

กำลังแรงยึดติงระหว่างสารยัดเรชินและเซอรโคเนียที่ปรับสภาพผิวด้วย

สารปรับสภาพผิวสามชนิด



นาย สมโภช อังคนาวิริยารักษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TENSILE BOND STRENGTH BETWEEN RESIN ADHESIVE AND

ZIRCONIA TREATED WITH THREE PRIMERS



Mr. Somphote Angkanawiriyarak

ศูนย์ทันตกรรม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

กำลังแรงยึดติ่งระหว่างสารยี่ดเรซินและเซอร์โคเนียที่ปรับสภาพผิวด้วยสารปรับสภาพผิวสามชนิด

โดย

นาย สมโภช อังคนาวิริยารักษ์

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

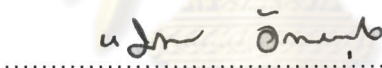
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม อังรงค์อนันต์สกุล


คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรอง อักษรนุกิจ)

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

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ)

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

สมโภช อังคนาวิริยรักษ์ : กำลังแรงยึดติดระหว่างสารยึดเรซินและเซอร์โคเนียที่ปรับสภาพผิวด้วยสารปรับสภาพผิวสามชนิด (TENSILE BOND STRENGTH BETWEEN RESIN ADHESIVE AND ZIRCONIA TREATED WITH THREE PRIMERS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ทพ.ดร. นิยม อารังค์อนันต์สกุล, 66 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการทดลองในห้องปฏิบัติการครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียสามชนิดที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดติดของการเชื่อมติดระหว่างสารยึดเรซินและผิวหน้าเซอร์โคเนียที่ขัดเรียบ การศึกษานี้ได้ทำการเตรียมแผ่นเซอร์โคเนียขึ้นและเชื่อมติดกับแท่งเรซินคอมโพสิต โดยแบ่งชิ้นงานเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 15 ชิ้น โดยมีกลุ่มที่ไม่ได้ทำด้วยสารปรับสภาพผิว (NO) เป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองอีกสามกลุ่มใช้สารปรับสภาพผิวชนิดต่างกัน ดังนี้ Zirconia Liner (ZL) Metal/Zirconia Primer (MZ) และ Monobond Plus (MP) โดยชิ้นงาน 10 ชิ้นในแต่ละกลุ่มถูกเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและชิ้นงานที่เหลือ 5 ชิ้นได้ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิงระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียสจำนวน 5,000 รอบ จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดผ่านการทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดติด และทำการวัดมุมพื้นผิวของน้ำบนผิวเซอร์โคเนียเพื่อศึกษาผลของสารปรับสภาพผิวต่อการไหลแผ่ ค่ากำลังแรงยึดติดของชิ้นงานที่เก็บในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ของกลุ่ม NO ZL MZ และ MP มีค่า 1.96, 3.53, 3.81 และ 4.11 เมกกะปาสคาลตามลำดับ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ Two-way ANOVA Brown-Forsythe Tamhane's Kruskal Wallis และ Conover-Inman test พบว่าสารปรับสภาพผิวในแต่ละกลุ่มสามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการทำเทอร์โมไซคลิงไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดติด และเมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบสารยึดเรซินติดอยู่ที่ผิวของเซอร์โคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวในลักษณะที่หนาสม่ำเสมอมากกว่า ผลการวัดมุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวของเซอร์โคเนียพบว่าเซอร์โคเนียที่ผ่านการทาด้วยสารปรับสภาพผิวจะมีค่ามุมสัมผัสต่ำลงเมื่อเทียบกับผิวของเซอร์โคเนียปกติ ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่าการใช้สารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียเพียงอย่างเดียวช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดได้สูงกว่ากลุ่มควบคุม 1-2 เมกกะปาสคาลซึ่งไม่เพียงพอกับการนำมาใช้งานในทางคลินิก

ภาควิชา...ทันตกรรมประดิษฐ์.... ลายมือชื่อนิสิต..... ผศ.ทพ.ดร. นิยม อังคนาวิริยรักษ์  
สาขาวิชา...ทันตกรรมประดิษฐ์.... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

## 5176133932: MAJOR PROTHODONTICS

KEYWORDS : TENSILE STRENGTH/ZIRCONIA CERAMIC/ZIRCONIA PRIMER

SOMPOTE ANGKANAWIRIYARAK: TENSILE BOND STRENGTH BETWEEN RESIN ADHESIVE AND ZIRCONIA TREATED WITH THREE PRIMERS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NIYOM THAMRONGANANSKUL, Ph. D., 66 pp.

The purpose of this *in vitro* study was to evaluate the effect of three zirconia primers on tensile bond strength of resin cement bonding to polished zirconia surface. In this study, zirconia disks were prepared then cemented with resin composite rods. Four groups of 15 specimens each were applied either no primer (NO) as a control group or using different primers; Zirconia Liner (ZL), Metal/Zirconia Primer (MZ) and Monobond Plus (MP). Subgroups of 10 bonded specimens were stored in distilled water at 37°C for 72 hours and the other subgroups of 5 specimens were thermocycled between 5°C and 55°C 5000 times then all specimens were subjected to tensile bond strength test. Contact angle between water and zirconia surface was measured to study the flowability. Mean tensile bond strength of 72-hour groups were 1.96, 3.53, 3.81, and 4.11 MPa for NO, ZL, MZ, and MP respectively. Statistical analyses were conducted with the two-way ANOVA, Brown-Forsythe/Tamhane's, Kruskal Wallis and Conover-Inman tests and showed that each of zirconia primers improved tensile bond strength at the 0.05 level of significance regardless of thermocycling procedure. SEM image showed the surface of primer-treated zirconia had evidence of thicker and more uniform resin residual attached to the surface. Contact angle measurement showed that contact angle was decreased after primer application when compared with normal zirconia surface. The results of this study suggested that using only zirconia primers increased tensile bond strength 1-2 MPa compared to control group which was not adequate in clinical application.

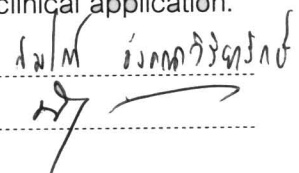
Department : ..... Prosthodontics .....

Student's Signature

Field of Study : ..... Prosthodontics .....

Advisor's Signature

Academic Year : ..... 2010 .....



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันและผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังรายนามต่อไปนี้  
ผศ.ทพ.ดร. นิยม อ่างศ์อนันต์สกุล ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและจัดทำ  
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้  
คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

อาจารย์ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอด  
ความรู้ ตลอดจนจริยธรรมให้แก่ข้าพเจ้า

ผศ. ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นสถานที่ให้ความรู้ อบรมจริยธรรม  
และปลูกจิตสำนึกที่ดีแก่ข้าพเจ้า

บิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมสั่งสอนและให้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่กำเนิด

เพื่อน พี่ น้อง ทันตแพทย์ในที่ทำงาน และในคณะทันตแพทยศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ  
และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	17
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	36
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	66

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 ค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างเซอร์โคเนียกับเรซินซีเมนต์จากการศึกษาก่อนหน้านี้.....	11
ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของสารปรับสภาพผิวที่ใช้ในการศึกษา.....	23
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงในกลุ่ม 72 ชั่วโมง .....	29
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงในกลุ่มเทอร์โมไซเคิล.....	29
ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA).....	30



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญภาพ

รูป	หน้า
รูป 1 เฟสไดอะแกรมของเซอร์โคเนียที่คงความเสถียรบางส่วน.....	6
รูป 2 โครงสร้างผลึกของเซอร์โคเนียในรูปแบบเตตระโกนอลและโมโนคลินิก.....	6
รูป 3 กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง.....	7
รูป 4 เครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์.....	19
รูป 5 ชิ้นงานเซอร์โคเนียก่อนทำการกลึง.....	20
รูป 6 ชิ้นงานเซอร์โคเนียหลังจากการกลึง.....	20
รูป 7 แสดงขั้นตอนการตัดชิ้นเซอร์โคเนียด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ.....	20
รูป 8 แสดงขั้นตอนการเผาชิ้นงานเซอร์โคเนีย.....	21
รูป 9 ชิ้นงานเซอร์โคเนียหลังการเผา.....	21
รูป 10 ชิ้นงานเซอร์โคเนียยึดในแบบหล่อด้วยอะคริลิก.....	21
รูป 11 แม่แบบเทฟลอน.....	22
รูป 12 ชิ้นงานเรซินคอมโพสิต.....	22
รูป 13 แท่นวางเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ.....	24
รูป 14 เครื่องมือยึดจับชิ้นงานเซอร์โคเนีย และชิ้นงานเซอร์โคเนียในแบบหล่ออะคริลิก.....	24
รูป 15 เครื่องมือยึดจับชิ้นงานเรซินคอมโพสิตและชิ้นงานเรซินคอมโพสิต.....	25
รูป 16 ชิ้นเซอร์โคเนียในแบบหล่ออะคริลิกและแท่งเรซินคอมโพสิตก่อนการยึดชิ้นงาน.....	25
รูป 17 แผนภูมิแสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย.....	26
รูป 18 การทดสอบกำลังแรงยึดดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์.....	27
รูป 19 แผนภูมิแสดงค่ากำลังแรงยึดดึงของกลุ่ม 72 ชั่วโมง.....	32
รูป 20 แผนภูมิแสดงค่ากำลังแรงยึดดึงของกลุ่มเทอร์โมไซคลิก.....	33
รูป 21 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างกลุ่ม 72 ชั่วโมง กับ กลุ่มเทอร์โมไซคลิก.....	33
รูป 22 ผิวของเซอร์โคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนีย.....	34
รูป 23 ผิวของเซอร์โคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนีย.....	34
รูป 24 พื้นผิวเซอร์โคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว.....	40
รูป 25 ผิวเซอร์โคเนียที่ขัดเรียบที่ระดับ 600 กริทก่อนทำการยึดติดกับเรซินซีเมนต์.....	41

รูป 26 พื้นผิวเซอร์โคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว ..... 41

รูป 27 ลักษณะของผิวเซอร์โคเนียหลังทำการทดสอบที่กำลังขยาย 500 เท่า ..... 42

รูป 28 มุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวของเซอร์โคเนียก่อนการทาสารปรับสภาพผิว ..... 44

รูป 29 มุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวของเซอร์โคเนียหลังการทาสารปรับสภาพผิว ..... 44



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการพัฒนาวัสดุเซรามิกที่ใช้งานในทางด้านทันตกรรมได้มีการพัฒนาอย่างมาก และนำไปสู่การผลิตวัสดุเซรามิกในกลุ่มที่มีความแข็งแรงสูง อาทิเช่น เซรามิกที่มีองค์ประกอบของ อะลูมินา หรือ เซอร์โคเนีย ซึ่งวัสดุทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าความต้านทานการแตกหักสูง มีความทนทานต่อการใช้งานในระยะเวลายาวนานมากกว่าเซรามิกชนิดดั้งเดิมที่เรียกว่าเฟลด์สปาทิก (feldspathic) ซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ แต่อย่างไรก็ตามเซรามิกในกลุ่มที่มีความแข็งแรงสูงนี้ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานโดยเฉพาะด้านการยึดติดกับวัสดุกลุ่มเรซิน ซึ่งทำได้ยากกว่าเซรามิก ในกลุ่มที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ โดยการยึดติดกับวัสดุเรซินนั้นมีความสำคัญเนื่องจากการยึดติดที่ ดีนั้นจะส่งผลต่อการยึดอยู่ของชิ้นงานและช่วยป้องกันการเกิดการร้าวซึม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก และความต้านทานการล้าของวัสดุ(1) โดยสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้น ได้จากการใช้เรซินซีเมนต์ซึ่งให้การยึดติดทั้งทางเชิงกลในระดับจุลภาคและเชื่อมยึดด้วยพันธะเคมี โดยผิวของเซรามิกจะติดแน่นกับวัสดุเรซินได้ด้วย 2 กระบวนการคือ การยึดติดเชิงกลจากการทำ ผิวให้เกิดความขรุขระ และการยึดเชื่อมด้วยพันธะเคมี

การทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลในเซอร์โคเนียนั้นทำได้ยากโดยวิธีการใช้กรดกัด และแม้ว่า การพ่นด้วยอนุภาคอะลูมินาจะให้ค่าแรงยึดที่สูง(1-2)ขึ้นแต่ยังมีข้อสงสัยเรื่องการทำให้ความ แข็งแรงของเซอร์โคเนียลดลงทำให้มีความพยายามในการพัฒนาการยึดติดกับเซอร์โคเนียด้วย พันธะเคมี เพื่อให้ได้กำลังแรงยึดติดที่ดีโดยลดการปรับปรุงสภาพผิวทางกายภาพของเซอร์โคเนีย เพื่อลดความเสี่ยงต่อการลดลงของความแข็งแรงของเซอร์โคเนีย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดติดของการเชื่อมติด ระหว่างสารยึดเรซินและผิวของเซอร์โคเนีย
2. เพื่อศึกษาผลของการทำเทอร์โมไซเคิลที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดติดของการเชื่อมติดระหว่างสาร ยึดเรซินและผิวของเซอร์โคเนีย

## สมมติฐานการวิจัย

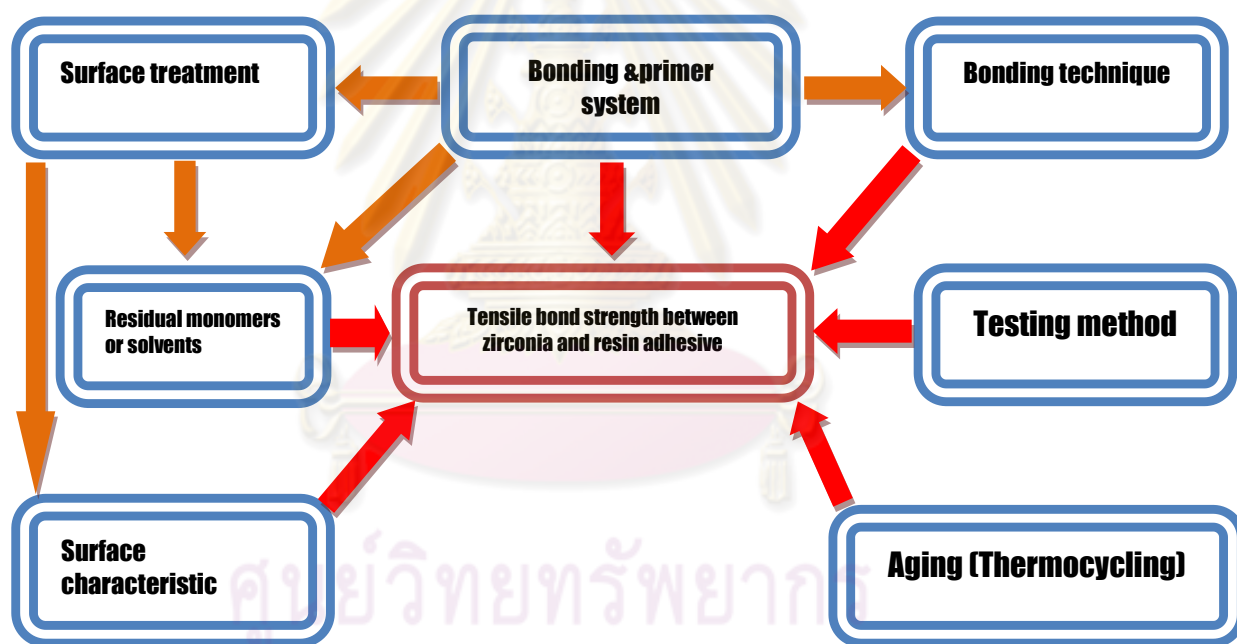
1.  $H_0$ : ชนิดของสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียให้ผลกำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับสารยึดเรซินไม่แตกต่างกัน

$H_1$ : ชนิดของสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียให้ผลกำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับสารยึดเรซินแตกต่างกัน

2.  $H_0$ : กระบวนการเทอร์โมไซคลิงมีผลให้กำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับสารยึดเรซินไม่แตกต่างกัน

$H_1$ : กระบวนการเทอร์โมไซคลิงมีผลให้กำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับสารยึดเรซินแตกต่างกัน

## กรอบแนวคิดการวิจัย



## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ( experimental research) โดยศึกษาค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างสารยึดเรซินและผิวเซอริโคเนียที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน และศึกษาถึงผลของการทำเทอร์โมไซคลิงที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดติด

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย

2. การศึกษาใช้การเตรียมผิวเซอริโคเนียที่เรียบระดับ 600 กริทเพื่อกำจัดผลที่จะเกิดจากการยึดติดเชิงกล เนื่องจากผู้ศึกษาต้องการศึกษาถึงผลของการเกิดพันธะเคมีจากการใช้สารปรับสภาพผิว

3. การทำเทอร์โมไซคลิงเป็นกระบวนการเร่งอายุเพื่อเป็นการจำลองการเสื่อมภายใต้ความชื้น และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ภายใต้ข้อกำหนดของ ISO TR 11450(3) โดยกระบวนการนี้ไม่ได้เป็นการจำลองสภาวะใช้งานในช่องปาก

### ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการภายใต้ภาวะที่กำหนดผลจากการศึกษาจึงเป็นไปในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม มากกว่าการระบุผลที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก การตีความผลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกทำได้จำกัด โดยอาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของเซรามิก สารปรับสภาพผิวและเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นที่ไม่ได้นำมาศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกันของเซรามิกและเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด รวมทั้งกระบวนการเทอร์โมไซคลิงไม่สามารถเป็นตัวแทนการใช้งานในสภาพช่องปากได้

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

กำลังแรงยึดติด : tensile bond strength

เซรามิกชนิดเซอริโคเนีย : zirconia ceramic

สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนีย : zirconia primer

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถอธิบายผลของวิธีการเตรียมผิวด้วยสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียเพื่อพัฒนาการประยุกต์ใช้ทางคลินิกและเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental research)
2. เป็นการศึกษเปรียบเทียบผลของสารปรับสภาพผิว และการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก ที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างสarayeeเรซินและผิวเซอริโคเนีย

### ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

พ.ศ.	2553												2554				
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
1. ขั้นเตรียมการวิจัย																	
• ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรม	■																
• วางแผนและออกแบบการวิจัย				■	■	■											
• การศึกษาวิจัยนำร่อง					■	■	■										
• การจัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์							■	■	■								
• การนำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์									■								
2. ขั้นดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล											■	■					
3. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล												■	■				
4. ขั้นรายงานผล																	
• จัดทำรายงาน														■	■	■	
• นำเสนอผลการวิจัย																	■

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

การศึกษานี้ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารปรับสภาพผิว และการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก ที่มีต่อค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างผิวเซอร์โคเนียและเรซินซีเมนต์ ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรมจะเป็นเรื่องเกี่ยวข้องกับ เซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย การเชื่อมยึดกับผิวเซอร์โคเนีย และกระบวนการเทอร์โมไซคลิก

#### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องกำลังแรงยึดดึงของเซอร์โคเนียที่ปรับสภาพผิวด้วยวิธีแตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด และทฤษฎีจากเอกสาร วารสาร หนังสือ และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งมีแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่ศึกษาเกี่ยวกับกำลังแรงยึดดึงของเซอร์โคเนีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. เซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

##### 1.1. ลักษณะโดยทั่วไปของเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

เซอร์โคเนีย ( $ZrO_2$ ) เป็นผลึกไดออกไซด์ (dioxide) ของแร่เซอร์โคเนียม มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะ และมีสีคล้ายคลึงฟันธรรมชาติแต่มีความทึบแสง(4)

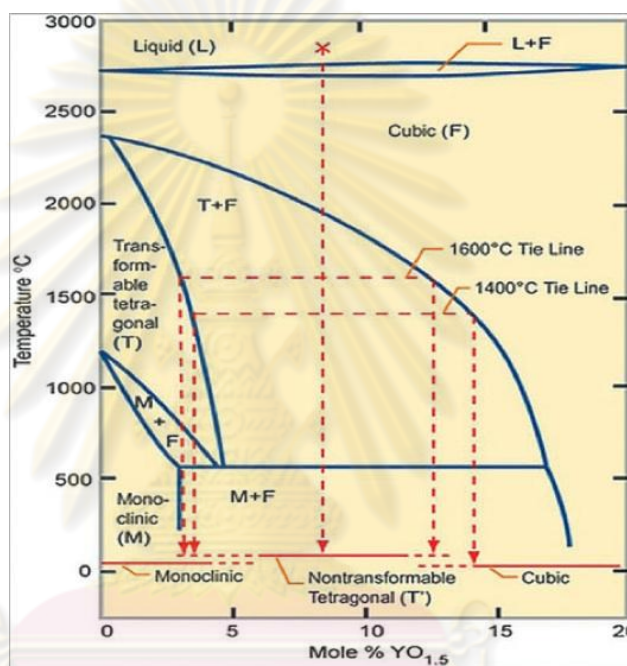
เซอร์โคเนียมีสมบัติที่ดีหลายประการทำให้นิยมนำมาใช้ในงานทันตกรรมบูรณะ ได้แก่ มีความแข็งแรงและความต้านทานการแตกหักสูง มีการคงมิติที่ดี และมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (elastic modulus) ใกล้เคียงโลหะ มีความทึบต่อรังสีเอ็กซ์

ผลึกเซอร์โคเนียมีการเรียงตัว 3 รูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ(5)ดังแสดงไว้ในรูป 1 ได้แก่

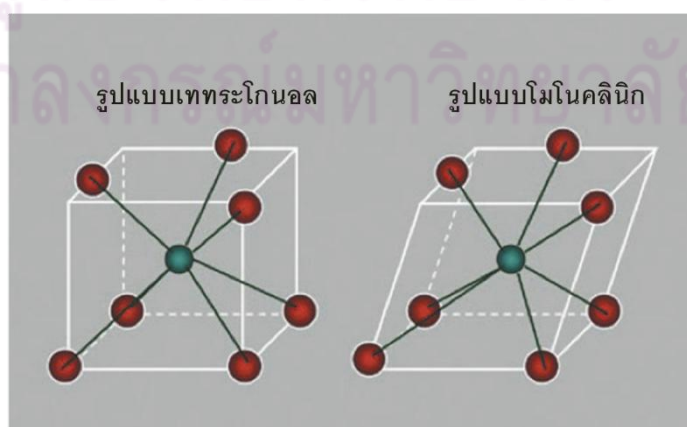
1. โมโนคลินิก (monoclinic) ในช่วงอุณหภูมิน้อยกว่า 1170 องศาเซลเซียส
2. เทตระโกนอล (tetragonal) ในช่วงอุณหภูมิ 1170-2370 องศาเซลเซียส
3. คิวบิก (cubic) ในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 2370 องศาเซลเซียส

โดยผลึกเซอร์โคเนียจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเทตระโกนอลเป็นโมโนคลินิก ในช่วงที่ทำให้เย็นตัวลง (cooling phase) อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1,470-1,010 องศาเซลเซียส ทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3 – 5 ดังแสดงในรูป 2 และมีแรงเค้นภายในสูงขึ้น จึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของเซอร์โคเนียโดยการเติมออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เช่น  $CaO$ ,

MgO,  $Y_2O_3$  หรือ  $CeO_2$  เพื่อคงสภาพผลึกเซอร์โคเนียให้อยู่ในรูปเทอร์โกนอลที่อุณหภูมิห้อง ทำให้โมเลกุลของเซอร์โคเนียเสถียรมากขึ้น ควบคุมการเกิดแรงเค้นขณะผลึกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และหยุดการดำเนินต่อของรอยร้าว (crack propagation) ออกไซด์ที่นิยมใช้เป็นตัวคงสภาพของผลึกเซอร์โคเนียมากที่สุดคือยิทเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide,  $Y_2O_3$ ) ร้อยละ 3 เรียกว่าผลึกเซอร์โคเนียที่คงสภาพเทอร์โกนอลด้วยยิทเทรียม (yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline, Y-TZP)



รูป 1 เฟสไดอะแกรมของเซอร์โคเนียที่คงความเสถียรบางส่วน (partially stabilized zirconia, PSZ)



รูป 2 โครงสร้างผลึกของเซอร์โคเนียในรูปแบบเทอร์โกนอลและโมนอคลินิก

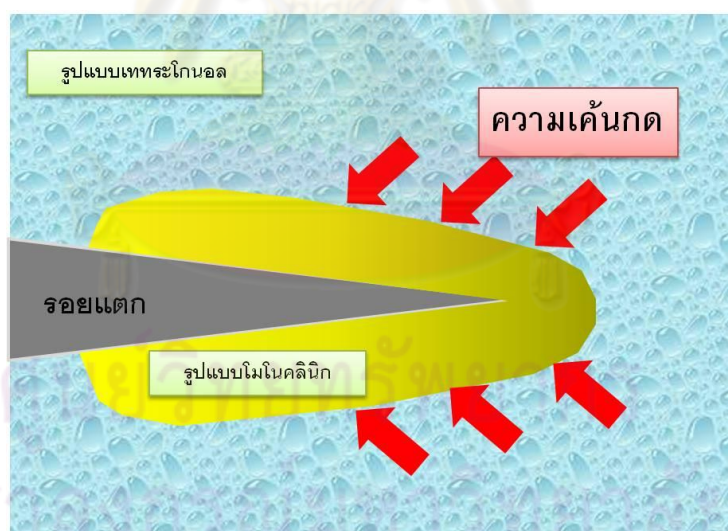


## 1.2. ผลของการเปลี่ยนรูปแบบต่อความแข็งแรงของเซอร์โคเนีย

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเทระโกนอล ไปเป็นโมโนคลินิกในเซอร์โคเนียนั้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงทั้งเพิ่มขึ้น และลดลงโดยอธิบายได้จาก 2 กระบวนการต่อไปนี้

### 1.2.1. กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง (Transformation toughening)

เมื่อมีการเกิดรอยแตกกว้างขึ้นในเซอร์โคเนียจะทำให้เกิดแรงเค้นขึ้นมาระหว่างเกรนของเซอร์โคเนีย ซึ่งแรงเค้นเหล่านี้ทำให้รูปแบบเทระโกนอลเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบโมโนคลินิกซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 3-5 นำไปสู่การเพิ่มความแข็งแรงเค้นกด (compressive stress) ที่บริเวณปลายยอดของรอยแตกกว้างได้ให้รอยแตกกว้างไม่ดำเนินต่อไป ดังแสดงในรูป 3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคนี้ส่งผลให้ความแข็งแรงของเซอร์โคเนียเพิ่มขึ้นอย่างมาก กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงนี้จึงมีชื่อเรียกว่ากระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง (Transformation toughening) (4, 6)



รูป 3 กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง ( transformation toughening)

### 1.2.2. กระบวนการเสื่อมสลายของเซอร์โคเนีย

แม้ว่าการเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นโมโนคลินิกจะทำให้เกิดการหยุดการแตกกว้างจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากเซอร์โคเนียในรูปแบบโมโนคลินิกมีความหนาแน่นน้อย มีความแข็งแรงน้อยกว่ารูปแบบเทระโกนอล การเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวไปเป็นรูปแบบโมโนคลินิกจะทำให้เกิดการ

ส่งผลให้เกิดความหยาบที่ผิว ทำให้เกิดการสึกกร่อน และเกิดรอยแตกร้าวที่มากจนนำไปสู่การแตกของชิ้นเซอร์โคเนียได้ การเกิดความหยาบเนื่องจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นทำให้บริเวณผิวเซอร์โคเนียมีการยกตัวขึ้น (7)

เซอร์โคเนียมีการเสื่อมสลายที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature degradation, LTD)(8) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเทอร์โกนอลไปเป็นโมโนคลินิกเกิดขึ้นอย่างช้าๆตลอดเวลาภายใต้ภาวะความชื้น และมีผลทำให้สมบัติทางกลลดลง มีการสรุปถึงกระบวนการเสื่อมสลายของเซอร์โคเนียไว้โดย Swab (9)ดังนี้

- ช่วงอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) ที่มีผลเร่งการเสื่อมสลายอยู่ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส
- ผลจากการเสื่อมสลายทำให้ความแข็งแรง (strength) ความแข็งตึง (toughness) และความหนาแน่น (density) ลดลงอันเนื่องมาจากปริมาณของรูปแบบโมโนคลินิกที่เพิ่มขึ้น
- กระบวนการเสื่อมสลายจากการเปลี่ยนรูปร่างจากเทอร์โกนอลเป็นโมโนคลินิกเกิดขึ้นบริเวณรอยแตกร้าวขนาดเล็ก และรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ในเซอร์โคเนีย
- การเปลี่ยนรูปร่างเทอร์โกนอลเป็นโมโนคลินิกเริ่มเกิดจากที่ผิวของวัสดุก่อนที่จะเริ่มเข้าไปในเนื้อวัสดุ
- การลดขนาดเกรน และ/หรือการเพิ่มออกไซด์ที่ช่วยคงความเสถียรของรูปแบบเทอร์โกนอลช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลงได้
- การเปรียบรูปร่างจากเทอร์โกนอลเป็นโมโนคลินิกถูกเร่งให้เกิดได้เร็วขึ้นหากมีการสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำ

### 1.3. การใช้ประยุกต์งานของเซอร์โคเนีย

ในงานทันตกรรมเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียถูกนำมาใช้ในหลายรูปแบบ อาทิเช่น สะพานฟัน ครอบฟัน(10-11) เดือยฟัน (12-14) แบริกเกตในทางทันตกรรมจัดฟัน (15-17) รวมถึงรากฟันเทียม(18-19) เนื่องจากมีความแข็งแรงเชิงกลสูง ให้ความสวยงาม และยังมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อภายในช่องปากของมนุษย์ ซึ่งปัจจุบันในวงการทันตกรรมมีการใช้เซอร์โคเนียใน

รูปแบบของฟันเทียมชนิดติดแน่นทั้งชนิดครอบฟันและสะพานฟันกันมากขึ้น แม้ว่าจะมีข้อดีในส่วนของความแข็งแรงเชิงกลที่สูงวัสดุเซอริโคเนียก็ยังมีข้อด้อยบางประการ(10) ได้แก่

- ไม่สามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะทางเคมี (chemical bond) กับผิวเคลือบพอร์ซเลน (veneering porcelain) แต่วัสดุทั้งสองชนิดสามารถยึดกันได้เนื่องจากความแตกต่างที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (coefficient thermal expansion, CTE) ในลักษณะเดียวกับครอบฟันชนิดพอร์ซเลนที่เชื่อมยึดกับโลหะ (porcelain fused to metal crown)(20-21)

- ไม่สามารถใช้กรดกัดแก้ว(hydrofluoric acid) กัดที่ผิวของเซอริโคเนียได้(22)

- ไม่สามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะทางเคมีกับเรซินซีเมนต์บางกลุ่ม(23-25) โดยการยึดติดกับวัสดุเรซินนั้นมีความสำคัญเนื่องจากการยึดติดที่ดีนั้นจะส่งผลต่อการยึดอยู่ของชิ้นงานและช่วยป้องกันการเกิดการรั่วซึม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก และความต้านทานการล้าของวัสดุ โดยสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นได้จากการใช้เรซินซีเมนต์ซึ่งให้การยึดติดทั้งทางเชิงกลในระดับไมครอน และเชื่อมยึดด้วยพันธะเคมี

## 2. การเชื่อมยึดกับผิวเซอริโคเนีย

จากการศึกษาพบว่าในการยึดติดฟันเทียมชนิดติดแน่นที่ทำจากเซอริโคเนียสามารถใช้ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์หรือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในการยึดครอบฟันเซอริโคเนียได้ เนื่องจากเซอริโคเนียเป็นเซรามิกชนิดที่มีความแข็งแรงสูงอยู่แล้ว (25)แต่ในบางการศึกษาพบว่าค่าแรงยึดติดของซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมไม่เพียงพอต่อการยึดติดฟันเทียมชนิดเซอริโคเนียกับฟันธรรมชาติ (26) ในปัจจุบันมีการนิยมใช้เรซินซีเมนต์เพื่อยึดวัสดุบูรณะในช่องปากมากขึ้นเนื่องจากให้ค่าแรงยึดติดที่สูง มีการละลายตัวในช่องปากต่ำ มีสีให้เลือกเพื่อให้เกิดความสวยงาม แต่อย่างไรก็ตามการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับวัสดุเซอริโคเนียก็ยังให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำดังนั้นการเพิ่มการยึดติดของเซอริโคเนียสามารถทำได้ 2 แนวทางดังนี้

### 2.1) การยึดติดเชิงกลจากการทำผิวให้เกิดความขรุขระ

การทำผิวเซอริโคเนียเกิดความขรุขระนั้นทำได้สองวิธี คือ การกัดด้วยกรด และการพ่นผงอนุภาคขนาดเล็ก โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

การกัดด้วยกรด ในเซรามิกชนิดดั้งเดิมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนเมทริกซ์ที่เป็นแก้ว (glassy matrix) ซึ่งมีส่วนประกอบของโครงข่ายซิลิกาที่อยู่ในรูปแบบการเรียงตัวแบบเตตระฮีดรัล (tetrahedral arrangement) และมีส่วนที่เป็นผลึกเฟลด์สปาร์ (feldspar) และผลึกลูไซต์ (leucite) โดยเมื่อผิวของเซรามิกชนิดดั้งเดิมสัมผัสกับกรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid) กรดจะทำปฏิกิริยากับส่วนเมทริกซ์ที่เป็นแก้วซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกาอยู่เกิดเป็นสารประกอบเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (hexafluorosilicate) ทำให้เฉพาะส่วนเมทริกซ์ที่เป็นแก้วนั้นถูกขจัดออกไปเผยเอาส่วนที่เป็นผลึกออกมา เป็นผลให้เกิดผิวที่ขรุขระเพิ่มการยึดติดเชิงกล

เซอร์โคเนียเป็นเซรามิกที่มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างออกไปโดยไม่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้กรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid) มาปรับปรุงผิวเซอร์โคเนียให้มีความขรุขระที่เพียงพอต่อการยึดติดที่ดี ในทางอุตสาหกรรมการใช้กรดกับเซอร์โคเนียซึ่งไม่มี glassy phase ให้ได้ผลนั้น จะต้องทำที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ในทางทันตกรรม มีการศึกษาของ Casucci(27) ใช้กรดที่ใช้ในการกัดกร่อนโลหะมากัดผิวของเซอร์โคเนีย โดยต้มน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่าสามารถสร้างผิวที่มีความขรุขระมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเป่าทราย

โดยสรุปแล้วการปรับสภาพผิวของเซอร์โคเนียโดยใช้กรดกัดแก้วนั้นไม่สามารถทำได้ แต่สามารถใช้กรดที่ใช้ในการกัดกร่อนโลหะมาประยุกต์ใช้ได้แต่มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีข้อจำกัดบางประการที่ไม่สามารถใช้งานได้ในคลินิก

การพ่นผงอนุภาคขนาดเล็กโดยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้พ่นขึ้นงานเซอร์โคเนียมีหลายขนาดด้วยกันตั้งแต่ 50 ถึง 125 ไมโครเมตร ซึ่งมีหลายการศึกษาพบว่า การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถสร้างความขรุขระที่ผิวของชิ้นทดสอบได้ดี รวมไปถึงสามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดกับเรซินซีเมนต์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (28)

ขณะที่หลายการศึกษาพบว่า การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดต่าง ๆ ทำให้ความแข็งแรงเชิงกลของเซอร์โคเนียลดลง (29-32) แต่มีการศึกษาที่ให้ผลแตกต่างกันโดยพบว่า เมื่อทำการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์กลับทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลของเซอร์โคเนียเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีการตั้งสมมุติฐานว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากเตตระโกนอลเป็นโมโนคลินิกได้ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงตามมาด้วย (33-36)

โดยสรุปแล้วการทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลในเซอริโคเนียนั้นทำได้ยากโดยวิธีการใช้กรดกัด และแม้ว่าการพ่นด้วยอนุภาคอลูมินาจะให้ค่าแรงยึดที่สูงขึ้นแต่ยังมีข้อสงสัยเรื่อง การทำให้ความแข็งแรงของเซอริโคเนีย ลดลงทำให้มีความพยายามในการพัฒนาการยึดติดกับ เซอริโคเนียด้วยพันธะเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์จากการศึกษาก่อนหน้านี้

ผู้ศึกษา	ขนาด อนุภาคที่ พ่นผิว ( $\mu\text{m}$ )	เรซิน ซีเมนต์	ระยะเวลา แช่น้ำ	วิธีการ ทดสอบ	ค่ากำลังแรงยึด (MPa)
Lehmann(37) 2009	50	Panavia F 2.0	3 days	Tensile	53
Aboushelib (38) 2009	50	Panavia 21	2 months	Tensile	28.8
Mirmohammadi (39) 2010	50	Panavia F 2.0	24 hrs	Shear	29.1
				$\mu$ Tensile	32.5
		Shear		25.4	
		$\mu$ Tensile		23.7	
Kitayama(40) 2010	70	Panavia F 2.0	24 hrs	Tensile	10.9
Yang(28) 2010	50	Rely X Unicem	3 days	Tensile	42.1
Yun(41) 2010	-	Panavia F 2.0	24 hrs	Shear	2.8
	90				13.8
Magne(42) 2010	90	Panavia F 2.0	24 hrs	Tensile	6.78
Wolfart(43) 2007	50	Panavia F 2.0	3 days	Tensile	45

## 2.2) การยึดเชื่อมด้วยพันธะเคมี

ในเซรามิกแบบดั้งเดิมที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมีการใช้สารควบคู่ไฮเลนในการปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดพันธะเคมีกับวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ต่างๆ อาทิเช่น เรซินซีเมนต์ (resin cement) หรือ เรซินคอมโพสิต (resin composite) แต่เนื่องจากเซรามิกชนิดเซอริโคเนียไม่มีกลุ่มของซิลิกาอยู่จึงไม่แนะนำให้ใช้สารไฮเลนในการปรับสภาพผิวของวัสดุประเภทเซอริโคเนีย

การสร้างการยึดติดทางเคมีจำเป็นต้องอาศัยการทาสารเคมีลงบนผิวของเซอริโคเนียเพื่อให้เกิดพันธะเคมีที่ผิวและยังสามารถเชื่อมกับเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดติดกับผิวฟันได้ การเชื่อมระหว่างผิวของเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์ไม่สามารถใช้สารตัวกลางในกลุ่มควบคู่ไฮเลนได้ เนื่องจากสารชนิดนี้จำเป็นต้องเชื่อมกับพันธะไฮดรอกซิลที่ผิวของแก้ว แต่ในกรณีที่ต้องการใช้สารไฮเลนในการเชื่อมผิวเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์จึงจำเป็นต้อง สร้างชั้นของแก้วหรือหมู่ธาตุซิลิกอนที่ผิวชั้นมาก่อน เช่น การทำวิธีซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอทชิง (Selective infiltration etching, SIE) (44-45) ไทโรโบเคมีคอล (Tribrochemical) (1) ซิลิโคเตออร์ (Silicoater)(1) และ เทคนิคตกตะกอนด้วยไอระเหย (Chemical vapor deposition technique, CVD)(46) ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีความซับซ้อนและนำมาประยุกต์ใช้ได้ยากในทางคลินิก

จึงมีการพยายามค้นหาสารเคมีตัวอื่นที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเซอริโคเนียได้ จากการศึกษาของ Kitayama (47) ได้สรุปถึงการยึดติดกับผิวเซอริโคเนียว่าการใช้สารไพโรเมออร์ที่มีโมโนเมออร์ที่เป็นอนุพันธ์กรดฟอสโฟนิค หรือฟอสเฟตเอสเตออร์โมโนเมออร์ ได้แก่ ซิกเอ็มพีเอชเอ (6-methacryloxyhexylphosphonoacetate, 6MPHA) และ เอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, MDP) หรือการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารเอ็มดีพี นั้นมีประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวเซอริโคเนีย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wolfart (43) ทำการศึกษาค่าแรงยึดเกาะระหว่างเรซินซีเมนต์ชนิดที่มีสารเอ็มดีพี (MDP) เป็นองค์ประกอบหลักคือพานาเวียเอฟ (Panavia F) และเรซินซีเมนต์ชนิดที่มีสารบิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) เป็นองค์ประกอบหลักคือ วาโรลิงค์ทู (Viriolink II) กับเซอริโคเนียพบว่ากลุ่มที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟ ให้ค่าการยึดเกาะสูงกว่ากลุ่มวาโรลิงค์ทู อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามี การหลุดของชั้นทดสอบก่อนการวัดแรงดึงในกลุ่มที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดวาโรลิงค์ทู

จากการศึกษาดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของหมู่ฟอสเฟตต่อการยึดติดกับผิวเซอริโคเนียโดยทฤษฎีนี้ได้รับการเสนอขึ้นมารั้งแรกโดย Wada (48) การใช้สารปรับสภาพผิวที่มีโมโนเมออร์เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก หรือ การใช้เรซินซีเมนต์ที่มีโมโนเมออร์เป็นอนุพันธ์ของ

กรดฟอสฟอริกเช่นกัน สามารถทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอริโคเนียคล้ายกับการใช้ไซเลนปรับสภาพผิวของเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ โดยมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน และเกิดพันธะเคมีในลักษณะเดียวกัน

สารประกอบที่มีหมู่ฟอสเฟตที่ใช้องค์ประกอบของสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียที่พบในผลิตภัณฑ์มีสองชนิด คือ อนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก (phosphonic) หรือมีองค์ประกอบหลักเป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric) โดย จากศึกษาของ Lehmann และ Kern ในปี 2009 (49) และ Yang ในปี 2010 (28)พบว่าสารปรับสภาพผิว หรือเรซินซีเมนต์ที่มีสารหลักเป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก จะให้ค่า กำลังแรงยึดเหนี่ยวที่มากกว่าสารปรับสภาพผิว ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก แต่เมื่อศึกษาถึงโครงสร้างของกรดฟอสฟอริกซึ่งมีพันธะ C-O-P ซึ่งเป็นพันธะที่ไม่คงตัวต่อการไฮโดรไลซิส (hydrolytic instable) ในขณะที่โครงสร้างของกรดฟอสฟอนิก อะตอมของฟอสเฟตจะเชื่อมโดยตรงกับอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะ C-P ซึ่งมีความคงตัวต่อการไฮโดรไลซิส (hydrolytic stability) ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงในระยะยาวเมื่อผ่านการเทอร์โมไซคลิงที่ใช้จำลองจากใช้งานจริงในช่องปาก ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของพันธะเคมีที่เกิดจากสารปรับสภาพผิวทั้งสองชนิดหลังจากการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง อีกทั้งในปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียที่ใช้สารประกอบตัวอื่นที่ไม่ใช่สารประกอบฟอสเฟต และยังไม่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เหล่านี้กับสารปรับสภาพผิวที่ใช้สารประกอบที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ

### 3. กระบวนการเทอร์โมไซคลิง

โดยทั่วไปกระบวนการทำให้มีอายุ (aging) ทำได้หลายวิธีเช่น การแช่ในน้ำ การให้แรงซ้ำๆ การใส่ชิ้นทดสอบในสัตว์ทดลอง เป็นต้น กระบวนการเทอร์โมไซคลิงเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมในการทำการเร่งอายุของชิ้นทดสอบ เนื่องจากลดเวลาในการทำให้มีอายุ โดยข้อกำหนดของ ISO TR 11450(3) ได้กำหนดถึงการทำให้เทอร์โมไซคลิงว่าจะต้องประกอบด้วยการสลัดอุณหภูมิระหว่าง 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ จากบทความปริทัศน์ของ Gale และ Darvell ในปี 1999 (50)ได้สรุปไว้ว่าการทำให้เทอร์โมไซคลิง 10,000 รอบ เทียบประมาณได้กับการใช้งานใน

ช่องปากเป็นเวลา 1 ปี ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าข้อกำหนดเพียง 500 รอบของISO นั้นน้อยเกินไปสำหรับการศึกษาคงทนระยะยาว

กระบวนการทำให้มีอายุด้วยวิธีการเทอร์โมไซคลิก สามารถทำให้เกิดการเสื่อมลงได้ 2 กระบวนการคือ

1. อุณหภูมิของน้ำร้อนทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยเฉพาะที่บริเวณผิวรอยต่อ ทำให้เกิดการซึมของน้ำเข้าไปแทรกทำให้เกิดการหลุดออกของชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือส่วนของโพลิเมอร์ที่ปมตัวไม่สมบูรณ์(51-52)

2. การเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการหดและขยายตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดความเค้นซึ่งอาจส่งผลให้เกิดรอยร้าวและขยายออกไปที่ผิวรอยต่อ (50)

เมื่อพิจารณากระบวนการดังกล่าวแล้วชิ้นงานที่จะได้รับผลจากการทำเทอร์โมไซคลิกคือ ลักษณะชิ้นงานที่เล็ก และมีความเค้นที่มาก โดยความเค้นเกิดขึ้นมากเมื่ออัตราส่วนระหว่างด้านที่มีการเชื่อมยึดต่อด้านที่ไม่มีการเชื่อมยึด(c- faotr)มีค่าสูง (53)

ผลจากการทำเทอร์โมไซคลิกนั้นมีผลที่แตกต่างกันจากหลายการศึกษามีทั้งการศึกษาของ Kern(23) Roulet (54)และ Wegner(55)พบว่าทำให้ค่าแรงยึดติดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และการศึกษาของ Lu (56)และคณะที่พบว่าไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4. การทดสอบกำลังแรงยึดดึง

ผู้ผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์การเชื่อมยึดทางทันตกรรมส่วนมากได้อาศัยผลจากการทดลองในห้องทดลองในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานในทางคลินิกของผลิตภัณฑ์ (57) โดยส่วนใหญ่ผู้ผลิตนิยมใช้การทดสอบกำลังแรงยึดดึงในการทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการประเมินคุณภาพของสินค้าและเพื่อใช้ในการตลาด การวัดค่ากำลังแรงยึด (bond strength) เป็นหนึ่งในหลายตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในการเชื่อมยึดคือค่าแรงดึงต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งทำให้เกิดการแตกหลุดของการเชื่อมยึดที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงาน (3)

วิธีการที่ใช้กันมากในการวัดค่ากำลังยึดได้แก่การวัดค่ากำลังแรงยึดดึง (tensile bond strength) หรือค่ากำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength) อย่างไรก็ตามค่ากำลังยึดที่สูงกว่า 20 เมกกะปาสคาลนั้นมักทำให้เกิดการแตกหักในตัวชิ้นงานมากกว่าเกิดการแตกหักที่บริเวณรอยต่อ (cohesive failure) (58) จึงได้มีการพัฒนาวิธีการที่เรียกว่าการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) โดย Sano และคณะในปี ค.ศ. 1994(59)



ได้มีข้อตกลงร่วม (consensus) (60) ว่าการใช้วิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องด้วยข้อดีดังต่อไปนี้

- เกิดการแตกหักที่ผิวรอยต่อ(adhesive failure) มากกว่าเกิดในชิ้นงาน(cohesive failure) เช่นในส่วนของเรซิน ซึ่งเป็นการสะท้อนถึงค่ากำลังแรงยึดติดที่รอยต่ออย่างแท้จริงมากกว่า
- ได้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่าการทดสอบกำลังแรงยึดติดแบบดั้งเดิม (conventional tensile bond strength)
- สามารถเลือกจำเพาะบริเวณที่ต้องการวัดค่าได้
- สามารถวัดค่ากำลังแรงยึดติดขอชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวน้อย
- ง่ายต่อการตรวจสอบบริเวณพื้นผิวงานที่แตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตามการวัดค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคนั้นมีข้อด้อยอยู่ในหลายประเด็น ดังนี้ (60-61)

- การเตรียมชิ้นตัวอย่างใช้เวลามาก และมีความละเอียดอ่อนทางเทคนิค
- ชิ้นตัวอย่างที่ได้มีขนาดเล็กทำให้มีการสูญเสียน้ำ (dehydration) อย่างรวดเร็ว
- ชิ้นงานที่มีค่ากำลังแรงยึดติดไม่สูง (น้อยกว่า 5 เมกกะปาสคาล) จะต้องใช้ความระมัดระวังในการเตรียมตัวอย่างเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็ก (microfracture) ระหว่างการตัดเตรียมตัวอย่าง ซึ่งจะมีผลให้ค่ากำลังแรงยึดติดที่ได้มีค่าต่ำลง หรือทำให้ชิ้นงานแตกหลุดจากกันก่อนที่จะนำไปทำการวัดค่าได้(60)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อตกลงร่วมในส่วนข้อดีของการวัดกำลังแรงยึดติดระดับจุลภาค พบว่ามีความขัดแย้งในส่วนที่กล่าว่วิธีการนี้ได้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่า และเป็นการเกิดการแตกหักที่ผิวรอยต่อมากกว่าเกิดในชิ้นงานหรือสารเชื่อมต้อ (bonding agent) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่ากำลังแรงยึดติดที่ผิวรอยต่อควรมีค่าที่น้อยกว่าในชิ้นงานหรือสารเชื่อมต้อ โดยผู้วิจัยเห็นว่าการที่วิธีการวัดกำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคให้ค่าที่สูงนั้นเป็นผลมาจากการคำนวณที่ใช้ค่าแรงที่หารด้วยขนาดพื้นที่ที่มีค่าน้อยมากเป็นผลให้ได้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูง ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าการวัดกำลังแรงยึดติดที่

สูงขึ้นจากวิธีการนี้ไม่ได้บอกลถึงการเกิดขึ้นเชื่อมต่อกับผิวพื้นที่สมบูรณ์ได้เพราะยังเกิดการแตกหักบริเวณผิวรอยต่อ (adhesive failure) ขึ้น

จากตารางที่ 1 ที่แสดงถึงค่าแรงยึดดึงระหว่างเซอริโคเนียและเรซินซีเมนต์จากการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่ามีการใช้วิธีการทดสอบทั้งสามแบบคือ การวัดค่ากำลังแรงยึดดึง การวัดค่ากำลังแรงเฉือน และการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค และพบว่าการเชื่อมยึดกับผิวเซอริโคเนียที่เรียบไม่ได้ผ่านการทำการพ่นผงอนุภาคขนาดเล็กเพื่อให้เกิดความขรุขระของผิว จากการศึกษาของ Yun (41) ซึ่งใช้วิธีการวัดค่ากำลังแรงเฉือน มีค่ากำลังแรงยึดดึงเพียง 2.8 เมกกะปาสคาลซึ่งถือว่าต่ำ และไม่เหมาะกับการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค

วิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดระหว่างเซอริโคเนียผิวเรียบกับเรซินคอมโพสิต ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 5 เมกกะปาสคาลนั้น จึงสามารถทำได้สองวิธีคือ การวัดค่ากำลังแรงยึดดึง การวัดค่ากำลังแรงเฉือน จากการศึกษาก่อนของ Della และคณะ(62) ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดดึง และการวัดค่ากำลังแรงยึดเฉือน ระหว่างวัสดุเซรามิกและเรซินคอมโพสิต พบว่าวิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากแรงเค้นที่เกิดจากแรงดึงที่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อนั้นมีการกระจายตัวไปยังบริเวณรอยต่อ และส่งผลให้เกิดการแตกหักที่รอยต่อมากกว่าวิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดเฉือน ทำให้ได้ข้อสรุปว่าการใช้วิธีการวัดค่ากำลังแรงยึดดึงนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการวัดกำลังพันธะระหว่างเซอริโคเนียผิวเรียบกับสารยึดเรซินในการศึกษาของผู้วิจัยในครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ประชากร

สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนีย 3 ชนิด

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ (Mode LR10K, Lloyd Instruments, Fareham, UK )
- เครื่องฉายแสงชนิดฮาโลเจน (Curing light XL 3000, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine, Model Isomet, Buehler, IL, USA)
- ตู้บ่มอุณหภูมิ (Incubator, Contherm series five, Contherm Scientific Ltd., New Zealand)
- เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล (Digital caliper, Mitutoyo, Japan)
- เครื่องเคลือบทอง (Gold coater, JFC-1200, JEOL, Japan)
- แท่นวางเครื่องทดสอบความแข็งผิวของวัสดุ ( Durometer stand ASTM D 2240 TYPE A , PTC Instruments, USA)
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermocycling unit, KMIT Lardkrabang, Thailand)
- เครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Double Column High Speed Machine center Model SD543, Sister Machine Technology Co.,Ltd. ,Taiwan)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410L, JEOL, Japan)
- เครื่องวัดมุมของพื้นผิว (Contact angle tester, DSA 10 MK2, Kruss, Hamburg, Germany)

### วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- เรซินคอมโพสิต (Filtek Z250, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- เซรามิกเซอริโคเนีย (Z-CAD Blanks, Metoxit AG, Switzerland)
- เรซินซีเมนต์ชนิด dual cure (Variolink II, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
- สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียยี่ห้อ Zirconia Liner (Sun Medical, Shiga, Japan)
- สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียยี่ห้อ Metal/Zirconia Primer (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
- สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียยี่ห้อ Monobond Plus (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
- กระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ เบอร์ 80 และ 600 (Silicon carbide paper, TOA, Sankyo, Thailand)
- แม่แบบเพฟลอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร
- ใบมีดเบอร์ 15 (Surgical blade, Swann-Morton, Sheffield, England)
- พู่กันขนาดเล็กฟู่เดี่ยว (Points, SDI, Bayswater, Victoria, Australia)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมชิ้นงานเซอร์โคเนีย

เตรียมตัวอย่างเซอร์โคเนีย (Z-CAD Blanks, Metoxit AG, Switzerland) จากชิ้นเซอร์โคเนียเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร นำไปกลึงด้วยเครื่องกลึง CAD/CAM (Double Column High Speed Machine center Model SD543, Sister Machine Technology Co.,Ltd. ,Taiwan) (รูป 4 และ 5) ให้ได้ชิ้นงานทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 สูง 18 มิลลิเมตร (รูป 6)

จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine, Model Isomet, Buehler, IL, USA) เพื่อให้ได้แผ่นเซอร์โคเนียหนา 5 มิลลิเมตร (รูป 7) จากนั้นทำการขัดชิ้นงานให้เรียบด้วยกระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ ถึงระดับความละเอียด 600 กริท และนำชิ้นงานไปเผา (sinter) เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (รูป 8) นำกลับมาขัดอีกครั้ง จากนั้นนำแผ่นเซอร์โคเนียที่ได้ยึดในแบบหล่อด้วยอะคริลิกเพื่อใช้สำหรับจับยึดชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบ (รูป 9 และ 10)



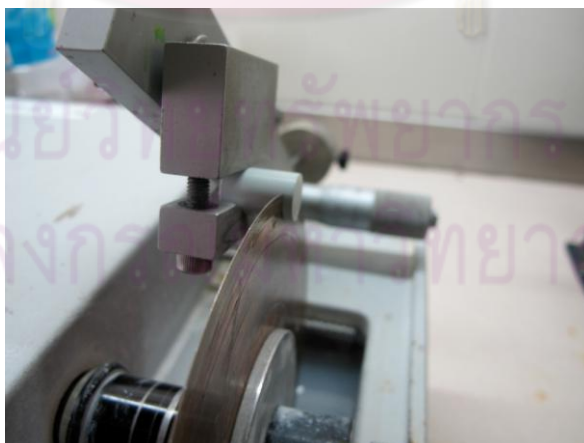
รูป 4 เครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์



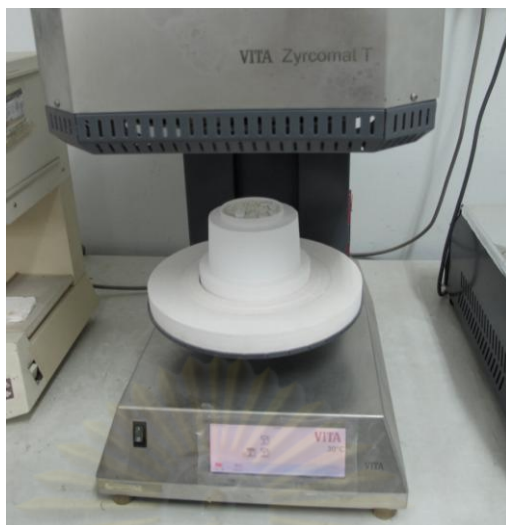
รูป 5 ชิ้นงานเซอริโคเนียก่อนทำการกลึง ขนาด 100x20 มิลลิเมตร



รูป 6 ชิ้นงานเซอริโคเนียหลังจากการกลึง



รูป 7 แสดงขั้นตอนการตัดชิ้นเซอริโคเนียด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ



รูป 8 แสดงขั้นตอนการเผา(sinter)ชิ้นงานเซอริโคเนีย



รูป 9 ชิ้นงานเซอริโคเนียหลังการเผา(sinter)



รูป 10 ชิ้นงานเซอริโคเนียยึดในแบบหล่อด้วยอะคริลิก

## 2. การเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

เตรียมตัวอย่างเรซินคอมโพสิต (Filtek Z250, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ให้มีรูปร่าง  
 แท่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยทำการอุดวัสดุบูรณะตามแม่แบบเทฟลอน

ความสูง 20 มม. ดัง (รูป 11 และ 12) ทำการอุดโดยใส่วัสดุในครั้งเดียว (bulk placement) ทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดทั้งสแตนฮาโลเจน (Curing light XL 3000, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) โดยฉายจากสี่ด้าน ด้านละ 40 วินาที รวมเป็น 160 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานออกจากแม่แบบ แล้วนำไปตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine, Model Isomet, Buehler, IL, USA) เพื่อให้ได้หน้าตัดที่เป็นระนาบ



รูป 11 แม่แบบเทพลอน



รูป 12 ชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

### 3. การยึดชิ้นงาน

ชิ้นงานเซอริโคเนีย และเรซินคอมโพสิต ถูกนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ในเอทานอลเป็นเวลา 3 นาที เมื่อชิ้นงานแห้งนำขึ้นเซอริโคเนียแปะทับด้วยเทปกาวเจาะรูรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรเพื่อจำกัดพื้นที่ยึดติดของชิ้นงานแต่ละชิ้นให้เท่ากัน ดังแสดงในรูป 14 และเพื่อควบคุมความหนาของเรซินซีเมนต์ให้ใกล้เคียงกันที่ 100 ไมครอน จากนั้น



แบ่งชิ้นงานออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ชิ้น โดยแต่ละกลุ่มใช้สารปรับสภาพผิวแตกต่างกัน 3 ชนิด ดังนี้

1. **กลุ่มควบคุม (NO)** ผิวเซอริโคเนียไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว
2. **กลุ่มทดลอง Zirconia Liner (ZL)** ผิวเซอริโคเนียได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Zirconia Liner (Sun Medical, Shiga, Japan) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
3. **กลุ่มทดลอง Metal/Zirconia Primer (MZ)** ผิวเซอริโคเนียได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Metal/Zirconia Primer (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
4. **กลุ่มทดลอง Monobond Plus (MP)** ผิวเซอริโคเนียได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Monobond Plus (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

โดยรายละเอียดของสารเคมีองค์ประกอบหลัก ชื่อทางการค้าและบริษัทผู้ผลิตของสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของสารปรับสภาพผิวที่ใช้ในการศึกษา**

ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต	สารเคมีองค์ประกอบหลัก
Zirconia Liner	Sun Medical	4-META, MMA
Metal/Zirconia Primer	Ivoclar Vivadent	Phosphoric acid acrylate
Monobond Plus	Ivoclar Vivadent	Phosphonic acid acrylate

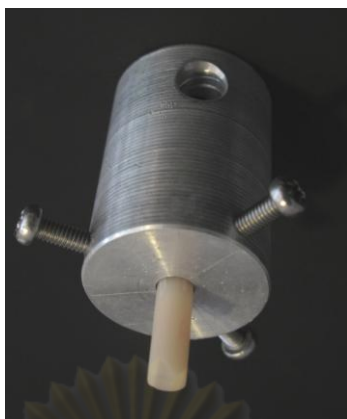
หลังจากทำการทดสอบสภาพผิวแล้ว นำชิ้นงานยึดเข้าด้วยกันเรซินซีเมนต์ชนิดแบริโวลิงค์ทู (Variolink II, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ที่มีองค์ประกอบเป็นบิสจีเอ็มเอ (BisGMA) ซึ่งไม่เกิดพันธะเคมีกับเซอโรโคเนียตามวิธีการที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด โดยใช้แท่นวางเครื่องมือวัดความแข็งผิววัสดุ ( Durometer stand ASTM D 2240 TYPE A , PTC Instruments, USA, รูป 13 ) ร่วมกับเครื่องมือจับยึดชิ้นงานที่ทำการกลึงมาเพื่อให้จับชิ้นงานได้พอดี (รูป 14,15 และ 16) เพื่อกำหนดแนวระนาบการยึดติดให้ตั้งฉากกับชิ้นงาน และใช้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม ฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที แล้วกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออก จากนั้นจึงฉายแสงต่ออีกเป็นเวลา 120 วินาที



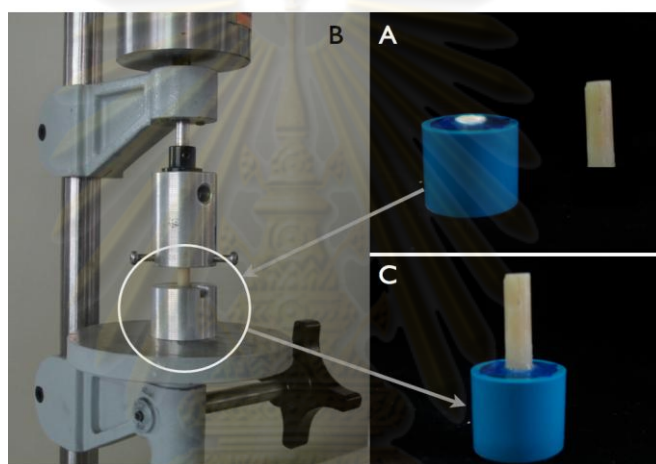
รูป 13 แท่นวางเครื่องทดสอบความแข็งผิวของวัสดุ



รูป 14 เครื่องมือยึดจับชิ้นงานเซอโรโคเนีย และชิ้นงานเซอโรโคเนียในแบบหล่ออะคริลิก



รูป 15 เครื่องมือจับยึดชิ้นงานเรซินคอมโพสิตและชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

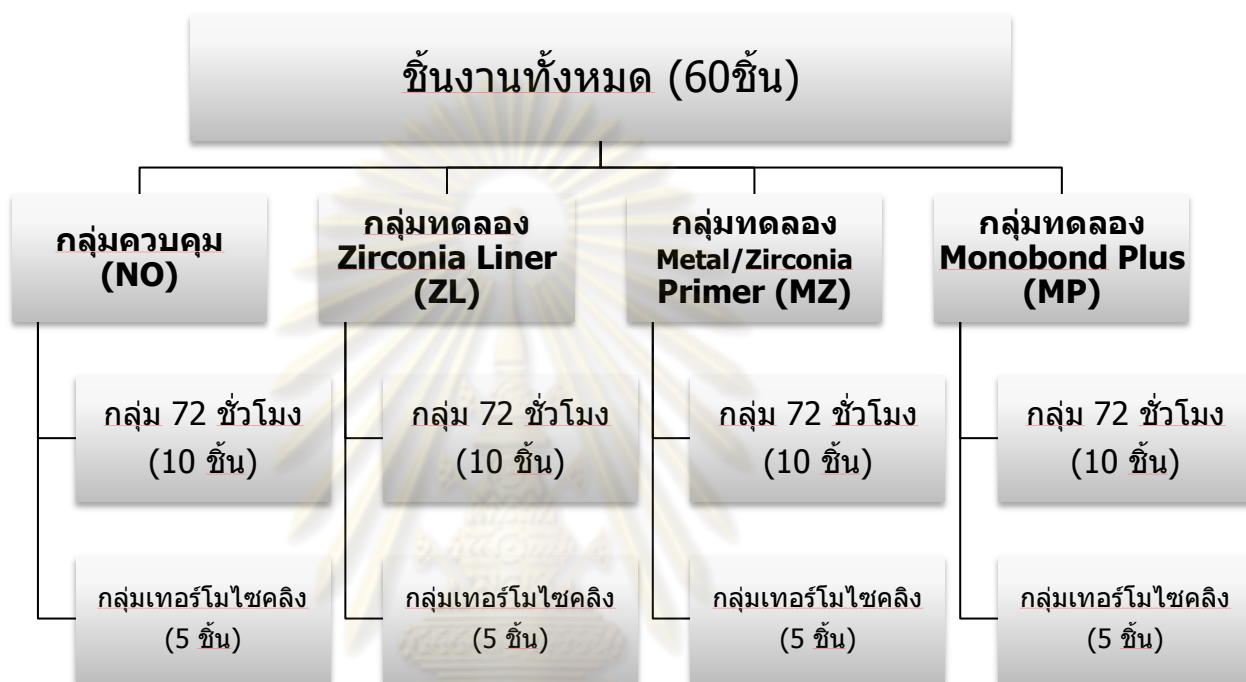


รูป 16 รูป 1 A. ชิ้นเซอร์โคเนียในแบบหล่ออะคริลิกและแท่งเรซินคอมโพสิตก่อนการยึดชิ้นงาน B. ชิ้นงานขณะเข้าเครื่องมือจับยึด C. ชิ้นเซอร์โคเนียในแบบหล่ออะคริลิกและแท่งเรซินคอมโพสิตก่อนการยึดชิ้นงาน

หลังจากขั้นตอนการยึดติดชิ้นตามแต่ละกลุ่มของชนิดสารปรับสภาพผิว ชิ้นงานในแต่ละกลุ่มแบ่งตามการใช้สารปรับสภาพผิวกลุ่มละ 15 ชิ้นได้รับการสุ่มเพื่อแบ่งเป็นกลุ่มย่อยในการทำกระบวนการเทอร์โมไซคลิง ดังนี้

1. แบ่งชิ้นงานอีก 10 ชิ้นในแต่ละกลุ่มนำไปเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นออกมาตั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบกำลังแรงยึดดึง

2. แบ่งชั้นที่ทำการยึดติดแล้ว 5 ชั้นจากแต่ละกลุ่ม ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง ระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO TR 11450 จำนวน 5,000 รอบ โดยสรุปการแบ่งกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในรูป 17



รูป 17 แผนภูมิแสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

#### 4. การทดสอบกำลังแรงยึดติด

กำลังยึดติดระดับจุลภาคจะถูกวัดโดยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ (Model LR10K, Lloyd Instruments, Fareham, UK) (รูป 18) โดยใช้ความเร็วทดสอบที่ 1 มิลลิเมตร ต่อ นาที จนชิ้นงานหลุดออกจากกันและค่ากำลังแรงยึดจะถูกคำนวณโดยนำค่าแรงสูงสุดที่ ชิ้นงานหลุดออกจากกันหารด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดของส่วนยึดติดโดยใช้สูตรการคำนวณ

$$\delta = \frac{P}{A}$$

โดย  $\delta$  คือ ค่ากำลังแรงยึดติด หน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa)

P คือ ค่าแรงดึงสูงสุด หน่วยเป็นนิวตัน (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่มีการเชื่อมยึด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm<sup>2</sup>)

### 5. การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของผิวชิ้นงาน

ส่องตัวอย่างชิ้นส่วนที่แตกของชิ้นทดสอบกลุ่มละ 2 ชิ้น มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410L, JEOL, Japan) ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า เพื่อยืนยันลักษณะความล้มเหลว



รูป 18 การทดสอบกำลังแรงยึดติดด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์

### 6. การวัดค่ามุมของพื้นผิว (contact angle)

ทำการวัดค่ามุมพื้นผิวของผิวหน้าเซอโรโคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ทาสารปรับสภาพผิวเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการให้แฉะ (flow) ด้วยเครื่องวัดมุมของพื้นผิว (Contact angle tester, DSA 10 MK2, Kruss, Hamburg, Germany) เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย

## การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากทุกกลุ่มจะถูกวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 13.0 (Statistical Package for Statistical Science Inc., Chicago, IL, USA ) และโปรแกรมโปรแกรมสำเร็จรูป Statdirect 2.7.8 (StatsDirect Ltd, Cheshire,WA,UK) ดังนี้

### สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics)

สถิติเชิงพรรณนาใช้แสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของแรงยึดดึง และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรม SPSS

### สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analytical statistics)

1. วิเคราะห์ผลของตัวแปรสองตัว คือ ชนิดของสารปรับสภาพผิว และการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS

2. ทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลในแต่ละกลุ่มโดยใช้สถิติโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติเลวีเน่ (Levene test) โดยแยกกรณีดังนี้

ก. ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีการกระจายของข้อมูลที่ปกติ และความแปรปรวนเท่ากัน ใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ด้วยสถิติทูกีย์ (Tukey's test) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ข. ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีการกระจายของข้อมูลที่ปกติ และความแปรปรวนไม่เท่ากัน วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติ บราวน์-ฟอร์ไซท์ (Brown-Forsythe) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยใช้สถิติแทมเฮน (Tamhane's) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค. ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีการกระจายของข้อมูลที่ไม่ปกติใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ครัสคัล วัลลิส (Kruskal Wallis) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยใช้สถิติคอนโนเวอร์-อินแมน (Conover-Inman) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป StatDirect ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ผลการศึกษา

ผลจากสถิติเชิงพรรณนาได้แสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยแบ่งการแสดงผลออกเป็นกลุ่ม 72 ชั่วโมง (ตาราง 3) และกลุ่มเทอร์โมไซคลิก (ตาราง 4) โดยในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียเมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกแล้วพบว่าชิ้นงานหลุดออกจากกันก่อนที่จะสามารถทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึงได้เป็นผลให้ค่ากำลังแรงยึดดึงในกลุ่มดังกล่าวมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้มีผลต่อการวิเคราะห์ปัจจัยซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อการวิเคราะห์ปัจจัย

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงในกลุ่ม 72 ชั่วโมง

กลุ่ม 72 ชั่วโมง (n =10)	ค่ากำลังแรงยึดดึง (เมกกะปาสคาล)
กลุ่มควบคุม (NO)	1.96±0.49 <sup>a</sup>
กลุ่มทดลอง Zirconia Liner (ZL)	3.53±1.08 <sup>b</sup>
กลุ่มทดลอง Metal/Zirconia Liner (MZ)	3.81±1.62 <sup>b</sup>
กลุ่มทดลอง Monobond Plus (MP)	4.11±1.67 <sup>b</sup>

\*ตัวอักษรกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงในกลุ่มเทอร์โมไซคลิก

กลุ่มเทอร์โมไซคลิก (n = 5)	ค่ากำลังแรงยึดดึง (เมกกะปาสคาล)
กลุ่มควบคุม (NO)	0.00±0.00 <sup>c**</sup>
กลุ่มทดลอง Zirconia Liner (ZL)	2.99±0.99 <sup>d</sup>
กลุ่มทดลอง Metal/Zirconia Liner (MZ)	3.77±1.84 <sup>d</sup>
กลุ่มทดลอง Monobond Plus (MP)	3.52±0.84 <sup>d</sup>

\*ตัวอักษรกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 \*\*ชิ้นงานหลุดจากกันหลังผ่านการเทอร์โมไซคลิก

### ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way analysis of variances) ได้ผลการวิเคราะห์ (ตาราง 5) ดังนี้

- มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนียอย่างน้อย 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p = 0.000$ )
- ชนิดของสารปรับสภาพผิวมีอิทธิพลต่อค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p = 0.002$ )
- กระบวนการเทอร์โมไซคลิกไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p = 0.351$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของชนิดของสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียและกระบวนการเทอร์โมไซคลิกต่อค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p = 0.838$ )

### ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA)

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	29.352 <sup>a</sup>	6	4.892	2.862	.018	
Intercept	479.279	1	479.279	280.423	.000	
Primer	28.661	3	9.554	5.590	.002	
Thermocycling	1.517	1	1.517	.888	.351	
Primer * Thermocycling	.608	2	.304	.178	.838	
Error	82.038	48	1.709			
Total	738.064	55				
Corrected Total	111.391	54				

a. R Squared = .264 (Adjusted R Squared = .171)

เนื่องจากผลในกลุ่มควบคุม (NO) ที่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิคนั้นเป็นศูนย์ เนื่องจากชิ้นงานหลุดจากกันก่อนที่จะทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ทำให้กลุ่มดังกล่าวไม่ได้นำมาคำนวณในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงของกลุ่มที่ไม่ได้ทำสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียที่เก็บในน้ำกลั่น 72 ชั่วโมง (กลุ่ม NO 72 ชั่วโมง)



ที่มีค่ากำลังแรงยึดติด 1.96 เมกกะปาสคาล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าศูนย์ ของกลุ่มเทอร์โมไซ คลิงด้วยสถิติทดสอบที (T-test statistic) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P=0.000$ )

### ผลการเปรียบเทียบ

#### กลุ่ม 72 ชั่วโมง

ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ แต่มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติ บราวน์-ฟอร์ไซท์ (Brown-Forsythe) พบว่า

- มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนีย อย่างน้อย 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P=0.004$ )

- จึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยใช้สถิติแทมเฮน (Tamhane's) พบว่าสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดให้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Zirconia Liner (ZL) ให้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P= 0.007$ )

- กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Metal/Zirconia Primer (MZ) ให้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P= 0.033$ )

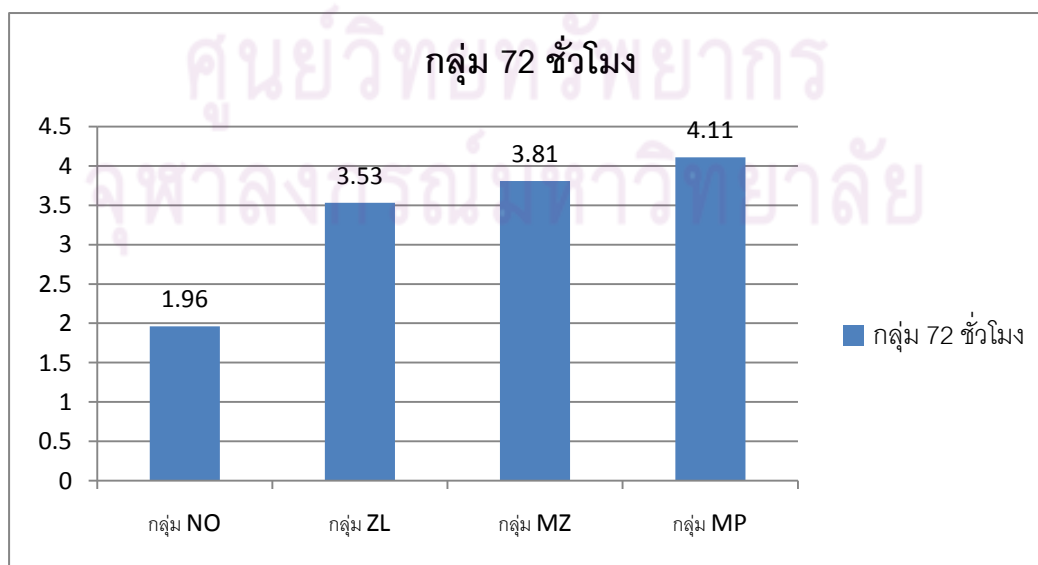
- กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Monobond Plus(MP) ให้ค่ากำลังแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P= 0.016$ )

- เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดพบว่าความแตกต่างกันของค่ากำลังแรงยึดติดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

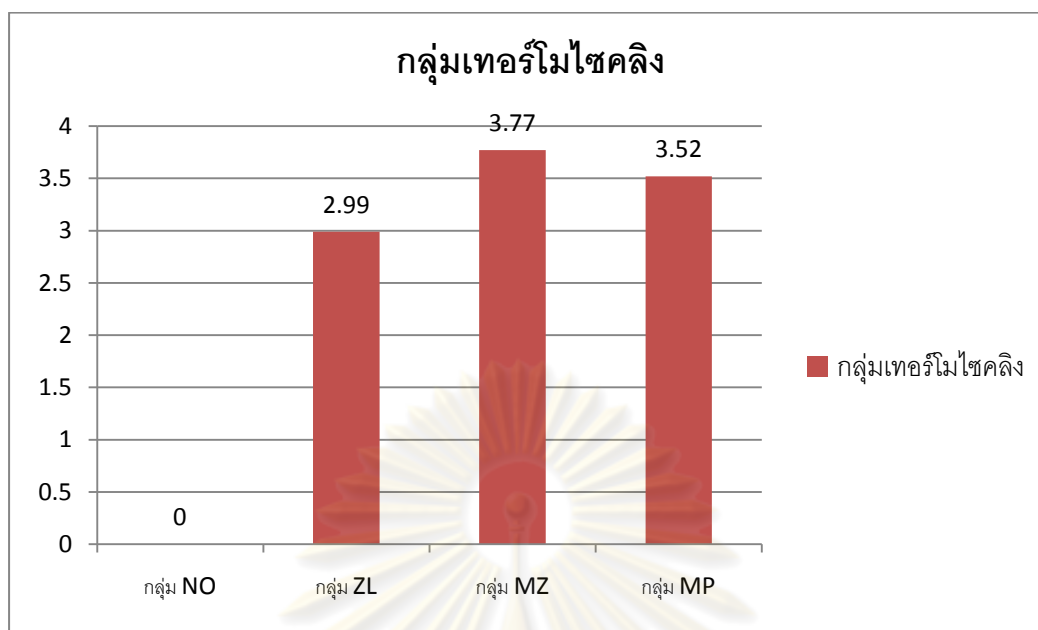
#### กลุ่มเทอร์โมไซคลิง

ข้อมูลมีการแจกแจงที่ไม่ปกติ จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิตินอนพารา เมตริกซ์ ครัสคัล วัลลิส (Kruskal Wallis) พบว่า

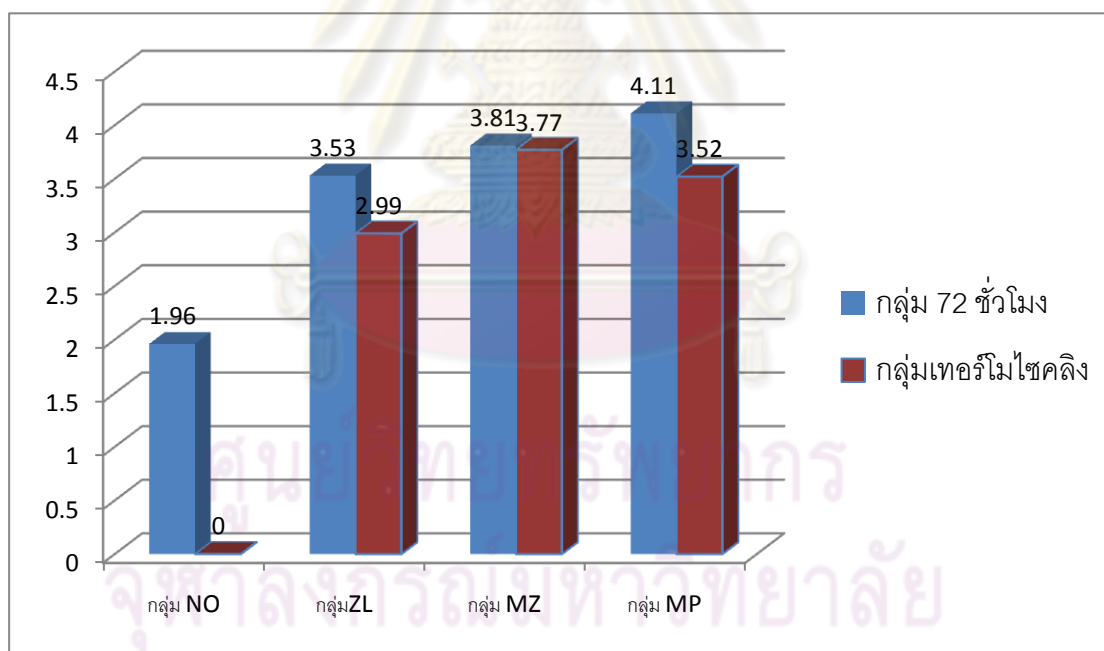
- มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่ากำลังแรงยึดติงระหว่างสารยึดเรซินและเซอริโคเนียอย่างน้อย 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P=0.010$ )
- การวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison)โดยใช้สถิติคอนโนเวอร์-อินแมน (Conover-Inman) พบว่าสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดให้ค่ากำลังแรงยึดติงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีรายละเอียดดังนี้
  - กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Zirconia Liner (ZL)ให้ค่ากำลังแรงยึดติงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P=0.0052$ )
  - กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Metal/Zirconia Primer (MZ)ให้ค่ากำลังแรงยึดติงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P = 0.0006$ )
  - กลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียชนิด Monobond Plus(MP)ให้ค่ากำลังแรงยึดติงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม(NO)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P = 0.0009$ )
- เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่ากำลังแรงยึดติงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูป 19 แผนภูมิแสดงค่ากำลังแรงยึดติงของกลุ่ม 72 ชั่วโมง



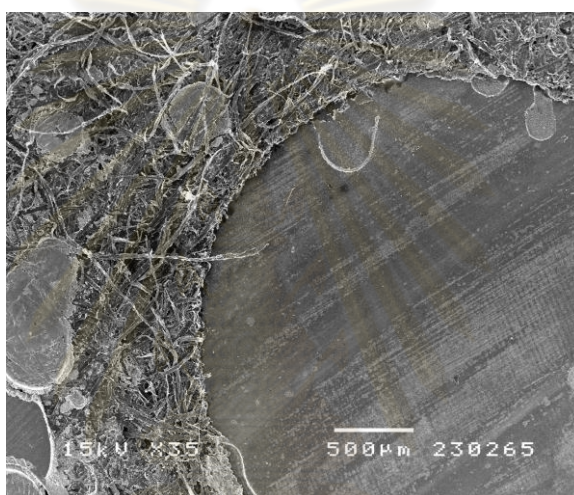
รูป 20 แผนภูมิแสดงค่ากำลังแรงยึดดึงของกลุ่มเทอร์โมไซคลิง



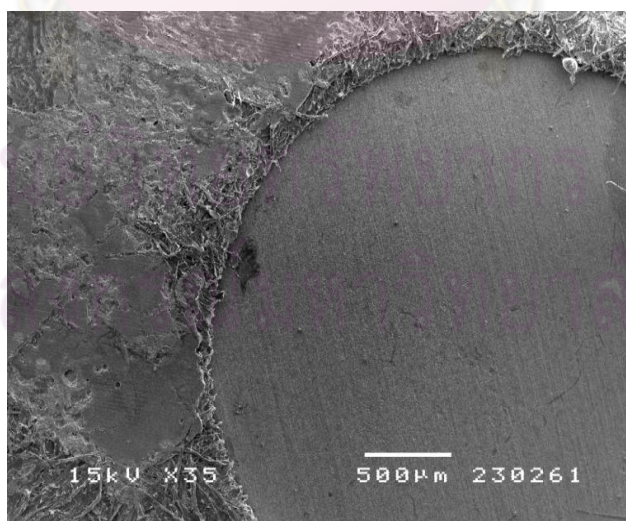
รูป 21 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างกลุ่ม 72 ชั่วโมง กับ กลุ่มเทอร์โมไซคลิง

### สัณฐานวิทยาของผิวเซอร์โคเนีย

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผิวหน้าของชิ้นงานเซอร์โคเนียที่ทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียมีความแตกต่างกับผิวหน้าของชิ้นงานที่ไม่ได้ทาสารปรับสภาพผิวโดยจะพบส่วนของเรซินซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวหน้าของเซอร์โคเนียที่ทาสารปรับสภาพผิว (รูป 22 และ 23) เป็นเหตุให้สันนิษฐานได้ว่าการทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นของเรซินซีเมนต์กับผิวเซอร์โคเนีย



รูป 22 ผิวของเซอร์โคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนีย



รูป 23 ผิวของเซอร์โคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนีย

### ผลการวัดมุมพื้นผิว (contact angle)

จากการนำชิ้นงานเซอริโคเนียมาทำการวัดมุมพื้นผิวของหยดน้ำบนผิวเซอริโคเนียที่ไม่ได้  
รับการทาสารปรับสภาพผิวและเซอริโคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดพบว่า

1. เซอริโคเนียที่ไม่ได้ทาสารปรับสภาพผิวมีค่ามุมพื้นผิวเฉลี่ย  $88 \pm 2$  องศา และหยดน้ำสามารถคงตัวอยู่ได้ตลอดช่วงเวลา 2 นาทีที่ทำการวัดค่า
2. เซอริโคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดให้ผลออกมาในทางเดียวกันคือมีค่าเฉลี่ยของมุมพื้นผิวอยู่ที่  $14 \pm 2$  องศา หลังจากนั้นหยดน้ำที่หยดลงไปเกิดการไหลแผ่อย่างรวดเร็วจนไม่สามารถวัดค่ามุมพื้นผิวได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายผลการวิจัย

##### 1. ผลจากการใช้สารปรับสภาพผิว

##### 1.1 เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดติด

ค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับเรซินคอมโพสิตจากการศึกษาก่อนหน้านี้มีค่าตั้งแต่ 2.8 - 53 เมกกะปาสคาล ค่าแรงยึดติดที่ได้จากการใช้สารปรับสภาพผิวในการศึกษานี้ก่อนผ่านกระบวนการเทอร์โมไซเคิลมีค่าอยู่ในช่วง 3.53- 4.11 เมกกะปาสคาล ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่าการศึกษาของผู้วิจัยก่อนหน้า (2, 25, 43, 63-64) ซึ่งมีค่าแรงยึดอยู่ในช่วง 38.5-53 เมกกะปาสคาล ซึ่งความแตกต่างนี้อธิบายได้จากปัจจัยในการออกแบบทดลองที่ต่างกัน โดยปัจจัยที่มีผลมากที่สุดที่ทำให้เกิดความแตกต่างนี้คือการปรับสภาพผิวให้เกิดความขรุขระทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลขึ้น เป็นผลให้ค่าแรงยึดในการศึกษาที่กล่าวถึงมีค่าที่สูงกว่าการศึกษานี้ที่ใช้ผิวเซอริโคเนียที่เรียบระดับ 600 กริท เพื่อต้องการศึกษาผลของการยึดติดที่เกิดขึ้นจากการใช้สารปรับสภาพผิวอย่างเดียวโดยให้มีผลจากการยึดติดเชิงกลน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของMagne (42)ซึ่งใช้เซอริโคเนียผิวเรียบเช่นเดียวกัน ปรากฏผลว่ามีค่าแรงยึดที่ 6.78 เมกกะปาสคาล ซึ่งมีความใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาของYang (28)ซึ่งใช้เซอริโคเนียผิวเรียบระดับ 600 กริทเช่นเดียวกันแต่พบว่ามีค่าแรงยึดจากการใช้สารปรับสภาพผิวMetal/Zirconia primer ถึง19 เมกกะปาสคาลซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากกลุ่ม Metal/Zirconia primer ในการศึกษาที่ได้เพียง 3.81 เมกกะปาสคาล ซึ่งความแตกต่างของการศึกษาของผู้วิจัยกับการศึกษาของYang คือเรซินซีเมนต์ที่ใช้ การศึกษานี้ใช้เรซินซีเมนต์แวลริโอลิงค์ทู (Variolink II) ในขณะที่การศึกษาของYang นั้นใช้เรซินซีเมนต์รีไลน์เอ็กซ์ ยูนิเซม (Rely X Unicem) ซึ่งมีอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกเป็นองค์ประกอบที่สามารถเกิดพันธะกับเซอริโคเนียได้ จึงเป็นข้อสังเกตที่น่าสนใจว่าหากมีการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารประกอบที่มีอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟต ร่วมกับการใช้สารปรับสภาพผิวที่มีอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟต จะทำให้มีค่าแรงยึดติดที่สูงขึ้นได้หรือไม่

##### 1.2 ผลเปรียบเทียบอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกและอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก

ในแง่ของการใช้สารปรับสภาพผิวที่มีอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีอยู่ในกลุ่มทดลอง MZ และกลุ่มทดลอง MP ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kitayama (47) ที่สรุปเกี่ยวกับการยึดติดชิ้นงานเซอริโคเนียไว้ว่าการใช้สารปรับสภาพผิวที่มีฟอสเฟตเอสเตอร์โมโนเมอร์ หรือเอสเตอร์ของกรดฟอสฟอนิกเช่น ซิกเอ็มเอชพีเอ (6-MHPA) หรือเอ็มดีพี (MDP) เพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอริโคเนีย แม้ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สารปรับสภาพผิวดังกล่าว การใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารเอ็มดีพีสามารถให้การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอริโคเนียที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน

สำหรับความแตกต่างระหว่างการใช้อนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิกและอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกในการศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างของค่าแรงยึดดึงของกลุ่มทดลอง MZ ที่มีอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก และกลุ่มทดลอง MP ที่มีอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลส่วนนี้ขัดแย้งกับการศึกษาของ Lehmann และ Kern(64) ที่ว่าสารปรับสภาพผิวหรือเรซินซีเมนต์ ที่มีสารหลักเป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มที่มีสารหลักเป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก นอกจากนี้ผลการศึกษาของผู้วิจัยยังไม่สนับสนุนแนวคิดเรื่องความคงตัวต่อการไฮโดรไลซิสที่มากกว่าของอนุพันธ์กรดฟอสฟอนิกซึ่งน่าจะมีผลให้มีแรงยึดติดที่คงทนกว่าเมื่อผ่านการใช้งาน ดังจะเห็นได้ผลค่าแรงยึดดึงของกลุ่ม 72 ชั่วโมง และกลุ่มเทอร์โมไซคลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 72 ชั่วโมง กับ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการเทอร์โมไซคลิก (รูป 21) จะเห็นได้ว่ากลุ่ม MZ ที่ใช้อนุพันธ์กรดฟอสฟอนิกมีแนวโน้มของการลดลงของค่ากำลังแรงยึดดึงที่น้อยกว่ากลุ่มอื่น แต่จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ได้แสดงว่ากระบวนการเทอร์โมไซคลิกไม่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังแรงยึดดึงที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลที่เกิดจากการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิคนั้นให้ผลที่แตกต่างกันในแต่ละการศึกษาซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อผลจากการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกต่อไป การจะหาข้อสรุปในส่วนนี้อาจจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

### 1.3 ผลของสารกลุ่มไฟร์เมทา (4-(2-methacryloxy-ethoxycarbonyl) phthalicanhydride, 4-META)

เป็นที่น่าสนใจว่าผลจากกลุ่ม ZL ที่ใช้สารปรับสภาพผิว Zirconia Liner ที่มีองค์ประกอบเป็นเมทิลเมทาคริเลท (methylmethacrylate, MMA) และไฟร์เมทา (4-(2-methacryloxy-ethoxycarbonyl)phthalicanhydride, 4-META) ให้ค่าแรงยึดดึงที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองเช่นกัน ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการยึดติดกับผิวเซอริโคเนียส่วนใหญ่มักใช้สารปรับสภาพผิว หรือเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟต มีการศึกษาของ Yun (41) ได้มีการใช้เรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B) ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นเมทิลเมทาคริเลทและไฟร์เมทา เช่นกันซึ่งให้ค่าแรงยึดดึง กับเซอริโคเนียผิวเรียบ 2.7 เมกกะปาสคาลซึ่งใกล้เคียงกับกลุ่ม ZL ในการศึกษาที่ได้ค่าแรงยึดดึง 3.53 เมกกะปาสคาล แต่เนื่องจากการทดลองดังกล่าวมีการศึกษาผลของการพ่นทรายทำให้ผิวขรุขระ รวมทั้งมีการใช้สารปรับสภาพผิวนิดอื่นร่วมด้วยซึ่งให้ค่าแรงยึดดึงที่สูงกว่าไฟร์เมทา จึงไม่ได้เป็นที่สนใจในการศึกษานั้น แต่ในการศึกษานี้ที่ตัดปัจจัยอื่นออกไปโดยดูผลที่เกิดจากสารปรับสภาพผิวเพียงอย่างเดียวพบว่าการใช้สารปรับสภาพผิวที่มีองค์ประกอบของไฟร์เมทานั้นสามารถให้ค่าแรงยึดดึงที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้อนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟต จึงเป็นจุดที่น่าสนใจในการศึกษาการพัฒนาการยึดติดกับผิวเซอริโคเนียโดยที่มิได้มุ่งเน้นไปที่สารที่มีอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว

### 1.4 การประยุกต์ใช้ทางคลินิก

การใช้สารปรับสภาพผิวในการศึกษานี้สามารถเพิ่มค่าแรงยึดดึงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงยึดดึงที่ได้นั้นยังมีค่าที่ต่ำ แม้แต่ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดนั้นมีค่าเพียง 4.11 เมกกะปาสคาลซึ่งแม้จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในทางคลินิกแล้วค่าแรงยึดดึงที่กำหนดตาม ISO 10477 จะต้องมามีค่าไม่น้อยกว่า 5 เมกกะปาสคาล (65) เนื่องจากการศึกษานี้ต้องการศึกษาผลที่เกิดจากสารปรับสภาพผิวเพียงอย่างเดียว ผิวเซอริโคเนียที่ใช้จึงเป็นผิวขัดเรียบเป็นผลให้ได้ค่าแรงยึดดึงที่ต่ำ การนำไปใช้ในทางคลินิกยังคงต้องอาศัยการทำให้ผิวเซอริโคเนียขรุขระทางกายภาพเพื่อเพิ่มแรงยึดติดเชิงกลร่วมด้วย แต่ผลจาก



การทำเทอร์โมไซคลิกทำให้เห็นว่าการใช้สารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียช่วยให้ชิ้นงานมีความทนทานต่อกระบวนการเร่งอายุได้

## 2. ผลจากการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA) ในการศึกษานี้พบว่าปัจจัยการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิคนั้นไม่มีผลต่อค่าแรงยึดดึงที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีข้อสังเกตว่าในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้สารปรับสภาพผิวเลยนั้นให้ค่าแรงยึดดึงเป็นศูนย์ เมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกทำให้ค่าของกลุ่มตัวอย่างนี้ไม่ได้นำไปคำนวณในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง แต่เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงของกลุ่มควบคุมที่ไม่ผ่านการเทอร์โมไซคลิกและกลุ่มควบคุมที่ผ่านการเทอร์โมไซคลิก จะทำให้เห็นได้ว่าการยึดติดชิ้นงานเซอร์โคเนียที่เรียงด้วยเรซินซีเมนต์ที่ไม่เกิดพันธะเคมีกับผิวเซอร์โคเนียนั้นส่งผลให้เกิดการล้มเหลวของชิ้นงานเมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารปรับสภาพผิวที่ชิ้นงานยังคงยึดติดหลังการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก โดยที่ค่าแรงยึดดึงไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อสังเกตจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง คือ ผลในกลุ่มควบคุม ที่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก(กลุ่ม NO เทอร์โมไซคลิก)นั้นเป็นศูนย์ เนื่องจากชิ้นงานหลุดจากกันก่อนที่จะทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง ทำให้กลุ่มดังกล่าวไม่ได้นำมาคำนวณในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงของกลุ่มที่ไม่ได้หาสารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียที่เก็บในน้ำกลั่น 72 ชั่วโมง (กลุ่ม NO 72 ชั่วโมง) ที่มีค่ากำลังแรงยึดดึง 1.96 เมกกะปาสคาล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าศูนย์ ของกลุ่มเทอร์โมไซคลิกด้วยสถิติทดสอบที (T-test statistic) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สารปรับสภาพผิวนั้นมีผลให้การยึดติดของชิ้นงานคงทนต่อการเร่งอายุในภาวะของการศึกษาครั้งนี้ได้ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีความเห็นว่าการที่กระบวนการเทอร์โมไซคลิกไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดดึงอย่างมีนัยสำคัญนั้นอาจเป็นผลมาจากค่ากำลังยึดดึงที่มีค่าน้อยทำให้ไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

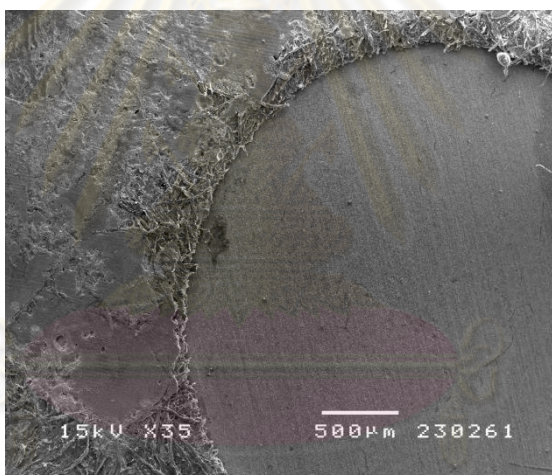
อย่างไรก็ตามในแง่ของผลจากการทำเทอร์โมไซคลิคนั้นมีผลที่แตกต่างกันจากหลายการศึกษามีทั้งการศึกษาที่พบว่าทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ(23, 54-55) และการศึกษาที่พบว่าไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ(56)ซึ่งความแตกต่างนี้อาจมีสาเหตุมา

จากการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งการเพิ่มระยะเวลาในการทำเทอร์โมไซคลิงอาจจะทำให้เห็นความแตกต่างที่มากขึ้นได้

### 3. วิเคราะห์ผลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเซอร์โคเนีย

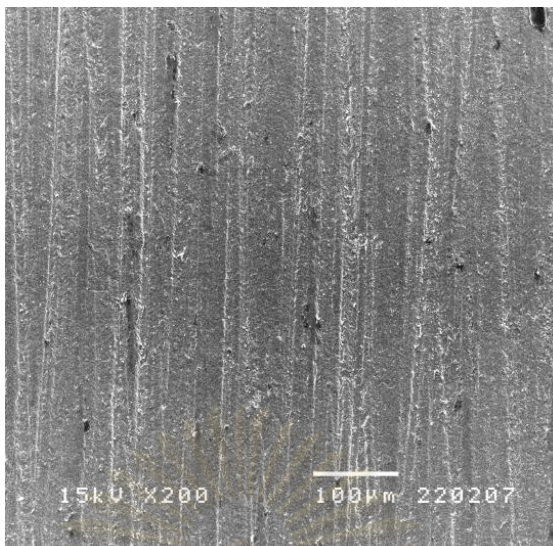
ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเซอร์โคเนียหลังการหลุดของชั้นงานเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะที่พบ คือ

1. ลักษณะของกลุ่มที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว (รูป 24) พบลักษณะที่เรียบสม่ำเสมอ ใกล้เคียงกับลักษณะของผิวเซอร์โคเนียที่ขัดเรียบก่อนทำการยึดติด (รูป 25) และเมื่อศึกษาลักษณะของผิวเซอร์โคเนียที่กำลังขยาย 35-500 เท่าพบว่ามีการติดอยู่ที่ผิวโดยมีลักษณะของเรซินที่ติดอยู่ในลักษณะที่บาง ไม่สม่ำเสมอ และมีบางส่วนเผยให้เห็นผิวเซอร์โคเนีย (รูป 27)



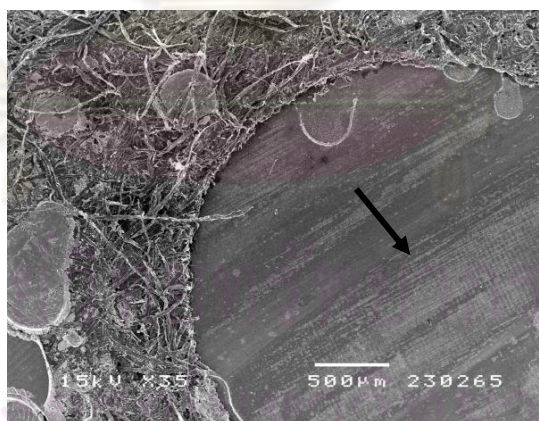
รูป 24 พื้นผิวเซอร์โคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

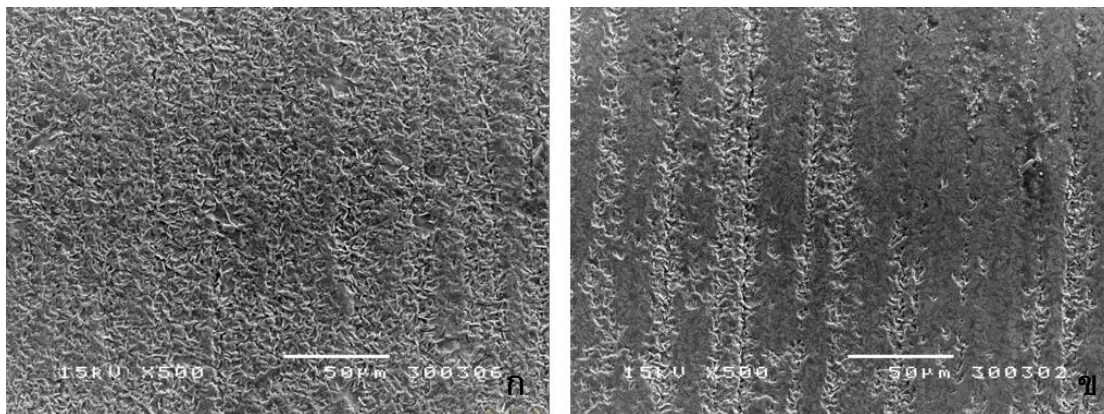


รูป 25 ผิวเซอรคาร์บอนที่ขัดเรียบที่ระดับ 600 กริทก่อนทำการยึดติดกับเรซินซีเมนต์

2. ลักษณะของกลุ่มที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว (รูป 26) พบลักษณะที่เรียบ ร่วมกับร่องรอยของเรซินซีเมนต์ที่ยังคงยึดติดที่บริเวณผิวหน้าของเซอรคาร์บอน และ เมื่อศึกษาลักษณะของผิวเซอรคาร์บอนที่กำลังขยาย 500 เท่าเมื่อพบว่า มีเรซินติดอยู่ที่ผิวโดยมีลักษณะของสารยึดเหนี่ยวที่ติดอยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ และหนากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผิวของเซอรคาร์บอนในกลุ่มที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว (รูป 27)



รูป 26 พื้นผิวเซอรคาร์บอนที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว (ลูกศรชี้)



รูป 27 ลักษณะของผิวเซอริโคเนียหลังทำการทดสอบที่กำลังขยาย 500 เท่า

ก.ผิวเซอริโคเนียที่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว ข.ผิวเซอริโคเนียที่ไม่ได้รับการทาสารปรับสภาพผิว

ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวเป็นหลักฐานที่แสดงถึงการยึดติดที่ดีขึ้นระหว่างสารยึดเรซินกับผิวเซอริโคเนียหลังจากการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงที่ว่า การทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียทั้งสามชนิดให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

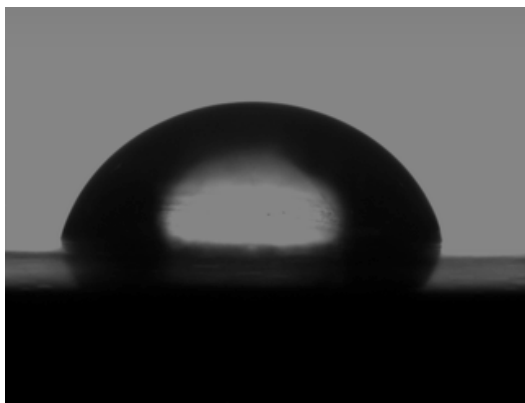
การแนบสนิทที่ได้นั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดการยึดติดที่ดี (66)หนึ่งในตัววัดที่บอกถึงการที่วัสดุจะเกิดการแนบสนิทที่ดีคือ การวัดมุมพื้นผิว (contact angle) ซึ่งเป็นการวัดค่ามุมภายในของหยดของเหลวบนพื้นผิวที่ทดสอบ ค่ามุมพื้นผิวที่น้อยแสดงถึงความสามารถในการทำให้พื้นผิวเปียก (wetting) หรือเกิดการไหลแผ่ (flow) ได้ดี ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงมุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวของเซอริโคเนียก่อนและหลังการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนีย พบว่าการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียทั้งสามชนิดทำให้ได้ค่ามุมพื้นผิวที่ลดลง (รูป 28, 29 ) เป็นผลให้เกิดการไหลแผ่ของเรซินซีเมนต์ดีขึ้นลดโอกาสเกิดฟองอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับกับผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงที่ว่า การทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียทั้งสามชนิดให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดึงที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษามุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวเซอริโคเนียพบว่ามุมพื้นผิวมีค่าลดลงหลังได้รับการทาสารปรับสภาพผิวเซอริโคเนียนั้น แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของเซอริโคเนียมีพลังพื้นผิว (surface energy) เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการไหลแผ่ของของเหลวได้ดีขึ้น และเกิดลักษณะความชอบน้ำ (hydrophilic) ที่มากขึ้น โดยเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารปรับสภาพผิวแต่ละชนิดแล้วมี

องค์ประกอบที่ชอบน้ำ ได้แก่ อนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก อนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก และโพร์เมทา (4-META) และสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เหมือนกันคือหมู่เมทาคริเลตที่อีกปลายข้างหนึ่งของโมเลกุลเพื่อไว้สร้างพันธะกับสารยึดเรซิน หรือเรซินซีเมนต์ซึ่งมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำเหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของ โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้มีปริมาณเพียงร้อยละ 5-6 ในสารปรับสภาพผิว โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดนี้คือตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่า ร้อยละ 90 ซึ่งการทำสารปรับสภาพผิวในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เกิดสภาพผิวที่เป็นโมเลกุลชั้น เดียว(monolayer)ได้แต่เกิดเป็นโมเลกุลหลายชั้นที่เกี่ยวข้องกัน การกำจัดตัวทำละลายส่วนเกิน ออกโดยการเป่าลมให้เกิดการระเหยตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดนั้นไม่สามารถกำจัดส่วนของตัวทำ ละลายได้หมด จึงทำให้ผลรวมของสภาพผิวหลังทำสารปรับสภาพผิวนั้นมีลักษณะที่ชอบน้ำ

โดยทั่วไปสารยึดเรซินและเรซินซีเมนต์มีลักษณะไม่ชอบน้ำจึงควรจะเกิดการไหลแผ่ที่ไม่ ดีบนผิวเซอริโคเนียที่มีลักษณะชอบน้ำหลังทำการทำสารปรับสภาพผิว แต่จากผลการศึกษาพบว่า การที่ผิวเซอริโคเนียมีความชอบน้ำจากการทำสารปรับสภาพผิวกลับให้ค่ากำลังแรงยึดดึงที่สูงขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากองค์ประกอบของเฮลิโอบอนด์ (Heliobond) ซึ่งเป็น สารยึดเรซิน (resin adhesive) ซึ่งมีสารไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (triethyleneglycoldimethacrylate, TEGDMA) ที่มีสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในโมเลกุล เดียวกัน (amphiphilic monomer) เป็นสาเหตุทำให้สารยึดเรซินชนิดเฮลิโอบอนด์สามารถไหลแผ่ ได้ดีบนพื้นผิวที่มีลักษณะที่ชอบน้ำของผิวเซอริโคเนียที่ทำสารปรับสภาพผิวแล้ว

เมื่อวิเคราะห์ผลการศึกษามุมพื้นผิวร่วมกับผลการศึกษาทางสัณฐานวิทยาพบว่าในกลุ่ม ของเซอริโคเนียที่ไม่ได้รับการทำสารปรับปรุงสภาพผิวนั้นพบการติดอยู่ของเรซินที่ผิวเซอริโคเนีย ทาง ผู้ศึกษาจึงตั้งข้อสังเกตว่าการใช้สารปรับสภาพผิวนั้นอาจไม่ได้เพิ่มกำลังแรงยึดดึงจากการเกิด พันธะเคมี แต่เป็นได้ว่าสารปรับสภาพผิวช่วยให้เกิดการแนบสนิทในบริเวณที่กว้างขึ้นของผิว รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซอริโคเนีย และส่งผลให้ค่ากำลังยึดดึงเพิ่มขึ้น



รูป 28 มุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวของเซอร์โคเนียก่อนการทาสารปรับสภาพผิว



รูป 29 มุมพื้นผิวของน้ำกลั่นบนผิวของเซอร์โคเนียหลังการทาสารปรับสภาพผิว

### สรุปผลการวิจัย

ภายใต้ภาวะและข้อจำกัดของการศึกษาด้วยการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้ ผลการศึกษาสามารถให้ข้อสรุปได้ดังนี้

1.) การใช้สารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียที่มีองค์ประกอบของอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก หรืออนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก หรือโฟร์เมทา (4-META) ช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติ่งระหว่างสารยึดเรซินและเซอร์โคเนีย 1-2 เมกกะปาสกาลเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

2.) การใช้สารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียที่มีองค์ประกอบของอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก หรืออนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก หรือโฟร์เมทา (4-META) ช่วยให้ค่ากำลังแรงยึดติ่งไม่ลดลงหลังผ่านกระบวนการเทอร์โมไซเคิล 5,000 รอบ

3.) การใช้สารปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียกับผิวเซอร์โคเนียที่เรียบช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติ่ง แต่ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิก จึงยังมีความจำเป็นต้องใช้การปรับสภาพผิวเซอร์โคเนียด้วยการทำให้ผิวขรุขระร่วมด้วย

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของการใช้สารปรับสภาพผิวร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่มีและไม่มีอนุพันธ์ของหมู่ฟอสเฟตเปรียบเทียบผลกันเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มการยึดติดกับผิวเซออร์โคเนียโดยอาศัยการปรับสภาพผิวเชิงกลให้น้อยที่สุด
2. ควรมีการศึกษาถึงผลของสารปรับสภาพผิวเซออร์โคเนียที่มีต่อการไหลแผ่ของสารยึดเรซินและเรซินซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- (1) Blatz, M. B., Sadan, A., and Kern, M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. J Prosthet Dent 89(3) (Mar 1 2003): 268-74.
- (2) Yang, B., Barloi, A., and Kern, M. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. Dental mater 26(1) (Jan 1 2010): 44-50.
- (3) International Organization for Standardization. Dental materials-guidance on testing of adhesion to tooth structure. ISO 11405. (1994).
- (4) Piconi, C., and Maccauro, G. Zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials 20(1) (Jan 1999): 1-25.
- (5) Denry, I., and Kelly, J. R. State of the art of zirconia for dental applications. Dent Mater 24(3) (Mar 2008): 299-307.
- (6) Christel, P., Meunier, A., Heller, M., Torre, J. P., and Peille, C. N. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. J Biomed Mater Res 23(1) (Jan 1989): 45-61.
- (7) Chevalier, J. What future for zirconia as a biomaterial? Biomaterials 27(4) (Feb 2006): 535-43.
- (8) Kim, H. T., Han, J. S., Yang, J. H., Lee, J. B., and Kim, S. H. The effect of low temperature aging on the mechanical property & phase stability of Y-TZP ceramics. J Adv Prosthodont 1(3) (Nov 2009): 113-7.
- (9) Swab, J. Low temperature degradation of Y-TZP materials. J Mater Sci 26 (1991): 6706-14.



- (10) Conrad, H. J., Seong, W. J., and Pesun, I. J. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. J Prosthet Dent 98(5) (Nov 1 2007): 389-404.
- (11) Tinschert, J., Natt, G., Mohrbotter, N., Spiekermann, H., and Schulze, K. A. Lifetime of alumina- and zirconia ceramics used for crown and bridge restorations. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 80(2) (Feb 2007): 317-21.
- (12) Bittner, N., Hill, T., and Randi, A. Evaluation of a one-piece milled zirconia post and core with different post-and-core systems: An in vitro study. J Prosthet Dent 103(6) (Jun): 369-79.
- (13) Akgungor, G., Sen, D., and Aydin, M. Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. J Prosthet Dent 99(5) (May 2008): 388-99.
- (14) Ozkurt, Z., Iseri, U., and Kazazoglu, E. Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. Dent Mater J 29(3) (May): 233-45.
- (15) Urano, J. [Development of zirconia ceramic bracket for orthodontic use. A study of bond strength]. Nippon Kyosei Shika Gakkai Zasshi 47(3) (Sep 1988): 549-59.
- (16) Kittipibul, P., and Godfrey, K. In vitro shearing force testing of the Australian zirconia-based ceramic Begg bracket. Am J Orthod Dentofacial Orthop 108(3) (Sep 1995): 308-15.
- (17) Tanne, K., Matsubara, S., Hotei, Y., Sakuda, M., and Yoshida, M. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. Am J Orthod Dentofacial Orthop 106(3) (Sep 1994): 273-8.
- (18) Tete, S., Mastrangelo, F., Bianchi, A., Zizzari, V., and Scarano, A. Collagen fiber orientation around machined titanium and zirconia dental implant necks: an animal study. Int J Oral Maxillofac Implants 24(1) (Jan-Feb 2009): 52-8.

- (19) Kerstein, R. B., and Radke, J. A comparison of fabrication precision and mechanical reliability of 2 zirconia implant abutments. Int J Oral Maxillofac Implants 23(6) (Nov-Dec 2008): 1029-36.
- (20) Aboushelib, M. N., de Jager, N., Kleverlaan, C. J., and Feilzer, A. J. Effect of loading method on the fracture mechanics of two layered all-ceramic restorative systems. Dent Mater 23(8) (Aug 2007): 952-9.
- (21) Aboushelib, M. N., Kleverlaan, C. J., and Feilzer, A. J. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. Dent Mater 22(9) (Sep 2006): 857-63.
- (22) Borges, G. A., Sophr, A. M., de Goes, M. F., Sobrinho, L. C., and Chan, D. C. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. J Prosthet Dent 89(5) (May 2003): 479-88.
- (23) Kern, M., and Thompson, V. P. Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: adhesive methods and their durability. J Prosthet Dent 73(3) (Mar 1 1995): 240-9.
- (24) Wegner, S. M., Gerdes, W., and Kern, M. Effect of different artificial aging conditions on ceramic-composite bond strength. Int J Prosthodont 15(3) (May-Jun 2002): 267-72.
- (25) Kern, M., and Wegner, S. M. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. Dental mater 14(1) (Jan 1 1998): 64-71.
- (26) Piwowarczyk, A., Ottl, P., Lauer, H. C., and Kuretzky, T. A clinical report and overview of scientific studies and clinical procedures conducted on the 3M ESPE Lava All-Ceramic System. J Prosthodont 14(1) (Mar 2005): 39-45.
- (27) Casucci, A., Osorio, E., Osorio, R., Monticelli, F., Toledano, M., Mazzitelli, C., et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. J Dent 37(11) (Nov 1 2009): 891-7.

- (28) Yang, B., Barloi, A., and Kern, M. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. Dent Mater 26(1) (Jan 2010): 44-50.
- (29) Zhang, Y., Pajares, A., and Lawn, B. R. Fatigue and damage tolerance of Y-TZP ceramics in layered biomechanical systems. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 71(1) (Oct 15 2004): 166-71.
- (30) Zhang, Y., Lawn, B. R., Rekow, E. D., and Thompson, V. P. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 71(2) (Nov 15 2004): 381-6.
- (31) Zhang, Y., Lawn, B. R., Malament, K. A., Van Thompson, P., and Rekow, E. D. Damage accumulation and fatigue life of particle-abraded ceramics. Int J Prosthodont 19(5) (Sep-Oct 2006): 442-8.
- (32) Guazzato, M., Albakry, M., Quach, L., and Swain, M. V. Influence of grinding, sandblasting, polishing and heat treatment on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina-reinforced dental ceramic. Biomaterials 25(11) (May 2004): 2153-60.
- (33) Qeblawi, D. M., Muñoz, C. A., Brewer, J. D., and Monaco, E. A. The effect of zirconia surface treatment on flexural strength and shear bond strength to a resin cement. J Prosthet Dent 103(4) (Apr 1 2010): 210-20.
- (34) Kosmac, T., Oblak, C., Jevnikar, P., Funduk, N., and Marion, L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. Dental mater 15(6) (Nov 1 1999): 426-33.
- (35) Kosmac, T., Oblak, C., Jevnikar, P., Funduk, N., and Marion, L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. J Biomed Mater Res 53(4) (2000): 304-13.
- (36) Papanagiotou, H. P., Morgano, S. M., Giordano, R. A., and Pober, R. In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the

- flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. J Prosthet Dent 96(3) (Sep 2006): 154-64.
- (37) Monobond Plus Scientific Documentation Ivoclar-Vivadent: 4-15.
- (38) Aboushelib, M. N., Mirmohamadi, H., Matinlinna, J. P., Kukk, E., Ounsi, H. F., and Salameh, Z. Innovations in bonding to zirconia-based materials. Part II: Focusing on chemical interactions. Dent Mater 25(8) (Aug 1 2009): 989-93.
- (39) Mirmohammadi, H., Aboushelib, M. N., Salameh, Z., Feilzer, A. J., and Kleverlaan, C. J. Innovations in bonding to zirconia based ceramics: Part III. Phosphate monomer resin cements. Dent Mater 26(8) (Aug): 786-92.
- (40) Kitayama, S., Nikaido, T., Takahashi, R., Zhu, L., Ikeda, M., Foxton, R. M., et al. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. Dent Mater 26(5) (May 2010): 426-32.
- (41) Yun, J. Y., Ha, S. R., Lee, J. B., and Kim, S. H. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. Dent Mater 26(7) (Jul 2010): 650-8.
- (42) Magne, P., Paranhos, M. P., and Burnett, L. H., Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. Dent Mater 26(4) (Apr 2010): 345-52.
- (43) Wolfart, M., Lehmann, F., Wolfart, S., and Kern, M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. Dental Mater 23(1) (Jan 2007): 45-50.
- (44) Aboushelib, M. N., Kleverlaan, C. J., and Feilzer, A. J. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. J Prosthet Dent 98(5) (Nov 1 2007): 379-88.
- (45) Aboushelib, M. N., Matinlinna, J. P., Salameh, Z., and Ounsi, H. Innovations in bonding to zirconia-based materials: Part I. Dent Mater 24(9) (Sep 1 2008): 1268-72.

- (46) Piascik, J. R., Swift, E. J., Thompson, J. Y., Grego, S., and Stoner, B. R. Surface modification for enhanced silanation of zirconia ceramics. Dent Mater 25(9) (Sep 1 2009): 1116-21.
- (47) Kitayama, S., Nikaido, T., Takahashi, R., Zhu, L., Ikeda, M., Foxton, R. M., et al. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. Dental Mater (Jan 23 2010): 1-7.
- (48) Wada, T. Development of a new adhesive material and its properties. In: Gettleman L, Vrijhoef M, Uchiyama Y, editors Proceedings of the international symposium on adhesive prosthodontics, 1986 June 24, Amsterdam, Netherlands Chicago: Academy of Dental Materials (1986): 9-18.
- (49) Kern, M., Barloi, A., and Yang, B. Surface Conditioning Influences Zirconia Ceramic Bonding. Journal of Dental Research 88(9) (Sep 1 2009): 817-22.
- (50) Gale, M. S., and Darvell, B. W. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. J Dent 27(2) (Feb 1999): 89-99.
- (51) Hashimoto, M., Ohno, H., Kaga, M., Endo, K., Sano, H., and Oguchi, H. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. J Dent Res 79(6) (Jun 2000): 1385-91.
- (52) Miyazaki, M., Sato, M., Onose, H., and Moore, B. K. Influence of thermal cycling on dentin bond strength of two-step bonding systems. Am J Dent 11(3) (Jun 1998): 118-22.
- (53) Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Davidson, C. L. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. J Dent Res 66(11) (Nov 1987): 1636-9.
- (54) Roulet, J. F., Söderholm, K. J., and Longmate, J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. J Dent Res 74(1) (Jan 1 1995): 381-7.

- (55) Wegner, S. M., and Kern, M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. J Adhes Dent 2(2) (Summer 2000): 139-47.
- (56) Lu, Y. C., Tseng, H., Shih, Y. H., and Lee, S. Y. Effects of surface treatments on bond strength of glass-infiltrated ceramic. J Oral Rehabil 28(9) (Sep 1 2001): 805-13.
- (57) Swift, E. J., Perdigão, J., and Heymann, H. Bonding to enamel and dentin: A brief history and state of the art. Quintessence Int 26(2) (Feb 1995): 95-110.
- (58) Schreiner, R. F., Chappell, R. P., Glaros, A. G., and Eick, J. D. Microtensile testing of dental adhesives. Dent Mater 14(3) (June 1998): 194-201.
- (59) Sano, H., Shono, T., Sonoda, H., Takatsu, T., Ciucchi, B., and Carvalho, R. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength—evaluation of a microtensile bond test. Dent Mater 10(4) (Jul 1994): 236-40.
- (60) Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. Oper Dent 28(3) (May-Jun 2003): 215-35.
- (61) Pashley, D. H., Sano, H., Ciucchi, B., Yoshiyama, M., and Carvalho, R. M. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. Dent Mater 11(2) (Mar 1995): 117-25.
- (62) Della Bona, A., and van Noort, R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. J Dent Res 74(9) (Sep 1995): 1591-6.
- (63) Ozcan, M., and Vallittu, P. K. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. Dental mater 19(8) (Dec 1 2003): 725-31.
- (64) Lehmann, F., and Kern, M. Durability of resin bonding to zirconia ceramic using different primers. J Adhes Dent 11(6) (Dec 2009): 479-83.
- (65) International Organization for Standardization. Polymer-based, Crown and Bridge Materials ISO 10477: (2004).

- (66) Marshall, S. J., Bayne, S. C., Baier, R., Tomsia, A. P., and Marshall, G. W. A review of adhesion science. *Dent Mater* 26(2) (Feb 2010): e11-6.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กลุ่ม NO 72 ชั่วโมง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	12.00	1.698
2	11.420	1.616
3	19.280	2.728
4	11.480	1.624
5	11.860	1.678
6	17.947	2.539
7	13.380	1.893
8	8.716	1.233
9	14.229	2.013
10	18.117	2.563
ค่าเฉลี่ย		1.958
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.495

กลุ่ม ZL 72 ชั่วโมง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	25.670	3.632
2	32.020	4.530
3	24.070	3.405
4	18.280	2.586
5	15.400	2.179
6	24.750	3.501
7	22.900	3.240
8	38.400	5.432
9	32.800	4.640
10	15.430	2.183
ค่าเฉลี่ย		3.533
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.080

กลุ่ม MZ 72 ชั่วโมง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	44.800	6.338
2	44.260	6.261
3	31.300	4.428
4	13.300	1.882
5	18.540	2.623
6	19.730	2.791
7	17.830	2.522
8	21.080	2.982
9	22.040	3.118
10	36.500	5.164
ค่าเฉลี่ย		3.811
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.619

กลุ่ม MP 72 ชั่วโมง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	17.750	2.511
2	17.920	2.535
3	50.900	7.201
4	29.480	4.171
5	43.270	6.121
6	31.890	4.512
7	16.820	2.380
8	29.900	4.230
9	35.200	4.980
10	17.520	2.479
ค่าเฉลี่ย		4.112
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.674

กลุ่ม NO เทอร์โมไซคลิง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	0.00	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย		0.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.00

กลุ่ม ZL เทอร์โมไซคลิง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	11.970	1.693
2	24.450	3.459
3	16.630	2.353
4	30.080	4.255
5	22.500	3.183
ค่าเฉลี่ย		2.989
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.993

กลุ่ม MZ เทอร์โมไซคลิง		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	47.000	6.649
2	13.800	1.952
3	17.000	2.405
4	27.700	3.919
5	27.900	3.947
ค่าเฉลี่ย		3.774
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.838

กลุ่ม MP เทอร์โมไซคลิก		
หมายเลข ตัวอย่าง	ค่าแรงดึง (N)	กำลังแรงยึดดึง (MPa)
1	24.180	3.421
2	26.330	3.725
3	27.100	3.834
4	15.520	2.196
5	31.250	4.421
ค่าเฉลี่ย		3.519
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.824



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Time	1	normal	40
	2	tmc	15
primers	1	NO	10
	2	ZL	15
	3	MZ	15
	4	MP	15

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tesile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.309 <sup>a</sup>	6	4.885	2.867	.018
Intercept	479.117	1	479.117	281.202	.000
Time	1.504	1	1.504	.883	.352
primers	28.603	3	9.534	5.596	.002
Time * primers	.620	2	.310	.182	.834
Error	81.783	48	1.704		
Total	737.428	55			
Corrected Total	111.092	54			

a. R Squared = .264 (Adjusted R Squared = .172)

## Univariate Analysis of Variance

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Time	1	normal	40
	2	tmc	15
primers	1	NO	10
	2	ZL	15
	3	MZ	15
	4	MP	15

### Levene's Test of Equality of Error Variances

Dependent Variable: Tesile

F	df 1	df 2	Sig.
2.570	6	48	.031

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+Time+primers+Time \* primers

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tesile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.309 <sup>a</sup>	6	4.885	2.867	.018
Intercept	479.117	1	479.117	281.202	.000
Time	1.504	1	1.504	.883	.352
primers	28.603	3	9.534	5.596	.002
Time * primers	.620	2	.310	.182	.834
Error	81.783	48	1.704		
Total	737.428	55			
Corrected Total	111.092	54			

a. R Squared = .264 (Adjusted R Squared = .172)

### Post Hoc Tests

#### primers

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Tesile

Tamhane

(I) primers	(J) primers	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
NO	ZL	-1.39290*	.312945	.001	-2.30032	-.48548
	MZ	-1.84023*	.448588	.004	-3.16833	-.51214
	MP	-1.95923*	.404178	.001	-3.14901	-.76945
ZL	NO	1.39290*	.312945	.001	.48548	2.30032
	MZ	-.44733	.500191	.943	-1.88130	.98664
	MP	-.56633	.460781	.792	-1.87978	.74712
MZ	NO	1.84023*	.448588	.004	.51214	3.16833
	ZL	.44733	.500191	.943	-.98664	1.88130
	MP	-.11900	.561797	1.000	-1.71069	1.47269
MP	NO	1.95923*	.404178	.001	.76945	3.14901
	ZL	.56633	.460781	.792	-.74712	1.87978
	MZ	.11900	.561797	1.000	-1.47269	1.71069

Based on observed means.

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

## Oneway

### Descriptives

Tesile

Time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
normal	NO	10	1.95850	.494849	.156485	1.60451	2.31249	1.233	2.728
	ZL	10	3.53280	1.079678	.341424	2.76044	4.30516	2.179	5.432
	MZ	10	3.81090	1.619373	.512091	2.65247	4.96933	1.882	6.338
	MP	10	4.11200	1.674166	.529418	2.91437	5.30963	2.380	7.201
	Total	40	3.35355	1.511911	.239054	2.87002	3.83708	1.233	7.201
tmc	ZL	5	2.98860	.993152	.444151	1.75544	4.22176	1.693	4.255
	MZ	5	3.77440	1.837826	.821901	1.49244	6.05636	1.952	6.649
	MP	5	3.52920	.837478	.374531	2.48933	4.56907	2.196	4.470
	Total	15	3.43073	1.250078	.322769	2.73846	4.12300	1.693	6.649

### Test of Homogeneity of Variances

Tesile

Time	Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
normal	4.554	3	36	.008
tmc	1.049	2	12	.380

### ANOVA

Tesile

Time		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
normal	Between Groups	27.627	3	9.209	5.389	.004
	Within Groups	61.522	36	1.709		
	Total	89.149	39			
tmc	Between Groups	1.616	2	.808	.479	.631
	Within Groups	20.261	12	1.688		
	Total	21.878	14			

### Robust Tests of Equality of Means

Tesile

Time		Statistic <sup>a</sup>	df 1	df 2	Sig.
normal	Brown-Forsythe	5.389	3	26.038	.005
tmc	Brown-Forsythe	.479	2	7.972	.636

a. Asymptotically F distributed.

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Tesile  
Tamhane

Time	(I) primers	(J) primers	Mean Dif f erence (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interv al	
						Lower Bound	Upper Bound
normal	NO	ZL	-1.574300*	.375577	.007	-2.74315	-.40545
		MZ	-1.852400*	.535467	.033	-3.57511	-.12969
		MP	-2.153500*	.552060	.016	-3.93346	-.37354
	ZL	NO	1.574300*	.375577	.007	.40545	2.74315
		MZ	-.278100	.615473	.998	-2.12855	1.57235
		MP	-.579200	.629963	.939	-2.47840	1.32000
	MZ	NO	1.852400*	.535467	.033	.12969	3.57511
		ZL	.278100	.615473	.998	-1.57235	2.12855
		MP	-.301100	.736560	.999	-2.47640	1.87420
	MP	NO	2.153500*	.552060	.016	.37354	3.93346
		ZL	.579200	.629963	.939	-1.32000	2.47840
		MZ	.301100	.736560	.999	-1.87420	2.47640
tmc	ZL	MZ	-.785800	.934233	.817	-3.81777	2.24617
		MP	-.540600	.580985	.762	-2.29877	1.21757
	MZ	ZL	.785800	.934233	.817	-2.24617	3.81777
		MP	.245200	.903214	.991	-2.78931	3.27971
	MP	ZL	.540600	.580985	.762	-1.21757	2.29877
		MZ	-.245200	.903214	.991	-3.27971	2.78931

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## NPar Tests

### Kruskal-Wallis Test

Ranks

Group	N	Mean Rank
Tesile NO_TMC	5	3.00
ZL_TMC	5	11.40
MZ_TMC	5	14.00
MP_TMC	5	13.60
Total	20	

Test Statistics<sup>a,b</sup>

	Tesile
Chi-Square	11.446
df	3
Asy mp. Sig.	.010

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Group



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Kruskal-Wallis test

Variables: NO\_TMC, ZL\_TMC, MZ\_TMC, MP\_TMC

Groups = 4

df = 3

Total observations = 20

T = 11.274286

P = 0.0103

Adjusted for ties:

T = 11.446412

P = 0.0095

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

NO\_TMC and ZL\_TMC

(8.4 &gt; 5.511754)

significant

P = 0.0052

NO\_TMC and MZ\_TMC

(11 &gt; 5.511754)

significant

P = 0.0006

NO\_TMC and MP\_TMC

(10.6 &gt; 5.511754)

significant

P = 0.0009

ZL\_TMC and MZ\_TMC

(2.6 &gt; 5.511754)

not significant

P = 0.3322

ZL\_TMC and MP\_TMC

(2.2 &gt; 5.511754)

not significant

P = 0.4099

MZ\_TMC and MP\_TMC

(0.4 &gt; 5.511754)

not significant

P = 0.8797

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## T-Test

### One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tesile	10	1.95850	.494849	.156485

### One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Tesile	12.516	9	.000	1.958500	1.60451	2.31249



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นาย สมโภช อังคนาวิริยารักษ์

วัน เดือน ปี เกิด 28 มีนาคม 2525

วุฒิการศึกษา ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีสำเร็จการศึกษา 2549

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2549 - 2551	ตำแหน่งทันตแพทย์ 4 ฝ่ายทันตกรรม โรงพยาบาลทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
พ.ศ.2551 – ปัจจุบัน	ทันตแพทย์อิสระ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย