

การประเมินการรับรู้ที่มีระดับคุณภาพของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเอง  
ในโพรงฟันคลาสไฟว์ : ผลของเทอร์โมไซคลิกและสารบอนด์ดีง

นายกอบกฤษณ์ หทัยอารีย์รักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ  
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

MICROLEAKAGE EVALUATION OF A SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE IN  
CLASS V CAVITIES : EFFECT OF THERMOCYCLING AND BONDING AGENT

MISTER KOPKRIT HATAIAREERUG

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

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินการวิจัยที่มีระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิด  
ไหลแม่ได้ที่ยืดได้ด้วยตัวเองในโพรงฟันคลาสไฟว์ : ผล  
ของเทอร์โมไซคลิกและสารบอนด์ดีง

โดย

นายกอบกฤษณ์ หทัยอารีย์รักษ์

สาขาวิชา

ทันตกรรมหัตถการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์)

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

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สกุดณะมรรคา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. ภาวิณี ปฎิพัทธ์วุฒิกุล)

กอบกฤษณ์ หทัยอารีรักษ์ : การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหล  
 แผลได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองในโพรงฟันคลาสไฟว์ : ผลของเทอร์โมไมโครลิ่งและสารบอนด์ดีง  
 (MICROLEAKAGE EVALUATION OF A SELF-ADHERING FLOWABLE  
 COMPOSITE IN CLASS V CAVITIES : EFFECT OF THERMOCYCLING AND  
 BONDING AGENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพ.ดร. สุจิต พูลทอง, 78 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟัน  
 ก่อนและหลังทำเทอร์โมไมโครลิ่งของคอมโพสิตชนิดไหลแผลได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับการใช้เรซินคอม  
 โพสิตร่วมกับสารบอนด์ดีง โดยฟันกรามน้อยที่ถูกถอนจำนวน 96 ซี่ที่ผ่านการเตรียมโพรงฟันคลาส  
 ไฟว์ด้านใกล้แก้ม (n=96) ถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม (n=24) : 1. เวอร์ทิสโฟลว์ 2. เวอร์ทิสโฟลว์+ออปติ  
 บอนด์ออลอินวัน 3. พรีเมิสโฟลว์+ออปติบอนด์ออลอินวัน 4. พรีเมิส+ออปติบอนด์ออลอินวัน โดย  
 ฟันที่ผ่านการบูรณะแล้วจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย (n=12) คือกลุ่มที่ไม่ทำเทอร์โมไมโครลิ่งและกลุ่มที่  
 ทำเทอร์โมไมโครลิ่ง (1,000 รอบ) จากนั้นนำไปแช่ในเมทิลลีนบลูเพื่อประเมินระดับการรั่วซึม แล้วทำ  
 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยครัสคาล-วัลลิสและแมนวิทนียู ( $p < 0.05$ ) จากผลการศึกษาพบว่า  
 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการรั่วซึมที่ขอบเคลือบฟันของวัสดุทั้ง 4 กลุ่มทั้งก่อนและ  
 หลังเทอร์โมไมโครลิ่ง ( $p = 0.067$  และ  $p = 0.397$  ตามลำดับ) ขณะที่เวอร์ทิสโฟลว์มีการรั่วซึมที่ขอบ  
 เนื้อฟันสูงกว่าวัสดุกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทั้งก่อนและหลังเทอร์โมไมโครลิ่ง ( $p < 0.000$  และ  
 $p = 0.001$  ตามลำดับ) ซึ่งการใช้สารบอนด์ดีงร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแผลได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง  
 สามารถลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้ โดยการทำให้เทอร์โมไมโครลิ่งไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาค  
 อย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา 2555.....

##5376102632 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS : SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE / MICROLEAKAGE / THERMOCYCLING / BONDING AGENT

KOPKRIT HATAIAREERUG : MICROLEAKAGE EVALUATION OF A SELF-ADHERING FLOWABLE COMPOSITE IN CLASS V CAVITIES : EFFECT OF THERMOCYCLING AND BONDING AGENT. ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. SUCHIT POOLTHONG, Ph.D., 78 pp.

The aim of this study is to compare the microleakage at enamel and dentin margin before and after thermocycling of a self-adhering flowable composite with using resin composite combined with bonding agent. Class V cavities (n=96) were prepared on buccal surfaces of 96 extracted premolars. The teeth were divided into 4 groups (n=24) : 1. Vertise flow 2. Vertise flow + Optibond all-in-one 3. Premise flow + Optibond all-in-one 4. Premise + Optibond all-in-one. The restored teeth from each group were divided into 2 subgroups (n=12) : non-thermocycling and thermocycling (1,000 cycles), then immersed in methylene blue for evaluation of the microleakage. The leakage scores were statistical analyzed by the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U (p<0.05). The results showed that there was no significant difference of the leakage at enamel margin among the 4 material groups both before and after thermocycling (p=0.067 and p=0.397, respectively). Vertise flow demonstrated significantly higher leakage at dentin margin than the other groups both before and after thermocycling (p<0.000 and p=0.001, respectively). The using of bonding agent combined with self-adhering flowable composite could decrease microleakage. Thermocycling showed no significant effect on microleakage.

Department : Operative Dentistry..... Student's Signature.....  
 Field of Study : Operative Dentistry..... Advisor's Signature.....  
 Academic Year : 2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง อาจารย์ที่ปรึกษา และ  
อาจารย์ทันตแพทย์ ดร.เอกมน มหาโสภา ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดการทำวิทยานิพนธ์  
ฉบับนี้ อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ และ ผศ.ทพ.ดร. เทวฤทธิ์ สมโคตสีที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติ  
รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
สมมุติฐานการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมปริทัศน์	
สารบอन्दังชนีดอลอินวัน.....	5
วัสดุคอมพิวเตอร์ชนิดไหลแม่เหล็กที่ยึดได้ด้วยตัวเอง.....	9
การวิจัยที่มีระดับจุลภาค.....	16
การทำเทอร์โมไซคลิก.....	27
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	30
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	30
วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	38

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
การประเมินการรั่วซึมก่อนทำเทอร์โมไซคลิง.....	39
การประเมินการรั่วซึมหลังทำเทอร์โมไซคลิง.....	40
ผลของการทำเทอร์โมไซคลิง.....	42
การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาค.....	46
บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย	
บทวิจารณ์.....	51
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ.....	57
สรุปผลการวิจัย.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	78



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1	แสดงตัวอย่างชนิดสีย้อม ความเข้มข้น และเวลาที่แช่ในการศึกษา การร่ว่มระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สีย้อม.....	23
ตารางที่ 2	ตัวอย่างการศึกษาการร่ว่มระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้วย การใช้สีย้อมที่มีการทำเทอร์โมไซคิลิ่งร่วมด้วย.....	28
ตารางที่ 3	ตัวอย่างการศึกษาผลของการทำเทอร์โมไซคิลิ่งต่อการร่ว่มระดับ จุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สีย้อม.....	29
ตารางที่ 4	รายละเอียดของวัสดุที่ใช้บูรณะโพรงฟัน.....	31
ตารางที่ 5	เกณฑ์การประเมินการแทรกซึมของสีย้อม.....	36
ตารางที่ 6	ความถี่ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างก่อนการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง....	39
ตารางที่ 7	ค่าสถิติการร่ว่มของวัสดุก่อนการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	40
ตารางที่ 8	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการร่ว่มระดับจุลภาคระหว่าง เนื้อฟันและวัสดุก่อนการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	40
ตารางที่ 9	ความถี่ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างหลังการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง....	41
ตารางที่ 10	ค่าสถิติการร่ว่มของวัสดุหลังการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	41
ตารางที่ 11	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการร่ว่มระดับจุลภาคระหว่าง เนื้อฟันและวัสดุหลังการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	42
ตารางที่ 12	การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติของการร่ว่มระดับจุลภาค ก่อนและหลังเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	42
ตารางที่ 13	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการแทรกซึมที่ขอบเคลือบฟัน ก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	43
ตารางที่ 14	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการแทรกซึมที่ขอบเนื้อฟันก่อน และหลังการทำเทอร์โมไซคิลิ่ง.....	43
ตารางที่ 15	ข้อมูลการทดสอบระดับการแทรกซึมของวัสดุทั้ง 8 กลุ่ม.....	70

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่บริเวณรอยต่อของสารบอนด์ดึงชนิดอลูมิเนียมที่มีความเป็นกรดอ่อนกับเนื้อฟัน.....7
ภาพที่ 2	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเคลือบฟัน..... 11
ภาพที่ 3	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเนื้อฟัน..... 12
ภาพที่ 4	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเนื้อฟัน..... 13
ภาพที่ 5	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติจากน้ำของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง..... 16
ภาพที่ 6	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรจากปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน..... 17
ภาพที่ 7	ลักษณะการเตรียมโพรงฟันที่ใช้ในการศึกษา..... 33
ภาพที่ 8	การแบ่งกลุ่มในการทดลอง..... 34
ภาพที่ 9	ระดับการแทรกซึมของสีระหว่างรอยต่อของวัสดุบูรณะและฟัน..... 37
ภาพที่ 10	วิธีการตัดชิ้นงานและตำแหน่งการประเมินการแทรกซึม..... 37
ภาพที่ 11	ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างก่อนการจำลองการใช้งาน..... 44
ภาพที่ 12	ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างหลังการจำลองการใช้งาน..... 45
ภาพที่ 13	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุบูรณะก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก..... 46
ภาพที่ 14	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซคลิก..... 47
ภาพที่ 15	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก..... 48
ภาพที่ 16	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซคลิก..... 49
ภาพที่ 17	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบบริเวณรอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซคลิก..... 50

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการด้านความสวยงามของผู้ป่วย นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่นๆอีก เช่น การเตรียมโพรงฟันที่สอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์เนื้อฟันทำให้ลดการสูญเสียเนื้อฟันที่ไม่จำเป็นลงเมื่อเทียบกับการบูรณะด้วยวัสดุอะมัลกัม รวมทั้งสามารถยึดติดกับฟันได้เมื่อใช้ร่วมกับสารบอนด์ดีนิงและช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟันที่เหลืออยู่ได้<sup>(1,2)</sup> จากการพัฒนาด้านทันตวัสดุอย่างต่อเนื่องเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่โดยการรวมเอาเรซินคอมโพสิตและสารบอนด์ดีนิงเข้าด้วยกันซึ่งเรียกว่าคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (Self-adhering flowable composite)<sup>(1)</sup> โดยคอมโพสิตชนิดนี้อาศัยสารแอดฮีซีฟมอนอเมอร์เช่นเดียวกับที่ใช้ในสารบอนด์ดีนิงระบบเซล์เฟอท์เป็นส่วนประกอบทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สารบอนด์ดีนิงแยกในขั้นตอนการบูรณะอีกต่อไป ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนและเวลาการทำงานในคลินิก รวมทั้งไม่ต้องกังวลกับเทคนิคของการใช้สารบอนด์ดีนิงที่ยุงยาก<sup>(3)</sup> โดยวัสดุชนิดนี้มีข้อบ่งชี้ในการใช้งานทางคลินิกคล้ายคลึงกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิม เช่น การใช้เป็นวัสดุบูรณะสำหรับแควิตีคลาสสิคขนาดเล็กหรือใช้เป็นวัสดุรองฟันก่อนการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตเป็นต้น (ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA)) อย่างไรก็ตามการศึกษาในวัสดุชนิดใหม่นี้ยังคงมีน้อยมากทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุชนิดนี้ก่อนนำไปใช้งานจริงกับผู้ป่วย

แม้ว่าเรซินคอมโพสิตจะมีการพัฒนาด้านส่วนประกอบรวมทั้งเทคนิคในการบูรณะไปอย่างมากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้อย่างสมบูรณ์ และยังคงพบการรั่วซึมระดับจุลภาคเกิดขึ้น<sup>(2)</sup> ซึ่งจะนำไปสู่ความล้มเหลวในการบูรณะฟันตามมาได้เช่น การติดเชื้อตามขอบวัสดุ อาการเสียวฟันหลังบูรณะ การเกิดฟันผุซ้ำ และการเกิดพยาธิสภาพต่อเนื้อเยื่อประสาทฟัน เป็นต้น<sup>(4)</sup> ดังนั้นการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคจึงเป็นส่วนสำคัญในการประเมินความเหมาะสมบริเวณรอยต่อและความสามารถในการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟันซึ่งจะต้องต่อต้านความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซินคอมโพสิตที่เกิดขึ้น<sup>(5)</sup> อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองซึ่งไม่ต้องใช้สารบอนด์ดีนิงร่วมด้วยนั้นจะมีผลการรั่วซึมระดับจุลภาคเกิดขึ้นแตกต่างจากการ

ใช้เรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิมที่ต้องใช้ร่วมกับสารบอนด์ดิ้งหรือไม่ และการใช้สารบอนด์ดิ้งร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะมีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างไร ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาถึงคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งคาดว่าจะประโยชน์ในการใช้เป็นข้อมูลบางส่วนสำหรับการเลือกใช้วัสดุชนิดนี้และเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไป

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟันของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน การใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน และการใช้คอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน
2. เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟันหลังผ่านการจำลองการใช้งานของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน การใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน และการใช้คอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน

### สมมุติฐานการวิจัย

1. การรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟันของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่มีความแตกต่างจากการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน การใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน และการใช้คอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน
2. การรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟันหลังผ่านการจำลองการใช้งานของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่มีความแตกต่างจากการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน การใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน และการใช้คอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดร่วมกับสารบอนด์ดิ้งชนิดออกอลอินวัน

## ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเคลือบฟันและเนื้อฟันเมื่อใช้และไม่ใช้สารบอนด์ดีง รวมทั้งประเมินผลการรั่วซึมระดับจุลภาคเปรียบเทียบก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก โดยทำการศึกษาในฟันกรามน้อยที่ผ่านการบูรณะโพรงฟันคลาสไฟว์ แล้วนำไปย้อมด้วยสารเมทิลีนบลู จากนั้นจึงตัดชิ้นงานเพื่อประเมินผลการแทรกซึมของสีระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ รวมทั้งประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ

## ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกฝนจนมีความรู้และความชำนาญในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง กระบวนการทดลอง และการประเมินผล
2. วิธีการใช้งานของวัสดุในการวิจัยอ้างอิงตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำเป็นหลัก
3. ชิ้นฟันตัวอย่าง หมายถึง ฟันกรามน้อยที่ผ่านการเตรียมโพรงฟันและบูรณะแล้ว
4. ชิ้นงานตัวอย่าง หมายถึง ชิ้นฟันตัวอย่างที่ได้รับการตัดในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นเป็นแผ่นสไลด์

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการเลือกใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง ในแง่ของการรั่วซึมระดับจุลภาค
2. เพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลทางวิชาการในการศึกษาวิจัยต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

พันกรรมน้อยที่ถูกถอนจำนวน 96 ซี่ที่ผ่านการเตรียมโพรงฟันคลาสไฟร์ด้านใกล้แก้มถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม : 1. เวอร์ทิสไฟลร์ 2. เวอร์ทิสไฟลร์+ออปติบอนด์ออกอินวัน 3. พรีเมิสไฟลร์+ออปติบอนด์ออกอิน 4. พรีเมิส+ออปติบอนด์ออกอินวัน โดยฟันที่ผ่านการบูรณะแล้วจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือกลุ่มที่ไม่ทำเทอร์โมไซคลิงและกลุ่มที่ทำเทอร์โมไซคลิง (1,000 รอบ) จากนั้นนำไปแช่ในเมทิลลีนบลูเพื่อประเมินระดับการรั่วซึม แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยครัสคาลล์วิลลิสและแมนวิทนียู ( $p < 0.05$ )

## ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมการวิจัย
  - 1.1 ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรม ก.ย. 2554-ต.ค. 2554
  - 1.2 วางแผนออกแบบการวิจัย ต.ค. 2554-พ.ย. 2554
  - 1.3 จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์ ธ.ค. 2555-ม.ค. 2554
  - 1.4 เสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์ ก.พ. 2555
2. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย มี.ค. 2555-ต.ค. 2555
3. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล พ.ย. 2555-ธ.ค. 2555
4. ขั้นรายงานผลจัดทำรายงาน
  - 4.1 จัดทำรายงาน ม.ค. 2556-ก.พ. 2556
  - 4.2 นำเสนอผลการวิจัยต่อคณะกรรมการ มี.ค. 2556

## บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมปริทัศน์

### สารบอนด์ดิงชนิดออลอินวัน

จากกระแสความนิยมในการบูรณะฟื้นด้วยเรซินคอมโพสิต ทำให้การพัฒนาของสารบอนด์ดิงเป็นไปอย่างต่อเนื่องทั้งในแง่การเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติด การลดปัญหาที่พบในระบบเดิม และการลดความยุ่งยากในการใช้งาน<sup>(6)</sup> สารบอนด์ดิงระบบเซล์ฟเอทซ์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่พบในระบบโททอลเอทซ์ที่มีการใช้กรดฟอสฟอริกที่มีความรุนแรงสูงในการกัดเนื้อฟัน ซึ่งอาจพบอาการเสียวฟันหลังบูรณะได้จากการใช้กรดกัดเป็นเวลานานเกินไปหรือการใช้สารบอนด์ดิงที่ไม่ถูกต้องทำให้คอลลาเจนเกิดการฟุ้งตัวและไม่ถูกห่อหุ้มด้วยสารเรซินอย่างสมบูรณ์<sup>(7)</sup> และยังพบว่ากรดที่รุนแรงจะไปทำให้คอลลาเจนที่เผยผิ๊งถูกทำลายได้ง่ายจากเอนไซม์และกระบวนการเสื่อมสลายจากน้ำ(hydrolysis degradation)<sup>(8)</sup> นอกจากนี้หากควบคุมความชื้นของเนื้อฟันไม่เหมาะสมจะส่งผลเสียต่อการยึดติดได้<sup>(9)</sup> ขณะที่สารบอนด์ดิงระบบเซล์ฟเอทซ์ซึ่งรวมเอาขั้นตอนการใช้กรดกัดและการไพรม์ (prime) ผิวน้ำเป็นขั้นตอนเดียว ทำให้ไม่ต้องล้างน้ำออกจึงไม่ต้องกังวลเรื่องความชื้นของเนื้อฟันเหมือนระบบโททอลเอทซ์ และเมื่อเกิดการบ่มตัวของแอตตีซีฟเรซินจะมีการรวมเอาชั้นเสมีร์ที่ถูกปรับสภาพแล้วเข้าเป็นส่วนหนึ่งของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้น<sup>(6)</sup> ซึ่งข้อดีของสารบอนด์ดิงระบบนี้ได้แก่ การช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานลง มีเทคนิคการใช้งานไม่ยุ่งยาก และมีรายงานอาการเสียวฟันหลังบูรณะน้อยกว่า โดยผลการยึดติดกับเนื้อฟันมีค่าใกล้เคียงกับสารบอนด์ดิงระบบโททอลเอทซ์ ขณะที่ผลการยึดติดกับเคลือบฟันยังคงมีประสิทธิภาพดีต่อกว่า<sup>(6, 7)</sup> นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในการพัฒนาสารบอนด์ดิงให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นไปอีกโดยการรวมเอาขั้นตอนการใช้กรดกัด การไพรม์ และการทาสารเรซินแอตตีซีฟเป็นขั้นตอนเดียวเรียกว่าสารบอนด์ดิงระบบเซล์ฟเอทซ์หนึ่งขั้นตอนหรือออลอินวัน (all-in-one) อย่างไรก็ตามก็จากการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่าสารบอนด์ดิงในกลุ่มนี้ยังคงมีประสิทธิภาพจำกัด รวมทั้งผลการศึกษาทางคลินิกในระยะยาวยังมีไม่มากนัก<sup>(10)</sup>

### ก. ส่วนประกอบของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวัน

สำหรับส่วนประกอบหลักของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันได้แก่ เรซินมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่มีหมู่ฟอสเฟตหรือคาร์บอกซิลิกอยู่ในโมเลกุล, มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic

monomer), มอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic monomer), วัสดุอัดแทรก, ตัวทำละลาย และน้ำ<sup>(11)</sup> ซึ่งน้ำถือว่ามีค่าสำคัญมากในสารบอนด์ดิงระบบนี้เนื่องจากจะช่วยทำให้มอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์ เป็นกรดสามารถคงสภาพอยู่และเกิดการแตกตัวไปละลายแร่ธาตุที่ผิวฟันได้<sup>(12)</sup> นอกจากนี้ ยังมีมีการเติมสารฮีมา (HEMA : 2-hydroxyethyl methacrylate) เข้าไปเพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกส่วน (phase separation) ระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำในสารบอนด์ดิง ซึ่งสารฮีมาในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยในการไหลแผ่ของสารบอนด์ดิงบนเนื้อฟันและยังช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะ (bond strength) ได้<sup>(13)</sup> อย่างไรก็ตามเนื่องจากธรรมชาติของสารฮีมาเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ ดังนั้นจะทำให้เกิดการดูดน้ำในชั้นแอตซีฟเพิ่มขึ้นและค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินคอมโพสิตและฟันลดลงได้เมื่อเวลาผ่านไป<sup>(11)</sup> ขณะที่สารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่ปราศจากสารฮีมา (HEMA-free) จะพบปัญหาการแยกส่วนระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำได้สูงกว่า<sup>(14)</sup>

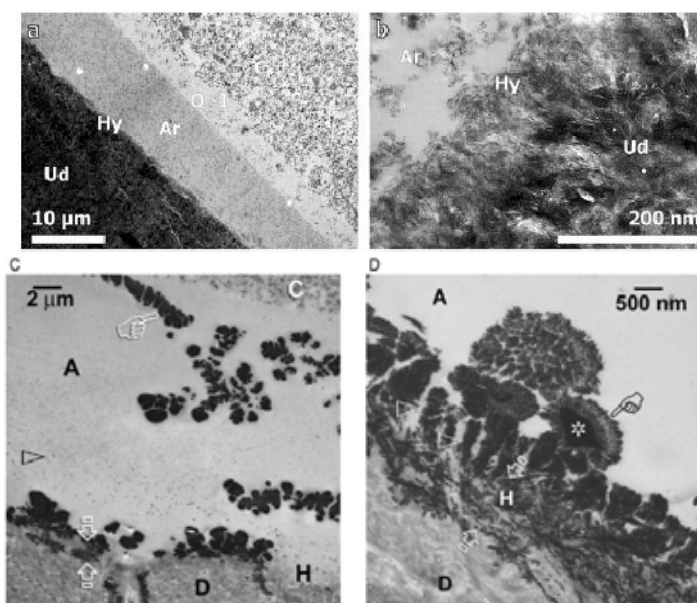
## ข. การยึดติดของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวัน

จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาค (ultra-morphology) ของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่บริเวณรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟัน พบว่าลักษณะที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อกับเคลือบฟันจะมีความแตกต่างกันไปตามความรุนแรงของความเป็นกรดของสารบอนด์ดิง โดยสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดอ่อน (mild all-in-one) ซึ่งมีค่าความเป็นกรด (pH) ประมาณ 2 จะไม่สามารถละลายชั้นเคลือบฟันได้อย่างสมบูรณ์ ชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นจึงประกอบไปด้วยชั้นเคลือบฟันเป็นส่วนใหญ่ และสามารถกัดผลึกเคลือบฟันได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น<sup>(15)</sup> ขณะที่สารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดรุนแรง (strong all-in-one) ซึ่งมีค่าความเป็นกรด (pH) ประมาณ 1 หรือต่ำกว่าจะสามารถละลายชั้นเคลือบฟันได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถกัดผิวเคลือบฟันเกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กได้มากมายคล้ายกับการใช้กรดกัดในระบบโททอลเอทซ์ ซึ่งชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นจะมีความหนาหลายไมครอนและเกิดการแทรกซึมระหว่างผลึกคริสตัล (intercrystallite infiltration) ที่เด่นชัด<sup>(16)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นจากสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดรุนแรงจะมีความแข็งแรงต่ำและมักเกิดการแยกออกของชั้นแอตซีฟจากชั้นไฮบริดทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างชั้นทั้งสองได้<sup>(15)</sup>

สำหรับบริเวณรอยต่อกับเนื้อฟัน พบว่าสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดอ่อนจะสามารถละลายแร่ธาตุได้เพียงบางส่วนเท่านั้นซึ่งยังคงมีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลืออยู่รอบๆเส้นใยคอลลาเจน ส่วนชั้นเคลือบฟันและเคลือบฟันที่อุดตันในเนื้อฟันจะถูกกรวมเข้าไปเป็น



ส่วนหนึ่งของชั้นไฮบริดทำให้เกิดชั้นไฮบริดที่มีความหนาประมาณ 0.5-1 ไมครอน<sup>(17)</sup> ขณะที่สารบอนด์ดึงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดรุนแรงจะสามารถละลายชั้นเสมีียร์และเสมีียร์ที่อุดต้นได้อย่างสมบูรณ์ และเกิดชั้นไฮบริดที่มีความหนาประมาณ 2.5-5 ไมครอน<sup>(18)</sup> อย่างไรก็ตามการที่กรดมีความรุนแรงสูงแต่ไม่มีการล้างน้ำออกจะทำให้เหลือแคลเซียมฟอสเฟตที่ไม่มีความเสถียรตกค้างอยู่ ซึ่งจะก่อให้เกิดความอ่อนแอขึ้นบริเวณรอยต่อและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของวัสดุได้ ซึ่งไม่แนะนำให้ใช้แล้วในปัจจุบัน<sup>(7)</sup> และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy : TEM) ยังบ่งชี้ว่าสารบอนด์ดึงชนิดออลอินวันจะพบหยดน้ำค้างอยู่ในชั้นแอคซีฟส่วนที่ติดกับชั้นไฮบริดได้<sup>(14)</sup> ซึ่งเมื่อทำการข้อมด้วยซิลเวอร์ไนเตรตจะพบลักษณะการรั่วซึมระดับนาโน (nanoleakage) กระจายอยู่เป็นจำนวนมากในชั้นแอคซีฟและเกิดปรากฏการณ์วอเตอร์ทรี (water tree) ขึ้นได้<sup>(15)</sup> (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ยังพบช่องว่างจากการแยกออกของชั้นแอคซีฟกับชั้นไฮบริดได้เช่นเดียวกับที่พบในบริเวณเคลือบฟัน ซึ่งปริมาณช่องว่างจะเพิ่มมากขึ้นได้เมื่อผ่านการจำลองการใช้งาน โดยบริเวณรอยต่อที่ไม่สมบูรณ์นี้จะนำไปสู่การรั่วซึมตามมาได้<sup>(15)</sup>



ภาพที่ 1 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่บริเวณรอยต่อของสารบอนด์ดึงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดอ่อนกับเนื้อฟัน<sup>(15, 17)</sup>

จากกระบวนการละลายแร่ธาตุและการแทรกซึมของเรซินเข้าไปในโครงสร้างฟันบ่งชี้ว่าสารบอนด์ดึงชนิดออลอินวันมีกลไกการยึดติดทางกลระดับจุลภาคเกิดขึ้น ในขณะที่สารบอนด์ดึง

ระบบเซลล์โพทที่มีความเป็นกรดอ่อนซึ่งสามารถละลายแร่ธาตุได้เพียงบางส่วนและยังคงเหลือ  
ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์อยู่รอบๆ เส้นใยคอลลาเจน พบว่าแคลเซียมไอออนของผลึกไฮดรอกซีอะ  
พาไทต์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟอสเฟตบางชนิด ซึ่งการยึดติดทางเคมีที่  
เกิดขึ้นนี้จะมีส่วนช่วยส่งเสริมความคงทนของการยึดติดได้<sup>(7, 17)</sup>

### ค. ปัญหาที่พบในสารบอนด์ดึงชนิดอลอลินวัน

จากการที่สารบอนด์ดึงชนิดอลอลินวันมีน้ำและส่วนมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำเป็นปริมาณสูง  
ทำให้อัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำมีปริมาณลดลงซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลและ  
ความแข็งแรงของชั้นแอตซีซีฟที่เกิดขึ้น<sup>(17)</sup> นอกจากนี้การที่ไม่สามารถกำจัดน้ำออกได้หมดใน  
ขั้นตอนการเป่าตัวทำละลายจะทำให้ส่วนเรซินมอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำถูกเจือจางลง และน้ำที่  
หลงเหลืออยู่จะไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันทำให้เกิดการยึดติดที่ไม่มีคุณภาพ  
และทำให้ความแข็งแรงของชั้นเรซินลดลงได้<sup>(12)</sup> ซึ่งจากการศึกษาสารบอนด์ดึงชนิดอลอลินวันที่มี  
ขายในท้องตลาดพบว่าการเป่าลมเป็นเวลา 1 นาทีสามารถกำจัดตัวทำละลายไปได้เพียงหนึ่งในสี่  
ส่วนของตัวทำละลายทั้งหมด ดังนั้นการเป่าตัวทำละลายให้แห้งสนิทจึงเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ยากมาก  
ในความเป็นจริง<sup>(19)</sup> ซึ่งจะพบว่าความแข็งแรงพันธะของสารบอนด์ดึงกลุ่มนี้จะมีค่าต่ำกว่าสาร  
บอนด์ดึงในระบบที่มีการแยกชั้นตอน<sup>(17, 20)</sup> นอกจากนี้จากธรรมชาติของสารบอนด์ดึงระบบรวม  
ชั้นตอนที่มีความชอบน้ำสูงจะเกิดการดูดน้ำจากสิ่งแวดล้อมได้มาก ทำให้เรซินพอลิเมอร์เกิดการ  
บวมตัวและเกิดการเสื่อมสลายของการยึดติดระหว่างเรซินกับฟัน ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงพันธะ  
ลดลง อันจะนำไปสู่การรั่วซึมและหลุดออกของวัสดุได้<sup>(11)</sup>

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่พบได้ในสารบอนด์ดึงชนิดอลอลินวันคือการที่ชั้นแอตซีซีฟที่  
เกิดขึ้นประพติดัวเป็นเซมิเพอร์มิเอเบิลเมมเบรน (semi-permeable membrane)<sup>(21)</sup> คือการยอม  
ให้น้ำซึมผ่านได้ทำให้เกิดเป็นช่องทางที่น้ำสามารถเคลื่อนผ่านรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและ  
เนื้อฟัน ซึ่งเมื่อทำการยึดด้วยซิลเวอร์ในเตรตจะพบลักษณะคล้ายนิ้วมือหรือต้นไม้ติดสีของ  
อนุภาคซิลเวอร์ในชั้นแอตซีซีฟ เรียกลักษณะที่เกิดขึ้นว่าปรากฏการณ์วอเตอร์ทรี (water tree) ซึ่ง  
ช่องทางดังกล่าวอาจเป็นตำแหน่งที่จะนำไปสู่การเสื่อมสลายจากน้ำได้<sup>(22)</sup> ขณะที่จะไม่เกิด  
ปรากฏการณ์ดังกล่าวในสารบอนด์ดึงที่มีการแยกชั้นตอนการทาสารเรซินแอตซีซีฟ<sup>(22, 23)</sup> และจาก  
การที่สารบอนด์ดึงกลุ่มนี้มีส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำปนกันอยู่ทำให้เกิดปัญหาการแยกส่วนได้  
และเมื่อทำการตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของสารบอนด์ดึง

ชนิดนี้จะปรากฏลักษณะหยดน้ำจำนวนมากในชั้นแอตอีซีฟซึ่งเป็นผลจากการแยกกันของส่วนที่ไม่เข้ากัน<sup>(14)</sup>

## ง. ผลความสำเร็จทางคลินิกของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวัน

Van Meerbeek และคณะ (2005) ได้ทำการรวบรวมผลการศึกษาดังกล่าวทางคลินิกของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันจำนวน 32 รายงาน พบว่ามีเพียง 70% ที่เป็นไปตามแนวทางการยอมรับแบบสมบูรณ์ของเอดีเอ (full acceptance ADA guidelines)<sup>(24)</sup> คือมีอัตราการยึดติดอย่างน้อย 90% ในเวลา 18 เดือนจากการใช้งานทางคลินิก โดยพบว่าสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันมีอัตราความล้มเหลวต่อปีเฉลี่ย 8.1% ซึ่งสูงกว่าสารบอนด์ดิงชนิดอื่นๆ<sup>(24)</sup> อย่างไรก็ตามสารบอนด์ดิงที่รวบรวมมาในการศึกษานี้ส่วนใหญ่เป็นยี่ห้อ Prompt L-Pop (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ซึ่งเป็นสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดรุนแรงซึ่งปัจจุบันไม่แนะนำให้ใช้แล้ว<sup>(7)</sup> และ PSA (Dentsply, Weybridge, UK) ที่ใช้ร่วมกับวัสดุในกลุ่มคอมโพเมอร์ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลต่ำกว่าเรซินคอมโพสิต<sup>(25)</sup> อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเปรียบเทียบความสำเร็จทางคลินิกของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันที่มีความเป็นกรดอ่อนโยนยี่ห้อต่างๆกับสารบอนด์ดิงระบบโททอลเอทซ์สามขั้นตอนในโพรงฟันคลาสไฟว์พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแง่ของอัตราการยึดติดจากการติดตามผลเป็นเวลา 1-2 ปี โดยสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันจะพบความเสียหายเล็กๆตามขอบด้านเคลือบฟันและเกิดการติดสีตามขอบในระดับต้นๆได้มากกว่าเมื่อเวลาผ่านไป<sup>(26)</sup> ซึ่งผลความสำเร็จทางคลินิกเป็นที่ยอมรับได้ในระยะเวลา 2 ปี<sup>(27, 28)</sup> อย่างไรก็ตามการติดตามผลในระยะเวลาที่นานกว่านี้ยังคงมีความสำคัญสำหรับการประเมินประสิทธิภาพทางคลินิกของสารบอนด์ดิงชนิดออลอินวันต่อไป

จากการพัฒนาวัสดุที่มุ่งเน้นการลดขั้นตอนในการทำงานลงทำให้เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเสนอวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติยึดกับฟันได้โดยตรงซึ่งจะช่วยเพิ่มความง่าย สะดวก และรวดเร็วในการทำงานมากขึ้นไปอีกซึ่งเรียกรวมวัสดุกลุ่มนี้ว่าคอมโพสิตชนิดไหลแป้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง<sup>(3)</sup>

## วัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแป้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

คอมโพสิตชนิดไหลแป้ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (self-adhesive/self-adhering flowable composite) ได้ถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.2009 โดยมีแนวคิดในการรวมวัสดุเรซินคอมโพสิต

และสารบอนด์ดิ้งระบบเซลฟ์เอทซ์เข้าด้วยกัน โดยไม่ต้องใช้สารบอนด์ดิ้งแยกในการปรับสภาพผิวพื้นก่อนอีกต่อไป<sup>(1)</sup> ซึ่งคาดหวังว่าจะเป็นการพัฒนาไปสู่วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตตามอุดมคติที่สามารถยึดกับพื้นได้ด้วยตัวเองซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกให้กับทันตแพทย์ผู้ใช้งานมากขึ้น ลดเวลาและขั้นตอนการทำงานอันจะนำไปสู่การลดข้อผิดพลาดจากการใช้สารบอนด์ดิ้งที่มีความละเอียดและยุ่งยากได้<sup>(3)</sup>

### ก. ส่วนประกอบของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีส่วนประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ภูมิภาคใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนออร์แกนิกเมทริกซ์ (organic matrix) ส่วนวัสดุอัดแทรก (filler) และสารเชื่อมยึด (coupling agent)<sup>(1)</sup> แต่อาศัยการลดปริมาณร้อยละของวัสดุอัดแทรกลงและเพิ่มปริมาณของส่วนเรซินเมทริกซ์ขึ้น<sup>(29)</sup> โดยวัสดุชนิดนี้จะมีสารแอตตีซีฟมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดเป็นส่วนประกอบซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญในกระบวนการยึดติดกับพื้น<sup>(3, 30)</sup> ซึ่งสารแอตตีซีฟมอนอเมอร์ที่ใช้จะเป็นกลุ่มเมทาไครเลตฟอสฟอริกมอนอเมอร์ (Methacrylate phosphoric monomer) เช่น สารจีพีดีเอ็ม (glycerol phosphate dimethacrylate : GPDM) และ ฟอสฟอริกแอซิดเอสเตอ์เมทาไครเลต (Phosphoric-acid ester methacrylates) เป็นต้น<sup>(3, 30)</sup> ซึ่งในโครงสร้างทางเคมีจะมีหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีฤทธิ์ เป็นกรดอยู่ทำให้มีความสามารถในการกัดผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ และที่ปลายของโมเลกุลจะมีหมู่เมทาไครเลตที่จะไปเชื่อมกับเมทาไครเลตมอนอเมอร์อื่นได้เมื่อเกิดการบ่มตัว นอกจากนี้สารแอตตีซีฟมอนอเมอร์ยังช่วยทำหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการแทรกซึมของมอนอเมอร์อื่นๆเข้าไปในส่วนของเคลือบฟันหรือเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพจากกรดได้อีกด้วย<sup>(31)</sup>

สำหรับวัสดุอัดแทรกของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะมีปริมาณร้อยละของวัสดุอัดแทรกโดยปริมาตรประมาณ 48 (ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ Vertise® Flow) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณร้อยละของวัสดุอัดแทรกโดยปริมาตรของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมซึ่งมีค่าอยู่ที่ 30-50% ซึ่งมีปริมาณของวัสดุอัดแทรกต่ำกว่าคอมโพสิตชนิดไฮบริดประมาณ 20-25%<sup>(29)</sup> โดยพบว่าปริมาณ, การกระจายตัว และส่วนประกอบของวัสดุอัดแทรกโดยรวมของวัสดุกลุ่มนี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมและคอมโพสิตเรซินซีเมนต์<sup>(3)</sup>

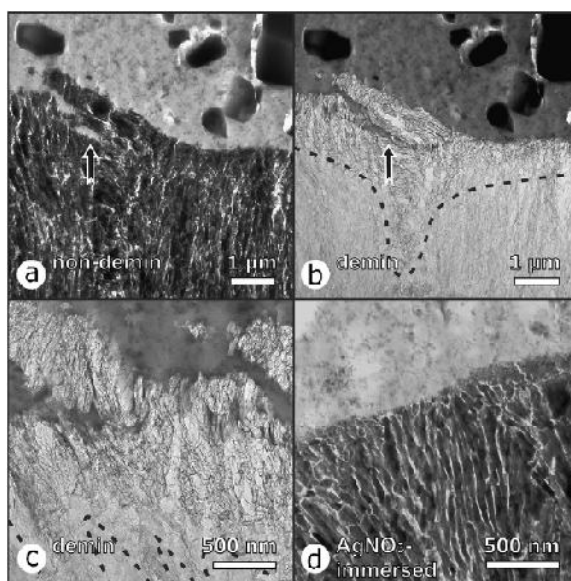
## ข. การยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

### 1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับฟัน

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบบริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันมีลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนี้

#### (ก) บริเวณรอยต่อกับเคลือบฟัน

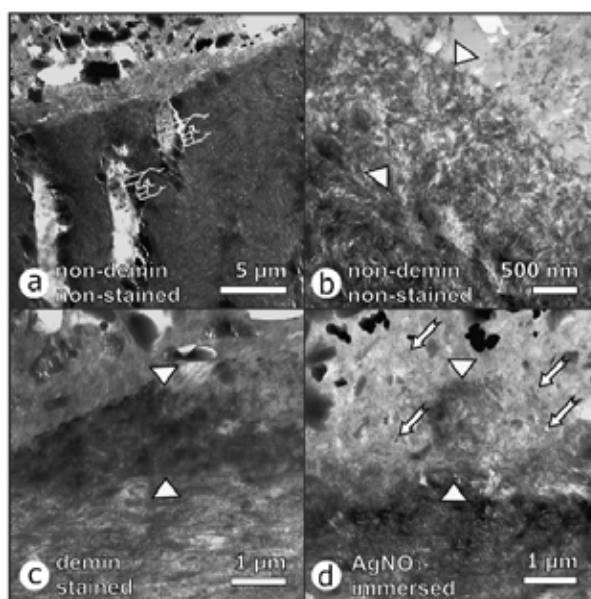
บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเคลือบฟันที่ได้รับการกรอตัดแล้วพบว่ามีเกิดการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของเคลือบฟันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยไม่มีการละลายของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ชัดเจนเกิดขึ้น แต่สามารถพบรูปแบบการยึดติดระดับนาโนระหว่างผลึก (inter-crystallite nano-retention pattern) ขนาดเล็กเกือบ 1 ไมครอนและมีเรซินแทค (resin tag) ขนาดเล็กๆเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีวัสดุบางส่วนแทรกซึมเข้าไปตามรอยแยกของผิวฟันที่เกิดจากการใช้เข็มกรอด้วย<sup>(3)</sup> โดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่ผ่านการย้อมด้วยซิลเวอร์ไนเตรตไม่พบการติดสีซิลเวอร์บริเวณรอยต่อของวัสดุและผิวเคลือบฟัน<sup>(3)</sup> (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเคลือบฟันที่ได้รับการกรอตัดแล้ว<sup>(3)</sup>

### (ข) บริเวณรอยต่อกับเนื้อฟัน

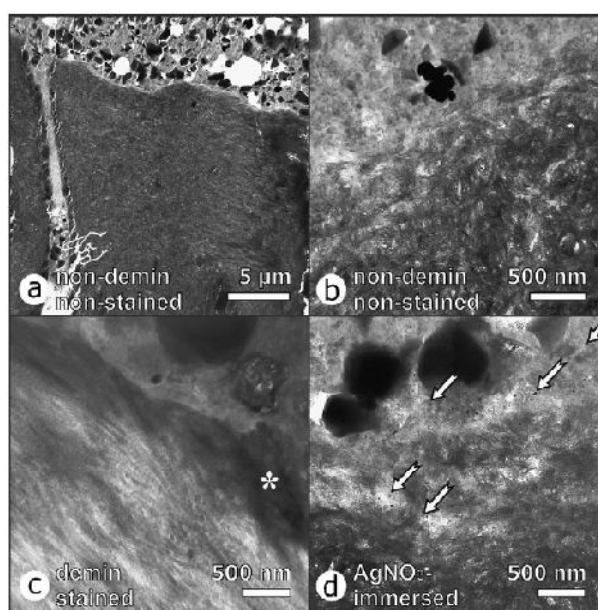
บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับเนื้อฟันที่ได้รับการกรอตัดแล้ว พบว่าชั้นเคลือบจะไม่ถูกละลายออกอย่างสมบูรณ์โดยยังคงพบการอุดตัวของเนื้อฟันด้วยเคลือบที่ถูกรื้อด้วยเรซินอยู่บางส่วน และไม่สามารถแยกชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังไม่พบเรซินแทรกเกิดขึ้นที่บริเวณผิวเนื้อฟันอีกด้วย<sup>(3)</sup> ขณะที่ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านกำลังขยายขนาดสูงจะพบคอลลาเจนที่เผยแผ่และผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์กระจายอยู่บริเวณรอยต่อที่เกิดปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้จะพบชั้นไฮบริดระดับต่ำกว่าไมครอนที่ต้านทานกรด (acid-resistant submicron hybrid layer) เกิดขึ้น และเมื่อนำชิ้นงานไปผ่านการย้อมด้วยซิลเวอร์ไนเตรตจะพบการรั่วซึมระดับนาโนเป็นจุดๆที่ผิวเคลือบและที่รอยต่อของวัสดุบูรณะได้<sup>(3)</sup> (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเนื้อฟันที่ได้รับการกรอตัด<sup>(3)</sup>

ขณะที่บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเนื้อฟันที่แตกหักจะไม่พบการละลายของแร่ธาตุและไม่สามารถระบุชั้นที่เกิดปฏิกิริยาได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน ซึ่งพบเพียงชั้นปฏิกิริยาระดับต่ำกว่าไมครอนที่ต้านทานกรด (acid-resistant submicron interaction layer) เกิดขึ้นเป็นชั้นบางๆหนาประมาณ 500 นาโนเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามพบเรซินแทรกภายในเนื้อฟันที่เปิดอยู่ได้เนื่องจากไม่มีชั้นเคลือบและเคลือบปก

คลุมท่อเนื้อฟัน<sup>(3)</sup> และเมื่อทำการย้อมด้วยซิลเวอร์ไนเตรตจะพบการสะสมของอนุภาคซิลเวอร์ได้น้อยกว่าที่พบในผิวเนื้อฟันที่ได้รับการกรอดัดเนื่องจากไม่มีเสมียร์ที่พื้นผิว<sup>(3)</sup> (ภาพที่ 4) ซึ่งจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวฟันพบว่ามีความคล้ายคลึงกับที่พบในเรซินซีเมนต์ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง (Self-adhesive resin cement)<sup>(3, 32)</sup>



ภาพที่ 4 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวเนื้อฟันที่แตกหัก<sup>(3)</sup>

## 2. กลไกการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่บริเวณรอยต่อระหว่างคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับผิวฟันพบว่าไม่มีการละลายแร่ธาตุรวมทั้งการเกิดขึ้นไฮบริดที่แท้จริงเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามกลไกการยึดติดที่เกิดขึ้นยังคงเป็นแบบการยึดติดทางกลระดับจุลภาคจากปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับชั้นเสมียร์ซึ่งเกิดจากการกรอดัดผิวฟันในส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟัน<sup>(3)</sup> นอกจากนี้เชื่อว่าคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองสามารถเกิดการยึดติดทางเคมีจากการที่หมู่ฟอสเฟตของฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนที่ผิวฟันซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดได้<sup>(3)</sup>

สำหรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ก่อนการฉายแสงของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีค่าเท่ากับ 1.9 และความเป็นกรดจะค่อยๆลดลงหลังการฉายแสงจนมีค่าสุดท้ายประมาณ 6.5-7.0 (ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ Vertise® Flow) ซึ่งจะพบว่าค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกับกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ชนิดกรดอ่อน (mild self-etch) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 2<sup>(7)</sup> อย่างไรก็ตามแม้ว่าค่าความเป็นกรดต่างของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะใกล้เคียงกับสารบอนด์ติดระบบเซลฟ์เอทซ์ชนิดกรดอ่อน แต่ผลที่เกิดขึ้นกับผิวฟันมีความแตกต่างกันกล่าวคือสารบอนด์ติดระบบเซลฟ์เอทซ์ชนิดกรดอ่อนจะทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุบริเวณผิวเนื้อฟันออกบางส่วน<sup>(6, 7)</sup> ขณะที่คอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะไม่พบการละลายของแร่ธาตุที่ผิวฟัน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบเช่นเดียวกับในวัสดุเรซินซีเมนต์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 2.1-2.7<sup>(3, 32)</sup> ดังนั้นจึงเป็นข้อสังเกตได้ว่าคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและเรซินซีเมนต์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีความคล้ายคลึงกันทั้งในด้านส่วนประกอบที่มีแอตซีซีฟมอนอเมอร์เป็นสารหลักในการยึดติด ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุ และผลที่เกิดขึ้นต่อผิวฟัน<sup>(3, 32)</sup>

### 3. คุณสมบัติทางกลและกายภาพ

เนื่องจากคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเพียงมีการนำเสนอนั้นได้ไม่ผ่านการศึกษาดังคุณสมบัติในแง่ต่างๆยังมีไม่มาก ซึ่งสามารถรวบรวมได้ดังนี้

#### 1. ความแข็งแรงของพันธะ (Bond strength)

จากการศึกษาของ Ferrari และคณะ (2010) ที่วัดค่าความแข็งแรงพันธะแบบเฉือน (Shear bond strength) ของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แต่มีค่าต่ำกว่าการใช้สารบอนด์ติดระบบโททอลเอทซ์ 3 ขั้นตอนร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้แบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวเนื้อฟันก่อนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงพันธะที่เกิดขึ้น<sup>(33)</sup> ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Juloski และคณะ (2012) ที่พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะแบบเฉือนของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเนื้อฟันมีค่าต่ำกว่าการใช้สารบอนด์ติดระบบโททอลเอทซ์ 3 ขั้นตอนและสารบอนด์ติดระบบเซลฟ์เอทซ์ 2 ขั้นตอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวเนื้อฟันก่อนจะช่วยให้ค่าความแข็งแรงพันธะแบบเฉือนเพิ่มขึ้นได้อย่างไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความแข็งแรงพันธะแบบเฉือนของคอมโพสิตชนิดไหลแฉ่ได้ที่



ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเคลือบพื้นจะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารบอนด์ติงระบบเซล์เฟอท์ 2 ชั้นตอน แต่ยังคงต่ำกว่าการใช้สารบอนด์ติงระบบโททอลเอท์ 3 ชั้นตอน โดยการใช้กรดฟอสฟอริกกัดเคลือบพื้นก่อนการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงพันธะแบบเฉือนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(34)</sup>

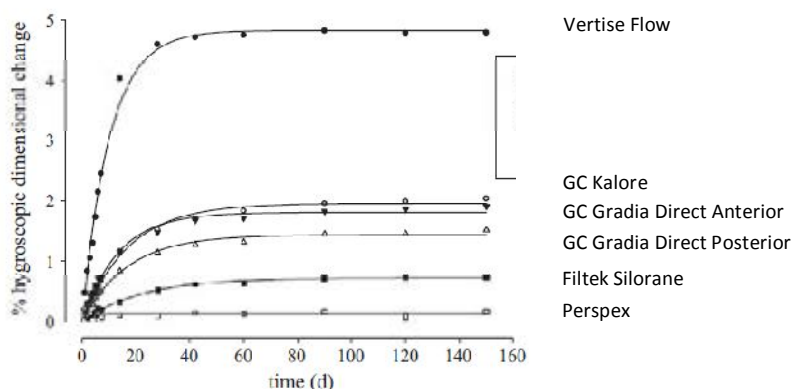
## 2. การรั่วซึมระดับจุลภาค

Rengo และคณะ (2012) พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกกัดที่เคลือบพื้นก่อนการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคที่เกิดขึ้น ขณะที่การใช้กรดฟอสฟอริกกัดที่เนื้อพื้นก่อนจะทำให้เกิดการรั่วซึมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในการศึกษาพบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีประสิทธิภาพในการต่อต้านการรั่วซึมระดับจุลภาคทั้งที่เคลือบพื้นและเนื้อพื้นใกล้เคียงกับการใช้สารบอนด์ติงระบบเซล์เฟอท์ 2 ชั้นตอนและสารบอนด์ติงระบบโททอลเอท์ 3 ชั้นตอน<sup>(35)</sup>

## 3. การดูดน้ำ การละลายตัว และการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติจากน้ำ (Hygroscopic dimensional change)

Wei และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ พบว่าเมื่อแช่วัสดุในน้ำกลั่นเป็นเวลา 150 วัน วัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการดูดน้ำ 71.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และมีการละลายตัว 16.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ ในการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการดูดน้ำของวัสดุชนิดนี้จะเกิดขึ้นสูงสุดที่ 42 วัน จากนั้นจะถึงจุดอิ่มตัว<sup>(30)</sup> ขณะที่องค์การมาตรฐานสากล (The International Organization for Standardization : ISO) ได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุบูรณะกลุ่มพอลิเมอร์ในการดูดน้ำและการละลายตัวให้มีค่าน้อยกว่า 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรและ 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรในระยะเวลา 7 วันตามลำดับ (ISO 4049:2009)

สำหรับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติจากน้ำของวัสดุพบว่าวัสดุกลุ่มนี้จะเกิดการขยายตัวจากการดูดน้ำประมาณ 4.82% ซึ่งสูงกว่าคอมโพสิตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5) และเมื่อทำให้แห้งวัสดุดังกล่าวจะเกิดการหดตัวอย่างมีนัยสำคัญโดยมีปริมาตรสุดท้ายลดลงจากเริ่มต้น ซึ่งเชื่อว่าน่าจะเป็นผลจากการที่วัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีปริมาณของมอนอเมอร์สูงและมีมอนอเมอร์ที่ขอบน้ำอยู่เป็นส่วนประกอบทำให้เกิดการดูดน้ำและบวมตัวขึ้นในส่วนเรซินเมทริกซ์นั่นเอง<sup>(36)</sup>



ภาพที่ 5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติจากน้ำของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเมื่อแช่วัสดุในน้ำกลั่นเป็นเวลา 150 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตยี่ห้อต่างๆที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ที่แตกต่างกัน<sup>(36)</sup>

#### 4. การใช้งานของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง

สำหรับการใช้งานทางคลินิกของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยมีข้อบ่งชี้ต่างๆได้แก่ การใช้เป็นวัสดุบูรณะสำหรับแควิตี้คลาสวันขนาดเล็ก การใช้เป็นวัสดุรองพื้นสำหรับแควิตี้คลาสวันหรือคลาสทูขนาดใหญ่ การใช้สำหรับการเคลือบหลุมร่องฟัน และการใช้เป็นวัสดุสำหรับการซ่อมแซมเซรามิก โดยในกรณีที่ใช้เป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีการแนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 30-40% กัดบริเวณเคลือบฟันก่อนเพื่อเพิ่มการยึดติดของวัสดุดังกล่าว (ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA))

#### การรั่วซึมระดับจุลภาค (Microleakage)

การรั่วซึมระดับจุลภาคอาจให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นช่องทางของแบคทีเรีย ของเหลว โมเลกุล หรือประจุ ที่อยู่ระหว่างผนังโพรงฟันและวัสดุบูรณะที่ใส่ลงไปซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ทางคลินิก<sup>(37)</sup> โดยการรั่วซึมระดับจุลภาคเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่น่านำไปสู่ความล้มเหลวในการบูรณะฟัน เช่น การเกิดฟันผุซ้ำ การติดสีตามขอบของวัสดุบูรณะ การเสียวฟัน ภายหลังการบูรณะ จนถึงการทำลายของเนื้อเยื่อประสาทฟันได้<sup>(38, 39)</sup> ซึ่งจากการศึกษาของ Kidd (1995) พบว่าช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะกับฟันที่มีขนาดตั้งแต่ 250-400 ไมครอนจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดฟันผุซ้ำ<sup>(40)</sup>

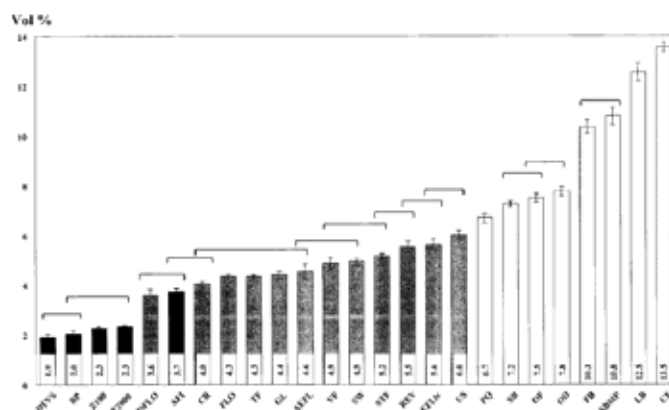
### ก. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการร่วมน้ำระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิต

สำหรับการร่วมน้ำระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิต มีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องได้แก่ 1. คุณสมบัติทางกายภาพของเรซินคอมโพสิต เช่น การหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) โมดูลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวจากความร้อน (coefficients of thermal expansion) และการขยายตัวจากการดูดน้ำ (hygroscopic expansion) 2. ความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟัน 3. การกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสง 4. ปัจจัยด้านรูปร่างของโพรงฟัน (cavity configuration factor) และ 5. ความเค้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแรงบิดเคี้ยวที่สะสมบริเวณรอยต่อของฟันและวัสดุเรซินคอมโพสิต<sup>(6, 41-43)</sup>

#### 1. คุณสมบัติทางกายภาพของเรซินคอมโพสิต

##### (ก) การหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินคอมโพสิต

การหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอาจจัดได้ว่าเป็นปัญหาหลักของวัสดุเรซินคอมโพสิต<sup>(44)</sup> ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลของมอนอเมอร์มีการเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นสายพอลิเมอร์<sup>(45)</sup> โดยทั่วไปพบว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตจะมีการหดตัวเชิงปริมาตรจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันประมาณ 1.3%-3.22%<sup>(5)</sup> อย่างไรก็ตามวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ได้จะมีการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสูงกว่าเรซินคอมโพสิตแบบดั้งเดิม<sup>(46)</sup> (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยกราฟแท่งสีดำแสดงเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ไม่ได้ กราฟแท่งสีเทาแสดงเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ได้ และกราฟแท่งสีขาวแสดงสารเรซินแอคฮีซีฟ<sup>(46)</sup>

เมื่อมีการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเข้าสู่สภาวะเจล (gelation) ซึ่งจะทำให้เรซินคอมโพสิตค่อยๆ เพิ่มโมดูลัสยืดหยุ่นไปจนถึงระดับที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างหรือไหลแต่ต่อไปได้อีก<sup>(47)</sup> โดยอาจแบ่งขั้นตอนที่เกิดขึ้นได้เป็นสองช่วงได้แก่ ช่วงแรกคือระยะก่อนสภาวะเจล (pre-gel phase) จะเป็นช่วงที่สายพอลิเมอไรเซชันมีการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งใหม่ ซึ่งในระยะนี้เรซินจะสามารถไหลแต่และปลดปล่อยความเค้นได้<sup>(42)</sup> และช่วงที่สองคือระยะหลังสภาวะเจล (post-gel phase) จะเป็นช่วงที่เรซินไม่สามารถไหลแต่ได้อีก โดยจะเกิดการหดตัวเพิ่มขึ้นและเกิดความเค้นสะสมที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุกับพื้น รวมทั้งโครงสร้างพื้นโดยรอบ<sup>(47)</sup> ซึ่งในตำแหน่งที่ความเค้นจากการหดตัวมีค่ามากกว่าความแข็งแรงพันธะระหว่างผิวพื้นกับวัสดุบูรณะก็จะนำไปสู่ความล้มเหลวของการยึดติดและเกิดเป็นช่องว่างขึ้นที่บริเวณรอยต่อได้<sup>(5)</sup> ส่วนในกรณีที่แรงยึดระหว่างพื้นกับเรซินคอมโพสิตมีค่าสูงกว่าก็อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของพื้นโดยเกิดการเคลื่อนที่ของปุ่มพื้นเข้าหากันได้<sup>(48)</sup>

### (ข) โมดูลัสยืดหยุ่น

เนื่องจากเรซินคอมโพสิตเป็นสารพอลิเมอไรเซชันจึงมีโมดูลัสยืดหยุ่นที่ต่ำโดยธรรมชาติ<sup>(42)</sup> ซึ่งโดยทั่วไปการหดตัวเชิงปริมาตรและโมดูลัสยืดหยุ่นของเรซินคอมโพสิตจะขึ้นอยู่กับปริมาณวัสดุอัดแทรก กล่าวคือเรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกสูงจะมีปริมาณเรซินเมทริกซ์ซึ่งเป็นสารพอลิเมอไรเซชันทำให้เรซินคอมโพสิตมีการหดตัวลดลงได้ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าหากมีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากขึ้นก็จะทำให้วัสดุมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง ไม่สามารถไหลแต่ได้ในระยะก่อนสภาวะเจลซึ่งอาจทำให้เกิดความเค้นจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้นและส่งผลให้เกิดการร้าวซึมระดับจุลภาคเพิ่มขึ้นได้<sup>(42, 49)</sup>

นอกจากนี้พบว่ากรรมวิธีขึ้นที่มีความยืดหยุ่นสูงบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตและพื้น (เช่นชั้นไฮบริดที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำ) จะทำหน้าที่เป็นชั้นบัฟเฟอร์ช่วยชดเชยความเค้นจากการหดตัวของเรซินคอมโพสิตได้<sup>(50)</sup> และการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแต่ได้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำก่อนการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตก็มีรายงานว่าสามารถลดการเกิดการร้าวซึมระดับจุลภาคได้เช่นกัน<sup>(49)</sup>

### (ค) สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวจากความร้อน

โดยทั่วไปสารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะทำให้เกิดการขยายตัวหรือหดตัวของวัสดุบูรณะและพื้นที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวจากความร้อนที่แตกต่างกัน (สัมประสิทธิ์ของการ

ขยายตัวจากความร้อนของเรซินคอมโพสิตมีค่า  $25-60 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}^{-1}$ , เคลือบฟันมีค่า  $11.4 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}^{-1}$  และเนื้อฟันมีค่า  $8 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )<sup>(51)</sup> หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบ่อยครั้งและส่งผลให้เกิดการหดขยายตัวบริเวณรอยต่อจะทำให้มีการสะสมความเค้นบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะกับฟัน อันจะนำไปสู่การเสื่อมของการยึดติดและเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อขึ้น<sup>(43)</sup> โดยพบว่า การเกิดการร้าวร้าวระดับจุลภาคมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวจากความร้อนของเรซินคอมโพสิตกับโครงสร้างฟัน<sup>(52)</sup>

### (ง) การขยายตัวจากการดูดน้ำ

เรซินคอมโพสิตสามารถเกิดการดูดน้ำจากสิ่งแวดล้อมในช่องปากได้ ซึ่งการดูดน้ำนี้จะส่งผลเสียต่างๆต่อวัสดุได้แก่ เกิดการละลายตัว การสลายตัวจากน้ำ (hydrolysis) การบวมตัวของวัสดุ การเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก และความล้า (fatigue) ของวัสดุ<sup>(53)</sup> ซึ่งความเสื่อมถอยของคุณสมบัติต่างๆที่เกิดขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของวัสดุลดลงได้โดยวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะเกิดการดูดน้ำได้ผ่านกระบวนการแพร่ของของเหลว ซึ่งส่วนเรซินเมทริกซ์ถือว่ามี ความสำคัญต่อปริมาณและอัตราการดูดน้ำที่เกิดขึ้น<sup>(53)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าการขยายตัวจากการดูดน้ำจะสามารถช่วยชดเชยการหดตัวของเรซินจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้แต่จะต้องมีการขยายตัวอย่างพอเหมาะกับการหดตัวที่เกิดขึ้น โดยการขยายตัวจะช่วยปิดช่องว่างซึ่งจะเพิ่มความแนบสนิทระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟันและลดความเค้นที่เกิดขึ้นได้<sup>(54)</sup> ซึ่งจากการศึกษาของ Versluis และคณะ (2011) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลด์สามารถเกิดการขยายตัวจากการดูดน้ำชดเชยการหดตัวจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ในเวลา 4 สัปดาห์<sup>(55)</sup>

## 2. ความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟัน

การร้าวร้าวระดับจุลภาคไม่จำเป็นต้องเกิดการแยกออกของเรซินคอมโพสิตกับฟันในทุกตำแหน่ง แต่จะเกิดเฉพาะบางตำแหน่งของการยึดติด<sup>(56)</sup> โดยพบว่าค่าความแข็งแรงพันธะจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการร้าวร้าวระดับจุลภาค กล่าวคือบริเวณรอยต่อของวัสดุและฟันที่มีความแข็งแรงพันธะสูงจะพบการร้าวร้าวระดับจุลภาคต่อนั้นเอง<sup>(57)</sup> ซึ่งพบว่าค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินคอมโพสิตกับฟันประมาณ 20-24 MPa จะสามารถต้านทานความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันซึ่งจะป้องกันการเกิดการร้าวร้าวระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อของวัสดุและฟันได้<sup>(58)</sup>

อย่างไรก็ดีค่าความแข็งแรงพันธะอาจไม่ยืนยาวตลอดไปเนื่องจากมีความเค้นสะสมอยู่ และหากเมื่อใดพันธะเสื่อมสลายก็จะเกิดการรั่วซึมได้ โดยพบว่าสารบอนด์ดิงที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ ยังไม่สามารถป้องกันการเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้อย่างสมบูรณ์<sup>(50)</sup> นอกจากนี้ขั้นตอนในการใช้สารบอนด์ดิงก็เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญในการยึดติดซึ่งสามารถพบการรั่วซึมระดับจุลภาคในระดับรุนแรงได้ถ้าไม่มีการกำจัดน้ำออกจากสารไพรเมอร์ได้อย่างสมบูรณ์<sup>(59)</sup> โดยการใช้สารแอตตีซีฟที่เหมาะสมและถูกต้องถือเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความแนบสนิทตามขอบของวัสดุบูรณะมากกว่าปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมให้เกิดช่องว่างบริเวณขอบขึ้น<sup>(60)</sup>

### 3. การกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสง

เรซินคอมโพสิตจะเกิดการแข็งตัวเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400-500 นาโนเมตร ซึ่งเครื่องฉายแสงมีการพัฒนาออกมาในหลากหลายรูปแบบได้แก่ เครื่องฉายแสงชนิดควอตซ์ฮาโลเจน (quartz halogen) เครื่องฉายแสงชนิดพลาสมาอาร์ค (plasma arc) เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED: light emitting diode) และเครื่องฉายแสงชนิดอาร์กอนเลเซอร์ (argon laser)<sup>(61)</sup> โดยเครื่องฉายแสงชนิดพลาสมาอาร์คและเครื่องฉายแสงชนิดอาร์กอนเลเซอร์แม้ว่าจะสามารถลดเวลาในการฉายแสงลง แต่ทำให้เกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้นและคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินคอมโพสิตลดลงได้<sup>(61)</sup>

สำหรับเทคนิคกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสง นอกจากการให้แสงด้วยความเข้มแสงคงที่แล้วยังมีการนำเสนอการฉายแสงด้วยเทคนิคต่างๆเพื่อจะช่วยให้ระยะเวลาของเรซินคอมโพสิตให้นานขึ้นโดยคาดว่าจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเรซินและปลดปล่อยความเค้นออกมาในช่วงเวลาดังกล่าวได้ ซึ่งเทคนิคนี้จะอาศัยการให้แสงที่มีความเข้มต่ำในช่วงแรกหรือเรียกว่าซอล์ฟสตาร์ทพอลิเมอร์ไรเซชัน (soft start polymerization)<sup>(62)</sup> อย่างไรก็ตามผลของการใช้เทคนิคซอล์ฟสตาร์ทยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่แต่ละการศึกษา โดยจากการศึกษาของ Kidd (2005) พบว่าการใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีด้วยเทคนิคซอล์ฟสตาร์ทจะสามารถลดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้<sup>(63)</sup> ขณะที่ Cenci (2005) พบว่าเทคนิคในการฉายแสงไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคและความแข็งแรงพันธะของฟันที่บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตในโพรงฟันคลาสทุ<sup>(64)</sup>

#### 4. ปัจจัยด้านรูปร่างของโพรงฟัน (cavity configuration factor)

ปัจจัยด้านรูปร่างของโพรงฟัน (cavity configuration factor) หรือซีแฟคเตอร์ (C-factor) คืออัตราส่วนระหว่างพื้นผิวด้านที่มีการยึดติดต่อพื้นผิวด้านที่ไม่มีการยึดติดกับโพรงฟัน ซึ่งพบว่าโพรงฟันที่มีค่าซีแฟคเตอร์สูงจะมีความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสูงตามมา<sup>(60)</sup> ขณะที่ค่าซีแฟคเตอร์ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเรซินคอมโพสิต<sup>(65)</sup> สำหรับการลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มีการแนะนำให้ทำการอุดเป็นชั้นๆ (incremental technique) เพื่อลดพื้นผิวการสัมผัสของวัสดุกับผนังโพรงฟันซึ่งเชื่อว่าจะสามารถลดความเค้นที่เกิดขึ้นได้<sup>(66)</sup> แต่จากการศึกษาของ Versluis และคณะ (1996) ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการบูรณะเป็นชั้นๆกับการบูรณะเป็นชั้นเดียวต่อผลของการหดตัวของเรซินคอมโพสิต พบว่าการอุดเป็นชั้นๆจะทำให้เกิดความเค้นและมีการเบี่ยงเบนของปุ่มฟันที่มากกว่าการอุดเป็นชั้นเดียว ดังนั้นการอุดเป็นชั้นๆอาจไม่ได้ช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นเลย<sup>(48)</sup> อย่างไรก็ตามการอุดเป็นชั้นๆที่มีความหนาไม่เกินชั้นละ 2 มิลลิเมตรยังคงเป็นที่แนะนำในการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต เนื่องจากแสงจากเครื่องฉายแสงจะไม่สามารถทำให้เกิดการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิตที่มีความหนามากกว่า 2 มิลลิเมตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ<sup>(61)</sup>

#### 5. ความเค้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแรงบิดเคี้ยวที่สะสมบริเวณรอยต่อของฟันและวัสดุซินคอมโพสิต

การร้าวที่ระดับจุลภาคอาจเกิดขึ้นภายหลังการบูรณะไปแล้ว โดยเกิดจากการใช้งานของวัสดุที่ทำให้มีการสะสมความเค้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นนี้สามารถถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นได้โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือแรงทางกล<sup>(41)</sup> มีผลทำให้เกิดการลุกลามของรอยแยก (crack propagation) ที่รอยต่อระหว่างวัสดุเรซินคอมโพสิตและฟัน ซึ่งจะนำไปสู่การร้าวที่ตามขอบได้<sup>(41)</sup> นอกจากนี้ความเค้นที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องว่างที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อและเกิดแรงดันของของเหลวผ่านเข้าออกช่องทางดังกล่าวซึ่งจะมีผลต่อการตอบสนองของประสาทฟันได้<sup>(67)</sup> โดยทั่วไปการศึกษาการร้าวที่ระดับจุลภาคของวัสดุทางทันตกรรมในห้องปฏิบัติการมักมีการทำเทอร์โมไซเคิล (Thermocycling) ร่วมด้วยเพื่อจำลองสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่องปากที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากอาหารและเครื่องดื่มเกือบตลอดเวลา<sup>(68)</sup> ซึ่งจากการรวบรวมวรรณกรรมปริทัศน์โดย Gale และคณะ

(1999) ได้สรุปว่าการทำเทอร์โมไซโคลิงเป็นจำนวน 10,000 รอบมีความสัมพันธ์โดยประมาณกับการใช้งานทางคลินิกเป็นเวลา 1 ปี<sup>(67)</sup>

### การทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาค

การทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคเป็นการทดสอบความแนบสนิทระหว่างวัสดุบูรณะกับผิวฟันที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยอาศัยการแทรกซึมของสารผ่านเข้าไปทางช่องว่างที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุกับฟัน ซึ่งมีทั้งวิธีการทดสอบทางห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสิ่งมีชีวิต แต่การทดสอบทางห้องปฏิบัติการเป็นที่นิยมมากกว่า<sup>(4)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าการศึกษากการรั่วซึมระดับจุลภาคทางห้องปฏิบัติการอาจไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลที่ได้จากทางคลินิก<sup>(69)</sup> เนื่องจากการทดลองทางห้องปฏิบัติการจะเป็นการจำลองสถานการณ์ให้เกิดปริมาณการรั่วซึมที่มากที่สุดซึ่งอาจเกิดหรือไม่เกิดจริงในการทดลองกับสิ่งมีชีวิต<sup>(70)</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาทางห้องปฏิบัติการยังคงมีความสำคัญในการช่วยเลือกใช้วัสดุหรือวิธีการบูรณะรวมทั้งประโยชน์ในแง่การวิจัยและการพัฒนาความรู้ต่อไปในอนาคต<sup>(69)</sup>

สำหรับวิธีการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคมีหลายเทคนิคด้วยกัน ซึ่งได้แก่ การใช้สีย้อม (dye), การใช้เรดิโอแอคทีฟไอโซโทป (radioactive isotope), การใช้สารเคมี เช่น ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate), การใช้แรงดันอากาศ (air pressure), การใช้แบคทีเรีย, การวิเคราะห์การกระตุ้นนิวตรอน (neutron activation analysis), การใช้วิธีไฟฟ้าเคมี (electrochemical method), การจำลองรอยผุ, การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM), การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และการแทรกซึมของของเหลว (fluid filtration) เป็นต้น<sup>(4, 38)</sup> นอกจากนี้ยังมีเทคนิคใหม่ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์การรั่วซึมจากเดิมที่สามารถทำการประเมินได้เพียงสองมิติมาเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่สามารถวิเคราะห์แบบสามมิติ (Three-dimensional : 3D analysis)<sup>(71)</sup> หรือการนำไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-computed tomography : MCT) มาใช้ในการประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาค เป็นต้น<sup>(72)</sup>

#### ก. การใช้สีย้อมอินทรีย์ (organic dye method)

การใช้สีย้อมอินทรีย์เป็นวิธีการที่เก่าแก่และนิยมที่สุดวิธีการหนึ่งในการใช้ตรวจสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคในห้องปฏิบัติการ<sup>(38)</sup> ซึ่งอาศัยความแตกต่างของสีของฟันและ



วัสดุบุรณะโดยไม่มีควมจำเป็นต้องนำชิ้นงานไปผ่านปฏิกิริยาเคมีหรือสัมผัสกับรังสีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้<sup>(4)</sup>

สำหรับสีย้อมอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาการรั่วซึมมีหลากหลายชนิด ซึ่งได้แก่ เบสิกฟุชซิน (basic fuchsin), เมทิลีนบลู (methylene blue), อีโอซิน (eosin), อะนิลีนบลู (aniline blue), คริสตอลไวโอเลท (crystal violet) และอีริโทรซินบี (erythrosine B) เป็นต้น<sup>(4, 73)</sup> ขณะที่สีย้อมที่ได้รับความนิยมสูงและมีการใช้ในการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตบ่อยที่สุดคือเบสิกฟุชซินและเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-2<sup>(41, 51, 74-77)</sup> (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างชนิดสีย้อม ความเข้มข้น และเวลาที่ใช้ในการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สีย้อม<sup>(41, 51, 74-77)</sup>

ผู้ทำการศึกษา	ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้น	เวลาที่แช่
Pilo (1999)	Basic fuchsin	0.5%	48 ชั่วโมง
Shahabi (2008)	Methylene blue	2%	24 ชั่วโมง
Manhart (2001)	Methylene blue	5%	1 ชั่วโมง
Al-Boni (2010)	Methylene blue	2%	30 นาที
Deliperi (2007)	Methylene blue	0.5%	24 ชั่วโมง
Tung (2000)	Basic fuchsin	0.2%	24 ชั่วโมง
Cardoso (2004)	Methylene blue	2%	4 ชั่วโมง
Wahab (2003)	Methylene blue	1%	4 ชั่วโมง
Hakimeh (2000)	Basic fuchsin	2%	24 ชั่วโมง
Pazinatto (2003)	Basic fuchsin	2%	24 ชั่วโมง
Wendt (1992)	Basic fuchsin	0.5%	4 และ 24 ชั่วโมง

อย่างไรก็ดีสิ่งที่ต้องระวังประการหนึ่งคือการใช้สีย้อมบางชนิดสามารถยึดเกาะกับโครงสร้างฟันหรือวัสดุบุรณะได้ ซึ่งอาจทำให้การประเมินการรั่วซึมผิดไปจากความเป็นจริง เช่น สารละลายเบสิกฟุชซินจะมีโพรพิลไกลคอล (propyl glycol) เป็นตัวทำละลายร่วมซึ่งมีคุณสมบัติสามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อฟันที่มีการผูกและติดสีแดงได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนว่าเป็น

ช่องว่างขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น และเกิดข้อผิดพลาดในการประเมินผลได้<sup>(4)</sup> นอกจากนี้ควรเลือกใช้สีย้อมที่มีขนาดเม็ดสีเล็กกว่าขนาดของท่อเนื้อฟัน (1-4 ไมครอน) เนื่องจากจะมีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้<sup>(4)</sup> ตัวอย่างเช่นเมทิลีนบลูซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.68 นาโนเมตร และมีน้ำหนักโมเลกุล 319 กรัมต่อโมลซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียรวมทั้งทอกซินจากแบคทีเรียเป็นต้น<sup>(49)</sup>

## ข. ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการใช้สีย้อมอินทรีย์

สำหรับข้อดีของการใช้สีย้อมอินทรีย์ในการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาค ได้แก่ เป็นวิธีการที่ง่าย และรวดเร็ว ไม่มีปฏิกิริยาเคมีหรือรังสีที่อาจก่อให้เกิดความอันตรายมาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษายังหาได้ง่ายและมักมีอยู่แล้วในศูนย์วิจัยโดยทั่วไป สามารถบันทึกภาพและจัดเก็บภาพผลการแทรกซึมของสีย้อมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หรือประเมินซ้ำได้ รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีอื่นๆ<sup>(4, 73)</sup> อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีข้อจำกัดของวิธีการใช้สีย้อมได้แก่ การที่ต้องตัดชิ้นส่วนของฟันซึ่งจัดเป็นวิธีที่มีการทำลายชิ้นงานและไม่สามารถนำชิ้นงานกลับมาใช้ซ้ำได้ และการที่ผู้ทดสอบไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ดีที่สุดในการตัดชิ้นงานเพื่อประเมินการรั่วซึมได้ ทำให้การรั่วซึมที่ตรวจพบด้วยวิธีนี้ไม่สามารถแสดงการรั่วซึมทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริงในสามมิติ นอกจากนี้การประเมินผลการรั่วซึมด้วยระบบคะแนนตัวเลข (numerical scoring system) อาจให้ผลเป็นไปในเชิงอัตวิสัย (subjective) ขึ้นอยู่กับผู้ประเมินได้ และในกรณีที่มีการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปในโครงสร้างฟัน เช่นท่อเนื้อฟันหรือรอยร้าวในฟัน อาจไม่สามารถแยกออกจากการรั่วซึมที่รอยต่อ หรือปัญหาจากการที่สีย้อมทำปฏิกิริยากับโครงสร้างฟันทำให้เกิดการติดสีมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินการรั่วซึมได้<sup>(4, 73)</sup>

## ค. การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคของการใช้สีย้อมอินทรีย์

### 1. การตัดชิ้นงานและตำแหน่งในการประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาค

Raskin และคณะ (2003) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมปริทัศน์จากการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคจำนวน 144 รายงานพบว่า 47% ของการศึกษาทำการประเมินการรั่วซึมจากชิ้นงานที่ถูกตัดเพียงชิ้นเดียวเท่านั้น โดยมี 20% ที่ประเมินจากชิ้นงานที่ถูกตัดเป็นสองชิ้น และ 12% ประเมินจากชิ้นงานที่ถูกตัดเป็นสามชิ้น<sup>(69)</sup> อย่างไรก็ตามก็ควรตัดชิ้นงานออกเป็นชิ้นเดียวเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการประเมินการรั่วซึมที่เกิดขึ้นของทั้งโพรงฟันอาจไม่สามารถแสดงการรั่วซึมที่

แท้จริงที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการรื้อรื้อระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของโพรงฟันมี ปริมาณไม่เท่ากันทำให้การแทรกซึมของสีในแต่ละบริเวณจะมีความแตกต่างกัน รวมทั้งตำแหน่ง และมุมที่ใช้ตัดชิ้นงานล้วนมีผลต่อระดับคะแนนการรื้อรื้อทั้งสิ้น<sup>(78)</sup> จากปัญหาดังกล่าวได้มีการ แนะนำให้ทำการตัดชิ้นงานเป็นจำนวนหลายๆชิ้นเพื่อเพิ่มจำนวนด้านในการประเมิน ซึ่งจะทำ ให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดย Raskin ได้แนะนำให้ทำการตัดชิ้นงานอย่างน้อย 3 ชิ้นจะช่วยหลีกเลี่ยงการประเมินการรื้อรื้อที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งจะเป็นตัวแทนของการรื้อรื้อที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า<sup>(69)</sup>

## 2. ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการการศึกษาการรื้อรื้อระดับจุลภาค

### (ก) สารตั้งต้นสำหรับการศึกษา

การศึกษาการรื้อรื้อระดับจุลภาคส่วนใหญ่จะทำในฟันมนุษย์ที่ถูกถอนออกมา โดยฟันที่ยังมีชีวิตจัดว่าเป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุดสำหรับการทดสอบการยึดติดรวมทั้งการทดสอบการรื้อรื้อระดับจุลภาค แต่ด้วยข้อจำกัดในการศึกษาในสิ่งมีชีวิตที่มีความยุ่งยาก การใช้ฟันมนุษย์ที่ถูกถอนออกมาเป็นสารตั้งต้นในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการจึงเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสม<sup>(79)</sup> สำหรับ การศึกษาในฟันสัตว์พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการรื้อรื้อระดับจุลภาคที่ ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างฟันมนุษย์ ฟันสุนัข และฟันวัว<sup>(80)</sup>

### (ข) การจัดเก็บชิ้นงาน

ปัจจัยต่างๆเช่น ชนิดของสารที่แช่ ระยะเวลาในการเก็บฟัน รวมทั้งวิธีจัดการเก็บชิ้นงานที่ เตรียมแล้วมีผลต่อการรื้อรื้อระดับจุลภาคดังนี้

#### (1) การจัดการฟันที่ถอนออกมา

ฟันที่ถอนออกมาจะต้องมีการเตรียมอย่างเหมาะสมเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกรวมทั้งเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ โดยทั่วไปจะทำความสะอาดฟันด้วยการขัดด้วยพัมมิส (pumice) และล้างให้สะอาด จากนั้นจะนำไปทำให้ปราศจากเชื้อโรคด้วยวิธีที่เหมาะสม จากการศึกษาของ Haller และคณะ (1993) พบว่าผลของการแช่ฟันในคลอรามิน (chloramine) ที่ความเข้มข้น 1% หรือไทมอล (thymol) ที่ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 3-4 สัปดาห์จะมีการรื้อรื้อระดับจุลภาคไม่แตกต่างอย่าง

มีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นฟันหลังถอนทันที ขณะที่การแช่ในฟอร์มาลีน (formalin) ความเข้มข้น 10% พบว่ามีการรั่วซึมระดับจุลภาคลดลงอย่างมีนัยสำคัญ<sup>(81)</sup> โดยสารละลายที่เป็นที่นิยมได้แก่ ไทมอล 0.1% มีคุณสมบัติเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อโรคและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ ขณะที่คลอรามิน 1% นิยมใช้เป็นสารละลายสำหรับการควบคุมการติดเชื่อในการทดสอบการยึดติดกับเนื้อฟัน เนื่องจากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนในเนื้อฟัน<sup>(81)</sup>

### (2) ระยะเวลาในการจัดเก็บและสารที่ใช้แช่ชิ้นงาน

ระยะเวลาในการจัดเก็บฟันที่ถอนออกมาก่อนนำมาทดลองพบว่าไม่มีผลต่อการยึดติดที่เกิดขึ้น แต่ระยะเวลาหลังจากที่ผ่านการเตรียมโพรงฟันไปแล้วแต่ยังไม่ได้รับการบูรณะจะมีความสำคัญมากกว่า ดังนั้นจึงควรทำการบูรณะทันทีหลังการเตรียมโพรงฟัน ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงทางคลินิก<sup>(79)</sup>

สำหรับฟันที่ถอนออกมาหรือชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมแล้วจำเป็นต้องมีการจัดเก็บด้วยวิธีที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการแช่ฟันหรือชิ้นงานในสารละลายระหว่างขั้นตอนการทดลองเพื่อป้องกันการสูญเสียเนื้อฟัน โดยสารละลายตัวกลางที่มีการแนะนำสำหรับการแช่ฟันได้แก่ น้ำเกลือ น้ำกลั่น ฟอร์มาลีน คลอรามิน ไทมอล เป็นต้น<sup>(81)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าสารละลายที่ใช้แช่จะมีผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของเนื้อฟัน (dentin permeability) ที่แตกต่างกัน เช่น น้ำเกลือจะลดความสามารถในการซึมผ่านของเนื้อฟันได้ ขณะที่เอทานอลความเข้มข้น 70%, ฟอร์มาลีนความเข้มข้น 10%, น้ำกลั่น และน้ำกลั่นที่มีไทมอล ความเข้มข้น 0.02% จะเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของเนื้อฟันได้แต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงพันธะที่เกิดขึ้น<sup>(82)</sup>

### (ค) การออกแบบโพรงฟัน

ขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของโพรงฟันที่ออกแบบเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยมีความสำคัญต่อผลการรั่วซึมระดับจุลภาคเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการยึดติดของเรซินคอมโพสิต ซึ่งสิ่งสำคัญมากในการเตรียมโพรงฟันคือลักษณะโพรงฟันที่เกิดขึ้นจะต้องมีมาตรฐานเดียวกัน (มีขนาด รูปร่าง และตำแหน่งใกล้เคียงกันมากที่สุด) เพื่อลดความแปรปรวนของชิ้นงานที่เกิดขึ้น<sup>(73)</sup>

ขนาดของโพรงฟันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งการหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเรซินคอมโพสิตมีปริมาตรมากขึ้น<sup>(47)</sup> ขณะที่ความลึกของโพรงฟันที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการรั่วซึมที่เพิ่มขึ้นได้เนื่องจากท่อเนื้อฟันมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันมากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดของวัสดุ นอกจากนี้รูปร่าง

ของโพรงฟันซึ่งมีผลต่อค่าซีแพคเตอร์ก็มีผลต่อความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเช่นกัน<sup>(60)</sup> สำหรับตำแหน่งของโพรงฟันในการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคนิยมทำการศึกษาในโพรงฟันคลาสไฟว์ (Class V) เนื่องจากจะช่วยลดความแปรปรวนของลักษณะทางกายวิภาคของผิวฟันด้านบดเคี้ยวที่มีหลุมร่องเป็นจำนวนมากได้ และง่ายต่อการศึกษากการรั่วซึมระดับจุลภาคทั้งที่บริเวณเคลือบฟันและเนื้อฟัน<sup>(4, 73)</sup> นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในโพรงฟันคลาสทู (Class II) ซึ่งมักใช้ตรวจสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคบริเวณขอบด้านใกล้เหงือกของกล่องด้านข้างฟัน (proximal box)<sup>(83-85)</sup> ขณะที่การศึกษาในโพรงฟันคลาสวัน (Class I) ไม่เป็นที่แพร่หลายนัก

### การทำเทอร์โมไซคลิก

การทำเทอร์โมไซคลิกเป็นขั้นตอนในห้องปฏิบัติการที่กระทำต่อฟันและวัสดุบูรณะโดยอาศัยอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันสลับไปมาเป็นวงจร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากซึ่งมีผลกับคุณภาพของวัสดุหรือรอยต่อระหว่างวัสดุกับฟัน<sup>(38)</sup> ซึ่งผลของน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะไปกระตุ้นการเสื่อมสลายของคอลลาเจนที่ไม่ได้ถูกปกป้องและเกิดการหลุดออกของเรซินที่ไม่เกิดการบ่มตัวอย่างสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมาจะเหนี่ยวนำให้เกิดความเค้นขึ้นบริเวณรอยต่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ฟันและวัสดุบูรณะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนที่แตกต่างกันทำให้ทั้งสองส่วนเกิดการหดและขยายตัวไม่เท่ากัน โดยความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะไปกระตุ้นให้เกิดการหลุดออกของการยึดติดและเกิดการลุกลามของรอยแยกไปตามรอยต่อของฟันและวัสดุบูรณะได้<sup>(67, 86)</sup> อย่างไรก็ตามก็ดีถึงแม้ว่าเรซินคอมโพสิตจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนสูงกว่าฟันค่อนข้างมาก แต่พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในส่วนของเรซินคอมโพสิตที่ติดกับผนังด้านประสาทฟันมีค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งสามารถนำความร้อนได้น้อย ดังนั้นจึงมีผลกับการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณรอยต่อใกล้พื้นผิวเป็นส่วนใหญ่ซึ่งไม่สามารถมีผลกระทบลงไปในระดับลึกได้<sup>(87)</sup> การเปลี่ยนแปลงมิติของเรซินคอมโพสิตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงอาจไม่สามารถทำนายผลได้จากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยมีปัจจัยอื่นร่วมด้วยเช่น ขนาดพื้นที่ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมและความลึกของโพรงฟัน เป็นต้น<sup>(87)</sup>

### ก. อุณหภูมิ จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ในการทำเทอร์โมไซคลิก

อุณหภูมิ จำนวนรอบ และระยะเวลาที่แช่ชิ้นงานในการทำเทอร์โมไซคลิงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาค<sup>(87)</sup> โดย Gale และคณะ (1999) ได้รวบรวมการศึกษาทางห้องปฏิบัติการที่มีการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 130 รายงานพบว่าจำนวนรอบของการทำเทอร์โมไซคลิงมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 1-1,00,000 รอบ โดยค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบเท่ากับ 10,000 รอบ และค่ามัธยฐานเท่ากับ 500 รอบ ในส่วนของระยะเวลาที่แช่จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53 วินาที และค่ามัธยฐานเท่ากับ 30 วินาที<sup>(67)</sup> (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สีย้อมที่มีการทำเทอร์โมไซคลิงร่วมด้วย<sup>(74-76, 83, 88, 89)</sup>

ผู้ทำการศึกษา	เทอร์โมไซคลิง			
	อุณหภูมิ	จำนวนรอบ	เวลาที่แช่	เวลาเคลื่อนย้าย
Pilo (1999)	5°C-55°C	1,400	10 วินาที	-
Shahabi (2008)	5°C-55°C	500	-	-
Manhart (2001)	5°C-55°C	1,000	30 วินาที	15 วินาที
Al-Boni (2010)	5°C-55°C	200	30 วินาที	5 วินาที
Deliperi (2007)	5°C-55°C	500	30 วินาที	30 วินาที
Tung (2000)	5°C-55°C	500	30 วินาที	30 วินาที

ในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการองค์การมาตรฐานสากล (The International Organization for Standardization : ISO) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการทำเทอร์โมไซคลิงที่จำนวน 500 รอบในน้ำระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55°C โดยแช่ในน้ำอย่างน้อย 20 วินาทีและมีระยะพักเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 5-10 วินาที (ISO/TS 11405:2003(E)) อย่างไรก็ตามพบว่าจำนวนรอบดังกล่าวอาจน้อยเกินไปสำหรับการจำลองอายุการใช้งานเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการยึดติด<sup>(86)</sup>

## ข. ผลของการทำเทอร์โมไซคลิง

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของการทำเทอร์โมไซคลิงและไม่ทำเทอร์โมไซคลิงพบว่าจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไปตามระเบียบวิธีการวิจัยของแต่ละการศึกษา (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างการศึกษาผลของการทำเทอร์โมไซคลิงต่อการรั่วซึมระดับจุลภาค  
ของเรซินคอมโพสิตด้วยการใช้สีย้อม<sup>(41, 51, 77, 87, 90, 91)</sup>

ผู้ทำการศึกษา	เทอร์โมไซคลิง				ผลการศึกษา
	อุณหภูมิ	จำนวนรอบ	เวลาที่แช่	เวลาที่ย้าย	
Rossomando (1995)	5°C-55°C	ไม่ทำ/ 5,000	10 และ 60 วินาที	-	ไม่มีผล
Wahab (2003)	5°C-55°C	ไม่ทำ/ 500	30 วินาที	-	มีผล
Hakimeh (2000)	4°C-60°C	ไม่ทำ/ 2,880	60 วินาที	15 วินาที	มีผล
Pazinatto (2003)	5°C-55°C	ไม่ทำ/ 500/ 1,000/ 2,500/ 5,000	15 วินาที	-	ไม่มีผล
Wendt (1992)	5°C-50°C	ไม่ทำ/ 250	15 วินาที	-	ไม่มีผล
Cardoso (2004)	5°C-55°C	ไม่ทำ/ 2,000	60 วินาที	7 วินาที	ไม่มีผล

### บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา (Study sample) คือฟันกรามน้อยแท้ซี่ที่ 1 หรือ 2 ของมนุษย์จาก ขากรรไกรบนหรือล่างที่มีสภาพปกติ ไม่มีรอยผุ รอยร้าว วัสดุบูรณะ หรือลักษณะที่ผิดปกติอื่นๆ ทั้งที่ตัวฟันและรากฟัน รวมทั้งไม่ผ่านการรักษารากฟันมาก่อนที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (simple random sampling) เพื่อจัดเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม  
สูตรการคำนวณตัวอย่างเพื่อประมาณสัดส่วนประชากร

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 p (1-p)}{e^2}$$

โดยที่  $n$  = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

$Z_{\alpha/2}$  = 1.96

$e$  = ค่าความคลาดเคลื่อน

$p$  = ค่าสัดส่วนหรือร้อยละที่สนใจของประชากร

จากการศึกษานำร่องการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคพบว่าขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้เท่ากับฟันจำนวน 368.79 ซี่ แต่ด้วยข้อจำกัดเรื่องการเก็บฟันสำหรับทดลอง และระยะเวลาในการทำวิจัย รวมทั้งเพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการเตรียมฟันจำนวนมาก ในศึกษานี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 12 ซี่ต่อกลุ่ม<sup>(49)</sup>

#### วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

##### ก. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

###### 1. เเรซินคอมโพสิต

ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อ Vertise Flow (Kerr, Orange, CA, USA), Premise flowable (Kerr, Orange, CA, USA), Premise (Kerr, Orange, CA, USA) สี A3.5

###### 2. สารบอนด์ดิงยีห้อ Optibond all-in-one (Kerr, Orange, CA, USA)



ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดของวัสดุที่ใช้บูรณะโพรงฟัน (ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต)

วัสดุ	ประเภทของวัสดุ	ส่วนประกอบ	ปริมาณวัสดุอัด แทรก
Vertise flow (Kerr, Orange, CA, USA)	คอมโพสิตชนิดไหล แผ่ได้ที่ยึดได้ด้วย ตัวเอง	GPDM, methacrylate co- monomers, Prepolymerized filler, barium glass, nano- sized colloidal silica, nano- sized ytterbium fluoride	70% โดยน้ำหนัก 48% โดยปริมาตร
Premise flowable (Kerr, Orange, CA, USA)	คอมโพสิตชนิดไหล แผ่ได้	Ethoxylated Bis-GMA, TEGDMA, Prepolymerized filler , barium glass, silica filler, light-cure initiators and stabilizers	72.5% โดย น้ำหนัก 54.6% โดย ปริมาตร
Premise (Kerr, Orange, CA, USA)	คอมโพสิตชนิดนาโน ไฮบริด	Ethoxylated Bis-GMA, TEGDMA, Prepolymerized filler , barium glass, silica filler, light-cure initiators and stabilizers	84% โดยน้ำหนัก 70% โดยปริมาตร
Optibond all- in-one (Kerr, Orange, CA, USA)	สารบอนด์ดึงระบบ เซล์ฟเอทซ์หนึ่ง ขั้นตอน	GPDM, self-etching adhesive monomer, co-monomers, HEMA, water, acetone, ethanol, CQ-based photo- initiator system three nano sized fillers, fluoride- releasing fillers – sodium hexafluorosilicate and ytterbium fluoride	

3. เมทิลีนบลูความเข้มข้น 1%
4. ไทมอลความเข้มข้น 0.1%
5. เข็มกรอกากเพชรเร็วรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร (Meisinger, Dusseldorf, Germany)
6. หัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมออกไซด์ (Sof-Lex disc, 3M EPSE, St.Paul, MN, USA)
7. เครื่องมือตรวจปริทันต์ (Periodontal probe)
8. แผ่นพลาสติกใส (Celluloid strip, 3M EPSE, St.Paul, MN, USA)
9. ฟูกันปลายเล็ก
10. นาฬิกาจับเวลา
11. น้ำยาทาเล็บ (Nail varnish)
12. น้ำปราศจากอิออน (Deionized water)
13. ชีผึ้งชนิดเหนียว (Sticky wax)

#### ข. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องตัดความเร็วต่ำ (Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, USA)
2. ยูนิตเคลื่อนที่ (Super Mobile 85, T.D.P., ประเทศไทย)
3. เครื่องฉายแสง (Elipar S10, 3M EPSE, St.Paul, MN, USA)
4. เครื่องเรดิโอมิเตอร์ (Optilux Radiometer, Kerr, Orange, CA, USA)
5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm 1200, Contherm, New Zealand)
6. เครื่องเทอร์โมไซเคิล (Thermocycler, Willytec, Munich, Germany)
7. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (ML9300, Meiji Techno, Tokyo, Japan)

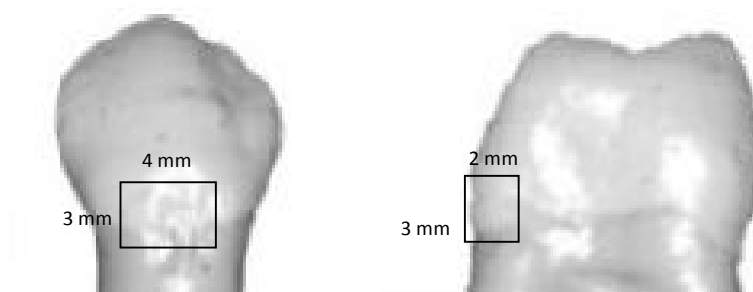
#### วิธีดำเนินการวิจัย (Methods)

การศึกษานี้ใช้ฟันกรามน้อยแท้จำนวน 112 ซี่ สำหรับการประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคจำนวน 96 ซี่ และการประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุและฟันจำนวน 16 ซี่

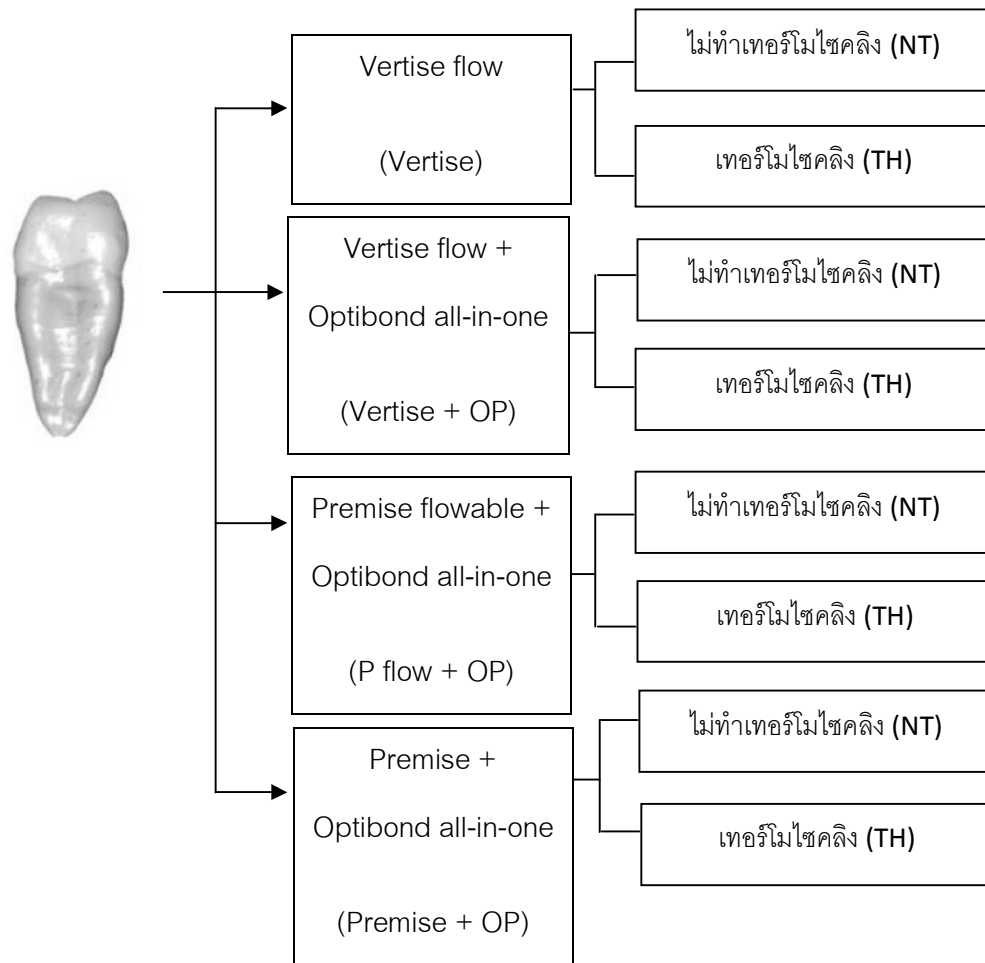
## ก. การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาค

### 1. การเตรียมฟันตัวอย่าง

ฟันกรามน้อยแท้จำนวน 96 ซี่ หลังถอนฟันนำมาทำความสะอาดโดยกำจัดหินปูนและเศษเนื้อเยื่ออ่อนแล้วขัดด้วยผงฟิมมิสผสมน้ำ และเก็บในสารละลายไทมอล 0.1% ที่อุณหภูมิ 4°C สำหรับฆ่าเชื้อและยับยั้งการเจริญของจุลชีพ<sup>(81)</sup> โดยแช่ไว้ไม่เกิน 1 เดือน แล้วเปลี่ยนมาแช่น้ำปราศจากออกซิเจนก่อนการเตรียมชิ้นงาน 1 สัปดาห์<sup>(49)</sup> จากนั้นทำการเตรียมโพรงฟันคลาสไฟว์ด้วยหัวกรอเร็วที่มีน้ำผ่านโดยใช้เข็มกรอกปากเพชรรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้โพรงฟันมีขอบด้านใกล้เหงือกอยู่ต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและเคลือบฟัน (CEJ) 1 มิลลิเมตร และมีขนาดโพรงฟันกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตร และลึก 2 มิลลิเมตร<sup>(74)</sup> (ภาพที่ 7) ซึ่งจะทำการประเมินขนาดโพรงฟันด้วยเครื่องมือตรวจปริทันต์ ทั้งนี้ จะทำการเปลี่ยนเข็มกรอเมื่อใช้ไปทุกๆ 4 โพรงฟัน<sup>(49)</sup> โดยโพรงฟันทุกซี่ต้องมีขอบเขตด้านใกล้เหงือกเป็นเนื้อฟันและขอบเขตด้านบดเคี้ยวเป็นเคลือบฟันทั้งหมด จากนั้นทำการแบ่งฟันที่ผ่านการเตรียมโพรงฟันแล้วออกเป็น 4 กลุ่มหลักแบบสุ่ม กลุ่มละ 24 ซี่<sup>(49)</sup> (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการเตรียมโพรงฟันที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 8 แสดงการแบ่งกลุ่มในการทดลอง

## 2. การบูรณะโพรงฟัน

ฟันจำนวน 24 ซี่ของแต่ละกลุ่มได้รับการบูรณะโพรงฟันด้วยวัสดุต่างๆตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

กลุ่มที่ 1 ทำการบูรณะด้วย Vertise flow โดยล้างโพรงฟันด้วยน้ำแล้วเป่าลมให้แห้งเป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นฉีด Vertise flow ลงในโพรงฟันแล้วใช้พู่กันทาวีสดูไปมาเป็นชั้นบางๆทั่วทั้งโพรงฟัน (ความหนาแน่นน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร) เป็นเวลา 20 วินาที แล้วทำการฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาทีด้วยเครื่องฉายแสง จากนั้นทำการบูรณะต่อโดยฉีดวัสดุเป็นชั้นเดียวให้เต็มโพรงฟันแล้วฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที หลังบูรณะเสร็จทำการขัดแต่งวัสดุหลังการบูรณะด้วยหัวขัดคอมโพสิตชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์สีแดง แดงส้ม ส้ม และเหลืองผ่านน้ำ<sup>(92)</sup> แล้วทำการเก็บชิ้นฟันตัวอย่างในน้ำปราศจากออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง<sup>(49)</sup>

กลุ่มที่ 2 ทำการบูรณะด้วย Vertise flow ร่วมกับ Optibond all-in-one โดยล้างโพรงฟันด้วยน้ำแล้วเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นใช้พู่กันทา Optibond all-in-one ชั้นแรกในลักษณะถูไปมาเป็นเวลา 20 วินาที แล้วทาชั้นที่สองในลักษณะเดียวกันอีก 20 วินาที จากนั้นเป่าลมให้สารแอตตีซีฟแห้งเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นทำการบูรณะด้วย Vertise flow โดยฉีดวัสดุเป็นชั้นเดียวหนา 2 มิลลิเมตรและฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที หลังบูรณะเสร็จทำการขัดแต่งวัสดุและเก็บขึ้นพื้นตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกับในกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 3 ทำการบูรณะด้วย Premise flowable ร่วมกับ Optibond all-in-one โดยล้างโพรงฟันด้วยน้ำแล้วเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นใช้พู่กันทา Optibond all-in-one ชั้นแรกในลักษณะถูไปมาเป็นเวลา 20 วินาที แล้วทาชั้นที่สองในลักษณะเดียวกันอีก 20 วินาที จากนั้นเป่าลมให้สารแอตตีซีฟแห้งเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นทำการบูรณะด้วย Premise flowable โดยฉีดวัสดุเป็นชั้นเดียวหนา 2 มิลลิเมตรและฉายแสง 40 วินาที หลังบูรณะเสร็จทำการขัดแต่งวัสดุและเก็บขึ้นพื้นตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกับในกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 4 ทำการบูรณะด้วย Premise ร่วมกับ Optibond all-in-one โดยล้างโพรงฟันด้วยน้ำแล้วเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นใช้พู่กันทา Optibond all-in-one ชั้นแรกในลักษณะถูไปมาเป็นเวลา 20 วินาที แล้วทาชั้นที่สองในลักษณะเดียวกันอีก 20 วินาที จากนั้นเป่าลมให้สารแอตตีซีฟแห้งเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นทำการบูรณะด้วย Premise โดยบูรณะเป็นชั้นเดียวหนา 2 มิลลิเมตรและฉายแสง 40 วินาที หลังบูรณะเสร็จทำการขัดแต่งวัสดุและเก็บขึ้นพื้นตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกับในกลุ่มที่ 1

สำหรับวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้สีเอ 3.5 ทั้งสามผลิตภัณฑ์ และเครื่องฉายแสงที่ใช้จะได้รับการประเมินความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสีให้มีความเข้มแสงอย่างน้อย  $800 \text{ mW/cm}^2$  (ตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ Vertise flow) ก่อนเริ่มใช้งานทุกวันและประเมินซ้ำหลังการบูรณะไปทุก 10 ซี่ ซึ่งการฉายแสงทุกครั้งจะใช้แผ่นพลาสติกใสที่วางแนบกับวัสดุบูรณะและขอบโพรงฟันก่อน แล้วจึงวางปลายกระบอกนำแสงให้ชิดกับแผ่นพลาสติกใสีก่อนการฉายแสงเพื่อให้ได้ระยะการฉายแสงที่คงที่ในทุกโพรงฟัน

### 3. การทำเทอร์โมไซคลิง

ขึ้นพื้นตัวอย่างจำนวน 24 ซี่ของแต่ละกลุ่มหลักจะถูกแยกเป็น 2 กลุ่มย่อย โดยกลุ่มแรกจำนวน 12 ซี่ เป็นกลุ่มควบคุมที่ไม่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิง (NT) และกลุ่มที่สองจำนวน 12 ซี่ เป็นกลุ่มที่จำลองการใช้งานด้วยการทำเทอร์โมไซคลิง (TH) จำนวน 1,000 รอบระหว่างอุณหภูมิ

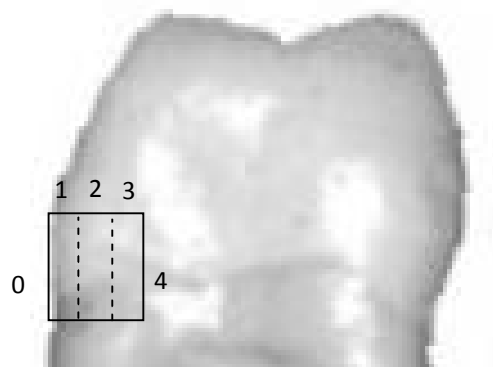
5°C-55°C โดยกำหนดเวลาในการแช่รอบละ 30 วินาที และเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอุณหภูมิ 15 วินาที<sup>(75)</sup>

#### 4. การประเมินการแทรกซึม

ฟันตัวอย่างทุกซี่ในแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาเคลือบด้วยน้ำยาทาเล็บ 2 ชั้น โดยเว้นช่องห่างจากวัสดุบูรณะ 1 มิลลิเมตรโดยรอบเพื่อป้องกันการแทรกซึมของสีในตำแหน่งที่ไม่ต้องการ จากนั้นนำฟันตัวอย่างไปแช่ในเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังแช่ขึ้นฟันตามเวลาที่กำหนดจึงนำไปล้างผ่านน้ำเป็นเวลา 10 นาที แล้วตัดชิ้นฟันตัวอย่างตามแนวใกล้แกม-ใกล้ลิ้นออกเป็น 3 ชิ้นด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำให้แต่ละชิ้นมีความหนาโดยประมาณ 0.7 มิลลิเมตร จากนั้นแผ่นชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำไปลงรหัสโดยบุคคลอื่นที่ไม่ใช่ผู้วิจัยด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ 1 ตัวและต่อด้วยตัวเลข 2 หลัก เช่น A01 เป็นต้น เพื่อไม่ให้ผู้วิจัยทราบว่ชิ้นงานตัวอย่างได้รับการบูรณะด้วยวัสดุชนิดใด จากนั้นทำการตรวจสอบการแทรกซึมของสีระหว่างรอยต่อของวัสดุบูรณะและฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย 20 เท่า โดยประเมินตามเกณฑ์การประเมินการแทรกซึม (ตารางที่ 5)(ภาพที่ 9)

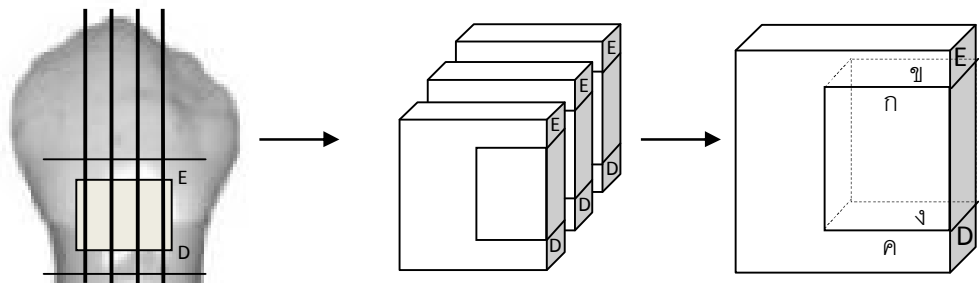
ตารางที่ 5 แสดงเกณฑ์การประเมินการแทรกซึมของสี<sup>(92)</sup>

ระดับที่	เกณฑ์การประเมิน
0	ไม่มีการแทรกซึมของสีระหว่างรอยต่อผิวฟันและวัสดุบูรณะ
1	มีการแทรกซึมของสีตามผนังโพรงฟันเป็นระยะทาง 1 ใน 3 ของความลึก
2	มีการแทรกซึมของสีตามผนังโพรงฟันเป็นระยะทางมากกว่า 1 ใน 3 ของความลึก แต่ไม่ต่ำกว่า 2 ใน 3 ของความลึก
3	มีการแทรกซึมของสีตามผนังโพรงฟันเป็นระยะทางมากกว่า 2 ใน 3 ของความลึก แต่ไม่ถึงผนังด้านโพรงประสาทฟัน
4	มีการแทรกซึมของสีตามผนังโพรงฟันด้านโพรงประสาทฟัน



ภาพที่ 9 แสดงระดับการแทรกซึมของสีระหว่างรอยต่อของวัสดุบูรณะและฟัน

หลังประเมินเสร็จจึงทำการตรวจสอบรหัสเพื่อบันทึกว่าชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในกลุ่มทดลองใด โดยพื้นที่ผ่านการบูรณะ 1 ซึ่งจะถูกประเมินที่ขอบเคลือบฟัน 6 ตำแหน่งและขอบเนื้อฟัน 6 ตำแหน่ง (ภาพที่ 10) ก่อนนำไปหาค่ามัธยฐานระดับการแทรกซึมในฟันแต่ละซี่



ภาพที่ 10 แสดงวิธีการตัดชิ้นงานและตำแหน่งการประเมินการแทรกซึม โดยที่ตำแหน่ง ก และ ข เป็นตำแหน่งขอบด้านเคลือบฟัน (E) และที่ตำแหน่ง ค และ ง ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบด้านเนื้อฟัน (D)

#### ข. การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุและฟัน

ทำการเตรียมชิ้นฟันตัวอย่างจำนวน 2 ซี่ต่อกลุ่มทดลองย่อย แล้วตัดชิ้นฟันตัวอย่างตามแนวโกล์แก้ม-โกล์ลินด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำให้ได้แผ่นชิ้นฟันที่มีความหนาโดยประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาเตรียมชิ้นงานสำหรับการประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

ส่องกราด (SEM) โดยแผ่นชิ้นงานจะถูกนำไปแช่ในกรดฟอสฟอริกเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำไปแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 2% เพื่อสลายโปรตีน (deproteinization) แล้วล้างออกด้วยน้ำปราศจากอ็อกอน จากนั้นจึงทำการไล่น้ำในชิ้นงานด้วยสารละลายเอทานอลตามลำดับความเข้มข้นแล้วทำให้แห้งสนิทด้วยเฮกซะเมทิลไดไซลาเซน (Hexamethyldisilazane : *HMDS*) จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปยึดกับแท่นอลูมิเนียม แล้วเคลือบชิ้นงานด้วยทองเพื่อนำไปตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า<sup>(93)</sup>

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS statistics version 17) ที่กำหนดค่านัยสำคัญที่  $P < 0.05$  ซึ่งจะทำกรวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ (Parametric statistics) โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติครัสคาลวัลลิส (Kruskal Wallis) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มวัสดุ และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลก่อนและหลังการจำลองการใช้งานด้วยสถิติแมนวิทนียู (Mann-Whitney U)



**บทที่ 4**  
**ผลการศึกษา**

**การประเมินการรั่วซึมก่อนทำเทอร์โมไซคลิง**

จากการประเมินพบว่าระดับการแทรกซึมของสีบริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับวัสดุทั้งสี่กลุ่มมีความคล้ายคลึงกัน คือส่วนใหญ่มีการรั่วซึมที่ระดับ 0 และ 1 ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติครัสคาลวัลลิสพบว่าค่ามัธยฐานการแทรกซึมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.067$ ) ในขณะที่ระดับการแทรกซึมของสีบริเวณรอยต่อเนื้อฟันกับวัสดุพบว่า กลุ่ม Vertise มีการรั่วซึมส่วนใหญ่ที่ระดับ 4 และสามกลุ่มที่เหลือมีการรั่วซึมส่วนใหญ่ที่ระดับ 0 และ 1 ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าวัสดุทั้งสี่กลุ่มมีค่ามัธยฐานการแทรกซึมที่เนื้อฟันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.000$ ) โดยกลุ่ม Vertise จะมีการรั่วซึมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่มที่เหลือมีการรั่วซึมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6-8)

ตารางที่ 6 แสดงความถี่ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างก่อนการทำเทอร์โมไซคลิง

กลุ่ม	ระดับการแทรกซึมที่เคลือบฟัน						ระดับการแทรกซึมที่เนื้อฟัน					
	0	1	2	3	4	รวม	0	1	2	3	4	รวม
Vertise NT	23	49	0	0	0	72	0	1	9	1	61	72
Vertise + OP NT	25	46	1	0	0	72	38	27	6	1	0	72
P flow + OP NT	36	35	1	0	0	72	41	21	1	0	9	72
Premise + OP NT	43	20	2	5	2	72	58	11	0	2	1	72

ตารางที่ 7 แสดงค่าสถิติการรั่วซึมของวัสดุก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก

กลุ่ม	การรั่วซึมระดับจุลภาคที่เคลือบฟัน		การรั่วซึมระดับจุลภาคที่เนื้อฟัน	
	Mean Rank	Sig.	Mean Rank	Sig.
Vertise NT	30.58	a	41.58	A
Vertise + OP NT	28.25	a	20.58	B
P flow + OP NT	20.92	a	20.54	B
Premise + OP NT	18.25	a	15.29	B

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันและวัสดุก่อนการทำเทอร์โมไซคลิก

กลุ่มเปรียบเทียบ			Mann-Whitney U Test Asymp. Sig. (2-tailed)
Vertise NT	VS	Vertise + OP NT	0.000 *
Vertise NT	VS	P flow + OP NT	0.000 *
Vertise NT	VS	Premise + OP NT	0.000 *
Vertise + OP NT	VS	P flow + OP NT	0.874
Vertise + OP NT	VS	Premise + OP NT	0.137
P flow + OP NT	VS	Premise + OP NT	0.195

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $P < 0.05$

### การประเมินการรั่วซึมหลังทำเทอร์โมไซคลิก

ผลของระดับการแทรกซึมที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับการแทรกซึมก่อนทำเทอร์โมไซคลิก โดยพบว่าค่ามัธยฐานการแทรกซึมที่เคลือบฟันของแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.397$ ) ขณะที่ค่ามัธยฐานการแทรกซึมที่เนื้อฟันมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.001$ ) โดยกลุ่ม Vertise จะมีการรั่วซึมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ และผลการรั่วซึมของกลุ่มที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9-11)

ตารางที่ 9 แสดงความถี่ระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

กลุ่ม	ระดับการแทรกซึมที่เคลือบฟัน						ระดับการแทรกซึมที่เนื้อฟัน					
	0	1	2	3	4	รวม	0	1	2	3	4	รวม
Vertise TH	30	42	0	0	0	72	12	0	0	0	60	72
Vertise + OP TH	25	46	1	0	0	72	45	12	1	3	11	72
P flow + OP TH	46	26	0	0	0	72	41	25	0	0	6	72
Premise + OP TH	37	28	4	3	0	72	55	11	1	0	5	72

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติการรั่วซึมของวัสดุหลังการทำเทอร์โมไซคลิง

กลุ่ม	การรั่วซึมระดับจุลภาคที่เคลือบฟัน		การรั่วซึมระดับจุลภาคที่เนื้อฟัน	
	Mean Rank	Sig.	Mean Rank	Sig.
Vertise TH	28.75	a	37.42	A
Vertise + OP TH	25.38	a	19.67	B
P flow + OP TH	19.83	a	23.67	B
Premise + OP TH	24.04	a	17.25	B

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันและวัสดุหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

กลุ่มเปรียบเทียบ			Mann-Whitney U Test Asymp. Sig. (2-tailed)
Vertise TH	VS	Vertise + OP TH	0.001 *
Vertise TH	VS	P flow + OP TH	0.002 *
Vertise TH	VS	Premise + OP TH	0.001 *
Vertise + OP TH	VS	P flow + OP TH	0.366
Vertise + OP TH	VS	Premise + OP TH	0.589
P flow + OP TH	VS	Premise + OP TH	0.081

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $P < 0.05$

### ผลของการทำเทอร์โมไซคลิก

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการรั่วซึมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิกในวัสดุทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทั้งที่ขอบเคลือบฟันและขอบเนื้อฟัน (ตารางที่ 12-14)

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติของการรั่วซึมระดับจุลภาคก่อนและหลังเทอร์โมไซคลิก

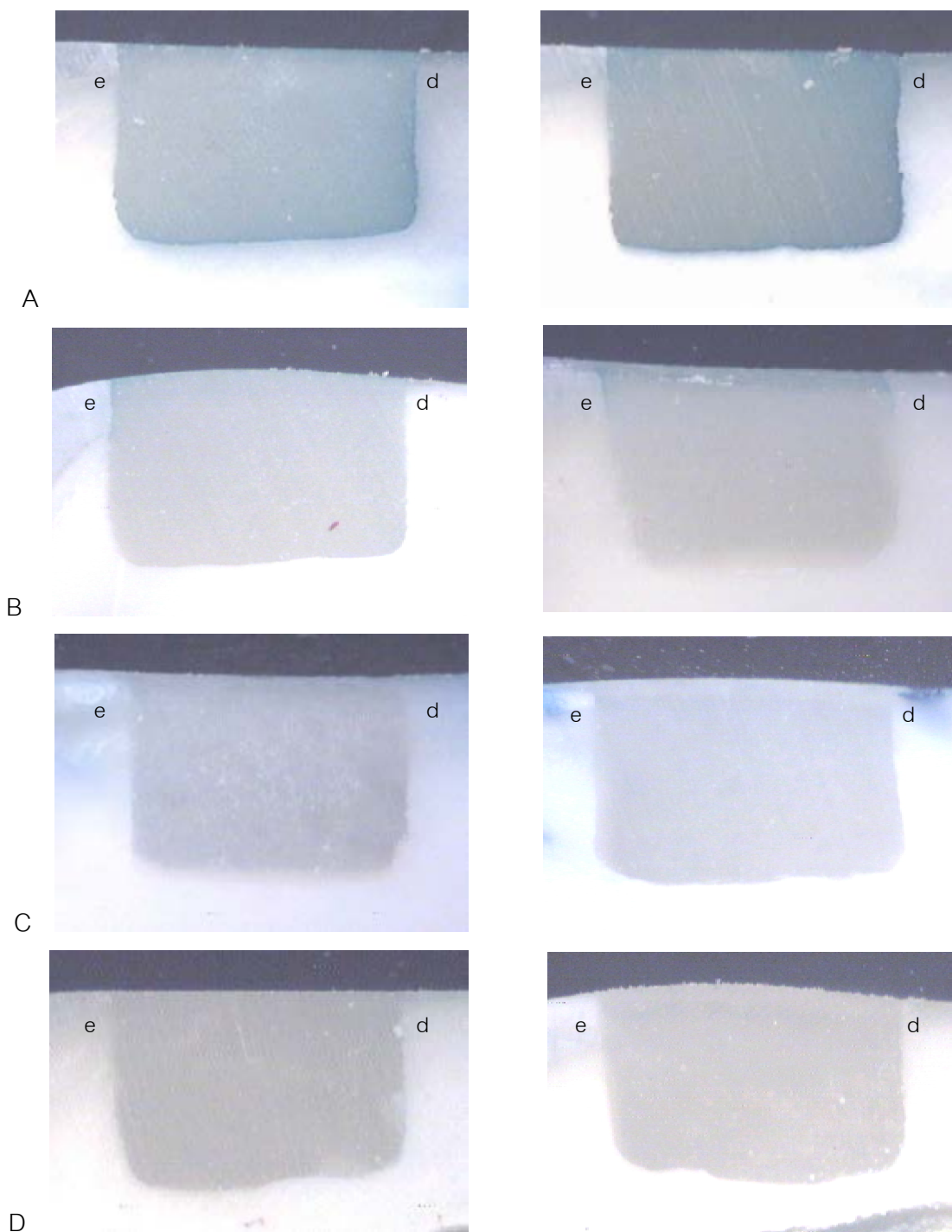
กลุ่มเปรียบเทียบ			ขอบเคลือบฟัน Sig.	ขอบเนื้อฟัน Sig.
Vertise NT	VS	Vertise TH	a	A
Vertise + OP NT	VS	Vertise + OP TH	a	A
Premise flow + OP NT	VS	Premise flow + OP TH	a	A
Premise + OP NT	VS	Premise + OP TH	a	A

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการแทรกซึมที่ขอบเคลือบฟันก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

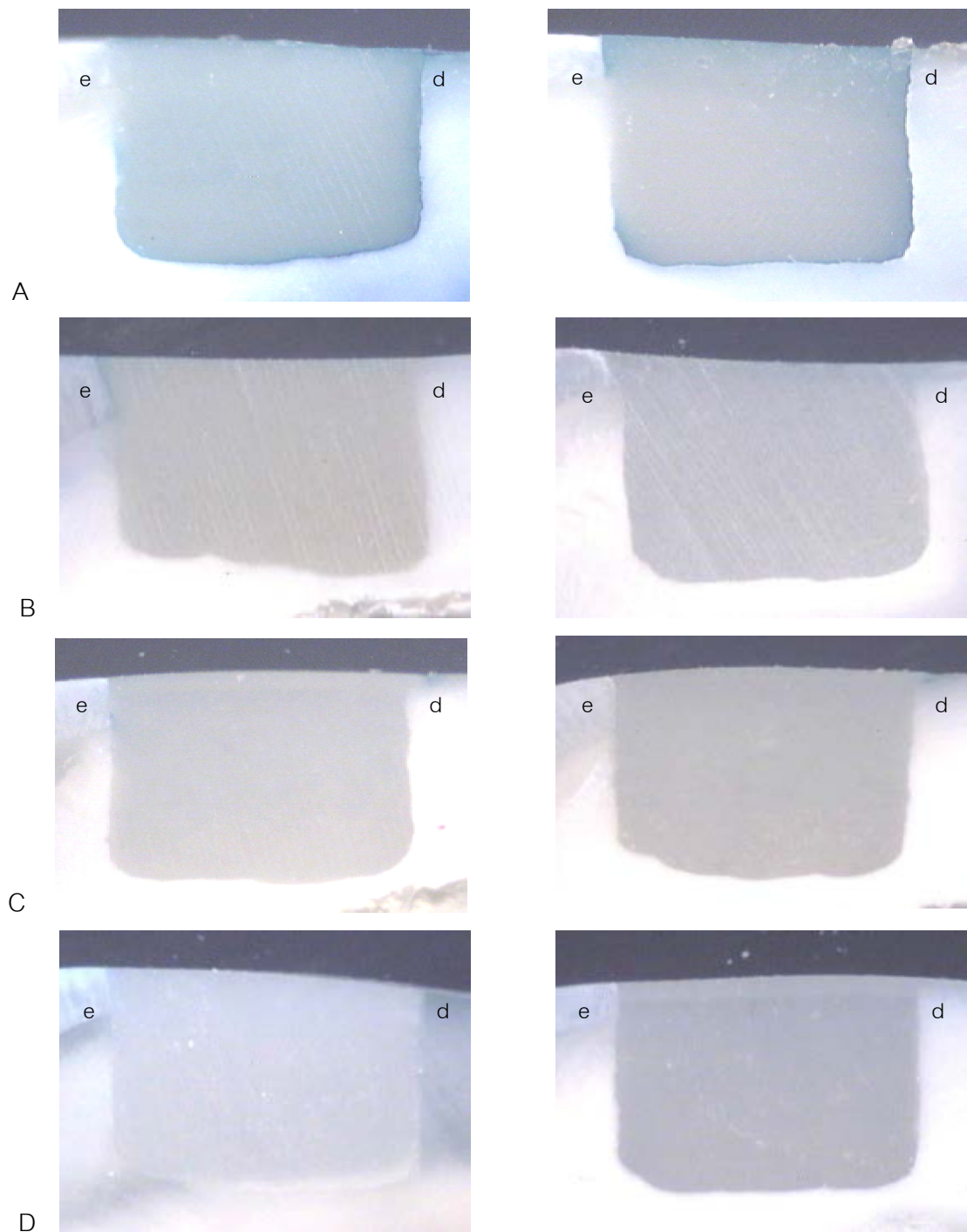
กลุ่มเปรียบเทียบที่ขอบเคลือบฟัน			Mann-Whitney U Test Asymp. Sig. (2-tailed)
Vertise NT	VS	Vertise TH	0.315
Vertise + OP NT	VS	Vertise + OP TH	0.391
P flow + OP NT	VS	P flow + OP TH	0.379
Premise + OP NT	VS	Premise + OP TH	0.590

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบการแทรกซึมที่ขอบเนื้อฟันก่อนและหลังการทำเทอร์โมไซคลิก

กลุ่มเปรียบเทียบที่ขอบเนื้อฟัน			Mann-Whitney U Test Asymp. Sig. (2-tailed)
Vertise NT	VS	Vertise TH	0.859
Vertise + OP NT	VS	Vertise + OP TH	0.696
P flow + OP NT	VS	P flow + OP TH	0.519
Premise + OP NT	VS	Premise + OP TH	0.655



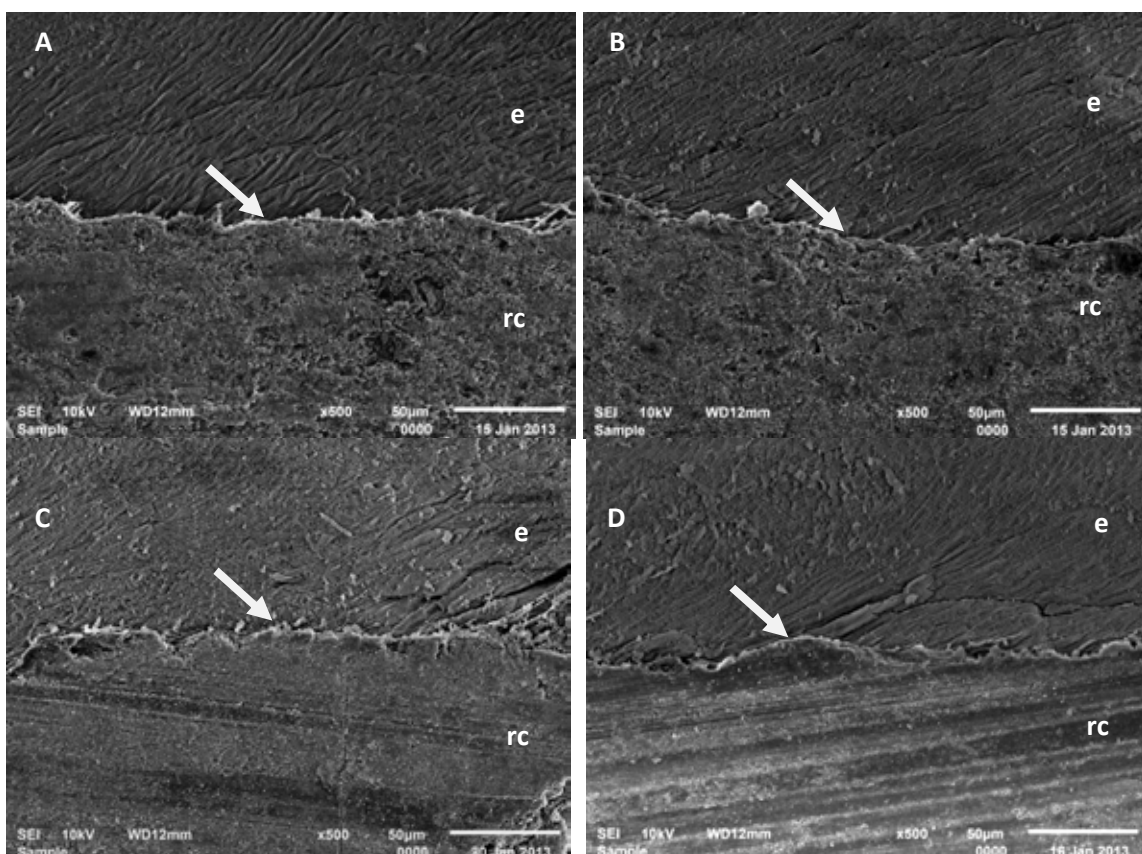
ภาพที่ 11 แสดงระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างก่อนการจำลองการใช้งาน  
 (A) Vertise NT (B) Vertise + OP NT (C) P flow + OP NT (D) Premise + OP NT โดย e =  
 เคลือบฟัน และ d = เนื้อฟัน



ภาพที่ 12 แสดงระดับการแทรกซึมของสีในชิ้นงานตัวอย่างหลังการจำลองการใช้งาน  
 (A) Vertise TH (B) Vertise + OP TH (C) P flow + OP TH (D) Premise + OP TH โดย e =  
 เคลือบฟัน และ d = เนื้อฟัน

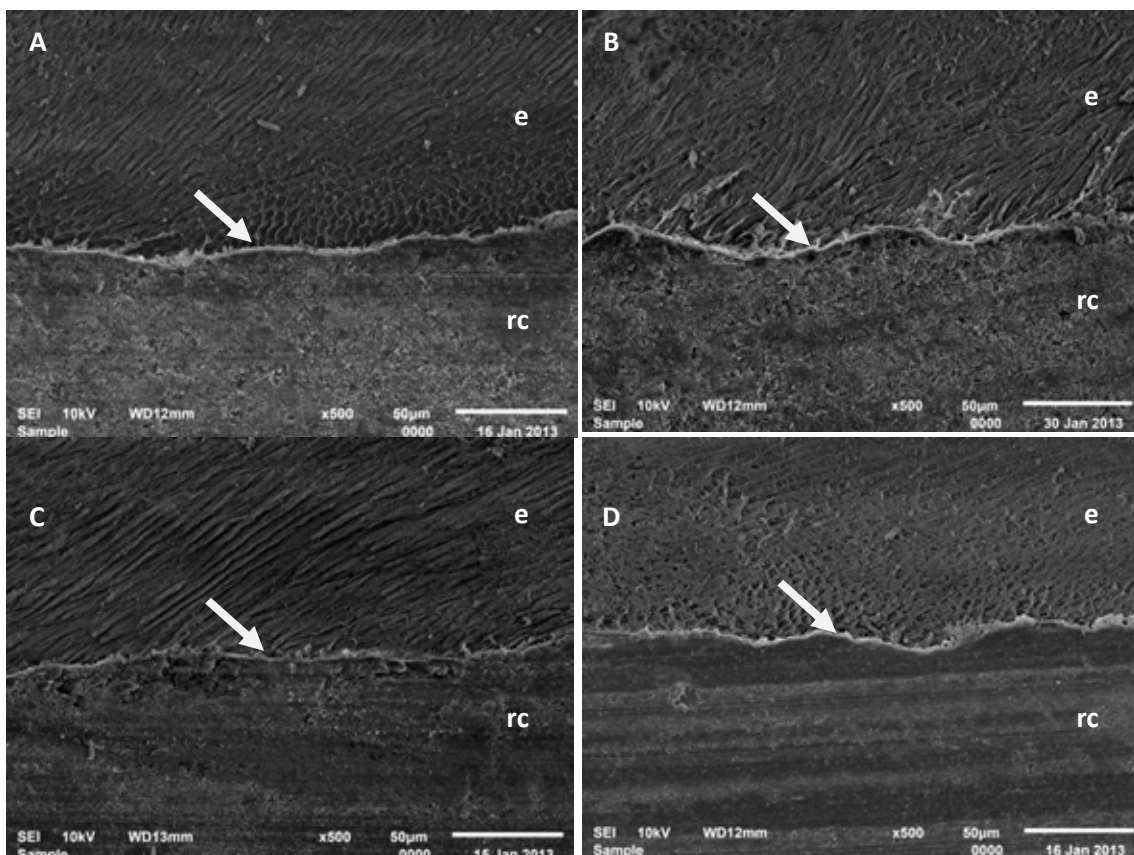
## การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาค

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าที่รอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุทั้ง 4 กลุ่ม (NT และ TH) มีความแนบสนิทบริเวณรอยต่อ โดยพบเรซินแทรกขนาดเล็กรวมทั้งพบชั้นปฏิกริยาบางอย่างเกิดขึ้น (ภาพที่ 13 และ 14)



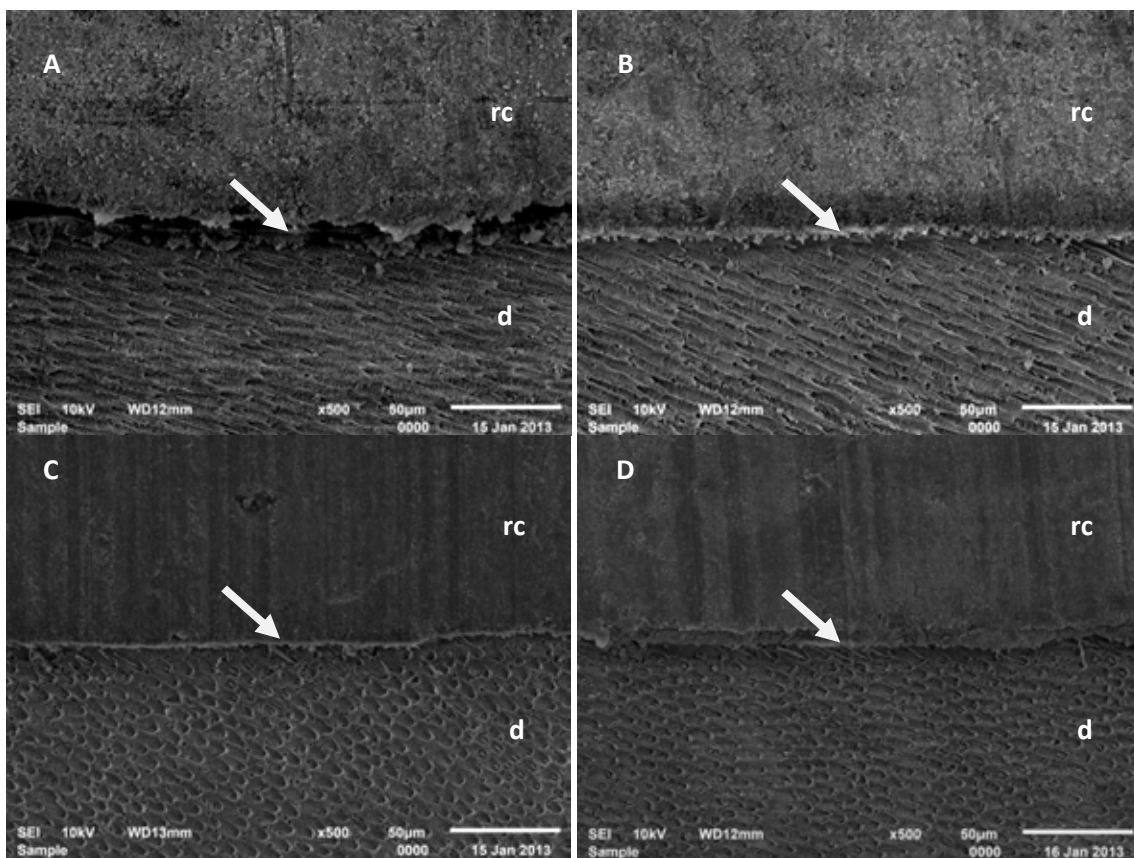
ภาพที่ 13 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุบูรณะก่อนการทำเทอร์โมไซคลิกที่กำลังขยาย 500 เท่า (A) Vertise NT (B) Vertise + OP NT (C) P flow + OP NT (D) Premise + OP NT โดย e = เคลือบฟัน rc = เรซินคอมโพสิต และลูกศรชี้ = รอยต่อเคลือบฟันและเรซินคอมโพสิต



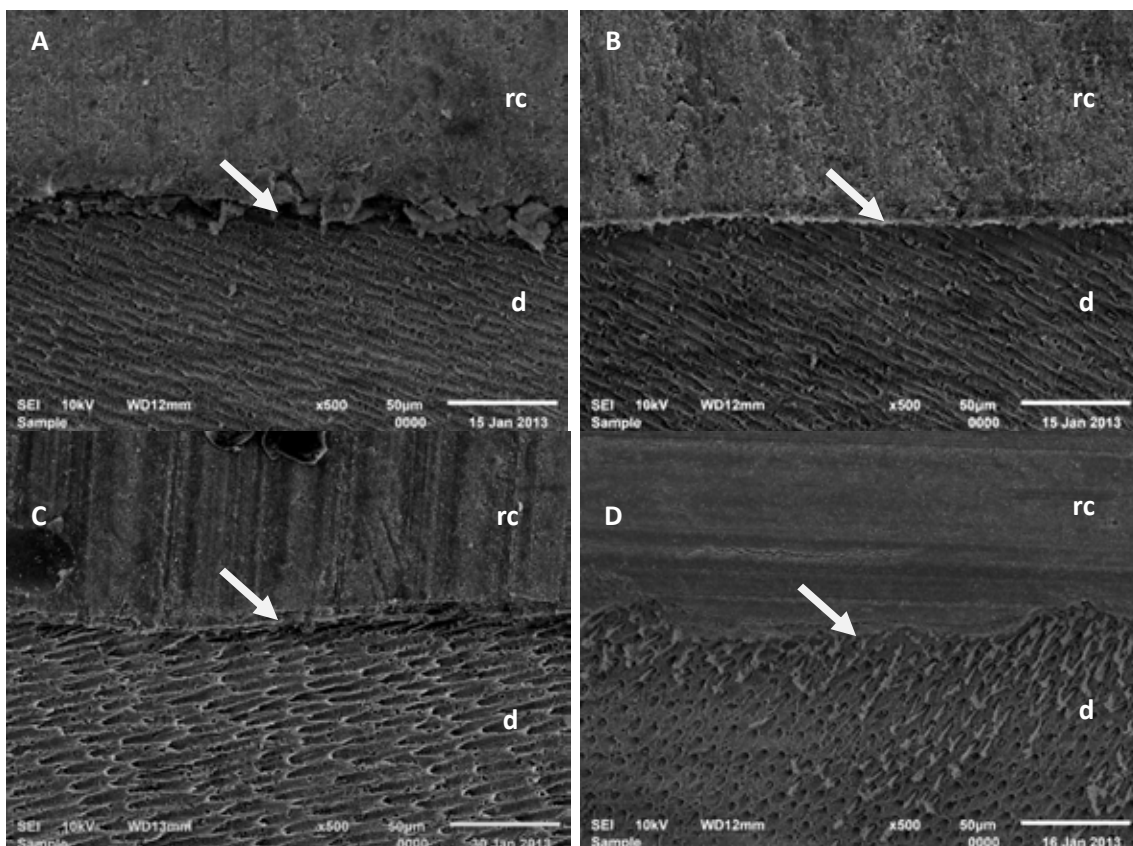


ภาพที่ 14 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซเคิลที่กำลังขยาย 500 เท่า (A) Vertise TH (B) Vertise + OP TH (C) P flow + OP TH (D) Premise + OP TH โดย e = เคลือบฟัน rc = เรซินคอมโพสิต และลูกศรชี้ = รอยต่อเคลือบฟันและเรซินคอมโพสิต

สำหรับรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุในกลุ่ม Vertise (NT และ TH) จะพบช่องว่างขนาดหลายไมครอนระหว่างวัสดุและเนื้อฟัน ขณะที่วัสดุกลุ่มอื่น ๆ มีความแนบสนิทกับขอบเนื้อฟันและพบเรซินแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟัน รวมทั้งพบชั้นปฏิภานบาง ๆ ขึ้นบริเวณรอยต่อ อย่างไรก็ตามก็ดีพบว่าบางตำแหน่งมีช่องขนาดเล็กๆ เกิดขึ้นที่รอยต่อได้ (ภาพที่ 15 และ 16)

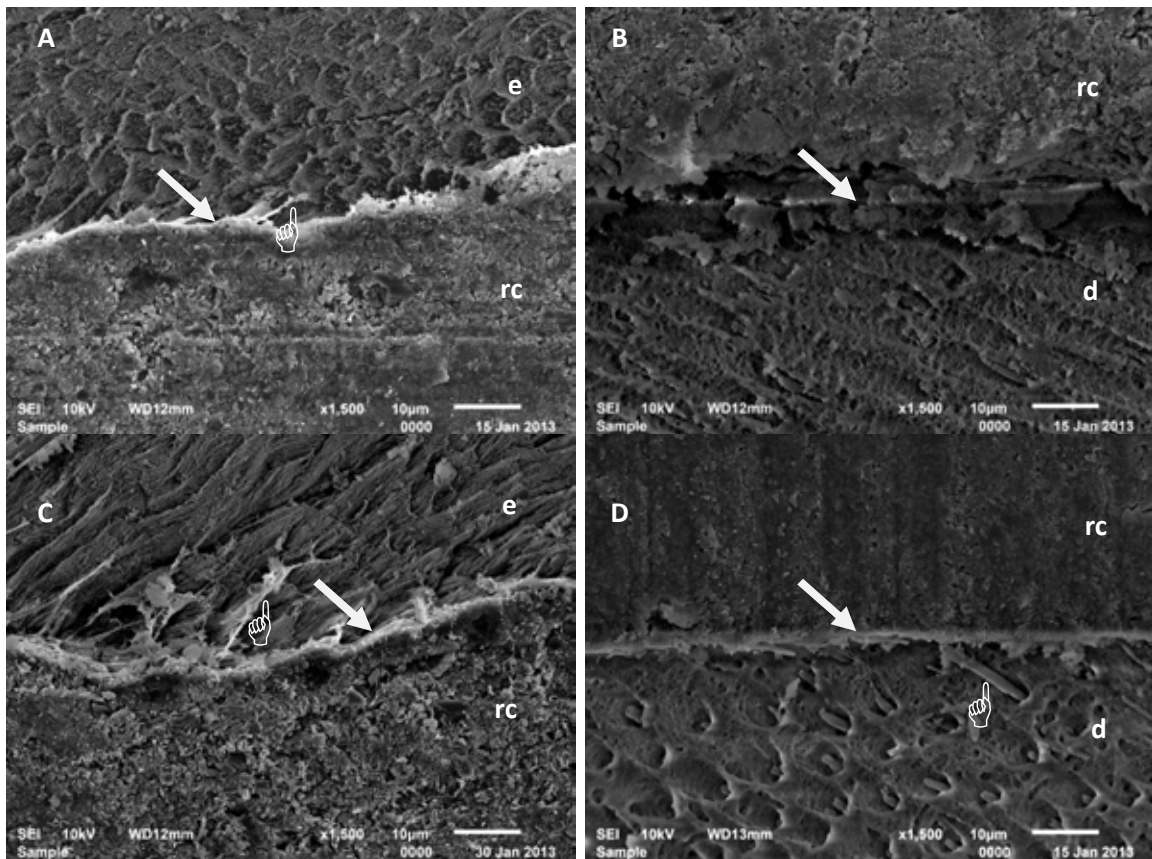


ภาพที่ 15 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะก่อนการทำเทอร์โมไซเคิลที่กำลังขยาย 500 เท่า (A) Vertise NT (B) Vertise + OP NT (C) P flow + OP NT (D) Premise + OP NT โดย rc = เรซินคอมโพสิต d = เนื้อฟัน และลูกศรชี้ = รอยต่อเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต



ภาพที่ 16 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซคลิกที่กำลังขยาย 500 เท่า (A) Vertise TH (B) Vertise + OP TH (C) P flow + OP TH (D) Premise + OP TH โดย rc = เรซินคอมโพสิต d = เนื้อฟัน และลูกศรชี้ = รอยต่อเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต

เมื่อเปรียบเทียบบริเวณรอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะชนิด Vertise และ Vertise + OP ที่กำลังขยายสูงขึ้จะพบว่าที่ขอบเคลือบฟันของวัสดุทั้งสองกลุ่มมีลักษณะใกล้เคียงกันคือมีความแนบสนิทสูง และสามารถพบเรซินแทรกขนาดเล็กลงได้ ขณะที่ขอบเนื้อฟันจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยวัสดุกลุ่ม Vertise จะพบช่องว่างขนาดหลายไมครอนที่รอยต่อเนื้อฟัน แต่วัสดุกลุ่ม Vertise + OP จะมีความแนบสนิทที่รอยต่อและสามารถพบเรซินแทรกจำนวนมากยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นและวัสดุบูรณะหลังการทำเทอร์โมไซคลิกที่กำลังขยาย 1,500 เท่า (A,B) Vertise TH (C,D) Vertise + OP TH โดย e = เคลือบพื้น d = เนื้อพื้น rc = เรซินคอมโพสิต ลูกศรชี้ = รอยต่อเนื้อพื้นและเรซินคอมโพสิต และนิ้วมือชี้ = เรซินแทรก

## บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

### บทวิจารณ์

การพัฒนาของวัสดุเรซินคอมโพสิตและสารบอนด์ดิ้งให้ง่ายต่อการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากเดิมที่มีการลดขั้นตอนในการใช้สารบอนด์ดิ้งลงจนเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเสนอวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดใหม่ที่ไม่ต้องใช้สารบอนด์ดิ้งร่วมในการบ่มที่เรียกว่าวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง<sup>(3)</sup> โดยการศึกษาี้ต้องการประเมินความสามารถในการยึดติดและความแนบสนิทของวัสดุชนิดนี้กับเคลือบฟันและเนื้อฟันเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตตามปกติที่ใช้ร่วมกับสารบอนด์ดิ้ง รวมทั้งการเพิ่มขั้นตอนการใช้สารบอนด์ดิ้งร่วมกับวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองว่าจะมีผลต่อการรั่วซึมหรือไม่ โดยผู้วิจัยเลือกวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบในการศึกษานี้สองชนิด ชนิดแรกคือคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพและมีวิธีการใช้งานเหมือนคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองคือเป็นเรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดต่ำ รวมทั้งมีปริมาณวัสดุอุดแทรกใกล้เคียงกัน และชนิดที่สองคือคอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดสากลที่ใช้ในการบ่มฟัน<sup>(1)</sup> โดยสารบอนด์ดิ้งที่เลือกใช้ในการศึกษานี้คือ Optibond all-in-one เนื่องจากเป็นสารบอนด์ดิ้งระบบเซล์เฟอท์ที่มีการรวมขั้นตอนเหลือน้อยที่สุดเพียงขั้นตอนเดียวซึ่งใกล้เคียงกับวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองที่เกิดจากการรวมขั้นตอนเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน (mild self-etch) และมีสารแอดฮีซีฟมอนอเมอร์ในส่วนประกอบเป็นจีพีดีเอ็ม (GPDM) เหมือนกันอีกด้วย

เนื่องจากสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวในการบ่มฟันด้วยเรซินคอมโพสิตคือการเกิดฟันผุ ซึ่งเกิดจากการรั่วซึมตามขอบทำให้เกิดช่องทางที่แบคทีเรียสามารถเข้าสู่โครงสร้างฟันได้<sup>(94)</sup> การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคเพื่อประเมินความแนบสนิทของวัสดุเรซินคอมโพสิตกับฟันจึงมีส่วนช่วยในการทำนายความสำเร็จในการบ่มฟันได้<sup>(95)</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาพบว่าผลการรั่วซึมระดับจุลภาคทางห้องปฏิบัติการอาจไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลที่เกิดทางคลินิก เนื่องจากการทดลองในห้องปฏิบัติการจะเป็นการจำลองสถานการณ์ให้เกิดการรั่วซึมสูงสุดซึ่งอาจไม่เกิดขึ้นจริงในสิ่งมีชีวิต<sup>(70)</sup> รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ที่การทดสอบทางห้องปฏิบัติการไม่สามารถจำลองขึ้นได้พร้อมกันทั้งหมด เช่น แรงบดเคี้ยว ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเป็นกรดในช่องปาก รวมถึงพฤติกรรมารรับประทานและการใช้งานนอกหน้าที่ (parafunction habit) ของ

ผู้ปวย<sup>(95)</sup> อย่างไรก็ตามก็ตีการศึกษาการร่วซึมระดับจุลภาคทางห้องปฏิบัติการยังคงเป็นข้อมูลพื้นฐานในการช่วยตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ รวมทั้งเป็นประโยชน์ในแง่การวิจัยและพัฒนาความรู้ต่อไปในอนาคต<sup>(69)</sup> โดยในการศึกษานี้ได้ออกแบบการทดสอบในโพรงฟันคลาสไฟว์ซึ่งสามารถให้ข้อมูลการร่วซึมทั้งที่ขอบเคลือบฟันและเนื้อฟัน และในการศึกษานี้ผู้วิจัยเลือกใช้การทดสอบการร่วซึมระดับจุลภาคโดยการย้อมด้วยสารเมทิลีนบลูซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.68 นาโนเมตร และมีน้ำหนักโมเลกุล 319 กรัมต่อโมล ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียโดยทั่วไปที่มีขนาดประมาณ 0.5-1 ไมครอน<sup>(49)</sup> โดยข้อดีของวิธีนี้คือสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อย ไม่มีสารเคมีที่เป็นอันตราย ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อน และสามารถบันทึกภาพเพื่อวิเคราะห์หรือประเมินซ้ำได้<sup>(38)</sup> อย่างไรก็ตามข้อจำกัดหลักของวิธีนี้คือการที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งการแทรกซึมของสีที่มากที่สุดได้ และไม่สามารถแสดงการร่วซึมที่เกิดขึ้นจริงในสามมิติได้<sup>(4, 73)</sup> โดยในการศึกษานี้ได้ทำการตัดฟันตัวอย่างให้ได้ชิ้นงานตัวอย่าง 3 ชิ้นตามคำแนะนำของ Raskin และคณะ (2003) ซึ่งจะสามารถประเมินระดับการแทรกซึมที่ขอบเคลือบฟัน 6 ตำแหน่ง และขอบเนื้อฟัน 6 ตำแหน่งเพื่อเป็นตัวแทนของการร่วซึมในฟัน 1 ซี่ ซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดในการประเมินที่ต่ำกว่าความเป็นจริงได้<sup>(69)</sup> สำหรับวิธีการประเมินการร่วซึมด้วยระบบคะแนนตัวเลขที่ใช้ในการศึกษานี้จะแบ่งระดับการร่วซึมออกเป็น 4 ระดับเพื่อให้สะดวกต่อการประเมินและลดปัญหากรณีที่มีการแทรกซึมของสีในบริเวณที่เป็นขอบมุมหรือเกิดการแทรกซึมของสีเชื่อมตลอดรอยต่อระหว่างวัสดุและฟัน นอกจากนี้ยังใช้การประเมินด้วยเทคนิคการปกปิด (blind technique) ที่ผู้ประเมินไม่ทราบว่ชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในกลุ่มใดเพื่อลดความลำเอียง (bias) ที่อาจเกิดขึ้น และในการศึกษานี้อาศัยความถี่ฐานการแทรกซึมในฟันแต่ละซี่เป็นตัวแทนระดับการแทรกซึมที่จะนำไปคำนวณทางสถิติซึ่งเป็นวิธีการโดยทั่วไปที่ใช้ในการศึกษาการร่วซึมระดับจุลภาค<sup>(35, 51, 74, 92)</sup> อย่างไรก็ตามก็ตีวิธีดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดในการเป็นตัวแทนการร่วซึมของฟันในกรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างมีการร่วซึมสูงมากหรือต่ำมากเพียงตำแหน่งเดียวได้

เป็นที่ทราบดีว่าเสถียรภาพในการยึดติดของสารยึดติดจะเกิดการเสื่อมลงเมื่อเวลาผ่านไป และเกิดการร่วซึมระดับจุลภาคเพิ่มขึ้นภายหลังการบูรณะไปแล้ว จากการศึกษาที่วัสดุเรซินมีการดูดน้ำจากสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการบวมตัวละลายตัว และเกิดการสลายตัวจากน้ำ (hydrolysis)<sup>(30)</sup> รวมทั้งผลจากการสะสมความเค้นบริเวณรอยต่อของวัสดุกับฟันจากการใช้งานในช่องปากที่มีแรงบิดเคี้ยวหรือมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากเครื่องดื่มและอาหารที่รับประทานเข้าไป<sup>(41)</sup> ดังนั้นการศึกษาระดับจุลภาคทางห้องปฏิบัติการจึงควรมีการจำลองการใช้งานร่วมด้วย โดยวิธีการที่ใช้ในการศึกษานี้คือการทำให้เทอร์โมไซคลิกซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งเนื่องจากความ

สะดวกและใช้เวลาไม่นาน โดยการศึกษาที่กำหนดจำนวนรอบการทำเทอร์โมไซคลิกที่ 1,000 รอบ ในน้ำระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55°C โดยแช่ในน้ำเป็นเวลา 30 วินาที<sup>(75)</sup> ซึ่งมากกว่าค่าที่องค์การมาตรฐานสากล (ISO) กำหนดไว้ที่ 500 รอบ โดยแช่ในน้ำอย่างน้อย 20 วินาที (ISO/TS 11405:2003(E))

ในการศึกษานี้พบว่าผลการร่วซึมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการจำลองการใช้งานของวัสดุทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความสามารถในการยึดติดและความแนบสนิทของวัสดุกับพื้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการทำเทอร์โมไซคลิก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่เกิดขึ้นอาจยกต่อการนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นเนื่องจากผลของการทำเทอร์โมไซคลิกจะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับจำนวนรอบที่ทำ ตำแหน่งของพื้น (เคลือบพื้นหรือเนื้อพื้น) และชนิดของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ศึกษา<sup>(77)</sup> โดยจากการศึกษาของ Hakimah และคณะ (2000) พบว่าจำนวนรอบที่ทำเทอร์โมไซคลิกมีผลต่อการร่วซึมที่เพิ่มขึ้น<sup>(41)</sup> ขณะที่บางการศึกษาพบว่าจำนวนรอบที่ทำไม่มีผลต่อการร่วซึม<sup>(77, 87)</sup> นอกจากนี้จากการศึกษาของ Wahab และคณะ (2003) พบว่าที่ขอบเนื้อพื้นจะได้รับผลกระทบจากการทำมากกว่าที่ขอบเคลือบพื้น เนื่องจากเนื้อพื้นมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตที่ต่ำกว่า รวมทั้งความแตกต่างของสัมประสิทธิ์ การขยายตัวจากความร้อนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเนื้อพื้นที่ทำมากกว่าเรซินคอมโพสิตกับเคลือบพื้น ทำให้เกิดการร่วซึมที่เนื้อพื้นหลังการทำเทอร์โมไซคลิกได้มากกว่า<sup>(51)</sup> สำหรับชนิดของเรซินคอมโพสิตพบว่าวัสดุอัดแทรกจะมีส่วนช่วยลดความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์ การขยายตัวจากความร้อนระหว่างพื้นและเรซินคอมโพสิตได้ซึ่งจะช่วยลดผลของการทำเทอร์โมไซคลิกต่อการร่วซึม นอกจากนี้อัตราการขยายตัวจากการดูน้ำของเรซินคอมโพสิตขณะทำเทอร์โมไซคลิกก็มีผลต่อกำลังแรงยึดและปริมาณการร่วซึมระดับจุลภาคได้เช่นกัน<sup>(51)</sup>

ในการศึกษานี้พบว่าผลการร่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบพื้นของวัสดุทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นงานตัวอย่างเกือบทั้งหมดไม่พบการแทรกซึมของสีเลยหรือเกิดการแทรกซึมของสีภายในชั้นเคลือบพื้นเท่านั้น ซึ่งให้ผลลัพธ์คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Rengo และคณะ (2012) ที่พบว่าคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีประสิทธิภาพในการป้องกันการร่วซึมที่รอยต่อระหว่างวัสดุกับเคลือบพื้นได้เทียบเท่าการใช้คอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งระบบเซล์เฟอซ<sup>(35)</sup> โดยผลที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของพันธะที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเคลือบพื้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คอมโพสิตชนิดไฮลแอนด์แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิ้งระบบเซล์เฟอซ<sup>(34)</sup> และการศึกษาของ Chimello และคณะ

(2002) ที่พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันหลังบูรณะด้วยคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมและเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด<sup>(96)</sup> โดยในการศึกษานี้ยังชี้ว่าการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดึงชนิดคอลอินวันไม่มีผลต่อการรั่วซึมที่ขอบเคลือบฟัน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพในการยึดติดและการป้องกันการรั่วซึมของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองต่อเคลือบฟันที่ใกล้เคียงกับการใช้สารบอนด์ดึงอยู่แล้ว ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกกัดบริเวณผิวเคลือบฟันก่อนการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเอง แต่จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองหลังการใช้กรดกัดแม้จะมีค่าสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่ใช้กรดกัด นอกจากนี้ผลการรั่วซึมระดับจุลภาคก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน<sup>(34, 35)</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นการทดลองกับเคลือบฟันที่ผ่านการกรอตัดมาแล้ว สำหรับประสิทธิภาพในการยึดติดกับเคลือบฟันที่ยังไม่ผ่านการกรอซึ่งไม่มีลักษณะปริซึม (aprismatic enamel) ที่โดยทั่วไปสารบอนด์ดึงระบบเซล์ฟเอทซ์ชนิดอ่อน (mild self-etch) จะไม่สามารถกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพอาจให้ผลที่แตกต่างออกไปได้ซึ่งจำเป็นต้องติดตามการศึกษาต่อไป

สำหรับบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองพบว่าการรั่วซึมระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ในการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งก่อนและหลังการจำลองการใช้งาน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงพันธะของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับเนื้อฟันที่น้อยกว่าการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดึงระบบเซล์ฟเอทซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(34)</sup> อย่างไรก็ตามผลการรั่วซึมระดับจุลภาคในการศึกษานี้มีความแตกต่างจากการศึกษาของ Rengo และคณะ (2012) ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการรั่วซึมที่ขอบเนื้อฟันระหว่างการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองและการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดึงระบบเซล์ฟเอทซ์ซึ่งพบการรั่วซึมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น<sup>(35)</sup> ในขณะที่การศึกษานี้พบว่าชิ้นงานตัวอย่างส่วนใหญ่จะเกิดการรั่วซึมถึงผนังด้านโพรงประสาทฟัน ซึ่งประสิทธิภาพการยึดติดของคอมโพสิตชนิดไหลแห้งได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับเนื้อฟันที่จำกัดอาจเกิดจากการที่วัสดุมีความสามารถในการไหลแห้งที่ผิวเนื้อฟันต่ำเนื่องจากวัสดุมีความหนืดสูงกว่าสารบอนด์ดึงมากจึงทำให้การแทรกซึมของสารเข้าไปในโครงสร้างฟันเกิดขึ้นอย่างจำกัด<sup>(34)</sup> รวมทั้งวัสดุชนิดนี้มีปริมาณวัสดุอัดแทรกโดยปริมาตรต่ำจึงเกิดการหดตัวและเกิดความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสูงทำให้ค่าความแข็งแรงพันธะที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะต้านทานความเค้นจากการหดตัวของวัสดุได้<sup>(5)</sup> โดยการใช้สารบอนด์ดึงร่วมกับคอม



โพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะช่วยลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการบูรณะด้วยวิธีนี้วัสดุดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นเหมือนวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตตามปกติที่ต้องใช้ร่วมกับสารบอนด์ดิ้งนั่นเอง

สำหรับลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบที่มีความสัมพันธ์กับการรั่วซึมระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นกล่าวคือที่รอยต่อระหว่างเคลือบฟันและวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีความแนบสนิทสูง โดยมีการแทรกซึมของวัสดุเข้าไปตามรอยแยกจากการรอตัดด้วยเข็มกรอและพบชั้นปฏิกิริยาบางอย่างที่บริเวณรอยต่อชั้นขณะที่วัสดุกลุ่มอื่นซึ่งมีการใช้สารบอนด์ดิ้งร่วมในขั้นตอนการบูรณะก็มีความแนบสนิทที่รอยต่อเคลือบฟันเช่นกัน ซึ่งภาพที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ตรงกับผลของการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ไม่มีการแทรกซึมของสีหรือมีการแทรกซึมของสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และที่บริเวณรอยต่อของวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองกับเนื้อฟันด้านผนังโพรงประสาทฟันจะมีช่องว่างขนาดหลายไมครอนเกิดขึ้น ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการรั่วซึมระดับจุลภาคที่มีการรั่วซึมส่วนใหญ่ที่ระดับ 4 ในขณะที่บริเวณรอยต่อของสามกลุ่มที่เหลือพบว่าวัสดุมีความแนบสนิทกับเนื้อฟันโดยพบชั้นไฮบริดบางๆ และพบเรซินแตกจำนวนมากยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟัน โดยชั้นไฮบริดที่บางและไม่ชัดเจนคาดว่าเกิดจากการที่สารบอนด์ดิ้งที่ใช้เป็นชนิดกรดอ่อนทำให้ความสามารถในการแทรกซึมผ่านชั้นเสมีร์มีจำกัด ซึ่งโดยทั่วไปกรณีที่ชั้นไฮบริดที่มีความหนาต่ำกว่าไมครอนอาจต้องทำการตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่ผ่านการย้อมสีชิ้นงานแล้วเท่านั้น<sup>(93)</sup> และการที่ไม่พบชั้นบอนด์ดิ้งอาจเนื่องจากสารบอนด์ดิ้งที่ใช้เป็นแบบรวมขั้นตอนเหลือขั้นตอนเดียวซึ่งไม่มีการทาสารเรซินแอตซีซีฟแยก รวมทั้งข้อแนะนำในการใช้งานที่ให้เป่าด้วยลมแรงที่สุดเป็นเวลา 5 วินาทีจึงทำให้ชั้นดังกล่าวมีขนาดบางมากจนไม่สามารถแยกออกได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการศึกษานี้พบว่าชิ้นงานตัวอย่างบางชิ้นจะมีบางตำแหน่งของรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟันที่แยกออกจากกันเป็นช่องว่างเล็กๆ ซึ่งอาจสืบสันได้ว่าเป็นช่องที่เกิดจากการรั่วซึมระดับจุลภาคหรือเป็นข้อผิดพลาดจากการเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเช่นขั้นตอนการตัดชิ้นงาน การไล่น้ำให้วัสดุแห้ง รวมทั้งการเก็บชิ้นงานที่แห้งจนเกิดเป็นรอยร้าวภายในชิ้นงานขึ้นได้ เป็นต้น<sup>(93)</sup>

สำหรับการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมเป็นวัสดุบูรณะในช่องปากนั้นยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน แม้ว่าผลการรั่วซึมระดับจุลภาคในการศึกษานี้จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แต่ในการใช้งานทางคลินิกก็มีความจำเป็นต้องประเมินคุณสมบัติหลายๆประการร่วมกัน เนื่องจากวัสดุ

ชนิดนี้ถูกออกแบบให้มีความเหนียวลดลงจากการลดปริมาณวัสดุอัดแทรกจึงทำให้คุณสมบัติทางกล โดยทั่วไป เช่น ความทนแรงอัด (compressive strength) ความทนแรงดึง (tensile strength) และความทนแรงดัด (flexure strength) มีค่าต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(29)</sup> และจากการศึกษาของ Bonilla และคณะ (2012) ที่ทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคในห้องปฏิบัติการของคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ในท้องตลาด 9 ผลิตภัณฑ์เมื่อใช้เป็นวัสดุบูรณะในโพรงฟันคลาสวันขนาดเล็กพบว่าทุกผลิตภัณฑ์เกิดการรั่วซึมสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด รวมทั้งพบฟองอากาศภายในชิ้นงานที่บูรณะมากถึง 56% จากชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด<sup>(97)</sup> ดังนั้นการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้เป็นวัสดุบูรณะจะต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่รับแรงบดเคี้ยวให้ดี โดยหลีกเลี่ยงการใช้งานในบริเวณที่ต้องรับแรงสูง รวมทั้งควรติดตามผลการศึกษาทางคลินิกในระยะยาวก่อนนำไปใช้จริงกับผู้ป่วย<sup>(97)</sup> ขณะที่การใช้วัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ซึ่งมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำเป็นชั้นบัฟเฟอร์ก่อนการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตตามแนวคิดผนังยืดหยุ่น (elastic wall concept)<sup>(98)</sup> เพื่อลดความเครียดบริเวณรอยต่อของวัสดุกับฟันนั้นยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนถึงประสิทธิภาพในการลดการรั่วซึมระดับจุลภาค โดยมีทั้งการศึกษาที่สนับสนุนการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้เป็นวัสดุรองพื้นเพื่อลดการรั่วซึมระดับจุลภาค<sup>(84)</sup> และการศึกษาที่บ่งชี้ว่าไม่มีความแตกต่างของการรั่วซึมจากการใช้และไม่ใช้คอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ก่อนการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด<sup>(99)</sup>

สำหรับคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจากการศึกษานี้พบว่ามีความแนบสนิทที่ขอบเคลือบฟันในระดับที่ยอมรับได้ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดไฮบริด แต่เกิดการรั่วซึมสูงที่ขอบเนื้อฟันซึ่งการใช้สารบอนด์ติ่งร่วมในการบูรณะจะสามารถลดการรั่วซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่การจำลองการใช้งานที่กำหนดในการศึกษาไม่มีผลต่อการรั่วซึมของวัสดุ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าคอมโพสิตชนิดไหลแม่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการดูดน้ำและการละลายตัวสูงซึ่งเชื่อว่าการที่มีปริมาณเรซินมอนอเมอร์สูงและมีมอนอเมอร์ที่ขอบน้ำอยู่ในส่วนประกอบ ซึ่งอาจส่งผลต่อเสถียรภาพในระยะยาวได้ เช่น เกิดการบวมตัวและการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุ การเสื่อมของความแข็งแรงพันธะทำให้เกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคเพิ่มขึ้นและเกิดการหลุดออกของวัสดุได้<sup>(30)</sup> เนื่องจากวัสดุชนิดนี้ยังเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่ยังมีรายงานการศึกษาน้อยมากจึงสมควรให้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆที่มีข้อมูลเพียงพอในการประกอบการตัดสินใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งรายงานผลการศึกษาทางคลินิกในระยะยาวก่อนที่จะนำไปใช้จริงกับผู้ป่วย

## ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้พบว่าการทำเทอร์โมไซคลิกที่จำนวน 1,000 รอบ ไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาค สำหรับการศึกษากำลองการใช้งานในอนาคตอาจกำหนดจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนการจำลองการใช้งานเป็นวิธีอื่นเช่น การแช่ในน้ำเป็นระยะเวลาสั้น เป็นต้น

2. การศึกษานี้ทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งสามารถตรวจสอบพื้นผิวระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อของวัสดุและฟันได้ อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวจะพบเพียงชั้นไฮบริดบางๆที่ไม่ชัดเจนนักและไม่สามารถอธิบายลักษณะของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน แต่ด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณวิจัยทำให้ไม่สามารถทำได้

3. จากผลการศึกษานี้พบว่าการใช้สารบอนด์ติดร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะสามารถลดการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเนื้อฟันได้ ซึ่งอาจทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะของคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเมื่อใช้ร่วมกับสารบอนด์ติดเปรียบเทียบกับเมื่อไม่ใช้ว่ามีผลอย่างไรและผลที่ได้สนับสนุนผลการรั่วซึมระดับจุลภาคในการศึกษานี้หรือไม่

4. เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองเพียงมีการนำเสนอนั้นไม่นาน ดังนั้นข้อมูลด้านคุณสมบัติต่างๆของวัสดุจึงมีจำกัด โดยการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถใช้ตัดสินว่าวัสดุชนิดนี้เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ ซึ่งยังมีคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุที่ต้องทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป เช่น การต้านทานต่อการสี, การดูน้ำและการละลายตัว, ความเรียบหลังการขัดแต่ง, ความแข็งผิว และโมดูลัสยืดหยุ่น เป็นต้น และสิ่งสำคัญคือการทดสอบทางคลินิกในแง่อายุการใช้งานและผลข้างเคียง เช่นอาการเสียวฟันหลังบูรณะ เป็นต้น

## สรุป

คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเคลือบฟันทั้งก่อนและหลังการจำลองการใช้งานไม่แตกต่างจากการใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองร่วมกับสารบอนด์ดิงชนิดอออลอินวัน การใช้คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบดั้งเดิมร่วมกับสารบอนด์ดิงชนิดอออลอินวัน และการใช้คอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริดร่วมกับสารบอนด์ดิงชนิดอออลอินวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองมีการรั่วซึมระดับจุลภาคที่ขอบเนื้อฟันทั้งก่อนและหลังการจำลองการใช้งานสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารบอนด์ดิงชนิดอออลอินวันร่วมกับคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ยึดได้ด้วยตัวเองจะสามารถลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้ ขณะที่การทำเทอร์โมไซคลิงไม่มีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## รายการอ้างอิง

- (1) Ferracane, J. L. Resin composite—State of the art. Dent Mater 27 (2011): 29-38.
- (2) Chen, M. H. Update on dental nanocomposites. J Dent Res 89 (2010): 549-60.
- (3) Hanabusa, M., Mine, A., Kuboki, T., Momoi, Y., Van Landuyt, K. L., Van Meerbeek, B., et al. TEM interfacial characterization of an experimental self-adhesive filling material bonded to enamel/dentin. Dent Mater 27 (2011): 818-24.
- (4) Taylor, M., and Lynch, E. Review microleakage. J Dent 20 (1992): 3-10.
- (5) Puckett, A., and Smith, R. Method to measure the polymerization shrinkage of light-cured composites. J Prosthet Dent 68 (1992): 56-8.
- (6) Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. Oper Dent 28 (2003): 215-35.
- (7) Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Yoshida, Y., Mine, A., De Munck, J., and Van Landuyt, K. L. State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater 27 (2011): 17-28.
- (8) De Munck, J., Van Meerbeek, B., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Suzuki, K., et al. Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. J Dent Res 82 (2003): 136-40.
- (9) Pereira, G., Paulillo, L., De Goes, M., and Dias, C. How wet should dentin be? Comparison of methods to remove excess water during moist bonding. J Adhes Dent 3 (2001): 257-64.
- (10) Van Landuyt, K. L., Mine, A., De Munck, J., Coutinho, E., Peumans, M., Jaecques, S., et al. Technique sensitivity of water-free one-step adhesives. Dent mater 24 (2008): 1258-67.
- (11) Takahashi, M., Nakajima, M., Hosaka, K., Ikeda, M., Foxton, R. M., and Tagami, J. Long-term evaluation of water sorption and ultimate tensile strength of HEMA-containing/-free one-step self-etch adhesives. J Dent 39 (2011): 506-12.

- (12) Grégoire, G., Dabsie, F., Dieng-Sarr, F., Akon, B., and Sharrock, P. Solvent composition of one-step self-etch adhesives and dentine wettability. J Dent 39 (2011): 30-9.
- (13) Van Landuyt, K. L., Snauwaert, J., Peumans, M., De Munck, J., Lambrechts, P., and Van meerbeek, B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. Dent Mater 24 (2008): 1412-9.
- (14) Van Landuyt, K. L., De Munck, J., Snauwaert, J., Coutinho, E., Poitevin, A., Yoshida, Y., et al. Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. J Dent Res 84 (2005): 183-8.
- (15) Frankenberger, R., and Tay, F. R. Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. Dent mater 21(2005): 397-412.
- (16) Pashley, D. H., and Tay, F. R. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. Dent Mater 17 (2001): 430-44.
- (17) Van Landuyt, K. L., Peumans, M., De Munck, J., Lambrechts, P., and Van Meerbeek, B. Extension of a one-step self-etch adhesive into a multi-step adhesive. Dent Mater 22 (2006): 533-44.
- (18) Tay, F. R., and Pashley, D. H. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. Dent Mater 17 (2001): 296-308.
- (19) Ito, S., Hoshino, T., Iijima, M., Tsukamoto, N., Pashley, D. H., and Saito, T. Water sorption/solubility of self-etching dentin bonding agents. Dent Mater 26 (2010): 617-26.
- (20) Sadek, F., Goracci, C., Cardoso, P., Tay, F. R., and Ferrari, M. Microtensile bond strength of current dentin adhesives measured immediately and 24 hours after application. J Adhes Dent 7 (2005): 297-302.

- (21) Chersoni, S., Suppa, P., Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Yiu, C., et al. In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. J Dent Res 83 (2004): 459-64.
- (22) Tay, F. R., Frankenberger, R., Krejci, I., Bouillaguet, S., Pashley, D. H., Carvalho, R., et al. Single-bottle adhesives behave as permeable membranes after polymerization. I. In vivo evidence. J Dent 32 (2004): 611-21.
- (23) Pashley, D.H., and Tay, F. R. Have dentin adhesives become too hydrophilic? J Can Dent Assoc 69 (2003): 726-31.
- (24) Peumans, M., Kanumilli, P., De Munck, J., Van Landuyt, K. L., Lambrechts, P., and Van Meerbeek, B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. Dent Mater 21 (2005): 864-81.
- (25) Hammouda, I., and Al-Wakee, I. Effect of water storage on fluoride release and mechanical properties of a polyacid-modified composite resin (compomer). J Biomed Res 25 (2011): 254-8.
- (26) Van Landuyt, K. L., Peumans, M., Fieuws, S., De Munck, J., Cardoso, M. V., Ermis, R. B., et al. A randomized controlled clinical trial of a HEMA-free all-in-one adhesive in non-carious cervical lesions at 1 year. J Dent 36 (2008): 847-55.
- (27) Kubo, S., Yokota, H., and Hayashi, Y. Two-year clinical evaluation of one-step self-etch systems in non-carious cervical lesions. J Dent 37 (2009): 149-55.
- (28) Brackett, M., Dib, A., Franco, G., Estrada, B., and Brackett, W. Two-year clinical performance of Clearfil SE and Clearfil S3 in restoration of unabraded non-carious class V lesions. Oper Dent 35 (2010): 273-8.
- (29) Bayne, S., Thompson, J., Swift, E., Stamatiades, P., and Wilkerson, M. A characterization of first-generation flowable composites. J Am Dent Assoc 129 (1998): 567-77.
- (30) Wei, Y., Silikas, N., Zhang, Z., and Watts, D. C. Diffusion and concurrent solubility of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. Dent Mater 27 (2011): 197-205.

- (31) Moszner, N., Salz, U., and Zimmermann, J. Chemical aspects of self-etching enamel–dentin adhesives: A systematic review. Dent Mater 21 (2005): 895-910.
- (32) De Munck, J. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater 20 (2004): 963-71.
- (33) Ferrari, M., Pacifici, E., Giovannetti, A., Goracci, C., Vichi, A., and Polimeni, A. Shear-bond strength of a new restorative material to primary dentin. Dent Mater 26 (2010): e14-5.
- (34) Juloski, J., Goracci, C., Rengo, C., Giovannetti, A., Vichi, A., Vulicevic, Z., et al. Enamel and dentin bond strength of new simplified adhesive materials with and without preliminary phosphoric acid-etching. Am J Dent 25 (2012): 239-43.
- (35) Rengo, C., Goracci, C., Juloski, J., Giovannetti, A., Vichi, A., and Ferrari, M. Influence of phosphoric acid etching on microleakage of a self-etch adhesive and a self-adhering composite. Aust Dent J 57 (2012): 220-6.
- (36) Wei, Y., Silikas, N., Zhang, Z., and Watts, D. C. Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. Dent Mater 27 (2011): 259-66.
- (37) Kidd, E. Microleakage: a review. J Dent 4 (1976): 199-205.
- (38) Alani, A., and Toh, C. Detection of microleakage around dental restorations: A review. Oper Dent 22 (1997): 173-85.
- (39) Fleming, G., Hall, D., Shortall, A., and Burke, F. Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with posterior filling materials of varying reported volumetric shrinkage values. J Dent 33 (2005): 139-46.
- (40) Kidd, E., Joyston-Bechal, S., and Beighton, D. Marginal ditching and staining as a predictor of secondary caries around amalgam restorations: a clinical and microbiological study. J Dent Res 74 (1995): 1206-11.
- (41) Hakimeh, S., Vaidyanathan, J., Houpt, M., Vaidyanathan, T., and Hagen, S. Microleakage of compomer Class V restorations: Effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. J Prosthet Dent 83 (2000): 194-203.



- (42) Calheiros, F., Sadek, F., Braga, R., and Cardoso, P. Polymerization contraction stress of low-shrinkage composites and its correlation with microleakage in class V restorations. J Dent 32 (2004): 407-12.
- (43) Sideridou, I., Achilias, D., and Kyrikou, E. Thermal expansion characteristics of light-cured dental resins and resin composites. Biomaterials 25 (2004): 3087-97.
- (44) Loguercio, A., Roberto de Oliveira Bauer, J., Reis, A., and Miranda Grande, R. In vitro microleakage of packable composites in Class II restorations. Quintessence Int 35 (2004): 29-34.
- (45) Chen, H., Manhart, J., Hickel, R., and Kunzelmann, K. Polymerization contraction stresses in light-cured packable composite resins. Dent Mater 17 (2001): 253-9.
- (46) Labella, R., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B., and Vanherle, G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. Dent Mater 15 (1999): 128-37.
- (47) Braga, R., and Ferracane, J. Alternatives in polymerization contraction stress management. Crit Rev Oral Biol Med 15 (2004): 176-84.
- (48) Versluis, A., Douglas, W. H., Cross, M., and Sakaguchi, R. L. Does an Incremental Filling Technique Reduce Polymerization Shrinkage Stresses? J Dent Res 75 (1996): 871-8.
- (49) Senawongse, P., Pongprueksa, P., and Tagami, J. The effect of the elastic modulus of low-viscosity resins on the microleakage of Class V resin composite restorations under occlusal loading. Dent Mater 29 (2010): 324-9.
- (50) Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., et al. Adhesion to enamel and dentine: current status and future challenges. Oper Dent 28 (2003): 215-35.
- (51) Wahab, F., Shaini, F., and Morgano, S. The effect of thermocycling on microleakage of several commercially available composite Class V restorations in vitro. J Prosthet Dent 90 (2003): 168-74.
- (52) Bullard, R., Leinfelder, K., and Russell, C. Effect of coefficient of thermal expansion on microleakage. J Am Dent Assoc 116 (1988): 871-4.

- (53) Ruttermann, S., Kruger, S., Raab, W., and Janda, R. Polymerization shrinkage and hygroscopic expansion of contemporary posterior resin-based filling materials— A comparative study. J Dent 35 (2007): 806-13.
- (54) Martin, N., Jedyakiewicz, N., and Fisher, A. Hygroscopic expansion and solubility of composite restoratives. Dent Mater 19 (2003): 77-86.
- (55) Versluis, A., Tantbirojn, D., Lee, M. S., Tu, L. S., and DeLong, R. Can hygroscopic expansion compensate polymerization shrinkage? Part I. Deformation of restored teeth. Dent Mater 27 (2011): 126-33.
- (56) Borem, L., and Feigal, R. Reducing microleakage of sealants under salivary contamination: digital-image analysis evaluation. Quintessence Int 25 (1994): 283-9.
- (57) Elizabeth, S. K., and Manjunath, M. Association between microtensile bond strength and microleakage at the resin based composite/dentin interface - an in vitro study. J Conserv Dent 10 (2007): 134-40.
- (58) Retief, D., Mandras, R., and Russell, C. Shear bond strength required to prevent microleakage of the dentin/restoration interface. Am J Dent 7 (1994): 44-6.
- (59) Tay, F. R., Gwinnett, A., Pang, K., and Wei, S. Variability in microleakage observed in a total-etch wet-bonding technique under different handling conditions. J Dent Res 74 (1995): 1168-78.
- (60) Franco, E., Lopes, L., Lia Mondelli, R., Da Silva, E., Souza, M., and Lauris, J. Effect of the cavity configuration factor on the marginal microleakage of esthetic restorative materials. Am J Dent 1 (2003): 211-4.
- (61) Deliperi, S., and Bardwell, D. An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. J Am Dent Assoc 133 (2002): 1387-98.
- (62) Kubo, S., Yokota, H., and Hayashi, Y. The effect of light curing modes on the microleakage of cervical resin composite restorations. J Dent 32 (2004): 247-54.

- (63) Oberholzer, T., Du Preez, I., and Kidd, M. Effect of LED curing on the microleakage, shear bond strength and surface hardness of a resin based composite restoration. Biomaterials 26 (2005): 3981-39.
- (64) Cenci, M., Demarco, F., and Carvalho, R. Class II composite resin restorations with two polymerization techniques: relationship between microtensile bond strength and marginal leakage. J Dent 33 (2005): 603-10.
- (65) Choi, K., Ferracane, J., Ryu, G., Choi, S., Lee, M., and Park, S. Effects of cavity configuration on composite restoration. Oper Dent 29 (2004): 462-9.
- (66) McCulloch, A., and Smith, B. In vitro studies of cuspal movements produced by adhesive restorative materials. Brit Dent J 161 (1986): 405-9.
- (67) Gale, M., and Darvell, B. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. J Dent 27 (1999): 89-99.
- (68) Mathew, M., Paramaswaran, N. E., and Krishnan, K. Bonding agent is a decisive factor in determining the marginal leakage of dental composites subjected to thermal cycling: an in vitro study. J Oral Rehabil 28 (2001): 68-77.
- (69) Raskin, A., Tassery, H., D'Hoore, W., Gonthier, S., Verven, J., Degrange, M., et al. Influence of the number of sections on reliability of invitro microleakage evaluations. Am J Dent 16 (2003): 207-10.
- (70) Pashley, D. Clinical considerations of microleakage. J Endodont 16 (1990): 70-7.
- (71) Iwami, Y., Hayashi, M., Takeshige, F., and Ebisu, S. The accuracy of electrical method for microleakage evaluation by a three-dimensional analysis. J Dent 35 (2007): 268-74.
- (72) Santisa, R., Mollicab, F., Priscoc, D., Rengoc, S., Ambrosioa, L., and Nicolais, L. A 3D analysis of mechanically stressed dentin-adhesive-composite interfaces using X-ray micro-CT. Biomaterials 26 (2005): 257-70.
- (73) Gonzalez, N., Kasim, N., and Aziz R. Microleakage testing. Annals Dent Univ Malaya 4 (1997): 31-7.

- (74) Deliperi, S., Bardwell, D. N., and Wegley, C. Restoration Interface Microleakage Using One Total-etch and Three Self-etch Adhesives. Oper Dent 32 (2007): 179-84.
- (75) Manhart, J., Schmidt, M., Chen, H., Kunzelmann, K., and Hickel, R. Marginal quality of tooth-colored restorations in class II cavities after artificial aging. Oper Dent 26 (2001): 357-66.
- (76) Al-Boni, R., and Raja, O. Microleakage evaluation of silorane based composite versus methacrylate based composite. J Conserv Dent 13 (2010): 152-5.
- (77) Bedran-de-Castro, A., Cardoso, P., Ambrosano, G., and Pimenta, L. Thermal and mechanical load cycling on microleakage and shear bond strength to dentin. Oper Dent 29 (2004): 42-8.
- (78) Gwinnett, J., Tay, F. R., Pang, K., and Wei, S. Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restorative interfaces. J Prosthet Dent 74 (1995): 575-85.
- (79) Rueggeberg, F. A. Substrate for adhesion testing to tooth structure- Review of the literature. Dent Mater 7 (1991): 2-10.
- (80) Yavuz, I., Aydin, H., Ulku, R., Kaya, S., and Tumen, C. A new method: measurement of microleakage volume using human, dog and bovine permanent teeth. Electron J Biotechn 9 (2006): 8-17.
- (81) Haller, B., Hofmann, N., Klaiber, B., and Bloching, U. Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. Dent Mater 9 (1993): 191-7.
- (82) Goodis, H., Marshall, G., White, J., Gee, L., Hornberger, B., and Marshall, S. Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. Dent Mater 9 (1993): 79-84.
- (83) Tung, F. F., Estafan, D., and Scherer, W. Microleakage of a condensable resin composite: an in vitro investigation. Quintessence Int 31 (2000): 430-4.
- (84) Peutzfeldt, A., and Asmussen, E. Composite restorations: influence of flowable and self-curing resin composite linings on microleakage in vitro. Oper Dent 27 (2002): 569-75.

- (85) Leevailoj, C., Cochran, M. A., Matis, B. A., Moore, B. K., and Platt, J. A. Microleakage of posterior packable resin composites with and without flowable liners. Oper Dent 26 (2001): 302-7.
- (86) De Munck, J., Van Landuyt, K. L., Coutinho, E., Poitevin, A., Peumans, M., Lambrechts, P., et al. Micro-tensile bond strength of adhesives bonded to Class-I cavity-bottom dentin after thermo-cycling. Dent Mater 21 (2005): 999-1007.
- (87) Rossomando, K., and Wendt, S. J. Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. Dent Mater 11 (1995): 47-51.
- (88) Pilo, R., and Ben-Amar, A. Comparison of microleakage for three one-bottle and three multiple-step dentin bonding agents. J Prosthet Dent 82 (1999): 209-13.
- (89) Shahabi, S., Ebrahimpour, L., and Walsh, L. J. Microleakage of composite resin restorations in cervical cavities prepared by Er,Cr:YSGG laser radiation. Aust Dent J 53 (2008): 172-5.
- (90) Pazinato, F., Campos, B., Costa, L., and Atta, M. Effect of the number of thermocycles on microleakage of resin composite restorations. Pesqui Odontol Bras 17 (2003): 337-41.
- (91) Wendt, S., McInnes, P., and Dickinson, G. The effect of thermocycling in microleakage analysis. Dent Mater 8 (1992): 181-4.
- (92) Yamazaki, P. C. V., Bedran-Russo, A. K. B., Pereira, P. N. R., and Swift, E. J. Microleakage Evaluation of a New Low-shrinkage Composite Restorative Material. Oper Dent 31(2006): 670-6.
- (93) Margvelashvili, M., Goracci, C., Beloica, M., Papacchini, F., and Ferrari, M. In vitro evaluation of bonding effectiveness to dentin of all-in-one adhesives. J Dent 38 (2010): 106-12.
- (94) Kubo, S. Longevity of resin composite restorations. Jpn Dent Sci Rev 47 (2011): 43-55.
- (95) Van Meerbeek, B., Peumans, M., Poitevin, A., Mine, A., Van Ende, A., Neves, A., et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. Dent Mater 26 (2010): e100-e21.

- (96) Chimello, D., Chinelatti, M., Ramos, R., and Palma Dibb, R. In vitro evaluation of microleakage of a flowablw composite in class V restoration. Braz Dent J 13 (2002): 184-7.
- (97) Bonilla, E., Stevenson, R., Caputo, A., and White, S. Microleakage resistance of minimally invasive class I flowable composite restorations. Oper Dent 37 (2012): 290-8.
- (98) Braga, R. R., Hilton, T. J., and Ferracane, J. L. Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. J Am Dent Assoc 134 (2003): 721-8.
- (99) Cara, R., Fleming, G., Palin, W., Walmsley, A., and Burke, F. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with resin-based composites with and without an intermediary flowable layer. J Dent 35 (2007): 482-9.

ภาคผนวก

ตารางที่ 15 แสดงข้อมูลการทดสอบระดับการแทรกซึมของวัสดุทั้ง 8 กลุ่ม

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Vertise flow NT	1	1	0	1	1	1	0	1	4	4	4	4	4	4	4
	2	1	0	0	0	1	0	0	4	4	4	4	4	4	4
	3	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	5	1	1	0	0	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	6	0	0	0	0	1	1	0	4	4	4	4	4	4	4
	7	1	0	1	1	0	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	8	0	1	1	0	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	9	0	1	1	1	0	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	10	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	11	1	1	1	0	1	0	1	4	4	4	4	4	4	4
	12	0	0	0	1	1	1	0.5	2	1	4	3	2	2	2
		Median leakage score						1	Median leakage score						4



ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Vertise flow + OP NT	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1
	2	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
	5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	6	0	0	1	1	1	0	0.5	1	0	1	0	1	0	0.5
	7	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	9	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	11	0	1	1	0	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2
	12	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	2	1	1	1
			Median leakage score						1	Median leakage score					

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Premise flow + OP NT	1	1	0	0	1	0	1	0.5	4	4	4	4	4	4	4
	2	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
	4	0	0	1	0	1	0	0	2	4	4	4	1	0	3
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	6	0	1	1	0	0	1	0.5	0	1	0	0	0	0	0
	7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	1	0	0	0	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	1	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	10	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	11	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	12	0	0	1	2	0	1	0.5	1	0	1	0	1	0	0.5
			Median leakage score						0.5	Median leakage score					

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Premise + OP NT	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	3	0	0	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	6	1	3	4	4	1	1	2	1	1	3	3	4	1	2
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	3	3	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
			Median leakage score						0	Median leakage score					

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Vertise flow TH	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	1	0	1	0.5	4	4	4	4	4	4	4
	3	1	0	1	1	0	0	0.5	4	4	4	4	4	4	4
	4	1	1	0	0	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	5	1	1	0	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	1	1	1	1	1	0	1	4	4	4	4	4	4	4
	8	0	1	1	1	1	0	1	4	4	4	4	4	4	4
	9	0	0	1	0	1	1	0.5	4	4	4	4	4	4	4
	10	1	1	0	1	0	0	0.5	4	4	4	4	4	4	4
	11	0	1	1	0	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	12	0	0	0	0	1	1	0	4	4	4	4	4	4	4
			Median leakage score						0.75	Median leakage score					

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	Med	1	2	3	4	5	6	Med
Vertise flow + OP TH	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	4	4	4	4	3	4
	5	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1	0	1	3	1
	6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1
	7	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0
	10	1	1	1	0	0	0	0	0.5	4	4	1	1	1	1
	11	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
			Median leakage score						0.75	Median leakage score					

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน															
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน								
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย		
Premise flow + OP TH	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1		
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	4	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4	0	4	0	1		
	5	1	1	1	1	0	0	1	4	4	4	1	0	0	2.5		
	6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0.5		
	7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		
	8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0.5		
	9	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4	1	1	0.5		
	10	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1		
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			Median leakage score							0	Median leakage score						

ชนิดสาร ยึดติด	ลำดับ โพรงฟัน	ตำแหน่งที่ทำการประเมิน													
		เคลือบฟัน							เนื้อฟัน						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
Premise + OP TH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	2	3	3	2	2	2	1	0	0	1	0	0	0
	3	0	1	0	0	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	1	0.5
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	4	4	4	4
	8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	9	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	10	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	11	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
	12	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Median leakage score						0.25	Median leakage score					

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกอบกฤษณ์ หทัยอารีย์รักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2527 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2551 จากนั้นรับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ปฏิบัติการที่โรงพยาบาลพระแสง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในปี พ.ศ.2551-2553 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2553