมเพอร์วา ดูออล บิสไทท์ เรซินซีเมนต์ (Bistite Resin Cement)

กลุ่มฟอสเฟต (phosphate group) เป็นส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์ชนิดดัดแปลง (modified phosphate ester Bis -GMA cement) ที่มีส่วนประกอบของฟอสเฟตอยู่ในเทินเมธาครีลไดอิลออกซีเอทิล ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) หรือ เอ็มดีพี (MDP) โดยการแนะนำของ Omura และคณะ (1984) เพื่อใช้ในการยึดติดได้ทั้งเนื้อฟันเคลือบฟัน โลหะในทางทันตกรรม โดยพันธะเกิดจากปลายด้านฟอสเฟต ของกลุ่มฟอสโฟเนต มีพันธะคู่ไปทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะเช่นพานาเวีย 21 พานาเวีย เอฟเป็นต้น แต่เนื่องจากกลุ่มฟอสเฟตไวต่อออกซิเจน จึงต้องใช้สารกันออกซิเจน (oxyguard) เพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศหลังการยึดขึ้นงาน

เรซินซีเมนต์ที่โมโนเมอร์มีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถใช้ได้ทั้งโลหะหล่อผสมพื้นฐานและโลหะหล่อผสมมีตระกูลที่มีส่วนประกอบของโลหะหล่อผสมพื้นฐาน ที่สามารถเกิดออกไซด์ได้ เช่น ทองแดง ดีบุกหรือโลหะหล่อผสมมีตระกูลที่มีการเตรียมพื้นผิวร่วมด้วย โดยเกิดการยึดติดทางเคมีกับออกไซด์ของโลหะ

โลหะผสม (alloys) คือการนำโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปรวมตัวกันหรือการนำโลหะตั้งแต่ 1 ชนิดรวมตัวกับอโลหะด้วยการหลอมเหลว ก่อนปี ค.ศ.1975 โลหะผสมถูกนำมาใช้งานทางทันตกรรมประดิษฐ์อย่างมากมาย เช่น งานครอบฟันหรือสะพานฟันชนิดติดแน่น งานฟันปลอมบางส่วนถอดได้ และอื่นๆ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน และสามารถหล่อแบบได้ตามต้องการ จึงถูกแบ่งกลุ่มตามลักษณะของการนำไปใช้ แต่ปัจจุบันพบว่าโลหะผสมที่ใช้งานทางทันตกรรมมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึง กันและส่วนใหญ่สามารถนำมาใช้งานได้หลายประเภท ดังนั้นโลหะผสมจึงถูกแบ่งกลุ่มโดยอาศัยองค์ประกอบที่แตกต่างกันและคุณสมบัติทางกายภาพ (composition and physical properties) ได้ดังนี้

การแบ่งโลหะผสมตามองค์ประกอบ (composition of alloys)

ADA ในปี 1984 แบ่งโลหะผสมที่ใช้ในทางทันตกรรมออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ โดยอาศัยธาตุในกลุ่มมีตระกูลและปริมาณของทองที่อยู่ในองค์ประกอบโลหะผสม

1. โลหะผสมมีตระกูลสูง (high noble alloy) มีองค์ประกอบที่เป็นธาตุในกลุ่มมีตระกูลไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและต้องมีปริมาณทองอยู่ไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. โลหะผสมมีตระกูล (noble alloy) มีองค์ประกอบที่เป็นธาตุในกลุ่มมีตระกูลไม่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
3. โลหะผสมพื้นฐาน (predominately base metal alloy) มีองค์ประกอบที่มีธาตุในกลุ่มโลหะมีตระกูลน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

| Classification | Requirement |
|--------------------|--|
| High noble | Noble metal content $\geq 60\%$ (gold,platinum,palladium,iridium,rhodium, ruthenium) and gold $\geq 40\%$ |
| Noble | Noble metal content $\geq 25\%$ (gold,platinum,palladium,iridium,rhodium, ruthenium) |
| Predominantly base | Noble metal content $< 25\%$ (gold,platinum,palladium,iridium,rhodium, ruthenium) |

ADA No.5 classification for dental alloys (1984) จากหนังสือ Dental material and their selection. 2nd edition ของ O ' Brien (1997)

การแบ่งโลหะผสมตามคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties)

คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะที่ใช้แบ่งกลุ่ม คือ กำลังคลาด (yield strength) และ เปอร์เซ็นต์ของการยืด (percentage elongation) โดยการแบ่งของ ADA ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ชนิดที่ 1 มีความแข็งผิวต่ำ (soft) ใช้ในงานประเภทชิ้นอุดฝังที่รับแรงน้อย ไม่มีการกัดสบลงบริเวณชิ้นงาน มีค่ากำลังคลาดต่ำกว่า 140 เมกะปาสคาล มีเปอร์เซ็นต์ของการยืดเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์

2. ชนิดที่ 2 มีความแข็งผิวปานกลาง (medium) ใช้ทำชิ้นงานประเภทชิ้นอุดฝังหรือชิ้นอุดครอบ สามารถรับแรงกดเคี้ยวได้ปานกลาง (light occlusion) มีค่ากำลังคลาดเท่ากับ 140 – 200 เมกะปาสคาล และมีเปอร์เซ็นต์ของการยืด 18 เปอร์เซ็นต์

3. ชนิดที่ 3 มีความแข็งผิวสูง (hard) สามารถรองรับแรงกดเคี้ยวได้มากและเต็มที (full occlusal load) มักใช้ในการทำชิ้นงานประเภทครอบฟันและฟันปลอมชนิดติดแน่นแบบสั้น (short – span fixed partial denture) มีค่ากำลังคลาดเท่ากับ 201 – 304 เมกะปาสคาล และมีเปอร์เซ็นต์ของการยืด 12 เปอร์เซ็นต์

4. ชนิดที่ 4 มีความแข็งผิวสูงมาก (extra – hard) สามารถรองรับแรงกดเคี้ยวได้มากเป็นพิเศษ มักใช้ในงานครอบฟันชนิดที่ไม่สามารถทำโลหะได้หนา (thin veneer crown) ฟันปลอมชนิดติดแน่นที่มีความยาว (long – span fixed partial denture) และทำเป็นโครงโลหะในฟันปลอมชนิดถอดได้ (removable partial denture) มีค่ากำลังคลาดมากกว่า 340 เมกะปาสคาล มีเปอร์เซ็นต์ของการยืด 10 เปอร์เซ็นต์

การแบ่งกลุ่มโลหะผสมตามองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าแต่ละกลุ่มมีขนาด

ใหญ่ มีโลหะผสมอยู่ในกลุ่มมากและมีความหลากหลายขององค์ประกอบย่อยที่เป็นส่วนประกอบ จึงมีการแบ่งโลหะผสมออกเป็นกลุ่มย่อย (Wataha,2002)เพื่อง่ายต่อการใช้งาน ดังนี้

กลุ่มโลหะผสมมีตระกูลสูง สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย คือ

1. โลหะผสมทอง – แพททินัม มักใช้ในงานครอบฟันชนิดโลหะล้วน หรือ ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง โดยอาจมีส่วนประกอบของสังกะสีหรือเงินเป็นตัวทำให้มีความแข็งผิวสูงขึ้น

2. โลหะผสมทอง – พัลลาเดียม มักใช้ในงานครอบฟันชนิดโลหะล้วน หรือ ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง อาจมีองค์ประกอบของเงินร่วมด้วย ส่วนมากนิยมนำโลหะกลุ่มนี้ทำครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องจึงมีการเติมองค์ประกอบของดีบุก (tin) อินเดียม (indium) หรือกัลเลียม (gallium) เพื่อทำให้เกิดออกไซด์ช่วยยึดติดกับพอร์ซเลน

3. โลหะผสมทอง – ทองแดง – เงิน – พัลลาเดียม มักใช้ในงานครอบฟันต่าง ๆ โดยเฉพาะครอบฟันชนิดโลหะล้วน เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวไม่สูงมากนัก และมีส่วนประกอบของทองแดงและเงิน ซึ่งอาจเป็นปัญหาสำหรับการทำพอร์ซเลน

กลุ่มโลหะผสมมีตระกูล สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ

1. โลหะผสมทอง – ทองแดง – เงิน – พัลลาเดียม เป็นโลหะผสมที่คล้ายคลึงกับในกลุ่มโลหะผสมมีตระกูลสูง แต่มีปริมาณของทองน้อยกว่าและมีปริมาณของเงินหรือทองแดงสูงขึ้นเพื่อทดแทนปริมาณของทองที่ลดลง โดยทั่วไปอยู่ในลักษณะของเฟสเดี่ยว (single – phase)

2. โลหะผสมพัลลาเดียม – ทองแดง ใช้ทำได้ทั้งงานครอบฟันชนิดโลหะล้วนและครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง โดยทั่วไปโลหะผสมในกลุ่มนี้จะมีการเพิ่มกัลเลียม เพื่อช่วยลดอุณหภูมิการหลอมเหลวและช่วยให้เกิดออกไซด์เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับพอร์ซเลนได้ บางครั้งพบว่ามี การเติมทองแดงเพื่อให้สามารถสร้างชิ้นงานได้ง่ายขึ้น แต่อาจทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน (sag) ขณะเผาพอร์ซเลนได้ โลหะผสมกลุ่มนี้ส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะหลายเฟส (multiple – phase) ฉะนั้นจึงเกิดการสึกกร่อนได้ง่าย ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบอื่น ๆ และขบวนการสร้างชิ้นงานด้วย นอกจากนี้ โลหะกลุ่มนี้มีความอดุลย์ยืดหยุ่น (elastic modulus) สูงสุด เมื่อเทียบกับโลหะผสมที่มีทองหรือพัลลาเดียมเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน

3. โลหะผสมพัลลาเดียม – เงิน หรือ โลหะผสมเงิน – พัลลาเดียม โลหะผสมกลุ่มนี้มีปริมาณของพัลลาเดียมตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณเงิน 60 – 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือมีปริมาณของพัลลาเดียม 60 – 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเงินประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปโลหะกลุ่มนี้จะอยู่ในรูปหลายเฟส ทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย และพบว่าการสึกกร่อนจะสูงมากขึ้นเมื่อมีปริมาณของเงินสูงขึ้น โลหะกลุ่มนี้สามารถทำใช้งานได้ทั้งครอบฟันโลหะล้วน และครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง แต่ต้องระวังเนื่องจากอาจทำให้พอร์ซเลนมีสีเขียว (greening effect) เนื่องจากปริมาณของเงินซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการเลือกใช้พอร์ซเลนที่เหมาะสม บางบริษัทมีการเติมทองในองค์ประกอบด้วย 1 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งอาจทำให้มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะกลุ่มนี้เพียงเล็กน้อย

กลุ่มโลหะผสมพื้นฐาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย คือ

1. โลหะผสมนิเกิล – โครเมียม สามารถนำมาใช้ในงานครอบฟันโลหะล้วน ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง หรือโครงโลหะของฟันปลอมชนิดถอดได้ โดยโลหะกลุ่มนี้มีปริมาณของนิเกิลไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีปริมาณของโครเมียมไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนักหรือมีปริมาณโครเมียมน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและไม่มีเบอริลเลียมหรือมีปริมาณโครเมียมน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและมีปริมาณของเบอริลเลียม 1 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเบอริลเลียมจะช่วยลดอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสมเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงาน แต่จะทำให้เพิ่มอัตราการสึกกร่อน ซึ่งโลหะกลุ่มนี้สามารถเกิดการสึกกร่อนง่าย เนื่องจากอยู่ในสถานะหลายเฟส บางครั้งพบว่ามีการเติมคาร์บอน (carbon) ลงในองค์ประกอบด้วย เพื่อช่วยให้เกิดความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น

2. โลหะผสมโคบอล – โครเมียม สามารถนำมาใช้งานได้เช่นเดียวกับโลหะในกลุ่มนิกเกิล – โครเมียม แต่มักใช้เป็นโครงโลหะของฟันปลอมถอดได้มากกว่างานฟันปลอมชนิดติดแน่น โดยเฉพาะในยุโรปและญี่ปุ่น ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้โลหะกลุ่มนี้ในผู้ป่วยที่มีรายงานการแพ้ นิกเกิล โลหะกลุ่มนี้มีองค์ประกอบหลักคือ โคบอลไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของโครเมียมไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีหลายเฟสทำให้มีอัตราการสึกกร่อนมาก

3. โลหะผสมไทเทเนียม สามารถนำโลหะกลุ่มนี้มาสร้างชิ้นงานได้ทุกประเภทเช่นเดียวกับโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มโลหะพื้นฐาน แต่เนื่องจากต้องอาศัยเครื่องมือเฉพาะในการหล่อชิ้นงาน (casting machine) วัสดุหล่อแบบเฉพาะและความสามารถของช่างทันตกรรมสูง จึงยังไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานครอบฟันหรือฟันปลอม

โลหะผสมพื้นฐาน (ยกเว้นกลุ่มโลหะผสมไทเทเนียม) มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าโลหะในกลุ่มมีตระกูลหรือกลุ่มมีตระกูลสูง ทั้งในด้านความแข็งแรงและมอดูลัสยืดหยุ่น โดยเฉพาะถ้ามีคาร์บอนอยู่ในองค์ประกอบ พบว่าความแข็งแรงอาจมีค่ามากกว่า 400 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร นอกจากนี้สามารถเตรียมพื้นผิวโลหะด้วยการใช้กรดกัดในการสร้างชิ้นงานประเภทสะพานฟันชนิดแมรีแลนด์ แต่โลหะกลุ่มนี้มีข้อเสียคือ เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย การปรับแต่งและการขัดแต่งทำได้ยาก มีชั้นออกไซด์ที่หนาเกินไป ผู้ป่วยมีอัตราเสี่ยงต่อการแพ้ องค์ประกอบของโลหะและการเชื่อม (soldering) โลหะทำได้ยาก นอกจากนี้ยังมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโลหะผสมในกลุ่มอื่นๆ ด้วย ส่วนโลหะผสมไทเทเนียมมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบของโลหะผสม

Wataha (2000) ทำการทดลองการเข้ากันได้ของโลหะหล่อผสมกับเนื้อเยื่อภายในช่องปาก เพื่อลดอัตราเสี่ยงต่อการทำลายเนื้อเยื่อในช่องปาก พบว่าทันตแพทย์ควรเลือกโลหะหล่อผสมที่มีการสึกกร่อนน้อย (low corrosion) มีการปล่อยธาตุที่เป็นองค์ประกอบต่ำ พบในโลหะหล่อผสมที่มีองค์ประกอบของธาตุมีตระกูลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น โลหะหล่อผสมกลุ่มมีตระกูลสูง และโลหะหล่อผสมกลุ่มมีตระกูลที่มีลักษณะเฟสเดียว ส่วนโลหะหล่อผสมพื้นฐานจะปล่อยธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโลหะได้มาก เนื่องจากเกิดการสึกกร่อนสูง

การใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานที่มีส่วนประกอบของโลหะร่วมด้วยนั้น ต้องอาศัยการยึดติดที่ดีกับพื้นผิวของโลหะเพื่อให้ชิ้นงานสามารถคงอยู่และใช้งานได้ยาวนานที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน เพื่อให้เรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับโลหะได้อย่างดีและเหมาะสมกับชนิดของโลหะที่เลือกใช้

การเตรียมพื้นผิวโลหะ

เป็นการปรับสภาพพื้นผิวโลหะเพื่อให้ยึดติดกับเรซินซีเมนต์ได้ดีขึ้น ด้วยการเพิ่มการยึดติดทางกลศาสตร์เพื่อให้เกิดการยึดติดระหว่างกันบนพื้นผิวที่ขรุขระหรือการทำให้เกิดการเพิ่มการยึดติดทางเคมี ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของเรซินซีเมนต์กับออกไซด์ของโลหะที่ใช้ หรือการใช้คุณสมบัติทั้งสองร่วมกันเพื่อให้เกิดความแข็งแรงของการยึดสูงสุด โดยลักษณะการเพิ่มการยึดติดระหว่างพื้นผิวโลหะและเรซินซีเมนต์จำแนกได้ดังนี้

1. การยึดติดระหว่างโลหะและเรซินซีเมนต์ทางกลศาสตร์ แบ่งได้ ดังนี้

1.1 การยึดติดระหว่างโลหะและเรซินซีเมนต์ทางมหกลศาสตร์ (macromechanical retention)

เป็นการทำให้เกิดการยึดติดโดยการใส่ โครงยึดฟันแบบโปร่ง (lattice) ตะแกรงแบบถัก (mesh) หัวตะปู (nail-head) เม็ดเล็ก ๆ (beads) หลุม (loop) หรือการทำให้เป็นร่องหลุม (pit) เพื่อช่วยเพิ่มการยึดติด

Rochette (1973) เป็นผู้ริเริ่มการใช้โครงโลหะชนิดเจาะรู (perforated casting) เพื่อช่วยในการเพิ่มการยึดติดของเรซินซีเมนต์ชนิดไม่มีวัสดุอุดแทรก ในการยึดฟันที่ยึดเข้าด้วยกัน (splinting periodontal teeth)

Howe และ Denehy (1977) ใช้หลักการของ Rochette ยึดฟันหน้าเพื่อใส่ฟันปลอมชนิดติดแน่น (anterior fixed partial denture) โดยยึดระหว่างแผ่นโลหะที่เจาะให้เป็นรู (perforated metal plate) กับฟันหลัก (abutment) ที่ถูกกรัดกัด

Labarre และ Ward (1984) ได้เสนอวิธี การใช้อะคริลิก เรซินชนิดเม็ด (acrylic resin beads) หลอมยึดติดกับโครงโลหะ

1.2 การยึดติดระหว่างโลหะกับเรซินซีเมนต์ทางจุลกลศาสตร์ (micromechanical retention)

เป็นการทำให้เกิดการยึดติดโดยการเพิ่มพื้นที่ผิว มีลักษณะดังนี้

การใช้กรดกัดด้วยไฟฟ้า (electrolytic etching)

เป็นกระบวนการเพิ่มการยึดติดด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวการยึดด้วยการใช้กรดกัดร่วมกับการใช้กระแสไฟฟ้า (Livaditis และ Thompson; 1982) Thompson และคณะ (1983) บรรยายถึงขบวนการ

กรดกัดด้วยไฟฟ้ากับโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม เมื่อนำมาทดสอบแรงยึดกำลังแรงดึงพบว่า โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียมให้แรงยึดกำลังแรงดึงที่สูงกับเรซินซีเมนต์ ทั้งนี้การเลือกใช้กรดมีความแตกต่างตามชนิดของโลหะที่ใช้ด้วย แต่วิธีการนี้นิยมใช้เฉพาะในโลหะหล่อผสมชนิดพื้นฐานเท่านั้น โดยลักษณะของพื้นผิวโลหะหลังการเตรียมด้วยวิธีนี้ขึ้นกับเวลาที่ใช้กรดกัด ชนิดของสารละลายกรด และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้การควบคุมคุณภาพของพื้นผิวโลหะทำได้ยาก

การกัดผิวโลหะด้วยสารเคมี (chemical gel etching)

Love และ Breitman (1985) แนะนำการใช้กรดกัดพื้นผิวโลหะก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก และสามารถทำได้ในคลินิก โดยใช้กรดเข้มข้นกัดผิวโลหะเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของโลหะ โดยกรดประกอบด้วย กรดไนตริก(nitric acid) 50 %, ไฮโดรคลอริก(hydrochloric) 25 % และเมทานอล (methanol) 25 % Re และคณะ (1988) ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว โดยการเตรียมพื้นผิวโลหะเรซัลเลียมทรี(Rexillum III) ด้วยวิธีการใช้สารเคมีกัดพื้นผิว และการใช้ซิลิกาเคลือบพื้นผิว พบว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเคลือบด้วยซิลิกอนออกไซด์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าการใช้สารเคมีกัดพื้นผิว แต่ผลของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเมื่อใช้สารเคมีกัดผิวโลหะหล่อผสมพื้นฐาน สามารถยอมรับได้ทางคลินิก

การใช้ผลึกเกลือ (salt crystals)

เป็นวิธีที่มักใช้กับโลหะหล่อผสมมีตระกูล เพราะการใช้กรดกัดด้วยไฟฟ้าได้ผลไม่ดี เนื่องจากโครงสร้างของโลหะ จึงต้องปรับสภาพพื้นผิวโลหะโดยอาศัยหลักการละลายน้ำของเกลือ ด้วยการเคลือบแม่แบบ(die)ด้วยชั้นบางๆของผลึกเกลือ จากนั้นนำไปสร้างต้นแบบขึ้นงานด้วยอะคริลิกเรซินชนิดดูราเลย์(duralay) หลังจากสร้างเสร็จ ถอดต้นแบบขึ้นงานออกจากแม่แบบ ล้างผิวด้านในด้วยน้ำ เพื่อให้ผลึกเกลือละลาย จะได้ผิวด้านในของขึ้นงานที่ขรุขระ ก่อนนำไปลงวัสดุทำเบ้า (investment) และเหวียงโลหะต่อไป (Roulet และ Degrange, 2000) จากการศึกษาของ Turner และ Sinclair (1990) พบว่าการเตรียมพื้นผิวโลหะหล่อผสมพื้นฐานด้วยวิธีนี้ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียอีเอ็กซ์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว 33 เมกะปาสคาล

การเป่าทราย (sandblasting)

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก อาจใช้ร่วมกับวิธีการอื่นๆ ได้ โดยใช้ผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide abrasive powder) ขนาดตั้งแต่ 50-150 ไมครอน (micron) ความดัน 3-35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kg/cm^2) ทำให้เกิดผิวโลหะที่ขรุขระ และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึด

Mukai และคณะ (1995) พบว่าการเป่าทรายทำให้เกิดการไหลแผ่ของวัสดุยึดได้ดีขึ้น และมีความสามารถในการเปียกของพื้นผิว (surface wettability) มากขึ้นและพบว่าชนิดของโลหะและขนาดของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้มีผลต่อความสามารถในการเปียกของพื้นผิวด้วย

Hero และคณะ (1987) ศึกษาทางอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) พบว่าหลังการเป่าทรายจะพบผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ฝังอยู่ในพื้นผิวโลหะได้และอาจเกิดการกักขังของอากาศในบริเวณพื้นผิวโลหะซึ่งจะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเรซินซีเมนต์ได้

Tanakaและคณะ(1986)ทดลองปรับสภาพพื้นผิวโลหะหล่อผสมพื้นฐาน 2 ชนิดคือนิกเกิล-โครเมียม และโคบอลต์-โครเมียมด้วยการเป่าทรายและนำไปออกซีไดซ์ ก่อนการยึดกับแท่งอะคริลิกเรซิน ด้วยเรซินซีเมนต์แล้วทดสอบแรงยึดด้วยการดึง พบว่าโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียมที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าทรายและนำไปออกซีไดซ์ในกรด มีแรงยึดกำลังแรงดึงสูงกว่ากลุ่มที่เป่าทรายเพียงอย่างเดียว ในขณะที่โลหะหล่อผสมโคบอลต์-โครเมียมให้ผลไม่แตกต่างกัน

Cobb และคณะ (2000) ทดลองเพื่อศึกษาผลการเตรียมพื้นผิวโลหะด้วยการกรอผิวให้หยาบด้วยเข็มกรอเพชรขนาด 85 มิลลิเมตรกับการเป่าทรายด้วยเครื่องเป่าทรายในช่องปากหลายบริษัทได้แก่ เครื่องไมโครเอชเชอร์ (Microetcher) ด้วยการเป่าทรายอะลูมิเนียม ออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ความดัน 84 psi 4 นาที เครื่องเคซีพี 200 (KCP 200) ด้วยการเป่าทราย อะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 27 ไมครอน ความดัน 160 psi 4 นาทีและเครื่องโคเจทแซนด์ (Cojet-Sand) ด้วยการเป่าทรายด้วยไตรโบเคมีคอลซิลิกา(tribochemical silica)ที่ 34 psi ร่วมกับการใช้ด้วยผงซีเลนขนาด 30 ไมครอน พบว่า การเตรียมพื้นผิวโลหะหล่อผสมของมีตระกูลด้วยวิธี โคเจท แซนด์ร่วมกับการใช้ซีเลน ให้ค่าแรงยึดสูงสุด

2. การยึดติดระหว่างโลหะกับเรซินทางจุลกลศาสตร์และทางเคมี ได้แก่

- 2.1.ระบบเคลือบด้วยซิลิคอน ออกไซด์
- 2.2.ระบบเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้า
- 2.3.ระบบกรรมวิธีทางความร้อน
- 2.4.ระบบกาวไพโรเมอร์

2.1.ระบบเคลือบด้วยซิลิคอน ออกไซด์ (silicon oxide coating)

เป็นวิธีเพิ่มการยึดติดกับพื้นผิวโลหะ ทางจุลกลศาสตร์ร่วมกับการยึดติดทางเคมี กับเรซินซีเมนต์ โดยการเคลือบด้วยซิลิคอน ออกไซด์ โดย Kourtis (1997) ได้รวบรวมไว้ดังนี้

1. ระบบซิลิโคเทเตอร์ (The Silicoater system, Kulzer Co, Friedrichshof, Germany) ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปีค.ศ. 1984 โดย Tiller และ Musil โดยการเป่าทราย ที่ผิวโลหะด้วย

- อะลูมิเนียม ออกไซด์ ที่มีขนาด 250 ไมครอน ที่ความดัน 4 บาร์ เวลาที่ใช้สำหรับโลหะหล่อผสมมีตระกูล 10-15 วินาทีต่อพื้นที่ผิว และสำหรับโลหะหล่อผสมพื้นฐาน 30 วินาทีต่อพื้นที่ผิว และทำให้เกิดชั้นของซิลิเกตเคลือบอยู่ที่พื้นผิวของโลหะด้วยไอของซิลิเกต โดยขบวนการไพโรไลติก (pyrolytic) แล้วเคลือบทับด้วยสารยึดคูชีเลน เพื่อยึดชั้นของซิลิเกต เข้ากับสายอินทรีย์โพลีเมอร์ของวัสดุโอเพค(opaque)ที่จะนำมาเคลือบทับ
2. ระบบซิลิโคทเตอร์ เอ็มดี (The silicoater M-D system, Kulzer Co., Germany) เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบซิลิโคทเตอร์ โดย Tiller ในปี ค.ศ.1989 โดยชั้นของซิลิเกตจะถูกเคลือบทับด้วยชั้นบางๆของออกไซด์ของโครเมียม (thin chromium oxide) โดยการเผาเพื่อเพิ่มการสร้างโครงสร้างสไปเนล (spinell structure) กับองค์ประกอบของโลหะหล่อผสมนั้น
 3. ระบบโรคาเทค (The Rocatec bonding system, Espe Co., Seefeld, Germany) เป็นระบบที่ถูกแนะนำโดย Guggenburger ในปี ค.ศ.1989 โดยการเป่าทรายด้วยซิลิเกตควอตซ์ขนาด 110-120 ไมครอน ที่ความดัน 2.5 บาร์ พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการเป่าทรายจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อน จนทำให้ผิวหน้าโลหะประมาณ 1-2 ไมครอน หลอมเหลวและจะหุ้มอนุภาคของซิลิเกตไว้ให้อยู่ที่พื้นผิวโลหะแล้วจึงเคลือบด้วยสารยึดคูชีเลน

โดยทั้ง 3 วิธีข้างต้นจำเป็นต้องใช้สารยึดคูชีเลนร่วมด้วยในการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ เนื่องจากเรซินซีเมนต์ไม่สามารถยึดติดได้โดยตรงกับชั้นของซิลิเกต ระบบเซบอนด์ (The Sebond, Schutzh Dental Co., Rosbach, Germany) และระบบสเปคตราลิงค์ (The Spectra-link bonding system, Ivoclar Co., Schaan, Liechtenstein) โดยผิวของโลหะจะถูกเป่าทรายและเคลือบทับด้วยแอคทีฟอะครีเลตโมโนเมอร์และโพลีฟลูอออเมธาครีเลต (polyfluormethacrylate) ทำให้เกิดชั้นของโพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และเติมคลอซัลโฟเนต (chlorsulfonate) เพื่อเพิ่มความยึดหยุ่นของพื้นผิว

Ishijima และคณะ (1992) ได้เปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวโลหะโดยการเป่าทรายด้วยอะลูมิเนียม ออกไซด์กับระบบซิลิโคทเตอร์ ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ พบว่า ระบบซิลิโคทเตอร์ให้ค่าแรงยึดสูงสุด

Hanson และ Moberg (1993) ศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวโลหะด้วยระบบซิลิโคทเตอร์ ซิลิโคทเตอร์ เอ็มดีและโรคาเทค กับความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง โลหะหล่อผสมพื้นฐาน และโลหะหล่อผสมไทเทเนียม พบว่าระบบ

ซิลิโคเตเตอร์สามารถเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมพื้นฐานและโลหะหล่อผสมไทเทเนียมได้สูงสุด และระบบซิลิโคเตเตอร์เอ็มดีสามารถเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวต่ำสุดในทุกกลุ่มของโลหะหล่อผสม ระบบโรคาเทคให้ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวลดลงในกลุ่มโลหะหล่อผสมทองเหลืองการทำเทอร์โมไซคลิง แต่ไม่มีผลต่อโลหะหล่อผสมในกลุ่มที่เหลือน

2.2.ระบบเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า (tin plating ; electroplating)

ทั้งระบบโอวีเอส (OVS system, Dentsply, U.S.A.) ไมโครทิน (Micro-tin, Danville Engineering, U.S.A.) และคูราเอซ (Kura-ace, Kuraray Co.,Ltd,Japan) เป็นการเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า โดยโลหะที่ต้องการเคลือบจะอยู่ที่ขั้วลบ(cathode) ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายที่มีไอออนของตีบุก จะเกิดการเคลือบด้วยไอออนของตีบุกที่ขึ้นงาน ซึ่งจะก่อให้เกิดออกไซด์ของตีบุกบนพื้นผิวของโลหะ ซึ่งสามารถยึดติดได้กับเรซินซีเมนต์

Creugers และ คณะ (1988) พบว่าโลหะหล่อผสมพื้นฐานชนิดนิเกิล-โครเมียมและโคบอลต์-โครเมียม ที่ทำการเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า มีค่าแรงยึดกำลังแรงดิ่งกับเรซินซีเมนต์ต่ำกว่า การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีซิลิโคเตเตอร์ที่เป่าทรายด้วยอะลูมิเนียม ออกไซด์ เนื่องจากมีการลดลงของการยึดทางจุลกลศาสตร์ ซึ่งเป็นผลจากการสร้างชั้นของตีบุกที่เคลือบพื้นผิวโลหะ

Rubo และ คณะ (1998) ทดลองเพื่อสำรวจผลการทำเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า ต่อแรงยึดกำลังแรงดิ่งของโลหะหล่อผสม 3 ชนิดได้แก่คูราแคสต์ (Co-Au,Duracast) วิลคินสัน (Au-Ag-Co,Wilkinson) ดีกูเดนทียู (Au-Pd-Pt,Degudent-U) โดยเทียบกับคูราบอนด์ (Ni-Cr,Durabond) ที่ไม่ได้รับการเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้าพบว่าคูราบอนด์ให้ค่าแรงยึดกำลังแรงดิ่งสูงสุด รองลงมาได้แก่ ดีกูเดนทียูที่ได้รับการเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า และคูราแคสต์ที่ไม่ได้ทำเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้า นอกจากนี้พบว่าการเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้าให้ผลเพิ่มแรงยึดเฉพาะดีกูเดนทียู ส่วนโลหะอีก 2 ชนิดนั้นการทำเคลือบตีบุกด้วยไฟฟ้าทำให้แรงยึดลดลง

2.3.ระบบกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment)

Tanakaและคณะ(1988) EderและWickens(1996) แนะนำการทำโลหะหล่อผสมทองเกิดพื้นผิวออกซิเดชัน ด้วยการให้ความร้อน โดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความหนาของชั้นออกไซด์ที่เพียงพอตามต้องการ ถ้าชั้นของออกไซด์หนาเกินไป จะทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดในชั้นออกไซด์ แต่ถ้าชั้นของออกไซด์บางเกินไป จะทำให้ค่าแรงยึดลดลง เกิดความล้มเหลวของการยึดในชั้นรอยต่อของพื้นผิวโลหะและเรซินซีเมนต์ได้ สามารถทำได้ 2 วิธีคือการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนเพียงครั้งเดียวหรือการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนสองครั้ง

อย่างไรก็ตามการเพิ่มแรงยึดติดของพื้นผิวโลหะกับเรซินซีเมนต์ ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น

จำเป็นต้องใช้เวลามาก ค่าใช้จ่ายสูง และขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง และไม่สะดวกในการทำงานทางคลินิก

2.4. ระบบกาวไพรเมอร์

กาวไพรเมอร์เป็นสารเคมี เพื่อปรับสภาพพื้นผิวของโลหะ หลังจากการเป่าทรายเพื่อช่วยปรับสภาพผิวให้มีความเหมาะสมและช่วยเพิ่มการยึดติด โดยทำหน้าที่ในการเพิ่มคุณสมบัติการซึมผ่านของเรซินซีเมนต์บนพื้นผิวของโลหะ

กาวไพรเมอร์ชนิดต่าง ๆ มีกลุ่มทำงานที่แตกต่างกัน(รูปที่ 1) ปลายข้างหนึ่งของกาวไพรเมอร์เป็นกลุ่มทำงานที่เชื่อมกับพื้นผิวโลหะ และอีกข้างหนึ่งเป็นกลุ่มที่เชื่อมกับเรซินซีเมนต์ กาวไพรเมอร์ที่มีขายในปัจจุบันเช่น

ซีดีโอเพคไพรเมอร์ (Cesead Opaque Primer, Kuraray Co.,Ltd., Japan) โดย Yoshida และคณะ(1993) หรือซีดีทู โอเพคไพรเมอร์(Cesead II Opaque Primer,Kuraray Co.,Ltd., Japan)โดย Yoshidaและคณะ(2001a) มีกลุ่มทำงานฟอสเฟตอยู่ในเทินเมธา ครัยโลอิลออกซีเดซิล ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟตหรือเอ็มดีพี

เมตาฟาสต์ (META FAST, Sun Medical Co., Ltd., Japan)หรือนิวเมตาคัลเลอร์ไลท์ (New Metacolor Light) มีกลุ่มทำงานคาร์บอกซิลอยู่ในโพร เมธาครัยโลซีเอทิล ไตรเมลลิเทต แอนไฮไดรด์ หรือ โพรเมตา (Yoshida และคณะ,1993)

เมทัลไพรเมอร์ (Metal primer, GC Corp., Japan) โดย Watanabeและคณะ(1995) และ เมทัลไพรเมอร์ทู (Metal primer II.GC Corp., Japan) โดย YoshidaและAtsuta (1997)มีกลุ่มทำงานไธโอฟอสเฟต (thiophosphate) อยู่ในอนุพันธ์ของเมธาครัยโลอิลออกซีอัลคิล ไธโอฟอสเฟต (Methacryloyloxyalkyl thiophosphate derivative)หรือเอ็มอีพีเอส (MEPS)

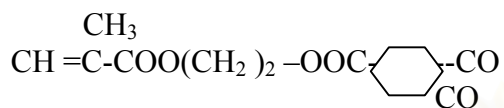
วีไพรเมอร์ (V-primer, Sun Medical Co., Ltd., Japan) มีกลุ่มทำงานไธล (thiol)หรือ ไธโอน(thione)อยู่ในซิกโพร ไวนิลเบนซิลเอ็นโพรพิลอะมิโน วันทรี ไพวีไตรอะไซน์ทูโพรไดไธโอน (6-(4-vinylbenzyl-n-propyl) amino-1,3,5-triazine 2,4-dithione) หรือ วีบีเอทีดีที(VBATDT) โดย Atsuta และคณะ (1992)

เมทัลไทท์ (Metalite, Tokuyama Co., Japan) มีกลุ่มทำงานไธโอนอยู่ในซิกเมธาครัยโลอิลออกซีเฮกซิล ทูไฮโอยูราซิล ไพร์คาร์บอกซิเลต (6-Methacryloyloxyhexyl 2 - thiouracil 5-carboxylate) หรือ เอ็มทียูซิก (MTU-6) โดย Matsumura และคณะ(1999)

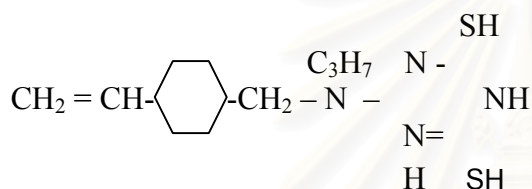
อัลลอยไพรเมอร์ (ALLOY PRIMER, Kuraray Co., Ltd., Japan) ที่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟต อยู่ใน เอ็มดีพีและกลุ่มทำงานไธลหรือไธโอนอยู่ในวีบีเอทีดีที โดย Matsumura และคณะ(1999)



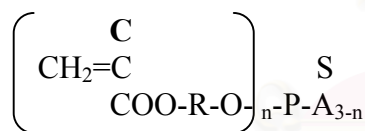
MDP=10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate



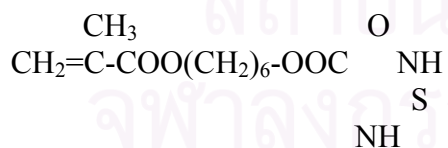
4-META= 4-Methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride



VBATDT=6-(4-vinylbenzyl-n-propyl)amino-1,3,5-triazine 2,4-dithione



MEPS=Methacryloyloxyalkyl thiophosphate derivative



MTU-6 =6-Methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil 5-carboxylate

รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างสารเคมีที่อยู่ในเรซินซีเมนต์และกาวไฟรเมอร์

โดยพบว่ากลุ่มทำงานฟอสเฟตและคาร์บอนซิล สามารถเกิดพันธะเคมีกับโลหะหล่อผสมพื้นฐาน ส่วนกลุ่มทำงานไฮดรอนหรือไฮอัล สามารถเกิดพันธะเคมีกับโลหะหล่อผสมมีตระกูล และกลุ่มทำงานไฮโอฟอสเฟต นั้นเกิดพันธะเคมีได้ทั้งโลหะหล่อผสมพื้นฐานและโลหะหล่อผสมมีตระกูล มีการศึกษาอย่างมากมาในการเพิ่มการยึดติดด้วยการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น

Atsuta และคณะ (1992) ทดลองเพื่ออธิบายถึงผลการยึดติดของคอมโพสิตเรซิน ชนิดก่อตัวด้วยแสงกับโลหะหล่อผสมทองชนิดที่สาม(gold casting alloy typeIII ,Midas)ที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดที่มีไฟร์เมตาและไม่มีไฟร์เมตาพร้อมกับการใช้และไม่ใช้ วิ โพรเมอร์ พบว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ที่มีไฟร์เมตาพร้อมกับการใช้วิ โพรเมอร์ ให้ค่าแรงยึดสูงสุดและทนทานต่อการทำเทอร์โมไซคลิก เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้กาวไฟร์เมตาพร้อมกับการใช้เรซินซีเมนต์ที่ไม่มีไฟร์เมตา ส่วนกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไฟร์เมตาให้แรงยึดต่ำสุดและไม่ทนทานต่อการทำเทอร์โมไซคลิก กลุ่มโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง-ทอง ให้ผลคล้ายคลึงกับการใช้โลหะหล่อผสมทองชนิดที่สาม

Yoshida และคณะ(1993)ศึกษาความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวโดยการเปรียบเทียบการใช้กาวไฟร์เมตา 3 ชนิดกับโลหะหล่อผสมโคบอลต์-โครเมียม และโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง-ทอง ด้วยคอมโพสิตเรซินชนิดเกิดปฏิกิริยาก่อตัวด้วยแสง พบว่าซีดี โอเพคไฟร์เมตาที่มีเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ สามารถยึดติดกับโลหะหล่อผสมโคบอลต์-โครเมียมได้ดี และวิ โพรเมอร์สามารถยึดติดกับโลหะหล่อผสมเงิน -พัลลาเดียม -ทองแดง-ทองได้ดี

Watanabe และคณะ(1995)ทดลองเปรียบเทียบความสามารถของไวนิลไทอัล (vinylthiol) ในวิ โพรเมอร์และไฮโอฟอสเฟตในเมทัลไฟร์เมตา โดยใช้ยึดกับโลหะหล่อผสมทองประเภทที่สี่ (gold casting alloy typeIV,Maxgold and Sofard alloy) ด้วยเรซินซีเมนต์ชนิด โพลีเมธิลเมธาครีเลต พบว่ากาวไฟร์เมตาทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวให้กับโลหะหล่อผสมทั้งสองชนิด

Matsumura และคณะ (1997)ทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้กาวไฟร์เมตา 2 ชนิดที่มีส่วนประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของไฮอัลได้แก่ เมทัลไฟร์เมตา และ วิ โพรเมอร์ในการช่วยยึดกับโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม โดยใช้เรซินซีเมนต์ชนิดที่มีและไม่มีไฟร์เมตา มีไตรเอทิลบิวทิลบอเรนหรือทีบีพี เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา พบว่าใช้กาวไฟร์เมตาทั้งสองชนิดเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวให้กับเรซินซีเมนต์ที่มีไฟร์เมตา และยังมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงหลังการทำเทอร์โมไซคลิง นอกจากนี้พบว่ากลุ่มเรซินที่มีไฟร์เมตาให้แรงยึดสูงกว่ากลุ่มเรซินที่ไม่มีไฟร์เมตาในกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไฟร์เมตา

Yoshida และAtsuta (1997) ศึกษาความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวโดยการเปรียบเทียบการใช้เมทัลไฟร์เมตา 4 ชนิด ร่วมกับอะคริลิกเรซินชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมียึดโลหะหล่อผสมโคบอลต์-โครเมียม จากนั้นทำเทอร์โมไซคลิงก่อนนำมาทดสอบ พบว่าก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

การใช้กาวยาไฟรเมอร์มีผลในการเพิ่มการยึดติดของอะคริลิกเรซิน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวยาไฟรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ และซีลิต โอเพคไฟรเมอร์ หรือ เมทัลไฟรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

Matsumura และคณะ (1999a) ศึกษาความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของการใช้ไฟรเมอร์ที่มีส่วนประกอบของอินทรีย์กัมมันตชนิดอัลลอยไฟรเมอร์ เมทัลไทท์ เมทัลไฟรเมอร์ ทุ และวี ไฟรเมอร์ ร่วมกับเอซิส (Axis) ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยแสงยึดโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง-ทอง นำมาทดสอบแรงยึดเหนี่ยว พบว่าในกลุ่มที่ไม่ได้ทำเทอร์โมไซคลิกการใช้กาวยาไฟรเมอร์มีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าที่ไม่ได้ใช้กาวยาไฟรเมอร์ และกลุ่มที่ทำเทอร์โมไซคลิกการใช้กาวยาไฟรเมอร์เมทัลไทท์ เมทัลไฟรเมอร์ ทุ และอัลลอยไฟรเมอร์ ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด

Matsumura และคณะ(1999b) ศึกษาความแข็งแรงและความทนทานของการใช้วี ไฟรเมอร์ เพื่อช่วยในการยึดติดของซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์ปีกับโลหะหล่อผสมทองประเภทที่สี่ (gold casting alloy typeIV, Casting Gold M.C) โลหะหล่อผสมพัลลาเดียมที่ใช้ร่วมกับพอร์ซเลน (Pd-Ga-Co, PTM 88) โลหะหล่อผสมทองที่ใช้ร่วมกับพอร์ซเลน (Au-Pt-Pd, Degudent Universal) โลหะหล่อผสมเงิน-อินเดียม (Ag-In-Zn, Salivan Hard) และเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง-ทอง(Ag-Pd-Cu,S₁₂) และเงินบริสุทธิ์ (pure Ag,AGM-10028A) นำมาทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว หลังทำเทอร์โมไซคลิก 100,000 รอบ พบว่าโลหะหล่อผสมเงิน-อินเดียมมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวน้อยสุด ในขณะที่โลหะกลุ่มที่เหลือให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวใกล้เคียงกัน และทุกกลุ่มที่ใช้กาวยาไฟรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวยาไฟรเมอร์

Yoshida และคณะ(1999)ศึกษาเปรียบเทียบการใช้กาวยาไฟรเมอร์ชนิดอะคริล ซีลิต โอเพคไฟรเมอร์ เมตาคัลเลอร์ โอเพค บอนดิงไลเนอร์ เมทัลไฟรเมอร์ ทุ และเอ็มอาร์ บอนด์ ในการปรับสภาพพื้นผิวโลหะหล่อผสมโคบอลต์ – โครเมียม พบว่าก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกในทุกกลุ่มของการใช้กาวยาไฟรเมอร์ยกเว้นเมตาคัลเลอร์ โอเพค บอนดิงไลเนอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และหลังการทำเทอร์โมไซคลิก 50000 รอบ พบว่าซีลิต โอเพคไฟรเมอร์และเมทัลไฟรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ใช้กาวยาไฟรเมอร์ชนิดอื่น

Barkmeier และLatta(2000)ทดลองเพื่อประเมินความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของการใช้และไม่ใช้กาวยาไฟรเมอร์ในการช่วยเพิ่มการยึดติดของโลหะหล่อผสมพื้นฐาน โลหะหล่อผสมมีตระกูลและ อมัลกัม ด้วยเรซินซีเมนต์ โดยใช้อัลลอยไฟรเมอร์ อีดีไฟรเมอร์ อัลลอยไฟรเมอร์ร่วมกับอีดีไฟรเมอร์ และการเคลือบผิวด้วยดีบุก หลังเก็บไว้ 24 ชั่วโมงและ 3 เดือน พบว่าการใช้

อัลลอยไพโรเมอร์หรือการเคลือบผิวด้วยดีบุกเตรียมพื้นผิวโลหะมีตระกูลและอัมัลกัมช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของแรงยึดติดของพันธะและอีดีไพโรเมอร์ไม่มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวและไม่มีควมจำเป็นต้องเข้าร่วมกับอัลลอยไพโรเมอร์

Antoniadou และคณะ (2000) ทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดกำลังแรงดึงของการใช้กาวไพโรเมอร์ 2 ชนิด ได้แก่ อัลลอยไพโรเมอร์ที่มีส่วนประกอบของเอ็มดีพีและวีบีเอทีดีที อีดีไพโรเมอร์ซึ่งมีส่วนประกอบของเอ็มดีพี อีมา และเอ็น เมธาครีลโลอิล ไพร์อะมิโนซาลิไซลิกแอซิด (N-methacryloyl 5-aminosalicylic acid) หรือ ไพร์ เอ็นเอ็มเอสเอ (5-NMSA) และตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาก่อตัว เพื่อใช้ยึดโลหะหล่อผสมมีตระกูล 2 ชนิด ได้แก่ เฮราดอร์ เอ็นเฮซ (Au-Pt-Pd-Ag, Herador NH) ไบโอเมนโกลเอสจี (Au-Ag-Cu-Pt, Biomaingold SG) ด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย อีเอ็กซ์พบว่ากลุ่มเป่าทรายของไบโอเมนโกลเอสจีมีความแข็งแรงของแรงยึดกำลังแรงดึงสูงกว่าเฮราดอร์ เอ็นเฮซ การใช้อัลลอยไพโรเมอร์ร่วมกับอีดีไพโรเมอร์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดกำลังแรงดึงกับเฮราดอร์ เอ็นเฮซมากกว่าการใช้อัลลอยไพโรเมอร์เพียงอย่างเดียวและการใช้อัลลอยไพโรเมอร์สามารถเพิ่มความทนทานให้กับแรงยึดของโลหะหล่อผสมทั้งสองชนิด

Matsumura และคณะ (2001) ศึกษาถึงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง (Pontor LFC) ด้วยการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะด้วยกาวไพโรเมอร์ 3 ชนิด คือ อินฟิส โอเพค ไพโรเมอร์ (Infis Opaque Primer) เมทัลไพโรเมอร์ ทู และ เมทัลไทท์ โดยเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยไซลอคซ์ (siloc) ในการยึดติดกับคอมโพสิตเรซิน (New Metacolor Infis) พบว่าก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงการปรับสภาพพื้นผิวด้วยไซลอคซ์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด รองลงมาได้แก่เมทัลไทท์และหลังการกักเทอร์โมไซคลิง 20,000 รอบ ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยไซลอคซ์และเมทัลไทท์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าในกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Yoshida และคณะ (2001a) ศึกษาความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวด้วยการใช้เรซินซีเมนต์ 4 ชนิด คือ แอ็กซิส (Axis) ซีไซด์ ทู (Cesead II) เดนตา คัลเลอร์ (Dentacolor) และโซลิเด็กซ์ (Solidex) ร่วมกับการใช้กาวไพโรเมอร์คืออัลลอยไพโรเมอร์ เมทัลไพโรเมอร์ ทู และเมทัลไทท์ในการยึดโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง-ทอง (Ag-Pd-Cu-Au, New Au-Pd) กลุ่มที่ไม่ได้ทำเทอร์โมไซคลิง พบว่ากลุ่มที่ใช้กาวไพโรเมอร์มีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ กลุ่มที่ทำเทอร์โมไซคลิง 20000 รอบ พบว่ากลุ่มที่ใช้อัลลอยไพโรเมอร์ร่วมกับเดนตา คัลเลอร์ และกลุ่มที่ใช้เมทัลไทท์ ร่วมกับแอ็กซิส หรือ ซีไซด์ ทู หรือ เดนตา คัลเลอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ

Yoshida และคณะ (2001b) ศึกษาความทนทานและความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเมื่อใช้กาวไพโรเมอร์ชนิดอัลลอยไพโรเมอร์ เมทัลไพโรเมอร์ ทู และเมทัลไทท์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบิสไทท์ ทู

(Bistite II) พานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี เพื่อยึดโลหะหล่อผสมเงิน-พัลลาเดียม-ทองแดง- ทอง(Ag-Pd-Cu-Au, Castwell M.C.12) โดยทำเทอร์โมไซคลิง 100,000 รอบ พบว่าเมทัลไพโรเมอร์ ทุ และเมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนสูงไม่ว่าจะใช้เรซินซีเมนต์ชนิดใดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์ แต่ความแข็งแรงลดลงเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีหลังทำเทอร์โมไซคลิง ในขณะที่ใช้อัลลอย ไพโรเมอร์จะให้ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนลดลงเมื่อใช้ร่วมกับพานาเวีย ฟลูออโรซีเมนต์ หรือบิสไทท์ ทุเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์

Yanagida และคณะ(2002)ศึกษาผลของการใช้กาวไพโรเมอร์ 8 ชนิดและระบบไซลอค(siloc) เพื่อปรับสภาพพื้นผิวโลหะหล่อผสมไทเทเนียมก่อนการยึดกับคอมโพสิตเรซินชนิดก่อดัดด้วยแสง หลังการทำเทอร์โมไซคลิงพบว่าในกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวของโลหะด้วยซีลด์ ทุ โอเพคไพโรเมอร์ และระบบไซลอคแสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนสูงกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแนวโน้มการใช้กาวไพโรเมอร์มีมากขึ้น เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ได้ง่ายในทางคลินิก กาวไพโรเมอร์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ แต่เนื่องจากกาวไพโรเมอร์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีกลุ่มทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้กาวไพโรเมอร์ที่เหมาะสมในการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะหล่อผสมแต่ละชนิดก่อนนำไปยึดด้วยเรซินซีเมนต์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทันตแพทย์จำเป็นต้องเรียนรู้

ลักษณะการแตกหักระหว่างเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม (mode of failure between resin cement and casting alloy)

เมื่อนำชิ้นตัวอย่างโลหะหล่อผสมมายึดติดกันด้วยเรซินซีเมนต์แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนหรือแรงยึดกำลังแรงดึง เมื่อนำชิ้นตัวอย่างที่แตกหักออกจากกัน มาสำรวจพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสามารถแบ่งรูปลักษณะของการแตกหักออกได้ 3 ลักษณะคือ

1. การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับโลหะ (adhesive failure)
2. การแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์ (cohesive failure)
3. การแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมกัน (mixture of adhesive and cohesive failure)หรือเป็นการแตกหักแบบผสม

Øilo (1993) ได้กล่าวถึงลักษณะการแตกหัก ว่าถ้ามีการแตกหักเกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงการซึมผ่านหรือปรับปรุงปฏิกิริยาระหว่างชิ้นงานทั้งสองให้ดีขึ้นแต่ถ้ามีการแตกหักภายในชั้นวัสดุที่ใช้เชื่อมชิ้นงานทดสอบ แสดงว่า ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้เชื่อมชิ้นงานทดสอบ

การทำเทอร์โมไซคลิง (thermocycling)

เทอร์โมไซคลิงเป็นการทดสอบความต้านทานต่อการแผ่ผ่านของน้ำ (water penetratio) และความต้านทานต่อความเค้นของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (thermal stress) โดยอาศัยความแตกต่างกันของค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว (coefficient of thermal expansion) ของวัสดุสองชนิด ด้วยการผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงเย็น-ร้อนแบบเป็นจังหวะ เพื่อประเมินความแข็งแรงของการยึดติดของเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม และเป็นแนวทางการนำไปใช้ทางคลินิก (Smithและคณะ;1993, Moulinและคณะ;1999)

การศึกษาที่ผ่านมามีพบว่ากระบวนการเทอร์โมไซคลิงทำที่หลายช่วงอุณหภูมิขึ้นกับแต่ละการศึกษาเช่น Smithและคณะ(1993)ทำที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส โดยให้เวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่าง 30 วินาที จำนวน 2672 รอบสำหรับการทดสอบระยะสั้นและ 10584 รอบสำหรับการทดสอบระยะยาว Kountourasและคณะ (1999) ทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส โดยให้เวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่าง 20วินาที จำนวน 1000 รอบ Taira และImai(1995) ทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียสโดยให้เวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่างระหว่าง 60วินาที จำนวน 2000 รอบ Matsumura และคณะ (1999b) ทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส โดยให้เวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่าง 60 วินาที จำนวน 100000 รอบ Matsumuraและคณะ(2001)ทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส โดยให้ระยะเวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่างระหว่าง 60 วินาที จำนวน 20000 รอบ แต่จากการศึกษาของ Tanakaและคณะ (1995)พบว่าไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวที่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิงที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสและ 50 ± 2 องศาเซลเซียสกับอุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสและ 60 ± 2 องศาเซลเซียส โดยให้ระยะเวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่างระหว่าง 60 วินาที จำนวน 20000 รอบ และจากองค์กรมมาตรฐานนานาชาติ ที่อาร์ 11405(The International Organization for Standardization, ISO/TR11405: 1994)กำหนดการทดสอบเทอร์โมไซคลิงในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 5 ± 2 องศาเซลเซียสและ 55 ± 2 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ หลังจากเก็บชิ้นตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยให้เวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่างอย่างน้อย 20 วินาที และระยะเวลาเคลือบย้อมระหว่างอ่างน้ำ 5 – 10 วินาที

โดยสรุปพบว่าการทำเทอร์โมไซคลิงอยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียสและ 50-60 องศาเซลเซียส โดยมีเวลาที่ขึ้นงานสัมผัสกับน้ำแต่ละอ่างระหว่าง 20-60 วินาที จำนวน 500-100000 รอบ

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่

1. โลหะหล่อผสม 2 ชนิด(ตารางที่1) ได้แก่

- 1.1. โลหะผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม (Classic vision TM Pisces, William Co., Amherst, N.Y. batch number s9787P) ประกอบด้วย นิเกิล 73.7 % โครเมียม 12.6 % โมลิบดีนัม 8.0 % อะลูมิเนียม 3.3 % เบอริลเลียม 1.7 % ซิลิกอน < 1 % เหล็ก < 1 %
- 1.2. โลหะผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง (Maxigold , William Co., Amherst, N.Y. batch number s754414F) ประกอบด้วย ทอง 59.5 % พัลลาเดียม 2.7% เงิน 26.3% ทองแดง 8.5 % สังกะสี 2.7 % อื่นเดียม < 1 % อิริเดียม < 1%

2. เรซินซีเมนต์ 2 ชนิด(ตารางที่2 รูปที่2) ได้แก่

- 2.1. พานาเวีย เอฟ (Panavia F)
- 2.2. ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Super-bond C&B)

3. กาวไพรเมอร์ 6 ชนิด(ตารางที่2 รูปที่3) ได้แก่

- 3.1. เมตาฟาสต์ (META FAST)
- 3.2. ซีลด์ ทู โอเพค ไพรเมอร์ (Casead II Opaque Primer)
- 3.3. วี ไพรเมอร์ (V PRIMER)
- 3.4. เมทัลไทท์ (METALTITE)
- 3.5. เมทัลไพรเมอร์ ทู (METAL PRIMER II)
- 3.6. อัลลอยไพรเมอร์ (ALLOY PRIMER)

4. อะคริลิกเรซิน ชนิดก่อกัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (Unifast)

5. เทปกาวด้านเดียวที่มีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร

6. ท่อพีวีซี (PVC)

7. กระดาษทรายเบอร์ 400

ตารางที่ 1 แสดงชนิดของโลหะ

| Material(abbreviation) | Trade name | Composition(%) | Manufacturer |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|
| Base metal alloy (Ni-Cr-Mo-Be) | Classic vision TM Pisces | Ni73.7,Cr12.6,Mo8.0,Al3.3, Be1.7,Si<1,Fe<1 | William Co., Amherst, N.Y. |
| High noble alloy (Au-Pd-Ag-Cu) | Maxigold | Au59.5,Pd2.7,Ag26.3,Cu8.5, Zn2.7, In<1, Ir<1 | William Co., Amherst, N.Y. |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของเรซินซีเมนต์และกาวไพรเมอร์

| Material | Product name (abbreviation) | Component | Function group | Metal alloy | Manufacturer | Batch Number |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------|
| Resin Cement | Panavia F (PF) | Bis-GMA,MDP | Methacrylate group | - | Kuraray Co., Tokyo,Japan | 51293 |
| | Super-bond C&B (SB) | PMMA MMA-4-META, TBB | Methacrylate group | - | Sun Medical Co. , Ltd.,Kyots,Japan | EE1 |
| Primer | METAFAST (MF) | 4-META | Carboxyl group | base | Sun Medical Co. , Ltd.,Kyots,Japan | 70801 |
| | Cesead II Opaque Primer (CPII) | MDP | Phosphate group | base | Kuraray Co., Tokyo,Japan | 0098DA |
| | V Primer (VP) | VBATDT | Thiol – thione | noble | Sun Medical Co. , Ltd.,Kyots,Japan | EF1 |
| | MATALTITE (MT) | MTU-6 | Thione | noble | Tokuyama Co.,Tokyuama, Japan | 00741 |
| | METAL PrimerII (MPII) | MEPS | Thiophosphate | base noble | GC Co., Japan | 0108081 |
| | ALLOY Primer (AP) | MDP+VBATDT | Phosphate group Thiol – thione | base noble | Kuraray Co., Tokyo,Japan | 091AA |

Bis-GMA=Bis-glycidylmethacrylate;MDP=10-methacryloyloxydecylhydrogen phosphate
;PMMA=Polymethylmethacrylate ;MMA= methylmethacrylate; 4-META= 4-Methacryloyloxyethyl
trimellitateanhydride ;TBB=Tri-n-butylborane ;VBATDT=6-(4-vinylbenzyl-n-propyl)amino-1,3,5-
triazine2,4-dithione ;MEPS=Methacryloyloxyalkyl thiophosphate derivative ;MTU-6 =6-
Methacryloyloxyhexyl2-thiouracil 5-carboxylate



ก.เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ



ข.เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

รูปที่ 2 แสดงเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด



ก. กาวไพรเมอร์ชนิดเมตาฟาสต์



ข. กาวไพรเมอร์ชนิดซีเส็ด ทู โอเพคไพรเมอร์



ค. กาวไพรเมอร์ชนิดวี ไพรเมอร์



ง. กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์



จ. กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทู



ฉ. กาวไพรเมอร์ชนิดอัลลอยไพรเมอร์

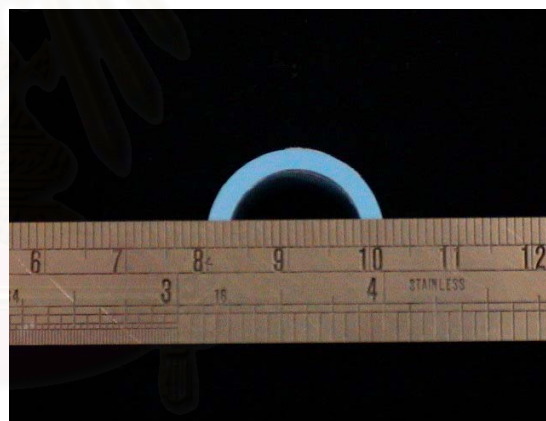
รูปที่ 3 แสดงกาวไพรเมอร์ 6 ชนิด

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นโลหะหล่อผสม

นำกระสวยขึ้นที่ฝังรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อย่างละ 200 ชิ้น นำไปเหยียงด้วยโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม และโลหะผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงอย่างละ 100 ชิ้น (รูปที่ 4) นำชิ้นโลหะหล่อผสมทั้งหมด ชัดกระดาศทรายเบอร์ 400 จนเรียบ จากนั้นใช้เทปกาวยึดชิ้นโลหะหล่อผสมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรกับท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัดจากขอบนอก 22 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร (รูปที่ 5) โดยให้อยู่ตรงกลางและหน้าตัดของชิ้นงานเสมอกับขอบของท่อพีวีซี จากนั้นใส่อะคริลิก เรซิน ชนิดก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (รูปที่ 6) ลงในท่อพีวีซีอีกด้าน หลังจากอะคริลิก เรซินก่อดัวชัดเจนชัดกระดาศทรายเบอร์ 400 อีกครั้งจนหน้าตัดของชิ้นงานเสมอกับขอบของท่อพีวีซี (รูปที่ 7) นำชิ้นงานมาเป่าทราย อะลูมิเนียม ออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ด้วยเครื่องเป่าทราย (รูปที่ 8) เพ็นบลาสเตอร์ทู (PenBlaster II, Shofu Inc, Kyoto, Japan) ความดัน 0.5 เมกะปาสคาล วางห่างจากหัวเป่า 10 มิลลิเมตรเป็นเวลา 5 วินาทีจากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Branson 5210, Branson Ultrasonic Co., Germany) 10 นาทีในน้ำกลั่น (รูปที่ 9) เพื่อทำความสะอาดชิ้นงาน แล้วยกขึ้น ทิ้ง ให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง



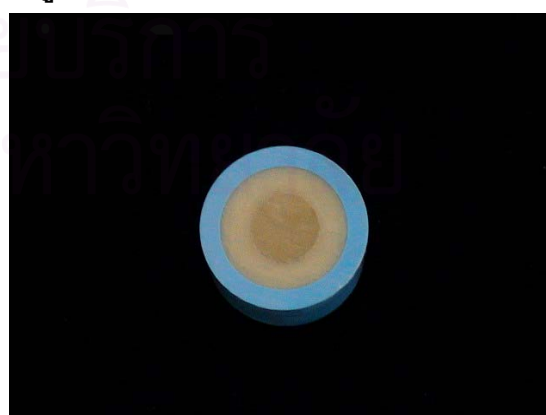
รูปที่ 4 แสดงชิ้นโลหะหล่อผสม 2 ขนาด



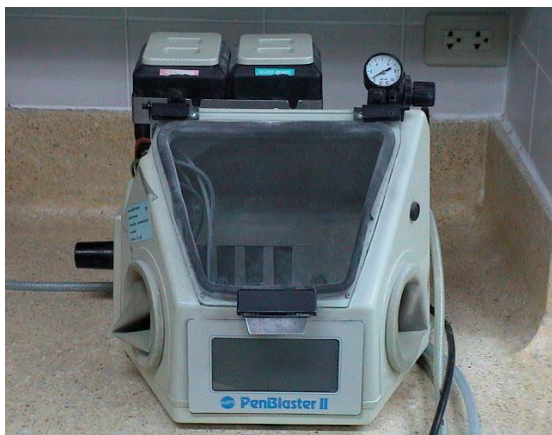
รูปที่ 5 แสดงท่อพีวีซีขนาด 22 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 แสดงอะคริลิกเรซินชนิดยูนิฟาสต์



รูปที่ 7 แสดงโลหะหล่อผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรที่ยึดกับท่อพีวีซี



รูปที่8 แสดงเครื่องเป่าทราย



รูปที่9 แสดงเครื่องอัลตราโซนิก

ขั้นตอนการยัดชิ้นโลหะหล่อผสม

ทำการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานโลหะหล่อผสมแต่ละชนิดทั้งสองขนาดที่ละคู่จนครบ 100 คู่ จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแต่ละคู่ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มละ 50 คู่ (ตารางที่3) โดยกลุ่มที่ 1 ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ กลุ่มที่ 2 ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี โดยแบ่งกลุ่มย่อยเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์(กลุ่มควบคุม)และกลุ่มที่ใช้กาวไพโรเมอร์ดังนี้

โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม

- กลุ่มที่ 1 ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์
- กลุ่มที่ 2 ใช้เมตาฟอสต์
- กลุ่มที่ 3 ใช้ซีซีดี ทู โอเพคไพโรเมอร์
- กลุ่มที่ 4 ใช้เมทัลไพโรเมอร์ ทู
- กลุ่มที่ 5 ใช้อัลลอยไพโรเมอร์

โลหะหล่อผสมผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง

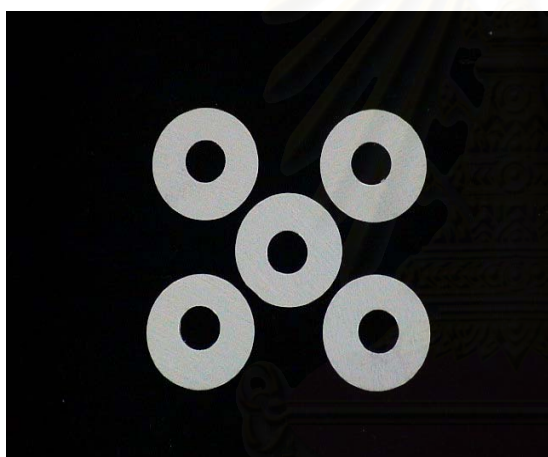
- กลุ่มที่ 1 ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์
- กลุ่มที่ 2 ใช้วี ไพโรเมอร์
- กลุ่มที่ 3 ใช้เมทัลไทท์
- กลุ่มที่ 4 ใช้เมทัลไพโรเมอร์ ทู
- กลุ่มที่ 5 ใช้อัลลอยไพโรเมอร์

ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็นกลุ่มย่อยกลุ่มละ 10 คู่

| โลหะหล่อผสมจำนวน 200 คู่ | | | |
|---|---|--|--|
| นิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมจำนวน 100 คู่ | | ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงจำนวน 100 คู่ | |
| พานาเวีย เอฟ 50 คู่ | ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี 50 คู่ | พานาเวีย เอฟ 50 คู่ | ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี 50 คู่ |
| ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ 10 คู่ เมตาฟอสต์ 10 คู่ ซีสிட ทู โอเพคไพรเมอร์ 10 คู่ เมทัลไพรเมอร์ ทู 10 คู่ อัลลอยไพรเมอร์ 10 คู่ | ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ 10 คู่ เมตาฟอสต์ 10 คู่ ซีสิด ทู โอเพคไพรเมอร์ 10 คู่ เมทัลไพรเมอร์ ทู 10 คู่ อัลลอยไพรเมอร์ 10 คู่ | ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ 10 คู่ วี ไพรเมอร์ 10 คู่ เมทัลไทท์ 10 คู่ เมทัลไพรเมอร์ ทู 10 คู่ อัลลอยไพรเมอร์ 10 คู่ | ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ 10 คู่ วี ไพรเมอร์ 10 คู่ เมทัลไทท์ 10 คู่ เมทัลไพรเมอร์ ทู 10 คู่ อัลลอยไพรเมอร์ 10 คู่ |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำเทปกาวด้านเดียวที่มีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร (รูปที่10) มาติดบนกึ่งกลางโลหะหล่อผสมขนาด 9 มิลลิเมตร ทั้ง 20 ชิ้น เพื่อควบคุมพื้นที่การยึดติดให้เท่ากันทุกชิ้น (รูปที่11) นำชิ้นงานขนาด 7 มิลลิเมตรที่เป็นคู่กันมายึดติดด้วยกาวไพโรเมอร์และเรซินซีเมนต์ โดยผสมตามอัตราส่วนของบริษัทผู้ผลิตกำหนด กดด้านบนชิ้นงานขนาดเล็กด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model 471, Pacific transducer Co., CA,U.S.A.) ขนาดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (รูปที่12) เพื่อควบคุมน้ำหนักที่ใช้ในการยึดชิ้นงานทั้งสองขนาดให้เท่ากันทุกชิ้นเป็นเวลา 10 นาที ก่อนซีเมนต์ก่อตัวเชื่อมซีเมนต์ส่วนเกินออก(สำหรับพานาเวีย เอฟ ฉายแสงรอบชิ้นงาน 4 ตำแหน่งๆละ 20 วินาที จากนั้นฉีดออกซีการด์ทู โดยรอบบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาก่อตัว 90 นาที นำชิ้นงานที่ยึดเรียบร้อยแล้ว (รูปที่13) นำไปแช่น้ำกลั่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water baths,WBU 45,Memmert GmbH Co.,KG Germany) ปรับอุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (รูปที่ 14) แล้วยกขึ้นทิ้งไว้ให้แห้ง



รูปที่ 10 เทปกาวด้านเดียวมีรูตรงกลาง



รูปที่ 11 แสดงการติดเทปกาวบนกึ่งกลางชิ้นโลหะหล่อผสมขนาด 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 12 แสดงเครื่องดูโรมิเตอร์



รูปที่ 13 แสดงชิ้นงานที่ยึดเรียบร้อยแล้วก่อนการทดสอบ



รูปที่14 แสดงอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน

นำชิ้นงานทั้งหมดมาทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน (Universal testing machine , Instron 5566 H1612 Ltd.,U.K.) โดยตั้งค่าความเร็วหัวทดสอบ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาทีและใช้โหลดเซลล์ขนาด 10 กิโลนิวตัน(รูปที่15) ยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจับและให้แนวของหัวทดสอบอยู่บริเวณรอยต่อ และขนานไปกับรอยต่อของชิ้นงานทั้งสองขนาด (รูปที่16) ทำการทดสอบแรงเฉือนจนครบทุกคู่และบันทึกค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนโดยแยกตามชนิดของโลหะหล่อผสมที่ใช้

จากนั้นนำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์ซูมสเตอริโอ (Zoom stereo microscope, EMZ Series, Meiji Techro Co.,Ltd.,Japan)กำลังขยาย 30 เท่า(รูปที่17)เพื่อบันทึกลักษณะการแตกหักดังนี้

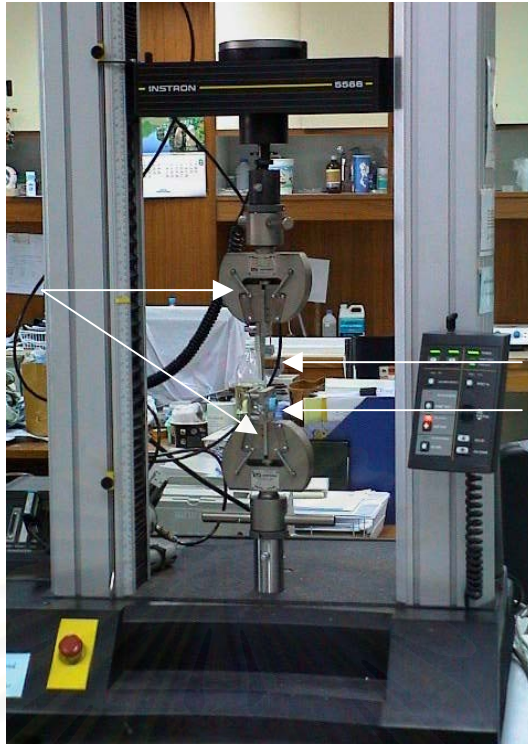
A = การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับโลหะ

C = การแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์

M = การแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมกัน
หรือการแตกหักแบบผสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

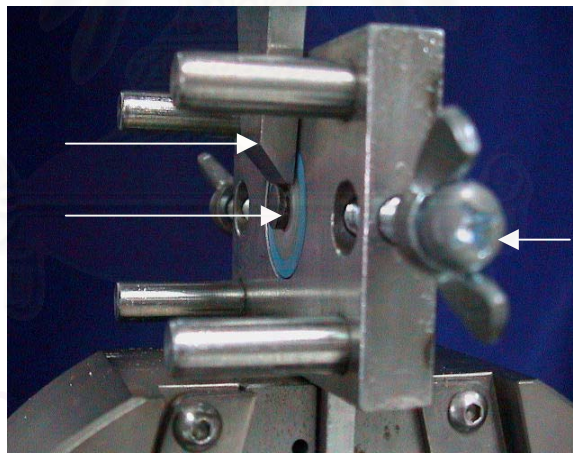
แกนจับหัวทดสอบและ
แกนจับแท่นยึดชิ้นงาน



หัวทดสอบ
แท่นยึดชิ้นงานทดสอบ

รูปที่15 แสดงเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน

หัวทดสอบของเครื่องอินสตรอน
ชิ้นงานที่พร้อมทดสอบ



ตัวจับท่อพีวีซีเข้ากับแท่นยึดชิ้นงาน

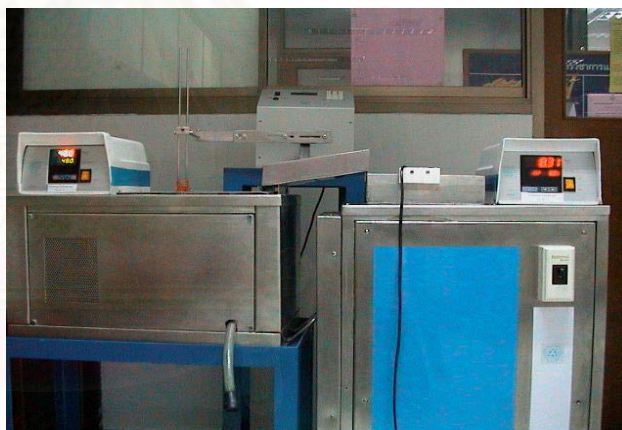
รูปที่16 การทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว

ขั้นตอนการทำเทอร์โมไซคลิก

นำชิ้นงานกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของกลุ่มที่ใช้กาวยาไรเมอร์และกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวยาไรเมอร์ โดยแยกตามชนิดของเรซินซีเมนต์และชนิดของโลหะหล่อผสม มาเตรียมพื้นผิวและยึดชิ้นงานอีกครั้ง จากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิปรับอุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมงแล้วยกขึ้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิก (รูปที่ 18) เพื่อประเมินความแข็งแรงของการยึดติดของเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสมในอ่างแช่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส สลับกับอ่างแช่ที่มีอุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียส อ่างละ 30 วินาที และระยะเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอ่างน้ำ 10 วินาที จำนวน 10000 รอบ ยกขึ้นทิ้งให้แห้ง นำชิ้นงานทั้งหมดมาทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน บันทึกค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว แล้วนำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์ซุมสเตอร์ไอ เพื่อบันทึกลักษณะการแตกหัก



รูปที่ 17 แสดงกล้องจุลทรรศน์ซุมสเตอร์ไอ



รูปที่ 18 แสดงเครื่องเทอร์โมไซคลิก

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของชิ้นงานทั้งหมดบันทึกค่าลงในตารางผลการทดลองจากนั้นวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่น 10.0 (SPSS version 10.0) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหนึ่งปัจจัยและสองปัจจัย (1-way and 2-way ANOVA) เพื่อดูผลของปัจจัยคือ ชนิดของเรซินซีเมนต์ ชนิดของกาวไพรเมอร์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองชนิด ทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย หลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparisons) ชนิดทูกีย์ (Tukey) กำหนดระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$ วิเคราะห์ลักษณะการแตกหักด้วยสถิติทดสอบไคสแควร์ (Chisquare test) เทคนิคเอ็กแซกต์ (Exact) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการแตกหักกับชนิดของเรซินซีเมนต์ และวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวลักษณะการแตกหักของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยการทดสอบสมมติฐานของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร

สำหรับกลุ่มที่ทำเทอร์โมไซคลิกนำค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวที่ได้บันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก ด้วยการทดสอบสมมติฐานของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากรแบบจับคู่ (pair-sample t test) เพื่อดูผลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก กำหนดระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$ และวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวลักษณะการแตกหักของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยการทดสอบสมมติฐานของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

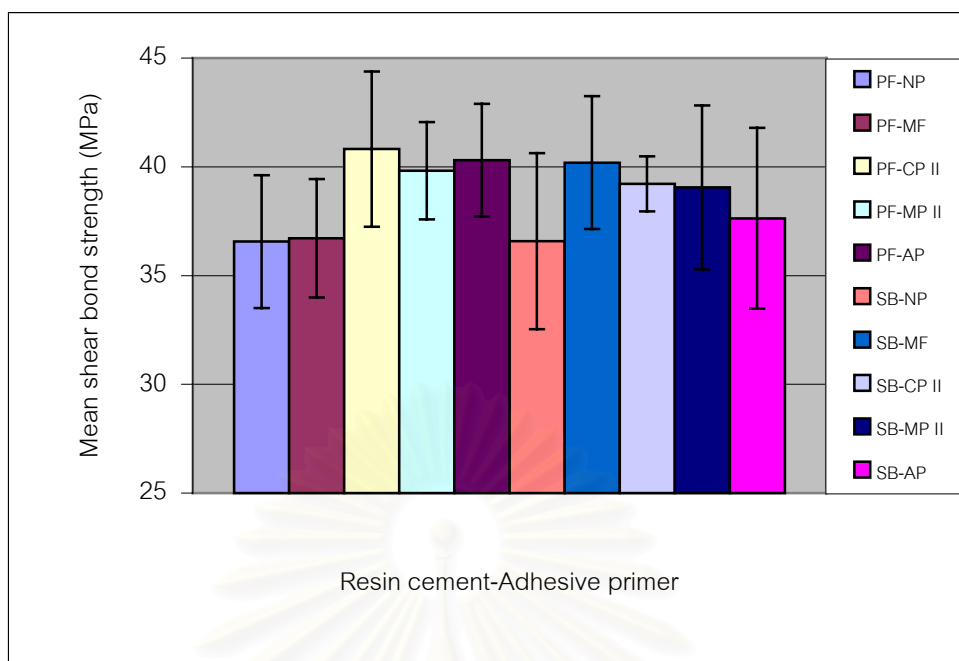
โลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม

จากการวิจัยพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่แตกต่างกันและมีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์(ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Primer | Panavia F | | Super-bond C&B | |
|-------------------------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Mean | Standard deviation | Mean | Standard deviation |
| No Primer | 36.56090 | 3.05993 | 36.58560 | 4.04465 |
| METAFAST | 36.70150 | 2.72379 | 40.19390 | 3.05040 |
| Cesead II Opaque Primer | 40.81570 | 3.56745 | 39.21100 | 1.26404 |
| METAL PRIMER II | 39.81710 | 2.24123 | 39.05450 | 3.76801 |
| ALLOY PRIMER | 40.30280 | 2.58915 | 37.63400 | 4.15220 |

จากรูปที่ 19 เรซินซีเมนต์ ทั้ง 2 ชนิดให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ทั้งในกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ทุกกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยกลุ่มที่ใช้ซีดีดี ทู โอเพคไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และกลุ่มที่ใช้เมตาฟาสต์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี และในกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่ำสุด



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFast,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER,PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,MPa=Megapascal

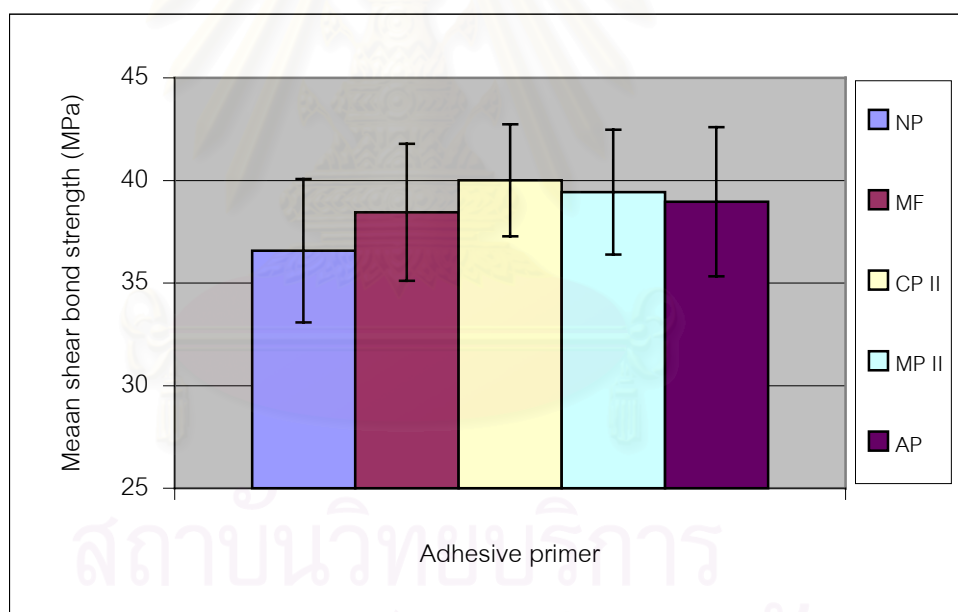
รูปที่ 19 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียนกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง(ตารางที่ 31 ของภาคผนวก) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์หรืออิทธิพลร่วมของปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์และปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ ส่วนปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์ไม่พบว่ามีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยโดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ (ตารางที่ 5 และรูปที่ 20) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อยได้แก่ซีดี ทู โอเพคไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทู อัลลอยไพรเมอร์ เมตาฟาสต์และกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มที่มีใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่ในกลุ่มที่มีใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิดซีดี ทู โอเพคไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการใช้กาวไพรเมอร์

ตารางที่ 5 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมโดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| adhesive primer | N | Subset for alpha = .05 | |
|-------------------------|----|------------------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| no primer | 20 | 36.57325 | |
| metafast | 20 | 38.44770 | 38.44770 |
| alloy primer | 20 | 38.96840 | 38.96840 |
| metal primer II | 20 | 39.43580 | 39.43580 |
| cesead opaque primer II | 20 | | 40.01335 |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER,MPa=Megapascal

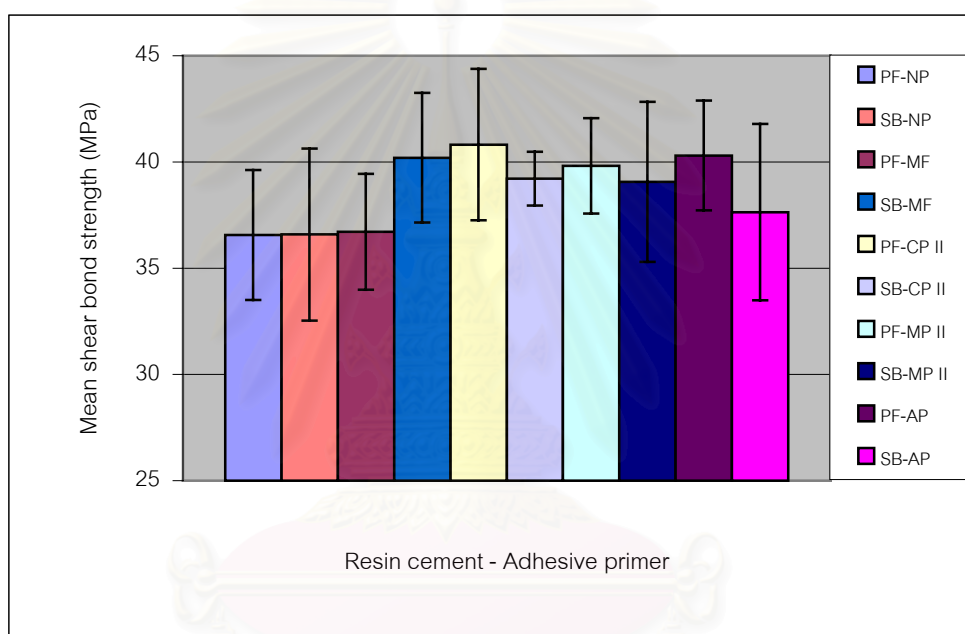
รูปที่ 20 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับการใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์โดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากผลการวิจัย (ตารางที่6) เมื่อเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีของทูกี สามารถวิเคราะห์ได้ว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยชนิดเรซินซีเมนต์และปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ แสดงว่าในกลุ่มโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบริลเลียมมีเพียงปัจจัยชนิดของกาวไพรเมอร์เท่านั้นที่มีผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและพบว่าในทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$)

ตารางที่ 6 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| resin*adhesive | N | Subset for alpha = .05 |
|--------------------------------------|----|------------------------|
| | | 1 |
| panavia F*no primer | 10 | 36.56090 |
| superbondC&B*no primer | 10 | 36.58560 |
| panavia F*metafast | 10 | 36.70150 |
| superbondC&B*alloy primer | 10 | 37.63400 |
| superbondC&B*metal primer II | 10 | 39.05450 |
| superbondC&B*cesead II opaque primer | 10 | 39.21100 |
| panavia F*metal primer II | 10 | 39.81710 |
| superbondC&B*metafast | 10 | 40.19390 |
| panavia F*alloy primer | 10 | 40.30280 |
| panavia F*cesead II opaque primer | 10 | 40.81570 |

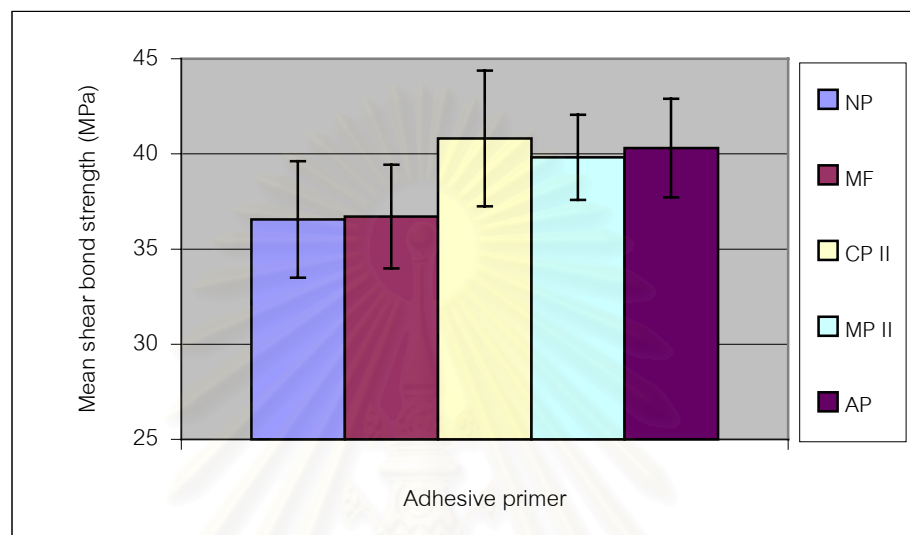
ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยในทุกกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด (รูปที่ 21) มีค่ามากกว่าในกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มที่ใช้ซีดีต ทู โอเพคไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทู และ อัลลอยไพรเมอร์ ที่ใช้ร่วมกับพานาเวีย เอฟ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยสูงกว่าที่ใช้ร่วมกับซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ในขณะที่ในกลุ่มที่ใช้ร่วมกับเมตาฟาสต์ และในกลุ่มควบคุมที่ใช้ร่วมกับพานาเวีย เอฟมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยน้อยกว่าในกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) ของความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยในทุกกลุ่มการทดลอง



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER,PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,MPa=Megapascal

รูปที่ 21 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียนกับการใช้และไม่ใช้ กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ผลการทดลองของการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ (รูปที่ 22) ร่วมกับการใช้กาวไพรเมอร์ ในทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยในกลุ่มที่ใช้ซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์มีค่าสูงสุด รองลงมาคืออัลลอยไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทู และที่ใช้ร่วมกับเมตาฟาสต์ มีค่าต่ำสุด



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER,MPa=Megapascal

รูปที่ 22 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของ โลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิด พานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว(ตารางที่ 32 ของภาคผนวก) ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ พบว่ามีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม

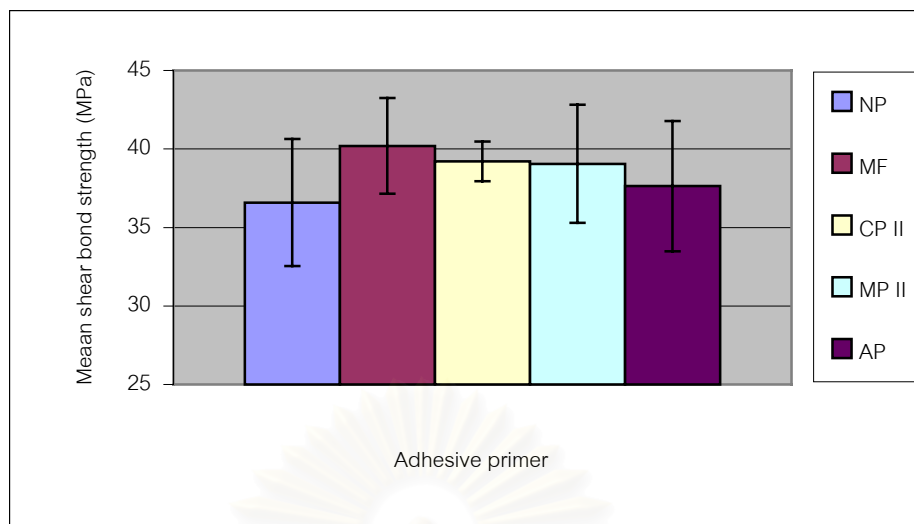
ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (ตารางที่ 7) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทุ อัดลอยไพรเมอร์ และซีลีด ทุ โอเพคไพรเมอร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่มีการใช้เมตาฟาสต์ และเมทัลไพรเมอร์ ทุ แต่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการใช้กาวไพรเมอร์ชนิดอัดลอยไพรเมอร์ และซีลีด ทุ โอเพคไพรเมอร์ โดยในกลุ่มเมตาฟาสต์ เมทัลไพรเมอร์ ทุ และอัดลอยไพรเมอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย

ตารางที่ 7 แสดงการแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| adhesive primer | N | Subset for alpha = .05 | | |
|-------------------------|----|------------------------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| no primer | 10 | 36.56090 | | |
| metafast | 10 | 36.70150 | 36.70150 | |
| metal primer II | 10 | 39.81710 | 39.81710 | 39.81710 |
| alloy primer | 10 | | 40.30280 | 40.30280 |
| cesead II opaque primer | 10 | | | 40.81570 |

ในกลุ่มการทดลองของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (รูปที่ 23) พบว่าในทุกกลุ่มที่มีการใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มที่ใช้เมตาฟาสต์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด ตามด้วยกลุ่มที่ใช้ซีลีด ทุ โอเพคไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทุ และอัดลอยไพรเมอร์ตามลำดับ

จากตารางที่ 33 ของภาคผนวก เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยในทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)



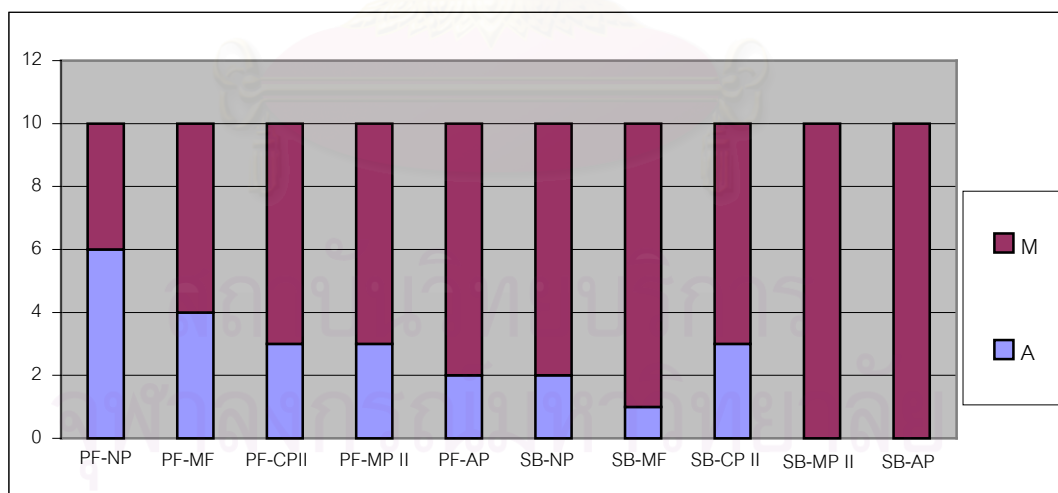
NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER ,MPa=Megapascal

รูปที่ 23 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิด ซุปเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ผลการวิเคราะห์ความถี่และลักษณะของการแตกหัก(ตารางที่ 8 และรูปที่24) พบว่าของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดในทุกกลุ่มการทดลองมีลักษณะของการแตกหักสองลักษณะคือการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะหรือการแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะผสมกันหรือการแตกหักแบบผสม(ไม่พบการแตกหักภายในชั้นของเรซินซีเมนต์) โดยมีแนวโน้มการแตกหักแบบผสมมากขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิด ซุปเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีลักษณะการแตกหักแบบผสมมากกว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทูและอัลลอยไพรเมอร์มีลักษณะการแตกหักแบบผสมเท่านั้น

ตารางที่ 8 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

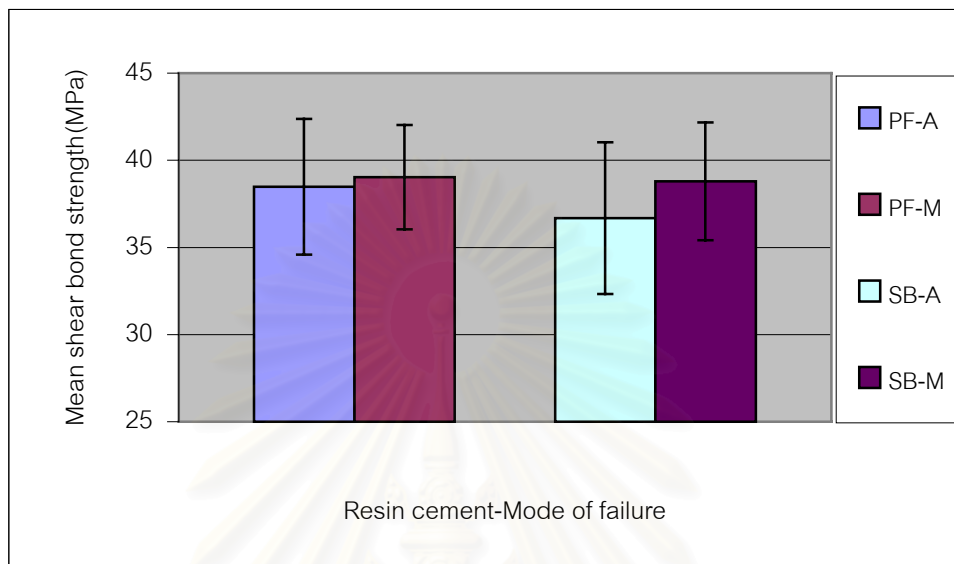
| Resin * Adhesive | | Adhesive failure | | Mixture of adhesive failure & cohesive failure | |
|------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| | | Count | Mean shear bond strength(SD) | Count | Mean shear bond strength(SD) |
| Panavia F | no primer | 6 | 36.31633(3.84341) | 4 | 36.92775(1.78064) |
| | metafast | 4 | 36.26525(3.35938) | 6 | 36.99233(2.51580) |
| | cesead II opaque primer | 3 | 39.74767(2.45441) | 7 | 41.27343(4.03326) |
| | metal primer II | 3 | 41.84333(0.93612) | 7 | 38.94871(2.07605) |
| | alloy primer | 2 | 42.51000(4.13233) | 8 | 39.75100(2.10706) |
| Superbond C&B | no primer | 2 | 31.36250(1.58321) | 8 | 37.89137(3.30637) |
| | metafast | 1 | 40.30900(0) | 9 | 40.18111(3.23515) |
| | cesead II opaque primer | 3 | 39.01300(1.75544) | 7 | 39.29586(1.15824) |
| | metal primer II | 0 | - | 10 | 39.05450(3.76801) |
| | alloy primer | 0 | - | 10 | 37.63400(4.15220) |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,MP II=METAL PRIMER II, AP=ALLOY PRIMER, PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,A=adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure

รูปที่ 24 แสดงความถี่ของลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

เมื่อวิเคราะห์เรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด (รูปที่ 25) โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์พบว่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของการแตกหักแบบผสมมีค่ามากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ



PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure,MPa=Megapascal

รูปที่ 25 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับเรซินซีเมนต์2ชนิด โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากการวิเคราะห์ (ตารางที่ 34 ของภาคผนวก) ความสัมพันธ์ของลักษณะการแตกหักกับเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง ด้วยสถิติไคสแควร์ที่ประมาณค่าด้วยเทคนิคเอ็กแซ็กท์ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยชนิดเรซินซีเมนต์กับลักษณะของการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$)หรือไม่พบความแตกต่างของลักษณะการแตกหักของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดทั้งในกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

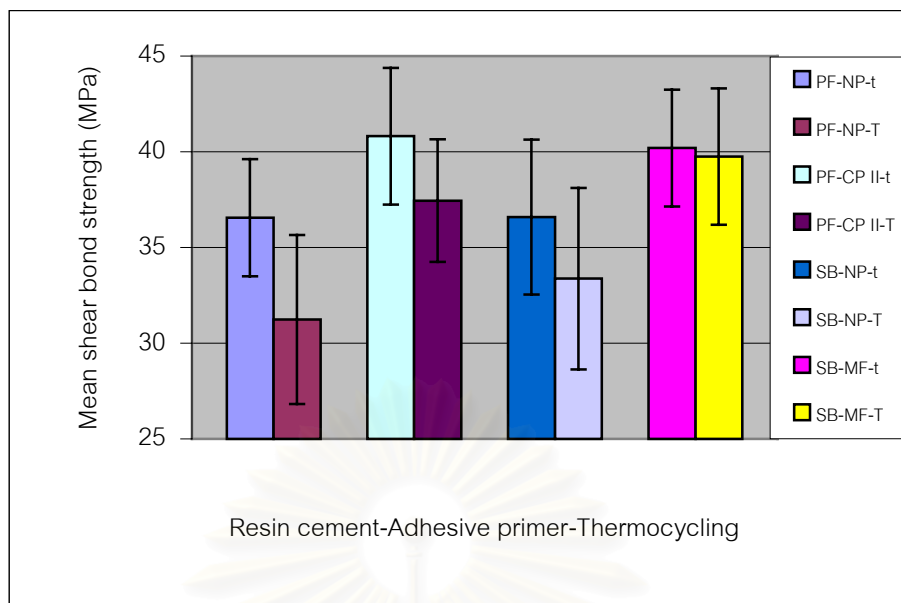
เมื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(ตารางที่35และ36ของภาคผนวก)พบว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$)กับการแตกหักแบบผสม

จากผลการทดลองพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มเรซินซีเมนต์พานาเวีย เอฟกาวไพรเมอร์ชนิดซีซีดี ทุ โอเพคไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดและกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี กาวไพรเมอร์ชนิดเมตาฟาสต์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด ดังนั้นจึงใช้ซีซีดี ทุ โอเพคไพรเมอร์เป็นตัวแทนกลุ่มการใช้กาวไพรเมอร์ที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ เมตาฟาสต์เป็นตัวแทนกลุ่มการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี และกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด โดยนำชิ้นงานมาเตรียมพื้นผิวและยึดอีกครั้ง จากนั้นนำชิ้นงานผ่านกระบวนการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 10000 รอบ ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว

จากการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 10000 รอบ (ตารางที่ 9 และรูปที่ 26) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง โดยในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลดลงมากกว่ากลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ และกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลดลงมากกว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

ตารางที่ 9 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| Primer | Panavia F | | Super-bond C&B | |
|-------------------------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Mean | Standard deviation | Mean | Standard deviation |
| No Primer | 31.24010 | 4.41134 | 33.37080 | 4.04465 |
| METAFAST | - | - | 39.74530 | 3.50518 |
| Cesead II Opaque Primer | 37.44840 | 3.20913 | - | - |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer,PF=Panavia F,
SB=Super-bond C&B,MPa=Megapascal,t=thermocycling 0,T=thermocycling 10000

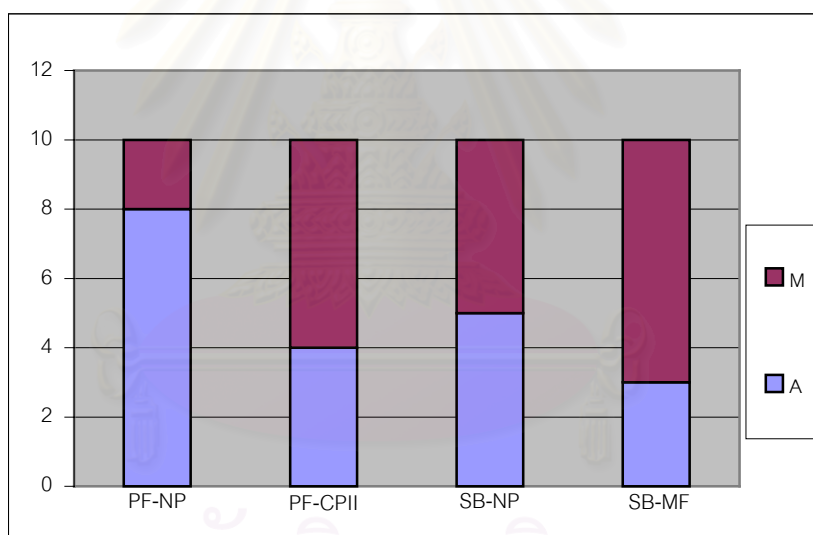
รูปที่ 26 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิงของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

จากการวิเคราะห์(ตารางที่ 10และรูปที่ 27) พบว่าแนวโน้มลักษณะของการแตกหักของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดเป็นการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะหรือเป็นการแตกหักแบบผสม เมื่อใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์พบว่าความถี่ของการแตกหักเป็นการแตกหักแบบผสมเพิ่มมากขึ้น การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะลดลง และในกลุ่มที่ไม่มีการใช้กาวไพรเมอร์มีลักษณะระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักและค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเสียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิก

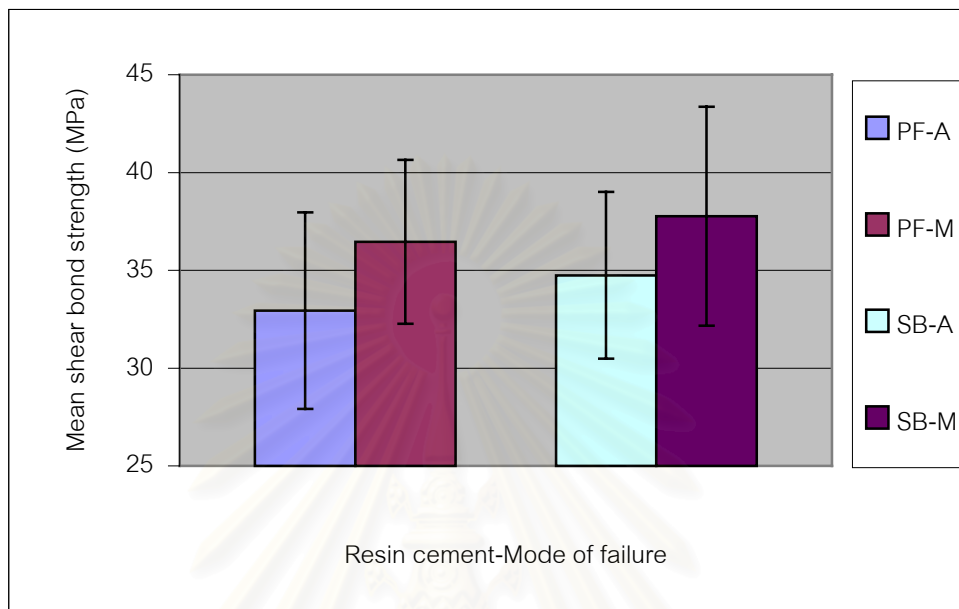
| Resin * Adhesive | | Adhesive failure | | Mixture of adhesive failure & cohesive failure | |
|------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| | | Count | Mean shear bond strength(SD) | Count | Mean shear bond strength(SD) |
| Panavia F | no primer | 8 | 31.05300(4.81044) | 2 | 31.98850(3.42876) |
| | cesead II opaque primer | 4 | 36.69700(3.21063) | 6 | 37.94933(3.40583) |
| Superbond C&B | no primer | 5 | 33.01400(4.52661) | 5 | 33.72760(5.45088) |
| | metafast | 3 | 37.63100(1.63743) | 7 | 40.65143(3.78717) |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),MF=METAFAST,CP II=Cesead II Opaque Primer II, PF=Panavia, SB=Super-bond C&B, A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure

รูปที่ 27 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเสียมกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิก

จากรูปที่ 28 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวของเรซินซีเมนต์กับโลหะของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดโดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ มีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะของการแตกหักแบบผสม



PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure,MPa=Megapascal

รูปที่ 28 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเดียวกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดโดยไม่คำนึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

หลังการทำเทอร์โมไซคลิง ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ (ตารางที่ 37ของภาคผนวก)พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง ซึ่งผลการทดลองมีความแตกต่างกับในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์(ตารางที่38 ของภาคผนวก)พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$) ระหว่างก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง ซึ่งแสดงว่าการทำเทอร์โมไซคลิงมีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเฉพาะในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟเท่านั้น

จากตารางที่ 39ของภาคผนวก พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ซีดี 70 โอเพค ไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว เฉลี่ยก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการทำเทอร์โมไซคลิง แสดงว่าผลการทำ เทอร์โมไซคลิงไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย

ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ เมตาฟอสต์ ก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิง (ตารางที่ 40 ของภาคผนวก) ไม่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญ($P>0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย (ตารางที่41 และ 42ของภาคผนวก) พบว่า เรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อไม่ค้ำนึ่งถึงชนิดกาวไพรเมอร์มีผลการทดสอบเหมือนก่อนการทำ เทอร์โมไซคลิงคือค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซิน ซีเมนต์กับโลหะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับการแตกหักแบบผสม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

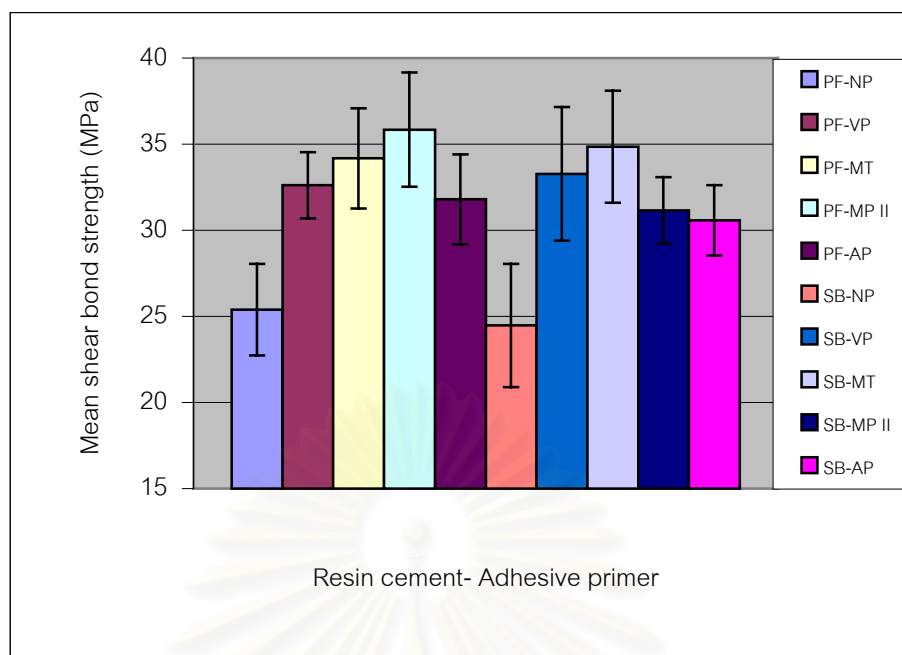
โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง

ผลการวิจัย (ตารางที่ 11) พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี เมื่อใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ พบว่ามีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์โดยกลุ่มพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับเมทัลไพรเมอร์ ทุ้มี่ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดและในกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่ำสุด

ตารางที่ 11 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Primer | Panavia F | | Super-bond C&B | |
|-----------------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Mean | Standard deviation | Mean | Standard deviation |
| No Primer | 25.38880 | 2.65435 | 24.47120 | 3.58369 |
| V PRIMER | 32.61210 | 1.92063 | 33.27470 | 3.87673 |
| METALTITE | 34.17380 | 2.90833 | 34.85100 | 3.24872 |
| METAL PRIMER II | 35.84410 | 3.31035 | 31.15810 | 1.92959 |
| ALLOY PRIMER | 31.79530 | 2.61132 | 30.58120 | 2.04131 |

จากรูปที่ 29 การใช้เรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดร่วมกับกาวไพรเมอร์ทั้ง 4 ชนิด พบว่ามีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าในกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟร่วมกับเมทัลไพรเมอร์ ทุ้มี่ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่เมทัลไทท์ วี ไพรเมอร์และอัลลอยไพรเมอร์ ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดคือเมทัลไทท์ วี ไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทุ้มี่ และอัลลอยไพรเมอร์



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,
AP=ALLOY PRIMER,PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,MPa=Megapascal

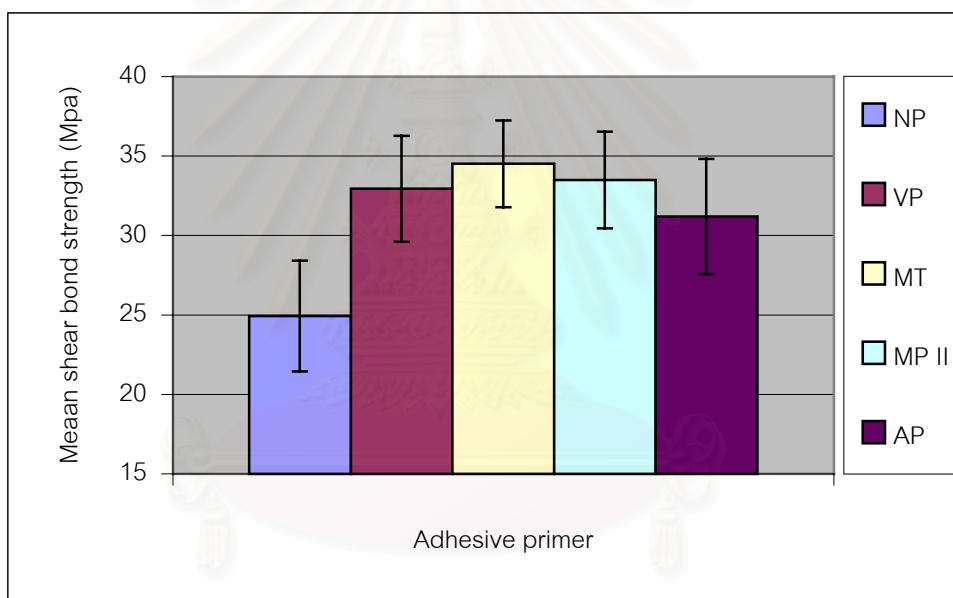
รูปที่ 29 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้ กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (ตารางที่ 43 ของภาคผนวก) ของ เรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย ซึ่งเกิดจากปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์หรืออิทธิพลร่วมของ ปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์และปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ ส่วนปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์ไม่มีอิทธิพล ต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยโดยไม่คำนึง ถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ (ตารางที่ 12 และรูปที่ 30) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย เรียงจากมากไปน้อยได้แก่เมทัลไทท์ เมทัลไพรเมอร์ ทู วีไพรเมอร์ อัลลอยไพรเมอร์ และกลุ่มที่ไม่ใช้ กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่า อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์และกลุ่มที่ใช้เมทัลไทท์ที่มีค่า ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้อัลลอย ไพรเมอร์ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) กับกลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทูและวี ไพรเมอร์ โดยกลุ่มอัลลอยไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) กับกลุ่มวี ไพรเมอร์และเมทัลไพรเมอร์ ทู

ตารางที่ 12 แสดงการแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบเชิงซ้อนปัจจัยชนิดกาวไพรเมอร์ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงโดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| adhesive primer | N | Subset for alpha = .05 | | |
|-----------------|----|------------------------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| no primer | 20 | 24.93000 | | |
| alloy primer | 20 | | 31.18825 | |
| v primer | 20 | | 32.94340 | 32.94340 |
| metal primer II | 20 | | 33.50110 | 33.50110 |
| metaltite | 20 | | | 34.51240 |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,AP=ALLOY PRIMER, MPa=Megapascal

รูปที่ 30 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับการใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยไม่คำนึงถึงชนิดของเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากตารางที่ 13 วิเคราะห์ได้ว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพหรือซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ในทุกกลุ่มที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยทุกกลุ่มการทดลองของกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิด

พานาเวีย เอฟ ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์ และ วี ไพรเมอร์ แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

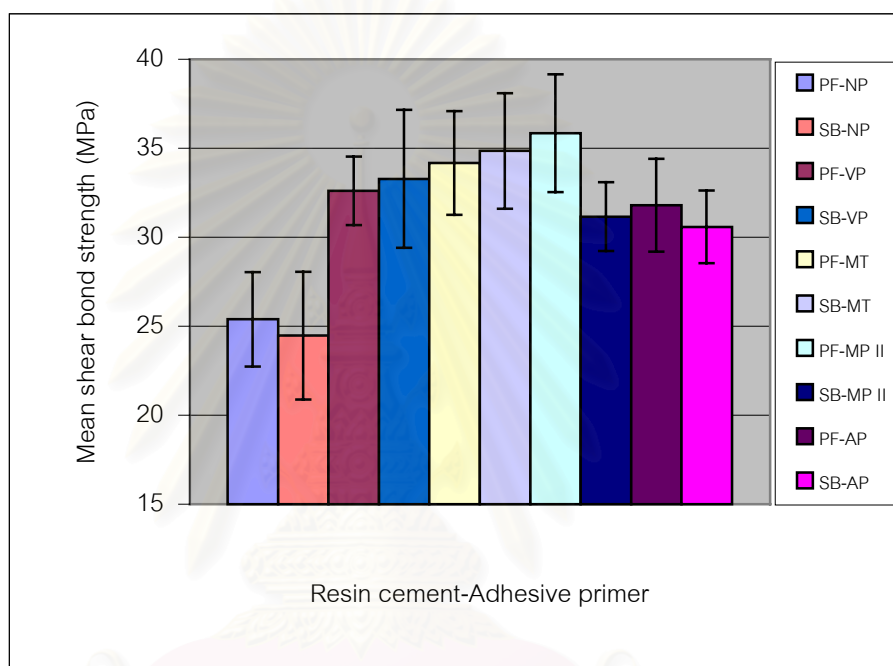
เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ทู มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าในกลุ่มของซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้อัลลอยไพรเมอร์ และ เมทัลไพรเมอร์ ทูอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในกลุ่มที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์ วี ไพรเมอร์ และอัลลอยไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับกลุ่มของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์ หรือ วี ไพรเมอร์ หรือ เมทัลไพรเมอร์ ทู

เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าที่ใช้ร่วมกับอัลลอยไพรเมอร์ และกลุ่มที่ใช้ร่วมกับอัลลอยไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทู และ วี ไพรเมอร์ ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างจากการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ร่วมกับอัลลอยไพรเมอร์ วี ไพรเมอร์ หรือ เมทัลไทท์อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ตารางที่ 13 แสดงการแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| resin*primer | N | Subset for alpha = .05 | | | |
|------------------------------|----|------------------------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| superbondC&B*no primer | 10 | 24.47120 | | | |
| panavia F*no primer | 10 | 25.38880 | | | |
| superbondC&B*alloy primer | 10 | | 30.58120 | | |
| superbondC&B*metal primer II | 10 | | 31.15810 | 31.15810 | |
| panavia F*alloy primer | 10 | | 31.79530 | 31.79530 | 31.79530 |
| panavia F*v primer | 10 | | 32.61210 | 32.61210 | 32.61210 |
| superbondC&B*v primer | 10 | | 33.27470 | 33.27470 | 33.27470 |
| panavia F*metaltite | 10 | | 34.17380 | 34.17380 | 34.17380 |
| superbondC&B*metaltite | 10 | | | 34.85100 | 34.85100 |
| panavia F*metal primer II | 10 | | | | 35.84410 |

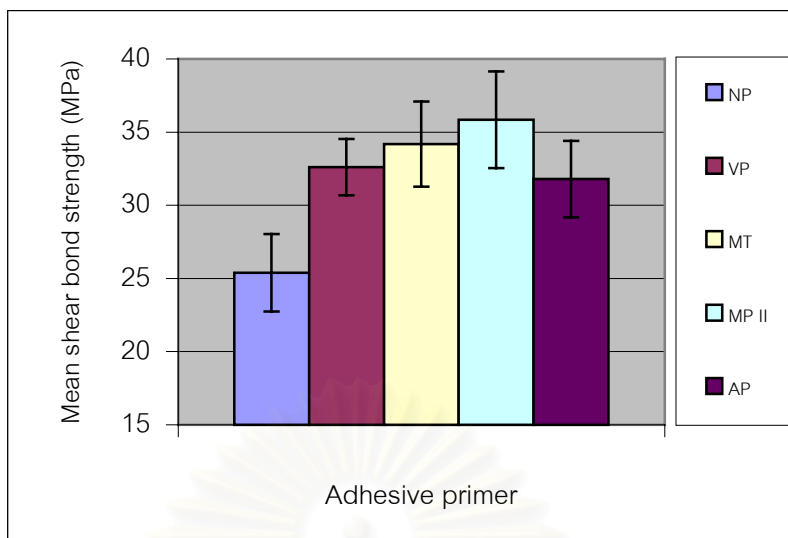
ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยในทุกกลุ่ม(รูปที่31)ที่ใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด มีค่ามากกว่าในกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ และกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทุ และอัลลอยไพรเมอร์ที่ใช้ร่วมกับพานาเวีย เอฟ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ร่วมกับซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ในขณะที่ในกลุ่มที่ใช้วี ไพรเมอร์ และเมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่าในกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,
AP=ALLOY PRIMER,PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,MPa=Megapascal

รูปที่ 31 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับการใช้และไม่ใช้ไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากรูปที่ 32 พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้กาวไพรเมอร์ร่วมด้วย มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิด อัลลอยไพรเมอร์ วี ไพรเมอร์ เมทัลไทท์และเมทัลไพรเมอร์ ทุ ตามลำดับ



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,
AP=ALLOY PRIMER,MPa=Megapascal

รูปที่ 32 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ทีซี และไมใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

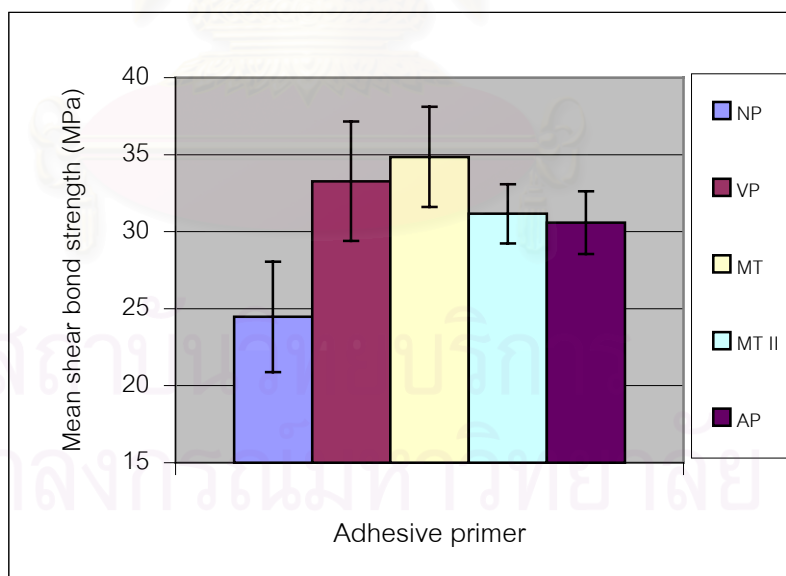
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (ตารางที่ 44 ของภาคผนวก) พบว่า มีอย่างน้อย 2 กลุ่มของการใช้เรซินซีเมนต์ ชนิดพานาเวีย เอฟทีซีและไมใช้กาวไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 14 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทุ เมทัลไทท์ และ วี ไพรเมอร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่กลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่าในกลุ่มที่ใช้อัลลอยไพรเมอร์และกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยในกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดอัลลอยไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)กับกลุ่มที่ใช้วี ไพรเมอร์และเมทัลไทท์ ทุกกลุ่มการทดลองที่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์

ตารางที่ 14 แสดงการสรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| adhesive primer | N | Subset for alpha = .05 | | |
|-----------------|----|------------------------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| no primer | 10 | 25.38880 | | |
| alloy primer | 10 | | 31.79530 | |
| v primer | 10 | | 32.61210 | 32.61210 |
| metaltite | 10 | | 34.17380 | 34.17380 |
| metal primer II | 10 | | | 35.84410 |

เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (รูปที่ 33) ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยกลุ่มที่ใช้เมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวรองลงมาได้แก่ วี ไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ และอัลลอยไพรเมอร์ ตามลำดับ



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,

AP=ALLOY PRIMER,MPa=Megapascal

รูปที่ 33 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

จากการวิเคราะห์ (ตารางที่ 45 ของภาคผนวก) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ แสดงว่ามีอย่างน้อย 2 กลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 15 พบว่าการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ กลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์ วี ไพรเมอร์ และเมทัลไพรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่ในกลุ่มที่ใช้เมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มที่ใช้อัลลอยไพรเมอร์ และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่ใช้อัลลอยไพรเมอร์ เมทัลไพรเมอร์ ทุ และวี ไพรเมอร์ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

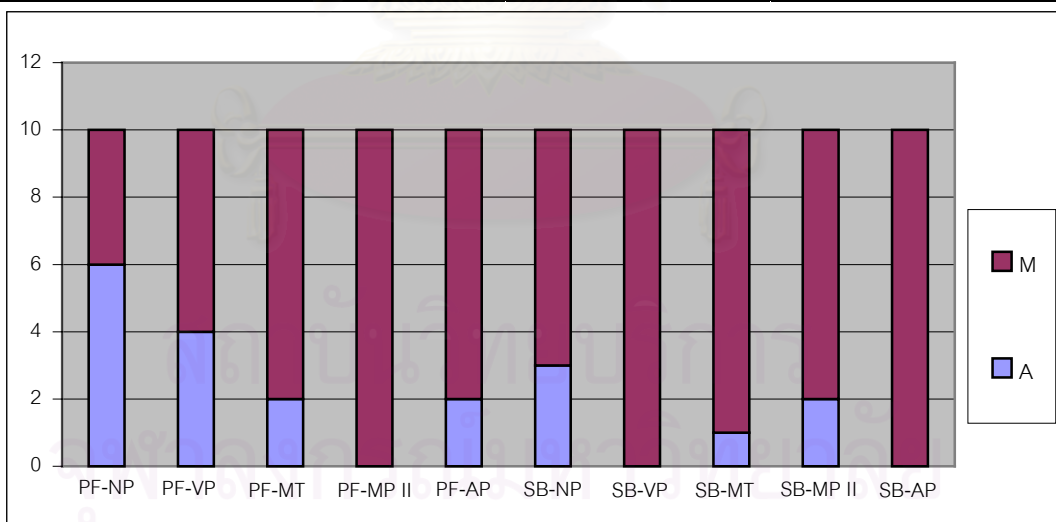
ตารางที่ 15 แสดงการสรุปการเปรียบเทียบเชิงซ้อนค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์ บี ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| adhesive primer | N | Subset for alpha = .05 | | |
|-----------------|----|------------------------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| no primer | 10 | 24.47120 | | |
| alloy primer | 10 | | 30.58120 | |
| metal primer II | 10 | | 31.15810 | 31.15810 |
| v primer | 10 | | 33.27470 | 33.27470 |
| metaltite | 10 | | | 34.85100 |

จากตารางที่ 16 และรูปที่ 34 พบว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดคือพานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ในกลุ่มควบคุมมีลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะมากกว่าหรือใกล้เคียงแบบผสม เมื่อใช้กาวไพรเมอร์ร่วมด้วยพบว่าแนวโน้มการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะลดลงและมีการแตกหักแบบผสมเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าในบางกลุ่มมีลักษณะการแตกหักแบบผสมทั้งหมดเช่น กลุ่มของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้วี ไพรเมอร์ หรืออัลลอยไพรเมอร์ และกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับเมทัลไพรเมอร์ ทุ

ตารางที่ 16 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

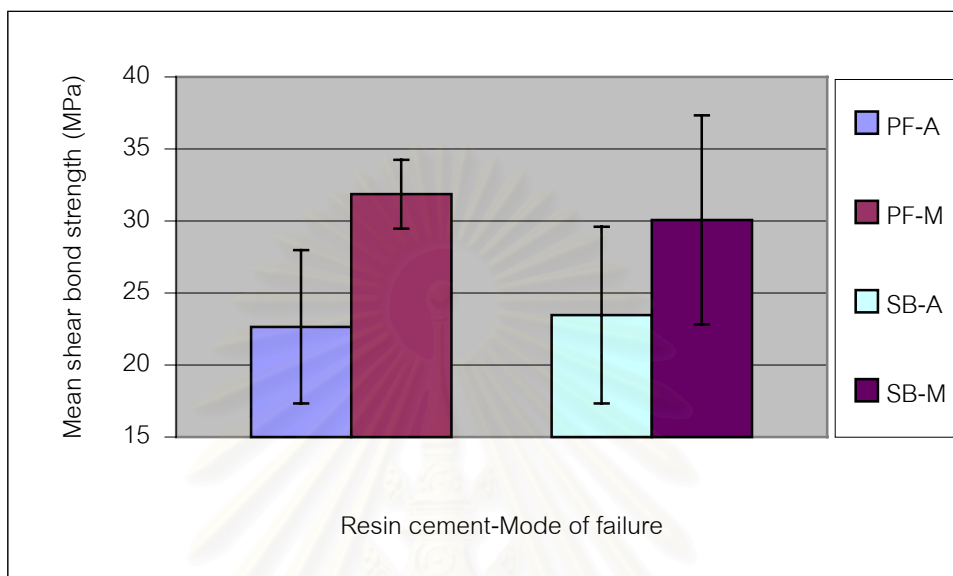
| Resin * Adhesive | | Adhesive failure | | Mixture of adhesive failure & cohesive failure | |
|------------------|-----------------|------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| | | Count | Mean shear bond strength(SD) | Count | Mean shear bond strength(SD) |
| Panavia F | no primer | 6 | 25.41617(2.99178) | 4 | 25.34775(2.49302) |
| | v primer | 4 | 31.11900(1.34080) | 6 | 33.60750(1.60896) |
| | metaltite | 2 | 31.21500(4.66690) | 8 | 34.91350(2.78355) |
| | metal primer II | 0 | - | 10 | 35.84410(3.31035) |
| | alloy primer | 2 | 31.49850(0.17183) | 8 | 31.86950(2.95493) |
| Superbond C&B | no primer | 3 | 27.41533(2.80291) | 7 | 23.20943(3.23328) |
| | v primer | 0 | - | 10 | 33.27470(3.87673) |
| | metaltite | 1 | 32.73800(0) | 9 | 33.08578(3.35460) |
| | metal primer II | 2 | 31.64800(1.84696) | 8 | 31.03562(2.05282) |
| | alloy primer | 0 | - | 10 | 30.58120(2.04131) |



NP=No primer(กลุ่มควบคุม),VP=V PRIMER,MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,AP=ALLOY PRIMER,
PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B, A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure

รูปที่ 34 กราฟแสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

เมื่อวิเคราะห์เรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิด (รูปที่ 35) โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์พบว่า ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของการแตกหักแบบผสมกันมีค่ามากกว่าการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ



PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure,MPa=Megapascal

รูปที่ 35 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับ เรซินซีเมนต์ 2 ชนิด โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก

จากการวิเคราะห์(ตารางที่ 46 ของภาคผนวก)ความสัมพันธ์ของลักษณะการแตกหักกับ เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก ด้วยสถิติไคสแควร์ที่ ประมาณค่าที่สำคัญด้วยเทคนิคเอ็กแซ็กท์ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยชนิดเรซิน ซีเมนต์กับลักษณะของการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$)หรือไม่พบความแตกต่างของลักษณะ การแตกหักของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดทั้งในกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

เมื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย (ตารางที่ 47 และ 48 ของภาคผนวก) เมื่อ ไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึด เหนี่ยวเฉลี่ยของการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)กับการแตกหักแบบผสม ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่มี ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะไม่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับการแตกหักแบบผสม

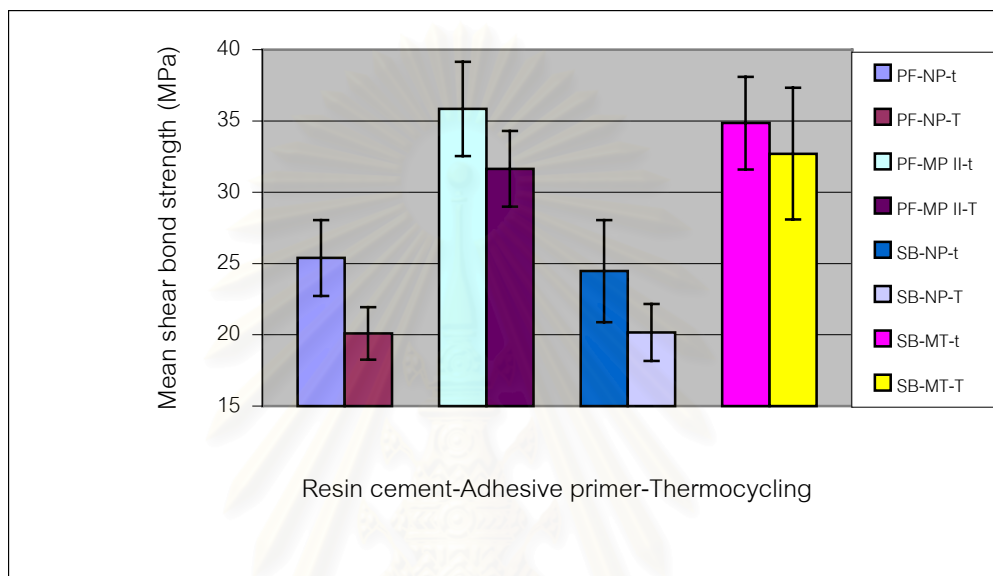
จากผลการทดลองพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยในกลุ่มเรซินซีเมนต์พานาเวีย เอฟที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดและกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด ดังนั้นจึงใช้เมทัลไพรเมอร์ ทุ เป็นตัวแทนกลุ่มการใช้กาวไพรเมอร์ที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ เมทัลไทท์เป็นตัวแทนกลุ่มการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี และกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด โดยนำชิ้นงานมาเตรียมพื้นผิวและยึดอีกครั้ง จากนั้นนำชิ้นงานผ่านกระบวนการทำเทอร์โมไซคลิกจำนวน 10000 รอบ ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว

ผลการทดลอง(ตารางที่ 17) พบว่าทุกกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีหลังการทำเทอร์โมไซคลิกมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทุ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟและกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์ให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

ตารางที่ 17 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิก

| Primer | Panavia F | | Super-bond C&B | |
|-----------------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Mean | Standard deviation | Mean | Standard deviation |
| No Primer | 20.10120 | 1.84377 | 20.17170 | 2.00038 |
| METALTITE | - | - | 32.71060 | 4.62438 |
| METAL PRIMER II | 31.64900 | 2.65317 | - | - |

จากการทำเทอร์โมไซคลิกจำนวน 10000 รอบ(รูปที่ 36) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก โดยในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลดลงมากกว่ากลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์และกลุ่มที่เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้กาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลดลงมากกว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี



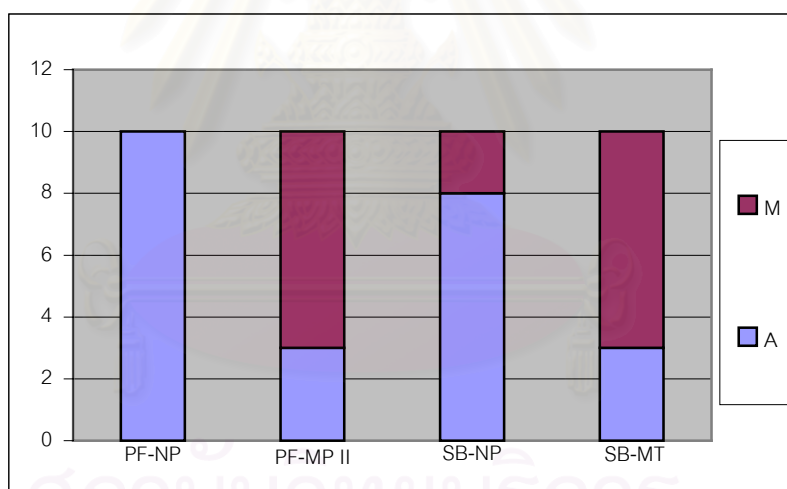
NP=No primer(กลุ่มควบคุม), MT=METALTITE,MP II=METAL PRIMER II,PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B, MPa=Megapascal,t=thermocycling 0,T=thermocycling 10000

รูปที่ 36 แสดงแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิกกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

จากการวิเคราะห์ (ตารางที่ 18และ รูปที่ 37) พบว่าแนวโน้มลักษณะการแตกหักของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดเป็นการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะหรือเป็นการแตกหักแบบผสม เมื่อใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์พบว่าความถี่ของการแตกหักเป็นการแตกหักแบบผสมเพิ่มมากขึ้น การแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะลดลง เหมือนกับผลการทดลองกลุ่มโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบริลเลียม และกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะสูงสุด โดยเฉพาะกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ พบลักษณะการแตกหักเป็นแบบระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะเท่านั้น

ตารางที่ 18 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักและค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิก

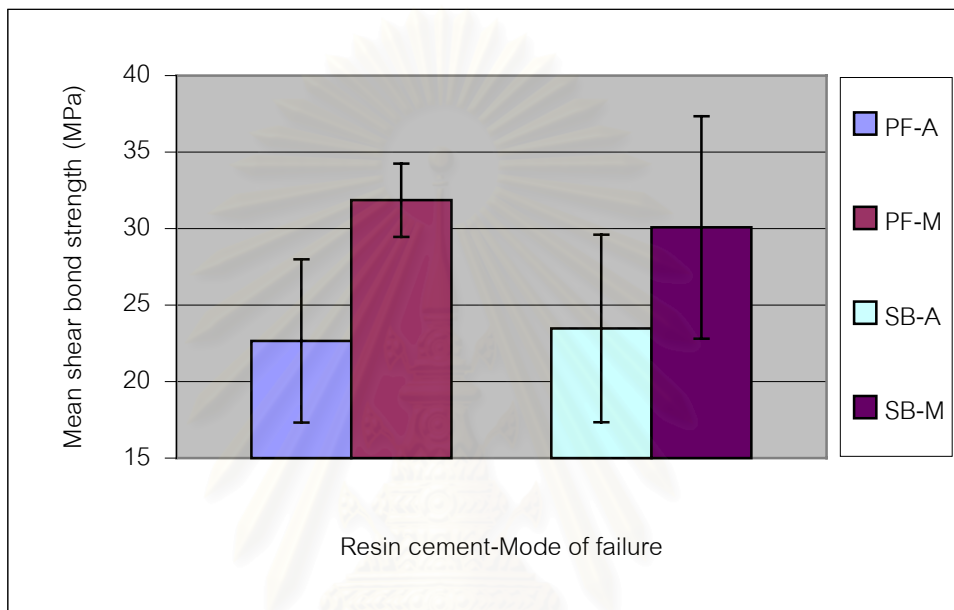
| Resin * Adhesive | | Adhesive failure | | Mixture of adhesive failure & cohesive failure | |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | | Count | Mean shear bond strength | Count | Mean shear bond strength |
| Panavia F | no primer | 10 | 20.10120(1.84377) | 0 | - |
| | metal primer II | 3 | 31.16700(3.74141) | 7 | 31.85557(2.39310) |
| Superbond C&B | no primer | 8 | 20.31638(2.09887) | 2 | 19.59300(2.08314) |
| | metaltite | 3 | 31.86867(5.20355) | 7 | 33.07143(4.74820) |



PF=Panavia F, SB=Super-bond C&B, A=Adhesive failure, M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure

รูปที่ 37 แสดงความถี่ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิก

จากรูปที่ 38 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ พบว่าลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักแบบผสม



PF=Panavia F,SB=Super-bond C&B,A=Adhesive failure,M=Mixture of adhesive failure and cohesive failure,MPa=Megapascal

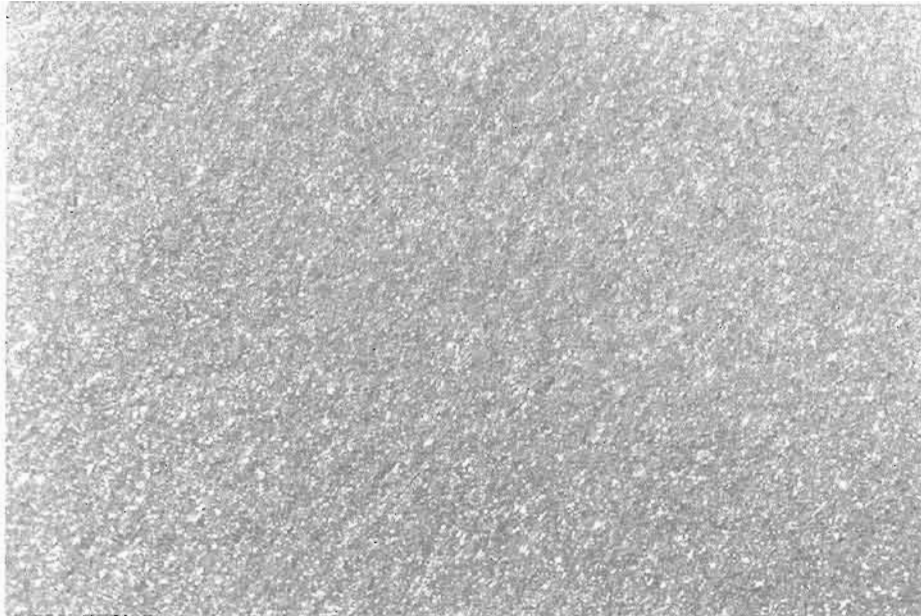
รูปที่ 38 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย(หน่วยเป็นเมกะปาสคาล)ลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด โดยไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

หลังการทำเทอร์โมไซคลิงเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟและเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี กลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ (ตารางที่ 49 และ 50 ของภาคผนวก) พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง ซึ่งแสดงว่าการทำเทอร์โมไซคลิงมีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลดลง

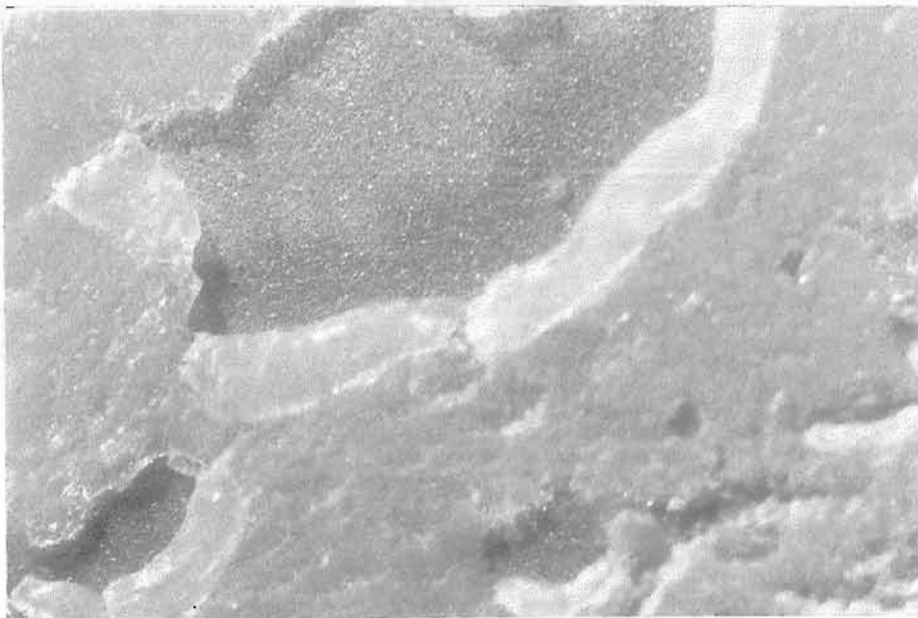
จากตารางที่ 51 ของภาคผนวก พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพีที่ใช้เมทัลไพโรเมอรัท มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน เฉลี่ยก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการทำเทอร์โมไซคลิง แสดงว่าผลการทำเทอร์โมไซคลิงมีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยลดลง

ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิง (ตารางที่ 52 ของภาคผนวก) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในกลุ่มที่ใช้เมทัลไทท์ แสดงว่าการทำเทอร์โมไซคลิงไม่มีผลต่อกลุ่มการทดลองนี้

เมื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย (ตารางที่ 53 และ 54 ของภาคผนวก) พบว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพโรเมอรัทหลังการทำเทอร์โมไซคลิง มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับการแตกหักแบบผสม



รูปที่ 39 แสดงลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ
(กำลังขยาย 30 เท่า)



รูปที่ 40 แสดงลักษณะการแตกหักภายในชั้นของเรซินซีเมนต์และรอยต่อพื้นผิวเรซิน
ซีเมนต์กับโลหะผสมกันหรือการแตกหักแบบผสม (กำลังขยาย 30 เท่า)

บทที่ 5

บทวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดสอบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์กับวัสดุทางทันตกรรมในห้องปฏิบัติการ ได้แนวทางมาจากข้อกำหนดขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ที่ อาร์ 11405 Matsumura และคณะ(1999) ; Yoshida และคณะ(1999) เพื่อให้ได้วิธีการทดลองที่มีมาตรฐาน และสามารถนำผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ โดยใช้ชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตรยึดอยู่ภายในท่อพีวีซี ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดก่อก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี โดยชิ้นงานถูกแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการก่อตัวของอะคริลิกเรซิน หลังการก่อก่อตัวชิ้นงานขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 จนหน้าตัดของชิ้นงานเสมอขอบของท่อพีวีซี และทำการเตรียม พื้นผิวของโลหะหล่อผสมด้วยการเป่าด้วยทรายอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอน ความดัน 0.3 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 5 วินาที ตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ จากนั้นทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกในน้ำกลั่น 10 นาที แล้วยกชิ้นทิ้งให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง ทำการจำกัดพื้นที่ในการยึดติดของโลหะ หล่อผสมด้วยเทปกาวด้านเดียว ที่มีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรเพื่อป้องกันวัสดุเกินออกนอกบริเวณยึดติด ซึ่งจะทำให้ค่าแรงพันธะที่ได้จากการทดลองสูงขึ้น ทำการยึดชิ้นงานและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาแข็งตัว 90 นาที (Braga, 1999) นำไปแช่ในน้ำกลั่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ปรับอุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ยกชิ้นทิ้งไว้ให้แห้ง ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน โดยตั้งค่าความเร็วหัวทดสอบ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาทีตามข้อกำหนดขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ อาร์ 11405 และใช้โหลดเซลขนาด 10 กิโลนิวตัน เนื่องจากการทดลองนำร่องและการศึกษาที่ผ่านมา ความแข็งแรงของแรงยึดเฉือน มีค่าต่ำกว่า 10 กิโลนิวตันและเหตุผลด้านความปลอดภัยของตัวเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอนตามคำแนะนำของบริษัทให้ใช้หัวกดที่มีขนาดสูงกว่าแรงยึดของชิ้นงาน โดยยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจับและให้แนวของหัวทดสอบอยู่บริเวณรอยต่อ และขนานไปกับรอยต่อของชิ้นงานทั้งสองขนาดเพื่อทดสอบแรงยึดเฉือน

เรซินซีเมนต์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากงานวิจัยของ เฉลิมศักดิ์ สิริวิชัย (2543) ซึ่งพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยสูงสุดมากกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดเอบีซี คาลิบรา และวีไลเอ็กซ์อาร์คอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และเป็นเรซินซีเมนต์ที่มีใช้ในคลินิกบัณฑิตศึกษาและคลินิกทั่วไป

กาวไพรเมอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยเป็นกาวไพรเมอร์ที่วางขายในท้องตลาดทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันแนวโน้มการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ในการยึดโลหะหล่อผสมสูงขึ้น โดยกาวไพรเมอร์แต่ละชนิดมีกลุ่มทำงานที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติในการยึดติดแตกต่างกัน เมตาฟอสต์และซีลด์ ทุ โอเพคไพรเมอร์สามารถยึดติดได้ดีกับโลหะหล่อผสมพื้นฐาน วิ ไพรเมอร์และ เมทัลไทท์สามารถยึดติดได้ดีกับโลหะหล่อผสมมีตระกูล เมทัลไพรเมอร์ ทุ และอัลลอยไพรเมอร์ สามารถยึดติดได้ดีกับโลหะหล่อผสมทั้งสองประเภท งานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกกาวไพรเมอร์หลายชนิดเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์

ขั้นตอนการเก็บชิ้นงาน (storage of specimens) ตามข้อกำหนดขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ทีอาร์ 11405กำหนดดังนี้

ประเภทที่ 1 การทดสอบระยะสั้น (short term test) จะทำการทดสอบหลังเก็บชิ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ประเภทที่ 2 การทดสอบโดยผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 5 ± 2 องศาเซลเซียส และ 55 ± 2 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ หลังจากเก็บชิ้นตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยให้ระยะเวลาที่ชิ้นงานสัมผัสกับน้ำในแต่ละอย่างอย่างน้อย 20 วินาที และระยะเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอ่างน้ำ 5 – 10 วินาที

ประเภทที่ 3 การทดสอบระยะยาว (long term test) จะทำการทดสอบหลังแช่ชิ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกการเก็บชิ้นงานประเภทที่ 1 และ 2 โดยใช้เป็นตัวประเมินค่าความแข็งแรงของแรงยึดเค้นซึ่งสอดคล้องกับ Moulin และคณะ (1999) โดยมีการแช่ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบลงในน้ำที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยไม่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกเป็นการทดสอบระยะสั้นและทดสอบด้วยการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกในอ่างแช่ อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียสสลับกับอ่างแช่ที่มีอุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียสอ่างละ 30 วินาทีและระยะเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอ่างน้ำ 10 วินาที จำนวน 10000 รอบ เพื่อลดเวลาเวลาการทดสอบชิ้นงานในระยะยาว ก่อนนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน โดยใช้ความเร็วของหัวทดสอบ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

ขั้นตอนการประเมินแรงพันธะของชิ้นงานเป็นการทดสอบพันธะการต้านแรงเค้น ซึ่งสามารถทำนายผลได้ดีกว่าการทดสอบการต้านแรงดึง เนื่องจากลักษณะแรงที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับแรงที่เกิดขึ้นในช่องปาก แต่อย่างไรก็ตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นในช่องปากมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของแรงยึดเค้นเป็นเพียงแรงในทิศทางเดียว ไม่สามารถที่จะลอกเลียนลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในช่องปากได้ (Retief, 1991) การทดสอบความแข็งแรงของ

แรงยึดเหนี่ยวสามารถเตรียมเครื่องมือได้ง่าย และผลกระทบจากทิศทางของแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน
ทดสอบมีน้อย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิจารณ์ผลการทดลอง

โลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม

จากผลการทดลองก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก พบว่าผลการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟและชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงปัจจัยชนิดเรซินซีเมนต์ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของงานวิจัยนี้ ขณะที่กาวไพรเมอร์ที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวของโลหะหล่อผสม เพื่อหวังผลในการช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับโลหะหล่อผสมนั้น ในกลุ่มโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นไปมาก นักเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ โดยมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้นไปอย่างมีนัยสำคัญ เฉพาะในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้ร่วมกับอัลลอยไพรเมอร์ และ ซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์เท่านั้น ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของการใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติในการยึดติดกับโลหะหล่อผสมประเภทนี้ เพราะเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟมีองค์ประกอบของเอ็มดีพีที่มีกลุ่มทำงานที่อยู่ในรูปของ ฟอสเฟต และซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีโมโนเมอร์ที่มีองค์ประกอบของไฟร์เมตาและมีหมู่ทำงานอยู่ในรูปคาร์บอกซิล เช่นเดียวกับกาวไพรเมอร์ โดยกาวไพรเมอร์ที่มีองค์ประกอบเป็น เอ็มดีพีคือ ซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์และอัลลอยไพรเมอร์ ส่วนกาวไพรเมอร์ที่มีองค์ประกอบเป็นไฟร์เมตา คือ เมตาฟอสต์ ในขณะที่เมทัลไพรเมอร์ ที่มีองค์ประกอบของเอ็มอีพีเอส ซึ่งมีหมู่ทำงานเป็นฟอสเฟต รวมอยู่ด้วย ทำให้สามารถยึดติดกับออกไซด์ของโลหะได้เช่นกัน โดยปลายด้านที่มีหมู่ฟอสเฟตหรือคาร์บอกซิลของกาวไพรเมอร์จะเข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมของโลหะเช่น นิกเกิล โครเมียม โคบอลต์ ทองแดงและดีบุก ในชั้นออกไซด์บนผิวโลหะ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีพันธะคู่เข้าทำปฏิกิริยากับเรซินซีเมนต์ ทำให้ผลของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนักในระหว่างกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ชนิดต่างๆหรือไม่ใช้กาวไพรเมอร์เนื่องจากมีลักษณะการยึดติดที่คล้ายคลึงกัน

โดยในกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้นไปนั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณของหมู่ทำงานที่เพิ่มมากขึ้นเช่น กลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟร่วมกับอัลลอยไพรเมอร์ หรือซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์ เพราะเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟมีความหนืดสูง เนื่องจากปริมาณของวัสดุอุดแทรกค่อนข้างมาก การไหลแผ่ต่ำ ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยากับพื้นผิวโลหะหล่อผสมมีน้อย การใช้กาวไพรเมอร์ที่มีกลุ่มทำงานชนิดเดียวกันร่วมด้วย ทำให้กลุ่มทำงานมีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะมากขึ้น แต่ในเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี การใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ไม่พบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย อาจเนื่องมาจากความหนืดของซีเมนต์ค่อนข้างต่ำเพราะไม่มีวัสดุอุดแทรก ทำให้สามารถไหลแผ่ไปบนพื้นผิวโลหะได้ดีกว่า

เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะได้ดีกว่าโดยไม่ต้องอาศัยกาวไพรเมอร์

ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง เรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดมีการแตกหักของชิ้นงานเป็น 2 ลักษณะคือ การแตกหักบริเวณรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสม โดยมีลักษณะการแตกหักเป็นแบบผสมมากขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ ยกเว้นกลุ่มซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่เข้าร่วมกับซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์ที่มีการแตกหักแบบผสมน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ 1 ชิ้นและพบว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์มีลักษณะของการแตกหักแบบผสมมากกว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟเมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่มกาวไพรเมอร์ชนิดเดียวกัน ยกเว้นกลุ่มซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์ที่มีการแตกหักแบบผสมเท่ากัน และในกลุ่มที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทูและอัลลอยไพรเมอร์มีลักษณะของการแตกหักแบบผสมเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกาวไพรเมอร์ช่วยให้เรซินซีเมนต์เกิดการไหลแผ่และการยึดติดของชิ้นงานดีขึ้น ทำให้แนวโน้มการแตกหักแบบผสมมากขึ้นด้วย

เมื่อทำการทดสอบด้วยกระบวนการเทอร์โมไซคลิง พบว่ากลุ่มที่มีการใช้กาวไพรเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟมีความทนทานต่อการแผ่ผ่านของน้ำและความต้านทานต่อความเค้นของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยทั้งก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิง ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ที่พบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน กลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิงไม่แตกต่างกันทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์

แม้ว่าแรงเค้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจมีผลเพียงเล็กน้อยต่อเรซินซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการยึดติดชิ้นงาน แต่ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่ลดลง อาจมาจากผลการทำเทอร์โมไซคลิง ซึ่งทำให้สามารถประเมินผลได้ในระยะเวลาสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยการแช่น้ำเป็นเวลานาน ผลการทดสอบอาจแตกต่างจากนี้ถ้าเพิ่มจำนวนรอบในการทำเทอร์โมไซคลิงในกรณีต้องการศึกษาผลการทดลองในระยะยาวกว่าการทดสอบนี้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดหลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงมีการลดลงของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ มีลักษณะการแตกหักแบบผสมเพิ่มมากขึ้น และพบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการแตกหักแบบผสมของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ทั้งก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิง ซึ่งเกิดจากการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของหมู่ทำงานที่สามารถยึดติดกับโลหะหล่อผสมประเภทนี้

โลหะหล่อผสม ทอง – พัลลาเดียม – เงิน – ทองแดง

ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถเลือกใช้ซีเมนต์ได้ทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยว กลุ่มที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อเทียบกับไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากโลหะหล่อผสม ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุมีตระกูล สามารถเกิดชั้นออกไซด์ได้น้อย โดยหมู่ทำงานที่เป็นฟอสเฟตในพานาเวีย เอฟ และคาร์บอกซิลในซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ไม่สามารถก่อให้เกิดพันธะทางเคมีที่แข็งแรงกับชั้นออกไซด์ของโลหะประเภทนี้ได้

โดยการทดลองนี้ใช้กาวไพรเมอร์ในการปรับสภาพพื้นผิวโลหะ 4 ชนิดคือ วีไพรเมอร์ที่มีองค์ประกอบของวีบีเอทีดีที เมทัลไทท์ที่มีองค์ประกอบของเอ็มทียูซิก เมทัลไพรเมอร์ ทูที่มีองค์ประกอบของเอ็มอีพีเอส และอัลลอยไพรเมอร์ที่มีองค์ประกอบของวีบีเอทีดีที ร่วมกับเอ็มดีพี โดยกาวไพรเมอร์ทั้ง 4 ชนิด มีหมู่ทำงาน ซึ่งอยู่ในรูปของไทอัลหรือไทโอน มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ซัลเฟอร์ (S) สามารถเกิดพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะมีตระกูลได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้กาวไพรเมอร์ทั้ง 4 ชนิดร่วมกับเรซินซีเมนต์ ทำให้ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้น โดยในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไพรเมอร์ ทูมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุด ในขณะที่ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์มีค่าสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มที่มีการใช้กาวไพรเมอร์พบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์เมทัลไพรเมอร์ทู มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่าในกลุ่มที่ใช้อัลลอยไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากการใช้กาวไพรเมอร์ชนิดอื่น ส่วนอัลลอยไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างจาก วี ไพรเมอร์และเมทัลไทท์ เช่นเดียวกับในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์ชนิดเมทัลไทท์มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์ ชนิดอัลลอยไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญและไม่แตกต่างจากการใช้กาวไพรเมอร์ชนิดอื่น แต่อัลลอยไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างจากวี ไพรเมอร์และเมทัลไพรเมอร์ ทู ทั้งนี้เนื่องจากอัลลอยไพรเมอร์มีส่วนประกอบของเอ็มดีพีร่วมด้วย ทำให้เกิดการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่ทำงานที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ หรืออาจเกิดจากเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของกลุ่มซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบของกาวไพรเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามอัลลอยไพรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ

ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงหลังการทดสอบชิ้นงานพบว่าลักษณะการแตกหักของโลหะกลุ่มนี้คล้ายคลึงกับกลุ่มโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมคือมีการแตกหักแบบผสมมากขึ้นเมื่อมีการใช้กาวไพโรเมอร์ โดยเฉพาะในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้เมทัลไพโรเมอร์ ทูและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้กับวี ไพโรเมอร์ หรืออัลลอยไพโรเมอร์มีการแตกหักเป็นแบบผสมทั้งหมด และพบว่ากลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักแบบผสมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ ซึ่งอาจเกิดจากผลการใช้กาวไพโรเมอร์ที่ช่วยเพิ่มการยึดติดของเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม ทำให้มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้นและมีลักษณะการแตกหักเป็นแบบผสมมากขึ้น

เมื่อทดสอบชิ้นงานหลังผ่านการทำเทอร์โมไซคลิงพบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์และในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับเมทัลไพโรเมอร์ ทูมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีอิทธิพลต่อกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำเทอร์โมไซคลิง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของกลุ่มที่ใช้กาวไพโรเมอร์มีค่าสูงกว่าและมีอัตราการลดลงของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์ เรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพโรเมอร์ พบว่ามีลักษณะการแตกหักเป็นแบบผสมเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับกาวไพโรเมอร์และค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับการแตกหักแบบผสม ซึ่งเกิดจากการใช้กาวไพโรเมอร์ทำให้การยึดติดระหว่างพื้นผิวดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

พานาเวีย เอฟเป็นเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของบิสฟีเอ็มเอ มีไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมธาคริเลตช่วยลดความเหนียว วัสดุอัดแทรกเป็นพลาสติกและมีหมู่ฟอสเฟตคือเอ็มดีพี ทำให้สามารถยึดติดด้วยพันธะเคมีกับวัสดุทันตกรรม เนื้อฟันและเคลือบฟัน ผลิตออกมาในรูปเพสต์ 2 ชนิด สามารถก่อกาวได้ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี การฉายแสงบริเวณขอบชิ้นงานเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการก่อกาวและป้องกันการรั่วซึมในระยะเริ่มต้น ส่วนที่ไม่ถูกแสงจะก่อกาวด้วยปฏิกิริยาเคมีและต้องใช้ออกซีการ์ตทุซึ่งเป็นสารประเภทไตรเอทิลีนไกลคอลอีตรอบรอยต่อชิ้นงานเพื่อป้องกันออกซิเจนในอากาศที่จะยับยั้งการก่อกาวของเรซินซีเมนต์ ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีลักษณะเป็นส่วนผงและส่วนเหลว โดยส่วนผงมีโพลิเมธิลเมธาคริเลตเป็นองค์ประกอบหลักและมีเมธิลเมธาคริเลตและไฟร์เมตาเป็นองค์ประกอบในส่วนเหลว ไม่มีวัสดุอัดแทรกและใช้ไตรเอทิลีนบิวทิลบอเรนเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา อัตราส่วนผงต่อส่วนเหลวที่เปลี่ยนแปลงไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง แต่จะมีผลต่อการทำงานโดยถ้ามีอัตราส่วนผงต่อส่วนเหลวสูงจะทำให้เพิ่มความผิดพลาดในแนวตั้งของการยึดได้ง่ายและถ้าอัตราส่วนมีค่าต่ำจะทำให้ควบคุมซีเมนต์ยาก(Myerและคณะ,1993) อีกทั้งมีแนวโน้มที่อาจก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกอยู่ภายในชั้นของซีเมนต์ได้ง่าย ซึ่งจะเป็นตำแหน่งอ่อนแอทำให้เกิดการแตกหัก ฉะนั้นทางคลินิกสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผงต่อส่วนเหลวได้ โดยต้องพยายามไม่ให้เกิดฟองอากาศแทรกในเนื้อซีเมนต์ซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งแรง ซีเมนต์ชนิดนี้ก่อกาวรวดเร็ว แต่สามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานได้ด้วยกรดอุณหภูมิมิซตะผสม ฉะนั้นทันตแพทย์ควรมีทักษะการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดนี้

โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมสามารถเกิดออกซิเดชันง่าย Tanakaและคณะ (1986) แนะนำการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะกลุ่มนี้ (Ni-Cr, Ni-Cr-Be, Co-Cr) โดยการเป่าทรายและทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ในสารละลายสำหรับทำความสะอาดที่มีสภาพเป็นกลางก่อนการยึดชิ้นงาน โดยเรซินซีเมนต์สามารถยึดติดโดยอาศัยกาวไพโรเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ของกลุ่มคาร์บอกซิล หรือ กลุ่มฟอสเฟต เกิดพันธะเคมีกับโลหะ โดยการเข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมของโลหะในชั้นออกไซด์ของผิวโลหะ จากงานวิจัยนี้การใช้กาวไพโรเมอร์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับสภาพพื้นผิวโลหะก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ แม้ว่าผลการทดลองก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงพบว่าค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมาก โดยสามารถใช้กาวไพโรเมอร์ชนิดเมตาฟอสต์ ซีสดี ทู โอเพคไพโรเมอร์ เมทัลไพโรเมอร์ ทู และอัลลอยไพโรเมอร์กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟและซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี โดยซีสดี ทู โอเพคไพโรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ย สูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และเมตาฟอสต์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์

ซีแอนด์บี ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของกลุ่มทำงานที่เป็นชนิดเดียวกับเรซินซีเมนต์ แต่หลังการทดสอบด้วยกระบวนการเทอร์โมไซคลิกพบว่าในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับกาวไพรเมอร์สามารถทนทานต่อการแผ่ผ่านของน้ำและความต้านทานต่อความเค้นของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมากกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ และมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์

โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงเกิดขึ้นออกไซด์ได้น้อย ไม่สามารถเกิดพันธะที่แข็งแรงกับเรซินซีเมนต์ ดังนั้นจำเป็นต้องเตรียมพื้นผิวโลหะให้มีความเหมาะสมก่อนการยึดขึ้นงานจากการทดลองพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย โดยสามารถใช้กาวไพรเมอร์ชนิดวี ไพรเมอร์ เมทัลไทท์ เมทัลไพรเมอร์ ทูและอัลลอยไพรเมอร์กับเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด โดยเมทัลไพรเมอร์ ทู มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ และเมทัลไทท์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี เมื่อมีการใช้กาวไพรเมอร์พบว่าลักษณะการแตกหักแบบผสมของเรซินซีเมนต์มากขึ้น แสดงว่ากาวไพรเมอร์ช่วยเพิ่มการยึดติดให้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้นด้วย และกลุ่มที่ใช้กาวไพรเมอร์สามารถทนทานต่ออิทธิพลการทำเทอร์โมไซคลิกได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์เนื่องจากมีอัตราการลดลงของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่า ฉะนั้นมีความจำเป็นที่ต้องมีการเตรียมพื้นผิวโลหะหล่อผสมชนิดนี้ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ซึ่งการใช้กาวไพรเมอร์ที่เหมาะสมเป็นอีกทางเลือกที่สามารถทำได้

จากผลการทดลองของโลหะหล่อผสมทั้ง 2 ชนิด พบว่าก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี มีแนวโน้มของความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างจากเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ แต่ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวอาจมีความแตกต่างเมื่อมีการใช้กาวไพรเมอร์แต่ละชนิด ซึ่งควรเลือกกาวไพรเมอร์ที่เหมาะสมกับชนิดของเรซินซีเมนต์และโลหะหล่อผสม และพบว่าการใช้กาวไพรเมอร์มีแนวโน้มของความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงขึ้นและมีแนวโน้มการแตกหักแบบผสมมากขึ้นด้วยโดยเฉพาะในกลุ่มโลหะหล่อผสมทอง -พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง การใช้กาวไพรเมอร์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ในการยึดติดโลหะผสม เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีแนวโน้มของความทนทานต่อการทำเทอร์โมไซคลิกมากกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ เนื่องจากมีการลดลงของค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยน้อยกว่า อย่างไรก็ตามผลการทำเทอร์โมไซคลิกบอกลถึงความต้านทานต่อการแผ่ผ่านของน้ำและความต้านทานต่อความเค้นของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง แต่ไม่สามารถบอกลถึงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับทางคลินิกถึงความสามารถในการคงอยู่ของชิ้นงานในสภาพช่องปากได้ โดยปราศจากการศึกษาต่อเนื่อง และปัจจุบันยังไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ชัดเจนถึงกระบวนการเกิดพันธะของ

กาวยาพรเมอรืแต่ละชนิดต่อโลหะหล่อผสม ดั่งนั้นทันตแพทยจําเป็นต้องศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นร่วมด้วย เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้กาวยาพรเมอรืให้เหมาะสมกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นหรือโลหะหล่อผสมที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม

1. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนคือปัจจัยชนิดกาวยาไรเมอร์
2. ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี
3. เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับซีสดี ทู โอเพคไพโรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวยาไรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ
4. เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับเมตาฟอสต์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้กาวยาไรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ
5. ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวยาไรเมอร์มีลักษณะการแตกหักแบบผสมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ
6. เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับซีสดี ทู โอเพคไพโรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเทอร์โมไซคลิงซึ่งแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้กาวยาไรเมอร์ที่มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเทอร์โมไซคลิง
7. เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้ร่วมกับเมตาฟอสต์และที่ไม่ใช้กาวยาไรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเทอร์โมไซคลิง
8. หลังการทำเทอร์โมไซคลิงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวยาไรเมอร์มีลักษณะการแตกหักแบบผสมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ

โลหะหล่อผสมทอง – พัลลาเดียม – เงิน – ทองแดง

1. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวคือปัจจัยชนิดกาวไพโรเมอร์หรืออิทธิพลร่วมของชนิดเรซินซีเมนต์และปัจจัยชนิดกาวไพโรเมอร์

2. ค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

3. เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับกาวไพโรเมอร์ ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกมีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญและที่ใช้ร่วมกับเมทัลไพโรเมอร์ ทุ มีค่าสูงสุด

4. เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้ร่วมกับกาวไพโรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกมีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญและที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์สูงสุด

5. เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพโรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักแบบผสมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีมีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยลักษณะการแตกหักแบบผสมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ

6. เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ร่วมกับเมทัลไพโรเมอร์ ทุ และที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์ หลังการทำเทอร์โมไซคลิกค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบก่อนเทอร์โมไซคลิก

7. เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้ร่วมกับเมทัลไทท์หลังการทำเทอร์โมไซคลิกมีความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบก่อนเทอร์โมไซคลิก และกลุ่มที่ไม่ใช้กาวไพโรเมอร์มีค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบก่อนเทอร์โมไซคลิก

8. หลังการทำเทอร์โมไซคลิกค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพโรเมอร์มีลักษณะการแตกหักแบบผสมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับโลหะ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตน์ไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช 2533:153-191.

เฉลิมศักดิ์ สิริวิชัย. แรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ 5 ชนิดกับโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรม ประดิษฐ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543:1-93.

ภาษาอังกฤษ

Antoniadou, M., Kern, M., Strub, J.R. Effect of a new metal primer on the bond strength between a resin cement and two high noble alloys. J Prosthet Dent 2000;84:554-60.

Anusavice, K.J. Phillips' Science of dental materials. 10 th ed , Saunder Company, Philadelphia 1996:273-99.

Atsuta, M., Matsumara, H., Tanaka, T. Bonding fixed prosthodontic composite resin and precious metal alloys with the use of a vinyl thiol primer and adhesive opaque resin. J Prosthet Dent 1992;67:296-300.

Barkmeier, W.W., Latta, M.A. Laboratory evaluation of a metal-priming agent for adhesive bonding. Quintessence Int 2000;31:749-52.

Blair, K.F., Koeppen, R.G., Schwartz, R.S., Davis, R.D. Microleakage associated with resin composite – cemented, cast glass ceramic restoration. Int J Prosthodont 1993;6: 579-84.

Braga, R.R., Ballester, R.Y., Carrilho, M.R.O. Pilot study on the early shear strength of porcelain-dentine bonding using dual-cure cements. J Prosthet Dent 1999;81:285-9.

Burke, F.J.T., McCaughey, A.D. Resin luting materials. The current status. Dent Update 1993;4:109-15.

- Caughman, W.F., Caughman, G.B., Dominy, W.T., Schuster, G.S. Glass ionomer and composite resin cements : effect on oral cells. J Prosthet Dent 1990 ; 63 : 513-21.
- Cobb, D.S., Vargas, M.A., Fridrich, T.A., Bouschlicher, M.R. Metal surface treatment : characterization and effect on composite-to-metal bond strength. Oper Dent 2000;25: 427-33.
- Craig, R.G. Restorative dental materials. 10 th ed. St Louis ,CV Mosby 1997:172-199.
- Creugers, N.H.J., Welle, P.R., Vrijhoef, M.M.A. Four bonding systems for resin-retained cast metal prostheses. Dent Mater 1988;4:85-8.
- Diaz-Arnold, A.M., Vargas, M.A., Haselton, D.R. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. J Prosthet Dent 1999;81:135-41.
- Eder, A., Wickens, J. Surface treatment of gold alloy for resin adhesion. Quintessence Int 1996;27:35-40.
- Gentleman, L. Noble alloys in dentistry. Curr Opin Dent.1991;2:218-21.
- Grill, V., Sandrucci, M.A., Lenarda, R.D., Basa, M., Narducci, P., Martelli, A.M., Bareggi, R. In vivo evaluation of the biocompatibility of dental alloys: fibronectin expression patterns and relationships to cellular proliferation rates. Quintessence Int 2000;31: 741-7.
- Hanson, O., Moberg, L.E. Evaluation of three silicoating methods for resin-bonded prostheses. Scand J Dent Res 1993;101:243-51.
- Hero, H., Ruyter, I.E., Waarli, M.L., Hultquist, G. Adhesion of resin to Ag-Pd alloys by means of the silicoating technique. J Dent Res 1987;66:1380-5.

- Howe, D.F., Denehy, G.E. Anterior fixed partial dentures utilizing the acid-etch technique and a cast metal framework. J Prosthet Dent 1977;37:28-31.
- Inokoshi, S., Fujitani, M., Otsuki, M., Sonoda, H., Kitasko, Y., Shimada, Y., Tagami, J. Monkey pulpal responses to conventional and adhesive luting cements. Oper Dent 1998;23:21-9.
- International Organization for Standardization 2000. ISO/FDIS 4049 Dentistry–Polymer–based filling, restoration and luting materials. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization 1994. ISO/TR 11405 Dental material. Guidance on testing of adhesion to tooth structure. Geneva, Switzerland.
- Ishijima, T., Coputo, A.A., Mito, R. Adhesion of resin to casting alloys. J Prosthet Dent 1992;67:445-9.
- Knobloch, L.A., Kerby, R.E., Seghi, R., Berlin, J.S., Lee, J.S. Fracture toughness of resin – based luting cement. J Prosthet Dent 2000;83:204–9.
- Kountouras, C.G., Howlett, J.A., Pearson, G.J. Flexural and thermal cycling of resins for veneering removable overlay dentures. J Dent 1999;27:367-72.
- Kourtis, S.G. Bond strength of resin-to-metal bonding system. J Prosthet Dent 1997;78: 136-45.
- Labarre, E.E., Ward, H.E. An alternative resin-bonded restoration. J Prosthet Dent 1984;52: 247-9.
- Livaditis, G.V., Thomson, V. Etched casting: an improved retentive mechanism for resin-bonded retainers. J Prosthet Dent 1982;47:52-8.

- Love, L.D., Breitman, J.B. Resin retention by immersion etched alloy. J Prosthet Dent 1985;53:623-4.
- Matsumura, H., Atsuta, M. Repair of an eight-unit fixed partial denture with a resin-bonded overcasting: a clinical report. J Prosthet Dent 1996;75:594-6.
- Matsumura, H., Shimoe, S., Nagano, K., Atsuta, M. Effect of noble metal conditioners on bonding between prosthetic composite material and silver-palladium-copper-gold alloy. J Prosthet Dent 1999a;81:710-4.
- Matsumura, H., Taira, Y., Atsuta, M. Adhesive bonding of noble metal alloys with a triazine dithiol derivative primer and an adhesive resin. J Oral Rehabil 1999b;26:877-82.
- Matsumura, H., Tanaka, T., Atsuta, M. Bonding of silver-palladium-copper-gold alloy with thiol derivative primers and tri-n-butylborane initiated luting agents. J Oral Rehabil 1997;24:291-6.
- Matsumura, H., Yanagiad, H., Tanoue, N., Atsuta, M., Shimoe, S. Shear bond strength of resin composite veneering material to gold alloy with varying metal surface preparations. J Prosthet Dent 2001;86:15-9.
- Mccomb, D. Adhesive luting cements-classes, criteria and usage. Compend Contin Educ Dent 1996;17:759-73.
- Mitchell, C.A., Douglas, W.H., Cheng, Y.S. Fracture toughness of conventional, resin – modified glass – ionomer and composite luting cements. Dent Mater 1999;15:7-13.
- Mojon, P., Kaltio, R., Fednik, D., Hawbolt, E.B., Mac Entec, M.J. Short-term contamination of luting cements by water and saliva. Dent Mater 1996;12:83-7.

- Moulin, P., Picard, B., Degrange, M. Water resistance of resin-bonded joints with time related to alloy surface treatment. J Dent 1999;27:79-87
- Motokawa, W., Braham, R.L., Teshima, B. Bond strength and pulpal response of light-cured composite resin inlays in primary molar. Am J Dent 1990;3:109-14.
- Mukai, M., Fukui, H., Hasegawa, J. Relationship between sandblasting and composite resin alloy bond strength by a silica coating. J Prosthet Dent 1995;74:151-5.
- Myers, M.L., Caughman, W.F., Rueggeberg, F.A., O'Connor, R.P. Effect of powder/liquid ratio on physical and chemical properties of C&B bond. Am J Dent 1993;6:77-80.
- Nakabayashi, N., Watanabe, A., Ikeda, W. Intra-oral bonding of 4-META /MMA-TBB resin to vital human dentine. Am J Dent 1995;8:37-42.
- Øilo, G. Bond strength testing-what does it mean ? Int Dent J 1993;43:492-8.
- Øilo, G., Espavik, S. Stress/strain behavior of some dental luting cements. Acta Odontol Scand 1977;36:45-9.
- O'Brien, W.J. Dental material and their selection. 2 nd ed, Quintessence Publishing , Chicago 1997:151-74.
- Omura, I., Yamauchi, J., Harada, I. Adhesive and mechanical properties of a new dental adhesive. [Abstract]. J Dent Res 1984;63:23.
- Pameijer, C.H., Stanley, H.R. Pulp reaction to resin cements. Am J Dent 1992;5:81-7.
- Peutzfeldt, A. Dual – cured resin cements : in vitro wear and effect of quantity of remaining double bond, filler volume, and light curing. Acta Odontol Scand 1995;53:29-34.

- Re, G.J., Kaiser, D.A., Malone, W.F.P., Garcia-Godoy, F. Shear bond strength and scanning electron microscope evaluation of three different retentive methods for resin bonded retainers. J Prosthet Dent 1988;59:568-72.
- Retief, D.H. Standardizing laboratory adhesion tests. Am J Dent 1991;4:231-6.
- Rochette, A.L. Attachment of a splint to enamel of lower anterior teeth. J Prosthet Dent 1973;30:418-23.
- Rosenstiel, S.F., Land, M.F., Crispin, B.J. Dental luting cement : a review of the current literature. J Prosthet Dent 1998;80:280-301.
- Roulet, J.F., Degrange, M. Adhesion : The silent revolution in dentistry. 1 st ed, Quintessence Publishing , Berlin 2000:29-105.
- Rubo, J., Pegoraro, L., Marolato, F., Rubo, M. The effect of tin-electroplating on the bond of four dental alloys to resin cement : an in vitro study. J Prosthet Dent 1998;80:27-31.
- Smith, D.C. A new dental cement. Br Dent J 1968;125:381-4.
- Smith, D.C. Dental cement. In O'Brien WJ, editor. Dental material:properties and selection. 8 th ed, Quintessence Publishing , Chicago 1989:213-43.
- Smith, R.M., Barrett, M.G., Gardner, W.A., Marshall, T., Mclean, M.J., Mcmichael, D.W., Yerbury, P.J., Rawl, H.R. Effect of environment stress and surface treatment on resin to metal bonding. Am J Dent 1993;6:111 – 5.
- Sorensen, J.A., Munksgaard, E.C. Ceramic inlays movement during polymerization of resin luting cements. Eur J Oral Sci 1995;103:186-9.

- Strang, R., Mccrasson, J., Muirhead, M., Richardson, S.A. The seating of visible-light cured resins beneath etched porcelain veneers. Br Dent J 1987;163:513-21.
- Stanley, H.R. Dental Iatrogenesis. Int Dent J 1994;44:3-18.
- Taira, Y., Imai, Y. Primer for bonding resin to metal. Dent Mater 1995;11:2-6.
- Tanaka, T., Atsuta, M., Nakabayashi, N., Masuhara, E. Surface treatment of gold alloys for adhesion. J Prosthet Dent 1988;60:271-8.
- Tanaka, T., Fujiyama, E., Shimizu, H., Takaki, A., Atsuta, M. Surface treatment of non-precious alloys for adhesion-fixed partial dentures. J Prosthet Dent 1986;55:456-62.
- Tanaka, T., Kamada, K., Matsumura, H., Atsuta, M. A comparison of water temperatures for thermocycling of metal-bonded resin specimens. J Prosthet Dent 1995;74:345-9.
- Tanaka, T., Nagata, K., Takayama, M., Atsuta, M., Nakabayashi, N., Matsuhara, E. 4-META opaque resin-A new resin strongly adhesive to nickel-chromium alloy. J Dent Res 1981;60:1697-706.
- Thompson, V.P., Castillo, E., Livaditis, G.J. Resin-bonded retainers. Part I: resin bond to electrolytically etched non-precious alloys. J Prosthet Dent 1983;50:771-9.
- Tjan, A.H.L., Dunn, J.R. Temperature rise produced by various visible light generation through dentinal barriers. J Prosthet Dent 1988;59:432-8.
- Turner, C.H., Sinclair, L. Sprayed opaque porcelain as a retentive surface for resin bonded restorations. Int J Prosthodont 1990;3:384-90.
- Wataha, J.C. Biocompatibility of dental casting alloys : a review. J Prosthet Dent 2000;83: 223 -34.

- Wataha, J.C. Alloys for prosthodontic restorations. J Prosthet Dent 2002;87:351-63.
- Watanabe, I., Matsumura, H., Atsuta, M. Effect of two metal primers on adhesive bonding with type IV gold alloys. J Prosthet Dent 1995;73:299-303.
- White, S.N., Furuichi, R., Kyomen, S.M. Microleakage through dentine after crown cementation. J Endod 1995;21:9-12.
- White, S.N., Yu, Z. Physical properties of fixed prosthodontic, resin composite luting agents. Int J Prosthodont 1993;6:384-9.
- Yanagida, H., Matsumura, H., Taira, Y., Atsuta, M., Shimoe, S. Adhesive bonding of composite material to cast titanium with varying surface preparations. J Oral Rehabil 2002;29:121-6.
- Yoshida, K., Atsuta, M. Effect of adhesive primers for noble metals on shear bond strengths of resin cements. J Dent 1997;25:53-8.
- Yoshida, K., Kamada, K., Atsuta, M. Adhesive primers for bonding cobalt-chromium alloy to resin. J Oral Rehabil 1999;26:475-8.
- Yoshida, K., Kamada, K., Taira, Y., Atsuta, M. Effect of three adhesive primers on the bond strengths of four light – activated opaque resins to noble alloy. J Oral Rehabil 2001a;28:168-73.
- Yoshida, K., Kamada, K., Sawase, T., Atsuta, M. Effect of three adhesive primers for a noble metal on the shear bond strengths of three resin cements. J Oral Rehabil 2001b;28:14-9.
- Yoshida, K., Taira, Y., Matsumura, H., Atsuta, M. Effect of adhesive metal primers on bonding a prosthetic composite resin to metals. J Prosthet Dent 1993;69:357-62.

Yoshida, K., Tanagawa, M., Atsuta, M. In-vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. J Oral Rehabil 1998;25:285–91.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับ เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | META FAST | Cesead II Opaque Primer | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|-----------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | 41.860 | 35.194 | 41.529 | 41.298 | 39.588 |
| 2 | 36.731 | 39.889 | 46.942 | 37.950 | 41.668 |
| 3 | 35.568 | 34.338 | 39.047 | 39.155 | 38.890 |
| 4 | 30.591 | 40.076 | 43.514 | 41.282 | 37.620 |
| 5 | 35.607 | 37.723 | 45.326 | 36.807 | 39.368 |
| 6 | 35.873 | 33.615 | 40.766 | 41.324 | 42.738 |
| 7 | 36.275 | 32.209 | 39.976 | 41.901 | 41.939 |
| 8 | 34.644 | 39.025 | 38.000 | 39.029 | 38.716 |
| 9 | 39.500 | 37.582 | 36.109 | 42.924 | 45.432 |
| 10 | 38.960 | 37.364 | 36.948 | 36.501 | 37.069 |
| Mean shear bond strength | 36.56090 | 36.70150 | 40.81570 | 39.81710 | 40.30280 |
| Standard deviation | 3.05993 | 2.72379 | 3.56745 | 2.24123 | 2.58915 |

ตารางที่ 20 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับ เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ทีใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำ เทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | META FAST | Cesead II Opaque Primer | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 33.319 | 39.943 | 37.591 | 41.154 | 32.079 |
| 2 | 30.243 | 33.558 | 38.473 | 33.444 | 33.223 |
| 3 | 38.507 | 41.185 | 40.975 | 39.565 | 39.446 |
| 4 | 32.482 | 40.309 | 40.302 | 34.957 | 40.399 |
| 5 | 35.026 | 37.213 | 38.069 | 43.652 | 41.820 |
| 6 | 36.614 | 41.949 | 39.415 | 35.699 | 41.753 |
| 7 | 37.462 | 40.939 | 40.769 | 39.400 | 37.416 |
| 8 | 43.227 | 42.020 | 38.966 | 37.302 | 40.993 |
| 9 | 41.901 | 39.866 | 39.936 | 40.148 | 38.463 |
| 10 | 37.075 | 44.957 | 37.614 | 45.224 | 30.748 |
| Mean shear bond strength | 36.58560 | 40.19390 | 39.21100 | 39.05450 | 37.63400 |
| Standard deviation | 4.04465 | 3.05040 | 1.26404 | 3.76801 | 4.15220 |

ตารางที่ 21 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับ เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟทีซีและไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | V PRIMER | METALTITE | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | 29.564 | 30.288 | 34.185 | 34.156 | 36.046 |
| 2 | 28.790 | 33.763 | 33.986 | 35.717 | 33.337 |
| 3 | 25.526 | 33.988 | 36.625 | 30.338 | 33.089 |
| 4 | 23.213 | 32.945 | 31.248 | 32.379 | 32.382 |
| 5 | 25.742 | 31.127 | 36.812 | 39.489 | 32.225 |
| 6 | 24.126 | 29.713 | 36.013 | 34.232 | 28.588 |
| 7 | 21.200 | 31.903 | 28.686 | 40.525 | 31.620 |
| 8 | 23.862 | 33.731 | 31.182 | 34.672 | 26.564 |
| 9 | 24.000 | 36.091 | 35.699 | 38.973 | 32.725 |
| 10 | 27.865 | 32.572 | 37.302 | 37.960 | 31.377 |
| Mean shear bond strength | 25.38880 | 32.61210 | 34.1738 | 35.84410 | 31.79530 |
| Standard deviation | 2.65435 | 1.92063 | 2.90833 | 3.31035 | 2.61132 |

ตารางที่ 22 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับ เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำ เทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | V PRIMER | METALTITE | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | 25.162 | 40.622 | 38.703 | 32.801 | 29.421 |
| 2 | 25.080 | 36.949 | 38.151 | 32.806 | 28.122 |
| 3 | 21.963 | 35.911 | 32.450 | 29.065 | 28.902 |
| 4 | 19.744 | 33.635 | 32.738 | 32.954 | 29.745 |
| 5 | 20.414 | 31.135 | 39.352 | 30.342 | 32.495 |
| 6 | 21.633 | 27.975 | 37.595 | 30.736 | 29.253 |
| 7 | 24.654 | 29.474 | 34.012 | 28.958 | 31.166 |
| 8 | 26.530 | 31.681 | 33.306 | 32.158 | 31.924 |
| 9 | 30.554 | 30.408 | 31.230 | 28.268 | 29.896 |
| 10 | 28.978 | 34.957 | 30.973 | 33.493 | 34.888 |
| Mean shear bond strength | 24.47120 | 33.27470 | 34.85100 | 31.15810 | 30.58120 |
| Standard deviation | 3.58369 | 3.87673 | 3.24872 | 1.92959 | 2.04131 |

ตารางที่ 23 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพ ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | META FAST | Cesead II Opaque Primer | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | A | A | A | M | A |
| 2 | M | M | M | M | M |
| 3 | A | M | M | M | M |
| 4 | A | A | M | A | M |
| 5 | M | M | M | M | M |
| 6 | M | M | A | A | M |
| 7 | A | A | M | M | M |
| 8 | A | M | M | M | M |
| 9 | M | A | M | A | A |
| 10 | A | M | A | M | M |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

ตารางที่ 24 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | META FAST | Cesead II Opaque Primer | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | M | M | A | M | M |
| 2 | A | M | A | M | M |
| 3 | M | M | A | M | M |
| 4 | A | A | M | M | M |
| 5 | M | M | M | M | M |
| 6 | M | M | M | M | M |
| 7 | M | M | M | M | M |
| 8 | M | M | M | M | M |
| 9 | M | M | M | M | M |
| 10 | M | M | M | M | M |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

ตารางที่ 25 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง
กับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | V PRIMER | METALTITE | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | A | A | M | M | M |
| 2 | M | M | M | M | M |
| 3 | M | M | M | M | M |
| 4 | M | M | A | M | M |
| 5 | A | M | M | M | M |
| 6 | A | A | M | M | M |
| 7 | A | A | M | M | A |
| 8 | M | M | A | M | M |
| 9 | A | M | M | M | M |
| 10 | A | A | M | M | A |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

ตารางที่ 26 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง
กับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนการทำ
เทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | No primer | V PRIMER | METALTITE | METAL PRIMER II | ALLOY PRIMER |
|--------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | A | M | M | M | M |
| 2 | M | M | M | M | M |
| 3 | M | M | M | M | M |
| 4 | M | M | A | A | M |
| 5 | M | M | M | A | M |
| 6 | M | M | M | M | M |
| 7 | M | M | M | M | M |
| 8 | A | M | M | M | M |
| 9 | A | M | M | M | M |
| 10 | M | M | M | M | M |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

ตารางที่ 27 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับ เรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | PANAVIA F | | Superbond C&B | |
|--------------------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|
| | No primer | Cesead II Opaque Primer | No primer | META FAST |
| 1 | 29.564 | 42.879 | 40.254 | 37.179 |
| 2 | 28.790 | 32.685 | 38.887 | 37.352 |
| 3 | 29.604 | 35.681 | 28.680 | 38.041 |
| 4 | 25.526 | 34.428 | 34.314 | 46.494 |
| 5 | 32.886 | 39.206 | 37.237 | 39.390 |
| 6 | 32.253 | 37.861 | 24.800 | 36.151 |
| 7 | 33.284 | 35.059 | 33.559 | 41.810 |
| 8 | 40.339 | 35.951 | 34.155 | 43.500 |
| 9 | 34.413 | 40.291 | 31.246 | 41.640 |
| 10 | 25.742 | 40.443 | 30.576 | 35.896 |
| Mean shear bond strength | 31.24010 | 37.44840 | 33.37080 | 39.74530 |
| Standard deviation | 4.41134 | 3.20913 | 4.04465 | 3.50518 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 แสดงค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมกะปาสคาล) ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับ เรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | PANAVIA F | | Superbond C&B | |
|--------------------------|-----------|-----------------|---------------|-----------|
| | No primer | METAL PRIMER II | No primer | METALTITE |
| 1 | 27.631 | 31.103 | 28.650 | 32.302 |
| 2 | 24.205 | 34.940 | 23.799 | 26.462 |
| 3 | 23.817 | 30.325 | 22.987 | 26.777 |
| 4 | 23.576 | 28.622 | 24.570 | 36.842 |
| 5 | 25.411 | 30.195 | 27.296 | 38.067 |
| 6 | 28.333 | 32.074 | 26.066 | 34.594 |
| 7 | 26.044 | 32.278 | 26.306 | 31.801 |
| 8 | 25.927 | 33.785 | 26.055 | 28.835 |
| 9 | 28.261 | 27.458 | 23.120 | 31.538 |
| 10 | 27.807 | 35.710 | 22.868 | 39.888 |
| Mean shear bond strength | 20.10120 | 31.64900 | 20.17170 | 32.71060 |
| Standard deviation | 1.84377 | 2.65317 | 2.00038 | 4.62438 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซิน ซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | PANAVIA F | | Superbond C&B | |
|--------------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|
| | No primer | Cesead II Opaque Primer | No primer | META FAST |
| 1 | M | M | A | M |
| 2 | A | A | M | A |
| 3 | A | M | A | M |
| 4 | A | M | A | M |
| 5 | A | M | M | A |
| 6 | A | A | M | A |
| 7 | A | M | M | M |
| 8 | A | A | M | M |
| 9 | M | A | A | M |
| 10 | A | M | A | M |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 30 แสดงลักษณะการแตกหักของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง
กับเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ที่ใช้และไม่ใช้กาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| Number of Specimen | PANAVIA F | | Superbond C&B | |
|--------------------|-----------|-----------------|---------------|-----------|
| | No primer | METAL PRIMER II | No primer | METALTITE |
| 1 | A | A | A | A |
| 2 | A | A | A | A |
| 3 | A | M | A | M |
| 4 | A | M | A | A |
| 5 | A | M | A | M |
| 6 | A | M | M | M |
| 7 | A | M | A | M |
| 8 | A | M | A | M |
| 9 | A | A | M | M |
| 10 | A | M | A | M |

A = adhesive failure

M = mixture of adhesive and cohesive failure

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทางของ
โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TC0

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power |
|-----------------|-------------------------|-----|-------------|-----------|------|--------------------|----------------|
| Corrected Model | 250.869 | 9 | 27.874 | 2.789 | .006 | 25.103 | .943 |
| Intercept | 149673.813 | 1 | 149673.813 | 14976.919 | .000 | 14976.919 | 1.000 |
| RESIN | 2.307 | 1 | 2.307 | .231 | .632 | .231 | .076 |
| PRIMER | 138.486 | 4 | 34.621 | 3.464 | .011 | 13.857 | .842 |
| RESIN * PRIMER | 110.076 | 4 | 27.519 | 2.754 | .033 | 11.015 | .738 |
| Error | 899.427 | 90 | 9.994 | | | | |
| Total | 150824.109 | 100 | | | | | |
| Corrected Total | 1150.296 | 99 | | | | | |

ตารางที่ 32 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของ
โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟ
ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ANOVA

TC0

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 167.654 | 4 | 41.913 | 5.082 | .002 |
| Within Groups | 371.121 | 45 | 8.247 | | |
| Total | 538.775 | 49 | | | |

ตารางที่ 33 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของโลหะหล่อผสม
 นิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี
 ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ANOVA

TC0

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 80.908 | 4 | 20.227 | 1.723 | .162 |
| Within Groups | 528.306 | 45 | 11.740 | | |
| Total | 609.213 | 49 | | | |

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 แสดงการทดสอบไคสแควร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการแตกหัก
กับชนิดของเรซินซีเมนต์ของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียม
ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Chi-Square Tests

| adhesive primer | | Value | df | Asymp. Sig. (2- sided) | Exact Sig. (2- sided) | Exact Sig. (1- sided) |
|-------------------------|------------------------------|-------|----|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| no primer | Pearson Chi-Square | 3.333 | 1 | .068 | .170 | .085 |
| | Continuity Correction | 1.875 | 1 | .171 | | |
| | Likelihood Ratio | 3.452 | 1 | .063 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | | |
| | Linear-by-Linear Association | 3.167 | 1 | .075 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| metafast | Pearson Chi-Square | 2.400 | 1 | .121 | .303 | .152 |
| | Continuity Correction | 1.067 | 1 | .302 | | |
| | Likelihood Ratio | 2.532 | 1 | .112 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | | |
| | Linear-by-Linear Association | 2.280 | 1 | .131 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| cesead opaque primer II | Pearson Chi-Square | .000 | 1 | 1.000 | 1.000 | .686 |
| | Continuity Correction | .000 | 1 | 1.000 | | |
| | Likelihood Ratio | .000 | 1 | 1.000 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | | |
| | Linear-by-Linear Association | .000 | 1 | 1.000 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| metal primer II | Pearson Chi-Square | 3.529 | 1 | .060 | .211 | .105 |
| | Continuity Correction | 1.569 | 1 | .210 | | |
| | Likelihood Ratio | 4.691 | 1 | .030 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | | |
| | Linear-by-Linear Association | 3.353 | 1 | .067 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| alloy primer | Pearson Chi-Square | 2.222 | 1 | .136 | .474 | .237 |
| | Continuity Correction | .556 | 1 | .456 | | |
| | Likelihood Ratio | 2.995 | 1 | .084 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | | |
| | Linear-by-Linear Association | 2.111 | 1 | .146 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |

a. Computed only for a 2x2 table

b. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 4.00.

c. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.50.

d. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 3.00.

e. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.50.

f. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.00.

ตารางที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพี เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength | Equal variances assumed | 2.766 | .103 | -.561 | 48 | .577 | -.55215 | .98387 | -2.53035 | 1.42605 |
| | Equal variances not assumed | | | -.521 | 28.464 | .606 | -.55215 | 1.05905 | -2.71994 | 1.61563 |

ตารางที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength | Equal variances assumed | .962 | .332 | -1.388 | 48 | .172 | -2.11019 | 1.52020 | -5.16676 | .94638 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.142 | 5.851 | .298 | -2.11019 | 1.84847 | -6.66127 | 2.44089 |

ตารางที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

| | | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|----|-----------------|
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 | strength tc0 - strengthtc10000 | 5.32080 | 5.32130 | 1.68274 | 1.51417 | 9.12743 | 3.162 | 9 | .012 |

ตารางที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

| | | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|----|-----------------|
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 | strength tc0 - strengthtc10000 | 3.21480 | 7.58031 | 2.39710 | -2.20782 | 8.63742 | 1.341 | 9 | .213 |

ตารางที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟที่ใช้ซีลด์ ทู โอเพคไพรเมอร์ ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

| | | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|----|-----------------|
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 | strength tc0 - strengthtc10000 | 3.36730 | 5.67211 | 1.79368 | -.69028 | 7.42488 | 1.877 | 9 | .093 |

ตารางที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ใช้เมตาฟาสต์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| | | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|------|----|-----------------|
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 | strength tc0 - strengthtc10000 | .44860 | 4.65134 | 1.47088 | -2.87877 | 3.77597 | .305 | 9 | .767 |

ตารางที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|---|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| Strengthtc10000 | Equal variances assumed | .194 | .665 | -1.636 | 18 | .119 | -3.52479 | 2.15409 | -8.05037 | 1.00078 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.699 | 16.942 | .108 | -3.52479 | 2.07420 | -7.90212 | .85254 |

ตารางที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของ
ลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของ
โลหะหล่อผสมนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม-เบอริลเลียมที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์
ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|---|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| Strengthtc 10000 | Equal variances assumed | .083 | .776 | -1.293 | 18 | .213 | -3.02112 | 2.33735 | -7.93171 | 1.88946 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.367 | 17.568 | .189 | -3.02112 | 2.21012 | -7.67262 | 1.63037 |

ตารางที่ 43 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทางของโลหะหล่อผสม
ทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TC0

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power |
|-----------------|-------------------------|-----|-------------|-----------|------|--------------------|----------------|
| Corrected Model | 1293.628 | 9 | 143.736 | 17.258 | .000 | 155.323 | 1.000 |
| Intercept | 98690.411 | 1 | 98690.411 | 11849.502 | .000 | 11849.502 | 1.000 |
| RESIN | 30.007 | 1 | 30.007 | 3.603 | .061 | 3.603 | .467 |
| PRIMER | 1167.767 | 4 | 291.942 | 35.053 | .000 | 140.211 | 1.000 |
| RESIN * PRIMER | 95.854 | 4 | 23.963 | 2.877 | .027 | 11.509 | .759 |
| Error | 749.579 | 90 | 8.329 | | | | |
| Total | 100733.618 | 100 | | | | | |
| Corrected Total | 2043.207 | 99 | | | | | |

ตารางที่ 44 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของ
โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ
ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ANOVA

TC0

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 636.201 | 4 | 159.050 | 21.511 | .000 |
| Within Groups | 332.732 | 45 | 7.394 | | |
| Total | 968.933 | 49 | | | |

ตารางที่ 45 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของ
โลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี
ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

ANOVA

TC0

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 627.420 | 4 | 156.855 | 16.933 | .000 |
| Within Groups | 416.847 | 45 | 9.263 | | |
| Total | 1044.266 | 49 | | | |

ตารางที่ 46 แสดงการทดสอบไคสแควร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการแตกหักกับชนิดของเรซินซีเมนต์ของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดง ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก

Chi-Square Tests

| adhesive primer | | Value | df | Asymp. Sig. (2-sided) | Exact Sig. (2-sided) | Exact Sig. (1-sided) |
|-----------------|------------------------------|-------|----|-----------------------|----------------------|----------------------|
| no primer | Pearson Chi-Square | 1.818 | 1 | .178 | | |
| | Continuity Correction | .808 | 1 | .369 | | |
| | Likelihood Ratio | 1.848 | 1 | .174 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | .370 | .185 |
| | Linear-by-Linear Association | 1.727 | 1 | .189 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| v primer | Pearson Chi-Square | 5.000 | 1 | .025 | | |
| | Continuity Correction | 2.813 | 1 | .094 | | |
| | Likelihood Ratio | 6.556 | 1 | .010 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | .087 | .043 |
| | Linear-by-Linear Association | 4.750 | 1 | .029 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| metaltite | Pearson Chi-Square | .392 | 1 | .531 | | |
| | Continuity Correction | .000 | 1 | 1.000 | | |
| | Likelihood Ratio | .399 | 1 | .528 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | 1.000 | .500 |
| | Linear-by-Linear Association | .373 | 1 | .542 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| metal primer II | Pearson Chi-Square | 2.222 | 1 | .136 | | |
| | Continuity Correction | .556 | 1 | .456 | | |
| | Likelihood Ratio | 2.995 | 1 | .084 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | .474 | .237 |
| | Linear-by-Linear Association | 2.111 | 1 | .146 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |
| alloy primer | Pearson Chi-Square | 2.222 | 1 | .136 | | |
| | Continuity Correction | .556 | 1 | .456 | | |
| | Likelihood Ratio | 2.995 | 1 | .084 | | |
| | Fisher's Exact Test | | | | .474 | .237 |
| | Linear-by-Linear Association | 2.111 | 1 | .146 | | |
| | N of Valid Cases | 20 | | | | |

a. Computed only for a 2x2 table

b. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 4.50.

c. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.00.

d. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.50.

e. 2 cells (50.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.00

ตารางที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|----------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength | Equal variances assumed | .028 | .869 | -3.551 | 48 | .001 | -4.47217 | 1.25933 | -7.00423 | -1.94011 |
| | Equal variances not assumed | | | -3.790 | 27.319 | .001 | -4.47217 | 1.17984 | -6.89169 | -2.05265 |

ตารางที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์ก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength | Equal variances assumed | .526 | .472 | -.649 | 48 | .520 | -1.31126 | 2.02103 | -5.37480 | 2.75229 |
| | Equal variances not assumed | | | -.876 | 8.390 | .405 | -1.31126 | 1.49663 | -4.73475 | 2.11224 |

ตารางที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--|--------------------|----------------|--------------------|--|---------|-------|----|-----------------|
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 strength tc0 - strength tc10000 | 5.28760 | 3.09897 | .97998 | 3.07073 | 7.50447 | 5.396 | 9 | .000 |

ตารางที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีที่ไม่ใช้กาวไพรเมอร์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--|--------------------|----------------|--------------------|--|---------|-------|----|-----------------|
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 strength tc0 - strength tc10000 | 4.19510 | 4.02139 | 1.27167 | 1.31837 | 7.07183 | 3.299 | 9 | .009 |

ตารางที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอพีที่ใช้เมทัลไพรเมอร์ ทู ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--|--------------------|----------------|--------------------|--|---------|-------|----|-----------------|
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 strength tc0 - strength tc10000 | 4.29950 | 4.66433 | 1.47499 | .96284 | 7.63616 | 2.915 | 9 | .017 |

ตารางที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงกับเรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีที่ใช้เมทัลไทท์ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

| | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|--|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|----|-----------------|
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 strength tc0 - strength tc10000 | 2.14040 | 5.73416 | 1.81330 | -1.96157 | 6.24237 | 1.180 | 9 | .268 |

ตารางที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวีย เอฟ เมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวไพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | Levene's Test for Equality of Variances | t-test for Equality of Means | | | | | | | | |
|------------------|---|------------------------------|------|--------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|----------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength tc10000 | Equal variances assumed | 2.371 | .141 | -4.297 | 18 | .000 | -9.20073 | 2.14133 | -13.69949 | -4.70196 |
| | Equal variances not assumed | | | -5.307 | 17.703 | .000 | -9.20073 | 1.73353 | -12.84713 | -5.55432 |

ตารางที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของลักษณะการแตกหักระหว่างรอยต่อพื้นผิวซีเมนต์เรซินซีเมนต์กับโลหะและการแตกหักแบบผสมของโลหะหล่อผสมทอง-พัลลาเดียม-เงิน-ทองแดงที่ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บีเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดกาวยาพรเมอร์หลังการทำเทอร์โมไซคลิง

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|---|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| strength tc10000 | Equal variances assumed | .359 | .557 | -2.208 | 18 | .040 | -6.60922 | 2.99339 | -12.89811 | -.32033 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.169 | 15.763 | .046 | -6.60922 | 3.04691 | -13.07629 | -.14215 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศิริพงษ์ ศิริมงคลวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2516 ที่จังหวัดชลบุรี สัญชาติไทย ด้านการศึกษา พ.ศ.2534 จบมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทร์เดชา (สิงห์ สิงหเสนี) พ.ศ.2540 จบปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต(เกียรตินิยมอันดับ2)จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ด้านกิจกรรม พ.ศ.2535-2538 ชมรมบำเพ็ญประโยชน์คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ.2539-2540 นายกสโมสรนักศึกษาคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รางวัลที่เคยได้รับ พ.ศ.2539 รางวัลนักศึกษาผู้มีความประพฤติดี จากพุทธสมาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2540 รางวัลนักศึกษาทันตแพทย์ผู้มีจริยธรรมดีเยี่ยม จากกองทุนศาสตราจารย์เกียรติคุณทันตแพทย์อิสระ ยุกตะนันท์ ในมูลนิธิคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ด้านการทำงาน พ.ศ.2540-ปัจจุบัน รับราชการในตำแหน่ง อาจารย์ประจำหน่วยวิชาครอบฟันและฟันปลอมชนิดติดแน่น ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นสมาชิกทันตแพทย์สมาคมแห่งประเทศไทยและสมาชิกสมาคมทันตกรรมประดิษฐ์ไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย