

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์

นางสาวกาญจนา ศันสนีย์วรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Effect of Temperature on the Degree of Conversion  
and Tensile Bond Strength of Resin Cements

Miss Kanjana Sansaneeyawat

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

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดแบบดึง  
ของเรซินซีเมนต์

โดย

นางสาวกาญจนา ศันสนีวรรณ

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม อารังค์อนันต์สกุล

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรารภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม อารังค์อนันต์สกุล)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ปิยะพร คามกีรภาพพันธ์)

กาญจนา ศันสนีย์วรรณ : ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์. (Effect of temperature on the degree of conversion and tensile bond strength of resin cements) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพ.ดร.นิยม อัมรงค์อนันต์สกุล, 146 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ จำนวน 4 ชนิด (เคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง รีไลเอกซ์ยูร์ออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม) การทดสอบแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ครั้งที่ 1 ทดสอบเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดหลังจากได้รับจากผู้แทนจำหน่าย ภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ทดสอบหลังจากเก็บเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน ครั้งที่ 3 ทดสอบหลังจากเก็บเป็นเวลา 3 เดือน และครั้งที่ 4 ทดสอบหลังจากเก็บเป็นเวลา 6 เดือน การทดสอบแต่ละครั้งประกอบด้วย การทดสอบค่าการบ่มตัวโดยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี และการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง โดยการเตรียมผิวเนื้อฟันของฟันกรามใหญ่ซี่ที่สามของมนุษย์จำนวน 140 ซี่ และยึดกับชิ้นคอมพอสิตคอนเลย์ต์ด้วยเรซินซีเมนต์ จากนั้นเตรียมชิ้นทดสอบรูปร่างมินิเด็มเบลล์ ขนาดพื้นที่ยึดติด 2x3 ตารางมิลลิเมตร และทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดดึงด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการดึงมาแยกประเภทความล้มเหลวของการแตกหักด้วยกล้องสเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า วิเคราะห์ข้อมูลค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงด้วยสถิติ ครัสคาวาลิส เฟรดแมน และแมนวิทนี-ยูเทส ( $\alpha=0.05$ ) ทดสอบพบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าการบ่มตัว ระหว่างชนิดเรซินซีเมนต์ และระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่ากำลังแรงยึดดึง ระหว่างชนิดของเรซินซีเมนต์ และระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษาของเรซินซีเมนต์ทุกชนิด ยกเว้นบิสเซม และพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่ากำลังแรงยึดดึงในทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา ยกเว้นรีไลเอกซ์และแม็กซ์เซมอีไลท์ที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และประเภทของความล้มเหลวภายหลังการแตกหักของเรซินซีเมนต์ทุกชนิดทั้งที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าส่วนใหญ่เกิดการแตกหักภายในชั้นของเรซินซีเมนต์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงยืนยันได้ว่าการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ไว้ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน มีผลต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิด

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ.....  
ปีการศึกษา 2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

# # 5276103132 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : DEGREE OF CONVERSION / TENSILE BOND STRENGTH / MINI-DUMBBELL

KANJANA SANSANEEYAWAT : EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DEGREE OF CONVERSION AND TENSILE BOND STRENGTH OF RESIN CEMENTS. ADVISOR : ASST.PROF.DR. NIYOM THAMRONGANASKUL  
M.D.,PH.D., 146 pp.

The aims of this study were to evaluate the effect of temperature on degree of conversion (DC) and tensile bond strength (TBS) of four self-adhesive resin cements (Clearfil SA luting, RelyX U100, Maxcem Elite and Biscem). The test was divided into 4 durations. 1<sup>st</sup> time : after receiving resin cements from company's dealer within 1 week. 2<sup>nd</sup> time : after storing resin cements at 4 °C and 40 °C for 1 month. 3<sup>rd</sup> time : after storing resin cements at 4 °C and 40 °C for 3 months. 4<sup>th</sup> time : after storing resin cements at 4 °C and 40 °C for 6 months. Each test consists of analyzing the DC of resin cement by Fourier Transform Infrared spectrophotometry and TBSs test by using dentin surfaces of 140 extracted human third molars which were prepared and bonded with composite onlay by each of resin cements. The bonded specimens were prepared into mini-dumbbell shaped with 2x3 mm<sup>2</sup> bonded area and then TBSs were evaluated by using universal testing machine. Failure modes of tested specimens were determined by using a stereomicroscope at 40x magnification. The data were statistically analyzed by Kruskal-Wallis Friedman and Mann-whitney U test ( $\alpha=0.05$ ). The DCs were significantly different among types of resin cement and among storage temperatures at all time durations. The TBSs were significantly different among types of resin cement and among storage temperatures of all cement types, except Biscem. Storage duration affected significantly on TBSs at all storage temperatures, except 4 °C RelyX U100 and 4 °C Maxcem Elite. The predominant failure mode was cohesive in resin cement layer. Our findings suggested that the storage temperature at 40 °C for 6 months had an effect on DCs and TBSs of four resin cement types.

Field of Study : Prosthodontics..... Student's Signature .....

Academic Year : 2011..... Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมา กล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกคือผู้วิจัยใคร่ขอกราบพระคุณคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม อารังค์อนันต์สกุล อาจารย์ผู้ที่ได้ให้ความรู้ ชี้แนะแนวทาง และกระตุ้นให้เกิด ความคิดริเริ่มในการศึกษาวิจัย ให้คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอา ใจใส่ในทุกขั้นตอน ผู้มีพระคุณท่านที่สองคือ อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาสถิติ วิจัยประจำคณะทันตแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ที่ให้ความรู้ ความเข้าใจ และชี้แนะ แนวทางของสถิติวิจัยที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ คุณแก้ว ขจรไชยกุล นักวิชาการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณพรเพ็ญ ศิริदारง นักวิชาการสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ทั้งสองท่านคือผู้ให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับ เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ให้โอกาสในการฝึกฝนและปฏิบัติด้วยความ เอาใจใส่ดูแลเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณลาวัลย์ บุญประคอง นักวิชาการคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ให้ความรู้และความเข้าใจในการศึกษาชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราด และกลุ่มผู้มีพระคุณอีกกลุ่ม ได้แก่ คุณอนุชาติ ศรีจันบาล และบุคลากรของศูนย์ ทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และ ความเข้าใจในเรื่องของการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในศูนย์ทันตวัสดุศาสตร์

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ป่วยทุกท่าน ที่ได้ เสียสละมอบซี่ฟันอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และขอขอบพระคุณศูนย์ทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการ ทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุน วิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จำนวน 50,000 บาท เพื่อสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....  | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....   | ฉ    |
| สารบัญ.....  | ช    |
| สารบัญภาพ.....   | ญ    |
| สารบัญตาราง.....   | ณ    |
| <br>บทที่  |      |
| 1: บทนำ.....   | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....  | 1    |
| คำถามการวิจัย .....  | 2    |
| วัตถุประสงค์การวิจัย.....  | 2    |
| สมมติฐานการวิจัย.....  | 2    |
| สมมติฐานทางสถิติ.....  | 3    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....   | 4    |
| ข้อตกลงเบื้องต้น.....  | 4    |
| ข้อจำกัดของการวิจัย.....   | 5    |
| คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....   | 6    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....   | 6    |
| วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 6    |
| ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....   | 7    |
| งบประมาณ.....  | 8    |
| 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                       | 9    |
| แนวคิดและทฤษฎี.....  | 9    |
| เรซินซีเมนต์ (Resin cements).....  | 10   |
| การยึดติดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับฟัน (Adhesion to tooth substrates).. | 13   |
| การทดสอบค่ากำลังแรงยึด (Bond strength test).....                             | 15   |

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| ค่าการบ่มตัว (Degree of conversion).....                                | 19   |
| การวัดค่าร้อยละการบ่มตัว (Degree of conversion measurements : DC%)..... | 21   |
| 3. วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 24   |
| ประชากร.....  | 24   |
| กลุ่มตัวอย่าง.....  | 24   |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....   | 24   |
| ขั้นตอนการทดลอง.....  | 25   |
| การเตรียมชิ้นเนื้อฟันทดสอบ.....   | 27   |
| การเตรียมชิ้นคอมพอสิตคอนเลย์.....                                       | 29   |
| การวัดค่าการดูดกลืนอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์.....                        | 30   |
| การยัดชิ้นงานคอมพอสิตคอนเลย์กับเนื้อฟัน (ISO/TS 11405).....             | 32   |
| การเตรียมชิ้นทดสอบมินิเดมเบลล์ (ISO/TS 11405).....                      | 32   |
| การทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง.....  | 34   |
| การตรวจสอบภาพพื้นผิวที่แตกหัก.....                                      | 36   |
| การเก็บรวบรวมข้อมูล.....  | 38   |
| การวิเคราะห์ข้อมูล.....   | 40   |
| 4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..   | 41   |
| ผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์.....                        | 41   |
| ผลการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์.....                         | 46   |
| ผลการวัดค่าความหนาของชั้นซีเมนต์.....                                   | 52   |
| ผลการตรวจสอบภาพพื้นผิวที่แตกหัก.....                                    | 53   |
| 5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....                          | 60   |
| อภิปรายวิธีทดลอง.....   | 60   |
| อภิปรายผล.....  | 63   |
| สรุปผลการวิจัย.....   | 71   |
| ข้อเสนอแนะ.....   | 73   |
| รายการอ้างอิง.....  | 74   |



| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| ภาคผนวก.....   | 80   |
| ภาคผนวก ก ชื่อการค้า ส่วนประกอบ เลขที่สินค้า และคำแนะนำการใช้เรซินซีเมนต์<br>จากบริษัทผู้ผลิต.....   | 81   |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึง<br>ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด.....  | 84   |
| ภาคผนวก ค ผลการทดสอบทางสถิติของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์.....  | 93   |
| ภาคผนวก ง ผลการทดสอบทางสถิติของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์...  | 115  |
| ภาคผนวก จ รายงานผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซิน<br>ซีเมนต์แต่ละชนิด จากการทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม<br>อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี..... | 137  |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....  | 146  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 1      | ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....  | 7    |
| 2      | แนวคิดและทฤษฎีของงานวิจัย.....  | 9    |
| 3      | เรซินซีเมนต์ของงานวิจัย.....  | 24   |
| 4      | แผนผังขั้นตอนการทดลอง.....  | 26   |
| 5      | เครื่องมือช่วยในการลงบล็อกฟัน (mounting apparatus).....   | 27   |
| 6      | การปิดชั้นปูนของบล็อกขึ้นฟันทดสอบด้วยวัสดุอะคริลิกเรซิน.....  | 28   |
| 7      | การประกอบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ.....   | 28   |
| 8      | การขัดผิวเนื้อฟันและผิวคอมพอสิตออนเลย์ด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ.....  | 29   |
| 9      | ขั้นตอนการติดเทปกาวที่ผิวคอมพอสิตออนเลย์.....   | 30   |
| 10     | อุปกรณ์เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด.....  | 31   |
| 11     | เครื่องมือสำหรับยึดชิ้นงาน (loading and alignment apparatus).....   | 32   |
| 12     | ขั้นตอนการตัดชิ้นงานยึดติดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบาง (bonded slabs).....   | 33   |
| 13     | อะคริลิกแบบวาดมินิดัมเบลล์ (acrylic mini-dumbbell model).....   | 33   |
| 14     | ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบมินิดัมเบลล์ (mini-dumbbell specimen preparation).....   | 34   |
| 15     | ขั้นตอนการยึดชิ้นทดสอบมินิดัมเบลล์เข้ากับตัวยึดชิ้นทดสอบ.....   | 35   |
| 16     | การประกอบอุปกรณ์ตัวจับยึดเข้ากับเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์.....   | 35   |
| 17     | ลักษณะความล้มเหลวที่สามารถเกิดขึ้นได้ภายหลังการแตกหักของการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน.....  | 37   |
| 18     | ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเคลือบอนุภาคทอง.....   | 38   |
| 19     | ผลการรายงานสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ณ เวลาเริ่มต้น (baseline).....   | 39   |
| 20     | กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงที่มีต่อเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน..... | 43   |
| 21     | กราฟชนิดบ็อก-วิสเกอร์พลอต (box-whisker plot) ของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด.....   | 44   |

| ภาพที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 22     | กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงที่มีต่อเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน.....                              | 48   |
| 23     | กราฟชนิดบ็อก-วิสเกอร์พลอต (box-whisker plot) ของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด.....  | 49   |
| 24     | ผลการตรวจสอบภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานที่ยึดด้วยเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....                                     | 56   |
| 25     | ผลการตรวจสอบภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์ออย โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....                           | 57   |
| 26     | ผลการตรวจสอบภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....                            | 58   |
| 27     | ผลการตรวจสอบภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....                                     | 59   |
| 28     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....  | 138  |
| 29     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน..... | 139  |
| 30     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์ออย ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....      | 140  |
| 31     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์ออย ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....      | 141  |

| ภาพที่ | หน้า   |     |
|--------|--|-----|
| 32     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซี<br>เซมอีไลท์ ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา<br>เซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....         | 142 |
| 33     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซี<br>เซมอีไลท์ ยูร์ฮอย ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40<br>องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน..... | 143 |
| 34     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม<br>ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็น<br>ระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....                   | 144 |
| 35     | ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม<br>ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส<br>เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน.....                   | 145 |

## สารบัญญัตินำ

| ตารางที่ |  | หน้า |
|----------|--|------|
| 1        | ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา.....   | 41   |
| 2        | ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์.....   | 45   |
| 3        | ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา.....  | 46   |
| 4        | ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ที่มีต่อเนื้อฟัน.....  | 50   |
| 5        | ผลค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของชั้นซีเมนต์ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด.....  | 52   |
| 6        | ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มเคลียร์ฟิวเอสเอสเอลูตทิง.....  | 53   |
| 7        | ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มวีโลเอกซ์ยูร้อย.....   | 54   |
| 8        | ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มแม็กซ์เอ็มอีไลท์.....  | 54   |
| 9        | ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มบิสเซม.....  | 55   |
| 10       | ชื่อการค้า ส่วนประกอบ เลขที่สินค้า และคำแนะนำการใช้เรซินซีเมนต์จากบริษัทผู้ผลิต .....  | 82   |
| 11       | ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเคลียร์ฟิวเอสเอสเอลูตทิง.....   | 85   |
| 12       | ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของวีโลเอกซ์ยูร้อย.....  | 87   |
| 13       | ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของแม็กซ์เอ็มอีไลท์.....   | 89   |
| 14       | ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของบิสเซม.....   | 91   |
| 15       | ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์.....   | 94   |
| 16       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทีนึ-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิวเอสเอสเอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน..... | 107  |

| ตารางที่ |   | หน้า |
|----------|---|------|
| 17       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิว<br>เอสเอสทูตึงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา<br>3 เดือน..... | 107  |
| 18       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิว<br>เอสเอสทูตึงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา<br>6 เดือน..... | 108  |
| 19       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยู<br>ร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน              | 109  |
| 20       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยู<br>ร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน              | 109  |
| 21       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยู<br>ร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน              | 110  |
| 22       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแม็กเซมที่<br>ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน.....                  | 111  |
| 23       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแม็กเซมที่<br>ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน.....                  | 111  |
| 24       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแม็กเซมที่<br>ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน.....                  | 112  |
| 25       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูก<br>เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน.....                   | 113  |
| 26       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูก<br>เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน.....                   | 113  |
| 27       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูก<br>เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน.....                   | 114  |
| 28       | ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์<br>แต่ละชนิด.....  | 116  |
| 29       | ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเคลียร์ฟิวเอส<br>เอสทูตึงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1<br>เดือน.....  | 128  |



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้เรซินซีเมนต์ (resin cements) ในงานทันตกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องของประสิทธิภาพการยึดติด และความสะดวกสบายที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และความต้องการของผู้ป่วยที่เพิ่มมากขึ้นในเรื่องความสะดวกสบายของชิ้นงานบูรณะที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการ (indirect restoration) เรซินซีเมนต์จึงมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จในทางคลินิกของงานทันตกรรมบูรณะ

เรซินซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบพื้นฐานสารพอลิเมอร์ (polymer materials) ดังนั้นสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพ (mechanical and physical properties) จึงขึ้นกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization reaction) ที่สัมพันธ์กับค่าการบ่มตัว (degree of conversion) [1-2] จากผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบ่มตัวกับสมบัติของเรซินคอมพอสิตและเรซินซีเมนต์ เช่น ค่ากำลังแรงดึง (diametral tensile strength) ค่าความแข็งผิว (micro-hardness) และค่ามอดุลัสและกำลังดัดขวาง (flexural modulus and strength) [3-6] โดยอัตราการเกิดพอลิเมอไรเซชันขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น มอนอเมอร์ (monomer) วัสดุอัดแทรก (filler) และปริมาณสารตั้งต้นปฏิกิริยา (initiator) เป็นต้น ซึ่งมีการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเชิงบวก ทำให้ค่าการบ่มตัว ค่าความแข็งผิว และค่ากำลังแรงยึดดึงเพิ่มสูงขึ้น [5,7-8] และส่งผลเชิงลบทำให้เกิดความเค้นจากการหดตัว (shrinkage stress) [9-12] งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาผลของอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาที่มีต่อค่าการบ่มตัวและสมบัติเชิงกลของเรซินคอมพอสิตและเรซินซีเมนต์ แต่ยังไม่พบการศึกษาในด้านผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ มีเพียงบางการศึกษาที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิช้า ๆ อาจมีผลต่ออายุการเก็บ (shelf life) เนื่องจากพบปรากฏการณ์แยกชั้นเฟส (phase separation phenomena) ในชั้นยึดติด (adhesive layer) [13] ซึ่งสามารถส่งผลต่อความคงทน (durability) ของการยึดติด ดังนั้นในปัจจุบันที่สภาวะอากาศของโลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยของทั่วโลกทวีปสูงขึ้น โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งอยู่ในโซนเส้นศูนย์สูตร จึงมีอุณหภูมิสูงเกือบตลอดทั้งปี จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาได้รายงานสภาวะอากาศประเทศไทยในปี พ.ศ. 2553 มีอุณหภูมิสูงสุด 43.5 องศาเซลเซียส [14] และด้วยข้อจำกัดในการเก็บรักษา การใช้งานจริงส่วนใหญ่ไม่ได้เก็บเรซินซีเมนต์ไว้ในตู้เย็นหรือไม่ได้เก็บในตู้เย็นตลอดเวลา จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่า ถ้าเรซินซีเมนต์เผชิญกับสภาวะอุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานาน จะส่งผลต่อสมบัติของเรซินซีเมนต์หรือไม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษา



เรซินซีเมนต์ไว้ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน ว่ามีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์หรือไม่

### คำถามการวิจัย (Research Question)

1. การเก็บเรซินซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 เดือน และ 6 เดือน จะมีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์หรือไม่
2. การเก็บเรซินซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 เดือน และ 6 เดือน จะมีผลต่อค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์หรือไม่

### วัตถุประสงค์การวิจัย (Objectives)

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 เดือน และ 6 เดือน
2. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 เดือน และ 6 เดือน

### สมมติฐานการวิจัย (Hypothesis)

#### ตัวแปรอิสระ (Independent variables)

1. อุณหภูมิการเก็บเรซินซีเมนต์
  - กลุ่มทดลอง : 40 องศาเซลเซียส
  - กลุ่มควบคุม : 4 องศาเซลเซียส
2. ระยะเวลาการเก็บเรซินซีเมนต์
  - 1 3 เดือน และ 6 เดือน
3. ชนิดของเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด

#### ตัวแปรตาม (Dependent variables)

1. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์
2. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์

#### สมมติฐานการวิจัย

1. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน
2. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน
3. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกัน

4. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกัน
5. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 หรือ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกัน
6. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกัน

#### สมมติฐานทางสถิติ

1.  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 $H_a$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด อย่างน้อยหนึ่งคู่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2.  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 $H_a$  : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด อย่างน้อยหนึ่งคู่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3.  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 $H_a$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
4.  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 $H_a$  : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
5.  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันที่เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 $H_a$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันที่เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6. Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทดสอบผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน ว่ามีผลต่อค่าร้อยละการบวมตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร้อย เคลียร์พีวเอสเอลูตทิง แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซมหรือไม่ การทดลองทั้งหมดเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) โดยทดสอบค่าร้อยละการบวมตัวของเรซินซีเมนต์ ด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Fourier transform infrared : FTIR) โดยเทคนิคการส่งผ่าน (transmission) และทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงด้วยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปร่างมินิดั้มเบลล์ (mini-dumbbell) ตาม ISO/TS 11405 ที่มีขนาดของพื้นที่ยึดติดเท่ากับ 2x3 ตารางมิลลิเมตร และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal testing machine)

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. เรซินซีเมนต์ที่ใช้เป็นชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 4 ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ละ 2 หลอด เพื่อใช้เป็นกลุ่มทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มควบคุมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองหลอดมาจากกระบวนการผลิตเดียวกัน จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าสัดส่วนองค์ประกอบของทั้งสองหลอดใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดสอบครั้งที่ 1 เพื่อหาค่าเริ่มต้นของค่าร้อยละการบวมตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของแต่ละเรซินซีเมนต์ จึงทำการทดสอบเพียงผลิตภัณฑ์ละ 1 หลอดเท่านั้น

2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด ได้รับการตรวจเทียบมาตรฐานก่อนการใช้งานด้วยแผ่นสอบเทียบมาตรฐานพอลิสไตรีน (polystyrene film) ผลการตรวจเทียบมาตรฐานยอมรับความผิดพลาดที่  $\pm 2$  เลขคลื่น (wave number) และเครื่องได้รับการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $50 \pm 5$  ตลอดเวลา จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าเครื่องมีความพร้อมใช้งาน และมีความถูกต้องแม่นยำ

3. ก่อนการใช้งานเรซินซีเมนต์ เรซินซีเมนต์ทุกหลอดจะได้รับการปรับอุณหภูมิโดยการวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที ก่อนเริ่มการผสม และนำเรซินซีเมนต์ไปทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด และนำไปใช้ยึดชิ้นคอมพอสิต

ออนเลย์กับผิวเนื้อฟัน จึงสันนิษฐานได้ว่าเรซินซีเมนต์ทุกหลอดมีอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน ที่อุณหภูมิห้อง  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส

4. งานวิจัยนี้ใช้หมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐาน (Internal standard) ร่วมในการคำนวณหาค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด คือ ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่คาร์บอนิล ดังแสดงดังภาพที่ 19 และ ภาพที่ 28-35 ในภาคผนวก จ.

### ข้อจำกัดของการวิจัย

การทดลองนี้เป็นเพียงการทดสอบผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ในห้องทดลอง (*in vitro*) จึงเป็นเพียงการบอกถึงแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น โดยในสถานการณ์จริงของการนำไปใช้ภายในช่องปาก (*in vivo*) อาจให้ผลที่คล้ายกันหรืออาจไม่เหมือนกันเลยก็เป็นได้

การเปลี่ยนแปลงค่าการบ่มตัวเป็นเพียงการสะท้อนผลการเกิดพอลิเมอร์เรซินของวัสดุที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อสมบัติของเรซินซีเมนต์ แต่เป็นเพียงผลส่วนหนึ่งจากการเก็บเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิสูงนาน ๆ ทั้งนี้ความสำเร็จของการยึดขึ้นงานทันตกรรมบูรณะนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัยร่วมกัน ซึ่งอุณหภูมิอาจมีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากงานทดลองครั้งนี้ เช่น การเกิดความเครียดจากการหดตัว การเกิดการแยกชั้นเฟส ผลของสารมอนอเมอร์ตกค้างที่มีต่อเนื้อเยื่อหรือเสถียรภาพของสี ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาชิ้นนี้สามารถสื่อถึงผลการนำไปใช้ได้มากยิ่งขึ้น จึงทำการประเมินประสิทธิภาพการยึดติดด้วยการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานคอมพอสิตออนเลย์กับเนื้อฟันด้วยเรซินซีเมนต์ที่ทดลองร่วมด้วย เพื่อประเมินผลกระทบว่ามีนัยสำคัญต่อการยึดติดหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็เพียงการประเมินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) จำต้องมีการนำไปต่อยอดเพื่อศึกษาผลที่มีในทางคลินิกกับการใช้งานในช่องปากของผู้ป่วยต่อไป

งานวิจัยนี้ทดสอบเรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์แอดฮีซีฟ 4 ชนิด ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร์ออย เคลียร์วีวเอสเอลูตทิง แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม ดังนั้นผลการทดสอบนี้อาจไม่สามารถใช้เพื่อคาดเดาผลที่จะเกิดกับเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องจากมีความแตกต่างกันของทั้งชนิดและสัดส่วนขององค์ประกอบ จึงอาจเกิดความหลากหลายของผลที่จะเกิดขึ้นในแต่ละผลิตภัณฑ์

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ค่าการบ่มตัว : degree of conversion

กำลังแรงยึดดึง : tensile bond strength

มินิดั้มเบลล์ : mini-dumbbell

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้ทำให้ทราบผลของการเก็บเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน ที่มีต่อค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ ที่เลือกใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และผลที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานคอมพอสิตออลเลย์กับเนื้อฟัน ที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์เดียวกันกับที่ใช้ทดสอบค่าการบ่มตัว ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถึงความแตกต่างของผลของอุณหภูมิในการเก็บระหว่าง 4 กับ 40 องศาเซลเซียส และผลของระยะเวลาในการเก็บตั้งแต่ 1 3 และ 6 เดือน และความแตกต่างระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาผลของอุณหภูมิในแง่อื่น หรือศึกษากลไกในการอธิบายผลของงานวิจัยต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ออกแบบในรูปของการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเรซินซีเมนต์ ณ อุณหภูมิสูง ที่มีผลต่อค่าการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร้อย แม็กซ์เซมอีไลท์ เคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง และ บิสเซ็ม โดยใช้ผลิตภัณฑ์ละ 2 หลอด ที่มาจากรุ่นการผลิตเดียวกัน อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และมีอายุการใช้งานเกิน 6 เดือน นับจากวันที่เริ่มทำการทดสอบ โดยหลอดแรกเก็บ ณ อุณหภูมิทดลอง คือ 40 องศาเซลเซียส ส่วนหลอดที่สองเก็บ ณ อุณหภูมิควบคุม คือ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน ทำการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ การทดสอบครั้งที่ 1 ทดสอบเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ละ 1 หลอด ตั้งแต่รับมาจากตัวแทนจำหน่ายภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 สัปดาห์ การทดสอบครั้งที่ 2 ทำภายหลังจากเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน การทดสอบครั้งที่ 3 ทำภายหลังจากเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน และการทดสอบครั้งที่ 4 ทำภายหลังจากเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน การทดสอบแต่ละครั้งกำหนดให้มีการทดสอบที่เหมือนกัน โดยมีการควบคุมกระบวนการและขั้นตอนรวมทั้งอาศัยผู้ทำในแต่ละขั้นตอนเป็นบุคคลเดียวกัน ในการทดสอบหนึ่งครั้งจะทำการผสมเรซินซีเมนต์แต่ละหลอดที่มาจากอุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยการผสมด้วยมือ จำนวน 5 ครั้ง เรซินซีเมนต์ที่ได้จากการผสมแต่ละครั้งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ โดยวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด เพื่อวัดความเข้มของการดูดกลืนอินฟราเรด และคำนวณค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างความเข้มการดูดกลืนของหมู่อะลิฟาติกคาร์บอนพันธะคู่ (aliphatic C=C) กับความเข้มการดูดกลืนของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl C=O) ของเรซินซีเมนต์ทั้งก่อนฉายแสงและหลังฉายแสง เรซินซีเมนต์ที่ผสมแล้วอีกส่วนหนึ่งนำไปใช้ยึดชิ้นคอมพอสิตออลเลย์กับผิว

เนื้อพื้นเพื่อทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ด้วยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปแบบมินิแอมป์เบลล์ขนาดพื้นที่ยึดติด 2x3 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ และนำค่าแรงดึงสูงสุดมาคำนวณหาค่ากำลังแรงยึดดึงในหน่วยเมกะพาสคาล (MPa) โดยเทียบสัดส่วนแรงดึงสูงสุด (นิวตัน) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ยึดติด (ตารางมิลลิเมตร) จากนั้นทำการตรวจสอบเพื่อแยกประเภทของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นที่รอยแตกหักของชิ้นทดสอบ โดยการส่งกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า และทำการเลือกชิ้นที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มไปศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมโดยการส่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดต่อไป

### ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

|                                  | มี.ค.-พ.ค. 53 | มิ.ย. - ธ.ค. 53 | ม.ค. - เม.ย. 54 | พ.ค. - ธ.ค. 54 | ม.ค. - มี.ค. 55 |
|----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| กำหนดหัวข้อและตั้งสมมติฐาน       | ←→            |                 |                 |                |                 |
| ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง       | ←→            |                 |                 |                |                 |
| ทำการศึกษนำร่อง                  | ←→            |                 |                 |                |                 |
| ดำเนินการวิจัย                   | ←→            |                 |                 |                |                 |
| เก็บข้อมูล                       | ←→            |                 |                 |                |                 |
| วิเคราะห์ สรุปผลและอภิปรายข้อมูล | ←→            |                 |                 |                |                 |

ภาพที่ 1 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

## งบประมาณ

### 1. ค่าอุปกรณ์และวัสดุ

|  |          |        |     |
|--|----------|--------|-----|
| เรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์้อย                 | เป็นเงิน | 8,560  | บาท |
| เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์พีวเอสเอสเอสเอลูตทิง      | เป็นเงิน | 5,000  | บาท |
| เรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม                           | เป็นเงิน | 5,600  | บาท |
| เรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์                  | เป็นเงิน | 3,480  | บาท |
| คอมโพสิตเทตทริกเอ็นซีแรม (tetric-N ceram)        | เป็นเงิน | 15,144 | บาท |
| สารคลอรามีนที (chloramine T)                     | เป็นเงิน | 3,959  | บาท |
| ค่าสร้างเครื่องมือสำหรับยึดชิ้นงาน               | เป็นเงิน | 6,820  | บาท |
| เข็มกรอกกากเพชร (diamond bur)                    | เป็นเงิน | 970    | บาท |
| ค่าไบเลื่อยเครื่องตัดฟันชนิดเพชร (diamond blade) | เป็นเงิน | 16,623 | บาท |

### 2. ค่าใช้เครื่องมือทดสอบ

|   |          |        |     |
|---|----------|--------|-----|
| ค่าการทดสอบเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด   | เป็นเงิน | 35,300 | บาท |
| ค่าการทดสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด | เป็นเงิน | 8,980  | บาท |
| ค่าใช้บริการเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ            | เป็นเงิน | 1,500  | บาท |
| ค่าใช้บริการเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ         | เป็นเงิน | 700    | บาท |
| ค่าใช้บริการกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ          | เป็นเงิน | 300    | บาท |
| ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์        | เป็นเงิน | 1,000  | บาท |

รวมงบประมาณทั้งสิ้น

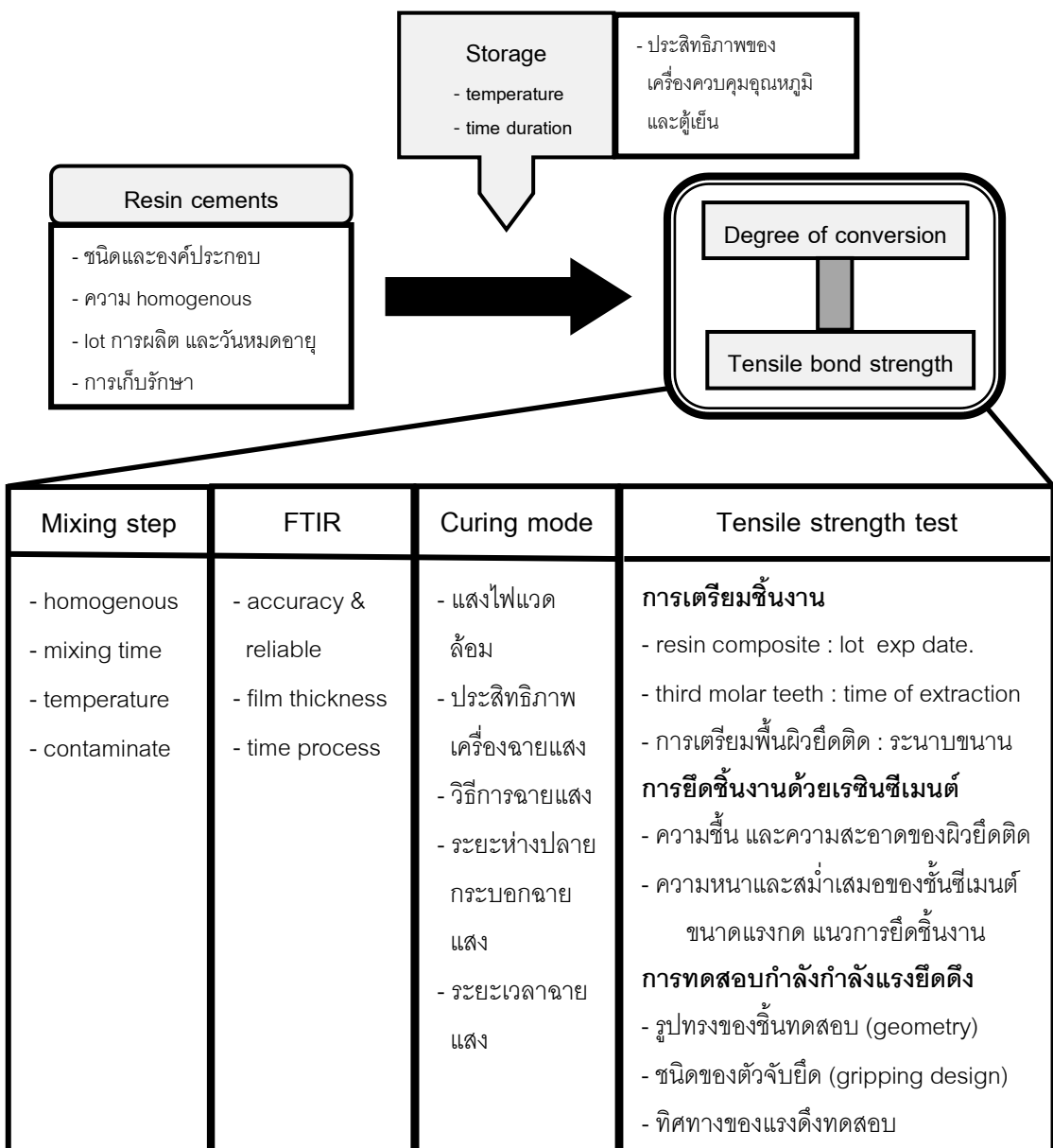
เป็นเงิน 113,936 บาท

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

กรอบแนวคิดและทฤษฎีของงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยตัวแปรต้น (independent variables) ที่ศึกษา คือ เรซินซีเมนต์ การแทรกแซง (interventions) ของการทดลอง คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ และตัวแปรตาม (dependent variables) หรือข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติด ผลการวิเคราะห์งานวิจัยนี้มีปัจจัยควบคุมและปัจจัยรบกวน (confounding factors) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีของงานวิจัย



## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### เรซินซีเมนต์ (Resin cements)

ปัจจุบันมีการใช้เรซินซีเมนต์ในอย่างกว้างขวาง และมีการปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์อย่างต่อเนื่อง โดยเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบและระบบการใช้งานที่แตกต่างกัน มีส่วนประกอบหลัก คือ สารพอลิเมทาคริเลต (polymethacrylates) ที่สามารถจำแนกตามส่วนประกอบพื้นฐานออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ อะคริลิกเรซินซีเมนต์ (acrylic resin cement) ที่มีเมทิลเมทาคริเลตพอลิเมอร์ (methyl methacrylate polymer) หรือโคพอลิเมอร์ (copolymer) ต่อมา มีการพัฒนาเป็นอะคริลิกเรซินซีเมนต์ชนิดดัดแปลง (modified acrylic resin cement) โดยการเติมสารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด คือ สารโพรมีทาคริลอซีเอทิล ไตรเมลลิตเตแอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride : 4-META) ทำให้สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างฟันและโลหะผสม (alloy) ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Super-bond C&B) [15] ส่วนเรซินซีเมนต์กลุ่มที่สอง คือ ไดเมทาคริเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement) เป็นกลุ่มของเรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบัน ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายวัสดุอุดฟันเรซินคอมพอสิต (resin-based composite filling materials) ที่ประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) กับสารวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ที่ได้รับการเตรียมผิวด้วยสารซิลเลน (silane-treated inorganic fillers) ชนิดของเรซินพื้นฐาน (resin base) ที่ใช้ในกลุ่มนี้ได้แก่ บิสจีเอ็มเอ (BisGMA) เป็นต้น [1,16]

เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามระบบของสารเรซินแอดฮีซีฟ (resin adhesive) ที่ใช้เตรียมผิวฟันก่อนการยึดติด (cementation) กลุ่มแรกคือระบบโททอลเอทช์ (total-etch system) เช่น วาโรลิงค์ (Variolink) และวาโรลิงค์ทู (Variolink II) เน็กซ์ (Nexus) และคาลิบรา (Calibra) เป็นต้น ลักษณะการใช้งานมีการปรับสภาพผิวฟัน (surface treatment) โดยใช้กรดกัดแล้วล้างออก (etch and rinse) เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) และสเมียร์พ러그 (smear plug) ทำให้ท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) เปิดออก หลังจากนั้นทำการปรับสภาพผิวฟันด้วยการทาไพรเมอร์ (primer) และสารเรซินแอดฮีซีฟที่สามารถไหลแทรกซึมเข้าไประหว่างเส้นใยคอลลาเจน (collagen) เกิดการแข็งตัวกลายเป็นโครงสร้างชั้นไฮบริด (hybrid layer) [15,19] ทำให้ระบบนี้มีประสิทธิภาพการยึดติดสูง (bonding effectiveness) หากสามารถเตรียมพื้นผิวได้อย่างเหมาะสม ระบบนี้ต้องอาศัยหลายขั้นตอนการทำงาน (multistep technique) และมีความยุ่งยาก (technique sensitive) ที่อาจเกิดความผิดพลาด จึงมีการพัฒนาเรซินซีเมนต์กลุ่มที่สองคือระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch system) ขึ้นเพื่อลดขั้นตอนการทำงาน โดยมีการเตรียมผิวฟันด้วยการใช้เซลฟ์เอทช์ไพรเมอร์ (self-etching primers) ซึ่งเป็นการรวมขั้นตอนของการกัดกรดและการปรับสภาพผิวฟันด้วยไพรเมอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้หมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic

monomer) ปรับสภาพชั้นเคลือบให้เหมาะแก่การยึดติด (modified smear layer) และรวมเข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งของการยึดติดโดยไม่ต้องล้างออก ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้ได้แก่ พานาเวีย (Panavia 21 Panavia F และ Panavia F 2.0) มัลติลิงก์ (Multilink) เป็นต้น ต่อมาในปี ค.ศ. 2002 มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์กลุ่มย่อยใหม่ คือ เซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ (self-adhesive cements) อาทิ รีไลเอกซ์ยูนิเซม (RelyX Unicem) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตัวแรกในกลุ่มนี้ รีไลเอกซ์ยูร้อย (RelyX U100) บิสเซม (BisCem) เคลียร์ฟิวเอสเอลูตติง (Clearfil SA luting) แมกซ์เซมอีไลต์ (Maxcem Elite) จีเซม (G-Cem) สปีดเซม (SpeedCEM) ไอเซม (iCem) มอนอเซม (MonoCem) สมาร์ทเซมทู (SmertCem2) มัลติลิงก์สปรีน (Multilink Sprint) และเรซิเมนต์ (Resident) เป็นต้น คุณสมบัติเด่นของเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการยึดติดกับผิวฟันได้โดยไม่ต้องมีขั้นตอนการเตรียมผิวฟันด้วยกรดหรือไพรเมอร์ที่เป็นกรด แต่อาศัยความเป็นกรดของมอนอเมอร์ในเนื้อวัสดุเป็นตัวปรับสภาพผิวฟันด้วยตัวมันเอง จึงง่ายต่อการใช้งาน ลดเวลาในการทำงาน และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำงาน [15,17,18]

เซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีการผสมรวมลักษณะของ วัสดุเรซินคอมพอสิต เซลฟ์เอทชิงแอดฮีซีฟ (self-etching adhesive) และซีเมนต์แบบดั้งเดิม (conventional cements) เข้าไว้ด้วยกัน โดยส่วนใหญ่เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้มีส่วนประกอบพื้นฐานหรือเนื้อวัสดุ (resin base) เป็นสารกลุ่มไดเมทาคริเลต ยกเว้นผลิตภัณฑ์มอนอเซมที่ใช้เป็นอะคริลิกเรซิน ส่วนประกอบทางเคมีของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ได้แก่ ส่วนของเรซินเมทริกซ์กับวัสดุอัดแทรก ที่ยึดเข้าด้วยกันด้วยสารเชื่อมติด (coupling agent) โดยเรซินเมทริกซ์จะประกอบด้วยส่วนเนื้อวัสดุเรซิน (resin-base dental material) แอดฮีซีฟเรซินมอนอเมอร์ (adhesive resin monomer) สารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiators) สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) สารคงสภาพ (stabilizer) และสารปรับปรุงสี (optical modifier) เป็นต้น [18,20,21]

ส่วนเนื้อวัสดุเรซินหรือเรซินพื้นฐานของเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ มีหลากหลายชนิดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เมทาคริเลตมอนอเมอร์และอนุพันธ์ (mono-, di- และ / หรือ multi-methacrylate monomers) เช่น บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) กลีเซอรอลไดเมทาคริเลต (glycerol dimethacrylate: GDMA) ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-hydroxyethyl methacrylate: HEMA) ไตรเอทิลไกลคอลไดเมทาคริเลต (triethylene glycol dimethacrylate: TEGDMA) ไทรเมทิลอิวโพรเพนไตรเมทาคริเลต (trimethylolpropane trimethacrylate: TMPTMA) ยูรีเทนไดเมทาคริเลต (urethane dimethacrylate: UDMA) เป็นต้น [18,21]

โครงสร้างของแอดฮีซีฟเรซินมอนอเมอร์หรือแอซิกฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (acid-functional monomer) แบ่งออกเป็นสามส่วน ได้แก่ หมู่พอลิเมอไรเซชัน (polymerizable group) สเปดเซอร์ (spacer) และหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ซึ่งส่วนของหมู่ฟังก์ชันในฟังก์ชันนัล

มอนอเมอร์คือส่วนสำคัญที่ช่วยให้เกิดการยึดติดของระบบแอตซีซีพีซีเมนต์ โดยมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงมีความสามารถในการไหลแทรกซึม (wetting) เข้าละลายแร่ธาตุ และทำปฏิกิริยาเคมีกับโครงสร้างฟัน อีกทั้งบางชนิดยังสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ (fluoride) ทำให้มีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อ (antibacterial properties) แอตซีซีพีเรซินมอนอเมอร์ที่พบในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสารเอสเทอร์ (esters) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดเมทาคริลิก (methacrylic acid) กับอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกหรือคาร์บอกซิลิก (phosphoric/carboxylic acid derivatives) ตัวอย่างอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น เมทาคริลอ็อกซีเอทิลไตรเมลลิติกแอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride : 4-META) และไฟโรเมลลิติกกลีเซอรอลไดเมทาคริเลต (pyromellitic glycerol dimethacrylate : PMGDM) ตัวอย่างอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก เช่น เมทาคริลอ็อกซีเดกซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate : MDP) เมทาคริลอ็อกซีเอทิลแอซิกฟอสเฟต (bis (2-methacryloxyethyl) acid phosphate : BMP) และเพนทาอริทริทอลเพนทาอะคริเลตมอนอฟอสเฟต (dipentaerythritol penta acrylate mono phosphate : Penta-P) เป็นต้น [18,20-22]

ตัวอย่างของชนิดแอตซีซีพีเรซินมอนอเมอร์ ได้แก่ เมทาคริเลตฟอสเฟตเอสเทอร์ (methacrylate phosphate ester) เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์วีโลเอกซ์ยูนิเซม วีโลเอกซ์ยูร์ออย และสปีดเซม บางผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของออร์แกนอพอสเฟต (organophosphate) เช่น เมทาคริลอ็อกซีเดกซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟตหรือเอ็มดีพี ด้วยลักษณะเด่นของโครงสร้างที่มีหมู่คาร์บอนิลต่อเป็นสายยาวทำให้มีความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) สูงจึงมีเสถียรภาพต่อการสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) และสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ของเคลือบฟันและเนื้อฟัน และสามารถทำปฏิกิริยากับเซอร์โคเนีย (zirconia) ได้ จึงเป็นสมบัติพิเศษที่แนะนำให้ใช้ในงานเซรามิกล้วน (all ceramics) ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ที่มีเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ เคลียร์ฟิวเอสออกลูตทิงและมัลติลิงสปรีนท์ ส่วนผลิตภัณฑ์แมกซ์เซมอีไลท์มีแอตซีซีพีมอนอเมอร์คือ กลีเซอรอลฟอสเฟตไดเมทาคริเลต (GPDM) และผลิตภัณฑ์บิสเซมมีองค์ประกอบของบิสไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตฟอสเฟต (bis (hydroxyethyl methacrylate) phosphate) [18,20-25]

เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งชนิดตาม ISO/FDIS 4049 ปี ค.ศ. 2000 (ANSI/ADA No.27) [26] ที่กำหนดการแบ่งชนิดของวัสดุอุดฟัน (filling) วัสดุบูรณะ (restoration) และวัสดุยึด (luting materials) ที่มีพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานออกเป็น 3 กลุ่ม ตามกลไกการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ได้แก่ วัสดุชนิดก่อดำด้วยปฏิกิริยาเคมี (self-cured materials) วัสดุชนิดก่อดำด้วยแสง (light-cured materials) และวัสดุชนิดก่อดำควบคู่ (dual-cured materials) [26,27] เซลฟ์แอตซีซีพีซีเมนต์เกือบทั้งหมดเป็นชนิดก่อดำควบคู่ ยกเว้นเรซินซีเมนต์ชนิดเรซินซีเมนต์ที่เป็นชนิดก่อดำด้วยปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมีผลต่อค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดก่อดัวควบคู่ โดยพบว่าค่าการบ่มตัวด้วยการฉายแสงร่วมด้วยมีผลทำให้ค่าการบ่มตัวมีค่าสูงกว่าการบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว และพบว่าความทึบแสงของวัสดุบูรณะซึ่งมีผลในการบดบังแสง มีผลทำให้ค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการฉายแสงโดยไม่มีวัสดุคั่นกลาง [4,28-30]

## การยึดติดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับฟัน (Adhesion to tooth substrates)

### การยึดติดกับเคลือบฟัน

จากผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์กับเคลือบฟัน พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดทั้งแบบดึงและแบบเฉือน (tensile and shear bond strength) ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบที่มีการเตรียมผิวฟันก่อน จากรายงานของ Abo-Hamar และคณะ [31] พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดเฉือนกับเคลือบฟันเท่ากับ 14.5 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีการใช้สารยึดติดร่วมด้วย (Syntac/Variolink II ED-Primer II / Panavia F2.0 Prime&Bond NT / Dyract Cem Plus) แต่มีค่าสูงกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Ketac Cem)

การศึกษาค่ากำลังแรงยึดดึง Hikita และคณะ [32] ศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์ระบบโททอลเอทซ์มีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) กับเคลือบฟันสูงสุด ส่วนระบบเซลฟ์เอทซ์และเซลฟ์แอดฮีซีฟจะมีค่าต่ำลงตามลำดับ โดยรีไลเอกซ์ยูนิเซม (เซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์) มีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคเท่ากับ 19.6 เมกะพาสคาล ส่วนพานาเวียเอฟ (เซลฟ์เอทซ์ซีเมนต์) ที่ใช้อีดีไพร์เมอร์ (ED-Primer) ก่อน มีค่าเท่ากับ 35.4 เมกะพาสคาล และเซลฟ์เอทซ์ซีเมนต์ชนิดลิงค์แมกซ์ (Link max) ที่ใช้อีพีไพร์เมอร์ (Primer EP) ก่อน มีค่าเท่ากับ 49.2 เมกะพาสคาล ส่วนเรซินซีเมนต์ระบบโททอลเอทซ์ชนิดวาริโอลิงค์ทู (Variolink II) ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดซินแท็ก (Syntac) มีค่าเท่ากับ 49.3 เมกะพาสคาล จากรายงานของ De Munck และคณะ [33] ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยพบว่ารีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคกับเคลือบฟันเท่ากับ  $19.6 \pm 6.0$  เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าพานาเวียเอฟที่มีค่าเท่ากับ  $35.4 \pm 9.5$  เมกะพาสคาล นอกจากนี้ยังพบว่าการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยการใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กัดผิวเคลือบฟันก่อนการใช้รีไลเอกซ์ยูนิเซม สามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคเป็น  $35.6 \pm 13.2$  เมกะพาสคาล ซึ่งใกล้เคียงกับพานาเวียเอฟในระบบเซลฟ์เอทซ์ ส่วนการศึกษาความล้มเหลวของการยึดติด (mode of failure) พบว่าความล้มเหลวส่วนใหญ่ของรีไลเอกซ์ยูนิเซมเกิดที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเคลือบฟัน (adhesive failures at the luting – enamel interface) [32]

### การยึดติดกับเนื้อฟัน

รายงานการศึกษาค่ากำลังแรงยึดกับเนื้อฟันของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ มีการทดสอบด้วยวิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดเฉือน กำลังแรงยึดดึง และกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค ซึ่งที่พบส่วนใหญ่เป็นการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันตามชนิดของการทดสอบ ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดเฉือนเท่ากับ 10.8 เมกะพาสคาล [31] ส่วนค่ากำลังแรงยึดดึงเท่ากับ  $4.47 \pm 1.40$  เมกะพาสคาล [34] และมีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคอยู่ในช่วง 11.4 ถึง 15.9 เมกะพาสคาล [5,32-33,35-36] และค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ชนิดอื่น ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูริ้อยมีค่า  $15.3 \pm 3.4$  เมกะพาสคาล [35] จีเซมมีค่า  $10.5 \pm 11.1$  เมกะพาสคาล [37] สมาร์ทเซมทูมีค่า  $8.5 \pm 4.9$  เมกะพาสคาล [35] และ  $16.9 \pm 10.3$  เมกะพาสคาล [35] แม็กซ์เซมอีไลท์มีค่า  $11.5 \pm 6.8$  เมกะพาสคาล [35] และบิสเซมมีค่า  $2.4 \pm 3.9$  เมกะพาสคาล [37] เป็นต้น

จากผลการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดกับเนื้อฟัน ระหว่างเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับเรซินเมนตรบบที่มีการเตรียมผิวเนื้อฟันก่อน พบว่าผลการทดสอบได้ค่าที่แตกต่างกันจากค่ากำลังแรงยึดกับเคลือบฟันอย่างชัดเจน โดยจากรายงานของ Hikita และคณะ [32] และ De Munck และคณะ [33] ให้ผลที่สอดคล้องกันว่า รีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค  $15.9 \pm 3.9$  เมกะพาสคาล ซึ่งไม่แตกต่างกับพานาเวียเอฟในระบบเซลฟ์เอทซ์ที่มีค่า  $17.5 \pm 5.9$  เมกะพาสคาล และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับระบบโททอลเอทซ์ เช่น ดิงค์แมกซ์ที่มีค่าเท่ากับ 15.4 เมกะพาสคาล และเน็กซ์สทูที่มีค่าเท่ากับ 22.3 เมกะพาสคาล ส่วนการศึกษาของ Abo-Hamar และคณะ [31] พบว่า รีไลเอกซ์ยูนิเซม พานาเวียเอฟ และวารีโอลิงค์ มีค่ากำลังแรงยึดเฉือนกับเนื้อฟันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่าเท่ากับ 10.8 เมกะพาสคาล พานาเวียเอฟที่มีค่าเท่ากับ 10.5 เมกะพาสคาล และวารีโอลิงค์มีค่าเท่ากับ 15.1 เมกะพาสคาล

ผลการรายงานที่แตกต่างออกไปของ Viotti และคณะ [35] พบว่าเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ (RelyX Unicem :  $12.5 \text{ MPa}^C$  RelyX U100 :  $15.3 \text{ MPa}^{BC}$  SmartCem 2 :  $8.5 \text{ MPa}^{CD}$  G-Cem :  $16.9 \text{ MPa}^{BC}$  Maxcem :  $11.5 \text{ MPa}^{CD}$  และ SeT :  $4.6 \text{ MPa}^D$ ) ส่วนใหญ่มีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคกับเนื้อฟันต่ำกว่าเรซินเมนตรบบที่มีการเตรียมผิวเนื้อฟันก่อน (RelyX ARC :  $69.6 \text{ MPa}^A$  และ Panavia F :  $33.7 \text{ MPa}^{AB}$ )

การศึกษาผลของการเตรียมผิวเนื้อฟันก่อนใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ โดย Munck และคณะ [33] พบว่าเมื่อทำการเตรียมผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนใช้รีไลเอกซ์ยูนิเซม จะมีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคต่ำลงจาก  $15.9 \pm 3.9$  เป็น  $5.9 \pm 3.0$  เมกะพาสคาล ส่วน Hikita และคณะ [32] พบว่าเมื่อเตรียมผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดติดชนิดพวอมแอลปอปซึ่งมีความเป็นกรดสูง

ก่อนใช้รีไลเออกรีตยูนิเซม ค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคมีค่าสูงขึ้นจาก 15.9 เป็นเท่ากับ 22.2 เมกะพาสคาล แต่หากทำการเตรียมผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนใช้รีไลเออกรีตยูนิเซม จะมีค่าต่ำลงเหลือเพียง 5.9 เมกะพาสคาล

ผลการศึกษาเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอคทีฟในห้องทดลอง พบว่าให้การยึดติดกับเนื้อฟันหรือวัสดุบูรณะได้เป็นที่น่าพอใจ เมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์แบบหลายชั้นตอน แต่ให้การยึดติดกับเคลือบฟันที่อ่อนแอกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีการเตรียมผิวฟันก่อนอย่างชัดเจน ส่วนการเตรียมผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนการใช้รีไลเออกรีตยูนิเซม ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคมีค่าต่ำลงอย่างมาก ผลเป็นไปในทางกลับกันกับการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนมีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคมีค่าสูงขึ้น [17,32-33]

ลักษณะความล้มเหลวของการยึดติดของเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอคทีฟ พบว่าส่วนใหญ่เกิดการแตกหักที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับผิวเนื้อฟัน (adhesive between the resin cement and dentin) [32,34]

#### การทดสอบค่ากำลังแรงยึด (Bond strength test)

จากนิยามของค่ากำลังแรงยึด (bond strength) ตาม ISO/TS 11405:2003(E) หมายถึงแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ยึดติด ที่ใช้ในการทำลายการยึดติด ทำให้เกิดความล้มเหลวในชั้นรอยต่อหรือใกล้กับรอยต่อของการยึดติด (adhesive/adherend interface) [38] ด้วยวัตถุประสงค์ที่หลากหลายของการใช้งานสารยึดติด (adhesive materials) ภายในช่องปาก ดังนั้นแนวทางในการทดสอบค่ากำลังแรงยึดของวัสดุจึงขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดและลักษณะความล้มเหลวของแตกหัก ได้แก่ ความบกพร่อง (flaws) ภายในเนื้อวัสดุ ขนาดและรูปทรง (geometry) ของชิ้นทดสอบ ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของวัสดุ ความหนาของซีเมนต์ และวิธีการให้แรงทดสอบ (load application) ปัจจุบันวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติดกับผิวฟันที่นิยมได้แก่ การทดสอบกำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength test) และการทดสอบกำลังแรงยึดดึง (tensile bond strength test) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นการทดสอบระดับมหภาคหรือจุลภาค (macro-/micro-test set-up) ขึ้นกับขนาดของพื้นที่ยึดติดที่ใช้ทดสอบ โดยระดับมหภาค คือ พื้นที่ยึดติดที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีทั้งวิธีการวัดแรงยึดเฉือน (macro-shear) และแรงยึดดึง (macro-tensile/ push-out) [39-41]

Scherrer และคณะ [41] รวบรวมรายงานการศึกษาค่ากำลังแรงยึดในสารยึดติด พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบค่ากำลังแรงยึดระหว่างระดับมหภาค ที่มีพื้นที่ยึดติดประมาณ 7 ตารางมิลลิเมตร กับการทดสอบระดับจุลภาคที่มีพื้นที่ยึดติดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร พบว่าค่ากำลังแรงยึดทั้งแบบดึงและแบบเฉือนของระดับมหภาคมีค่าต่ำกว่าระดับจุลภาค แสดงให้เห็นว่าการทดสอบด้วยพื้นที่ยึดติดที่มีขนาดเล็กกว่าส่งผลให้มีค่ากำลังแรงยึดที่สูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบาย

ได้จากสถิติความน่าจะเป็นของไวบูล (Weibull probabilistic approach) คือ วัสดุที่มีความเปราะ (brittle materials) หากมีการเพิ่มขนาดของพื้นที่ยึดติด จะเพิ่มความน่าจะเป็นของการพบจุดบกพร่อง (critical sized defect / flaws) บริเวณชั้นรอยต่อเพิ่มมากขึ้น เช่น ความไม่สม่ำเสมอหรือมีรอยแยกของชั้นยึดติด ฟองอากาศ (void) กลุ่มของหยดน้ำ หรือการมีตัวทำลายหลงเหลือ เป็นต้น จุดบกพร่องเหล่านี้สามารถทำให้เกิดรอยร้าวต่อเนื่อง (crack propagation) และส่งผลทำให้เกิดความเค้นเฉพาะที่ จึงสามารถเกิดการแตกหักบริเวณที่ไม่ใช่จุดอ่อนแอสุดของชั้นรอยต่อจริง ดังนั้นการเตรียมชั้นทดสอบให้มีขนาดเล็กจึงสามารถลดข้อบกพร่องดังกล่าวลงได้ มีผลทำให้วัดค่ากำลังแรงยึดได้สูงกว่าระดับมหภาค [39,41-42]

การเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเฉือน และค่ากำลังแรงยึดดึงในระดับมหภาคของสารยึดติด จากรายงานการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าค่ากำลังแรงยึดเฉือนมีค่าสูงกว่าแรงยึดดึง ซึ่งการพิจารณาข้อมูลเหล่านี้ควรคำนึงถึงการกระจายความเค้น (stress distributions) ที่ต่างกัน การมีความเค้นที่ไม่เป็นแบบเดียวกันหรือ non-uniform) ที่บริเวณรอยต่อการยึดติด ซึ่งจะแปรผันตามลักษณะรูปทรงของชิ้นงานทดสอบ (specimens' geometries) ลักษณะการให้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบ (wire loop knife edge blade hook point of loading alignment และ stressing rate) และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะส่งผลต่อความเค้นสุดท้าย (final stress state) และตำแหน่งของการสะสมความเค้น (stress concentration location) [39,41]

การทดสอบแรงยึดเฉือนมี 2 วิธี ได้แก่ แบบระนาบ (traditional planar) และแบบผลัดออก (push out) ข้อดีของการทดสอบแรงยึดเฉือน คือเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ง่าย แต่ค่าที่ได้พบว่ามีค่าความแปรปรวนมากซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจาก ขั้นตอนการวัด การจัดวางชิ้นตัวอย่างให้ได้ระนาบกับหัวกด และความสม่ำเสมอของการกระจายความเค้น ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการทดสอบกำลังแรงยึดดึง จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบส่วนใหญ่จะพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficients of variation) ค่อนข้างสูง เนื่องมาจากการที่ไม่สามารถควบคุมการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอในทิศทางที่ถูกต้องได้ จึงเกิดความเค้นดึงจากการบิดหมุน (bending moment) ในขณะที่ทดสอบ ซึ่งมีผลต่อตัววัสดุหรือฟัน (substrate) มากกว่าที่บริเวณรอยต่อของการยึดติด ทำให้การทดสอบกำลังแรงยึดเฉือนมีการกระจายความเค้นที่ไม่เป็นแบบเดียวกัน นำไปสู่การเกิดรอยร้าวต่อเนื่อง (crack propagation) ผ่านตัววัสดุหรือฟัน ทำให้เกิดความล้มเหลวของแตกหักขึ้นภายในเนื้อฟันหรือวัสดุเรซินเป็นส่วนใหญ่ (cohesive failure of dentin or resin) ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบจึงเป็นการบ่งชี้สมบัติทางกลของทั้งเนื้อฟันและวัสดุเรซิน มากกว่าประสิทธิภาพการยึดติดของสารยึดติดจริง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความล้มเหลวแบบแตกหักภายใน จึงมีการ

พัฒนาวิธีการทดสอบแบบระนาบเดียว (single-plane lap-shear system) เพื่อปรับปรุงรูปแบบของการกระจายแรงเค้นขณะทดสอบ [39,41]

การทดสอบกำลังแรงยึดดึง หมายถึง การให้แรงดึงในแนวตั้งฉากกับรอยต่อยึดติด ทำให้เกิดการทำลายการยึดติด ซึ่งสามารถเกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอได้มากกว่าการทดสอบกำลังแรงยึดเฉือน ทำให้สามารถหาค่ากำลังแรงยึดติดของสารยึดติดกับพื้นได้ ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของค่ากำลังแรงยึดที่ได้ คือ การกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอในแบบเดียวกัน (uniform stress) ที่บริเวณรอยต่อยึดติด ซึ่งเกิดจากการควบคุมทิศทางของแรงให้เป็นแนวเดียวกัน ทั้งในขั้นตอนของการยึดติดชิ้นงานและขั้นตอนของการทดสอบแรงดึง และตั้งฉากกับรอยต่อยึดติดของวัสดุกับพื้น ซึ่งภายใต้การให้แรงทดสอบนั้นไม่ควรเกิดการเสียรูปร่างในแนวด้านข้าง (deform laterally) หรือถ้าหากเกิดขึ้นก็ต้องเกิดขึ้นอย่างสมดุล เพื่อสามารถทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอ (homogenous stress distribution) ได้ [39] และอีกปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ คือ พื้นผิวของการยึดติด เนื่องจากค่ากำลังแรงยึดดึงในหน่วยเมกะพาสคาล คือ ค่าแรงดึงสูงสุดในหน่วยนิวตันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ยึดติดในหน่วยตารางมิลลิเมตร ดังนั้นการควบคุมพื้นที่ยึดติดและความเรียบของผิวสัมผัสสำหรับการทดสอบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง [38]

การเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบกำลังแรงยึดดึง โดยทั่วไปจะจำกัดขอบเขตและตำแหน่งของการยึดติดอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางด้านบดเคี้ยว หรือเนื้อฟันปกติด้านริมฝีปากบริเวณกึ่งกลางตัวฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ถึง 4 มิลลิเมตร พื้นที่ยึดติด 7 ถึง 12 ตารางมิลลิเมตร การทดสอบดังกล่าว เหมาะสำหรับการทดสอบกำลังแรงยึดดึงระหว่างสารยึดติดกับผิวฟันที่มีค่าต่ำประมาณ 10 ถึง 15 เมกะพาสคาล ดังนั้นเมื่อมีการพัฒนาเทคนิคการยึดติดและคุณสมบัติวัสดุชั้น ทำให้มีค่ากำลังแรงยึดที่สูงมากขึ้น จนเกินขีดความสามารถของการทดสอบลักษณะเดิม ทำให้พบความล้มเหลวแบบแตกหักภายในเนื้อฟันเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นวิธีการเดิมจึงไม่สามารถหาค่ากำลังแรงยึดดึงที่แท้จริงของสารยึดติดกับเนื้อฟัน [43] ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบให้สามารถกระจายแรงเค้นที่สม่ำเสมอในขณะทดสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงความล้มเหลวแบบแตกหักภายในเนื้อฟันหรือวัสดุ โดย Sano และคณะ [44] ได้ริเริ่มพัฒนาวิธีการทดสอบกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (microtensile test) ที่มีพื้นที่ยึดติดขนาดเล็ก ประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร หรือน้อยกว่า ซึ่งสามารถลดความน่าจะเป็นของการพบจุดบกพร่องของชั้นยึดติด และเกิดการกระจายความเค้นที่รอยต่อยึดติดที่ดีกว่า ทำให้ได้ค่ากำลังแรงยึดดึงที่มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการวัดในระดับมหภาค และลดความล้มเหลวแบบแตกหักภายในเนื้อฟันหรือวัสดุให้น้อยลง โดยเกิดความล้มเหลวระหว่างชั้นยึดติดเพิ่มมากขึ้น และการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคยังสามารถเตรียมชิ้นทดสอบได้หลายชิ้นจากฟันหนึ่งซี่ จึงทำให้สามารถลดความแปรปรวนที่มาจากซี่ฟันหรือวัสดุได้ดีกว่า และสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนภายในซี่ฟันได้ และใช้หาค่ากำลัง



แรงยึดที่ระดับและตำแหน่งต่าง ๆ ของฟันได้ สามารถทดสอบจุดที่ต้องการซึ่งมีบริเวณเล็กมากได้ และง่ายต่อการนำไปสำรวจต่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แต่เนื่องจากขนาดของชิ้นทดสอบที่มีขนาดเล็ก การเตรียมวิธีนี้จึงต้องอาศัยเวลา ทักษะ และความระมัดระวังของผู้เตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งการเตรียมชิ้นทดสอบขนาดเล็กจะเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้ง่าย ในขณะที่เตรียม ดังนั้นการกรอแต่งชิ้นงานต้องทำให้เกิดแรงกระทำน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการหลุดของชิ้นยึดติดก่อนการทดสอบ [39,40] จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของสารยึดติด พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ได้แก่ รูปร่างของชิ้นทดสอบ (stick dumbbell หรือ hourglass) การมีจุดบกพร่องในชิ้นยึดติด ค่ามอดูลัสของวัสดุอุปกรณ์ยึดชิ้นทดสอบ (jig) และมุมของแรงที่ใช้ในการทดสอบ เป็นต้น [45,46]

ปัจจุบันการเตรียมชิ้นทดสอบกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค สามารถแบ่งออกเป็น การเตรียมแบบไม่ต้องกรอแต่ง (non-trimmed micro-specimens) ได้แก่ การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแผ่นสี่เหลี่ยม (slab : rectangular) หรือ แบบแท่ง (sticks : square) และการเตรียมที่มีการกรอแต่ง (trimmed micro-specimens) ได้แก่ การกรอแต่งให้มีรูปร่างบริเวณยึดติดแบบนาฬิกาทราย (hourglass-shaped) หรือแบบดัมเบลล์ (dumbbell-shaped) โดยรูปร่างนาฬิกาทรายคือรูปแบบแรกซึ่งคิดขึ้นโดย Sano และคณะ [44] ที่ออกแบบให้มีลักษณะโค้งเป็นร่อง (notch) ช่วยทำให้เกิดการสะสมความเค้นขึ้นที่บริเวณรอยต่อยึดติด เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหักภายในชิ้นวัสดุหรือฟันที่บริเวณใกล้กับจุดติดกาว

ปัจจุบันมีข้อมูลจำนวนมากที่มาจากวิธีทดสอบกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค เนื่องจากมีข้อดีของขนาดชิ้นทดสอบที่เล็ก จึงสามารถเพิ่มจำนวนตัวอย่างได้มาก และลดโอกาสการพบของบกพร่องภายในชิ้นยึดติด ค่าที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าวิธีทดสอบทั่วไป แต่ยังมีสิ่งที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากโดยหลักการแล้ว ค่ากำลังแรงยึดดึงที่ถูกต้องจะต้องไม่สูงเกินกว่าค่ากำลังแรงดึงของวัตถุที่ยึด (substrates) หมายความว่าหากวัตถุที่ยึดนั้นมีความอ่อนแอกว่า การแตกหักก็ควรเกิดขึ้นที่วัตถุที่ยึดก่อน จากบางรายงานศึกษาพบว่าค่ากำลังแรงยึดดึงที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีทดสอบกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคมีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงดึงของเนื้อฟัน ดังนั้นวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค จึงเหมาะสำหรับการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงเฉพาะจุดของการยึดติดระหว่างสารยึดติดกับเนื้อฟัน หรือเนื้อฟันผู้ที่ได้รับการเตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ หรือเนื้อฟันที่มีความผิดปกติ [47]

Nakabayashi [45] เสนอวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบในลักษณะรูปร่างแบบดัมเบลล์ย่อส่วน (miniaturized dumbbell specimens) โดยกรอแต่งบริเวณรอยต่อให้มีความคอดเพื่อลดขนาดของพื้นที่ยึดติดให้เหลือ 2x7 ตารางมิลลิเมตร รูปร่างดัมเบลล์นี้จะสามารถควบคุมให้เกิดการสะสมความเค้นที่บริเวณรอยต่อยึดติด ส่งผลให้เกิดการแตกหักที่รอยต่อยึดติด จึงสามารถหาค่ากำลังแรงยึดดึงของสารยึดติดกับผิวฟันได้ถูกต้องแม่นยำ แต่เนื่องจากฟันมนุษย์มีขนาดเล็ก จึง

ยากในการหาฟันที่มีขนาดเหมาะสมในการเตรียมขึ้นทดสอบขนาดดังกล่าว จึงมีการพัฒนาวิธีการเตรียมขึ้นทดสอบให้มีขนาดเล็กลง ด้วยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยต่อยึดติดเหลือ 2x3 ตารางมิลลิเมตร โดยยังคงรูปทรงแบบเดิม จึงเรียกว่าขึ้นทดสอบมินิดั้มเบลล์ (mini-dumbbell specimens) การลดขนาดของพื้นที่ยึดติดให้เล็กลงทำให้สามารถควบคุมบริเวณยึดติด และนำทางให้เกิดการแตกหักขึ้นที่บริเวณรอยต่อยึดติดได้แม่นยำมากขึ้น จึงให้ข้อมูลของพื้นผิวยึดติดและกลไกการยึดติดได้มากยิ่งขึ้น มินิดั้มเบลล์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ ISO/TS 11405: 2003(E) แนะนำให้ใช้ในการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง แต่วิธีนี้เหมาะสำหรับการใช้ทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงกับเนื้อฟันเท่านั้นไม่เหมาะในการทดสอบกับเคลือบฟัน เนื่องจากการทดสอบกับเคลือบฟันจะพบการแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน (dento – enamel junction) เป็นจุดแรก จึงไม่สามารถหาค่าการยึดกับเคลือบฟันที่แท้จริงของสารยึดติดได้ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่เกิดขึ้นเพราะค่ากำลังแรงยึดดึงของสารยึดติดกับเคลือบฟัน มีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงยึดดึงของรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน [38,46]

#### ค่าการบ่มตัว (Degree of conversion)

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เกิดจากการรวมตัวของมอนอเมอร์เป็นสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนคาร์บอนพันธะคู่ (C=C) ของมอนอเมอร์เป็นคาร์บอนพันธะเดี่ยว (C-C) ในพอลิเมอร์ ดังนั้นอัตราการเกิดพอลิเมอไรเซชันจึงมีความสัมพันธ์กับค่าการบ่มตัว (degree of conversion) [1,2] จึงพบว่าหลายงานวิจัยใช้ค่าการบ่มตัวเป็นตัวแทนในการแสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งพบว่ามีผลต่อสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกล (physical and mechanical properties) ของสารพอลิเมอร์ จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบ่มตัวกับสมบัติของสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรม เช่น วัสดุเรซินคอมพอสิต สารยึดติด และ เรซินซีเมนต์ พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกันว่ามีความสัมพันธ์กับค่าการบ่มตัว โดยพบว่าค่าการบ่มตัวที่สูงจะมีผลในการเพิ่มค่าความแข็งแรง ค่าความต้านทานแรงโค้งงอ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ค่าความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ค่ากำลังแรงดึง (tensile strength) และค่าความต้านทานการสึก (wear resistance) เป็นต้น [2-4,47] ซึ่งสมบัติเชิงกลเหล่านี้ขึ้นอยู่กับโครงข่ายตาข่ายของพอลิเมอร์ (polymer network formation) และการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ (polymer entanglement) ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของการโยงใยกัน (crosslink density) ของพอลิเมอร์ มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มสมบัติเชิงกล และเสถียรภาพของพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่มีค่าการบ่มตัวใกล้เคียงกันอาจมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่ต่างกันได้ [48]

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่ องค์ประกอบของมอนอเมอร์และวัสดุอุดแทรก ระบบการเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator system) กระบวนการบ่มตัวด้วยแสง (light-

curing procedure) [4] อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา ความสามารถในการแพร่เข้าทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ การยับยั้งปฏิกิริยาโดยออกซิเจน และการจำกัดการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยตัวเอง (self-limiting) โดยปัจจัยตัวหลังสุดนี้เกิดขึ้นมาจากการเพิ่มความหนืดของระบบ (system viscosity) ที่เรียกว่าเจลเอฟเฟกต์ (gel effect) หรือผลกระทบของทรอมมดรอพนอร์ริช (Trommsdorf – Norrish effect) ซึ่งเกิดจากลดการเคลื่อนไหวของส่วนทำปฏิกิริยา (reactive species) ลงอย่างรวดเร็ว จากการก่อร่างแหของพอลิเมอร์ที่มีการโยงใยกันอย่างหนาแน่น (highly cross – linked polymeric network) [9,48] ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เหลือส่วนของมอนอเมอร์ตกค้าง (residual monomer) ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุแยกลง เกิดการบวม และอาจส่งผลให้เกิดการแพ้ และความไม่เสถียรของสีจากการเกิดสารฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) [48]

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา พบว่ามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซินคอมพอสิต โดยการทำให้เรซินคอมพอสิตมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการฉายแสงจะทำให้ค่าการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้น และมากกว่าเรซินคอมพอสิตที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิห้องปกติ [7-8] สอดคล้องกับการศึกษาของ Cantoro และคณะ [5] ที่พบว่าอุณหภูมิของเรซินซีเมนต์ขณะเกิดปฏิกิริยา มีผลต่อการยึดติดของเรซินซีเมนต์ทั้งเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูนิเซมและเซลฟ์เอทซ์ซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟทู โดยพบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีอุณหภูมิเป็น 4 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 24 และ 37 องศาเซลเซียส (ดังนั้นการใช้งานจริงเมื่อนำเรซินซีเมนต์ออกจากตู้เย็น จึงควรทิ้งให้มีอุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน) แต่เมื่อทำให้มีอุณหภูมิสูงเป็น 60 องศาเซลเซียส พบว่าพานาเวียเอฟทูนี้มีค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้น แต่สำหรับรีไลเอกซ์ยูนิเซมพบว่าไม่สามารถทดสอบได้ เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง และเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟทูมีความแนบที่ผิวรอยต่อที่ดีขึ้น ส่วนการศึกษาของ Lucey และคณะ [49] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของเรซินคอมพอสิตเป็น 60 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ความหนืดลดลง และเพิ่มความแข็งแรงผิวให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับสาเหตุที่ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยามีผลทำให้เรซินคอมพอสิตมีค่าการบวมตัวและค่าความแข็งแรงผิวสูงขึ้น และเรซินซีเมนต์มีค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้นและมีความแนบของชั้นรอยต่อที่ดีขึ้นนี้ เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความหนืดของระบบลดลง จึงส่งเสริมการเคลื่อนไหวเข้าทำปฏิกิริยาของสารอนุมูลอิสระ (radical mobility) ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจึงเกิดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการบวมตัวสูงขึ้น เพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ (flowability) จึงลดความหนาของชั้นซีเมนต์ (film thickness) ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล และทำให้การยึดติดที่ดีขึ้น [5,7,8,12,47,49] แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่รวดเร็วนี้อาจส่งผลทำให้เกิดความเค้นจากการหดตัว (contraction

stress) หรือการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) เพิ่มมากขึ้น โดย Prasanna และคณะ [8] ศึกษาพบว่าค่าความเค้นตกค้าง (residual stress) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเรซินคอมพอสิตก่อนการฉายแสง และจากการศึกษาของ Elsayad และคณะ [12] พบว่าเมื่ออุณหภูมิเรซินคอมพอสิตสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส จะเกิดปรากฏการณ์เคลื่อนของตำแหน่งยอดปุ่มฟัน (cuspal movement) ซึ่งเกิดจากการลดระยะทางระหว่างยอดปุ่มฟัน ที่เป็นผลมาจากการเพิ่มอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา ทำให้เกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สิ่งเหล่านี้สามารถทำให้เกิดความบกพร่องขึ้นภายในคอมพอสิต เนื้อฟัน หรือชั้นรอยต่อ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลสำเร็จในทางคลินิก และ ความสวยงามของชิ้นงานบูรณะ [50]

#### การวัดค่าร้อยละการบ่มตัว (Degree of conversion measurements : DC%)

ค่าการบ่มตัวของเรซินคอมพอสิต สารยึดติด และเรซินซีเมนต์ สามารถวัดได้โดยวิธีทางตรงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry :DSC) ฟลูออโรสโคปีอินฟราเรด และรามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy) และวัดผลทางอ้อมจากการวัดค่าความแข็งผิว เป็นต้น [4,51]

ฟลูออโรสโคปีอินฟราเรดเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมีความเที่ยงตรง [2,7,8,48,51-52] ซึ่งจะรายงานผลเป็นสเปกตรัมความเข้มของการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรด ของโมเลกุลสารตัวอย่างที่เป็นสารไออาร์แอกทีฟ (IR active) โดยส่วนใหญ่ นิยมใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านกลาง (middle IR region:  $4,000 - 200 \text{ cm}^{-1}$ ) ในการทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และให้ข้อมูลโครงสร้างโมเลกุล วิธีการทดสอบสามารถแบ่งเป็น วิธีรังสีส่งผ่าน (transmission) และวิธีรังสีสะท้อน (reflection) ซึ่งวิธีรังสีส่งผ่านมีข้อดีของการมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ration : SNR) ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีรังสีสะท้อน และสามารถทดสอบได้ทั้งสารตัวอย่างที่เป็น ของแข็ง ของเหลว แก๊ส และสารพอลิเมอร์ จากรายงานการศึกษาส่วนใหญ่มีการเลือกใช้วิธีรังสีสะท้อนในการทดสอบสารตัวอย่างที่มีความทึบแสง จึงจำกัดในการวัดด้วยวิธีรังสีส่งผ่าน เช่น วัสดุเคลือบผิวที่สามารถสะท้อนคลื่นอินฟราเรดได้ โดยเทคนิคฟลูออโรสโคปีอินฟราเรดวิธีรังสีสะท้อนที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ สเปกคูลาร์รีเฟล็กแตนแอตเทนูเอตโททอลรีเฟล็กชัน หรือ เทคนิคเอทีอาร์ (specular reflectance attenuated total reflection: ATR) และ มัลติเปิ้ลอินเตอร์รีเฟล็กชันหรือ เอ็มไออาร์ (multiple internal reflection: MIR) เทคนิคเอทีอาร์สามารถใช้กับสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ของเหลว แข็งกึ่งเหลว หรือเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ เช่น สารพอลิเมอร์ได้ [53] จากรายงานการศึกษาทางทันตกรรมพบว่าส่วนใหญ่ เลือกใช้ฟลูออโรสโคปีอินฟราเรดโดยวิธีรังสีส่งผ่านด้วยเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน เช่น เทคนิคแผ่นฟิล์ม (film technique) โดยการป้ายสารเรซินคอมพอสิตที่ยังไม่ผ่านการฉายแสง หรือเรซินซีเมนต์ เป็นฟิล์มบาง ๆ ไม่เกิน 10 ถึง 20

ไมโครเมตร ลงบนแผ่นเคปปีอาร์เซลล์ (KBr liquid cell) หรือการใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างเป็นเคปปีอาร์เพลต (KBr pellet) โดยการบดเรซินคอมพอลิตที่ผ่านการบ่มตัวแข็งแล้วเป็นผง จากนั้นผสมเข้ากับผงเคปปีอาร์และอัดด้วยแรงอัดกำลังสูงได้เป็นแผ่นเคปปีอาร์เพลต [51,54] แต่จากการศึกษาบางส่วนที่มีจุดประสงค์จำเพาะ ในการวัดค่าการบ่มตัวของสารยึดติดที่อยู่ด้านล่างสุดซึ่งเป็นจุดลึกสุดของการเกิดการบ่มตัว เนื่องจากมีระยะห่างจากปลายกระบอกลอยแสงมากที่สุด ผู้ศึกษาสามารถเลือกใช้เทคนิคเอทีอาร์ เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารยึดติดบริเวณที่สัมผัสกับตัวกลางการหักเหได้ จึงสามารถวัดค่าการดูดกลืนเฉพาะของสารยึดติดที่อยู่ด้านล่างสุดได้ โดยตัวกลางที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ เพชร (diamond) ซิงค์ซีรีนาย (ZnSe) ซิลิกา (Silica) และเจอร์มาเนียม (Ge) เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับสมบัติของสารตัวอย่าง เช่น สมบัติการละลาย เป็นต้น ซึ่งผลึกเพชรเป็นวัสดุที่มีค่าดัชนีการหักเห (reflective index) ดีที่สุด จึงสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ [7,52] ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคเอทีอาร์ขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการใช้เทคนิคนี้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากไม่ต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อยกว่าเทคนิคอื่น ๆ เช่น ไมโครเอทีอาร์ (micro-ATR) แต่เนื่องจากใช้ปริมาณสารตัวอย่างปริมาณน้อย และเป็นการรายงานผลการดูดกลืนรังสีจากพื้นผิวสะท้อนเพียงบางส่วน ดังนั้นสารตัวอย่างที่จะทดสอบจึงต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าที่ได้จึงสามารถเป็นตัวแทนของสารตัวอย่างทั้งหมดได้ และเนื่องจากเป็นการวัดการสะท้อนที่ผิวสัมผัส ดังนั้นสารตัวอย่างต้องสามารถแนบสนิทกับผลึกทดสอบได้เป็นอย่างดี [53]

เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดรายงานผลสเปกตรัม (FTIR spectrum) เป็นค่าร้อยละของการส่งผ่าน (%Transmission, %T) รังสี ซึ่งสามารถคำนวณกลับเป็นค่าการดูดกลืน (absorbance) รังสีของแต่ละพีค (peak) โดยอาศัยสมการจากกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต จากนั้นค่าการบ่มตัวของสารพอลิเมอร์ ซึ่งคือค่าร้อยละของอะลิฟาติกคาร์บอนพันธะคู่ที่ทำปฏิกิริยา สามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน ระหว่างความเข้มการดูดกลืนรังสีของอะลิฟาติกคาร์บอนพันธะคู่ (aliphatic C=C) กับความเข้มการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐาน (internal standard) ของก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน [2] หมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้กันในการศึกษาค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ ได้แก่ อะโรมาติกคาร์บอนพันธะคู่ ที่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของบิสฟีเอ็มเอ [4,28-30,54-56] และ หมู่คาร์บอนิลที่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของสารเมทาคริเลต [55]

จากรายงานของ Bandeca และคณะ [54] ศึกษาการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิด รีไลเอกซ์ยูนิเซม และ พานาเวียเอฟทู ซึ่งมีส่วนประกอบของบิสฟีเอ็มเอ โดยมีการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่อะลิฟาติกคาร์บอนพันธะคู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1638 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

และเลือกใช้หมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐาน คือ หมู่อะโรมาติกคาร์บอนพันธะคู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1,608 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

Moraes และคณะ [55] ศึกษาค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ บิสเซม รีไลเอกซ์ยูนิเซม เซท สมาร์ทเซมทู และ รีไลเอกซ์เออาร์ซี โดยมีการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่อะโรมาติกคาร์บอนพันธะคู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1635 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และเลือกใช้หมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐาน คือ หมู่อะโรมาติกคาร์บอนพันธะคู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1,608 เซนติเมตร<sup>-1</sup> สำหรับเรซินซีเมนต์ทุกชนิด ยกเว้นเรซินซีเมนต์ชนิด สมาร์ทเซมทู แม็กซ์เซมอีไลท์ และเซท ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของบิสอีเอ็มเอ ที่ใช้หมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐาน คือ หมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1716 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

จากการรวบรวมรายงานผลการศึกษาค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด พบว่า เรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่าร้อยละการบ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 41.1 ถึง 68.2 [28-30,54-56] พานาเวียเอฟ มีค่าร้อยละ 40.7 ถึง 61.0 [30,54] วารีโอลิงค์ทู มีค่าร้อยละ 63.5 ถึง 65.7 [30,56] รีไลเอกซ์เออาร์ซี มีค่าร้อยละ 68.5 ถึง 81 [28,30,55] แม็กซ์เซมอีไลท์ มีค่าร้อยละ 34.3 [55] บิสเซม มีค่าร้อยละ 39.3 [55] เซทมีค่าร้อยละ 62.2 [55] และ สมาร์ทเซมทู มีค่าร้อยละ 21.9 [55] เป็นต้น

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ประชากร

ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สาม (third molars) ของมนุษย์

#### กลุ่มตัวอย่าง (Sample)

ฟันตัวอย่างจำนวน 140 ซี่ ที่เก็บมาจากผู้ป่วยที่ให้ความยินยอมมอบให้หลังการถอนเพื่อประโยชน์ด้านงานวิจัย โดยขั้นตอนผ่านมติเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หมายเลขที่ 040/2010 การประชุมครั้งที่ 8/2553 การคัดเลือกตัวอย่างฟันใช้เงื่อนไขตาม ISO/TS 11405 ดังนี้ เป็นซี่ฟันหลังจากถอนไม่เกิน 6 เดือน ไม่มีรอยโรคฟันผุ ไม่ได้รับการบูรณะ และไม่มีลักษณะผิดปกติใด ๆ และเก็บรักษาในสารละลายคลอรามินที (chloramines-T trihydrate bacteriostatic/bacteriacidal solution) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร์ร้อย (RelyX™ U100 : 3M ESPE) ดังภาพที่ 3 ก. บิสเซม (Biscem : Nudent) ดังภาพที่ 3 ข. เคลียร์ฟิวเอสเอสเอลูตติง (Clearfil™ SA luting : Keraray) ดังภาพที่ 3 ค. และแม็กซ์เซมอีไลต์ (Maxcem Elite™ : Kerr) ดังภาพที่ 3 ง. (รายละเอียดของส่วนประกอบทางเคมี เลขที่สินค้า วันที่ผลิตและวันที่หมดอายุและคำแนะนำการใช้เรซินซีเมนต์จากบริษัทผู้ผลิต แสดงดังตารางที่ 10 ในส่วนภาคผนวก ก.)

2. เรซินคอมพอสิตเทตทริกเอ็นซีแรม (Tetric-N ceram : Unity)



ภาพที่ 3 เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

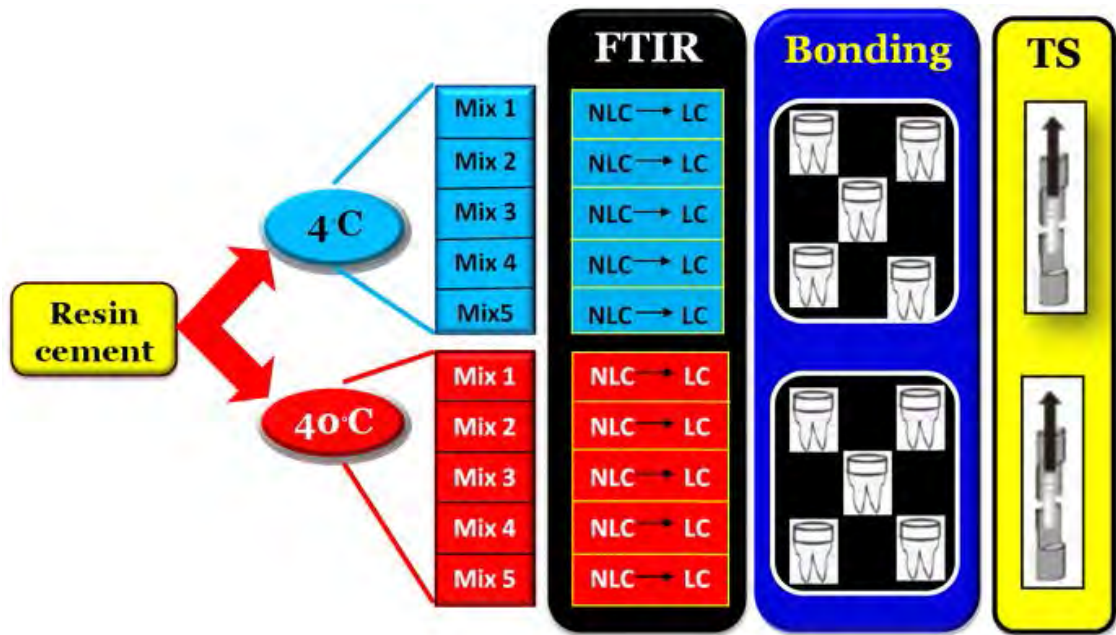
1. พูเรียทธานสพอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Spectrum One, Perkin Elmer, USA)
2. เครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal testing machine, Lloyd model 8872, UK)
3. เครื่องตัดฟัน (Isomet 1000, series 15, Buehler, Lake Bluff, USA)
4. เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (Buehler AutoMet<sup>®</sup> 250, Buehler, Lake Bluff, USA)
5. หัวกรอความเร็วสูง (High speed air turbine handpiece, COXO Medical Instrument, Guangdong, china)
5. เวอร์เนียแคลิเปอร์ระบบดิจิทัล (Veneer Diginatic Caliper, Mitutoyo, Tokyo, Japan)
6. เครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic cleaner, Branson 5210, Branson, Germany)
7. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Oven, INE 400, Memmert, Brutschrank, Germany)
8. เครื่องฉายแสง (Curing light, Elipar<sup>™</sup> Halogen 2500, 3M ESPE, USA)
9. เครื่องวัดความเข้มแสง (Radiometer, Model 100 Optilux, SdsKerr, USA)
10. เครื่องดูดความชื้น (Dessicator, Tokyo, Japan)
11. แว่นขยาย (Magnifier lamp microscope, TONAN ASIA AUTO TECH, Thailand)
12. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope, Canon, Japan)
13. เครื่องเคลือบชั้นด้วยอนุภาคทอง (Gold coater, JFC-1200, Tokyo, Japan)
14. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, JSM-5410LV, Tokyo, Japan)

### ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้ออกแบบมาเพื่อศึกษาผลของระยะเวลา ในการเก็บเรซินซีเมนต์ที่อุณหภูมิสูง ที่มีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด ได้แก่ รีไลเอกซ์ยูร้อย บิสเซม เคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง และแม็กซ์เซมอีไลท์ โดยใช้ชนิดละ 2 หลอด ที่มาจากรุ่นการผลิตเดียวกัน อยู่ในสภาพปกติ และมีอายุการใช้งานเกิน 6 เดือน นับจากวันที่เริ่มทำการทดสอบ หลอดแรกจะเก็บ ณ อุณหภูมิทดลองคือ 40 องศาเซลเซียส ส่วนหลอดที่สองเก็บ ณ อุณหภูมิควบคุมคือ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยทำการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ การทดสอบครั้งที่ 1 ทดสอบเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ชนิดละ 1 หลอด ตั้งแต่นั้นมา จากตัวแทนจำหน่ายภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 สัปดาห์ การทดสอบครั้งที่ 2 ทำภายหลังจากเก็บรักษาเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน การทดสอบครั้งที่ 3 ทำภายหลังจากเก็บรักษาเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน และการทดสอบครั้งที่ 4 ทำภายหลังจากเก็บรักษา



เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยการทดสอบแต่ละครั้งกำหนดให้มีการทดสอบที่เหมือนกัน และควบคุมกระบวนการขั้นตอนการทดลอง รวมทั้งอาศัยผู้ทำในแต่ละขั้นตอนเป็นบุคคลเดียวกันตลอด ในการทดสอบหนึ่งครั้งจะประกอบไปด้วยการผสมเรซินซีเมนต์แต่ละหลอดจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นแบ่งเรซินซีเมนต์ออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปทดสอบค่าความเข้มการดูดกลืนอินฟราเรดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด จากนั้นนำค่าความเข้มการดูดกลืนที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละการบ่มตัวต่อไป ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

เรซินซีเมนต์ส่วนที่สองจะนำมาใช้ยึดชิ้นคอมพอสิตออนเลย์เข้ากับผิวเนื้อฟัน โดยการผสมเรซินซีเมนต์ 1 ครั้ง สามารถใช้ยึดฟันได้จำนวน 1 ซี่ จากนั้นนำชิ้นงานที่ยึดติดเรียบร้อยแล้วมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงรูปแบบมินิแทมเบลตด้วยพื้นที่ยึดติด 2x3 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นนำไปทดสอบค่าแรงดึงสูงสุดด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ และศึกษารอยแตกหักของชิ้นยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ ซึ่งวิธีวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

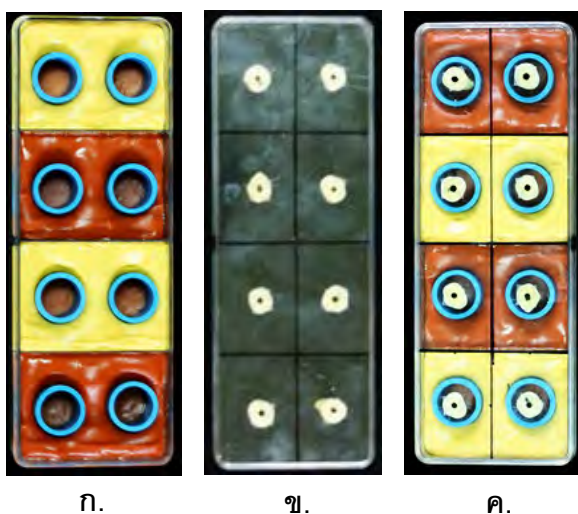
## ตอนที่ 1 การเตรียมชิ้นคอมพอสิตออนเลย์และชิ้นเนื้อฟันทดสอบ (ISO/TS 11405)

### การเตรียมชิ้นเนื้อฟันทดสอบ

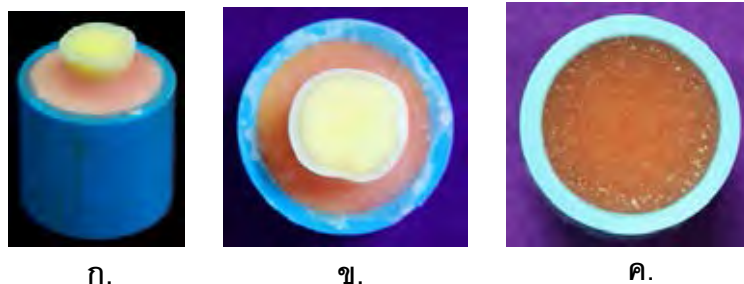
1. นำฟันตัวอย่างจากอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส นานอย่างน้อย 30 นาที จากนั้นทำการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น

2. เตรียมผิวเนื้อฟันที่จะยึดติด โดยการตัดผิวฟันด้านบดเคี้ยวออกในแนวตั้งฉากกับแนวแกนฟันหนา 2 มิลลิเมตร จากจุดลึกสุดของด้านบดเคี้ยว เพื่อกำจัดชั้นเคลือบฟันและเผยเนื้อฟันทดสอบ โดยใช้เครื่องตัดฟันความเร็ว 250 รอบต่อนาที น้ำหนักกด 15 กิโลกรัม ภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา จากนั้นขัดผิวเนื้อฟันด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ความละเอียด 600 กริท ตาม ISO 6344-1:1998 ภายใต้ น้ำหล่อเลี้ยง แล้วทำความสะอาดผิวเนื้อฟันด้วยน้ำกลั่น และเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100

3. ทำการลงบล็อกฟันในท่อพีวีซีขนาดครึ่งนิ้ว โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการลงบล็อกฟัน (mounting apparatus) ที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมความขนานของระนาบผิวเนื้อฟันกับระนาบของฐานบล็อก และสามารถกำหนดให้ระนาบเนื้อฟันอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของบล็อก ดังภาพที่ 5 ขั้นตอนการลงบล็อกเริ่มจากการเคลือบส่วนฐานของท่อพีวีซี ด้วยอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemically cured acrylic resin) เมื่ออะคริลิกแข็งตัวเรียบร้อยแล้วจึงนำท่อพีวีซีนี้ใส่ลงในหลุมของเครื่องมือลงบล็อกฟัน ดังภาพที่ 5 ก. และนำฟันที่ตัดและขัดจนได้ระนาบเนื้อฟันที่เรียบแล้วมาติดเข้ากับส่วนฝาของเครื่องมือลงบล็อกฟัน โดยกำหนดจุดกึ่งกลางฟัน ดังภาพที่ 5 ข. จากนั้นทำการผสมปูนหล่อฟัน (dental die stone) เทใส่ในท่อพีวีซีพร้อมประกบฝาเครื่องมือที่มีฟันติดในตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังภาพที่ 5 ค. จากนั้นปล่อยให้ปูนแข็งตัวภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เมื่อปูนแข็งตัวจึงทำการเคลือบผิวปูนด้านบนด้วยอะคริลิกเรซินอีกครั้ง ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ดังภาพที่ 6 เพื่อป้องกันการละลายปูนในระหว่างขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 5 เครื่องมือช่วยในการลงบล็อกฟัน (mounting apparatus)



ภาพที่ 6 การปิดชั้นปูนของบล็อกขึ้นฟันทดสอบด้วยวัสดุอะคริลิกเรซิน

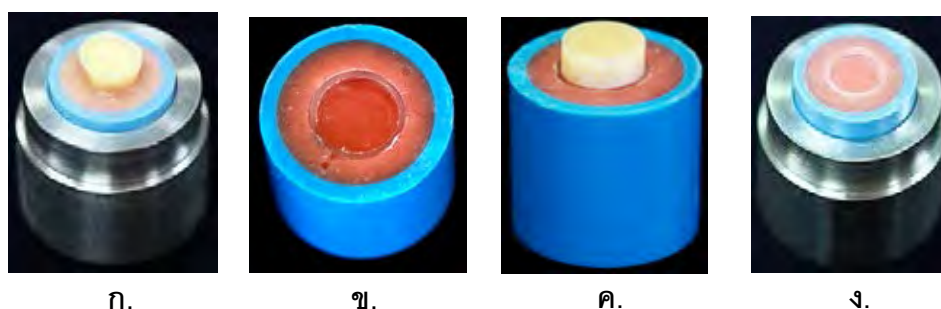
ก. บล็อกขึ้นฟันทดสอบ (dentin specimen)

ข. การปิดผิวชั้นปูนด้านบน

ค. การปิดผิวชั้นปูนด้านล่าง

4. ก่อนนำฟันไปทำการยึดติด (bonding) จะนำฟันมาขัดอีกครั้งเพื่อสร้างระนาบผิวเนื้อฟันที่ตั้งฉากกับแกนท่อพีวีซีและขนานกับฐานของท่อพีวีซี ซึ่งเป็นระนาบเดียวกันกับระนาบของผิวแท่งคอมพอสิตออนเลย์ที่จะนำมายึดติด การสร้างระนาบขนานเดียวกันนี้ทำได้โดยอาศัยตัวกลางในการสร้างระนาบเดียวกัน โดยการสวมบล็อกฟันลงในแกนท่อสแตนเลสกลวง ดังภาพที่ 7 ก. ซึ่งเป็นอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ และทำการขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ ความละเอียด 600 กริท ภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา

5. ส่องผิวเนื้อฟันหลังขัดด้วยแว่นขยายกำลังขยาย 5 เท่า เพื่อคัดเลือกชิ้นงานที่ตรวจพบรูทะลุโพรงประสาทฟัน รอยร้าว และสิ่งผิดปกติของเนื้อฟันออก จากนั้นนำบล็อกฟันที่ผ่านการคัดเลือกมาทำความสะอาดโดยอัลตราโซนิคในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) นาน 5 นาที จากนั้นเก็บบล็อกเนื้อฟันทดสอบภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100



ภาพที่ 7 การประกอบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ

ก. แกนท่อสแตนเลสกลวง ใช้เป็นตัวยึดบล็อกพีวีซีขึ้นฟันในการขัดผิวระนาบเนื้อฟัน

ข. ตัวจับยึดชิ้นคอมพอสิตออนเลย์ (polishing mold holder)

ค. ชิ้นคอมพอสิตออนเลย์ที่ยึดด้วยตัวจับยึด

ง. การสวมตัวจับยึดชิ้นคอมพอสิตลงในแกนท่อสแตนเลสกลวง เพื่อประกอบเข้ากับเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ



ภาพที่ 8 การขัดผิวเนื้อฟันและผิวคอมพอสิตออนเลย์ด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ

#### การเตรียมชิ้นคอมพอสิตออนเลย์

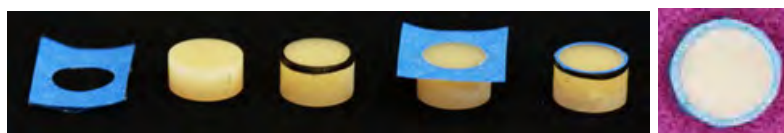
1. เตรียมชิ้นคอมพอสิตออนเลย์จำนวน 140 ชิ้น ด้วยการอุดคอมพอสิตลงในท่อพลาสติกใสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 9 มิลลิเมตร โดยวิธีการอุดแบบเป็นชั้น (incremental technique) ความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 2 มิลลิเมตร และทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง (Elipar™ Halogen curing light) โดยควบคุมความเข้มแสงที่ 500 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ด้วยการใช้เครื่องวัดความเข้มแสง (radiometer) กำหนดระยะห่างปลายกระบอกฉายไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จากผิวของวัสดุ และแต่ละชั้นฉายแสงเป็นระยะเวลา 40 วินาที

2. ทำการตัดแท่งคอมพอสิตที่ได้จากการอุดเป็นชั้น แต่ละชั้นมีความสูง 6.8 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดฟันความเร็ว 250 รอบต่อนาที แรงกด 150 นิวตัน ภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา และทำการเตรียมพื้นผิวยึดติด โดยการขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติภายใต้ น้ำหล่อและใช้กระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 600 กริท ซึ่งขั้นตอนการขัดจะต้องนำชิ้นคอมพอสิตยึดเข้ากับตัวจับยึด (polishing mold holder) ที่ทำจากอะคริลิก ซึ่งออกแบบให้มีเป้าตรงกลางที่พอดีสำหรับยึดชิ้นคอมพอสิต ดังภาพที่ 7 ข. และ 7 ค. จากนั้นจึงสวมตัวจับยึดเข้าในท่อแอสเทนเลสสตีล ดังภาพที่ 7 ง. เพื่อเป็นตัวจับในขณะที่ขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ ดังภาพที่ 8 อุปกรณ์นี้ทำให้สามารถสร้างระนาบการขัดของทั้งผิวเนื้อฟันและผิวชิ้นคอมพอสิตออนเลย์ที่เรียบและขนานกัน ซึ่งสำคัญมากสำหรับขั้นตอนการยึดติด (bonding) เพื่อให้สามารถเกิดการกระจายแรงกดที่สม่ำเสมอ และควบคุมระนาบของการยึดติดที่ขนาน ทำให้ได้ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่สม่ำเสมอ

4. วัดความสูงของแท่งคอมพอสิตหลังการขัดด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ดิจิทัล ชั้นของคอมพอสิตออนเลย์สำหรับยึดติดต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และสูง 6.6 มิลลิเมตร

จากนั้นสำรวจผิวคอมพอสิตออนไลน์ด้วยแว่นขยายกำลังขยาย 5 เท่า เพื่อคัดชิ้นงานที่ตรวจพบรูของฟองอากาศหรือรอยร้าวออก จากนั้นทำความสะอาดโดยการอัลตราโซนิกด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและคราบไขมันปนเปื้อน จากนั้นเป่าด้วยลมที่ปราศจากน้ำและน้ำมันจนแห้ง

5. กำหนดตำแหน่งของการยึดติดและความหนาของชั้นซีเมนต์ โดยการใช้เทปกาวิดด้านเดียวที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเรซินซีเมนต์ ความหนาประมาณ  $100 \pm 10$  ไมโครเมตร และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร (กำหนดจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟันกรามซี่ที่สามที่ระดับความลึกจากการตัดด้านบดเคี้ยวประมาณ 2 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 9 มิลลิเมตร โดยไม่นับรวมชั้นเคลือบฟัน) นำมาติดตรงกลางบนผิวคอมพอสิตออนไลน์ ดังภาพที่ 9 เพื่อกำหนดตำแหน่งยึดติดที่ศูนย์กลางของชิ้นงาน และควบคุมความหนาของชั้นซีเมนต์ที่สม่ำเสมอ



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการติดเทปกาวิดที่ผิวคอมพอสิตออนไลน์

**ตอนที่ 2 การวัดค่าการดูดกลืนอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์และการยึดชิ้นงานคอมพอสิตออนไลน์กับเนื้อฟันด้วยเรซินซีเมนต์**

#### การวัดค่าการดูดกลืนอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์

1. นำเรซินซีเมนต์จากอุณหภูมิตั้ง 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส มาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิตั้ง 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิตั้งของเรซินซีเมนต์ทุกหลอดเท่ากันที่อุณหภูมิตั้ง ( $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส) ก่อนเริ่มการผสม

(หมายเหตุ : กระบวนการทำงานหลังจากนี้ทั้งหมดกระทำขึ้นภายใต้แสงไฟสีส้ม (safe light) ที่อุณหภูมิตั้ง ( $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $50 \pm 5$ )

2. ทำการวัดค่าพื้นฐาน (back ground) ของแผ่นเคปปีอาร์เซลล์ (KBr liquid cell) ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด

3. ผสมเรซินซีเมนต์ด้วยการปาดไม้พายพลาสติก โดยให้ไม้พายแนบไปกับแผ่นกระดาษมันสำหรับการผสม ผสมให้เข้ากันและเสร็จสิ้นภายในระยะเวลา 5 วินาที ณ อุณหภูมิตั้ง  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส (จากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์ที่กำหนดระยะเวลาผสมสั้นที่สุดคือ เคลียร์ฟิวเอสเอลูตติง กำหนดไม่เกิน 10 วินาที ส่วนผลิตภัณฑ์ที่กำหนดระยะเวลาทำงานสั้นที่สุดคือ บิสเซม กำหนดไม่เกิน 1 นาที 15 วินาที (นับรวมเวลาการผสม) ดังนั้นจากการทดสอบนำร่อง

พบว่า ระยะเวลาการผสมที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการวิจัยทั้งหมดให้ไม่เกิน 1 นาที 15 วินาที คือการใช้เวลาในการผสมประมาณ 5 วินาที)

4. แบ่งเรซินซีเมนต์ออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งป้ายเป็นฟิล์มบาง ๆ บนแผ่นเคปียาร์เซลล์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ก่อนการฉายแสง ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด ดังภาพที่ 10 โดยเทคนิคแสงส่องผ่าน กำหนดการทำงานที่จำนวนการอ่านซ้ำ 16 ครั้ง (16 scans) และระดับความละเอียด (resolution) 4 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

5. จากนั้นป้ายเรซินซีเมนต์ส่วนที่สองเป็นฟิล์มบาง ๆ บนแผ่นเคปียาร์เซลล์แผ่นที่สอง แล้วทิ้งไว้ภายในกล่องที่บดแสงเป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี จากนั้นทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายเป็นเวลา 40 วินาที กำหนดระยะห่างปลายกระบอกลายที่ระยะ 1 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวด้วยแสง (light cure) จากนั้นทิ้งไว้ภายในกล่องที่บดแสงต่ออีกเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการบ่มตัวสมบูรณ์และจำลองระยะเวลาทำงานในคลินิก แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ภายหลังการบ่มตัว ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดอีกครั้ง

(หมายเหตุ : ขั้นตอนที่ 4 และ 5 ดำเนินการโดยนักวิจัยบุคคลที่สอง ผู้เชี่ยวชาญเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด ซึ่งผ่านการทดสอบกระบวนการทดลองร่วมกับผู้วิจัยหลักจากการ ศึกษานำร่อง แล้ว ดังนั้นในช่วงเวลาเดียวกันนี้เรซินซีเมนต์ส่วนที่สามจะนำไปใช้ยึดติดชิ้นคอมพอสิตออนเลย์กับเนื้อฟันได้ทันทีโดยผู้วิจัยหลัก)



แผ่นเคปียาร์เซลล์



อุปกรณ์สำหรับยึดแผ่นเคปียาร์เซลล์



เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด  
(Spectrum One, Perkin Elmer)

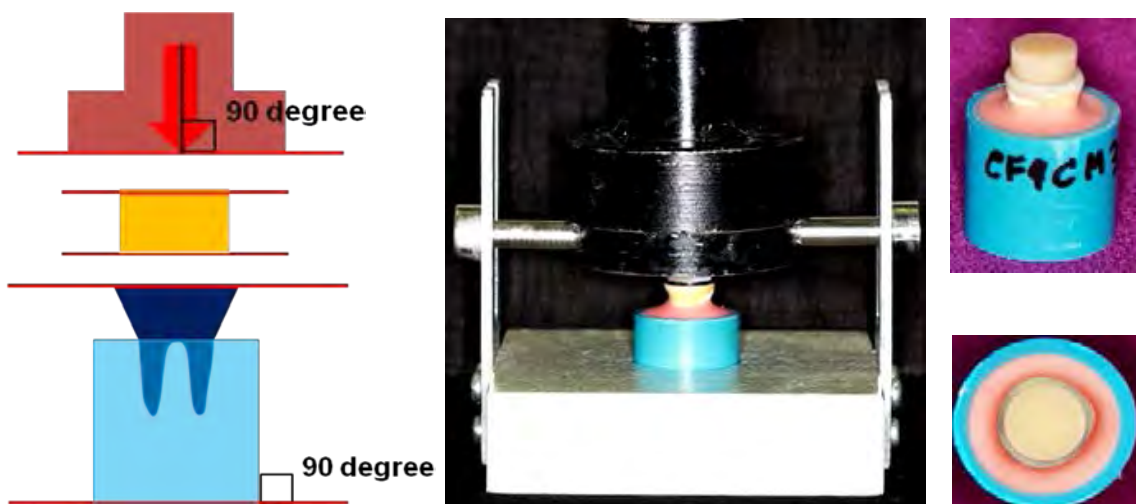


ตำแหน่งยึดอุปกรณ์จับยึด  
แผ่นเคปียาร์เซลล์

ภาพที่ 10 อุปกรณ์เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด

### การยึดติดชิ้นคอมพอสิตออนเลย์กับเนื้อฟัน (ISO/TS 11405)

นำเรซินซีเมนต์ส่วนที่สามที่แบ่งไว้ มาป้ายลงบนผิวคอมพอสิตออนเลย์บริเวณช่องว่างเทปกาว จากนั้นยึดลงบนผิวเนื้อฟัน โดยใช้เครื่องมือสำหรับยึดชิ้นงาน (loading and alignment apparatus) ที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมทิศทางของแรงกดให้ตั้งฉากกับผิวยึดติด และกำหนดตำแหน่งการยึดติดที่กึ่งกลางซี่ฟัน และควบคุมไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในขณะที่เกิดการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ ดังภาพที่ 11 อุปกรณ์นี้อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระนาบที่ขนานกันของฐานบล็อกฟัน ผิวเนื้อฟัน ผิวคอมพอสิตออนเลย์ทั้งสองด้าน และผิวของแท่นน้ำหนักรัด ซึ่งเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงกด เมื่อยึดคอมพอสิตออนเลย์แล้วปาดเรซินซีเมนต์ส่วนเกินออก และให้น้ำหนักรัด 0.5 กิโลกรัม ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที ในกล่องที่บดแสง จากนั้นจึงฉายแสงด้วยเครื่องฉายที่ชั้นซีเมนต์บริเวณรอยต่อด้านข้างทั้ง 4 ด้าน ด้านละ 40 วินาที แล้วนำชิ้นงานที่ยึดติดแล้วออกจากเครื่องมือยึดติดมาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



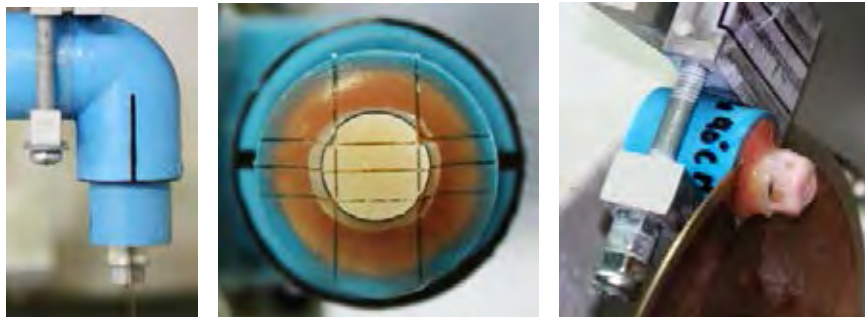
ภาพที่ 11 เครื่องมือสำหรับยึดชิ้นงาน (loading and alignment apparatus)

### ตอนที่ 3 การเตรียมชิ้นทดสอบมินิดั้มเบลล์และการทดสอบค่ากำลังแรงยึดติด

#### การเตรียมชิ้นทดสอบมินิดั้มเบลล์ (ISO/TS 11405)

1. ทำการเตรียมชิ้นยึดติดในลักษณะแผ่นบาง (bonded slabs) ด้วยการตัดชิ้นงานที่ยึดติดแล้วในแนวยาวทิศทางตั้งฉากกับชั้นยึดติด โดยอาศัยการสวมบล็อกฟันในแกนท้องอพีวีซีมุมฉากที่มีขนาดพอดีกับตัวบล็อกฟัน ประกอบเข้ากับเครื่องตัดฟัน ใช้ความเร็วในการตัด 250 รอบต่อนาที น้ำหนักรัด 15 กิโลกรัม ภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา โดยกำหนดระยะห่างใบเลื่อย 2 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 ก. จากนั้นหมุนบล็อกพีวีซี 90 องศา เพื่อตัดขอบชิ้นงานให้เหลือความยาวชิ้นงาน 5.7 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 ข. จากนั้นถอดบล็อกฟันออกจากแกนท้องอ และประกอบเข้ากับ

เครื่องตัดฟันในแนวตั้ง ฉากใบเลื่อย ดังภาพที่ 12 ค. เพื่อตัดชิ้นงานยึดติดออกจากฐานบล็อกด้วย ระยะห่างใบเลื่อย 13.2 มิลลิเมตร ทำให้ได้ชิ้นทดสอบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 5.7 มิลลิเมตร ยาว 13.2 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร



ก.

ข.

ค.

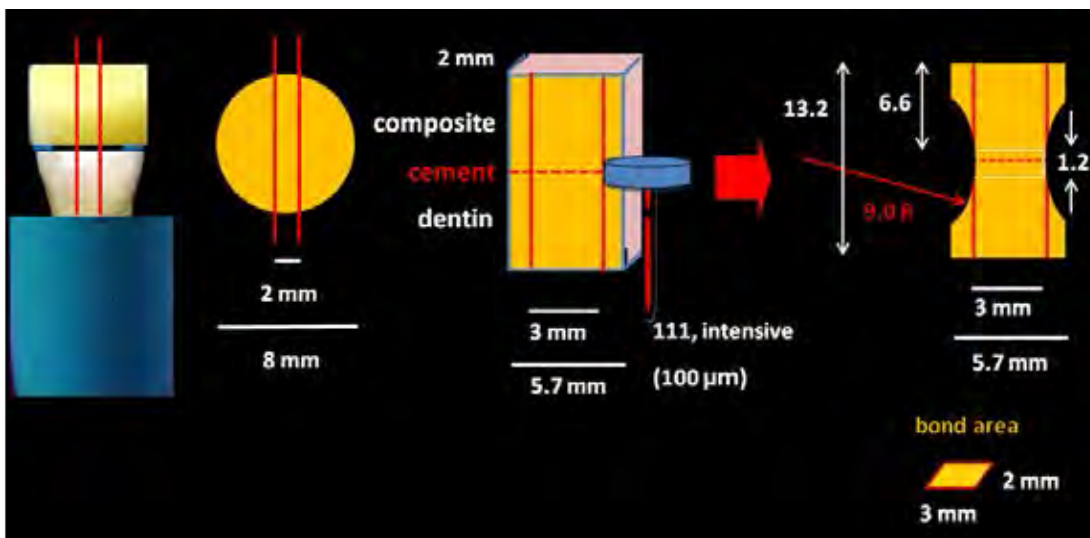
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการตัดชิ้นงานยึดติดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบาง (bonded slabs)

2. จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ตัดเป็นแผ่นบางแล้ว มาวางรูปร่างมินิดั้มเบลล์ตามแบบวาด มินิดั้มเบลล์ที่ทำจากอะคริลิก (acrylic mini-dumbbell model) ดังภาพที่ 13 และทำการกรอแต่ง ด้วยหัวกรอจากเพชรรูปวงล้อความละเอียด 100 ไมโครเมตร (111, Intensive) โดยใช้หัวกรอ ความเร็วสูง (high speed air turbine handpiece) ภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา ทำให้ได้ชิ้นทดสอบ มินิดั้มเบลล์ที่มีส่วนของพื้นที่ยึดติดบริเวณรอยคอดเป็น 2x3 ตารางมิลลิเมตร ดังภาพที่ 14 จากนั้นตรวจสอบขนาดพื้นที่ยึดติดด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ดิจิทัล และสำรวจชิ้นยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า และวัดความหนาของชิ้นซีเมนต์ด้วยโปรแกรมพิเซลลา สตูดิโอโปรซอฟแวร์ (Pixella studio Pro software) จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นที่ผู้ควบคุม อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง



ภาพที่ 13 อะคริลิกแบบวาดมินิดั้มเบลล์ (acrylic mini-dumbbell model)





ภาพที่ 14 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบมินิดัมเบลล์ (mini-dumbbell specimen preparation)

#### การทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง

1. ขั้นตอนการยึดชิ้นทดสอบมินิดัมเบลล์เข้ากับตัวยึดชิ้นทดสอบ ที่ทำจากวัสดุอะคริลิก (acrylic jig) อาศัยการประกอบแต่ละชิ้นส่วนภายในบล็อกอะคริลิก (acrylic assemble block) ที่เป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร และลึก 5 มิลลิเมตร วางชิ้นส่วนแต่ละชิ้นให้ชิดกับขอบนอกของบล็อก ดังภาพที่ 15 ก. โดยวางชิ้นทดสอบมินิดัมเบลล์ ตามตำแหน่งในภาพวาดด้านล่างของบล็อก ดังภาพที่ 15 ข. โดยชิ้นรอยต่อยึดติดอยู่ในแนวเดียวกับแบบวาด เพื่อกำหนดให้ระนาบของชิ้นยึดติดอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของแรงดึงทดสอบ และกำหนดระยะปลายของชิ้นงานยึดกับตัวยึดประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นทำการยึดชิ้นงานกับตัวยึดแต่ละด้าน และประกบตัวยึดทั้งสองด้านเข้าหากันแล้วยึดด้วยวัสดุการยึดโมเดลรีแพร์ (Model repair II Blue) ดังภาพที่ 15 ค.

2. การทดสอบกำลังแรงยึดดึง โดยให้ความเค้นผ่านแรงดึงในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นยึดติด ด้วยการประกอบชิ้นทดสอบที่ยึดกับตัวจับยึดเรียบร้อยแล้วเข้ากับเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ ด้วยการใส่แท่งโลหะแอสตันเลสคลั่งผ่านรูที่ส่วนปลายทั้งสองข้างของตัวจับยึด ดังภาพที่ 16 การทดสอบกำหนดความเร็วหัวจับ (cross-head speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ทดสอบที่อุณหภูมิห้องประมาณ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่วัดได้เป็นนิวัตน์ วัดพื้นที่หน้าตัดบริเวณแตกหักด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ดิจิตอล นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ากำลังแรงดึงในหน่วยเมกะพาสคาล



ก.

ข.

ค.

- ภาพที่ 15 ขั้นตอนการยัดขึ้นทดสอบมินิบัลล์เข้ากับตัวยัดขึ้นทดสอบ
- ก. กรอบอะคริลิก (acrylic assemble block) สำหรับประกอบชิ้นงานเข้ากับตัวยัด (jig)
- ข. การยัดชิ้นงานเข้ากับตัวจับยัดตามแนวภาพวาดด้านฐานของกรอบอะคริลิก
- ค. ชิ้นงานที่ยัดเข้ากับตัวจับยัดเพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยัดดึง

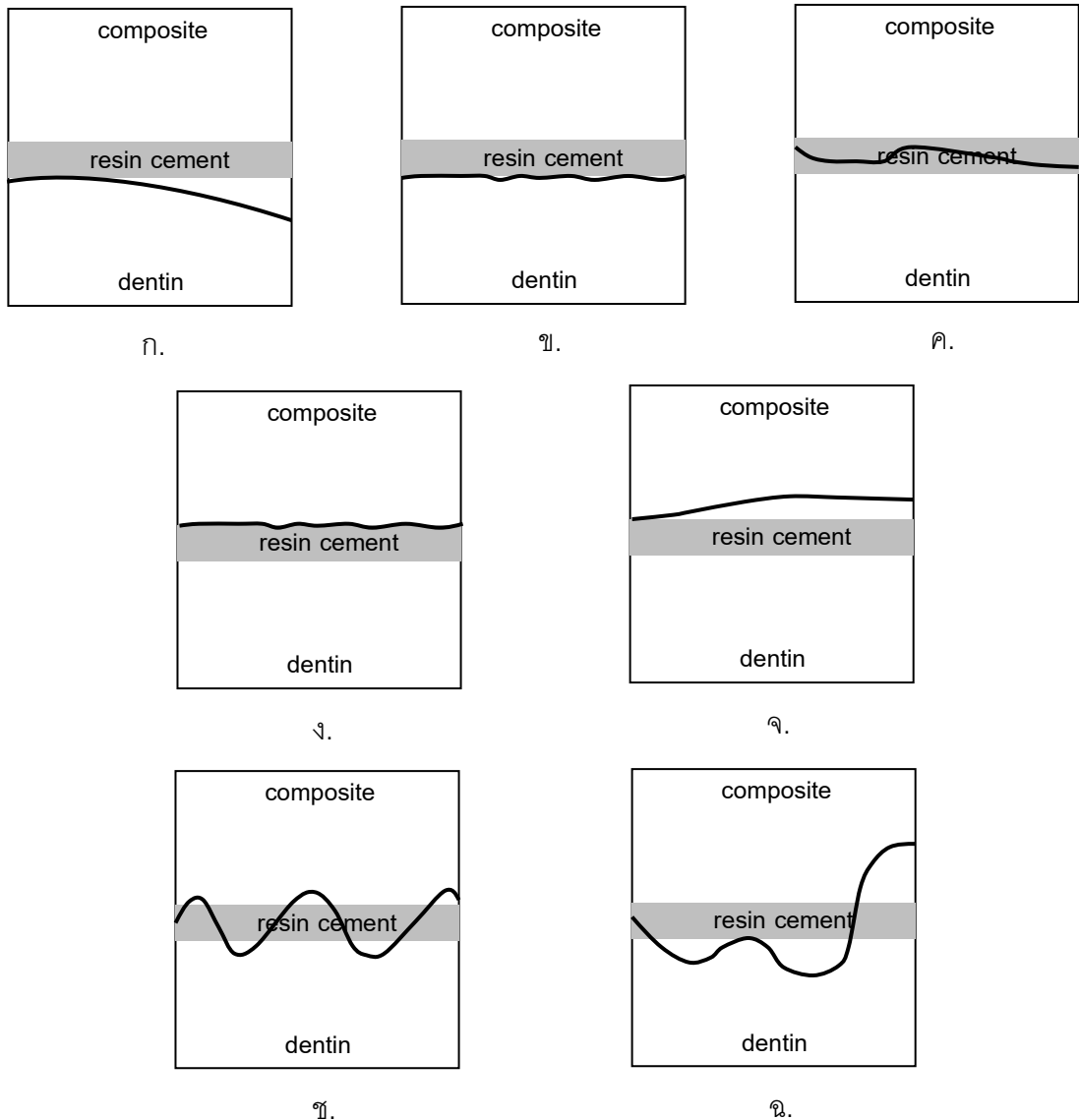


ภาพที่ 16 การประกอบอุปกรณ์ตัวจับยัดเข้ากับเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์

#### ตอนที่ 4 การตรวจสภาพพื้นผิวที่แตกหัก

นำชิ้นแตกหักแต่ละคู่ไปตรวจสอบและบันทึกภาพผิวแตกหักทั้งด้านตั้งฉากแนวแกนของชั้นทดสอบ และด้านข้างบริเวณรอยแตกหักของชั้นทดสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า และตรวจแยกประเภทของความล้มเหลวที่เกิดขึ้น โดยแบ่งเป็นความล้มเหลวภายในชั้นเนื้อฟัน (cohesive failure in dentin) ดังภาพที่ 17 ก. ฟความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวฟันกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure between dentin and resin cement) ดังภาพที่ 17 ข. ความล้มเหลวภายในชั้นเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in cement) ดังภาพที่ 17 ค. ความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวคอมพอสิตอเนลย์กับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure between composite onlay and resin cement) ดังภาพที่ 17 ง. ความล้มเหลวภายในคอมพอสิตอเนลย์ (cohesive failure in composite onlay) ดังภาพที่ 17 จ. ความล้มเหลวแบบผสมโดยมีการแตกหักเล็กน้อยของเนื้อฟันหรือคอมพอสิตอเนลย์ผสมกัน (mixed failure : small portions of dentin or composite onlay involved in the fracture surface) ดังภาพที่ 17 ฉ. และความล้มเหลวแบบผสมโดยมีการแตกหักปริมาณมากของเนื้อฟันหรือคอมพอสิตอเนลย์ผสมกัน (mixed failure : large portions of dentin or composite onlay involved in the fracture surface) ดังภาพที่ 17 ซ.

จากนั้นเลือกชิ้นที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม มาศึกษารายละเอียดของพื้นผิวรอยแตกหัก โดยนำมาดูความชื้นในกล้องบรรจุซิลิกาเจลนาน 24 ชั่วโมง และเคลือบอนุภาคทองด้วยเครื่องเคลือบอนุภาคทอง ดังภาพที่ 18 และนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดต่อไป



- ภาพที่ 17 ลักษณะความล้มเหลวที่สามารถเกิดขึ้นได้ภายหลังการแตกหักของการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน
- ความล้มเหลวภายในชั้นเนื้อฟัน
  - ความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวฟันกับเรซินซีเมนต์
  - ความล้มเหลวภายในชั้นซีเมนต์
  - ความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวคอมพอสิตออลเลย์กับเรซินซีเมนต์
  - ความล้มเหลวภายในคอมพอสิตออลเลย์
  - ความล้มเหลวแบบผสมโดยมีการแตกหักเล็กน้อยของเนื้อฟันหรือคอมพอสิตออลเลย์ผสมกัน
  - ความล้มเหลวแบบผสมโดยมีการแตกหักปริมาณมากของเนื้อฟันหรือคอมพอสิตออลเลย์ผสมกัน



ภาพที่ 18 ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเคลือบอนุภาคทอง

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

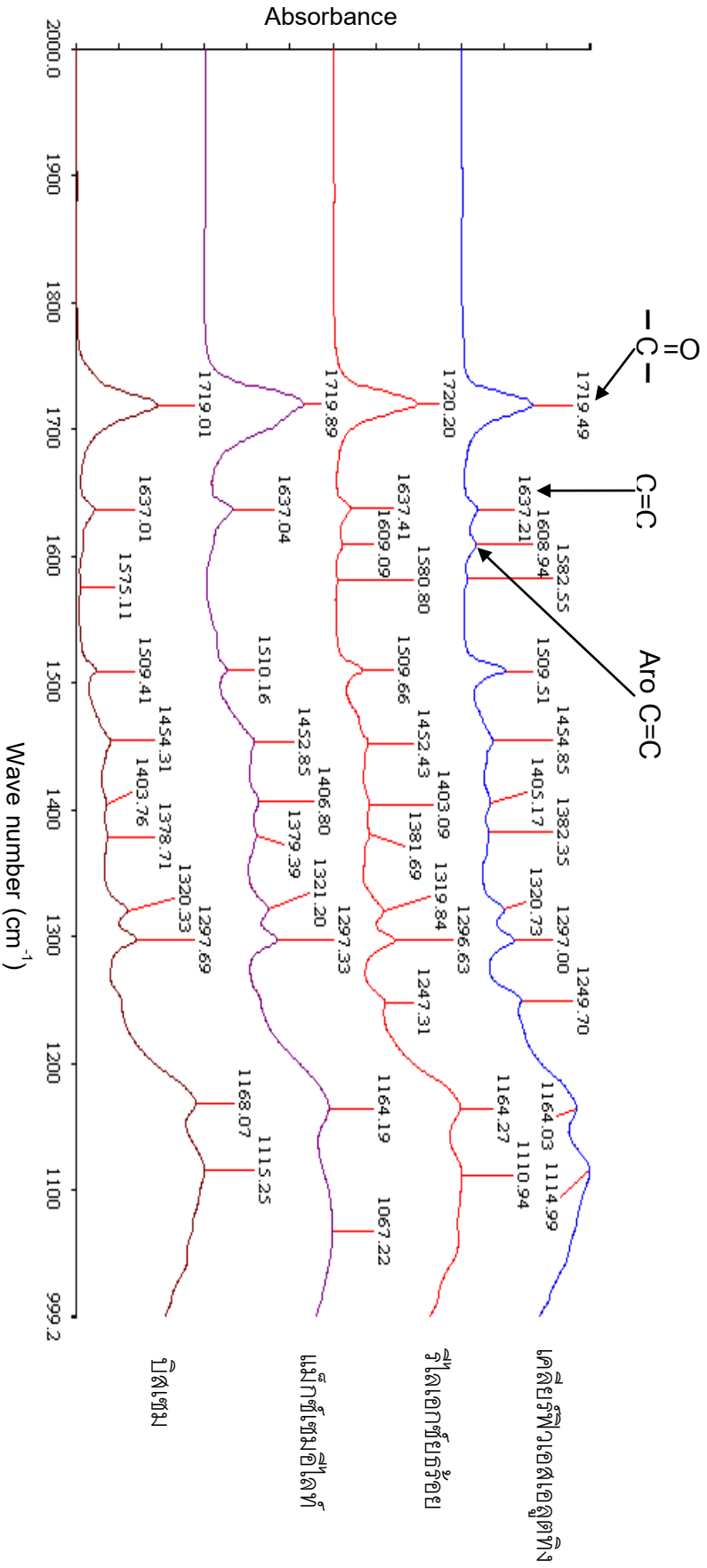
1. บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดของการยืดด้วยเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด กับค่าพื้นที่บริเวณยึดติดที่ได้จากการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังแรงยึดดึงในหน่วยเมกะพาสคาล (MPa) ตามสูตรด้านล่าง

ค่ากำลังแรงดึง (เมกะพาสคาล) = แรงดึง (นิวตัน) / พื้นที่บริเวณยึดติด (ตารางมิลลิเมตร)

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำรวบรวมชิ้นทดสอบที่แตกหักระหว่างการเตรียมก่อนการทดสอบ (pre-test failure) เป็นหนึ่งในจำนวนรวมทั้งหมด (n) ของชิ้นทดสอบมินิเดมเบลลีในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดจะแสดงผลการวัด เป็น สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ดังภาพที่ 19 จากนั้นทำการแปรผลค่าการดูดกลืนแบบกำหนดเส้นฐาน (corrected height) โดยทำการลากเส้นฐานฟีก (base line) ค่าการดูดกลืนจะเท่ากับความสูงของยอดฟีกที่ลากมาตัดกับเส้นฐานที่กำหนด งานวิจัยนี้เลือกใช้หมู่คาร์บอนิลเป็นหมู่ฟังก์ชันอ้างอิงมาตรฐานสำหรับเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากในเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด มีส่วนประกอบของเมทาคริเลต ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการวัดค่าความเข้มของการดูดกลืนที่ตำแหน่งฟีกของหมู่อะลิฟาติกคาร์บอนพันธะคู่ ที่เลขคลื่นประมาณ  $1636-1637$   $\text{cm}^{-1}$  และที่ตำแหน่งฟีกของหมู่คาร์บอนิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $1719-1720$   $\text{cm}^{-1}$  ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันในแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง  $\pm 2$  เลขคลื่น ซึ่งเป็นผลมาจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ หมู่ฟังก์ชันนั้น ๆ และจากการสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มที่ใช้ จะยอมรับความผิดพลาดที่ประมาณ  $\pm 2$  เลขคลื่น รายละเอียดของตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 28-35 ในภาคผนวก จ. ดังนั้นในการวัดเรซินซีเมนต์แต่ละครั้ง จะมีการหาค่า corrected height ที่ตำแหน่งดังกล่าว โดยทำการวัดเรซินซีเมนต์ก่อนและหลังการฉายแสง และบันทึกค่าที่ได้ลงในโปรแกรมเอกเซล (excel) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ โดยอาศัยสมการด้านล่าง

$$\text{ค่าการบ่มตัว (\%)} = \left\{ 1 - \left[ \frac{(\text{aliphatic C=C / carbonyl C=O}) \text{ หลังฉายแสง}}{(\text{aliphatic C=C / carbonyl C=O}) \text{ ก่อนฉายแสง}} \right] \right\} \times 100 \%$$



ภาพที่ 19 ผลการรายงานสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ณ เวลาเริ่มต้น (baseline)

## การวิเคราะห์ข้อมูล

### สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics)

ข้อมูลค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าอินเตอร์ควอไทล์ (interquartile) ของค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ในแต่ละอุณหภูมิ และแต่ละระยะเวลาการเก็บ ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS) รุ่น 17

### สถิติอ้างอิง (Inferential statistics)

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีปัจจัย (factors) 3 ชนิดได้แก่

- อุณหภูมิในการเก็บเรซินซีเมนต์ 2 อุณหภูมิ
- ระยะเวลาในการเก็บเรซินซีเมนต์ ที่เริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน
- ชนิดของเรซินซีเมนต์ 4 ชนิด

ตัวแปรตามที่ศึกษามี 2 อย่าง ได้แก่

- ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์
- ค่ากำลังแรงยึดดึง

สถิติที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้คือ ค่าเฉลี่ย โดยทำการทดสอบสถิติแบบนอนพาราเมตริก (non-parametric) โดย

- ทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 1 และ 2 โดยใช้สถิติวิเคราะห์ครัสคาล-วาลิส (Kruskal-Wallis) และเมื่อพบว่ามีความแตกต่างกันจึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวล-อินแมน (Conover-Inman multiple comparisons) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ด้วยการใช้โปรแกรมสแตทไดเร็ก (Stats Direct statistical software) รุ่น 2.7.2

- ทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติวิเคราะห์เฟรดแมน (Friedman) และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวล-อินแมน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ด้วยโปรแกรมสแตทไดเร็ก รุ่น 2.7.2

- ทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 5 และ 6 ด้วยสถิติวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส (Mann-Whitney U test) ด้วยอาศัยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS) รุ่น 17

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. ผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์

##### 1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนา

รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน และค่าอินเตอร์ควอไทล์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา

| Cements             | Storage duration | Storage temperature | N     | Mean  | SD    | Median        | Interquartile |
|---------------------|------------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| Clearfil™ SA luting | Baseline         |                     | 5     | 52.60 | 2.26  | 52.14         | 50.56 - 54.87 |
|                     | 1 month          | 4 °C                | 5     | 44.73 | 2.39  | 45.87         | 42.27 - 46.62 |
|                     |                  | 40 °C               | 5     | 32.99 | 2.02  | 32.77         | 31.08 - 35.02 |
|                     | 3 months         | 4 °C                | 5     | 40.78 | 1.18  | 40.26         | 39.81 - 42.00 |
|                     |                  | 40 °C               | 5     | 28.34 | 2.13  | 29.03         | 26.22 - 30.12 |
|                     | 6 months         | 4 °C                | 5     | 34.36 | 2.24  | 35.21         | 31.95 - 36.34 |
| 40 °C               |                  | 5                   | 18.41 | 2.97  | 19.76 | 15.67 - 20.48 |               |
| RelyX™ U100         | Baseline         |                     | 5     | 50.00 | 1.90  | 50.32         | 48.14 - 51.70 |
|                     | 1 month          | 4 °C                | 5     | 48.31 | 2.63  | 48.01         | 45.98 - 50.80 |
|                     |                  | 40 °C               | 5     | 37.66 | 2.48  | 37.95         | 35.29 - 39.88 |
|                     | 3 months         | 4 °C                | 5     | 46.93 | 2.44  | 47.91         | 44.34 - 49.03 |
|                     |                  | 40 °C               | 5     | 34.01 | 2.64  | 35.21         | 31.22 - 36.20 |
|                     | 6 months         | 4 °C                | 5     | 39.95 | 2.14  | 40.36         | 37.78 - 41.91 |
| 40 °C               |                  | 5                   | 13.93 | 2.67  | 14.77 | 11.11 - 16.33 |               |



ตารางที่ 1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา

| Cements       | Storage duration | Storage temperature | N | Mean  | SD    | Median | Interquartile |
|---------------|------------------|---------------------|---|-------|-------|--------|---------------|
| Maxcem Elite™ | Baseline         |                     | 5 | 48.40 | 1.92  | 48.94  | 46.43 - 50.10 |
|               | 1 month          | 4 °C                | 5 | 46.33 | 1.79  | 46.30  | 44.64 - 48.04 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 34.32 | 1.44  | 33.73  | 33.25 - 35.69 |
|               | 3 months         | 4 °C                | 5 | 42.37 | 1.77  | 41.66  | 40.89 - 44.22 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 13.77 | 2.09  | 13.16  | 11.94 - 15.92 |
|               | 6 months         | 4 °C                | 5 | 37.97 | 1.45  | 37.10  | 36.84 - 39.54 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 9.92  | 1.70  | 9.91   | 8.38 - 11.48  |
|               | BisCem®          | Baseline            |   | 5     | 41.67 | 2.63   | 42.99         |
| 1 month       |                  | 4 °C                | 5 | 35.43 | 1.78  | 34.93  | 33.85 - 37.25 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 14.48 | 1.20  | 13.83  | 13.55 - 15.73 |
| 3 months      |                  | 4 °C                | 5 | 25.12 | 2.50  | 26.54  | 22.44 - 27.10 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 8.94  | 1.46  | 9.03   | 7.49 - 10.35  |
| 6 months      |                  | 4 °C                | 5 | 13.16 | 1.38  | 13.13  | 12.03 - 14.32 |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 5.06  | 1.34  | 5.85   | 3.66 - 6.07   |

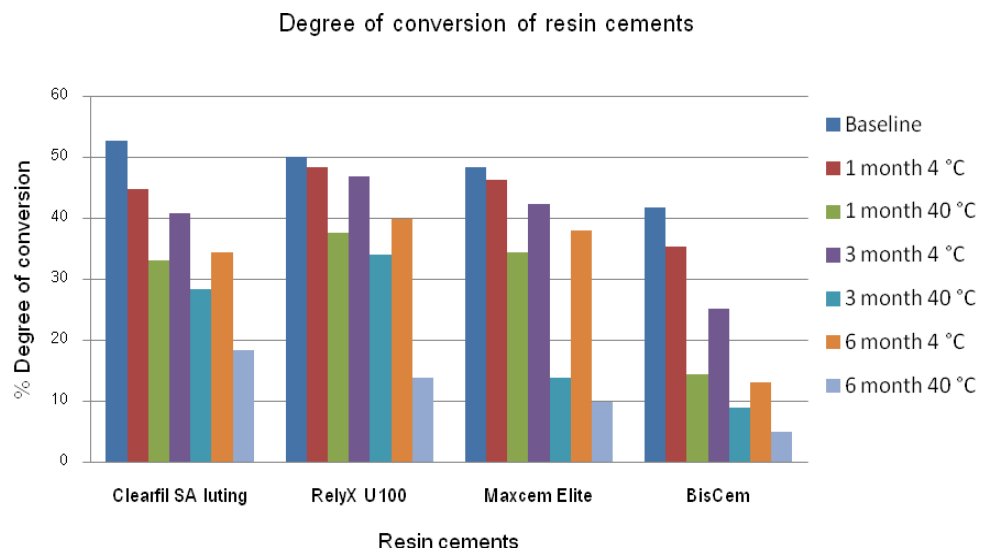
ค่าร้อยละการบ่มตัวมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 5 ที่ได้มาจากการผสมเรซินซีเมนต์จำนวน 5 ครั้ง จากหลอดเดียวกัน

## 1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติอ้างอิง

### 1.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าร้อยละการบ่มตัวของแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ (ทดสอบสมมติฐานที่ 1)

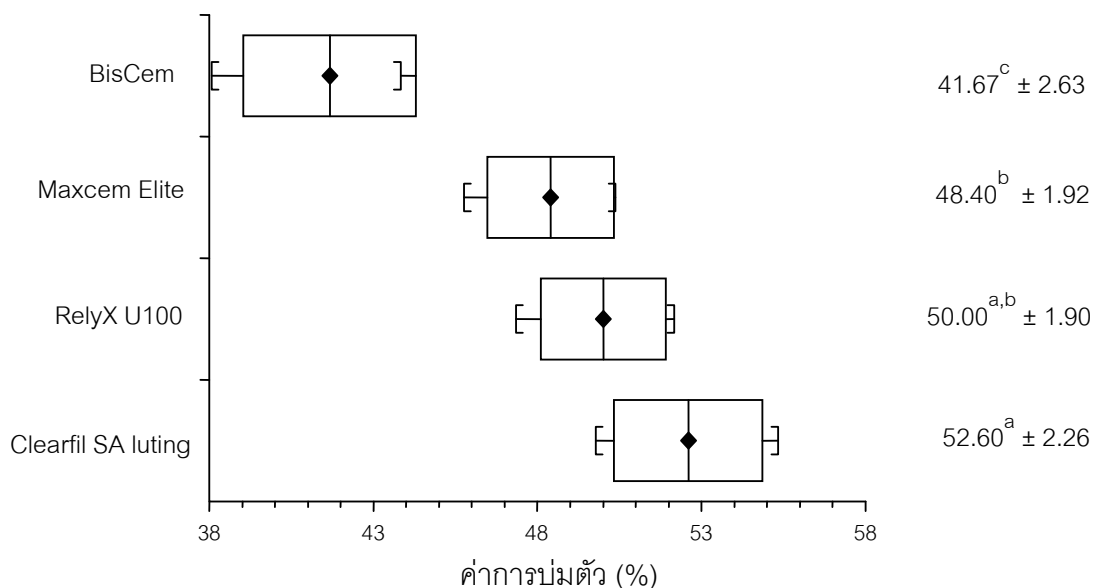
Ho: ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าร้อยละการบ่มตัวพื้นฐาน (baseline) ก่อนการเก็บที่อุณหภูมิทดสอบ ดังตารางที่ 1 และ ภาพที่ 20 เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงมีค่าร้อยละการบ่มตัวเท่ากับ  $52.60^a \pm 2.26$  วัลเอกซ์ยูร์ออยมีค่าเท่ากับ  $50.00^{a,b} \pm 1.90$  แม็กซ์เซมอีไลท์มีค่าเท่ากับ  $48.40^b \pm 1.92$  และบิสเซมมีค่าเท่ากับ  $41.67^c \pm 2.63$  ผลการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ครัสคาวาลิสพบความแตกต่างระหว่างชนิดของเรซินซีเมนต์ ( $P < 0.05$ ) และจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวล-อินแมนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงมีค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวสูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทั้งแม็กซ์เซมอีไลท์และบิสเซม แต่ไม่แตกต่างกับวัลเอกซ์ยูร์ออย ส่วนวัลเอกซ์ยูร์ออยมีค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงและแม็กซ์เซมอีไลท์ แต่แตกต่างกับบิสเซม ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงที่มีต่อเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน

ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด



ภาพที่ 21 กราฟชนิดบ็อก-วิสกเกอร์พลอต (box-whisker plot)

ของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

โดยแต่ละเส้นในแนวตั้งแสดงถึงค่าต่ำสุด-[ค่าเฉลี่ย: ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน]-ค่าสูงสุดของข้อมูลตามลำดับ เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 5 ต่อหนึ่งกลุ่ม (n = 5) ตัวเลขทางด้านขวาของกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัว ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เรซินซีเมนต์ชนิดที่มีอักษรยกกำกับเป็นตัวเลขเดียวกัน แสดงผลการทดสอบทางสถิติวิเคราะห์ด้วย คริสต์ควาวิสและคอนโนโวล-อินแมน ( $\alpha = 0.05$ ) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

1.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าร้อยละการบ่มตัวตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (ทดสอบสมมติฐานที่ 3)  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิด ทั้งที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทางเดียวกัน คือ มีค่าร้อยละการบ่มตัวลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังตารางที่ 2 และภาคผนวก ค. โดยจากการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์เฟรดแมน และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวล-อินแมน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาที่ เวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ (ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัว (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน))

| Clearfil SA luting | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                  | 6 months                  |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 4 °C               | 52.60 (2.26) <sup>a, A</sup> | 44.73 (2.39) <sup>b</sup> | 40.78 (1.18) <sup>c</sup> | 34.36 (2.24) <sup>d</sup> |
| 40 °C              |                              | 32.99 (2.02) <sup>B</sup> | 28.34 (2.13) <sup>C</sup> | 18.41 (2.97) <sup>D</sup> |
|                    | $P < .05^*$                  | $P < .05^*$               | $P < .05^*$               |                           |
| RelyX U100         | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                  | 6 months                  |
| 4 °C               | 50.00 (1.90) <sup>a, A</sup> | 48.31 (2.63) <sup>b</sup> | 46.93 (2.44) <sup>c</sup> | 39.95 (2.14) <sup>d</sup> |
| 40 °C              |                              | 37.66 (2.48) <sup>B</sup> | 34.01 (2.64) <sup>C</sup> | 13.93 (2.67) <sup>D</sup> |
|                    | $P < .05^*$                  | $P < .05^*$               | $P < .05^*$               |                           |
| Maxcem Elite       | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                  | 6 months                  |
| 4 °C               | 48.40 (1.92) <sup>a, A</sup> | 46.33 (1.79) <sup>b</sup> | 42.37 (1.77) <sup>c</sup> | 37.97 (1.45) <sup>d</sup> |
| 40 °C              |                              | 34.32 (1.44) <sup>B</sup> | 13.77 (2.09) <sup>C</sup> | 9.92 (1.70) <sup>D</sup>  |
|                    | $P < .05^*$                  | $P < .05^*$               | $P < .05^*$               |                           |
| Biscem             | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                  | 6 months                  |
| 4 °C               | 41.67 (2.63) <sup>a, A</sup> | 35.43 (1.78) <sup>b</sup> | 25.12 (2.50) <sup>c</sup> | 13.16 (1.38) <sup>d</sup> |
| 40 °C              |                              | 14.48 (1.20) <sup>B</sup> | 8.94 (1.46) <sup>C</sup>  | 5.06 (1.34) <sup>D</sup>  |
|                    | $P < .05^*$                  | $P < .05^*$               | $P < .05^*$               |                           |

ทุกกลุ่มทดสอบมีจำนวนตัวอย่างเท่ากับ 5

- ผลทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวตามช่วงเวลา ด้วยสถิติวิเคราะห์เฟรดแมน ( $\alpha=0.05$ ) แสดงผลเป็นอักษรยกกำกับในแนวนอน (horizontal) เป็นอักษรเดียวกันแสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- ผลทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวระหว่างอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสและ 40 องศาเซลเซียสด้วยสถิติวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ( $\alpha=0.05$ ) แสดงผลเป็นค่า P-value ไม่มีเครื่องหมาย \* กำกับแสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 1.2.3 ผลการเปรียบเทียบการบ่มตัวระหว่างอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส (ทดสอบสมมติฐานที่ 5)

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่าร้อยละการบ่มตัวลดลงเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บตั้งแต่ 1 3 และ 6 เดือน โดยผลการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ แมนวิทนี-ยูเทส ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ที่เก็บ ณ

อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังตารางที่ 2

## 2. ผลการทดสอบค่ากำลังแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์

### 2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนา

รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน และค่าอินเตอร์ควอไทล์ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา

| Cements             | Storage duration | Storage temperature | N | pre-test failures | Mean (MPa) | SD   | Median       | Interquartile |
|---------------------|------------------|---------------------|---|-------------------|------------|------|--------------|---------------|
| Clearfil™ SA luting | Baseline         |                     | 5 | 0                 | 34.12      | 1.39 | 34.36        | 32.70 – 35.43 |
|                     | 1 month          | 4 °C                | 5 | 0                 | 22.59      | 1.98 | 22.04        | 21.22 – 24.22 |
|                     |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 15.05      | 3.48 | 13.34        | 12.69 – 18.28 |
|                     | 3 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 22.67      | 1.55 | 21.79        | 21.76 – 24.03 |
|                     |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 14.45      | 1.87 | 13.87        | 13.07 – 16.11 |
|                     | 6 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 14.35      | 2.42 | 14.84        | 11.88 – 16.59 |
| 40 °C               |                  | 5                   | 0 | 8.27              | 2.20       | 7.41 | 6.78 – 10.20 |               |
| RelyX™ U100         | Baseline         |                     | 5 | 0                 | 12.03      | 2.23 | 12.55        | 9.83 – 13.96  |
|                     | 1 month          | 4 °C                | 5 | 0                 | 11.31      | 2.08 | 10.17        | 9.65 – 13.55  |
|                     |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 11.08      | 3.63 | 12.10        | 7.55 – 14.11  |
|                     | 3 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 11.61      | 2.43 | 13.14        | 8.97 – 13.48  |
|                     |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 9.76       | 0.30 | 9.71         | 9.51 – 10.04  |
|                     | 6 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 7.80       | 1.18 | 7.81         | 6.73 – 8.86   |
| 40 °C               |                  | 5                   | 0 | 4.33              | 1.43       | 3.82 | 3.18 – 5.74  |               |

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดด้วยสถิติเชิงพรรณนา

| Cements       | Storage duration | Storage temperature | N | pre-test failures | Mean (MPa) | SD   | Median | Interquartile |
|---------------|------------------|---------------------|---|-------------------|------------|------|--------|---------------|
| Maxcem Elite™ | Baseline         |                     | 5 | 0                 | 8.64       | 1.01 | 8.35   | 7.97 – 9.45   |
|               | 1 month          | 4 °C                | 5 | 0                 | 8.23       | 2.21 | 7.29   | 6.43 – 10.50  |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 7.26       | 1.12 | 6.95   | 6.25 – 8.42   |
|               | 3 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 6.60       | 0.58 | 6.85   | 6.15 – 6.94   |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 0                 | 4.93       | 0.38 | 4.83   | 4.61 – 5.31   |
|               | 6 months         | 4 °C                | 5 | 0                 | 5.52       | 1.65 | 5.78   | 3.97 – 6.93   |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 5                 | 0.00       | 0.00 | 0.00   | 0.00 – 0.00   |
|               | BisCem®          | Baseline            |   | 5                 | 0          | 9.12 | 1.32   | 9.54          |
| 1 month       |                  | 4 °C                | 5 | 0                 | 3.75       | 0.44 | 3.81   | 3.39 – 4.08   |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 2                 | 2.86       | 2.85 | 2.95   | 0.00 – 5.69   |
| 3 months      |                  | 4 °C                | 5 | 2                 | 1.82       | 2.38 | 0.25   | 0.00 – 4.42   |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 3                 | 1.68       | 2.41 | 0.00   | 0.00 – 4.21   |
| 6 months      |                  | 4 °C                | 5 | 3                 | 0.58       | 0.86 | 0.00   | 0.00 – 1.45   |
|               |                  | 40 °C               | 5 | 4                 | 0.34       | 0.76 | 0.00   | 0.00 – 0.85   |

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำรวมขั้นตอนทดสอบที่แตกหักระหว่างการเตรียมก่อนการทดสอบ (pre-test failure) เป็นหนึ่งในจำนวนรวมทั้งหมด (n) ของขั้นตอนทดสอบมินิแคมเบลล์ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

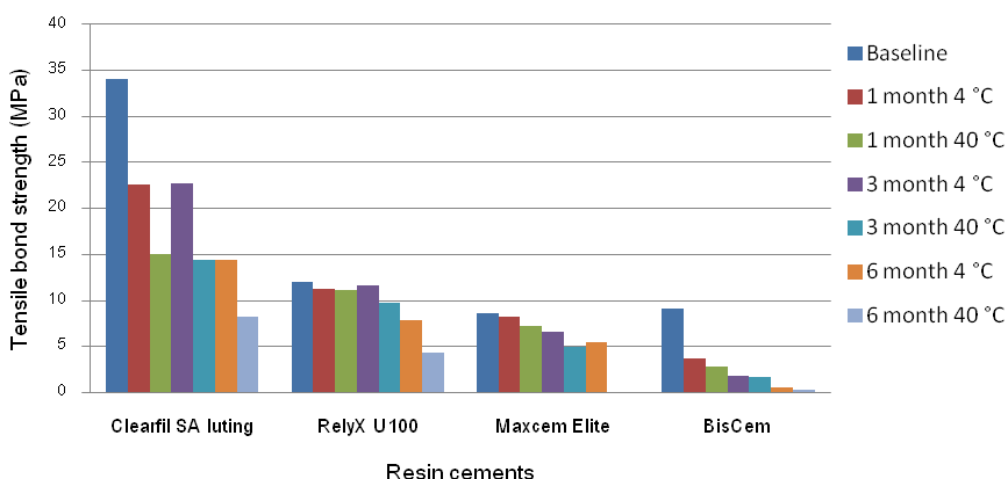
## 2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติอ้างอิง

### 2.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดติดของแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ (ทดสอบสมมติฐานที่ 2)

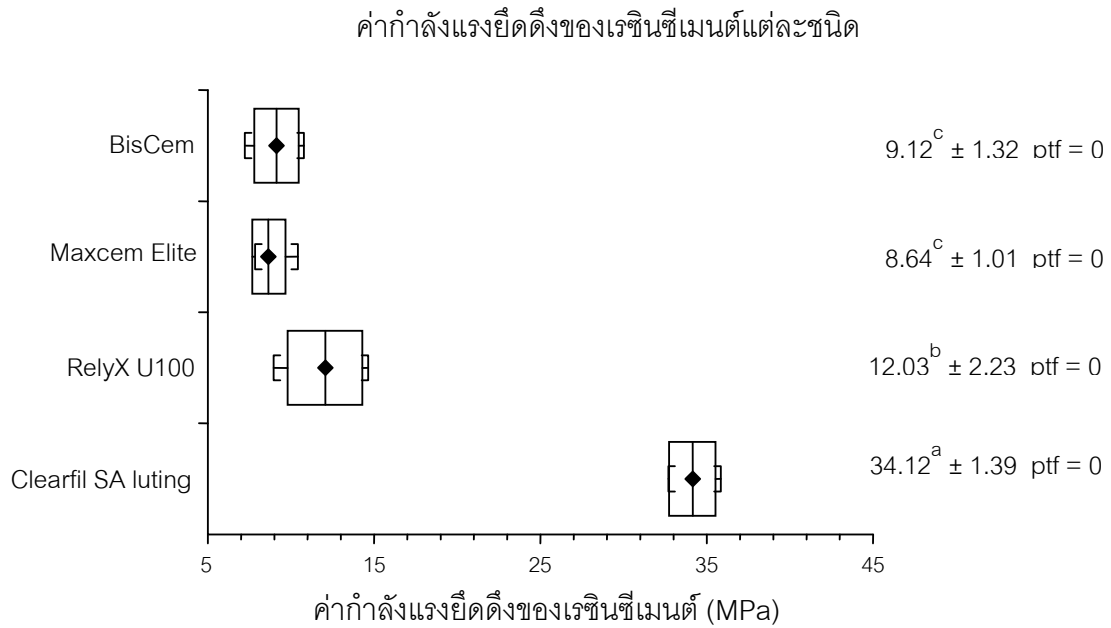
Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่ากำลังแรงยึดติดเริ่มต้น ก่อนเก็บที่อุณหภูมิทดสอบ แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 22 เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงมีค่ากำลังแรงยึดติดเท่ากับ  $34.12^a \pm 1.39$  เมกะพาสคาล รีไลเอกซ์ยูร้อยมีค่าเท่ากับ  $12.03^b \pm 2.23$  เมกะพาสคาล แม็กซ์เซมอีไลท์มีค่าเท่ากับ  $8.64^c \pm 1.01$  เมกะพาสคาล และบิสเซมมีค่าเท่ากับ  $9.12^c \pm 1.32$  เมกะพาสคาล ผลการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ครัสคาล-วาลิส พบว่ามีความแตกต่างระหว่างชนิดของเรซินซีเมนต์ ( $P < 0.05$ ) และจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวโล-อินแมนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังภาพที่ 23 พบว่าเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงมีค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดติดสูงสุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินซีเมนต์ทุกชนิด ส่วนรีไลเอกซ์ยูร้อยมีค่าสูงรองลงมา และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินซีเมนต์ทุกชนิด ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์และบิสเซมมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Tensile bond strength of resin cements



ภาพที่ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดติดที่มีต่อเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน



ภาพที่ 23 กราฟชนิดบ็อก-วิสเกอร์พลอต (box-whisker plot)

ของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

โดยแต่ละเส้นในแนวตั้งแสดงถึงค่าต่ำสุด-[ค่าเฉลี่ย:ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน]-ค่าสูงสุดของข้อมูลตามลำดับ เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 5 ต่อหนึ่งกลุ่ม (n = 5) ตัวเลขทางด้านขวาของกราฟแสดง ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนชิ้นตัวอย่างที่ล้มเหลวก่อนการทดสอบ (pre-test failure : ptf) เรซินซีเมนต์ชนิดที่มีอักษรยกกำกับเป็นตัวเลขเดียวกันแสดงผลการทดสอบทางสถิติด้วยครัสคาอวาลิสและคอนโนโวล-อินแมน ( $\alpha=0.05$ ) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

2.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (ทดสอบสมมติฐานที่ 4) Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 2.2.2.1 เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง

การเก็บรักษาเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง ณ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังตารางที่ 4 และภาคผนวก ง. โดยจากผลการทดสอบด้วยสถิติเฟรดแมน และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยคอนโนโวล-อินแมน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 1 เดือน มีค่าลดลงและแตกต่างจากตอนเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเก็บนาน 3 เดือน มีค่าใกล้เคียงและไม่แตกต่างกับ 1 เดือน และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือน มีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงลดลง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกช่วง



ระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนเคลียร์ฟิวเอสเอสเอลูตทิงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงตามระยะเวลาการเก็บ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นที่เวลา 1 และ 3 เดือน มีค่ากำลังแรงยึดดึงใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ที่มีต่อเนื้อฟัน (ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึง (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในหน่วยเมกะพาสคาล)

| Clearfil SA luting | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                   | 6 months                  |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 4°C                | 34.12 (1.39) <sup>a, A</sup> | 22.59 (1.98) <sup>b</sup> | 22.67 (1.55) <sup>b</sup>  | 14.35 (2.42) <sup>c</sup> |
| 40°C               |                              | 15.05 (3.48) <sup>B</sup> | 14.45 (1.87) <sup>B</sup>  | 8.27 (2.20) <sup>C</sup>  |
|                    | $P < .05^*$                  | $P < .05^*$               | $P < .05^*$                |                           |
| RelyX U100         | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                   | 6 months                  |
| 4°C                | 12.03 (2.23) <sup>a, A</sup> | 11.31 (2.08) <sup>a</sup> | 11.61 (2.43) <sup>a</sup>  | 7.80 (1.18) <sup>a</sup>  |
| 40°C               |                              | 11.08 (3.63) <sup>A</sup> | 9.76 (0.30) <sup>A</sup>   | 4.33 (1.43) <sup>B</sup>  |
|                    | $P > .05$                    | $P > .05$                 | $P < .05^*$                |                           |
| Maxcem Elite       | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                   | 6 months                  |
| 4°C                | 8.64 (1.01) <sup>a, A</sup>  | 8.23 (2.21) <sup>a</sup>  | 6.60 (0.58) <sup>a</sup>   | 5.52 (1.65) <sup>a</sup>  |
| 40°C               |                              | 7.26 (1.12) <sup>B</sup>  | 4.93 (0.38) <sup>C</sup>   | 0 (0.00) <sup>D</sup>     |
|                    | $P > .05$                    | $P < .05^*$               | $P < .05^*$                |                           |
| Biscem             | Baseline                     | 1 month                   | 3 months                   | 6 months                  |
| 4°C                | 9.12 (1.32) <sup>a, A</sup>  | 3.75 (0.44) <sup>b</sup>  | 1.82 (2.38) <sup>b,c</sup> | 0.58 (0.86) <sup>c</sup>  |
| 40°C               |                              | 2.86 (2.85) <sup>B</sup>  | 1.68 (2.41) <sup>B</sup>   | 0.34 (0.76) <sup>B</sup>  |
|                    | $P > .05$                    | $P > .05$                 | $P > .05$                  |                           |

ทุกกลุ่มทดสอบมีจำนวนตัวอย่างเท่ากับ 5

- ผลทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงตามช่วงเวลา ด้วยสถิติวิเคราะห์เฟรดแมน ( $\alpha=0.05$ ) แสดงผลเป็นอักษรยกกำกับในแนวนอน (horizontal) โดยหากเป็นอักษรเดียวกันแสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- ผลทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสและ 40 องศาเซลเซียสด้วยสถิติวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ( $\alpha=0.05$ ) แสดงผลเป็นค่า P value โดยหากไม่มีเครื่องหมาย \* กำกับแสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 2.2.2.2 เรซินซีเมนต์ชนิดวีไลเอกซ์ยูร้อย

วีไลเอกซ์ยูร้อยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงตามช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่ผลการทดสอบด้วยสถิติเฟรดแมนที่ระดับความ

เชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนที่การเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 1 และ 3 เดือน ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเก็บนาน 6 เดือน พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ( $P < 0.05$ )

### 2.2.2.3 เรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์

การเก็บรักษาแม็กซ์เซมอีไลท์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน ส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ผลการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์เฟรดแมนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่าส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดดึงมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และที่ระยะเวลา 6 เดือน ขึ้นทดสอบทั้งหมดเกิดการแตกหักก่อนการทดสอบ ( $ptf = 5$ )

### 2.2.2.3 เรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม

การเก็บรักษาบิสเซมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดดึงมีค่าลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับตอนเริ่มต้น ( $P < 0.05$ ) และเมื่อเก็บนาน 3 เดือน ค่ากำลังแรงยึดดึงใกล้เคียงและไม่แตกต่างกับที่ 1 เดือน แต่เมื่อเก็บนาน 6 เดือน พบว่ามีค่าลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับตอนเริ่มต้นและหลังเก็บ 1 เดือน ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน ส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงมีค่าลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับตอนเริ่มต้น ( $P < 0.05$ ) และเมื่อเก็บนาน 3 และ 6 เดือน พบว่าค่ากำลังแรงยึดดึงมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับที่ 1 เดือน ( $P > 0.05$ )

2.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส (ทดสอบสมมติฐานที่ 6)  $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 40 องศาเซลเซียสด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิควบคุมที่ 4 องศาเซลเซียสในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บ ซึ่งผลการทดสอบด้วยแมนวิทนี่-ยูเทส ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าเคลียร์ฟิวเอสแอลทูติงที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับหลอดที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ( $P < 0.05$ ) ส่วนวีไลเอกซ์ยูร้อย พบว่ามีความแตกต่างเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์พบว่ามีความแตก

ต่างเมื่อเก็บนาน 3 และ 6 เดือน ( $P < 0.05$ ) ส่วนบิสเซมไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ดังตารางที่ 4

### 3. ผลการวัดค่าความหนาของชั้นซีเมนต์

ผลการวัดค่าความหนาของชั้นซีเมนต์ยึดติดจากชั้นทดสอบมินิดีมเบลล์ แสดงดัง ตารางที่ 5 พบว่าเรซินซีเมนต์ซีเมนต์ทุกชนิดมีความหนาของชั้นซีเมนต์ประมาณ 106.67 – 107.53 ไมโครเมตร โดยมีค่าที่ในทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดความหนาของชั้นซีเมนต์ โดยการตีเทปขาวที่มีความหนาประมาณ 100 ( $\pm 10$ ) ไมโครเมตร บนผิวยึดติดของคอมพอสิต ออนเลย์ ภายใต้น้ำหนักกด 0.5 กิโลกรัม จึงทำให้เกิดความหนาของชั้นซีเมนต์ที่เท่ากับความหนาของเทปขาวที่คั่นกลางที่บริเวณชั้นยึดติด แต่ยกเว้นในกลุ่มของรีไลเอกซ์ยูร์ออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม ที่เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 และ 6 เดือน พบว่ามีความหนาของชั้นซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมากกว่าความหนาของเทปขาวที่ใช้ และชั้นทดสอบบาง ชั้นมีความหนาไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 5 ผลค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของชั้นซีเมนต์ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

(ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของชั้นซีเมนต์ (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในหน่วยไมโครเมตร)

| Clearfil SA luting | Baseline      | 1 month       | 3 months      | 6 months      |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 4°C                | 106.67 (0.00) | 106.67 (0.00) | 106.67 (0.00) | 107.53 (0.78) |
| 40°C               |               | 107.53 (0.78) | 107.24 (0.78) | 107.82 (0.64) |
| RelyX U100         | Baseline      | 1 month       | 3 months      | 6 months      |
| 4°C                | 106.67 (0.00) | 106.67 (0.00) | 107.24 (0.78) | 107.24 (0.78) |
| 40°C               |               | 106.67 (0.00) | 116.08 (3.82) | 117.91 (3.45) |
| Maxcem Elite       | Baseline      | 1 month       | 3 months      | 6 months      |
| 4°C                | 106.67 (0.00) | 106.67 (0.00) | 107.24 (0.78) | 107.24 (0.78) |
| 40°C               |               | 106.67 (0.00) | 126.33 (1.04) | 127.27 (1.28) |
| Biscem             | Baseline      | 1 month       | 3 months      | 6 months      |
| 4°C                | 106.67 (0.00) | 106.67 (0.00) | 107.24 (0.78) | 107.53 (0.78) |
| 40°C               |               | 106.67 (0.00) | 135.66 (3.82) | 190.69 (3.62) |

วัดความหนาของชั้นซีเมนต์ด้วยโปรแกรมพิเซลลาสตูดีโอโปรซอฟแวร์ (Pixella studio Pro software)

#### 4. ผลการตรวจสภาพพื้นผิวที่แตกหัก

4.1 ผลการจำแนกความล้มเหลวของการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า

เรซินซีเมนต์ทุกชนิดมีความล้มเหลวของการแตกหัก 3 ประเภท ได้แก่ ความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวฟันกับเรซินซีเมนต์ ความล้มเหลวภายในชั้นซีเมนต์ และความล้มเหลวแบบผสมระหว่างความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างผิวฟันกับเรซินซีเมนต์กับความล้มเหลวภายในชั้นซีเมนต์ แสดงดังตารางที่ 6-9 โดยเรซินซีเมนต์ทุกชนิดทั้งหมดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา มีการแตกหักของชิ้นทดสอบส่วนใหญ่เป็นประเภทความล้มเหลวภายในชั้นซีเมนต์

ตารางที่ 6 ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง (จำนวนชิ้นทดสอบ)

| Clearfil SA luting | Ptf  | Cohesive in dentin | Adhesive dentin/cement | Cohesive in cement | Adhesive cement/composite | Cohesive in composite | Mixed |   |
|--------------------|------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|-------|---|
| Baseline           | 0    | 0                  | 1                      | 3                  | 0                         | 0                     | 1     |   |
| 1 month            | 4°C  | 0                  | 0                      | 0                  | 4                         | 0                     | 0     | 1 |
|                    | 40°C | 0                  | 0                      | 2                  | 3                         | 0                     | 0     | 0 |
| 3 months           | 4°C  | 0                  | 0                      | 1                  | 3                         | 0                     | 0     | 1 |
|                    | 40°C | 0                  | 0                      | 2                  | 2                         | 0                     | 0     | 1 |
| 6 months           | 4°C  | 0                  | 0                      | 2                  | 3                         | 0                     | 0     | 0 |
|                    | 40°C | 0                  | 0                      | 1                  | 3                         | 0                     | 0     | 1 |

Ptf = Pre-test failure หมายถึงจำนวนชิ้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 7 ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มรีไลเอกซ์ยูร้อย (จำนวนชิ้นทดสอบ)

| RelyX U100 | Ptf  | Cohesive<br>in dentin | Adhesive<br>dentin/cement | Cohesive<br>in<br>cement | Adhesive<br>cement/composite | Cohesive<br>in<br>composite | Mixed |
|------------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------|
| Baseline   | 0    | 0                     | 1                         | 3                        | 0                            | 0                           | 1     |
| 1 month    | 4°C  | 0                     | 0                         | 2                        | 3                            | 0                           | 0     |
|            | 40°C | 0                     | 0                         | 1                        | 4                            | 0                           | 0     |
| 3 months   | 4°C  | 0                     | 0                         | 1                        | 3                            | 0                           | 1     |
|            | 40°C | 0                     | 0                         | 2                        | 3                            | 0                           | 0     |
| 6 months   | 4°C  | 0                     | 0                         | 1                        | 4                            | 0                           | 0     |
|            | 40°C | 0                     | 0                         | 1                        | 3                            | 0                           | 1     |

ตารางที่ 8 ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มแม็กซ์เซมอีไลท์ (จำนวนชิ้นทดสอบ)

| Maxcem Elite | Ptf  | Cohesive<br>in dentin | Adhesive<br>dentin/cement | Cohesive<br>in<br>cement | Adhesive<br>cement/composite | Cohesive<br>in<br>composite | Mixed |
|--------------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------|
| Baseline     | 0    | 0                     | 1                         | 3                        | 0                            | 0                           | 1     |
| 1 month      | 4°C  | 0                     | 0                         | 4                        | 0                            | 0                           | 1     |
|              | 40°C | 0                     | 0                         | 1                        | 3                            | 0                           | 1     |
| 3 months     | 4°C  | 0                     | 0                         | 4                        | 0                            | 0                           | 0     |
|              | 40°C | 0                     | 0                         | 1                        | 4                            | 0                           | 0     |
| 6 months     | 4°C  | 0                     | 0                         | 2                        | 3                            | 0                           | 0     |
|              | 40°C | 5                     | 0                         | 0                        | 0                            | 0                           | 0     |

Ptf = Pre-test failure หมายถึงจำนวนชิ้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 9 ความถี่ของประเภทความล้มเหลวในกลุ่มบิสเซม (จำนวนชิ้นทดสอบ)

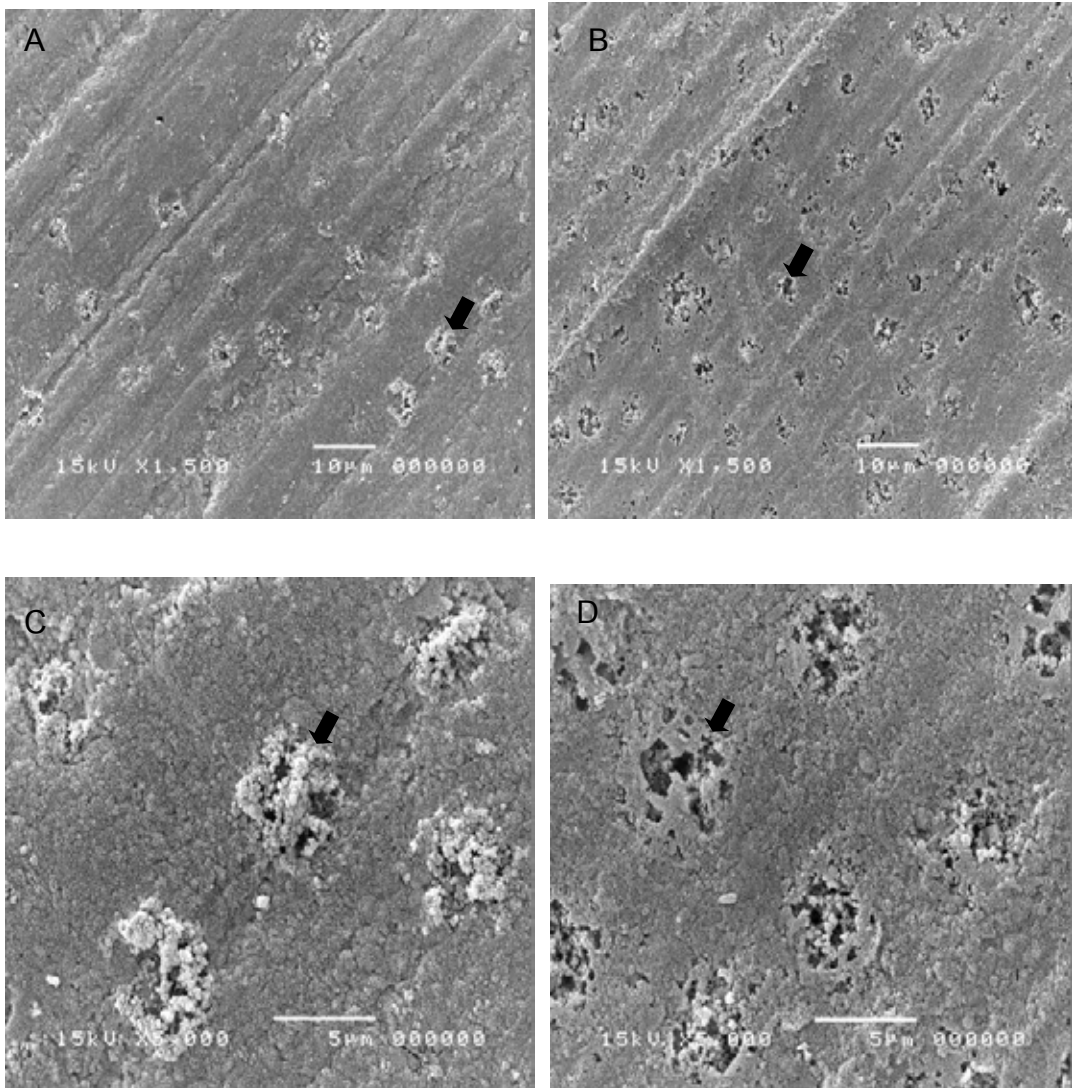
| Bissem   | Ptf  | Cohesive<br>in dentin | Adhesive<br>dentin/cement | Cohesive<br>in<br>cement | Adhesive<br>cement/composite | Cohesive<br>in<br>composite | Mixed |
|----------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------|
| Baseline | 0    | 0                     | 1                         | 4                        | 0                            | 0                           | 0     |
| 1 month  | 4°C  | 0                     | 1                         | 3                        | 0                            | 0                           | 1     |
|          | 40°C | 2                     | 1                         | 2                        | 0                            | 0                           | 0     |
| 3 months | 4°C  | 2                     | 1                         | 2                        | 0                            | 0                           | 0     |
|          | 40°C | 3                     | 0                         | 2                        | 0                            | 0                           | 0     |
| 6 months | 4°C  | 3                     | 0                         | 2                        | 0                            | 0                           | 0     |
|          | 40°C | 4                     | 0                         | 1                        | 0                            | 0                           | 0     |

Ptf = Pre-test failure หมายถึงจำนวนชิ้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบ

#### 4.2 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

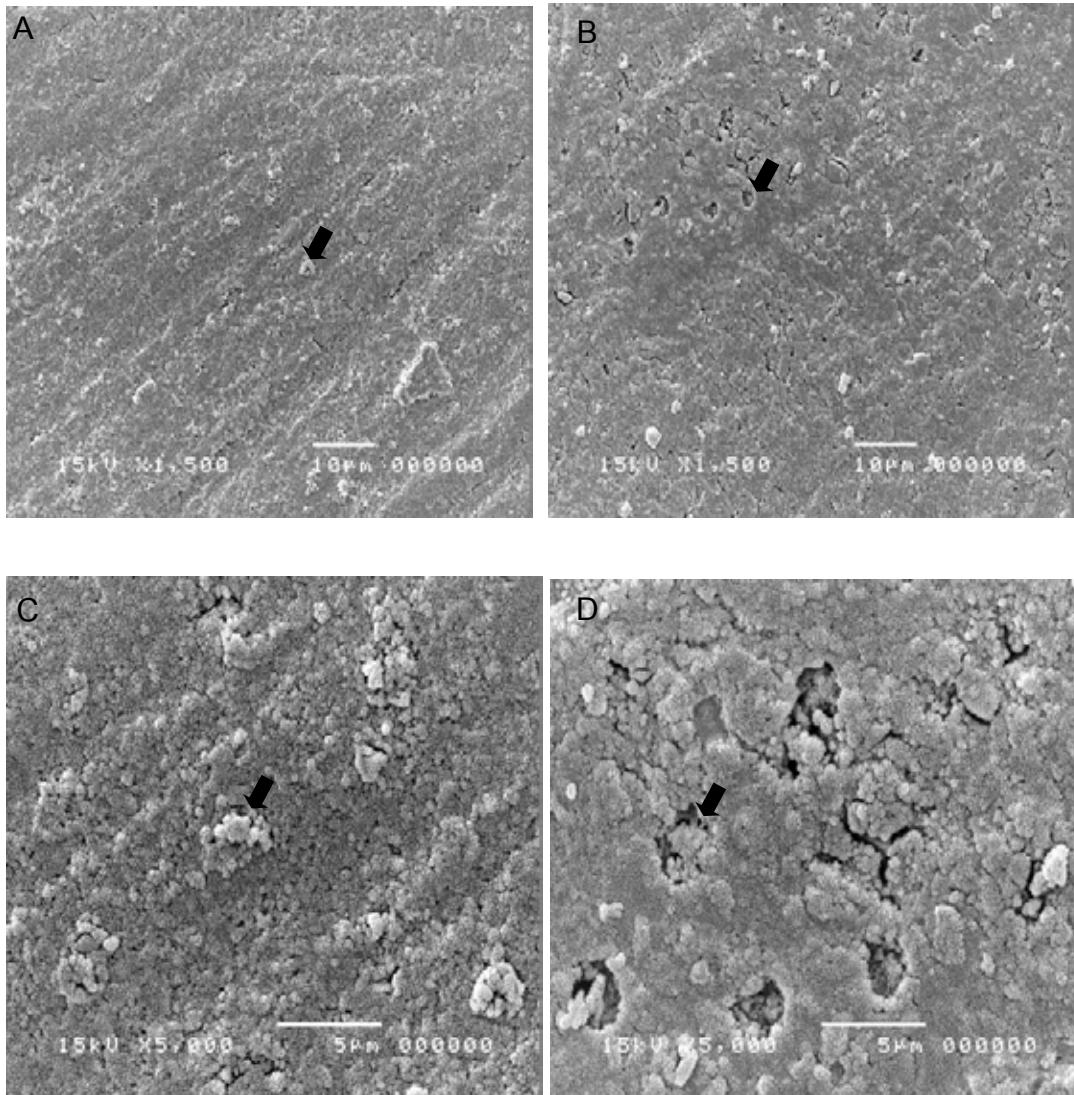
เรซินซีเมนต์ทุกชนิดทั้งหมดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา มีการแตกหักของชิ้นทดสอบส่วนใหญ่เป็นประเภทความล้มเหลวภายในชั้นซีเมนต์ ซึ่งภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของพื้นผิวของรอยแตกหักทั้งฝั่งเนื้อฟันและคอมพอสิตออนเลย์ ของแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ แสดงดังภาพที่ 24-27

4.2.1 การตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ยึดด้วยเคลียร์ฟิวเอสเอสแอลูติง โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 และ 5,000 เท่า เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทั้งหมดที่เก็บอุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลา มีความล้มเหลวของการยึดติดส่วนใหญ่เป็นการแตกหักภายในชั้นซีเมนต์ แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงของชิ้นงานที่ยึดด้วยเคลือบอีพ็อกซีเรซินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 1,500 เท่า (A,B) และ 5,000 เท่า (C,D) โดยชิ้นส่วนเนื้อพื้นแสดงดังภาพ A และ C และชิ้นส่วนคอมพอสิตแสดงดังภาพ B และ D จากภาพจะพบชั้นระหว่างกลาง (intermediary layer) ที่หนาปกคลุมบนผิวคอมพอสิต และชั้นบาง ๆ ปกคลุมผิวเนื้อพื้นพร้อมที่พบส่วนของเรซินซีเมนต์ปกคลุมรูเปิดของท่อเนื้อพื้น ดังลูกศรชี้ในภาพ A และ C และพบลักษณะหลุมที่สัมพันธ์กันในส่วนของเรซินซีเมนต์ที่ปกคลุมผิวคอมพอสิต ดังลูกศรชี้ในภาพ B และ D

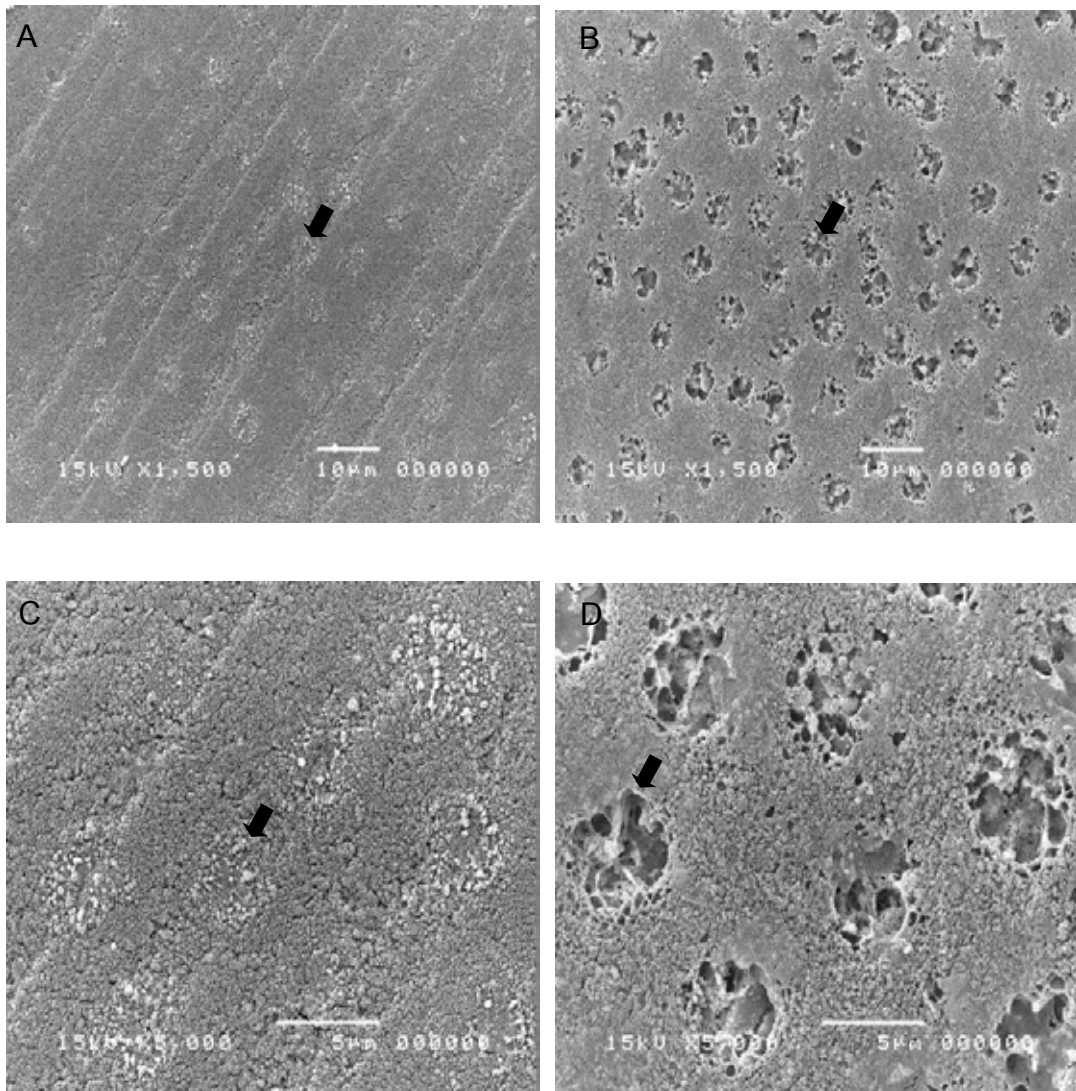
4.2.2 การตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ยึดด้วยรีไลเอกซ์ยูร์้อย โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 และ 5,000 เท่า แสดงดังภาพที่ 25 เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทั้งกลุ่มที่เก็บอุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลา มีความล้มเหลวของการยึดติดส่วนใหญ่เป็นลักษณะแตกหักภายในชั้นซีเมนต์



ภาพที่ 25 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์้อย โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 1,500 เท่า (A,B) และ 5,000 เท่า (C,D) โดยชิ้นส่วนเนื้อฟันแสดงดังภาพ A และ C และชิ้นส่วนคอมพอสิตแสดงดังภาพ B และ D จากภาพจะพบชั้นระหว่างกลางที่มีความหนาปกคลุมบนผิวคอมพอสิต และชั้นบาง ๆ ปกคลุมผิวเนื้อฟันพร้อมที่พบส่วนของเรซินซีเมนต์ปกคลุมรูปเปิดของท่อเนื้อฟัน ดังลูกศรชี้ในภาพ A และ C และพบลักษณะหลุมที่สัมพันธ์กันในส่วนของซีเมนต์ที่ปกคลุมผิวคอมพอสิต ดังลูกศรชี้ในภาพ B และ D

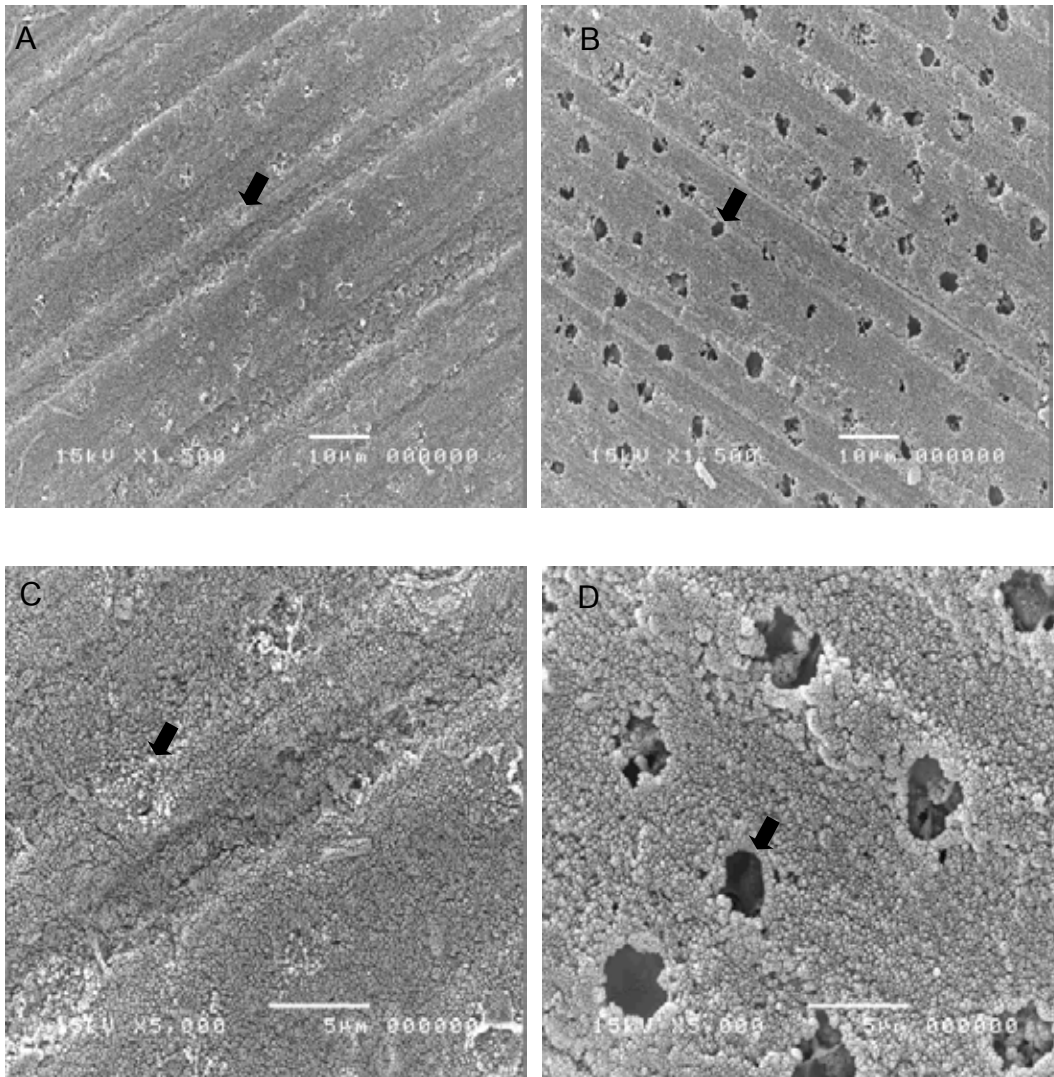


4.2.3 การตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ยึดด้วยแม็กซ์เซมอีไลท์ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 และ 5,000 เท่า เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทั้งหลอดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลา มีความล้มเหลวของการยึดติดส่วนใหญ่เป็นลักษณะแตกหักภายในชั้นซีเมนต์ แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากทดสอบค่ากำลังแรงยึดติด ของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 1,500 เท่า (A,B) และ 5,000 เท่า (C,D) โดยชั้นส่วนเนื้อฟันแสดงดังภาพ A และ C และชั้นส่วนคอมพอสิตแสดงดังภาพ B และ D จากภาพพบชั้นระหว่างกลางที่หนาปกคลุมบนผิวคอมพอสิต และชั้นบาง ๆ ปกคลุมผิวเนื้อฟันพร้อมที่พบส่วนของเรซินซีเมนต์ปกคลุมรูเปิดของท่อเนื้อฟัน ดังลูกศรชี้ในภาพ A และ C และพบลักษณะหลุมที่สัมพันธ์กันในส่วนของเรซินซีเมนต์ที่ปกคลุมผิวคอมพอสิต ดังลูกศรชี้ในภาพ B และ D

4.2.4 การตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ยึดด้วยบิสเซม โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 และ 5,000 เท่า เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทั้งหมดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลา มีความล้มเหลวของการยึดติดส่วนใหญ่เป็นลักษณะแตกหักภายในชั้นซีเมนต์ แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ของชิ้นงานที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 1500 เท่า (A,B) และ 5000 เท่า (C,D) โดยชั้นส่วนเนื้อฟันแสดงดังภาพ A และ C และชั้นส่วนคอมพอลิตแสดงดังภาพ B และ D จากภาพพบชั้นระหว่างกลางที่หนาปกคลุมบนผิวคอมพอลิตและชั้นบาง ๆ ปกคลุมผิวเนื้อฟันพร้อมที่พบส่วนของเรซินซีเมนต์ปกคลุมรูเปิดของท่อเนื้อฟันดังลูกศรชี้ในภาพ A และ C และพบลักษณะหลุมที่สัมพันธ์กันในส่วนของซีเมนต์ที่ปกคลุมผิวคอมพอลิต ดังลูกศรชี้ในภาพ B และ D

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายวิธีทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบปัจจัยของอุณหภูมิในการเก็บรักษา และระยะเวลาในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ ว่ามีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ที่มีต่อผิวเนื้อฟันหรือไม่ จึงมีกรอบแนวคิดและทฤษฎีของงานวิจัย ดังภาพที่ 1 ซึ่งได้มีการควบคุมตัวแปรและกำจัดปัจจัยรบกวน (confounding factors) งานวิจัย ดังนี้

งานวิจัยนี้เลือกใช้ฟันมนุษย์ในการศึกษาค่ากำลังแรงยึดดึง เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และใกล้เคียงกับทางคลินิก โดยเลือกใช้ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สาม เนื่องจากเป็นซี่ฟันที่ขึ้นสูงของปากเป็นซี่สุดท้าย จึงมีอายุภายในช่องปากน้อยที่สุดทำให้ลดโอกาสเสี่ยงในการเกิดความเสียหาย และกำหนดเงื่อนไขในการคัดเลือกซี่ฟันตามข้อกำหนดของ ISO/TS 11405:2003(E) [38] เพื่อให้เนื้อฟันที่จะนำมาใช้ทดสอบมีความสมบูรณ์มากที่สุด

ในขั้นตอนการผสมเรซินซีเมนต์ กำหนดให้มีการนำเรซินซีเมนต์ที่มาจากอุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ก่อนเริ่มใช้งาน เพื่อปรับให้อุณหภูมิของเรซินซีเมนต์ทุกหลอดมีอุณหภูมิเท่ากันที่ประมาณ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เนื่องจากมีรายงานการศึกษาพบว่าอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาหรือก่อนการฉายแสงของเรซินซีเมนต์และเรซินคอมพอสิต มีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึง [5,7,56] โดย Cantoro และคณะ [5] พบว่าทั้งรีไลเอกซ์ยูนิเซมและพานาเวียเอฟต่างก็มีการยึดติดที่อ่อนแอขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิตู้เย็น และการทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้พานาเวียเอฟมีค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคเพิ่มสูงขึ้น แต่ในรีไลเอกซ์ยูนิเซมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็งในทันทีที่บิใช้งาน ส่วนการศึกษาของ Franca และคณะ [56] พบว่าเมื่อรีไลเอกซ์ยูนิเซมและพานาเวียเอฟ มีอุณหภูมิสูง 50 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการบ่มตัวมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง สอดคล้องกับการศึกษาของ Daronch และคณะ [7] ที่พบว่าค่าการบ่มตัวของเรซินคอมพอสิตแปรผันตามอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา โดยค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินคอมพอสิตที่มีอุณหภูมิ 4, 22 และ 40 องศาเซลเซียส ก่อนการฉายแสง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากการลดความหนืดของตัววัสดุ จากการเพิ่มอุณหภูมิของสารพอลิเมอร์ ส่งผลให้สารอนุมูลอิสระเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเพิ่มมากขึ้น จึงมีค่าร้อยละการบ่มตัวที่สูงขึ้นตามมา ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมในการทดลอง เพื่อให้ความแตกต่างของค่าร้อยละการบ่มตัวหรือค่ากำลังแรงยึดดึงที่เกิดขึ้นจากการทดลองเป็นผลมาจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเท่านั้น

การทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงที่สมบูรณ์หมายถึง การวัดค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นทดสอบที่บริเวณรอยต่อยึดติด โดยอาศัยการควบคุมแนวแรงที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบให้มีทิศทางตั้งฉากกับชั้นยึดติด (bonded interface) ทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอ (homogenous stress distribution) และเป็นรูปแบบเดียวกัน (uniform stress) ที่บริเวณรอยต่อยึดติด [38,39] งานวิจัยนี้จึงทำการควบคุมกระบวนการและออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการสร้างชั้นยึดติดที่สม่ำเสมอ และอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวของแรงที่ใช้ยึดชิ้นงานและแรงดึงทดสอบ อุปกรณ์ช่วยในการเตรียมชิ้นทดสอบมินิเด็มเบลล์ และอุปกรณ์ในการยึดชิ้นทดสอบกับเครื่องทดสอบสากล เพื่อให้แรงดึงทดสอบเกิดขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับชั้นรอยต่อมากที่สุด

การสร้างชั้นยึดติดที่สม่ำเสมอ และอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแรงที่ใช้ยึดชิ้นงาน อาศัยการเตรียมผิวเนื้อพื้นและผิวคอมพอสิตออลเลย์ให้มีระนาบเรียบและขนานกัน โดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติในการสร้างระนาบ ซึ่งอาศัยแกนทอสมแตนเลสกลวงเป็นตัวประกอบบล็อกพื้น (ภาพที่ 6 ก.) และตัวจับยึดชิ้นคอมพอสิตออลเลย์ (ภาพที่ 6 ง.) ให้อยู่ในแนวเดียวกับแกนหมุนของเครื่องขัด ทำให้ผิวเนื้อพื้นและคอมพอสิตออลเลย์มีระนาบการขัดที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของเครื่องขัด จากนั้นในขั้นตอนของการยึดชิ้นคอมพอสิตออลเลย์กับผิวเนื้อพื้น ได้ออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการยึดชิ้นงาน ดังภาพที่ 10 เพื่อให้แรงกดเกิดขึ้นแนวตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของเนื้อพื้นและคอมพอสิตออลเลย์ และมีเสถียรภาพของการยึดในขณะที่เรซินซีเมนต์กำลังบ่มตัว ทำให้เกิดชั้นยึดติดที่สม่ำเสมอ ซึ่งหลักการของอุปกรณ์นี้อาศัยความขนานกันของฐานบล็อกพื้น ระนาบขัดของเนื้อพื้นและคอมพอสิตออลเลย์ และระนาบหัวน้ำหนกกด ซึ่งตั้งฉากกับแนวแรงที่ใช้กดชิ้นคอมพอสิตออลเลย์ ซึ่งจากการตรวจสอบชั้นยึดติดของชิ้นทดสอบมินิเด็มเบลล์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอกำลังขยาย 40 เท่า และวัดความหนาของชั้นซีเมนต์ด้วยโปรแกรมพิเซลลาสตูดิโอโปรซอฟแวร์ พบว่าชิ้นทดสอบส่วนใหญ่มีชั้นยึดติดที่สม่ำเสมอ ยกเว้นในชิ้นทดสอบบางชิ้นในกลุ่มของรีไลเอกซ์ยูวีออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และบิสเซม ที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 6 เดือน พบว่ามีความหนาของชั้นยึดติดที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความหนืดของเรซินซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้น เพราะพบว่าเรซินซีเมนต์ในกลุ่มเหล่านี้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินซีเมนต์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความหนืดของเรซินซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลต่อการยึดชิ้นงานให้เข้าที่ (seating) ทำให้เกิดชั้นยึดติดที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอ

การเกิดการแตกหักของชิ้นทดสอบที่บริเวณรอยต่อยึดติดมีปัจจัยสำคัญ คือ การทำให้เกิดแรงดึงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบมีการกระจายความเค้นอย่างสม่ำเสมอ และการกำหนดจุดสะสมความเค้น (stress concentrations) ให้เกิดที่บริเวณชั้นยึดติดซึ่งขึ้นกับ แนวแรงกระทำที่ตั้งฉากกับชั้นยึดติด และรูปทรงของชิ้นทดสอบ (specimen geometry) [38,39,41] งานวิจัยนี้จึง

เตรียมขึ้นทดสอบรูปแบบมินิเด็มเบลล์ ขนาดพื้นที่ยึดติดประมาณ 2x3 ตารางเซนติเมตร ตามข้อกำหนดของ ISO/TS 11405 : 2003(E) [38] และ Nakabayashi [46] ดังภาพที่ 13 ส่วนโค้งของรูปร่างเด็มเบลล์คือตัวกำหนดตำแหน่งของการสะสมความเค้นให้เกิด ณ ตำแหน่งของรอยต่อยึดติด ซึ่งการเตรียมอาศัยการกรอขึ้นทดสอบตามแบบวาดมินิเด็มเบลล์ ดังภาพที่ 12 ด้วยเข็มกรอความเร็วสูงภายใต้ น้ำหล่อตลอดเวลา ซึ่งจากรายงานของผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการเตรียมขึ้นงานโดยการกรอแต่งด้วยมือ นั้น มีความยุ่งยากและมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง จากขั้นตอนการทำงาน (technique – sensitivity) ที่ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญของผู้กรอ รวมถึงอาจเกิดความเค้นต่อชิ้นงานในขณะกรอแต่ง จึงมีการคิดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ช่วยในการกรอแต่งอัตโนมัติ ซึ่งเรียกว่า ไมโครสเปคิเม้นฟอร์มเมอร์ (MicroSpecimen Former) [39,40] แต่ด้วยข้อจำกัดของงานวิจัยนี้จึงยังคงใช้วิธีการกรอแต่งด้วยมือ โดยอาศัยการฝึกฝนทักษะและความชำนาญของผู้กรอ เปลี่ยนเข็มกรอกากเพชรในทุกกลุ่มตัวอย่าง ควบคุมแรงในขณะกรอให้น้อยที่สุดและสม่ำเสมอ เพื่อลดความเค้นที่อาจเกิดขึ้นขณะกรอแต่ง ซึ่งจะมีผลทำให้ชิ้นงานที่มีแรงยึดต่ำ ๆ เกิดการแตกหักก่อนการทดสอบ (pre-test failures) ในงานวิจัยนี้พบการแตกหักก่อนการทดสอบของชิ้นงานในกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่มีค่าแรงยึดต่ำ ได้แก่ แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม โดยเฉพาะแม็กซ์เซมอีไลท์ หลอดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 เดือน พบว่าเกิดการแตกหักก่อนการทดสอบทั้งหมด ซึ่งบางส่วนแตกหักในระหว่างขั้นตอนการตัดเป็นแผ่นบางด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ และบางส่วนแตกหักในระหว่างการกรอแต่งด้วยเข็มกรอ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเค้นจากการเตรียมขึ้นทดสอบและความอ่อนแอของการยึดติด Nakabayashi และคณะ [46] ได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับเรื่องขึ้นทดสอบที่เกิดการแตกหักก่อนการทดสอบไว้ว่า มันเป็นเรื่องที่ยากในการที่จะกำหนดค่ากำลังแรงยึดดึงที่ถูกต้องได้ หากไม่มีการนำข้อมูลทั้งหมดมาคิด เพราะข้อมูลค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำหรือเป็นศูนย์ (pre-test failures) เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงสภาพของสารยึดติดและการเตรียมผิวพื้น (adhesives and substrate conditioners) ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงรวมค่ากำลังแรงยึดดึงของทุกขึ้นทดสอบในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเป็นการสะท้อนในทางคลินิก เนื่องจากแรงยึดที่ต่ำคือสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในทางคลินิก จากการคำนวณรวมขึ้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบนี้ ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดดึงในการทดลองนี้มีค่าต่ำ โดยเฉพาะในกลุ่มของบิสเซมซึ่งมีจำนวนขึ้นทดสอบที่แตกหักก่อนการทดสอบจำนวนมาก

การยึดขึ้นทดสอบกับส่วนปลายของเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ โดยอาศัยอุปกรณ์จับยึด (gripping devices) ซึ่งมีทั้งชนิดมีแรงกระทำ (active) และ ไร้แรงกระทำ (passive) ต่อขึ้นทดสอบ จากผลการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Soares และคณะ [57] พบว่าอุปกรณ์จับยึดที่มีจำนวนด้านของผิวสัมผัสกับชิ้นงานที่มาก จะความสัมพันธ์กับการกระจายความเค้นที่

สม่าเสมอ ดังนั้นอุปกรณ์จับยึดแบบไร้แรงกระทำจึงเป็นชนิดที่ดีที่สุด ในการลดโอกาสเกิดแรงบิด (bending forces) ในขณะที่ให้แรงทดสอบ แต่เนื่องจากอุปกรณ์จับยึดแบบไร้แรงกระทำ เช่น ดิกดิไวซ์ (Dircks device) ต้องอาศัยกลอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการสร้าง จึงเป็นข้อจำกัดของการทดสอบในครั้งนี้ และจากผลวิเคราะห์ไฟไนน์อิลิเมนต์ของ Ghassemieh และคณะ [58] พบว่าองศาของมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวแรงทดสอบกับแนวแกนของชิ้นงาน (angled axis of application of force) มีผลต่อรูปแบบของความเค้น (stress pattern) ที่เกิดขึ้นในชั้นยึดติด และรูปแบบการเกิดความล้มเหลว (pattern of progression of failure) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาอุปกรณ์จับยึดขึ้นทดสอบขึ้น ดังภาพที่ 14 และ 15 เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำหนดแนวแรงทดสอบ (alignment of axis of application load) ให้เป็นแนวเดียวกับแนวแกนของชิ้นทดสอบ (axis of sample) ซึ่งตั้งฉากกับชั้นยึดติด (bonded line) เพื่อทำให้เกิดแรงดึงที่แท้จริงต่อชิ้นทดสอบ (pure tensile force)

ขั้นตอนการยึดชิ้นทดสอบมินิเด็มเบลล์เข้ากับตัวจับยึดจะอาศัยกรอบอะคริลิก ดังภาพที่ 14 ในการประกอบแต่ละชิ้นส่วนและกำหนดตำแหน่งในการยึดชิ้นงาน เพื่อให้แนวของชั้นยึดติดตั้งฉากกับผิวสัมผัสของอุปกรณ์จับยึด (gripping surfaces) จากนั้นประกอบชิ้นทดสอบที่ยึดเรียบร้อยแล้วเข้ากับส่วนปลายของเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ ด้วยการสอดแท่งโลหะสแตนเลสผ่านรูที่ส่วนปลายของตัวจับยึดในแต่ละฝั่ง ดังภาพที่ 15 ตำแหน่งของรูอยู่ในแนวเส้นขนานแนวแกนของชิ้นทดสอบซึ่งลากผ่านจุดกึ่งกลางของชั้นยึดติด ลักษณะการเชื่อมกันโดยใช้แท่งโลหะสแตนเลสคล้องนี้ อาจสามารถช่วยเพิ่มความเป็นอิสระ และลดแรงที่ไม่พึงประสงค์ เช่น แรงบิดหรือแรงเฉือนที่สามารถเกิดกับชิ้นงานในจังหวะเริ่มต้นของการออกแรงดึง อุปกรณ์ทั้งหมดเหล่านี้ช่วยทำให้เกิดแรงดึงทดสอบกระทำต่อชิ้นงานในทิศทางที่ตั้งฉากกับชั้นยึดติดมากที่สุด และช่วยลดโอกาสเกิดแรงบิดในขณะที่ทดสอบให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดการกระจายแรงเค้นที่สม่าเสมอในชั้นยึดติด อันจะส่งผลทำให้เกิดการแตกหักที่บริเวณรอยต่อยึดติดของชิ้นงาน

## อภิปรายผล

### วิเคราะห์ปัจจัยชนิดเรซินซีเมนต์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบว่าค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึง ณ เวลาเริ่มต้นหรือค่าพื้นฐาน (baseline) ของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง วีไลเอ็กยูร์ออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และบิสเซม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 1 และ 2

จากการศึกษาก่อนหน้าที่ทำการศึกษาริไลเอกซ์ยูนิเซม ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันกับริไลเอกซ์ยูริ้อย ที่แตกต่างกันเพียงลักษณะการผสมใช้งาน [24,25] พบว่ามีค่าร้อยละการบ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 41.1 ถึง 68.2 [28-30,54-56] ดังนั้นผลการทดสอบครั้งนี้ที่พบว่าริไลเอกซ์ยูริ้อยมีค่าร้อยละการบ่มตัวเท่ากับ  $50 \pm 1.90$  จึงสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์ การศึกษาครั้งนี้วัดค่าร้อยละการบ่มตัวได้เท่ากับ  $48.40 \pm 1.92$  และวัดค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมได้เท่ากับ  $41.67 \pm 2.63$  ซึ่งพบว่าสูงกว่าผลการศึกษาของ Moraes และคณะ [55] ที่วัดค่าร้อยละการบ่มตัวของแม็กซ์เซมอีไลท์ได้เท่ากับ  $34.3 \pm 5.4$  และบิสเซมมีค่าเท่ากับ  $39.3 \pm 8.6$  การศึกษาครั้งนี้วัดค่าร้อยละการบ่มตัวได้สูงกว่า ซึ่งอาจมาจากสาเหตุสองประการ คือ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้เทคนิคการตรวจวิเคราะห์แบบรังสีสองผ่าน ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งหมดของชั้นฟิล์มซีเมนต์ที่รังสีสองผ่าน ซึ่งบ่งบอกค่าการดูดกลืนรังสีได้นำเชื่อถือกว่าการใช้เทคนิครังสีสะท้อน ที่ได้รายละเอียดของเพียงพื้นผิวที่สัมผัสกับผลึกสารตัวกลาง ดังที่ใช้ในการศึกษาของ Moraes และคณะ [55] ซึ่งใช้เทคนิครังสีสะท้อนบนผลึกตัวกลางซิงค์ซีรีนาย (ATR, ZnSe crystal plate) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าร้อยละการบ่มตัวของงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า และเหตุผลอีกประการอาจเป็นผลมาจากวิธีทดสอบที่แตกต่างกัน โดยวิธีการของ Moraes และคณะ [55] ทดสอบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดแบบเรียลไทม์ (real-time) คือการวัดทันทีหลังจากที่ป้ายบนผลึกสารตัวกลางซิงค์ซีรีนายนะยังไม่วางแสง จากนั้นวัดทันทีหลังฉายแสง (1 นาทีหลังป้าย) และทุก ๆ 5 นาที จนครบ 30 นาที ค่าที่นำมาเทียบกับงานวิจัยนี้เป็นค่าของการวัดหลังฉายแสงทันที เพราะใกล้เคียงกับสภาพการทดลองมากที่สุด ซึ่งพบว่ามีความร้อยละการบ่มตัวต่ำกว่า การศึกษาครั้งนี้ อาจเป็นเพราะการทดลองครั้งนี้ มีการทิ้งช่วงเวลาหลังการป้ายบนเคปปีอาร์เซลด้านประมาณ 3 นาที ภายในตู้ล้างฟิล์ม เพื่อให้เกิดการบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีก่อนการฉายแสง และหลังจากฉายแสงเสร็จได้ทิ้งช่วงเวลาอีก 10 นาที เพื่อให้เกิดการบ่มตัวสมบูรณ์และใกล้เคียงกับในทางคลินิก ขั้นตอนเหล่านี้ อาจมีผลทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าร้อยละการบ่มตัวที่ได้จึงมีค่าสูงกว่างานวิจัยก่อนหน้า

ค่าการบ่มตัวที่สูงแสดงถึงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่มาก ซึ่งส่งผลในเชิงบวกต่อการเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดและค่าความแข็งผิว [5,7-8] จากการศึกษาในครั้งนี้พบเพียงแนวโน้มของค่ากำลังแรงยึดติดที่อาจมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละการบ่มตัว เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่น้อยเพียง 5 ตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม จึงไม่สามารถทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างสองตัวแปรนี้ได้ และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเพิ่มค่าร้อยละการบ่มตัวนั้นสามารถส่งผลเชิงลบต่อการเกิดความเค้นจากการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งอาจทำให้เกิดช่องว่างตามขอบวัสดุบูรณะ (gap formation) ตามมา [9-12] จึงเป็นสิ่งที่น่าคิดว่าค่าการบ่มตัวเท่าไรจึงเหมาะสม หรือมีวิธีใดในการป้องกันผลแง่ลบที่จะเกิดขึ้น จากการเพิ่มค่าการบ่มตัว

ส่วนการทดสอบค่ากำลังแรงยึดติดกับเนื้อฟัน ยังไม่พบรายงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับการทดสอบค่ากำลังแรงยึดติดของเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์ในลักษณะมินิแคมเบลล์ ด้วยขนาดพื้นที่ยึดติด 2x3 ตารางมิลลิเมตร จึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่าที่ได้กับงานวิจัยก่อนหน้า แต่ก็พบว่าค่ากำลังแรงยึดติดของรีไลเอกซ์ยูร์ออยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ซึ่งเท่ากับ  $12.03 \pm 2.23$  เมกะพาสคาล มีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาค ของรีไลเอกซ์ยูนิเซมในงานวิจัยก่อนหน้าที่มีค่าอยู่ในช่วง 11.4 ถึง 15.9 เมกะพาสคาล [5,32-33,35-36] แต่ต่ำกว่าผลการศึกษาของ Viotti และคณะ [35] ที่รีไลเอกซ์ยูร์ออยมีค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคเท่ากับ 15.3 เมกะพาสคาล [35] ส่วนผลการศึกษาในแม็กซ์เซมอีไลท์ งานวิจัยครั้งนี้วัดค่ากำลังแรงยึดติดได้ค่าเท่ากับ  $8.64 \pm 1.01$  เมกะพาสคาล ต่ำกว่าการศึกษาของ Viotti และคณะ [35] ที่มีค่า  $11.5 \pm 6.8$  เมกะพาสคาล ส่วนการทดสอบเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม การศึกษานี้วัดได้ค่าเท่ากับ  $9.12 \pm 1.32$  เมกะพาสคาล มีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Mazzitelli และคณะ [37] ที่วัดค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคได้เท่ากับ  $2.4 \pm 3.9$  เมกะพาสคาล แต่จากบทวิจารณ์ของ Scherrer และคณะ [41] ที่ได้รวบรวมข้อมูลผลงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบค่ากำลังแรงยึดติดกับเนื้อฟันของสารยึดติด 6 ชนิด (OptiBond FL Scotch Bond Multi-Purpose Plus Prime & Bond NT Single Bond Clearfil SE Bond และ Adper Prompt L Pop) กับวิธีทดสอบ 4 ชนิด (shear, microshear, tensile และ microtensile) จากวารสารจำนวนมากกว่า 6,000 ฉบับ ที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างปี ค.ศ. 1998 ถึง ค.ศ. 2009 พบว่าค่ากำลังแรงยึดติดมีค่าแตกต่างกันอย่างกระจัดกระจาย และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนภายในกลุ่มแตกต่างกันไปในแต่ละการทดลอง ทั้งนี้เกิดเนื่องมาจาก ความแตกต่างของรูปทรงของชิ้นทดสอบ (geometry) ขนาดของชิ้นทดสอบ ขนาดของพื้นที่ยึดติด วิธีการให้แรงทดสอบ (load application) อุปกรณ์จับยึด (gripping device) และสมบัติของวัสดุที่ยึด เป็นต้น [39,41] จึงเป็นสิ่งที่ยากในการที่จะเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดติดของสารชนิดเดียวกัน แม้จะทำโดยกระบวนการที่คล้ายกันแต่ต่างห้องปฏิบัติการ ค่าที่ได้ก็จะมีคลาดเคลื่อนแตกต่างกันออกไป

การศึกษานี้พบว่าเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าร้อยละการบ่มตัวแตกต่างกัน ซึ่งเคลียร์ฟิวเอสเอสเอสและรีไลเอกซ์ยูร์ออยมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ส่วนผลการวัดค่ากำลังแรงยึดติดกับเนื้อฟันพบว่าเคลียร์ฟิวเอสเอสเอสมีค่ากำลังแรงยึดติดสูงสุด รองมาคือรีไลเอกซ์ยูร์ออย ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์และบิสเซมมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งต่ำกว่าสองกลุ่มแรก แสดงให้เห็นว่าเคลียร์ฟิวเอสเอสเอสน่าจะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และการยึดติดกับผิวเนื้อฟันที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจมาจากเหตุผลที่เคลียร์ฟิวเอสเอสเอสมีเมทาคริลอิลวอกซีเดกซ์ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (MDP) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเอ็มดีพีจะมีโครงสร้างของหมู่พอลิเมอไรเซชันหมู่ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และหมู่คาร์บอนิลที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว [21] ดังนั้นเมื่อยึดเข้ากับผิวเนื้อฟันที่มีความชื้นจากท่อเนื้อฟัน จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการละลายตัวของหมู่ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเกิด



โปรตอนจำนวนสองประจุที่มีบทบาทในการละลายแร่ธาตุที่ผิวเนื้อฟัน (demineralization) และในขณะเดียวกันก็เกิดการแทรกซึม (infiltration) ของมอนอเมอร์ เพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมทำให้เกิดการยึดเกาะกับส่วนไฮดรอกซีอะพาไทต์ของเนื้อฟัน ซึ่งหลังเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเกลือของแคลเซียม ซึ่งบริษัทผู้ผลิตและรายงานวิจัยของ Yoshida และคณะ [22] พบว่ามอนอเมอร์เอ็มดีพีสามารถทำปฏิกิริยาเคมีด้วยพันธะไอออนิก (ionic bonds) ที่แข็งแรงกับแคลเซียมของเนื้อฟัน จึงเกิดเกลือของแคลเซียม (10-MDPCa) ที่มีอัตราการละลายตัวในน้ำต่ำเพียง  $6.79 \pm 0.43$  มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างจากเกลือที่เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดกรดโฟเมทาคริลอ็อกซีเอทิลไดเมทิลติก (4-METCa) และเกลือที่เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดฟีนิวพี (Phenyl-PCa) ซึ่งมีอัตราการละลายตัวในน้ำสูง เท่ากับ  $1.36 \pm 0.27$  และ  $1.91 \pm 0.14$  กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และด้วยการมีโครงสร้างของหมู่คาร์บอนิลที่ต่อเป็นสายยาว ทำให้มอนอเมอร์เอ็มดีพีมีความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) หรือไม่ชอบน้ำสูง จึงมีเสถียรภาพสูงต่อการสลายด้วยน้ำ (hydrolysis stability) ลักษณะของโครงสร้างเหล่านี้ อาจเป็นสิ่งที่ทำให้เคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงมีศักยภาพในการยึดติด และมีค่ากำลังแรงยึดดึงที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

จากงานวิจัยนี้พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์ออย มีค่ากำลังแรงยึดดึงกับเนื้อฟันสูงกว่ากลุ่มของแม็กซ์เซมอีไลท์และบิสเซมซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ในทางทฤษฎีเซลฟ์แอดฮีซีฟซีเมนต์มีปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการยึดติดแบบเดียวกัน แต่สิ่งที่ทำให้ผลของการยึดติดหรือค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีความต่างกัน ได้แก่ ชนิดของแอดฮีซีฟมอนอเมอร์ ปริมาณของวัสดุอุดแทรก และค่าความเป็นกรด - ต่างในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา (initial pH) ซึ่งมอนอเมอร์แต่ละชนิดจะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของฟันแตกต่างกันตามค่าความเป็นกรด - ต่างเริ่มต้น ที่เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุที่ผิวฟัน จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมของ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ของเนื้อฟันได้นำไปสู่การมีการยึดติดที่เพียงพอ รีไลเอกซ์ยูร์ออยมีเมทาคริลเลตฟอสเฟตเอสเทอร์เป็นส่วนประกอบ [18] และมีค่าความเป็นกรด - ต่าง เริ่มต้นประมาณ 2.8 [59] ส่วนแอดฮีซีฟเรซินมอนอเมอร์ของแม็กซ์เซมอีไลท์ คือ กลีเซอรอลฟอสเฟตไดเมทาคริเลต [18] และมีค่าความเป็นกรด - ต่าง เริ่มต้นประมาณ 2.0 [59] และ บิสเซมที่มีส่วนประกอบของบิสไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตฟอสเฟต [18] มีค่าความเป็นกรด - ต่างเริ่มต้น ประมาณ 3 ถึง 4 (อ้างอิงจากบริษัท Bisco) จึงเป็นไปได้ว่าการที่บิสเซมมีค่าความเป็น กรด - ต่าง เริ่มต้นที่สูงกว่ารีไลเอกซ์ยูร์ออย อาจส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพในการละลายแร่ธาตุที่ต่ำกว่า จึงมีผลทำให้เกิดการยึดติดกับเนื้อฟันที่ด้อยกว่ารีไลเอกซ์ยูร์ออยในการศึกษาครั้งนี้

มอนอเมอร์เมทาคริลเลตฟอสเฟตเอสเทอร์ในรีไลเอกซ์ยูร์ออย มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟอสเฟตและคาร์บอนพันธะคู่จำนวนมากต่อหนึ่งโมเลกุล หมู่ฟอสเฟตจะทำให้เกิดการ

ละลายตัวของแร่ธาตุ ไปพร้อมเกิดการแทรกซึมของน้ำขึ้น โดยในทันทีที่ผสมเรซินซีเมนต์เรซินหรือไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) หรือชอบน้ำสูง ทำให้มีความสามารถในการไหลแผ่ (wetting) บนผิวเนื้อฟันที่มีความชื้นสูง ส่งผลทำให้เกิดความแนบที่ดีกับผิวฟัน [18,60] ซึ่งจากการศึกษาของ Da Silva และคณะ [61] พบว่ารีไลเอกซ์ยูริออยเป็นซีเมนต์ที่ใช้ยึดเดือยฟันชนิดไฟเบอร์กับผิวรากฟันได้ดีกว่าแม็กซ์เซมอีไลท์ จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับการใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพอโตแคต 2002 (Auto CAD-2002) วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความต่อเนื่องของชั้นรอยต่อ (% interfacial continuity) พบว่ารีไลเอกซ์ยูริออยมีความต่อเนื่องสมบูรณ์ถึงประมาณ 80% (coronal = 84.1% Medium = 82.4% และ Apical = 77.3% thirds of root) ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์เกิดความต่อเนื่องของรอยต่อที่ต่ำเพียงประมาณ 47% (Cervical = 45.5% Medium = 48.5% Apical = 47.3% thirds of root) แสดงให้เห็นว่า รีไลเอกซ์ยูริออยมีประสิทธิภาพในการยึดเดือยฟันกับเนื้อรากฟันซึ่งมีความชื้นสูงได้ ยืนยันคุณสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิกในตอนเริ่มต้นหลังผสม ช่วยให้มีความสามารถในการไหลแผ่และเกิดความแนบกับผิวสัมผัสหรือเนื้อฟัน จึงอาจผลที่ทำให้รีไลเอกซ์ยูริออยมีค่ากำลังแรงยึดดึงสูงกว่าแม็กซ์เซมอีไลท์ในการศึกษาครั้งนี้

จากรายงานของ Saskalauskaite และคณะ [62] พบว่ารีไลเอกซ์ยูนิเซมมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH profile) ที่มีเอกลักษณ์ โดยพบว่าค่าความเป็นกรด - ด่างที่วัดทันทีภายหลังการผสมมีค่าประมาณ 2 จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่ภาวะความเป็นกลาง (neutrality) ภายใน 15 นาที ในกลุ่มที่ฉายแสงร่วมด้วย (dual-cure) และในกลุ่มที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีเพียงอย่างเดียว (auto-cured) จะเข้าสู่ภาวะความเป็นกลางภายใน 1 ชั่วโมง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Han และคณะ [59] ที่พบว่าหลังฉายแสง 20 วินาที รีไลเอกซ์ยูนิเซมมีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 5 จากนั้นที่ 90 วินาทีหลังการผสม ค่าจะลดต่ำลงเหลือ 2.8 และเข้าสู่ภาวะความเป็นกลางภายหลังการผสม 48 ชั่วโมง แตกต่างจากแม็กซ์เซมอีไลท์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างที่ประมาณ 2 ถึง 2.4 ซึ่งภายหลังการผสม 48 ชั่วโมง ก็ยังคงความเป็นกรด การเข้าสู่ความเป็นกลางอย่างรวดเร็วในขณะที่ซีเมนต์เกิดการบ่มตัวของรีไลเอกซ์ยูริออยเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยากรด - ด่าง (acid - base reaction) ระหว่างฟิวเลอร์ (acid - soluble glass filler) กับหมู่กรดฟอสฟอริกที่หลุดจากการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมของเนื้อฟัน และเหตุผลอีกประการคือการมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบ เมื่อแตกตัวจะให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับหมู่กรดฟอสฟอริกที่หลุดของมอนอเมอร์ เป็นเหตุผลที่ทำให้รีไลเอกซ์ยูริออยสามารถเข้าสู่ความเป็นกลางได้อย่างรวดเร็ว พร้อมกับเปลี่ยนสมบัติจากไฮโดรฟิลิกเป็นไฮโดรโฟบิก ซึ่งจะมีผลต่อการคงรูปร่าง (dimensional stability) แตกต่างจากผลิตภัณฑ์แม็กซ์เซมอีไลท์ที่ยังคงความเป็นกรดสูง (pH 2.4) ภายหลังการบ่มตัว จึงมีความเป็นไฮโดรฟิลิกอย่างต่อเนื่อง สามารถเกิดการดูด

น้ำ (water uptake) การขยายตัว (expansion) และการสลายตัว (degradation) ของพอลิเมอร์ เมทริกซ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดในระยะยาวตามมา [18,59]

### วิเคราะห์ปัจจัยของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์

จากผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ พบว่าเรซินซีเมนต์ทุกชนิดมีค่าร้อยละการบวมตัวระหว่างหลอดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 กับ 40 องศาเซลเซียส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทุกช่วงเวลา (1 3 และ 6 เดือน) และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ เวลาเริ่มต้น 1 3 และ 6 เดือน มีผลทำให้เรซินซีเมนต์ทุกชนิด ทั้งหลอดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการบวมตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 3 และ 5

ส่วนผลที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดติดกับเนื้อฟัน พบว่าเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดเกิดผลที่แตกต่างกัน โดยเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่ากำลังแรงยึดติด ตั้งแต่เริ่มเก็บได้เพียง 1 เดือน ส่วนรีไลเอกซ์ยูรียพบว่ามีผลเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน และหลอดที่เก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดติดแม้จะเก็บเป็นระยะเวลานาน 6 เดือนก็ตาม ส่วนแม็กซ์เซมอีไลท์ พบว่าเริ่มมีผลเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน และหลอดที่เก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดติดแม้จะเก็บเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน เช่นกัน ส่วนบิสเซมพบว่ามีผลต่อค่ากำลังแรงยึดติดเมื่อเก็บเป็นเวลา 1 เดือน ทั้งในหลอดที่เก็บไว้ที่ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 4 และ 6

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์ในสภาวะอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน มีผลทำให้เรซินซีเมนต์ทุกชนิดมีค่าร้อยละการบวมตัวและค่ากำลังแรงยึดติดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเสื่อมสลาย (degradation) ของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) หรือสารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitors) เนื่องจากเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ทั้งหมดเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบวมตัวด้วยปฏิกิริยาคู่ควบ (dual-cured) กลไกการก่อตัว (setting) ของเรซินซีเมนต์ขึ้นกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอาศัยสารอนุมูลอิสระเริ่มต้นปฏิกิริยา (radical polymerization reaction) โดยปฏิกิริยาการสร้างสารอนุมูลอิสระ (radicalization reaction) เกิดจากสารเริ่มต้นปฏิกิริยาสองตัวหลักคือ สารแคมโฟควิโนน (camphorquinone) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาการบวมตัวด้วยแสง (photo-initiator) และสารเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาการบวมตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical/redox initiator) [21] ของเรซินซีเมนต์ทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ และมีองค์ประกอบของสารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) คือ สารบิวทิล

ไฮดรอกซีโทลูอิน (butylhydroxy toluene) เป็นตัวควบคุมสมดุลของปริมาณสารอนุมูลอิสระที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ดังนั้นปริมาณของสารยับยั้งปฏิกิริยาจึงมีผลต่ออายุการเก็บ (shelf life) ของซีเมนต์ และมีผลต่ออัตราการเกิดการป่นตัว (curing rate) และระยะเวลาการทำงาน (working time) ของเรซินซีเมนต์ [18,21] โดยทั้งสารเบนโซอีลเพอร์ออกไซด์และสารบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอินต่างก็เป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) จึงไวต่อการเสื่อมสลายจากการเก็บรักษา ดังสภาวะทดลองของงานวิจัยนี้ การเก็บซีเมนต์ไว้ในอุณหภูมิสูง 40 องศาเซลเซียส อาจมีผลทำให้โมเลกุลของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาเบนโซอีลเพอร์ออกไซด์เกิดการเสื่อมสลาย (degradation) หรือในทางกลับกันอาจทำให้เกิดการแตกตัวด้วยตัวเองเป็นสารอนุมูลอิสระ อีกทั้งความร้อนยังสามารถทำให้เกิดการเสื่อมสลายของบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน ที่เป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาได้ด้วยเช่นกัน จึงรบกวนสมดุลของการควบคุมอัตราการเกิดพอลิเมอไรเซชัน มีผลทำให้เกิดความผันแปร (fluctuate) ของการป่นตัวของเรซินซีเมนต์ อันเนื่องมาจากความไม่เสถียรขององค์ประกอบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงานและการก่อตัว (setting) ของซีเมนต์ [21,63]

การศึกษานี้พบสิ่งที่น่าสนใจที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา มีผลทำให้ความหนืดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์ออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และบิสเซม หลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 เดือน และ 6 เดือน มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น และแตกต่างกันชัดเจนเมื่อเทียบกับหลอดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน เรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์ออย ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบภายในหลอดอาจเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันไปแล้วบางส่วน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความร้อนที่ทำให้สารเบนโซอีลเพอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาสามารถเกิดการแตกตัวด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยการทำปฏิกิริยากับสารเทอร์เทียรีเอมีน (tertiary amine) และความร้อนยังอาจทำให้สารบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอินที่เป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาสามารถเกิดการเสื่อมสลาย [21,63] อาจมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารอนุมูลอิสระที่ได้จากการแตกตัวของเบนโซอีลเพอร์ออกไซด์มีปริมาณมากกว่าสารยับยั้งปฏิกิริยา มีผลทำให้เกิดการเริ่มต้นปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันโดยสารอนุมูลอิสระของเมทาคริลเลตมอนอเมอร์ ซึ่งเมื่อเกิดการป่นตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีไปแล้วบางส่วน มีผลทำให้ความหนืดของเรซินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น และทำให้ปริมาณสารอนุมูลอิสระที่ใช้เริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และสารเมทาคริลเลตที่ใช้ทำปฏิกิริยามีปริมาณลดลง ดังนั้นจึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลดลง ส่งผลทำให้มีค่าร้อยละการป่นตัวลดลง และต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหลอดที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ และจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าการป่นตัวมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงกลของเรซินคอมพอสิตและเรซินซีเมนต์ [2-4,47] สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์มีค่าลดลงในกลุ่มที่มีค่าร้อยละการป่นตัวที่ลดลง ซึ่งทั้งนี้อาจมาจากอีกสาเหตุหนึ่ง

คือ การที่ความหนืดของเรซินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลต่อการการยึดขึ้นคอมพอสิตออนเลย์ให้เข้าที่ในขณะที่ติดทำได้ยากมากขึ้น ทำให้ซีเมนต์มีความหนาไม่สม่ำเสมอและมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Choi และคณะ [64] ได้พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดวาริโอริงทุมี่ค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความหนาของชั้นซีเมนต์ และความหนืดที่สูงยังมีผลทำให้ความสามารถในการแทรกซึมของสารเรซินมอนอเมอร์เข้าสู่เนื้อฟันเกิดได้ลดลง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทั้งหมด จึงอาจส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับหลอดที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในการศึกษาครั้งนี้

จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าร้อยละการบ่มตัว และค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ทั้งสี่ชนิดแตกต่างกัน และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาานจะมีค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงลดลง ซึ่งแต่ละชนิดเรซินซีเมนต์ให้ผลที่แตกต่างกัน อาจเกิดเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยา สารยับยั้งปฏิกิริยา และสารเทอร์ปีรีเอมีน ของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงที่มีต่อค่าร้อยละการบ่มตัวหรือค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกัน หรือเกิดจากการเสื่อมสลายขององค์ประกอบอื่นในเรซินซีเมนต์ร่วมด้วย นอกจากสารเริ่มต้นและสารยับยั้งปฏิกิริยา

จากผลการทดลองพบว่าเรซินซีเมนต์ทุกชนิดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการบ่มตัวลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากข้อกำหนดในการใช้งานที่เมื่อนำเรซินซีเมนต์ออกมาจากตู้เย็นทุกครั้งจะต้องมีการวางทิ้งที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีเพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง ( $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส) ก่อนการผสมใช้งาน ดังนั้นการปรับอุณหภูมิของเรซินซีเมนต์ขึ้น ๆ ลง ๆ หลายครั้ง อาจส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาหรือสารยับยั้งปฏิกิริยาภายในหลอดบางส่วน มีผลทำให้ค่าร้อยละการบ่มตัวลดลง แต่ด้วยอัตราที่ช้ากว่าหลอดที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการบ่มตัวที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงลดลงเพียงเล็กน้อย การทดสอบทางสถิติจึงพบว่าแตกต่างเพียงกลุ่มของเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงและบิสเซม จึงมีความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์ทั้งสองนี้อาจมีความไวต่อการเสื่อมสลายมากกว่าวีโลเอกซ์ยูร์ออยและแม็กซ์เซมอีไลท์

คำแนะนำวิธีการเก็บรักษาของแต่ละบริษัทผู้ผลิตเรซินซีเมนต์ ดังตาราง ที่ 10 ในส่วนของภาคผนวก ก. มีความสอดคล้องกัน คือ แนะนำให้เก็บเรซินซีเมนต์ไว้ในที่แห้งและเย็น ทุกครั้งที่ไม่ใช้งาน โดยบริษัทผู้ผลิตเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซมและเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงได้แนะนำให้มีการเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดและอยู่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 2-8 องศาเซลเซียส ส่วนบริษัทผู้ผลิตวีโลเอกซ์ยูร์ออยแนะนำให้เก็บในกล่องบรรจุที่อุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส ส่วนบริษัทผู้ผลิตแม็กซ์เซมอีไลท์แนะนำให้เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งถ้าต้องการให้ซีเมนต์มียังคงความ

ใหม่ควรเก็บไว้ในตู้เย็น และควรหลีกเลี่ยงความร้อนจากแสงอาทิตย์และแหล่งต่าง ๆ ซึ่งวิธีการเก็บรักษาที่มีความสำคัญ โดยสามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการทำงานและระยะเวลาการก่อดตัวของเรซินซีเมนต์ ซึ่งจากผลงานวิจัยนี้ได้พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง 40 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์เหล่านี้ จึงเป็นข้อมูลสนับสนุนให้ตระหนักถึงความสำคัญของการปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต และจากการศึกษาของ Pegoraro และคณะ [63] สนับสนุนคำแนะนำดังกล่าวโดยให้เหตุผลว่า จากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้พบว่า เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาควบอาจมีระยะเวลาการทำงานและระยะเวลาการก่อดตัวที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษา ที่หากอุณหภูมิในการเก็บรักษาเกินกว่าคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต อาจส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีระยะเวลาการทำงานหรือระยะเวลาการก่อดตัวสั้นขึ้น ขณะที่บางงานวิจัยก็พบว่า มีระยะเวลาการทำงานหรือระยะเวลาการก่อดตัวยาวนานขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความไม่เสถียร (instability) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเรซินซีเมนต์จากการเก็บรักษา ซึ่งถ้าหากมีการเสื่อมสลายของสารเบนโซอีวเพอร์ออกไซด์ที่เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา จะทำให้ระยะเวลาการทำงานหรือระยะเวลาการก่อดตัวเกิดได้นานมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันถ้าหากเกิดการเสื่อมสลายของสารยับยั้งปฏิกิริยาก็จะทำให้มีระยะเวลาการทำงานหรือระยะเวลาการก่อดตัวที่สั้นลง

ดังนั้นเมื่อรับเรซินซีเมนต์จากบริษัทผู้ผลิต จึงควรต้องมีการตรวจสอบวันหมดอายุ และปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้งานและการเก็บรักษา เพื่อยืดอายุในการใช้งานของเรซินซีเมนต์ และทำให้เกิดประสิทธิภาพเพียงพอในการยึดชิ้นงานบูรณะ อันจะส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษาทางคลินิกในระยะยาว

## สรุปผลการวิจัย

### ปัจจัยเรื่องชนิดเรซินซีเมนต์

1. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร์ออย และ บิสเซม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
3. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง และ รีไลเอกซ์ยูร์ออย มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดวีไลเอกซ์ยูร์ออย และ แม็กซ์เซมอีไลท์ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
5. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง วีไลเอกซ์ยูร์ออย และ แม็กซ์เซมอีไลท์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
6. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง วีไลเอกซ์ยูร์ออย และ บิสเซม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
7. ค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### ปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์

1. เรซินซีเมนต์ทุกชนิด เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 1 3 และ 6 เดือน พบว่ามีค่าร้อยละการบ่มตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
2. เรซินซีเมนต์ทุกชนิด เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 1 3 และ 6 เดือน พบว่ามีค่าร้อยละการบ่มตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
3. เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง และ บิสเซม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 1 3 และ 6 เดือน พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
4. เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง วีไลเอกซ์ยูร์ออย แม็กซ์เซมอีไลท์ และ บิสเซม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 1 3 และ 6 เดือน พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
5. เรซินซีเมนต์ชนิดวีไลเอกซ์ยูร์ออย และ แม็กซ์เซมอีไลท์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 1 3 และ 6 เดือน พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

## ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิในการเก็บรักษาเรซินซีเมนต์

1. เรซินซีเมนต์ทุกชนิดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้มีค่าร้อยละการบ่มตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
2. เรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้มีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา
3. เรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยูร้อย เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน มีผลทำให้มีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
4. เรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 3 และ 6 เดือน มีผลทำให้มีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
5. เรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้มีค่ากำลังแรงยึดดึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทุกช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

## ข้อเสนอแนะ

ภายใต้บริบทของงานวิจัยครั้งนี้จึงยังมีข้อจำกัดของการใช้กลุ่ปกรณพิเศษต่าง ๆ ในการสร้างชิ้นงานทดสอบ และการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการสร้างกลุ่ปกรณ ดังนั้นหากมีประมวลรวมองค์ความรู้จากหลายสาขาวิชา เพื่อคิดค้นและสร้างอุปกรณ์เหล่านี้ จะทำให้การทดสอบค่ากำลังแรงยึดของวัสดุในอนาคตมีความน่าเชื่อถือและเป็นสากลมากยิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- [1] Anusavice KJ. Phillips's science of dental materials. 11<sup>th</sup> ed. St.Louis : Saunders, 2003.
- [2] Ruyter IE, Svendsen SA. Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. Acta Odontol Scand. 36 (1978) : 75-82.
- [3] Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. J Bio Mater Res. 20 (1986) : 121-31.
- [4] Mendes LC, Matos IC, Miranda MS, Benzi MR. Dual-curing, self-adhesive resin cement: Influence of the polymerization modes on the degree of conversion and microhardness. Mater Res. 13 (2010) : 171-6.
- [5] Cantoro A, Goracci C, Papacchini F, Mazzitelli C, Fadda GM, Ferrari M. Effect of pre-cure temperature on the bonding potential of self-etch and self-adhesive resin cements. Dent Mater. 24 (2008) : 577-83.
- [6] Schneider LFJ, Pfeifer CSC, Consani S, Prahl SA, Ferracane JL. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. Dent Mater. 24 (2008) : 1169-77.
- [7] Daronch M, Rueggeberg FA, De Goes MF. Monomer conversion of pre-heated composite. J Dent Res. 84 (2005) : 663-7.
- [8] Prasanna N, Pallavi RY, Kavitha S, Lakshmi NL. Degree of conversion and residual stress of preheated and room-temperature composites. Indian J Dent Res. 18 (2007) : 173-6.
- [9] Watt DC. Reaction kinetics and mechanics in photo-polymerised networks. Dent Mater. 21(2005) : 27-35.
- [10] Stavridakis MM, Kakaboura AI, Krejci I. Degree of remaining C=C bonds, polymerization shrinkage and stresses of dual-cured core build-up resin composites. Oper Dent. 30 (2005) : 443-52.
- [11] Stansbury JW, Trujillo-Lemon M, Lu H, Ding X, Lin Y, Ge J. Conversion dependent shrinkage stress and strain in dental resins and composites. Dent Mater. 21 (2005) : 56-67.

- [12] Elsayad I. Cuspal movement and gap formation in premolars restored with preheated resin composite. Oper Dent. 34 (2009) : 725-31.
- [13] Van Landuyt KL, De Munck J, Snauwaert J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, Inoue S, Peumans M, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. J Dent Res. 84 (2005) : 183-8.
- [14] ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรม. รายงานสภาวะอากาศประเทศไทย เดือน เมษายน พ.ศ. 2553. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรม : กรมอุตสาหกรรม, 2553.
- [15] Nakabayashi N, Pashley DH. Hybridization of dental hard tissues. 1<sup>st</sup>ed. Tokyo : Quintessence Publishing, 1998.
- [16] Smith DC. Dental cements. Adv Dent Res. 2 (1988) : 134-41.
- [17] Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. J Adhes Dent. 10 (2008) : 251-58.
- [18] Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJT. Self-adhesive resin cements – chemistry, properties and clinical considerations. J Oral Rehabil. 38 (2011) : 295-314.
- [19] Meerbeek BV, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin – dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive. J Dent Res. 71 (1992) : 1530-40.
- [20] Moszner N, Salz U, Zimmermann J. Chemical aspects of self – etching enamel – dentin adhesive : A systemic review. Dent Mater. 21 (2005) : 895-910.
- [21] Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, Coutinho E, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Systemic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials. 28 (2007) : 3757-85.
- [22] Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, Inoue S, Tagawa Y, Suzuki K, De Munck J, Van Meerbeek B. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. J Dent Res. 83 (2004) : 54-8.
- [23] Material Safety Data Sheet (MSDS). Clearfil SA cement : paste A & B. Kuraray Medical Inc. Okayama, 2008.
- [24] Material Safety Data Sheet (MSDS). 3M(TM) ESPE(TM) RelyX(TM) U100 base. 3M company. St. Paul, 2006.

- [25] Material Safety Data Sheet (MSDS). 3M(TM) ESPE(TM) RelyX(TM) U100 catalyst. 3M company. St. Paul, 2006.
- [26] International Organization for Standardization (ISO). ISO 4049. Dentistry-polymer-based restorative materials, 2009.
- [27] Mccomb D. Adhesive luting cements-classes, criteria and usage. Compendium. 17 (1996) : 759-73.
- [28] Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical of four resin composite luting cements. Int J Prosthodont. 17 (2004) : 357-63.
- [29] Arrais CAG, Rueggeberg FA, Waller JL, De Goes M, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. J Dent. 36 (2008) : 418-26.
- [30] Tezvergil-Mutluay A, Lassila LVJ, Vallittu Lassila & Pekka K. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polimerized through various materials. Acta Odontol Scand. 65 (2007) : 201-5.
- [31] Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. Clin Oral Investig. 9 (2005) : 161-7.
- [32] Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, Lambrechts P, Peumans M. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater. 23 (2007) : 71-80.
- [33] De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater. 20 (2004) : 963-71.
- [34] Al-Assaf K, Chakmakchi M, Palaghias G, Karanika-Kouma A, Eliades G. Interfacial characteristics of adhesive luting resins and composites with dentine. Dent Mater. 23 (2007) : 829-39.
- [35] Viotti RG, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. J Prosthet Dent. 12 (2009) : 306-12.

- [36] Cantoro A, Goracci C, Carvalho CA, Coniglio I, Ferrari M. Bonding potential of self-adhesive luting agents used at different temperatures to lute composite onlays. J Dent. 37 (2009) : 454-61.
- [37] Mazzitelli C, Monticelli F, Osorio R, Casucci A, Toledano M, Ferrari M. Effect of simulated pulpal pressure on self – adhesive cements bonding to dentin. Dent Mater. 24 (2008) : 1156-63.
- [38] International Organization for Standardization (ISO), Technical Specification, 2<sup>nd</sup>ed. ISO/TS 11405. Dental materials-testing of adhesion to tooth structure; 2003.
- [39] Armstrong S, Geraldeli S, Maia R, Raposa LHA, Soares CJ, Yamagawa J. Adhesion to tooth structure : A critical review of “micro” bond strength test methods. Dent Mater. 26 (2010) : e50-62.
- [40] Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin, Mine A, Ende AV, Neves A, De Munck J. Relationship between bond – strength tests and clinical outcomes. Dent Mater. 26 (2010) : e100-21.
- [41] Scherrer S, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods : A critical literature review. Dent Mater. 26 (2010) : e78-93.
- [42] Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. Oper Dent. 19 (1994) : 59-64.
- [43] Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. Dent Mater. 11 (1995) :117-25.
- [44] Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu Y, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile strength-evaluation of a micro-tensile test. Dent Mater. 10 (1994) : 236-40.
- [45] Nakabayashi N, Watanabe A, Arao T. A tensile test to facilitate identification of defects in resin-bonded dentin specimens. J Dent. 26 (1998) : 379-85.
- [46] Nakabayashi N. Importance of mini – dumbbell specimen to access tensile strength of restored dentine : historical background and the future perspective in dentistry. J Dent. 32 (2004) : 431-42.
- [47] Lovell LG, Elliott JE, Lu H, Stansbury JW, Bowman CN. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental resins. Dent Mater. 17 (2001) : 504-11.

- [48] Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. Dent Mater. 1 (1985) : 11-4.
- [49] Lucey S, Lynch CD, Ray NJ, Burke FM, Hannigan A. Effect of pre-heating on the viscosity and microhardness of a resin composite. J Oral Rehabil. 37 (2010) : 278-82.
- [50] Stansbury JW, Trujillo-Lemon M, Lu H, Ding X, Lin Y, Ge J. Conversion dependent shrinkage stress and strain in dental resins and composites. Dent Mater. 21 (2005) : 56-67.
- [51] Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. Dent Mater. 17 (2001) : 178-83.
- [52] Arrais CAG, Rueggeberg FA, Waller JL, De Goes M, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. J Dent. 36 (2008) : 418-26.
- [53] Smith BC. Fundamental of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Florida : CRC Press Inc, 1996.
- [54] Bandeca MC, El-Mowafy O, Saade EG, Rastelli NS, Bagnato VS, Porto-Neto ST. Change on degree of conversion of dual-cure luting light-cured with blue LED. Laser Physics. 19 (2009) : 1050-55.
- [55] Moraes RR, Boscato N, Jardim PS, Schneider LFJ. Dual and self-curing potential of self-adhesive resin cements as thin films. Oper Dent. 36 (2011) : 635-642.
- [56] França FA, De Oliveira M, Rodrigues JA, Arrais CAG. Pre-heated dual-cured resin cements : analysis of the degree of conversion and ultimate tensile strength. Braz Oral Res. 25 (2011) : 174-9.
- [57] Soares CJ, Soares PV, Santos-Filho PC, Armstrong SR. Microtensile specimen attachment and shape-finite element analysis. J Dent Res. 87 (2008) :89-93.
- [58] Ghassemieh E. Evaluation of sources of uncertainties in microtensile bond strength of dental adhesive system for different specimen geometries. Dent Mater. 24 (2008) : 536-47.
- [59] Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. Dent Mater. 26 (2007) : 906-14.

- [60] 3M ESPE. Technical Data Sheet : RelyX Unicem – self – adhesive universal resin cement in the clicker dispenser. Seefeld : 3M ESPE, 2007.
- [61] Da Silva RAT, Coutinho M, Cardozo PI, Da Silva LA, Zorzatto JR. Conventional dual-cure versus self-adhesive resin cements in dentin bond integrity. J Appl Oral Sci. 26 (2010) : 355-62.
- [62] Saskalauskaite E, Tam LE, McComb D. Flexural strength, elastic modulus, and pH profile of self – etch resin luting cements. J Prosthodont. 17 (2008) : 262-8.
- [63] Pegoraro TA, Da Silva Nelson RFA, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. Dent Clin N Am. 51 (2007) : 453-71.
- [64] Choi KK, Lee SH. Effect of film thickness of resin cement on indirect restoration. Dent Mater. 26 (2010) : e125-157.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



ตารางที่ 10 ชื่อการค้า ส่วนประกอบ เลขที่สินค้า และคำแนะนำการใช้เรซินซีเมนต์จากบริษัทผู้ผลิต

| Product name<br>(code)<br>(Manufacturer)<br>(Batch, color)<br>(Exp.date) | Composition manufacturer<br>supplied   | Type of system<br>Mode of polymerization<br>Application technique  | Storage<br>and<br>Precaution   |
|--|--|--|--|
| RelyX™ U100<br>(Re)<br>(3M ESPE)<br>(397407, A2)<br>(2011-10)            | <p><u>Base</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- glass powder 55-65 wt%</li> <li>- methacrylated phosphoric acid esters 15-25 wt%</li> <li>- dimethacrylate (bis-GMA / TEGDMA) 10-20 wt%</li> <li>- silane treated silica 1-5 wt%</li> <li>- sodium persulfate 1-5 wt%</li> </ul> <p><u>Catalyst</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- glass powder 55-65 wt%</li> <li>- substituted dimethacrylate 20-30 wt%</li> <li>- silane treated silica 1-5 wt%</li> <li>- sodium p- toluenesulfonate &lt;2 wt%</li> <li>- calcium hydroxide &lt;2 wt%</li> </ul> | <p>Self adhesive</p> <p>Dual cured</p> <p>Clicker™ dispenser</p> <p>2 pasted, hand mixed</p> <p><u>Mixing time:</u> 20 s.</p> <p><u>Working time:</u> 2 m.</p> <p><u>Setting time:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Light curing: 20 s.</li> <li>- Self curing: 5 m.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- เก็บในกล่องบรรจุที่ 15-25°C</li> <li>- หากเปิดผนึกแล้วสามารถใช้ได้ไม่เกิน 6 เดือน และใช้ก่อนวันหมดอายุ</li> <li>- ระวังไม่ให้ความชื้นในอากาศ ของที่เก็บสูงเกิน</li> <li>- ควรใช้สารทันที่ที่บีบออก เพราะหากถูกแสงแดดหรือแสงสว่างอย่างอื่นอาจแข็งตัวก่อนเวลา</li> <li>- ห้ามถูกความร้อน</li> <li>- ควรเก็บที่ไกลจากความร้อน และแสงอาทิตย์โดยตรง</li> </ul> |
| Maxcem Elite™<br>(Max)<br>(Kerr Corp.)<br>(33873, white)<br>(2011-05)    | <p><u>Resin</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mono-, di- and multi-methacrylate, GPDM</li> <li>- proprietary redox initiators, photoinitiators</li> </ul> <p><u>Filler</u> (66 wt%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- barium, fluoroaluminosilicate, fumed silica</li> </ul>   | <p>Self adhesive</p> <p>Dual cured</p> <p>Paste/paste formulation</p> <p>2-paste, mixing tip</p> <p><u>Working time:</u> 2 m. at room temp.</p> <p><u>Setting time:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Light-curing: 20 sec.</li> <li>- Self-curing: 3 m. at Intra-oral</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- working time และ setting time อาจแตกต่างกันไปจากที่กำหนด ขึ้นอยู่กับสภาพการเก็บรักษา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอายุของวัสดุ</li> <li>- เก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง หลีกเลี่ยงความร้อนเกิน เพื่อความใหม่สดอาจเลือกเก็บในตู้เย็นได้</li> </ul>  |

| Product name<br>(code)<br>(Manufacturer)<br>(Batch, color)<br>(Exp.date)             | Composition manufacturer<br>supplied  | Type of system<br>Mode of polymerization<br>Application technique  | Storage<br>and<br>Precaution  |
|--|---|--|---|
| <b>Biscem</b><br>(Bis)<br>(BISCO, Inc.)<br>(1000004220,<br>translucent)<br>(2011-09) | <u>Base</u><br>- Bis-GMA (>10 wt%)<br>uncured dimethacrylate<br>monomer (>20wt%)<br>- Glass filler (>50 wt%)<br><u>Catalyst</u><br>- phosphate acidic<br>monomer (>10 wt%)<br>- glass filler (>50 wt%)  | Self adhesive<br>Dual cured<br>Paste/paste formulation<br>2-paste, mixing tip<br><u>Working time:</u><br>- 1 min 15 s. (23 <sup>0</sup> C,<br>including mixing)<br>Self curing:<br>- 8 min (max)<br>Ligth curing: 20-30 s.   | - เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (2-8 <sup>0</sup> C) และควรเก็บทุกครั้งที่<br>ไม่ใช้งาน<br>- นำซีเมนต์ออกมาวางทิ้งที่<br>อุณหภูมิห้องก่อนใช้งาน  |
| <b>Clearfil SA luting<br/>(CF)</b><br>(Kuraray Co.)<br>(110800, A4)<br>(2011-08)     | <u>Paste A:</u><br>- Bis-GMA, TEGDMA, MDP<br>hydrophobic aromatic<br>dimethacrylate<br>- Silanated barium glass<br>filler, silanated colloidal<br>silica<br>- dl-Camphorquinone<br>- benzoyl peroxide<br>- initiators<br><u>Paste B:</u><br>- Bis-GMA. Hydrophobic<br>aromatic dimethacrylate,<br>Hydrophobic aliphatic<br>dimethacrylate<br>- Silanated barium glass<br>- Silanated colloidal silica<br>- Surface treated sodium<br>fluoride<br>- Accelerators, pigments | Self adhesive<br>Dual cured<br>Paste/paste formulation<br>2-paste, hand mixed<br><u>Mixing time:</u> 10 s.<br>(23 <sup>0</sup> C)<br><u>Working time:</u> 2 m.<br><u>Setting time:</u><br>Self curing: 5 m.<br>(without working time)<br>Ligth curing:<br>- 20 s : Conventional<br>halogen, LED<br>- 5 s : Fast halogen,<br>Plasma arc | - เก็บในที่แห้งและเย็นที่<br>อุณหภูมิ 2-8 <sup>0</sup> C และ<br>ป้องกันการปนเปื้อนจาก<br>ฝุ่น<br>- ป้องกันการถูกความร้อน<br>และแสงอาทิตย์โดยตรง<br>- ควรวางทิ้งไว้ 15 นาที หรือ<br>มากกว่าหลังจากนำ<br>ซีเมนต์ออกจากตู้เย็น เพื่อ<br>แน่ใจว่าซีเมนต์อยู่ที่<br>อุณหภูมิห้อง เพื่อมีความ<br>หนืดปกติ และช่วยป้องกัน<br>การปนเปื้อนจากน้ำขณะ<br>ผสม<br>- ห้ามไม่ให้มีน้ำปนเปื้อนบน<br>กระดาษและพายผสม<br>ซีเมนต์เพราะสามารถมีผล<br>ทำให้ระยะเวลาทำงานสั้น<br>ลง |

ภาคผนวก ข

### ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

รายงานผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส และประเภทของความล้มเหลวของการแตกหักของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น แสดงดังตารางที่ 11-14

ตารางที่ 11 ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดดึงของเคลียร์ฟิวเอส เอลูติง

| storage duration | Storage temp. | specimens no. | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|
| Baseline         |               | 1             | 51.34                    | 163          | 35.80152629         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2             | 55.33                    | 158.8        | 32.7118487          | coh-cement                     |
|                  |               | 3             | 49.78                    | 154.2        | 32.68874194         | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 54.41                    | 174          | 35.06082957         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 5             | 52.14                    | 162.7        | 34.36746964         | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 52.6                     |              | 34.12608323         |                                |
| 1 month          | 4 degree      | 1             | 43.35                    | 102.7        | 21.59482189         | coh-cement                     |
|                  |               | 2             | 45.87                    | 129.7        | 25.96853927         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 3             | 46.71                    | 103.9        | 20.86077            | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 41.2                     | 105          | 22.0447446          | coh-cement                     |
|                  |               | 5             | 46.54                    | 96.7         | 22.48957            | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 44.734                   |              | 22.59168915         |                                |
|                  | 40 degree     | 1             | 31.68                    | 66.76        | 15.72082177         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2             | 35.31                    | 118.4        | 20.841571           | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3             | 32.77                    | 70.66        | 13.262204           | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 30.49                    | 58.05        | 12.12176            | coh-cement                     |
|                  |               | 5             | 34.73                    | 54.13        | 13.34299762         | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 32.996                   |              | 15.05787088         |                                |

ตารางที่ 11 (ต่อ) ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของเคลือบวีพีวี เอสเอสทูตึง

| storage duration | Storage temp. | specimens no. | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|
| 3 months         | 4 degree      | 1             | 42.31                    | 103.2        | 21.773496           | coh-cement                     |
|                  |               | 2             | 40.26                    | 133.8        | 25.354354           | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3             | 41.7                     | 94.67        | 21.795898           | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 40.19                    | 100.6        | 22.721148           | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 5             | 39.44                    | 108.8        | 21.754483           | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 40.78                    |              | 22.6798758          |                                |
|                  | 40 degree     | 1             | 29.57                    | 60.19        | 13.13605856         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 2             | 27.17                    | 82.85        | 17.59736856         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3             | 25.28                    | 67.84        | 13.87052735         | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 29.03                    | 70.54        | 14.641475           | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 5             | 30.68                    | 65.53        | 13.02036433         | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 28.346                   |              | 14.45315876         |                                |
| 6 months         | 4 degree      | 1             | 36.5                     | 52.88        | 11.25355354         | coh-cement                     |
|                  |               | 2             | 31.84                    | 79.09        | 16.97214611         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3             | 32.07                    | 71.41        | 14.84184717         | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 36.19                    | 58.6         | 12.51226354         | coh-cement                     |
|                  |               | 5             | 35.21                    | 74.08        | 16.21142413         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | average       | 34.362                   |              | 14.3582469          |                                |
|                  | 40 degree     | 1             | 20.06                    | 34.36        | 7.416869343         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 2             | 17.85                    | 54.08        | 12.01473067         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3             | 13.49                    | 42.71        | 8.395091226         | coh-cement                     |
|                  |               | 4             | 20.91                    | 30.25        | 6.409688138         | coh-cement                     |
|                  |               | 5             | 19.76                    | 34.25        | 7.154468637         | coh-cement                     |
|                  |               | average       | 18.414                   |              | 8.278169603         |                                |

ตารางที่ 12 ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของวัสดุเชิงยึดร้อยละ

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|
| Baseline         |               | 1            | 50.32                    | 57.43        | 13.28313689         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 2            | 47.34                    | 68.01        | 12.55544737         | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 51.24                    | 79.27        | 14.64355            | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 4            | 48.95                    | 48.71        | 10.75384            | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 52.17                    | 44.12        | 8.920375346         | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 50.004                   |              | 12.03126992         |                                |
| 1 month          | 4 degree      | 1            | 49.34                    | 52.85        | 13.13366912         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2            | 52.26                    | 47.38        | 10.00817893         | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 45.67                    | 43.75        | 9.295019            | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 46.3                     | 59.15        | 13.9674482          | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 5            | 48.01                    | 42.06        | 10.17314317         | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 48.316                   |              | 11.31549168         |                                |
|                  | 40 degree     | 1            | 38.81                    | 46.42        | 9.595998            | coh-cement                     |
|                  |               | 2            | 36.1                     | 72.34        | 14.44968            | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 40.96                    | 27.3         | 5.510028            | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 34.49                    | 66.93        | 13.78622            | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 5            | 37.95                    | 59.73        | 12.10295            | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 37.662                   |              | 11.0889752          |                                |

ตารางที่ 12 (ต่อ) ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของวีเลอเก็ทซี่ยู  
ร้อยละ

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|
| 3 months         | 4 degree      | 1            | 48.78                    | 70.04        | 13.80977            | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2            | 44.94                    | 64.55        | 13.14469            | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 3            | 49.28                    | 48.88        | 9.310814            | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 43.75                    | 41.64        | 8.637759            | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 47.91                    | 66.04        | 13.16726            | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 46.932                   |              | 11.6140586          |                                |
|                  | 40 degree     | 1            | 35.21                    | 48.8         | 9.716629            | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2            | 30.43                    | 52.38        | 10.24238801         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3            | 36.53                    | 44.4         | 9.851583133         | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 32.02                    | 43.02        | 9.462144252         | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 35.87                    | 46.56        | 9.561775            | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 34.012                   |              | 9.766903879         |                                |
| 6 months         | 4 degree      | 1            | 40.36                    | 46.98        | 9.5465955           | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2            | 38.16                    | 38.63        | 7.812386            | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 42.56                    | 39.4         | 8.1886043           | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 41.27                    | 31.26        | 6.4549976           | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 37.4                     | 35.86        | 7.0120663           | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 39.95                    |              | 7.80292994          |                                |
|                  | 40 degree     | 1            | 11.26                    | 16.6         | 3.3966684           | coh-cement                     |
|                  |               | 2            | 16.72                    | 27.63        | 6.5183237           | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3            | 14.77                    | 25.52        | 4.9716087           | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 4            | 10.96                    | 16.99        | 3.828819            | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 15.95                    | 14.22        | 2.9647557           | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 13.932                   |              | 4.3360351           |                                |

ตารางที่ 13 ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของเม็ทซ์เซมอีไลท์

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|
| Baseline         |               | 1            | 47.11                    | 42.82        | 8.512760794         | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 2            | 49.82                    | 50.88        | 10.39696517         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3            | 50.38                    | 42.13        | 8.35943             | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 45.76                    | 40.75        | 7.824175            | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 48.94                    | 38.99        | 8.119942            | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 48.402                   |              | 8.642654593         |                                |
| 1 month          | 4 degree      | 1            | 46.3                     | 47.87        | 9.5328995           | coh-cement                     |
|                  |               | 2            | 47.63                    | 51.74        | 11.4698737          | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 3            | 45.32                    | 33.53        | 7.29025586          | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 48.46                    | 27.29        | 6.24252417          | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 43.97                    | 29.97        | 6.62273734          | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 46.336                   |              | 8.231658114         |                                |
|                  | 40 degree     | 1            | 32.87                    | 40.45        | 8.78902022          | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 2            | 36.6                     | 31.15        | 6.32985209          | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 34.79                    | 39.78        | 8.05749349          | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 4            | 33.73                    | 28.65        | 6.17913522          | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 33.64                    | 37.53        | 6.95224208          | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 34.326                   |              | 7.26154862          |                                |



ตารางที่ 13 (ต่อ) ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของเม็กซ์เซมอีไลท์

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | max load (N) | bond strength (MPa) | failure mode     |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------------|
| 3 months         | 4 degree      | 1            | 43.69                    | 35.85        | 6.8516577           | coh-cement       |
|                  |               | 2            | 44.76                    | 33.76        | 6.943837527         | ad-dentin/cement |
|                  |               | 3            | 40.5                     | 28.19        | 5.574102101         | coh-cement       |
|                  |               | 4            | 41.66                    | 32.76        | 6.944767742         | coh-cement       |
|                  |               | 5            | 41.28                    | 34.48        | 6.730427723         | coh-cement       |
|                  |               | average      | 42.378                   |              | 6.608958559         |                  |
|                  | 40 degree     | 1            | 16.37                    | 23.34        | 4.704028828         | coh-cement       |
|                  |               | 2            | 12.54                    | 23.19        | 5.108277654         | coh-cement       |
|                  |               | 3            | 13.16                    | 26.83        | 5.517115515         | ad-dentin/cement |
|                  |               | 4            | 11.34                    | 23.88        | 4.522808377         | coh-cement       |
|                  |               | 5            | 15.48                    | 25.33        | 4.833966346         | coh-cement       |
|                  |               | average      | 13.778                   |              | 4.937239344         |                  |
| 6 months         | 4 degree      | 1            | 37.02                    | 21.11        | 4.120630198         | coh-cement       |
|                  |               | 2            | 39.3                     | 28.28        | 5.787614533         | coh-cement       |
|                  |               | 3            | 39.79                    | 18.41        | 3.826198081         | coh-cement       |
|                  |               | 4            | 36.66                    | 38.73        | 7.941774923         | ad-dentin/cement |
|                  |               | 5            | 37.1                     | 27.14        | 5.929356161         | ad-dentin/cement |
|                  |               | average      | 37.974                   |              | 5.521114779         |                  |
|                  | 40 degree     | 1            | 9.91                     | 0            | 0                   |                  |
|                  |               | 2            | 8.52                     | 0            | 0                   |                  |
|                  |               | 3            | 10.5                     | 0            | 0                   |                  |
|                  |               | 4            | 12.46                    | 0            | 0                   |                  |
|                  |               | 5            | 8.24                     | 0            | 0                   |                  |
|                  |               | average      | 9.926                    |              | 0                   |                  |

ตารางที่ 14 ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของบิสเซม

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | Maxload (N) | bond strength (MPa) | failure mode                   |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------------|--------------------------------|
| Baseline         |               | 1            | 38.06                    | 50.35       | 9.541961            | coh-cement                     |
|                  |               | 2            | 42.99                    | 29.45       | 8.559733894         | coh-cement                     |
|                  |               | 3            | 43.84                    | 47.44       | 9.543669            | coh-cement                     |
|                  |               | 4            | 39.71                    | 53.53       | 10.77761            | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 5            | 43.76                    | 23.65       | 7.21020232          | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 41.672                   |             | 9.126635243         |                                |
| 1 month          | 4 degree      | 1            | 34.38                    | 18.92       | 3.744306            | coh-cement                     |
|                  |               | 2            | 34.93                    | 13.32       | 3.902085            | mix(ad-den/cement, coh-cement) |
|                  |               | 3            | 37.67                    | 21.31       | 4.271750381         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 4            | 33.33                    | 12.88       | 3.81877134          | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 36.84                    | 9.145       | 3.036525053         | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 35.43                    |             | 3.754687555         |                                |
|                  | 40 degree     | 1            | 16.24                    | 0           | 0                   |                                |
|                  |               | 2            | 13.51                    | 28.88       | 5.909384536         | ad-dentin/cement               |
|                  |               | 3            | 15.22                    | 0           | 0                   |                                |
|                  |               | 4            | 13.83                    | 14.57       | 5.478885421         | coh-cement                     |
|                  |               | 5            | 13.6                     | 7.8         | 2.954598437         | coh-cement                     |
|                  |               | average      | 14.48                    |             | 2.868573679         |                                |

ตารางที่ 14 (ต่อ) ข้อมูลผลการทดสอบค่าร้อยละการบ่มตัวและค่ากำลังแรงยึดติดของบิสเซม

| storage duration | Storage temp. | specimens no | degree of conversion (%) | Maxload (N) | bond strength (MPa) | failure mode     |
|------------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------------|------------------|
| 3 months         | 4 degree      | 1            | 21.76                    | 19.36       | 4.190628019         | coh-cement       |
|                  |               | 2            | 27.22                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 3            | 26.54                    | 1.23        | 0.253814633         | coh-cement       |
|                  |               | 4            | 26.98                    | 23.49       | 4.6646389           | ad-dentin/cement |
|                  |               | 5            | 23.13                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | average      | 25.126                   |             | 1.82181631          |                  |
|                  | 40 degree     | 1            | 7.85                     | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 2            | 10.59                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 3            | 7.14                     | 16.01       | 3.236972105         | coh-cement       |
|                  |               | 4            | 9.03                     | 19.03       | 5.194311328         | coh-cement       |
|                  |               | 5            | 10.12                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | average      | 8.946                    |             | 1.686256687         |                  |
| 6 months         | 4 degree      | 1            | 13.28                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 2            | 12.36                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 3            | 15.37                    | 9.2         | 1.943335714         | coh-cement       |
|                  |               | 4            | 13.13                    | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 5            | 11.7                     | 4.9         | 0.972681658         | coh-cement       |
|                  |               | average      | 13.168                   |             | 0.583203474         |                  |
|                  | 40 degree     | 1            | 5.85                     | 8.7         | 1.712379574         | coh-cement       |
|                  |               | 2            | 4.17                     | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 3            | 3.16                     | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 4            | 6.3                      | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | 5            | 5.85                     | 0           | 0                   |                  |
|                  |               | average      | 5.066                    |             | 0.342475915         |                  |

ภาคผนวก ค

## ผลการทดสอบทางสถิติของค่าการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) วิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรม SPSS รุ่น 17.0 ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์

| Statistics         |          |                    |                    |           |           |         |   |
|--------------------|----------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|---------|---|
| Conversion         |          |                    |                    |           |           |         |   |
| Clearfil SA luting | 0 month  | Baseline           | N                  | Valid     | 5         |         |   |
|                    |          |                    |                    | Missing   | 0         |         |   |
|                    |          |                    | Mean               |           | 52.600000 |         |   |
|                    |          |                    | Std. Error of Mean |           | 1.0119437 |         |   |
|                    |          |                    | Median             |           | 52.140000 |         |   |
|                    |          |                    | Std. Deviation     |           | 2.2627748 |         |   |
|                    |          |                    | Minimum            |           | 49.7800   |         |   |
|                    |          |                    | Maximum            |           | 55.3300   |         |   |
|                    |          |                    | Percentiles        | 25        | 50.560000 |         |   |
|                    |          |                    |                    | 50        | 52.140000 |         |   |
|                    |          |                    |                    | 75        | 54.870000 |         |   |
|                    |          |                    | 1 month            | 4 degree  | N         | Valid   | 5 |
|                    |          |                    |                    |           |           | Missing | 0 |
| Mean               |          | 44.734000          |                    |           |           |         |   |
| Std. Error of Mean |          | 1.0691426          |                    |           |           |         |   |
| Median             |          | 45.870000          |                    |           |           |         |   |
| Std. Deviation     |          | 2.3906756          |                    |           |           |         |   |
| Minimum            |          | 41.2000            |                    |           |           |         |   |
| Maximum            |          | 46.7100            |                    |           |           |         |   |
| Percentiles        | 25       | 42.275000          |                    |           |           |         |   |
|                    | 50       | 45.870000          |                    |           |           |         |   |
|                    | 75       | 46.625000          |                    |           |           |         |   |
| 40 degree          | 4 degree | N                  |                    |           | Valid     | 5       |   |
|                    |          |                    |                    |           | Missing   | 0       |   |
|                    |          | Mean               |                    | 32.996000 |           |         |   |
|                    |          | Std. Error of Mean |                    | .9062097  |           |         |   |
|                    |          | Median             |                    | 32.770000 |           |         |   |
|                    |          | Std. Deviation     |                    | 2.0263465 |           |         |   |
|                    |          | Minimum            |                    | 30.4900   |           |         |   |
|                    |          | Maximum            |                    | 35.3100   |           |         |   |
|                    |          | Percentiles        | 25                 | 31.085000 |           |         |   |
|                    |          |                    | 50                 | 32.770000 |           |         |   |
|                    |          |                    | 75                 | 35.020000 |           |         |   |
|                    |          | 3 months           | 4 degree           | N         | Valid     | 5       |   |
|                    |          |                    |                    |           | Missing   | 0       |   |
| Mean               |          |                    |                    | 40.780000 |           |         |   |
| Std. Error of Mean |          |                    |                    | .5292164  |           |         |   |
| Median             |          |                    |                    | 40.260000 |           |         |   |
| Std. Deviation     |          |                    |                    | 1.1833638 |           |         |   |
| Minimum            |          | 39.4400            |                    |           |           |         |   |

|            |           |          |                    |         |           |
|------------|-----------|----------|--------------------|---------|-----------|
|            |           |          | Maximum            |         | 42.3100   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 39.815000 |
|            |           |          |                    | 50      | 40.260000 |
|            |           |          |                    | 75      | 42.005000 |
|            | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 28.346000 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | .9538585  |
|            |           |          | Median             |         | 29.030000 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.1328924 |
|            |           |          | Minimum            |         | 25.2800   |
|            |           |          | Maximum            |         | 30.6800   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 26.225000 |
|            |           |          |                    | 50      | 29.030000 |
|            |           |          |                    | 75      | 30.125000 |
| 6 months   | 4 degree  | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 34.362000 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | 1.0061183 |
|            |           |          | Median             |         | 35.210000 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.2497489 |
|            |           |          | Minimum            |         | 31.8400   |
|            |           |          | Maximum            |         | 36.5000   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 31.955000 |
|            |           |          |                    | 50      | 35.210000 |
|            |           |          |                    | 75      | 36.345000 |
|            | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 18.414000 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | 1.3288138 |
|            |           |          | Median             |         | 19.760000 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.9713179 |
|            |           |          | Minimum            |         | 13.4900   |
|            |           |          | Maximum            |         | 20.9100   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 15.670000 |
|            |           |          |                    | 50      | 19.760000 |
|            |           |          |                    | 75      | 20.485000 |
| RelyX U100 | 0 month   | Baseline | N                  | Valid   | 5         |
|            |           |          |                    | Missing | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 50.004000 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | .8522594  |
|            |           |          | Median             |         | 50.320000 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 1.9057098 |
|            |           |          | Minimum            |         | 47.3400   |
|            |           |          | Maximum            |         | 52.1700   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 48.145000 |
|            |           |          |                    | 50      | 50.320000 |

|          |           |                    |           |           |
|----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|
|          |           |                    | 75        | 51.705000 |
| 1 month  | 4 degree  | N                  | Valid     | 5         |
|          |           |                    | Missing   | 0         |
|          |           | Mean               |           | 48.316000 |
|          |           | Std. Error of Mean |           | 1.1781961 |
|          |           | Median             |           | 48.010000 |
|          |           | Std. Deviation     |           | 2.6345265 |
|          |           | Minimum            |           | 45.6700   |
|          |           | Maximum            |           | 52.2600   |
|          |           | Percentiles        | 25        | 45.985000 |
|          |           |                    |           | 50        |
|          |           | 75                 | 50.800000 |           |
|          | 40 degree | N                  | Valid     | 5         |
|          |           |                    | Missing   | 0         |
|          |           | Mean               |           | 37.662000 |
|          |           | Std. Error of Mean |           | 1.1130831 |
|          |           | Median             |           | 37.950000 |
|          |           | Std. Deviation     |           | 2.4889295 |
|          |           | Minimum            |           | 34.4900   |
|          |           | Maximum            |           | 40.9600   |
|          |           | Percentiles        | 25        | 35.295000 |
|          |           |                    |           | 50        |
|          |           | 75                 | 39.885000 |           |
| 3 months | 4 degree  | N                  | Valid     | 5         |
|          |           |                    | Missing   | 0         |
|          |           | Mean               |           | 46.932000 |
|          |           | Std. Error of Mean |           | 1.0949402 |
|          |           | Median             |           | 47.910000 |
|          |           | Std. Deviation     |           | 2.4483607 |
|          |           | Minimum            |           | 43.7500   |
|          |           | Maximum            |           | 49.2800   |
|          |           | Percentiles        | 25        | 44.345000 |
|          |           |                    |           | 50        |
|          |           | 75                 | 49.030000 |           |
|          | 40 degree | N                  | Valid     | 5         |
|          |           |                    | Missing   | 0         |
|          |           | Mean               |           | 34.012000 |
|          |           | Std. Error of Mean |           | 1.1837753 |
|          |           | Median             |           | 35.210000 |
|          |           | Std. Deviation     |           | 2.6470021 |
|          |           | Minimum            |           | 30.4300   |
|          |           | Maximum            |           | 36.5300   |
|          |           | Percentiles        | 25        | 31.225000 |
|          |           |                    |           | 50        |
|          |           | 75                 | 36.200000 |           |
| 6 months | 4 degree  | N                  | Valid     | 5         |
|          |           |                    | Missing   | 0         |
|          |           | Mean               |           | 39.950000 |
|          |           | Std. Error of Mean |           | .9599271  |
| Median   |           | 40.360000          |           |           |

|              |         |           |             |                    |  |           |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------------------|--|-----------|
|              |         |           |             | Std. Deviation     |  | 2.1464622 |
|              |         |           |             | Minimum            |  | 37.4000   |
|              |         |           |             | Maximum            |  | 42.5600   |
|              |         |           | Percentiles | 25                 |  | 37.780000 |
|              |         |           |             | 50                 |  | 40.360000 |
|              |         |           |             | 75                 |  | 41.915000 |
|              |         | 40 degree | N           | Valid              |  | 5         |
|              |         |           |             | Missing            |  | 0         |
|              |         |           |             | Mean               |  | 13.932000 |
|              |         |           |             | Std. Error of Mean |  | 1.1941499 |
|              |         |           |             | Median             |  | 14.770000 |
|              |         |           |             | Std. Deviation     |  | 2.6702004 |
|              |         |           |             | Minimum            |  | 10.9600   |
|              |         |           |             | Maximum            |  | 16.7200   |
|              |         |           | Percentiles | 25                 |  | 11.110000 |
|              |         |           |             | 50                 |  | 14.770000 |
|              |         |           |             | 75                 |  | 16.335000 |
| Maxcem Elite | 0 month | Baseline  | N           | Valid              |  | 5         |
|              |         |           |             | Missing            |  | 0         |
|              |         |           |             | Mean               |  | 48.402000 |
|              |         |           |             | Std. Error of Mean |  | .8620348  |
|              |         |           |             | Median             |  | 48.940000 |
|              |         |           |             | Std. Deviation     |  | 1.9275684 |
|              |         |           |             | Minimum            |  | 45.7600   |
|              |         |           |             | Maximum            |  | 50.3800   |
|              |         |           | Percentiles | 25                 |  | 46.435000 |
|              |         |           |             | 50                 |  | 48.940000 |
|              |         |           |             | 75                 |  | 50.100000 |
|              | 1 month | 4 degree  | N           | Valid              |  | 5         |
|              |         |           |             | Missing            |  | 0         |
|              |         |           |             | Mean               |  | 46.336000 |
|              |         |           |             | Std. Error of Mean |  | .8005411  |
|              |         |           |             | Median             |  | 46.300000 |
|              |         |           |             | Std. Deviation     |  | 1.7900642 |
|              |         |           |             | Minimum            |  | 43.9700   |
|              |         |           |             | Maximum            |  | 48.4600   |
|              |         |           | Percentiles | 25                 |  | 44.645000 |
|              |         |           |             | 50                 |  | 46.300000 |
|              |         |           |             | 75                 |  | 48.045000 |
|              |         | 40 degree | N           | Valid              |  | 5         |
|              |         |           |             | Missing            |  | 0         |
|              |         |           |             | Mean               |  | 34.326000 |
|              |         |           |             | Std. Error of Mean |  | .6454502  |
|              |         |           |             | Median             |  | 33.730000 |
|              |         |           |             | Std. Deviation     |  | 1.4432706 |
|              |         |           |             | Minimum            |  | 32.8700   |
|              |         |           |             | Maximum            |  | 36.6000   |
|              |         |           | Percentiles | 25                 |  | 33.255000 |
|              |         |           |             | 50                 |  | 33.730000 |
|              |         |           |             | 75                 |  | 35.695000 |



|                    |          |           |                    |           |           |         |         |   |
|--------------------|----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------|---------|---|
|                    | 3 months | 4 degree  | N                  | Valid     | 5         |         |         |   |
|                    |          |           |                    | Missing   | 0         |         |         |   |
|                    |          |           | Mean               |           | 42.378000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Error of Mean |           | .7950874  |         |         |   |
|                    |          |           | Median             |           | 41.660000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Deviation     |           | 1.7778695 |         |         |   |
|                    |          |           | Minimum            |           | 40.5000   |         |         |   |
|                    |          |           | Maximum            |           | 44.7600   |         |         |   |
|                    |          |           | Percentiles        | 25        | 40.890000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 50        | 41.660000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 75        | 44.225000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 40 degree | N         | Valid   | 5       |   |
|                    |          |           |                    |           |           | Missing | 0       |   |
| Mean               |          | 13.778000 |                    |           |           |         |         |   |
| Std. Error of Mean |          | .9347107  |                    |           |           |         |         |   |
| Median             |          | 13.160000 |                    |           |           |         |         |   |
| Std. Deviation     |          | 2.0900766 |                    |           |           |         |         |   |
| Minimum            |          | 11.3400   |                    |           |           |         |         |   |
| Maximum            |          | 16.3700   |                    |           |           |         |         |   |
| Percentiles        | 25       | 11.940000 |                    |           |           |         |         |   |
|                    | 50       | 13.160000 |                    |           |           |         |         |   |
|                    | 75       | 15.925000 |                    |           |           |         |         |   |
|                    | 6 months | 4 degree  |                    |           |           | N       | Valid   | 5 |
|                    |          |           |                    |           |           |         | Missing | 0 |
|                    |          |           | Mean               |           | 37.974000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Error of Mean |           | .6502584  |         |         |   |
|                    |          |           | Median             |           | 37.100000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Deviation     |           | 1.4540220 |         |         |   |
|                    |          |           | Minimum            |           | 36.6600   |         |         |   |
|                    |          |           | Maximum            |           | 39.7900   |         |         |   |
|                    |          |           | Percentiles        | 25        | 36.840000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 50        | 37.100000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 75        | 39.545000 |         |         |   |
|                    |          |           |                    | 40 degree | N         | Valid   | 5       |   |
|                    |          |           |                    |           |           | Missing | 0       |   |
| Mean               |          | 9.926000  |                    |           |           |         |         |   |
| Std. Error of Mean |          | .7606024  |                    |           |           |         |         |   |
| Median             |          | 9.910000  |                    |           |           |         |         |   |
| Std. Deviation     |          | 1.7007587 |                    |           |           |         |         |   |
| Minimum            |          | 8.2400    |                    |           |           |         |         |   |
| Maximum            |          | 12.4600   |                    |           |           |         |         |   |
| Percentiles        | 25       | 8.380000  |                    |           |           |         |         |   |
|                    | 50       | 9.910000  |                    |           |           |         |         |   |
|                    | 75       | 11.480000 |                    |           |           |         |         |   |
| BisCem             | 0 month  | Baseline  |                    |           |           | N       | Valid   | 5 |
|                    |          |           |                    |           |           |         | Missing | 0 |
|                    |          |           | Mean               |           | 41.672000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Error of Mean |           | 1.1767132 |         |         |   |
|                    |          |           | Median             |           | 42.990000 |         |         |   |
|                    |          |           | Std. Deviation     |           | 2.6312107 |         |         |   |

|          |           |   |                    |    |           |
|----------|-----------|---|--------------------|----|-----------|
|          |           |   | Minimum            |    | 38.0600   |
|          |           |   | Maximum            |    | 43.8400   |
|          |           |   | Percentiles        | 25 | 38.885000 |
|          |           |   |                    | 50 | 42.990000 |
|          |           |   |                    | 75 | 43.800000 |
| 1 month  | 4 degree  | N | Valid              |    | 5         |
|          |           |   | Missing            |    | 0         |
|          |           |   | Mean               |    | 35.430000 |
|          |           |   | Std. Error of Mean |    | .7990056  |
|          |           |   | Median             |    | 34.930000 |
|          |           |   | Std. Deviation     |    | 1.7866309 |
|          |           |   | Minimum            |    | 33.3300   |
|          |           |   | Maximum            |    | 37.6700   |
|          |           |   | Percentiles        | 25 | 33.855000 |
|          |           |   |                    | 50 | 34.930000 |
|          |           |   |                    | 75 | 37.255000 |
|          | 40 degree | N | Valid              |    | 5         |
|          |           |   | Missing            |    | 0         |
|          |           |   | Mean               |    | 14.480000 |
|          |           |   | Std. Error of Mean |    | .5377267  |
|          |           |   | Median             |    | 13.830000 |
|          |           |   | Std. Deviation     |    | 1.2023934 |
|          |           |   | Minimum            |    | 13.5100   |
|          |           |   | Maximum            |    | 16.2400   |
|          |           |   | Percentiles        | 25 | 13.555000 |
|          |           |   |                    | 50 | 13.830000 |
|          |           |   |                    | 75 | 15.730000 |
| 3 months | 4 degree  | N | Valid              |    | 5         |
|          |           |   | Missing            |    | 0         |
|          |           |   | Mean               |    | 25.126000 |
|          |           |   | Std. Error of Mean |    | 1.1210602 |
|          |           |   | Median             |    | 26.540000 |
|          |           |   | Std. Deviation     |    | 2.5067668 |
|          |           |   | Minimum            |    | 21.7600   |
|          |           |   | Maximum            |    | 27.2200   |
|          |           |   | Percentiles        | 25 | 22.445000 |
|          |           |   |                    | 50 | 26.540000 |
|          |           |   |                    | 75 | 27.100000 |
|          | 40 degree | N | Valid              |    | 5         |
|          |           |   | Missing            |    | 0         |
|          |           |   | Mean               |    | 8.946000  |
|          |           |   | Std. Error of Mean |    | .6538700  |
|          |           |   | Median             |    | 9.030000  |
|          |           |   | Std. Deviation     |    | 1.4620978 |
|          |           |   | Minimum            |    | 7.1400    |
|          |           |   | Maximum            |    | 10.5900   |
|          |           |   | Percentiles        | 25 | 7.495000  |
|          |           |   |                    | 50 | 9.030000  |
|          |           |   |                    | 75 | 10.355000 |
| 6 months | 4 degree  | N | Valid              |    | 5         |

|           |   |                    |           |
|-----------|---|--------------------|-----------|
|           |   | Missing            | 0         |
|           |   | Mean               | 13.168000 |
|           |   | Std. Error of Mean | .6193012  |
|           |   | Median             | 13.130000 |
|           |   | Std. Deviation     | 1.3847996 |
|           |   | Minimum            | 11.7000   |
|           |   | Maximum            | 15.3700   |
|           |   | Percentiles        |           |
|           |   | 25                 | 12.030000 |
|           |   | 50                 | 13.130000 |
|           |   | 75                 | 14.325000 |
| 40 degree | N | Valid              | 5         |
|           |   | Missing            | 0         |
|           |   | Mean               | 5.066000  |
|           |   | Std. Error of Mean | .5994881  |
|           |   | Median             | 5.850000  |
|           |   | Std. Deviation     | 1.3404962 |
|           |   | Minimum            | 3.1600    |
|           |   | Maximum            | 6.3000    |
|           |   | Percentiles        |           |
|           |   | 25                 | 3.665000  |
|           |   | 50                 | 5.850000  |
|           |   | 75                 | 6.075000  |

## 2. สถิติอ้างอิง (Inferential statistics)

### 2.1 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 1

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Kruskal-Wallis โดยอาศัยโปรแกรม StatsDirect รุ่น 2.7.2

#### ผลการทดสอบ

#### Kruskal-Wallis test

Variables: M0 CF, M0 RE, M0 MAX, M0 BIS

Groups = 4

df = 3

Total observations = 20

T = 14.222857

P = 0.0026

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Kruskal-Wallis: all pairwise comparisons (Conover-Inman)

Critical t (16 df) = 2.119905

|                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| M0 CF and M0 RE<br>(3.8 > 4.334157)   | not significant<br>P = 0.0816 |
| M0 CF and M0 MAX<br>(7 > 4.334157)    | significant<br>P = 0.0035     |
| M0 CF and M0 BIS<br>(13.6 > 4.334157) | significant<br>P < 0.0001     |
| M0 RE and M0 MAX<br>(3.2 > 4.334157)  | not significant<br>P = 0.1371 |
| M0 RE and M0 BIS<br>(9.8 > 4.334157)  | significant<br>P = 0.0002     |
| M0 MAX and M0 BIS<br>(6.6 > 4.334157) | significant<br>P = 0.0053     |

## 2.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 3

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Friedman โดยอาศัยโปรแกรม StatsDirect รุ่น 2.7.2

### ผลการทดสอบ

#### 2.2.1 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting cement ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 CF, M1 CF 4C, M3 CF 4C, M6 CF 4C

Mean rank: 4, 3, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 15

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 1.#INF

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| M0 CF vs. M1 CF 4C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |
| M0 CF vs. M3 CF 4C<br>( 10  > 0) | significant<br>P = 0.05 |

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| M0 CF vs. M6 CF 4C<br>( 15  > 0)    | significant<br>P = 0.05 |
| M1 CF 4C vs. M3 CF 4C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |
| M1 CF 4C vs. M6 CF 4C<br>( 10  > 0) | significant<br>P = 0.05 |
| M3 CF 4C vs. M6 CF 4C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |

2.2.2 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting cement ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 CF, M1 CF 40C, M3 CF 40C, M6 CF 40C

Mean rank: 4, 3, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 15

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 1.#INF

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| M0 CF vs. M1 CF 40C<br>( 5  > 0)      | significant<br>P = 0.05 |
| M0 CF vs. M3 CF 40C<br>( 10  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M0 CF vs. M6 CF 40C<br>( 15  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M1 CF 40C vs. M3 CF 40C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |
| M1 CF 40C vs. M6 CF 40C<br>( 10  > 0) | significant<br>P = 0.05 |
| M3 CF 40C vs. M6 CF 40C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |

2.2.3 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 RE, M1 RE 4C, M3 RE 4C, M6 RE 4C

Mean rank: 3.8, 3, 2.2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 12.84

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 23.777778

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|  |                           |
|--|---------------------------|
| M0 RE vs. M1 RE 4C<br>( 4  > 3.773815)     | significant<br>P = 0.0395 |
| M0 RE vs. M3 RE 4C<br>( 8  > 3.773815)     | significant<br>P = 0.0006 |
| M0 RE vs. M6 RE 4C<br>( 14  > 3.773815)    | significant<br>P < 0.0001 |
| M1 RE 4C vs. M3 RE 4C<br>( 4  > 3.773815)  | significant<br>P = 0.0395 |
| M1 RE 4C vs. M6 RE 4C<br>( 10  > 3.773815) | significant<br>P < 0.0001 |
| M3 RE 4C vs. M6 RE 4C<br>( 6  > 3.773815)  | significant<br>P = 0.0047 |

2.2.4 เครื่องซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 RE, M1 RE 40C, M3 RE 40C, M6 RE 40C

Mean rank: 4, 3, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 15

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 1.#INF

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| M0 RE vs. M1 RE 40C<br>( 5  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M0 RE vs. M3 RE 40C<br>( 10  > 0)    | significant<br>P = 0.05 |
| M0 RE vs. M6 RE 40C<br>( 15  > 0)    | significant<br>P = 0.05 |
| M1 RE 40C vs. M3 RE 40C<br>( 5  > 0) | significant<br>P = 0.05 |
| M1 RE 40C vs. M6 RE 40C              | significant             |

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| ( 10  > 0)              | P = 0.05    |
| M3 RE 40C vs. M6 RE 40C | significant |
| ( 5  > 0)               | P = 0.05    |

2.2.5 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem Elite ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 MAX, M1 MAX 4C, M3 MAX 4C, M6 MAX 4C

Mean rank: 3.8, 3.2, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 14.04

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 58.5

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| M0 MAX vs. M1 MAX 4C    | significant |
| ( 3  > 2.515876)        | P = 0.0233  |
| M0 MAX vs. M3 MAX 4C    | significant |
| ( 9  > 2.515876)        | P < 0.0001  |
| M0 MAX vs. M6 MAX 4C    | significant |
| ( 14  > 2.515876)       | P < 0.0001  |
| M1 MAX 4C vs. M3 MAX 4C | significant |
| ( 6  > 2.515876)        | P = 0.0002  |
| M1 MAX 4C vs. M6 MAX 4C | significant |
| ( 11  > 2.515876)       | P < 0.0001  |
| M3 MAX 4C vs. M6 MAX 4C | significant |
| ( 5  > 2.515876)        | P = 0.001   |

2.2.6 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem Elite ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 MAX, M1 MAX 40C, M3 MAX 40C, M6 MAX 40C

Mean rank: 4, 3, 1.8, 1.2

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 14.04

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 58.5

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|   |                           |
|---|---------------------------|
| M0 MAX vs. M1 MAX 40C<br>( 5  > 2.515876)     | significant<br>P = 0.001  |
| M0 MAX vs. M3 MAX 40C<br>( 11  > 2.515876)    | significant<br>P < 0.0001 |
| M0 MAX vs. M6 MAX 40C<br>( 14  > 2.515876)    | significant<br>P < 0.0001 |
| M1 MAX 40C vs. M3 MAX 40C<br>( 6  > 2.515876) | significant<br>P = 0.0002 |
| M1 MAX 40C vs. M6 MAX 40C<br>( 9  > 2.515876) | significant<br>P < 0.0001 |
| M3 MAX 40C vs. M6 MAX 40C<br>( 3  > 2.515876) | significant<br>P = 0.0233 |

2.2.7 เเรชินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 BIS, M1 BIS 4C, M3 BIS 4C, M6 BIS 4C

Mean rank: 4, 3, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 15

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 1.#INF

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| M0 BIS vs. M1 BIS 4C<br>( 5  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M0 BIS vs. M3 BIS 4C<br>( 10  > 0)    | significant<br>P = 0.05 |
| M0 BIS vs. M6 BIS 4C<br>( 15  > 0)    | significant<br>P = 0.05 |
| M1 BIS 4C vs. M3 BIS 4C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |
| M1 BIS 4C vs. M6 BIS 4C<br>( 10  > 0) | significant<br>P = 0.05 |
| M3 BIS 4C vs. M6 BIS 4C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |



## 2.2.8 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 BIS, M1 BIS 40C, M3 BIS 40C, M6 BIS 40C

Mean rank: 4, 3, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 15

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 1.#INF

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|   |                         |
|---|-------------------------|
| M0 BIS vs. M1 BIS 40C<br>( 5  > 0)      | significant<br>P = 0.05 |
| M0 BIS vs. M3 BIS 40C<br>( 10  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M0 BIS vs. M6 BIS 40C<br>( 15  > 0)     | significant<br>P = 0.05 |
| M1 BIS 40C vs. M3 BIS 40C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |
| M1 BIS 40C vs. M6 BIS 40C<br>( 10  > 0) | significant<br>P = 0.05 |
| M3 BIS 40C vs. M6 BIS 40C<br>( 5  > 0)  | significant<br>P = 0.05 |

## 2.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 5

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Mann-Whitney U test โดยอาศัยโปรแกรม SPSS รุ่น 17

### ผลการทดสอบ

2.3.1 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (1 month)

| Ranks      |           |           |              |
|------------|-----------|-----------|--------------|
| temp       | N         | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 3.00      | 15.00        |
| Total      | 10        |           |              |

#### Test Statistics<sup>b</sup>

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.2 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (3 months)

| Ranks      |          |           |              |
|------------|----------|-----------|--------------|
| temp       | N        | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree | 8.00      | 40.00        |

|           |    |      |       |
|-----------|----|------|-------|
| 40 degree | 5  | 3.00 | 15.00 |
| Total     | 10 |      |       |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.3 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของเคลียร์ฟิลเวส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

**Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (6 months)****Ranks**

|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.4 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : RelyX U100 (1 month)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | Conversion        |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.5 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : RelyX U100 (3 months)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.6 เวิร์นซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของรีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### **Mann-Whitney Test : RelyX U100 (6 months)**

**Ranks**

|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.7 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแมกซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Maxcem (1 month)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | Conversion        |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.8 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแมกซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Maxcem (3 months)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.9 เราชินซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของแม็กซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### **Mann-Whitney Test : Maxcem (6 months)**

**Ranks**

|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.10 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : BisCem (1 month)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | Conversion        |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.11 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : BisCem (3 months)

| Ranks      |           |    |           |              |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |



**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.12 เเรชินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่าร้อยละการบ่มตัวของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### **Mann-Whitney Test : BisCem (6 months)**

**Ranks**

|            | temp      | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|------------|-----------|----|-----------|--------------|
| Conversion | 4 degree  | 5  | 8.00      | 40.00        |
|            | 40 degree | 5  | 3.00      | 15.00        |
|            | Total     | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | Conversion        |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.619            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

ภาคผนวก ง

### ผลการทดสอบทางสถิติของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) วิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรม SPSS รุ่น 17.0

ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

| Statistics         |           |           |                    |           |           |      |           |   |
|--------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|------|-----------|---|
| STRENGTH           |           |           |                    |           |           |      |           |   |
| Clearfil SA luting | 0 month   | Baseline  | N                  | Valid     | 5         |      |           |   |
|                    |           |           |                    | Missing   | 0         |      |           |   |
|                    |           |           | Mean               | 34.126083 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Std. Error of Mean | .6247054  |           |      |           |   |
|                    |           |           | Median             | 34.367470 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Std. Deviation     | 1.3968838 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Minimum            | 32.6887   |           |      |           |   |
|                    |           |           | Maximum            | 35.8015   |           |      |           |   |
|                    |           |           | Percentiles        | 25        | 32.700295 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 50        | 34.367470 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 75        | 35.431178 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 1 month   | 4 degree  | N    | Valid     | 5 |
|                    |           |           |                    |           |           |      | Missing   | 0 |
|                    |           |           |                    |           |           | Mean | 22.591689 |   |
| Std. Error of Mean | .8860733  |           |                    |           |           |      |           |   |
| Median             | 22.044745 |           |                    |           |           |      |           |   |
| Std. Deviation     | 1.9813202 |           |                    |           |           |      |           |   |
| Minimum            | 20.8608   |           |                    |           |           |      |           |   |
| Maximum            | 25.9685   |           |                    |           |           |      |           |   |
| Percentiles        | 25        | 21.227796 |                    |           |           |      |           |   |
|                    | 50        | 22.044745 |                    |           |           |      |           |   |
|                    | 75        | 24.229055 |                    |           |           |      |           |   |
|                    |           | 40 degree |                    |           |           | N    | Valid     | 5 |
|                    |           |           |                    |           |           |      | Missing   | 0 |
|                    |           |           |                    |           |           | Mean | 15.057871 |   |
|                    |           |           | Std. Error of Mean | 1.5600745 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Median             | 13.342998 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Std. Deviation     | 3.4884326 |           |      |           |   |
|                    |           |           | Minimum            | 12.1218   |           |      |           |   |
|                    |           |           | Maximum            | 20.8416   |           |      |           |   |
|                    |           |           | Percentiles        | 25        | 12.691982 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 50        | 13.342998 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 75        | 18.281196 |      |           |   |
|                    |           |           |                    | 3 months  | 4 degree  | N    | Valid     | 5 |
|                    |           |           |                    |           |           |      | Missing   | 0 |
|                    |           |           |                    |           |           | Mean | 22.679876 |   |
| Std. Error of Mean | .6933192  |           |                    |           |           |      |           |   |

|            |           |          |                    |         |           |
|------------|-----------|----------|--------------------|---------|-----------|
|            |           |          | Median             |         | 21.795898 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 1.5503088 |
|            |           |          | Minimum            |         | 21.7545   |
|            |           |          | Maximum            |         | 25.3544   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 21.763990 |
|            |           |          |                    | 50      | 21.795898 |
|            |           |          |                    | 75      | 24.037751 |
|            | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 14.453159 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | .8381119  |
|            |           |          | Median             |         | 13.870527 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 1.8740751 |
|            |           |          | Minimum            |         | 13.0204   |
|            |           |          | Maximum            |         | 17.5974   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 13.078211 |
|            |           |          |                    | 50      | 13.870527 |
|            |           |          |                    | 75      | 16.119422 |
| 6 months   | 4 degree  | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 14.358247 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | 1.0850663 |
|            |           |          | Median             |         | 14.841847 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.4262821 |
|            |           |          | Minimum            |         | 11.2536   |
|            |           |          | Maximum            |         | 16.9721   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 11.882909 |
|            |           |          |                    | 50      | 14.841847 |
|            |           |          |                    | 75      | 16.591785 |
|            | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|            |           |          | Missing            |         | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 8.278170  |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | .9866946  |
|            |           |          | Median             |         | 7.416869  |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.2063162 |
|            |           |          | Minimum            |         | 6.4097    |
|            |           |          | Maximum            |         | 12.0147   |
|            |           |          | Percentiles        | 25      | 6.782078  |
|            |           |          |                    | 50      | 7.416869  |
|            |           |          |                    | 75      | 10.204911 |
| RelyX U100 | 0 month   | Baseline | N                  | Valid   | 5         |
|            |           |          |                    | Missing | 0         |
|            |           |          | Mean               |         | 12.031270 |
|            |           |          | Std. Error of Mean |         | .9993856  |
|            |           |          | Median             |         | 12.555447 |
|            |           |          | Std. Deviation     |         | 2.2346942 |
|            |           |          | Minimum            |         | 8.9204    |

|          |           |   |                    |           |
|----------|-----------|---|--------------------|-----------|
|          |           |   | Maximum            | 14.6436   |
|          |           |   | Percentiles        |           |
|          |           |   | 25                 | 9.837108  |
|          |           |   | 50                 | 12.555447 |
|          |           |   | 75                 | 13.963343 |
| 1 month  | 4 degree  | N | Valid              | 5         |
|          |           |   | Missing            | 0         |
|          |           |   | Mean               | 11.315492 |
|          |           |   | Std. Error of Mean | .9336750  |
|          |           |   | Median             | 10.173143 |
|          |           |   | Std. Deviation     | 2.0877607 |
|          |           |   | Minimum            | 9.2950    |
|          |           |   | Maximum            | 13.9674   |
|          |           |   | Percentiles        |           |
|          |           |   | 25                 | 9.651599  |
|          |           |   | 50                 | 10.173143 |
|          |           |   | 75                 | 13.550559 |
|          | 40 degree | N | Valid              | 5         |
|          |           |   | Missing            | 0         |
|          |           |   | Mean               | 11.088975 |
|          |           |   | Std. Error of Mean | 1.6271331 |
|          |           |   | Median             | 12.102950 |
|          |           |   | Std. Deviation     | 3.6383803 |
|          |           |   | Minimum            | 5.5100    |
|          |           |   | Maximum            | 14.4497   |
|          |           |   | Percentiles        |           |
|          |           |   | 25                 | 7.553013  |
|          |           |   | 50                 | 12.102950 |
|          |           |   | 75                 | 14.117950 |
| 3 months | 4 degree  | N | Valid              | 5         |
|          |           |   | Missing            | 0         |
|          |           |   | Mean               | 11.614059 |
|          |           |   | Std. Error of Mean | 1.0894887 |
|          |           |   | Median             | 13.144690 |
|          |           |   | Std. Deviation     | 2.4361707 |
|          |           |   | Minimum            | 8.6378    |
|          |           |   | Maximum            | 13.8098   |
|          |           |   | Percentiles        |           |
|          |           |   | 25                 | 8.974287  |
|          |           |   | 50                 | 13.144690 |
|          |           |   | 75                 | 13.488515 |
|          | 40 degree | N | Valid              | 5         |
|          |           |   | Missing            | 0         |
|          |           |   | Mean               | 9.766904  |
|          |           |   | Std. Error of Mean | .1361506  |
|          |           |   | Median             | 9.716629  |
|          |           |   | Std. Deviation     | .3044419  |
|          |           |   | Minimum            | 9.4621    |
|          |           |   | Maximum            | 10.2424   |
|          |           |   | Percentiles        |           |
|          |           |   | 25                 | 9.511960  |
|          |           |   | 50                 | 9.716629  |
|          |           |   | 75                 | 10.046986 |
| 6 months | 4 degree  | N | Valid              | 5         |
|          |           |   | Missing            | 0         |

|              |           |          |                    |         |           |
|--------------|-----------|----------|--------------------|---------|-----------|
|              |           |          | Mean               |         | 7.802930  |
|              |           |          | Std. Error of Mean |         | .5306407  |
|              |           |          | Median             |         | 7.812386  |
|              |           |          | Std. Deviation     |         | 1.1865486 |
|              |           |          | Minimum            |         | 6.4550    |
|              |           |          | Maximum            |         | 9.5466    |
|              |           |          | Percentiles        | 25      | 6.733532  |
|              |           |          |                    | 50      | 7.812386  |
|              |           |          |                    | 75      | 8.867600  |
|              | 40 degree |          | N                  | Valid   | 5         |
|              |           |          |                    | Missing | 0         |
|              |           |          | Mean               |         | 4.336035  |
|              |           |          | Std. Error of Mean |         | .6397821  |
|              |           |          | Median             |         | 3.828819  |
|              |           |          | Std. Deviation     |         | 1.4305962 |
|              |           |          | Minimum            |         | 2.9648    |
|              |           |          | Maximum            |         | 6.5183    |
|              |           |          | Percentiles        | 25      | 3.180712  |
|              |           |          |                    | 50      | 3.828819  |
|              |           |          |                    | 75      | 5.744966  |
| Maxcem Elite | 0 month   | Baseline | N                  | Valid   | 5         |
|              |           |          |                    | Missing | 0         |
|              |           |          | Mean               |         | 8.642655  |
|              |           |          | Std. Error of Mean |         | .4537528  |
|              |           |          | Median             |         | 8.359430  |
|              |           |          | Std. Deviation     |         | 1.0146220 |
|              |           |          | Minimum            |         | 7.8242    |
|              |           |          | Maximum            |         | 10.3970   |
|              |           |          | Percentiles        | 25      | 7.972059  |
|              |           |          |                    | 50      | 8.359430  |
|              |           |          |                    | 75      | 9.454863  |
|              | 1 month   | 4 degree | N                  | Valid   | 5         |
|              |           |          |                    | Missing | 0         |
|              |           |          | Mean               |         | 8.231658  |
|              |           |          | Std. Error of Mean |         | .9902219  |
|              |           |          | Median             |         | 7.290256  |
|              |           |          | Std. Deviation     |         | 2.2142034 |
|              |           |          | Minimum            |         | 6.2425    |
|              |           |          | Maximum            |         | 11.4699   |
|              |           |          | Percentiles        | 25      | 6.432631  |
|              |           |          |                    | 50      | 7.290256  |
|              |           |          |                    | 75      | 10.501387 |
|              | 40 degree |          | N                  | Valid   | 5         |
|              |           |          |                    | Missing | 0         |
|              |           |          | Mean               |         | 7.261549  |
|              |           |          | Std. Error of Mean |         | .5050765  |
|              |           |          | Median             |         | 6.952242  |
|              |           |          | Std. Deviation     |         | 1.1293854 |
|              |           |          | Minimum            |         | 6.1791    |
|              |           |          | Maximum            |         | 8.7890    |

|          |           |          |                    |         |           |
|----------|-----------|----------|--------------------|---------|-----------|
|          |           |          | Percentiles        | 25      | 6.254494  |
|          |           |          |                    | 50      | 6.952242  |
|          |           |          |                    | 75      | 8.423257  |
| 3 months | 4 degree  | N        | Valid              |         | 5         |
|          |           |          | Missing            |         | 0         |
|          |           |          | Mean               |         | 6.608959  |
|          |           |          | Std. Error of Mean |         | .2616770  |
|          |           |          | Median             |         | 6.851658  |
|          |           |          | Std. Deviation     |         | .5851276  |
|          |           |          | Minimum            |         | 5.5741    |
|          |           |          | Maximum            |         | 6.9448    |
|          |           |          | Percentiles        | 25      | 6.152265  |
|          |           |          |                    | 50      | 6.851658  |
|          |           |          |                    | 75      | 6.944303  |
|          | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|          |           |          | Missing            |         | 0         |
|          |           |          | Mean               |         | 4.937239  |
|          |           |          | Std. Error of Mean |         | .1735390  |
|          |           |          | Median             |         | 4.833966  |
|          |           |          | Std. Deviation     |         | .3880451  |
|          |           |          | Minimum            |         | 4.5228    |
|          |           |          | Maximum            |         | 5.5171    |
|          |           |          | Percentiles        | 25      | 4.613419  |
|          |           |          |                    | 50      | 4.833966  |
|          |           |          |                    | 75      | 5.312697  |
| 6 months | 4 degree  | N        | Valid              |         | 5         |
|          |           |          | Missing            |         | 0         |
|          |           |          | Mean               |         | 5.521115  |
|          |           |          | Std. Error of Mean |         | .7393030  |
|          |           |          | Median             |         | 5.787615  |
|          |           |          | Std. Deviation     |         | 1.6531318 |
|          |           |          | Minimum            |         | 3.8262    |
|          |           |          | Maximum            |         | 7.9418    |
|          |           |          | Percentiles        | 25      | 3.973414  |
|          |           |          |                    | 50      | 5.787615  |
|          |           |          |                    | 75      | 6.935566  |
|          | 40 degree | N        | Valid              |         | 5         |
|          |           |          | Missing            |         | 0         |
|          |           |          | Mean               |         | .000000   |
|          |           |          | Std. Error of Mean |         | .0000000  |
|          |           |          | Median             |         | .000000   |
|          |           |          | Std. Deviation     |         | .0000000  |
|          |           |          | Minimum            |         | .0000     |
|          |           |          | Maximum            |         | .0000     |
|          |           |          | Percentiles        | 25      | .000000   |
|          |           |          |                    | 50      | .000000   |
|          |           |          |                    | 75      | .000000   |
| BisCem   | 0 month   | Baseline | N                  | Valid   | 5         |
|          |           |          |                    | Missing | 0         |
|          |           |          | Mean               |         | 9.126635  |

|          |           |             |                    |           |
|----------|-----------|-------------|--------------------|-----------|
|          |           |             | Std. Error of Mean | .5943998  |
|          |           |             | Median             | 9.541961  |
|          |           |             | Std. Deviation     | 1.3291184 |
|          |           |             | Minimum            | 7.2102    |
|          |           |             | Maximum            | 10.7776   |
|          |           | Percentiles | 25                 | 7.884968  |
|          |           |             | 50                 | 9.541961  |
|          |           |             | 75                 | 10.160639 |
| 1 month  | 4 degree  | N           | Valid              | 5         |
|          |           |             | Missing            | 0         |
|          |           |             | Mean               | 3.754688  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | .2011283  |
|          |           |             | Median             | 3.818771  |
|          |           |             | Std. Deviation     | .4497366  |
|          |           |             | Minimum            | 3.0365    |
|          |           |             | Maximum            | 4.2718    |
|          |           | Percentiles | 25                 | 3.390416  |
|          |           |             | 50                 | 3.818771  |
|          |           |             | 75                 | 4.086918  |
|          | 40 degree | N           | Valid              | 5         |
|          |           |             | Missing            | 0         |
|          |           |             | Mean               | 2.868574  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | 1.2752468 |
|          |           |             | Median             | 2.954598  |
|          |           |             | Std. Deviation     | 2.8515385 |
|          |           |             | Minimum            | .0000     |
|          |           |             | Maximum            | 5.9094    |
|          |           | Percentiles | 25                 | .000000   |
|          |           |             | 50                 | 2.954598  |
|          |           |             | 75                 | 5.694135  |
| 3 months | 4 degree  | N           | Valid              | 5         |
|          |           |             | Missing            | 0         |
|          |           |             | Mean               | 1.821816  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | 1.0674635 |
|          |           |             | Median             | .253815   |
|          |           |             | Std. Deviation     | 2.3869210 |
|          |           |             | Minimum            | .0000     |
|          |           |             | Maximum            | 4.6646    |
|          |           | Percentiles | 25                 | .000000   |
|          |           |             | 50                 | .253815   |
|          |           |             | 75                 | 4.427633  |
|          | 40 degree | N           | Valid              | 5         |
|          |           |             | Missing            | 0         |
|          |           |             | Mean               | 1.686257  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | 1.0779970 |
|          |           |             | Median             | .000000   |
|          |           |             | Std. Deviation     | 2.4104746 |
|          |           |             | Minimum            | .0000     |
|          |           |             | Maximum            | 5.1943    |
|          |           | Percentiles | 25                 | .000000   |



|          |           |             |                    |          |
|----------|-----------|-------------|--------------------|----------|
|          |           |             | 50                 | .000000  |
|          |           |             | 75                 | 4.215642 |
| 6 months | 4 degree  | N           | Valid              | 5        |
|          |           |             | Missing            | 0        |
|          |           |             | Mean               | .583203  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | .3887179 |
|          |           |             | Median             | .000000  |
|          |           |             | Std. Deviation     | .8691996 |
|          |           |             | Minimum            | .0000    |
|          |           |             | Maximum            | 1.9433   |
|          |           | Percentiles | 25                 | .000000  |
|          |           |             | 50                 | .000000  |
|          |           |             | 75                 | 1.458009 |
|          | 40 degree | N           | Valid              | 5        |
|          |           |             | Missing            | 0        |
|          |           |             | Mean               | .342476  |
|          |           |             | Std. Error of Mean | .3424759 |
|          |           |             | Median             | .000000  |
|          |           |             | Std. Deviation     | .7657994 |
|          |           |             | Minimum            | .0000    |
|          |           |             | Maximum            | 1.7124   |
|          |           | Percentiles | 25                 | .000000  |
|          |           |             | 50                 | .000000  |
|          |           |             | 75                 | .856190  |

## 2. สถิติอ้างอิง (Inferential statistics)

### 2.1 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 2

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Kruskal-Wallis โดยอาศัยโปรแกรม StatsDirect รุ่น 2.7.2

#### ผลการทดสอบ

Kruskal-Wallis test

Variables: M0 CF, M0 RE, M0 MAX, M0 BIS

Groups = 4

df = 3

Total observations = 20

T = 14.554286

P = 0.0022

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Kruskal-Wallis: all pairwise comparisons (Conover-Inman)

Critical t (16 df) = 2.119905

|                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| M0 CF and M0 RE<br>(6 > 4.181107)     | significant<br>P = 0.0078     |
| M0 CF and M0 MAX<br>(13.2 > 4.181107) | significant<br>P < 0.0001     |
| M0 CF and M0 BIS<br>(10.8 > 4.181107) | significant<br>P < 0.0001     |
| M0 RE and M0 MAX<br>(7.2 > 4.181107)  | significant<br>P = 0.0022     |
| M0 RE and M0 BIS<br>(4.8 > 4.181107)  | significant<br>P = 0.027      |
| M0 MAX and M0 BIS<br>(2.4 > 4.181107) | not significant<br>P = 0.2413 |

## 2.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 4

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันและอุณหภูมิเดียวกัน ในแต่ละช่วงเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Friedman โดยอาศัยโปรแกรม StatsDirect รุ่น 2.7.2

### ผลการทดสอบ

#### 2.2.1 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting cement ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

##### Friedman test

Variables: M0 CF, M1 CF 4C, M3 CF 4C, M6 CF 4C

Mean rank: 4, 2.4, 2.6, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 13.56

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 37.666667

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|  |                              |
|--|------------------------------|
| M0 CF vs. M1 CF 4C<br>( 8  > 3.081307)     | significant<br>P = 0.0001    |
| M0 CF vs. M3 CF 4C<br>( 7  > 3.081307)     | significant<br>P = 0.0003    |
| M0 CF vs. M6 CF 4C<br>( 15  > 3.081307)    | significant<br>P < 0.0001    |
| M1 CF 4C vs. M3 CF 4C<br>( -1  > 3.081307) | not significant<br>P = 0.493 |
| M1 CF 4C vs. M6 CF 4C<br>( 7  > 3.081307)  | significant<br>P = 0.0003    |
| M3 CF 4C vs. M6 CF 4C<br>( 8  > 3.081307)  | significant<br>P = 0.0001    |

2.2.2 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting cement ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 CF, M1 CF 40C, M3 CF 40C, M6 CF 40C

Mean rank: 4, 2.4, 2.6, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 13.56

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 37.666667

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|  |                              |
|--|------------------------------|
| M0 CF vs. M1 CF 40C<br>( 8  > 3.081307)      | significant<br>P = 0.0001    |
| M0 CF vs. M3 CF 40C<br>( 7  > 3.081307)      | significant<br>P = 0.0003    |
| M0 CF vs. M6 CF 40C<br>( 15  > 3.081307)     | significant<br>P < 0.0001    |
| M1 CF 40C vs. M3 CF 40C<br>( -1  > 3.081307) | not significant<br>P = 0.493 |
| M1 CF 40C vs. M6 CF 40C<br>( 7  > 3.081307)  | significant<br>P = 0.0003    |
| M3 CF 40C vs. M6 CF 40C<br>( 8  > 3.081307)  | significant<br>P = 0.0001    |

2.2.3 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 RE, M1 RE 4C, M3 RE 4C, M6 RE 4C

Mean rank: 3, 3, 2.8, 1.2

Treatment average sum of squares of ranks = 150  
 Number of blocks = 5  
 T1 (chi-square) = 6.84  
 df = 3

After Iman & Davenport (1980):  
 T2 (F) = 3.352941  
 P = 0.0554

2.2.4 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 RE, M1 RE 40C, M3 RE 40C, M6 RE 40C

Mean rank: 3.2, 3.2, 2.6, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150  
 Number of blocks = 5  
 T1 (chi-square) = 9.72  
 df = 3

After Iman & Davenport (1980):  
 T2 (F) = 7.363636  
 P = 0.0047

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)  
 Critical t (12 df) = 2.178813

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| M0 RE vs. M1 RE 40C<br>( 0  > 5.900253)      | not significant<br>P > 0.9999 |
| M0 RE vs. M3 RE 40C<br>( 3  > 5.900253)      | not significant<br>P = 0.2896 |
| M0 RE vs. M6 RE 40C<br>( 11  > 5.900253)     | significant<br>P = 0.0016     |
| M1 RE 40C vs. M3 RE 40C<br>( 3  > 5.900253)  | not significant<br>P = 0.2896 |
| M1 RE 40C vs. M6 RE 40C<br>( 11  > 5.900253) | significant<br>P = 0.0016     |
| M3 RE 40C vs. M6 RE 40C<br>( 8  > 5.900253)  | significant<br>P = 0.012      |

2.2.5 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem Elite ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 MAX, M1 MAX 4C, M3 MAX 4C, M6 MAX 4C

Mean rank: 3.4, 2.8, 2.2, 1.6

Treatment average sum of squares of ranks = 150  
 Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 5.4  
df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 2.25

P = 0.1349

2.2.6 เรซินซีเมนต์ชนิด Maxcem Elite ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 MAX, M1 MAX 40C, M3 MAX 40C, M6 MAX 40C

Mean rank: 3.8, 3.2, 2, 1

Treatment average sum of squares of ranks = 150

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 14.04

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

T2 (F) = 58.5

P < 0.0001

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical t (12 df) = 2.178813

|  |                           |
|--|---------------------------|
| M0 MAX vs. M1 MAX 40C<br>( 3  > 2.515876)      | significant<br>P = 0.0233 |
| M0 MAX vs. M3 MAX 40C<br>( 9  > 2.515876)      | significant<br>P < 0.0001 |
| M0 MAX vs. M6 MAX 40C<br>( 14  > 2.515876)     | significant<br>P < 0.0001 |
| M1 MAX 40C vs. M3 MAX 40C<br>( 6  > 2.515876)  | significant<br>P = 0.0002 |
| M1 MAX 40C vs. M6 MAX 40C<br>( 11  > 2.515876) | significant<br>P < 0.0001 |
| M3 MAX 40C vs. M6 MAX 40C<br>( 5  > 2.515876)  | significant<br>P = 0.001  |

2.2.7 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 BIS, M1 BIS 4C, M3 BIS 4C, M6 BIS 4C

Mean rank: 4, 2.6, 1.9, 1.5

Treatment average sum of squares of ranks = 149.5

Number of blocks = 5

T1 (chi-square) = 11.081633

df = 3

After Iman & Davenport (1980):

$T_2(F) = 11.3125$

$P = 0.0008$

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical  $t(12 \text{ df}) = 2.178813$

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| M0 BIS vs. M1 BIS 4C<br>( 7  > 5.031753)      | significant<br>$P = 0.0104$     |
| M0 BIS vs. M3 BIS 4C<br>( 10.5  > 5.031753)   | significant<br>$P = 0.0007$     |
| M0 BIS vs. M6 BIS 4C<br>( 12.5  > 5.031753)   | significant<br>$P = 0.0002$     |
| M1 BIS 4C vs. M3 BIS 4C<br>( 3.5  > 5.031753) | not significant<br>$P = 0.1555$ |
| M1 BIS 4C vs. M6 BIS 4C<br>( 5.5  > 5.031753) | significant<br>$P = 0.0347$     |
| M3 BIS 4C vs. M6 BIS 4C<br>( 2  > 5.031753)   | not significant<br>$P = 0.4035$ |

2.2.8 เเรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Friedman test

Variables: M0 BIS, M1 BIS 40C, M3 BIS 40C, M6 BIS 40C

Mean rank: 4, 2.4, 1.9, 1.7

Treatment average sum of squares of ranks = 148

Number of blocks = 5

$T_1(\text{chi-square}) = 10.630435$

$df = 3$

After Iman & Davenport (1980):

$T_2(F) = 9.731343$

$P = 0.0016$

At least one of your sample populations tends to yield larger observations than at least one other sample population.

Friedman: all pairwise comparisons (Conover)

Critical  $t(12 \text{ df}) = 2.178813$

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| M0 BIS vs. M1 BIS 40C<br>( 8  > 5.148334)       | significant<br>$P = 0.0054$     |
| M0 BIS vs. M3 BIS 40C<br>( 10.5  > 5.148334)    | significant<br>$P = 0.0008$     |
| M0 BIS vs. M6 BIS 40C<br>( 11.5  > 5.148334)    | significant<br>$P = 0.0004$     |
| M1 BIS 40C vs. M3 BIS 40C<br>( 2.5  > 5.148334) | not significant<br>$P = 0.3109$ |
| M1 BIS 40C vs. M6 BIS 40C<br>( 3.5  > 5.148334) | not significant<br>$P = 0.1643$ |
| M3 BIS 40C vs. M6 BIS 40C<br>( 1  > 5.148334)   | not significant<br>$P = 0.6796$ |

### 2.3 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อที่ 6

Ho : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ha : ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ Mann-Whitney U test โดยอาศัยโปรแกรม SPSS รุ่น 17

#### ผลการทดสอบ

2.3.1 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (1 month)

| Ranks             |    |           |              |
|-------------------|----|-----------|--------------|
| temp              | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH 4 degree | 5  | 8.00      | 40.00        |
| 40 degree         | 5  | 3.00      | 15.00        |
| Total             | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | STRENGTH          |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.2 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (3 months)

| Ranks             |    |           |              |
|-------------------|----|-----------|--------------|
| temp              | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH 4 degree | 5  | 8.00      | 40.00        |
| 40 degree         | 5  | 3.00      | 15.00        |
| Total             | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | STRENGTH          |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.3 เรซินซีเมนต์ชนิด Clearfil SA luting ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิงที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Clearfil SA luting (6 months)

| Ranks             |    |           |              |
|-------------------|----|-----------|--------------|
| temp              | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH 4 degree | 5  | 7.80      | 39.00        |
| 40 degree         | 5  | 3.20      | 16.00        |
| Total             | 10 |           |              |



**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | 1.000             |
| Wilcoxon W                     | 16.000            |
| Z                              | -2.402            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .016              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .016 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.4 เชนซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของรีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

**Mann-Whitney Test : RelyX U100 (1 month)**

**Ranks**

| temp              | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|-------------------|----|-----------|--------------|
| STRENGTH 4 degree | 5  | 5.40      | 27.00        |
| 40 degree         | 5  | 5.60      | 28.00        |
| Total             | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | STRENGTH           |
|--------------------------------|--------------------|
| Mann-Whitney U                 | 12.000             |
| Wilcoxon W                     | 27.000             |
| Z                              | -.104              |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .917               |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | 1.000 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.5 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของวีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : RelyX U100 (3 month)

| Ranks    |           |    |           |              |
|----------|-----------|----|-----------|--------------|
| temp     |           | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5  | 6.00      | 30.00        |
|          | 40 degree | 5  | 5.00      | 25.00        |
|          | Total     | 10 |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | STRENGTH          |
| Mann-Whitney U                 | 10.000            |
| Wilcoxon W                     | 25.000            |
| Z                              | -.522             |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .602              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .690 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.6 เรซินซีเมนต์ชนิด RelyX U100 ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดติดของวีไลเอ็กซ์ยูร้อยที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### Mann-Whitney Test : RelyX U100 (6 month)

| Ranks    |           |    |           |              |
|----------|-----------|----|-----------|--------------|
| temp     |           | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5  | 7.80      | 39.00        |
|          | 40 degree | 5  | 3.20      | 16.00        |
|          | Total     | 10 |           |              |

Test Statistics<sup>b</sup>

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | 1.000             |
| Wilcoxon W                     | 16.000            |
| Z                              | -2.402            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .016              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .016 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.7 เวย์ซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของแม็กซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Maxcem (1 month)

|          |           | Ranks |           |              |
|----------|-----------|-------|-----------|--------------|
| temp     |           | N     | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5     | 6.20      | 31.00        |
|          | 40 degree | 5     | 4.80      | 24.00        |
|          | Total     | 10    |           |              |

#### Test Statistics<sup>b</sup>

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | 9.000             |
| Wilcoxon W                     | 24.000            |
| Z                              | -.731             |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .465              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .548 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.8 เราชินซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของแม็กซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Maxcem (3 months)

|          |           | Ranks |           |              |
|----------|-----------|-------|-----------|--------------|
|          | temp      | N     | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5     | 8.00      | 40.00        |
|          | 40 degree | 5     | 3.00      | 15.00        |
|          | Total     | 10    |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | STRENGTH          |
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.611            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .009              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.9 เราชินซีเมนต์ชนิด Maxcem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของแม็กซ์เซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### Mann-Whitney Test : Maxcem (6 months)

|          |           | Ranks |           |              |
|----------|-----------|-------|-----------|--------------|
|          | temp      | N     | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5     | 8.00      | 40.00        |
|          | 40 degree | 5     | 3.00      | 15.00        |
|          | Total     | 10    |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | .000              |
| Wilcoxon W                     | 15.000            |
| Z                              | -2.785            |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .005              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .008 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.10 เเรซิ่นซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

#### Mann-Whitney Test : BisCem (1 month)

**Ranks**

| temp              | N  | Mean Rank | Sum of Ranks |
|-------------------|----|-----------|--------------|
| STRENGTH 4 degree | 5  | 6.00      | 30.00        |
| 40 degree         | 5  | 5.00      | 25.00        |
| Total             | 10 |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | 10.000            |
| Wilcoxon W                     | 25.000            |
| Z                              | -.524             |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .600              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .690 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.11 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

#### Mann-Whitney Test : BisCem (3 months)

|          |           | Ranks |           |              |
|----------|-----------|-------|-----------|--------------|
| temp     |           | N     | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5     | 5.80      | 29.00        |
|          | 40 degree | 5     | 5.20      | 26.00        |
|          | Total     | 10    |           |              |

| Test Statistics <sup>b</sup>   |                   |
|--------------------------------|-------------------|
|                                | STRENGTH          |
| Mann-Whitney U                 | 11.000            |
| Wilcoxon W                     | 26.000            |
| Z                              | -.334             |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .738              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .841 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: temp

2.3.12 เรซินซีเมนต์ชนิด BisCem ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์แมนวิทนี่-ยูเทส ของข้อมูลค่ากำลังแรงยึดดึงของบิสเซมที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

#### Mann-Whitney Test : BisCem (6 months)

|          |           | Ranks |           |              |
|----------|-----------|-------|-----------|--------------|
| temp     |           | N     | Mean Rank | Sum of Ranks |
| STRENGTH | 4 degree  | 5     | 6.00      | 30.00        |
|          | 40 degree | 5     | 5.00      | 25.00        |
|          | Total     | 10    |           |              |

**Test Statistics<sup>b</sup>**

|                                | STRENGTH          |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U                 | 10.000            |
| Wilcoxon W                     | 25.000            |
| Z                              | -.643             |
| Asymp. Sig. (2-tailed)         | .521              |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .690 <sup>a</sup> |

a. Not corrected for ties.

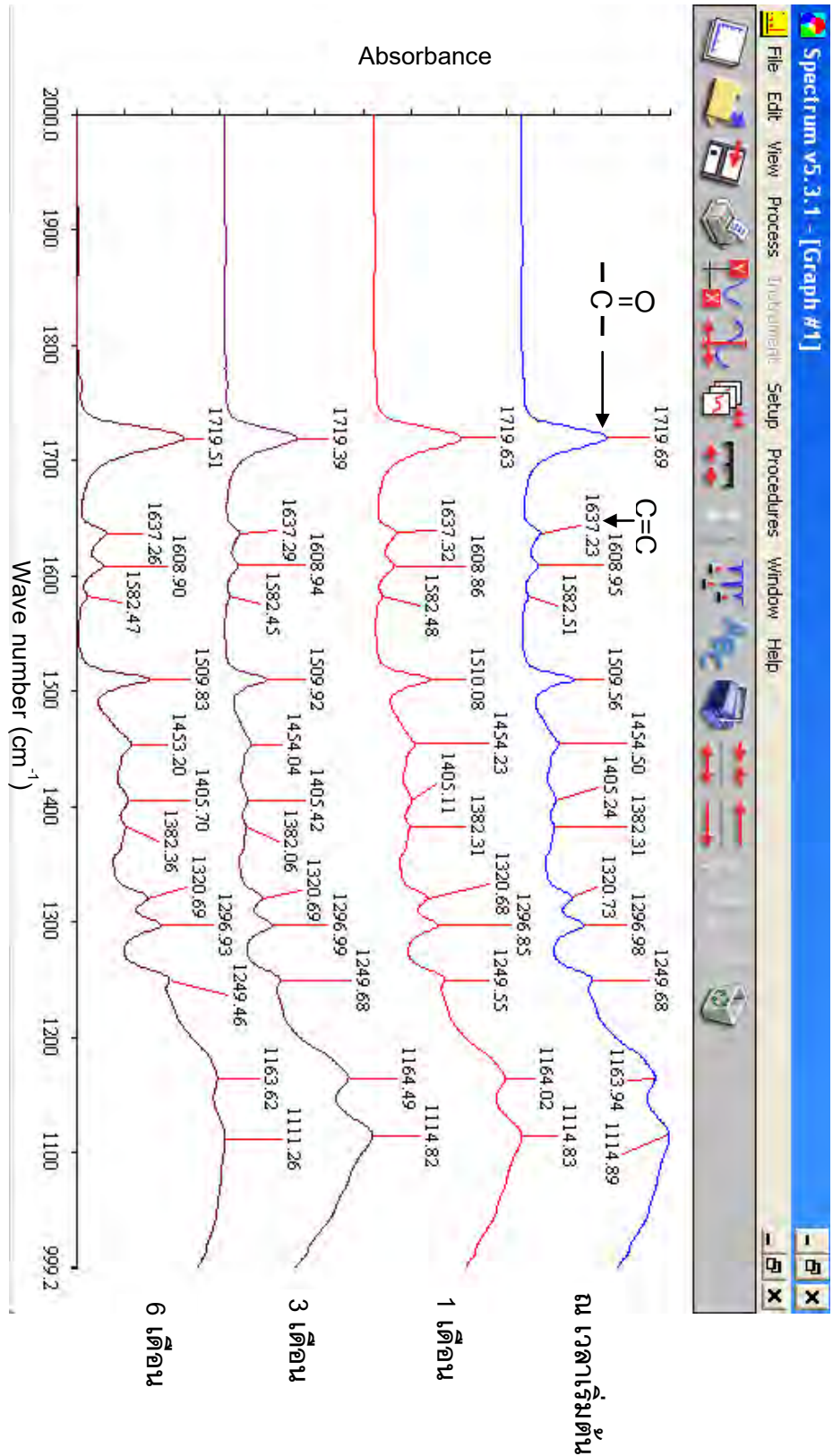
b. Grouping Variable: temp

ภาคผนวก จ



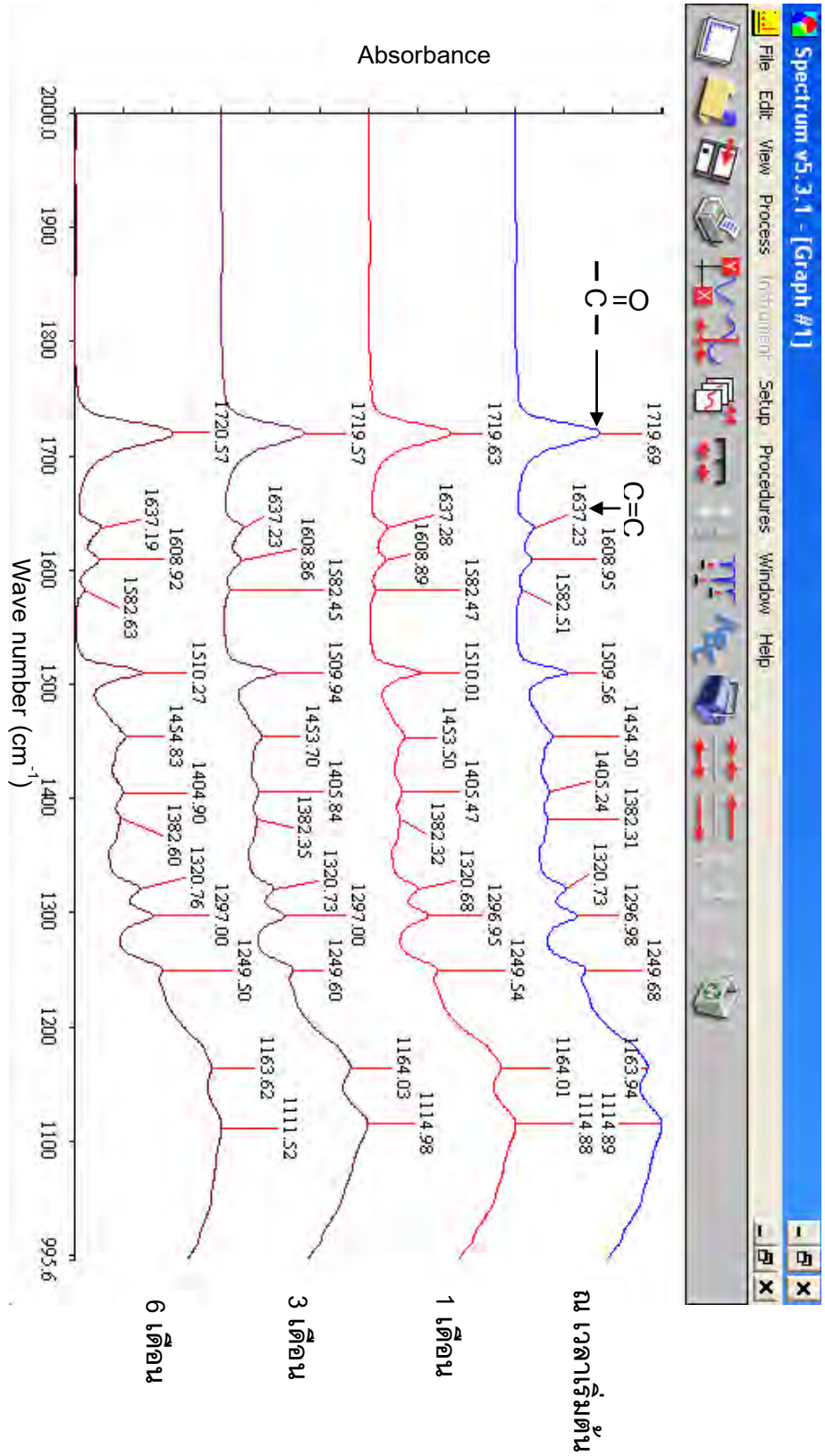
รายงานผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด จากการทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิง ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 28



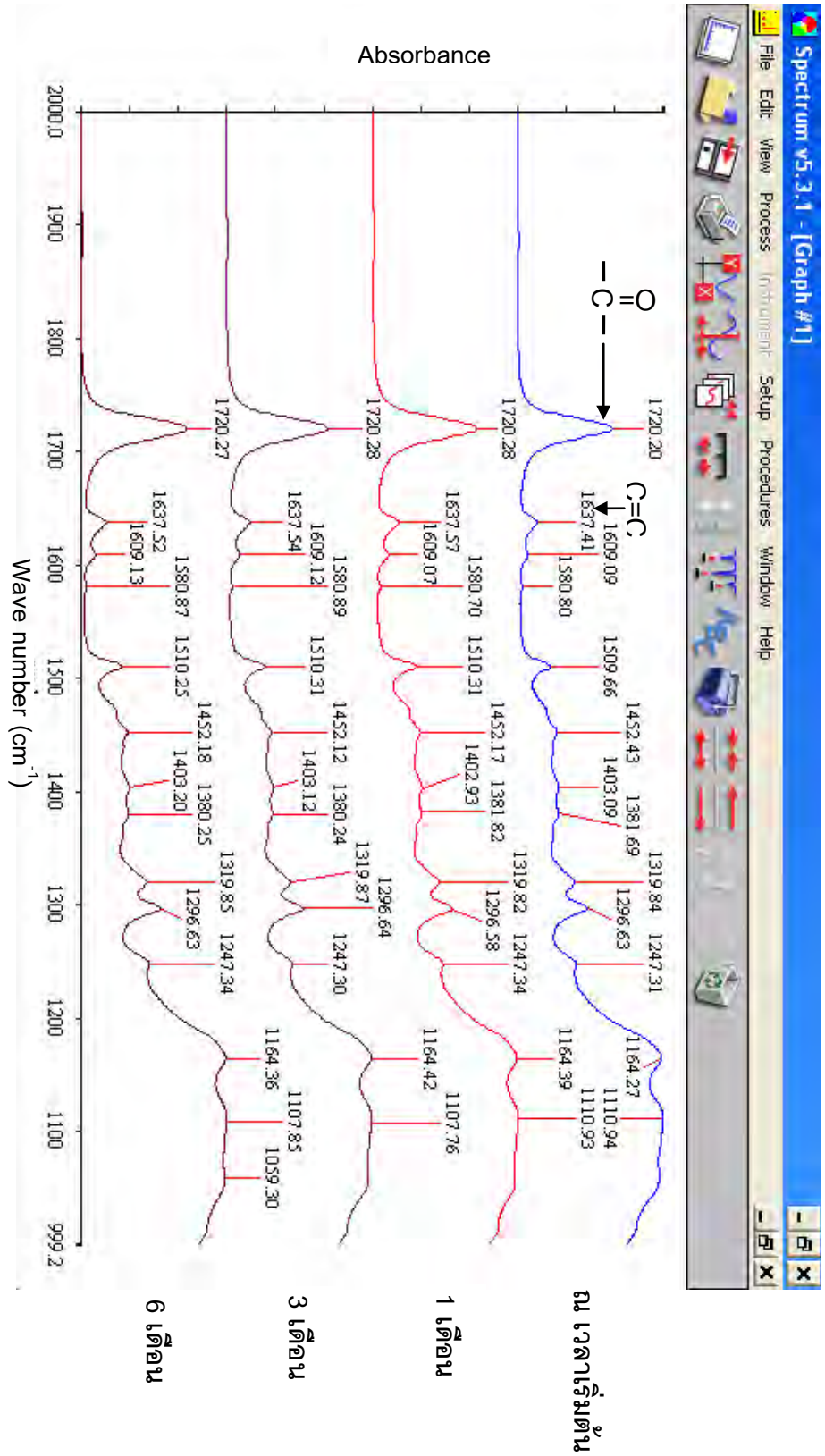
ภาพที่ 28 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอส เอลูตทิง ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

2. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอส  
 เอลูตทิง ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่  
 ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 29



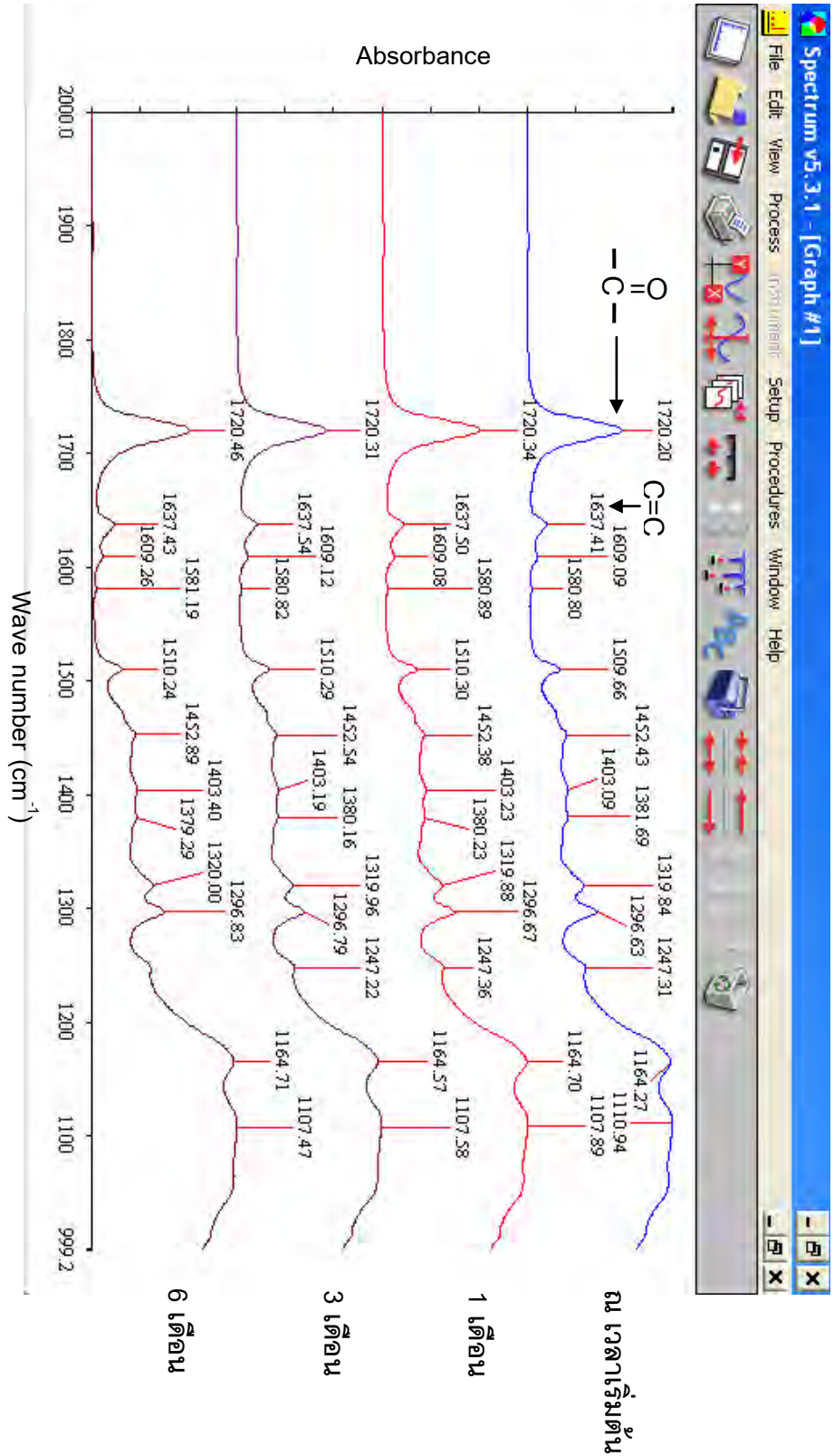
ภาพที่ 29 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดเคลียร์ฟิวเอสเอลูตทิง  
 ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

3. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์อ้อย ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 30



ภาพที่ 30 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์อ้อย ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

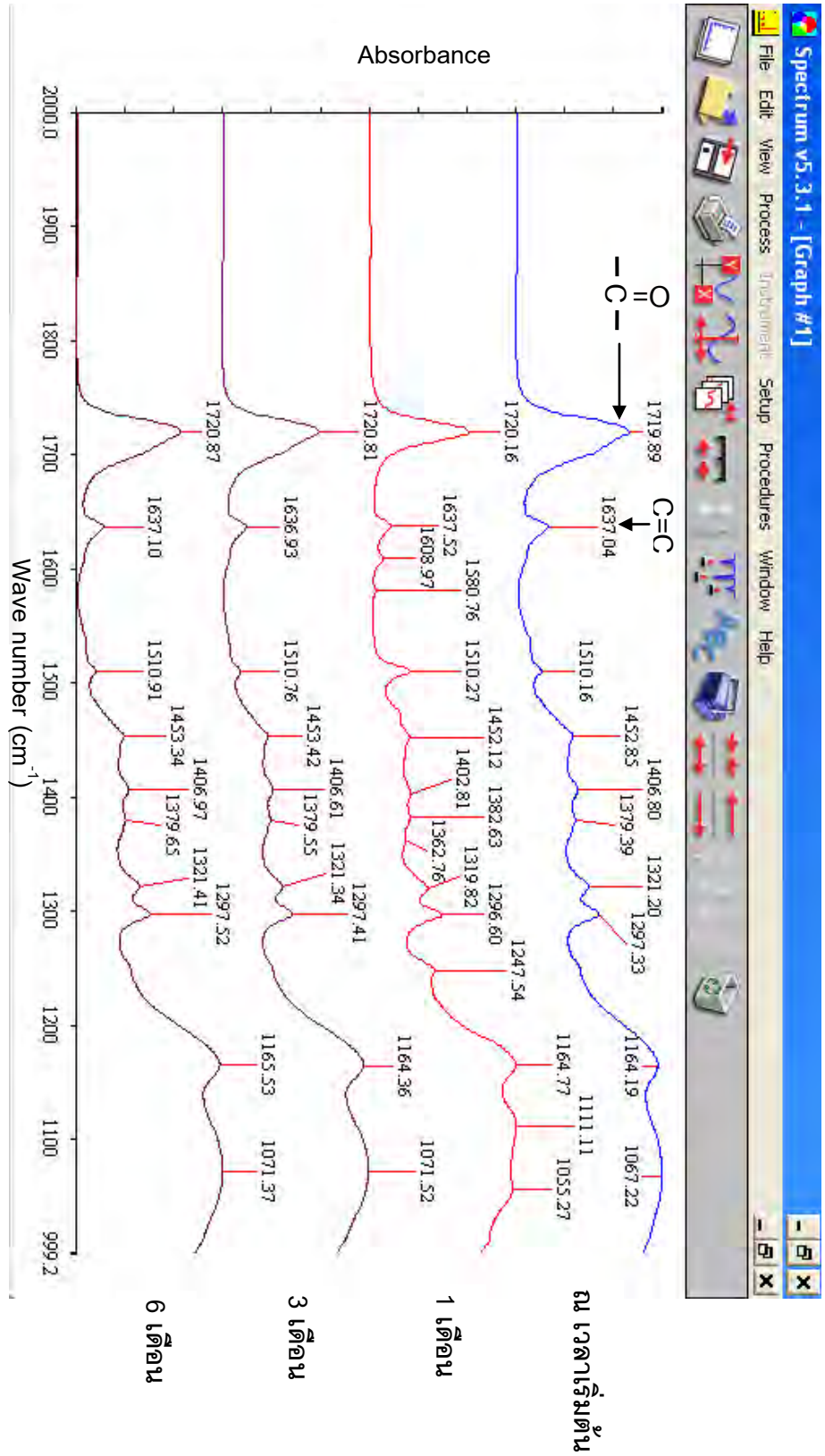
4. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์ออย ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 31



ภาพที่ 31 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอ็กซ์ยูร์ออย

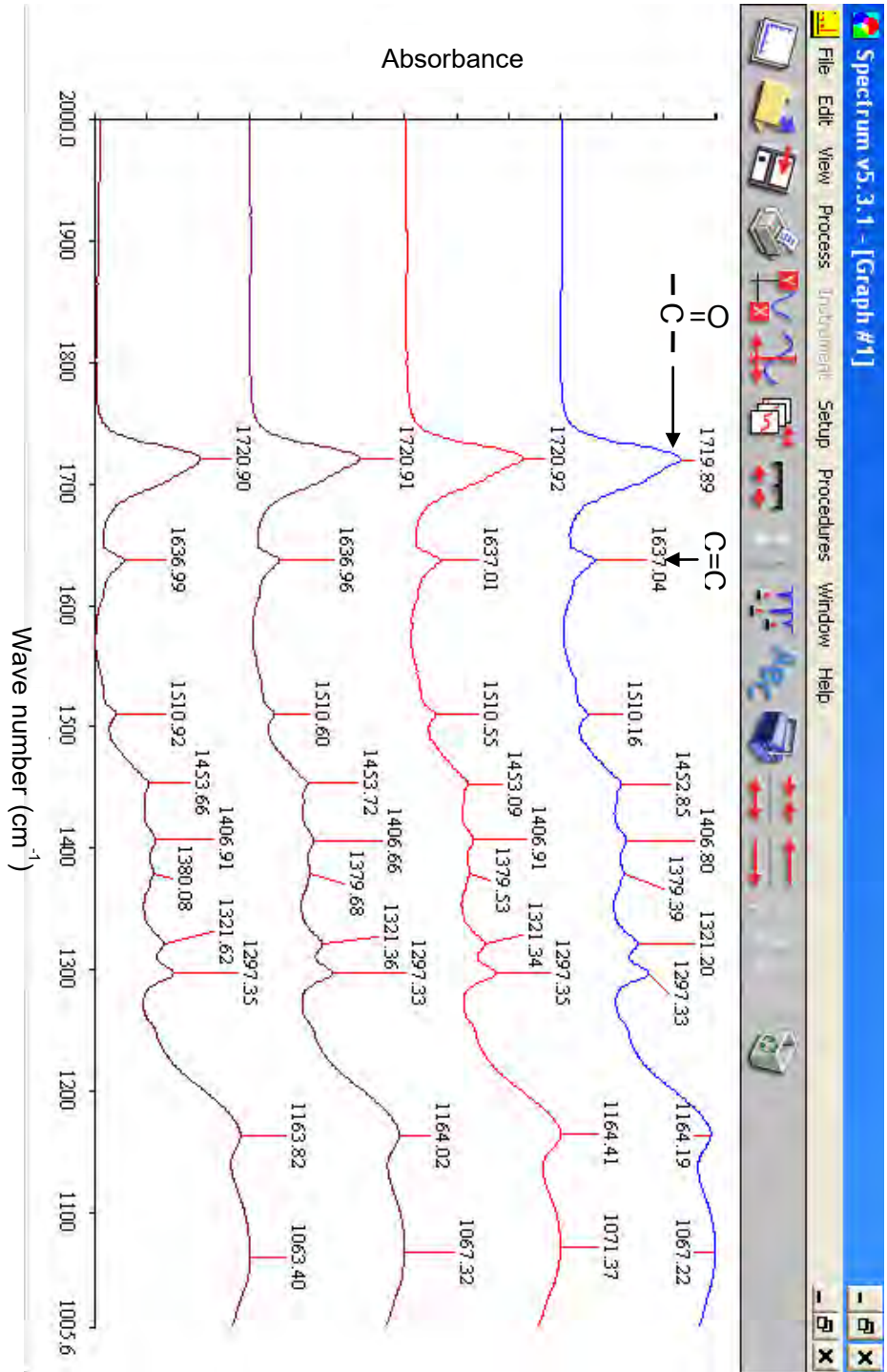
ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

5. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 32



ภาพที่ 32 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแม็กซ์เซมอีไลท์ ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

6. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแมกซ์เซมอิลท์ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 33

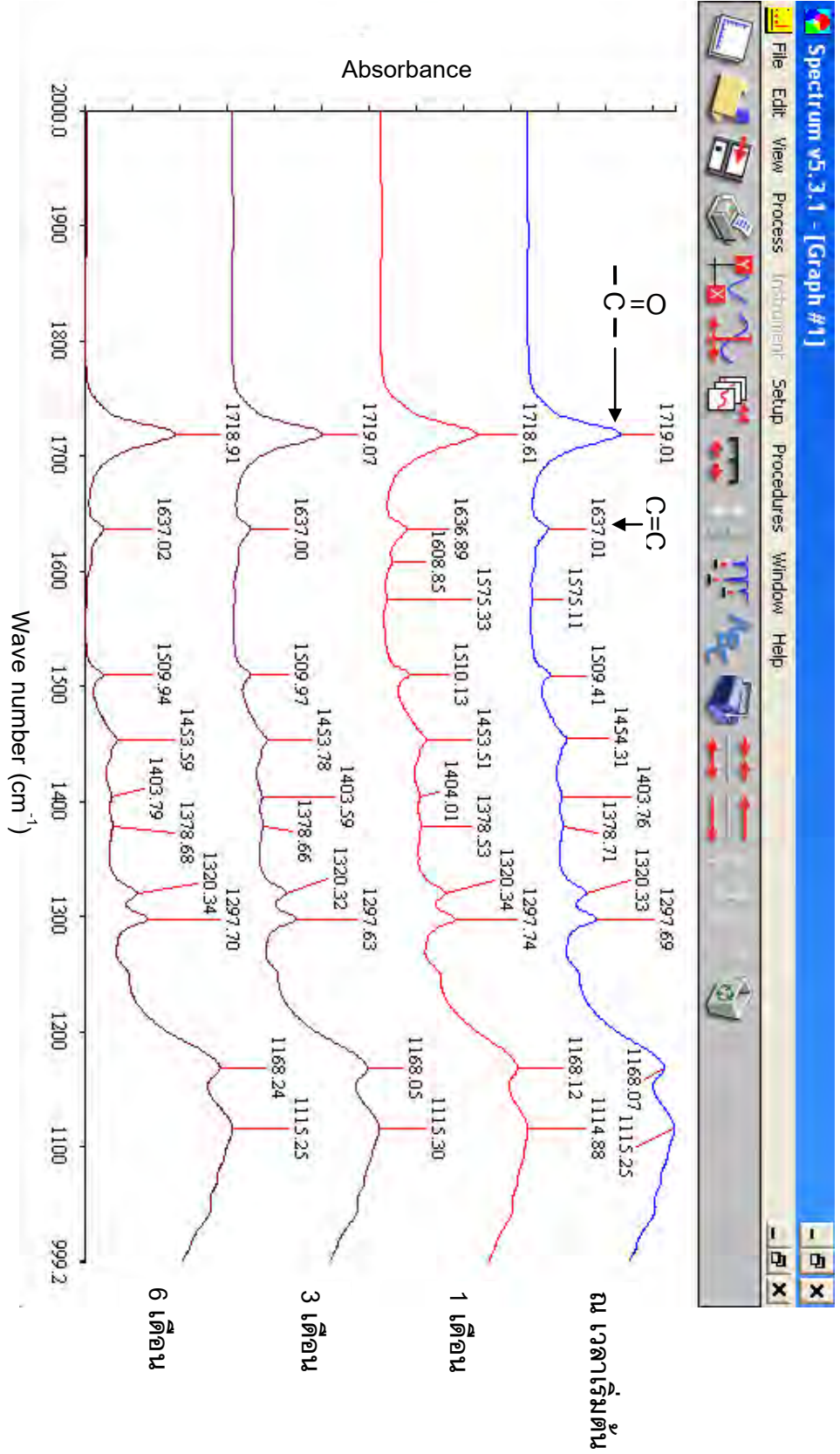


ภาพที่ 33 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดแมกซ์เซมอิลท์

ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 เดือน

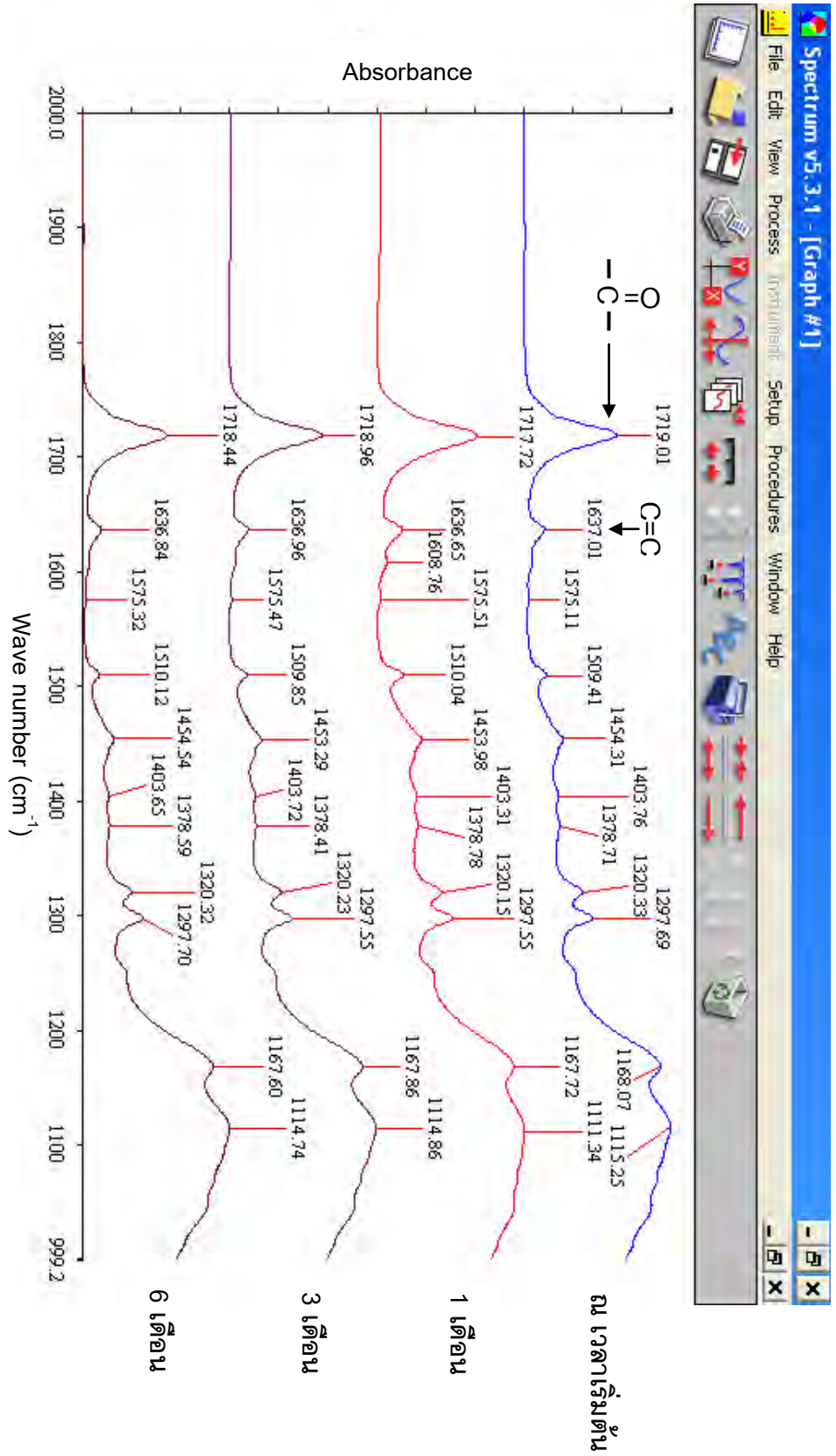
ณ เวลาเริ่มต้น  
1 เดือน  
3 เดือน  
6 เดือน

7. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 34



ภาพที่ 34 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน 3 เดือน และ 6 เดือน

8. ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 35



ภาพที่ 35 ผลสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดของเรซินซีเมนต์ชนิดบิสเซม  
ณ เวลาเริ่มต้น (baseline) และ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน 3 เดือน และ 6 เดือน



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกาญจนา คັນสนียวรรณ์ เกิดวันที่ 21 ตุลาคม 2521 ณ กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2544 และปริญญาตรีสาขาวิทยาศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2549 รับราชการในตำแหน่งหัวหน้าฝ่ายทันตสาธารณสุข โรงพยาบาลพนา อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2551 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ได้แก่ หัวข้อเรื่อง ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บที่มีต่อค่าการกำลังแรงยึดแบบดึงของเรซินซีเมนต์ (Effects of storage temperature and duration on Tensile Bond Strength of Resin Cements) ในรายงานการประชุมวิชาการ (Proceedings) ของการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 23