

คำกำลังแรงยึดแบบเนียนระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเนื้อ  
ฟัน เปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และอออลอินวัน



นางสาวชลญา บำรุงเรือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MICROSHEAR BOND STRENGTH OF SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE TO  
DENTIN COMPARED WITH TOTAL-ETCHING AND ALL-IN-ONE ADHESIVE

Miss Chonlaya Bumrungruan



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

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมระดับจุลภาคของคอมโพสิต  
ชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน เปรียบเทียบ  
กับการใช้สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และอออลอินวัน

โดย

นางสาวชลญา บำรุงเรือน

สาขาวิชา

ทันตกรรมหัตถการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา  
สกุลณะมรรคา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยาณี พาณิชยวิสัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วรณธนะ สัตตบรรณสุข)

ชลญา บำรุงเรือน : ค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้  
ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน เปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และ  
ออลอินวัน (MICROSHEAR BOND STRENGTH OF SELF-ADHERING FLOWABLE  
COMPOSITE TO DENTIN COMPARED WITH TOTAL-ETCHING AND ALL-IN-  
ONE ADHESIVE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ทญ. ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา,  
100 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันระหว่าง  
การบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง กับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิด  
ไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และออลอินวันก่อนและหลังผ่าน  
กระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็น โดยทำการศึกษาในฟันกรามแท้ซึ่งที่สามที่ถูกถอนจำนวน 60 ซี่  
แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (กลุ่มละ 20 ซี่) กลุ่มที่ 1 บูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วย  
ตัวเอง กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโท  
ทอลเอทซ์และออลอินวัน และกลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับ  
สารยึดติดประเภทออลอินวัน แล้วจึงแบ่งแต่ละกลุ่มเป็น 2 กลุ่มย่อย (กลุ่มละ 10 ซี่) คือกลุ่มที่ทำ  
การทดสอบค่ากำลังแรงยึดภายหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึด  
ภายหลังจากผ่านกระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล  
ด้วยสถิติ two-way analysis of variance (ANOVA) ( $p < 0.05$ ) พบว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพ  
สิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์มีค่ากำลังแรงยึดสูงกว่ากลุ่ม  
อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่ค่ากำลังแรงยึดของกลุ่มที่บูรณะด้วยเรซินคอม  
โพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันและกลุ่มที่บูรณะด้วยคอมโพ  
สิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่ต่างกัน ทั้งในกลุ่มที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแช่น้ำร้อน  
สลับเย็น และพบว่าการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดของวัสดุ  
ทั้งสามประเภท ( $p = 0.512$ )

ภาควิชา ทันตกรรมหัตถการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5675804632 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS: MICROSHEAR BOND STRENGTH / SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE / THERMOCYCLING

CHONLAYA BUMRUNGRUAN: MICROSHEAR BOND STRENGTH OF SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE TO DENTIN COMPARED WITH TOTAL-ETCHING AND ALL-IN-ONE ADHESIVE. ADVISOR: ASST. PROF. DR. RANGSIMA SAKOOLNAMARKA, 100 pp.

The aim of the study was to compare micro-shear bond strength ( $\mu$ SBS) of self-adhering flowable composite, total-etching adhesive and all-in-one adhesive to dentin before and after thermocycling. Sixty extracted sound third human molars were divided into 3 groups (n=20) as follow; Group 1: Vertise™ Flow (VF), Group 2: Optibond FL + flowable composite (FL) and Group 3 Optibond all-in-one + flowable composite (All). For each adhesive, half of the specimens were subjected to  $\mu$ SBS test after 24-hour water storage. The others were subjected to thermocycling 5,000 times before  $\mu$ SBS test. Two-way ANOVA showed FL was the highest  $\mu$ SBS values ( $p < 0.001$ ). Whereas, VF and All had no statistically significant difference. Thermocycling had no effect on  $\mu$ SBS values ( $p = 0.512$ ).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Operative Dentistry Student's Signature .....

Field of Study: Operative Dentistry Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.รังสิมา สกุลณมรรคาที่ให้คำปรึกษา  
และคำแนะนำตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะและปรับปรุง  
ข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อาจารย์สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

อาจารย์สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันต  
กรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่เป็นแรงบันดาลใจในเลือกศึกษาต่อ

อาจารย์ ดร. นัท กุลวานิช ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันต  
แพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ควบคุมกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ  
ส่องกราด คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์และ  
อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Background and rationale) .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย (Objectives) .....	3
สมมุติฐานการวิจัย (Hypotheses) .....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น (Operational definitions) .....	4
ข้อจำกัดในการวิจัย (Limitations) .....	5
คำสำคัญ (Keywords) .....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
วิธีดำเนินการวิจัย .....	5
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย .....	6
บทที่ 2.....	9
วรรณกรรมปริทัศน์ (literature review) .....	9
คอมพิวเตอร์ชนิดใหม่แต่ที่เขียนได้ด้วยตัวเอง .....	9
ระบบสรวีตติต .....	27

สารยี่ตติระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ชั้นตอน.....	28
สารยี่ตติระบบบอลอินวัน .....	30
การทดสอบกำลังแรงยี่ตแบบเฉือนระดับจุลภาค .....	34
บทที่ 3.....	43
ระเบียบวิธีวิจัย.....	43
ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง .....	43
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย .....	46
อุปกรณ์ .....	47
การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบกำลังแรงยี่ตแบบเฉือนระดับจุลภาค .....	48
การทดสอบกำลังแรงยี่ตแบบเฉือนระดับจุลภาค .....	52
การประเมินประเภทของความล้มเหลวที่เกิดขึ้น.....	53
การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาาระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและ วัสดุบูรณะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด .....	54
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical data analysis).....	56
บทที่ 4.....	57
ผลการศึกษา .....	57
บทที่ 5.....	66
อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย.....	66
บทวิจารณ์ .....	66
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ .....	76
บทสรุปงานวิจัย .....	78
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	92



ตารางแสดงค่ากำลังแรงยึดแบบเขื่อนระดับจุลภาค .....	92
ตารางแสดงค่าสถิติจากโปรแกรม SPSS .....	98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	100



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ชนิดไหลแม่เหล็กที่ผลิตได้ด้วยตัวเองในปัจจุบัน .....	16
ตารางที่ 2 แสดงการแทนค่าสำหรับคำนวณหาขนาดตัวอย่าง .....	44
ตารางที่ 3 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	51
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับ จุลภาค .....	58
ตารางที่ 5 แสดงความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้วยกล้อง จุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป .....	59



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 แสดงรอยแตกของเนื้อพื้และคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองภายหลังการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึง .....	21
รูปที่ 2 แสดงความสามารถในการไหลของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง .....	22
รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเกิดฟองอากาศและช่องว่างในชั้นคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง .....	23
รูปที่ 4 แสดงแนวในการตัดพื้ตัวอย่าง .....	37
รูปที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาระดับจุลภาคบริเวณรอยแตกหักระหว่างเนื้อพื้และวัสดุบูรณะด้านเนื้อพื้เมื่อประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด .....	62
รูปที่ 6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้และคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง .....	63
รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้และสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ .....	64
รูปที่ 8 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้และสารยึดติดประเภทออกซินวัน .....	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Background and rationale)

ปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากความต้องการด้านความสวยงามของผู้ป่วยมากขึ้น และจากการปรับเปลี่ยนการบูรณะฟันเป็นแบบมินิมอลอินเตอร์เวนชัน (minimal intervention) (1) รวมถึงเป็นวัสดุที่สามารถซ่อมแซมได้ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องรีหรือวัสดุบูรณะที่มีความบกร่องบางส่วนออกทั้งหมดเพื่อบูรณะใหม่ (2) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการใช้เรซินคอมโพสิตในการบูรณะฟันจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงพบข้อด้อยในด้านความยุ่งยากในการใช้งาน เนื่องจากในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด ทำให้มีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอน โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ทั้งผู้ผลิตและนักวิจัยมีความพยายามในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของวัสดุอย่างมาก ทั้งในส่วนของสารยึดติดและเรซินคอมโพสิต เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการทำงานและลดขั้นตอนการทำงานลง เพื่อตอบสนองความต้องการของทันตแพทย์ที่ต้องการวัสดุที่ใช้ทำงานได้ง่ายเพื่อลดเวลาในการทำงานลง จนเกิดการนำเทคโนโลยีการผลิตสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอทซ์มาใช้ในเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ เกิดเป็นคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (Self-adhering flowable composite) ที่สามารถยึดติดกับผิวฟันโดยไม่ต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด ทำให้ลดขั้นตอนและระยะเวลาทำงานลงได้ อย่างไรก็ตาม

การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของคอมโพสิตชนิดไฮลแแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองทั้งในห้องปฏิบัติการและทางคลินิกยังคงมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัสดุดังกล่าวเพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้งานในคลินิกต่อไป

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตคือความสามารถในการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตและฟัน โดยพบว่าถ้าหากคุณภาพในการยึดติดไม่ดีหรือมีการยึดติดที่ไม่สมบูรณ์จะก่อให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ นำมาซึ่งผลที่ไม่พึงประสงค์หลายประการ เช่น การหลุดออกของวัสดุบูรณะ การติดสีบริเวณขอบของวัสดุ การเสียวฟันภายหลังการบูรณะ และการเกิดฟันผุซ้ำ เป็นต้น (3) การทดสอบความสามารถในการยึดติดของวัสดุและฟันทางห้องปฏิบัติการพบว่าการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาคเป็นการทดสอบที่น่าเชื่อถือและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเมื่อผ่านกระบวนการจำลองการใช้งานที่เหมาะสมพบว่าผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถนำไปใช้ทำนายผลการใช้งานในคลินิกได้ (4-6) เนื่องจากการใช้คอมโพสิตชนิดไฮลแแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองบูรณะฟันไม่มีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าความสามารถในการยึดติดกับฟันจะมีความแตกต่างจากการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับการใช้สารยึดติดหรือไม่ ด้วยสาเหตุดังกล่าวผู้ทำการศึกษาจึงมีความสนใจในการศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขต่อผิวฟันระหว่างการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไฮลแแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง กับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับการใช้สารยึดติด

## วัตถุประสงค์การวิจัย (Objectives)

1. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันระหว่างการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง กับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวัน
2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากกระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันในการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวัน

## สมมุติฐานการวิจัย (Hypotheses)

1. ค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันในการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันไม่ต่างกันเมื่อทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันในการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮลเฝ้ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติด

ประเภทโททอลเอทซ์ และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม ร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันไม่ต่างกันเมื่อทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ

3. ค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื่องฟันในการบูรณะด้วยวิธีการเดียวกันไม่ต่างกันระหว่างกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ

### ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง เปรียบเทียบกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และสารยึดติดประเภทออลอินวัน รวมทั้งศึกษาผลกระทบของการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบต่อค่ากำลังแรงยึดของวัสดุทั้ง 3 ประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ข้อตกลงเบื้องต้น (Operational definitions)

1. ผู้วิจัยในการศึกษานี้ได้รับการฝึกจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การใช้เครื่องมือต่างๆในการวิจัยเป็นอย่างดี และเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย
2. การใช้งานวัสดุต่างๆในงานวิจัยนี้เป็นไปตามที่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด

### ข้อจำกัดในการวิจัย (Limitations)

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการจึงมีข้อจำกัดบางประการทำให้ผลที่ได้ อาจแตกต่างจากการใช้งานจริงในช่องปาก เช่น สภาวะแวดล้อมในช่องปาก แรงกระทำต่อวัสดุ บุรณะที่เกิดจากการใช้งาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้คาดคะเน แนวโน้มที่อาจเกิดขึ้นขณะใช้งานในช่องปากได้

### คำสำคัญ (Keywords)

คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (self-adhering flowable composite), กำลัง แแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค (microshear bond strength), การแช่น้ำร้อนสลับเย็น (thermocycling)

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจเลือกใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ในด้านความสามารถในการยึดติดของวัสดุต่อเนื้อฟัน
2. เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

### วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาในฟันกรามแท้ซี่ที่สามที่ถูกถอนจำนวน 60 ซี่ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (กลุ่มละ 20 ซี่) กลุ่มที่ 1 บุรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง กลุ่มที่ 2 บุรณะด้วยเรซิน









## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์ (literature review)

#### คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

##### • การพัฒนามาเป็นคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

นับตั้งแต่เริ่มมีการนำเรซินคอมโพสิตมาใช้ในการบูรณะฟันจนถึงปัจจุบัน ได้มีความพยายามในการพัฒนาวัสดุอย่างต่อเนื่อง โดยมีการปรับปรุงชนิดของมอนอเมอร์ วิธีการบ่มตัวของวัสดุ แสงที่ใช้ในการบ่มตัว ขนาด ชนิดและรูปร่างของฟิลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ลดอัตราการสึกหรบใช้งาน ลดการเกิดการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน สามารถขัดแต่งได้ง่าย และมีความสวยงามเพิ่มขึ้น (7)

ในช่วงกึ่งกลางปี ค.ศ.1990 ได้มีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตที่มีความเหนียวต่ำเนื่องจากมีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อย จึงสามารถใช้งานโดยการฉีดออกจากหลอดเข้าสู่โพรงฟันได้ทันที ไม่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือนำวัสดุเข้าสู่โพรงฟัน อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิมทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการ เช่น ความต้านทานการสึก และความแข็งแรงด้อยกว่าวัสดุที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูงกว่า จึงไม่แนะนำให้ใช้ในบริเวณที่ต้องรับแรงปริมาณมาก (stress-bearing area) นอกจากนี้พบว่าเนื่องจากการมีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อยและมีส่วนของเรซินเมทริกซ์มาก ทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ในยุคแรกมีการหดตัวเมื่อเกิดพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) สูง จึงมีการพัฒนาปรับปรุงทั้งในส่วนของวัสดุอุดแทรกและ

มอนอเมอร์ ทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ในปัจจุบันลดปัญหาการหดตัวขณะเกิดพอลิเมอร์ เซชันลงได้ และมีคุณสมบัติดีขึ้น เนื่องจากเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มีความหนืดต่ำจึงสามารถไหลแผ่ไปบนพื้นได้ดี ร่วมกับการมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ต่ำ ทำให้ช่วยเพิ่มความแนบสนิทบริเวณขอบของวัสดุบูรณะ และสามารถประพฤติตนเป็นชั้นที่ดูดซับแรง (stress absorbing layer) ให้แก่เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมได้ ร่วมกับการใช้งานที่สะดวก จึงมีความพยายามในการพัฒนาคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาใช้ในการบูรณะฟันได้หลากหลายมากขึ้น เช่น บัลคฟิลคอมโพสิต (bulk-fill composite) (7, 8)

จนมาถึงปัจจุบันได้มีการรวมเอาเทคโนโลยีของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้เข้าด้วยกัน เกิดเป็นคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (self-adhesive or self-adhering resin composite) ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถยึดติดกับฟันได้ด้วยตัวเอง ไม่จำเป็นต้องใช้ร่วมกับระบบสารยึดติด (9) ลักษณะโดยทั่วไปของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง คือ อยู่ในรูปแบบของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ในหลอดฉีดพร้อมปลายที่สามารถฉีดวัสดุเข้าสู่โพรงฟันได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือนำวัสดุเข้าสู่โพรงฟัน และเนื่องจากมีคุณสมบัติยึดติดได้ด้วยตนเองจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกับกรดฟอสฟอริกและสารยึดติด จึงสามารถตัดขั้นตอนการล้างน้ำ เป่าลม และการทาสารยึดติดลงได้ จึงเป็นวัสดุที่สามารถใช้งานได้ง่าย ลดขั้นตอนการทำงานลง และยังช่วยลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดจากการทำงานหลายขั้นตอนได้อีกด้วย ซึ่งถือเป็นการตอบสนองของความต้องการของทันตแพทย์ในปัจจุบันที่ต้องการวัสดุที่ใช้งานได้ง่าย รวดเร็วและไม่มีความซับซ้อนในขั้นตอนการทำงาน

- องค์ประกอบของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

องค์ประกอบทั่วไปเหมือนกับเมทาโครเลตเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม คือ พอลิเมอร์เมทริกซ์ อินทรีย์ (organic polymer matrix) วัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ (inorganic filler particles) และสารเชื่อมติด (coupling agent) แต่มีข้อแตกต่างกัน คือ ชนิดของวัสดุอัดแทรก และมอนอเมอร์ที่ใช้ โดยคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะนำวัสดุอัดแทรกที่ได้รับการดัดแปลงมาใช้ ร่วมกับมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่พบในสารยึดติด (7) และยังมีความแตกต่างกันในเรื่องของวัสดุอัดแทรกและเมทริกซ์ทั้งปริมาณวัสดุอัดแทรก การกระจายตัว และองค์ประกอบ (10)

1. วัสดุอัดแทรก

เป็นส่วนประกอบอินทรีย์สารของวัสดุ ซึ่งมีความคงทน มีเสถียรภาพสูง และเป็นส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา (inert) ของวัสดุ ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่ส่วนเรซินเมทริกซ์ ก่อให้เกิดระดับความโปร่งแสง (translucency) ที่เหมาะสม โดยจะช่วยให้เรซินคอมโพสิตมีความทึบรังสีแตกต่างกับเคลือบฟันและเนื้อฟัน นอกจากนี้ปริมาณวัสดุอัดแทรกยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุบูรณะ เช่น ความทนแรงดัด (flexural strength) ความแข็ง (hardness) การสึก (wear) และช่วยลดการเกิดการหดตัวของพอลิเมอร์เซชันของเรซินคอมโพสิต (10-12)

จากการศึกษาภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบว่า วัสดุอัดแทรกของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีขนาดและรูปร่างหลากหลาย (10) โดยจะพบวัสดุอัดแทรกมีรูปร่างเป็นทรงหลายเหลี่ยมและทรงกลมที่มีขนาดแตกต่างกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของวัสดุอัดแทรกมีค่า 410 นาโนเมตร โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 770 นาโนเมตร และพบว่าขนาดของวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดเล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดมีความแตกต่างกันถึง 2-3 เท่า

การที่วัสดุอัดแทรกมีขนาดที่หลากหลายจะช่วยให้สามารถเพิ่มปริมาณของวัสดุอัดแทรกได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุลดลงอย่างมากอีกด้วย (13)

ชนิดและปริมาณวัสดุอัดแทรกที่ใช้ในคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะแตกต่างกันตามบริษัทผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่ามีความร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก หรือร้อยละ 60-75 โดยปริมาตร (14) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเรซินซีเมนต์ที่พบปริมาณวัสดุอัดแทรกประมาณร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก หรือร้อยละ 40-60 โดยปริมาตร (15) และน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (11)

## 2. เมทริกซ์

เป็นส่วนประกอบอินทรีย์สารของวัสดุ ช่วยให้เกิดคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งทางด้านแสง เช่น ความคงทนของสี (color stability) คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ และมีผลต่อเสถียรภาพของวัสดุในการใช้งานทางคลินิกอีกด้วย โดยมากแล้วพอลิเมอร์เมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิตในปัจจุบันจะเกิดจากไดเมทาไครเลตมอนอเมอร์ (dimethacrylate monomers)

มอนอเมอร์ของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกับของเรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิม เพื่อให้เกิดการยึดติดกับส่วนของเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ โดยนอกเหนือจากคุณสมบัติพื้นฐานของมอนอเมอร์แล้ว มอนอเมอร์ของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะต้องมีลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมคือ

- มีความสามารถที่จะปรับสภาพพื้นผิวเคลือบฟันให้เกิดความขรุขระเพื่อส่งเสริมการยึดติดเชิงกลในระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) ของเรซินและเคลือบฟันได้ในเวลาอันสั้น
- มีความสามารถไหลแผ่เคลือบทั่วทั้งผิวฟันและสามารถแทรกซึมลงสู่ท่อเนื้อฟันได้

- สามารถเกิดพันธะเคมีกับส่วนประกอบของฟันได้

การที่มอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดแต่ละตัวจะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่กำหนดไว้ ปัจจัยหลักที่มีผล คือ การออกแบบโครงสร้างของมอนอเมอร์ โดยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดจะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลัก 3 ประการ ซึ่งมีหน้าที่และความสำคัญแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่สามารถพอลิเมอไรซ์ได้ (polymerizable groups; P) สามารถเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวอื่นๆ และวัสดุบูรณะประเภทเรซินคอมโพสิตได้
- กลุ่มแอตตีซีฟที่มีความเป็นกรด (acid adhesive group; AD) สามารถปรับสภาพและเกิดปฏิกิริยากับผิวฟันได้
- กลุ่มสเปเซอร์ (spacer group; R) ทำหน้าที่ในการแยกกลุ่มที่สามารถพอลิเมอไรซ์ได้ และกลุ่มแอตตีซีฟที่มีความเป็นกรดออกจากกัน (16) และยังส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของมอนอเมอร์ เช่น การละลายน้ำโดยพบว่าหากกลุ่มสเปเซอร์มีความชอบน้ำสูงจะส่งเสริมให้มอนอเมอร์เกิดการละลายน้ำ การบวมน้ำ และการดูดซึ่มสีจากสภาวะในช่องปากเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อน้ำหนัก ความยืดหยุ่น และความสามารถในการฉาบตัวบนพื้นผิว (wettability) ของมอนอเมอร์ โดยพบว่าถ้าหากกลุ่มสเปเซอร์มีขนาดเล็กจะมีการเคลื่อนที่ที่ดีกว่า ทำให้สามารถฉาบตัวบนผิวฟันและแทรกซึมลงสู่ผิวฟันที่ถูกปรับสภาพแล้วได้ดีกว่ากลุ่มสเปเซอร์ขนาดใหญ่

การยึดติดทางเคมีของมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดกับฟันเป็นการยึดติดด้วยพันธะเคมี ทั้งจากกลุ่มที่มีความเป็นกรดเกิดพันธะไอออนิกกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ และกลุ่มคีเลต (chelating groups) ที่สามารถพบได้ในกรดซาลิไซลิกหรือกรดอะมิโนไดอะซิติค เกิดการเชื่อมต่อกับแคลเซียม



ไอออนในเคลือบฟันหรือเนื้อฟันได้ นอกจากนี้หมู่แอลดีไฮด์หรือแอนไฮดรายด์ของมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดอาจเกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมต่อกับหมู่อะมิโนหรือหมู่ไฮดรอกซิลที่พบในคอลลาเจนในเนื้อฟันได้อีกด้วย และอาจพบการเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของมอนอเมอร์และองค์ประกอบของฟันได้อีกด้วย เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล หรือการเกิดพันธะไฮโดรเจน เป็นต้น (16, 17)

มอนอเมอร์ของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองหรือมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดจะเป็นโมเลกุลที่ทำหน้าที่ได้สองอย่าง (bifunctional molecules) คือ สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวอื่นได้ และสามารถทำหน้าที่ปรับสภาพและเกิดปฏิกิริยากับผิวฟันได้ มอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดที่นิยมใช้ในคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่มีองค์ประกอบของกรดฟอสฟอริก เช่น จีพีดีเอ็ม (glycerol phosphate dimethacrylate; GPDM) ซึ่งมีหมู่ฟอสฟอเนต ก่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลในระดับจุลภาค (micromechanical bonding) ระหว่างฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบกลไกการทำงานของหมู่ฟอสฟอเนตอย่างแน่ชัดว่าเป็นมอนอเมอร์ประเภทที่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ออกได้หมดก่อนให้เกิดการเปิดเผยโครงข่ายคอลลาเจน ทำให้ส่วนเรซินสามารถแทรกซึมลงสู่ร่างแหคอลลาเจนเหล่านั้นเกิดเป็นการยึดติดเชิงกลขึ้น หรือหมู่ฟอสฟอเนตทำหน้าที่ปรับสภาพชั้นสเมียร์ให้มีลักษณะเหมาะสมต่อการแทรกซึมของเรซินจนเกิดการยึดติดเชิงกล นอกจากนี้หมู่ฟอสฟอเนตอาจเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนในไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ กลุ่มที่สองคือ กลุ่มที่มีองค์ประกอบของกรดคาร์บอกซิลิกแอซิด เช่น ไฟร์เมต (4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid; 4-MET) ที่ประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับแคลเซียมในไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ และพบว่าไฟร์เมตสามารถกำจัดชั้นสเมียร์

ออกได้หมด ทำให้เกิดการเปิดเผยโครงข่ายคอลลาเจนและเกิดการแทรกซึมของเรซินลงสู่โครงข่ายคอลลาเจนเหล่านั้นได้ (16-20)

นอกจากนี้ในส่วนเมทริกซ์ยังประกอบด้วยสารมอนอเมอร์ลดความหนืด (diluent monomers) เพื่อช่วยปรับให้เกิดความเข้มข้นที่เหมาะสมเนื่องจากโคมพอลิเมอร์ส่วนมากมีโมเลกุลใหญ่ทำให้มีความหนืดสูง จึงต้องใช้สารมอนอเมอร์ลดความหนืดที่มีโมเลกุลเล็กกว่าช่วยปรับลดความหนืดลงมา นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (initiators) ซึ่งช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาจากแสง และสารยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (inhibitors) เพื่อป้องกันการเกิดพอลิเมอร์เซชันโดยไม่ตั้งใจและช่วยยืดอายุของวัสดุอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีสารเติมสารสีต่างๆ (optical modifiers) เพื่อช่วยให้ได้สีและคุณสมบัติทางแสงที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด

### 3. สารเชื่อมติด

เป็นสารประเภทเมทิล (methyl) ไวนิล (vinyl) หรืออีพอกซีไซเลน (epoxy silane) ซึ่งเป็นส่วนช่วยให้วัสดุยึดติดกับส่วนเมทริกซ์

องค์ประกอบและวิธีการใช้งานของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่มีวางจำหน่ายในปัจจุบันแสดงให้เห็นดังตารางที่ 1

Material	Composition	Application	pH	Filler Weight (%)
Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA)	GPDM, HEMA, prepolymerized filler, nano-sized ytterbium fluoride, 1 $\mu$ m barium glass filler, nano-sized colloidal silica	- Dispense a thin layer (<0.5 mm) on a forcefully dried surface; use a provided applicator with a brushing motion for 15–20s - Light cure for 20s - Syringe additional material in increments of less than 2 mm. - Light cure each increment for 20s	1.9	70
Fusio Dentin Liquid (Pentron Clinical, Orange, CA, USA)	UDMA, TEGDMA, HEMA, 4-MET, nano-sized amorphous silica, silane treated barium glass, minor additives, photo curing system	- Dispense a 1 mm. increment and agitate to condition the tooth for 20s - Light curing for 10s - Syringe additional material in increments of 1.5–2 mm. - Light cure each increment for 10s	-	65

ตารางที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์คอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ที่ยึดได้ด้วยตัวเองในปัจจุบัน

(ปรับปรุงจากข้อมูลจากคู่มือวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของบริษัทผู้ผลิต)

- การหดตัวเมื่อเกิดพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) ของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

ขณะที่เรซินคอมโพสิตเกิดพอลิเมอไรเซชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของมอนอเมอร์โดยมีการเปลี่ยนแปลงพันธะของคาร์บอนอะตอมจากพันธะคู่ของมอนอเมอร์ ( $-C=C-$ ) ไปเป็นพันธะเดี่ยว ( $-C-C-$ ) จนเกิดเป็นโครงข่ายพอลิเมอร์ (21) จากกระบวนการดังกล่าวทำให้

ช่องว่างของแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals spaces) ของพันธะโคเวเลนต์ลดลง (22) ทำให้ปริมาตรโดยรวมของเรซินคอมโพสิตลดลง ในขณะที่เดียวกันก็มีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย การที่ปริมาตรโดยรวมของเรซินคอมโพสิตลดลงจะก่อให้เกิดความเค้นจากการหดตัว (contraction stress) ภายในเรซินคอมโพสิต ส่งผลให้เกิดความเครียด (strain) บริเวณรอยต่อระหว่างฟันกับเรซินคอมโพสิตจนเกิดเป็นช่องว่างเล็กๆ เป็นทางให้น้ำลายและไม่โครออกแกนิซึมผ่านเข้าสู่ตัวฟัน (11, 22)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหดตัวเมื่อเกิดพอลิเมอไรเซชันของเรซินคอมโพสิต ได้แก่ ปริมาณวัสดุอัดแทรก โดยเรซินคอมโพสิตที่มีสัดส่วนของวัสดุอัดแทรกต่อเมทริกซ์ต่ำจะเกิดการหดตัวสูง และเรซินคอมโพสิตที่มีความสามารถในการไหลสูง จะช่วยลดปล่อยแรงเค้นที่เกิดจากการหดตัวในช่วงที่เรซินคอมโพสิตมีสถานะเป็นเจลได้ นอกจากนี้รูปร่างของโพรงฟันก็มีผลต่อการเกิดความเครียดจากการหดตัวของเรซินคอมโพสิตด้วย พบว่าในโพรงฟันที่มีค่าซีแพคเตอร์ (C-factor) หรือค่าปัจจัยรูปร่างของโพรงฟันบูรณะ (Configuration factor) สูงจะเกิดแรงเค้นจากการหดตัวสูง (22-24)

คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีลักษณะเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ ที่มีการศึกษาพบว่าการหดตัวโดยปริมาตรและมีความเค้นจากการหดตัวสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (22) นอกจากนี้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่มีชั้นของสารยึดติดที่อาจช่วยดูดซับและกระจายความเค้นและความเครียดที่เกิดจากการหดตัวของเรซินคอมโพสิต (16) จึงควรที่จะระมัดระวังปัญหาที่อาจเกิดจากการหดตัวเมื่อเกิดการฉายแสงของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองซึ่งอาจจะมีค่าสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นได้ มีการศึกษาเปรียบเทียบการเกิดการหดตัวของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้พบว่าค่าการหดตัวของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่ต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่

ได้ และจากการศึกษารูปแบบการหดตัวของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองขณะเกิดพอลิเมอไรเซชันพบว่า มีรูปแบบการหดตัวที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งก้อน โดยพบว่าบริเวณรอบนอกของชิ้นเรซินคอมโพสิตจะเกิดการหดตัวและมีความเครียดจากการหดตัวมากกว่าด้านใน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (25) ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจมีความสอดคล้องกับการใช้งานในทางคลินิก คือ การมีความเครียดเกิดขึ้นมากบริเวณรอยต่อของเรซินคอมโพสิตและฟัน นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการหดตัวเมื่อเกิดพอลิเมอไรเซชันถึงร้อยละ 4.40 (26) ซึ่งมีความมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมที่มีการหดตัวเพียงร้อยละ 1.8-3.1 (27) ดังนั้นการบูรณะโพรงฟันโดยใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมเพื่อหวังผลในการช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นจึงควรใช้อย่างระมัดระวัง และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก

#### • การยึดติดระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและผิวฟัน

โดยทั่วไปแล้วหลักในการยึดติดระหว่างฟันและเรซินคอมโพสิต คือ การแลกเปลี่ยนสารอินทรีย์ของฟันกับเรซิน โดยจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ การดึงเอาแคลเซียมและฟอสเฟตออกจากผิวฟันทำให้เกิดเป็นรูพรุนระดับจุลภาค (microporosity) จำนวนมากที่บริเวณเคลือบฟัน และเนื้อฟันที่สัมผัสกับวัสดุ จากนั้นจะเกิดการแทรกซึมของเรซินเข้าสู่รูพรุนเล็กๆ เหล่านั้น และเมื่อทำการพอลิเมอไรเซชันจะเกิดการยึดติดเชิงกลในที่สุด คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองก็ใช้หลักการดังกล่าวในการยึดติดกับฟันเช่นเดียวกัน แต่มีส่วนแตกต่างกัน คือ ในคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกระบวนการปรับสภาพผิวฟันจะเกิดไปพร้อมๆ กับการแทรกซึมของเรซิน แล้วเกิดเป็นการเกิดการยึดติดเชิงกล (18)

กลไกหลักในการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง คือ การที่ส่วนของมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดช่วยปรับสภาพผิวฟัน โดยก่อให้เกิดการละลายแร่ธาตุ (demineralization) ของฟัน ส่งผลให้เรซินคอมโพสิตสามารถเกิดการแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของฟันส่วนที่ถูกละลายแร่ธาตุ ก่อให้เกิดเป็นการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical retention) ของฟันและเรซินคอมโพสิต ร่วมกับความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์กับแคลเซียมของฟัน (28)

โดยจะมีความแตกต่างกับสารยึดติดระบบโททอลเอทซ์ คือ จะไม่มีการสลายของไฮดรอกซีอะพาไทต์และเหลือเป็นร่างแหคอลลาเจนที่ไม่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ปกคลุม แต่จะพบลักษณะของคอลลาเจนที่ยังคงมีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ล้อมรอบอยู่ ซึ่งการที่ยังมีไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลืออยู่ จะเกิดผลดีคือส่งเสริมให้ฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มคาร์บอกซิลิกหรือกลุ่มฟอสฟอริก สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมในไฮดรอกซีอะพาไทต์ของฟันได้

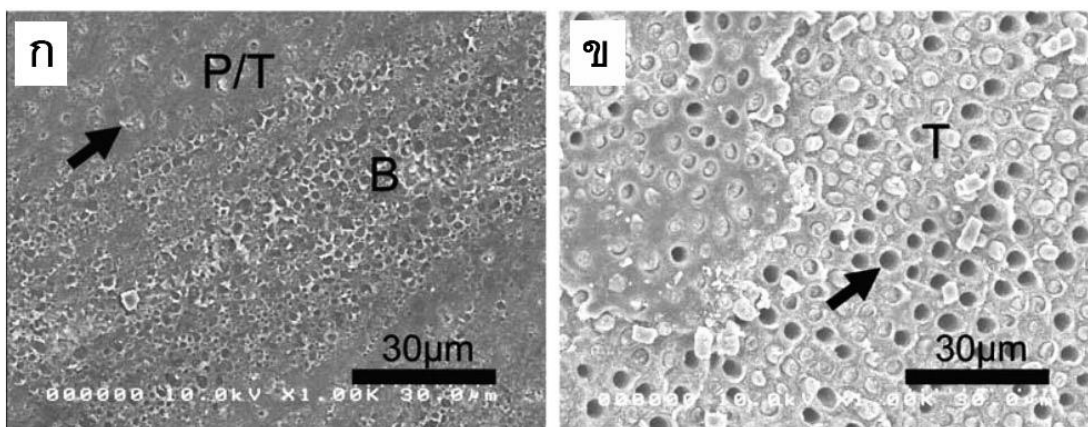
### 1. การยึดติดกับเคลือบฟัน

จากการศึกษาการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเคลือบฟันโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบลักษณะรอยต่อที่แข็งแรง และมีบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาขนาดเล็ก ประกอบด้วยไมโครแท็ก (microtags) เป็นส่วนมาก พบการละลายแร่ธาตุของไฮดรอกซีอะพาไทต์มีความกว้างประมาณ 1 ไมครอน แต่มีขอบเขตของการละลายแร่ธาตุไม่ชัดเจน จากการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่พบการรั่วซึมของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) (10)

## 2. การยึดติดกับเนื้อฟัน

จากการศึกษาลักษณะเนื้อฟันบริเวณที่เกิดปฏิกิริยากับคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง พบว่าคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ออกได้อย่างสมบูรณ์ โดยในบางตำแหน่งจะพบการละลายแร่ธาตุบริเวณพื้นผิวส่วนบนของเนื้อฟัน พบลักษณะท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่า ปราศจากการอุดตันของสเมียร์พลัก และพบการเปิดเผยโครงข่ายคอลลาเจนรอบๆท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่าเหล่านั้น แต่ในบางตำแหน่งกลับพบชั้นสเมียร์ปกคลุมอยู่บนผิวเนื้อฟัน ร่วมกับการมีสเมียร์พลักอุดตันท่อเนื้อฟันอยู่ และไม่พบการละลายแร่ธาตุของเนื้อฟันได้ชั้นสเมียร์ (28, 29)

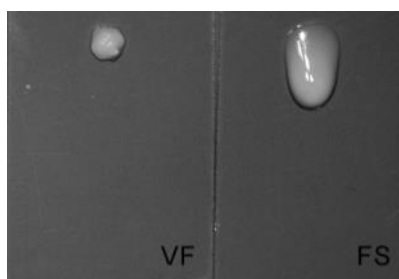
ชั้นที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเนื้อฟันมีลักษณะเป็นชั้นสเมียร์ที่ถูกเรซินแทรกซึม โดยพบบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาอยู่ในระดับพื้นผิวเท่านั้นไม่พบการแทรกซึมของเรซินเข้าสู่โครงข่ายคอลลาเจน เมื่อพิจารณาบริเวณท่อเนื้อฟันจะพบว่าบางตำแหน่งมีเรซินแทรกซึมลงสู่ท่อเนื้อฟัน ในขณะที่บางตำแหน่งมีลักษณะเรซินแทรกซึมลงสู่สเมียร์พลัก ในทางกลับกันพบว่าบางตำแหน่งแสดงลักษณะท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่าปราศจากการแทรกซึมของเรซินลงสู่ท่อเนื้อฟัน (10, 28, 29) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรอยแตกของเนื้อพื้นและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองภายหลังการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึง ก.) แสดงลักษณะท่อเนื้อพื้นที่ถูกอุดตันด้วยสเมียร์พลากร์หรือเรซินแท้ (P/T และลูกศร) ร่วมกับบริเวณของเนื้อพื้นที่ถูกปกคลุมด้วยฟองอากาศ (B) ข.) แสดงลักษณะท่อเนื้อพื้นที่ว่างเปล่า (ลูกศร) และท่อเนื้อพื้นที่มีเรซินแท้ปกคลุมอยู่ (T) (Fu et al., 2013) (28)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจากแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุแต่ที่ส่งผลต่อการยึดติดมากที่สุดน่าจะเป็นองค์ประกอบและชนิดของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีองค์ประกอบเฉพาะของแต่ละบริษัท (30) นอกจากนี้ในการศึกษาที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการไหลและปริมาณวัสดุอัดแทรก พบว่าในวัสดุที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากจะมีความหนืดมาก ส่งผลให้ความสามารถในการแทรกซึมสู่โครงสร้างของพื้นต่ำ ความสามารถในการไหลแผ่ไปบนผิวพื้นไม่ดี ทำให้ความสำเร็จในการยึดติดลดลง (31) ดังนั้นการที่คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะประสบความสำเร็จในการยึดติดกับพื้นนั้น ควรจะมีส่วนประกอบของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับพื้นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากตัววัสดุมีความหนืดมากดังแสดงในรูปที่ 2 (30) ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมสู่โครงสร้างของพื้นได้ลึก

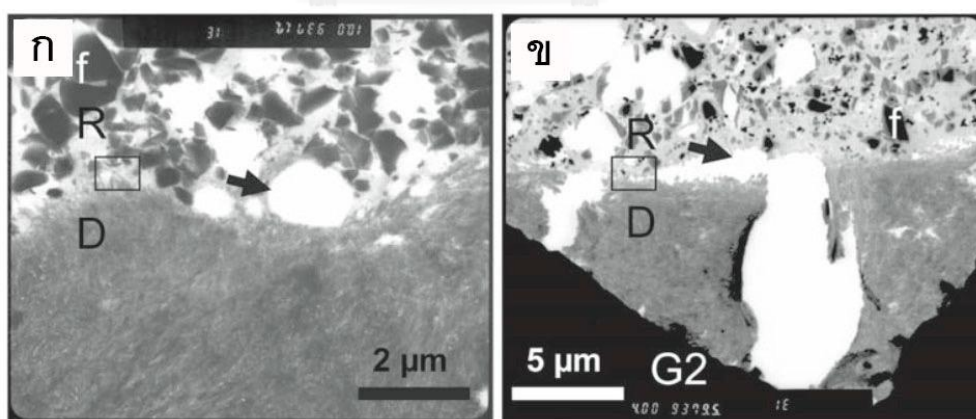




รูปที่ 2 แสดงความสามารถในการไหลของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเอง ภาพด้านซ้ายแสดงความสามารถในการไหลแผ่ของ Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA) พบว่าไม่สามารถไหลแผ่ได้เลย และภาพด้านขวาแสดงความสามารถในการไหลแผ่ของ Fusio Liquid Dentin (Pentron Clinical, Orange, CA, USA) พบว่าสามารถไหลแผ่ได้เล็กน้อย (Eliades et al., 2013) (30)

จากการศึกษาความล้มเหลวของการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเอง และเนื้อฟันโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเป็นความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและฟัน (adhesive failure) มากถึงร้อยละ 81-100 (28, 29, 32) และเมื่อพิจารณาบริเวณรอยต่อของเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเองพบช่องว่างขนาดใหญ่ หรือฟองอากาศจำนวนมากที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเอง พบเรซินแท้ก็ถูกดึงออกจากท่อเนื้อฟัน และพบฟองอากาศอยู่ในชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเอง (28, 29, 32) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับลักษณะที่พบในเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (33-35) นอกจากนี้ในการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาค พบลักษณะการแทรกซึมของซิลเวอร์ไนเตรทเป็นจุดๆภายในชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยี้ดได้ด้วยตัวเอง (10) การที่พบลักษณะเช่นนี้อาจเกิดได้จากหลาย

สาเหตุ ประการแรก คือ การมีน้ำหลงเหลืออยู่บนผิวพื้นภายหลังขั้นตอนการเตรียมโพรงฟัน ประการที่สอง คือ คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่สามารถแทรกซึมลงสู่เนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีความหนืดมาก และประการสุดท้าย คือ การเกิดออสโมซิสของน้ำจากท่อเนื้อฟันผ่านชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองชั้นแรกที่ประพติดกันเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) เข้าสู่คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองชั้นถัดไป (28, 29) ซึ่งบริเวณที่คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการแทรกซึมของน้ำเหล่านี้ จะกลายเป็นจุดอ่อนของการยึดติดระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและผิวฟัน เพิ่มโอกาสในการเกิดการเสื่อมสภาพของการยึดติด จนเกิดการรั่วซึมบริเวณขอบของวัสดุบูรณะกลายเป็นทางผ่านให้ของเหลวและไมโครออบแก๊สซึมจากสภาพแวดล้อมในช่องปากเข้าสู่วัสดุบูรณะและตัวฟัน จนเกิดความล้มเหลวของวัสดุบูรณะในที่สุด จึงควรทำการศึกษาถึงวิธีการป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวต่อไป



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเกิดฟองอากาศในชั้นคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (ลูกศรในรูป ก) และการเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเนื้อฟัน (ลูกศรในรูป ข) (Fu et al., 2013) (28)

การศึกษาผลของการปรับสภาพผิวพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนทำการบูรณะต่อการรั้วซีมระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง พบว่าไม่ว่าจะทำการปรับสภาพผิวเคลือบพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง หรือไม่จะมีการรั้วซีมระดับจุลภาคไม่ต่างกัน แต่หากทำการปรับสภาพผิวเนื้อพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง จะพบว่ามี การรั้วซีมระดับจุลภาคมากกว่าการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเพียงอย่างเดียว (9) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีความเหลวไม่เพียงพอต่อการแทรกซึมสู่ร่างแหคอลลาเจนที่ถูกรดฟอสฟอริกปรับสภาพได้ ยิ่งไปกว่านั้นการปรับสภาพผิวเนื้อพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกอาจเป็นการกำจัดองค์ประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดการยึดติดทางเคมีกับมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการปรับสภาพผิวเนื้อพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- **ค่ากำลังแรงยึด (Bond strength) และความต้านทานการแตกหัก (Fracture toughness)**

การทดสอบความแข็งแรงพันธะในห้องปฏิบัติการถือเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือและใช้กันมาเป็นเวลานาน สามารถนำผลที่ได้ไปใช้ทำนายพฤติกรรมการยึดติดของวัสดุบูรณะกับผิวฟันในการใช้งานทางคลินิกได้ การทดสอบความต้านทานการแตกหักสามารถออกแบบให้เกิดความเค้นบริเวณรอยต่อของผิวฟันและวัสดุบูรณะจนทำให้เกิดการแยกออกจากกันของวัสดุบูรณะและฟันได้ จึงอาจจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพการยึดติดของวัสดุบูรณะและผิวฟัน แต่เป็นวิธีการทดสอบที่ยังไม่ได้รับความนิยมนัก

จากการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) พบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีค่ากำลังแรงยึดอยู่ในช่วง 3.4-17.7 เมกะปาสคาล (28, 29, 32) และมีบางการศึกษาพบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีค่ากำลังแรงยึดอยู่สูงถึง 25.2 เมกะปาสคาล (28) ซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับการบูรณะโดยใช้สารยึดติดระบบออลอินวันซึ่งมีค่ากำลังแรงยึดเฉลี่ย 24 เมกะปาสคาล (18) การทดสอบความต้านทานการแตกหักของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองพบว่ามีค่าความต้านทานการแตกหัก (0.44 เมกะปาสคาล) ต่ำกว่าสารยึดติดระบบโททอลเอทซ์ (1.76 เมกะปาสคาล) เซลฟ์เอทซ์ (1.71 เมกะปาสคาล) และออลอินวัน (0.75-1.12 เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการแตกหักทั้งหมดเกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับฟัน (32)

#### • การใช้งานทางคลินิก

เริ่มแรกวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้บูรณะโพรงฟันคลาสไฟว์ แต่ในปัจจุบันมีการนำมาใช้งานหลากหลาย เช่น ใช้บูรณะรอยโรคฟันผุขนาดเล็ก เคลือบหลุมร่องฟัน ใช้เป็นวัสดุรองฟัน (liners) ใช้ยึดครอบฟัน (36) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการแก้ไขผิวหน้า (resurfacing) ของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตหรือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือใช้ในการเติมด้านประชิดของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีการสึกไปได้อีกด้วย (37) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้จะสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลายแต่ก็มีข้อควรระวังในการนำมาใช้บูรณะในบริเวณที่รับแรงมาก เช่น บริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันหลัง เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ยังคงด้อยกว่าเรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิม

การนำคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมาใช้งานในทางคลินิกมีความคล้ายคลึงกับการใช้งานของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิม โดยทางบริษัทผู้ผลิตมีคำแนะนำให้ใช้ในการบูรณะโพรงฟันคลาสวัน คลาสทู และคลาสไฟร์ที่มีขนาดเล็ก ใช้เป็นวัสดุรองพื้นในการอุดโพรงฟันคลาสวัน และโพรงฟันคลาสทูขนาดใหญ่ ใช้เคลือบหลุมร่องฟัน โดยมีการศึกษาที่นำคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมาใช้เคลือบหลุมร่องฟันโดยทำการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยการกัดด้วยกรดก่อน จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength) และการรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage) ของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและสารเคลือบหลุมร่องฟัน พบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงกว่าสารเคลือบหลุมร่องฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน (30, 38) นอกจากนี้ทางผู้ผลิตยังแนะนำว่าคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองสามารถใช้ซ่อมแซมการแตกหักของเรซินคอมโพสิตและเดนทัลพอร์ซเลนได้อีกด้วย

## ระบบสารยึดติด

ระบบสารยึดติดที่มีใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มโททอลเอทช์ หรือเอทช์แอนด์รีนซ์ (etch and rinse) ซึ่งมีการกำจัดชั้นสเมียร์ออกทั้งหมดโดยใช้กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 30-40 และกลุ่มที่มุ่งเน้นการปรับสภาพชั้นสเมียร์ให้มีความเหมาะสมกับการยึดติดโดยสารมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด และรวมเอาชั้นสเมียร์ดังกล่าวเข้าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการยึดติด (39) โดยแต่ละกลุ่มยังสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามขั้นตอนการใช้งาน ดังต่อไปนี้

- สารยึดติดระบบโททอลเอทช์แบบ 3 ขั้นตอน เริ่มจากการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรด ฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 จากนั้นใช้สารไพรเมอร์เพื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟัน ที่มีความชอบน้ำให้กลายเป็นไม่ชอบน้ำเพื่อให้เข้ากันได้กับสารแอดฮีซีฟเรซินซึ่งถือเป็น ขั้นตอนสุดท้ายของการใช้สารยึดติดในระบบนี้ (18)
- สารยึดติดระบบโททอลเอทช์แบบ 2 ขั้นตอน เริ่มจากการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรด ฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 เช่นกัน แต่จะรวมขั้นตอนการใช้สารไพรเมอร์ และสารแอดฮีซีฟเรซินไว้ด้วยกัน (18)
- สารยึดติดเซลฟ์เอทช์แบบ 2 ขั้นตอน เริ่มจากการปรับสภาพผิวฟันด้วยสารไพรเมอร์ที่มี ส่วนประกอบของสารมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเซลฟ์เอทชิงไพรเมอร์ (self-etching primer) จากนั้นจึงใช้สารแอดฮีซีฟเรซิน (18, 40)
- สารยึดติดเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียว หรือออลอินวัน เป็นการรวมเอาขั้นตอนการปรับ สภาพผิวฟัน การใช้ไพรเมอร์ และการใช้สารแอดฮีซีฟเรซินมาไว้ในขั้นตอนเดียว (18, 40)

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะสารยึดติดระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ชั้นตอน เนื่องจากเป็นมาตรฐานทองคำ (gold standard) ของสารยึดติดในปัจจุบัน (4, 41, 42) และสารยึดติดระบบออลอินวันซึ่งเป็นสารยึดติดที่มีขั้นตอนการทำงานน้อยที่สุดคล้ายคลึงกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง จึงขอกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะสารยึดติด 2 ระบบดังกล่าวเท่านั้น

### สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ชั้นตอน

สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ชั้นตอนเป็นการแยกขั้นตอนการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกออกจากการใช้สารไพรเมอร์และสารแอดฮีซีฟเรซิน

#### • การยึดติดกับผิวฟัน

การยึดติดกับผิวเคลือบฟันเกิดจากสารแอดฮีซีฟเรซินแทรกซึมลงสู่หลุมเล็กๆบริเวณพื้นผิวของแท่งไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เกิดจากการถูกปรับสภาพโดยกรดฟอสฟอริก เกิดเป็นแท่งเรซินแท้กขึ้นภายในหลุมเล็กๆเหล่านั้น ก่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลระหว่างผิวเคลือบฟันและสารแอดฮีซีฟเรซินในที่สุด (18)

การยึดติดกับเนื้อฟันเกิดจากการกระบวนการไฮบริดเซชัน (hybridization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารแอดฮีซีฟเรซินแทรกซึมลงสู่โครงข่ายคอลลาเจนที่ถูกปรับสภาพโดยกรดฟอสฟอริก โดยไม่พบไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลืออยู่ในโครงข่ายคอลลาเจนเหล่านั้น และไม่พบชั้นสเมียร์ปกคลุมผิวเนื้อฟันหลังการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก (18, 39)

### • ประสิทธิภาพในการยึดติดของสารยึดติดโททอลเอทซ์

สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์เป็นระบบที่มีการใช้งานมายาวนาน มีการศึกษาทางห้องปฏิบัติการจำนวนมากที่แสดงถึงประสิทธิภาพการยึดติดที่สูงกว่าสารยึดติดในระบบอื่นๆ ทั้งค่ากำลังการยึดติดเมื่อวัดหลังจากทำการยึดติดทันที หรือผ่านการจำลองการใช้งานแบบต่างๆ และค่าการรั่วซึมระดับจุลภาค รวมทั้งมีการศึกษาทางคลินิกที่แสดงผลสำเร็จของการใช้งานทางคลินิกในระยะยาวอีกด้วย (4, 18, 42)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์จะมีผลการศึกษาที่ดี แต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการใช้งาน เช่น การใช้งานมีความยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากมีหลายขั้นตอนการทำงาน และเพื่อให้เกิดการยึดติดที่สมบูรณ์จำเป็นต้องทำการยึดติดบนพื้นผิวเนื้อฟันที่ไม่แห้งสนิทเนื่องจากจะก่อให้เกิดการฟุ้งตัวของคอลลาเจนส่งผลให้เกิดกระบวนการไฮบริโดเซชันไม่สมบูรณ์ (43) และอาจพบปัญหาจากการที่สารแอตซีฟเรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงข่ายคอลลาเจนที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกได้ทั้งหมด เกิดเป็นคอลลาเจนที่ว่างเปล่าไม่เกิดการไฮบริโดเซชัน (18) ซึ่งทำให้กระบวนการยึดติดไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้จากการศึกษาองค์ประกอบของชั้นไฮบริดเมื่อผ่านการใช้งานพบว่ามีการเสื่อมสลายของคอลลาเจนเนื่องจากการถูกทำลายโดยเอนไซม์เมทริกซ์เมทัลโลโปรตีเนส (matrix metalloprotenase) ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (43)

ถึงแม้ว่าการใช้สารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง แต่สารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ขั้นตอนยังคงเป็นมาตรฐานทองคำของสารยึดติดในปัจจุบัน (4, 41, 42)



## สารยึดติดระบบออลอินวัน

### • องค์ประกอบของสารยึดติดระบบออลอินวัน

สารยึดติดระบบออลอินวันมีองค์ประกอบหลักคือเรซินมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดและประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันกลุ่มคาร์บอกซิลิก (carboxylic base) หรือกลุ่มฟอสฟอริก (phosphoric base) มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ มอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ วัสดุอุดแทรก น้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์อยู่รวมกัน (44) น้ำมีความสำคัญต่อสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอทซ์มาก เนื่องจากจะช่วยคงความเป็นกรดของสารยึดติดทำให้สามารถปรับสภาพผิวฟันหรือชั้นสเมียร์ได้ (45) นอกจากนี้ยังมีการเติมสารฮีมา (HEMA : 2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งเป็นสารเมทาไครเลตมอนอเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและมีความชอบน้ำสูง เพื่อช่วยให้มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำสามารถอยู่รวมกันได้ป้องกันการเกิดการแยกชั้นของสารมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (phase separation) และช่วยเพิ่มความสามารถในการฉาบตัวบนผิวฟัน (wetting) รวมทั้งการแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันของสารยึดติดได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการเติมสารฮีมาลงในสารยึดติดมีข้อด้อยหลายประการคืออาจก่อให้เกิดการแพ้ได้ และส่งผลต่อความสามารถในการพอลิเมอไรซ์ของสารยึดติด ทำให้ชั้นของสารยึดติดที่ได้มีคุณสมบัติทางกลต่ำ เกิดการดูดซึมน้ำ การบวมน้ำ และการติดสีเพิ่มขึ้น (46) ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาสารยึดติดระบบออลอินวันที่ไม่มีส่วนประกอบของสารฮีมา (HEMA-free) ขึ้นมาเพื่อหวังจะกำจัดข้อด้อยของสารฮีมาและช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับผิวฟัน แต่พบว่าสารยึดติดดังกล่าวเกิดปัญหาการแยกชั้นของสารมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ซึ่งส่งผลเสียต่อการยึดติดกับผิวฟัน (44, 45)

### • การยึดติดกับผิวฟัน

กลไกการยึดติดกับผิวฟันของสารยึดติดระบบออลอินวันเกิดจากส่วนของมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดทำการปรับสภาพผิวเคลือบฟันให้เกิดเป็นรูพรุนระดับจุลภาค และปรับสภาพชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมเนื้อฟัน รวมถึงเนื้อฟันที่ระดับผิวให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการยึดติด โดยการปรับสภาพฟันดังกล่าวจะเกิดไปพร้อมๆกับการแทรกซึมของสารเรซินเข้าสู่ผิวเคลือบฟัน ชั้นสเมียร์ และเนื้อฟันดังกล่าว เมื่อทำการฉายแสงจึงเกิดเป็นการยึดติดเชิงกลในระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) ขึ้น (18)

การยึดติดกับผิวเคลือบฟันพบการละลายแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันเฉพาะบริเวณพื้นผิว พบการละลายแท่งไฮดรอกซีอะพาไทต์เพียงเล็กน้อย ร่วมกับพบชั้นสเมียร์ปกคลุมบริเวณผิวเคลือบฟันบางส่วน พบการเกิดเรซินแท็ก (resin tags) น้อยมาก (47, 48)

การยึดติดกับส่วนเนื้อฟันพบชั้นไฮบริดที่มีความหนาเพียงไม่กี่ร้อยนาโนเมตร (47, 48) โดยชั้นไฮบริดดังกล่าวมีลักษณะเป็นเรซินแทรกซึมอยู่ในชั้นสเมียร์ และพบไฮดรอกซีอะพาไทต์ในปริมาณมาก พบลักษณะของท่อเนื้อฟันที่ถูกปกคลุมด้วยสเมียร์พลั๊กมากกว่าจะปกคลุมด้วยเรซินแท็ก (47, 49) จึงกล่าวได้ว่าสารยึดติดออลอินวันไม่สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้ และไม่ก่อให้เกิดการละลายแร่ธาตุของเนื้อฟัน

### • ประสิทธิภาพในการยึดติดของสารยึดติดออลอินวัน

ความสามารถในการยึดติดของสารยึดติดออลอินวันขึ้นอยู่กับความสามารถของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่ใช้ โดยพบว่า 10-เอ็มดีพี (10-MDP, 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) มีความสามารถในการเกิดการยึดติดทางเคมีกับแคลเซียมในผิวฟันมากกว่า

ฟังก์ชันนำลมนอนเมอร์ตัวอื่นๆ เช่น โฟร์เมต (4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid; 4-MET) หรือ ฟีนิล-พี (Phenyl-P: 2-(methacryloyloxyethyl)phenyl hydrogenphosphate) (16)

จากการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่าค่ากำลังการยึดติดของสารยึดติดออลอินวันมีค่าต่ำกว่า (47, 49, 50) และมีการรั่วซึมระดับจุลภาคมากกว่าสารยึดติดที่มีหลายชั้นตอนไม่ว่าจะเป็นสารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์หรือเซลฟ์เอทซ์ เช่นเดียวกับการศึกษาทางคลินิกที่พบว่าการยึดติดของสารยึดติดในระบบออลอินวันด้อยกว่าสารยึดติดที่มีหลายชั้นตอน โดยเฉพาะการยึดติดกับผิวเคลือบฟันจึงมีการแนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพบริเวณผิวเคลือบฟันก่อนการใช้สารยึดติดประเภทออลอินวัน เนื่องจากพบว่าสามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค และลดการเกิดการรั่วซึมบริเวณขอบของสารยึดติดประเภทออลอินวันได้ (40, 47, 49, 50)

ข้อด้อยที่เห็นเด่นชัดของสารยึดติดระบบออลอินวันคือค่ากำลังแรงยึดเมื่อทำการทดสอบทันทีที่ภายหลังทำการยึดติดมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารยึดติดที่มีหลายชั้นตอน เมื่อผ่านกระบวนการจำลองการใช้งานใดๆพบว่าประสิทธิภาพในการยึดติดจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้งานทางคลินิกของสารยึดติดระบบออลอินวันที่พบว่าด้อยกว่าสารยึดติดที่มีหลายชั้นตอน โดยสาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากสารยึดติดระบบออลอินวันซึ่งมีความชอบน้ำสูง ประพฤติตนเป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำให้เกิดการดูดน้ำผ่านชั้นของสารยึดติดเกิดการรั่วซึมระดับนาโน (nanoleakage) การมีปริมาณตัวทำละลายสูงทำให้ไม่สามารถกำจัดตัวทำละลายได้หมด ก่อให้เกิดชั้นของสารยึดติดที่มีความหนาไม่เหมาะสมหรือมีฟองอากาศภายในชั้นของสารยึดติด การเกิดการแยกชั้นของสารมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ และการเกิดปฏิกริยากันระหว่างองค์ประกอบที่มีความเป็นกรดของสารยึดติดกับสารเริ่มปฏิกริยาพอลิเมอร์ (initiators) ของ

คอมพิวเตอร์ นอกจากนี้การรวมองค์ประกอบหลายๆอย่างไว้ด้วยกันอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องอายุ  
การเก็บรักษาได้ (4, 41)



## การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค

ปัจจุบันมีการนำการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารยึดติดอย่างกว้างขวาง (6) โดยถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนข้อจำกัดของการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคที่ต้องใช้ความชำนาญและใช้เวลาในการเตรียมชิ้นงานมาก การวัดค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติดที่มีค่าต่ำกว่า 5 เมกะปาสคาลทำได้ยาก และมีโอกาสเกิดความล้มเหลวก่อนทำการทดสอบกำลังแรงยึดสูง (5) การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคเป็นการให้แรงกระทำต่อแท่งเรซินคอมโพสิตที่ยึดติดกับผิวฟันด้วยใบมีดที่ต่ออยู่กับเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (6, 51, 52) ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคสามารถคำนวณได้จากนำค่าแรงดึงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดติด (หน่วยเป็นนิวตัน) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่เกิดการยึดติดทั้งหมด (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร) (53) การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมีข้อดีหลายประการ คือ วิธีการทดสอบไม่ยุ่งยากสามารถทำได้ง่าย สามารถเตรียมชิ้นงานตัวอย่างได้หลายชิ้นงานต่อฟันหนึ่งซี่ สามารถระบุตำแหน่งของเคลือบฟันหรือเนื้อฟันที่นำมาทดสอบได้เนื่องจากรูปร่างของฟันไม่เสียไปจากการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง (6, 54-56) ไม่มีแรงใดๆกระทำต่อชิ้นงานตัวอย่างก่อนทำการทดสอบนอกจากแรงจากการนำแม่แบบออกจากแท่งเรซินคอมโพสิต (54) พบการเกิดความล้มเหลวบริเวณรอยต่อเป็นแบบความล้มเหลวของสารยึดติดมากกว่าความล้มเหลวในชั้นเนื้อฟันหรือเรซินคอมโพสิตหรือความล้มเหลวแบบผสม (51, 57, 58) และเนื่องจากชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้มีขนาดเล็กจึงส่งผลให้ค่ากำลังการยึดติดที่ได้มีค่าสูงขึ้น (6, 51, 55, 59, 60) และสามารถนำชิ้นงานดังกล่าวไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งแบบส่องกราดและแบบส่องผ่านได้ แต่มีข้อด้อย คือ แรงที่กระทำต่อรอยต่อระหว่างวัสดุและฟันไม่สม่ำเสมอ และแรงที่ก่อให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานตัวอย่างมักจะมีแรงยึดแบบดึง

ร่วมด้วยเสมอ (5, 56, 58) นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสารยึดติดที่มีประสิทธิภาพสูงได้ (53, 57) และมีข้อควรคำนึงถึงที่สำคัญ คือ ค่ากำลังแรงยึดที่ได้มีความหลากหลายแตกต่างกันตามสภาวะในการทดสอบ ทำให้ไม่สามารถนำค่ากำลังแรงยึดจากต่างการศึกษา มาเปรียบเทียบกันได้ (5, 56)

### • ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค

#### 1. ขนาดของชิ้นงานตัวอย่าง

ขนาดของชิ้นงานตัวอย่างส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคโดยพบว่า หากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเล็กค่ากำลังแรงยึดจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากในพื้นที่ขนาดเล็กโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องภายในชิ้นงานจะลดลง โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารยึดติดและเนื้อพื้นที่มีขนาดเล็กจะลดโอกาสในการเกิดฟองอากาศ การปนเปื้อนของน้ำ หรือลดข้อบกพร่องที่เกิดจากการแยกชั้นของสารยึดติดได้ ส่งผลให้เกิดแรงเค้นที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าถ้าชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเล็กมากโอกาสในการเกิดความล้มเหลวจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปทดสอบจะยิ่งมาก (61) ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้ใช้พื้นที่ทำการทดสอบที่มีขนาดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตรเช่นเดียวกับที่องค์การมาตรฐานสากลหรือไอเอสโอ (The International Organization for Standardization : ISO) กำหนดไว้ (62-64) แต่ในการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ จะถูกกำหนดด้วยขนาดของท่อใส่ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 0.5 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยม และอาจกล่าวได้ว่าเป็นการกำหนดพื้นที่การทดสอบที่เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค

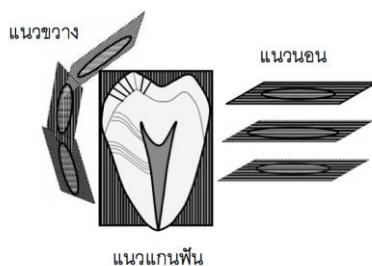
ความสูงของแท่งเรซินคอมโพสิตที่ใช้ทำการทดสอบส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค โดยพบว่าเมื่อความสูงของแท่งเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดแรงเค้นแบบดึงต่องานตัวอย่างเพิ่มขึ้น และเกิดการโค้งงอของแท่งเรซินคอมโพสิตได้ ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้ลดความสูงของแท่งเรซินคอมโพสิตลงเพื่อก่อให้เกิดแรงเค้นแบบเฉือนสูงสุด และเกิดแรงเค้นแบบดึงต่ำสุด (6) ปัจจุบันยังคงไม่มีข้อสรุปถึงความสูงที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค แต่พบว่าการศึกษาส่วนมากนิยมใช้ความสูงของแท่งเรซินคอมโพสิตอยู่ในช่วง 0.5-1 มิลลิเมตร (52, 55, 57, 59, 60, 65, 66)

นอกเหนือจากขนาดพื้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารยึดติดและเนื้อฟัน และความสูงของแท่งเรซินคอมโพสิตจะส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคแล้ว การมีสารยึดติดส่วนเกินในบริเวณผิวฟันรอบแท่งเรซินคอมโพสิต (adhesive flash) ยังส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย จึงมีการแนะนำว่าในขั้นตอนการทาสารยึดติดควรมีการควบคุมไม่ให้มีสารยึดติดส่วนเกิน (53)

## 2. ตำแหน่งของผิวฟันที่ใช้ทำการทดสอบ

ตำแหน่งของผิวฟันที่ใช้ทำการทดสอบส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคโดยพบว่าเนื้อฟันบริเวณที่อยู่ใกล้กับผิวเคลือบฟันจะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมากกว่าเนื้อฟันที่อยู่ใกล้กับบริเวณพื้นของโพรงประสาทฟัน (floor of pulp chamber) (60) และบริเวณรากฟัน (6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงมีการแนะนำให้ใช้เนื้อฟันบริเวณที่อยู่ใกล้กับผิวเคลือบฟันหรือเนื้อฟันในบริเวณกึ่งกลางตัวฟัน (middle 1/3) ในการทดสอบค่ากำลังแรงยึด

แนวในการตัดฟันตัวอย่างไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค โดยพบว่าไม่ว่าจะตัดฟันในแนวนอน แนวขวาง หรือในแนวแกนฟันดังรูปที่ 4 ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคก็ไม่แตกต่างกัน (6)



รูปที่ 4 แสดงแนวในการตัดฟันตัวอย่าง (McDonough et al., 2002) (6)

### 3. ลักษณะของจุดกำเนิดแรง (active point)

ผลของลักษณะของจุดกำเนิดแรงต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมีความแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา Muñoz และคณะพบว่าการใช้จุดกำเนิดแรงแบบใบมีดจะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมากกว่าการใช้ลวด เนื่องจากขณะทำการทดสอบเมื่อมีแรงมากกระทำต่อลวด จะทำให้ลวดมีความตึงจนอาจเกิดการเลื่อนหลุดออกจากบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตได้ ส่งผลให้เกิดการโค้งงอและเกิดแรงเค้นแบบดึงที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตเกิดเป็นรอยร้าวและเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหักในที่สุด (55) ในขณะที่ Foong และคณะพบว่าจุดกำเนิดแรงแบบลวดจะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคมากกว่าใบมีดเนื่องจากมีการกระจายแรงที่ดีกว่า แต่พบว่าการใช้ใบมีดจะก่อให้เกิดความล้มเหลวที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตมากกว่าการใช้ลวดซึ่งก่อให้เกิดความล้มเหลวแบบผสมมากกว่า (52) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ DeHoff และคณะที่แนะนำให้ใช้จุดกำเนิด



แรงแบบลวดมากกว่าแบบใบมีดเนื่องจากการกระจายแรงที่สม่ำเสมอมากกว่าถึงแม้ว่าจะมีค่ากำลังแรงยึดน้อยกว่าก็ตาม (67) นอกจากนี้การศึกษาของ Mondragon และคณะพบว่าความหนาของจุดกำเนิดแรงไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค (68)

#### 4. ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดแรงและรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต

Placido และคณะพบว่าหากระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดแรงและรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดแรงเค้นแบบดึงเพิ่มมากขึ้นในขณะที่พบแรงเค้นแบบเฉือนลดน้อยลง ดังนั้นขณะทำการทดสอบจึงควรให้จุดกำเนิดแรงอยู่ใกล้กับรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตมากที่สุด (69)

#### 5. ความเร็วในการทดสอบ

ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดความเร็วในการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการทดสอบเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันก็พบความล้มเหลวในเนื้อฟัน หรือเรซินคอมโพสิต และความล้มเหลวแบบผสมเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยอาจมีสาเหตุมาจากการใช้ความเร็วในการทดสอบสูงจะก่อให้เกิดการเบี่ยงเบนแรงเค้นจากบริเวณรอยต่อของเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตไปสู่บริเวณเนื้อฟันหรือเรซินคอมโพสิตส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการบ่งบอกความแข็งแรงของการยึดติดลดลง ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้ใช้ความเร็วในการทดสอบในช่วง 0.5-1 มิลลิเมตรต่อนาที (55, 70) ซึ่งสอดคล้องกับที่องค์การมาตรฐานสากลกำหนดความเร็วในการทดสอบไว้ที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที (64)

## 6. ปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค

### - สารตั้งต้นสำหรับการศึกษา

เพื่อให้ได้สถานะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานในช่องปากมากที่สุด สารตั้งต้นที่เหมาะสมในการนำมาใช้ศึกษาคือฟันที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่เนื่องจากการจะทำการศึกษาในฟันดังกล่าวทำได้ยากและมีความยุ่งยากซับซ้อน การศึกษาส่วนมากจึงนิยมทำในฟันที่ถูกถอนออกมาแล้วมากกว่า (71) นอกจากนี้ยังมีบางการศึกษาทำการทดสอบกับฟันวัว เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่าฟันมนุษย์ทำให้สามารถเตรียมชิ้นงานได้ง่ายกว่า โดยพบว่าค่ากำลังแรงยึดของฟันวัวไม่ต่างจากการใช้ฟันมนุษย์ที่ถูกถอนออกมาหากว่าใช้เนื้อฟันวัวในบริเวณที่ใกล้กับผิวเคลือบฟันถึงแม้ว่าค่ากำลังแรงยึดจะต่ำกว่าเล็กน้อยก็ตาม แต่หากใช้บริเวณที่ใกล้โพรงประสาทฟันค่ากำลังแรงยึดที่ได้จะต่ำกว่าฟันมนุษย์เนื่องจากท่อเนื้อฟันวัวมีขนาดใหญ่กว่าทำให้เกิดการซึมผ่านของสารมากกว่า (72)

### - การทำฟันตัวอย่างให้ปราศจากเชื้อ

ก่อนจะนำฟันที่ถูกถอนออกมาไปใช้ในการศึกษาใดๆต้องมีการกำจัดเนื้อเยื่อที่เหลืออยู่ สิ่งสกปรกและเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมากับตัวฟัน โดยนำเศษเนื้อเยื่อที่หลงเหลืออยู่ออกจากฟัน ขัดด้วยผงขัดพัมมิส (pumice) ล้างน้ำให้สะอาด แล้วจึงนำไปทำให้ปราศจากเชื้อโดยวิธีที่เหมาะสมต่อไป

สารที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อคือ สารละลายคลอรามิน (chloramine) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อได้ ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคอลลาเจนในเนื้อฟัน และมีการรั่วซึมของฟันและวัสดุบูรณะไม่ต่างจากฟันที่เพิ่งถอน สารละลายไทมอล (thymol) ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดและยับยั้งเชื้อโดยที่มีการรั่วซึมของฟันและวัสดุบูรณะไม่ต่างจากฟันที่เพิ่งถอนเช่นกัน แต่เนื่องจากไทมอลเป็นสารประเภทสารประกอบฟีนอล (phenolic

compound) จึงควรใช้งานอย่างระมัดระวังเนื่องจากอาจเกิดการยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเมทาโครเลตได้ อย่างไรก็ตามไม่แนะนำให้ใช้สารละลายฟอร์มาลีน (formalin) เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของคอลลาเจนในเนื้อฟัน ร่วมกับมีรายงานว่าค่ากำลังแรงยึดของฟันที่แช่ในฟอร์มาลีนมีค่ามากกว่าฟันที่เพิ่งถอน (73, 74)

#### - การจัดเก็บฟันตัวอย่าง

การแช่ฟันในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ คลอรามิน ไทมอล หรือฟอร์มาลีนในระยะยาว (28 - 180 วัน) อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคอลลาเจน และองค์ประกอบอื่นๆในเนื้อฟัน ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังแรงยึดคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริงได้ ในขณะที่การแช่ฟันในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงมีการแนะนำให้เก็บฟันในน้ำกลั่นในระหว่างรอทำการทดสอบ โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างการแช่ฟันไว้นาน 1 วัน 30 วัน 6 เดือนหรือ 1 ปี โดยมีการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการแช่น้ำจะส่งผลกระทบต่อฟันที่ผ่านการเตรียมเพื่อทำการทดสอบแล้วมากกว่าส่งผลกระทบต่อฟันที่ถูกถอนออกมา อย่างไรก็ตามมีการแนะนำว่าไม่ควรเก็บฟันไว้นานเกิน 6 เดือนเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของโปรตีนในเนื้อฟัน (73, 75, 76)

องค์การมาตรฐานสากลกำหนดการเลือกและการจัดการกับฟันหลังจากทำการถอนมาแล้ว โดยให้ล้างทำความสะอาดเลือดและเนื้อเยื่อที่ติดกับฟัน แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น (เกรด 3, ไอเอสไอ 3696) ทันทัน หรือแช่ฟันในสารละลายคลอรามินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ไม่เกิน 1 สัปดาห์เพื่อยับยั้งหรือกำจัดเชื้อ จากนั้นจึงนำไปแช่ในน้ำกลั่นต่อไป (64)

#### 7. การแช่น้ำร้อนสลับเย็น

การแช่น้ำร้อนสลับเย็นก่อให้เกิดการเสื่อมของการยึดติดระหว่างฟันและวัสดุบูรณะโดยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างฟันและ

วัสดุบูรณะ เกิดเป็นทางให้น้ำผ่านเข้าสู่ฟันและวัสดุบูรณะก่อให้เกิดการเสื่อมสลายขององค์ประกอบของเรซินที่เกิดการพอลิเมอไรส์ไม่สมบูรณ์ได้ และเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion, CTE) ของฟันและวัสดุบูรณะมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อเกิดการหดและขยายตัวซ้ำๆจะก่อให้เกิดแรงเค้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะก่อให้เกิดเป็นรอยแยกและกลายเป็นช่องว่างในที่สุด (3, 4, 77)

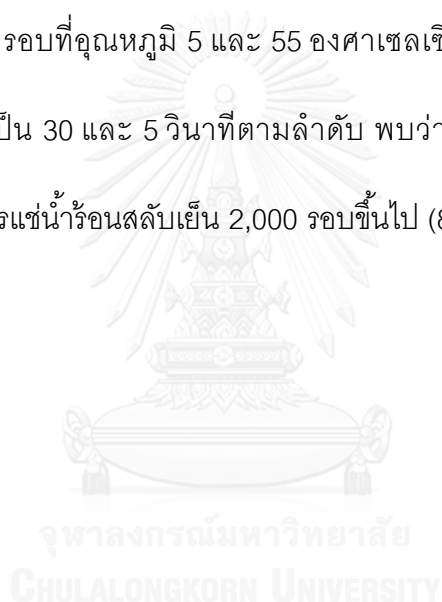
อุณหภูมิ ระยะเวลา และจำนวนรอบในการแช่ชิ้นงานเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค แต่จนถึงปัจจุบันยังคงไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานในการทดสอบอย่างชัดเจน ทำให้การกำหนดค่าต่างๆในแต่ละการศึกษามีความแตกต่างกันไป (77, 78)

โดยมากแล้วในแต่ละการศึกษาจะกำหนดระยะเวลาในการแช่ชิ้นงานขึ้นเอง ทำให้ระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกัน และไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบของระยะเวลาในการแช่ชิ้นงานต่อค่ากำลังแรงยึดอย่างชัดเจน แต่มีรายงานว่าระยะเวลาการแช่ชิ้นงานที่น้อยจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็วคล้ายกับเหตุการณ์ที่เกิดในช่องปาก (3)

ในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการองค์การมาตรฐานสากลได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการแช่น้ำร้อนสลับเย็นไว้ที่จำนวน 500 รอบในน้ำอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาที และมีระยะพักเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ 5 - 10 วินาที (64) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าการใช้จำนวนรอบในการแช่ชิ้นงาน 500 รอบตามที่องค์การมาตรฐานสากลกำหนดไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึด แต่หากเพิ่มจำนวนรอบในการแช่ชิ้นงานให้มากขึ้น จะทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลง (3, 77, 78)

ผลของการแช่น้ำร้อนสลับเย็นต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคจะแตกต่างกันไปตามระเบียบวิธีวิจัยของแต่ละการศึกษา และชนิดของสารยึดติดที่ใช้ (79) ดังตัวอย่างการศึกษา

ของ Zhang และคณะพบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟันต่อสารยึดติดระบบ เซลฟ์เอทซ์ลดลงเมื่อผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาที่แช่น้ำและระยะเวลาเคลื่อนย้ายเป็น 60 และ 6 วินาทีตามลำดับ (65) Hariri และคณะทำการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนสลับเย็นต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันและสารยึดติดระบบโททอลเอทซ์แบบสองชั้นต่อน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น และกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 100 500 2,000 และ 10,000 รอบที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาที่แช่น้ำและระยะเวลาเคลื่อนย้ายเป็น 30 และ 5 วินาทีตามลำดับ พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคลดลงเมื่อผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น 2,000 รอบขึ้นไป (80)



### บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ทำการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการวิจัยนำร่อง โดยในการวิจัยนำร่องจะใช้พื้นที่ต่อหนึ่งกลุ่ม พื้นที่ 1 ที่เตรียมขึ้นงานตัวอย่างได้ 3-4 ชิ้นงาน ดังนั้นในแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 6-8 ชิ้น

$$n = \frac{2 \sigma^2 (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

$$\sigma^2 = S_p^2 = \frac{(S_1^2 + S_2^2)}{2}$$

สูตรการคำนวณ

โดยที่	$\sigma^2$	=	ความแปรปรวนของประชากร (variance)
	S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
	$Z_{1-\alpha/2}$	=	ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ $\alpha$
	$Z_{1-\beta}$	=	ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ $\beta$
	$\mu$	=	ค่าเฉลี่ยของประชากร
กำหนด	$\alpha = 0.05$	$Z_{1-\alpha/2}$	ที่ร้อยละ 95 แทนค่า 1.96
	$\beta = 0.05$	$Z_{1-\beta}$	มี power ที่ร้อยละ 95 แทนค่า 1.96

กลุ่ม	$\mu_1$	$\mu_2$	$(\mu_1 - \mu_2)^2$	$S_1^2$	$S_2^2$	$\sigma^2$	n
VF-NT กับ FL-NT	9.297	28.841	381.968	5.775	55.941	33.746	2.714
VF-NT กับ AII-NT	9.297	13.956	19.027	5.775	4.041	7.796	12.596
FL-NT กับ AII-NT	28.841	13.956	221.563	55.941	4.041	57.962	4.557
VF-T กับ FL-T	7.639	21.579	194.323	3.469	24.105	15.521	2.454
VF-T กับ AII-T	7.639	12.226	21.04	3.469	4.387	5.663	8.271
FL-T กับ AII-T	21.579	12.226	87.479	24.105	4.387	26.299	9.196

ตารางที่ 2 แสดงการแทนค่าสำหรับคำนวณหาขนาดตัวอย่าง

หมายเหตุ VF หมายถึง กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมพิวเตอร์ชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

FL หมายถึง กลุ่มที่ทำการบูรณะโดยใช้สารยึดติดประเภทโพลีเอเธอร์

- All หมายถึง กลุ่มที่ทำการบูรณะโดยใช้สารยึดติดประเภทออลอินวัน
- NT หมายถึง กลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการจำลองการใช้งาน
- T หมายถึง กลุ่มที่ผ่านการจำลองการใช้งาน

จากการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากผลการวิจัยนำร่อง (แสดงในตารางที่ 2) พบว่าในแต่ละกลุ่มทดลองต้องใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 13 ชิ้น แต่เพื่อให้มีขนาดตัวอย่างมากเพียงพอที่จะใช้สถิติแบบพาราเมตริก ( $n \geq 30$ ) ผู้วิจัยจึงพิจารณาใช้ชิ้นงานจำนวน 30 ชิ้นต่อหนึ่งกลุ่มการทดลอง





## วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. ฟันกรามแท้ซี่ที่สามของมนุษย์
2. สารละลายไทมอลแอมซ์ร้อยละ 0.1 (ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
3. น้ำกลั่น (ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
4. วัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (Vertise Flow, Kerr, USA)
5. สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ (Optibond FL, Kerr, USA)
6. สารยึดติดประเภทออลอินวัน (Optibond all-in-one, Kerr, USA)
7. วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ (Premise Flowable, Kerr, USA)
8. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37.5 (Kerr, USA)
9. ครีมนขัด (polishing paste) (Prisma<sup>®</sup>-Gloss<sup>™</sup>, Dentsply, Japan)
10. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์
11. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5
12. สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100
13. สารเฮกซะเมทิลไดซิลลาเซน (Hexamethyldisilazane; HMDS)
14. พู่กันขนาดเล็กพู่เดี่ยว (Microbrush) สำหรับทาสารยึดติด
15. ถาดหลุมใส่สารยึดติด
16. กระดาษทรายน้ำ (Silicon carbide abrasive paper) ความละเอียด 600 800 และ 1,000 กริต (grit)
17. อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)

18. ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride; PVC)
19. ท่อไนลอน (Tygon tubing; Norton Performance Plastic Co, Cleveland, OH)

## อุปกรณ์

1. เครื่องตัดความเร็วต่ำ (Low speed cutting machine: IsoMet<sup>®</sup> 1000, Buchler, USA)
2. เครื่องขัดวัสดุทางพันธุกรรม (Polishing machine: NANO 2000, Pace Technologies, USA)
3. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Demi<sup>™</sup> LED light curing system, Kerr, USA)
4. เครื่องวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง (Radiometer: Kerr, USA)
5. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล (Digital Caliper, Mitutoyo, Japan)
6. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator: Contherm<sup>®</sup> 1200, Contherm, New Zealand)
7. เครื่องกรอบแบบเร็วและช้า รวมทั้งหัวเป่าลมและน้ำแบบ 3 ทาง (Clesta, UK)
8. เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine: EZ-S, SHIMADZU, Japan)
9. เครื่องแช่สลับน้ำร้อนน้ำเย็น (Thermo Cycling Unit: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ประเทศไทย)
10. กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (Stereomicroscope: ML 9300, MEIJI, Japan)
11. เครื่องฉาบทอง (Fine Coater, JEOL Model, JFC-1200, Japan)
12. เครื่องทำความสะอาดระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner: BRANSONIC, Germany)
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope: JSM-5410LV, JEOL, Japan)

### การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาค

การศึกษานี้ใช้ฟันกรามแท้ที่สามจำนวน 60 ซี่จากขากรรไกรบนหรือล่างของมนุษย์ โดยฟันดังกล่าวต้องมีสภาพปกติ ไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยแตกหรือร้าว ไม่มีวัสดุบูรณะ และไม่พบความผิดปกติอื่นๆที่บริเวณตัวฟันและรากฟัน รวมทั้งไม่ผ่านการรักษารากฟันมาก่อน ฟันที่ถอนแล้วจะถูกนำมาทำความสะอาดแล้วนำไปเก็บในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้อง ไม่เกิน 7 วันเพื่อกำจัดเชื้อ แล้วจึงนำไปเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำมาใช้ทดสอบไม่เกิน 6 เดือนหลังจากถอน นำฟันแต่ละซี่มาเตรียมพื้นผิวเนื้อฟันโดยตัดตัวฟันที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างด้านบดเคี้ยวและรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (60) และตัดส่วนของรากฟันออกโดยตัดที่ตำแหน่งต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร (55) โดยใช้ใบมีดกนกเพชรร่วมกับเครื่องตัดความเร็วต่ำภายใต้การหล่อด้วยน้ำ นำฟันทั้งหมดไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 40 เท่าเพื่อตรวจสอบว่าบริเวณพื้นผิวเป็นส่วนของเนื้อฟันทั้งหมด รวมถึงไม่พบรอยร้าวหรือรอยแตกหัก และไม่พบบริเวณที่มีการทะลุโพรงประสาทฟัน จากนั้นจึงนำฟันที่ได้ไปฝังในท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยอีพอกซีเรซิน โดยให้เนื้อฟันบริเวณด้านหน้าติดอยู่ในระนาบเดียวกับพื้นผิวอีพอกซีเรซิน จากนั้นจึงทำการจำลองลักษณะชั้นสเมียร์โดยการขัดเนื้อฟันบริเวณด้านหน้าตัดด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 600 กริตด้วยเครื่องขัด โดยขัดผ่านน้ำเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงทำการแบ่งฟันเป็น 3 กลุ่มกลุ่มละ 20 ซี่ตามระบบของสารยึดติดที่ใช้โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling without replacement) แล้วจึงทำการบูรณะตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (Vertise Flow)

- ล้างฟันด้วยน้ำ และเป่าลมให้แห้งเป็นเวลา 5 วินาที

- ฉีด Vertise Flow ลงบนตัวฟันเป็นชั้นบางๆ (ความหนาน้อยกว่า 0.5 มม.) จากนั้นใช้ฟู่กันถูไปมาบนผิวฟันเป็นระยะเวลา 15 - 20 วินาที ก่อนทำการฉายแสงนำท่อใส่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตรมาวางบนผิวฟัน แล้วจึงทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 20 วินาที
- ฉีดคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองให้เต็มความสูงของท่อ แล้วทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 40 วินาที

กลุ่มที่ 2 ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม (Premise Flowable)

ร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ (Optibond FL)

- ทำการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37.5 เป็นเวลา 15 วินาที ล้างน้ำ 15 วินาที เป่าลมเบาๆ 3 วินาที
- ใช้ฟู่กันทาสารไพรึมเมอร์ด้วยลักษณะถูไปมาเบาๆเป็นเวลา 15 วินาที เป่าลม 5 วินาที ภายหลังขั้นตอนนี้เนื้อฟันควรมีลักษณะเป็นมันวาว
- ใช้ฟู่กันทาสารแอดฮีซีฟเรซินให้มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ก่อนทำการฉายแสงนำท่อใส่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตร มาวางบนผิวฟัน แล้วจึงทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 20 วินาที
- ฉีดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมให้เต็มความสูงของท่อ แล้วทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 40 วินาที

กลุ่มที่ 3 ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติด

ประเภทออลอินวัน (Optibond all-in-one)

- ล้างฟันด้วยน้ำ และเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที โดยอย่าให้ฟันแห้ง

- ใช้ฟุ้งกันทาสารแอตตีซีฟเรซินชั้นแรกในลักษณะฉูไปมาเป็นระยะเวลา 20 วินาที จากนั้นจึงทาสารแอตตีซีฟเรซินชั้นที่สองด้วยลักษณะเดียวกันอีก 20 วินาที เป่าลมเบาๆและตามด้วยเป่าลมแรงปานกลางเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วินาที ก่อนทำการฉายแสงนำท่อใส่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตร มาวางบนผิวฟัน แล้วจึงทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 20 วินาที
- ฉีดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมให้เต็มความสูงของท่อ แล้วทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 40 วินาที

ในการศึกษานี้เลือกใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมบูรณะร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และออลอินวัน เนื่องจากถือเป็นวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้เช่นเดียวกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง จึงมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน และมีปริมาณสารอัดแทรกใกล้เคียงกัน ทำให้ลดการเกิดความแปรปรวนในการทดสอบได้

องค์ประกอบ ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณสารอัดแทรกของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 3

ชื่อผลิตภัณฑ์ (บริษัทผู้ผลิต)	องค์ประกอบ	pH	ปริมาณสารอัดแทรก
Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA)	GPDM, HEMA, prepolymerized filler, nano-sized ytterbium fluoride, 1 $\mu$ m barium glass filler, nano-sized colloidal silica	1.9	ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ร้อยละ 48 โดยปริมาตร
Premise Flowable (Kerr, Orange, CA, USA)	Uncured methacrylate ester monomers, inert mineral fillers, activators and	-	ร้อยละ 72.5 โดยน้ำหนัก ร้อยละ 54.6 โดยปริมาตร

	stabilizers, Bis-EMA, TEGDMA, silica nanofiller		
Optibond FL (Kerr, Orange, CA, USA)	Etching: 37.5% phosphoric acid, silica thickener Primer: HEMA, GPDM, ethanol, water Adhesive: TEGDMA, UDMA, HEMA, bis-GMA, filler, photo initiator	1.9  6.9	-
Optibond all-in-one (Kerr, Orange, CA, USA)	Acetone, ethyl alcohol, uncured methacrylate ester monomers, inert mineral fillers, ytterbium fluoride, photoinitiators, accelerators, stabilizers and water	2.5	-

ตารางที่ 3 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย

(ปรับปรุงจากข้อมูลจากคู่มือวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ (MSDS) และข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ผลิต)

ในการศึกษานี้จะแบ่งกลุ่มการศึกษาเป็น 6 กลุ่ม ใช้ปริมาณชิ้นงานตัวอย่าง 30 ชิ้นต่อกลุ่ม โดยฟัน 1 ซี่เตรียมชิ้นงานตัวอย่างได้ 3-4 ชิ้นงาน ดังนั้นในแต่ละกลุ่มจะใช้ฟันจำนวน 8-10 ซี่ ใช้เรซินคอมโพสิตสีเอ 3.5 (A3.5) ทั้งสองผลิตภัณฑ์ และทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่ความเข้มไม่ต่ำกว่า 800 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{mW/cm}^2$ ) ซึ่งได้รับการประเมินโดยเครื่องวัดพลังงานรังสีก่อนทำการฉายแสงในฟันแต่ละซี่ โดยในการฉายแสงจะวางกระบอกฉายแสงให้หน้า

ตัดกระบอกขนานกับพื้นผิวหน้าตัดของบริเวณที่ทำการฉาย และปลายกระบอกฉายแสงอยู่ห่างจากวัสดุประมาณ 1 มิลลิเมตร

จากนั้นนำพื้นตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำท่อใส่ออกโดยใช้ใบมีดกรีดออก แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมดไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 10 เท่าเพื่อตรวจสอบบริเวณรอยต่อของเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน โดยชิ้นงานที่มีฟองอากาศ ช่องว่าง หรือความผิดปกติใดๆบริเวณรอยต่อจะไม่นำมาใช้ในการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค แล้วจึงแบ่งพื้นตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเป็น 2 กลุ่มย่อย โดยกลุ่มแรกนำไปทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคทันที และอีกกลุ่มนำไปผ่านกระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ ระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยกำหนดระยะเวลาที่แช่ในแต่ละรอบเป็น 30 วินาที และใช้ระยะเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอุณหภูมิเป็น 10 วินาที ก่อนนำไปทำการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคต่อไป

### การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค

นำชิ้นงานตัวอย่างมายึดกับเครื่องทดสอบกำลังแรงยึดโดยใช้ใบมีดซึ่งมีความหนา 0.4 มิลลิเมตรอยู่ในตำแหน่งที่ขนานและอยู่ชิดกับรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันให้มากที่สุด ทำการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคที่ความเร็วทดสอบ 1 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรงยึดแบบเฉือนขณะชิ้นงานแตกหักในหน่วยนิวตัน คำนวณค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคของแต่ละชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค (เมกะปาสคาล)} = \frac{\text{ค่าแรงยึดแบบเฉือนสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่ทำการยึดติด (ตารางมิลลิเมตร)*}}$$

\* คำนวณจากพื้นที่หน้าตัดด้านในของท่อใส่

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้จุดกำเนิดแรงที่มีลักษณะเป็นไบมอดเนื่องจากให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนมากกว่าแบบลวด พบการเกิดความล้มเหลวที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้น และไม่ก่อให้เกิดแรงกระทำต่อชิ้นงานตัวอย่างก่อนการทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างทุกชิ้นจะถูกรักษาให้ขึ้นตลอดขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการทำการทดสอบ และทุกขั้นตอนในการศึกษานี้กระทำโดยบุคคลเดียวเพื่อป้องกันการเกิดความผันแปรระหว่างผู้ทำการทดสอบ

### การประเมินประเภทของความล้มเหลวที่เกิดขึ้น

นำชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมดมาตรวจดูความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 45 เท่า โดยทำการจำแนกความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเป็น 4 ประเภท (30) ดังต่อไปนี้

- ความล้มเหลวของสารยึดติด (adhesive failure) คือ พบการแตกหักระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน หรือเกิดขึ้นภายในชั้นของสารยึดติดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 75 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการยึดติด
- ความล้มเหลวในเนื้อฟัน (cohesive failure in dentin) คือ พบการแตกหักอยู่ในเนื้อฟันมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 75 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการยึดติด
- ความล้มเหลวในชั้นเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ (cohesive failure in the (self-adhesive) flowable composite) คือพบการแตกหักอยู่ในชั้นของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 75 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการยึดติด



- ความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) คือ พบการแตกทั้งหมดอยู่ระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน หรือเกิดขึ้นภายในชั้นของสารยึดติด ร่วมกับการแตกหักในชั้นของเรซินคอมโพสิต หรือเนื้อฟัน

จากนั้นทำการสุ่มเลือกตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายไปประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยแตกหักระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้านเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เตรียมฟันตัวอย่างสำหรับการประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะกลุ่มละ 1 ซี่ โดยนำฟันแต่ละซี่มาตัดตัวฟันที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างด้านบดเคี้ยวและรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (60) จากนั้นตัดให้ได้แผ่นเนื้อฟันที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรโดยใช้ใบมีดกากเพชรร่วมกับเครื่องตัด ทำการจำลองลักษณะชั้นสเมียร์โดยการขัดเนื้อฟันด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 600 กริตด้วยเครื่องขัด โดยขัดผ่านน้ำเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงทำการแบ่งกลุ่มการศึกษาและกระบวนการใช้สารยึดติด เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคยกเว้นไม่ใช้ท่อใส่เป็นแบบในการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมหรือคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง แต่จะทำการบูรณะทั่วทั้งพื้นผิวเนื้อฟันเนื่องจากข้อจำกัดของการเตรียมชิ้นงานเพื่อประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงไม่สามารถใช้ชิ้นงานที่มีพื้นที่ในการยึดติดขนาดเล็กได้ หลังจากแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง นำฟันตัวอย่างมาตัดด้วยใบมีดกากเพชรร่วมกับ

เครื่องตัดความเร็วต่ำภายใต้การหล่อด้วยน้ำ โดยตัดฟันตัวอย่างในแนวใกล้แก้ม - ใกล้ลิ้น และให้ใบมีดตั้งฉากกับพื้นผิวที่ทำการยึดติดให้ได้แผ่นชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 2 มม. สุ่มเลือกแผ่นชิ้นงานตัวอย่างมากลุ่มละ 2-3 ชิ้น นำชิ้นงานตัวอย่างไปฝังลงในอีพอกซีเรซิน ทำการขัดพื้นที่หน้าตัดด้วยกระดาษทรายนำความละเอียด 600 800 1,000 และ 1,200 กริตด้วยเครื่องขัด โดยทำการขัดผ่านน้ำแต่ละความละเอียดใช้เวลาขัด 1 นาทีจนได้พื้นผิวที่มีลักษณะเรียบและมัน จากนั้นทำการขัดด้วยครีมขัดที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 1 และ 0.4 ไมโครเมตรตามลำดับ และทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดระบบอัลตราโซนิกพร้อมกับน้ำกลั่น แล้วจึงนำมาเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะ ดังขั้นตอนต่อไปนี้ (28)

- แช่ชิ้นงานในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อละลายแคลเซียม (decalcification)
- ล้างชิ้นงานด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water)
- แช่ชิ้นงานในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 5 นาที เพื่อสลายโปรตีน (deproteinization) บริเวณรอยต่อระหว่างเรซินและเนื้อฟัน
- ล้างชิ้นงานด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water)
- ทำให้การไล่น้ำออกจากชิ้นงานโดยแช่ในสารละลายเอทานอลตามลำดับความเข้มข้นดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นร้อยละ 25 เป็นเวลา 20 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลา 20 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 75 เป็นเวลา 20 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นเวลา 30 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 100 เป็นเวลา 60 นาที
- ทำให้แห้งสนิทโดยแช่ในสารเฮกซะเมทิลไดซิลลาเซนเป็นเวลา 10 นาที (81)

- นำชิ้นงานไปติดตั้งบนแท่นอะลูมิเนียม แล้วทำการเคลือบชิ้นงานด้วยทอง เพื่อนำไปประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1500 เท่า ตามลำดับ

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical data analysis)

ใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS statistics version 22) ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยกำหนดค่านัยสำคัญที่  $p < 0.05$

ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการตรวจสอบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของแต่ละกลุ่มทดลอง

ทดสอบการกระจายของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test จากนั้นใช้สถิติ two-way analysis of variance (ANOVA) ทดสอบผลกระทบของวัสดุแต่ละชนิดและการจำลองการใช้งานต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อนื้อพื้น ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อนื้อพื้นของวัสดุแต่ละชนิด และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อนื้อพื้นระหว่างกลุ่มที่ไม่ได้ผ่าน และกลุ่มที่ผ่านการจำลองการใช้งานโดยใช้สถิติ Tukey's Post Hoc Test

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติในทุกกลุ่ม และเมื่อทำการทดสอบด้วยสถิติ two-way analysis of variance (ANOVA) พบว่าประเภทของสารยึดติดที่ใช้ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค ( $p < 0.01$ ) แต่การแช่น้ำร้อนสลับเย็นและปัจจัยร่วมระหว่างประเภทของสารยึดติดและการแช่น้ำร้อนสลับเย็นไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค ( $p = 0.512$  และ  $p = 0.968$  ตามลำดับ)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคแสดงในตารางที่ 4

ระบบสารยึดติด	ค่ากำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาค ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมกะปาสคาล)	
	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	แช่น้ำร้อนสลับเย็น 5,000 รอบ
VF	22.1438 $\pm$ 6.12655 <sup>n1</sup>	21.1111 $\pm$ 5.39058 <sup>n1</sup>
FL	32.1844 $\pm$ 8.94312 <sup>n2</sup>	31.7549 $\pm$ 6.79719 <sup>n2</sup>
All	24.4358 $\pm$ 6.20820 <sup>n3</sup>	23.8815 $\pm$ 7.14110 <sup>n3</sup>

ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติดต่างระบบกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวเลขที่ต่างกัน แสดงค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติดระบบเดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระหว่างกลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และแช่น้ำร้อนสลับเย็น 5,000 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาค

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาคเมื่อทำการบ่มณะด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน พบว่าการบ่มณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์มีค่ากำลังแรงยึดสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่ค่ากำลังแรงยึดเมื่อทำการบ่มณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและทำการบ่มณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันไม่ต่างกัน ไม่ว่าจะ เป็นในกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ( $p = 0.788$ ) หรือ

กลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ ( $p = 0.623$ ) โดยในการศึกษานี้ไม่พบการเกิดความล้มเหลวก่อนการทดสอบ

ผลจากการประเมินความล้มเหลวที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปแสดงในตารางที่ 5

ระบบสารยึดติด		ประเภทของความล้มเหลว (จำนวน / ร้อยละ)			
		ความล้มเหลวของสารยึดติด	ความล้มเหลวแบบผสม	ความล้มเหลวในเนื้อฟัน	ความล้มเหลวในชั้นคอมโพสิต
VF	NT	28 / 93.3	2 / 6.7	-	-
	T	28 / 93.3	2 / 6.7	-	-
FL	NT	25 / 83.3	5 / 16.7	-	-
	T	21 / 70	9 / 30	-	-
All	NT	21 / 70	9 / 30	-	-
	T	22 / 73.3	8 / 26.7	-	-

ตารางที่ 5 แสดงความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป

ทำการสุ่มเลือกตัวอย่างด้านเนื้อฟันภายหลังการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคไปประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยแตกหักระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้านเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (แสดงดังรูปที่ 5) พบว่ากลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน

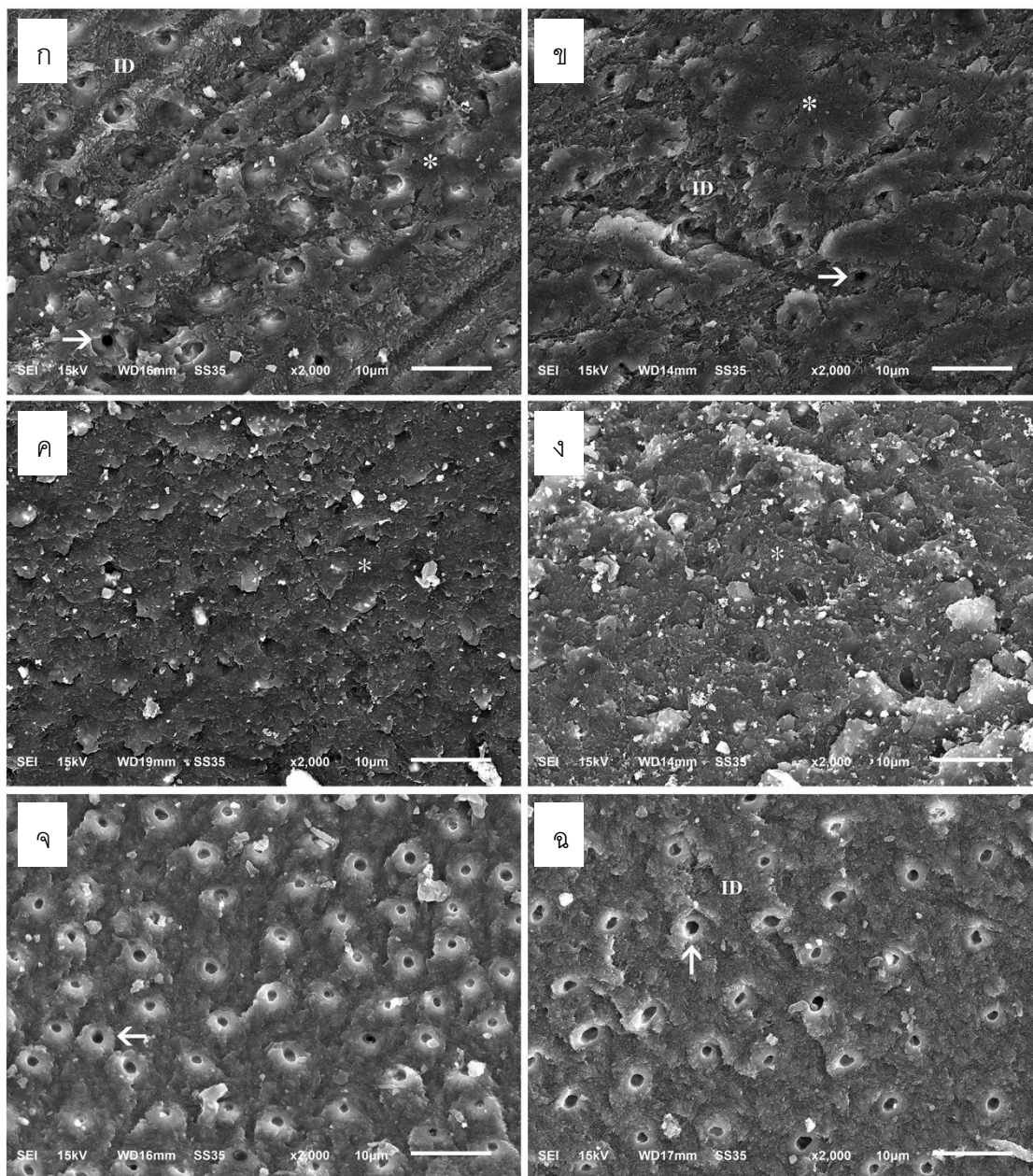
5,000 รอบมีลักษณะคล้ายกัน คือ กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองพบท่อเนื้อฟันบางตำแหน่งถูกอุดตันด้วยเรซินแท้หรือสเมียร์พลัค บางตำแหน่งเป็นท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่า เนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) บางตำแหน่งถูกปกคลุมด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ดังรูป 5-ก และรูป 5-ข กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์พบชั้นของสารยึดติดปกคลุมบนผิวเนื้อฟัน และการระบุตำแหน่งของท่อเนื้อฟันทำได้ยาก ดังรูป 5-ค และรูป 5-ง กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทอออลอินวันพบท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่าเป็นส่วนใหญ่ และพบเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันถูกปกคลุมด้วยสารยึดติด ดังรูป 5-จ และรูป 5-ฉ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังรูปที่ 6-8 พบว่ากลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบมีลักษณะคล้ายกัน โดยกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองพบช่องว่างระหว่างคอมโพสิตและเนื้อฟันขนาดน้อยกว่า 1 ไมครอนในกลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และช่องว่างขนาดประมาณ 10 ไมครอนในกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ และพบเรซินแท้ลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกอยู่บางตำแหน่งเท่านั้นดังรูป 6-ก 6-ข 6-ค และ 6-ง กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์พบชั้นของสารยึดติดที่มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 40-50 ไมครอน พบชั้นไฮบริดที่เห็นได้ชัดเจนร่วมกับเรซินแท้ที่รูปทรงกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภท

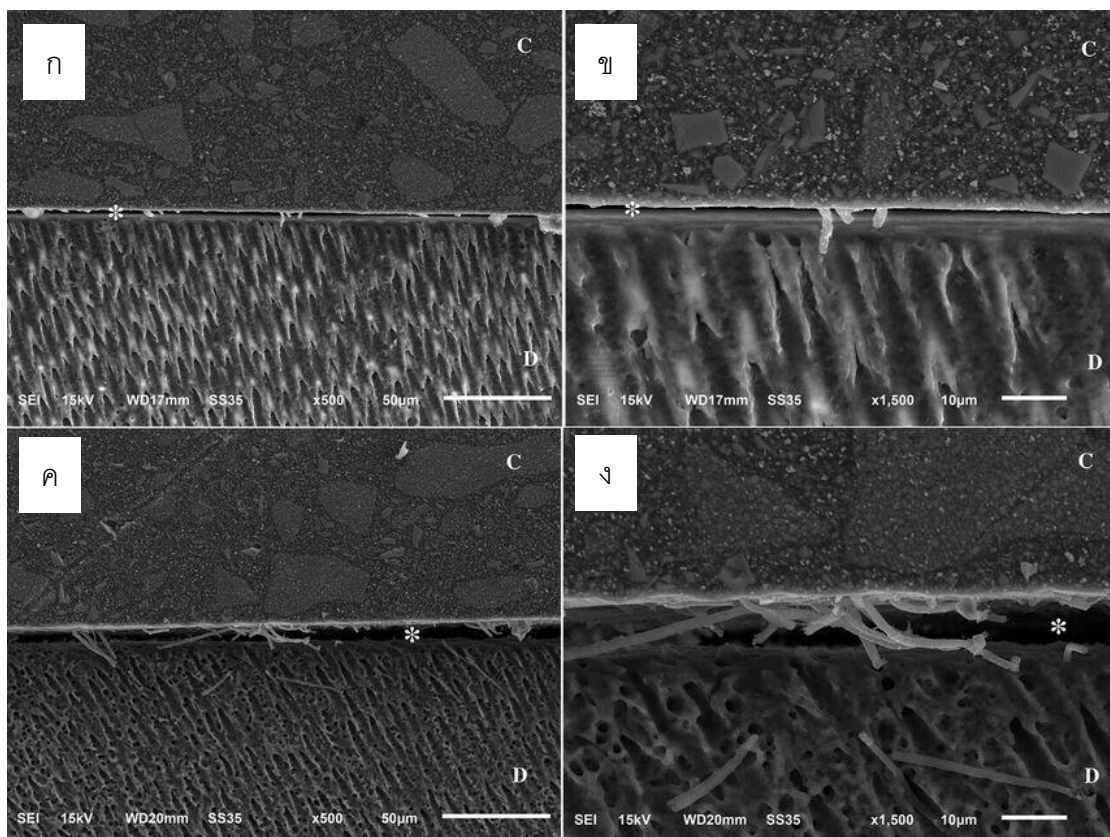
ออกอินวันพบชิ้นของสารยึดติดที่มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 10-15 ไมครอน และพบ  
เรซินแท้ลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกคล้ายกับรูปร่างของเรซินแท้ที่พบในคอมโพสิตชนิดไหล  
แผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง



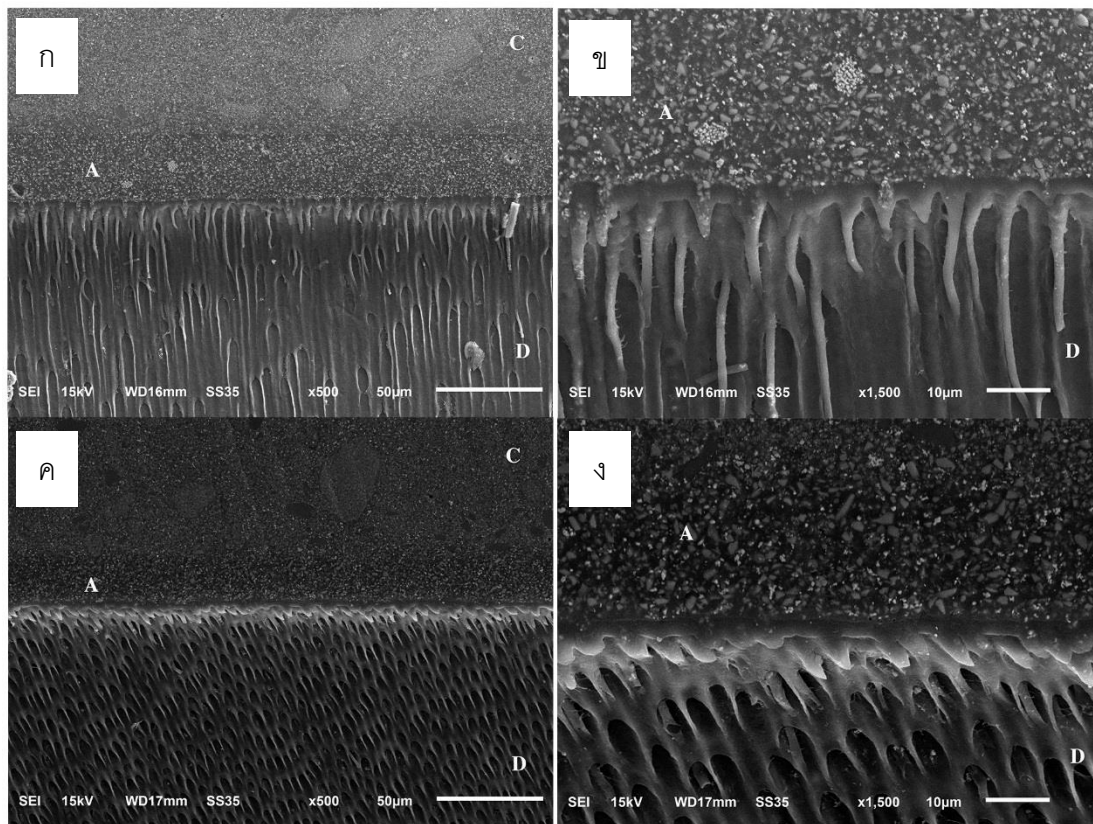




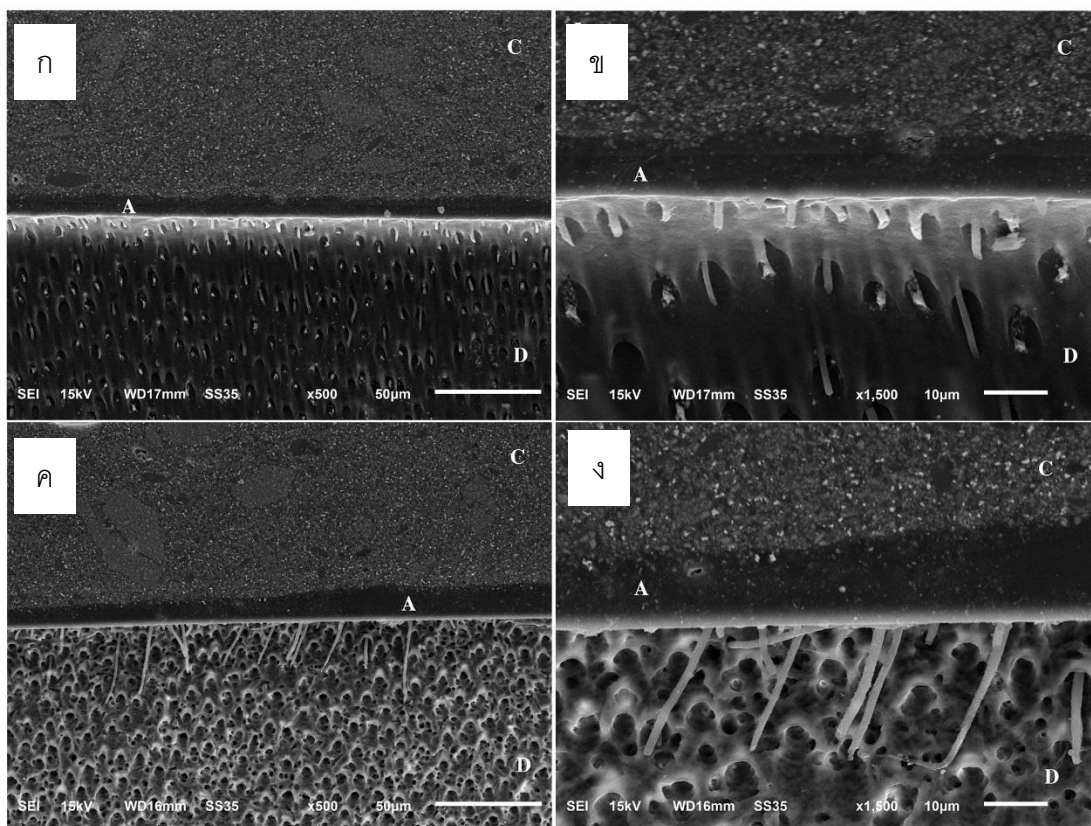
รูปที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยแตกที่ระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้านเนื้อฟัน เมื่อประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ก, ข) กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ค, ง) กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ จ, ฉ) กลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยสารยึดติดประเภทฮอลอินวัน ก, ค, จ) กลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ข, ง, ฉ) กลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ โดยลูกศร = ท่อนเนื้อฟันที่ว่างเปล่า เครื่องหมายดอกจัน = คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองหรือสารยึดติด และ ID = เนื้อฟันระหว่างท่อนเนื้อฟัน



รูปที่ 6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่  
 ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ก และ ข) ภายหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค และ ง) ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น  
 จำนวน 5,000 รอบ ก และ ค) ภายใต้อุปกรณ์จลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 ข และ ง)  
 กำลังขยาย 1,500 เท่า โดย C = เรซินคอมโพสิต D = เนื้อฟัน และ เครื่องหมายดอกจัน = ช่องว่าง



รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้และสารยึดติดประเภท โททอลเอทซ์ ก และ ข) ภายหลังกการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค และ ง) ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ ก และ ค) ภายใต้อัดกลองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 ข และ ง) กำลังขยาย 1,500 เท่า โดย C = เรซินคอมโพสิต D = เนื้อพื้ A = ชั้นของสารยึดติด



รูปที่ 8 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้นและสารยึดติดประเภทคอลอจินวัน ก และ ข) ภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค และ ง) ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ ก และ ค) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 ข และ ง) กำลังขยาย 1,500 เท่า โดย C = เรซินคอมโพสิต D = เนื้อพื้น และ A = ชั้นของสารยึดติด

## บทที่ 5

### อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

#### บทวิจารณ์

การศึกษานี้ปฏิเสธสมมติฐานการวิจัยที่กล่าวว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันในการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันไม่ต่างกันเมื่อทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ เนื่องจากพบว่าค่ากำลังแรงยึดของกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่ากำลังแรงยึดในกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทออลอินวันไม่ต่างกัน แต่ยอมรับสมมติฐานการวิจัยที่กล่าวว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมต่อเนื้อฟันในการบูรณะด้วยวิธีการเดียวกันไม่ต่างกันระหว่างกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ

ในการศึกษานี้เลือกใช้สารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์แบบ 3 ชั้นตอนมาเป็นกลุ่มควบคุม เนื่องจากเป็นมาตรฐานทองคำของสารยึดติดในปัจจุบัน มีรายงานถึงประสิทธิภาพการยึดติดที่ดีทั้งในห้องปฏิบัติการและในช่องปากเป็นระยะเวลายาวนาน (4, 41, 42) นอกจากนี้ผู้วิจัยยัง

เลือกใช้สารยึดติดประเภทออลอินวันในการศึกษานี้ด้วย เนื่องจากเมื่อก้าวถึงวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันที่ใช้งานง่ายและสะดวกรวดเร็วก็มักจะนึกถึงสารยึดติดประเภทออลอินวัน ดังนั้นประสิทธิภาพการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองก็ควรจะเทียบเท่ากับสารยึดติดประเภทออลอินวันเป็นอย่างน้อย (29) โดยสารยึดติดทั้งสองชนิดดังกล่าวมีการใช้จีพีดีเอ็มเป็นฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์เช่นเดียวกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

ในการศึกษานี้เลือกใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมมาทำการทดสอบร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และออลอินวัน เพื่อทำการเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าชนิดและองค์ประกอบของเรซินคอมโพสิตที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติด (82) และพบว่าหากใช้เรซินคอมโพสิตที่มีความอดูลส์ใกล้เคียงกันจะทำให้เกิดความแปรปรวนของผลการศึกษาน้อยกว่า เนื่องจากการใช้เรซินคอมโพสิตที่มีความอดูลส์แตกต่างกันจะก่อให้เกิดรูปแบบการกระจายแรงเค้นในชั้นคอมโพสิตที่ต่างกัน ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดมีความแตกต่างกันตามไปด้วย (83)

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองอยู่ในช่วง 3.4-17.7 เมกะปาสคาล (28, 29, 32) ซึ่งถือเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีบางการศึกษาที่มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูงถึง 25.2 เมกะปาสคาล (28) และ 32.30 เมกะปาสคาล (84) แต่พบว่ามี ความยุ่งยากในการเตรียมชิ้นงาน ร่วมกับอาจพบกับการเกิดความล้มเหลวก่อนการทดสอบตั้งแต่ร้อยละ 10 ไปจนถึงร้อยละ 66.67 (28, 29, 32) ตามแต่ละการศึกษา ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดจากข้อจำกัดของการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคที่ขณะเตรียมชิ้นงานจะก่อให้เกิดแรงกระทำต่อบริเวณรอยต่อระหว่างสารยึดติดและผิวฟัน ทำให้มีโอกาสเกิดความล้มเหลวก่อนทำการทดสอบกำลังแรงยึดสูง และการวัดค่ากำลังแรงยึดของสารยึด

ติดที่มีค่าต่ำทำได้ยาก (5) การศึกษานี้จึงเลือกใช้การทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค เนื่องจากวิธีทำการทดสอบไม่ยุ่งยาก สามารถเตรียมชิ้นงานตัวอย่างได้หลายชิ้นงานต่อพินหนึ่งชิ้น (6, 54-56) ไม่มีแรงใดๆกระทำต่อชิ้นงานตัวอย่างก่อนทำการทดสอบนอกจากแรงจากการนำแม่แบบออกจากแท่งเรซินคอมโพสิต (54) และชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้มีขนาดเล็กจึงส่งผลให้ค่ากำลังการยึดติดที่ได้มีค่าสูงขึ้น (6, 51, 55, 59, 60) ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้ไม่พบการเกิดความล้มเหลวก่อนการทดสอบทั้งในกลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น 5,000 รอบ นอกจากนี้ยังพบว่าค่ากำลังแรงยึดที่ได้มีค่าสูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมาด้วย

การศึกษาประสิทธิภาพของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่ผ่านมาส่วใหญ่เป็นการศึกษาค่ากำลังแรงยึดทันทีหลังการบ่มระยะ ไม่มีการผ่านกระบวนการใช้งานซึ่งแตกต่างกับการใช้งานจริงในช่องปากที่วัสดุบ่มระยะต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แรงบิดเคี้ยว ค่าความเป็นกรดต่าง เป็นต้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดความล้มเหลวของวัสดุบ่มระยะได้ การศึกษานี้เลือกการจำลองการใช้งานในช่องปากโดยการแช่น้ำร้อนสลับเย็นเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของการศึกษาค่ากำลังแรงยึดในห้องปฏิบัติการตามที่องค์การมาตรฐานสากลกำหนดไว้ให้ทำการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 500 รอบในน้ำอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส (64) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าการใช้จำนวนรอบในการแช่ชิ้นงาน 500 รอบตามที่องค์การมาตรฐานสากลกำหนดไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึด แต่หากเพิ่มจำนวนรอบในการแช่ชิ้นงานให้มากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลง (3, 77, 78) ร่วมกับผลจากการศึกษาของ Gale และคณะพบว่าการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 10,000 รอบเทียบเท่ากับการใช้งานในช่องปากประมาณ 1 ปี (78) ดังนั้นการแช่ชิ้นงานจำนวน 500 รอบอาจจะน้อยเกินกว่าที่จะจำลองการ

ใช้งานในช่องปากในระยะยาวได้ ผู้วิจัยจึงเพิ่มจำนวนรอบเป็น 5,000 รอบเทียบเท่ากับการใช้งานในช่องปากประมาณ 6 เดือน

ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาค โดยสาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมาจากเนื้อฟันและวัสดุบูรณะที่อยู่ล้อมรอบรอยต่อระหว่างสารยึดติดหรือคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเนื้อฟันช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขององค์ประกอบในบริเวณรอยต่อและการเสื่อมสลายขององค์ประกอบของเรซินที่เกิดการพอลิเมอไรซ์ไม่สมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ค่าซีแฟคเตอร์ (C-factor) ของชิ้นงานที่มีค่าต่ำ (ประมาณ 1/5) จะส่งผลให้แรงเค้นที่เกิดจากการหดและขยายตัวซ้ำๆของวัสดุบูรณะและเนื้อฟันจากการที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของฟันและวัสดุบูรณะมีค่าไม่เท่ากัน มีค่าน้อยเกินกว่าที่จะส่งผลเสียหายต่อบริเวณที่เกิดการยึดติด (3, 4, 77) ซึ่งการที่กระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นไม่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดดังกล่าวมาแล้ว มีความสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์และกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารยึดติดประเภทอออลอินวัน โดยพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มที่ทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบมีลักษณะไม่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 แต่ในกลุ่มที่ทำการบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง พบว่ากลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบจะเห็นช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตขยายขนาดเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจแสดงถึงประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเนื้อฟันเมื่อผ่านกระบวนการจำลองการใช้



งานด้อยกว่าการใช้สารยัดติดระบบอื่น สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าเมื่อนำคอมโพสิตชนิดไหล  
 แผลได้ที่ยัดได้ด้วยตัวเองไปแช่น้ำเป็นเวลา 3 เดือนก่อนทำการทดสอบพบว่าค่ากำลังแรงยัดแบบดึง  
 ระดับจุลภาคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (84) การขยายขนาดของช่องว่างบริเวณรอยต่อ  
 ระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผลได้ที่ยัดได้ด้วยตัวเองเมื่อผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น  
 จำนวน 5,000 รอบ มีความขัดแย้งกับค่ากำลังแรงยัดที่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ผ่านและไม่  
 ผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากแท่งคอมโพสิตจากกระบวนการเตรียม  
 ชีงงานเพื่อประเมินโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีขนาดใหญ่กว่าการเตรียม  
 ชีงงานเพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยัด ทำให้แท่งคอมโพสิตมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำมากขึ้นจึงเกิด  
 การดูดน้ำมากขึ้น และเนื่องจากคุณสมบัติของคอมโพสิตชนิดไหลแผลได้ที่ยัดได้ด้วยตัวเองที่มีการ  
 ดูดน้ำมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผลได้แบบดั้งเดิม (26, 85) จึงเกิดความเสียหายต่อบริเวณ  
 รอยต่อของระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตมากกว่าการเตรียมชีงงานเพื่อทำการทดสอบค่ากำลัง  
 แรงยัดซึ่งมีขนาดของแท่งคอมโพสิตเล็กกว่ามาก

จากผลการศึกษาพบว่าสารยัดติดที่มีค่ากำลังแรงยัดสูงกว่าระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทั้งใน  
 กลุ่มที่ทำการทดสอบภายหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและผ่านกระบวนการแช่น้ำร้อนสลับเย็นคือสารยัด  
 ติดในระบบโททอลเอทซ์ สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าสารยัดติดในระบบโททอลเอทซ์  
 ถือเป็นมาตรฐานทองคำของระบบสารยัดติดทั้งหมด รวมทั้งเป็นสารยัดติดที่ใช้กันมานาน มีผล  
 การทดสอบทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิกเหนือกว่าสารยัดติดในระบบอื่นๆ (86-88)  
 นอกจากนี้สารยัดติดประเภทโททอลเอทซ์ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นสารยัดติดที่มีการเติมวัสดุ  
 อัดแทรกในปริมาณสูงและชั้นของสารยัดติดมีความหนา (ประมาณ 40-50 ไมครอน) จึงช่วยดูดซับ  
 แรงเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะและฟันได้ (89)

ในการศึกษานี้พบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองให้ค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำที่สุด โดยพบว่าค่ากำลังแรงยึดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่ำกว่าสารยึดติดในระบบ โททอลเอทซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าต่ำกว่าสารยึดติดแบบออลอินวันแบบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเกิดจากการที่คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูงกว่าสารยึดติดจึงมีความหนืดมากกว่า อีกทั้งในองค์ประกอบของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่มีส่วนของตัวทำละลายผสมอยู่ทำให้ความสามารถในการไหลแผ่บนผิวฟันต่ำ ร่วมกับไม่มีการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารไพรเมอร์ก่อนทำให้ค่าพลังงานพื้นผิวของเนื้อฟันต่ำ (90) ส่งผลให้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีความสามารถในการไหลแผ่บนผิวฟันและความสามารถในการแทรกซึมสู่ท่อเนื้อฟันต่ำ กลไกการยึดติดเชิงกลกับโครงสร้างของเนื้อฟันจึงเกิดได้น้อย ความสำเร็จในการยึดติดลดลง (31) ประสิทธิภาพในการยึดติดจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดติดทางเคมีของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์และฟันเป็นหลัก (16, 41) ดังนั้นการที่คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะประสบความสำเร็จในการยึดติดกับฟันนั้น ควรจะมีส่วนประกอบของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับฟันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่าจีพีดีเอ็มซึ่งเป็นฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่ใช้ในการศึกษานี้มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับไฮดรอกซีแอพาไทต์ของฟัน (16, 17, 91) ร่วมกับการพบลักษณะโครงข่ายคอลลาเจนที่ถูกเปิดเผยไม่มีส่วนของเรซินแทรกซึมอยู่ และการพบท่อเนื้อฟันที่ว่างเปล่าไม่ได้ถูกอุดตันด้วยชั้นสเมียร์หรือส่วนของเรซินจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยแตกหักระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเมื่อประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังรูปที่ 5-ก และ 5-ข ซึ่งการพบลักษณะดังกล่าวอาจแสดงถึง

การที่จีพีดีเอ็มก่อให้เกิดการสลายแร่ธาตุมากกว่าจะก่อให้เกิดการยึดติดกับไฮดรอกซีแอฟพาไทต์ตามหลักการของเอดีคอนเซป (adhesion/decalcification concept; AD-concept) (29, 40) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าเมื่อใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่ใช้ฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์กลุ่มอื่น เช่น 4-เมต จะให้ค่ากำลังแรงยึดที่สูงกว่าการใช้จีพีดีเอ็ม (28, 29) ดังนั้นความสามารถของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์จีพีดีเอ็มจึงอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าสารยึดติดประเภทอื่นนอกจากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วสาเหตุที่ค่ากำลังแรงยึดของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีค่าต่ำ อาจเกิดจากการเกิดออสโมซิสของน้ำจากท่อเนื้อฟันผ่านชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองชั้นแรกที่ประพฤติตนเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) เข้าสู่คอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองชั้นถัดไป (92, 93) โดยน้ำจากท่อเนื้อฟันนั้นอาจมาจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบของชั้นเนื้อฟันเอง หรือน้ำที่หลงเหลือจากการเตรียมชิ้นงานค้างอยู่ในชั้นเนื้อฟัน ซึ่งตำแหน่งของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่มีการแทรกซึมของน้ำเหล่านี้จะกลายเป็นจุดอ่อนของการยึดติดระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองและผิวฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบช่องว่างขนาดใหญ่ และฟองอากาศจำนวนมากที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง และพบฟองอากาศอยู่ในชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (28, 29, 32) และในการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคพบลักษณะการแทรกซึมของซิลเวอร์ไนเตรทเป็นจุดๆภายในชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (10) ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับลักษณะการรั่วซึมที่พบในเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีประสิทธิภาพในการยึดติดน้อยกว่าการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีหลายชั้นตอนเช่นกัน (33-35)

การศึกษานี้พบว่าสารยึดติดในระบบบอลอินวันมีค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่าสารยึดติดในระบบโททอลเอทซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าประสิทธิภาพในการยึดติดของสารยึดติดประเภทบอลอินวันต่ำกว่าสารยึดติดที่มีหลายชั้นตอนไม่ว่าจะเป็นในระบบโททอลเอทซ์หรือเซลฟ์เอทซ์ทั้งการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ (47, 49, 50) และทางคลินิก (87) เนื่องจากหลายสาเหตุไม่ว่าจะเกิดจากสารยึดติดระบบบอลอินวันซึ่งมีความชอบน้ำสูงประพุดิตนเป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำให้เกิดการดูดน้ำผ่านชั้นของสารยึดติดเกิดการรั่วซึมระดับนาโน หรือการมีปริมาณตัวทำละลายสูงทำให้ไม่สามารถกำจัดตัวทำละลายได้หมด ก่อให้เกิดชั้นของสารยึดติดที่มีความหนาไม่เหมาะสมหรือมีฟองอากาศภายในชั้นของสารยึดติด (4, 43) อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดต่างของสารยึดติดประเภทบอลอินวันที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่ามีความเป็นกรดต่างประมาณ 2.5 ซึ่งถือเป็นกลุ่มที่มีความเป็นกรดน้อย (mild self-etch) จึงเกิดการยึดติดเชิงกลกับผิวฟันน้อยตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการยึดติดขึ้นอยู่กับสารยึดติดทางเคมีของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์เป็นหลัก (16, 41) เช่นเดียวกับคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ียึดได้ด้วยตัวเองที่กล่าวข้างต้น ดังนั้นความสามารถของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์จีพีดีเอ็มในการเกิดการยึดติดทางเคมีกับผิวฟันจึงอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของสารยึดติดประเภทบอลอินวันมีค่าต่ำกว่าสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ และทำให้ค่ากำลังแรงยึดของคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ียึดได้ด้วยตัวเองและสารยึดติดประเภทบอลอินวันไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ียึดได้ด้วยตัวเองภายหลังทำการแช่น้ำ 24 ชั่วโมงจะพบช่องว่างขนาดน้อยกว่า 1 ไมครอนระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิต ร่วมกับการเกิดเรซินแท็กลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกระจายอยู่บางตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งการที่พบลักษณะเช่นนี้อาจเกิดได้จากการที่คอมโพ

ลิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองไม่สามารถปรับสภาพผิวเนื้อฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แตกต่างจากการใช้กรดฟอสฟอริก ร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองมีความหนืดมากทำให้ไม่สามารถแทรกซึมลงสู่ท่อเนื้อฟันได้ และมีความสามารถในการไหลแผ่บนผิวฟันไม่ดี ดังที่กล่าวข้างต้น นอกจากนี้ อาจเกิดจากการออสโมซิสของน้ำจากท่อเนื้อฟันผ่านชั้นของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองชั้นแรกที่ประพุดิตนเป็นเยื่อเลือกผ่านแต่น้ำดังกล่าวไม่สามารถผ่านเข้าสู่คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองชั้นถัดไปได้เนื่องจากมีความหนืดสูงแตกต่างจากการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวในสารยึดติดประเภทออลอินวัน ทำให้เกิดเป็นที่อยู่ของหยดน้ำที่รวมตัวกันกลายเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างชั้นของคอมโพสิตและเนื้อฟัน ซึ่งบริเวณนี้จะกลายเป็นจุดอ่อนของการยึดติดระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองและผิวฟัน เพิ่มโอกาสในการเกิดการเสื่อมสภาพของการยึดติด และเกิดเป็นการรั่วซึมบริเวณขอบของวัสดุบูรณะกลายเป็นทางผ่านให้ของเหลวและไมโครออร์แกนนิซึมจากสภาพแวดล้อมในช่องปากเข้าสู่วัสดุบูรณะและตัวฟัน จนเกิดความล้มเหลวของวัสดุบูรณะในที่สุด (28) ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการเพิ่มขนาดของช่องว่างจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองภายหลังการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบดังรูปที่ 6-ก และ 6-ข เปรียบเทียบกับรูปที่ 6-ค และ 6-ง นอกจากนี้เหตุผลดังกล่าวมาข้างต้น การเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อฟันและคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเอง อาจเกิดจากการที่คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองมีการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ (26, 85) จึงอาจส่งผลให้เกิดกระบวนการเสื่อมสลายขององค์ประกอบในบริเวณรอยต่อระหว่างฟันและคอมโพสิตสูงตามไปด้วย โดยสาเหตุที่คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยืด

ได้ด้วยตัวเองมีเสถียรภาพในการแช่น้ำต่ำอาจเกิดจากฟังก์ชันนอลมอโนเมอร์ที่ชอบน้ำเป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ (26, 85)

จากการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่าความสามารถในการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่ต่างจากการใช้สารยึดติดระบบออลอินวัน ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบหลังทำการบูรณะทันทีหรือมีการผ่านกระบวนการจำลองการใช้งาน อย่างไรก็ตามการการศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการยืนยันประสิทธิภาพของคอมโพสิตชนิดไฮลแผล์ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ควรมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น การดูน้ำและการละลายน้ำ อัตราการสึกจากแรงบิดเคี้ยว ความหยาบผิว เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลต่อเสถียรภาพและความสำเร็จของวัสดุบูรณะภายใต้การใช้งานในช่องปากไม่น้อยไปกว่าความสามารถในการยึดติดกับผิวฟัน นอกจากนี้ยังควรทำการศึกษาทางคลินิกในระยะยาวเพิ่มเติมเพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอต่อการตัดสินใจนำไปใช้งานทางคลินิกด้วย

### ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้พบว่า การจำลองการใช้งานโดยการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบซึ่งเทียบเท่ากับการใช้งานทางคลินิกประมาณ 6 เดือนไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นการศึกษาต่อไปโดยการเพิ่มจำนวนรอบในการทดสอบ เพื่อจำลองประสิทธิภาพการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเมื่อผ่านการใช้งานทางคลินิกในระยะยาวจึงเป็นที่น่าสนใจ
2. การศึกษานี้ประเมินความล้มเหลวบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปซึ่งอาจมีกำลังขยายน้อยเกินไป รวมทั้งความคมชัดของภาพไม่เพียงพอ ทำให้รายละเอียดหรือข้อมูลบางอย่างที่มีความสำคัญต่อการใช้งานและพัฒนาคุณภาพของวัสดุไม่สมบูรณ์ จึงควรจะมีการประเมินซ้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น
3. เนื่องจากจนถึงปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองยังคงมีไม่มากนักไม่ว่าจะเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการยึดติดกับฟัน หรือการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ทำให้ข้อมูลที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจนำไปใช้งานทางคลินิก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ทั้งตัวทันตแพทย์และผู้ป่วย
4. เนื่องจากแนวคิดในการผลิตวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ แต่ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวฟันอาจจะดีกว่าการบูรณะโดยใช้สารยึดติด จึงควรมีการศึกษาพัฒนาต่อไปเพื่อปรับปรุงข้อด้อยต่างๆ

โดยเฉพาะในส่วนของฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ เพื่อให้เกิดวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันที่ใช้งานได้  
สะดวกรวดเร็วอย่างแท้จริง ซึ่งจะเกิดประโยชน์อย่างมากในการใช้งานในบริเวณที่ต้องการ  
ความสวยงามในผู้ป่วยที่ต้องการทำงานอย่างรวดเร็ว เช่น ผู้ป่วยเด็ก หรือผู้ป่วยทุพพล  
ภาพ เป็นต้น





## **บทสรุปงานวิจัย**

การศึกษานี้พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่ต่างจากการใช้สารยึดติดประเภทออลอินวัน แต่มีค่าต่ำกว่าสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ทั้งขณะทำการทดสอบภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการทดสอบภายหลังการจำลองการใช้งานโดยการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบ และพบว่าการแช่น้ำร้อนสลับเย็นจำนวน 5,000 รอบไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง สารยึดติดประเภทออลอินวัน และสารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์



## รายการอ้างอิง

1. Tyas MJ, Anusavice KJ, Frencken JE, Mount GJ. Minimal intervention dentistry - a review. FDI Commission Project 1-97. *Int Dent J.* 2000;50(1):1-12.
2. Demarco FF, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater.* 2012;28(1):87-101.
3. Amaral FLB, Colucci V, Palma-Dibb RG, Corona SAM. Assessment of in vitro methods used to promote adhesive interface degradation: a critical review. *J Esthet Restor Dent.* 2007;19(6):340-53.
4. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res.* 2005;84(2):118-32.
5. Armstrong S, Geraldeli S, Maia R, Raposo LHA, Soares CJ, Yamagawa J. Adhesion to tooth structure: a critical review of "micro" bond strength test methods. *Dent Mater.* 2010;26(2):e50-e62.
6. McDonough WG, Antonucci JM, He J, Shimada Y, Chiang MY, Schumacher GE, et al. A microshear test to measure bond strengths of dentin-polymer interfaces. *Biomaterials.* 2002;23(17):3603-8.
7. Ferracane JL. Resin composite - state of the art. *Dent Mater.* 2011;27(1):29-38.

8. Harald O. Heymann EJS, Jr., André V. Ritter, Clifford M. Sturdevant. Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry. 6th ed. St. Louis, MO: Elsevier/Mosby; 2013.
9. Rengo C, Goracci C, Juloski J, Chieffi N, Giovannetti A, Vichi A, et al. Influence of phosphoric acid etching on microleakage of a self-etch adhesive and a self-adhering composite. *Aust Dent J*. 2012;57(2):220-6.
10. Hanabusa M, Mine A, Kuboki T, Momoi Y, Van Landuyt KL, Van Meerbeek B, et al. TEM interfacial characterization of an experimental self-adhesive filling material bonded to enamel/dentin. *Dent Mater*. 2011;27(8):818-24.
11. Sakaguchi R. Chapter 9 - Restorative Materials—Composites and Polymers. In: Sakaguchi RL, Powers JM, editors. *Craig's restorative dental materials*. 13th ed. Saint Louis: Mosby; 2012. p. 161-98.
12. Leevailoj C CM, Chantaramungkorn M. Chapter 2: Tooth colour material's continuum. In: Leevailoj C CM, Chantaramungkorn M, editors. *Posterior tooth colored restorations*. Bangkok Thailand: Dental Idea Company Limited; 2006. p. 38-72.
13. Salerno M, Derchi G, Thorat S, Ceseracciu L, Ruffilli R, Barone AC. Surface morphology and mechanical properties of new-generation flowable resin composites for dental restoration. *Dent Mater*. 2011;27(12):1221-8.
14. Bektas OO, Eren D, Akin EG, Akin H. Evaluation of a self-adhering flowable composite in terms of micro-shear bond strength and microleakage. *Acta Odontol Scand*. 2013;71(3-4):541-6.

15. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil.* 2011;38(4):295-314.
16. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials.* 2007;28(26):3757-85.
17. Moszner N, Salz U, Zimmermann J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater.* 2005;21(10):895-910.
18. 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.* 2003;28(3):215-35.
19. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of a self-adhesive and four novel flowable composites. *J Adhes Dent.* 2013;15(3):229-36.
20. Nakabayashi N, Watanabe A, Gendusa NJ. Dentin adhesion of "modified" 4-META/MMA-TBB resin: function of HEMA. *Dent Mater.* 1992;8(4):259-64.
21. Ferracane JL. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater.* 2005;21(1):36-42.
22. Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater.* 2005;21(12):1150-7.

23. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater.* 2005;21(10):962-70.
24. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res.* 1987;66(11):1636-9.
25. Miletic V, Manojlovic D, Milosevic M, Mitrovic N, Stankovic TS, Maneski T. Analysis of local shrinkage patterns of self-adhering and flowable composites using 3D digital image correlation. *Quintessence Int.* 2011;42(9):797-804.
26. Wei YJ, Silikas N, Zhang ZT, Watts DC. Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dent Mater.* 2011;27(3):259-66.
27. Boaro LC, Goncalves F, Guimaraes TC, Ferracane JL, Versluis A, Braga RR. Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dent Mater.* 2010;26(12):1144-50.
28. Fu J, Kakuda S, Pan F, Hoshika S, Ting S, Fukuoka A, et al. Bonding performance of a newly developed step-less all-in-one system on dentin. *Dent Mater J.* 2013;32(2):203-11.

29. Poitevin A, De Munck J, Van Ende A, Suyama Y, Mine A, Peumans M, et al. Bonding effectiveness of self-adhesive composites to dentin and enamel. *Dent Mater.* 2013;29(2):221-30.
30. Eliades A, Birpou E, Eliades T, Eliades G. Self-adhesive restoratives as pit and fissure sealants: a comparative laboratory study. *Dent Mater.* 2013;29(7):752-62.
31. Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Poitevin A, Kuboki T, et al. Bonding effectiveness of two contemporary self-etch adhesives to enamel and dentin. *J Dent.* 2009;37(11):872-83.
32. De Munck J, Luehrs AK, Poitevin A, Van Ende A, Van Meerbeek B. Fracture toughness versus micro-tensile bond strength testing of adhesive-dentin interfaces. *Dent Mater.* 2013;29(6):635-44.
33. Suyama Y, De Munck J, Cardoso MV, Yamada T, Van Meerbeek B. Bond durability of self-adhesive composite cements to dentine. *J Dent.* 2013;41(10):908-17.
34. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater.* 2004;20(10):963-71.
35. Aguiar TR, Vermelho PM, Andre CB, Giannini M. Interfacial ultramorphology evaluation of resin luting cements to dentin: a correlative scanning electron microscopy and transmission electron microscopy analysis. *Microsc Res Tech.* 2013;76(12):1234-9.

36. Bonilla ED, Yashar M, Caputo AA. Fracture toughness of nine flowable resin composites. *J Prosthet Dent.* 2003;89(3):261-7.
37. El-Safty S, Akhtar R, Silikas N, Watts DC. Nanomechanical properties of dental resin-composites. *Dent Mater.* 2012;28(12):1292-300.
38. Margvelashvili M, Vichi A, Carrabba M, Goracci C, Ferrari M. Bond strength to unground enamel and sealing ability in pits and fissures of a new self-adhering flowable resin composite. *J Clin Pediatr Dent.* 2013;37(4):397-402.
39. Van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G. The clinical performance of adhesives. *J Dent.* 1998;26(1):1-20.
40. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater.* 2011;27(1):17-28.
41. De Munck J, Van Meerbeek B. The Current Status of Bonding to Dentin Anno 2007. *Int J Oral Sci.* 2007;6(2):45-60.
42. De Munck J, Mine A, Poitevin A, Van Ende A, Cardoso MV, Van Landuyt KL, et al. Meta-analytical review of parameters involved in dentin bonding. *J Dent Res.* 2012;91(4):351-7.
43. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjaderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, et al. State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater.* 2011;27(1):1-16.

44. Takahashi M, Nakajima M, Hosaka K, Ikeda M, Foxton RM, Tagami J. Long-term evaluation of water sorption and ultimate tensile strength of HEMA-containing/-free one-step self-etch adhesives. *J Dent*. 2011;39(7):506-12.
45. Ikeda T, De Munck J, Shirai K, Hikita K, Inoue S, Sano H, et al. Effect of air-drying and solvent evaporation on the strength of HEMA-rich versus HEMA-free one-step adhesives. *Dent Mater*. 2008;24(10):1316-23.
46. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dent Mater*. 2008;24(10):1412-9.
47. Hanabusa M, Mine A, Kuboki T, Momoi Y, Van Ende A, Van Meerbeek B, et al. Bonding effectiveness of a new 'multi-mode' adhesive to enamel and dentine. *J Dent*. 2012;40(6):475-84.
48. Perdigão J, Lopes MM, Gomes G. In vitro bonding performance of self-etch adhesives: II - ultramorphological evaluation. *Oper Dent*. 2008;33(5):534-49.
49. Sidhu SK, Omata Y, Tanaka T, Koshiro K, Spreafico D, Semeraro S, et al. Bonding characteristics of newly developed all-in-one adhesives. *J Biomed Mater Res*. 2007;80(2):297-303.
50. Perdigão J, Gomes G, Gondo R, Fundingsland JW. In vitro bonding performance of all-in-one adhesives. Part I-microtensile bond strengths. *J Adhes Dent*. 2006;8(6):367-73.



51. El Zohairy AA, Saber MH, Abdalla AI, Feilzer AJ. Efficacy of microtensile versus microshear bond testing for evaluation of bond strength of dental adhesive systems to enamel. *Dent Mater.* 2010;26(9):848-54.
52. Foong J, Lee K, Nguyen C, Tang G, Austin D, Ch'ng C, et al. Comparison of microshear bond strengths of four self-etching bonding systems to enamel using two test methods. *Aust Dent J.* 2006;51(3):252-7.
53. Tantbirojn D, Cheng YS, Versluis A, Hodges JS, Douglas WH. Nominal shear or fracture mechanics in the assessment of composite-dentin adhesion? *J Dent Res.* 2000;79(1):41-8.
54. Armstrong S, Geraldeli S, Maia R, Raposo LH, Soares CJ, Yamagawa J. Adhesion to tooth structure: a critical review of "micro" bond strength test methods. *Dent Mater.* 2010;26(2):e50-62.
55. Muñoz MA, Baggio R, Emilio Mendes YB, Gomes GM, Luque-Martinez I, Loguercio AD, et al. The effect of the loading method and cross-head speed on resin-dentin microshear bond strength. *Int J Adhes Adhes.* 2014;50(0):136-41.
56. Roeder L, Pereira PNR, Yamamoto T, Ilie N, Armstrong S, Ferracane J. Spotlight on bond strength testing - unraveling the complexities. *Dent Mater.* 2011;27(12):1197-203.

57. Münchow EA, Bossardi M, Priebe TC, Valente LL, Zanchi CH, Ogliari FA, et al. Microtensile versus microshear bond strength between dental adhesives and the dentin substrate. *Int J Adhes Adhes*. 2013;46(0):95-9.
58. Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent Mater*. 2010;26(2):e78-93.
59. Ishikawa A, Shimada Y, Foxton RM, Tagami J. Micro-tensile and micro-shear bond strengths of current self-etch adhesives to enamel and dentin. *Am J Dent*. 2007;20(3):161-6.
60. Toba S, Veerapavati W, Shimada Y, Nikaido T, Tagami J. Micro-shear bond strengths of adhesive resins to coronal dentin versus the floor of the pulp chamber. *Am J Dent*. 2003;16 Spec No:51A-6A.
61. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dent Mater*. 1998;14(2):120-8.
62. Goracci C, Sadek FT, Monticelli F, Cardoso PEC, Ferrari M. Influence of substrate, shape, and thickness on microtensile specimens' structural integrity and their measured bond strengths. *Dent Mater*. 2004;20(7):643-54.
63. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater*. 1995;11(2):117-25.
64. International Organization for Standardization. ISO/TS 11405: Dental materials -- Testing of adhesion to tooth structure. 2003.

65. Zhang L, Wang D, Fan J, Li F, Chen Y, Chen J. Stability of bonds made to superficial vs. deep dentin, before and after thermocycling. *Dent Mater.* 2014;30(11):1245-51.
66. Ozel Bektas O, Eren D, Herguner Siso S, Akin GE. Effect of thermocycling on the bond strength of composite resin to bur and laser treated composite resin. *Lasers Med Sci.* 2012;27(4):723-8.
67. DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z. Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater.* 1995;11(2):126-31
68. Mondragon E, Soderholm KJ. Shear strength of dentin and dentin bonded composites. *J Adhes Dent.* 2001;3(3):227-36.
69. Placido E, Meira JB, Lima RG, Muench A, de Souza RM, Ballester RY. Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dent Mater.* 2007;23(9):1086-92.
70. Hara AT, Pimenta LA, Rodrigues AL, Jr. Influence of cross-head speed on resin-dentin shear bond strength. *Dent Mater.* 2001;17(2):165-9.
71. Rueggeberg FA. Substrate for adhesion testing to tooth structure - review of the literature. *Dent Mater.* 1991;7(1):2-10
72. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *J Dent Res.* 1983;62(10):1076-81.

73. DeWald JP. The use of extracted teeth for in vitro bonding studies: a review of infection control considerations. *Dent Mater.* 1997;13(2):74-81.
74. Perdigao J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater.* 2010;26(2):e24-37.
75. Aquilino SA, Williams VD, Svare CW. The effect of storage solutions and mounting media on the bond strengths of a dentinal adhesive to dentin. *Dent Mater.* 1987;3(3):131-5.
76. Strawn SE, White JM, Marshall GW, Gee L, Goodis HE, Marshall SJ. Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions-short term. *J Dent.* 1996;24(6):417-23.
77. Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, et al. Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2014;29(1):295-308.
78. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* 1999;27(2):89-99.
79. Titley K, Caldwell R, Kulkarni G. Factors that affect the shear bond strength of multiple component and single bottle adhesives to dentin. *Am J Dent.* 2003;16(2):120-4.
80. Hariri I, Shimada Y, Sadr A, Ichinose S, Tagami J. The effects of aging on shear bond strength and nanoleakage expression of an etch-and-rinse adhesive on human enamel and dentin. *J Adhes Dent.* 2012;14(3):235-43.

81. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G, Lopes AL. Field emission SEM comparison of four post-fixation drying techniques for human dentin. *J Biomed Mater Res.* 1995;29(9):1111-20.
82. Leloup G, D'Hoore W, Bouter D, Degrange M, Vreven J. Meta-analytical review of factors involved in dentin adherence. *J Dent Res.* 2001;80(7):1605-14.
83. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G. A critique of bond strength measurements. *J Dent.* 1989;17(2):61-7.
84. Chantchaimongkol S, Srisawasdi S. Microtensile bond strength of self-adhesive resin composite to dentin. *CU Dent J.* 2015;38:21-34.
85. Wei YJ, Silikas N, Zhang ZT, Watts DC. Diffusion and concurrent solubility of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dent Mater.* 2011;27(2):197-205.
86. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater.* 2005;21(9):864-81.
87. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. A 13-year clinical evaluation of two three-step etch-and-rinse adhesives in non-carious class-V lesions. *Clin Oral Investig.* 2012;16(1):129-37.

88. Sarr M, Kane AW, Vreven J, Mine A, Van Landuyt KL, Peumans M, et al. Microtensile bond strength and interfacial characterization of 11 contemporary adhesives bonded to bur-cut dentin. *Oper Dent*. 2010;35(1):94-104.
89. Can Say E, Nakajima M, Senawongse P, Soyman M, Ozer F, Ogata M, et al. Microtensile bond strength of a filled vs unfilled adhesive to dentin using self-etch and total-etch technique. *J Dent*. 2006;34(4):283-91.
90. Nakabayashi N, Pashley DH. Chapter III: Acid conditioning and hybridisation of substrate In; Nakabayashi N, Pashley DH, editors. *Hybridization of dental hard tissues*. Tokyo: Quintessence Pub. Co; 1998. p. 37-39.
91. Sezinando A, Perdigao J, Regalheiro R. Dentin bond strengths of four adhesion strategies after thermal fatigue and 6-month water storage. *J Esthet Restor Dent*. 2012;24(5):345-55.
92. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, et al. Origin of interfacial droplets with one-step adhesives. *J Dent Res*. 2007;86(8):739-44.
93. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent*. 2002;30(7-8):371-82.

## ภาคผนวก

### ตารางแสดงค่ากำลังแรงยึดแบบเงื่อนไขระดับจุลภาค

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
<b>คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง</b>					
ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง			ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น จำนวน 5,000 รอบ		
	1	29.1502		1	13.6525
	2	21.0532		2	14.5179
	3	15.1993		3	26.7629
	4	24.7038		4	25.2012
	5	30.4185		5	25.5842
	6	21.5804		6	14.6174
	7	27.1906		7	21.5705
	8	14.5428		8	14.0554
	9	31.5425		9	13.6426
	10	21.3118		10	20.4315

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	11	26.3004		11	30.3936
	12	27.2802		12	21.6003
	13	14.0852		13	25.8975
	14	22.3414		14	19.402
	15	19.8844		15	18.7405
	16	31.4132		16	29.2398
	17	19.2578		17	13.1203
	18	16.9251		18	31.2043
	19	24.4601		19	24.9923
	20	26.2954		20	29.1353
	21	22.4259		21	20.1878
	22	13.2447		22	16.5471
	23	32.4676		23	15.264
	24	21.0433		24	20.4962
	25	22.9581		25	23.8335



ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	26	9.28072		26	24.9674
	27	17.8701		27	19.1931
	28	25.5046		28	17.9497
	29	22.5204		29	22.0828
	30	12.061		30	19.0489
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		22.1437573 (6.12655)	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		21.1110833 (5.39058)
<b>สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์</b>					
ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง			ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น จำนวน 5,000 รอบ		
	1	39.4406		1	35.5612
	2	40.8481		2	29.3492
	3	22.9879		3	28.0511
	4	20.7498		4	38.1325
	5	35.3225		5	31.5525
	6	30.9755		6	40.3856
	7	20.8045		7	25.8627
	8	37.1229		8	32.8655

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	9	26.4894		9	30.9507
	10	32.3035		10	42.0915
	11	32.9898		11	23.7688
	12	32.0846		12	37.3218
	13	40.4751		13	30.7766
	14	45.2846		14	32.3035
	15	38.5354		15	25.982
	16	48.1494		16	34.9146
	17	31.1198		17	38.605
	18	45.5631		18	23.4803
	19	20.536		19	34.0741
	20	31.4978		20	28.9513
	21	18.8897		21	47.7415
	22	29.9659		22	34.0045
	23	31.5574		23	27.3747
	24	27.1061		24	27.4343
	25	21.1527		25	25.8726
	26	48.2886		26	31.7763

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	27	30.3339		27	43.0514
	28	19.213		28	17.4125
	29	41.9473		29	21.1328
	30	23.7986		30	31.8658
	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	32.18445 (8.94312)		ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	31.7548967 (6.79719)
<b>สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์</b>					
ทำการทดสอบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง			ทำการทดสอบหลังจากผ่านการแช่น้ำร้อนสลับเย็น จำนวน 5,000 รอบ		
	1	23.2317		1	28.3992
	2	18.5217		2	20.8394
	3	18.3078		3	31.3088
	4	37.4462		4	15.1744
	5	24.8879		5	15.4331
	6	16.582		6	32.3831
	7	18.2282		7	33.9597
	8	25.9671		8	32.8754
	9	35.1484		9	19.4269
	10	26.6485		10	23.0029

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	11	20.1779		11	24.0175
	12	17.0296		12	28.1555
	13	29.9361		13	26.1263
	14	21.7048		14	18.3575
	15	23.2366		15	29.4735
	16	33.338		16	26.753
	17	26.2456		17	11.8272
	18	22.1574		18	27.3448
	19	21.093		19	19.7651
	20	19.5114		20	12.996
	21	22.3066		21	24.9227
	22	30.518		22	28.0312
	23	25.7334		23	35.5861
	24	38.7791		24	12.0261
	25	16.1393		25	33.8901
	26	26.1561		26	26.2954
	27	21.6351		27	16.8804
	28	22.2717		28	20.1082

ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)	ระบบสารยึดติด (เวลาทดสอบ)	ลำดับ	ค่ากำลังแรงยึด (เมกะปาสคาล)
	29	31.4978		29	27.5438
	30	18.6361		30	13.5431
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		24.43577 (6.20820)	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		23.8815467 (7.14110)

### ตารางแสดงค่าสถิติจากโปรแกรม SPSS



#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: BS

Type	Time	Mean	Std. Deviation	N
VF	Immediate	22.1438	6.12655	30
	Thermocycling	21.1111	5.39058	30
	Total	21.6274	5.74485	60
FL	Immediate	32.1844	8.94312	30
	Thermocycling	31.7549	6.79719	30
	Total	31.9697	7.87834	60
All	Immediate	24.4358	6.20820	30
	Thermocycling	23.8815	7.14110	30
	Total	24.1587	6.63987	60
Total	Immediate	26.2547	8.33749	90
	Thermocycling	25.5825	7.85470	90
	Total	25.9186	8.08406	180

#### Tests of Normality

Type		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BS	VFNT	.095	30	.200*	.976	30	.715
	FLNT	.097	30	.200*	.948	30	.150
	AIINT	.143	30	.119	.927	30	.041
	VFT	.096	30	.200*	.952	30	.192
	FLT	.068	30	.200*	.992	30	.998
	AIIT	.123	30	.200*	.951	30	.183

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3510.998 <sup>a</sup>	5	702.200	14.924	.000
Intercept	120919.139	1	120919.139	2569.911	.000
Type * Time	3.041	2	1.521	.032	.968
Type	3487.626	2	1743.813	37.061	.000
Time	20.330	1	20.330	.432	.512
Error	8187.028	174	47.052		
Total	132617.166	180			
Corrected Total	11698.026	179			

a. R Squared = .300 (Adjusted R Squared = .280)

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: BS

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	VFNT	FLNT	-10.0407*	1.77110	.000	-15.1445	-4.9368
		AIINT	-2.2920	1.77110	.788	-7.3959	2.8118
		VFT	1.0327	1.77110	.992	-4.0712	6.1365
		FLT	-9.6111*	1.77110	.000	-14.7150	-4.5073
		AIIT	-1.7378	1.77110	.923	-6.8416	3.3661
	FLNT	VFNT	10.0407*	1.77110	.000	4.9368	15.1445
		AIINT	7.7487*	1.77110	.000	2.6448	12.8525
		VFT	11.0734*	1.77110	.000	5.9695	16.1772
		FLT	.4296	1.77110	1.000	-4.6743	5.5334
		AIIT	8.3029*	1.77110	.000	3.1991	13.4068
	AIINT	VFNT	2.2920	1.77110	.788	-2.8118	7.3959
		FLNT	-7.7487*	1.77110	.000	-12.8525	-2.6448
		VFT	3.3247	1.77110	.420	-1.7792	8.4285
		FLT	-7.3191*	1.77110	.001	-12.4230	-2.2153
		AIIT	.5542	1.77110	1.000	-4.5496	5.6581
	VFT	VFNT	-1.0327	1.77110	.992	-6.1365	4.0712
		FLNT	-11.0734*	1.77110	.000	-16.1772	-5.9695
		AIINT	-3.3247	1.77110	.420	-8.4285	1.7792
		FLT	-10.6438*	1.77110	.000	-15.7477	-5.5400
		AIIT	-2.7705	1.77110	.623	-7.8743	2.3334
FLT	VFNT	9.6111*	1.77110	.000	4.5073	14.7150	
	FLNT	-.4296	1.77110	1.000	-5.5334	4.6743	
	AIINT	7.3191*	1.77110	.001	2.2153	12.4230	
	VFT	10.6438*	1.77110	.000	5.5400	15.7477	
	AIIT	7.8734*	1.77110	.000	2.7695	12.9772	
AIIT	VFNT	1.7378	1.77110	.923	-3.3661	6.8416	
	FLNT	-8.3029*	1.77110	.000	-13.4068	-3.1991	
	AIINT	-.5542	1.77110	1.000	-5.6581	4.5496	
	VFT	2.7705	1.77110	.623	-2.3334	7.8743	
	FLT	-7.8734*	1.77110	.000	-12.9772	-2.7695	

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชลญา บำรุงเรือนเกิดเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2530 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในปี พ.ศ. 2554 จากนั้นรับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ปฏิบัติการที่โรงพยาบาลรัตนบุรี จังหวัด สุรินทร์เป็นเวลา 1 ปี จึงลาออกมาทำอาชีพทันตแพทย์เอกชนเป็นเวลา 1 ปี และได้เข้ารับการ ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยในปีพ.ศ. 2556

