

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและแรงเชิงกลต่อความแข็งแรงล้าต่อแรงดัดและการรั่วซึมของ  
ไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันโดยใช้สารปรับสภาพผิวโลหะต่างชนิด

นางสาวศิริกุล เตชะนรราช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



THE EFFECT OF THERMAL AND MECHANICAL CYCLING ON FLEXURAL FATIGUE  
STRENGTH AND MICROLEAKAGE OF TITANIUM BONDED TO DENTIN USING  
DIFFERENT METAL CONDITIONERS

Miss Sirikul Techanoraraj

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

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและแรงเชิงกลต่อความ  
แข็งแรงล้าต่อแรงดัดและการรั่วซึมของไททาเนียมยึดกับเนื้อ  
ฟันโดยใช้สารปรับสภาพผิวโลหะต่างชนิด

โดย

นางสาวศิริกุล เตชะนรราช

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วิวิทธิพล ศรีมณีพงศ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรารัตน์ ทักษิณทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ประมรภ ชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วิวิทธิพล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ชำรงค์อนันต์สกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สมชาย อูร์พิพล)

ศิริกุล เทษะนรราช : ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและแรงเชิงกลต่อความแข็งแรง  
 ล้าต่อแรงดัดและการรั่วซึมของไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันโดยใช้สารปรับสภาพผิวโลหะ  
 ต่างชนิด. (THE EFFECT OF THERMAL AND MECHANICAL CYCLING ON  
 FLEXURAL FATIGUE STRENGTH AND MICROLEAKAGE OF TITANIUM  
 BONDED TO DENTIN USING DIFFERENT METAL CONDITIONERS) อ. ที่  
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพ.ดร. วิวิทย์พล ศรีมณีพงศ์, 49หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและแรงเชิงกลต่อคุณภาพ  
 ของพันธะการยึดติดระหว่างไททาเนียมกับเนื้อฟันเมื่อเลือกใช้ซีเมนต์เรซินและสารปรับสภาพ  
 ผิวโลหะต่างชนิด วัสดุและวิธีการ แบ่งกลุ่มวัสดุออกเป็น 4 กลุ่ม โดยเลือกใช้ซีเมนต์เรซินหนึ่ง  
 จากสองชนิด ได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และ ฟานาเวียร์เอฟ2.0 ร่วมกับการเลือกใช้สาร  
 ปรับสภาพผิวโลหะหนึ่งจากสองชนิด ได้แก่ เมทาฟอสท์บอนดิงไลเนอร์ และอัลลอยไพรเมอร์  
 นำมาทดสอบคุณภาพการยึดติดด้วยการทดสอบสองวิธี ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงล้า  
 ต่อแรงดัดโดยการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุดภายใต้เทอร์โมไซคลิก (5-55 องศา  
 เซลเซียส, 5000 รอบ) และการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม(สารละลายเบสิกฟลูซิน) ภายใต้  
 กระบวนการเทอร์โมไซคลิก และ การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล (6 นิวตัน, 2 รอบต่อวินาที,  
 20,000 รอบ) ผลการศึกษา กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/อัลลอยไพรเมอร์ให้จำนวน  
 รอบที่ทนต่อการแตกหักมากที่สุดและมีระยะทางการแทรกซึมของสีย้อมน้อยที่สุด นำผลมา  
 วิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ทาง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
 พบว่า การเลือกใช้ซีเมนต์และเทอร์โมไซคลิกส่งผลต่อความล้าต่อแรงดัด และการเลือกใช้  
 ซีเมนต์และเทอร์โมไซคลิกกับการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลส่งผลต่อการรั่วซึมของรอยต่อระหว่าง  
 ไททาเนียมกับซีเมนต์กับเนื้อฟัน นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วมของการเลือกใช้ซีเมนต์กับเทอร์  
 โมไซคลิกกับการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลส่งผลต่อการรั่วซึมของรอยต่อ สรุป เมื่อทำการยึดไท  
 ทาเนียมกับเนื้อฟัน กระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิกลดคุณภาพของการยึดติด การ  
 เลือกใช้สารปรับสภาพผิวโลหะต่างชนิดไม่ส่งผลต่อคุณภาพของการยึดติด และ ซูเปอร์บอนด์  
 ซีแอนด์บีให้การยึดติดที่มีคุณภาพดีกว่าฟานาเวียร์เอฟ2.0

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

# # 5076120632 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : FLEXURAL FATIGUE STRENGTH / TITANIUM / METAL CONDITIONER

SIRIKUL TECHANORARAJ : THE EFFECT OF THERMAL AND MECHANICAL  
CYCLING ON FLEXURAL FATIGUE STRENGTH AND MICROLEAKAGE OF

TITANIUM BONDED TO DENTIN USING DIFFERENT METAL CONDITIONERS

ADVISOR : ASST. PROF. VIRITPON SRIMANEEPONG, Ph.D., 49 pp.

Objective To evaluate the titanium-dentin bonded properties when using  
different resin cements and metal conditioners under thermal and mechanical cycling

Methods Dentin-titanium were bonded using resin cements (SuperbondC&B<sup>®</sup> or  
PanaviaF2.0<sup>®</sup>) and metal conditioners (Metafast Bonding Liner<sup>®</sup> or Alloy Primer<sup>®</sup>). For  
flexural-fatigue-test, loading cycles (6.0N, 2.0Hz, three-point bending set-up) until  
specimen breakdown were recorded, with/without thermocycling. For Dye-  
penetration-test, specimens were investigated under mechanical cycling (6.0N, 2.0  
Hz, 20,000cycles) and thermocycling, using basic fuchsin dye. Results Dentin  
treated with Alloy Primer<sup>®</sup> and adhered with SuperbondC&B<sup>®</sup> showed the highest  
loading-cycles before failure and the lowest dye-penetration distance. The data was  
analyzed with 3-way ANOVA at 95 % confidence level. Type of cements and  
thermocycling process effect the flexural fatigue strength. The dye penetration test  
yielded similar results. There was no statistically significant difference when using a  
different metal conditioners.

Conclusion Using different metal conditioners did not affect the bonding properties  
between dentin and titanium. Thermocycling decreased the bonding properties  
between dentin and titanium. This study suggests SuperbondC&B<sup>®</sup> could provide a  
better dentin-titanium bond than that of PanaviaF2.0<sup>®</sup>

Department : Prosthodontics..... Student's Signature .....

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

Academic Year : 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงของ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วิวิธพิล ศรีมณีพงศ์ ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทาง และให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภัก ซาลิมี่, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม อารังค์อนันต์สกุล และรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สมชาย อูร์พิล ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทางสถิติ อาจารย์ไพพรรณ วิทยานนท์ ที่ช่วยให้ความรู้ทางด้านสถิติ รวมทั้งคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในศูนย์ทันตวัสดุ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดามารดาทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัยและผู้มีพระคุณทั้งหมด ที่ไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงาน

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 3 ประจำปีงบประมาณ 2552 จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
คำถามการวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น .....	4
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	14
วิธีการทดลอง.....	19
กระบวนการทดสอบและวัดผล.....	23
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	27
ตอนที่ 1 การทดสอบความล้าต่อแรงค้ำ.....	27
ตอนที่ 2 การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม.....	30
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	34
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	37
รายการอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก.....	41

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	42
ภาคผนวก ข.....	43
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	49



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สารเคมีหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	17
ตารางที่ 2	การจัดกลุ่มทดสอบตามกลุ่มวัสดุ.....	18
ตารางที่ 3	แจกแจงจำนวนชิ้นงานในแต่ละกลุ่มทดสอบ.....	19
ตารางที่ 4	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก (หน่วยเป็น จำนวนรอบ).....	27
ตารางที่ 5	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะแทรกซึมของสีย้อม (หน่วยเป็นมิลลิเมตร) .....	30
ตารางที่ 6	แสดงข้อมูลดิบจากการทดสอบความล้าต่อแรงดัดหน่วยเป็น รอบ และการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม หน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	42
ตารางที่ 7	แสดงการแจกแจงแบบปกติของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักของทุกกลุ่มโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ.....	43
ตารางที่ 8	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักโดยการทดสอบลิวีน.....	44
ตารางที่ 9	แสดงการทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.....	45
ตารางที่ 10	แสดงอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และ ชนิดของซีเมนต์ ต่อจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก.....	45
ตารางที่ 11	แสดงการแจกแจงแบบปกติของระยะแทรกซึมของสีย้อมของทุกกลุ่มโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ.....	46
ตารางที่ 12	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยของระยะแทรกซึมของสีย้อมโดยการทดสอบลิวีน.....	47
ตารางที่ 13	แสดงการทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของระยะแทรกซึมของสีย้อม ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว .....	48
ตารางที่ 14	แสดงอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และ ชนิดของซีเมนต์ ต่อระยะแทรกซึมของสีย้อม .....	48

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	แผนภูมิแจกแจงการทดลองและจำนวนชิ้นงานในการศึกษานี้..... 17
ภาพที่ 2	เรซินซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้ (1) ซุปเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (2) ฟานาเวียร์เอฟ2.0 (3) อัลลอยไฟร์เมอร์ (4) เมทาฟาสท์บอนดิ่ง ไลเนอร์..... 18
ภาพที่ 3	บล็อกซิลิโคนสำหรับหล่อแบบแท่งปูนที่จะใช้ยึดส่วนรากฟันเพื่อนำไปยึดกับ เครื่องตัดฟัน..... 20
ภาพที่ 4	ฟันที่อยู่ในแท่งจับที่พร้อมนำไปยึดกับเครื่องตัดฟัน..... 20
ภาพที่ 5	แสดงเครื่องมือตัดความเร็วต่ำ (low speed cutting machine) ..... 21
ภาพที่ 6	แสดงการยึดระหว่างเนื้อฟันกับไททาเนียมด้วยซีเมนต์เรซิน..... 22
ภาพที่ 7	แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบการตัดขวางแบบสามจุด..... 23
ภาพที่ 8	ชิ้นงานที่ผ่านการแช่สีย้อมแล้ว..... 24
ภาพที่ 9	การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปวัดระยะทางที่สีย้อมแทรกซึม ชิ้นงาน 1 ชิ้นมีรอยต่อ 4 ตำแหน่ง(วงกลม) แต่ละตำแหน่งวัดสองด้านคือ ด้านไททาเนียม กับด้านเนื้อ ฟัน..... 25
ภาพที่ 10	แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักของ วัสดุแต่ละกลุ่ม..... 29
ภาพที่ 11	11 (1) ชิ้นงานที่ผ่านการแช่สีย้อม, (2) การแทรกซึมของสีย้อม: กลุ่มทดสอบ PM (กำลังขยาย 2X), (3) การแทรกซึมของสีย้อม: กลุ่มควบคุมSA (กำลังขยาย 2X), ซ = ซีเมนต์..... 31
ภาพที่ 12	แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะแทรกซึมของสีย้อมของวัสดุแต่ละ กลุ่ม..... 33

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้ไททาเนียมเป็นวัสดุทางเลือก ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในวงการทันตกรรมภายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แนวโน้มของการใช้ไททาเนียมที่เพิ่มขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับราคาที่ไททาเนียมมีราคาถูกลง และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยมุ่งใช้เพื่อทดแทนโลหะผสมที่มีอยู่<sup>1,2</sup>

โลหะผสมมีค่านับถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำขึ้นหล่อเพื่อบูรณะทางทันตกรรมเริ่มตั้งแต่ ปี ค.ศ.1907<sup>3</sup> จากการพัฒนาทางด้านเซรามิกทางทันตกรรมและการเพิ่มราคาของโลหะมีค่าทำให้เกิดโลหะผสมเพื่อใช้เป็นทางเลือก ได้แก่ โลหะผสมแพลเลเดียมและโลหะผสมพื้นฐาน ซึ่งมีการวิจัยหลายบทความกล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของวัสดุแต่ละชนิด รวมถึงรายงานถึงปฏิกิริยาการแพ้และการมีสารก่อมะเร็งของโลหะพื้นฐาน<sup>2</sup>

การนำโลหะไททาเนียมมาใช้ทางการแพทย์และทันตกรรมนั้น เพิ่มขึ้นอย่างมากมาภายในช่วงเวลาไม่กี่ปี เกิดจากข้อดีของไททาเนียมคือมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพความต้านทานการกัดกร่อน คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยม<sup>2</sup> อย่างไรก็ตามไททาเนียมยังมีการใช้งานในวงจำกัด เนื่องจากการนำไปขึ้นรูปทางทันตกรรมทำได้ยากต้องใช้เครื่องมือพิเศษ และใช้ความชำนาญของช่างทันตกรรม รวมไปถึงข้อจำกัดการนำไปใช้ในงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน(Porcelain fused to metal crown)

ในส่วนของแรงยึดกับฟัน มีการวิจัยเป็นจำนวนมากได้ประเมินค่าแรงยึดกับฟันไว้ แต่ผลการทดลองได้ค่าที่แตกต่างกันไป โดยมีความแตกต่างกันทั้งในแง่ของวิธีการวัดผลหรือ แม้กระทั่งการใช้วิธีการวัดผลแบบเดียวกันตามมาตรฐาน ผลที่ได้ก็ยังมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ ในการศึกษาตามวิธีการตามมาตรฐานสากล (International Organization for Standardization: ISO) ได้สรุปไว้ว่า การวัดค่าแรงยึดแบ่งตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก แบ่งได้ 2 ชนิด คือ แรงที่ตั้งฉากต่อพื้นผิวหน้าตัดและแรงที่ลงตามแนวขนานต่อพื้นผิวหน้าตัด ซึ่งทั้งสองค่าไม่ได้มีความสัมพันธ์ต่อกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องวัดค่าแรงทั้งสองวิธี

การวิจัยในปัจจุบันเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นิยมทำในห้องทดลองซึ่งทำได้ง่ายแต่ยังมีข้อจำกัดอยู่ ซึ่งยังไม่สามารถตอบปัญหาได้ทั้งหมด โดยเฉพาะในส่วนของวิธีการทดสอบสมบัติทางกล การวิจัยส่วนใหญ่ได้ใช้การทดสอบแรงโดยกำหนดแรงลงเพียงครั้งเดียว เพื่อหาค่าแรงที่ทำให้ขึ้นหล่อมีการ

แยกออกจากพื้นหลัก แต่ในปัจจุบันมีวิธีการทดสอบที่สามารถจำลองสถานการณ์ของแรงบิดเคี้ยวในช่องปากได้ดียิ่งขึ้น นั่นคือ การทดสอบโดยกำหนดแรงที่มีขนาดใกล้เคียงกับแรงบิดเคี้ยวในช่องปากให้แรงซ้ำๆกัน เพื่อจำลองการบิดเคี้ยว โดยเรียกว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล(mechanical cycling) โดยวัดในส่วนของการทำงานแรงตัดร่วมกับการใส่ปัจจัยของการเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก เช่น การศึกษาของ Oyafuso และคณะ<sup>4</sup> และ Vasquezและคณะ<sup>5</sup> แต่การวิจัยทั้งสองเป็นการศึกษาในส่วนของแรงยึดระหว่างชั้นหล่อไททาเนียมกับเซรามิกเท่านั้น

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีขึ้น เพื่อศึกษาผลของเทอร์โมไซคลิกและแรงเชิงกลต่อความล้าต่อแรงตัดและการแทรกซึมของสีย้อมของชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟัน เมื่อมีการใช้สารปรับสภาพผิวโลหะร่วมกับการใช้ซีเมนต์เรซิน

### คำถามการวิจัย

- 1.การเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิกส่งผลต่อความล้าต่อแรงตัดของชั้นโลหะไททาเนียมที่ยึดกับเนื้อฟันมนุษย์โดยใช้สารปรับสภาพผิวโลหะร่วมกับซีเมนต์เรซินหรือไม่
- 2.การเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิกและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลส่งผลต่อการแทรกซึมของสีย้อมที่ผิวสัมผัสของชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์โดยใช้สารปรับสภาพผิวโลหะร่วมกับซีเมนต์เรซินหรือไม่
- 3.เมื่อใช้ซีเมนต์เรซินต่างชนิดส่งผลให้ความล้าต่อแรงตัดและการแทรกซึมของสีย้อมของชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์แตกต่างกันหรือไม่
- 4.เมื่อใช้สารปรับสภาพผิวโลหะต่างชนิดส่งผลให้ความล้าต่อแรงตัดและการแทรกซึมของสีย้อมของชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์แตกต่างกันหรือไม่
- 5.เมื่อใช้ซีเมนต์เรซินสลับคู่กับสารปรับสภาพผิวโลหะต่างบริษัทผู้ผลิตส่งผลให้ความล้าต่อแรงตัดและการแทรกซึมของสีย้อมของชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์แตกต่างกันหรือไม่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.เพื่อศึกษาผลของเทอร์โมไซคลิกต่อความล้าต่อแรงตัดของชั้นโลหะไททาเนียมที่ยึดกับเนื้อฟันมนุษย์
- 2.เพื่อศึกษาผลของเทอร์โมไซคลิกและแรงเชิงกลต่อการแทรกซึมของสีย้อมที่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์



5. เมื่อใช้ซีเมนต์เรซินสลับลูกคู่กับสารปรับสภาพผิวโลหะต่างบริษัทผู้ผลิตส่งผลต่อจำนวนรอบความล้าต่อแรงดัดของชิ้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์โดยใช้ซีเมนต์เรซิน และระยะเวลาการแทรกซึมของสีย้อม

$H_0$ : เมื่อใช้ซีเมนต์เรซินสลับลูกคู่กับสารปรับสภาพผิวโลหะต่างบริษัทผู้ผลิตมีจำนวนรอบความล้าต่อแรงดัดของ ชิ้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์โดยใช้ซีเมนต์เรซิน และระยะเวลาการแทรกซึมของสีย้อม มีค่าเท่ากัน

$H_a$ : เมื่อใช้ซีเมนต์เรซินสลับลูกคู่กับสารปรับสภาพผิวโลหะต่างบริษัทผู้ผลิตมีจำนวนรอบความล้าต่อแรงดัดของ ชิ้นโลหะไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันมนุษย์โดยใช้ซีเมนต์เรซิน และระยะเวลาการแทรกซึมของสีย้อม มีค่าแตกต่างกัน

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research)

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. แรงที่ใช้ในการตั้งค่าการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด ได้มาจากการทดลองเบื้องต้น เนื่องจากตามมาตรฐานสากล ISO 9693(Metal-ceramic dental restorative systems) ปีคศ.1999 นั้น เป็นการหาค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักจากการกดเพียงหนึ่งครั้ง แต่ในการศึกษานี้ต้องการทดลองหาค่าแรงที่ต่ำกว่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหัก แต่ให้ในจำนวนรอบที่มากเพื่อเลียนแบบสภาวะในช่องปาก จึงทำการทดลองเบื้องต้น โดยการหาค่าที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/เมทาฟอสท์บอนด์ิงไลเนอร์เป็นจำนวน 5 ชิ้น และ ชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์ เป็นจำนวน 5 ชิ้น แล้วนำค่าแรงต่ำที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานแตกภายในหนึ่งครั้งได้ ได้ค่า 6 นิวตัน นำไปทดสอบการตั้งการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุดจำนวน 20,000 รอบ เพื่อดูการแตกหักของชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/เมทาฟอสท์บอนด์ิงไลเนอร์เป็นจำนวน 5 ชิ้น และ ชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์ เป็นจำนวน 5 ชิ้น พบว่า ชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/เมทาฟอสท์บอนด์ิงไลเนอร์แตกเป็นจำนวน 2 ชิ้น ไม่แตก 3 ชิ้น และ ชิ้นงานไททาเนียมยึดกับเนื้อฟันด้วยพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์ แตกเป็นจำนวน 4 ชิ้น ไม่แตก 1 ชิ้น ซึ่งเห็นความแตกต่างในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง จึงนำมาตั้งค่าแรงในการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด

## 2. ชื่อเรียกวัสดุ

Metal conditioner คือ สารปรับสภาพผิวโลหะ

Resin cement คือ ซีเมนต์เรซิน

Metafast bonding liner® คือ สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์

Alloy Primer® คือ สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอยไพรเมอร์

Superbond C&B® คือ ซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี

PanaviaF2.0® คือ ซีเมนต์เรซินพานาเวียร์เอฟ 2.0

## คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Thermocycling คือ เทอร์โมไซคลิง

Mechanical cycling คือ การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล

Three-point bending test คือ การทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด

Flexural test คือ การทดสอบแรงดัด

Fatigue test คือ การทดสอบความล้า

Flexural fatigue test คือ การทดสอบความล้าต่อแรงดัด

Dye penetration test คือ การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม

## ข้อจำกัดของการวิจัย

เนื่องจากการใช้ฟันมนุษย์ในการทดลอง ทำให้มีข้อจำกัดในการผลิตชิ้นตัวอย่างในจำนวนมาก และชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก ทำให้จำเป็นต้องควบคุมขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสม และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

นอกจากนี้การทดสอบด้วยการใส่แรงเป็นจำนวนหลายหมื่นรอบส่งผลให้สิ้นเปลืองเวลาและต้องใช้เครื่องมือเป็นเวลานาน การทดลองนี้ทดสอบความล้าต่อแรงดัดใช้แรงดัดขวางสูงสุดที่จำนวน 20,000 รอบ หากชิ้นงานที่ผ่านแรงจำนวน 20,000 รอบแล้ว ชิ้นงานยังไม่แตกหัก จะบันทึกจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักไว้ที่ 20,000 รอบ ซึ่งในความเป็นจริงชิ้นงานชิ้นนั้นจะเกิดการแตกหักที่จำนวน

รอบที่มากกว่า 20,000 รอบ ทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบที่เกิดการแตกหักในการทดลองนี้ อาจต่ำกว่าความเป็นจริง

### **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

- 1.เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในการทำชิ้นหล่อโครงสร้างในงานพันปลอมชนิดติดแน่น
- 2.เป็นแนวทางในการเลือกใช้สารปรับสภาพผิวโลหะที่เหมาะสมกับไททาเนียม
- 3.ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้อาจใช้เป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ศึกษางานวิจัยขั้นต่อไปในอนาคต



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความจำเป็นในการบูรณะฟันโดยการทำฟันเทียมทดแทนนั้น นับเป็นการรักษาที่มีความสำคัญในกลุ่มประชากรที่มีการสูญเสียฟันธรรมชาติ โดยมีกระบวนการคือนำวัสดุสังเคราะห์มาใส่หรือยึดติดกับฟันธรรมชาติ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความสมบัติพื้นฐาน ทั้งในด้านชีวภาพ คือ ต้องมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ไม่เป็น สารก่อมะเร็ง ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแพ้ สามารถคงสภาพอยู่ได้ในสภาวะช่องปาก ส่วนในด้านกายภาพ คือมีความแข็งแรงพอเหมาะกับการใช้งานในช่องปาก สามารถทำให้เกิดการใช้งานได้เหมือนกับเป็นฟันธรรมชาติ เมื่อผู้ป่วยนำไปใช้ต้องมีความสวยงามทดแทนฟันธรรมชาติ อยู่ได้คงทนถาวร ดูแลรักษาง่าย มีขั้นตอนในการบูรณะที่ประหยัดเวลาและไม่ซับซ้อน ในส่วนของทันตแพทย์และช่างทันตกรรม ต้องการวัสดุที่มีความสมบัติในการขึ้นรูปได้ดี มีวิธีการผลิตที่ง่าย ราคาถูก ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมา ทำให้ทันตแพทย์มีความพยายามในการหาวัสดุทดแทนที่มีความสมบัติเหมาะสมที่สุด จึงมีการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุที่มีอยู่แล้วให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น และมีความพยายามในการใช้วัสดุชนิดใหม่มาเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีอยู่แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่กล่าวถึงวัสดุต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ไททาเนียม เนื้อฟัน ซีเมนต์เรซิน สารปรับสภาพผิวโลหะ รวมถึงงานวิจัยในอดีตของกระบวนการทดสอบต่างๆ ได้แก่ เทอร์โมไซคลิง การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล การทดสอบแรงล้าต่อแรงดัด และการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม

ไททาเนียม (Ti) เป็นโลหะที่มีมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากอะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และแมกนีเซียม (Mg) ในตารางธาตุมีเลขอะตอมเท่ากับ 22 และมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ  $47.9^6$  ไททาเนียมเป็นธาตุที่มีความไวต่อปฏิกิริยา ดังนั้น ในธรรมชาติจึงไม่พบไททาเนียมในรูปแบบธาตุบริสุทธิ์ แต่จะอยู่ในรูปของสินแร่ไททาเนียม (Ti ores)

ในปี 1983 The American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้แบ่งไททาเนียมออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1. ไททาเนียมบริสุทธิ์ (Cp-Ti) 4 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นไททาเนียมบริสุทธิ์เกรด 1,2,3,4
2. โลหะผสมไททาเนียม อาทิเช่น Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V (ELI) และ Ti-6Al-7Nb

Craig ในปี 2002<sup>7</sup> ได้กล่าวไว้ว่า ไททาเนียมเป็นวัสดุที่เหมาะสม (material of choice) ในทางทันตกรรมเนื่องจากมีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ ได้แก่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น หรือความแข็งต่ำ นอกจากนั้นยังมีชั้นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูงปกคลุมทำให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนและมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่ออย่างดีเยี่ยม คุณสมบัติสำคัญที่ทำให้ไททา

เนื้อมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดีเยี่ยม เกิดจากชั้นนอกไฮดรอกซีที่มีความเชื่อมต่อกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวของไททาเนียม

ซีเมนต์เรซินถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1950 ในระยะแรกไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากคุณสมบัติต่างๆยังไม่ดีพอ เช่น มีการหดตัวเมื่อมีการบ่มตัว (polymerization shrinkage) และมีการร้าวซึมตามขอบวัสดุแต่ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบซีเมนต์เรซินกับซีเมนต์ดั้งเดิม คือ ซีเมนต์ที่ใช้ปฏิกิริยากรด-เบส พบว่าซีเมนต์เรซินนั้นมีข้อดี คือ มีแรงยึดกับฟันที่เพิ่มขึ้น มีการละลายตัวในสภาวะช่องปากที่ต่ำ มีการร้าวซึมระดับไมโครที่น้อย ทำให้ลดการร้าวซึมตามขอบได้ดีในระยะยาว ลดการเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงเนื้อฟัน ลดการผุซ้ำและลดอาการเสียวฟันหลังบูรณะ<sup>8</sup> นอกจากนี้ยังสามารถเลือกสีให้เกิดความสวยงามรับกับครอบฟันได้ คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ซีเมนต์เรซินได้รับความนิยมและแพร่หลายมากขึ้น ซีเมนต์เรซินถูกผลิตออกมาหลายรูปแบบและหลายประเภท โดยมีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถแบ่งตามส่วนประกอบพื้นฐานออกได้เป็น 2 ประเภท<sup>9</sup> คือ อะคริลิกเรซินซีเมนต์ (acrylic resin cement) ส่วนของผงประกอบด้วย เมทิลเมทาครีเลตโพลีเมอร์ (methyl methacrylate polymer) อาทิเช่น ซูเปอร์บอนดีซีแอนด์บี ส่วนอีกประเภทคือ ไดเมทาครีเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement) มีส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายกับวัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิต โดยมีส่วนของมอนอเมอร์หลัก คือ บิสฟีเอ็มเอ (Bisphenol A Dimethacrylate; Bis GMA) อาทิเช่น ฟานาเวียร์เอฟ2.0

เคลือบฟันประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เป็นแร่ธาตุประมาณร้อยละ 95-98 โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีการเรียงตัวของโครงสร้างแบบผลึกที่หนาแน่น (dense crystalline structure) โครงสร้างและองค์ประกอบของเคลือบฟันจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งและความลึก ยกเว้นเคลือบฟันแบบไม่มีผลึก (aprismatic) ที่อยู่บริเวณผิวนอกของฟันซึ่งมีการเรียงตัวของผลึกแบบ ขนานซึ่งกันและกันและตั้งฉากกับพื้นผิว<sup>10</sup>

ในกรณีที่ฟันมีการพัฒนาตามปกติ องค์ประกอบของเคลือบฟันในแต่ละตำแหน่ง มักไม่ค่อยมีความแตกต่างกันในฟันแต่ละซี่ ทำให้ผลที่ได้จากการใช้กรดกัดมีความคล้ายคลึงกัน การยึดติดบนผิวเคลือบฟันจึงให้ค่าที่เชื่อถือได้และมีความคงทน ส่วนเนื้อฟันนั้น จะมีองค์ประกอบต่างจากเคลือบฟัน โดยมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 45 (ส่วนใหญ่เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์) สารอินทรีย์ประเภทคอลลาเจนและสารประกอบอื่นๆ ร้อยละ 33 และอีกร้อยละ 22 เป็นน้ำโดยปริมาตร นอกจากนี้ที่กล่าวมา เนื้อฟันยังประกอบด้วยท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) ซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันขึ้นกับระดับความลึกและตำแหน่ง ท่อเนื้อฟันในส่วนใกล้กับโพรงประสาทฟันมีขนาดใหญ่ ในขณะที่ไกลจากโพรงประสาทฟันออกไปจะมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของท่อเนื้อฟัน รวมถึงปริมาณความชื้นในส่วนใกล้กับโพรงประสาทฟันมากกว่าบริเวณที่ไกลโพรงประสาทฟัน ลักษณะ

ดังกล่าว ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดกับสารยึดติดในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน การศึกษาของ Causton ในปี 1984<sup>11</sup> แสดงให้เห็นว่า การใช้เนื้อฟันที่ระดับความลึกเดียวกันที่ 1 มิลลิเมตรจากเหนือยอดของโพรงประสาทฟันหรือที่ระดับ 1 มิลลิเมตรต่ำกว่ารอยต่อของส่วนของเนื้อฟันกับส่วนของเคลือบฟัน เป็นระดับที่สามารถวัดค่าแรงยึดได้ง่าย

การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการยึดติด ส่วนใหญ่จะเตรียมผิวเนื้อฟันก่อนการใช้สารยึดติดด้วยกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide abrasive paper) ที่มีความละเอียดต่าง ๆ กัน ซึ่งจะทำให้ได้ชั้นสเมียร์ที่มีความหนาและความละเอียดที่แตกต่างกัน การใช้กระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์เตรียมผิวฟัน แม้ไม่ได้เป็นการจำลองสภาพการทำงานในทางคลินิก เมื่อเปรียบเทียบการใช้เซ็มกรอพัน เนื่องจากการใช้กระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ เตรียมผิวเนื้อฟันจะทำให้ได้ชั้นสเมียร์ที่ไม่อัดแน่นเท่าการใช้เซ็มกรอพัน รวมทั้งมีแนวโน้มที่จะเปิดท่อเนื้อฟันมากกว่าการใช้เซ็มกรอพัน แต่ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถควบคุมขนาดของพื้นผิวให้เรียบได้มากกว่า นอกจากนี้หากใช้ซีเมนต์ระบบโทคอลเอทซ์ จะได้แรงยึดที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้กระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์จึงเหมาะสมในการวิจัยโดยทั่วไป<sup>12</sup>

ส่วนใหญ่ของการศึกษาคุณภาพของการยึดของซีเมนต์เรซิน สามารถทดสอบได้หลายวิธีเช่น หาค่าแรงยึด ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและดูการรั่วซึมของรอยต่อระหว่างซีเมนต์ ในส่วนของการทดสอบแรงยึดโดยทั่วไปเป็นการทดสอบภายหลังการยึดขึ้นงานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริง วัสดุบูรณะและสารยึดติดต้องพบกับสภาวะหลาย ๆ อย่างภายในช่องปาก เช่น เทอร์โมไซคลิก แรงบดเคี้ยว รวมทั้งต้องสัมผัสกับกรดและเอนไซม์ต่าง ๆ ปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้เกิดความล้มเหลวของการบูรณะ ส่งผลให้อายุการใช้งานของวัสดุบูรณะที่ใช้สารยึดติดสั้นลง การทดสอบแรงยึดในสภาวะลอกเลียนแบบสภาวะการใช้งานจริงในช่องปากมีหลายรูปแบบ เช่น กระบวนการเทอร์โมไซคลิก (thermocycling) การเก็บขึ้นทดสอบไว้ในสารทดสอบต่าง ๆ (storage media) และการจำลองสภาพแรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อขึ้นงาน (occlusal loading)

การทำเทอร์โมไซคลิก เป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่องปาก โดยการนำขึ้นงานมาผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อน-เย็นเป็นจังหวะ โดยมาตรฐานสากล ISO 11405 (1994) Testing of adhesion to tooth structure เป็นมาตรฐานที่แนะนำการเลือกใช้สารสำหรับเก็บรักษาฟัน, วิธีการเก็บรักษาฟัน และรายละเอียดต่างๆในการเก็บฟัน รวมถึงแนะนำวิธีการทดสอบคุณภาพการยึดติดระหว่างวัสดุทางทันตกรรมกับเนื้อเยื่อฟัน เช่น เคลือบฟันและ เนื้อฟัน ตามมาตรฐานนี้แนะนำจำนวนรอบในการทำเทอร์โมไซคลิกว่าควรทำ 500 รอบ ในน้ำที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยกล่าวว่า เป็นการเร่งอายุขึ้นตัวอย่างเพื่อดูประสิทธิภาพของการยึดติดระยะยาวในห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้ จากวรรณกรรมปริทัศน์ของ Gale และ Darvell<sup>13</sup> ได้สรุปไว้ว่า การทำเทอร์โมไซคลิกที่ 10,000 รอบ เปรียบได้กับการใช้งานจริงภายในช่องปากประมาณ 1 ปี แต่ในการศึกษาที่ผ่านมา มีการเลือกทำเทอร์โมไซคลิกด้วยจำนวนรอบแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่เลือกทำเทอร์โมไซคลิกมากกว่า 500 รอบขึ้นไป แต่อาจไม่ถึง 10,000 รอบตามการศึกษาของ Gale และ Darvell โดยขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในการศึกษาแต่ละชิ้น ในการศึกษาที่เลือกทำเทอร์โมไซคลิกจำนวน 5,000 รอบ

การจำลองสภาพการบิดเคี้ยวในช่องปาก โดยให้วัสดุบูรณะได้รับแรงทางกล (mechanical loading) เป็นอีกวิธีหนึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของสารยึดติด ซึ่งแรงทางกลที่ใช้ มักจะเป็นแรงในรูปแบบไดนามิก (dynamic loading) คือให้แรงซ้ำ (mechanical cycling) โดยให้แรงที่น้อยกว่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักแต่ให้เป็นจำนวนครั้งที่มาก ซึ่งจะเป็นการจำลองสภาพที่ใกล้เคียงสภาพในช่องปากมากกว่าแรงแบบสถิต (static loading)<sup>14</sup> และมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาจำนวนรอบการให้แรง โดยเปรียบเทียบกับระยะเวลาในช่องปากพบว่า การให้แรงจำนวน 250,000 รอบ เท่ากับ 1 ปี<sup>15</sup>

เมื่อมีการให้แรงกระทำลงในส่วนของครอบฟันกับเนื้อฟัน วัสดุจะมีการยืดตัวออกตามแรงที่มากระทำส่งผลต่อการยึดตัวของซีเมนต์ด้วยไททาเนียมซึ่งมีร้อยละการยืดตัวที่สูงกว่าโลหะชนิดอื่น คือประมาณร้อยละ 15-24 เมื่อเทียบกับโลหะทองผสมซึ่งมีการยืดตัวประมาณร้อยละ 10-18<sup>2</sup> ไททาเนียมจะทำให้เกิดแรงกระทำต่อผิวสัมผัสระหว่างซีเมนต์กับซีเมนต์กับซีเมนต์โลหะมากกว่าโลหะชนิดอื่น การวัดคุณภาพของการยึดโดยดูรอยรั่วซึมเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งซึ่งสามารถหาค่าได้โดยไม่ต้องทำให้การยึดเกิดการแตกหัก ซึ่งนำไปสู่ความสำคัญในการใช้งานจริง ในเรื่องของกรรมน้ำและเชื้อแบคทีเรียแทรกซึมเข้าไปทำให้เกิดการละลายตัวของซีเมนต์และเกิดการผุของฟันหลักได้ สารย้อมที่นิยมใช้ได้แก่ สีเบซิคฟุสซิน (Basic fuchsin dye) และสารซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate) ส่วนวิธีการวัดมีทั้งการกำหนดระดับการแทรกซึมขึ้นมาแล้วให้เป็นคะแนนหรือวัดเป็นระยะทางจริง โดยที่การใช้สีเบซิคฟุสซินย้อมเป็นวิธีการดูการรั่วซึมระดับไมโคร<sup>14</sup>

การทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมี 2 ลักษณะ คือ การทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน (shear bond strength) และอีกวิธีคือการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึง (tensile bond strength)<sup>16</sup>

จากองค์ประกอบที่กล่าวมา ได้มีผู้ศึกษาวิจัยแรงยึดระหว่างเนื้อฟันมนุษย์กับซีเมนต์ ในการศึกษาของ Holderegger ในปี 2008<sup>17</sup> เมื่อศึกษาแรงยึดแบบเฉือนระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์ เรซินและจำลองสภาพในช่องปากด้วยวิธีเทอร์โมไซคลิกเพียงอย่างเดียว พบว่าแรงยึดแบบเฉือนในกลุ่มที่ไม่ทำเทอร์โมไซคลิกมีค่าสูงสุด 14.9 เมกะพาสคาล ส่วนแรงยึดในกลุ่มที่ทำเทอร์โมไซคลิก มีค่า สูงสุด

11.3 เมกะพาสคาล ผู้วิจัยจึงสรุปไว้ว่าการทำเทอร์โมไซคลิกทำให้ค่าแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแรงยึดที่แตกต่างกันไปตามชนิดของซีเมนต์เรซินที่ใช้

อีกการศึกษาหนึ่งของ Furukawa และคณะ ในปี 2002<sup>18</sup> ได้ศึกษาพื้นผิวสัมผัสที่เป็นจุดอ่อนแอของการยึดอยู่ โดยทำการศึกษาแรงยึดระหว่างซีเมนต์เรซินกับเนื้อฟันวัว และวัสดุอุดฟัน indirect composite resin โดยมีการกำหนดความหนาของชั้นซีเมนต์เรซินเป็นสามแบบ คือ 50, 150 และ 500 ไมครอน และ วิธีการยึดชิ้นงานเป็น 5 แบบ ทดสอบสองวิธีคือหนึ่งทดสอบด้วยการทดสอบการตัดขวางแบบสามจุดโดยมีขนาดของชิ้นตัวอย่างคือ กว้าง 2 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ยาว 8 มิลลิเมตรเท่ากันทุกชิ้นและวิธีที่สองคือ ทดสอบค่าแรงยึดแบบดึง ภายหลังจากทดสอบเมื่อศึกษาลักษณะการแตกพบการแตกหักกลาง (bulk fracture) ในกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าแรงที่ทำให้แตกหัก และค่าแรงยึดแบบดึงที่สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มที่มีค่าแรงยึดต่ำพบการแตกที่ชั้นรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์เรซิน (adhesive fracture) จากผลที่พบ กล่าวได้ว่าค่าแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักมีผลมาจากการเลือกใช้ซีเมนต์เรซิน ส่วนความหนาของชั้นซีเมนต์เรซิน ไม่ส่งผลต่อค่าแรงยึด

ในส่วนของแรงยึดระหว่างไททาเนียมกับซีเมนต์เช่นเดียวกันกับโลหะผสมชนิดอื่นๆ ได้มีความพยายามในการศึกษาวิธีการ ในการทำให้แรงยึดระหว่างไททาเนียมกับซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยคิดค้นสารปรับสภาพผิวโลหะ โดยมีการนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาใช้อย่างหลากหลาย สารปรับสภาพผิวโลหะที่มีวางจำหน่ายในตลาดวัสดุทางทันตกรรม สามารถแบ่งกลุ่มได้ตามชนิดของหมู่ทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ (functional monomer) ดังนี้

1. หมู่ฟอสเฟต (Phosphate) ได้แก่ MDP: 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate ชื่อทางการค้าคือ ซีซีดีทูโอเพคไพรเมอร์ (Cesead II Opaque Primer)
2. หมู่ไทโอฟอสเฟต (Thiophosphate) ได้แก่ MEPS: methacrylate with thiophosphoric acid moiety ชื่อทางการค้าคือ เมทอลไพรเมอร์ทู (Metal primer II)
3. หมู่ไทออล (Thiol) ได้แก่ VTD หรือ VBATDT: 6-(4-vinylbenzyl-n-propyl)amino-1,3,5-triazine-2,4-dithiol ชื่อทางการค้าคือ วีไพรเมอร์ (V Primer)
4. หมู่คาร์บอกซิลิกแอซิด (Carboxylic acid) ได้แก่ 4-META: 4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride ชื่อทางการค้าคือ เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ (Metafast-bonding Liner) , 4-AET: 4-acryloyloxyethyl trimellitate ชื่อทางการค้าคือ เอคริลบอนด์ (Acryl Bond), MAC-10 :11-methacryloyloxyundecan-1,1-dicarboxylic acid ชื่อทางการค้าคือ เอ็มอาร์บอนด์ (MR Bond)

5. หมู่ฟอสฟอนิกแอซิดอะครีเลต (Phosphonic acid acrylate) ได้แก่ เมทอลเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ (Metal/Zirconia primer) ซึ่งเป็นสารปรับสภาพผิวโลหะที่มีการเริ่มนำเข้าสู่ตลาดสินค้าทันตกรรม ได้กล่าวอ้างถึงความสามารถในการเพิ่มแรงยึดระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุที่ทำครอบฟัน คือ โลหะผสมทุกประเภท, เซอร์โคเนียมออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์
6. สารปรับสภาพผิวโลหะที่มีการผสมหมู่ทำปฏิกิริยามากกว่า 1 ชนิด ได้แก่ คือ อัลลอยไพโรเมอร์ (Alloy primer) มีหมู่ฟอสเฟตและหมู่ไทออลอยู่รวมกัน มีชื่อเรียกว่า ไทอินฟอสเฟตคูอลฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (Thione-phosphate dual functional monomer)

จากการศึกษาในปี 2000 โดย Taira และคณะ<sup>19</sup> พบว่าการเป่าผิวโลหะไททาเนียมบริสุทธิ์ (ไททาเนียม มากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 99.485) ด้วยอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน เป็นเวลา 15 วินาที ด้วยแรงดัน 0.5 เมกะพาสคาล ปลายหัวฟันอยู่ห่าง 5 มิลลิเมตรจากชิ้นตัวอย่าง ร่วมกับการใช้สารปรับสภาพผิวโลหะไททาเนียม ภายใต้เทอร์โมไซคลิกเป็นจำนวน 10,000 รอบ ในน้ำที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส 1 รอบต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้สารปรับสภาพผิวโลหะร่วมกับซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ทำให้ได้แรงยึด (21.1 เมกะพาสคาล) ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารปรับสภาพผิวโลหะ และเมื่อเทียบกับซีเมนต์เรซินพานาเวียร์ 21 ด้วย เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะพบว่า สารปรับสภาพผิวโลหะหมู่ไทอินฟอสเฟตคูอลฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (อัลลอยไพโรเมอร์) ให้ค่าแรงยึดได้เท่ากับการใช้สารปรับสภาพผิวโลหะหมู่ฟอสเฟต (ซีซีดีทูโอเพคไพโรเมอร์) และหมู่ไทอินฟอสเฟต (เมทอลไพโรเมอร์)

ผลการศึกษาที่ได้ตรงกับการศึกษาซ้ำอีกครั้งของกลุ่มผู้วิจัยเดิม แต่ใช้ไททาเนียมอัลลอย Ti-6Al-7Nb พบว่าการใช้สารปรับสภาพผิวโลหะที่มีหมู่ไทอินฟอสเฟตคูอลฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (อัลลอยไพโรเมอร์), หมู่ฟอสเฟต (ซีซีดีทูโอเพคไพโรเมอร์) และหมู่ไทอินฟอสเฟต (เมทอลไพโรเมอร์) ให้ค่าแรงยึดเมื่อยึดกับซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมากกว่าสารปรับสภาพผิวโลหะอื่นๆอีก 6 ชนิด<sup>20</sup>

ส่วนของสารปรับสภาพผิวโลหะชนิดวีไพโรเมอร์ ซึ่งมาจากผู้ผลิตเดียวกันกับซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีข้อแนะนำในการใช้คือ ใช้เพิ่มแรงยึดกับโลหะผสมมีค่าเท่านั้น ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Ishii ในปี 2008<sup>21</sup> ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลของสารปรับสภาพผิวโลหะหมู่สารวีทีดี (วีไพโรเมอร์) กับ หมู่ฟอสเฟต (สารเอ็มดีพี MDP: estenia opaque primer) และหมู่ไทอินฟอสเฟตคูอลฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (อัลลอยไพโรเมอร์) ซึ่งมีทั้งสารวีทีดีและสารเอ็มดีพี กับโลหะสองชนิด คือ ไททาเนียมอัลลอย Ti-6Al-7Nb และ โลหะผสมมีค่า ผลที่ได้คือ ค่าแรงยึดแบบเฉือนภายหลังเทอร์โมไซคลิก ของ โลหะผสมมีค่ากับหมู่ฟอสเฟต มีค่า 0.1 เมกะพาสคาล และไททาเนียมอัลลอยกับสารวีทีดี มีค่า 0.1 เมกะพาสคาลเช่นกัน เมื่อเทียบกับของ โลหะผสมมีค่ากับหมู่ สารวีทีดี มีค่า 16.9 เมกะพาส

คาล และไททาเนียมอัลลอยกับหมู่ฟอสเฟต มีค่า 30.1 เมกะพาสคาล ส่วนโลหะผสมมีค่ากับ ไททาเนียมอัลลอยกับหมู่ไทโอินฟอสเฟตดูออลฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ ค่า 12.3 และ 29.0 เมกะพาสคาลตามลำดับ

นอกจากนี้มีการทดลองที่จำลองสภาพในช่องปาก โดยทำขึ้นตัวอย่างเป็นครอบฟัน ซึ่งจะทำการเตรียมฟันธรรมชาติเหมือนในคลินิก แต่เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการขึ้นรูป (castability) แตกต่างกัน เมื่อทำการออกแบบการทดลองจำเป็นจะต้องควบคุมขนาดของช่องว่างขอบรอยต่อ (marginal gap) ของครอบฟันให้เท่ากัน เพื่อให้ได้ความหนาของชั้นซีเมนต์เท่ากัน

ในการศึกษาเพื่อจำลองสภาวะการใช้งานในช่องปาก จึงทำการออกแบบการทดลองตามแบบงานวิจัยในปี 2008 ของ Oyafuso<sup>4</sup> ที่มีการนำวิธีวัดค่าแรงทนแรงดัดขวาง ออกแบบการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด และขนาดขึ้นตัวอย่างตามมาตรฐานสากลที่ ISO 9693 (Metal-ceramic dental restorative systems: ปี 1999) ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบแรงยึดระหว่างโลหะกับเซรามิก โดยโลหะมีขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตรและหนา 0.5 มิลลิเมตร และขึ้นรูปเซรามิกขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 8 มิลลิเมตรและหนา 1 มิลลิเมตร นำมาประยุกต์เพื่อทดสอบแรงยึดระหว่างโลหะกับเนื้อฟัน โดยปรับขนาดของเนื้อฟันให้เท่ากับขนาดของเซรามิก เพื่อหาค่าแรงทนแรงดัดขวางของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกจำลองแรงบดเคี้ยวในปากคือใช้แรง 6 นิวตัน จำนวน 20,000 รอบ โดยใช้เวลา 2 วินาทีต่อรอบ โดยจำนวนรอบของแรงบดเคี้ยวที่ใช้ในการศึกษานี้น้อยกว่าค่า 250,000 รอบ (เท่ากับในช่องปาก 1 ปี) เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้มีพื้นที่ผิวในการยึดติด น้อยกว่าสภาวะจริงในช่องปาก จึงจำเป็นที่ต้องลดจำนวนรอบของแรงลง และยังนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิง จึงเป็นการศึกษาที่จำลองสภาวะช่องปากทั้งสองปัจจัย

แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา การทดลองหลาย ๆ ชิ้น ที่ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกัน ได้ผลแตกต่างกันในเชิงปริมาณ และ ทำการทดลองแยกส่วนระหว่างฟันยึดกับซีเมนต์ และซีเมนต์ยึดกับไททาเนียมภายใต้กระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิงเพียงอย่างเดียว

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

##### 1. ประชากรเป้าหมาย

ครอบครัวและสะพานพื้นที่ใช้เทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2

##### 2. ประชากรตัวอย่าง

ชั้นเนื้อพื้นที่ยึดติดกับชั้นโลหะเทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2 ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวโลหะ ยึดด้วยซีเมนต์เรซิน

##### 3. กลุ่มตัวอย่าง

3.1 ชั้นเนื้อพื้นที่ยึดติดกับชั้นโลหะเทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2 ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟอสท์ บอนดิงไลเนอร์ ด้วยซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

3.2 ชั้นเนื้อพื้นที่ยึดติดกับชั้นโลหะเทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2 ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอย ไพรเมอร์ ด้วยซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี

3.3 ชั้นเนื้อพื้นที่ยึดติดกับชั้นโลหะเทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2 ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟอสท์ บอนดิงไลเนอร์ ด้วยซีเมนต์เรซินพานาเวียร์เอฟ 2.0

3.4 ชั้นเนื้อพื้นที่ยึดติดกับชั้นโลหะเทาเนียมบริสุทธ์เกรด 2 ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอย ไพรเมอร์ ด้วยซีเมนต์เรซินพานาเวียร์เอฟ 2.0

#### ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปรอิสระ คือ ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ ชนิดของซีเมนต์เรซิน และการผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิกและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล

ตัวแปรตาม คือ ความล้าต่อแรงดัด และ การแทรกซึมของสีย้อม

ตัวแปรควบคุม คือ ขนาดและรูปร่างของชั้นเนื้อพื้นและชั้นโลหะเทาเนียม

#### เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

##### เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องตัดความเร็วต่ำ ( low speed cutting machine, Isomet 1000, Buehler, USA)
2. เครื่องตัดวัสดุ (micro cutting instrument, Accutom-50, Struers, Compenhagen, Denmark)



3. เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron 8872, Instron corp, Buckinghamshire, England)
4. เครื่องเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycler, TC 400, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)
5. กล้องจุลทรรศน์ สำหรับวัดขนาด (precision measuring microscope, MCseries, Meiji)
6. กล้องจุลทรรศน์ (Nikon Eclipse Model E 400 Pol, Nikon Corporation, Tokyo, Japan)
7. เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (automatic polishing machine, DPS 3200, Imptech, South Africa)
8. เครื่องวัดอย่างละเอียด (digimatic caliper, Mitutoyo, Japan)
9. เครื่องฉายแสง (light curing unit, Curing Light 2500, 3M, USA)
10. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (EOS 100, Canon, Japan)
11. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator รุ่น Contherm 160M, Contherm scientific, Tokyo, Japan)
12. เครื่องเป่าทราย (sandblaster, Thailand)
13. โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS 16, SPSS, Inc., IL, USA)

### วัสดุที่ใช้

1. ไททานเนียมบริสุทธิ์เกรด 2 (Grade II commercially pured titanium, KVM heating element co ltd, Thailand)
2. ซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (SuperBond C&B, Sun Medical, Shiga, Japan)
3. ซีเมนต์เรซินพานาเวียร์เอฟ 2.0 (PanaviaF2.0, Kuraraydental, Okuyama, Japan)
4. สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟาสท์บอนดิ่งไลเนอร์ (Metafast bonding liner, Sun Medical, Shiga, Japan)
5. สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอยไพรมเมอร์ (Alloy primer, Kuraraydental, Okuyama, Japan)
6. สารละลายเบสิกฟุสชินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก (Basic Fuschin, Gurr Certistain®, VWR International Ltd., Poole, England)

7. สารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ( 0.1% Thymol solution, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
8. น้ำยาทาเล็บ (Anne& Florio nail enamel, Cosmeda International, Bangkok, Thailand)
9. เรซินหล่อใส (cold resin,240 BS,Germany)
10. กระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 400, 600 และ 1,200 (TOA, Bangkok, Thailand)
11. ปูนทันตกรรมชนิดที่ 4 (stone type IV, Velmix, Daimond rock, The siam mouldingplaster, Saraburi, Thailand)
12. น้ำกลั่น(ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
13. ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน (aluminium oxide powder, Hiblast, Japan)
14. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร
15. วาสลีน (vasline, Thailand)
16. หัวกด และแท่นวางชิ้นงาน (ศูนย์เครื่องมือวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

#### แบ่งกลุ่มการทดลอง

ปัจจัยที่นำมาทดสอบแบ่งได้ สามกลุ่ม ดังนี้

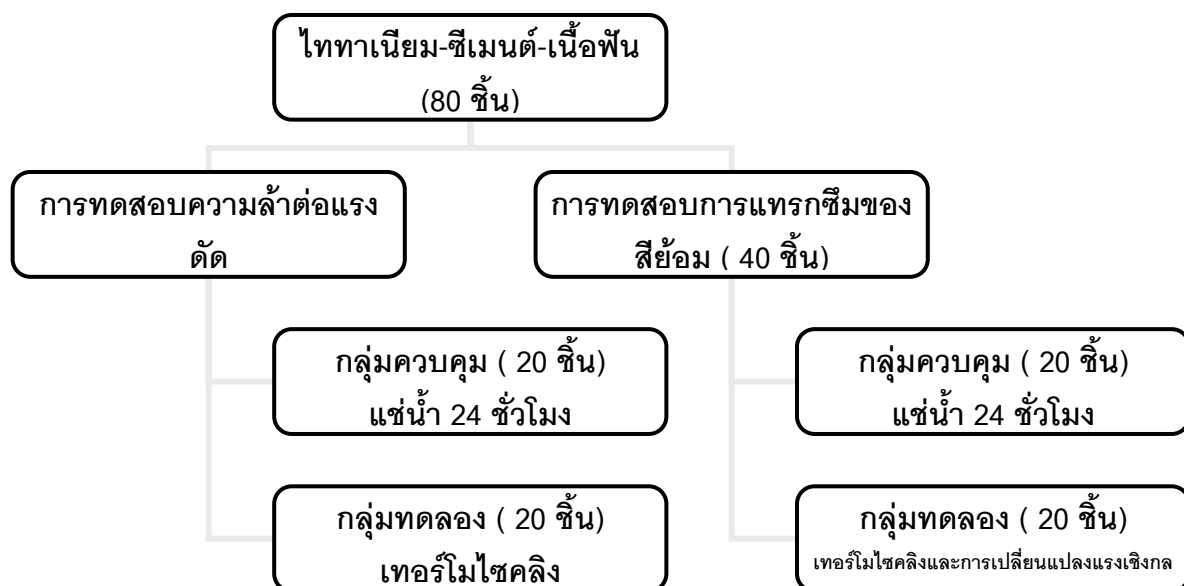
ตามสารปรับสภาพผิวโลหะที่ใช้ ได้แก่ สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟอสฟอเนตติ้งไลเนอร์, สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอยไพรมอร์

ตามชนิดของซีเมนต์เรซิน ได้แก่ ซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี, ซีเมนต์เรซินพานาเวียร์ เอฟ2.0

ตามกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ได้แก่

การทดสอบความต้านแรงดัด: กลุ่มควบคุมไม่ผ่านการเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก แต่กลุ่มทดลองผ่านการเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก

การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม: กลุ่มควบคุมไม่ผ่านการเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิกและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล แต่กลุ่มทดลองผ่านการเร่งอายุโดยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก และ การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล



รูปที่ 1 แผนภูมิแจกแจงการทดลองและจำนวนชิ้นงานในการศึกษา

ตารางที่ 1 สารเคมีหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	ส่วนประกอบ	บริษัท
ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี	ซีเมนต์	Sun medical, Shiga, Japan
เมทาฟอสท์บอนดิง ไลเนอร์	สารปรับสภาพ ผิวโลหะ	
พานาเวียร์เอฟ2.0	ซีเมนต์	Kuraray medical inc., Okuyama, Japan
อัลลอยไพโรเมอร์	สารปรับสภาพ ผิวโลหะ	



รูปที่ 2 เรซินซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้ (1) ชูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (2) พานาเวียร์เอฟ 2.0 (3) อัลลอยไพรมเมอร์ (4) เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์

ตารางที่ 2 การจัดกลุ่มทดสอบตามกลุ่มวัสดุ

กลุ่ม	ซีเมนต์	สารปรับสภาพผิวโลหะ	ชื่อกลุ่ม(ตัวย่อ)
1	ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี(S)	เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ (M)	ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/เมทา ฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ (SM)
2		อัลลอยไพรมเมอร์ (A)	ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/อัล ลอยไพรมเมอร์ (SA)
3	พานาเวียร์เอฟ2.0 (P)	เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ (M)	พานาเวียร์เอฟ2.0/เมทา ฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ (PM)
4		อัลลอยไพรมเมอร์ (A)	พานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอย ไพรมเมอร์ (PA)

ตารางที่ 3 แจกแจงจำนวนชิ้นงานในแต่ละกลุ่มทดสอบ

การทดสอบ	กลุ่มวัสดุ	กลุ่มควบคุม/กลุ่มทดลอง	ชื่อย่อ	จำนวน
การทดสอบความ ล้าต่อแรงดัด	SM	กลุ่มควบคุม	SMC	5
		กลุ่มทดลอง	SMT	5
	SA	กลุ่มควบคุม	SAC	5
		กลุ่มทดลอง	SAT	5
	PM	กลุ่มควบคุม	PMC	5
		กลุ่มทดลอง	PMT	5
	PA	กลุ่มควบคุม	PAC	5
		กลุ่มทดลอง	PAT	5
การทดสอบการ แทรกซึมของสีย้อม	SM	กลุ่มควบคุม	SMC	5
		กลุ่มทดลอง	SMT	5
	SA	กลุ่มควบคุม	SAC	5
		กลุ่มทดลอง	SAT	5
	PM	กลุ่มควบคุม	PMC	5
		กลุ่มทดลอง	PMT	5
	PA	กลุ่มควบคุม	PAC	5
		กลุ่มทดลอง	PAT	5

## วิธีการทดลอง

### 1. กระบวนการเตรียมชิ้นเนื้อฟัน

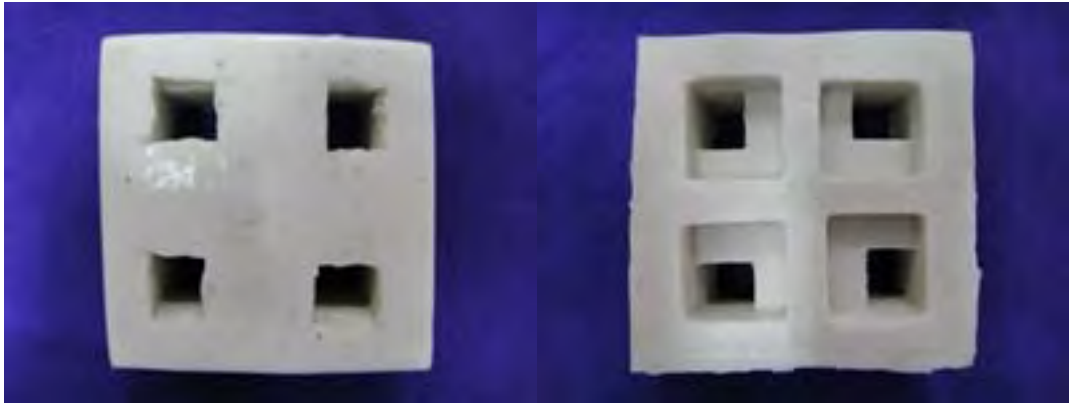
#### 1. การเก็บฟัน

ฟันที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ครั้งที่ 1/2552

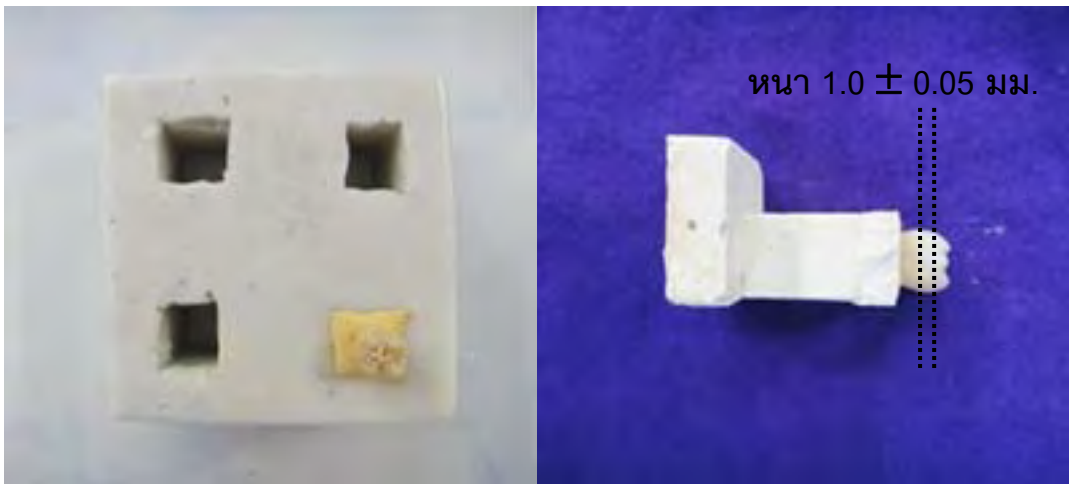
ฟันกรามของมนุษย์ที่ถอนออกมาจำนวน 80 ซี่ การเก็บฟันทำตามมาตรฐานสากล ISO 11405 (1994) Testing of adhesion to tooth structure โดยที่ฟันนั้นต้องไม่มีรอยผุ รอยอุด หลังจากถอน นำมาแช่ในสารละลายที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ไม่เกิน 1 สัปดาห์ คือ สารละลายไทมอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 หลังจากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 6 เดือน ก่อนนำมาทดลอง

#### 2. การทำเข้าสำหรับเป็นที่จับฟัน

ใช้ซิลิโคนทำบล็อก (รูปที่ 3) สำหรับหล่อแบบแท่งปูนที่จะใช้ยึดส่วนรากฟัน หลังจากนั้น นำฟันมาลงบล็อก โดยการใช้ปูนทางทันตกรรมผสมน้ำตามอัตราส่วน เทปูนทิ้งไว้ 30 นาที เมื่อปูนแข็งตัวเต็มที่ แกะปูนออกจากบล็อกซิลิโคน จะได้ ฟันที่อยู่ในแท่งจับที่พร้อมนำไปยึดกับเครื่องตัดฟัน(รูปที่ 4)



รูปที่ 3 บล็อกซิลิโคนสำหรับหล่อแบบแท่งปูนที่จะใช้ยึดส่วนรากฟันเพื่อนำไปยึดกับเครื่องตัดฟัน



รูปที่ 4 ฟันที่อยู่ในแท่งจับที่พร้อมนำไปยึดกับเครื่องตัดฟัน

### 3. การตัดฟัน

เตรียมชิ้นส่วนเนื้อฟันขนาด กว้าง 3 มม. ยาว 8 มม. หนา 1 มม. ตามการประยุกต์จากมาตรฐานสากล ISO 9693(Metal-ceramic dental restorative systems) ปีคศ.1999 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบแรงยึดระหว่างโลหะกับเซรามิก โดยโลหะมีขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตรและหนา 0.5 มิลลิเมตร และชิ้นรูปเซรามิกขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 8 มิลลิเมตรและหนา

1 มิลลิเมตร นำมาประยุกต์เพื่อทดสอบแรงยึดระหว่างโลหะกับเนื้อฟัน โดยปรับขนาดของเนื้อฟันให้เท่ากับขนาดของเซรามิก

โดยเลือกใช้เนื้อฟันในตำแหน่งที่ต่ำกว่ารอยต่อเนื้อฟัน-เคลือบฟัน 1 มม.(ตามรูปที่ 4) โดยใช้เครื่องตัดความเร็วต่ำ (Isomet) ใช้น้ำขณะกรอดัดเนื้อฟัน โดยทำที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือตัดความเร็วต่ำ ( low speed cutting machine)

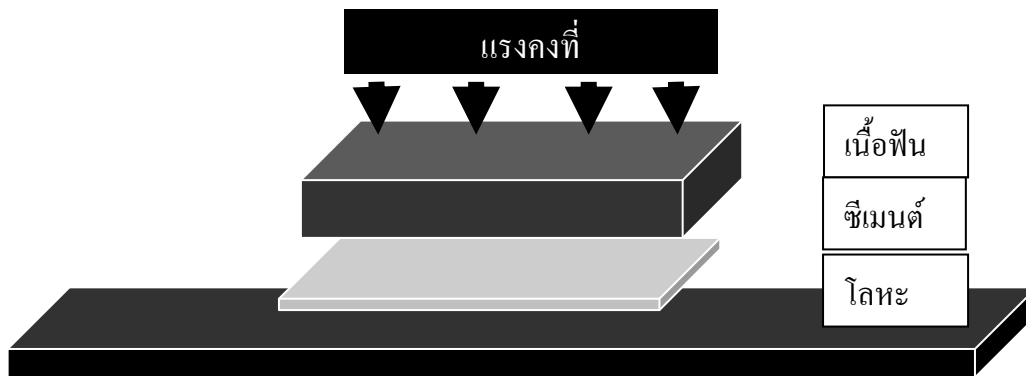
## 2.กระบวนการเตรียมชิ้นงานไททาเนียม

เตรียมชิ้นส่วนชิ้นงานไททาเนียม ให้มีขนาดความกว้างและยาวเท่ากับชิ้นเนื้อฟันคือ กว้าง 3 มม. ยาว 25 มม.หนา 0.5 มม.ประยุกต์ตามมาตรฐานสากล ISO 9693 โดยใช้เครื่องตัดวัสดุ (micro cutting instrument, Accutom-50) ใช้น้ำขณะกรอดัดชิ้นโลหะ โดยทำที่อุณหภูมิต่ำ

นำชิ้นโลหะไปทำการเป่าทรายอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอน ที่ความดันลม 0.3 เมกะปาสคาล ระยะห่างระหว่างหัวพ่นทรายกับชิ้นโลหะห่างกัน 20 มิลลิเมตร เวลา 15 วินาที แล้วจึงนำไปยึดกับเนื้อฟัน

## 3.ขั้นตอนการยึดระหว่างเนื้อฟันกับไททาเนียมด้วยซีเมนต์เรซิน

เตรียมพื้นผิวของโลหะไททาเนียมด้วยสารปรับสภาพพื้นผิวตามคำแนะนำของบริษัทของผู้ผลิต แล้วจึงผสมซีเมนต์เรซินตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต นำชิ้นเนื้อฟันไปติดกับชิ้นโลหะไททาเนียมโดยใช้น้ำหนัก 2,000 กรัม กดลงบนชิ้นงานโดยสม่ำเสมอเพื่อควบคุมความหนาของซีเมนต์ เมื่อชิ้นงานแนบสนิทกันดีแล้วให้ยึดไว้ที่ตำแหน่งเพื่อให้ซีเมนต์เรซินเกิดปฏิกิริยาก่อตัวอย่างสมบูรณ์ ขณะที่ซีเมนต์ยังเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ให้ทำความสะอาดซีเมนต์ส่วนเกินด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์ แล้วจึงปล่อยให้ซีเมนต์ก่อตัวอย่างสมบูรณ์ตามเวลาการก่อตัวของซีเมนต์แต่ละชนิด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการยึดระหว่างเนื้อฟันกับไททาเนียมด้วยซีเมนต์เรซิน

#### ขั้นตอนการยึด

- สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดเมทาฟอสฟอไรต์บอนด์ไลน์เนอร์  
 ทาสารปรับสภาพผิวลงบนผิวโลหะด้วยแปรง แล้วเป่าให้แห้ง นำชั้นโลหะไททาเนียมไปยึดติดกับเนื้อฟันภายใน 3 นาที
- สารปรับสภาพผิวโลหะชนิดอัลลอยไพโรเมอร์  
 ทาสารปรับสภาพผิวลงบนผิวโลหะด้วยฟองน้ำ แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
- ซีเมนต์เรซินซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี  
 ทาสารปรับสภาพพื้นผิว(green activator) ลงบนเนื้อฟันเป็นเวลา 10 วินาที ล้างออกด้วยสเปรย์น้ำ 10 วินาที ซับเนื้อฟันให้แห้งด้วยกระดาษ (blot dry) 10 วินาที ผสมสารระหว่าง monomer กับ catalyst แล้วจึงผสมผงชนิดขุ่น (powder opaque) ให้เข้ากันด้วยวิธี brush dip นำไปทาที่ชั้นเนื้อฟันและชั้นโลหะแล้วจึงนำมายึดติดกัน ทำความสะอาดซีเมนต์ส่วนเกินด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์ แล้วจึงปล่อยให้ซีเมนต์ก่อตัวอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 8 นาที
- ซีเมนต์เรซินฟานาเวียร์เอฟ2.0  
 ผสมสาร ED Primer II A และ ED Primer II B ในปริมาณที่เท่ากัน ให้เข้ากัน นำไปทาที่ชั้นเนื้อฟัน ทิ้งไว้ 30 วินาที เป่าชั้นเนื้อฟันให้แห้ง เตรียมส่วนซีเมนต์ paste A และ paste B ในปริมาณที่เท่ากัน ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปทาที่ชั้นเนื้อฟันและชั้นโลหะ แล้วจึงนำมายึดติดกัน ฉายแสงตามรอยต่อของโลหะไททาเนียมและเนื้อฟันเป็นเวลา 3 วินาที ทำความสะอาดซีเมนต์ส่วนเกินด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์



หลังจากทำความสะอาดซีเมนต์ส่วนเกินแล้วจึงฉีดน้ำยา Oxyguard II ที่รอยต่อของโลหะไททาเนียม และเนื้อฟัน แล้วจึงปล่อยให้ซีเมนต์ก่อตัวอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 3 นาที

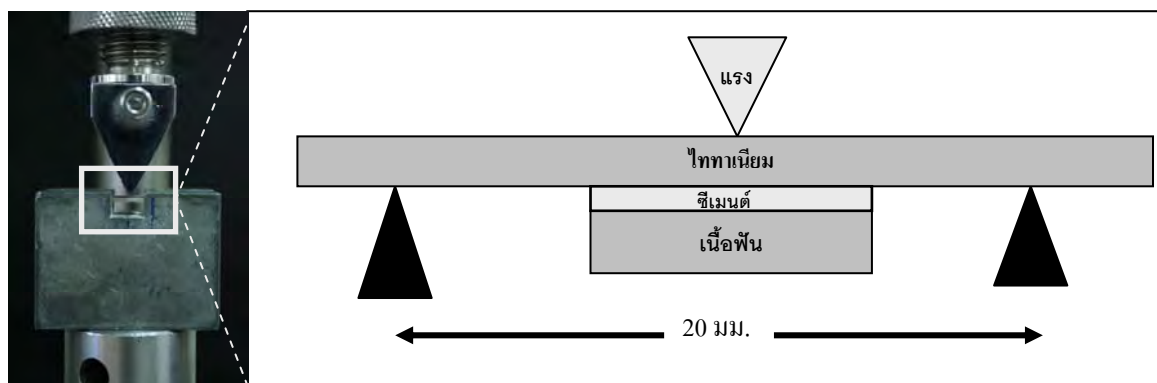
### กระบวนการทดสอบและวัดผล

#### 1. การทดสอบความล้าต่อแรงดัดด้วยวิธีการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด

**กลุ่มควบคุม** นำชิ้นตัวอย่างแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบ (ตามมาตรฐานสากล ISO 11405)

**กลุ่มทดลอง** นำชิ้นตัวอย่างไปผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก โดยเริ่มจากแช่ชิ้นตัวอย่าง ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเปลี่ยนไปแช่ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้เวลา 5 วินาทีในการเปลี่ยนอุณหภูมิแต่ละรอบ จำนวน 5,000 รอบ ก่อนนำไปทดสอบ

นำชิ้นงานไปทดสอบโดยวิธีการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด โดยวางได้ฐานชิ้นงานสองจุด ห่างกัน 20 มม. ดังรูปที่ 7 ให้แรงลงที่จุดกึ่งกลางด้านบนของชิ้นงาน ด้วยความถี่ 2 เฮิรตซ์ ด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron 8872, Instron corp, Buckinghamshire, England) โหลดเซลล์ขนาด 250 นิวตัน โดยจุดที่แรงลงเป็นหัวกดรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. (ประยุกต์ตามมาตรฐานสากล ISO 9693) กดด้วยแรง 6 นิวตัน จำนวน 20,000 รอบ สังเกตการแตกหักของชิ้นงานด้วยผู้สังเกตการณ์คนเดิมตลอดการทดสอบ โดยใช้ตาเปล่า ซึ่งต้องเห็นรอยแตกที่ชัดเจน สังเกตได้จากกรรไกรที่ปลายของชิ้นโลหะและเนื้อฟันบิดไปคนละทิศ บันทึกจำนวนรอบที่เริ่มเห็นรอยแตกหัก



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบการดัดขวางแบบสามจุด

## 2. การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม

**กลุ่มควบคุม** นำชิ้นตัวอย่างแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบ (ตามมาตรฐานสากล ISO 11405)

**กลุ่มทดลอง** นำชิ้นตัวอย่างไปผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง โดยเริ่มจากแช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเปลี่ยนไปแช่ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้เวลา 5 วินาทีในการเปลี่ยนอุณหภูมิแต่ละรอบ จำนวน 5,000 รอบ ต่อจากนั้น นำชิ้นตัวอย่างซึ่งเป็นชิ้นงานที่ทำขึ้นแยกจากการทดลองที่หนึ่ง ไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล โดยวิธี การทดสอบการตัดขวางแบบสามจุด โดยวางได้ฐานชิ้นงานสองจุด ห่างกัน 20 มม. ให้แรงลงที่จุดกึ่งกลางด้านบนของชิ้นงาน ด้วยความถี่ 2 เฮิรตซ์ ด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron 8872) โหลดเซลล์ 250 นิวตัน โดยจุดที่แรงลงเป็นหัวกดรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. กดด้วยแรง 6 นิวตันจำนวน 20,000 รอบก่อนนำไปทดสอบ ชิ้นงานที่จะนำไปแช่เพื่อวัดระยะทางการแทรกซึมของสีย้อมขึ้นโลหะไททาเนียมและขึ้นเนื้อฟันจะต้องไม่หลุดออกจากกันระหว่างการผ่านกระบวนการทดลอง(แต่มีรอยแตกได้)

ทาน้ำยาทาเล็บทุกพื้นผิว ยกเว้นเพียงด้านรอยต่อระหว่างขึ้นเนื้อฟันกับซีเมนต์เรซิน และขึ้นไททาเนียม ด้านไกลจากจุดศูนย์กลางเพียงด้านเดียว เพื่อให้สีย้อมสามารถแทรกซึมเข้าไปได้ในทิศทางเดียว ใช้สารละลายเบสิกฟลูออโรสซินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะตามรูปที่ 8



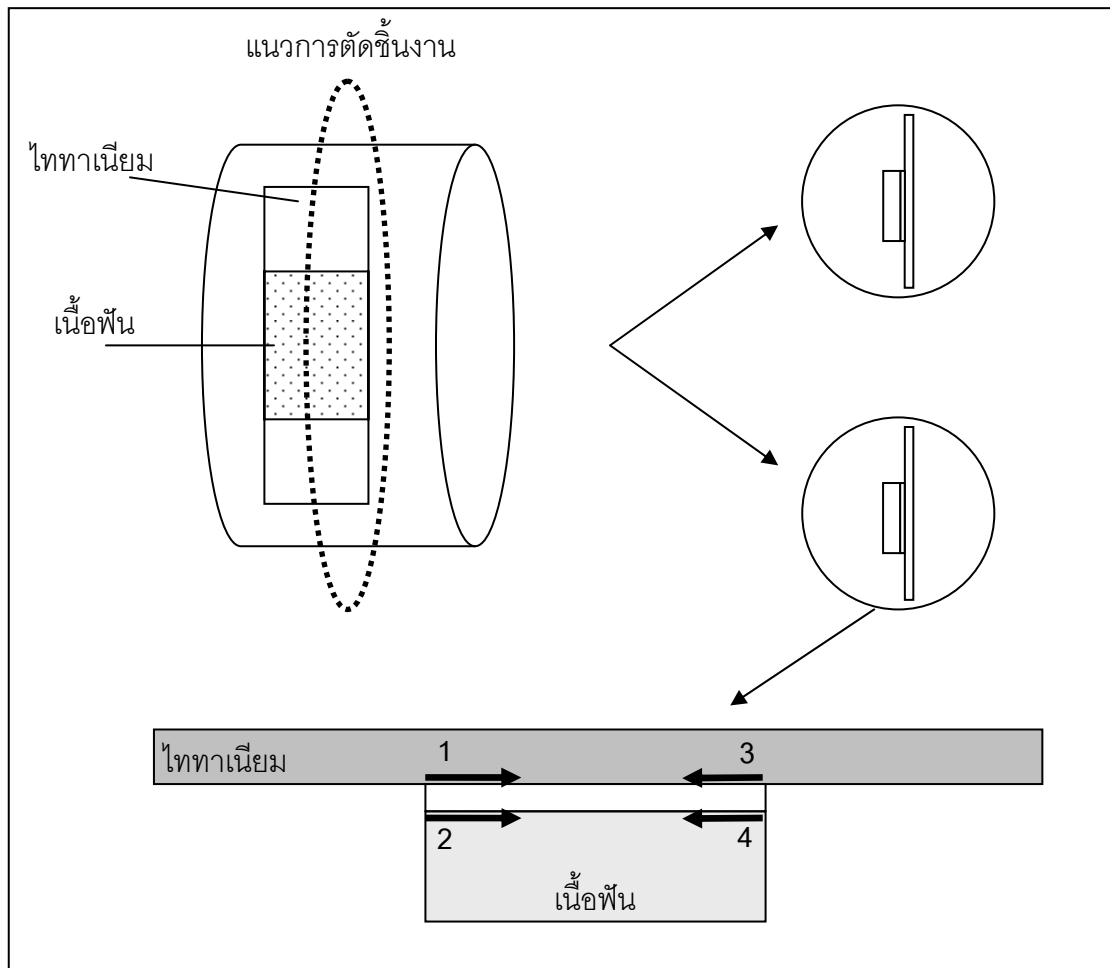
รูปที่ 8 ชิ้นงานที่ผ่านการแช่สีย้อมแล้ว

แล้วนำชิ้นงานมาตัดตามแนวขวาง

ชิ้นงาน 1 ชิ้นเมื่อตัดขวางจะได้เป็น 2 ชิ้น แต่ละชิ้นที่ตัดขวางแล้ว จะมีตำแหน่งรอยต่อคือ

1. รอยต่อระหว่างขึ้นโลหะไททาเนียมกับซีเมนต์ด้านซ้ายและขวา 2 ตำแหน่ง
2. รอยต่อระหว่างขึ้นเนื้อฟันกับซีเมนต์ด้านซ้ายและขวา 2 ตำแหน่ง

ชิ้นงานที่ถูกตัดขวางแล้ว 1 ชิ้น จะถูกวัดระยะทางการแทรกซึม 4 ตำแหน่ง (ไททาเนียมกับซีเมนต์ 2 ตำแหน่ง, เนื้อฟันกับซีเมนต์ 2 ตำแหน่ง) ดังนั้นชิ้นงาน 1 ชิ้นจะถูกวัดระยะทางการแทรกซึมทั้งหมด 8 ตำแหน่งต่อ 1 ชิ้นงาน(รูปที่ 9) นำไปวัดระยะทางที่สีย้อมแทรกซึมเข้ามาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สำหรับวัดขนาด (precision measuring microscope, MCseries, Meiji) ที่กำลังขยาย 20 เท่า โดย บันทึกระยะทางเป็นผลรวมของรอยต่อทั้ง 8 ตำแหน่ง ในหน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 9 การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปวัดระยะทางที่สีย้อมแทรกซึม ชิ้นงาน 1 ชิ้นมีรอยต่อ 4 ตำแหน่ง (วงกลม) แต่ละตำแหน่งวัดสองด้านคือ ด้านไททาเนียม กับด้านเนื้อฟัน

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1.บันทึกข้อมูลการทดสอบความล้าต่อแรงดัด เป็นจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก
- 2.บันทึกข้อมูลการรั่วซึมของผิวสัมผัส เป็นระยะแทรกซึมของสีย้อม โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

## การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่นที่ 16.0 (SPSS; Statistical package for the social sciences plus) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนาแสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักและข้อมูลระยะชะงักของสีย้อมของกลุ่ม

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก และระยะชะงักของสีย้อมของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง โดยตรวจสอบการกระจายของข้อมูลก่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สมิโนฟ (Kolmogorov-Siminov test) และตรวจสอบความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่ โดยทดสอบความเหมือนของค่าความแปรปรวน (Test of homogeneity of variance) โดยการทดสอบลีวิน (Levene test) ถ้าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้สถิติแบบพารามेटริกส์คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) หากไม่แจกแจงแบบปกติต้องใช้สถิติแบบไร้พารามेटริกส์ (Nonparametric statistics) ถ้าในกลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติพบว่ามีค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ จึงทำการทดสอบต่อด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ทาง (3-way ANOVA)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### ตอนที่ 1 การทดสอบความล้าต่อแรงดัด

บันทึกจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักของกลุ่มวัสดุทั้ง 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มวัสดุแบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง จำนวนกลุ่มละ 5 ชิ้นตัวอย่าง นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่เนื่องจากรอยแตกมีขนาดเล็ก และความถี่ในการกด 2 รอบต่อวินาที ทำให้การสังเกตด้วยตาเปล่าทำได้ยาก ทำให้การตัดสินใจว่าชิ้นงานชิ้นนี้เกิดรอยต่อขึ้นถูกบันทึกเป็นจำนวนรอบที่มีการบิดเศษเป็นจำนวนเต็มร้อย (100 รอบใช้เวลากด 50 วินาที หมายความว่า ตั้งแต่ผู้สังเกตการณ์เริ่มเห็นรอยต่อขนาดเล็ก จนมั่นใจว่าเห็นรอยต่อชัดเจน จะใช้เวลาในการตัดสินใจ 50 วินาที)

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก (หน่วยเป็น รอบ)

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์ปี/เมทาฟอสท์บอนดิ่งไลเนอร์	16,000	5,477.23
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์ปี/อัลลอยไพโรเมอร์	16,600	4,669.05
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟอสท์	9,620	3,622.43
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์	8,400	7,536.58
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์ปี/เมทาฟอสท์บอนดิ่งไลเนอร์	9,040	2,666.08
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์ปี/อัลลอยไพโรเมอร์	7,900	6,348.23
กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟอสท์บอนดิ่งไลเนอร์	200	447.21
กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์	640	973.65

จากการทดสอบความล้าต่อแรงดัดของกลุ่มวัสดุทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์ปี/อัลลอยไพโรเมอร์ มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักมากที่สุด คือ 16,600

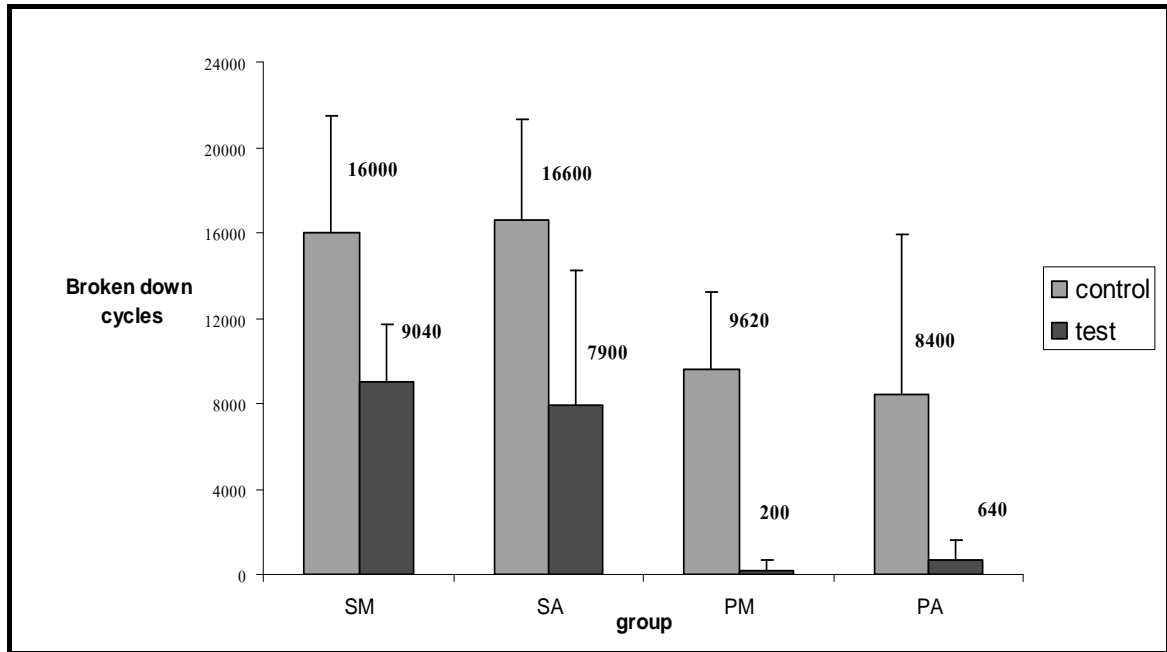
$\pm 469.05$  รอบ และกลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟอสท์บอนด์ไลน์เนอร์ มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักน้อยที่สุด คือ  $200 \pm 447.21$  รอบ เมื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ (ตารางที่ 7 ของภาคผนวก) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีค่า  $p > 0.05$  แสดงว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยการทดสอบบลีวิน (ตารางที่ 8 ของภาคผนวก) พบว่า มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่า  $p < 0.05$  (ตารางที่ 9 ของภาคผนวก) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

จึงทำการทดสอบต่อเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และชนิดของซีเมนต์ ต่อจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (3-way ANOVA) (ตารางที่ 10 ของภาคผนวก) โดยไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัย ดังนี้

1. ชนิดของซีเมนต์เรซินมีผลต่อความล้มต่อแรงดัด ที่  $p < 0.001$  เมื่อดูจากข้อมูลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก พบว่า กลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีมีค่าสูงกว่า กลุ่มพานาเวียร์เอฟ2.0 แสดงว่าชิ้นงานที่ยึดด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีทนต่อการแตกหักได้มากกว่าชิ้นงานที่ยึดด้วยพานาเวียร์เอฟ2.0

2. ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะไม่มีผลต่อความล้มต่อแรงดัดที่  $p = 0.822$  แสดงว่าการเลือกใช้สารปรับสภาพผิวโลหะชนิด เมทาฟอสท์บอนด์ไลน์เนอร์ หรือ อัลลอยไพโรเมอร์ ทำให้ชิ้นงานทนต่อการแตกหักได้ไม่แตกต่างกัน

3. เทอร์โมไซคลิกมีผลต่อความล้มต่อแรงดัด ที่  $p < 0.001$  เมื่อดูจากข้อมูลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก พบว่า กลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่า กลุ่มทดลอง แสดงว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิก ทนต่อการแตกหักได้ดีกว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิก



รูปที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักของวัสดุแต่ละกลุ่ม

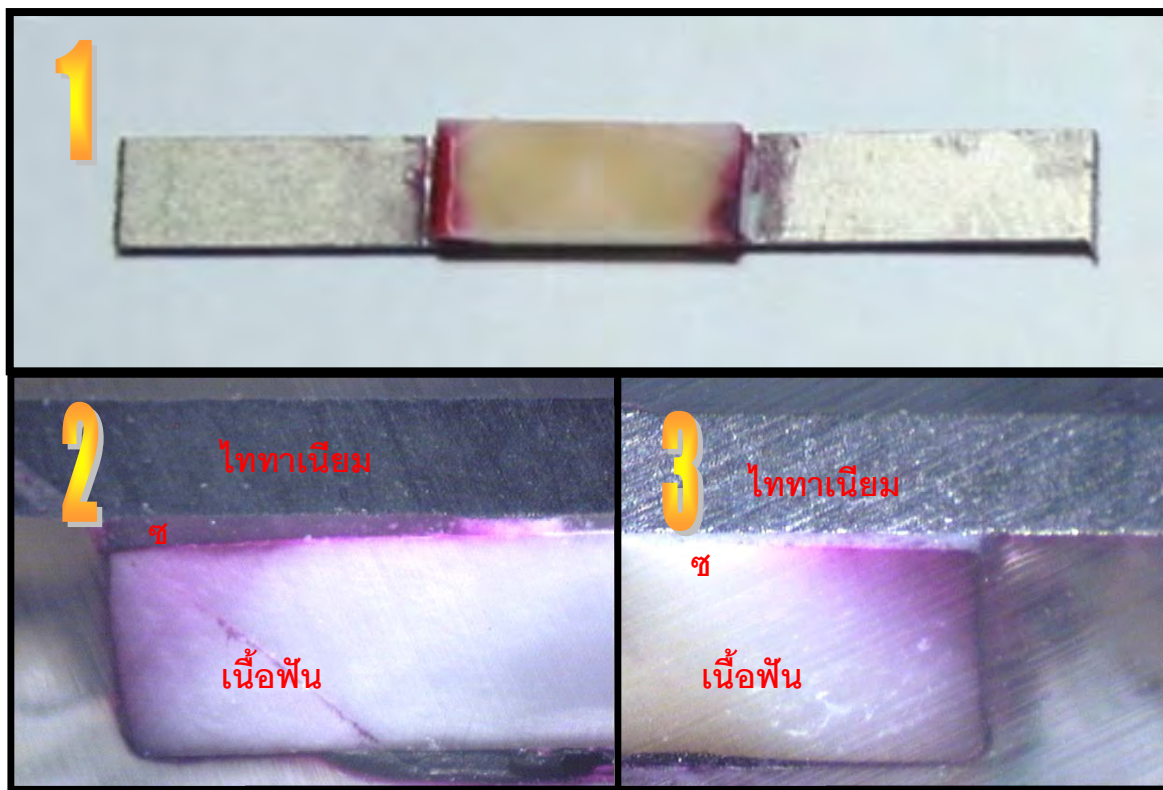
## ตอนที่ 2 การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม

วันที่กระยะแทรกซึมของสีย้อมของกลุ่มวัสดุทั้ง 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มวัสดุแบ่งเป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง จำนวนกลุ่มละ 5 ชิ้นตัวอย่าง นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะแทรกซึมของสีย้อม (มิลลิเมตร)

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีเอนด์ปี/เมทา ฟาสท์บอนดิ่งไลเนอร์	2.3314	1.57
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีเอนด์ปี/อัลลอย ไพร์เมอร์	2.2754	1.56
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟาสท์ บอนดิ่งไลเนอร์	2.4452	1.45
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพร์ เมอร์	2.6824	0.68
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์ซีเอนด์ปี/เมทา ฟาสท์บอนดิ่งไลเนอร์	7.7086	3.91
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์ซีเอนด์ปี/อัลลอยไพร์ เมอร์	8.293	1.15
กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟาสท์ บอนดิ่งไลเนอร์	16.7734	4.24
กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพร์ เมอร์	20.3016	7.08





รูปที่ 11 (1) ชิ้นงานที่ผ่านการแช่สีย้อม, (2) การแทรกซึมของสีย้อม: กลุ่มทดสอบ PM (กำลังขยาย 2X), (3) การแทรกซึมของสีย้อม: กลุ่มควบคุม SA (กำลังขยาย 2X), ซ = ซีเมนต์

จากการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อมของกลุ่มวัสดุทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี/อัลลอยไพโรเมอร์ มีค่าเฉลี่ยระยะแทรกซึมของสีย้อมน้อยที่สุด คือ  $2.2754 \pm 1.56$  มม. และกลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ 2.0/อัลลอยไพโรเมอร์ มีค่าเฉลี่ยระยะแทรกซึมของสีย้อมมากที่สุด คือ  $20.3016 \pm 7.08$  มม. เมื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ (ตารางที่ 11 ของภาคผนวก) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีค่า  $p > 0.05$  แสดงว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยการทดสอบลิวีน (ตารางที่ 12 ของภาคผนวก) พบว่า มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่า  $p < 0.05$  (ตารางที่ 13 ของภาคผนวก) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างน้อย 1 คู่

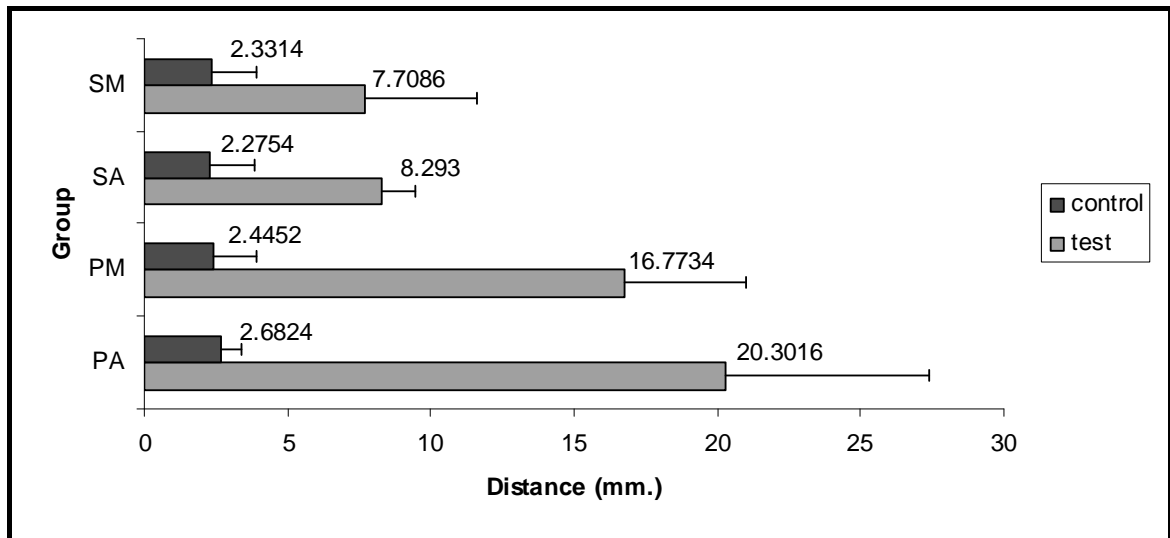
หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และชนิดของซีเมนต์ ต่อระยะแทรกซึมของสีย้อม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (3-way ANOVA) (ตารางที่ 14 ของภาคผนวก) พบว่า

1. ชนิดของซีเมนต์เรซินมีผลต่อระยะแทรกซึมของสีย้อมที่  $p < 0.001$  เมื่อดูจากข้อมูลค่าเฉลี่ยระยะแทรกซึมของสีย้อม พบว่า กลุ่มซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีระยะทางน้อยกว่า กลุ่มพานาเวียร์เอฟ2.0 แสดงว่า ชิ้นงานที่ยึดด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีการรั่วซึมของรอยต่อน้อยกว่าชิ้นงานที่ยึดด้วยพานาเวียร์เอฟ2.0

2. ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะไม่มีผลต่อระยะแทรกซึมของสีย้อม ที่  $p = 0.325$  แสดงว่าการเลือกใช้สารปรับสภาพผิวโลหะชนิด เมทาฟอสฟอเนตติ้งไลเนอร์ หรือ อัลลอยไพรเมอร์ ทำให้ชิ้นงานมีการรั่วซึมของรอยต่อไม่แตกต่างกัน

3. เทอร์โมไซคลิง-การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลมีผลต่อระยะแทรกซึมของสีย้อม ที่  $p < 0.001$  เมื่อดูจากข้อมูลค่าเฉลี่ยระยะแทรกซึมของสีย้อม พบว่า กลุ่มควบคุมมีระยะทางน้อยกว่า กลุ่มทดลอง แสดงว่า ชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิง-การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล มีการรั่วซึมของรอยต่อน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิง-การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล

4. อิทธิพลร่วมของปัจจัยชนิดของซีเมนต์เรซิน และ เทอร์โมไซคลิง-การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลมีผลต่อระยะแทรกซึมของสีย้อมที่  $p < 0.001$  คือ เมื่อดูจากข้อมูลค่าเฉลี่ยระยะแทรกซึมของสีย้อม พบว่า กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีระยะทางไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมพานาเวียร์เอฟ2.0 แต่กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีระยะทางน้อยกว่า กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0 แสดงว่า เมื่อนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิง-การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลแล้ว ชิ้นงานที่ยึดด้วยซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีการรั่วซึมของรอยต่อน้อยกว่าชิ้นงานที่ยึดด้วยพานาเวียร์เอฟ 2.0



รูปที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะแทรกซึมของสีย้อมของวัสดุแต่ละกลุ่ม

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองความล้าต่อแรงดัด พบว่ากลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์พี/อัลลอยไพโรเมอร์ ให้ค่าจำนวนรอบที่ทนต่อการแตกหักมากที่สุด ส่วนสองกลุ่มซึ่งให้ค่าจำนวนรอบที่ทนต่อการแตกหักน้อยที่สุดคือ กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ตามด้วย กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์

กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์พี/อัลลอยไพโรเมอร์ มีระยะแทรกซึมของสีย้อมดำที่สุด ส่วนสองกลุ่มที่ให้ระยะแทรกซึมของสีย้อมมากที่สุด คือ กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์ ตามด้วย กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์ สรุปคือ กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์พี/อัลลอยไพโรเมอร์ มีพันธะการยึดติดที่สูงสุดทั้งสองส่วนคือ การทนต่อแรงดัดและการรั่วซึมระดับไมโคร กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/เมทาฟาสท์บอนดิงไลเนอร์และ กลุ่มทดลองพานาเวียร์เอฟ2.0/อัลลอยไพโรเมอร์มีพันธะการยึดเกาะที่สูงสุด การทดลองสองส่วนในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลจากการทดลองความล้าต่อแรงดัดเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม

จากการทดลองความล้าต่อแรงดัดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดสอบ (ผ่านกระบวนการเร่งอายุโดยเทอร์โมไซคลิก) ชิ้นงานที่มีการเลือกใช้ซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะที่มีหมู่ทำปฏิกิริยาของโมโนเมอร์ชนิดเดียวกัน จะให้ค่าที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มควบคุมนั้นจะให้ค่าจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักมากกว่ากลุ่มทดสอบ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกันกับการทดลองที่ทำโดย Taira เมื่อปี 1997<sup>22</sup> ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าพันธะการยึดระหว่างไททาเนียมกับเนื้อฟันมีคุณภาพแย่งเมื่อใช้ภายใต้การจำลองสภาวะในช่องปาก

จากการทดลองการแทรกซึมของสีย้อมพบว่า กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดสอบให้ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มควบคุมมีระยะแทรกซึมของสีย้อมต่ำกว่ากลุ่มทดสอบ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทุกวัสดุ แสดงให้เห็นว่า เทอร์โมไซคลิก และ การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล ส่งผลลดคุณภาพของการยึดระหว่างไททาเนียมและเนื้อฟัน โดยไปเพิ่มรอยรั่วซึมระดับไมโคร ผลการทดลองส่วนนี้สนับสนุนผลการทดลองความล้าต่อแรงดัด ได้มีการอธิบายถึงการจำลองการใช้งานภายใต้สภาวะเทอร์โมไซคลิกในช่องปากว่า ส่งผลต่อการยึดติดได้ในสองรูปแบบ หนึ่งคือ น้ำร้อนจะไปเร่งกระบวนการเสื่อมสลายทางเคมีที่อาศัยน้ำของส่วนประกอบชั้นยึดติด และรูปแบบที่สองคือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวภายใต้ความร้อนที่แตกต่างกัน(เมื่อเทียบระหว่างไททาเนียมกับเนื้อฟัน) ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองแบบจะนำไปสู่การเกิดรอยแตกภายในชั้นยึดติด<sup>13</sup> นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลซึ่งจำลองการใช้งานชิ้นงานภายใต้สภาวะจริงในช่องปาก โดยชิ้นงานจะได้รับแรงเสมือนแรงบิดเคี้ยว ซึ่งเป็นแรง

ที่มีค่าแรงน้อยและไม่สามารถทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานในการกระแทกเพียงครั้งเดียว แต่จะได้รับแรงที่ค่าแรงน้อยอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อการเหนียวผ่านการเกิดรอยแตกขนาดเล็กและเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาการใช้งาน จนสุดท้ายทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานในที่สุด<sup>14</sup>

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของซีเมนต์เรซิน โดยไม่แยกตามกลุ่มสารปรับสภาพผิวโลหะ พบว่า พานาเวียร์เอฟ2.0มีค่าจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักน้อยกว่าซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดสอบ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ส่วนผลทดลองการแทรกซึมของสีย้อมพบว่าพานาเวียร์เอฟ2.0มีระยะแทรกซึมของสีย้อมมากกว่าซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดสอบ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เฉพาะกลุ่มทดสอบ (ภายใต้เทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล) ผลทางสถิตินี้ แสดงให้เห็นว่า ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีให้ การยึดติดที่ดีกว่า พานาเวียร์เอฟ2.0 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกันกับการทดลองของ Taira ในปี 1997และYanagida ในปี 2000<sup>22, 23</sup>

จากผลทดลองการแทรกซึมของสีย้อมแสดงให้เห็นว่า การแทรกซึมของสีย้อมเกิดขึ้นที่ รอยต่อของเนื้อฟันและซีเมนต์ มากกว่าจะเกิดที่รอยต่อของไททาเนียมและซีเมนต์ การแทรกซึมที่เนื้อฟันนั้นเกิดมาจากการที่เนื้อฟันมีส่วนประกอบเป็นน้ำมากกว่าเคลือบฟันถึง 12 เท่า และมีสารอินทรีย์มากกว่าเคลือบฟันถึง 2 เท่า น้ำในเนื้อฟัน จะไปแย่งจับกับสารประกอบของซีเมนต์ และน้ำยังสามารถทำให้เกิดการละลายของซีเมนต์ได้อีกด้วย<sup>24</sup>

จากการทดลองทั้งสองแบบทดสอบพบว่า ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีให้การยึดติดที่ดีกว่าพานาเวียร์เอฟ2.0 ผู้ผลิตซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีได้อ้างถึงสมบัติของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีว่ามีความทนแรงอัดและความแข็งแรงผิวต่ำกว่าซีเมนต์เรซินชนิดอื่น แต่ไม่เปราะแตกง่าย คุณสมบัติเหล่านี้เกิดจากการที่ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีมีโครงสร้างโพลีเมอร์เป็นชนิดอสัณฐาน ซึ่งโพลีเมอร์มีการเรียงตัวแบบไม่มีรูปร่างแน่นอน และไม่มีสารอัดแทรก<sup>25</sup> ทำให้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีมีความเหนียวและยืดหยุ่นจึงสามารถกระจายแรงและช่วยให้ชิ้นงานสามารถทนต่อแรงกระแทกและแรงเครียดได้ ไม่เกิดการแตกหักหรือหลุดออก ในขณะที่พานาเวียร์เอฟ2.0ประกอบด้วย บิสโพลีเอทอกซิเลทและสารอัดแทรกร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก จึงทำให้มีลักษณะโครงสร้างโพลีเมอร์เป็นร่างแหตาข่าย<sup>26</sup> จากโครงสร้างโพลีเมอร์ที่แตกต่างกันนี้ น่าจะส่งผลให้การยึดระหว่างซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีกับไททาเนียมมีความแข็งแรงกว่า เนื่องจากซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีและไททาเนียมมีความอ่อนตัวมากเหมือนกัน

เนื่องจาก ซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะของแต่ละบริษัทจะมีส่วนประกอบพื้นฐานทางเคมีเป็นชนิดเดียวกัน เนื่องจากซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีและเมทาฟอสฟอนดิงไลเนอร์มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นสารโพรมีตา (4-META) ส่วนพานาเวียร์เอฟ2.0กับอัลลอยไพรเมอร์มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นสารเอ็มดีพีจากการทดสอบความล้าต่อแรงดัด และการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อมพบว่า การใช้ซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อคุณภาพของการยึดติด

เนื่องจากไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง พบว่าคุณภาพของการยึดติดจะได้รับอิทธิพลจากหนึ่งคือ ชนิดของซีเมนต์ที่เลือกใช้ สองคือ การผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล และได้อิทธิพลร่วมจากทั้งชนิดของซีเมนต์และการผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล การใช้ซีเมนต์และสารปรับสภาพผิวโลหะ ต่างบริษัทผู้ผลิตกัน ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของการยึดติด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsuchimoto ในปี 2006<sup>27</sup> ซึ่งพบว่าสารเอมดีพีช่วยส่งเสริมการยึดติดของพานาเวียร์เอฟ2.0 ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ส่งผลต่อความทนแรงดึงของการยึดติดของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีด้วย

การคงอยู่ของพันธะการยึดติดถูกประเมินโดยเทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล เทอร์โมไซคลิงนั้นจะไปทำให้พันธะการยึดติดนั้นแตกได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ เทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล ยังเพิ่ม การรั่วซึมระดับไมโครของพันธะการยึดด้วย พันธะการยึดที่แข็งแรงที่สุดได้จากการใช้ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ส่วนการเลือกใช้อัลลอยไพโรเมออร์หรือเมทาฟอสท์บอนด์ิงไลเนอร์ไม่ส่งผลต่อคุณภาพการยึดระหว่างไททาเนียมกับเนื้อฟัน

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาต่อไปในอนาคต ควรเน้นการศึกษาทางคลินิกเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนผลการศึกษานี้ เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลให้มากขึ้น นอกจากนี้การศึกษาต่อไปควรที่จะศึกษาภายใต้การเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกลในจำนวนรอบที่มากขึ้น

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย

1. เทอร์โมไซคลิงทำให้พันธะการยึดระหว่างเนื้อฟัน ซีเมนต์และไททาเนียม แตกหักได้ง่ายขึ้น
2. เทอร์โมไซคลิงและการเปลี่ยนแปลงแรงเชิงกล เพิ่มการรั่วซึมระดับจุลภาคของพันธะการยึดระหว่างเนื้อฟัน ซีเมนต์และไททาเนียม
3. สารปรับสภาพผิวโลหะที่มีโมโนเมอร์และหมู่ทำปฏิกิริยาต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงและการรั่วซึมระดับจุลภาคของพันธะการยึดระหว่างเนื้อฟัน ซีเมนต์และไททาเนียม
4. ชูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีให้พันธะการยึดระหว่างเนื้อฟันและไททาเนียมที่แข็งแรง และมีการรั่วซึมระดับจุลภาคน้อยกว่าการใช้ฟานาเวียร์เอฟ2.0

## รายการอ้างอิง

- (1) Lautenschlager, E.P.and Monaghan, P., Titanium and titanium alloys as dental materials. Int Dent J, 43,3(June 1993): 245-253.
- (2) Wang, R.R.and Fenton, A., Titanium for prosthodontic applications: a review of the literature. Quintessence Int, 27,6(June 1996): 401-408.
- (3) WH.Taggart, A new and accurate method of making gold inlays. Dental cosmos, 48,(1907): 1117-1121.
- (4) Oyafuso, D.K.and Ozcan, M.and Bottino, M.A.and Itinoche, M.K., Influence of thermal and mechanical cycling on the flexural strength of ceramics with titanium or gold alloy frameworks. Dent Mater, 24,3(March 2008): 351-356.
- (5) Vasquez, V., et al., Mechanical and thermal cycling effects on the flexural strength of glass ceramics fused to titanium. Dent Mater J, 27,1(January 2008): 7-15.
- (6) Parr, G.R.and Gardner, L.K.and Toth, R.W., Titanium: the mystery metal of implant dentistry. Dental materials aspects. J Prosthet Dent, 54,3(September 1985): 410-414.
- (7) Craig, R.G., Dental materials: Properties and manipulation. Eighth ed. 2004: Mosby.
- (8) Anusavice, Phillips Science of Dental Materials. Eleven ed. 2003, St.Louis: Elsevier.
- (9) O'Brien, Dental material and their selection. 1997, Chicago: Quintessence Publishing Co, Inc
- (10) Ermis, R.B., et al., Bonding to ground versus unground enamel in fluorosed teeth. Dent Mater, 23,10(October 2007): 1250-1255.
- (11) Causton, B.E., Improved bonding of composite restorative to dentine. A study in vitro of the use of a commercial halogenated phosphate ester. Br Dent J, 156,3(February 1984): 93-95.
- (12) Sattabanasuk, V.and Vachiramon, V.and Qian, F.and Armstrong, S.R., Resin-dentin bond strength as related to different surface preparation methods. J Dent, 35,6(June 2007): 467-475.
- (13) Gale, M.S.and Darvell, B.W., Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. J Dent, 27,2(February 1999): 89-99.



- (14) De Munck, J., et al., A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. J Dent Res, 84,2(February 2005): 118-132.
- (15) Heintze, S.D., How to qualify and validate wear simulation devices and methods. Dent Mater, 22,8(August 2006): 712-734.
- (16) Pashley, D.H., et al., The microtensile bond test: a review. J Adhes Dent, 1,4(1999): 299-309.
- (17) Holderegger, C., et al., Shear bond strength of resin cements to human dentin. Dent Mater, 24,7(July 2008): 944-950.
- (18) Furukawa, K.and Inai, N.and Tagami, J., The effects of luting resin bond to dentin on the strength of dentin supported by indirect resin composite. Dent Mater, 18,2(March 2002): 136-142.
- (19) Taira, Y., et al., Adhesive bonding of titanium with a thione-phosphate dual functional primer and self-curing luting agents. Eur J Oral Sci, 108,5(October 2000): 456-460.
- (20) Yanagida, H., et al., Adhesive bonding of titanium-aluminum-niobium alloy with nine surface preparations and three self-curing resins. Eur J Oral Sci, 111,2(April 2003): 170-174.
- (21) Ishii, T., et al., Comparative evaluation of thione and phosphate monomers on bonding gold alloy and Ti-6Al-7Nb alloy with tri-n-butylborane initiated resin. Dent Mater J, 27,1(January 2008): 56-60.
- (22) Taira, Y.and Matsumura, H.and Atsuta, M., Bonding of titanium with acidic primers and a tri-n-butylborane-initiated luting agent. J Oral Rehabil, 24,5(May 1997): 385-388.
- (23) Yanagida, H.and Matsumura, H.and Atsuta, M., Bonding of prosthetic composite material to Ti-6Al-7Nb alloy with eight metal conditioners and a surface modification technique. Am J Dent, 14,5(October 2001): 291-294.
- (24) Graham J Mount, W.R.H., Preservation and restoration of tooth structure. 2005, Australia: Knowledge books and software 206.
- (25) Mak, Y.F., et al., Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite. Dent Mater, 18,8(December 2002): 609-621.
- (26) Walker, M.P.and Spencer, P.and David Eick, J., Mechanical property characterization of resin cement after aqueous aging with and without cyclic loading. Dent Mater, 19,7(November 2003): 645-652.

- (27) Tsuchimoto, Y., et al., Effect of 4-MET- and 10-MDP-based primers on resin bonding to titanium. Dent Mater J, 25,1(March 2006): 120-124.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลดิบจากการทดสอบความล้าต่อแรงดัดหน่วยเป็น รอบ และการทดสอบ การแทรกซึมของสีย้อม หน่วยเป็นมิลลิเมตร

วัสดุ	ชั้นที่	จำนวนรอบ	ระยะทาง	ไททาเนียม	เนื้อฟัน
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์เมทาฟาสท์	1	10000	1.436	0	1.436
	2	10000	0.829	0	0.829
	3	20000	2.214	0	2.214
	4	20000	4.925	0	4.925
	5	20000	2.253	0	2.253
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์เมทาฟาสท์	1	8000	8.95	0	8.95
	2	12000	3.192	0.245	2.947
	3	9000	8.252	0	8.252
	4	5200	13.264	6.294	6.97
	5	11000	4.885	0	4.885
กลุ่มควบคุมซูเปอร์บอนด์อัลลอยไพร์เมอร์	1	20000	2.326	0	2.326
	2	20000	3.885	0	3.885
	3	20000	0.237	0	0.237
	4	12000	1.248	0	1.248
	5	11000	3.681	0	3.681
กลุ่มทดลองซูเปอร์บอนด์อัลลอยไพร์เมอร์	1	5000	8.651	0	8.651
	2	6500	7.563	0	7.563
	3	9000	10.06	2.061	7.999
	4	18000	7.087	0	7.087
	5	1000	8.104	0	8.104
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์เมทาฟาสท์	1	8000	1.078	0	1.078
	2	6100	1.918	0	1.918
	3	13000	4.224	1.742	2.482
	4	7000	1.261	0	1.261
	5	14000	3.745	1.439	2.306
กลุ่มทดลองพานาเวียร์เมทาฟาสท์	1	0	21.398	7.544	13.854
	2	1000	15.118	0	15.118
	3	0	10.907	3.314	7.593
	4	0	20.373	12.576	7.797
	5	0	16.071	4.075	11.996
กลุ่มควบคุมพานาเวียร์อัลลอยไพร์เมอร์	1	4000	2.289	0.758	1.531
	2	20000	1.823	0.852	0.971
	3	10000	2.927	1.283	1.644
	4	8000	3.617	1.612	2.005
	5	0	2.756	0.61	2.146
กลุ่มทดลองพานาเวียร์อัลลอยไพร์เมอร์	1	0	25.466	9.067	16.399
	2	2200	15.483	3.228	12.255
	3	1000	30.205	14.876	15.329
	4	0	15.512	7.756	7.756
	5	0	14.842	0	14.842

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ 7 แสดงการแจกแจงแบบปกติของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักของทุกกลุ่ม โดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			
VAR00001			
SMC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	16000
		Std. Deviation	5477.226
	Most Extreme Differences	Absolute	0.367
		Positive	0.263
		Negative	-0.367
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.822
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.51
SMT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	9040
		Std. Deviation	2666.083
	Most Extreme Differences	Absolute	0.169
		Positive	0.133
		Negative	-0.169
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.378
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.999
SAC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	16600
		Std. Deviation	4669.047
	Most Extreme Differences	Absolute	0.367
		Positive	0.238
		Negative	-0.367
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.82
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.512
SAT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	7900
		Std. Deviation	6348.228
	Most Extreme Differences	Absolute	0.231
		Positive	0.231
		Negative	-0.144
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.517
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.952
PMC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	9620
		Std. Deviation	3622.43
	Most Extreme Differences	Absolute	0.273
		Positive	0.273
		Negative	-0.225

	Kolmogorov-Smirnov Z		0.61
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.851
PMT	N		5
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	200
		Std. Deviation	447.214
	Most Extreme Differences	Absolute	0.473
		Positive	0.473
		Negative	-0.327
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.057
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.214
PAC	N		5
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	8400
		Std. Deviation	7536.577
	Most Extreme Differences	Absolute	0.216
		Positive	0.216
		Negative	-0.138
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.483
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.974
PAT	N		5
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	640
		Std. Deviation	973.653
	Most Extreme Differences	Absolute	0.345
		Positive	0.345
		Negative	-0.255
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.77
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.593

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 8 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหักโดยการทดสอบลีวิน

Test of Homogeneity of Variances			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.318	7	32	0.009

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ANOVA					
Flexural					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1272000000	7	181700000	8.538	0
Within Groups	681100000	32	21280000		
Total	1953000000	39			

ตารางที่ 10 แสดงอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และชนิดของซีเมนต์ ต่อจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Flexural					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.272E9a	7	181700000	8.538	0
Intercept	2924000000	1	2924000000	137.38	0
cements	588300000	1	588300000	27.639	0
primer	1089000	1	1089000	0.051	0.822
test	674000000	1	674000000	31.668	0
cements * primer	36000	1	36000	0.002	0.967
cements * test	1444000	1	1444000	0.068	0.796
primer * test	4000	1	4000	0	0.989
cements * primer * test	7225000	1	7225000	0.339	0.564
Error	681100000	32	21280000		
Total	4877000000	40			
Corrected Total	1953000000	39			

a. R Squared = .651 (Adjusted R Squared = .575)

ตารางที่ 11 แสดงการแจกแจงแบบปกติของระยะแทรกซึมของสี่ข้อมของทุกกลุ่มโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอนอฟ

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			
VAR00001			
SMC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	2.3314
		Std. Deviation	1.5656977
	Most Extreme Differences	Absolute	0.32
		Positive	0.32
		Negative	-0.169
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.715
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.685
SMT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	7.7086
		Std. Deviation	3.9074038
	Most Extreme Differences	Absolute	0.175
		Positive	0.175
		Negative	-0.155
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.392
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.998
SAC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	2.2754
		Std. Deviation	1.5636263
	Most Extreme Differences	Absolute	0.216
		Positive	0.152
		Negative	-0.216
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.482
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.974
SAT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	8.293
		Std. Deviation	1.1482062
	Most Extreme Differences	Absolute	0.178
		Positive	0.178
		Negative	-0.147
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.397
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.997
PMC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	2.4452
		Std. Deviation	1.4494063
	Most Extreme Differences	Absolute	0.242
		Positive	0.242



		Negative	-0.215
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.541
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.932
PMT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	16.7734
		Std. Deviation	4.242417
	Most Extreme Differences	Absolute	0.202
		Positive	0.166
		Negative	-0.202
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.451
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.987
PAC	N		5
	Normal Parametersa	Mean	2.6824
		Std. Deviation	0.6767672
	Most Extreme Differences	Absolute	0.159
		Positive	0.159
		Negative	-0.143
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.355
	Asymp. Sig. (2-tailed)		1
PAT	N		5
	Normal Parametersa	Mean	20.3016
		Std. Deviation	7.0836919
	Most Extreme Differences	Absolute	0.351
		Positive	0.351
		Negative	-0.22
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.784
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.571

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 12 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยของระยะแทรกซึมของสีย้อมโดยการทดสอบลิวิ้น

Test of Homogeneity of Variances			
Dye			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8.584	7	32	0

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของระยะแทรกซึมของสีย้อม ด้วยการวิเคราะห์  
ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ANOVA					
Dye	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1761.664	7	251.666	21.832	0
Within Groups	368.872	32	11.527		
Total	2130.536	39			

ตารางที่ 14 แสดงอิทธิพลของปัจจัยเทอร์โมไซคลิก ชนิดของสารปรับสภาพผิวโลหะ และชนิด  
ของซีเมนต์ ต่อระยะแทรกซึมของสีย้อม

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable:Dye					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1761.664a	7	251.666	21.832	0
Intercept	2465.764	1	2465.764	213.907	0
cements	291.443	1	291.443	25.283	0
primer	11.523	1	11.523	1	0.325
test	1174.091	1	1174.091	101.853	0
cements * primer	6.549	1	6.549	0.568	0.457
cements * test	264.006	1	264.006	22.903	0
primer * test	9.66	1	9.66	0.838	0.367
cements * primer * test	4.391	1	4.391	0.381	0.541
Error	368.872	32	11.527		
Total	4596.3	40			
Corrected Total	2130.536	39			

a. R Squared = .827 (Adjusted R Squared = .789)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริกุล เตชะนรราช เกิดวันที่ 2 สิงหาคม 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 และปฏิบัติงานในตำแหน่งทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลเชียงใหม่ ในจังหวัดอุบลราชธานี เป็นเวลา 2 ปี แล้วย้ายที่ปฏิบัติงานมายังโรงพยาบาลสามพราน จังหวัดนครปฐม จนถึงปัจจุบัน