

ผลของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลต่อความแข็งแรงยึดของสารยึดเรซิน  
บนเนื้อฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน

**The Effect of Ethanol-wet Bonding Technique on the Bond Strength of Dental  
Adhesive to Desensitized Dentin**

นางสาววิริยา เสนีย์รัตนประยูร

Wiriya Seneerattanaprayun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Oral Health Sciences**

**Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์                      ผลของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลต่อความแข็งแรงยึดของสาร  
 ยึดเรซินบนเนื้อฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน

ผู้เขียน                                      นางสาววิริยา เสนีย์รัตนประยูร

สาขาวิชา                                  วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	คณะกรรมการสอบ
.....	.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญธร ศตเมธ)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์)
	.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ สมิตไมตรี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์  
 สุขภาพช่องปาก

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ศตเมต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(นางสาววิริยา เสนีย์รัตนประยูร)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาววิริษา เสนีย์รัตนประยูร)

นักศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** ผลของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลต่อความแข็งแรงยึดของสารยึดเรซินบนเนื้อฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน

**ผู้เขียน** นางสาววิริยา เสนีย์รัตนประยูร

**สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

**ปีการศึกษา** 2555

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดของสารยึดเรซินและการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอล ต่อกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของการเชื่อมยึดระหว่างเรซินคอมโพสิต กับเนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน วิธีการวิจัย ใช้ฟันกรามน้อยบนจำนวน 20 ซี่ แบ่งฟันเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซี่ โดยการสุ่ม ตัดฟันในแนวขวางที่ระดับ 5 มิลลิเมตร เหนือรอยต่อเคลือบรากฟันและเนื้อฟันให้ได้พื้นผิวเรียบ เฉพาะกลุ่ม 3 และ 4 เตรียมผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเลี้ยวฟัน (เซนโซดาฟัน) จากนั้นนำกลุ่ม 1 และ 3 ไปปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคขึ้นและทาสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า (ซิงเกิลบอนด์) ขณะที่กลุ่ม 2 และ 4 นำไปปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลและทาสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า (สกอตบอนด์มัลติเพอร์โพส) บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต (ฟิลเทคแซด 350) ในทุกกลุ่ม นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปแท่งหน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดชิ้นทดสอบทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ ให้แรงที่อัตรา 1 มิลลิเมตร/นาที่ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ  $p < 0.05$  หลังจกทดสอบคุณสมบัติแล้ว นำชิ้นทดสอบที่แตกหักไปศึกษารูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดวัดระยะ และแจกแจงความถี่ของรูปแบบการแตกหัก ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคในกลุ่มทดลองที่ 1-4 มีค่าดังนี้  $44.76 \pm 6.22$ ,  $23.37 \pm 6.05$ ,  $29.88 \pm 7.33$  และ  $34.03 \pm 6.44$  เมกะพาสกาล ตามลำดับ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูงสุด ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าต่ำสุด และเมื่อเปรียบเทียบภายในฟันกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอลร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูงกว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้นร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนรูปแบบการแตกหักส่วนใหญ่เป็นรูปแบบการแตกหักแบบผสมในทุกกลุ่มทดลอง จากข้อจำกัดของการวิจัยนี้สรุปได้ว่าในฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน ชนิดของสารยึดเรซินและการปรับสภาพพื้นผิวฟัน มีผลต่อค่ากำลังแรง

ยึดแบบดึง โดยการปรับสภาพพื้นผิวพื้นด้วยเอทานอลร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูงกว่าการปรับสภาพพื้นผิวพื้นด้วยเทคนิคอื่นร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นเทคนิคนี้จึงมีประโยชน์ต่อการอุดเรซินคอมโพสิตบนฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันมาก่อน

**Thesis title** The Effect of Ethanol-wet Bonding Technique on the Bond Strength of Dental Adhesive to Desensitized Dentin

**Author** Miss Wiriya Seneerattanaprayun

**Major program** Oral Health Sciences

**Academic year** 2012

### ABSTRACT

The purpose of study was to determine the effect of the type of dental adhesive resin and ethanol wet bonding technique on the microtensile bond strength of resin composite to desensitized dentin. Twenty sound upper premolars were randomly divided into 4 groups (n=5) and were transversely cut at 5 mm above the CEJ to obtain specimens with flat surface on top. Only specimens of the groups 3&4 were polished with a desensitized agent (Sensodyne<sup>®</sup>). The treated surfaced was bonded to the resin composite using more hydrophilic adhesive system; the Single Bond<sup>®</sup> (SB), in group 1&3, while group 2&4 were bonded using less hydrophilic resin system; the Scotchbond MultiPurpose<sup>®</sup> (MP), was applied on those of the groups 2&4 using the ethanol wet bonding technique. The resin composite (Filtek Z350<sup>®</sup>) was built up on all specimens right after. Specimens were kept in water at 37°C for 1 day and further sectioned by Isomet saw to obtain 1 mm<sup>2</sup> cross-sectional area test beams and subjected to microtensile bond strength test using a universal testing machine (Lloyd), at 1mm.min<sup>-1</sup> crosshead speed. Data were statistically analyzed with ANOVA, at  $p \leq 0.05$ . The fractured surface of the dentin side of all specimens were observed under measuring microscope. The results showed that the microtensile bond strength of the group 1 to 4 groups were 44.76±6.22, 23.37±6.05, 29.88±7.33 and 34.03±6.44 MPa, respectively. The highest bond strength was illustrated in Group 1 (No-Desens/SB) while the lowest bond strength was presented in group 2 (No-Desens/MP). It was found that, among the desensitized specimens, microtensile bond strength was significantly higher when tooth surfaces were treated with less hydrophilic resin (MP) under the ethanol wet bonding technique than using more hydrophilic resin together with the moist bonding technique. Mode of failure is mostly mixed failure. Within the limitation of this study, it could be concluded that, for desensitized dentin, type of dental adhesive and the bonding technique highly affected

the bond strength to resin composite. Using less hydrophilic resin with ethanol wet bonding technique provides the better bond strength than employing more hydrophilic resin with moist bonding technique. This can be an effective procedure in restoring the desensitized dentin with resin composite.



## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทพ. ปรินทร์ ศตเมธ ผู้ซึ่งให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตลอดเวลาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่เป็นผู้ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณโรงพยาบาลปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นโรงพยาบาลต้นสังกัดที่สนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาต่อ รวมถึงทันตแพทย์ทุกคนประจำฝ่ายทันตกรรม โรงพยาบาลพัทลุง จังหวัดพัทลุง ที่สนับสนุนและให้กำลังใจในการเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และช่วยแบ่งเบาภาระงานในฝ่ายทันตกรรม ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยกลางที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณจรยา ชื่นอารมณ์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัยและการใช้เครื่องมือในส่วนของทดสอบกลสมบัติทันตวัสดุ ขอขอบคุณบริษัท 3M จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์วัสดุทางทันตกรรม และขอขอบคุณคลินิกบัณฑิตศึกษาที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยและผู้ช่วยทันตแพทย์ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้องร่วมสาขาที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ามา โดยตลอดตลอดจนผู้ช่วยเหลือทุกท่านที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวผู้สนับสนุนในทุกด้านและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา

วิริยา เสนีย์รัตนประยูร

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การทบทวนวรรณกรรม	3
วัตถุประสงค์	18
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	22
3 ผลการวิจัย	34
4 บทวิจารณ์	41
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	56
ประวัติผู้เขียน	66

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	รูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและฟัน	36
2	องค์ประกอบทางเคมีของสารยึดเรซิน	57
3	องค์ประกอบทางเคมีของยาสีฟันลดเสียวฟันเซนโซดายนต์	58
4	การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลค่าความแข็งแรงยึด เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test	59
5	การทดสอบการกระจายความแปรปรวนค่าความแข็งแรงยึด เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Levene test	59
6	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านพื้นผิวเนื้อฟันและชนิดของสารยึด ต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง	60
7	เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟัน และเรซินคอมโพสิตระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	61

## รายการรูป

รูป		หน้า
1	ลักษณะท่อเนื้อพื้ในในแต่ละบริเวณ	8
2	ความหนาแน่นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อพื้ในบริเวณต่างๆ	9
3	คุณสมบัติของตัวทำละลายชนิดต่างๆที่ผสมในสารยัดเรซินทางทันตกรรม	11
4	ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างหลักของเรซินมอนอเมอร์	13
5	โครงสร้างทางเคมีของอะคริเลท	14
6	โครงสร้างทางเคมีของเมทาคริเลท	14
7	ภาพแสดงการทำความสะอาดพื้	25
8	ภาพแสดงเครื่องตัดชิ้นทดสอบ	26
9	ภาพแสดงการตัดพื้ในแนวตัดขวาง	26
10	ชุดอุปกรณ์ประกอบเพื่อเลียนแบบแรงดันภายในโพรงประสาทพื้	27
11	อุดเรซินคอมโพสิต โดยใช้แม่แบบพลาสติก	28
12	ลักษณะชิ้นทดสอบรูปแท่ง	30
13	ยัดชิ้นทดสอบเข้ากับแท่นยัดด้วยกาวยัด และต่อเข้ากับเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ เพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยัดแบบดึงระดับจุลภาค	31
14	กล้องจุลทรรศน์ชนิดวัดระยะ	32
15	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังแรงยัดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างเนื้อพื้และเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 กลุ่มทดลอง	34
16	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงลักษณะพื้ผิวชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมพื้ผิวด้วยสารลดเสียวพื้	37
17	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงลักษณะพื้ผิวพื้บริเวณรอยแตกหักของตัวอย่างชิ้นทดสอบกลุ่ม D/SB	39
18	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงลักษณะพื้ผิวพื้บริเวณรอยแตกหักของตัวอย่างชิ้นทดสอบกลุ่ม D/MP	40
19	สูตรโครงสร้างทางเคมีของบิสจีเอ็มเอ	44
20	สูตรโครงสร้างทางเคมีของอีมา	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

อาการเสียวฟันจากภาวะเนื้อฟันไวเกิน (dentin hypersensitivity) เป็นปัญหาในช่องปากที่พบได้บ่อย ประมาณร้อยละ 10-20 ของประชากร<sup>(1)</sup> สาเหตุเกิดจากเนื้อฟันเผยผิกร่วมกับการเปิดของท่อเนื้อฟัน ในปัจจุบันทฤษฎีการเกิดภาวะเสียวฟันจากเนื้อฟันไวเกินตามหลักทฤษฎีไฮโดรไดนามิกส์ (hydrodynamic theory) โดย Branstrom A. ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยเชื่อว่าการเคลื่อนที่ของน้ำอย่างรวดเร็วในท่อเนื้อฟันจะกระตุ้นปลายเส้นประสาทในเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน ทำให้เกิดอาการเสียวฟัน<sup>(2)</sup> แนวทางการรักษาภาวะดังกล่าวที่มีประสิทธิภาพในปัจจุบัน คือ การลดการแพร่ของสาร (permeability) ผ่านเนื้อฟัน โดยทำให้เกิดการอุดตันของท่อเนื้อฟัน (occlude dentinal tubule) เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของสารน้ำภายในท่อเนื้อฟัน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนของแร่ธาตุ การตกตะกอนของโปรตีน การเคลือบด้วยสารเรซิน และการอุดฟัน เป็นต้น<sup>(3)</sup> ปัจจุบันสารลดเสียวฟัน ได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลายโดยอาศัยกลไกการอุดตันท่อเนื้อฟัน เช่น ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของสารลดเสียว อย่างไรก็ตามผลระยะเวลาในการคงอยู่ (durability) ของสารลดเสียวฟันเหล่านี้ในการอุดตันท่อเนื้อฟันเป็นเพียงชั่วคราว ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น การละลายของสารลดเสียวฟันจากน้ำลายและสารน้ำในช่องปาก โดยเฉพาะกรณีการอุดตันอยู่เฉพาะในส่วนผิว (superficial occlusion) ของท่อเนื้อฟัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการรักษาที่ยาวนาน อาจจำเป็นต้องพิจารณาบูรณะปิดผิวเนื้อฟันนั้นด้วยวัสดุบูรณะ ซึ่งฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันก่อนการบูรณะอาจมีผลเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงยึดระหว่างผิวฟันกับวัสดุ โดยการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า เมื่อฟันถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน และทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันร่วมกับระบบสารยึด จะมีค่าความแข็งแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(4-8)</sup> ซึ่งค่าความแข็งแรงยึดที่ลดลงนี้อาจส่งผลทางคลินิก คือ เกิดการรื้อซึมตามขอบ การหลุดของวัสดุบูรณะ หรือฟันผุซ้ำ เป็นต้น<sup>(9, 10)</sup> ค่าความแข็งแรงยึดดังกล่าวขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยด้านลักษณะและคุณภาพเนื้อฟัน ปัจจัยด้านระบบสารยึด เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาเกี่ยวกับสารยึดระบบกรดกัดและล้าง (etch & rinse) ในปัจจุบันเป็นไปตามแนวคิดการยึดติดกับเนื้อฟันในสถานะชื้น (wet bonding technique) ที่เชื่อว่าภายหลังจากใช้กรดกัดเนื้อฟันแล้ว ควรมีน้ำแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจน เพื่อป้องกันเส้นใยคอลลาเจนยุบตัว โดยเมื่อน้ำระเหยไปพื้นที่ว่างจะถูกแทนที่ด้วยเรซินมอนอเมอร์ที่แทรกซึมเข้ามา เกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) แต่ปัญหาของเทคนิคนี้ คือ ใน

สภาวะที่มีน้ำหรือความชื้นหลงเหลืออยู่ หากเรซินมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic resin) จะเกิดการแยกตัวกัน (phase separation) ดังนั้นจึงมีการเติมเรซินชนิดชอบน้ำซึ่งชนิดที่นิยมคือ ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต หรือ ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate; HEMA) เพื่อลดการแยกตัวกันและเพิ่มการไหลแผ่ของเรซิน เป็นสาเหตุให้ระบบสารยึดในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่มีความชอบน้ำมากเกินไป (too hydrophilic)<sup>(11)</sup> ซึ่งจะเพิ่มการดูดซับน้ำ (water sorption) และมีแนวโน้มที่จะเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เมื่อสัมผัสกับสภาวะในช่องปาก ทำให้กลสมบัติ (mechanical property) ค่อยลง และส่งผลต่อการยึดติดระหว่างเรซินและเนื้อฟันในระยะยาว<sup>(11-14)</sup>

ในช่วง 5-6 ปีที่ผ่านมา เกิดแนวความคิดพัฒนาระบบการยึดติดโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (ethanol wet bonding technique) ร่วมกับเรซินมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ ยึดกับเนื้อฟันที่ถูกกรดกัดได้ในห้องปฏิบัติการที่เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปาก<sup>(14-17)</sup> ซึ่งเนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดกัดร่วมกับเอทานอลออกด้วยเอทานอล จะมีสภาพความชอบน้ำลดลงจึงลดโอกาสเกิดการแยกตัวกัน นอกจากนี้เนื่องจากเรซินชนิดไม่ชอบน้ำส่วนใหญ่สามารถละลายในเอทานอลได้ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลจะส่งเสริมให้เรซินชนิดไม่ชอบน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจน และทำให้เส้นใยคอลลาเจนไม่ยุบตัวรวมทั้งสัดส่วนของเรซินชนิดไม่ชอบน้ำต่อเรซินชนิดชอบน้ำสูงขึ้น ดังนั้นตามทฤษฎีแล้วกระบวนการนี้จะลดผลของการดูดซับน้ำ เพิ่มค่าความแข็งแรงยึด และลดการรั่วซึมระดับนาโน (nanoleakage)<sup>(14)</sup>

จากที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อฟันถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน และทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันร่วมกับระบบสารยึด จะมีค่าความแข็งแรงยึดลดลง ซึ่งกลไกที่แท้จริงที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยของระบบสารยึดและสภาพพื้นผิวเนื้อฟันน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึด จึงเป็นไปได้ว่าหากสารลดเสียวฟันอุดตันท่อเนื้อฟันและส่งผลลดความชื้นของเนื้อฟัน ซึ่งความชื้นของเนื้อฟันที่ลดลงนี้อาจทำให้เกิดสภาพยึดติดไม่เป็นไปตามกลไกความชอบน้ำของระบบสารยึดชนิดชอบน้ำตามการยึดติดในสภาวะชื้น ดังนั้นแนวทางแก้ปัญหาที่อาจเป็นไปได้เพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติดนี้จึงมุ่งไปที่ระบบสารยึดและเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันโดยการเปลี่ยนชนิดของสารยึดเป็นชนิดไม่ชอบน้ำหรือชนิดที่มีความชอบน้ำน้อยลง (less hydrophilic resin) และช่วยเพิ่มหรือปรับสภาพพื้นผิวให้เหมาะกับเรซินชนิดนี้ด้วยเทคนิคการยึดติดโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาถึงผลของการนำเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลมาใช้กับเนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน ร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า เพื่อค้นหาแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดที่ดีขึ้นด้วยเรซินคอมโพสิตสำหรับบูรณะรอยโรคบนผิวฟันเหล่านี้

## การทบทวนวรรณกรรม

### ภาวะเนื้อฟันไวเกินและหลักการรักษาอาการเสียวฟันด้วยสารลดเสียวฟัน

อาการเสียวฟันจากภาวะเนื้อฟันไวเกิน เป็นปัญหาในช่องปากที่พบได้บ่อยประมาณร้อยละ 10-20 ของประชากร<sup>(1)</sup> สาเหตุเกิดจากเนื้อฟันเผยผิกร่วมกับการเปิดของท่อเนื้อฟัน<sup>(18)</sup> โดยมีหลายทฤษฎีได้อธิบายถึงกลไกการเกิดอาการเสียวฟันจากภาวะเนื้อฟันไวเกิน<sup>(19)</sup> เช่น ทฤษฎีที่เชื่อว่าเกิดจากการมีเส้นประสาทรับความรู้สึกพันไปกับท่อเนื้อฟัน (neural theory) ทฤษฎีที่เชื่อว่าเซลล์โอดอนโตบลาส (odontoblast) เป็นเสมือนตัวรับกระแสความรู้สึก (odontoblastic transduction theory) และทฤษฎีไฮโดรไดนามิกส์ ซึ่งในปัจจุบัน ทฤษฎีการเกิดภาวะเสียวฟันจากเนื้อฟันไวเกินตามหลักไฮโดรไดนามิกส์ โดย Branstrom A. ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย<sup>(19-23)</sup> โดยเชื่อว่า การเคลื่อนที่ของน้ำในท่อเนื้อฟันอย่างรวดเร็วจะกระตุ้นปลายเส้นประสาท (mechanoreceptor nerve) ในเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันให้ส่งสัญญาณประสาท (depolarization) รั่วรู้และแปลผลเป็นอาการเสียวฟันแบบเฉียบพลัน ซึ่งระบุตำแหน่งได้ (sharp, well localized pain)<sup>(2, 23)</sup> จากกลไกดังกล่าว วิธีการลดอาการเสียวฟันจึงเป็นไปได้ 2 แนวทาง คือ การจัดการที่เส้นประสาทโดยการระงับการกระตุ้นเส้นประสาท ซึ่งส่งผลการส่งกระแสประสาทรับความรู้สึก (action potential) โดย Kim S (1986) ได้ศึกษาผลของสารลดเสียวฟันชนิดต่างๆต่อการตอบสนองของเส้นประสาทรับความรู้สึกในโพรงประสาทฟัน (pulpal sensory nerve activity) พบว่า สารลดเสียวฟันสามารถลดการส่งกระแสประสาทรับความรู้สึกได้ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีโพแทสเซียมไอออนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเชื่อว่าเกิดจากการที่มีโพแทสเซียมไอออนนอกเซลล์เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้เส้นใยประสาทไม่สามารถเกิดรีโพลาไรเซชัน (repolarization) ได้ ทำให้ยับยั้งการส่งสัญญาณกระแสประสาทรับความรู้สึก ซึ่งปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า “axonal accommodation”<sup>(22)</sup> ส่วนอีกแนวทางหนึ่งในการลดอาการเสียวฟัน คือ การลดการแพร่ของสารผ่านเนื้อฟัน เนื่องจากเนื้อฟันเป็นโครงสร้างที่มีท่อเนื้อฟันอยู่ภายในและยอมให้สารน้ำแพร่ผ่านได้ โดยความสามารถในการแพร่ผ่านของสารน้ำจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟัน ซึ่งตามกฎของ Poiseuille (Poiseuille’s law) กล่าวว่า สารน้ำที่ซึมผ่านเนื้อฟันจะเป็นสัดส่วนกับรัศมีของท่อเนื้อฟันยกกำลังสี่ ดังนั้นการลดการแพร่ของสาร โดยให้มีการอุดตันของท่อเนื้อฟัน ซึ่งเป็นวิธีการลดรัศมีทำงาน (functional radius) ของท่อเนื้อฟัน จึงป้องกันการเคลื่อนที่ของสารน้ำในท่อเนื้อฟัน และลดอาการเสียวฟันได้<sup>(18, 19, 21, 24-26)</sup> การปิดท่อเนื้อฟันดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้หลายวิธี ได้แก่ การอุดปิดท่อเนื้อฟันด้วยสารเคลือบชนิดเรซินหรือด้วยวัสดุอุดฟัน<sup>(3, 24)</sup>

การตกตะกอนเป็นผลึก (crystal precipitation) ของสารบางตัว เช่น โพแทสเซียมออกซาลเตต (potassium oxalate) เฟอริกออกซาลเตต (ferric oxalate) สตรอนเซียมคลอไรด์ (strontium chloride) โดยการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนที่มีอยู่ในสารน้ำภายในท่อเนื้อฟัน (dentinal fluid) เกิดเป็นผลึกอุดท่อเนื้อฟัน และอาจเกิดจากการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน (coagulation) ของพลาสมาโปรตีนชนิดอัลบูมิน (albumin) ที่ทำปฏิกิริยากับกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารลดเสียวฟัน และอุดปิดท่อเนื้อฟัน ตัวอย่างของสารลดเสียวฟันกลุ่มนี้ เช่น กลูมา (Gluma<sup>®</sup>) ซึ่งประกอบด้วย กลูตารัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมกับฮีมา ความเข้มข้นร้อยละ 35 การศึกษาทางคลินิกเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารลดเสียวฟันต่อการลดภาวะเนื้อฟันไวเกินในมนุษย์ โดย Kishore A และคณะ (2002) พบว่า สารละลายสตรอนเซียม คลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 สารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 และสารละลายฟอรัมาลิน ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีผลลดภาวะเนื้อฟันไวเกินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับน้ำกลั่นที่เป็นกลุ่มควบคุม<sup>(27)</sup> จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารลดเสียวฟันมีประสิทธิภาพในการลดอาการเสียวฟันจากภาวะเนื้อฟันไวเกินได้จริงเมื่อนำมาใช้ทางคลินิก

ในปัจจุบันการรักษาภาวะเนื้อฟันไวเกินด้วยสารลดเสียวฟันส่วนใหญ่อาศัยกลไกการอุดตันท่อเนื้อฟันเป็นหลัก ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะฉาบปิดบนพื้นผิวเนื้อฟัน หรืออุดตันภายในท่อเนื้อฟัน โดยการใช้ยาสีฟันลดเสียวฟัน เป็นวิธีการลดอาการเสียวฟันที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยสารสำคัญ (active ingredient) ที่เป็นส่วนผสมในยาสีฟันลดเสียวฟันมีหลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมออกซาลเตต เฟอริกออกซาลเตต สตรอนเซียมคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งผลการลดการเสียวฟันผ่านทางกลไกการอุดตันท่อเนื้อฟันดังที่ได้กล่าวมา โดยหลายการศึกษาได้ศึกษาถึงลักษณะและรูปแบบการอุดตันท่อเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟัน เช่น Gillam DG และคณะ (1999) ได้ศึกษาลักษณะของเนื้อฟันที่ได้รับการทาสารลดเสียวฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) พบว่าสารลดเสียวฟันต่างชนิดกัน จะอุดตันท่อเนื้อฟันได้แตกต่างกัน โดยเฟอริกออกซาลเตต จะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายผลึก (crystal like structure) อุดตันท่อเนื้อฟันในปริมาณมาก ส่วนโพแทสเซียมออกซาลเตต จะมีระดับการอุดตันน้อยกว่า โดยคาดว่าน่าจะเกิดจากการที่เฟอริกออกซาลเตต ละลายชั้นสเมียร์ (smear layer) และมีการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมออกซาลเตต (calcium oxalate) และ เฟอริกฟอสเฟต (ferric phosphate) อุดตันท่อเนื้อฟัน<sup>(3)</sup> นอกจากนี้ Arrais CAG และคณะ (2003) ศึกษาผลของการใช้ยาสีฟันลดเสียวฟันต่อการอุดตันท่อเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การแปรงฟันร่วมกับการใช้ยาสีฟันลดเสียวฟันจะมีร้อยละการอุดตันท่อเนื้อฟันมากกว่ากลุ่มที่ไม่แปรงฟันหรือแปรงฟันโดยไม่ใช้ยาสีฟันลดเสียวฟัน โดยพบว่าเมื่อใช้ยาสีฟันเซนโซไดน์ (Sensodyne<sup>®</sup> toothpaste) ซึ่งมีสารสำคัญในการลดเสียวฟัน คือ สตรอนเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีผลึกอุดตันท่อเนื้อฟัน



สูงถึงร้อยละ 80 (กลุ่มควบคุมมีการอุดตันท่อเนื้อฟันเพียงร้อยละ 37.3)<sup>(28)</sup> ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jain P และคณะ (1997) ที่พบว่า การแปรงฟันร่วมกับยาสีฟันลดเสียวฟัน จะลดจำนวนของท่อเนื้อฟันที่เผยผิ๊งได้<sup>(21)</sup> Arrais CAG และคณะ (2004) ศึกษาลักษณะการอุดตันของท่อเนื้อฟันเมื่อใช้สารลดเสียวฟัน ได้ผลคล้ายกับการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าสารลดเสียวฟันต่างชนิดกัน จะมีรูปแบบการอุดตันท่อเนื้อฟันที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มออกซาเลตจะพบลักษณะการอุดตันด้วยผลึกที่มีขนาดหลากหลายภายในท่อเนื้อฟัน บางผลึกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับท่อเนื้อฟันและอุดตันลึกลงไปประมาณ 15 ไมโครเมตร ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยออกซาเลตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนจากสารน้ำในท่อเนื้อฟัน และตกตะกอนเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต ในกลุ่มสารลดเสียวฟันกลุ่มนี้จะพบวัสดุปกคลุมบนพื้นผิวฟันบางๆ มีความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร และพบว่ามีวัสดุอุดตัว (plug) อยู่ภายในท่อเนื้อฟัน<sup>(24)</sup> ส่วนในกลุ่มสตรอนเซียมคลอไรด์จะพบการอุดตันท่อเนื้อฟันลึกประมาณ 20 ไมโครเมตร<sup>(29)</sup> จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าพื้นผิวเนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะพบลักษณะการอุดตันท่อเนื้อฟันอยู่จริง ซึ่งมีรูปแบบและปริมาณการอุดตันที่แตกต่างกัน นอกจากนี้หลายการศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการอุดตันท่อเนื้อฟันกับการแพร่ของสารน้ำผ่านเนื้อฟันในฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน โดยอาศัยหลักการของค่าไฮดรอลิกคอนดักแทน (hydraulic conductance) ซึ่งคำนวณจากปริมาณของสารน้ำที่แพร่ผ่านเนื้อฟันต่อหน่วยพื้นที่ มีหลายปัจจัยที่มีส่วนในการกำหนดค่าไฮดรอลิกคอนดักแทนในท่อเนื้อฟัน ได้แก่ แรงดันในการไหลของของเหลวผ่านเนื้อฟัน ความยาวของท่อเนื้อฟัน ความหนืดของน้ำในท่อเนื้อฟันและรัศมีของท่อเนื้อฟัน เป็นต้น<sup>(23, 30)</sup> รัศมีของท่อเนื้อฟันเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของสารน้ำ การเปลี่ยนแปลงรัศมีของท่อเนื้อฟันเพียงเล็กน้อย จะส่งผลต่ออัตราการไหลของสารน้ำในท่อเนื้อฟันเป็นอย่างมาก Greenhill JD และ Pashley DH (1981) ได้ศึกษาผลของสารลดเสียวฟันต่อค่าไฮดรอลิกคอนดักแทนในฟันมนุษย์ พบว่าการเตรียมพื้นผิวฟันด้วยยาสีฟันเซนโซดาเซน ส่งผลลดค่าไฮดรอลิกคอนดักแทน มากกว่าร้อยละ 6 ซึ่งแตกต่างจากการเตรียมพื้นผิวฟันด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลายบัพเฟอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(19)</sup> นอกจากนี้ในหลายการศึกษาพบว่าเนื้อฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน มีการแพร่ของสารน้ำผ่านเนื้อฟันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถึงร้อยละ 60-96 โดยประมาณ<sup>(21, 31)</sup>

ถึงแม้ว่าสารลดเสียวฟันจะมีประสิทธิภาพดีในการลดอาการเสียวฟันตามกลไกที่กล่าวข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามผลระยะยาวในการคงอยู่ของสารลดเสียวฟันเหล่านี้ในการอุดตันท่อเนื้อฟันขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น การละลายของสารลดเสียวฟันจากน้ำลายและสารน้ำในช่องปาก โดยเฉพาะกรณีที่มีการอุดตันอยู่เฉพาะในส่วนผิวของท่อเนื้อฟัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการลด

อาการเสียวฟันด้อยลง และมีผลลดเสียวฟันระยะสั้น ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการรักษาที่ยาวนาน อาจจำเป็นต้องพิจารณาบูรณะปิดผิวเนื้อฟันนั้นด้วยวัสดุบูรณะ ซึ่งเนื้อฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันก่อนบูรณะด้วยวัสดุบูรณะอาจมีผลเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุบูรณะ ถึงแม้ว่าผลการศึกษาเกี่ยวกับค่าความแข็งแรงยึดยังไม่แน่ชัด แต่การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเมื่อฟันถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันและทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันร่วมกับระบบสารยึดจะมีค่าความแข็งแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(4-8)</sup> การศึกษาของ Lehmann N และ Degrange (2005) พบว่าฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน เมื่อทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะร่วมกับระบบสารยึดเซลฟ์เอทซ์ (self etch) จะมีค่าความแข็งแรงยึดต่ำลง จากประมาณ 22 เมกะพาสคัล เป็น 9 เมกะพาสคัล<sup>(6)</sup> ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vachiramon V และคณะ (2008) ที่พบว่า ฟันที่ถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน เมื่อทำการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะร่วมกับระบบสารยึดชนิดกรดกัดและล้าง 2 ขั้นตอน จะมีค่าความแข็งแรงยึดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากประมาณ 36 เมกะพาสคัล เป็น 27 เมกะพาสคัล<sup>(7)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Zorba YO และคณะ (2010) พบว่าเนื้อฟันที่ไม่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน (กลุ่มควบคุม) เมื่อใช้ร่วมกับระบบสารยึดแอดเฮซี (AdheSE) จะได้ค่าความแข็งแรงยึดเหนือนสูงสุด ที่ประมาณ 16 เมกะพาสคัล และพบว่าเนื้อฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันชนิดโพแทสเซียมไนเตรด ความเข้มข้นร้อยละ 3 เมื่อใช้ร่วมกับระบบสารยึดเอกซ์พี บอนด์ (XP bond) จะได้ค่าความแข็งแรงยึดเหนือนต่ำสุด ที่ประมาณ 6 เมกะพาสคัล ส่วนกลุ่มอื่น ๆ มีค่าความแข็งแรงยึดเหนือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ<sup>(20)</sup> การศึกษาของ De Andrade e Silva SM และคณะ (2010) พบว่าเนื้อฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันชนิดโพแทสเซียมออกซาลेट เมื่อใช้ร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง 2 และ 3 ขั้นตอน คือ ซิงเกิลบอนด์ (Single Bond) วันสเต็ป (One Step) และสกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพส (Scotchbond Multipurpose) ตามลำดับ มีค่าความแข็งแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ยังศึกษาถึงความเสถียรของค่าความแข็งแรงยึดเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี พบว่าในทั้ง 3 กลุ่มมีค่าความแข็งแรงยึดลดลงชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) ซึ่งลดลงประมาณร้อยละ 30-40<sup>(32)</sup>

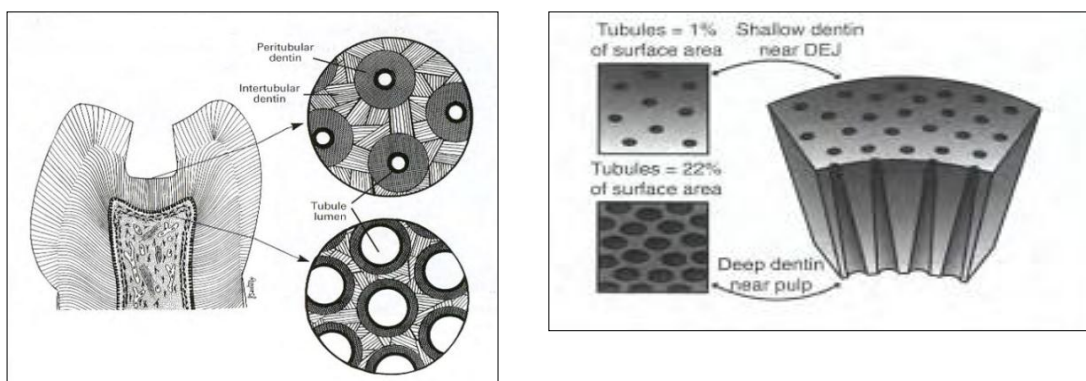
จากผลการศึกษาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน เมื่อบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับระบบสารยึดในปัจจุบัน มีแนวโน้มของค่าความแข็งแรงยึดลด<sup>(4, 5, 26)</sup> ซึ่งสาเหตุของค่าความแข็งแรงยึดที่ลดลงนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่การศึกษาส่วนใหญ่คาดว่าเกิดจากความไม่เข้ากันระหว่างสภาพพื้นผิวฟันและระบบสารยึด ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันและเรซินคอมโพสิต

## กลไกการยึดติดและระบบสารยึดทางทันตกรรม: ความเข้ากันได้กับสภาพพื้นผิวฟัน

เมื่อพิจารณาตามกลไกการยึดติด (principle of adhesion) ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการยึดติดที่ีระหว่างสารยึดเรซินและเนื้อฟัน ได้แก่ การมีพื้นผิวฟันที่สะอาด ซึ่งส่งผลเพิ่มค่าพลังงานของพื้นผิว (high surface energy) สารยึดเรซินควรมีคุณสมบัติไหลแผ่บนพื้นผิวฟันได้ดี (wet surface) กล่าวคือ มีมุมสัมผัสระหว่างสารยึดเรซินและผิวฟันต่ำ (low contact angle) สารยึดเรซินสามารถแทรกซึมบนผิวเนื้อฟันอย่างแนบสนิทไม่มีการแทรกของฟองอากาศหรือวัสดุอื่นขัดขวางการยึดติด (good adaptation of resin) ตำแหน่งพื้นผิวเชื่อมต่อมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานแรงบดเคี้ยวและสารยึดเรซินเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ เป็นต้น ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ล้วนแต่ส่งเสริมให้เกิดการแทรกซึมของสารยึดเรซินเข้าไปอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนภายในเนื้อฟัน ซึ่งเมื่อรวมกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์ของสารยึดเรซิน ก็จะเกิดการยึดติดเชิงกลในระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) กลายเป็นชิ้นแห่งการยึดติดระหว่างเรซินกับผิวฟัน ที่เรียกว่าชั้นไฮบริด<sup>(33)</sup> โดย Nakabayashi และคณะ (1982) เป็นผู้แนะนำระบบการยึดติดระหว่างเรซินกับเนื้อฟัน โดยการแทรกซึมของเรซินเข้าไปในท่อเนื้อฟัน เกิดลักษณะที่เรียกว่า “สายเรซิน” (resin tag) และการแทรกซึมของสารยึดเรซินเข้าไประหว่างแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจน (resin-collagen infiltration) บนพื้นผิวเนื้อฟันที่ถูกกรัดกัด เกิดเป็นชั้นไฮบริดเชื่อมระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต โดยเชื่อว่าชั้นไฮบริดเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันและสารยึด<sup>(13, 34-36)</sup> ซึ่งคุณภาพของชั้นไฮบริดมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของการยึดติด เนื่องจากการเชื่อมยึดที่แข็งแรงกว่า เมื่อเทียบกับการยึดเชิงกลหรือการยึดด้วยพันธะทางเคมี<sup>(37)</sup> การศึกษาของ Santini A (2010) แสดงให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของชั้นไฮบริดที่มีต่อค่าความแข็งแรงยึด พบว่าชั้นไฮบริดที่มีความหนาน้อยและมีรูพรุนแทรกอยู่ภายใน จะให้ค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันต่ำ เป็นต้น<sup>(37)</sup> จะเห็นได้ว่าทุกกระบวนการ ตั้งแต่การละลายแร่ธาตุออกจากผิวเนื้อฟัน การส่งเสริมให้เกิดการไหลแผ่ที่ดีของสารยึดเรซินไปบนผิวฟัน การแทรกซึมของสารยึดเรซินเข้าไปในเนื้อฟัน และการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ของสารยึดเรซิน ล้วนส่งผลต่อความแข็งแรงยึด<sup>(38)</sup> อย่างไรก็ตาม การทำให้เกิดการยึดติดที่ีระหว่างพื้นผิวฟันและสารยึดเรซินตามกลไกที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากกลไกการยึดติดระหว่างสารยึดเรซินกับเนื้อฟันมีความซับซ้อน และขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อฟัน ปัจจัยด้านระบบสารยึด เช่น รูปแบบในการยึดติด และองค์ประกอบของระบบสารยึด เป็นต้น

## 1. ปัจจัยด้านลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อฟัน

เนื้อฟันมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยอินทรีย์สาร ร้อยละ 30 โดยปริมาตร อนินทรีย์สารร้อยละ 50 โดยปริมาตร และน้ำเป็นองค์ประกอบ ในสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับเคลือบฟัน ร่วมกับภายในเนื้อฟันยังประกอบด้วยท่อเนื้อฟัน และของเหลวภายใน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแน่นแตกต่างกันไปขึ้นกับตำแหน่ง โดยพบว่าตำแหน่งที่ใกล้รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเคลือบฟันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและหนาแน่นน้อย ส่วนบริเวณที่ใกล้โพรงประสาทฟันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่และหนาแน่นมาก (รูปที่ 1-2) โดยของเหลวในท่อเนื้อฟันจะมีทิศทางไหลออก (outward flow)<sup>(18, 33, 39)</sup> จากแรงดันภายในโพรงประสาทฟัน (positive pulp pressure) ซึ่งมีค่าประมาณ 20 เซนติเมตรน้ำ นอกจากนี้เนื้อฟันในแต่ละบริเวณยังมีปริมาณของเหลวที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการยึดอยู่ ดังนั้นเนื้อฟันส่วนลึกมักมีความแข็งแรงยึดต่ำ เนื่องจากสารยึดเรซินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเรซินมอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ จึงเกิดความไม่เข้ากัน (incompatibility) กับสภาพพื้นผิวฟันที่มีน้ำหรือความชื้นเป็นองค์ประกอบมาก นอกจากนี้เนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) ง่ายต่อการใช้กรดกัด เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ธาตุ ส่งผลให้เมื่อใช้กรดกัดจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายปากแตร (funnel shaped) ซึ่งไม่ส่งเสริมให้เกิดการยึดอยู่เชิงกล<sup>(34)</sup> (รูปที่ 1) นอกจากนี้องค์ประกอบของเนื้อฟันไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ตำแหน่งของเนื้อฟัน อายุ และการมีรอยโรค เป็นต้น<sup>(39)</sup> จึงมีผลต่อค่าความแข็งแรงยึด



รูปที่ 1 ภาพแสดงลักษณะท่อเนื้อฟันในแต่ละบริเวณ ณ ตำแหน่งที่ใกล้รอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและเนื้อฟัน และตำแหน่งที่ใกล้โพรงประสาทฟัน (อ้างอิงจาก Summitt JB, Robbins JW, Schwartz RS. Fundamentals of Operative Dentistry; 2006 และ Hargraves KM, Goodis HE. Dental pulp; 2002)

Dentinal Tubule Density and Diameters at Various Distances from the Pulp and the Calculated Areas of Fluid-filled Tubules, Peritubular Dentin, and in Intertubular Dentin					
Distance from Pulp	Number of Tubules* x 10 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup>	Radius of Tubules* x 10 <sup>4</sup> cm <sup>-4</sup>	Areas <sup>†</sup>		
			Fluid-filled Tubules	Peritubular Dentin <sup>‡</sup>	Intertubular Dentin
Pulp	4.5	1.25	22.10	66.25 <sup>‡</sup>	11.65
0.1-0.5	4.3	0.95	12.19	36.58	51.23
0.6-1.0	3.8	0.80	7.64	22.92	69.44
1.1-1.5	3.5	0.60	3.96	11.89	84.15
1.6-2.0	3.0	0.55	2.85	8.55	88.60
2.1-2.5	2.3	0.45	1.46	4.39	94.15
2.6-3.0	2.0	0.40	1.01	3.01	95.98
3.1-3.5	1.9	0.40	0.96	2.86	96.18

\*Data calculated from Garberoglio and Brännström (1976).  
<sup>†</sup> $A_f = \pi r^2 N (100)$ , where N = number of tubules per cm<sup>2</sup>. (Note:  $A_f$ , although an area, is also the percent of surface area occupied by water.)  
 $A_p = \pi N(R^2 - r^2) (100)$ , where  $R = 2r$  and  $r$  = tubule radius.  $A_i = 100 - (A_p - A_f)$ .  
<sup>‡</sup>There is no peritubular dentin at the pulpal surface, but it begins close to the pulpal surface.

รูปที่ 2 ความหนาแน่นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในบริเวณต่างๆที่ระยะห่างจากโพรงประสาทฟัน (อ้างอิงจาก Hargraves KM, Goodis HE. Dental pulp; 2002 )

ตามหลักกลไกการยึดติดที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าสถานะพื้นผิวของเนื้อฟันเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึด ทั้งลักษณะโครงสร้าง และองค์ประกอบของเนื้อฟัน โดยเฉพาะความชื้นที่มีอยู่ภายในเนื้อฟัน ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึด รวมทั้งส่งผลต่อความเข้ากันได้ของชนิดสารยึด (เรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าและเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า)<sup>(33)</sup>

## 2. ปัจจัยด้านระบบสารยึด ได้แก่ รูปแบบในการยึดติด และองค์ประกอบของระบบสารยึด

### 2.1) รูปแบบในการยึดติด

ระบบสารยักระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟัน ในระยะเริ่มแรกนั้นมีลักษณะไม่ชอบน้ำ และยึดกับเนื้อฟันในสภาพแห้ง เมื่อทาสารยัดลงบนชั้นสเมียร์ที่อยู่บนผิวฟัน เรซินจะไม่สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปข้างใน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดที่ได้ค่อนข้างต่ำมาก ซึ่งมีค่าประมาณ 5 เมกะพาสคาล ต่อมาจึงพัฒนาโดยใช้กรดกัดพื้นผิวเนื้อฟัน เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.5-2 ไมโครเมตร และละลายแร่ธาตุที่อยู่ล้อมรอบท่อเนื้อฟัน ออกประมาณ 1-10 ไมโครเมตร นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตยังมีการปรับสูตรของระบบสารยึดใหม่ โดยการเติมเรซินมอนอเมอร์ชนิดชอบน้ำ เช่น ซีมา เข้าไป ซึ่งช่วยให้เกิดการไหลแผ่ที่ติดบนผิวเนื้อฟัน และทนต่อความชื้นได้มากยิ่งขึ้น เกิดเป็นระบบสารยัดชนิดกรดกัดและล้าง แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระบบนี้จะใช้งานได้ดี และให้ค่าความแข็งแรงยึดที่สูงขึ้น แต่มีข้อด้อย คือ ใช้ระยะเวลาในคลินิกนาน และ

เทคนิคมีความไวสูง (technique sensitive) โดยในระยะเริ่มแรกที่มีการนำระบบสารยึดชนิดกรดกัดและล้างมาใช้ เมื่อใช้กรดกัดพื้นผิวเนื้อฟัน พบว่าโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟันเปลี่ยนแปลงไป กลายเป็นเนื้อฟันที่ประกอบด้วย อินทรีย์สาร ร้อยละ 30 โดยปริมาตร และน้ำร้อยละ 70 โดยปริมาตร เปรียบเสมือนเส้นใยคอลลาเจนแช่อยู่ในน้ำ เมื่อทำการเป่าเนื้อฟันให้แห้งหลังจากใช้กรดกัด พบว่าการเป่าแห้งนั้นเป็นสาเหตุให้เกิดการยุบตัวของเส้นใยคอลลาเจน ลดช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน (interfibrillar space) และขัดขวางการแทรกซึมของเรซินเข้าไปในเนื้อฟัน โดยเนื้อฟันที่เป่าแห้งจะมีปริมาตรลดลงถึงร้อยละ 65.5 จากลักษณะดังกล่าวของเนื้อฟันทำให้นักวิจัยพยายามพัฒนาวัสดุและกระบวนการยึดติดเพื่อให้มีค่าความแข็งแรงยึดที่ดี จึงเกิดแนวความคิดการยึดติดในสภาพเนื้อฟันที่มีความชื้น โดยอาศัยตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติในการไล่น้ำหลังจากทาไพรเมอร์ โดยสารยึดเรซินในปัจจุบันบางระบบจะใช้หลักการยึดติดในเนื้อฟันที่มีสถานะชื้น เนื่องจากการที่มีน้ำหรือของเหลวแทรกซึมอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนจะช่วยป้องกันการหดตัวและยุบตัวของคอลลาเจน ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของเรซิน<sup>(34, 35, 37)</sup> การศึกษาของ Santini A และคณะ (2010) เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันที่มีความชื้นหลังกรดกัดและเนื้อฟันที่เป่าแห้ง เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง พบว่าเนื้อฟันที่มีความชื้นหลังกรดกัดมีค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่าเนื้อฟันที่เป่าแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นมีลักษณะต่อเนื่องสม่ำเสมอ<sup>(37)</sup> แต่อย่างไรก็ตามเกิดคำถามขึ้นว่า เนื้อฟันควรจะมี ความชื้นเท่าไรจึงจะเหมาะสม และการทำให้ได้ความชื้นที่สม่ำเสมอค่อนข้างยาก เนื่องจากเนื้อฟันในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน จึงมีค่าไฮดรอลิกคอนดักแทนที่แตกต่างกัน ดังนั้นระบบสารยึดชนิดกรดกัดและล้างจึงมีเทคนิคไวต่อสิ่งกระตุ้น<sup>(37)</sup> จากปัญหาที่กล่าวมาจึงมีการพัฒนาระบบเซลล์โพเทซึ้น โดยอาศัยเรซินมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดผสมกับสารยึดให้ผ่านชั้นสเมียร์และละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันที่อยู่ชั้นล่าง ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างของสารยึดเรซินชนิดนี้ มีค่าประมาณ 1-2 อย่างไรก็ตามในระบบนี้พบว่าน้ำซึมผ่านได้มากขึ้น และเกิดการดูดซึมน้ำได้มากในระยะยาว เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารชอบน้ำในปริมาณมาก<sup>(11)</sup> ส่วนในกลุ่มเซลล์โพเทซึ้น 1 ชั้นตอน พบว่า จะมีความเป็นกรดและความชอบน้ำมากขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มเซลล์โพเทซึ้น 2 ชั้นตอน เนื่องจากกลุ่มเซลล์โพเทซึ้น 1 ชั้นตอน จะรวมสารองค์ประกอบทุกอย่างไว้ในขวดเดียว ซึ่งชนิดของสารองค์ประกอบจะคล้ายคลึงกับในกลุ่มเซลล์โพเทซึ้น 2 ชั้นตอน แต่แตกต่างกันที่สัดส่วนขององค์ประกอบ<sup>(38)</sup> โดยการระเหยของน้ำจากการใช้สารยึดเรซินกลุ่มเซลล์โพเทซึ้น 1 ชั้นตอน เป็นไปได้ยากเนื่องจากสัดส่วนของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมีอยู่ค่อนข้างมากจึงเกิดการดึงดูน้ำ จากข้อดีของเรซินชนิดชอบน้ำ คือ มีการดูดซึมน้ำ ทำให้น้ำระเหยออกจากสารยึดได้ยาก ส่งผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวลง (plasticized) และมีคุณสมบัติคือยลลง และถึงแม้ว่าเดิมเรซินมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำเพิ่มเติม แต่กลับพบว่าเรซินชนิดชอบน้ำมีแนวโน้มจะเกิดการรวมตัวกันเอง (cluster) เป็นสาย

โครงสร้างชอบน้ำ (hydrophilic domain) ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เกิดเป็นช่องว่างที่เต็มไปด้วยน้ำ (water filled channel) ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่าเป็นการเกิด “ต้นไม้ น้ำ” (water tree) ซึ่งเป็นช่องทางให้น้ำไหลผ่านจากเนื้อพืชมายังตำแหน่งชั้นแอคทีซีฟได้<sup>(11)</sup> ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดให้เข้าไปในทิศทางที่ด้อยลง

## 2.2) องค์ประกอบของระบบสารยึด

ระบบของสารยึดในทางทันตกรรม มีองค์ประกอบหลัก คือ เรซินมอนอเมอร์ สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator system) สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) ตัวทำละลาย (solvent) และองค์ประกอบย่อยอื่นๆ เป็นต้น

### ตัวทำละลาย

ตัวทำละลายในระบบสารยึดมี 3 ประเภทหลัก คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ซึ่งบทบาทของตัวทำละลาย คือ ละลายสารยึดเรซินประเภทชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเข้าด้วยกัน<sup>(38, 40, 41)</sup>

โดยคุณลักษณะสำคัญของตัวทำละลาย ได้แก่ 1) โมเมนต์คู่ขั้ว (dipole moment) 2) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการละลายพันธะไฮโดรเจน และความมีขั้วของสาร 3) จุดเดือดของสาร (boiling point) 4) แรงดันระเหย (vapor pressure) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย 5) ความสามารถในการยึดพันธะไฮโดรเจน (H bonding capacity) มีความสำคัญต่อการขยายกลับของคอลลาเจนที่หดตัวหลังจากกำจัดน้ำ คุณสมบัติต่างๆของตัวทำละลายแสดงในรูปที่ 3

Main characteristics of solvents used in adhesives					
	Dipole moment in gaseous state in Debye at 25°C	Dielectric constant at 293°K (20°C)	Boiling temperature (°C)	Vapor pressure in mmHg at 25°C	H-bonding capacity
Water H <sub>2</sub> O	1.85	80	100.0	23.8	+++
Ethanol CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	1.69	24.3	78.5	54.1	+
Acetone $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	2.88	20.7	56.2	200	-

รูปที่ 3 คุณลักษณะของตัวทำละลายชนิดต่างๆที่ผสมในสารยึดเรซินทางทันตกรรม<sup>(38)</sup>

น้ำ เป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วสูง ซึ่งพิจารณาจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำจัดเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีสำหรับสารประกอบอินทรีย์ เช่น มอนอเมอร์

เนื่องจากมอนอเมอร์ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ดังนั้นจึงมักเติมตัวทำละลายชนิดอื่นผสมร่วมด้วย เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน

เอทานอล จัดเป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วคล้ายกับน้ำ กล่าวคือสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แต่อย่างไรก็ตาม เอทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ ดังนั้นจึงเหมาะสมในการละลายสารที่มีความมีขั้วต่ำได้ดีกว่าน้ำ โดยทั่วไปแล้วตัวทำละลายส่วนใหญ่มักมีส่วนผสมของน้ำและเอทานอลร่วมกัน (co-solvent) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำและเอทานอล ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการระเหยได้ดีกว่าตัวทำละลายที่เป็นน้ำเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เอทานอลยังมีคุณสมบัติที่เด่นอีกอย่างหนึ่ง คือ การคงสภาพคอลลาเจนไม่ให้เกิดการยุบตัวหลังจากละลายแร่ธาตุออกไป (stiffening effect on demineralized collagen)

อะซิโตน มีค่าโมเมนต์ขั้วคู่สูงและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ จึงสามารถละลายได้ทั้งสารประกอบที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นอะซิโตนจึงจัดเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับละลายสารยึดเหนี่ยวที่มีสารยึดเหนี่ยวชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้อะซิโตนมีแรงดันระเหยสูงซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของเอทานอล จึงเป็นข้อดีของตัวทำละลาย ซึ่งส่งผลให้ไม่หลงเหลือตัวทำละลายในพื้นที่ผิวฟัน และอะซิโตนยังมีคุณสมบัติในการไล่น้ำ (water clashing capacity) จากการที่มีค่าโมเมนต์ขั้วคู่สูงและระเหยเร็ว แต่อย่างไรก็ตามจุดด้อยของตัวทำละลายชนิดนี้ คือ ระเหยเร็วมาก จึงมีผลลดอายุการใช้งาน และมีความสามารถในการยึดพันธะไฮโดรเจนต่ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถช่วยคงสภาพคอลลาเจนไม่ให้เกิดการยุบตัวหลังจากละลายแร่ธาตุออกไป

การศึกษาของ Jacobsen T และคณะ (1995) พบว่า ชนิดตัวทำละลายในไพรเมอร์มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึด โดยพบว่าตัวทำละลายชนิดอะซิโตนจะให้ค่าความแข็งแรงยึดที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอะซิโตนมีคุณสมบัติในการไล่น้ำ โดยสารละลายอะซิโตน/ฮีมา สามารถแทรกเข้าไปในเนื้อฟันที่มีสภาวะชื้น โดยจะเข้าไปผสมรวมกับน้ำที่เหลืออยู่ภายในเนื้อฟัน จากนั้นอะซิโตนและน้ำ จะระเหยไป เหลือเพียงฮีมาที่แทรกซึมอยู่ในเส้นใยคอลลาเจน ดังนั้นกรณีที่ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย จึงทำให้ฮีมาสามารถแทรกซึมและอิมบิวในเส้นใยคอลลาเจนได้ในระยะเวลาอันสั้น แต่อย่างไรก็ตาม สารไพรเมอร์ที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำจะให้ค่าความแข็งแรงยึดที่สูงขึ้นหากเพิ่มระยะเวลาการทาไพรเมอร์ เนื่องจากน้ำระเหยช้าและอาจมีน้ำบางส่วนแทรกซึมอยู่ในเส้นใยคอลลาเจน ทำให้ความหนาแน่นของฮีมาในกลุ่มเส้นใยคอลลาเจนลดน้อยลง นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าการเติมน้ำเข้าไปในฮีมา/บิสจีเอ็มเอ (HEMA/Bis-GMA) จะมีผลลดปริมาณการเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (degree of conversion) ลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับสภาวะแห้ง ดังนั้นประสิทธิภาพของการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจะด้อยลง โดยการเติมน้ำ 0-0.2 มิลลิลิตร จะมีผลมากต่อการลดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจาก



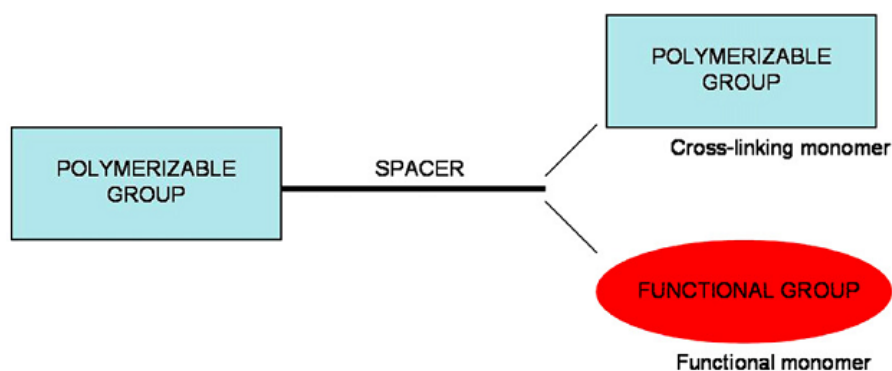
ค่า 1.6 เป็น 0.98 ส่วนการเติมน้ำปริมาณ 0.4 และ 0.8 มิลลิลิตร ไม่แตกต่างจากปริมาณน้ำ 0.2 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณน้ำที่เติม 0.2 มิลลิลิตร จึงเป็นค่าวิกฤต (critical value) ของการศึกษา<sup>(35)</sup>

นอกจากนี้ความเข้มข้นของตัวทำละลาย ยังส่งผลต่อการแทรกซึมของสารยึดเรซิน เข้าไปในคอลลาเจน เมทริกซ์ และคุณภาพของชั้นไฮบริด โดย Wang Y และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายต่อคุณลักษณะของชั้นไฮบริด เมื่อใช้ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคชั้น พบว่า ความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล มีผลต่อลักษณะและคุณภาพของชั้นไฮบริด กล่าวคือ เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 พบลักษณะชั้นไฮบริดที่ขาดความแข็งแรง นอกจากนี้ยังพบการแยกชั้นกันระหว่างเนื้อฟันและสารยึดเรซิน เนื่องจากสารยึดเรซินที่มีเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นองค์ประกอบ มีความหนืดสูงกว่า ดังนั้นการไหลแผ่ของสารยึดเรซินเข้าไปยังพื้นผิวฟันจึงน้อยกว่า<sup>(40)</sup> ส่วนเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 พบลักษณะชั้นไฮบริดที่ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ตัวทำละลายมีบทบาทสำคัญในระบบสารยึดเรซิน ซึ่งชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของชั้นไฮบริดและค่าความแข็งแรงยึดระหว่างพื้นผิวฟันและเรซินคอมโพสิตได้แตกต่างกัน

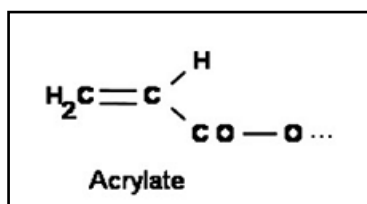
### เรซิน มอนอเมอร์

โครงสร้างหลักของเรซิน มอนอเมอร์ แบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบหลัก<sup>(38)</sup> (รูปที่ 4) ได้แก่

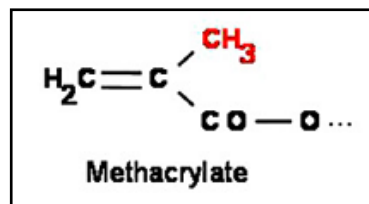


รูปที่ 4 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างหลักของเรซิน มอนอเมอร์<sup>(38)</sup>

1. กลุ่มพอลิเมอร์ไรซ์ (polymerizable group) ซึ่งอาจเป็นเพียงหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า เช่น อะคริเลต (acrylate) เมทาคริเลต (methacrylate) เป็นต้น สูตรโครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 5 และ 6 เมื่อพิจารณาตามความมีขั้ว พบว่ากลุ่มพอลิเมอร์ไรซ์เป็นกลุ่มที่ไม่มีขั้วจึงมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ



รูปที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของอะคริเลต



รูปที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของเมทาคริเลต

2. สายคั่นกลาง (Spacer) ทำหน้าที่แยกแหว่งกลุ่มพอลิเมอร์ไรซ์และกลุ่มฟังก์ชันออกจากกัน โดยทั่วไปมักเป็นสายอัลคิล (alkyl chain) แต่ก็สามารถพบเป็นกลุ่มอื่นได้ เช่น กลุ่มเอสเตอ์ (ester) เอไมด์ (amide) หรืออะโรมาติก (aromatic) ความมีขั้วของสายคั่นกลางมีส่วนในการกำหนดความสามารถในการละลายน้ำหรือในตัวทำละลายของมอนอเมอร์ นอกจากนี้ขนาดของสายคั่นกลางยังส่งผลต่อความหนืดของมอนอเมอร์และการไหลแผ่ โดยมอนอเมอร์ขนาดเล็กจะมีความหนืดต่ำ และไหลแผ่ได้ดีกว่ามอนอเมอร์ขนาดใหญ่
3. กลุ่มฟังก์ชัน (functional group) ส่วนใหญ่มักมีคุณสมบัติชอบน้ำ เช่น ฮีมา ซึ่งมีกลุ่มฟังก์ชันคือ หมู่ไฮดรอกซิล

จากที่กล่าวมาข้างต้น มีการพัฒนาระบบสารยึดโดยการเติมเรซินมอนอเมอร์ที่มีกลุ่มฟังก์ชันชนิดชอบน้ำ เพื่อพัฒนาค่าความแข็งแรงยึด เนื่องจากพื้นผิวเนื้อพินมีความเป็นขั้ว<sup>(42)</sup> จากการที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเนื้อพิน จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มมอนอเมอร์ชนิดนี้ได้ เรซินมอนอเมอร์ชนิดชอบน้ำ ที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของสารยึดเรซินกับเนื้อพิน คือ ฮีมา ซึ่งพบในระบบสารยึดประมาณร้อยละ 35-55 โดยปริมาตร เนื่องจากฮีมาเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวช่วยในการทำละลาย และช่วยผสมมอนอเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำและละลายในน้ำให้มีความกลมกลืนกันได้ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการไหลแผ่เข้าไปในเนื้อพินที่ถูกกรดกัดและลดความไวต่อการปนเปื้อนความชื้น<sup>(11)</sup> โดยฮีมาประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล ทำหน้าที่ในการจับกับคอลลาเจนซึ่งมีลักษณะโครงสร้างที่มีขั้ว ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งประกอบด้วยกลุ่มเมทาคริเลต ซึ่งมีความสามารถในการจับกับมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำซึ่งไม่

มีขั้ว ดังนั้นฮีมาจึงมีคุณสมบัติแอมบิฟิลิก (ambiphilic) โดยเชื่อมระหว่างเนื้อฟันซึ่งมีสภาพชอบน้ำกับเรซินชนิดไม่ชอบน้ำเข้าด้วยกัน<sup>(26)</sup> แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าฮีมาเป็นมอนอเมอร์ที่มีกลุ่มฟังก์ชันที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ได้ 1 กลุ่ม และไม่สามารถสร้างพอลิเมอร์ชนิดเชื่อมไขว้ (crosslink polymer) ซึ่งต่างจากมอนอเมอร์ชนิดไดเมทาคริเลต ที่มีกลุ่มที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ได้ 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถสร้างสายโพลิเมอร์ชนิดเชื่อมไขว้ได้ ดังนั้นการที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ที่ส่วนปลายของโมเลกุล ทำให้เรซินมีลักษณะชอบน้ำมากเกินไป เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะเพิ่มการดูดซึมน้ำ และมีแนวโน้มที่จะเกิดไฮโดรไลซิสเมื่อสัมผัสกับสถานะในช่องปาก เป็นผลให้กลสมบัติค่อยลง และส่งผลกระทบต่อความยึดติดระหว่างเรซินกับเนื้อฟันในระยะยาว<sup>(11-14, 38, 43, 44)</sup> ซึ่งเหตุผลในการอธิบาย คือ เมื่อฮีมาเกิดพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน จะเกิดการสร้างพันธะและสร้างสายพอลิเมอร์ชนิดเส้นตรง (linear polymer) ดังนั้นเมื่อเรซินมีการดูดซึมน้ำ พบว่าน้ำสามารถเคลื่อนสายพอลิเมอร์เส้นตรงออกจากกันได้ง่าย และเกิดการยืดออกของสายพอลิเมอร์เป็น 10 เท่า (percent elongation เพิ่มจากร้อยละ 20 เป็น 220)<sup>(39)</sup> นอกจากนี้การที่เรซินฝังตัวไม่สมบูรณ์ในชั้นคอลลาเจนและการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์เซชันอย่างไม่สมบูรณ์ของสารยึด จะทำให้เกิดเป็นชั้นของเนื้อฟันที่ถูกละลายแร่ธาตุออกไป (demineralized dentin zone) ณ บริเวณรอยต่อ โดยชั้นนี้เกิดจากความแตกต่างระหว่างความลึกของเนื้อฟันที่ถูกกรัดกัดและความลึกของเรซินที่แทรกซึมเข้าไป มีลักษณะเป็นชั้นที่ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนซึ่งเผยผึ่งและล้อมรอบด้วยช่องว่างขนาดนาโนเมตรที่ประกอบด้วยน้ำ ปรัชการณณ์นี้เรียกว่า การรั่วซึมระดับนาโน ซึ่งมีการอธิบายถึงสาเหตุของปรากฏการณ์นี้ว่า เกิดจากการที่เรซินชนิดชอบน้ำเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรซ์เซชันอย่างไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความไม่เสถียรของการยึดระหว่างสารยึดเรซินบนผิวเนื้อฟันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเรซินชนิดชอบน้ำในสารยึดติด ซึ่งส่งผลให้เพิ่มการดูดซึมน้ำและลดกลสมบัติของสารยึด<sup>(14)</sup> จากปัญหาดังกล่าว ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาระบบสารยึดทางทันตกรรม เพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างสารยึดเรซินและเนื้อฟัน และการลดการเกิดไฮโดรไลซิสของชั้นรอยต่อระหว่างเรซินและเนื้อฟัน โดยมีแนวความคิดพัฒนาระบบการยึดติดด้วยการใช้เทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอล ซึ่งหลักการ คือ เนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดกัดร่วมกับเอาน้ำออกด้วยเอทานอล จะมีสภาพความชอบน้ำลดลง นอกจากนี้เอทานอลยังมีคุณสมบัติคงสภาพคอลลาเจนและไม่ทำให้คอลลาเจนยุบตัว จึงส่งเสริมให้เรซินชนิดไม่ชอบน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างคอลลาเจนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วกระบวนการนี้จะเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินและเนื้อฟัน จากการลดการปนเปื้อนน้ำหรือความชื้นต่อสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ<sup>(14)</sup>

การศึกษาในช่วง 5-6 ปี ที่ผ่านมา พบว่าสามารถใช้เรซินมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำยึดกับเนื้อฟันที่ถูกกรัดกัดได้ด้วยเทคนิคการยึดติดร่วมกับการใช้เอทานอลในห้องปฏิบัติการที่

เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปาก<sup>(14-17)</sup> แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคการยึดติดร่วมกับการใช้เอทานอลจะไวต่อน้ำ เนื่องจากเรซินมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ ไม่สามารถผสมรวมกับน้ำได้ ซึ่งในการศึกษาก่อนหน้าพบว่า หากมีการปนเปื้อนของน้ำเพียงร้อยละ 5 จะส่งผลให้เนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลมีค่าความแข็งแรงยึดติดลงประมาณร้อยละ 25 ดังนั้นเทคนิคนี้อาจจะไม่ค่อยเหมาะสมสำหรับเนื้อฟันชั้นลึก เนื่องจากมีสารน้ำไหลในทิศทางออกจากโพรงประสาทฟัน ซึ่งการปนเปื้อนน้ำนี้อาจจะอธิบายด้วยแนวคิดของตัวแปรด้านความสามารถในการละลายน้ำ (solubility parameter) ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อน้ำถูกแทนที่ด้วยเอทานอล จะส่งผลต่อค่าความสามารถในการละลายของฮอย (Hoy's solubility parameter) โดย Sadek และคณะ (2010) กล่าวว่า เมื่อมีการแทนที่น้ำในเดนตินเมทริกซ์ที่มีการละลายแร่ธาตุออกไปด้วยเอทานอล จะส่งผลต่อค่าการละลายของฮอย โดยค่าแรงยึดพันระภายในทั้งหมดของเดนตินเมทริกซ์ที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (total cohesive force;  $\delta_t$ ) มีค่า  $25.1 \text{ MPa}^{1/2}$  ซึ่งค่า  $\delta_t$  ของเดนตินเมทริกซ์ที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีค่าประมาณ  $21.2 \text{ MPa}^{1/2}$  ในขณะที่น้ำมีค่า  $\delta_n$  ประมาณ  $48.0 \text{ MPa}^{1/2}$  ซึ่งแตกต่างจากค่า  $\delta_t$  ของสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำมากกว่า<sup>(45)</sup> ดังนั้นการนำสารลดเสียวฟันมาใช้ร่วมกับเทคนิคนี้จะลดการปนเปื้อนของน้ำได้ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงขึ้น โดยเกณฑ์วิธีของเทคนิคนี้ คือ หลังจากที่เนื้อฟันผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยการใช้กรดกัดและทาสารลดเสียวฟันแล้ว จะทาเอทานอลบนพื้นผิวเนื้อฟันโดยเพิ่มความเข้มข้นเป็นลำดับ คือ 50, 70, 80, 95, 3x100% อย่างละ 30 วินาที ให้เกิดภาวะเนื้อฟันที่อึดด้วยเอทานอล แล้วจึงทาเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ

Sadek FT และคณะ (2007) ศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเนื้อฟันส่วนกลางและส่วนลึก เมื่อยึดกับเรซินคอมโพสิต ด้วยระบบสารยึดชนิดไม่ชอบน้ำ โดยใช้เทคนิคการยึดติดร่วมกับเอทานอล พบว่า กลุ่มที่ไม่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันจะมีค่าความแข็งแรงยึดน้อยกว่ากลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันในเนื้อฟันส่วนลึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเนื้อฟันส่วนกลางพบว่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าการรั่วซึมระดับนาโนในชั้นไฮบริดของกลุ่มเนื้อฟันส่วนลึกค่อนข้างน้อย<sup>(14)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าเทคนิคนี้จะใช้เวลานาน (3-4 นาที) ต่อมา Sadek FT และคณะ (2010) จึงทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการที่ใช้กับเทคนิคการยึดติดร่วมกับเอทานอล เพื่อให้ขั้นตอนง่ายขึ้น โดยไม่มีผลเสียต่อค่าความแข็งแรงยึด โดยประเมินประสิทธิภาพของเกณฑ์วิธีที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวที่ทำให้ง่ายขึ้น พบว่าการใช้เกณฑ์วิธีเดิมให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่าการใช้เอทานอล 100% ทา 1 และ 3 ครั้งครั้งละ 30 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(12)</sup>

นอกจากนี้จากการศึกษาของ Sadek FT และคณะ (2010) ได้ศึกษาความเสถียรของค่าความแข็งแรงยึดเมื่อใช้สารยึดชนิดไม่ชอบน้ำโดยใช้เทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลเปรียบเทียบกับการใช้สารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง 3 ขั้นตอน ร่วมกับเทคนิคการยึดในสภาวะชื้น พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดเมื่อใช้สารยึดชนิดชอบไม่น้ำโดยใช้เทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล จะมีความเสถียรมากที่สุด และชั้นไฮบริดยังคงแข็งแรง<sup>(46)</sup>

จากที่กล่าวมาข้างต้น ตามแนวคิดของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล พบว่ามีข้อดีเหนือเทคนิคการยึดติดในปัจจุบัน คือ เพิ่มค่าความแข็งแรงยึด และลดการรั่วซึมระดับนาโนโดยอาศัยหลักการ คือ น้ำที่แทรกอยู่ภายในเนื้อฟันที่ถูกกรดกัดจะค่อยๆถูกแทนที่ด้วยเอทานอลด้วยวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเป็นลำดับ เพื่อป้องกันการยุบตัวของช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน จากนั้นทาเรซินชนิดไม่ชอบน้ำที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายเอทานอลให้เรซินค่อยๆแทรกเข้าไปในช่องว่าง เมื่อเอทานอลระเหยไป ก็จะเหลือแต่เฉพาะเรซินชนิดไม่ชอบน้ำเท่านั้น ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่ดี

#### การทดสอบความแข็งแรงยึดพันธะ(bond strength test)

การใช้ระบบสารยึดในทางทันตกรรม มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะและพื้นผิวฟัน รวมถึงทนต่อแรงบดเคี้ยว ซึ่งการยึดติดที่ดี ควรสามารถป้องกันการรั่วซึมและการหลุดของวัสดุบูรณะ ดังนั้นคุณสมบัติด้านการยึดติดจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการประเมินอัตราความสำเร็จของการบูรณะ การทดสอบความแข็งแรงของพันธะในการยึดติดเป็นวิธีการประเมินการยึดติดของวัสดุบูรณะและพื้นผิวฟันวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นวิธีการให้แรงจนกระทั่งเกิดการแตกหักบริเวณรอยต่อของชิ้นทดสอบ<sup>(47, 48)</sup> การทดสอบที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ คือ การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ซึ่ง Sano และคณะ (1994) ได้เสนอวิธีการนี้มาใช้ทดสอบความแข็งแรงยึดแรงดึงทางทันตกรรม ซึ่งมีข้อดีเหนือวิธีวัดดึงเค็ม (tensile bond strength test) คือ สามารถวัดความแข็งแรงยึดบริเวณรอยต่อที่มีความแข็งแรงยึดสูงได้ วัดชิ้นทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลงส่งผลให้เพิ่มค่าความแข็งแรงยึด<sup>(48-50)</sup> ซึ่งเป็นผลมาจากการลดรอยตำหนิในชิ้นทดสอบตามหลักการของกริฟฟิท (Griffith theory) และจากการใช้ไฟไนท์ อิลีเมนต์ (finite element analysis; FEA) พบว่าการลดขนาดชิ้นทดสอบส่งผลให้การกระจายความเค้นดีขึ้น<sup>(49)</sup> ลดการเกิดรูปแบบการแตกหักภายในเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต (cohesive failure) รวมถึงสามารถศึกษาค่าความแข็งแรงยึดในบริเวณหลากหลายของซี่ฟันได้ (regional bond strength) แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบกำลัง

แรงยึดแบบดึงระดับจุดภาคมีข้อจำกัด คือ เครื่องมือราคาแพง ต้องการเทคนิคและเครื่องมือเฉพาะ ในการทดสอบ ไม่สามารถวัดค่าความแข็งแรงยึดในชั้นทดสอบที่มีค่าความแข็งแรงยึดน้อยกว่า 5 เมกะพาสคาล ได้ เนื่องจากมักเกิดการแตกหักก่อนทดสอบ (pre-testing failure) และชั้นทดสอบขนาดเล็กเกิดภาวะแห้งได้ง่าย<sup>(49, 51-55)</sup> การทดสอบการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุดภาค คำนวณจากแรงดึงที่ทำให้เกิดการแตกหักหารด้วยพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งรอยต่อ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุดภาค ได้แก่ 1) การเตรียมพื้นผิว กล่าวคือ พื้นผิวรอยต่อที่เตรียมควรมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้แรงดึงทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิว 2) รูปร่างของชั้นทดสอบ โดยทั่วไป การเตรียมชั้นทดสอบ มีหลายรูปแบบ ได้แก่ รูปนาฬิกาทราย (hourglass) รูปแท่ง (stick) รูปคัมเบลล์ (dumbbell)<sup>(53, 56)</sup> ซึ่งการวิจัยนี้เลือกเตรียมชั้นทดสอบเป็นรูปร่างแท่ง โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Sadek FT และคณะ (2007)<sup>(14)</sup> 3) อัตราเร็วในการทดสอบ มีการแนะนำไว้ที่อัตรา 1 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจากได้รูปแบบความเค้นต่อเวลาที่สม่ำเสมอ<sup>(51)</sup> ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกให้แรงที่อัตราเร็วดังกล่าว

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของสภาวะพื้นผิวพื้นระหว่างพื้นผิวพื้นปกติและพื้นผิวพื้นที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น และชนิดสารยึดเรซินร่วมกับเทคนิคการยึดติดระหว่างสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้นและสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลที่มีต่อค่าความแข็งแรงยึดของเรซินคอมโพสิต

## สมมติฐาน

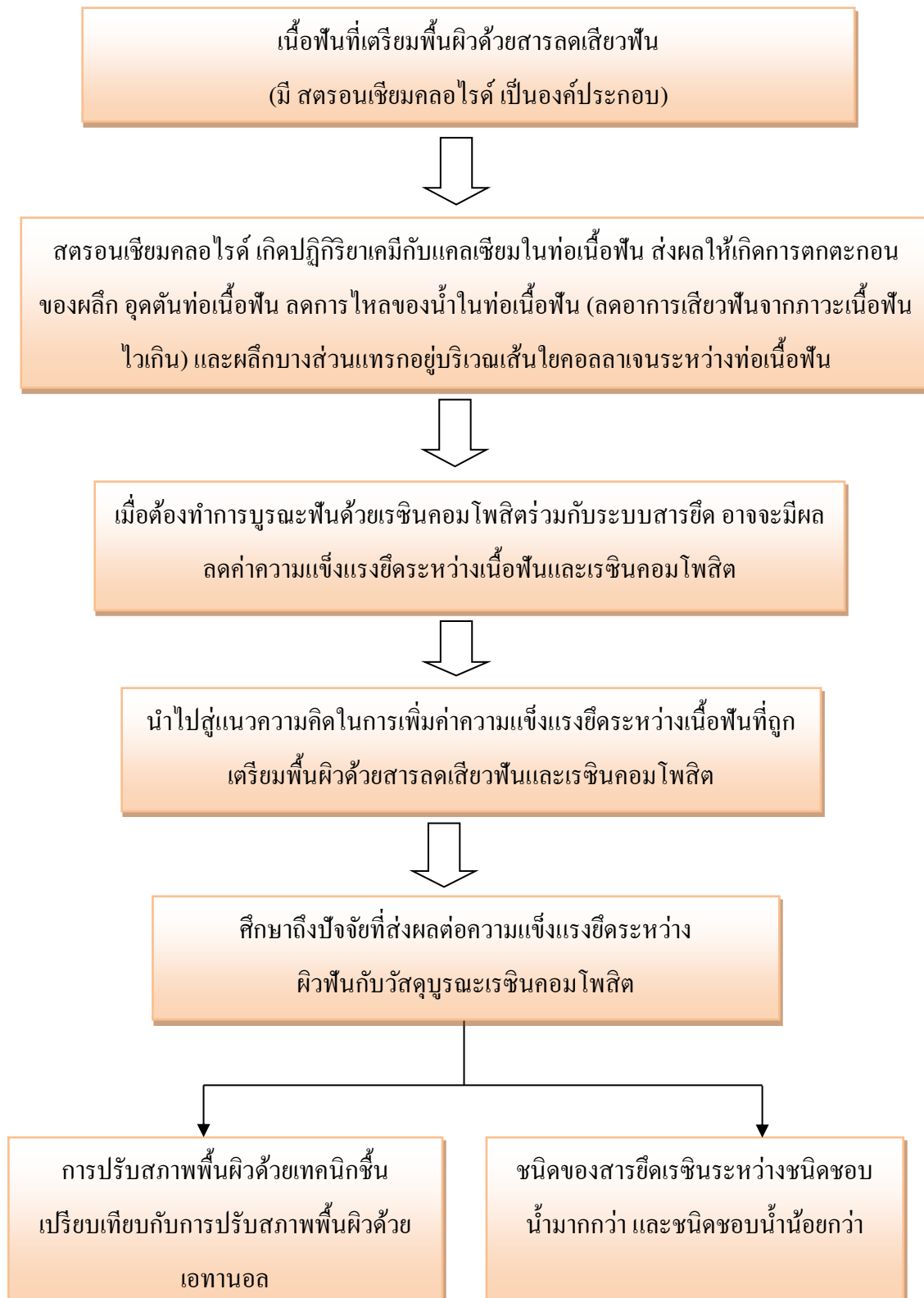
การศึกษานี้ ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่

- ปัจจัยที่ 1: ชนิดของพื้นผิวพื้น เปรียบเทียบระหว่าง พื้นผิวพื้นปกติที่ไม่เตรียมผิวด้วยสารลดเสียวพื้น และพื้นผิวพื้นที่เตรียมผิวด้วยสารลดเสียวพื้น
- ปัจจัยที่ 2: เทคนิคการยึดติดร่วมกับชนิดของสารยึดเรซิน เปรียบเทียบระหว่างสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น และสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

### สมมติฐานการวิจัย

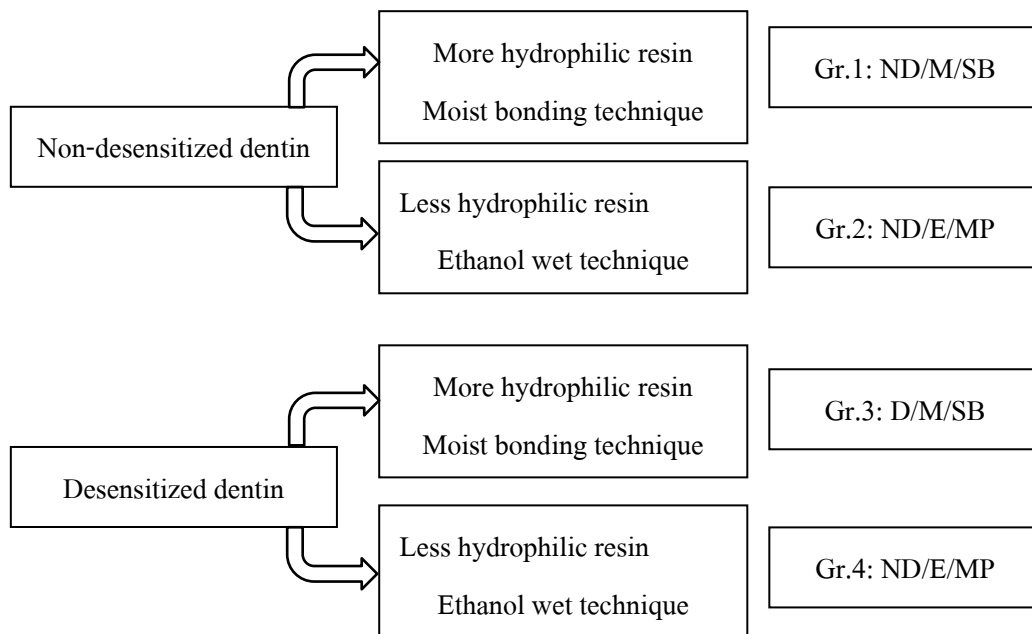
1. ไม่มีความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างพื้นที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้นและพื้นผิวพื้นปกติ เมื่อใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น
2. ไม่มีความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างการใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวพื้นแบบเอทานอล และการใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวพื้นด้วยเทคนิคขึ้นในพื้นที่ยุติเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น

### กรอบแนวคิดงานวิจัย





## แผนภาพแสดงขั้นตอนเปรียบเทียบการเตรียมชั้นทดสอบทั้ง 4 กลุ่ม



## บทที่ 2

### วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

#### วัสดุ

- 1 ฟันกรามน้อยบน ที่ถอนจากมนุษย์
- 2 สารละลายไทมอล ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1
- 3 น้ำกลั่น
- 4 ผงพัมมิซ (pumice)
- 5 กระดาษทรายน้ำซิลิกอน คาร์ไบด์ 600 กริท (600 grit silicon carbide paper)
- 6 ยาสีฟันเซนโซดาเยน รุ่นดั้งเดิม (Original; Sensodyne®)
- 7 สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 50, 70, 80, 95 และ 100
- 8 เยื่อกระดาษซับ
- 9 อะคริลิก เรซิน ชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self cured acrylic resin)
- 10 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 35 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- 11 สารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง ยี่ห้อแอดเปอร์ ซิงเกิลบอนด์ (Adper™ Single Bond, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- 12 สารยึดเรซินชนิดชนิดกรดกัดและล้าง ยี่ห้อแอดเปอร์ สกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพสท์ (Adper Scotchbond multipurpose, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- 13 เรซิน คอมโพสิต (Filtek Z350®), 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)
- 14 กาวไซยาโนอะคริเลท (cyanoacrylate; Zapit; Dental Venture of America, Corona, Calif)

#### อุปกรณ์

- 1 กล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะ (measuring microscope, Nikon MM40/L; Nikon Instech Co Ltd, Tokyo, Japan)
- 2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM; Quanta 400, FEI, Tokyo, Japan)
- 3 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (universal testing machine; Lloyd LRX; Lloyd Instruments, Fraeham, UK)
- 4 เครื่องตัดฟัน (Buehler Isomet 1000 Precision Low-Speed Saw)

- 5 ค้ำกรอพื้นแบบความเร็วต่ำ (low-speed contra angle)
- 6 เครื่องดูดหินน้ำลาย และหัว P10
- 7 หัวขัดรูปถ้วย (rubber cup)
- 8 ชุดอุปกรณ์เลียนแบบสภาวะแรงดันในโพรงประสาทฟัน ประกอบด้วย
  - 8.1 เข็มสแตนเลสสตีลเบอร์ 18 (18-gauge stainless steel)
  - 8.2 ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร
  - 8.3 ภาชนะบรรจุน้ำกลั่น และสายยาง
  - 8.4 ตะแกรง
- 9 แปรงสีฟันไฟฟ้า รุ่นโมชันหัวแปรงหมุนสลับไปมา ยี่ห้อ คอลเกต (Colgate®)
- 10 ฟูกัน
- 11 เครื่องฉายแสง ชนิดฮาโลเจน (Halogen light curing unit Coltene Coltolux50® : Coltene / Whaledent Inc., Mahwah, NJ, USA)
- 12 สเปรย์ฉีดลม (air spray)
- 13 ดิจิตอลเวอร์เนียร์

### นิยามคำศัพท์ในการวิจัยนี้

- 1 ชนิดของสารยึดเรซิน
  - 1.1 เรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า คือ สารยึดเรซิน ชนิดกรดกัดและล้าง ยี่ห้อแอดเปอร์ ซึ่งเกลือบอนด์
  - 1.2 เรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า คือ สารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง ยี่ห้อแอดเปอร์ สกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพสค์

การพิจารณาชนิดของสารยึดเรซินซึ่งแบ่งตามระดับความชอบน้ำ จะพิจารณาจากค่าความสามารถในการละลายน้ำ โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการอธิบาย คือ ค่าความสามารถในการละลายของฮอย อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าการละลายของฮอยดังที่ได้กล่าวมา จำเป็นต้องทราบองค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของสารต่างๆที่แน่นอน ดังนั้นค่าการละลายของฮอยของสารยึดเรซินทางการค้า จึงเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิต ด้วยข้อจำกัดของการวิจัยนี้ คือ ไม่สามารถผลิตสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำได้ตามการศึกษาก่อนหน้านี้ ตามแนวความคิดการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลร่วมกับการใช้สารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ<sup>(14)</sup> จึงจำเป็นต้องเลือกใช้สารยึดเรซินทางการค้ามาเป็นตัวแทนของสารยึดเรซินดังกล่าว โดยเลือกตามระดับความชอบน้ำ ซึ่งแบ่งเป็นเรซิน

ชนิดชอบน้ำมากกว่า และเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Nishitani และคณะ (2007) ซึ่งนำค่าความสามารถในการละลายของฮอยมาใช้ในการทำนายถึงระดับความชอบน้ำของสารยึดเรซิน<sup>(57)</sup> และการศึกษาของ Malacarne J และคณะ (2006) ซึ่งเปรียบเทียบค่าการละลายของสารยึดเรซินทางการค้า<sup>(58)</sup> ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกซิงเกิลบอนด์ เป็นตัวแทนของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า เนื่องจากเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่มีความชอบน้ำและมีตัวทำละลายในสารยึดเรซินเป็นน้ำและเอทานอล จึงเพิ่มระดับความชอบน้ำของสารยึด นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Malacarne J และคณะ ยังพบว่ามีการละลายของสารยึดสูง (ค่าการละลาย มีค่า 95.75) และเลือกสกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพสท์ เป็นตัวแทนของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า เนื่องจากมีการละลายที่ต่ำกว่า (ค่าการละลาย มีค่า -9.56) แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนดชนิดของสารยึดเรซินดังกล่าวไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ เนื่องจากในสกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพสท์ ยังคงมีสีมาเป็้องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดเรซินทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงในภาคผนวก 1

การเลือกเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวและชนิดของสารยึดเรซิน จะพิจารณาจากความเข้ากันได้ระหว่างชนิดสารยึดและเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิว โดยกำหนดให้สารยึดเรซินชนิดซิงเกิลบอนด์ ซึ่งจัดเป็นสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่ามาใช้ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความเข้ากันกับสารยึดเรซินชนิดนี้ และสารยึดสกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพสท์ ซึ่งจัดเป็นสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่ามาใช้ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

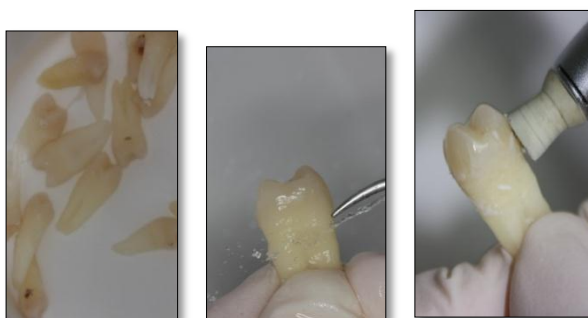
## 2. กลุ่มทดลอง

- 1.1 ND/M/SB คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น
  - 1.2 ND/E/MP คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล
  - 1.3 D/M/SB คือ กลุ่มที่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคการขึ้น
  - 1.4 D/E/MP คือ กลุ่มที่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล
2. สารลดเสียวฟันที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ คือ ยาสีฟันลดเสียวฟันเซนโซไดนน์ รุ่นดั้งเดิม (Original; Sensodyne®) โดยองค์ประกอบของยาสีฟันลดเสียวฟันเซนโซไดนน์ แสดงในภาคผนวก 2

## วิธีการวิจัย

### 1. การเตรียมฟัน

เก็บฟันกรามน้อยบนจำนวน 20 ซี่ ซึ่งถอนด้วยเหตุผลจากการจัดฟัน (คนไข้จัดฟัน อายุอยู่ในช่วง 20- 35 ปี) ในสารละลายไทมอล (thymol solution) ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ภายในระยะเวลา 1 เดือน หลังถอน โดยคัดเลือกเฉพาะฟันที่ปราศจากรอยร้าวและรอยโรคต่างๆ ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากนั้นทำความสะอาดฟันทุกซี่ด้วยเครื่องขูดหินน้ำลายและผงฟัมมิช และห้วซ์รูปด้วย ดังรูปที่ 7

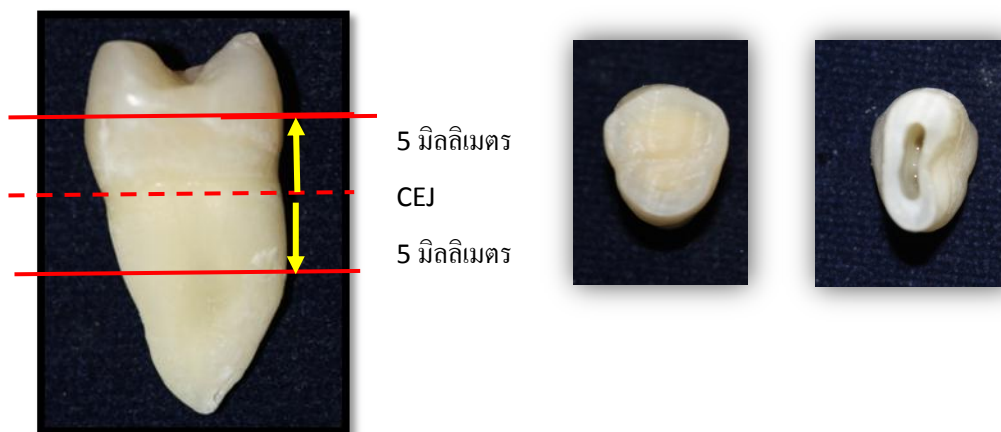


รูปที่ 7 ทำความสะอาดฟันด้วยเครื่องขูดหินน้ำลาย ขัดด้วยผงฟัมมิชด้วยห้วซ์รูปด้วย

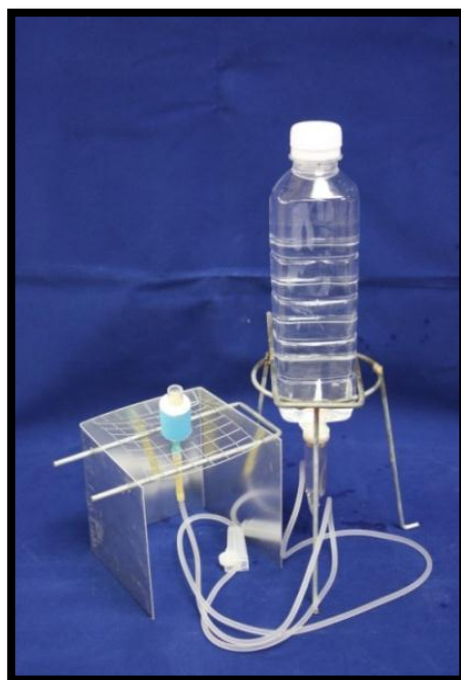
จากนั้นเตรียมขึ้นตัวอย่างให้ได้เฉพาะเนื้อฟันส่วนกลาง (mid coronal dentin) ตามกรรมวิธีของ Perdigao J และคณะ (1994)<sup>(59)</sup> และ Sadek FT และคณะ (2007)<sup>(14)</sup> โดยตัดฟันส่วนรากออกด้วยเครื่องตัดฟัน (Buehler Isomet 1000 Precision Low-Speed Saw) ภายใต้น้ำ (รูปที่ 8) ณ ตำแหน่งต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (cemento-enamel junction; CEJ) 5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นตัดตัวฟันในแนวขวาง ให้เหลือเนื้อฟันส่วนกลาง ประมาณ 2.5-3 มิลลิเมตร (remaining dentin thickness; RDT) โดยกำหนดให้ตัดห่างจากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน ไปทางส่วนตัวฟัน 5 มิลลิเมตร หรือประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงตัวฟัน (anatomic crown) ให้ได้พื้นผิวเรียบ (รูปที่ 9) ขัดพื้นผิวรอยตัดด้วยกระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ 600 กริท โดยให้น้ำไหลผ่านเป็นเวลา 20 วินาที เพื่อสร้างชั้นสเมียร์ที่มีความหนาสม่ำเสมอ จากนั้นล้างน้ำและเป่าลมเบาๆ ด้วยสเปรย์ฉีดลม และสร้างสภาพเลียนแบบแรงดันภายในโพรงประสาทฟันด้วยวิธีกำจัดเอาเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันออก แล้วสอดเข็มสแตนเลสสตีลเบอร์ 18 เข้าไปในโพรงในฟัน และต่อเชื่อมเข็มเข้ากับภาชนะที่บรรจุน้ำกลั่น ผ่านทางสายยาง สร้างให้เกิดความดัน 20 เซนติเมตร น้ำ<sup>(14)</sup> (รูปที่ 10)



รูปที่ 8 เครื่องตัดฟัน Buehler Isomet 1000 Precision Low-Speed Saw



รูปที่ 9 การตัดฟันในแนวตัดขวางห่างจากรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและเคลือบฟัน 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 ชุดอุปกรณ์ประกอบเพื่อเลียนแบบแรงคั้นภายในโพรงประสาทฟัน

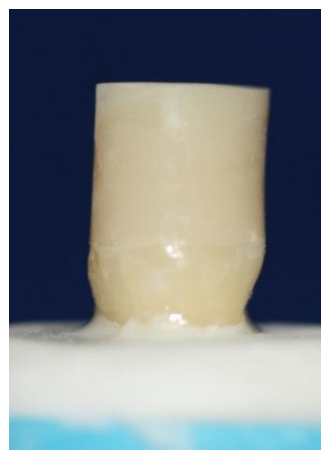
2. ทำการทดลองโดย แบ่งฟันที่ได้ ออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซี่ โดยการสุ่ม แบ่งกลุ่มการศึกษา ดังนี้

กลุ่ม	ออกแบบ
Group 1: Experimental group 1	Non-desensitized dentin + moist bonding technique (ND/M/SB)
Group 2: Experimental group 2	Non-desensitized dentin + ethanol wet technique (ND/E/MP)
Group 3: Experimental group 3	Desensitized dentin + moist bonding technique (D/M/SB)
Group 4: Experimental group 4	Desensitized dentin + ethanol wet technique (D/E/MP)

- 2.1 กลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟัน และใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเทคนิคชั้น (ND/M/SB)

2.1.1 ทากรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 35 บนผิวฟันให้ทั่ว ทั้งไว้เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นฉีดสเปรย์น้ำนาน 10 วินาที เพื่อล้างกรดออกให้หมด และซับให้มีลักษณะชื้นก่อนทาสารยึด โดยใช้เยื่อกระดาษซับเป็นระยะเวลา 5 วินาที เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่หลงเหลือภายในเนื้อฟัน

- 2.1.2 ทาสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า (Adper™ Single Bond, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) จำนวน 2 ครั้ง เป็นเวลา 15 วินาที ฉีดสเปรย์เป่าลมเบาๆ 5 วินาที เพื่อให้ตัวทำละลายส่วนเกินระเหยไป ตามบริษัทผู้ผลิต กำหนด แล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ด้วยเครื่องฉายแสง (halogen light curing unit Coltene Coltolux50<sup>®</sup> : Coltene / Whaledent Inc., Mahwah, NJ, USA) ความเข้มแสง 450 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยวางปลายหลอดนำแสงของเครื่องฉายแสงห่างจากพื้นผิวฟัน เป็นระยะห่าง 1 มิลลิเมตร
- 2.1.3 อุดเรซินคอมโพสิต (Filtek Z350<sup>®</sup>, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) หนาชั้นละ 2 มิลลิเมตร โดยใช้แม่แบบพลาสติกช่วยกำหนดความหนาที่แน่นอน ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที ในแต่ละชั้น โดยอุดเป็นชั้น (incremental layer) อุดให้ได้ความหนาของเรซินคอมโพสิต รวม 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อุดเรซินคอมโพสิตโดยใช้แม่แบบพลาสติกเพื่อกำหนดความหนาของเรซิน คอมโพสิต

- 2.2 กลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (ND/E/MP)
- 2.2.1 ขั้นตอนการใช้กรดกัดพื้นผิวเนื้อฟันทำเช่นเดียวกับกลุ่มทดลองที่ 1 ตามวิธีการข้างต้น (2.1.1)
- 2.2.2 ใช้เทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวทางเคมี<sup>(14)</sup> โดยมีขั้นตอน คือ ทาเอทานอลด้วยฟู่กันบนเนื้อฟันที่ผ่านกรดกัดโดยการเพิ่มความเข้มข้นความเอทานอล



เป็นลำดับ คือ 50, 70, 80, 95 และ 100% จำนวน 3 ครั้ง อย่างละ 30 วินาที โดยแต่ละขั้นตอนของการทา จะทิ้งให้เนื้อฟันมีลักษณะชื้น โดยไม่เป่าลม หรือซับด้วยเยื่อกระดาษซับก่อนทาเอทานอลที่เพิ่มความเข้มข้นในครั้งถัดไป

- 2.2.3 ทาสารยึดเรซินชนิดขบร้า น้อยกว่า (Adper Scotchbond multipurpose adhesive, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) เป่าลม แล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที และอุดเรซิน คอมโพสิต ตามขั้นตอนข้างต้น (2.1.3)
- 2.3 กลุ่มทดลองที่ 3 คือ กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดขบร้า มากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเทคนิคชั้น (D/M/SB)
- 2.3.1 ผสมยาสีฟันลดเสียวฟัน ในอัตราส่วน ยาสีฟัน 2 กรัม กับน้ำกลั่นปริมาณ 6 มิลลิลิตรด้วยถ้วยตวง เขย่าในขวดพลาสติก จากนั้นนำไปแปรงบนผิวฟันที่เตรียมไว้ด้วยแปรงสีฟันไฟฟ้า (Clogate<sup>®</sup>) นาน 2 นาที โดยออกแรงกด 100 กรัม ทำซ้ำวันละ 2 ครั้งเป็นเวลา 7 วัน โดยหลังจากแปรงขึ้นทดสอบแล้ว ทำการล้างและแช่ในน้ำกลั่น ซึ่งวิธีการในการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันดังกล่าว อ้างอิงจากการศึกษาของ Arraise CAG และคณะ (2003) ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลา 7 วัน จะพบการหลุดของท่อเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันอยู่จริง เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด<sup>(28)</sup>
- 2.3.2 ขั้นตอนการใช้ระบบสารยึดเรซินชนิดขบร้า มากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเทคนิคชั้น ทำเช่นเดียวกันกลุ่มทดลองที่ 1 (2.1.2)
- 2.3.3 การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ทำเช่นเดียวกับ 2.1.3
- 2.4 กลุ่มทดลองที่ 4 คือ กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟัน และใช้สารยึดเรซินชนิดขบร้า น้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (D/E/MP)
- 2.4.1 เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟัน ทำเช่นเดียวกับกลุ่มทดลองที่ 3 (2.3.1)
- 2.4.2 ขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล ทำเช่นเดียวกันกลุ่มทดลองที่ 2 (2.2.2)

2.4.3 ขั้นตอนการใช้ระบบสารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ทำเช่นเดียวกับกลุ่มทดลองที่ 2 (2.2.3) จากนั้นอุดด้วยเรซินคอมโพสิต เช่นเดียวกับกลุ่มทดลองที่ 1 (2.1.3)

จากนั้นนำชิ้นทดสอบทุกชิ้นแช่น้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ด้วยคู่อบปรับอุณหภูมิ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ<sup>(4, 14, 26, 52, 58)</sup>

### 3. ทดสอบกลสมบัติด้านความแข็งแรงยึดชนิดกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค

การศึกษานี้สนใจทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค เนื่องจากเป็นการลดขนาดพื้นที่หน้าตัด ซึ่งหลายการศึกษาพบว่าการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดส่งผลให้เพิ่มค่าความแข็งแรงยึด<sup>(49)</sup> ซึ่งเป็นผลมาจากการลดรอยตำหนิในชิ้นทดสอบตามหลักการของกริฟฟิท และจากการใช้ไฟไนท์อีเล็มเมนต์ พบว่าการลดขนาดชิ้นทดสอบส่งผลให้การกระจายความเค้นดีขึ้น<sup>(49)</sup> นอกจากนี้ยังลดการเกิดรูปแบบการแตกหักในเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต รวมถึงสามารถศึกษาค่าความแข็งแรงยึดในบริเวณหลากหลายของซี่ฟันได้

#### 3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

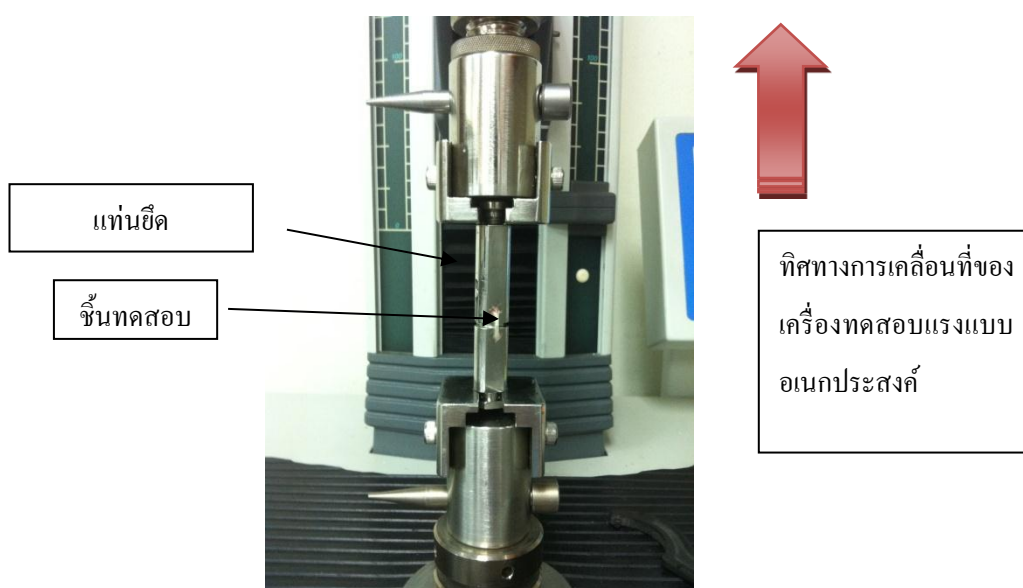
เตรียมชิ้นทดสอบ โดยเตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปร่างแท่ง ตามรูปที่ 12 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร ด้วยเลื่อยภายใต้ น้ำด้วยเทคนิคไม่กรอตัด (non-trimming technique) โดยฟัน 1 ซี่ จะผลิตชิ้นทดสอบรูปร่างแท่งได้ 6 ชิ้น ดังนั้นในแต่ละกลุ่มทดลองจะมีจำนวนชิ้นทดสอบ 30 ชิ้น จากนั้นวัดระยะตำแหน่งยึดติด ด้วยดิจิทัลเวอร์เนียไรส์ข้อมูลของพื้นที่หน้าตัดในคอมพิวเตอรืก่อนนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค



รูปที่ 12 ลักษณะชิ้นทดสอบรูปร่างแท่ง

### 3.2 ทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค

ยึดชิ้นทดสอบเข้ากับแท่นยึด (grip) ด้วยกาวยึด (cyanoacrylate; Zapit; Dental Venture of America, Corona, Calif) และต่อเข้ากับเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (universal testing machine; Lloyd LRX; Lloyd Instruments, Fraeham, UK) (รูปที่ 13) ให้แรงที่อัตรา 1 มิลลิเมตร/นาที กำหนดน้ำหนักถ่วง (load cell) ขนาด 250 นิวตัน ดึงชิ้นทดสอบ บันทึกค่าแรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 13 ยึดชิ้นทดสอบเข้ากับแท่นยึดด้วยกาวยึด และต่อเข้ากับเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ เพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค

### 4. ศึกษารูปแบบการแตกหัก

หลังจากทดสอบกลสมบัติแล้ว นำชิ้นทดสอบที่แตกหักไปศึกษารูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดวัดระยะ (measuring microscope, Nikon MM40/L; Nikon Instech Co Ltd, Tokyo, Japan) (รูปที่ 14) และแจกแจงความถี่ของรูปแบบการแตกหัก โดยกำหนดเกณฑ์ ดังนี้ คือ

- 1) การแตกหักแบบแอดฮีซีฟ (Adhesive failure )
- 2) การแตกหักแบบโคฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน (Cohesive failure in dentin) เมื่อพบว่าเกิดการแตกหักของเนื้อฟันมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัด

ของชั้นทดสอบรูปแท่ง ซึ่งคิดพื้นที่โดยแบ่งพื้นที่หน้าตัดของชั้นทดสอบ เป็น 9 ส่วนเท่าๆกัน หากเกิดการแตกหักของเนื้อฟันมากกว่า 7 ใน 9 ส่วน จึงจัดเป็นการแตกหักแบบโคฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน

- 3) การแตกหักแบบโคฮีซีฟในชั้นเรซินคอมโพสิต (Cohesive failure in resin composite) เมื่อพบว่าเกิดการแตกหักของเรซินคอมโพสิต มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดของชั้นทดสอบรูปแท่ง โดยคิดเกณฑ์ เช่นเดียวกับการแตกหักแบบโคฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน
- 4) การแตกหักแบบผสม (Mixed failure) เมื่อพบว่าเกิดการแตกหักทั้งในเนื้อฟัน เรซินคอมโพสิต และ/หรือ สารยึดเรซิน



รูปที่ 14 กล้องจุลทรรศน์ชนิดวัดระยะ (10X)

#### 5. ศึกษาลักษณะพื้นผิวชิ้นตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

นำชั้นทดสอบทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเคลือบผิวด้วยทอง และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM; Quanta 400, FEI, Tokyo, Japan) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวชิ้นตัวอย่างโดย

- 5.1 ศึกษาพื้นผิวเนื้อฟันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดเสียวฟัน
- 5.2 ศึกษาพื้นผิวเนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดเสียวฟัน
- 5.3 ศึกษาพื้นผิวตัวอย่างที่แตกหัก

## 6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์การแจกแจงปกติของค่ากำลังแรงยึดแบบดึง ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test และวิเคราะห์การกระจายของค่าความแปรปรวนด้วยสถิติ Levene test พบว่าข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงปกติ และไม่มี ความแตกต่างของการกระจายค่าความแปรปรวน (ภาคผนวก 3-ตารางที่ 4,5) จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ปัจจัย (2 way ANOVA) เพื่อศึกษาผลของอิทธิพลร่วมต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึง แล้วตามด้วย Multivariate และ Post Hoc analysis โดยกำหนดระดับนัยสำคัญในการวิเคราะห์ที่  $p < 0.05$

6.2 การวิเคราะห์ผลจาก (3.1.2) ด้วยการแจกแจงค่าความถี่

6.3 วิเคราะห์ผลจาก (4) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา

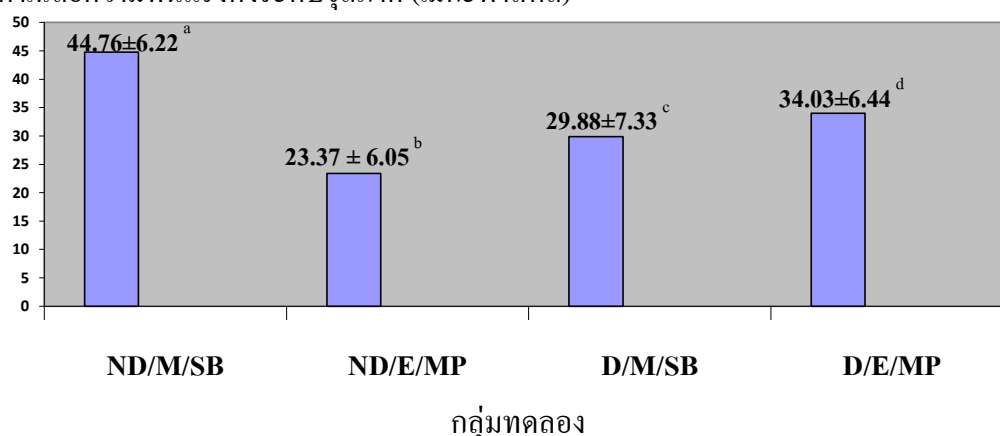
### บทที่ 3

#### ผลการวิจัย

#### 1. ผลการศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างเรซินคอมโพสิต และฟัน

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคแสดงในแผนภูมิที่ 1 โดยกลุ่ม ND/M/SB มีค่าสูงสุด ขณะที่กลุ่ม ND/E/MP มีค่าต่ำสุด

ค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงระดับจุลภาค (เมกะพาสคัล)



รูปที่ 15 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันและเรซิน คอมโพสิต โดยมีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีการต่างๆ ทั้ง 4 กลุ่ม

- (1) ND/M/SB คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าโดยปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น
- (2) ND/E/MP คือ กลุ่มที่ไม่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าโดยปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล
- (3) D/M/SB คือ กลุ่มที่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าโดยปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคขึ้น
- (4) D/E/MP คือ กลุ่มที่เตรียมผิวฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าโดยปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

สัญลักษณ์ a,b,c,d หมายถึง มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึง อย่างมีนัยสำคัญ ที่  $p < 0.05$

เมื่อศึกษาผลของลักษณะพื้นผิวฟัน และชนิดของสารยึดเรซินแบ่งตามระดับความชอบน้ำร่วมกับเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิว ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง พบว่า ปัจจัยด้านระบบสารยึดมีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปัจจัยด้านลักษณะพื้นผิวฟันมีอิทธิพลน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรลักษณะพื้นผิวฟันและชนิดของสารยึดเรซิน พบว่ามีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ภาคผนวก 4, ตารางที่ 6) การที่มีผลของอิทธิพลร่วม ทำให้ต้องวิเคราะห์ผลการทดลองใหม่ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยกำหนดเงื่อนไขให้กลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม เป็นอิสระจากกัน เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงใน 4 กลุ่มทดลอง พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของทุกกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ภาคผนวก 4, ตารางที่ 7) โดยกลุ่ม ND/M/SB มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูงสุด ขณะที่กลุ่ม ND/E/MP มีค่าต่ำสุด

เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มที่ยึดพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำมากกว่าโดยปรับสภาพผิวฟันด้วยเทคนิคชั้น พบว่าพื้นผิวฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน (D/M/SB) มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงน้อยกว่าฟันที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน (ND/M/SB) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ภายในกลุ่มที่ยึดพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่าโดยปรับสภาพด้วยเอทานอล กลับพบว่าพื้นผิวฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน (D/E/MP) มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมากกว่าฟันที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน (ND/E/MP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก 4, ตารางที่ 7)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยใช้ลักษณะของพื้นผิวเนื้อฟันเป็นหลัก พบว่าภายในกลุ่มที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยสารลดเสียวฟัน เมื่อใช้สารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (D/E/MP) จะให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมากกว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชั้น (D/M/SB) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงกันข้าม ภายในกลุ่มที่ไม่ผ่านการเตรียมผิวด้วยสารลดเสียวฟัน กลับพบว่า เมื่อใช้สารยึดชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชั้น (ND/M/SB) ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมากกว่ากลุ่มใช้สารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล (ND/E/MP) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก 4, ตารางที่ 7)

## 2. รูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินคอมโพสิต และฟัน

จำนวนของรูปแบบการแตกหักชนิดต่างๆบริเวณรอยเชื่อมระหว่างพื้นผิวฟัน และเรซินคอมโพสิต ที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึง แสดงในตารางที่ 1

พบว่า รูปแบบการแตกหักที่พบมากที่สุดในทุกกลุ่มทดลอง เป็นการแตกหักแบบ ผสม ในลักษณะของการแตกร่วมระหว่างการแตกหักแบบแอคซีซีฟร่วมกับการแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิตขณะที่รูปแบบการแตกหักที่พบน้อยที่สุด คือ การแตกหักภายในชั้นเนื้อฟัน ตัวอย่างรูปแบบการแตกหักของชิ้นทดสอบแสดงในภาคผนวก 5

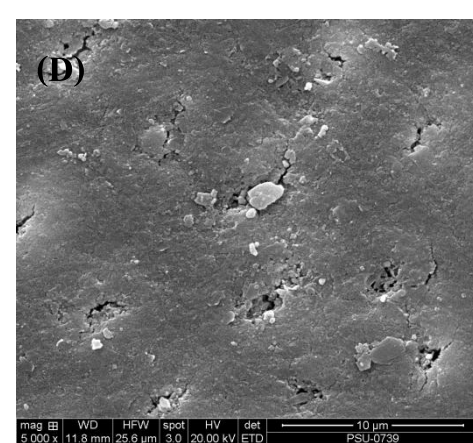
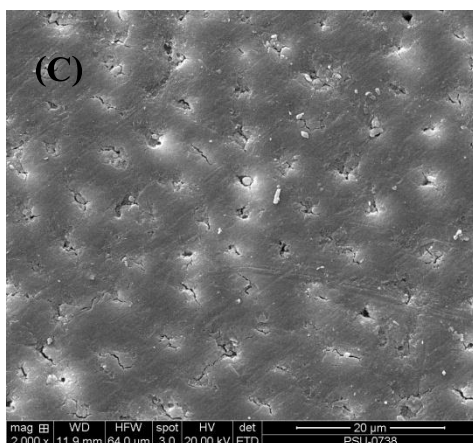
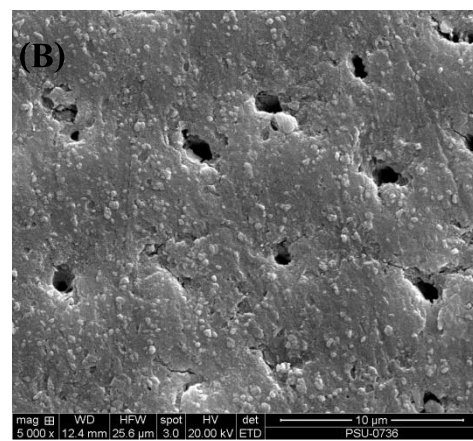
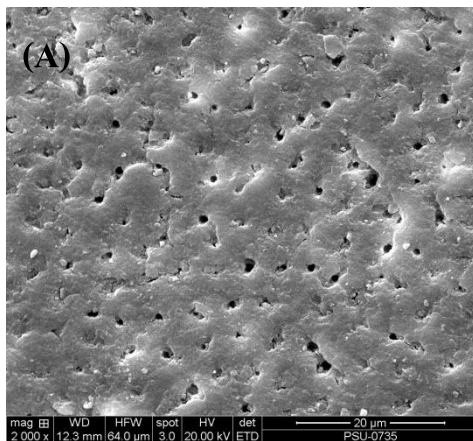
รูปแบบการแตกหัก	การแตกหักแบบ แอคซีซีฟ จำนวน (ร้อยละ)	การแตกหักในชั้น เนื้อฟัน จำนวน (ร้อยละ)	การแตกหักในชั้น เรซิน คอมโพสิต จำนวน (ร้อยละ)	การแตกหักแบบ ผสม จำนวน (ร้อยละ)
ND/M/SB	1 (3.33%)	1 (3.33%)	7 (23.33%)	21 (70%)
ND/E/MP	7 (23.33%)	1 (3.33%)	7 (23.33%)	15 (50%)
D/M/SB	6 (20.00%)	0 (0.00%)	3 (10.00%)	21 (70%)
D/E/MP	1 (3.33%)	1 (3.33%)	7 (23.33%)	21 (70%)

ตารางที่ 1 รูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและฟัน



### 3. ลักษณะพื้นผิวชั้นตัวอย่างเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

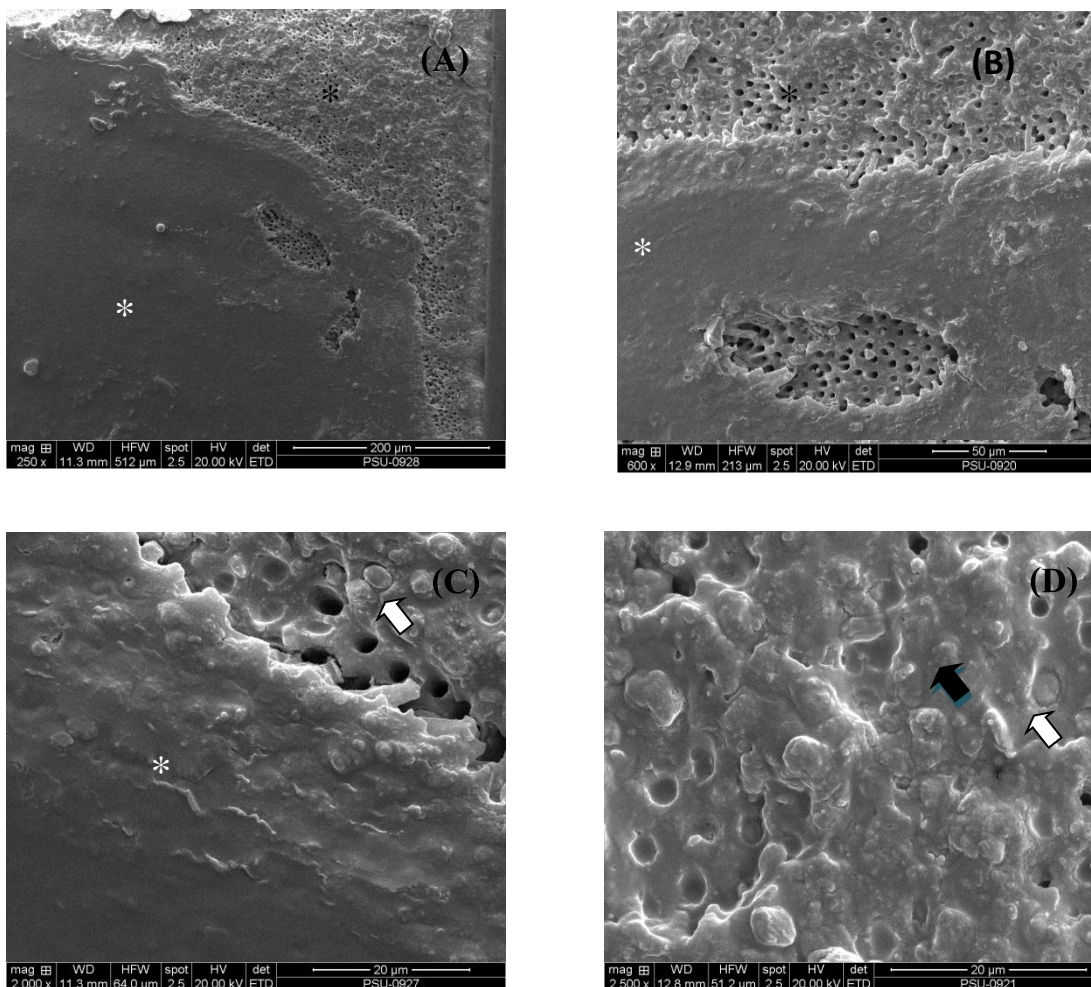
จากภาพแสดงพื้นผิวชั้นตัวอย่างก่อนปรับสภาพพื้นผิวเพื่อรองรับระบบสารยึด เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 2,000 และ 5,000 เท่า พบรูเปิดท่อเนื้อพื้นจำนวนมากกระจายทั่วบนผิวพื้นที่ไม่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น (รูปที่ 16A-B) ขณะที่พื้นที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อพื้นลดลงชัดเจน และมีผลึกแร่ธาตุอุดตันท่อเนื้อพื้น (รูปที่ 16C-D)



รูปที่ 16A-B แสดงลักษณะพื้นผิวชั้นตัวอย่างที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 2000 เท่า (A) และ 5000 เท่า (B) รูปที่ 16C-D แสดงลักษณะพื้นผิวชั้นตัวอย่างที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 2000 เท่า และ 5000 เท่า (D)

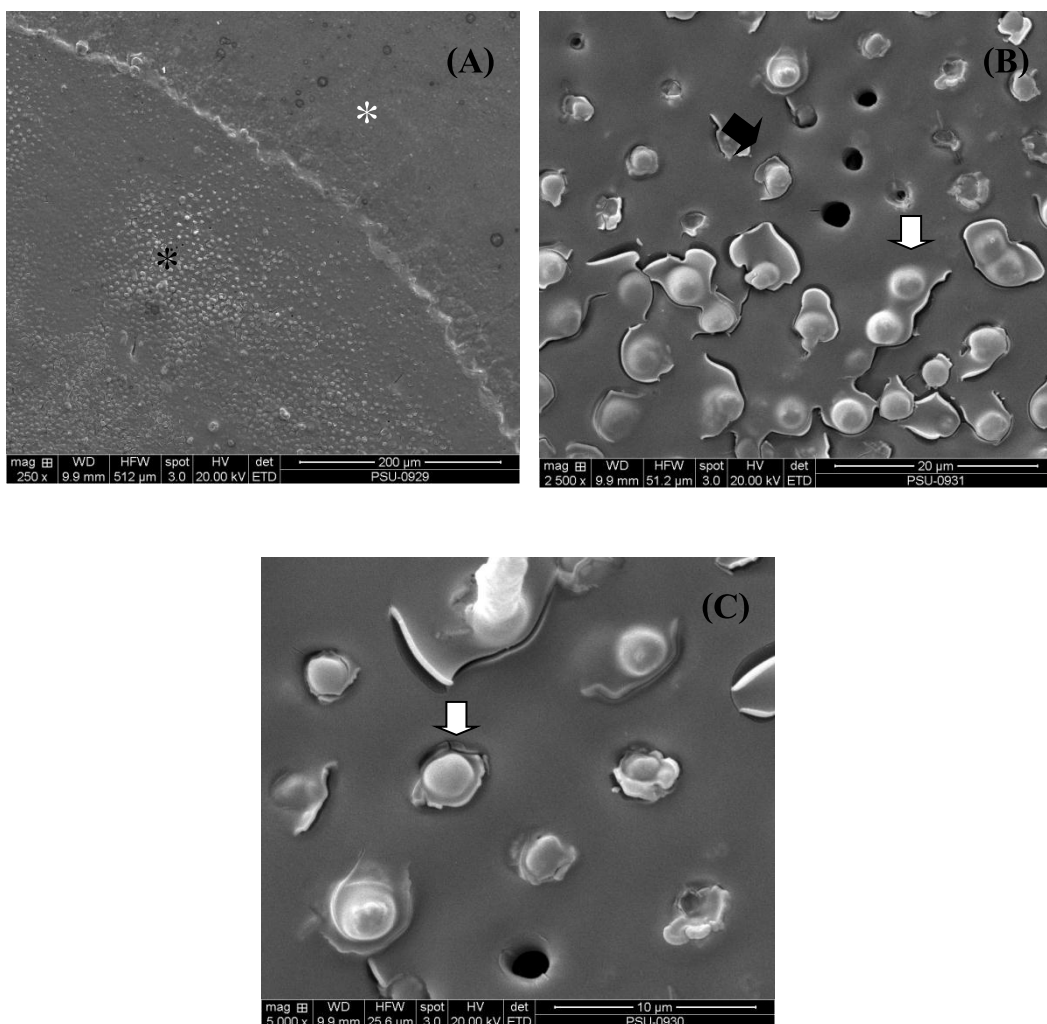
เมื่อนำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมาศึกษาถึงรูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด โดยนำชิ้นตัวอย่างมาจากกลุ่ม D/M/SB และ D/E/MP ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

รูปที่ 17A-B แสดงถึงการแตกหักรูปแบบผสมระหว่างการแตกหักแบบแอดฮีซีฟ ร่วมกับการแตกหักภายในชั้นเนื้อฟัน โดยส่วนที่แสดงด้วยดอกจันสีขาว แสดงถึงบริเวณของสารยึดเรซิน และส่วนที่แสดงด้วยดอกจันสีดำ แสดงถึงบริเวณที่มีการแตกหักแบบโคฮีซีฟในชั้นเนื้อฟัน โดยพบต่อเนื้อฟันจำนวนมาก บางต่อเผยซี่ และบางต่อเนื้อฟันมีการหลุดของต่อเนื้อฟันจากผลึกของสารลดเสียวฟัน และสารยึดเรซินที่มีการไหลแทรกลงไป ในต่อเนื้อฟัน เมื่อดูภาพขยายบริเวณ โชนดอกจันสีดำ (รูปที่ 17C-D) พบผลึกแร่ธาตุที่อุดต่อเนื้อฟันชัดเจน รูปร่างทรงกลมมีผิวขรุขระ ดังลูกศรสีดำ และพบสารยึดเรซินที่มีการไหลแทรกลงไป ในต่อเนื้อฟัน หลังจากที่มีการแตกหัก จะพบลักษณะแห่งทรงกระบอกปลายตัดเรียบ ดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว



รูปที่ 17 (A-D) ลักษณะพื้นผิวพื้นบริเวณรอยแตกหักที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของตัวอย่างชิ้นทดสอบกลุ่ม D/M/SB ที่กำลังขยายต่างๆ (14A กำลังขยาย x250 เท่า 14B กำลังขยาย x600 เท่า 14C กำลังขยาย x2000เท่า 14D กำลังขยาย x2500 เท่า)

รูปที่ 18A แสดงถึง การแตกหักรูปแบบผสมระหว่างการแตกหักแบบแอคอีซีฟ ร่วมกับการแตกหักภายในชั้นเนื้อฟัน เช่นเดียวกับรูปที่ 17A-D โดยดอกจันสี่เหลี่ยมแสดงบริเวณที่มีการแตกหักภายในชั้นเนื้อฟัน และดอกจันที่สีแดงแสดงบริเวณที่มีการแตกหักแบบแอคอีซีฟ แต่แตกต่างกันตรงที่บริเวณที่มีการแตกหักภายในชั้นเนื้อฟันพบว่าท่อเนื้อฟันส่วนใหญ่อุดตัน ซึ่งเมื่อสังเกตจากภาพขยาย (รูปที่ 18B-C) กำลังขยาย 2,500 เท่า และ 5,000 เท่า ตามลำดับ เป็นภาพขยายในโซนดอกจันสี่เหลี่ยม พบว่าท่อเนื้อฟันส่วนใหญ่จะถูกอุดตันด้วยผลึกแร่ธาตุจากสารลดเสียวฟัน และสารยึดเรซิน (แสดงด้วยลูกศรสีขาวและสีฟ้า) พบท่อเนื้อฟันเพียงสิ่งจํานวนน้อยมาก



รูปที่ 18 (A-C) ลักษณะพื้นผิวฟันบริเวณรอยแตกหักที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ของตัวอย่างชิ้นทดสอบกลุ่ม D/E/MP ที่กำลังขยายต่างๆ (15A กำลังขยาย x250 เท่า 15B กำลังขยาย x2,500 เท่า 15C กำลังขยาย x5,000เท่า)

## บทที่ 4

### บทวิจารณ์

เทคนิคการยึดติดและชนิดของสารยึดเรซินที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ การบูรณะฟันผิวฟันด้วยเรซินคอมโพสิตร่วมกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำ เนื่องจากสภาพฟันผิวเนื้อฟัน มีโครงสร้างที่มีน้ำและความชื้นเป็นองค์ประกอบ การใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำจะช่วยให้เกิดการไหลแผ่ที่ติดบนผิวเนื้อฟัน และทนต่อความชื้นได้มากยิ่งขึ้น เกิดสภาพเข้ากันได้ระหว่างสารยึดเรซินและฟันผิวฟัน<sup>(37)</sup> Nagajima และคณะ (2000) เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันที่อยู่ในสถานะขึ้นหลังจากกรดกัด และเนื้อฟันแห้ง เมื่อยึดกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำ พบว่าเนื้อฟันที่อยู่ในสถานะขึ้นหลังกรดกัดมีค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่าเนื้อฟันแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อฟันที่อยู่ในสถานะขึ้นหลังกรดกัดเกิดชั้นไฮบริดที่หนากว่า<sup>(60)</sup> อย่างไรก็ตาม เทคนิคการยึดติดและชนิดเรซินดังกล่าว เมื่อนำมาใช้กับเนื้อฟันที่ถูกเตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟัน การศึกษาส่วนใหญ่พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟันผิวฟันปกติ<sup>(4-8)</sup> โดยสาเหตุของค่าความแข็งแรงยึดที่ลดลงนี้ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่การศึกษาส่วนใหญ่คาดว่าเกิดจากความไม่เข้ากัน ระหว่างสภาพฟันผิวฟันและระบบสารยึด เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านลักษณะฟันผิวฟัน ผลการศึกษานี้พบว่า ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระหว่างฟันผิวฟันที่ถูกเตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟัน และเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพฟันผิวด้วยเทคนิคขึ้น มีค่าต่ำกว่าสภาพฟันผิวฟันที่ไม่เตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแตกต่างกันประมาณ 15 เมกะปาสคัล คิดเป็นร้อยละ 30 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาส่วนใหญ่ก่อนหน้านี้ที่พบว่า เนื้อฟันที่ถูกเตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟันมีแนวโน้มจะมีค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตต่ำลง คิดเป็นร้อยละ 25-55 โดยประมาณ<sup>(4-8, 26)</sup> มีความเป็นไปได้ว่า ค่าความแข็งแรงยึดที่ลดลงนี้ เกิดจากสภาพฟันผิวฟันที่เปลี่ยนแปลงไปจากการอุดตันต่อเนื้อฟันด้วยผลิตภัณฑ์เรซินอุดสีฟันจากสารลดเสียวฟัน ซึ่งตามหลักพื้นฐานของกลไกการยึดติด ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดไปในทิศทางที่ด้อยลง การอุดตันต่อเนื้อฟันด้วยผลิตภัณฑ์เรซิน อาจเป็นผลให้ความชื้นภายในเนื้อฟันลดลง และส่งผลต่อเนื้อฟันให้เกิดการลดความเข้ากันได้ระหว่างสภาพฟันผิวฟันกับสารยึดติด การศึกษาโดย Rusin RP และคณะในปี 2010 ได้แสดงให้เห็นถึงผลของการอุดตันต่อเนื้อฟันที่มีต่อความสามารถในการแพร่ของสารน้ำผ่านเนื้อฟัน เมื่อพิจารณาจากค่าไฮดรอลิกคอนดักแทน ในตัวอย่างฟันที่ถูกเตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟัน โดยพบว่าเนื้อฟันที่ถูกเตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟันมีการแพร่ของสารน้ำผ่านเนื้อฟันลดลงประมาณร้อยละ 87-96 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(31)</sup> เช่นเดียวกับการศึกษาโดย Jain P และคณะ (1997) ซึ่ง

พบว่าสารลดเลี้ยวฟันลดความสามารถในการแพร่ผ่านของสารน้ำในเนื้อฟันประมาณร้อยละ 60-80<sup>(21)</sup> และการศึกษาโดย Pinto S และคณะในปี 2012 ที่พบว่าพื้นผิวเนื้อฟันหนูที่แปรงด้วยยาสีฟันเซนโซดาเยน ที่มีส่วนผสมของสตรอนเซียมคลอไรด์ เป็นสารลดเลี้ยวฟันในปริมาณร้อยละ 10 นั้นมีความสามารถในการแพร่ผ่านของสารน้ำต่ำกว่าเนื้อฟันที่แปรงด้วยน้ำกลั่น หรือยาสีฟันที่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(61)</sup>

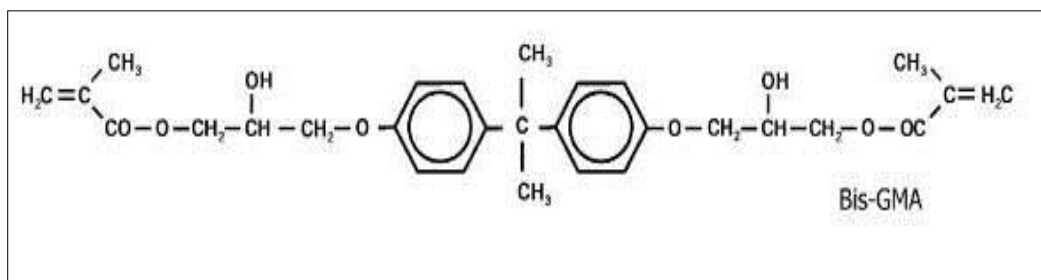
การตรวจสอบผิวเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ให้ผลที่สนับสนุนแนวความคิดดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยแสดงให้เห็นภาพของการอุดตันต่อเนื้อฟันด้วยผลึกแร่ธาตุของสารลดเลี้ยวฟันชนิดสตรอนเซียมคลอไรด์อย่างชัดเจน คิดเป็นพื้นที่ประมาณมากกว่าร้อยละ 80 ของพื้นผิวเนื้อฟัน (อ้างอิงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด รูปที่ 13C) ซึ่งการอุดตันต่อเนื้อฟันนี้ทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันลดลงในหลายรูปแบบ ส่วนมากเกิดการอุดตันเพียงบางส่วนหรือปิดไม่เต็มปากท่อ ขณะที่บางส่วนเกิดการปิดเต็มปากท่อเนื้อฟันทั้งหมด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Gillam DG และคณะ (1999) ที่ได้ศึกษาลักษณะของเนื้อฟันที่ได้รับการทาสารลดเลี้ยวฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบการอุดตันของท่อเนื้อฟันจากสารลดเลี้ยวฟัน โดยลักษณะการอุดตันจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารลดเลี้ยวฟัน นอกจากนี้ Arrais CAG และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลของการใช้ยาสีฟันลดเลี้ยวฟันต่อการอุดตันต่อเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าเมื่อใช้ยาสีฟันเซนโซดาเยน ซึ่งมีสารสำคัญในการลดเลี้ยวฟัน คือ สตรอนเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะพบผลึกอุดตันต่อเนื้อฟันสูงถึงร้อยละ 80 ต่างจากกลุ่มควบคุมที่มีการอุดตันต่อเนื้อฟันเพียงร้อยละ 37.3<sup>(28)</sup> ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jain P และคณะ (1997) ที่พบว่า การแปรงฟันร่วมกับยาสีฟันลดเลี้ยวฟัน จะลดจำนวนของท่อเนื้อฟันที่เผยผิงได้<sup>(21)</sup> Arrais CAG และคณะ (2004) ศึกษาลักษณะการอุดตันของท่อเนื้อฟันเมื่อใช้สารลดเลี้ยวฟัน ได้ผลคล้ายกับการศึกษาก่อนหน้า โดยศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การอุดตันที่เกิดจากสตรอนเซียมคลอไรด์ จะเกิดการอุดตันต่อเนื้อฟันลึกประมาณ 20 ไมโครเมตร<sup>(29)</sup> นอกจากนี้ Pinto S และคณะ (2012) ได้ศึกษาลักษณะพื้นผิวเนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยการแปรงฟันร่วมกับน้ำกลั่น การแปรงฟันร่วมกับยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และการแปรงฟันร่วมกับยาสีฟันลดเลี้ยวฟัน พบว่า เนื้อฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟันจากยาสีฟันเซนโซดาเยน จะมีการอุดตันของท่อเนื้อฟัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเนื้อฟันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการเตรียมพื้นผิวด้วยการแปรงฟันร่วมกับน้ำกลั่น<sup>(61)</sup>

จึงกล่าวได้ว่า เมื่อเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเลี้ยวฟัน ส่งผลให้ผลึกแร่ธาตุจากสารลดเลี้ยว ซึ่งในที่นี้ คือ ผลึกสตรอนเซียมคลอไรด์ อุดตันต่อเนื้อฟันเป็นจำนวนมาก ทำให้ท่อเนื้อฟันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเนื้อฟันลดลง โดยแตกต่างจากพื้นผิวฟันในภาวะปกติที่มีท่อเนื้อฟันเผย

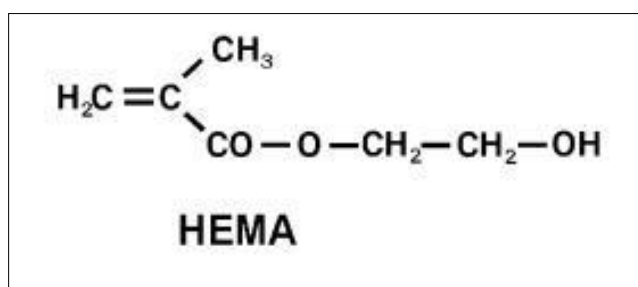
ฝั่ง การอุดตันนี้เองมีแนวโน้มส่งผลลดค่าไฮดรอลิกคอนดักแทนของพื้นผิวพื้น และลดปริมาณความชื้นภายในเนื้อพื้น

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของสารยึดเรซินและเทคนิคการยึดติดเมื่อพื้นถูกเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น พบว่า การใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล ให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่าสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวพื้นด้วยเทคนิคขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปได้ว่า การที่มีผลึกแร่ธาตุอุดตันต่อเนื้อพื้น ทำให้ความชื้นในเนื้อพื้นลดลงตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้เกิดความไม่เข้ากันกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ตามหลักกลไกการยึดติด จึงทำให้ค่าความแข็งแรงยึดลดลง ในทางตรงกันข้ามสำหรับกรณีที่เตรียมพื้นผิวพื้นด้วยสารลดเสียวพื้นเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า และปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล เมื่อทาเอทานอลลงบนผิวพื้น เอทานอลมีคุณสมบัติไล่น้ำออกและทำให้คอลลาเจนเกิดการคงรูปหรือไม่ยุบตัวในขณะเดียวกัน พื้นผิวพื้นจึงอยู่ในสภาวะที่มีความชอบน้ำลดลงและมีความเข้ากันได้กับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่ามากขึ้น จึงส่งเสริมให้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าสามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้มาก ทำให้ความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินและเนื้อพื้นเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลดีต่อการยึดติดของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ<sup>(14)</sup>

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของชนิดสารยึดเรซิน พบว่าสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่ามีบิสฟีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเรซินมอนอเมอร์ชนิดนี้เมื่อเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน จะมีการสร้างพันธะกลายเป็นพอลิเมอร์เชื่อมไขว้ในชั้นไฮบริด ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงสูงกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับอีมา ซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าในสัดส่วนที่มาก โดยอีมา เมื่อเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจะมีการสร้างพันธะเป็นพอลิเมอร์เส้นตรง ดังนั้นสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าจึงมีความแข็งแรงของชั้นสารยึดภายหลังก่อตัวมากกว่าสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า<sup>(16, 38)</sup> สูตรโครงสร้างทางเคมีของเรซินมอนอเมอร์ชนิดบิสฟีเอ็มเอ และอีมา แสดงในรูปที่ 18-19



รูปที่ 18 สูตรโครงสร้างทางเคมีของบิสจีเอ็มเอ



รูปที่ 19 สูตรโครงสร้างทางเคมีของฮีมา

เมื่อนำสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอล มาใช้กับพื้นผิวฟันปกติที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน พบว่า ค่าความแข็งแรงยึดน้อยกว่าพื้นผิวฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่ม D/E/MP และกลุ่ม ND/E/MP มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึง 34.03 และ 23.37 เมกะพาสคัล ตามลำดับ) อธิบายได้จากกลไกการยึดติด จากความไม่เข้ากันของสภาพพื้นผิวฟันตามปริมาณความชื้นในเนื้อฟันและชนิดของสารยึดเรซินดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความแข็งแรงยึดในกลุ่มนี้ยังน้อยกว่ากลุ่มที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่ม ND/E/MP และกลุ่ม D/M/SB มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึง 23.37 และ 29.88 เมกะพาสคัล ตามลำดับ) ซึ่งเป็นไปได้ว่าสาเหตุเกิดจากเทคนิคการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลมีความไวต่อปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่มากกว่า จึงส่งผลลดค่าความแข็งแรงยึดมากกว่าเทคนิคการยึดติดในสภาวะชื้น ซึ่งการศึกษาของ Sadek FT และคณะ (2007) พบว่า การมีความชื้นปนเปื้อนในปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 5 โดยปริมาตร บนพื้นผิวเนื้อฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล จะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดลดลงร้อยละ 25 เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ<sup>(14)</sup> จึงอาจเป็นเหตุผลในการอธิบายว่ากลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันเมื่อใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพ



พื้นผิวเนื้อพื้นด้วยเอทานอล มีค่าความแข็งแรงยึดน้อยกว่ากลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเนื้อพื้นด้วยสารลดเสียวพื้นและใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวพื้นด้วยเทคนิคชั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการอธิบายถึงเหตุผลของการปนเปื้อนน้ำขณะยึดติดด้วยเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่ากับพื้นผิวพื้นที่ผ่านมาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล อาจจะทำค่าพารามิเตอร์การละลายเป็นแนวคิดในการอภิปราย กล่าวคือ การศึกษาของ Sadek และคณะ (2010) กล่าวว่า เมื่อมีการแทนที่น้ำในเดนทินเมทริกซ์ที่มีการละลายแร่ธาตุออกไปด้วยเอทานอล จะส่งผลต่อค่าการละลายของฮอย โดยค่า  $\delta_1$  มีค่า 25.1 MPa<sup>1/2</sup> ซึ่งค่า  $\delta_1$  ของเดนทินเมทริกซ์ที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีค่าประมาณ 21.2 MPa<sup>1/2</sup> ในขณะที่น้ำมีค่า  $\delta_1$  ประมาณ 48.0 MPa<sup>1/2</sup> ซึ่งแตกต่างจากค่า  $\delta_1$  ของสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นการที่มีน้ำปนเปื้อนขณะปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลจึงส่งผลลดการแทรกซึมของสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำเข้าไปในเส้นใยคอลลาเจนของพื้นผิวพื้น<sup>(12)</sup>

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดในกลุ่มที่มีความเข้ากันได้ระหว่างลักษณะพื้นผิวพื้นและชนิดของสารยึดเรซิน นั่นคือ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ND/M/SB และ D/E/MP พบว่ากลุ่ม ND/M/SB มีค่าความแข็งแรงยึดมากกว่ากลุ่ม D/E/MP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่ม ND/M/SB และกลุ่ม D/E/MP มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึง 44.76 และ 34.03 เมกะพาสคัลตามลำดับ) อาจเป็นไปได้ว่า เนื่องจากสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ยังคงมีองค์ประกอบที่เป็นเรซินชนิดชอบน้ำ คือ ซิมา จึงส่งผลลดค่าความแข็งแรงยึดเมื่อนำมาใช้กับพื้นผิวที่อยู่ในสภาวะแห้งจากการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น นอกจากนี้ผลการศึกษานี้พบว่าค่าความแข็งแรงยึดของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่าร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล ในพื้นที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้นมีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ Sadek FT และคณะ (2007) ซึ่งใช้สารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งไม่มีซิมาเป็นองค์ประกอบในระบบสารยึด (ค่าความแข็งแรงยึดของกลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้นร่วมกับสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ โดยปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลมีค่า 42.4 เมกะพาสคัล)<sup>(14)</sup> ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากซิมาที่มีอยู่ในองค์ประกอบของสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า จึงทำให้ค่าความแข็งแรงยึดน้อยกว่าการใช้เรซินชนิดไม่ชอบน้ำ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลเมื่อเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้นจะได้ค่าความแข็งแรงยึดต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคชั้น เมื่อเนื้อพื้นไม่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้น แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงยึดนี้ ยังคงสูงกว่าการใช้สารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง 3 ขั้นตอน ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคชั้น เมื่อเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวพื้นใน

การศึกษาก่อนหน้านี้ โดยการศึกษาของ De Andrade e Silva SM และคณะ (2010) พบว่าเนื้อพื้นที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันชนิดโพแทสเซียม ออกซาลेट เมื่อใช้ร่วมกับระบบสารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้างชนิดสกอตบอนด์ มัลติเพอร์โพส (D/M/MP) พบว่า มีค่าความแข็งแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันจากประมาณ 30 เมกะพาสกาล เป็น 22 เมกะพาสกาล นอกจากนี้ยังพบว่าความเสถียรของค่าความแข็งแรงยึดเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี มีค่าความแข็งแรงยึดลดลงชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยลดลงถึงร้อยละ 30-40<sup>(32)</sup> ซึ่งคาดว่าค่าความแข็งแรงยึดที่ลดลงจากการที่ใช้สารยึดเรซินชนิดกรดกัดและล้าง 3 ขั้นตอน ในพื้นที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟันนี้ เกิดจากสารยึดเรซินดังกล่าวมีทาสาร์ไพโรเมอร์ร่วมด้วย ซึ่งในไพโรเมอร์มีฮีมาและน้ำองศ์ประกอบในสัดส่วนที่มาก จึงมีความชอบน้ำสูง ดังนั้นจึงเกิดความไม่เข้ากันกับพื้นผิวฟันที่อยู่ในสถานะแห้งจากการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน

เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกหัก ในทุกกลุ่มการทดลองจะพบรูปแบบการแตกหักแบบผสมมากที่สุด โดยส่วนใหญ่เป็นการแตกหักผสมระหว่างการแตกหักแบบแอคซีซีฟร่วมกับการแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต เป็นไปได้ว่าบริเวณชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมยึดไม่ได้เกิดในลักษณะความแข็งแรงที่สม่ำเสมอ จึงทำให้บางบริเวณมีแรงยึดพันธะต่ำ บางบริเวณมีแรงยึดพันธะสูง จึงเกิดการแตกหักแบบผสม และไม่ค่อยพบการแตกหักในชั้นเนื้อฟัน เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อฟันมีความแข็งแรงสูงกว่า (high modulus) ซึ่งมีค่าประมาณ 13.2 จิกะพาสกาล (GPa)<sup>(62)</sup> เมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิต ซึ่งมีค่าประมาณ 8 GPa<sup>(63)</sup>

เมื่อพิจารณาจำนวนการแตกหักแต่ละรูปแบบในกลุ่ม ND/M/SB มีค่าเท่ากับกลุ่ม D/E/MP ทุกประการ แสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีระหว่างระบบสารยึดและสภาพพื้นผิวฟันเมื่อเทียบกับกลุ่ม ND/E/MP และกลุ่ม D/M/SB ที่มีการแตกหักแบบแอคซีซีฟเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลลัพธ์ของความไม่เข้ากันระหว่างระบบสารยึดและสภาพพื้นผิวฟันที่มีต่อคุณภาพการยึดติด นอกจากนี้รูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังแรงยึดแบบดึง กล่าวคือ กลุ่มทดลองที่มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงสูง จะพบรูปแบบการแตกหักแบบแอคซีซีฟน้อย แสดงให้เห็นว่าบริเวณรอยเชื่อมยึดมีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองที่มีค่ากำลังแรงยึดแบบดึงต่ำ ซึ่งกรณีดังกล่าวนี้พบว่ารูปแบบการแตกหักดังกล่าวสนับสนุนผลของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบดึงในกลุ่มที่มีความเข้ากันได้ดีระหว่างระบบสารยึดและสภาพพื้นผิวฟัน (กลุ่ม ND/M/SB และกลุ่ม D/E/MP) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีความไม่เข้ากันระหว่างระบบสารยึดและสภาพพื้นผิวฟันที่มีต่อคุณภาพการยึดติด (กลุ่ม ND/E/MP และกลุ่ม D/M/SB)

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของแต่ละสภาพผิวฟัน กลุ่ม ND/E/MP มีการแตกหักแบบแอคซีซีฟมากกว่ากลุ่ม ND/M/SB แต่การแตกหักแบบผสมมีจำนวนน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงของกลุ่ม ND/E/MP ที่มีค่าน้อยกว่ากลุ่ม ND/M/SB อย่างมีนัยสำคัญ น่าจะเป็นผลจากสภาพผิวพื้นซึ่งมีความเข้ากันได้กับเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ทำให้เกิดการเชื่อมยึดในชั้นไฮบริดที่มีคุณภาพและมีความแข็งแรงสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้เรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า

ในกรณีที่พื้นผิวพื้นอยู่ในสภาวะแห้ง ซึ่งเป็นผลจากการอุดตันต่อเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟัน ผลการศึกษาในรูปแบบการแตกหักเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับกรณีที่พื้นผิวพื้นอยู่ในสภาวะชื้น โดยพบว่ากลุ่ม D/E/MP มีการแตกหักแบบแอคซีซีฟน้อยกว่ากลุ่ม D/M/SB อย่างชัดเจน ในขณะที่การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิตมีมากกว่า ซึ่งสนับสนุนผลการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึงที่กลุ่ม D/E/MP มีค่าสูงกว่ากลุ่ม D/M/SB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างผิวเนื้อฟันในสภาวะแห้งกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่ามากกว่าเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า

#### ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

1. พบชิ้นตัวอย่างที่มีการแตกหักก่อนนำมาทดสอบ ทั้งจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ และขั้นตอนก่อนนำมาวัดค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ดังนั้นจึงตัดข้อมูลเหล่านี้ ออก ก่อนนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ
2. สารยึดเรซินทางการค้าในปัจจุบัน ยังไม่มีสารยึดเรซินชนิดไม่ชอบน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดของสารยึดเรซิน โดยแบ่งตามระดับความชอบน้ำโดยแบ่งเป็นสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า และสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ สรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ในสภาพผิวฟันที่มีความชื้นแตกต่างกัน ชนิดของสารยึดเรซินและเทคนิคในการปรับสภาพพื้นผิวที่เลือกใช้มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตและพื้นผิวฟันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. ในฟันที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน ซึ่งจัดว่ามีความชื้นต่ำหรืออยู่ในสภาวะแห้ง การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลร่วมกับการใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า ให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่าการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชื้นร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต
3. ในฟันที่อยู่ในสภาวะชื้น เทคนิคที่ให้ค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่า คือ การปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชื้นร่วมกับใช้สารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า

#### ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่า ฟันที่เตรียมพื้นผิวด้วยสารลดเสียวฟัน การปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอลร่วมกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำน้อยกว่า มีค่าความแข็งแรงยึดสูงกว่า การปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชื้นร่วมกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นวิธีการดังกล่าวจึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดให้ดีขึ้น สำหรับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตบนผิวฟันที่มีรอยโรคดังกล่าว

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการ และค่าความแข็งแรงยึดนี้ยังคงด้อยกว่าพื้นผิวฟันปกติที่ใช้ร่วมกับสารยึดเรซินชนิดชอบน้ำร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวฟันด้วยเทคนิคชื้น ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาเทคนิคและระบบสารยึดต่อไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดที่ดีขึ้น นอกจากนี้การศึกษานี้เป็นการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดทันทีหลังบูรณะ (initial bond strength) ดังนั้นเพื่อเลียนแบบสภาวะการใช้งานในช่องปากจริง การศึกษาต่อไปอาจพิจารณาทำเทอร์โมไซคลิง (thermocycling) หรือแช่น้ำ เพื่อศึกษาความคงอยู่ของความแข็งแรงยึดในระยะยาว

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ศึกษาค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน ส่วนกลางบริเวณตัวฟัน ซึ่งผลการศึกษาอาจมีความแตกต่างจากการทดสอบความแข็งแรงยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันบริเวณอื่น เช่น บริเวณรากฟัน หรือคอฟัน เนื่องจากเนื้อฟันแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันทั้งจำนวนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อเนื้อฟัน ปริมาณของสารน้ำและความชื้น รวมถึงทิศทางการเรียงตัวของท่อเนื้อฟัน ดังนั้นปัจจัยต่างๆเหล่านี้จึงส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดของสารยึดเรซิน ดังนั้นในการศึกษาต่อไปอาจพิจารณาทดสอบค่าความแข็งแรงยึดบริเวณรากฟันหรือคอฟัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่พบบ่อยที่มักเกิดรอยโรคจากภาวะเนื้อฟันไวเกิน

## เอกสารอ้างอิง

1. Hefti AF, Stone C. Power toothbrushes, gender, and dentin hypersensitivity. *Clin Oral Investig* 2000; 4(2): 91-97.
2. Brännström M, Åström A. A Study on the Mechanism of Pain Elicited from the Dentin. *J Dent Res* 1964; 43: 219-227.
3. Gillam DG, Khan N, Mordan NJ, Barber PM. Scanning electron microscopy (SEM) investigation of selected desensitizing agents in the dentine disc model. *Endod Dent Traumatol* 1999; 15: 198-204.
4. Lehmann N, Degrange M. Effect of four dentin desensitizer on the shear bond strength of three bonding systems. *Eur Cell Mater* 2005; 9: 52-53.
5. Awang RAR, Masudi SM, Mohd Nor WZW. Effect of desensitizing agent on shear bond strength of an adhesive system. *Arch of Orofac Sci* 2007; 2: 32-35.
6. Akca T, Yazici AR, Celik C, Ozgunaltay G, Dayangac B. The effect of desensitizing treatments on the bond strength of resin composite to dentin mediated by a self-etching primer. *Oper Dent* 2007; 32: 451-456.
7. Vachiramon V, Vargas MA, Pashley DH, Tay FR, Geraldini S, Qian F, et al. Effects of oxalate on dentin bond after 3-month simulated pulpal pressure. *J Dent* 2008; 36(3): 178-185.
8. Sevimay M, Ozyesil AG, Uludamar A. Microtensile bond strengths of composite to dentin treated with different desensitizers. *Cilt* 2009; 18: 154-160.
9. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater* 2008; 24(1): 90-101.
10. Deligeorgi V, Mjör I, Wilson N. An overview of reasons for the placement and replacement of restorations. *Prim Dent Care* 2001; 8(1): 5-11.
11. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc* 2003; 69: 726-731.

12. Sadek FT, Fernanda T, Mazzoni A, Breschi L, Tay FR, Braga RR. Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols. *J Dent* 2010; 38(4): 276-283.
13. Zanchi CH, Monchow EA, Ogliari FA, Chersoni S, Prati C, Demarco FF, et al. Development of experimental HEMA-free three-step adhesive system. *J Dent* 2010; 38(6): 503-508.
14. Sadek FT, Pashley DH, Ferrari M, Tay FR. Tubular occlusion optimizes bonding of hydrophobic resins to dentin. *J Dent Res* 2007; 86: 524-528.
15. Tay FR, Pashley DH, Kapur RR, Carrilho MRO, Hur YB, Garrett LV, Tay KCY. Bonding BisGMA to Dentina-A Proof of Concept for Hydrophobic Dentin Bonding. *J Dent Res* 2007; 86: 1034-1039.
16. Pashley DH, Tay FR, Carvalho RM, Rueggeberg FA, Agee KA, Carrilho M, et al. From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding. A review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer. *Am J Dent* 2007; 20: 7-20.
17. Sadek FT, Pashley DH, Nishitani Y, Carrilho MR, Donnelly A, Ferrari M, Tay FR. Application of hydrophobic resin adhesives to acid-etched dentin with an alternative wet bonding technique. *J Biomed Mater Res* 2008; 84: 19-29.
18. Orchardson R, Gillam DG. Managing dentin hypersensitivity. *JADA* 2006; 137:990-8.
19. Greenhill JD, Pashley DH. The effects of desensitizing agents on the hydraulic conductance of human dentin in vitro. *J Dent Res* 1981; 60: 686-698.
20. Zorba YO, Erdemir A, Ercan E, Eldeniz AU, Kalaycio B, Ulker M. The effects of three different desensitizing agents on the shear bond strength of composite resin bonding agents. *J Mechl Behav Biomed Mater* 2010; 3(5): 399-404.
21. Jain P, Vargas MA, Denehy GE, Boyer DB. Dentin desensitizing agents: SEM and X-ray microanalysis assessment. *Am J Dent* 1997; 10: 21-26.
22. Kim S. Hypersensitive teeth: Desensitization of pulpal sensory nerves. *J Endod* 1986; 12(10): 482-485.
23. Kolker JL, Vargas MA, Armstrong SR, Dawson DV. Effect of desensitizing agents on dentin permeability and dentin tubule occlusion. *J Adhes Dent* 2002; 4(3): 211-221.

24. Arrais C, Chan D, Giannini M. Effects of desensitizing agents on dentinal tubule occlusion. *J Appl Oral Sci* 2004; 12: 144-148.
25. Pashley DH. Dentine permeability and its role in the pathobiology of dentine sensitivity. *Arch Oral Bio* 1994; 39(1): 73-80.
26. Soares C, Filho P, Barreto B, Mota A. Effect of previous desensitizer and rewetting agent application on shear bond strength of bonding systems to dentin. *Cienc Odontol Bras* 2006; 9: 6-11.
27. Kishore A, Mehrotra KK, Saimbi CS. Effectiveness of Desensitizing Agents. *J Endod* 2002; 28(1): 34-35.
28. Arrais CAG, Micheloni CD, Giannini MC, Daniel CN. Occluding effect of dentifrices on dentinal tubules. *J Dent* 2003; 31(8): 577-584.
29. Kobler A, Kub O, Schaller HG, Gernhardt CR. Clinical effectiveness of a strontium chloride- containing desensitizing agent over 6 months: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Quintessence Int* 2008; 39: 321-325.
30. Pereira JC, Segala AD, Gillam DG. Effect of desensitizing agents on the hydraulic conductance of human dentin subjected to different surface pre-treatments-an in vitro study. *Dent Mater* 2005; 21(2): 129-138.
31. Rusin RP, Agee K, Suchko M, Pashley DH. Effect of a new desensitizing material on human dentin permeability. *Dent Mater* 2010; 26(6): 600-607.
32. De Andrade e Silva SM, Malacarne-Zanon J, Carvalho RM, Alves MC, De Goes MF, Anido-Anido A, et al. Effect of oxalate desensitizer on the durability of resin-bonded interfaces. *Oper Dent* 2010; 35(6): 610-617.
33. Perdigao J. Dentin bonding--Variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 2010; 26(2): 24-37.
34. Marshall GW, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997; 25(6): 441-58.
35. Jacobsen T, Soderholm K. Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater* 1995; 11: 132-136.
36. Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid Layer as a Dentin-Bonding Mechanism. *JERD* 1991; 3(4): 133-8.



37. Santini A, Milia E, Miletic V. A review of SEM and TEM studies on the hybridisation of dentin. Microscopy. In: Mendez-Vilas A, Diaz J, editors. Science, Technology, Applications and Education. 4th ed: Formatex; 2010.p. 256-268.
38. 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): 3757-3785.
39. Spencer P, Ye Q, Park J, Topp EM, Misra A, Marangos O, et al. Adhesive/Dentin interface: the weak link in the composite restoration. *Ann Biomed Eng* 2010; 38(6): 1989-2003.
40. Wang Y, Spencer P, Yao X, Brenda B. Effect of solvent content on resin hybridization in wet dentin bonding. *J Biomed Mater Res A* 2007; 82(4): 975-983.
41. Cardoso Pde C, Lopes GC, Vieira LC, Baratieri LN. Effect of solvent type on microtensile bond strength of a total-etch one-bottle adhesive system to moist or dry dentin. *Oper Dent* 2005; 30(3): 376-381.
42. Hashimoto M, Ohno H, Sano H, Kaga M, Oguchi H. In vitro degradation of resin-dentin bonds analyzed by microtensile bond test, scanning and transmission electron microscopy. *Biomater* 2003; 24: 3795-3803.
43. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials* 2005; 26(33): 6449-6459.
44. 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): 118-132.
45. Sadek FT, Pashley DH, Nishitani Y, Carrilho MR, Donnelly A, Ferrari M, et al. Application of hydrophobic resin adhesives to acid-etched dentin with an alternative wet bonding technique. *J Biomed Mater Res A* 2008; 84(1): 19-29.
46. Sadek FT, Castellan CS, Braga RR, Mai S, Tjderhane L, Pashley DH, Tay FR. One-year stability of resin-dentin bonds created with a hydrophobic ethanol-wet bonding technique. *Dent Mater* 2010; 26(4): 380-386.

47. Sudsangiam S, van Noort R. Do dentin bond strength tests serve a useful purpose? *J Adhes Dent* 1999; 1: 57-67.
48. Pashley DH, Carnalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA, Tay F. The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1999; 1: 299-309.
49. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. The influence of cross-sectional shape and surface area on the microtensile bond test. *Dent Mater* 1998; 14(3) :212-221.
50. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater* 1995; 11(2): 117-125.
51. Armstrong S, Geraldini 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): 50-62.
52. 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): 78-93.
53. Ghassemieh E. Evaluation of sources of uncertainties in microtensile bond strength of dental adhesive system for different specimen geometries. *Dent Mater* 2008; 24(4): 536-547.
54. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. *Dent Mater* 2010; 26(2): 38-49.
55. Shono Y, Ogawa T, Terashita M, Carvalho RM, Pashley EL, Pashley DH. Regional measurement of resin-dentin bonding as an array. *J Dent Res* 1999; 78(2): 699-705.
56. 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): 643-654.
57. Nishitani Y, Yoshiyama M, Hosaka K, Tagami J, Donnelly A, Carrilho M, et al. Use of Hoy's solubility parameters to predict water sorption/solubility of experimental primers and adhesives. *Eur J Oral Sci* 2007; 115(1): 81-86.
58. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, et al. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater* 2006; 22(10): 973-980.

59. Perdigao J, Swift EJ, Denehy GE, Wefel JS, Donly KJ. In vitro Bond Strengths and SEM Evaluation of Dentin Bonding Systems to Different Dentin Substrates. *J Dent Res* 1994; 73(1): 44-55.
60. Nakajima M, Kanemura N, Pereira PN, Tagami J, Pashley DH. Comparative microtensile bond strength and SEM analysis of bonding to wet and dry dentin. *Am J Dent* 2000; 13(6): 324-328.
61. Pinto SC, Silveira CM, Pochapski MT, Pilatt GL, Santos FA. Effect of desensitizing toothpastes on dentin. *Braz Oral Res* 2012; 26(5): 410-417.
62. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The Mechanical Properties of Human Dentin: a Critical Review and Re-evaluation of the Dental Literature. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* 2003 January 1, 2003;14(1):13-29.
63. Rosa RS, Balbinot CE, Blando E, Mota EG, Oshima HM, Hirakata L, et al. Evaluation of mechanical properties on three nanofilled composites. *Stomatologija* 2012; 14(4): 126-130.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก 1

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดเรซินที่ใช้ในการศึกษานี้

สารยึดเรซิน	องค์ประกอบทางเคมี
Adper Scotchbond Multipurpose; 3M/ESPE, USA	Bis-GMA, HEMA, dimethacrylates, polyalkenoic acid copolymer and initiators
Adper Single Bond; 3M/ESPE, USA	Bis-GMA, HEMA, dimethacrylates, polyalkenoic acid copolymer, initiators, water and ethanol

## ภาคผนวก 2

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของยาสีฟันลดเสียวฟันเซนโซไดน์ (Sensodyne®)

องค์ประกอบ	หน้าที่/บทบาท
สตรอนเซียมคลอไรด์ เอกซะไฮเดรต ความเข้มข้น ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	สารสำคัญ
กลีเซอรีน (glycerin)	ทำหน้าที่เป็นสารลดความหนืด
โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate)	ทำหน้าที่ในการผสมระหว่างน้ำและน้ำมันให้สามารถเข้ากันได้ และทำหน้าที่ทำความสะอาดพื้นผิว ช่วยกำจัดแบคทีเรียและเศษคราบอาหารที่ติดบนผิวฟัน
แซนแทน กัม (Xanthan gum)	ทำหน้าที่ให้เสถียรภาพ (product stabilizer) โดยเชื่อมองค์ประกอบในยาสีฟันในผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
ไฮเดรท ซิลิกา (Hydrate silica)	เป็นผงขัดทำหน้าที่ในการทำความสะอาดพื้นผิวฟัน

### ภาคผนวก 3

#### Test of normality<sup>b</sup>

Group		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Statistic	df	Sig.
BS	ND/M/SB	.071	30	.2*
	ND/E/MP	.131	30	.2*
	ND/M/SB	.123	30	.2*
	ND/E/MP	.125	30	.2*

a Lilliefors Significance Correction

\* This is a lower bound of the true significance

ตารางที่ 4 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลค่าความแข็งแรงยึดของกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม (ND/M/SB, ND/E/MP, D/M/SB, D/E/MP) ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test ที่ระดับนัยสำคัญ  $p \leq 0.05$

#### Test of Homogeneity of Variance

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.516	3	116	.672

ตารางที่ 5 การทดสอบการกระจายความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ค่าความแข็งแรงยึดติดแรงดึงของกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม (ND/M/SB, ND/E/MP, D/M/SB, D/E/MP) เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Levene test ที่ระดับนัยสำคัญ  $p \leq 0.05$

## ภาคผนวก 4

## การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power <sup>b</sup>
Corrected Model	7255.921 <sup>a</sup>	3	2418.640	56.740	.000	170.220	1.000
Intercept	130769.973	1	130769.973	3.068E3	.000	3067.784	1.000
surface adhesive	4892.353 <sup>*</sup>	1	4892.353	114.772	.000	114.772	1.000
surface adhesive	134.186	1	134.186	3.148	.079	3.148	.421
adhesive	2229.382	1	2229.382	52.300	.000	52.300	1.000
Error	4944.714	116	42.627				
Total	142970.609	120					
Corrected Total	12200.635	119					

ตารางที่ 6 Two way ANOVA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านพื้นผิวเนื้อฟันและชนิดของสารยึด ต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต



### Post Hoc Analysis

Group - Group	Mean Difference	SE	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ND/M/SB- ND/E/MP	21.39*	1.68576	.000	18.05	24.73
D/M/SB	14.89*	1.68576	.000	11.55	18.22
D/E/MP	10.74*	1.68576	.000	7.40	14.07
ND/E/MP- ND/M/SB	-21.39*	1.68576	.000	-24.73	-18.05
D/M/SB	-6.51*	1.68576	.000	-9.84	-3.17
D/E/MP	-10.66*	1.68576	.000	-13.99	-7.32
D/M/SB - ND/M/SB	-14.89*	1.68576	.000	-18.22	-11.55
ND/E/MP	6.51*	1.68576	.000	3.17	9.84
D/E/MP	-4.14*	1.68576	.000	-7.49	-0.81
D/E/MP - ND/M/SB	-10.74*	1.68576	.000	-14.07	-7.40
ND/E/MP	10.66*	1.68576	.000	7.32	13.99
D/M/SB	4.15*	1.68576	.015	0.81	7.49

\*the mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 7 One-way ANOVA: Post Hoc Analysis (LSD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดแบบดึง ระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่ม

(ND/M/SB) กลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำมากกว่าโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคชั้น

(ND/E/MP) กลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่าโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

(D/M/SB) กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำมากกว่าโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคชั้น

(D/E/MP) กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเนื้อฟันด้วยสารลดเสียวฟันและบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ร่วมกับระบบสารยึดชนิดชอบน้ำน้อยกว่าโดยการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอล

## ภาคผนวก 5

ตัวอย่างรูปแบบการแตกหักในชั้นทดสอบ



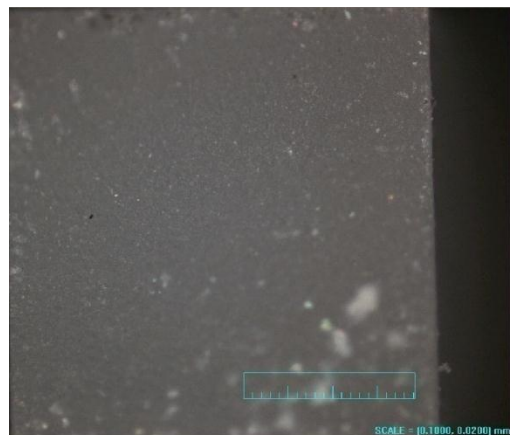
การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต (D/E/MP)



การแตกหักแบบผสม (D/E/MP)



การแตกหักแบบแอดฮีซีฟ (D/M/SB)



การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต (D/M/SB)



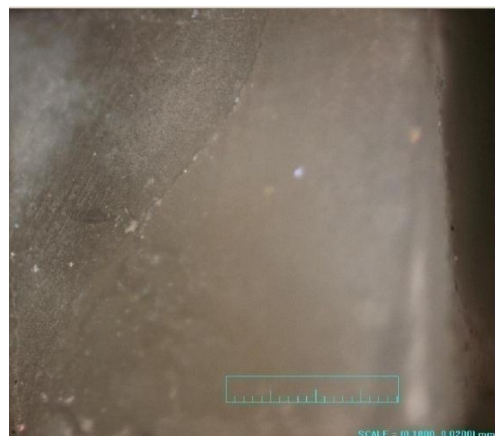
การแตกหักแบบผสม (D/M/SB)



การแตกหักในชั้นเนื้อฟัน (ND/E/MP)



การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต (ND/E/MP)



การแตกหักแบบผสม (ND/M/SB)



การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต (ND/M/SB)

## ภาคผนวก 6

ค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (เมกะพาสกาล)				
ชั้นทดลอง	กลุ่ม ND/M/SB	กลุ่ม ND/E/MP	กลุ่ม D/M/SB	กลุ่ม D/E/MP
1	32.86	16.56	23.90	43.21
2	49.79	30.09	29.64	27.33
3	49.02	16.72	25.94	34.16
4	48.01	14.18	40.03	31.30
5	39.81	21.36	27.11	29.83
6	48.72	15.43	39.20	30.33
7	43.62	19.46	37.42	51.21
8	50.31	16.40	28.40	31.14
9	34.22	31.70	18.62	36.89
10	53.82	21.05	32.74	25.36
11	38.46	29.98	31.91	42.62
12	37.96	21.07	32.01	29.60
13	46.41	25.55	32.09	44.67
14	44.12	32.31	27.45	32.86
15	43.10	15.89	24.53	30.80
16	44.23	19.44	33.02	26.64
17	42.13	32.07	36.67	38.02
18	51.58	26.92	19.00	32.72
19	39.88	25.76	38.70	28.13
20	44.58	20.62	38.03	31.98
21	48.95	23.42	36.88	25.66
22	42.33	21.01	40.12	42.90
23	52.45	26.32	29.94	35.09
24	44.97	30.34	20.74	25.98
25	54.37	15.11	32.33	29.54
26	47.23	27.27	24.36	42.20
27	43.04	25.59	16.17	37.25
28	37.85	19.97	27.40	33.80
29	33.14	23.41	14.84	36.54
30	55.99	36.24	37.21	33.13
ค่าเฉลี่ย	44.76	23.37	29.88	34.03
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	6.22	6.05	7.33	6.44

## ภาคผนวก 7

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตู้ ป.ณ.17 ที่ทำการไปรษณีย์คอหงส์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทร. 074-212914, 429871, 287510

โทรสาร. 074-429871, 212922



FACULTY OF DENTISTRY

PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

HAADYAI, SONGKHLA 90112, THAILAND

TEL. 66-74-212914, 66-74-429871, 66-74-287510

FAX. 66-74-429871, 66-74-212922

## Documentary Proof of Ethical Clearance

The Ethics Committee for Human Research,  
Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University

**The Project Entitled**      The Effect of Ethanol-wet Bonding Technique on the Bond Strength of  
Dental Adhesive to Desensitized Dentin

**Principal Investigator**      :      Dr.Wiriya Seneerattanaprayun

Approved by the Ethic Committee, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University

**Date of Approval**              :      15 December 2011

(Asst. Prof. Dr. Srisurang Suttapreyasri)

Chairman of Ethics Committee for Human Research

(Asst. Prof. Surapong Vongvatchranon)

(Asst. Prof. Sareeya Srisintorn)

(Asst. Prof. Dr. Angkana Thearmontree)

(Assoc. Prof. Pornchai Sathirapanya)

(Mr. Wasin Suwannarat)

(Mrs. Supatcharin Piwat)

(Mr. Kamolphon Nuangsri)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาววิริยา เสนีย์รัตนประยูร		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210820004		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549	

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ โรงพยาบาลปากพะยูน  
อ. ปากพะยูน จ. พัทลุง ปีการศึกษา 2552-2555

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ทันตแพทย์ระดับชำนาญการ 6 โรงพยาบาลพัทลุง อ. เมือง จ. พัทลุง

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วิริยา เสนีย์รัตนประยูร, ปรีนทร ศตเมธ. ผลของการปรับสภาพฟันผิวด้วยเอทานอลต่อความ  
แข็งแรงยึดของสารยึดเรซินบนเนื้อฟันที่เตรียมฟันผิวด้วยสารลดเสียวฟัน. การประชุม  
นำเสนอผลงานทางวิชาการ เรื่อง การศึกษาเชิงสร้างสรรค์ ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่  
3 วันที่ 9-10 พฤษภาคม 2556 ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร กรุงเทพฯ จัดโดยมหาวิทยาลัย  
ศิลปากร