

ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานที่แตกต่างกัน
ต่อความหนาของเรซินซีเมนต์

นางสาวนภัสนันท์ พลับนิศย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
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 Different Static Load and Duration
of Film Thickness of Resin Cements

Miss Napatsanan Plubnit

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานที่แตกต่าง
	ต่อความหนาของเรซินซีเมนต์
โดย	นางสาวนภัสนันท์ พลับนิศย์
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ปรารมภ์ ซาลิมิ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.อรพินท์ แก้วปลั่ง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปรารมภ์ ซาลิมิ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วิวิธพล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง รำไพ โรจนกิจ)

นักสันทน์ พลับนิตย์: ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานที่แตกต่างกันต่อความหนาของเรซินซีเมนต์. (EFFECT OF DIFFERENT STATIC LOAD AND DURATION OF FILM THICKNESS OF RESIN CEMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทญ.ดร.ปรารมภ์ ชาลิมี่, 60 หน้า.

วัตถุประสงค์ ศึกษาผลของแรงและระยะเวลาในการกดครอบฟันขณะยึดต่อความหนาของเรซินซีเมนต์สามชนิดที่อาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการสบฟันหลังยึดขึ้นงาน

วิธีวิจัย ทำการทดลองโดยการวัดความหนาของซีเมนต์ด้วยการจำลองการยึด โดยใช้แผ่นอะคริลิก สีดำที่บิขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร 2 แผ่น ทดสอบกับเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ รีไลเอกซ์ยู100 แม็กเซม และพานาเวียเอฟ 2.0 เมื่อผสมซีเมนต์และยึดประกบแผ่นอะคริลิก แล้วทำการกดขึ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากล โดยซีเมนต์แต่ละชนิดจะถูกทำการทดสอบด้วยแรง 100 200 และ 300 นิวตัน และระยะเวลากด 1 3 และ 5 นาที ตามลำดับ เก็บชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ทำการวัดโดยเปรียบเทียบความหนาของชิ้นงานก่อนและหลังการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ด้วยเครื่องเวอร์เนียแคลิเปอร์ชนิดดิจิตอลและคำนวณผลต่างที่ได้เป็นค่าความหนาของซีเมนต์ บันทึกผลเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยทิวคีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแรงและระยะเวลาในการกดขึ้นงานในระดับต่างๆ กันพบว่าความหนาของซีเมนต์พานาเวียเอฟ 2.0 มีค่ามากกว่าชนิดรีไลเอกซ์ยู100 และแม็กเซม อย่างมีนัยสำคัญ และในพานาเวียเอฟ 2.0 พบว่าเมื่อกดด้วยแรงที่มากขึ้นจะทำให้ความหนาของซีเมนต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่หากใช้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะได้ค่าความหนาของซีเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนชนิดแม็กเซม และรีไลเอกซ์ยู100 เมื่อมีการเปลี่ยนทั้งแรงและระยะเวลาที่มากขึ้นจะทำให้ความหนาของซีเมนต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผล ในซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟ 2.0 พบว่าแรงที่กดมีผลต่อความหนาของซีเมนต์ ส่วนซีเมนต์ชนิดแม็กเซม และรีไลเอกซ์ยู 100 พบว่าทั้งแรงและเวลามีผลต่อความหนาของซีเมนต์ จากผลการทดลองทันตแพทย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดความคลาดเคลื่อนของครอบฟันหลังยึดด้วยเรซินซีเมนต์

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

สาขาวิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

##5376115832: MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS: RESIN CEMENT / STATIC LOAD AND DURATION OF THE SPECIMENS
/ FILM THICKNESS

NAPATSANAN PLUBNIT: EFFECT OF DIFFERENT STATIC LOAD AND DURATION
OF FILM THICKNESS OF RESIN CEMENTS. THESIS ADVISOR:

ASSOC.PROF.PRAROM SALIMEE, Ph.D., 60 pp.

The objective of the study was to evaluate the effect of load and duration of film thickness of resin cements . The experiment was tested by cementing 2 solid black acrylic slabs (15 m.m. long 30 m.m. wide and 2 m.m. thick) using 3 resin cements, RelyX U100 Maxcem and Panavia F 2.0. Immediately after cementing, different load and time was applied on each specimen with a universal testing machine. In each cement, the applied loads were 100, 200 and 300 N and times were 1, 3 and 5 minutes respectively. The specimens were stored at room temperature for 24 hours, then measuring the thickness of the cement with a digital vernier caliper. The cement thickness was calculated by the difference of measuring before and after cementation. The data were analyzed using the one – way ANOVA and compared between groups with post hoc Tukey’s analysis at 95% confidential interval. The results showed that when comparing each load and time, the film thickness of Panavia F 2.0 were significantly higher than RelyX U100 and Maxcem. In Panavia F 2.0, increasing load resulted in significantly decreasing cement thickness, while increasing time did not significantly decrease cement thickness. In RelyX U100 and Maxcem, the film thickness was significantly decreased with increasing in both load and time. Conclusion: The cement thickness Panavia F2.0 was affected by load but not duration while those of RelyX U100 and Maxcem was affected by both load and duration.

Department :Prosthodontics.....

Student’s Signature:

Field of Student :Prosthodontics....

Advisor’s Signature:

Academic Year : ... 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากปราศจากการดูแลเอาใจใส่ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผศ.ทศ.ดร.ปรารมภ์ ซาลิมิ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้เขียน ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเขียนวิทยานิพนธ์ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ที่คำปรึกษาวิธีการใช้วัสดุ อุปกรณ์ เพื่อใช้ทดลองทำงานวิจัย และบัณฑิตวิทยาลัยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีในทุก ๆ ด้าน

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ทุกคนในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ณ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 รูปแบบการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เรซินซีเมนต์.....	6
2.2 การจำแนกตามองค์ประกอบพื้นฐาน.....	7
2.3 การจำแนกตามการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน.....	8
2.4 การจำแนกตามชนิดของวัสดุอัดแทรก.....	10
2.5 การจำแนกตามลักษณะการเตรียมผิวฟัน.....	10
2.6 การยึดติดทางเคมีของซีเมนต์.....	12
2.7 การยึดติดทางกลของซีเมนต์.....	13
2.8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของซีเมนต์.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 ประชากรตัวอย่าง.....	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	20

	หน้า
3.3 วิธีการวิจัย.....	24
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	26
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	28
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง.....	38
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
รายการอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	50
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการใช้ซีเมนต์เรซิน รีไลเอ็กซ์ยู 100.....	22
ตารางที่ 2 แสดงขั้นตอนการใช้ซีเมนต์เรซิน แม็กเซม และพานาเวียเอฟ 2.0.....	23
ตารางที่ 3 แสดงกลุ่มทดลองทั้ง 27 กลุ่ม.....	27
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของรีไลเอ็กซ์ยู 100.....	28
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของแม็กเซม.....	29
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0.....	29
ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาต่อความหนาของรีไลเอ็กซ์ยู 100.....	31
ตารางที่ 8 ตารางแบบแทมเฮนในส่วนของแรงทดสอบต่อความหนาของรีไลเอ็กซ์ยู 100.....	32
ตารางที่ 9 ตารางแบบแทมเฮนในส่วนของเวลาทดสอบต่อความหนาของรีไลเอ็กซ์ยู 100.....	33
ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาต่อความหนาของแม็กเซม.....	32
ตารางที่ 11 แสดงกลุ่มของแรงและระยะเวลาที่ทำให้ความหนาแม็กเซมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ.	34
ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาต่อความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0... ..	36
ตารางที่ 13 ตารางแบบแทมเฮนในส่วนของแรงทดสอบต่อความหนาของพานาเวีย 2.0.....	37
ตารางที่ 14 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนารีไลเอ็กซ์ยู 100 เมื่อกดแรง 100 นิวตัน.....	51
ตารางที่ 15 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนารีไลเอ็กซ์ยู 100 เมื่อกดแรง 200 นิวตัน.....	52
ตารางที่ 16 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนารีไลเอ็กซ์ยู 100 เมื่อกดแรง 300 นิวตัน.....	53
ตารางที่ 17 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาแม็กเซมเมื่อกดแรง 100 นิวตัน.....	54
ตารางที่ 18 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาแม็กเซมเมื่อกดแรง 200 นิวตัน.....	55
ตารางที่ 19 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาแม็กเซมเมื่อกดแรง 300 นิวตัน.....	56
ตารางที่ 20 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาพานาเวียเอฟ 2.0 เมื่อกดแรง 100 นิวตัน.....	57
ตารางที่ 21 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาพานาเวียเอฟ 2.0 เมื่อกดแรง 200 นิวตัน.....	58
ตารางที่ 22 แสดงการกระจายปกติของค่าความหนาพานาเวียเอฟ 2.0 เมื่อกดแรง 300 นิวตัน.....	59

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ภาพรีไลเอกซ์ยู 100	22
ภาพที่ 2 ภาพแม่กเซม.....	22
ภาพที่ 3 ภาพพานาเวียเอฟ 20.....	22
ภาพที่ 4 ขั้นตอนการวิจัย.....	25
ภาพที่ 5 ขั้นตอนการกคชิ้นงาน.....	25
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการวัดด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์.....	26
ภาพที่ 7 แสดงผลการทดลองเป็นแผนภูมิแท่ง.....	30
ภาพที่ 8 แสดงผลการทดลองเป็นรูปแบบกราฟ.....	30
ภาพที่ 9 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแม่กเซมที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ.....	35

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีเรซินซีเมนต์หลายชนิดในท้องตลาด และมีแนวโน้มใช้ยึดชิ้นงานบูรณะชนิดติดแน่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากได้พัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆให้เหมาะสมกับการทำงานทันตกรรม โดยพบว่า เรซินซีเมนต์มีการละลายน้ำน้อย และความคงทนต่อการสึกกร่อนสูง ทำให้ทนต่อการรั่วซึมที่ขอบครอบฟันได้ดี มีความสามารถในการยึดติดทางเคมีกับโครงสร้างของฟันสูง (bond strength) และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี⁽¹⁾ จากคุณสมบัติเหล่านี้ เรซินซีเมนต์จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางกับงานครอบฟันหรือสะพานฟันชนิดติดแน่น รวมทั้งอินเลย์ ออนเลย์ และวัสดุบูรณะชนิดเรซินบอนด์ (adhesive restoration) แต่ปัญหาที่มักพบในทางคลินิกในการยึดครอบฟันบนฟันหลักด้วยเรซินซีเมนต์มีหลายอย่าง เช่น ยึดครอบฟันไม่ลงตำแหน่งเดิมทำให้เกิดความไม่แนบสนิทหลังจากยึด การสบฟันหลังยึดชิ้นงานมีระดับที่สูงขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดความคลาดเคลื่อนจากการสบฟันหลังยึดชิ้นงาน (seating discrepancy) โดยเฉพาะด้านสบฟัน ซึ่งต้องมีการรอกแก้เสมอ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน และอาจทำให้ชิ้นงานบางเกินหรือมีการทะลุได้ ทำให้อาจต้องแก้ไขทำชิ้นงานใหม่ ซึ่งปัญหาที่พบนี้เกิดได้จากหลายสาเหตุ หนึ่งในนั้นเกิดจากการใช้แรงกดในการยึดครอบฟันไม่เหมาะสมหรือจากระยะเวลาในการกดไม่นานพอหรือทั้งสองสาเหตุร่วมกันก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการสบฟันหลังยึดชิ้นงาน

ดังนั้นการใช้แรงและระยะเวลาในการกดยึดครอบฟันจึงเป็นสิ่งสำคัญในการยึดชิ้นงานบูรณะชนิดติดแน่น งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของแรงกดและระยะเวลาในการกดระหว่างขั้นตอนการยึดด้วยซีเมนต์ต่อความหนาของซีเมนต์ และการศึกษาเรื่องดังกล่าวในเรซินซีเมนต์ยังมีไม่มากนัก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของแรงขนาดต่างๆและระยะเวลาในการกดขณะยึดต่อความหนาของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด คือ วิไลเอกซ์ยู 100 แม็กเซม และ พานาเวียเอฟ 2.0

สมมติฐานการวิจัย

H_0 : ค่าของแรงขนาดต่างๆในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด

ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

H_1 : ค่าของแรงขนาดต่างๆในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด

แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

H_0 : ระยะเวลาต่างๆในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด

ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

H_1 : ระยะเวลาต่างๆในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด

แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

H_0 : ค่าของแรงขนาดต่างๆและระยะเวลาในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของ

เรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

H_1 : ค่าของแรงขนาดต่างๆและระยะเวลาในการกดขณะยึดมีผลต่อค่าความหนาของ

เรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถนำผลการทดลองไปอ้างอิงเพื่อบอกแนวโน้มที่จะเกิดในคลินิกโดยการศึกษาผลของแรงขนาดต่างๆและระยะเวลาในการกดขณะยึดต่อความหนาของเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด คือ วีไลเอกซ์ยู 100 แม็กเซม และ พานาเวียเอฟ 2.0 ทำการทดลองโดยการวัดความหนาของซีเมนต์ด้วยการจำลองการยึด โดยใช้แผ่นอะคริลิกสี่ด้านที่บ ขนาดหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร 2 แผ่น ทดสอบกับเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด เมื่อยึดเรซินซีเมนต์แล้วทำการกดขึ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากลด้วยแรง 100 200 และ 300 นิวตัน และ ระยะเวลากด 1 3 และ 5 นาที

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่สามารถควบคุมปัจจัยบางอย่างให้เหมือนกับสภาวะช่องปากได้ทุกประการ เช่น แรงที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเป็นแรงทิศทางเดียว แต่ในสภาวะช่องปากจริงจะมีแรงหลายทิศทาง
2. ค่าแรงในการกดขึ้นงานเลือกแรง 3 ขนาด ได้แก่ 100 200 และ 300 นิวตัน และระยะเวลาในการกดขึ้นงานขณะยึดมี 3 ระยะเวลา ได้แก่ 1 2 และ 3 นาที ซึ่งในสภาวะเป็นจริงอาจมีขนาดและเวลาในการใช้งานมากกว่านี้
3. ทดสอบโดยใช้เรซินซีเมนต์ 3 ชนิดคือคือ วีไลเอกซ์ยู100 แม็กเซม และ พานาเวียเอฟ 2.0
4. ตัวแปรของการวิจัย ได้แก่
 - ตัวแปรอิสระ (Independent variable)
 - 1.แรงในการกดขึ้นงาน
 - 2.ระยะเวลาในการกดขึ้นงาน
 - 3.ชนิดของเรซินซีเมนต์

- ตัวแปรตาม (Dependent variable)

1. ค่าความหนาของเรซินซีเมนต์

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- ความหนาของซีเมนต์(cement thickness)
- แรงในการกดขึ้นงานระหว่างยึดด้วยซีเมนต์ (Cementation pressure)
- ระยะเวลาในการกดขึ้นงานระหว่างยึดด้วยซีเมนต์ (Duration of cementation pressure)
- ความคลาดเคลื่อนจากการใส่ (seating discrepancy)
- การปรับแก้ครอบฟันด้านบดเคี้ยว(occlusion adjustment)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงค่าแรงในการกดครอบฟันที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความหนาของซีเมนต์ที่เหมาะสม ภายหลังจากการยึดด้วยซีเมนต์แต่ละชนิด
2. ทราบถึงระยะเวลาในการกดครอบฟันที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความหนาของซีเมนต์ที่เหมาะสม ภายหลังจากการยึดด้วยซีเมนต์แต่ละชนิด
3. ทราบว่า เรซินซีเมนต์ในแต่ละชนิดจะต้องกดด้วยแรงและระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความหนาของซีเมนต์ที่เหมาะสม ภายหลังจากการยึดด้วยซีเมนต์
4. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้และประยุกต์ใช้ในทางคลินิก เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการยึดขึ้นงาน(seating discrepancy)

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research)

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเรซินซีเมนต์มีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้นและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางกับงานครอบฟันหรือสะพานฟันชนิดติดแน่น เรซินซีเมนต์โดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลักเหมือนวัสดุอุดคอมโพสิตเรซิน ได้แก่ เรซินแมทริกซ์ (resin matrix) ที่เป็นไดอะครีเลทโมโนเมอร์ (diacrylate-monomer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความหนืดมากจึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพ โดยการเติม ไดเมธาครีเลทโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพื่อลดความหนืด ร่วมกับการเติมสารอัดแทรก (filler) จำพวกซิลิกา (silica) หรืออนุภาคของแก้ว (glass particle) และยึดด้วยสารแมทริกซ์ ออร์แกนโนซีเลน โดยขนาดและปริมาณของสารอัดแทรกที่ผสมอยู่ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด ดังนั้นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดติดของชิ้นงานควรมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้ มีกำลังยึดและความคงทนที่ไม่เกิดการฉีกขาดบริเวณรอยต่อของวัสดุกับซีเมนต์ หรือภายในเนื้อของซีเมนต์ สามารถป้องกันอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันจากสิ่งรบกวนภายนอก ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อภายในช่องปาก สามารถแปะเป็นฟิล์มบาง มีความหนืดที่พอเหมาะการละลายตัวในช่องปากต่ำ มีเวลาผสม (working time) นาน แต่เวลาการก่อตัว (setting time) ที่อุณหภูมิในช่องปากเร็ว วัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์มักเป็นพวกแก้วหรือซิลิกา 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้กำลังแรงอัดสูงขึ้น ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้น สามารถทนทานต่อการสึกกร่อนเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ถ้าวัสดุอัดแทรกมีปริมาณมากจะทำให้ซีเมนต์มีความหนืดสูงการไหลแผ่ลดลงและเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มเรซินซีเมนต์⁽²⁻⁵⁾ (cement thickness)

ในทางทันตกรรมค่าเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ทั่วไปช่วยให้ทันตแพทย์ปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดทั้งเวลาและวัสดุ ค่าเวลาของการก่อตัวสิ้นสุด (Final setting time) ช่วยเป็นแนวทางให้ทราบถึงเวลาที่ควรที่จะปฏิบัติในขั้นต่อไปได้ โดยไม่เสียรูปหรือแตกหัก โดยทั่วไปเวลาการก่อตัวสิ้นสุดที่ก่อตัวในช่องปากอยู่ระหว่าง 3 - 12 นาที และเวลาการก่อตัวของวัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 10 - 30 นาที ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุต่างๆอาจไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานของทันตแพทย์ ดังนั้นต้องควบคุมเวลาการก่อตัวด้วยการเพิ่มตัวเร่งหรือตัวหน่วงปฏิกิริยาซึ่งเป็นหน้าที่ของ

ผู้ผลิตจำหน่าย แต่ถ้าต้องการให้เวลาก่อตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยนอกเหนือจากที่กำหนด เป็นหน้าที่ของทันตแพทย์ช่วยควบคุม เช่น โดยเปลี่ยนอุณหภูมิ ความชื้นและอื่น ๆ เป็นกรณีไป⁽⁶⁾ ดังได้มีการศึกษาในงานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิในช่วงต่างๆ ต่อเวลาก่อตัว (setting time) ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cements) 2 ชนิด พบว่าเมื่อเก็บซีเมนต์ไว้ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าเวลาผสม (working time) และเวลาก่อตัว (setting time)สั้นลง⁽⁷⁾

เรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์มีหลากหลายระบบ แต่ละระบบมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดและบริษัทผู้ผลิต มีข้อเด่นหรือข้อด้อยเหมาะสมกับงานต่างๆกัน⁽⁸⁾ วัสดุอัดแทรกช่วยส่งเสริมทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง และความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นต้น รวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อน⁽⁹⁾(abrasion resistance) ดังเช่นการศึกษาของ Kamada และ yoshida (1998) อธิบายผลของปริมาณวัสดุอัดแทรกในระบบเรซินซีเมนต์ว่า หากระบบเรซินซีเมนต์และสารยึดที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก จะมีคุณสมบัติทางกลต่ำกว่าที่มีวัสดุอัดแทรก โดยเฉพาะเมื่อผ่านวงจรเพิ่มลดอุณหภูมิ⁽¹⁰⁾ (thermocycling)

ปริมาณวัสดุอัดแทรก (filler content) มีผลโดยตรงต่อความหนืด (viscosity) รวมทั้งอัตราการหดตัวหลังเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากขึ้นมีผลทำให้ความหนืดของเรซินซีเมนต์สูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้เรซินซีเมนต์มีการหดตัวน้อยลง และเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดต่ำทำให้ใส่วัสดุบูรณะลงที่ได้ง่ายกว่า⁽⁶⁾ Hahn (2001) แนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูง ยึดชิ้นงาน เพื่อลดความไม่แนบของชิ้นงานจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ เพราะเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงจะหดตัวน้อยกว่าพวกที่มีความหนืดต่ำ⁽¹¹⁾

การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

1. การจำแนกตามองค์ประกอบพื้นฐาน
2. การจำแนกตามการเกิดโพลีเมอไรเซชัน
3. การจำแนกตามชนิดของวัสดุอัดแทรก
4. การจำแนกตามลักษณะการเตรียมผิวฟัน⁽¹²⁾

1. การจำแนกตามองค์ประกอบพื้นฐานได้แก่

1.1 อะคริลิก เรซินซีเมนต์ (acrylic resin cement)

สมัยก่อนในส่วนของเรซินอะคริลิกชนิดดั้งเดิม (conventional acrylic resin) จะไม่มีการเกิดการเชื่อมขวาง (crosslink) ของโพลิเมอร์เข้าด้วยกัน ทำให้ความแข็งแรงและความแข็งผิวต่ำ จึงปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นโดยส่วนประกอบด้วยเมธิลเมทาครีเลต โพลิเมอร์หรือโคโพลิเมอร์ที่มีเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) มีสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) มีวัสดุอัดแทรกและเม็ดสี (pigment) รวมอยู่ด้วย ส่วนเหลวคือเมธิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ (methymethacrylate monomer) โดยมีเอมีน (amine) เป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยโมโนเมอร์ทำให้ส่วนโพลิเมอร์ละลายและอ่อนตัวลงพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) โดยหลังการก่อตัวจะเกิดโพลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีการเชื่อมต่อกับโพลิเมอร์ที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับอะคริลิกเรซินซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม พบว่ามีความแข็งแรงและพลังงานแตกหัก (toughness) สูงกว่า มีการละลายน้ำต่ำกว่า แต่เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับโครงสร้างฟันที่มีความชื้น จึงเกิดรอยซึมเล็กตามขอบซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟันจากการซึมผ่านของแบคทีเรีย⁽¹²⁾

1.2 อะคริลิก เรซินซีเมนต์ ชนิดดัดแปลง (modified acrylic resin cement)

ในปัจจุบันบางบริษัทได้มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์ โดยเติมสารเพิ่มการยึดติดทำให้เกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของฟันและโลหะหล่อผสม เช่น โฟร์เมทาครีเลตโลซีเอทิล-ไตรเมลลิเทต แอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl-trimellitate anhydride) หรือโฟร์เมตา (4-META) เข้าไปในส่วนของเมธิล-เมทาครีเลต โมโนเมอร์ และมีสารช่วยเร่งปฏิกิริยา คือ ไตรเอินบิวทิลบอเรน (tri-n-butyl-borane) หรือทีบีบี (TBB) แต่เนื่องจากอะคริลิกเรซินซีเมนต์ประเภทนี้ มีปริมาณวัสดุอัดแทรกต่ำ ทำให้มีความแข็งแรงปานกลาง เมื่อมีการรับแรงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปได้ เกิดการขยายตัวของวัสดุและรั่วซึมตามขอบ⁽¹²⁾

1.3 ไดเมทาครีเลต ซีเมนต์ (dimethacrylate cement)

ส่วนใหญ่พัฒนาอยู่ในรูปของบิส-จีเอ็มเอ โดยรวมอะโรมาติกไดเมทาครีเลตและโมโนเมอร์ มีส่วนประกอบของเซรามิกเป็นวัสดุอัดแทรกในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบด้วยแก้ว

บอโรซิลิเกต(borosilicate glass) หรือแก้วซิลิกา (silica glass) และมีเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ของเหลวประกอบด้วย บีส-จีเอ็มเอหรืออะโรมาติก ไดเมธาครีเลต ส่วนใหญ่เป็นบิสฟีนอล เอ (bis phenol A) หรือยูรีเทน ไดเมธาครีเลต (urethane dimethacrylate) ได้แก่ อะริฟาติก ยูรีเทน (ariphatic urethane) และไดเมธาครีเลต โมโนเมอร์โดยมีเอมีนเป็นสารเร่งปฏิกิริยา บางชนิดมีการเติมโมโนเมอร์ที่มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มการยึดกับพื้นและโลหะหล่อผสม เช่น ฟอสเฟตหรือคาร์บอกซิล ส่วนวัสดุที่อยู่ในรูปเพสต์ มีส่วนประกอบโดยรวมคล้ายคลึงกับชนิดผงและของเหลวโดยแต่ละเพสต์จะรวมโมโนเมอร์และวัสดุอัดแทรกเข้าไว้ด้วยกันทำให้มีความแข็งแรงที่ดี ด้านทานต่อแรงที่มากระทำต่อวัสดุบูรณะตลอดอายุการใช้งาน⁽¹²⁾

2.การจำแนกตามการเกิดโพลิเมอร์เรซิน

สามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ตามกลไกการเกิดโพลิเมอร์เรซิน ได้ 3 ชนิด ได้แก่

2.1 ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical cured,auto cured,self cured)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอาศัยเพอร์ออกไซด์เป็นตัวตั้งต้นและเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (peroxide initiator and amine accelerator system) เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีช่วงเวลากการเกิดโพลิเมอร์ที่แน่นอน จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ บางผลิตภัณฑ์มีการเติมโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน เพื่อคุณสมบัติการยึดติดกับโครงสร้างของพื้นและโลหะผสมเช่น ฟีนิลพี (phenyl-P) หรือไฟร์เมตา หรือกลุ่มฟอสเฟต โดยเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของไฟร์เมตา ใส่เพื่อส่งเสริมการแทรกซึม (diffusion promoting monomer) และถูกกระตุ้นด้วยไตรเอินบิวทิลบอเรน หรือทีบีพี (TBB) โดยปลายพันธะคู่ (double bond) สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่อื่นได้ ซึ่งคล้ายกับการทำหน้าที่ของพันธะคู่ในเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของฟอสเฟต ทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมของเนื้อฟันหรือออกไซด์ของโลหะได้ ดังนั้นเรซินซีเมนต์ชนิดก่อตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี จึงใช้ในการยึดครอบฟัน สะพานฟัน หรือเดือยฟัน ที่ทำด้วยโลหะหล่อผสมพื้นฐานได้ดี แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถควบคุมระยะเวลาการทำงาน และการก่อตัวได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น พานาเวีย 21 (Panavia 21) ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Superbond C&B) ซึ่งซูเปอร์บอนด์

ซีแอนด์บี มีกำลังตัดขวางต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ของบริษัทอื่น แต่มีความยืดหยุ่น(flexibility)สูง ซึ่งเป็นผลดีต่อวัสดุในการรับแรงกระแทก⁽¹³⁾(impact force)

2.2 ชนิดก่อดัวด้วยแสง (light cured)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีตัวตั้งต้นปฏิกิริยาเป็นสารไดคีโตน (diketone) เช่น แคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) ถูกกระตุ้นจากแสงสีฟ้า(blue light) ความยาวคลื่นประมาณ 460-468 นาโนเมตร โดยมีเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการก่อดัว เมื่อเติมสารพวกซีเลนจะช่วยประสิทธิภาพการยึดกับพอร์สเลนและคอมโพสิตเรซิน มีหลายสีให้เลือกใช้ เรซินซีเมนต์ ชนิดนี้เหมาะสำหรับยึดชิ้นงานที่แสงสามารถส่องผ่านลงไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีการก่อดัวได้ เช่น กรณียึดชิ้นงานพอร์ซเลนวีเนียร์หรือคอมโพสิตเรซินวีเนียร์ที่มีความหนาไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร ไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่หนาหรือมีสีเข้ม เพราะจะลดการส่องผ่านของแสงลงไปไม่ถึงชั้นของเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการก่อดัวลดลงหรือไม่สมบูรณ์⁽¹³⁾

2.3 ชนิดก่อดัวควบคู่ (dual cured)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อด้อยของเรซินซีเมนต์สองชนิดแรกคือ สามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชันได้ทั้งในส่วนของการก่อดัวด้วยแสงและการก่อดัวด้วยปฏิกิริยาเคมี จึงได้คุณสมบัติที่ดีของเรซินซีเมนต์ที่ก่อดัวทั้งสองแบบข้างต้น ประกอบด้วยสารเริ่มต้นปฏิกิริยาทั้งสองประเภทคือ เพอร์ออกไซด์-เอมีนและแคมโฟโรควิโนน เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีในบริเวณที่แสงผ่านไม่ได้ จึงนิยมใช้เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้กับชิ้นงานบูรณะที่มีความหนามาก สีเข้มมีส่วนประกอบของโลหะร่วมด้วยหรือการยึดเดือยฟัน ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ได้แก่ พานาเวียเอฟ2.0⁽¹³⁾

3. การจำแนกตามชนิดของวัสดุอัดแทรก

วัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์คล้ายคลึงกับวัสดุอัดแทรกในวัสดุอุดคอมโพสิตเรซิน แต่มีปริมาณน้อยกว่า เพื่อให้มีความหนืดต่ำและสามารถยึดชิ้นงานเข้าที่ได้ง่ายวัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์นั้นช่วยเพิ่มความแข็งแรงและต้านทานการสึกกร่อน ช่วยลดการหดตัวจากชบวนการ โพลีเมอไรเซชันและลดการดูดน้ำกลับของเนื้อเรซิน โดยสามารถแบ่งออกได้ 4 ชนิด ได้แก่

- 3.1 **ชนิดไม่มีวัสดุอัดแทรก** เป็นโครงสร้างระหว่างโมโนเมอร์กับโพลีเมอร์ มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นเมธิลเมทาครีเลตและโคโมโนเมอร์ โดยมีเอมีนและเพอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา
- 3.2 **ไมโครฟิลเรซินซีเมนต์** ซีเมนต์ชนิดนี้มีวัสดุอัดแทรกจำพวกซิลิกาอน ไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบทำให้มีคุณสมบัติที่ดีคือ การสึกกร่อนต่ำและสามารถขัดได้ง่าย
- 3.3 **ไฮบริดเรซินซีเมนต์** วัสดุอัดแทรกคือเซรามิกร่วมกับซิลิกาอนไดออกไซด์โดยเซรามิกช่วยเพิ่มความแข็งแรง ลดการหดตัวจากชบวนการโพลีเมอไรเซชัน โดยเรซินซีเมนต์ปัจจุบันส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มนี้⁽¹⁴⁾
- 3.4 **แมคโครฟิลเรซินซีเมนต์** มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่กว่า 25 ไมครอน แต่ถ้าขนาดของ วัสดุอัดแทรกที่ใหญ่กว่า 25 ไมครอน ทำให้ความหนาของซีเมนต์มีมาก อาจทำให้ใส่ชิ้นงานไม่ลงตำแหน่งเดิมและไม่แนบสนิทเช่น Traditional หรือ Conventional composites⁽¹⁵⁾

4. การจำแนกตามลักษณะการเตรียมผิวฟัน สามารถแบ่งได้ 3 ระบบ ได้แก่

- 4.1 **ระบบโททอลเอทช์ (total etch system)** เป็นการเตรียมผิวฟันโดยการใช้กรดกัดแล้วล้างออก พบว่าจะมีประสิทธิภาพการยึดติดสูงถ้าเตรียมพื้นผิวได้อย่างเหมาะสม ข้อเสียคือ มีหลายขั้นตอนและมีความยุ่งยากซึ่งต้องใช้กรดฟอสฟอริกกัดที่ผิวฟันโดยกรดจะไปกำจัดชั้นสเมียร์และผิวของไฮดรอกซีอะพาไทต์ให้เหลือเป็นส่วนของเส้นใยคอลลาเจนแล้วล้างออก ตามด้วยการทาสารปรับสภาพผิวฟันซึ่งมีส่วนประกอบของเรซินที่สามารถทำให้เกิด ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ในสภาพที่มีความชื้นและจากนั้นทาสารยึดติดซึ่ง ประกอบด้วยเรซินที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในผิวฟันหรือเนื้อ

ฟันที่ถูกกรัดกัดทำให้เกิดการยึดเชิงกลระดับไมครอน เช่น Variolink II®

(Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) , Superbond C&B (sunmedical, shiga, Japan)

4.2 ระบบเซล์ฟเอช (self-etch system) เป็นการใช้เรซินมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดกัดผิวฟันในขั้นตอนแรกโดยไม่ต้องล้างออกซึ่งเป็นการลดขั้นตอนการทำงานแล้วตามด้วยการทาสารยึดติดเรซินและตัวซีเมนต์ เช่น Panavia F2.0 (Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japan)

4.3 ระบบเซล์ฟแอดฮีซีฟ (self-adhesive system) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นล่าสุดเพื่อลดระยะเวลาและขั้นตอนการใช้งานซีเมนต์เรซินโดย จะไม่มีการเตรียมผิวฟัน แต่จะใช้เรซินที่มีฤทธิ์กัดฟันซึ่งส่วนใหญ่มีกลุ่มฟอสฟอริกเป็นกลุ่ม ฟังก์ชันนัลในมอนอเมอร์และมีการยึดติดทางเคมีกับผิวฟันในขั้นตอนเดียวเช่น รีไลเอกซ์ยู100 หรือ รีไลเอกซ์ยูนิเซม จึงง่ายต่อการใช้งาน ลดข้อผิดพลาด และลดเวลาในการทำงาน^(16,17)

การใช้งานเรซินซีเมนต์ทั้งสามระบบมีผลในการปรับสภาพเนื้อฟันที่แตกต่างกัน บางการศึกษาพบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ ระบบโททอลเอทช์สามารถกำจัดชั้นสเมียร์และทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับส่วนของเส้นใยคอลลาเจนทำให้เกิดชั้นไฮบริด⁽¹⁸⁾ บางการศึกษาที่เห็นขัดแย้งว่าการใช้เรซินซีเมนต์ ระบบโททอลเอทช์ไม่สามารถควบคุมระดับความลึกของชั้นกรัดที่กัดภายในท่อเนื้อฟันทำให้เรซินไม่สามารถเข้าไปยึดติดได้อย่างสมบูรณ์และพบว่าการมีชั้นสเมียร์อยู่ สามารถช่วยลดผลกระทบจากน้ำในเนื้อเยื่อฟันซึ่งมีผลต่อการยึดติดของเรซิน อีกทั้งยังทำให้เกิดความยุ่งยากในขั้นตอนการใช้งาน จึงมีการพัฒนาระบบให้เกิดกรัดกัดไปพร้อมกับการทาสารปรับสภาพพื้นผิวในขั้นตอนเดียวซึ่งพบว่าสามารถยึดติดได้ดี จากผลการทดสอบของ Hikita และคณะ (2007) พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบไมโครเทนไซล์เมื่อยึดติดกับเนื้อฟันของเรซินซีเมนต์ระบบเซล์ฟแอดฮีซีฟ (RelyX™ Unicem) และเรซินซีเมนต์ระบบเซล์ฟเอช (Panavia F) สูงกว่าเรซินซีเมนต์ระบบกรัดกัดและล้าง (Variolink II®) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽¹⁹⁾ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bitter และ คณะ (2006) ทำการทดสอบด้วยวิธีดันออก(push-out) เพื่อหาค่ากำลังแรงยึดของซีเมนต์เรซินที่ยึดติดระหว่างเดือยฟันกับคลองรากฟันซึ่งให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกัน⁽²⁰⁾ อย่างไรก็ตาม เรซินซีเมนต์ระบบเซล์ฟเอช ให้ความแตกต่างกันในการยึดกับพื้นผิวฟัน โดยมีการศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์ระบบกรัดกัดและล้าง (Variolink II®) มี

ค่ากำลังแรงยึดมากกว่าและเกิดการรั่วซึมที่ส่วนรอยต่อเซรามิกกับผิวเคลือบฟันน้อยกว่า ซีเมนต์เรซินระบบเซล์ฟเอซ (Panavia F) และซีเมนต์เรซินระบบเซล์ฟแอดฮีซีฟ (RelyX™ Unicem) อย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยกรดก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์⁽²¹⁾

กลไกการยึดติดของเรซินซีเมนต์

1. การยึดติดทางเคมีของซีเมนต์ (chemical retention)

ในเรซินซีเมนต์ ชนิด ฟอสเฟต มี บิส-จีเอ็มเอ โดยรวมอะโรมาติกไดเมธาครีเลตและโมโนเมอร์ เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของซีเมนต์คล้ายกับวัสดุอุดฟันคอมโพสิตเรซิน จะสามารถช่วยให้เกิดการยึดพันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัสระหว่างเรซินซีเมนต์กับวัสดุกับส่วนของชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟันได้ ตัวอย่างเช่น รีไลเอ็กยู100 โดยการเกิดยึดติดทางเคมีกับโครงสร้างฟัน 50% จะเป็นในส่วนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ และ30% จะเป็นโพลีเอปิตไตในเนื้อฟัน การยึดติดทางเคมี เกิดการรวมตัวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ของโครงสร้างฟันเป็น reactive group เช่น -NH ซึ่งจะพบในเนื้อฟัน เป็น chemical adhesion และจะมี coupling agent ที่จะช่วยกันยึดติดทางเคมีของชิ้นงานกับชั้นเคลือบฟันหรือชั้นเนื้อฟัน ซึ่ง coupling agent ประกอบด้วย difunctional molecule โดยแขนข้างหนึ่งจะเป็น functional group ยึดติดทางเคมีกับส่วนของผิวฟันที่แห้งและสะอาดส่วนอีกข้างยึดติดกับเรซินซีเมนต์ พันธะเคมีมีหลายแบบ และพลังงานพันธะแต่ละแบบมีไม่เท่ากัน ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมี

เรซินซีเมนต์ บางผลิตภัณฑ์มีการเติมโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน เพื่อคุณสมบัติการยึดติดกับ โครงสร้างของฟันและโลหะผสม เช่น เมธาครีลไซเอทิลฟีนิลฟอสเฟต (methacryloxyethyl-phenyl phosphate) หรือ ฟีนิลพี (phenyl-P) หรือไฟร์เมตาในซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Superbond C&B) หรือกลุ่มฟอสเฟต ในพานาเวีย 21 (Panavia 21) โดยเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของไฟร์เมตา การก่อดวงกระตุ้นด้วยไตรเอ็นบีว-ทิลบอเรน หรือทีบีบี (TBB) โดยปลายพันธะคู่ (double bond) สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่อื่นได้ ซึ่งคล้ายกับการทำหน้าที่ของพันธะคู่ในเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของฟอสเฟต ทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมของเนื้อฟันหรือออกไซด์ของโลหะได้⁽²²⁾

2. การยึดติดทางกลของซีเมนต์ (micromechanical retention)

ความแข็งแรงในการยึดติดของซีเมนต์นอกจากแรงยึดแบบแอดฮีซีฟ(adhesive force) ที่ยึดติดแน่นกับเนื้อฟันแล้ว ยังมีการยึดแบบล็อกเชิงกลเกิดขึ้นเมื่อเนื้อซีเมนต์ก่อนก่อตัวสามารถเคลื่อนที่ไหลไปยังพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ในช่องว่างระหว่างเนื้อฟันกับชั้นงานบูรณะ เมื่อซีเมนต์ก่อตัวเสร็จสิ้นแล้ว เนื้อซีเมนต์แข็ง เกิดการล็อกเชิงกล ณ บริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีอีกหลายปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความสามารถในการยึดติดของซีเมนต์ เช่น การหดตัวของซีเมนต์ในระหว่างการก่อตัว การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความชื้น การละลายในน้ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อฟัน ซีเมนต์ และครอบฟันไม่เท่ากัน ความหยาบของผิวสัมผัส เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดเชิงกลนี้ ได้แก่

2.1 ลักษณะการกรอแต่งพื้นและความขรุขระของผิวฟัน (morphology and the roughness of substrate) ความเรียบ-ขรุขระของผิวฟันขึ้นอยู่กับเทคนิคการกรอแต่ง ซึ่งพื้นผิวขรุขระจะมีพื้นที่ในการเกิดพันธะหรือเกิดการยึดติดมากกว่า ทำให้ยึดติดได้ดีกว่าผิวที่เรียบ

2.2 ความสามารถในการเปียกน้ำของผิวฟัน (wettability of the substrate) ซึ่งเป็นค่าที่วัดจากมุมสัมผัสของหยดน้ำกับวัสดุ ณ ที่นี้ คือ ผิวฟันหลังการกรอแต่งแล้ว ขึ้นอยู่กับแรงตึงผิวของวัสดุนั้นกับวัสดุที่ใช้ยึด ซึ่งซีเมนต์จะยึดได้ดีเมื่อวัสดุเหล่านี้มีค่ามุมสัมผัสสูง แรงตึงผิวต่ำ เช่น เรซินซีเมนต์ เป็นซีเมนต์ทางทันตกรรมที่มีแรงตึงผิวต่ำ จึงยึดติดกับฟันได้ดี

2.3 ความหนืดของซีเมนต์ (viscosity of adhesive) ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของซีเมนต์จากผู้ผลิตและเทคนิคการใช้งานของผู้ใช้เอง ซึ่งในทางทันตกรรมต้องการซีเมนต์ที่มีความหนืดค่อนข้างต่ำ⁽²³⁾ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อความสามารถในการยึดติดของซีเมนต์เช่น ความหนาของฟิล์ม (film thickness) ของซีเมนต์ควรจะบางจนสามารถเข้า

ไปอุดช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะกับเนื้อฟัน ในเรซินซีเมนต์บางชนิดความหนาของฟิล์มอาจบางถึง 10 ไมครอน ซึ่งในความเป็นจริงความหนาของฟิล์มนี้ถูกกำหนดโดยอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการผลิต และความหนืดของซีเมนต์และวัสดุเกือบทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของไหลไปเป็นของแข็ง ซีเมนต์ทางทันตกรรมก็เช่นเดียวกัน โดยการเปลี่ยนปริมาตรนี้จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการก่อตัว⁽¹⁾ (setting procedure)

ความหนาฟิล์มซีเมนต์เป็นปัจจัยหนึ่งของความสำเร็จในการบูรณะด้วยฟันปลอมชนิดติดแน่น โดยอาจมีผลในเรื่องความแข็งแรงในการยึดชิ้นงานกับฟันและยังมีความสำคัญต่อการต้านอยู่ของชิ้นงานบูรณะ มีรายงานว่ายิ่งลดขนาดช่องว่างสำหรับความหนาของฟิล์มซีเมนต์จะยิ่งเพิ่มการต้านอยู่ แต่จะส่งผลให้สวมชิ้นงานยากขึ้นมีผลต่อความแนบบริเวณขอบหลังการยึดด้วยซีเมนต์⁽²⁴⁾ ความล้มเหลวทางด้านกลศาสตร์ของโครงสร้างฟันปลอมติดแน่นเกิดหลังจากการใช้งานหลาย ๆ ปี การเกิดการแตกหักบางครั้งอาจเกิดขณะไม่ได้ใช้งานและไม่สัมพันธ์กับการเคี้ยวอาหาร กระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกหักหลังการได้รับแรงหลาย ๆ รอบ (load cycle) เรียกว่า ความล้มเหลวจากความล้า (fatigue failure) โดยความหนาของฟิล์มซีเมนต์มีอิทธิพลต่อความล้มเหลวจากการล้าในด้านการต้านอยู่ คือ ยิ่งบาง ยิ่งมีความต้านทานสูง (Higher resistance value) อธิบายได้โดย Griffith's theory of flaws ดังนี้คือ วัสดุทุกชนิดมีข้อบกพร่องกระจายทั่วไปในเนื้อวัสดุภายใต้แรงกระทำข้อบกพร่องแต่ละอันจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเติบโตของรอยร้าว และเมื่อวัสดุยิ่งหนามากยิ่งมีข้อบกพร่องมาก และมีโอกาสมีจุดเริ่มต้นของการแตกเพิ่มมากขึ้น ชั้นของซีเมนต์ที่หนาจึงลดการต้านอยู่ การแตกหักจากความล้าเกิดจากรอยแตกเล็กๆ และค่อย ๆ ขยายแผ่จากอนุภาค (Grain) ของวัสดุ เกิดเป็นรอยร้าวเล็กๆ (microcrack) และนำไปสู่การแตกหักและความล้มเหลวได้ในบริเวณที่มีความเค้นสะสมสูง เช่นบริเวณที่มีข้อบกพร่องหรือร่องของวัสดุจะเป็นบริเวณที่นำไปสู่การเกิดการแตกหักได้สูง⁽²³⁾ ปัจจุบันซีเมนต์ชนิดเรซินแอดฮีซีฟได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบถึงปัจจัยความหนาฟิล์มที่ต่างกันของซีเมนต์ชนิดเรซินแอดฮีซีฟต่อพันธะการยึดชิ้นงานกับเนื้อฟันโดยใช้ซีเมนต์เรซินแอดฮีซีฟ 2 ชนิดคือพานาเวียเอฟ และซูบเปอร์บอนด์ซีแอนด์บียึดโลหะนิเกิล-โครเมียมกับเนื้อ

พื้นผิว ควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มซีเมนต์ที่ระดับ 50, 100, 150 และ 200 ไมโครเมตร พบว่าเมื่อความหนาของซีเมนต์ทั้งสอง เพิ่มขึ้นจะพบความล้มเหลวชนิดแอคอีซีฟ -โคอีซีฟ และฟองอากาศในเนื้อวัสดุมากขึ้น และพบว่าค่าพันธะด้านแรงเชื่อมมีแนวโน้มลดลง⁽²²⁾

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของซีเมนต์

1. **ชนิดของซีเมนต์** ได้มีการศึกษาพบว่า zinc phosphate cement และ polycarboxylate cement ให้ความหนาของซีเมนต์มากกว่า glass ionomer cement เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน⁽²⁵⁻²⁸⁾ และมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างชนิดพื้นผิวโลหะของชิ้นงานกับชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานที่มีผลต่อความหนาของซีเมนต์ พบว่าชนิดของซีเมนต์มีผลต่อความหนาของซีเมนต์มากกว่าชนิดพื้นผิวโลหะ⁽²⁹⁾
2. **ความหนืดของซีเมนต์** พบว่ามีผลทั้งต่อความแข็งแรงความหนาและความแนบสนิทของชิ้นงาน โดยถ้ามีความหนืดมากก็จะให้ค่าความแข็งแรงและความหนาของซีเมนต์ที่สูงขึ้น แต่ให้ความแนบสนิทที่ลดลง^(30,31) และปริมาณวัสดุอุดแทรก (filler content) มีผลโดยตรงต่อความหนืดรวมทั้งอัตราการหดตัวหลังเกิดปฏิกิริยาก่อตัวคือ ปริมาณวัสดุอุดแทรกที่มากขึ้นมีผลทำให้ความหนืดของเรซินซีเมนต์สูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้เรซินซีเมนต์มีการหดตัวน้อยลงแต่ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อความหนาของซีเมนต์⁽⁶⁾ แต่บางการศึกษาแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงยึดชิ้นงาน เพื่อลดความไม่แนบของชิ้นงานจากการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์ เพราะเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงหดตัวน้อยกว่าพวกที่มีความหนืดต่ำ⁽¹¹⁾
3. **ความหนาโดยพิจารณาจากชั้นของ die spacer** ที่ใช้และความหนาของชั้นฟิล์มที่ได้ พบว่ายังมีข้อขัดแย้งกันอยู่มากทั้งที่ทำให้ดีขึ้น ลดลง และเท่าเดิม ในส่วนของจำนวนชั้นของ die spacer^(32,33)
4. **แรงที่ใช้ในการกดยึดครอบฟัน** พบว่า ถ้าออกแรงกดมากจะให้ค่าความแนบสนิทที่มากขึ้นจนถึงค่าๆหนึ่งซึ่งจะไม่ให้ผลที่แตกต่างมากนักเมื่อเพิ่มแรงกดเข้าไปอีก^[30, (34-36)] มีการศึกษาแรงกดครอบฟันพบว่า ค่าแรงในการกดครอบฟัน 25, 100, และ 300 นิวตัน การ

ให้แรงกดที่มากขึ้นจะทำให้ครอบฟันมีความแนบสนิท (crown seating) ที่มากขึ้นแต่ไม่ส่งผลให้เกิดครอบฟันมีการยึดอยู่ที่มากขึ้น (crown retention)⁽³⁷⁾ และมีอีกการศึกษาซึ่งผลออกมาในทิศทางเดียวกันว่า เมื่อให้แรงกดขึ้นงาน 25 และ 300 นิวตันระหว่างยึดครอบฟันโลหะ แรงกดที่มากขึ้นจะทำให้ครอบฟันมีความแนบสนิทมากแต่ไม่มีผลต่อการยึดอยู่ที่มากขึ้นตามไปด้วย⁽³⁸⁾ มีการศึกษาเรซินซีเมนต์ใน 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ฟานาเวียเอฟ แม็กเซม รีไล เอกซ์ยูนิเซม ที่ใช้ยึดขึ้นงานอนเลย์ภายใต้แรงกดขึ้นงานที่หลากหลาย พบว่าแรงกดที่มากจะช่วยลดการเกิดฟองอากาศหรือรูพรุนระหว่างรอยต่อของซีเมนต์ส่งผลให้ขึ้นงานมีความแนบสนิทมากขึ้น⁽³⁹⁾ และในบางการศึกษาที่ทดลองโดยการกดขึ้นงานด้วยแรงจากนิ้วมือ (finger pressure) ของทันตแพทย์ในขณะที่ยึดด้วยซีเมนต์พบว่าแรงกดที่พบในทันตแพทย์ 5 คน มีค่าประมาณ 60 นิวตันในวินาทีแรกของการกด และจะค่อยๆ ลดลงเป็น 20-30 นิวตันในวินาทีต่อมา⁽⁴⁰⁾ และมีการศึกษาลำบากๆ กันถึงแรงกดขึ้นงานด้วยแรงจากนิ้วมือ ในทันตแพทย์ชาย 9 คน หญิง 6 คน ระหว่างขั้นตอนยึดด้วยซีเมนต์ของครอบฟันชนิดเซรามิกล้วน (all-ceramic crown) พบว่าเมื่อเทียบแรงกดขึ้นงานระหว่างช่วงเช้ากับช่วงกลางวันและเพศของทันตแพทย์แล้วมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยของแรงกดในทันตแพทย์ชายอยู่ที่ 42 นิวตัน ทันตแพทย์หญิงอยู่ที่ 38 นิวตัน⁽⁴¹⁾ บางการศึกษา กล่าวว่า แรงกดจะพบอยู่ในช่วง 200 ถึง 300 นิวตัน แรงที่ทันตแพทย์กดขึ้นงานในระหว่างขั้นตอนการยึดด้วยซีเมนต์เฉลี่ยอยู่ที่ 12 ถึง 67 นิวตัน ซึ่งเห็นได้ชัดว่าแรงในการบดเคี้ยวกับแรงที่ทันตแพทย์กดขึ้นงานมีค่าต่างกันมาก^(37,40) และอีกการศึกษารายงานว่า ถ้าให้แรง 98 นิวตันในการยึดขึ้นงานคอมโพสิตโอเวอร์เลย์ (composite overlay) ระหว่างเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของเรซินซีเมนต์ ฟานาเวียเอฟพบว่าทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์ได้ดีที่สุดแต่การศึกษาที่ผ่านมาพบแรงที่มากที่สุดในการกดขึ้นงานด้วยนิ้วมือของทันตแพทย์อยู่ที่ 67 นิวตัน ดังนั้นแรงกดขึ้นงานในขั้นตอนยึดด้วยซีเมนต์ที่เหมาะสม (ideal cementation pressure) ยังไม่สามารถทำได้จากแรงในการกดของนิ้วมือของทันตแพทย์เพียงอย่างเดียว^(39,42) และได้มีการคำนวณหาแรงบดเคี้ยวในฟันธรรมชาติที่วัดด้วยเครื่องวัดแรงเฉพาะที่ พบว่าแรงเกิดขึ้นสูงสุดบริเวณฟันกรามและฟัน

กรามน้อย โดยพบว่าฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่งและซี่ที่สอง มีแรงกัดสูงสุดอยู่ในช่วง 390-800 นิวตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 565 นิวตัน และแรงกัดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับฟันกรามน้อย ฟันเขี้ยว และฟันหน้าตัดมีค่า 288 นิวตัน 208 นิวตัน และ 155 นิวตันตามลำดับ⁽⁴³⁾ ครอบฟันที่ยึดด้วยซีเมนต์ได้รับแรงจากทั้งทิศทางแนวดิ่ง แนวข้างหรือแนวเฉียง (vertical & lateral or oblique) โดยวัดได้จากเครื่องมือวัดค่าแรงในช่องปาก ในบริเวณฟันเขี้ยว (pontic area) พบว่ามีแรงกระทำตามแนวด้านบดเคี้ยว-ขอบเหงือก(occlusogingival) และด้านแก้ม-ด้านลิ้น (buccolingual) เมื่อรับแรงบดเคี้ยวครอบฟันอาจหลุดได้จากแรงบดเคี้ยวหรือแรงพาราฟังก์ชันอื่นๆ (parafunction force) คุณสมบัติที่ใช้ในการคงอยู่ของฟันหลัก คือการยึดอยู่และการต้านอยู่ การยึดอยู่เป็นคุณสมบัติที่ต้านการหลุดของชิ้นงานบูรณะในแนวการใส่ (path of placement) การต้านอยู่เป็นความสามารถในการป้องกันการหลุดจากแรงในแนวข้างหรือแนวเฉียง⁽⁴⁴⁾ การบดเคี้ยวกันในแต่ละครั้งของฟันธรรมชาติจะเกิดแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยว ที่มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา เช่น Kaznori Ikebe และคณะ (2004) ได้ศึกษาในกลุ่มนักศึกษาจำนวน 1,738 รายพบค่าแรงบดเคี้ยวในฟันกรามน้อยธรรมชาติมีค่าเฉลี่ย 200-300 นิวตัน⁽⁴⁵⁾ บางการศึกษาได้ศึกษาแรงบดเคี้ยวของฟันกรามและฟันกรามน้อยแท้โดยทำการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่าง 37 คน มีอายุในช่วง 22-58 ปี พบว่าแรงบดเคี้ยวปกติในฟันกรามน้อยแท้มีค่าอยู่ระหว่าง 100-125 นิวตัน และค่าแรงบดเคี้ยวสูงสุดมีค่า 300-400 นิวตัน⁽⁴⁶⁾ อย่างไรก็ตาม ค่าแรงบดเคี้ยว จำนวนครั้งและระยะเวลาที่ฟันกระทบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ลักษณะการเคี้ยว ลักษณะการสบฟัน และการใช้ฟันนอกหน้าที่ของผู้ป่วยในแต่ละรายซึ่งเป็นข้อพึงระวังที่ต้องคำนึงถึงเสมอในการบูรณะฟัน

5. **ระยะเวลาในการกดครอบฟัน** ระยะเวลาในการกดมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับแรงในการกดคือจะให้ผลดีในช่วงต้นและจะไม่ให้ผลแตกต่างในการเพิ่มต่อไปเมื่อถึงค่าๆหนึ่ง^(30,31) มีการศึกษาเปรียบเทียบถึงความหนาของ luting cement 6 ชนิด ได้แก่ Fuji CEM RelyX Luting Plus Panavia 21 RelyX ARC Maxcem และ RelyX Unicem ว่า เรซินซีเมนต์ทุกชนิดที่นำมาทดสอบได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ISO Standards) ของความหนา

ของซีเมนต์ที่ยอมรับได้ต้องมีความหนาไม่เกิน 25 ไมโครเมตร ที่ช่วงเวลาผสมนาน 2 นาที หลังจากทำการผสมซีเมนต์ ทำการกดชิ้นงานด้วยแรง 150 นิวตัน ด้วยเวลาแตกต่างกัน คือ 1,2,3 นาที พบว่าที่ช่วงเวลาผสมนาน 2 นาที เรซินซีเมนต์ทุกชนิดมีความหนาของซีเมนต์น้อยกว่า 27 ไมโครเมตรและช่วงเวลาผสมนาน 3 นาที เรซินซีเมนต์ทุกชนิดจะมีความหนาของซีเมนต์น้อยกว่า 30 ไมโครเมตร ยกเว้น resin-modified glass ionomer cement (RelyX Luting Plus) ที่มีความหนาของซีเมนต์มากกว่า 30 ไมโครเมตรที่ช่วงเวลาผสมนาน 3 นาที⁽⁴⁷⁾ และได้มีการศึกษาถึงแรงในการกดชิ้นงาน (seating load) ด้วยแรง 5 และ 30 นิวตันและระยะเวลาในการกดชิ้นงาน(seating load duration) ที่ระยะเวลา 60 และ 300 วินาที โดยใช้ เรซินซีเมนต์ (RelyX Unicem) พบว่าความหนาของซีเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกแรงและทุกระยะเวลาที่กล่าวมา⁽⁴⁸⁾

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความหนาของฟิล์มและแรงยึดเหนี่ยว โดย Chana และคณะ (1997) ศึกษาถึงค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซินนิเกิลโครเมียมที่ยึดด้วย พานาเวีย EX กับ พานาเวีย 21 ที่ระดับความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่สูงสุดของพานาเวีย อีเอ็กซ์เท่ากับ 48.84 ± 7.68 เมกะพาสคาล และพานาเวีย 21 เท่ากับ 98.38 ± 10.32 เมกะพาสคาล ที่ระดับความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ 20 ไมโครเมตร และ 100 ไมโครเมตรตามลำดับ และพบว่าค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำที่สุดของเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดอยู่ที่ระดับความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ 310 ไมโครเมตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวน้อยลงเมื่อค่าความหนาของเรซินซีเมนต์มากขึ้น⁽⁴⁹⁾ และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาค่าแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ ยีฮ้อ บิสคอร์ แอนด์ สไมล์ (Biscore and Smile) ที่ระดับความหนาที่แตกต่างกัน คือ 50 ไมโครเมตรกับ 100 ไมโครเมตร พบว่าความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้งสองยี่ห้อที่มากขึ้น จะทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยลงและตรวจพบว่ามีรูพรุนจำนวนมากภายในเนื้อซีเมนต์ที่มีความหนาจึงทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวต่ำลง จากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความล้มเหลวในการยึดติดชิ้นงานกับความหนาของซีเมนต์นั้นสัมพันธ์กัน โดยถ้ามีความหนาของซีเมนต์มากขึ้นจะมีแนวโน้มของความล้มเหลวในการยึดติดชิ้นงานมากขึ้น เนื่องจาก

ซีเมนต์ที่มีความหนาภายในเนื้อซีเมนต์จะมีรูพรุนมากขึ้นซึ่งเกิดจากการหดตัวของปฏิกิริยาโพ-
ลิมอไรเซชันและทำให้มีอากาศเข้าไปในช่องรูพรุน จึงเกิดความเครียดและความอ่อนแอที่
นำไปสู่ความแข็งแรงลดลงของซีเมนต์⁽⁵⁰⁾

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรตัวอย่าง (Sample population)

ชิ้นงานทดสอบอะคริลิกสีดำที่ขนาดหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร จำนวน 540 แผ่น ประกอบกันเป็นคู่ ด้วยเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ทดสอบแรงกด 3 ขนาด และระยะเวลา 3 ช่วง โดยจะได้กลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 90 ชิ้นงาน ดังตารางที่ 3

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Materials)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine; Lloyd, LR Series & LS 500 U.K.)
2. เครื่องดิจิทัลเวอร์เนียแคลิเปอร์ (Mitutoyo Japan)
3. แผ่นอะคริลิกสีดำที่บ จำนวน 540 แผ่น

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เรซินซีเมนต์ ดังนี้
 - 1.1 รีไลเอ็กซ์ยู 100 (Relyx U100)
 - 1.2 แม็กซ์เซม (Maxcem)
 - 1.3 พานาเวียเอฟ 2.0 (Panavia F2.0)

เนื่องจากเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ได้รับความนิยมและมีใช้ทั่วไปในคลินิกทันตกรรม ใช้งานไม่ยุ่งยาก ผสมง่าย และราคาไม่แพง การวิจัยนี้จึงเลือกนำมาใช้ในการทดลอง

1.1 รีไลเอ็กซ์ยู 100 (รูปที่ 1 ตารางที่ 1) เป็นระบบเซล์ฟแอคทีฟชนิดก่อด้วยแสง ร่วมกับปฏิกิริยาเคมี(dual cured) ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีส่วน 2 หลัก คือ ส่วน base มีส่วนประกอบหลักคือ เมธาครีเลต ฟอสฟอริก เอซิด เอสเทอร์ (methacrylated phosphoric acid esters) และส่วน catalyst เป็นพวกไดเมธาครีเลต (dimethacrylates) รีไลเอ็กซ์ยู 100 มีลักษณะเป็นเพสต์ (paste) สองหลอด เมื่อใช้งานจะต้องทำการผสมให้เข้ากันด้วยพายสำหรับผสมโดยการใช้มือ (hand mixed)⁽⁵¹⁾ มีค่าแรงยึดแบบเฉือนกับส่วนเนื้อฟัน 7.5 ± 2.3

เมกะพาสคาล⁽⁵²⁾ ค่าเวลาก่อตัว (setting time) เป็นเวลา 5 นาที ความหนาของฟิล์ม 13 ไมครอน⁽⁵³⁾ เป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้งานง่าย ยึดติดได้ทั้ง อินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟัน สะพานฟัน ที่ทำจากโลหะ เซรามิก รวมทั้งเซอริโคเนีย ง่ายต่อการเลือกใช้ มีหลายเฉดสี ทั้งโปร่งแสง ยูนิเวอร์แซล และทึบแสง โอกาสเกิดอาการเสียวหลังยึดมีน้อย ให้ความสวยงามยึดติดคงทนแข็งแรงไม่เกิดการร้าวซึม⁽⁵⁴⁾

1.2 แม็กเซม (รูปที่ 2 ตารางที่ 2) เป็นระบบเซล์ฟแอคทีฟชนิดก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี(dual cured)ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีส่วน 2 หลัก คือ ส่วน เรซินเมทริกซ์ มีส่วนประกอบหลักคือ ไกซีโรฟอสเฟต ไดเมธาครีเลต (glycerophosphate dimethacrylate, GPDM) และส่วนฟิลเลอร์ เป็นพวก ฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต (fluoroaluminosilicate) และซิลิกา (silica) ผสมอยู่⁽⁵¹⁾ มีค่าแรงยึดแบบเชื่อมกับส่วนเนื้อฟัน 4.7 ± 1.4 เมกะพาสคาล⁽⁵²⁾ เวลาก่อตัว (setting time) ที่อุณหภูมิในช่องปาก (Oral temperature) เป็นเวลา 3 นาที ความหนาของฟิล์ม 17 ไมครอน แม็กเซม มีลักษณะเป็นเพสต์ (paste) สองหลอด มีหัวทึบที่ทำให้เกิดการผสมแบบอัตโนมัติ (auto mixed)ให้ค่าแรงยึดสูงสุดโดยไม่ต้องใช้สารยึดติด ใช้งานง่าย วิธีการเก็บไม่จำเป็นต้องแช่เย็น ทำความสะอาดซีเมนต์ส่วนเกินง่าย เข้ากันได้กับพื้นผิวทั่วไป ทั้งชิ้นงานชนิดเซรามิก และโลหะ เกิดปฏิกิริยาแบบแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์โดยไม่ต้องใช้แสงกระตุ้น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดรูพรุนภายในเนื้อซีเมนต์จากการหดตัวของปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน⁽⁵⁵⁾

1.3 พานาเวียเอฟ 2.0 (รูปที่ 3 ตารางที่ 2) ระบบเซล์ฟแอคทีฟชนิดก่อตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี(dual cured) มีค่าแรงยึดแบบเชื่อมกับส่วนเนื้อฟัน 10.4 ± 1.9 เมกะพาสคาล⁽⁵⁶⁾ ค่าเวลาก่อตัว (setting time) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที มีความหนาของฟิล์ม 24 ไมครอน⁽⁵⁵⁾ มีสีให้เลือก 3 สี คือ สีเหมือนฟัน (tooth-colored)มีความโปร่งแสงสีขาว(white)โปร่งแสงบางส่วนและสีทึบ (opaque) ไม่มีความโปร่งแสง ส่วนประกอบหลักคือ เทนเมทาคริลอิลออกไซด์ คซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, MDP) ชุดพื้นฐานของพานาเวียเอฟมี 3 ส่วน คือ ส่วนเพสต์ (paste) ที่ก่อตัวด้วยแสง และก่อตัวด้วยสารเคมีอย่างละ 1 หลอด อีดีไพร์เมอร์ (ED primer) มี 2 ขวด เพื่อช่วยปรับสภาพผิวฟัน และส่วนสุดท้าย

เป็นส่วนเสริมที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีใดๆ คือ ออกซีการ์ดทู (Oxyguard II) 1 หลอดที่บรรจุสารป้องกันออกซิเจน (Oxygen) สัมผัสกับพานาเวียเอฟขณะก่อตัวเป็นโพลีเมอร์ เนื่องจากกลุ่มฟอสโฟเนต (Phosphonate group) ในเอ็มดีพีไวต์ออกซิเจนมาก⁽⁵⁷⁾



รูปที่ 1



รูปที่ 2



รูปที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบ ขั้นตอนการใช้เรซินซีเมนต์และวิธีผสมของรีเลย์เอกซ์-

ยู 100

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	วิธีเตรียมพื้นผิว	วิธีผสมซีเมนต์
ระบบเซล์ฟแอต ซีซีพี <u>RelyX U100</u> (3M ESPE, Seefeld Germany)	Base: glass powder, methacrylated phosphoric acid esters, dimethacrylates, silanated silica filler, sodium persulfate Catalyst: glass fiber, dimethacrylates, silanated silica filler, p-toluene sodium sulfate, calcium hydroxide Fillers size < 1 ไมโครเมตร Quantity of fillers 65 vol%	ล้างทำความสะอาด ผิวฟันและชิ้นงาน เป่าลมให้แห้ง	Clicker dispenser 2 pastes, hand mixed Mix cement ; apply mixture; setting time (5min) จากนั้นทาซีเมนต์ลงบน พื้นผิวของชิ้นงานนำไปยึด ติดกับพื้นผิว

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบ ขั้นตอนการใช้เรซินซีเมนต์ วิธีผสมของแม็กเซม และ
พานาเวียเอฟ2.0

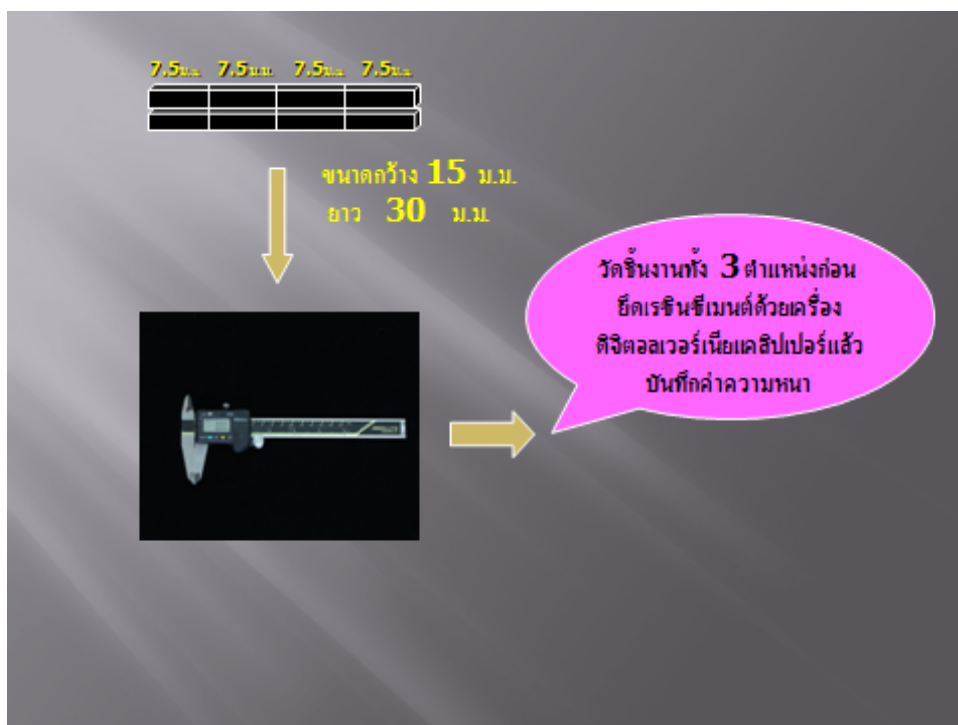
<p>ระบบเซล์ฟแอดฮีซีฟ</p> <p>Maxcem</p> <p>(KerrCorp,Orange,Calif)</p>	<p>Resin: multifunctional DMAs,GPDM,proprietary redox initiators and photoinitiators</p> <p>Filler: barium, fluoroaluminosilicate ,fumed silica Fillers size2-6 ไมโครเมตร</p> <p>Quantity of fillers 66 vol%</p>	<p>ล้างทำความสะอาด สะอาดผิวฟันและ ชิ้นงานเป่าลมให้ แห้ง</p>	<p>Paste/paste dual syringe, direct dispensing through mixing tip</p> <p>Automix cement; apply mixture; setting time (3 min)</p>
<p>ระบบเซล์ฟเอซ</p> <p>Panavia F 2.0</p> <p>(Kuraray Medical Inc, Tokyo,Japan)</p>	<p>Primer A: HEMA, MDP, 5-NMSA, water, Accelerator</p> <p>Primer B: 5-NMSA, accelerator, water,sodium benzene sulphinate</p> <p>Base paste: hydrophobic aromatic and aliphatic dimethacrylate, sodium aromatic sulphinate, N,N-diethanol-p-toluidine, functionalized sodium fluoride, silanized barium glass filler</p> <p>Fillers size 0.04-19 ไมโครเมตร</p> <p>Quantity of fillers 59 vol%</p>	<p>ผสม ED Primer II A&Bเป็นเวลา 30 วินาทีจากนั้นทาบนผิวเรซินคอมโพสิตเป่าลมให้แห้ง</p>	<p>ผสมส่วน universal base และ catalyst (A&B) อย่างเท่ากันโดยต้องผสมอย่างน้อยเป็นเวลา 20 วินาที แล้วทาซีเมนต์เรซินบนพื้นผิวที่เตรียมไว้ จากนั้นนำชิ้นงานมายึดติดแล้วฉายแสงโดย รอบด้านละ 20 วินาที</p>

แหล่งที่มาของตารางที่ 1 และ 2 :Ronaldo และคณะ (2009) ⁽⁵¹⁾

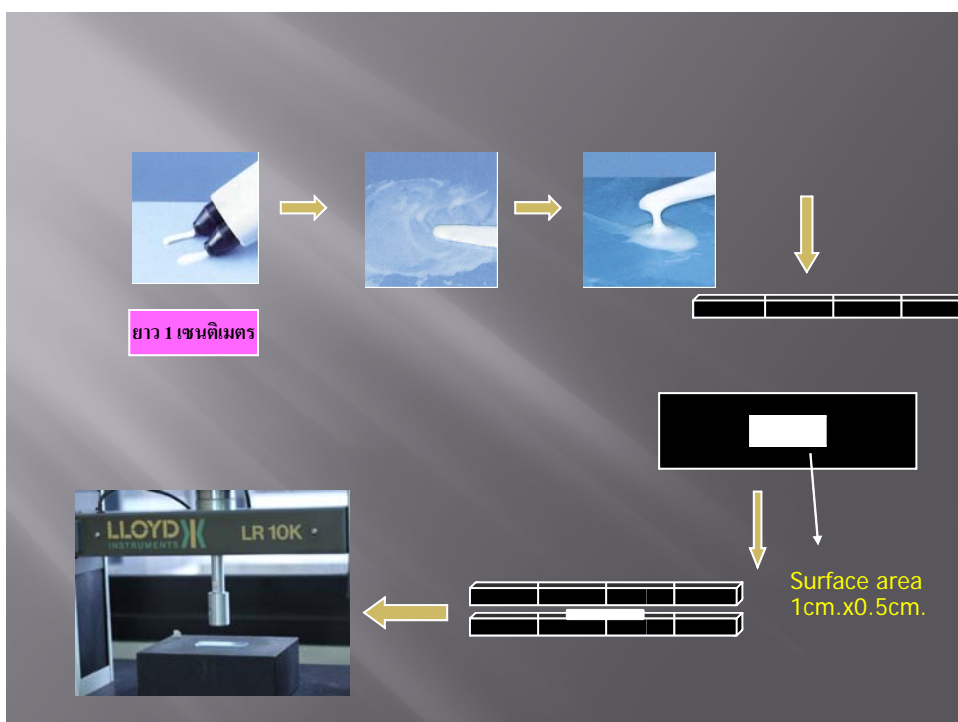
วิธีการวิจัย

ทำการจำลองการยึดซีเมนต์ด้วยการเปรียบเทียบความหนาของแผ่นอะคริลิกที่ประกบกันก่อน และหลังยึดด้วยซีเมนต์ โดยเตรียมแผ่นอะคริลิกสี่ด้านที่บ ขนาดหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร จำนวน 540 ชิ้น และเตรียมเรซินซีเมนต์ 3 ชนิดได้แก่ รีไลเอกซ์ยู 100 แม็กเซม และ พานาเวียเอฟ 2.0 (รูปที่ 1 2 และ 3) ทำการผสมเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดตาม คำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ณ อุณหภูมิห้อง นำเรซินซีเมนต์ที่ผสมได้ป้ายลงกลางแผ่นอะคริลิกสี่ด้าน ที่ขนาดพื้นที่กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตรโดยประมาณ แล้วประกบกับอะคริลิกอีกแผ่น ปาดเรซินซีเมนต์ส่วนเกินออกให้เรียบร้อยนำแผ่นอะคริลิกที่ประกบมาทดสอบด้วยแรงและ ระยะเวลาที่ต่างกันในการกดขึ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine; Lloyd, LR Series & LS 500 U.K.) (รูปที่ 5) ด้วยแรงและระยะเวลาที่กำหนดให้ครบทุกคู่ทดสอบ และครบทุกชนิดของเรซินซีเมนต์ โดยแรงในการกดขึ้นงาน 100 200 และ 300 นิวตันระยะเวลาใน การกดขึ้นงาน 1 3 และ 5 นาทีตามลำดับทำให้สามารถแบ่งกลุ่มทดลองได้ตาม ตารางที่ 3 ตรวจสอบความหนาของซีเมนต์ด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์ (Mitutoyo Japan) (รูปที่ 4 และ 6) โดยทำการวัด 3 ความหนาของขึ้นงานก่อนและหลังประกบ 3 ตำแหน่ง บันทึกผลต่าง ความหนาของขึ้นงานก่อนและหลังยึดเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง

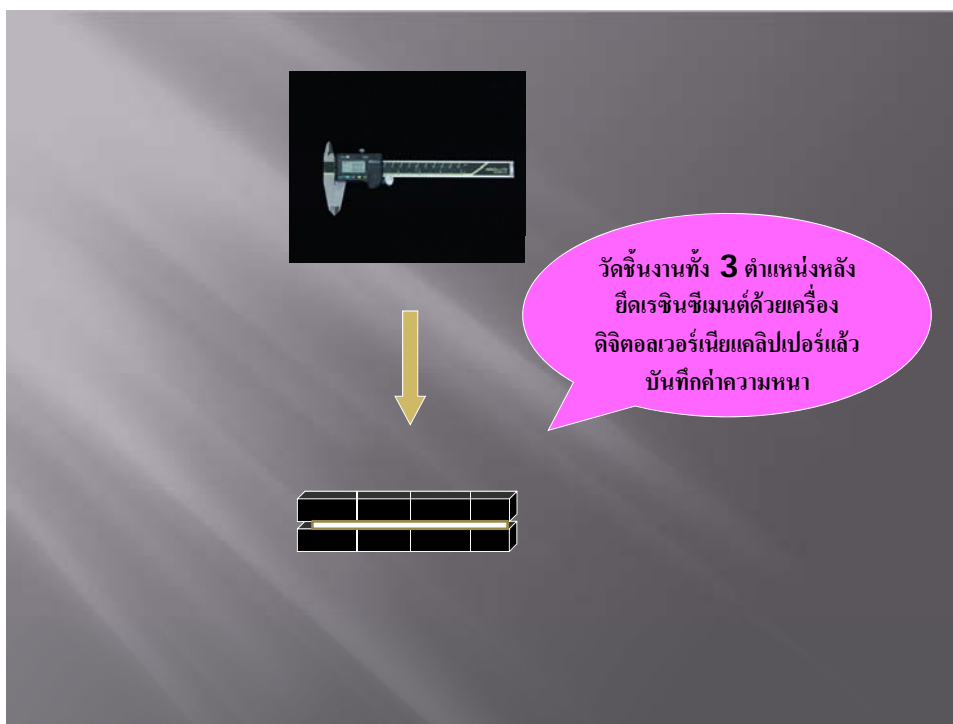
รูปที่ 4 ขั้นตอนการวัดก่อนยึดด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์



รูปที่ 5 ขั้นตอนการยึดชิ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์และกดชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากล



รูปที่ 6 ขั้นตอนการวัดหลังยึดด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์



การเก็บรวบรวมข้อมูล

การหาค่าความหนาของซีเมนต์

นำแผ่นอะคริลิกสี่ดำที่บที่ประกบกันก่อนยึดด้วยเรซินซีเมนต์มาวัดค่าความหนาของชิ้นงานทั้งสอง ด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์ โดยทำการวัด 3 ตำแหน่งของความหนาชิ้นงานก่อนยึด และบันทึกค่าทั้ง 3 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ประกบกันพร้อมกับยึดด้วยเรซินซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ นำมาทดสอบแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine; Lloyd, LR Series & LS 500 U.K.) ทำการวัดค่าความหนาของชิ้นงานด้วยเครื่องดิจิตอลเวอร์เนียแคลิเปอร์ โดยทำการวัด 3 ตำแหน่งของความหนาชิ้นงานหลัง ยึด และบันทึกค่าทั้ง 3 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณผลต่างที่ได้จะเป็นค่าความหนาของซีเมนต์ทั้ง 3 ตำแหน่ง บันทึกผลแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มทดลอง ได้ทั้งหมด 27 กลุ่มใหญ่สำหรับซีเมนต์ 3 ชนิด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กลุ่มทดลอง

รีไลเอกซ์ยู100	กลุ่มที่	R1/100	R1/200	R1/300	R3/100	R3/200	R3/300	R5/100	R5/200	R5/300
แม็กเซม	กลุ่มที่	M1/100	M1/200	M1/300	M3/100	M3/200	M3/300	M5/100	M5/200	M5/300
พานาเวียเอฟ 2.0	กลุ่มที่	P1/100	P1/200	P1/300	P3/100	P3/200	P3/300	P5/100	P5/200	P5/300
แรง (นิวตัน)		100	200	300	100	200	300	100	200	300
เวลา (นาที)1		1	1	1	3	3	3	5	5	5

(n=10)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าความหนาของซีเมนต์มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (m.m.) ที่คำนวณได้ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำค่าความหนาของซีเมนต์ที่ได้มาทดสอบการกระจายตัว (normality) ด้วยสถิติของโคโมโกรอฟ-สไมล์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ จะเลือกใช้สถิติแบบพาราเมตริก (parametric method) ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะเลือกใช้ สถิติแบบไม่ใช่พาราเมตริก (non-parametric method) ในการใช้เปรียบเทียบค่าสถิติต่อไป เปรียบเทียบปัจจัยของแรงและระยะเวลาในการกดขึ้นงานที่มีผลต่อความหนาของซีเมนต์แต่ละ ชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) และการทดสอบเลอวีเน (Levene's test) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (confident level 95%, $\alpha=0.05$)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากการวัดความหนาของเรซินซีเมนต์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานที่แตกต่างกันด้วยเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด จากการกดชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบสากล ด้วยแรง 100 200 และ 300 นิวตัน เป็นระยะเวลา 1 3 และ 5 นาที ตามลำดับ แสดงผลได้ดังตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความหนาซีเมนต์รีไลเอกซ์ยู100 (RelyX U100)

Group	Force (Newton)	Time (minute)	Mean Film thickness (m.m. \pm Std.Deviation $\times 10^{-3}$)
R1	100	1	3.04 \pm 0.43
R2	100	3	2.56 \pm 0.55
R3	100	5	2.17 \pm 0.27
R4	200	1	1.80 \pm 0.51
R5	200	3	1.43 \pm 0.47
R6	200	5	1.26 \pm 0.27
R7	300	1	1.03 \pm 0.22
R8	300	3	1.00 \pm 0.20
R9	300	5	0.85 \pm 0.16

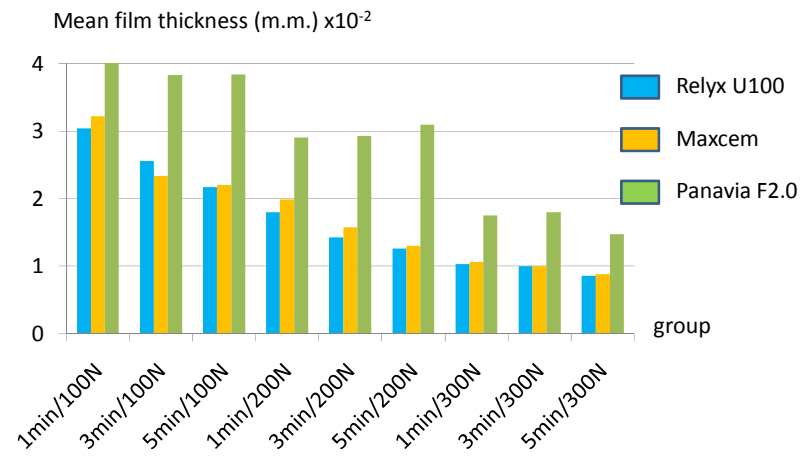
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความหนาซีเมนต์ แม็กเซม (Maxem)

Group	Force (Newton)	Time (minute)	Mean Film thickness (m.m. \pm Std.Deviation $\times 10^{-2}$)
M1	100	1	3.22 \pm 0.39
M2	100	3	2.34 \pm 0.35
M3	100	5	2.20 \pm 0.22
M4	200	1	1.99 \pm 0.50
M5	200	3	1.58 \pm 0.54
M6	200	5	1.30 \pm 0.31
M7	300	1	1.06 \pm 0.19
M8	300	3	1.00 \pm 0.20
M9	300	5	0.88 \pm 0.15

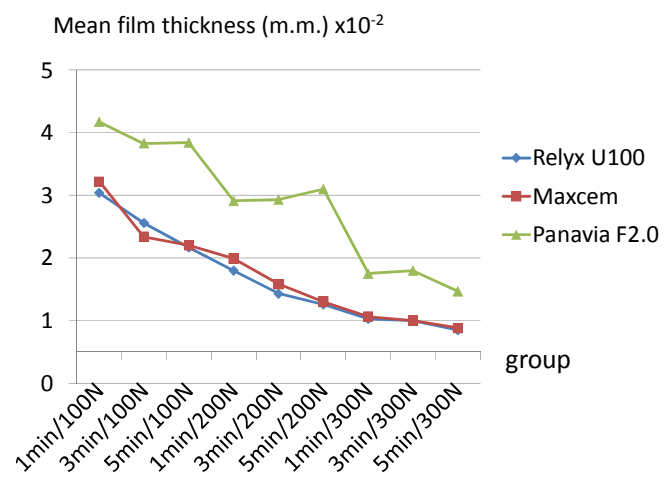
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าความหนาซีเมนต์ พานาเวียเอฟ 2.0 (Panavia F2.0)

Group	Force(Newton)	Time (minute)	Mean Film thickness (m.m. \pm Std.Deviation $\times 10^{-2}$)
P1	100	1	4.17 \pm 0.42
P2	100	3	3.83 \pm 0.36
P3	100	5	3.84 \pm 0.70
P4	200	1	2.91 \pm 0.25
P5	200	3	2.93 \pm 0.33
P6	200	5	3.10 \pm 0.30
P7	300	1	1.75 \pm 0.54
P8	300	3	1.80 \pm 0.47
P9	300	5	1.47 \pm 0.62

รูปที่ 7 แสดงผลการทดลองเป็นแผนภูมิแท่ง



รูปที่ 8 แสดงผลการทดลองเป็นรูปแบบกราฟ



ผลจากการทดลองที่ได้จะนำข้อมูลดิบของทั้งหมด คือ 270 ชิ้นงาน ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติ โดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่าตัวอย่างของประชากรมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ด้วยการทดสอบแบบวัน-แซมเปิล โครโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ดังตารางที่ 14-22 ในภาคผนวก จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานต่อความหนาของเรซินซีเมนต์ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. รีไลเออซ์ยู 100

ตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานต่อความหนาของรีไลเออซ์ยู 100

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
time	.000	2	.000	15.572	<u>.000</u>
force	.004	2	.002	152.438	<u>.000</u>
time*force	.000	4	3.198E-5	2.355	.061

จากตารางที่ 7 พบว่า

1. แรงที่กดชิ้นงานมีผลให้ค่าความหนาของรีไลเออซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
2. ระยะเวลาในการกดชิ้นงานมีผลให้ค่าความหนาของรีไลเออซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ต่อจากนั้น นำผลข้อที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนของแรงมาทดสอบต่อว่าแรงขนาดเท่าใดที่ให้ค่าความหนาของรีไลเออซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีเน (Levene's Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด ไม่เท่ากันทุกกลุ่ม ($p = 0.000$) จึงตรวจดูตาราง

Brown-Forsythe พบว่า มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.000$) และทำการทดสอบแบบแทมเฮน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงขนาดแรงที่ให้ค่าความหนาของรีไลเอกซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แทมเฮน (Tamhane)

(I) force	(J) force	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
100	200	.010933*	.001326	<u>.000</u>
	300	.016300*	.001071	<u>.000</u>
200	100	-.010933*	.001326	<u>.000</u>
	300	.005367*	.000943	<u>.000</u>
300	100	-.016300*	.001071	<u>.000</u>
	200	-.005367*	.000943	<u>.000</u>

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตารางที่ 8

สรุป ขนาดแรงที่ใช้กดชิ้นงานด้วยแรง 100 200 และ 300 นิวตัน ให้ค่าความหนาของรีไลเอกซ์ยู100 แตกต่างกันทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

นำผลข้อที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนของระยะเวลาทดสอบต่อว่าระยะเวลาใดที่ให้ค่าความหนาของรีไลเอกซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีเน (Levene's Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด ไม่เท่ากันทุกกลุ่ม ($p=0.025$) จึงตรวจดูตาราง Brown-Forsythe พบว่า มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.037$) และทำการทดสอบแบบแทมเฮน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลาที่ให้ค่าความหนาของรีไลเอกซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แทมเฮน (Tamhane)

(I) force	(J) force	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1min	3min	.002933	.002224	.473
	5min	.005300*	.002024	<u>.035</u>
3min	1min	-.002933	.002224	.473
	5min	.002367	.001816	.484
5min	1min	-.005300*	.002024	<u>.035</u>
	3min	-.002367	.001816	.484

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตารางที่ 9

สรุป ระยะเวลาที่ใช้กดชิ้นงานนาน 1 นาที กับกดชิ้นงานนาน 5 นาที จะให้ค่าความหนาของรีไลเอกซ์ยู100 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2. แม็กเซม

ตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานต่อความหนาของแม็กเซม

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
time	.001	2	.000	26.920	<u>.000</u>
force	.004	2	.002	167.167	<u>.000</u>
time*force	.000	4	5.933E-5	5.056	<u>.001</u>

จากตารางที่ 10 พบว่า

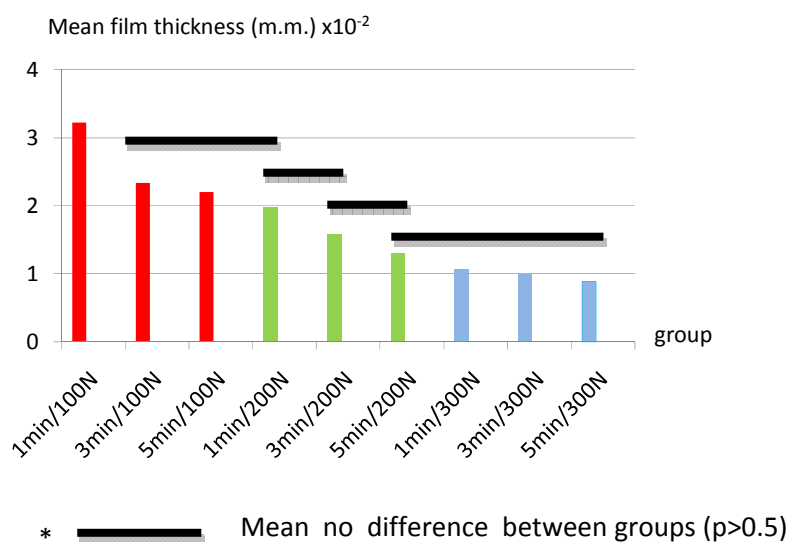
สรุปผลการวิเคราะห์ พบว่า ทั้งในส่วนของแรงและระยะเวลาที่กดขึ้นงานมีผลให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ต่อจากนั้น นำในส่วนของแรงและระยะเวลามาทดสอบต่อว่าแรงและระยะเวลาคู่ใดที่ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลวีเน (Levene's Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด ไม่เท่ากันทุกกลุ่ม ($p = 0.000$) จึงต้องดูตาราง Brown-Forsythe พบว่ามีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.000$) และทำการทดสอบแบบแทมเฮน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงกลุ่มของแรงและระยะเวลาที่ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Tamhene		N	Subset for alpha = 0.05				
group			1	2	3	4	5
5min/300N	9	10	.00880				
3min/300N	8	10	.01000				
1min/300N	7	10	.01060				
5min/200N	6	10	.01300	.01300			
3min/200N	5	10		.01580	.01580		
1min/200N	4	10			.01990	.01990	
5min/100N	3	10				.02200	
3min/100N	2	10				.02340	
1min/100N	1	10					.03220
Sig.			.150	.664	.173	.364	1.000

รูปที่ 9 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาของแม็กเซมในแต่ละกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ



สรุปผลการวิเคราะห์ พบว่า

1. กลุ่มที่ 1 คือ คู่แรงกด 100 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 1 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ
2. กลุ่มที่ 2 คือ คู่แรงกด 100 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 3 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 5 6 7 8 9 อย่างมีนัยสำคัญ
3. กลุ่มที่ 3 คือ คู่แรงกด 100 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 5 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 5 6 7 8 9 อย่างมีนัยสำคัญ
4. กลุ่มที่ 4 คือ คู่แรงกด 200 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 1 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 6 7 8 9 อย่างมีนัยสำคัญ
5. กลุ่มที่ 5 คือ คู่แรงกด 200 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 3 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 7 8 9 อย่างมีนัยสำคัญ
6. กลุ่มที่ 6 คือ คู่แรงกด 200 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 5 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 4 อย่างมีนัยสำคัญ

7. กลุ่มที่ 7 คือ คู่แรงกด 300 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 1 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 4 5 อย่างมีนัยสำคัญ
8. กลุ่มที่ 8 คือ คู่แรงกด 300 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 3 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 4 5 อย่างมีนัยสำคัญ
9. กลุ่มที่ 9 คือ คู่แรงกด 300 นิวตันกับระยะเวลากดนาน 5 นาที ให้ค่าความหนาของแม็กเซมแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 2 3 4 5 อย่างมีนัยสำคัญ

3. พานาเวียเอฟ 2.0

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์ผลของแรงและระยะเวลาในการกดชิ้นงานต่อความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
time	3.020E-5	2	1.510E-5	.697	.501
force	.008	2	.004	180.310	.000
time*force	.000	4	3.243E-5	1.498	.211

จากตารางที่ 12

สรุปผลการวิเคราะห์ พบว่าแรงที่กดชิ้นงานมีผลให้ค่าความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ต่อจากนั้น นำในส่วนของแรงมาทดสอบต่อว่าแรงขนาดเท่าใดที่ให้ค่าความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลวีเน (Levene's Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด ไม่เท่ากันทุกกลุ่ม ($p = 0.001$) จึงต้องดูตาราง Brown-Forsythe พบว่า มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.000$) และทำการทดสอบแบบแทมเฮน ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงขนาดแรงที่ให้ค่าความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แทมเฮน (Tamhane)

(I) force	(J) force	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
100	200	.009667*	.001099	<u>.000</u>
	300	.022733*	.001379	<u>.000</u>
200	100	-.009667*	.001099	<u>.000</u>
	300	.013067*	.001136	<u>.000</u>
300	100	-.022733*	.001379	<u>.000</u>
	200	-.013067*	.001136	<u>.000</u>

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตารางที่ 13

สรุปผลการวิเคราะห์ พบว่า ขนาดแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานทุกแรงจะให้ค่าความหนาของพานาเวียเอฟ 2.0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

แรงในการกดชิ้นงาน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า แรงในการกดชิ้นงานมีผลต่อความหนาของซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ชนิด โดยเมื่อให้แรงกดชิ้นงานที่มากขึ้นจากแรงกด 100 นิวตัน 200 นิวตัน ไปจนถึง 300 นิวตัน จะพบว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด คือ รีไลเอกซ์ยู 100 แม็กเซม และพานาเวียเอฟ 2.0 ให้ค่าความหนาของซีเมนต์ลดลงตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อให้แรงกดชิ้นงานที่ 300 นิวตัน พานาเวียเอฟ 2.0 ให้ค่าความหนาของซีเมนต์ที่มากที่สุดคือ 1.47×10^{-2} m.m. ส่วนความหนาของซีเมนต์แม็กเซม และรีไลเอกซ์ยู 100 ให้ความหนาของซีเมนต์ที่น้อยกว่าคือ 0.88×10^{-2} มม. และ 0.85×10^{-2} มม. ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองในความคิดเห็นของผู้ทำการทดลอง พบว่าน่าจะเป็นผลมาจากว่า พานาเวียเอฟ 2.0 เนื้อซีเมนต์หลังการผสมจะมีความหนืดมาก และมีการไหลแผ่ของเนื้อซีเมนต์ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ รีไลเอกซ์ยู 100 และ แม็กเซม ซึ่งความหนืดที่มากนั้นเกิดจากส่วนผสมของฟิลเลอร์ในเนื้อซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่และปริมาณที่มาก ซึ่งพานาเวียเอฟ 2.0 มีฟิลเลอร์เป็นพวกแก้วที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าซิลิกาที่มีในแม็กเซมและรีไลเอกซ์ยู 100 จึงทำให้แม็กเซมและรีไลเอกซ์ยู 100 มีความหนืดต่ำ มีการไหลแผ่ของเนื้อซีเมนต์ที่ดีและมีความเหลวกว่าพานาเวียเอฟ 2.0 ซึ่งเป็นในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองชนิดของ Kious และคณะ (2009) ที่พบว่า ความหนืดของซีเมนต์ในแต่ละชนิดต่างกัน ถ้าซีเมนต์หนืดมากจะให้ค่าความหนาของซีเมนต์ที่สูงขึ้นและให้ความแนบสนิทลดลง และปริมาณวัสดุอัดแทรกมีผลโดยตรงต่อความหนืด กล่าวคือ ปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ความหนืดของซีเมนต์ที่สูงขึ้น⁽¹⁶⁾ ซึ่งความหนืดคือ ค่าบ่งชี้คุณสมบัติความสามารถในการต้านทานการไหลภายในตัวของไหล ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากการกระทำของความเค้นภายนอก และอาจจะถูกพิจารณาให้เป็นตัวชี้วัดความเสียหายของไหลได้ ยิ่งของไหลมีความหนืดต่ำมากเท่าไร ก็จะมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้มากเท่านั้น ดังในกรณีความหนืดของซีเมนต์ในแต่ละชนิด ถ้าซีเมนต์มีความหนืดต่ำหมายความว่า เมื่อออกแรงกดชิ้นงาน ซีเมนต์จะสามารถไหลแผ่แนบระหว่างชิ้นงานกับพื้น

ธรรมชาติที่ยืดได้ดี ทำให้ชิ้นงานมีความแนบสนิท ลดความคลาดเคลื่อนจากการใส่ชิ้นงานมากขึ้น⁽⁵⁸⁾ เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่นที่กล่าวว่าสาเหตุหลักของความหนาซีเมนต์ที่หนาเกิดจากการไหลแผ่ที่ไม่ดีของซีเมนต์ระหว่างครอบฟันกับตัวฟัน^(37,38) และมีงานวิจัยที่พบว่าเมื่อใช้แรงกดครอบฟันที่ 25 นิวตัน 100 นิวตัน และ 300 นิวตัน และวัดความสูงของครอบฟัน (crown height) ก่อนและหลังยึดครอบฟันด้วยเรซินซีเมนต์กับแบบฟันจำลอง พบว่าเมื่อกดด้วยแรงมากขึ้นครอบฟันมีความแนบสนิทมากขึ้น^(44,45) และผลการทดลองเหมือนไปทิศทางเดียวกับงานวิจัยในซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ที่ใช้แรงกดชิ้นงานที่มากขึ้น พบว่าความหนาของซีเมนต์ลดลง^(37,38) สาเหตุที่แรงในการกดชิ้นงานมีผลต่อความหนาของซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ชนิดนั้น เนื่องมาจากเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดมากหรือมีความหนืดน้อยนั้น เมื่อถูกแรงกดลงไปเนื้อซีเมนต์ก็จะเกิดการไหลแผ่เป็นแผ่นฟิล์มที่อยู่ระหว่างชิ้นงาน ซึ่งเมื่อให้แรงกดมากเนื้อเรซินซีเมนต์จะถูกริดให้บางทำให้ค่าความหนาซีเมนต์น้อย

ระยะเวลาในการกดชิ้นงาน

ระยะเวลาที่ใช้กดชิ้นงานในการทดลองนี้มีระยะเวลาอยู่ 3 ระยะเวลา คือ 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที โดยจากการทดลองพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิด รีไลเอกซ์ยู 100 แม็กเซมและพานาเวียเอฟ 2.0 เมื่อระยะเวลาที่กดชิ้นงานนานขึ้น จะทำให้ความหนาของซีเมนต์น้อยลงตามลำดับ แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซม ระยะเวลาในการกดชิ้นงานนั้นมีผลต่อความหนาของซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพานาเวียเอฟ 2.0 ระยะเวลาในการกดชิ้นงานนั้นไม่มีผลต่อความหนาของซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในความคิดเห็นของผู้ทำการทดลองพบว่าน่าจะเป็นผลมาจากว่า ความหนืดและขนาดของฟิลเลอร์ของพานาเวียเอฟ 2.0 ที่มีขนาดใหญ่กว่าอีก 2 ชนิดทำให้เมื่อกดถึงในระยะเวลาหนึ่งแล้วไม่สามารถทำให้บางลงกว่าปริมาณฟิลเลอร์ที่อัดแน่นกันอยู่ ซึ่งได้มีงานวิจัยที่เปรียบเทียบองค์ประกอบและขนาดของฟิลเลอร์ของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในแต่ละชนิดพบว่า รีไลเอกซ์ยู 100 มีขนาดของฟิลเลอร์ที่น้อยกว่า 1 ไมโครเมตรและแม็กเซมมีขนาดของฟิลเลอร์ 2-6 ไมโครเมตร⁽⁵⁹⁾ ส่วนพานาเวียเอฟ 2.0 มีขนาดของฟิลเลอร์ตั้งแต่ 0.04 – 19 ไมโครเมตร⁽⁶⁰⁾ และจากการสังเกตขณะที่ผู้ทดลองทำการผสมเรซิน

ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ลักษณะของพานาเวียเอฟ 2.0 มีความหนืดและหยาบมากกว่าอีก 2 ชนิด จึงน่าจะเป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าว

ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินซีเมนต์แต่ละตัวจากรายงานของบริษัทผู้ผลิต นั้น พบว่า รีไลเอกซ์ยู 100 มีค่าเวลาการก่อตัว 5 นาที แม็กเซม 3 นาทีและพานาเวียเอฟ 2.0 3 นาที จากการทดลองนี้ที่พบว่าในรีไลเอกซ์ยู 100 และ แม็กเซม ระยะเวลาในการกดขึ้นงานมีผลต่อความหนาของซีเมนต์นั้น เมื่อให้แรงกดด้วยระยะเวลาที่สั้นไปแล้วปล่อยแรง โดยที่เรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาการก่อตัวที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ชิ้นงานไม่แนบในตำแหน่งเดิมจากการดั่งกลับ (rebound resilience) ของเนื้อซีเมนต์ เกิดความหนาของชิ้นงาน จึงทำให้ความหนาซีเมนต์เมื่อกดด้วยระยะเวลาสั้นมีความหนามากกว่าเมื่อกดด้วยระยะเวลาสั้น การดั่งกลับ (rebound resilience) ของเนื้อซีเมนต์ นั้นเป็นสมบัติหนึ่งซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการส่งคืนพลังงานส่วนหนึ่งในทันทีและพลังงานอีกส่วนจะถูกดูดซับไว้ในเนื้อวัสดุ⁽⁶¹⁾ ซึ่งการดั่งกลับนั้นอาจก่อให้เกิดความไม่แนบสนิท (incomplete seating) มีการกล่าวถึงทฤษฎีความไม่แนบสนิทของงานฟันปลอมชนิดติดแน่นในขั้นตอนการยึดครอบฟันด้วยซีเมนต์ เมื่อให้แรงกดครอบฟันลงบนตัวฟันขณะด้วยยึดซีเมนต์ เพื่อให้ครอบฟันนั้นแนบสนิท จะมีซีเมนต์ส่วนเกินไหลออกมาจากช่องว่างที่บริเวณขอบของครอบฟัน เกิดภาวะ hydrodynamic pressure ภายในเนื้อซีเมนต์ โดยเมื่อกดขึ้นงานด้วยระยะเวลาที่สั้นแล้วปล่อยแรง เนื้อเรซินซีเมนต์ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวและยังมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในของเหลวอยู่ ประกอบกับปริมาณของซีเมนต์ที่อยู่ระหว่างชิ้นงานยังค้างอยู่ปริมาณมากการปล่อยแรงกดก่อนเวลาจึงไม่ได้รีดซีเมนต์ส่วนเกินออกให้มากพอและซีเมนต์ยังไม่ถึงระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาการก่อตัวที่สมบูรณ์ทำให้ซีเมนต์หนาตัวขึ้น นอกจากนี้การที่กดขึ้นงานค้างไว้ด้วยระยะเวลาที่นานพอซีเมนต์ก่อตัวที่สมบูรณ์ เนื้อซีเมนต์ไม่ได้อยู่ในภาวะของเหลว การดั่งกลับก็จะไม่เกิดขึ้น^(37,38)

จากผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลองในเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ซึ่งผลการทดลองนั้นพบว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการกดครอบฟันขณะยึดด้วยซีเมนต์ที่นานขึ้น จะให้ค่าความหนาของซีเมนต์ที่น้อยลง^(37, 38) และสอดคล้องกับผลการวิจัย

ของ Owen และคณะ (2010) ว่าแนะนำให้กดขึ้นงานนานจนถึงระยะกอดตัวของซีเมนต์ตาม บริษัทผู้ผลิตกำหนด เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของขึ้นงานจากความหนาของซีเมนต์⁽⁵⁵⁾

ปกติในการยึดครอบฟันหรือวัสดุบูรณะจะต้องมีการทำ die spacer ลงบน die เพื่อเผื่อเนื้อที่ให้เป็นที่อยู่ของซีเมนต์ โดยทั่วไปจะต้องมีความหนา 25 – 40 ไมโครเมตร⁽⁶²⁾ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการทดลองแล้วพบว่าความหนาของซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ชนิด มีความหนาน้อยกว่าความหนาของ die spacer จึงไม่ส่งผลต่อความไม่แนบสนิทของขึ้นงาน

จากผลการทดลองพบว่าถ้าเป็นรีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซมที่มีความหนืดของซีเมนต์น้อย จะต้องกดให้นานขึ้น เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มซีเมนต์ที่บาง เกิดความแนบสนิทของขึ้นงานมากที่สุด ในขณะที่พานาเวียเอฟ 2.0 มีความหนืดของซีเมนต์มาก อาจไม่ต้องกดนานมากเพราะมีขนาดของฟิลเลอร์ที่ใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกดซีเมนต์ให้ได้บางและเกิดการดึงกลับน้อยเนื่องจากมีปริมาณแมทริกซ์น้อย ซึ่งจากผลการทดลองนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเลือกชนิดของเรซินซีเมนต์เพื่อยึดขึ้นงานฟันปลอมชนิดติดแน่น โดยคำนึงถึงความหนืดของซีเมนต์และขนาดของฟิลเลอร์ในซีเมนต์แต่ละชนิด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. ชนิดเรซินซีเมนต์

- พานาเวียเอฟ 2.0 มีความหนาของซีเมนต์มากที่สุด และหนามากกว่ารีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซมอย่างมีนัยสำคัญ
- ส่วนรีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซม มีความหนาของซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกัน

2. แรงที่กดขึ้นงาน

- แรงกดที่มากขึ้นทำให้ความหนาของเรซินซีเมนต์ทุกชนิดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

3. ระยะเวลาที่กดขึ้นงาน

- ระยะเวลากดที่มากขึ้นทำให้ความหนาของเรซินซีเมนต์ชนิดรีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลในเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟ 2.0

ข้อเสนอแนะ

- ควรคำนึงถึง ชนิดของซีเมนต์ว่า เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีการใช้งานที่แตกต่างกัน
- ควรคำนึงถึง **setting time** ของซีเมนต์แต่ละชนิด เพื่อที่จะกดขึ้นงานให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุด ป้องกันการเกิดการดั่งกลับของเนื้อซีเมนต์
- ซีเมนต์ที่มีขนาดฟิลเลอร์ใหญ่ หรือมีความหนืดสูง เช่น พานาเวียเอฟ 2.0 การกดขึ้นงานอาจไม่จำเป็นต้องกดถึง **setting time** ส่วนซีเมนต์ที่มีขนาดฟิลเลอร์เล็กหรือมีความหนืดต่ำ เช่น รีไลเอกซ์ยู 100 และแม็กเซม การกดขึ้นงานจำเป็นต้องกดให้นานจนถึง **setting time**

รายการอ้างอิง

- (1.) Rosentiel, S. F., Land, M. F. and Crispin, B. J. 1998. Dental luting agents: A review of the current literature. J Prosthet Dent. 80(3): 280-301.
- (2.) เจน รัตน์ไพศาล. 2533. ทันตวัสดุศาสตร์ หน้า 153-191. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- (3.) Diaz – Arnold, A. M., Vargas, M. A. and Haselton, D.R. 1999. Current status of luting agent for fixed prosthodontics. J Prosthet Dent. 81: 135-41.
- (4.) Craig, R.G. 2002. Restorative Dental Materials. 11th ed. St. Louis : C.V. Mosby.
- (5.) Anusavice, K.J. 1996. Phillips' Science of Dental Materials, 10th ed. pp. 273-299. Philadelphia: W.B. Saunders.
- (6.) White, S. and Yu, Z. 1993. Physical properties of fixed prothodontic, resin composite luting agent. Int J Prosthodont. 6: 384-389.
- (7.) Crowley, C.M. 1996. *Nature: Reinvention, Restoration or Preservation*. Environmental Politics, pp. 367-371. ISSN 0964-4016.
- (8.) Braga, R.R., et al.1999. Pilot study on the early shear strength of porcelain-dentine bonding Using dual-cure cements. J Prosthet Dent. 81 : 285-289.
- (9.) Anusavice, K.J.1996. Phillips' Science of dental materials, 10th ed. pp. 173-299. Philadelphia: W.B. Saunder Company.
- (10.) Kamada, K., Yoshida, K. and Atsuta, M. 1998. Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material. J Prosthet Dent. 79(5): 508-13.
- (11.) Hahn, P., Attin, T., Grofke, M. And Hellwig, E. 2001. Influence of resin cement viscosity on Microleakage of ceramic inlay. Dental mater.17: 191-196.
- (12.) O'Brien, W. J. 1989. Dental cement, In: O' Brien WJ, editor. Dental material: properties and selection, 7th ed. pp. 538, 542. Chicago: Quintessence.

- (13.) International Organization for standardization (ISO)ISO/FDIS 4049. 2000.
Dentistry-Polymer-based filling, restoration and luting material.
- (14.) Craig, R. and Powers, J.M. 2006. Restorative dental materials. 12th ed. pp.152-54. St Louis, Missouri: Mosby.
- (15.) Inokoshi, S., et.al. 1993. Dual-cure luting composites. Part I: filler particle distribution. J Oral Rehab. 20: 133-146.
- (16.) Kristen, L., et.al. 2007. Systemic review of the chemical composition of contemporary dental adhesive. Biomaterials. 28: 57-85.
- (17.) Yoshida, Y., et.al. 2004. Comparative study on adhesive performance of function monomers. J Dent Res. 83:54-8.
- (18.) Watanabe, E.k., Yatani, H., Ishikawa, K., Suzuki, K. and Yamashita, A. 2000. Pilot study of conditioner/primer effects on resin-dentin bonding after provisional cement contamination using SEM, energy dispersive x-ray spectroscopy, and bond strength evaluation measure. J Prosthet Dent. 83(3):433-8.
- (19.) Hikita, K., et al. 2007. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater. 23(1): 71-80.
- (20.) Bitter, K., Priehn, K., Martus, P. and Kielbassa, A.M. 2006. In vitro evaluation of push-out bond strengths of various luting agents to tooth-colored posts. J Prosthet Dent .25(4):302-10.
- (21.) Frankenberger, R., Lohbaver, U., Schaible, R.B., Nikolaenko, S.A. and Naumann, M. 2008. Luting of ceramic inlays in vitro: marginal quality self-etch and etch-and-rinse adhesive versus self-etch cements. Dent Mater. 24(2): 185-91.

- (22.) วุฒิพงษ์ ลือศักดิ์. ผลของความหนาฟิล์มต่อพันธะต้านแรงเฉือนของซีเมนต์เรซินแอคทีฟ 2 ชนิดในการยึดโลหะเจือนิเกิล-โครเมียมกับเนื้อฟันวัว. 2548. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- (23.) Cotterell, B. and Mai, Y.W. 1996. Frature mechanics of cementations materials, pp.1-5. London: Black Academic & Profesional.
- (24.) Wiskott, H.W., Nicholls, J.I. and Belser, U.C. 1997. The effect of tooth preparation height and diameter on the resistance of complete crowns to fatigue loading. Int J Prosthodont. 10(3): 207-15.
- (25.) Oligo, G. and Evje, D.M. 1986 Film thickness of dental luting cements. Dent Mater. 2: 85-89.
- (26.) McComb, D. 1982. Retention of Casting with Glass Ionomer Cement. J Prosthet Dent. 48: 285-288.
- (27.) Worley, J. L., Hamm, R. C. and Von fraunhofer, J..A. 1982. Effects of Cement on Crown Retention. J prosthet dent. 48: 289-291.
- (28.) Omar, R. A. 1988. Comparative Study of the Retentive Capacity of Dental Cementing Agents. J prosthet dent. 60: 35-40.
- (29.) Judith, M.S., et al. 1994. Luting cement-metal surface physiochemical interactions on Film thickness. J prosthet dent. 72: 128-132.
- (30.) Jorgensen, K. D. 1960. Factors Affecting the Film Thickness of Zinc Phosphate Cements. Acta Odontol Scand. 18: 479-490.
- (31.) Jorgensen, K. D. 1960. Structure of the Film of Zinc Phosphate Cements. Acta Odontol Scand. 18: 491-501.
- (32.) Carter, S. M. and Wilson, P. R. 1996. The Effect of Die-Spacing on Crown Retention. Int J Prosthodont. 9: 21-29.

- (33.) Passon, C., Lambert, R. H., Lambert, R. L. and Newman, S. 1992. The Effect of Multiple Layers of Die-Spacer on Crown Retention. Oper Dent. 17: 42-49.
- (34.) Grajower, R., Lewinstein, I. and Zeltser, C. 1985. The Effective Minimum Cement Thickness of Zinc Phosphate Cement for Luted Non-Precious Crowns. J Oral Rehabil. 12 : 235-245.
- (35.) Kay, G. W., Jablonski, D. A. and Dogon, I. L. 1986. Factors Affecting the Seating and fit of Complete Crowns : A Computer Simulation Study. J Prosthet Dent. 55: 13-18.
- (36.) Wang, C. J., Millstein, P. L. and Nathanson, D. 1992. Effect of Cement, Cement Space, Marginal Design, Seating Aid Materials, and Seating Force on crown Cementation. J Prosthet Dent. 67: 786-790.
- (37.) Piemjai, M. 2001. Effect of Seating Force, Margin Design, and Cement on Marginal Seal and Retention of Complete Metal Crowns. Int J Prosthodont . 14 : 412-416.
- (38.) Tuntiprawon, M. 1999. Effect of tooth surface roughness on marginal seating and retention of complete metal crowns. J Prosthet Dent. 81:142–147.
- (39.) Goracci, C., Cury, A.H., Cantoro, A., Papacchini, F., Tay, F.R. and Ferrari, M. 2006. Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cement. J Adhes Dent. 8:327–335.
- (40.) Black, S. and Amore, J.N. 1993. Measurement of forces applied during the clinical cementation of dental crowns. Physiol Meas. 14:387–392.
- (41.) Mustafa, Z., Pinar, B., Kerem, K., Eylem, O. and Suleyman, A. 2010. Effects of Finger Pressure Applied By Dentists during Cementation of All Ceramic Crowns. Eur J Dent. 4(4): 383–388.

- (42.) Chieffi, N., et.al. 2007. The effect of application sustained seating pressure on adhesive luting procedure. Dent Mater. 23:159–164.
- (43.) Bate, J. F., Stafford, G.D. and Harrison, A.1976. Masticatory function a review of the literature masticatory performance and efficiency. J Oral Rehabil. 3:57-67.
- (44.) Gibbs, C.H., Mahan, P.E., Mauderli, A., Lundeen, H.C. and Walsh, E.K.1996 Limits of human bite strength. J Prosthet Dent . 56:226-229
- (45.) Kaznori, I. and Takashi, N. 2003. Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men. J oral rehab. 30(3): 278-82.
- (46.) Anderson, D. J., Picton, D. A. 1958. Masticatory stresses in normal and modified occlusion. J Dent Res. 37:312-317.
- (47.) Andrew, R. K., Howard, W.R. and William, W.B. 2009. Film Thickness of Recently Introduced Luting Cements. J Prosthet Dent. 101 : 189-192.
- (48.) Owen, A., et.al. 2010. Seating load parameters impact On Dental ceramic reinforcement conferred by cementation with resin-cements. Dent Mater. 26: 915-921.
- (49.) Chana, H.S., Ibbetson, R.J., Pearson, G.J. and Eder, A. 1997. The influence of cement thickness on the tensile strength of two resin. Int Journal Prosthodont. 10(4): 340-4.
- (50.) Cekic-Nagas, I., Canay, S. and Sahin, E., 2010. Bonding of resin core materials to lithium disilicate ceramics: the effect of resin cement film thickness. Int J prosthet dent . 23(5): 469-71

- (51.) Ronaldo, G., et.al. 2009. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. J Prosthet Dent. 102: 3.
- (52.) Gracia, R. B., et.al. 2011. Bond strength of self-adhesive resin cements to deep dentin. Original Research Artrical. 8(4): 431-8.
- (53.) Piwowarczyk, A., Lauer, H.C. and Sorensen, J. A. 2004. In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials. J Prosthet Dent. 92(3): 265-73.
- (54.) Viotti, R. G., et.al. 2009. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. J Prosthet Dent. 102(5): 306-12.
- (55.) Kious, A. B., Roberts, H. W. and Brackett, w. w. 2009. Film thickness of recently introduced luting cements. Int J Prosthodont. 101(3): 189-92.
- (56.) Yang, B., Ludwig, K., Adlung, R. and Kern, M. 2006. Microtensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. Dent Mater. 22:45-56.
- (57.) Senyilmaz, D. P., Palin, W. M., Shortall, A. C. and Burke, F. J. 2007. The effect surface preparation and luting agent on bond strength to a zirconium-based ceramic. Oper Dent. 32(6): 623-30.
- (58.) Ekworapoj, P., Magaraphan, R. and Martin, D. C. 2002. Heat effect on viscosity and curing of light-cured dental resin and mechanical strength of conventional dental composite. J of metals, materials and minerals. 12(1):39-50.

- (59.) Gatin, E., Matei, E., Pirvu, D., Galbinasu, B. and Iordache, S.2012.
Comparative survey of the most used self adhesive dental cement based on resin composite. J of nanomaterials and biostructures. 7(1): 207-214.
- (60.) Sakazu, Kurashiki, Okayama. Instructions for use panavia f 2.0 [online].2012.
Available from: <http://www.Kuraray – dental.eu/c2041-eui-06-111102-pd> [2013,march 5]
- (61.) Soratus, S. H. 2002. Mechanical properties, Essentials of Dental materials. pp. 62.Gopsons Papers: Nolida.
- (62.) Jason, J., et.al. 2001. Effect of evaporation and mixing technique on die spacer thickness: A preliminary study. J prosthet Dent. 85:82-7.

ภาคผนวก

ตารางที่ 14 แสดงการกระจายปกติของ รัลเอกซ์ยู 100 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
100	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.03040</u>
			Std. Deviation	.004274
		Most Extreme Differences	Absolute	.329
			Positive	.200
			Negative	-.329
		Kolmogorov-Smirnov Z	1.039	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.231	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.02560</u>
	Std. Deviation			.005461
Most Extreme Differences	Absolute			.283
	Positive			.283
	Negative			-.212
Kolmogorov-Smirnov Z	.895			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.400			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.02170</u>
			Std. Deviation	.002669
		Most Extreme Differences	Absolute	.213
			Positive	.213
			Negative	-.162
		Kolmogorov-Smirnov Z	.674	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.754	

ตารางที่ 15 แสดงการกระจายปกติของ รัลเอกซ์ยู 100 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
200	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01800</u>
			Std. Deviation	.005099
		Most Extreme Differences	Absolute	.153
			Positive	.147
			Negative	-.153
		Kolmogorov-Smirnov Z	.482	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.974	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.01430</u>
	Std. Deviation			.004715
Most Extreme Differences	Absolute			.219
	Positive			.219
	Negative			-.181
Kolmogorov-Smirnov Z	.693			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.723			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01260</u>
			Std. Deviation	.002716
		Most Extreme Differences	Absolute	.241
			Positive	.241
			Negative	-.169
		Kolmogorov-Smirnov Z	.764	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.604	

ตารางที่ 16 แสดงการกระจายปกติของรีไลเอกซ์ยู 100 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
300	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01030</u>
			Std. Deviation	.002214
		Most Extreme Differences	Absolute	.254
			Positive	.254
			Negative	-.246
		Kolmogorov-Smirnov Z	.803	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.539	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.01000</u>
	Std. Deviation			.002000
Most Extreme Differences	Absolute			.300
	Positive			.300
	Negative			-.300
Kolmogorov-Smirnov Z	.949			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.329			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.00850</u>
			Std. Deviation	.001581
		Most Extreme Differences	Absolute	.329
			Positive	.329
			Negative	-.329
		Kolmogorov-Smirnov Z	1.039	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.230	

ตารางที่ 17 แสดงการกระจายปกติของแม็กเซม (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
100	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.03220</u>
			Std. Deviation	.003882
		Most Extreme Differences	Absolute	.282
			Positive	.210
			Negative	-.282
		Kolmogorov-Smirnov Z	.891	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.406	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.02340</u>
	Std. Deviation			.003471
Most Extreme Differences	Absolute			.246
	Positive			.246
	Negative			-.164
Kolmogorov-Smirnov Z	.778			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.581			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.02200</u>
			Std. Deviation	.002211
		Most Extreme Differences	Absolute	.226
			Positive	.226
			Negative	-.183
		Kolmogorov-Smirnov Z	.713	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.689	

ตารางที่ 18 แสดงการกระจายปกติของแม็กเซม (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
200	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01990</u>
			Std. Deviation	.005021
		Most Extreme Differences	Absolute	.121
			Positive	.118
			Negative	-.121
		Kolmogorov-Smirnov Z	.384	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.999	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.01580</u>
	Std. Deviation			.005391
Most Extreme Differences	Absolute			.198
	Positive			.198
	Negative			-.175
Kolmogorov-Smirnov Z	.627			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.827			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01300</u>
			Std. Deviation	.003055
		Most Extreme Differences	Absolute	.237
			Positive	.237
			Negative	-.205
		Kolmogorov-Smirnov Z	.749	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.628	

ตารางที่ 19 แสดงการกระจายปกติของแม็กเซม (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
300	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01060</u>
			Std. Deviation	.001897
		Most Extreme Differences	Absolute	.324
			Positive	.324
			Negative	-.276
		Kolmogorov-Smirnov Z	1.025	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.244	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.01000</u>
	Std. Deviation			.002000
Most Extreme Differences	Absolute			.300
	Positive			.300
	Negative			-.300
Kolmogorov-Smirnov Z	.949			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.329			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.00880</u>
			Std. Deviation	.001549
		Most Extreme Differences	Absolute	.381
			Positive	.277
			Negative	-.381
		Kolmogorov-Smirnov Z	1.204	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.110	

ตารางที่ 20 แสดงการกระจายปกติของพานาเวียเอฟ2.0 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
100	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.04170</u>
			Std. Deviation	.004165
		Most Extreme Differences	Absolute	.258
			Positive	.258
			Negative	-.142
		Kolmogorov-Smirnov Z	.817	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.516	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.03830</u>
	Std. Deviation			.003561
Most Extreme Differences	Absolute			.183
	Positive			.142
	Negative			-.183
Kolmogorov-Smirnov Z	.580			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.889			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.03840</u>
			Std. Deviation	.007043
		Most Extreme Differences	Absolute	.189
			Positive	.179
			Negative	-.189
		Kolmogorov-Smirnov Z	.598	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.867	

ตารางที่ 21 แสดงการกระจายปกติของพานาเวียเอฟ 2.0 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
200	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.02910</u>
			Std. Deviation	.002470
		Most Extreme Differences	Absolute	.302
			Positive	.302
			Negative	-.198
			Kolmogorov-Smirnov Z	.956
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.320	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.02930</u>
	Std. Deviation			.003302
Most Extreme Differences	Absolute			.184
	Positive			.157
	Negative			-.184
	Kolmogorov-Smirnov Z			.582
Asymp. Sig. (2-tailed)	.888			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.03100</u>
			Std. Deviation	.003055
		Most Extreme Differences	Absolute	.228
			Positive	.228
			Negative	-.172
			Kolmogorov-Smirnov Z	.722
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.675	

ตารางที่ 22 แสดงการกระจายปกติของพานาเวียเอฟ 2.0 (normal distribution)

Fore	Time		Thickness	
300	1min	N	10	
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01750</u>
			Std. Deviation	.005401
		Most Extreme Differences	Absolute	.278
			Positive	.198
			Negative	-.278
		Kolmogorov-Smirnov Z	.880	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.421	
			3min	N
Normal Parameter ^{a,,b}	Mean			<u>.01800</u>
	Std. Deviation			.004667
Most Extreme Differences	Absolute			.266
	Positive			.157
	Negative			-.266
Kolmogorov-Smirnov Z	.841			
Asymp. Sig. (2-tailed)	.479			
	5min			N
		Normal Parameter ^{a,,b}	Mean	<u>.01470</u>
			Std. Deviation	.006165
		Most Extreme Differences	Absolute	.177
			Positive	.177
			Negative	-.145
		Kolmogorov-Smirnov Z	.560	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.912	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนภัสนันท์ พลับนิคย์ เกิดที่เพชรบูรณ์ เมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524 สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย นเรศวร เมื่อปี พ.ศ.2549 และเข้าทำงานในตำแหน่งทันตแพทย์ ระดับชำนาญการ โรงพยาบาล พิจิตร จังหวัดพิจิตร ปัจจุบันได้ลาศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย