



ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงยึด
เฉือนของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์

ซีเมนต์: การศึกษานอกร่างกาย

The Effect of Different Application Times of Silver Diamine Fluoride on
Shear Bond Strength of Demineralized Dentine to Glass Ionomer
Cements: An In Vitro Study

มณฑนาภรณ์ กรอูไร

Montanaporn Kornurai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงยึด
เฉือนของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์

ซีเมนต์: การศึกษานอกร่างกาย

The Effect of Different Application Times of Silver Diamine Fluoride on
Shear Bond Strength of Demineralized Dentine to Glass Ionomer
Cements: An In Vitro Study

มณฑนาภรณ์ กรอูไร

Montanaporn Kornurai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุเคลือบฟันไฮโดรซีเมนต์: การศึกษาในอวัยวะ
ผู้เขียน	นางสาวมัทนาภรณ์ กรอุไร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อ้อยทิพย์ ชาญการคำ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์)

.....กรรมการ

(ดร.สุพิชชา ตีลังจิตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

.....

(ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ศักดิ์ ฟ้ารุ่งสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(นางสาวมัณฑนาภรณ์ กรอุไร)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวมณฑนาภรณ์ กรอุไร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุเคลือบโพลีเมอร์ซีเมนต์ : การศึกษานอกร่างกาย
ผู้เขียน	นางสาวมณฑนาภรณ์ กรอุไร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินผลของระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ ต่อการยึดติดของเคลือบโพลีเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม **วิธีการศึกษา:** ใช้ชิ้นเนื้อฟันจำนวน 48 ชิ้นที่เตรียมจากฟันกรามน้ำนมที่ถูกถอน จากนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ โดยกระบวนการสลับสภาวะกรด-ด่าง จากนั้นแบ่งชิ้นฟันออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ชิ้น โดย กลุ่มที่ 1 ทาหน้าที่ผ่านการกำจัดไอออน กลุ่มที่ 2 3 และ 4 ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ เป็นเวลา 10 30 และ 60 วินาที ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นฟันทั้งหมดไปยึดติดกับเคลือบโพลีเมอร์ซีเมนต์ (Fuji IX GP extra) และเก็บในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงาน (11 ชิ้นต่อกลุ่ม) ไปทดสอบแรงยึดเหนี่ยว และประเมินรูปแบบการล้มเหลวหลังการแตกหักด้วยเครื่องมือสแกนพื้นผิวแบบสามมิติ นำชิ้นเนื้อฟันจำนวน 1 ชิ้นจากทุกกลุ่ม ไปประเมินความหนาแน่นของแร่ธาตุและความลึกในการแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟันโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM QUANTA) **ผลการวิจัย:** ค่าแรงยึดเหนี่ยวของทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.66$) โดยค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยว (mean \pm SD) ของแต่ละกลุ่มมีค่าดังนี้ กลุ่มที่ 1 ทาหน้าที่ผ่านการกำจัดไอออน 2.39 ± 1.36 กลุ่มที่ 2 ทา ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ 10 วินาที 2.51 ± 1.00 กลุ่มที่ 3 ทา ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ 30 วินาที 2.95 ± 0.99 และกลุ่มที่ 4 ทา ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ 60 วินาที 2.47 ± 1.12 เมกะปาสคาล ตามลำดับ รูปแบบการล้มเหลวที่พบมากที่สุดในทุกกลุ่ม คือแบบผสม ความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟันเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ และความลึกในการแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟันพบได้ถึงที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตรในทุกกลุ่มการทดลองที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ **สรุปผล:** การทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ และระยะเวลาที่ใช้ทา ไม่ส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบโพลีเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม และความลึกในการแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟัน

Thesis Title	The Effect of Different Application Times of Silver Diamine Fluoride on Shear Bond Strength of Demineralized Dentine to Glass Ionomer Cements: An In Vitro Study
Author	Miss Montanaporn Kornurai
Major Program	Oral Health Sciences
Academic Year	2020

ABSTRACT

Objective: The aim of this in vitro study was to assess the effect of application times of SDF on the bond between glass ionomer cement and the dentin of primary teeth. **Methods:** Forty-eight dentin specimens were prepared from the extracted primary teeth. Artificial dentin carious lesions were created by a pH-cycling procedure. All specimens were divided into four groups (n=12/group); Group 1 apply with deionized water, Group 2, 3 and 4 apply SDF 10, 30 and 60 seconds, respectively. After that, glass ionomer cement (Fuji IX GP extra) was bonded onto specimens and stored in deionized water. After 48 hours, the specimens (N=11/group) were prepared for shear bond strength testing and the failure mode was assessed with a 3-D profilometer. One specimen from each group were prepared for mineral density and penetration depth assessment using micro-CT μ 35 and scanning electron microscope (SEM QUANTA). **Results:** In relation to the shear bond strength effect, no statistically significant differences were observed among the groups ($p=0.66$). The shear bond strength (mean \pm SD) after treatment with deionized water, 10 seconds SDF, 30 seconds SDF and 60 seconds SDF were 2.39 ± 1.36 MPa, 2.51 ± 1.00 MPa, 2.95 ± 0.99 MPa and 2.47 ± 1.12 MPa, respectively. Most common failure mode was the mixed failure mode in all groups. The dentin mineral density was increased in the SDF groups. The penetration depth of silver ion into dentinal tubule was upto 1,000 μ m. in all SDF groups. **Conclusion:** The bond strength between glass ionomer cement and demineralized primary dentin and the penetration depth of silver ion into dentinal tubule have been neither affected by the application of silver diamine fluoride nor the various of application times.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากรศ.ดร.ทพญ.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ความรู้ ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการการวิจัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อทันตแพทย์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในการจัดหาตัวอย่างฟันเพื่อใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณบุคลากรสาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยให้เรียบร้อยเป็นไปได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าทันตสาธารณสุขจังหวัดบุรีรัมย์ โรงพยาบาลต้นสังกัดที่สนับสนุนทุนการศึกษาและส่งเสริมการศึกษาต่อของข้าพเจ้าในครั้งนี้

ขอบคุณ มาร์คลี ศิลปินวงเอ็นซีที ที่เป็นแรงบันดาลใจ และกำลังใจให้ข้าพเจ้าไม่ย่อท้อต่ออุปสรรคต่างๆในระหว่างการศึกษาต่อนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัว กรอไร ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการเรียนและในการทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จครั้งนี้

มณฑนาภรณ์ กรอไร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูปภาพ	(10)
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การทบทวนวรรณกรรม	2
วัตถุประสงค์	32
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	33
3. ผลการวิจัย	45
4. บทวิจารณ์	57
5. สรุป	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	88

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	ตารางสรุปข้อมูลการศึกษาการใช้ SDF ทางคลินิกในเด็ก	6
ตารางที่ 2	แสดงตัวอย่างสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และส่วนประกอบ	13
ตารางที่ 3	แสดงการศึกษาค่าแรงยึดติดของเนื้อฟันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	14
ตารางที่ 4	แสดงการศึกษามผลของการทำ SDF ต่อแรงยึดติดของเนื้อฟันกับวัสดุอุด GIC หรือ RMGIC	26
ตารางที่ 5	เปรียบเทียบความหนาแน่นแร่ธาตุเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) ก่อนเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_0) หลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) และค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) ของแต่ละกลุ่มโดยแยกแต่ละระดับความลึก	48
ตารางที่ 6	ค่าแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) และผลค่าร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวชนิดต่าง ๆ	50
ตารางที่ 7	ปริมาณธาตุซิลเวอร์เฉลี่ยที่ตรวจพบที่ระดับความลึกต่างๆในแต่ละกลุ่มการทดลอง ที่เวลา 2 สัปดาห์	56

รายการรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่าง SDF กับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวฟัน	3
ภาพที่ 2	แสดงกลไกของ SDF ในการยับยั้งรอยโรคฟันผุ	4
ภาพที่ 3	แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดพอลิอัลคีนอิก	10
ภาพที่ 4	แสดงปฏิกิริยาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	11
ภาพที่ 5	แสดงระยะการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ตามเวลาต่างๆ	11
ภาพที่ 6	แสดงการยึดติดทางเคมีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโครงสร้างฟัน	12
ภาพที่ 7	สรุปการทดสอบแรงยึดติดประเภทต่างๆ ที่ทำภายใต้ห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบ การทดสอบแรงยึดติดประเภทต่างๆ	20
ภาพที่ 8	การทดสอบแรงยึดติดแบบเฉือน ก. หัวกดแบบสี่ ข. หัวกดแบบครึ่งวงกลม	23
ภาพที่ 9	แสดงแต่ละด้านของชิ้นงานถูกยึดติดกับเครื่องมือในการทดสอบแรงยึดดึง	24
ภาพที่ 10	การทดสอบแรงยึดติดแบบเฉือน ก. หัวกดแบบสี่ ข. หัวกดแบบครึ่งวงกลม	35
ภาพที่ 11	แสดงขั้นตอนการตัดฟัน (ก) กรอเคลือบฟันออกให้เปิดส่วนของเนื้อฟันของด้านแก้ม หรือด้านลิ้น (ข) ตัดส่วนฟันที่ผุออก (ค) ตัดส่วนของรากฟันออก	37
ภาพที่ 12	แสดงชิ้นเนื้อฟันที่ลงบล็อกเรียบร้อยแล้ว	37
ภาพที่ 13	(ก) แสดงการนำบล็อกชิ้นเนื้อฟันไปยึดติดกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยใช้แม่พิมพ์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร ลึก 3 มิลลิเมตร (ข) แสดงชิ้นเนื้อฟันที่ยึดติดกับวัสดุอุดเสร็จเรียบร้อยแล้ว	39
ภาพที่ 14	แสดงการนำชิ้นเนื้อฟันไปทดสอบความแข็งแรงเฉือน	40

รายการรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 15	(ก) แสดงแนวการตัดแบ่งครึ่งชิ้นงาน (ข) แสดงชิ้นงานที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว	41
ภาพที่ 16	แสดงชิ้นฟันในแนวตัดขวางและตำแหน่งการวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุที่ระดับความลึกต่างๆ	42
ภาพที่ 17	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	43
ภาพที่ 18	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาแน่นแร่ธาตุก่อนเหนียวทำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_0) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)	46
ภาพที่ 19	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาแน่นแร่ธาตุหลังเหนียวทำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)	47
ภาพที่ 20	ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)	47
ภาพที่ 21	แสดงแผนภาพกล่อง (Boxplots) ของค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชิ้นเนื้อฟันกับวัสดุอุดกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)	49
ภาพที่ 22	แสดงแผนภาพกล่อง (Boxplots) ร้อยละของวัสดุบูรณะที่คงเหลืออยู่บนเนื้อฟัน ของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)	50

รายการรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 23	<p>ภาพถ่ายจากเครื่องมือสแกนพื้นผิวแบบสามมิติ กำลังขยาย 80 เท่า แสดงรูปแบบการลึมหollowในแต่ละกลุ่ม (ก) การเชื่อมแน่นลึมหollowในชั้นวัสดุอุด ในกลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (ข) การลึมหollowแบบผสม ในกลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (ค) การลึมหollowแบบผสม ในกลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที (ง) การลึมหollowแบบผสม ในกลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที (จ) การลึมหollowแบบผสม ในกลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที หมายเหตุ GIC หมายถึง วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Dentin หมายถึง เนื้อฟัน</p>	51
ภาพที่ 24	<p>ภาพถ่ายที่ 2 สัปดาห์ กำลังขยาย 100 เท่า แสดงความลึกที่มากที่สุดที่ตรวจเจอธาตุซิลเวอร์ในแต่ละกลุ่ม (ก) กลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ไม่พบธาตุซิลเวอร์ (ข) กลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร (ค) กลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร (ง) กลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร</p>	53
ภาพที่ 25	<p>ภาพถ่ายที่ 2 สัปดาห์ กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงธาตุซิลเวอร์แทรกผ่านไปตามแนวยาวของท่อเนื้อฟัน ที่ความลึกแต่ละระดับ และที่ระยะเวลาในการทา SDF ต่างกัน (1ก) กลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ไม่พบธาตุซิลเวอร์ (2ก-ค) กลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ (3ก-ค) กลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ (4ก-ค) กลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ หมายเหตุ Ag หมายถึง ธาตุซิลเวอร์ DT หมายถึง ท่อเนื้อฟัน</p>	54
ภาพที่ 26	<p>กราฟเส้นแสดงปริมาณธาตุซิลเวอร์เฉลี่ยที่ตรวจพบในความลึกระดับต่างๆ ของแต่ละกลุ่มการทดลอง ที่เวลา 2 สัปดาห์</p>	55

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

โรคฟันผุในฟันน้ำนมเป็นปัญหาทันตสุขภาพที่สำคัญของประเทศ ในปัจจุบันได้มีแนวทางที่ได้รับความสนใจคือ การทาสารซิลเวอร์ฟลูออไรด์ เพื่อหยุดยั้งฟันผุ¹ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่รุกราน (non-invasive) ให้ผลดี ทำได้ง่าย เหมาะสมกับสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)² โดยพบว่าซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (silver diamine fluoride; SDF) มีประสิทธิผลในการยับยั้งรอยโรคฟันผุในฟันน้ำนม³⁻⁹ จากการวิเคราะห์ทออีมา (Meta-analysis) ของ Gao และคณะ ปี ค.ศ. 2016¹⁰ เรื่องประสิทธิผลของ SDF ในการยับยั้งรอยโรคฟันผุในฟันน้ำนมของเด็กปฐมวัย พบว่าเมื่อทา SDF ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ทา 1 ครั้ง ทา 1-2 ครั้งต่อปี และติดตามผลเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 6 ถึง 30 เดือน พบว่าหยุดยั้งรอยโรคฟันผุในฟันน้ำนมได้ร้อยละ 81 (ร้อยละ 65-89)

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement; GIC) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยผงแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต (fluoroaluminosilicate glass) และส่วนเหลวที่มีกรดพอลิอัลคีนอิก (polyalkenoic acid) เป็นหลัก¹¹ มีความเหมาะสมในทางทันตกรรมสำหรับเด็ก เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยึดติดกับเนื้อฟันโดยพันธะเคมี¹² มีความเข้ากันทางชีวภาพที่ดี สามารถสะสมและปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำได้ต่อวัสดุบูรณะได้¹³ โดยกลไกการยึดติดกับเนื้อฟันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่แคลเซียม (calcium) และฟอสเฟต (phosphate) ในเนื้อฟันกับหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ในซีเมนต์ เกิดเป็นชั้นอลูมิเนียมและแคลเซียมฟอสเฟต เกิดพันธะเคมีกับผิวฟันได้¹⁴ การเพิ่มแรงยึดเกาะของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถทำได้โดยการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) โดยกรดชนิดนี้จะช่วยกำจัดชั้นสเมียร์ของฟัน ส่งเสริมให้ผิวฟันพร้อมสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้วัสดุยึดติดกับผิวฟันได้ดีขึ้น¹⁵

มีการนำ SDF และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไปใช้ร่วมกันในการบูรณะฟัน (silver modified atraumatic restorative treatment; SMART) โดยการทา SDF ส่งผลในการหยุดยั้งรอยโรคฟันผุและการบูรณะด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถช่วยในการบดเคี้ยวได้¹⁶ การศึกษาของ Zhao และคณะ ปี ค.ศ. 2019¹⁷ ซึ่งทำการศึกษาในฟันแท้ที่ผุ และการศึกษาของ Puwanawiroj และคณะ ปี ค.ศ. 2018¹⁸ ซึ่งทำการศึกษาในฟันกรามน้ำนมที่ผุ พบว่า การทา SDF ไม่มีผลต่อการยึดติดของของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟัน ในขณะที่การศึกษาของ Koizumi และคณะ ปี ค.ศ. 2016¹⁹ และการศึกษาของ Knight และคณะ ปี ค.ศ. 2006²⁰ ทั้งสองการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาในฟันกรามแท้ที่ปราศจากรอยผุ พบว่าการทา SDF มีผลลดการยึดติดของ

ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ กับชั้นเนื้อฟัน จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่ายังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดถึงผลของการทา SDF ต่อแรงยึดผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับฟันน้ำนมที่ผุ เนื่องจากขั้นตอนในการทา SDF ของแต่ละการศึกษานั้นแตกต่างกัน²¹

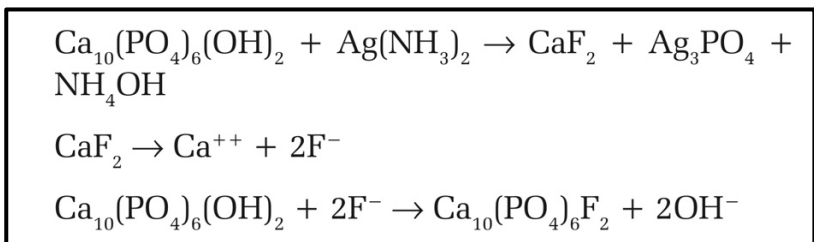
มีการศึกษาทางคลินิกหลายการศึกษาซึ่งใช้เวลาทา SDF อยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 วินาที²² ถึง 3 นาที^{3, 4, 23} ในขณะที่สมาคมทันตแพทย์สำหรับเด็กสหรัฐอเมริกา (American association of pediatric dentistry, AAPD) แนะนำให้ทา SDF เป็นเวลา 1 นาที และให้ใช้ลมเป่าเบาๆจนแห้ง และแนะนำว่าการใช้เวลาในการทาน้อย ต้องมีการติดตามผล และอาจพิจารณาทาช้ำ²⁴ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่ยืนยันว่าเวลาที่ใช้ในการทา SDF สัมพันธ์กับแรงยึดผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่อเนื้อฟันน้ำนมหรือไม่ อย่างไร โดยเฉพาะในการทำ SMART การลดเวลาที่ใช้ในการทา SDF จะสามารถลดระยะเวลาในการรักษาลงได้ ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้ในทางทันตกรรมสำหรับเด็กที่มีปัญหาความร่วมมือ รวมถึงในสถานการณ์ปัจจุบันการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ที่ควรลดขั้นตอนและระยะเวลาในการรักษาผู้ป่วยให้น้อยที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายเชื้อระหว่างทันตแพทย์กับผู้ป่วย โดยที่ประสิทธิภาพการรักษายังคงเดิม

ทบทวนวรรณกรรม (Review literature)

1. ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (silver diamine fluoride; SDF)

SDF มีสูตรทางเคมีคือ $Ag(NH_3)_2F$ เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของเหลวไม่มีสี มีองค์ประกอบคือ สารซิลเวอร์มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย และฟลูออไรด์ซึ่งช่วยคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ผิวฟัน ปัจจุบันใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศโดยใช้จัดการรอยโรคฟันผุในผู้ป่วยเด็ก และผู้ป่วยที่ต้องการดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ²⁵ โดยรูปแบบ SDF ที่ใช้ในประเทศไทย มีความเข้มข้นร้อยละ 38 และมีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ 44,800 ส่วนในล้านส่วน²⁴

เมื่อทา SDF ($Ag(NH_3)_2F$) บนผิวฟัน SDF จะไปทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite: HA) ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) จะเกิดเป็น แคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride) (CaF_2) และ ซิลเวอร์ฟอสเฟต (silver phosphate) (Ag_3PO_4) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่าง SDF กับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวฟัน⁵

1.1. กลไกการยับยั้งฟันผุ

SDF มีกลไกที่ทำให้สามารถป้องกันฟันผุได้ดังนี้

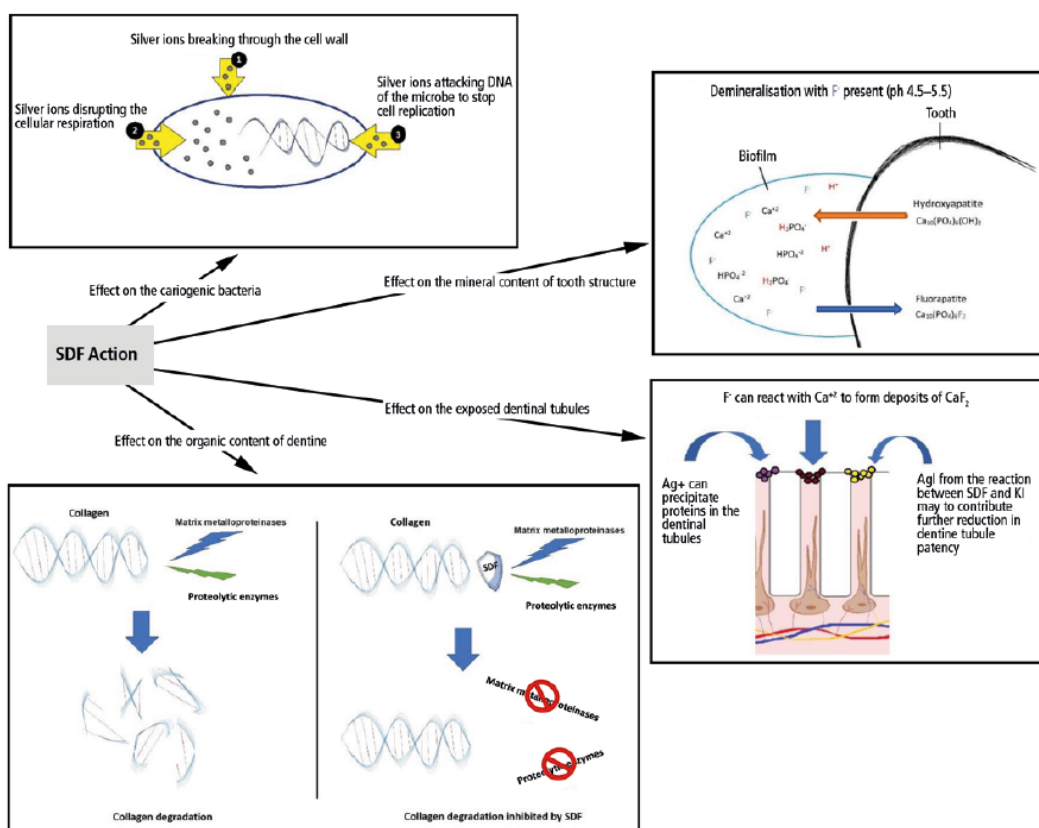
1.1.1 ซิลเวอร์ไอออน (silver ion) ยับยั้งแบคทีเรีย โดยทำปฏิกิริยากับโปรตีนและกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid; DNA) ของแบคทีเรีย ทำให้เป็นการยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ การสร้าง DNA และทำให้เกิดความผิดปกติของไมโทคอนเดรียล (mitochondrial failure)²⁶ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bactericidal) ทำให้ยับยั้งการสร้างคราบจุลินทรีย์บริเวณผิวฟันได้ โดยเมื่อทา SDF ลงบนผิวของเนื้อฟันที่สูญเสียแร่ธาตุ พบว่ามีผลลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคฟันผุอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ทา SDF^{27, 28}

1.1.2 เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ (Remineralization) ที่สูญเสียไปบริเวณผิวฟัน โดยฟลูออไรด์ไอออน (fluoride ions) นอกจากนี้แคลเซียมฟลูออไรด์ ยังทำหน้าที่เสมือนแหล่งเก็บฟลูออไรด์ ใช้ในการสร้างฟลูออโรอะพาไทต์ (fluorapatite) ซึ่งเป็นผลึกที่มีความเสถียร ทำให้ผิวของฟันทนต่อการกรดมากขึ้น ซิลเวอร์ฟอสเฟต ที่ตกตะกอนที่ผิวฟัน ช่วยยับยั้งฟันผุและทำให้รอยโรคฟันผุแข็งขึ้น²⁹

1.1.3 ตะกอนเงิน (Ag) และแคลเซียมฟลูออไรด์ สามารถไปอุดกั้นท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) ลดการผ่านของสารต่างๆเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้

1.1.4 SDF มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์เมทริกซ์เมทัลโลโปรตีเอส (matrix metalloproteinases MMPs) และคาเทปซิน (cathepsins) ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีน ทำให้เกิดการสลายคอลลาเจน (collagen) ในเนื้อฟันได้^{30, 31}

นอกจากนั้นแล้ว แบคทีเรียที่ถูกทำลายโดยอนุภาคเงิน (Ag^+) ยังมีบทบาททำให้เกิดการแตกตัวของคราบจุลินทรีย์ และสามารถป้องกันการเกิดฟันผุได้โดยอาศัย zombie effect ซึ่งก็คือเมื่อแบคทีเรียที่ถูกทำลายโดยอนุภาคเงินไปสัมผัสกับแบคทีเรียตัวอื่น แบคทีเรียที่ถูกสัมผัสก็จะถูกทำลายไปด้วย³²



ภาพที่ 2 แสดงกลไกของ SDF ในการยับยั้งรอยโรคฟันผุ³³

1.2. ประสิทธิภาพในฟันน้ำนม

(Caries Arrest on Primary Teeth in Children)

จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic review) ของ Crystal และคณะ ในปี 2019³⁴ ทุกการศึกษา สรุปผลว่า SDF มีประสิทธิภาพในการยับยั้งรอยโรคฟันผุในฟันน้ำนมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไม่รักษา และการรักษาด้วยวิธีอื่นๆ³⁻⁹ โดยความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการหยุดยั้งรอยโรคฟันผุได้ดีที่สุดคือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 38³⁵ จากการวิเคราะห์อภิमानของ Gao และคณะ ในปี 2016¹⁰ พบว่า เมื่อ ทา SDF ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ทาหนึ่งครั้ง ทา 1-2 ครั้งต่อปี และติดตามผลเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 6 ถึง 30 เดือน พบว่าหยุดยั้งรอยโรคฟันผุในฟันน้ำนมได้ร้อยละ 81 (ร้อยละ 65-89) Chibinski และคณะ ในปี 2017³⁶ รายงานการหยุดยั้งของรอยโรคฟันผุที่เวลา 12 เดือน เมื่อใช้ SDF เป็นร้อยละ 66 (ร้อยละ 41-91) มากกว่าการรักษาด้วยวิธีอื่นๆ และมากกว่ากลุ่มที่ไม่ทำการรักษาอยู่ในช่วง ร้อยละ 67-85

เนื่องจากอัตราการหยุดยั้งของรอยโรคฟันผุจากการใช้ SDF จากการศึกษาต่าง ๆ นั้นอยู่ในช่วงที่กว้าง (ร้อยละ 22-91)^{3-9, 23, 37, 38} แสดงให้เห็นว่ามีบางส่วนของรอยโรคฟันผุไม่เกิดการ

หยุดยั้ง หลายการศึกษาได้แก่ การศึกษาของ Fung และคณะ^{9, 35}, Duangthip และคณะ^{8, 22}, Zhi และคณะ⁷ พบว่าฟันหน้าจะมีอัตราการของการหยุดยั้งฟันผุที่สูงกว่าฟันหลัง

นอกจากนี้ Duangthip และคณะ⁸, Zhi และคณะ⁷ ยังพบว่า รอยโรคที่มีขนาดใหญ่ และมีคราบจุลินทรีย์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีความเป็นไปได้น้อยที่รอยโรคจะหยุดลุกลาม จากการศึกษาของ Zhi และคณะ⁷ เปรียบเทียบอัตราการหยุดยั้งรอยโรคฟันผุ ในเด็กที่ได้รับการทา SDF ที่ความถี่ในการทาต่างกัน พบว่าการทา SDF 2 ครั้งต่อปีมีอัตราการหยุดยั้งรอยโรคฟันผุมากกว่าการทา 1 ครั้งต่อปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อติดตามผลที่ 24 เดือน และพบว่าในเด็กกลุ่มที่มีคราบจุลินทรีย์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ที่ได้รับการทา SDF 1 ครั้งต่อปีมีแนวโน้มต่ำที่รอยโรคฟันผุจะหยุดลุกลาม Fung และคณะ⁹ สรุปว่า เด็กที่มีสุขภาพช่องปากไม่ดี อัตราการหยุดยั้งของรอยโรคฟันผุ สามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มความถี่ในการทา SDF จากปีละ 1 ครั้งเป็นปีละ 2 ครั้ง

สมาคมทันตแพทย์สำหรับเด็กสหรัฐอเมริกา (American association of pediatric dentistry, AAPD) ได้ตีพิมพ์แนวทาง ในการใช้ SDF นอกจากนี้ ในปี 2016 องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ได้รายงานเรื่องการจัดการกับโรคฟันผุในเด็กปฐมวัย (Early Childhood Caries) สรุปว่า SDF สามารถหยุดยั้งรอยโรคฟันผุในชั้นเนื้อฟันของฟันน้ำนม และป้องกันการเกิดซ้ำของรอยโรคฟันผุได้ (very low evidence)²⁴

1.3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทา

มีคำแนะนำของ AAPD ให้ทา SDF เป็นเวลา 1 นาที และใช้ลมเป่าแห้ง²⁴ การศึกษาทางคลินิกหลายการศึกษา รายงานว่า เวลาที่ใช้ในการทาอยู่ในช่วง ตั้งแต่ 10 วินาที ถึง 3 นาที^{3, 4, 6, 22, 23, 37} ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยสมาคมทันตแพทย์สำหรับเด็กสหรัฐอเมริกามีคำแนะนำในการนำไปใช้ทางคลินิก คำแนะนำในการนำไปใช้ทางคลินิก แนะนำว่า ควรทา SDF เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้ใช้ลมเป่าเบาๆจนแห้ง แต่เมื่อใดก็ตามที่ใช้เวลาในการทาน้อย ควรต้องมีการติดตามผลเป็นระยะๆ และอาจพิจารณาทาช้ำ²⁴

ในเรื่องเวลาที่ใช้ในการทาจากหลาย ๆ การศึกษา พบว่ามีการใช้ตั้งแต่ 10 วินาที จนถึง 3 นาที ทั้งแบบที่ไม่เป่าแห้ง และเป่าแห้ง ล้างน้ำและไม่ล้างน้ำ และทางบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ทา 30 – 60 วินาที และเป่าแห้งด้วยลม³⁹ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่ยืนยันว่าเวลาที่ใช้ในการทา SDF สัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหรือไม่

ตารางที่ 1 ตารางสรุปข้อมูลการศึกษาการใช้ SDF ทางคลินิกในเด็ก³⁹

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของ พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	กลุ่มที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	ระยะเวลาที่ใช้ใน การทำ SDF	ผลการศึกษา
Chu และ คณะ (2002) ⁵	พื่นหน้า น้ำนม เท่านั้น	เปรียบเทียบประสิทธิภาพ การหยุดยั้งฟันผุของสาร ทั้งสองชนิดและการ กำจัดเนื้อฟันที่นํมออก กับการไม่กำจัดออก	1. SDF (38%) 1 ครั้งต่อปี โดยกำจัดรอยผุ ออก 2. SDF (38%) 1 ครั้งต่อปี โดยไม่มีการ กำจัดรอยผุ 3. ฟลูออไรด์วานิช (FV) 5% 4 ครั้งต่อปี โดยกำจัดรอยผุออก 4. FV 5% 4 ครั้งต่อปี โดยไม่มีการกำจัด รอยผุ 5. กลุ่มควบคุม ทาน้ำ	ไม่ได้ระบุเวลาและ ปริมาณในการใช้ SDF	1. SDF ให้ผลการหยุดยั้งฟันผุดีกว่ากลุ่มทา ฟลูออไรด์วานิช (FV) และกลุ่มควบคุมอย่างมี นัยสำคัญ 2. การกำจัดเนื้อฟันผุออกหรือไม่กำจัด ให้ผลไม่ต่างกัน 3. ในกลุ่มควบคุมพบการเกิดรอยโรคฟันผุขึ้น ใหม่มากกว่ากลุ่มที่ทำการรักษา
Yee และ คณะ (2009) ⁶	พื่นน้ำนม	ศึกษาการหยุดยั้งฟันผุ โดยเปรียบเทียบความ เข้มข้น ของ SDF และ การใช้ reducing agent	2. SDF (38%) 1 ครั้ง ตามด้วยกรด แทนนิก เป็นreducing agent 2. SDF (38%) 1 ครั้ง เพียงอย่างเดียว 3. SDF (12%) 1 ครั้ง เพียงอย่างเดียว 4. ไม่ทำการรักษา	ใช้ SDF 1 หยด ทา 2 นาที ไปที่รอยโรคฟันผุ (ไม่ได้ กำจัดรอยโรคฟันผุออก) เช็ด ให้แห้งด้วยสำลีก้อนเล็ก งด ดื่มน้ำหรือทานอาหารเป็น เวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทา	3. SDF ให้ผลการหยุดยั้งฟันผุดีกว่ากลุ่ม ควบคุม และ SDF 38% ให้ผลการหยุดยั้งได้ดีกว่า SDF 12% อย่างมีนัยสำคัญ 2. reducing agent ให้ผลไม่แตกต่าง 3. ประโยชน์ของ SDF ในการหยุดยั้งฟันผุลด ลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 (ต่อ)³⁹

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของ ฟันที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	กลุ่มที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ SDF	ผลการศึกษา
Dos santos และคณะ (2012) ³	ฟันน้ำนม	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหยุดยั้งฟันผุของ SDF กับ ITR (Interim therapeutic restoration)	1.SDF (30%) 1 ครั้ง 2.อุดชั่วคราว ITR (Fuji IX) โดยใช้ conditioner 1 ครั้ง	ทำ SDF เป็นเวลา 3 นาที ตามด้วยล้างและบ้วน ไม่มีการกำจัดรอยผุ ไม่ได้ระบุปริมาณในการใช้ SDF งดดื่มน้ำหรือทานอาหารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทำ	SDF ให้ผลการหยุดยั้งฟันผุดีกว่ากลุ่ม ITR
Duangthip และคณะ (2016) ²²	ฟันหน้าและฟันหลังน้ำนม	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหยุดยั้งฟันผุของ SDF ที่ความถี่ในการทาต่างกัน และการทาฟลูออไรด์วานิช (FV)	1.SDF (30%) 1 ครั้งต่อปี 2.SDF (30%) 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 3.FV (5%) 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	ถู SDF เป็นเวลา 10 วินาที ไม่มีการกำจัดรอยผุ ไม่ได้ระบุปริมาณในการใช้ SDF งดดื่มน้ำหรือทานอาหารเป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำ	SDF ทาปีละครั้ง และ SDF ทา 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ให้ผลการหยุดยั้งฟันผุดีกว่าการทาฟลูออไรด์วานิช (FV)

ตารางที่ 1 (ต่อ)³⁹

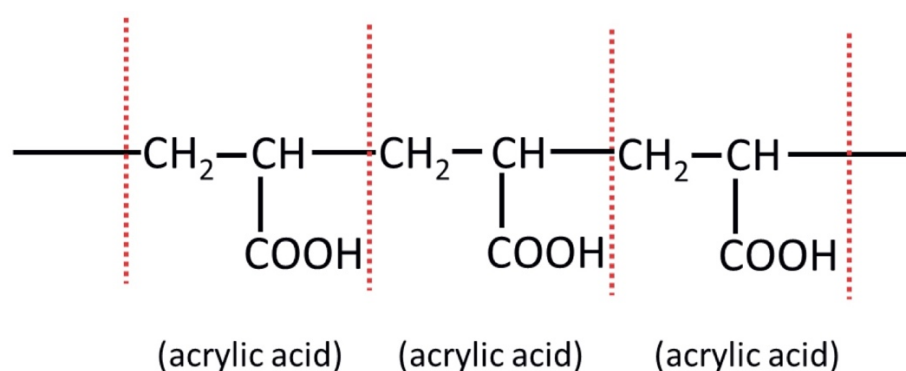
ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของฟัน ที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	กลุ่มที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	ระยะเวลาที่ใช้ในการทา SDF	ผลการศึกษา
Llodra และ คณะ (2005) ⁴	ฟันเขี้ยว น้ำนม ฟัน กรามน้ำนม และฟัน กรามแท้ซี่ แรก	เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการ หยุดยั้งและการป้องกัน ฟันผุของ SDF เทียบกับ การไม่รักษา	1.SDF (38%) 2ครั้งต่อปี 2.ไม่ได้ทำการรักษา	ทา SDFเป็นเวลา 3 นาที และ ล้างเป็นเวลา 30 วินาที กำจัดรอยผุออกเล็กน้อยเฉพาะ ฟันกรามแท้ ไม่ได้ระบุปริมาณการใช้ SDF	1. SDF ทา 2ครั้งต่อปีให้ผลการหยุดยั้งฟันผุ ดีกว่ากลุ่มควบคุม 2. SDF มี ประสิทธิภาพในการลดการเกิดฟันผุ ทั้งในฟันน้ำนมและฟันแท้
Braga และ คณะ (2009) ²³	ฟันกรามแท้ ซี่แรก	เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการ หยุดยั้งและป้องกันการ เกิดฟันผุ สามวิธี	1.SDF (10%) 3ครั้ง ที่ช่วง 1 สัปดาห์ 2.เคลือบหลุมร่องฟันด้วยวัสดุกลาสไอ โอโนเมอร์ (Fuji III) 1ครั้ง 3.การแปรงฟันแบบ - ฟันผุที่ไม่ได้เป็นโพรง - ในเด็กแต่ละคน ฟันกราม 1 ซี่ ถูกใช้ เป็นตัวกำหนดของแต่ละกลุ่ม	ทา SDF เป็นเวลา 3 นาที และ ล้างเป็นเวลา 30 วินาที ไม่มีการกำจัดรอยผุ ไม่ได้ระบุปริมาณในการใช้ SDF งดดื่ม น้ำหรือทานอาหารเป็น เวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทา	1.SDF มีประสิทธิภาพดีกว่าการแปรงฟัน หรือการอุดชั่วคราวด้วยวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ ที่เวลา 3 และ 6 เดือน 2. ทุกวิธีมีประสิทธิภาพเท่ากันในการ ป้องกันรอยโรคฟันผุระยะแรกเริ่มด้านบด เคี้ยว

ตารางที่ 1 (ต่อ)³⁹

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของ ฟันที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	กลุ่มที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	ระยะเวลาที่ใช้ใน การทำ SDF	ผลการศึกษา
Monse และคณะ (2012) ³⁷	ฟันกราม แท้ซี่แรก	เปรียบเทียบประสิทธิภาพ การป้องกันฟันผุของ SDF และ Atraumatic restoration technique (ART)	1.SDF (38%) 1ครั้งบนฟันปกติและฟัน กรามที่ผุเป็นรู 2.อุดฟันด้วยเทคนิค ART (high viscosity Ketac molar) บนฟันปกติและฟันกรามที่ผุ เป็นรู 3.ไม่ทำการรักษา - บางโรงเรียนมีโปรแกรมการแปรงฟัน แต่ บางโรงเรียนไม่มี	ถู SDF 1 นาที แล้วทา ตามด้วยกรดแทนนิก ทำ ให้แห้งด้วยสำลีก้อนเล็ก และทาทับด้วยวาสลีน ไม่ได้ระบุปริมาณในการ ใช้ SDF	1. ART มีประสิทธิภาพมากกว่าการทำ SDF เพียงครั้งเดียว 2. รอยโรคฟันผุลดลงในกลุ่มที่ใช้วิธีแปรงฟัน

4. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement)

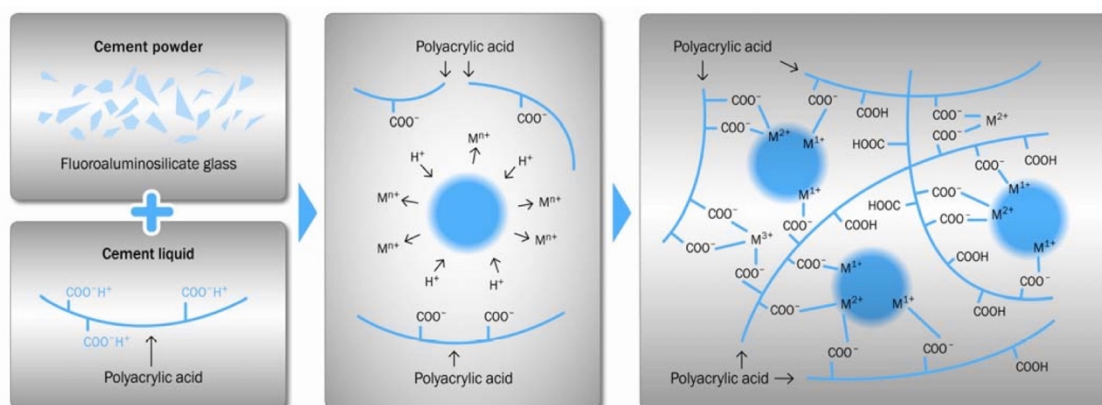
ในปี ค.ศ. 1972 Wilson และ Kent ได้พัฒนา ซีเมนต์ชนิดใหม่ โดยดัดแปลงมาจากซิลิเกตซีเมนต์ เรียกว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement; GIC) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้วัสดุตามอุดมคติ คือ ได้วัสดุบูรณะฟันที่มีสีเหมือนกับฟันธรรมชาติ มีคุณสมบัติในการยึดติดกับเนื้อฟันโดยพันธะเคมี¹² มีความเข้ากันทางชีวภาพที่ดี สามารถสะสมและปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำได้ต่อวัสดุบูรณะได้ วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional glass-ionomer cement) ประกอบด้วยผงแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต (fluoroaluminosilicate glass) และส่วนเหลวที่มีกรดพอลิอัลคีนอิก (polyalkenoic acid) หรือกรดพอลิคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลและมีพันธะคู่อยู่ระหว่างธาตุคาร์บอนกับคาร์บอนอยู่ในสูตรโครงสร้าง¹¹ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดพอลิอัลคีนอิก⁴⁰

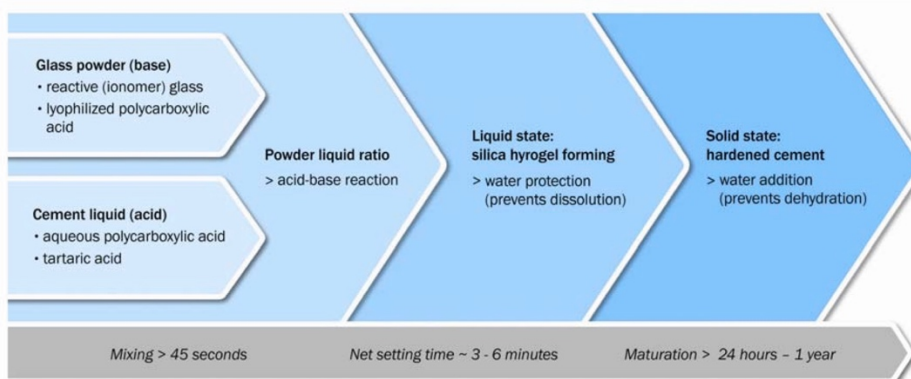
4.1. ปฏิกิริยาการก่อตัว (Setting reaction)

โดยกลไกการก่อตัวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมนั้น เป็นปฏิกิริยาแบบกรด-ด่าง (acid-base reaction) ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยเมื่อกรดพอลิอัลคีนอิก สัมผัสกับส่วนแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต จะเกิดการแตกตัวของประจุบวก โดยมี Al^{3+} และ Ca^{2+} เป็นหลัก ประจุบวกเหล่านี้จะไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลในกรด เกิดเป็น สะพานไอออน (salt bridge) ในช่วงแรก และเกิดเป็น ซิลิกาไฮโดรเจล (silica hydrogel) ตามมา โดยปฏิกิริยาจากโครงสร้างของแคลเซียมพอลิอะคริเลต (calcium polyacrylate) จะเกิดเร็วกว่าโครงสร้างของ อะลูมิเนียมพอลิอะคริเลต (aluminium polyacrylate)



ภาพที่ 4 แสดงปฏิกิริยาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม⁴⁰

น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยในช่วงแรกของการก่อตัว ส่วนของน้ำที่มาจากส่วนเหลวของซีเมนต์ ได้รวมตัวอย่างสมบูรณ์ในโครงสร้างของซีเมนต์ ดังนั้นในระหว่างปฏิกิริยานี้ ต้องป้องกันไม่ให้ผงของซีเมนต์บนเพื่อน้ำ เพื่อป้องกันการละลายของประจุบวกโลหะ (metal cations) ในโครงสร้างของซีเมนต์ โดยการทาดัวยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ (varnish) หรือปิโตรเลียมเจลลี่ (petroleum jelly)⁴¹ เมื่อเวลาผ่านไปซีเมนต์จะอยู่ในสถานะคงตัว (solid state) จะมีความแข็งมากขึ้น และเริ่มมีการสูญเสียน้ำจากภายในวัสดุ ดังนั้นในช่วงนี้จะต้องมีการป้องกันการสูญเสียน้ำ เนื่องจากอาจนำไปสู่การแตกหักภายในวัสดุบูรณะได้ ดังแสดงในภาพที่ 5

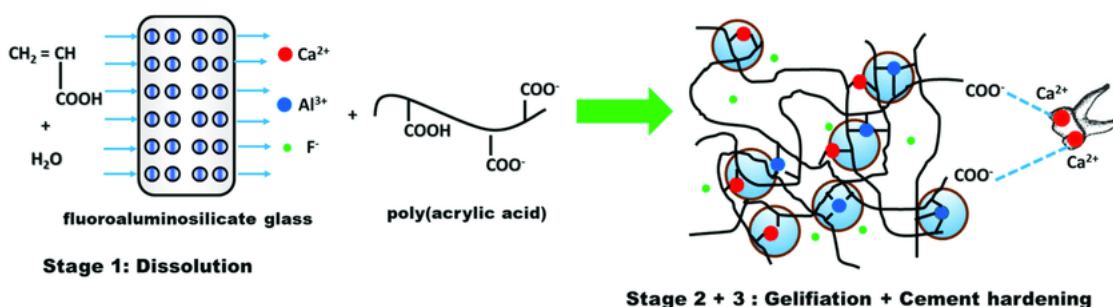


ภาพที่ 5 แสดงระยะการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ตามเวลาต่างๆ⁴⁰

4.2. การยึดติดทางเคมีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโครงสร้างฟัน

(Chemical bonding of glass-ionomer cement to tooth structure)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยึดติดกับเนื้อฟันโดยใช้พันธะเคมี โดยหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ในกรดพอลิอัลคิโนอิกจะไปสร้างพันธะกับแคลเซียมไอออน (calcium ion) ของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) บนผิวฟันได้ ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยกรดพอลิอัลคิโนอิกซึ่งเป็นกรดอ่อนจะทำหน้าที่ละลายชั้นสเมียร์และสารอินทรีย์ที่ผิวฟัน โดยการละลายแร่ธาตุที่ผิวฟันจะเกิดเพียงเล็กน้อย และที่รอยต่อของผิวฟันกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะเกิดขึ้นแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange layer) ซึ่งมีความหนาในระดับไมโครเมตร และเชื่อว่าเป็นชั้นที่ทำให้เกิดแรงยึดเกาะของวัสดุกับผิวฟัน ซึ่งการกรอตัดฟันธรรมชาติด้วยเข็มกรอฟันชนิดกากเพชรและคาร์ไบด์ จะพบชั้นสเมียร์ปกคลุมอยู่เสมอ โดยชั้นสเมียร์นี้จะมีการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ขัดขวางต่อการยึดติดของวัสดุบูรณะกับผิวฟันได้⁴² จึงมีการแนะนำให้เพิ่มแรงยึดเกาะของวัสดุบูรณะกับผิวฟัน ด้วยการใส่สารปรับสภาพเนื้อฟัน ยกตัวอย่างเช่น กรดพอลิอะคริลิก^{15, 42}



ภาพที่ 6 แสดงการยึดติดทางเคมีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโครงสร้างฟัน⁴³

4.3. สารปรับสภาพเนื้อฟันสำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Dentin conditioning agents for glass ionomer cement)

การเพิ่มแรงยึดเกาะของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถทำได้โดยการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างโมเลกุล จากการศึกษาของ Van Meerbeek และคณะ⁴⁴ พบว่า กรดพอลิอะคริลิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน จะช่วยกำจัดชั้นสเมียร์ ทำความสะอาดผิวฟัน ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่พื้นผิวฟัน เกิดความขรุขระและเพิ่มพื้นที่ผิวระดับ

จุลภาค ทำให้การยึดติดแบบเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) ดียิ่งขึ้น และกรดชนิดนี้ยังเกิดพันธะเคมีต่อไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เหลือที่ผิวฟันได้ นอกจากนี้แล้วกรดชนิดนี้ยังเป็นชนิดเดียวกับในส่วนเหลวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำให้กรดพอลิอะคลิริกที่ตกค้างหลังการล้างน้ำออกไม่น่ามีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์ โดยปัจจุบันมีสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสารประกอบหลักของแต่ละผลิตภัณฑ์ เป็น กรดพอลิอะคลิริกที่ความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 10 ถึง 30 โดยในผลิตภัณฑ์จีซีแควิตีคอนดิชันเนอร์ (GC cavity conditioner, GC Corporation) มีส่วนประกอบของ อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้อ้างว่า อะลูมิเนียมคลอไรด์จะช่วยคงสภาพของเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อฟันไม่ให้ฟูบ ในขั้นตอนที่สัมผัสกับกรดแล้วมีการสูญเสียแร่ธาตุ⁴⁵

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และส่วนประกอบ⁴⁶

Product	Composition	Company
GC Dentin Conditioner	10 % Polyacrylic acid	GC Corporation, Tokyo, Japan
GC Cavity Conditioner	20 % Polyacrylic acid, 3 % Aluminum chloride hexahydrate	GC Corporation, Tokyo, Japan
GC Fuji Plus Conditioner	Citric acid monohydrate, ferric chloride	GC Corporation, Tokyo, Japan
Self-Conditioner for Fuji Filling	HEMA, 4-META, ethanol and water	GC Corporation, Tokyo, Japan
Ketac Dentin Conditioner	25 % Polyacrylic acid	3M ESPE, Seefeld, Germany
Vitremer core build up/ restorative primer	46 % HEMA, 39 % Ethyl alcohol, 15 % Polyacrylic acid, photoinitiator	3M ESPE, Seefeld, Germany
Ketac Nano primer	HEMA, water, copolymer acrylic acid and itaconic acid, photoinitiator	3M ESPE, Seefeld, Germany
Riva Conditioner	25-30 % Polyacrylic acid	SDI Limited, Bayswater Victoria, Australia

4.4. ค่าแรงยึดติดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่อเนื้อฟัน

มีหลายการศึกษาได้ประเมินแรงยึดติดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟัน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีความหลากหลายของปัจจัยต่างๆ ในขั้นตอนในการศึกษา เช่น ชนิดของฟันที่ศึกษา สารปรับสภาพเนื้อฟัน ชนิดของวัสดุบูรณะ การเก็บชิ้นงาน ชนิดของการทดสอบ จึงทำให้แรงยึดติดที่ตรวจพบมีค่าแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการศึกษาค่าแรงยึดติดของเนื้อฟันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของ ฟันที่ศึกษา	สารปรับสภาพเนื้อ ฟัน	ชนิดของ วัสดุ	การเก็บชิ้นงาน	ชนิดของการ ทดสอบ	แรงยึดติด (MPa)	รูปแบบความล้มเหลวที่พบ
Nanavati และ คณะ (2021) ⁴⁷	ฟันกราม น้ำนมที่ไม่ผุ	GC dentin conditioner (10% poly acrylic acid)	GIC (GC Fuji gold label 9)	ทาด้วย GC fuji COAT LC เก็บในน้ำกลั่น ที่ อุณหภูมิ 37 องศา เซลเซียส 24 ชั่วโมง	SBS (universal testing machine)	2.36 ± 1.01	mixed failure 60% cohesive failure in restoration 20% adhesive failure 20%
Singh และคณะ (2021) ⁴⁸	ฟันกราม น้ำนมและ ฟันกรามแท้ ที่ไม่ผุ	ไม่ได้ระบุ	GIC (GC gold label 9)	ไม่ได้ระบุ	SBS (universal testing machine)	ฟันกรามน้ำนม 3.01 ± 0.85 ฟันกรามแท้ 3.35 ± 0.98	ส่วนใหญ่พบ cohesive failure in restoration
Palma- Dibb และ คณะ (2003) ⁴⁹	ฟันกรามแท้ ที่ผุ	39% poly acrylic acid และ 11% tartaric acid (Fuji IX liquid, GC)	GIC (GC Fuji IX)	ทาด้วยสารเคลือบเล็บ เก็บในน้ำกลั่น ที่ อุณหภูมิ 37 องศา เซลเซียส 24 ชั่วโมง	TBS (universal testing machine)	1.45 ± 1.70	mixed failure 30% adhesive failure 70%

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดของ ฟันที่ศึกษา	สารปรับสภาพ เนื้อฟัน	ชนิดของวัสดุ	การเก็บชิ้นงาน	ชนิดของการทดสอบ	แรงยึดติด (Mpa)	รูปแบบความล้มเหลวที่พบ
Auychai และ คณะ (2021) ⁵⁰	ฟันกราม น้อยแท้ที่ไม่ ผุ	GC dentin conditioner (10% poly acrylic acid)	GIC (GC Fuji IX GC 15hlor)	ทาด้วย GC fuji COAT LC เก็บในน้ำกลั่น ที่ อุณหภูมิ 37 องศา เซลเซียส 24 ชั่วโมง	SBS (universal testing machine)	3.87 ± 1.96	ไม่ได้ระบุ
Poggio และคณะ (2014) ⁵¹	ฟันวีวที่ไม่ผุ	GC cavity conditioner (20% poly acrylic acid)	GIC (Fuji IX GP extra in caps)	เก็บในไทมอล (thymol) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	SBS (universal testing machine)	3.51 ± 1.22	adhesive failure 100%
Burke และคณะ (1994) ⁵²	ฟันกรามแท้ ที่ผุ	Chemfil II tooth cleanser (25% poly acrylic acid)	GIC (Chemfil II Dentsply UK)	เก็บในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 7 วัน	TBS (universal testing machine)	2.43 ± 0.47	cohesive failure in restoration และ adhesive failure

หมายเหตุ

SBS หมายถึง shear bond strength แรงยึดติดแบบเฉือน

TBS หมายถึง tensile bond strength แรงยึดดึง

GIC หมายถึง glass ionomer cement วัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

5. Atraumatic Restorative Treatment (ART) Technique

เนื่องจากโรคฟันผุเป็นปัญหาทันตสุขภาพที่สำคัญในหลายประเทศ ซึ่งกลุ่มเด็กและประชาชนทั่วไปยังเข้าถึงการรักษาทางทันตกรรมได้ลำบาก เพื่อควบคุมความรุนแรงของโรคและลดการสูญเสียฟัน องค์การอนามัยโลกจึงได้เสนอการบูรณะฟันด้วยเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนโดยการใช้วิธี Atraumatic Restorative Treatment (ART) ขึ้น โดยมีหลักการคือ เป็นการกำจัดฟันที่ติดเชื้อออก โดยให้มีการทำลายหรือสูญเสียเนื้อฟันน้อยที่สุด ด้วยเครื่องมือทันตกรรมชนิดใช้มือ (hand instrument) และบูรณะตามด้วยวัสดุที่สามารถยึดติดกับเนื้อฟัน เข้ากันได้ดีกับช่องปาก และปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ยกตัวอย่างเช่น กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เพื่อป้องกันการผุที่เกิดขึ้นใหม่ การบูรณะฟันด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องฉีดยาชาเฉพาะที่ ไม่มีความเจ็บปวด จึงมักได้รับความร่วมมือจากผู้ป่วยเด็ก⁵³ เป็นเทคนิคที่ใช้เครื่องมือน้อยชิ้นในการกำจัดฟันผุ เช่น ใช้ซ็อนซูดโพรงฟันเพียงอย่างเดียว โดยกำจัดเนื้อฟันผุออกเฉพาะบางส่วน (selective removal up to soft dentin) ร่วมกับการใช้วัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แบบแคปซูลในการบูรณะฟัน เทคนิคนี้จึงมีข้อดีคือ การบูรณะฟันรวดเร็วขึ้น และวัสดุบูรณะมีคุณภาพได้มาตรฐาน เหมาะกับการให้บริการทันตกรรมเชิงรุกในการจัดการกับรอยโรคฟันผุในเด็กปฐมวัย⁵⁴

6. Silver modified atraumatic restorative treatment; SMART technique

ในบางครั้งการรักษาทางทันตกรรมในผู้ป่วยเด็กอาจพบข้อจำกัด เนื่องจากจากผู้ป่วยอายุน้อย หรือผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบ ไม่สามารถให้ความร่วมมือได้ รอยโรคฟันผุในช่องปากมีหลายตำแหน่ง จำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างเร่งด่วน หรือผู้ป่วยมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงบริการทางทันตกรรม ทำให้ไม่สามารถบูรณะฟันได้อย่างสมบูรณ์ หรือต้องการหยุดยั้งรอยผุเพื่อรอการรักษา มีการนำ ART มาประยุกต์ใช้ กลายเป็น Simplified modified atraumatic restorative technique (SMART) โดยมีแนวคิดคือ หวังผลให้มีการหยุดยั้งรอยโรคฟันผุจาก SDF และปิดทับด้วยวัสดุบูรณะ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ช่วยปิดช่องทางไม่ให้เชื้อแบคทีเรียหรือเศษอาหารเข้าไปในโพรงฟันได้ และเป็นการบูรณะฟันเพื่อให้สามารถใช้งานบดเคี้ยวได้ต่อไป โดยวัสดุบูรณะที่มักใช้คือ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยสารผสมระหว่าง ผงแก้วฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกต และส่วนเหลวที่มีกรดพอลิอัลคีนอิก¹¹ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมคือยึดติดกับเนื้อฟันโดยพันธะเคมี¹² และปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ป้องกันฟันผุ¹³ SMART มีขั้นตอนการทำหลักๆ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจัดการรอยโรคฟันผุด้วย SDF ก่อน โดยสามารถทา SDF ลงบนโพรงฟันโดยไม่จำเป็นต้องกำจัดเนื้อฟันส่วนที่ผุออกก่อน จึงเป็นการลดเวลาในการรักษา จากนั้นจึงทำการบูรณะด้วยวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งมีประสิทธิผลในการหยุดยั้ง

รอยโรคฟันผุโดยไม่ต้องมีการสูญเสียเนื้อฟันเพิ่มเติมแบบเทคนิคอื่นๆ หรือกรณีที่รอยโรคฟันผุลึกจะใช้หลักการกำจัดรอยโรคฟันผุบางส่วน (partial/incomplete caries removal) โดยกำจัดรอยผุรอบๆ โพรงฟันเพื่อให้การยึดติดของวัสดุอุดตามขอบมีประสิทธิภาพที่ดี และเหลือรอยผุในส่วนที่ลึกใกล้โพรงประสาทฟันไว้¹⁶ นอกจากนี้แล้ววัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังสามารถปิดรอยดำที่เกิดจากการทาสาร SDF ลงบนฟันได้ การใช้ SMART technique นี้สามารถทำได้ 2 แบบ โดยทำการบูรณะด้วยวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทันทีหลังจากที่ทา SDF เป็นการรักษา 1 ครั้ง หรือ บูรณะหลังจากที่ได้ทาสาร SDF ไปแล้ว 2 ครั้ง ตามคำแนะนำของสมาคมทันตแพทย์สำหรับเด็กสหรัฐอเมริกา³⁵

5. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุจำลอง

จากการศึกษาของ Marquezan และคณะ⁵⁵ แบ่งวิธีการเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุจำลองในชั้นเนื้อฟันน้ำนมเป็น 2 วิธี

5.1. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยวิธีทางเคมี (Chemical method)

5.1.1. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยใช้ เจลาตินที่ปรับ pH ด้วยกรด (acidified gelatin gel) เป็นเวลา 14 วัน ตามแนวทาง ของ Silverstone⁵⁶ สารที่ใช้ประกอบด้วย กรดแลกติก (lactic acid) เจลาติน (gelatin) และ ไทมอล (thymol) ที่ pH 4.5 เทคนิคนี้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากเตรียมง่าย ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดคือ มีสัดส่วนของแคลเซียมและฟอสเฟตที่ไม่แน่นอน⁵⁷ มีกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralization) แต่ไม่มีกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุ (Remineralization) นอกจากนี้ยังไม่มือน้ำลาย และคราบจุลินทรีย์ (biofilm) เหมือนในช่องปากจริง⁵⁸

5.1.2. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยใช้ กระบวนการสลับสภาวะกรด-ด่าง (pH-cycling) มีหลักการคือ จำลองให้ชั้นฟันอยู่ภาวะที่เป็นกลาง จากนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยการใส่กรดเป็นระยะๆ ตามสภาพการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในช่องปากซึ่งเกิดเมื่อน้ำตาลถูกย่อยสลาย และเกิดการเป็นรอยโรคฟันผุ⁵⁹ ซึ่งในการศึกษาของ Marquezan และคณะ⁵⁵ จะใช้กระบวนการสลับสภาวะกรด-ด่าง ตามแนวทางของ Dentate และคณะ⁶⁰ สารที่ใช้ประกอบด้วย สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralizing solution) ประกอบด้วย 2.2 mM CaCl_2 , 2.2 mM NaH_2PO_4 และ 50 mM acetic acid ที่ pH 4.8 สารละลายที่ช่วยคืนกลับแร่ธาตุ (remineralizing solution) ประกอบด้วย 1.5 mM CaCl_2 , 0.9 mM NaH_2PO_4 และ 0.15 M KCl ที่ pH 7.0 วิธีนี้มี

ข้อดีคือมีการจำลองทั้งภาวะสูญเสียแร่ธาตุ และภาวะคืนกลับของแร่ธาตุ มีการเปลี่ยนสารละลายอยู่ตลอดเพื่อป้องกันการตกตะกอน แต่มีข้อจำกัดคือไม่มีน้ำลาย และ คราบจุลินทรีย์ เหมือนในช่องปากจริง⁵⁸

5.2. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยใช้วิธีทางจุลชีววิทยา

(Microbiological method)

เป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยใช้ เชื้อแบคทีเรีย ที่สามารถผลิตกรดได้ เช่น *Streptococcus mutans* วิธีนี้มีลักษณะคล้ายกับการเกิดรอยโรคฟันผุในชั้นเนื้อฟันตามธรรมชาติ เช่น สี และมีการฟุที่ชั้นเนื้อฟันเป็น 2 ชั้น ได้แก่ชั้นนอกเป็นเนื้อฟันผุที่ติดเชื้อ (bacterially infected dentin) และชั้นในเป็นเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อ (affected dentin)⁶¹ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ไม่มีหลักการที่เป็นมาตรฐานสำหรับวิธีนี้⁶² และพบว่าวิธีนี้ทำให้เกิดชั้นเนื้อฟันที่ผุนึกกว่าการเหนี่ยวนำให้เกิดฟันผุด้วยวิธีเคมีและการเกิดรอยโรคฟันผุตามธรรมชาติ⁵⁵

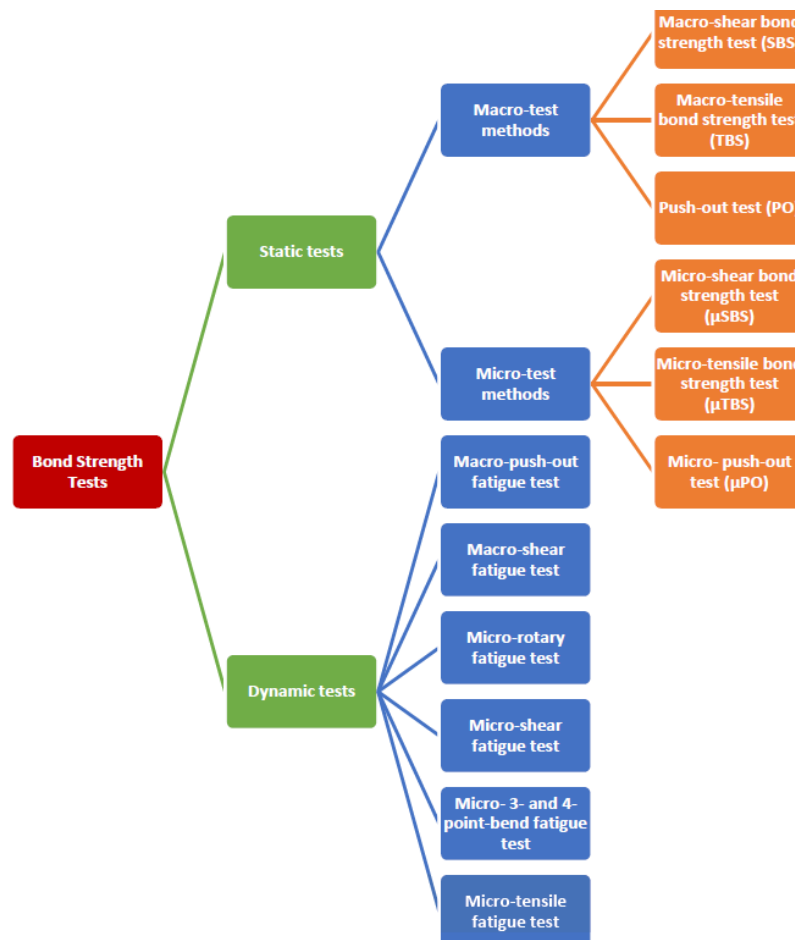
กล่าวโดยสรุปการเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุโดยวิธีทางเคมีก่อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ที่บริเวณผิวของฟัน โดยการเหนี่ยวนำด้วยกระบวนการสลับสภาวะกรด-ด่าง มีประสิทธิผลมากกว่า แบบใช้เจลาคินที่ปรับ pH ด้วยกรด เนื่องจากทำให้เกิดชั้นที่มีการสูญเสียแร่ธาตุหนากว่า และให้ค่าความแข็งระดับจุลภาค (microhardness) ที่ใกล้เคียงกับรอยโรคฟันผุในชั้นเนื้อฟันตามธรรมชาติ ส่วนวิธีเหนี่ยวนำโดยใช้วิธีทางจุลชีววิทยา ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่มากเกินไปในชั้นเนื้อฟันน้ำนม

55

6. เปรียบเทียบการทดสอบแรงยึดติดประเภทต่างๆ

การทดสอบแรงยึดติด สามารถแบ่งได้เป็นการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ (static test) และ การทดสอบแบบพลศาสตร์ (dynamic test) ดังภาพที่ 7 โดยในการทำการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ แรงจะถูกส่งผ่านไปวัสดุที่หนึ่งอยู่กับที่ ในขณะที่การทดสอบแบบพลศาสตร์ แรงจะกระทำผ่านวัสดุที่ไม่อยู่หนึ่ง โดยการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ จะแบ่งเป็นการทดสอบมหภาค (macro test) และ การทดสอบจุลภาค (micro test) ซึ่งจะแยกกันที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ 2 ชนิดที่ทำการยึดติดกัน โดยการทดสอบแรงยึดแบบมหภาค (macro-bond strength test) จะใช้พื้นที่หน้าตัด

ของวัสดุ 2 ชนิดที่ทำการยึดติดกัน ที่ขนาดใหญ่กว่า 3 ตารางมิลลิเมตร แบ่งเป็น แรงเฉือน (shear) แรงดึง (tensile) หรือ แรงกดออก (push-out) ในขณะที่การทดสอบแรงยึดแบบจุลภาค (micro-bond strength test) จะใช้พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ 2 ชนิดที่ทำการยึดติดกันที่ขนาดเล็กกว่าการทดสอบแรงยึดแบบมหภาค โดยมีพื้นที่ประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร หรือน้อยกว่า⁴⁴



ภาพที่ 7 สรุปการทดสอบแรงยึดติดประเภทต่างๆ ที่ทำภายใต้ห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบ การทดสอบแรงยึดติดประเภทต่างๆ⁶³

6.1. การทดสอบแรงยึดแบบมหภาค

6.1.1. การทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน

(Macro shear bond strength (SBS) test)

เป็นการทดสอบแรงยึดติดที่นิยมที่สุด ในการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุยึดติด (adhesive) ชนิดใหม่ ๆ⁶⁴ โดยความแข็งแรงยึดเฉือน (shear bond strength) หมายถึง แรงที่มากที่สุดที่วัสดุสามารถทนได้ก่อนที่จะหลุดออกด้วยแรงเฉือนที่มากกระทำ ในการทดสอบจะใช้ วัสดุ 2 ชนิดมายึดติดกันด้วย วัสดุยึดติดที่ต้องการทดสอบ แล้วกดแรงเฉือนลงที่หน้าตัดของวัสดุทั้ง 2 ชนิดจนกระทั่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดหลุดออกจากกัน ดังแสดงในภาพที่ 8 การทดสอบชนิดนี้มีข้อดี คือ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานไม่ยุ่งยาก ทำได้ง่ายและทำได้เร็ว⁶⁵ ข้อเสียคือ กรณีที่วัสดุยึดติดชนิดใหม่ที่ทำมาทดสอบมีแรงยึดติดที่มาก จะทำให้เกิดการแตกหักในชั้นของตัววัสดุเอง (cohesive failure) ไม่ใช่บริเวณหน้าตัดของวัสดุทั้ง 2 ชนิด อย่างที่ต้องการ⁶⁶⁻⁷⁰

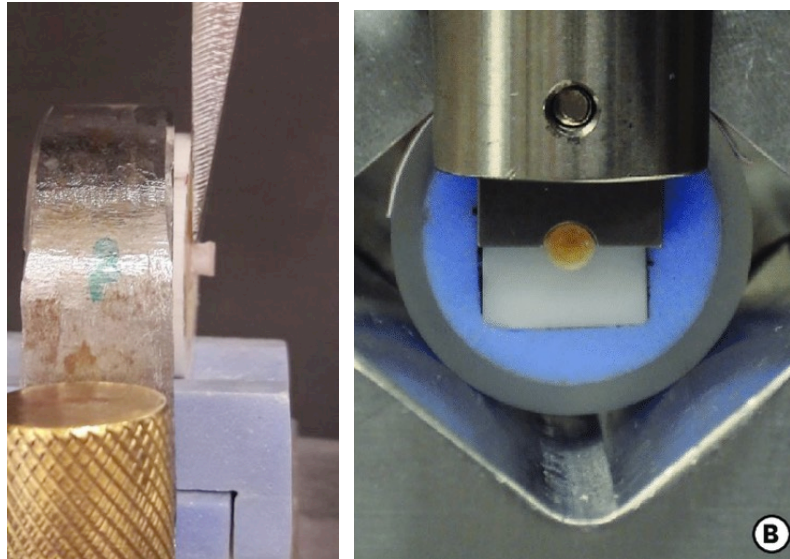
จากการศึกษาของ Raju และคณะ⁷¹ ในการเปรียบเทียบแรงยึดเฉือนและรอยรั่วระดับจุลภาค (microleakage) ของวัสดุบูรณะฟันที่มีไตรแคลเซียม ซิลิเกต (tricalcium silicate) เป็นองค์ประกอบ และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในฟันน้ำนมและฟันแท้ พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji IX GP) ในฟันน้ำนมอยู่ที่ $5.618 \text{ Mpa} \pm 2.752$ ซึ่งทำการวัดโดยใช้เครื่องมือ universal testing machine (INSTRON) ซึ่งมีหัวกด (cross head) แบบสิ่ว (chisel)

จากการศึกษาของ Dehoff และคณะ⁷² พบว่า เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือนนั้นมีหลายประเภท ในอดีตใช้หัวกดแบบสิ่วซึ่งเป็นการแตะกับวัสดุเพียงแค่จุดเดียว (single point loading) โดยแรงจะลงมากที่สุดบริเวณที่หัวกดแบบสิ่วแตะกับรอยต่อของวัสดุเป็นตำแหน่งแรกเท่านั้น ทำให้มีปัญหาเรื่องการกระจายแรงตามมา การวัดแรงเฉือนด้วยเครื่องมือทดสอบของ Ultradent ซึ่งมี หัวกดแบบครึ่งวงกลม (notched-edge) อาศัยหลักการคือ มีการกระจายของแรงเป็นมุม 180 องศารอบชิ้นงาน ซึ่งเมื่อแรงถูกกระจายผ่านพื้นที่ผิวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ชิ้นงานสามารถทนต่อแรงที่มากกระทำได้มากขึ้น ส่งผลให้วัดค่าความแข็งแรงเฉือนในเครื่องมือทดสอบของ Ultradent ได้มากกว่าเครื่องมือที่มีหัวกดแบบสิ่ว และแก้ปัญหาที่มักเกิดในการทดสอบแรงยึดเฉือน

ด้วยเครื่องมือที่มีหัวกดแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งมักพบว่าเกิดความล้มเหลวของชั้นทดสอบโดยเกิดการแตกหักในชั้นของตัววัสดุเองได้

จากการศึกษาของ Pecora และคณะ⁷³ เปรียบเทียบการใช้เครื่องมือวัดแรงเฉือนที่มีหัวกดแบบสี่เหลี่ยม และหัวกดแบบครึ่งวงกลม (Ultradent testing device) ในการวัดแรงเฉือนของวัสดุยึดติด ประเภทต่างๆ 3 ชนิดที่ใช้ในการยึดติดวัสดุอุดคอมโพสิต (composite) กับชั้นเนื้อฟัน พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงยึดเฉือนที่ทดสอบด้วย Ultradent testing device สูงกว่ากลุ่มที่ทดสอบด้วยเครื่องมือวัดแรงเฉือนที่มีหัวกดแบบสี่เหลี่ยม แต่ไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ในปัจจุบัน องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (The International Organization for Standardization : ISO) อนุมัติให้ใช้เครื่องมือ Ultradent ultratester machine ซึ่งหัวกดแบบครึ่งวงกลม เป็นมาตรฐานใหม่ในการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน โดยลงความเห็นว่า การวัดแรงเฉือนด้วยเครื่องมือชนิดนี้ มีข้อดีที่เหนือกว่าการวัดแรงเฉือนด้วยเครื่องมือรูปแบบอื่นๆ ตามที่มีมาก่อนหน้า ISO Standard 29022 ระบุว่า การทดสอบแรงเฉือนเพื่อประเมินความแข็งแรงของวัสดุยึดติด (adhesive bond strength) ระหว่างวัสดุอุดฟันกับโครงสร้างของฟัน เช่น ชั้นเนื้อฟัน หรือชั้นเคลือบฟัน เมื่อใช้เครื่องมือที่มีหัวกดแบบครึ่งวงกลม ในการจับชิ้นงานจะทำให้การกระจายตัวของแรงที่ลงสู่ชิ้นงานมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้เครื่องมือในรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นผลการทดสอบด้วยวิธีนี้จึงมีความแม่นยำกว่าวิธีอื่นๆ⁷⁴



ก.

ข.

ภาพที่ 8 การทดสอบแรงยึดติดแบบเฉือน ก. หัวกดแบบสไลด์ ข. หัวกดแบบครึ่งวงกลม

6.1.2. การทดสอบความแข็งแรงยึดดึง

(Macro tensile bond strength (TBS) test)

การทดสอบนี้จะใช้แรงดึงที่แต่ละด้านของชิ้นงาน⁷⁵ ดังแสดงในภาพที่ 9 มักใช้ในการประเมินแรงยึดของซีเมนต์ (cement) กับ วัสดุที่มีความแข็ง เช่น เซรามิก (ceramics) และ โลหะ (metal alloys)^{76, 77} ถึงแม้การทดสอบนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน เนื่องจากมีการกระจายแรงที่สม่ำเสมอ แต่มีข้อจำกัดคือ เตรียมชิ้นงานยาก เพราะต้องเตรียมให้บริเวณรอยต่อของฟันกับวัสดุบูรณะตั้งฉากกับตัวจับที่ใช้ทดสอบชิ้นงานด้วย ไม่เช่นนั้นจะเกิดแรงเค้นดัด (bending stress) คือชิ้นงานเกิดการบิดงอ ส่งผลให้วัดแรงได้ไม่แม่นยำ การทดสอบชนิดนี้จึงไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร⁷⁸



ภาพที่ 9 แสดงแต่ละด้านของชิ้นงานถูกยึดติดกับเครื่องมือในการทดสอบแรงยึดดึง

การทดสอบแรงยึดแบบมหภาค ยังคงมีข้อจำกัดคือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานขนาดใหญ่ จากการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน และความแข็งแรงยึดดึง ในหลายการศึกษา พบว่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงยึดติด โดย ยิ่งพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น แรงยึดติดที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากการกระจายแรงมีความไม่สม่ำเสมอเพิ่มขึ้น⁷⁹⁻⁸¹

6.2. การทดสอบแรงยึดแบบจุลภาค

6.2.1. การทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือนในระดับจุลภาค

(Micro shear bond strength (μ SBS) test)

เป็นการทดสอบแรงที่ใช้ขนาดของเนื้อฟันเล็กกลง ทำให้สามารถเตรียมชิ้นงานหลายชิ้น จากฟันซี่เดียวกันได้ เช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแรงยึดดึงในระดับจุลภาค (Micro tensile bond strength (μ TBS) test)^{82, 83} แต่พบว่าการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือนในระดับจุลภาค มีการกระจายของแรงลงบนชิ้นงานไม่สม่ำเสมอมากกว่าการทดสอบความแข็งแรงยึดเฉือน

นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของ Placido และคณะ⁸⁴ สรุปว่า การทดสอบ μ SBS มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการทดสอบ SBS

6.2.2. การทดสอบความแข็งแรงยึดติงในระดับจุลภาค

(Micro tensile bond strength (μ TBS) test)

การทดสอบชนิดนี้มีข้อดีคือ การกระจายแรงสม่ำเสมอว่าการทดสอบแรงยึดเฉือน ถ้าสามารถเตรียมบริเวณพื้นที่หน้าตัดของวัสดุให้มีขนาด 1 ตารางมิลลิเมตรได้ ทำให้วัดแรงที่เกิดระหว่างผิววัสดุต่างชนิด (adhesive bond failure) ได้อย่างแท้จริง กรณีทดสอบการยึดติดของผิวชั้นฟันกับวัสดุบูรณะ ก็สามารถตัดแบ่งชิ้นฟันได้หลายชิ้นจากฟันซี่เดียวกันได้^{85, 86} แต่การทดสอบชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ขั้นตอนที่ยุ่งยากในการเตรียมชิ้นงาน หลังจากที่ยึดติดวัสดุบูรณะกับชิ้นฟันแล้ว ต้องนำชิ้นงานไปตัดแบ่งให้มีขนาด เล็ก ซึ่งวัสดุอาจแตกหักในขั้นตอนนี้ได้⁸⁷ นอกจากนี้พื้นที่หน้าตัดที่ลดลง การกระจายตัวของแรงจะสม่ำเสมอมากขึ้น ส่งผลให้แรงยึดติดที่วัดได้มีค่ามากขึ้น ดังนั้นการวัดแรงที่น้อยกว่า 5 เมกะปาสคาล (megapascal (Mpa)) จะทำได้ไม่แม่นยำ

7. ผลของ SDF ต่อแรงยึดติดของวัสดุอุดฟัน

จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Jiang และคณะ ปี ค.ศ. 2020²¹ ได้รวบรวมการศึกษา เกี่ยวกับผลของการทา SDF ต่อแรงยึดติดของวัสดุอุดฟันชนิดต่างๆกับชั้นเนื้อฟัน ในที่นี้จะกล่าวถึงผลต่อวัสดุอุดพลาสติกโพลีเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (RMGIC) และพลาสติกโพลีเมอร์ซีเมนต์ (GIC) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4 โดยพบว่ายังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดเรื่องผลของการทา SDF ต่อแรงยึดติดของวัสดุอุดฟันชนิดต่างๆ กับชั้นเนื้อฟัน เนื่องมาจากมีความหลากหลายของปัจจัยต่างๆ ในขั้นตอนในการศึกษา

ตารางที่ 4 แสดงการศึกษาผลของการทำ SDF ต่อแรงยึดติดของเนื้อฟันกับวัสดุอุด GIC หรือ RMGIC²¹

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดวัสดุอุด	ขนาด กลุ่ม ตัวอย่าง (ในแต่ละ กลุ่ม)	แรงยึดติด (Mpa)			การวิเคราะห์ (กำลังขยาย) failure mode ที่พบ	ผลการศึกษา	สรุปผล
			กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง				
				SDF	SDF+KI			
Zhao และคณะ (2019) ¹⁷	GIC (Ketar- Molar)	19	2.6±1.1	2.3±0.9	3.0±1.4	กล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสง (20x) Adhesive	1.การทำ SDF ตามด้วยการเป่าแห้งไม่มีผล ต่อ SBS ของเนื้อฟันกรามแท้ที่มีการสูญเสีย แร่ธาตุที่ยึดติดกับ GIC 2. การทำ SDF+KI ตามด้วยการล้างน้ำไม่มี ผลต่อ SBS ของเนื้อฟันกรามแท้ที่มีการ สูญเสียแร่ธาตุที่ยึดติดกับ GIC	ไม่แตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญ
Gupta และคณะ (2019) ⁸⁸	RMGIC (GC gold label 2 LC)	8	10.5±10.5 (น้ำ) 8.9±4.6 (polyacrylic acid) 9.7±5.3 (26hlorhexidine)		22.3±4.4*	ไม่ได้ระบุ	เปรียบเทียบการทำน้ำ polyacrylic acid และ 26hlorhexidine พบว่าการทำ SDF+KI ตามด้วยการล้างน้ำมีผลเพิ่ม SBS ของเนื้อฟันกรามแท้ที่ไม่ผูกที่ยึดติดกับ RMGIC	เพิ่มขึ้นอย่างมี นัยสำคัญ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดวัสดุ อุด	ขนาด กลุ่ม ตัวอย่าง (ในแต่ละ กลุ่ม)	แรงยึดติด (Mpa)		การวิเคราะห์ (กำลังขยาย) failure mode ที่พบ	ผลการศึกษา	สรุปผล	
			กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง				
				SDF				SDF+ KI
Puwana wiroj และ คณะ (2018) ¹⁸	GIC (Fuji IX)	40	6.3±4.6	7.4±5.1	กล้อง จุลทรรศน์ แบบใช้แสง (40x) Mixed	การทำ SDF ตามด้วยการล้างน้ำและขัดไม่มีผลต่อ mTBS ของเนื้อฟันกรามน้ำนมที่ผู้ซึ่งยึดติดกับ GIC	ไม่แตกต่างอย่างมี นัยสำคัญ	
Wang และคณะ (2016) ⁸⁹	GIC (Fuji IX)	20	ที่ 24 ชั่วโมง เนื้อฟันที่ไม่ผู้ - ทา น้ำ+GIC 4.00±1.68	ที่ 24 ชั่วโมง เนื้อฟันที่ไม่ผู้ -ทาSDF+GIC 4.25±1.80 ทาSDF+GIC และฉายแสง 4.80±2.53	กล้อง จุลทรรศน์ แบบใช้แสง (40x) Cohesive	1.เปรียบเทียบการไม่รักษากับการทำ SDF และการทำ SDF ร่วมกับการฉายแสง เพิ่ม mTBS ของฟันกราม แท้ที่มีการสูญเสียแร่ธาตุที่ยึดติดกับGIC อย่างมี นัยสำคัญ ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังจากทำการยึดติด แต่ ไม่มีผลที่เวลา 7 วัน 2.การทำ SDF ร่วมกับการฉายแสง หรือไม่ฉายแสงไม่ มีผลต่อ mTBS ของฟันกรามแท้ที่ไม่ผู้ซึ่งยึดติดกับGIC	เพิ่มขึ้นอย่างมี นัยสำคัญ/ไม่ แตกต่างอย่างมี นัยสำคัญ	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดวัสดุอุด	ขนาดกลุ่ม ตัวอย่าง (ในแต่ละ กลุ่ม)	แรงยึดติด (Mpa)		การวิเคราะห์ (กำลังขยาย) failure mode ที่พบ	ผลการศึกษา	สรุปผล	
			กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง				
				SDF				SDF+KI
Wang และคณะ (2016) ⁸⁹ (ต่อ)			ที่ 24 ชั่วโมง เนื้อฟันที่มีการ สูญเสียแร่ธาตุ - ทา น้ำ+GIC 3.84±1.47	ที่ 24 ชั่วโมง เนื้อฟันที่มีการ สูญเสียแร่ธาตุ - ทา SDF+GIC 4.74±1.41 - ทา SDF+GIC และฉายแสง 6.25±2.60*				
			ที่ 7 วัน เนื้อฟันที่ไม่ผุ - ทา น้ำ+GIC 5.83±2.04	ที่ 7 วัน เนื้อฟันที่ไม่ผุ - ทา SDF+GIC 5.19±1.77				

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดวัสดุอุด	ขนาดกลุ่ม ตัวอย่าง (ในแต่ละ กลุ่ม)	แรงยึดติด (Mpa)		การวิเคราะห์ (กำลังขยาย) failure mode ที่ พบ	ผลการศึกษา	สรุปผล	
			กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง				
				SDF				SDF+KI
Wang และคณะ (2016) ⁸⁹ (ต่อ)			ที่ 7 วัน เนื้อฟันที่ไม่ผุ - ทา SDF+GIC และฉายแสง 4.53±2.34					
			ที่ 7 วัน เนื้อฟันที่มีการ สูญเสียแร่ธาตุ - ทา น้ำ+GIC 6.04±2.24	เนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ ธาตุ ทา SDF+GIC 6.21±3.28 ทา SDF+GIC และฉายแสง 6.69±2.72				

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ค.ศ.)	ชนิดวัสดุอุด	ขนาด กลุ่ม ตัวอย่าง (ในแต่ละ กลุ่ม)	แรงยึดติด (Mpa)		การวิเคราะห์ (กำลังขยาย) failure mode ที่พบ	ผลการศึกษา	สรุปผล	
			กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง				
				SDF				SDF+KI
Koizumi และคณะ (2016) ¹⁹	RMGIC (Riva Bond LC)	10	18.4±5.6		14.5±5.2*	SEM Adhesive	การทำ SDF+KI ลด mTBS ระหว่าง เนื้อฟันกรามแท้ที่ไม่ผูกกับ RMGIC	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
Knight และ คณะ (2006) ²⁰	GIC (Fuji VII)	10	2.40±0.88		2.83±1.39 (ล้างน้ำ) 1.53±0.74* (เป่าแห้ง)	ไม่ได้ระบุ	1.การทำ SDF+KI และทิ้งตะกอนไว้ ที่เนื้อฟันมีผลลด SBS ระหว่างเนื้อ ฟันกรามแท้ปกติกับ GIC 2.การทำ SDF+KI ตามด้วยการล้าง น้ำเพื่อเอาตะกอนที่เนื้อฟันออกไม่มี ผลต่อ SBS ระหว่างเนื้อฟันกรามแท้ ปกติกับ GIC	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ/ไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

หมายเหตุ *p value < 0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

SEM หมายถึง scanning electron microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด

SBS หมายถึง shear bond strength แรงยึดติดแบบเฉือน

mTBS หมายถึง microtensile bond strength แรงยึดติดระดับจุลภาค

SDF หมายถึง silver diamine fluoride ซิลเวอร์ไดอามีนฟลูออไรด์

KI หมายถึง Potassium iodide โพแทสเซียมไอโอไดด์

GIC หมายถึง glass ionomer cement วัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

RMGIC หมายถึง resin modified glass ionomer cement วัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

คำถามการวิจัย (Research question)

1. เวลาที่ใช้ในการทา SDF มีผลต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันของฟันน้ำนมหรือไม่
2. ระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทา SDF ส่งผลต่อความลึกในการแทรกผ่าน (penetration depth) และความหนาแน่นของแร่ธาตุ (mineral density) ของสาร SDF ในชั้นเนื้อฟันน้ำนมอย่างไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทา SDF ต่อการยึดติดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่อเนื้อฟันน้ำนม

วัตถุประสงค์เฉพาะ

1. เพื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่แตกต่างกัน (10 30 และ 60 วินาที) ในการทา SDF ต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันของฟันน้ำนม
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่แตกต่างกัน (10 30 และ 60 วินาที) ในการทา SDF ต่อรูปแบบความล้มเหลว (failure mode) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันน้ำนม
3. เพื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่แตกต่างกัน (10 30 และ 60 วินาที) ในการทา SDF ต่อความลึกในการแทรกผ่านและความหนาแน่นของแร่ธาตุของ SDF ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม

สมมุติฐานการวิจัย

ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ยึดติดกับชั้นเนื้อฟันน้ำนมไม่แตกต่างกันเมื่อเวลาที่ใช้ทา SDF แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดระยะเวลาในการรักษาลงได้ ถ้าพบว่าเวลาที่ใช้ในการทา SDF ไม่มีผลต่อแรงยึดผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่อเนื้อฟันน้ำนม

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

1. ฟันกรามน้ำนม
2. ขวดโหลเก็บฟัน
3. หัวกรอเพชรทรงกระบอก (cylinder diamond bur)
4. แผ่นคาร์โบรันดัม (Carborundum disc)
5. ดินน้ำมัน
6. กระดาษทราย
7. ท่อพีวีซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 1 นิ้ว
8. ไมโครปิเปต (micropipette)
9. แม่พิมพ์ (mold and clamp) สำหรับทดสอบแรงยึดเหนี่ยว ยี่ห้อ Ultradent ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร
10. เครื่องขัดแบบจานหมุน (polishing machine) ยี่ห้อ Buehler
11. เครื่องตัดชิ้นงานแบบละเอียด (specimen cutting machine) ISOMET 1000
12. เครื่องทดสอบความแข็งแรงเหนียว (Ultratester machine) ยี่ห้อ Ultradent
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) รุ่น QUANTA 400
14. เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (microCT) 35 ยี่ห้อ SCANCO
15. เครื่องมือสแกนพื้นผิวแบบสามมิติ 3D Profilometer รุ่น VR6200
16. ภาดหลุมใส่ตัวอย่างจำนวน 6 ช่อง (6-well plate) ยี่ห้อ SPL

สารเคมี

1. สารละลายคลอรามินที่ ร้อยละ 0.5 (Chloramine-T)
2. ผงอะคริลิกชนิดบ่มเอง และมอนอเมอร์ (self cure acrylic powder and monomer)
3. น้ำยาเคลือบเล็บสีแดงยี่ห้อ Revlon™
4. สารเคมีที่ใช้เหนี่ยวนำให้เกิดฟันผุ
 - 4.1. สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ประกอบด้วย 2.2 mM CaCl_2 , 2.2 mM NaH_2PO_4 และ 50 mM acetic acid

- 4.2. สารละลายที่ช่วยคืนกลับแร่ธาตุ ประกอบด้วย 1.5 mM CaCl_2 , 0.9 mM NaH_2PO_4 และ 0.15 M KCl
5. น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (deionized water; DI)
6. SDF ร้อยละ 38 ยี่ห้อ Topamine
7. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ รุ่น Fuji IX GP extra capsule
8. สารปรับสภาพผิวเนื้อฟัน (GC Cavity Conditioner: 20% polyacrylic acid)
9. ปิโตรเลียมเจลลี่ (Vaseline: petroleum jelly, Unilever Inc., USA)

วิธีการดำเนินวิจัย

การศึกษานี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro study)

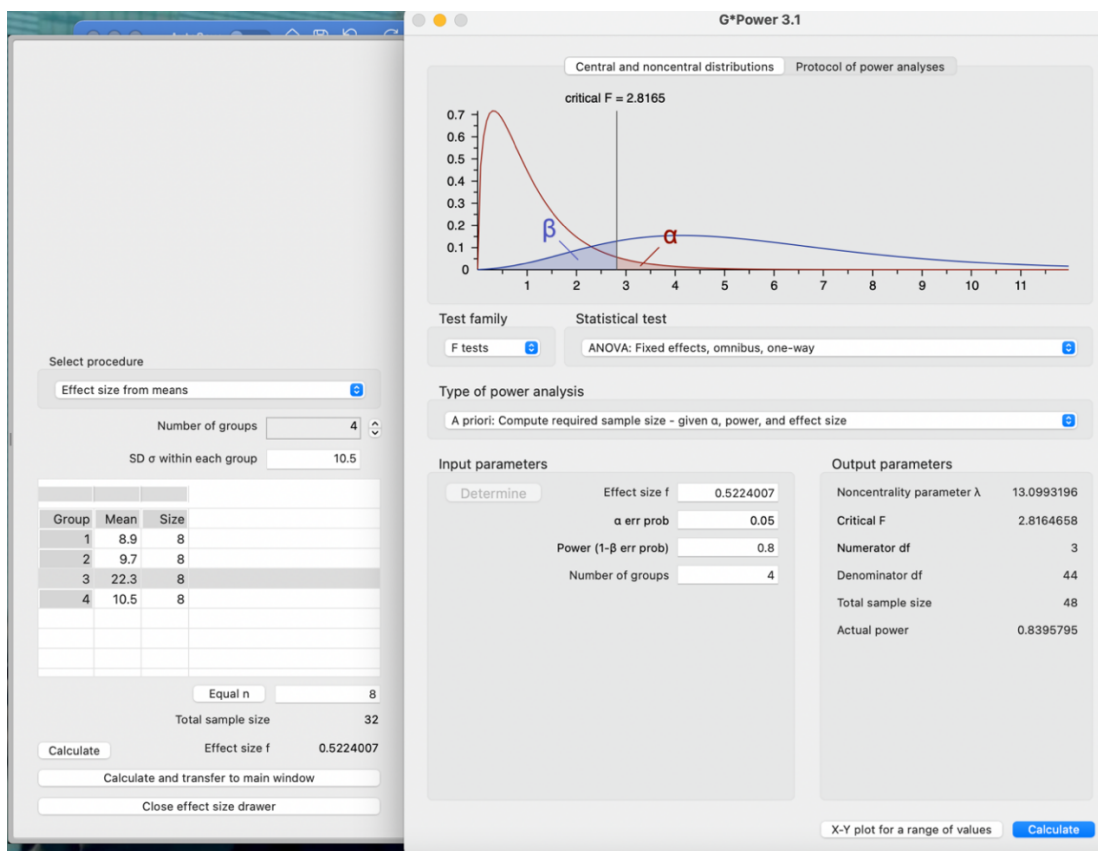
ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม G Power software รุ่น 3.1.9.4 ซึ่งได้จากการคำนวณค่าขนาดอิทธิพล (Effect size) ที่ 0.5224007 โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างวัสดุ RMGIC หลังจากที่ได้มีการทาสารทำความสะอาดโพรงฟันรูปแบบต่างๆ จากผลการศึกษาของ Gupta และคณะ⁸⁸

จากการคำนวณได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษานี้ทั้งหมดเป็น 48 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม จึงเท่ากับ 12 ชิ้นต่อกลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 5

การประเมินการแทรกผ่านของซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟันน้ำนมและความหนาแน่นของแร่ธาตุหลังจากทาสาร SDF จะใช้ชิ้นเนื้อฟันจำนวน 1 ชิ้นต่อกลุ่ม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม รวมทั้งหมด 4 ชิ้น

จากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยว และจำนวนชิ้นเนื้อฟันที่ใช้ในการวัดการแทรกผ่านของซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟันน้ำนมและความหนาแน่นของแร่ธาตุหลังจากทาสาร SDF รวมได้จึงเท่ากับ 13 ชิ้นต่อกลุ่ม



ภาพที่ 10 แสดงโปรแกรม G power และค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกฟันเพื่อนำมาทำขึ้นเนื้อฟันตัวอย่าง (selection criteria)

ฟันกรามน้ำนมที่มีส่วนของฟันที่ไม่มีรอยผุ (sound dentin) ทางด้านใกล้แก้ม หรือ ด้านใกล้ลิ้น โดยเป็นฟันที่ไม่มี ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเนื้อฟัน หรือมีพยาธิสภาพใดๆ ในชั้นเนื้อฟัน รวมทั้งไม่มีความผิดปกติของชั้นงานชั้นนั้น ๆ เช่น เกิดการแตก หรือมีรอยร้าวทั้งก่อนทำการทดลอง และในระหว่างทำการทดลองขึ้นเนื้อฟันตัวอย่าง

ตัวแปรที่ศึกษา (Main variables)

ตัวแปรต้น (Independent variables)

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ SDF (10 30 และ 60 วินาที)

ตัวแปรตาม (Dependent variables)

1. แรงยึดเหนี่ยว (shear bond strength) ระหว่างผิววัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันน้ำนม
2. รูปแบบการล้มเหลวหลังการแตกหัก (failure mode) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันน้ำนม
3. ความลึกในการแทรกผ่าน (penetration depth) และปริมาณธาตุซิลเวอร์ของ SDF ที่ทำในระยะเวลาที่แตกต่างกันบนชั้นเนื้อฟันน้ำนม หลังจากการยึดติดด้วยวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
4. ความหนาแน่นของแร่ธาตุ (mineral density) ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม เมื่อเวลาที่ใช้ในการทำสาร SDF แตกต่างกัน

ตัวแปรควบคุม (Controlled variables)

1. พื้นที่หน้าตัดของฟันกรามน้ำนม
2. ความหนาและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
3. สารเคมีที่ใช้เก็บฟัน กระบวนการ ระยะเวลาที่ใช้เก็บฟัน เป็นรูปแบบเดียวกัน
4. วิธีการเหนี่ยวนำรอยฟุ่จำลองชั้นเนื้อฟัน และกระจายความลึกรอยฟุ่ให้ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง
5. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง

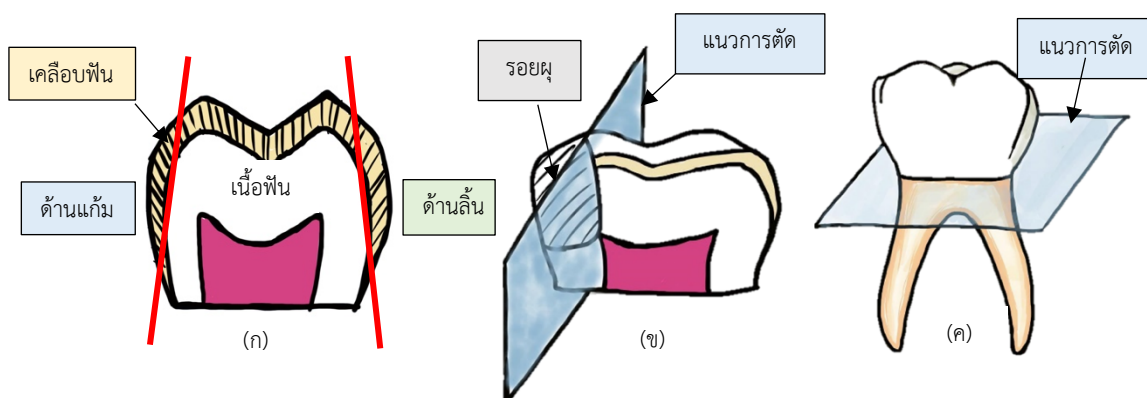
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

มีขั้นตอนโดยรวมดังแสดงในภาพที่ 17

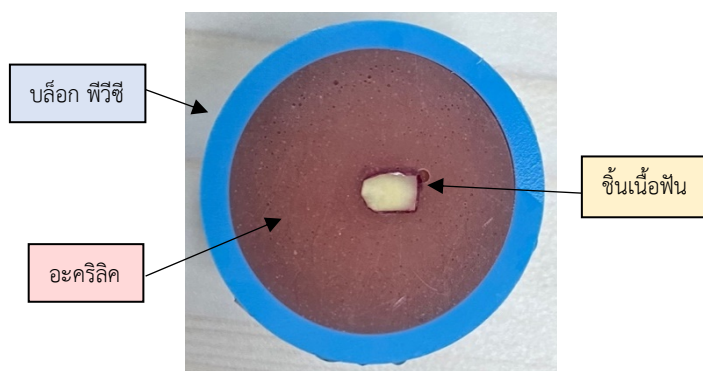
1. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง (Specimen preparation)

แช่ฟันกรามน้ำนมในสารละลายคลอรามินที (chloramine T) ร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาไม่เกิน 2 เดือน ด้านที่เลือกใช้คือด้านเรียบ (smooth surface) ของฟัน ได้แก่ ด้านแก้ม (buccal surface) หรือ ด้านลิ้น (lingual surface) ที่ไม่มีรอยฟุ่ถึงเนื้อฟัน ทำการกรอเคลือบฟันออกจนเปิดส่วนของเนื้อฟัน ตัดส่วนฟุ่และตัดรากฟันออกจนหมดดังแสดงในภาพที่ 11

โดยใช้หัวกรอเพชรทรงกระบอกและ แผ่นคาร์โบรันดัม และตัดชั้นฟันให้ได้พื้นที่อย่างน้อยกว้าง x ยาว เป็น 2.5×2.5 ตารางมิลลิเมตร และให้เหลือความหนาอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำผิวเนื้อฟันให้เรียบ ในขั้นตอนการตัดฟันนี้ ได้ชั้นฟันจำนวน 60 ชั้น และคัดชั้นฟันที่ตัดแล้วไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการออก จึงทำให้เหลือชั้นตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 52 ชั้น ทาสารเคลือบเล็บสีแดง (nail varnish; 730 Valentine nail enamel, Revlon, New York, USA) ปิดส่วนของผิวฟันด้านข้างของผิวหน้าตัดและด้านโพรงประสาทฟันที่ไม่ได้ใช้ในการทดลอง จากนั้นฝังชั้นฟันในอะคริลิกชนิดบ่มเอง โดยใช้บล็อก (block) ท่อพีวีซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 1 นิ้ว โดยการฝังชั้นฟันต้องวางให้ด้านที่จะใช้ทดลองอยู่ด้านบนและขนานกับพื้น เมื่อลบบล็อกเสร็จ ทำผิวด้านที่จะใช้ทดลองให้เรียบโดยใช้เครื่องขัดแบบจานหมุน (Buehler, Metaserve, Buehler Ltd., Lake Bluff, Illinois, USA) ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 แสดงขั้นตอนการตัดฟัน (ก) กรอเคลือบฟันออกให้เปิดส่วนของเนื้อฟันของด้านแก้ม หรือด้านลิ้น (ข) ตัดส่วนฟันที่ผุออก (ค) ตัดส่วนของรากฟันออก



ภาพที่ 12 แสดงชั้นเนื้อฟันที่ลงบล็อกเรียบร้อยแล้ว

2. การเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุจำลอง

จำลองการเกิดฟันผุโดยใช้กระบวนการสลับสภาวะกรด-ต่าง⁵⁵ มีขั้นตอนคือ นำชิ้นเนื้อฟันแช่ในสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ประกอบด้วย 2.2 mM CaCl_2 2.2 mM NaH_2PO_4 และ 50 mM acetic acid ที่ pH 4.8 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ต่อด้วยการนำชิ้นเนื้อฟันไปแช่ในสารละลายที่ช่วยคืนกลับแร่ธาตุ ประกอบด้วย 1.5 mM CaCl_2 0.9 mM NaH_2PO_4 และ 0.15 M KCl ที่ pH 7.0 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทำสลับซ้ำเป็นเวลา 14 วัน ใช้ภาชนะที่ใส่สารละลายเป็น ถาดหลุมใส่ตัวอย่างจำนวน 6 ช่อง (6-well plate, SPL Life Sciences Co., Korea) ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำจากพอลิสไตรีน (Polystyrene) มีคุณสมบัติทนกรดอะซิติกได้ที่ pH ประมาณ 3 โดยผ่านมาตรฐาน HTS (high-throughput screening) ซึ่งใช้ในการประเมินคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำไปใช้ทางชีวภาพ⁹⁰ การเตรียมสารละลายจะใช้สารละลายเตรียมใหม่ทุกวัน เมื่อครบเวลานำชิ้นฟันมาล้างด้วยน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน เป็นเวลา 5 นาที

ควบคุมคุณภาพโดยการประเมินความหนาแน่นแร่ธาตุของชิ้นเนื้อฟันตัวอย่างก่อนและหลังการเหนี่ยวนำให้เกิดฟันผุ โดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro CT μ 35, Scanco Medical, Switzerland) โดยตั้งค่าเครื่องมือที่ 70 กิโลโวลเทจพีค (kilo-voltage peak, kVp) 114 ไมโครแอมแปร์ (micro-ampere, μA) ใช้ความละเอียดภาพที่ 1024x1024 พิกเซล (pixel) หมุน 180 องศา 1000 โปรเจกชัน (projection) จำนวน 40 สไลด์ โดยใช้เวลาในการถ่ายภาพ 1 ครั้ง 400 มิลลิวินาที แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ 3 มิติ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ผลค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของรอยโรคฟันผุที่เกิดขึ้นในชิ้นเนื้อฟันตัวอย่าง

3. การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

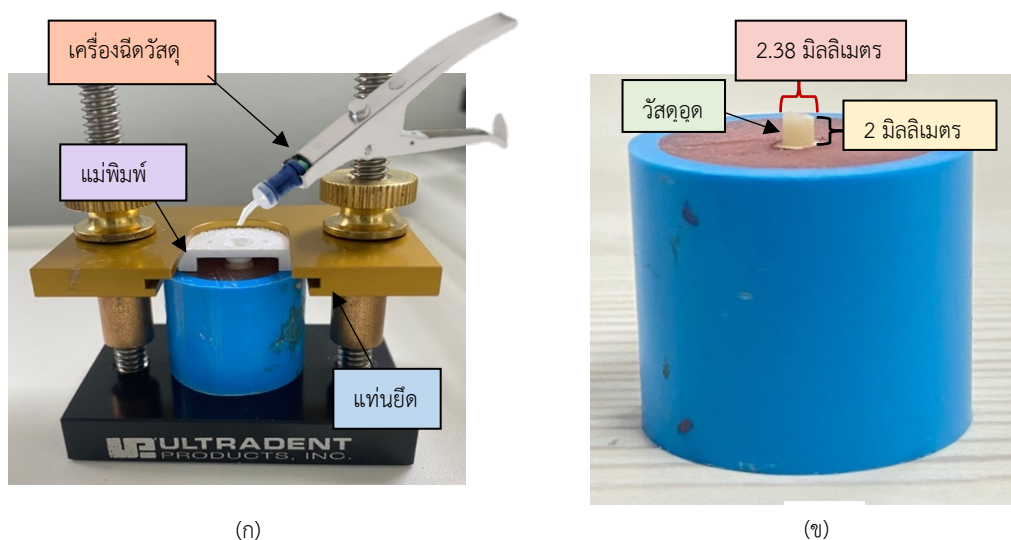
เนื่องจากชิ้นฟันที่ตัดได้มีทั้งด้านแก้ม 12 ชิ้น และด้านลิ้น 4 ชิ้น จึงแบ่งกลุ่มชิ้นฟันโดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 13 ชิ้น โดย กลุ่มที่ 1 ทานน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน เป็นกลุ่มควบคุม (control group) กลุ่มที่ 2 3 และ 4 ทา SDF ที่เวลา 10 วินาที 30 วินาที และ 60 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 12

4. วิธีการทาสารทดสอบ

เป่าชิ้นเนื้อฟันตัวอย่างให้แห้ง กลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน 10 วินาที โดยใช้แปรงทาสารขนาดเล็ก (microbrush) จากนั้นให้ใช้ลมเป่าเบาๆจนแห้ง ทาสาร SDF ร้อยละ 38 (Topamine Silver Diamine Fluoride complex, Dentalife, Australia) โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสาร SDF ปริมาตร 5 ไมโครลิตร และหยดลงบนผิวเนื้อฟัน จากนั้นใช้แปรงทาสารขนาดเล็กทาสารทดสอบให้ทั่วชิ้นเนื้อฟันตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดในแต่ละกลุ่ม จากนั้นให้ใช้ลมเป่าเบาๆจนแห้ง

5. การยึดติดด้วยวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement bonding)

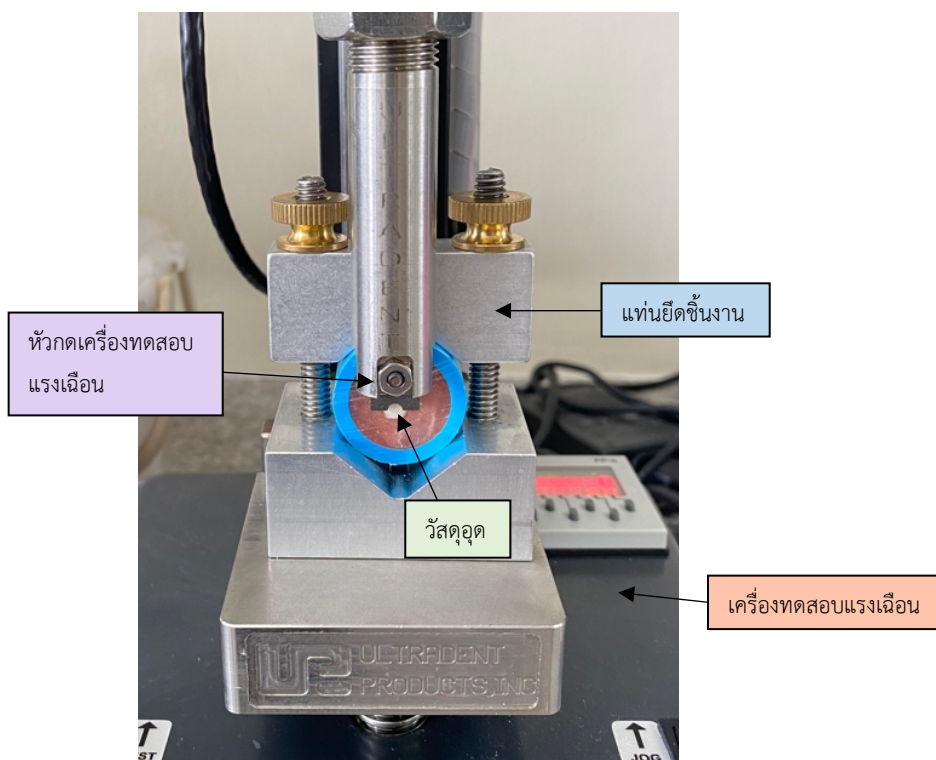
นำชิ้นฟันทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ทาสารทดสอบเรียบร้อยแล้ว ทาสารปรับสภาพผิวเนื้อฟัน (GC Cavity Conditioner: 20% polyacrylic acid, GC America Inc., Alsip, Ill., USA) ด้วยแปรงทาสารขนาดเล็ก เป็นเวลา 10 วินาที ล้างน้ำ 10 วินาที เป่าหมาด 10 วินาที แล้วนำไปวางทาบกับแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ในการยึดติดกับวัสดุอุด ดังแสดงในภาพที่ 13 นำวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji IX GP extra capsule, GC America Inc., Alsip, Ill., USA) ไปผสมด้วยเครื่องปั่นผสมสารอุดฟัน ชนิดแคปซูล (Dental amalgamator, Dental MIX 2000, GD Inc., Italy) ที่ความเร็ว 4300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที ตามคำแนะนำการใช้วัสดุ ใส่วัสดุลงในแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องฉีดวัสดุ ให้แนบกับผิวชิ้นเนื้อฟันและมีความหนาของวัสดุอุด 2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร เนื่องจากในขั้นตอนการถอดแม่พิมพ์ออกจากวัสดุบูรณะพบว่า มีวัสดุหลุดออกจากผิวฟัน ในกลุ่มทา SDF 10 วินาที และ 30 วินาที อย่างละ 1 ชิ้น และมีวัสดุบูรณะเกินออกไปนอกวงพิมพ์จนไม่สามารถจับกับหัวกดแบบครึ่งวงกลม ของเครื่องทดสอบแรงเฉือนได้ในกลุ่มทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน และทา SDF 60 วินาที อย่างละ 1 ชิ้น จึงทำการคัดออก โดยและเหลือชิ้นงานทั้งหมดกลุ่มละ 12 ชิ้น จากนั้นเคลือบผิววัสดุบูรณะด้วยปิโตรเลียมเจลลี (Vaseline: petroleum jelly, Unilever Inc., USA) นำชิ้นงานทั้งหมดไปแช่ในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 13 (ก) แสดงการนำบล็อกชิ้นเนื้อฟันไปยึดติดกับวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยใช้แม่พิมพ์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร (ข) แสดงชิ้นเนื้อฟันที่ยึดติดกับวัสดุอุดเสร็จเรียบร้อยแล้ว

6. การทดสอบความแข็งแรงเฉือน (shear bond strength test)

นำชิ้นเนื้อฟันที่ยึดติดกับวัสดุอุดเสร็จเรียบร้อยแล้วจากทั้ง 4 กลุ่ม กลุ่มละ 11 ชิ้น ไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงเฉือน (Ultratester, Ultradent Products, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) โดยใช้ความเร็วของหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนวัสดุอุดแตกออกจากชิ้นเนื้อฟัน วัดแรงออกมาในหน่วย เมกะปาสคาล (Megapascal (Mpa)) ดังแสดงในภาพที่ 14 จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ



ภาพที่ 14 แสดงการนำชิ้นเนื้อฟันไปทดสอบความแข็งแรงเฉือน

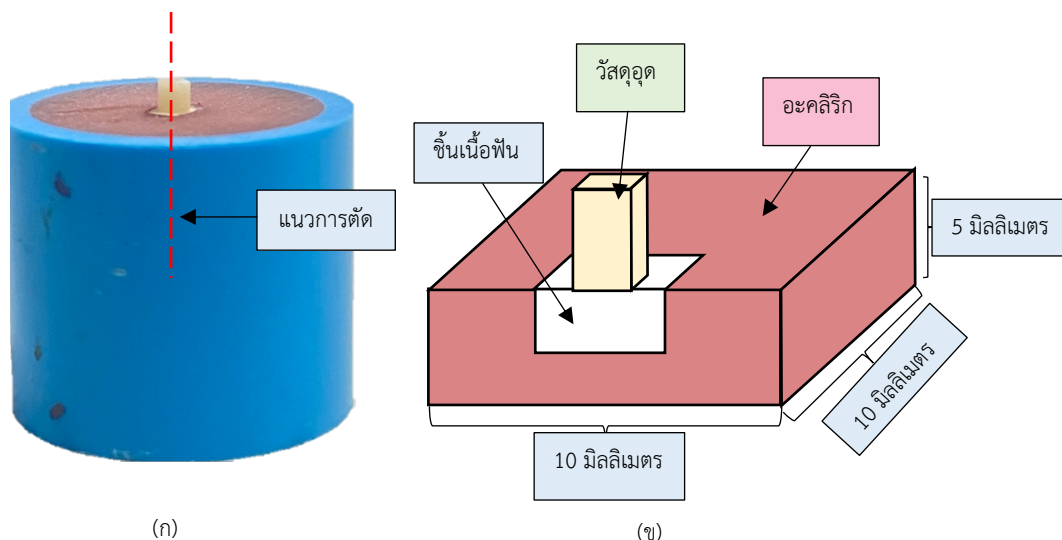
7. การศึกษารูปแบบการล้มเหลวหลังการแตกหัก (Failure mode)

นำชิ้นเนื้อฟันที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงเฉือน ประเมินพื้นผิวชิ้นเนื้อฟันหลังการแตกหัก (Failure mode) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันน้ำนม ด้วยเครื่องมือสแกนพื้นผิวแบบสามมิติ (3D Profilometer VR6200, Keyence corp., Itasca, IL, USA) ที่กำลังขยาย 80 เท่า โดยรูปแบบของความล้มเหลวแบ่งเป็น 1. การยึดไม่อยู่ (adhesive failure) เกิดความล้มเหลวระหว่างรอยต่อวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟัน เมื่อดูบนผิวเนื้อฟันจะไม่พบวัสดุอุดหลงเหลืออยู่เลย 2. การเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นเนื้อฟัน (cohesive failure in dentin) 3. การเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นวัสดุอุด (cohesive failure in restorative material)

เมื่อดูบนผิวพื้นจะพบวัสดุอุดติดอยู่ที่ผิวเนื้อฟันทั้งหมด 4. การล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) เมื่อดูบนผิวพื้นจะพบวัสดุอุดติดอยู่บนผิวฟันเพียงบางส่วน

8. ตรวจวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ (mineral density) และประเมินการแทรกผ่านของสาร SDF ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม (Penetration depth assessment)

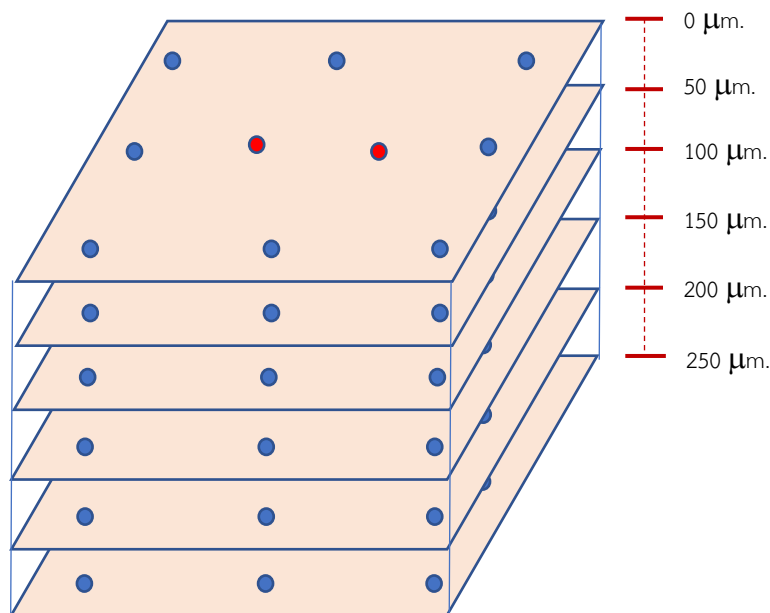
นำชิ้นเนื้อฟันที่ยึดติดกับวัสดุอุดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากทั้ง 4 กลุ่ม กลุ่มละ 1 ชิ้น นำไปตรวจวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ จากนั้นเก็บชิ้นเนื้อฟันในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดชิ้นงานแบบละเอียด (Buehler, ISOMET 1000, Buehler Ltd., Lake Bluff, Illinois, USA) ให้มีความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร และสูง 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 15 เพื่อนำไปวิเคราะห์การแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม



ภาพที่ 15 (ก) แสดงแนวการตัดแบ่งครึ่งชิ้นงาน (ข) แสดงชิ้นงานที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว

8.1 วิธีตรวจวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ

นำชิ้นเนื้อฟันไปวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro-computed tomography (micro-CT); μ CT 35TM, Scanco Medical, Brütisellen, Switzerland) ที่ระดับความลึก 0 50 100 150 200 และ 250 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยที่แต่ละระดับ จะวัดค่าความหนาแน่นของแร่ธาตุ 10 ตำแหน่ง โดยเลือกแบบสุ่ม (simple randomization) ที่บริเวณกึ่งกลาง 2 ตำแหน่ง และ บริเวณขอบด้านข้าง 8 ตำแหน่ง โดยทั้ง 10 ตำแหน่งนี้จะต้องตรงกันในทุกระดับความลึก ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงชั้นฟันในแนวตัดขวางและตำแหน่งการวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุที่ระดับความลึกต่างๆ

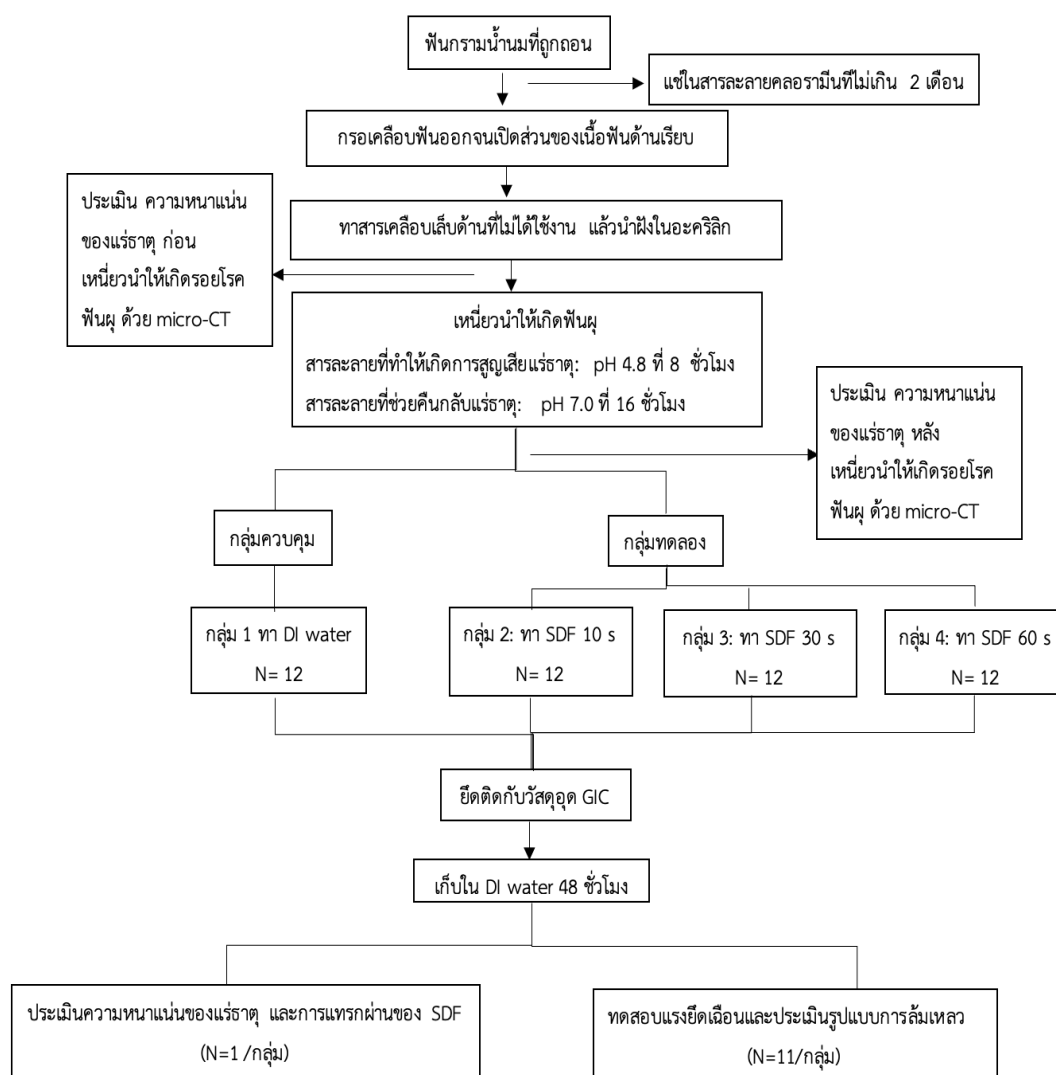
8.2 วิธีการทดสอบการแทรกผ่านของสาร SDF ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม (penetration depth assessment)⁹¹

โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM QUANTA 400, Thermo fisher scientific, Czech republic) โดยใช้เทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX) แบบ point scan จากห้องปฏิบัติการของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างให้แห้ง เพื่อลดการสะสมประจุ (Charging effect) ที่ผิวของชิ้นงานซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการบันทึกภาพ
2. ติดชิ้นงานบนแท่นติดตัวอย่าง และติดเทปกาวคาร์บอน (carbon tape) เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า

จากนั้นจึงทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่เชื่อมต่อกับ energy dispersive x-ray fluorescence spectrometer (SEM-EDX point scan) เพื่อทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตรวจเจอธาตุซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ซิลเวอร์ในเชิงปริมาณได้ โดยบอกเป็นจำนวนร้อยละของซิลเวอร์ที่มีอยู่ เทียบกับปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด

และสามารถวัดระยะจากผิวเนื้อฟันไปจนถึงบริเวณขอบเขตสุดท้ายที่ตรวจวิเคราะห์เจอซิลเวอร์ได้ โดยวัดหน่วยเป็นไมโครเมตร สำหรับชั้นเนื้อฟันตัวอย่าง 1 ชั้น จะทำการวัด 3 ระดับความลึก คือที่ระดับผิวของเนื้อฟัน ระดับความลึกสุดท้ายที่ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ และระดับกึ่งกลางระหว่างผิวฟันกับตำแหน่งสุดท้ายที่ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ ในแต่ละระดับความลึกเลือกจุดตรวจจำนวน 3 จุดจากซ้ายไปขวา แล้วนำปริมาณซิลเวอร์ที่พบในแต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 17 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1. ใช้สถิติ One-way repeated-measure ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างค่าความหนาแน่นของแร่ธาตุที่ระดับความลึกต่าง ๆ ระหว่างกลุ่มการทดลอง 4 กลุ่ม ก่อนทำการทดลอง
2. วัดความแข็งแรงแรงเฉือน หน่วยเป็น เมกะปาสคาล (Megapascal Mpa) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงที่ตรวจพบ
 - 2.1 ใช้สถิติ Shapiro-Wilk test เพื่อทดสอบว่ามีการกระจายตัวตามปกติ (normal distribution) ของข้อมูล
 - 2.2 วิเคราะห์ผลความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการทา SDF (10, 30 และ 60 วินาที) และ ความแข็งแรงเฉือนระหว่างผิวเนื้อฟันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยใช้สถิติ One-way ANOVA เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ และใช้ Post hoc test คือ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่นน้อยกว่า 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$) ถือว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. วัดความลึกในการแทรกผ่านของ SDF ในชั้นเนื้อฟันน้ำนม วัดในหน่วยไมโครเมตร (μm) วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา
4. วัดปริมาณธาตุซิลเวอร์ที่ตรวจเจอในท่อเนื้อฟัน แสดงผลเป็นร้อยละของซิลเวอร์ที่ตรวจพบ วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา
5. วัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทาสาร SDF ต่างกัน วัดในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา
6. ประเมินรูปแบบของความล้มเหลว ทั้ง 4 ประเภทที่เกิดขึ้น แสดงผลในรูปแบบของความถี่

จรรยาบรรณของผู้วิจัยการตรวจสอบจริยธรรมการวิจัย

ได้รับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ตามรหัสโครงการ EC6405-026 โครงการวิจัยนี้จัดเป็นโครงการวิจัยเข้าข่ายยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2564

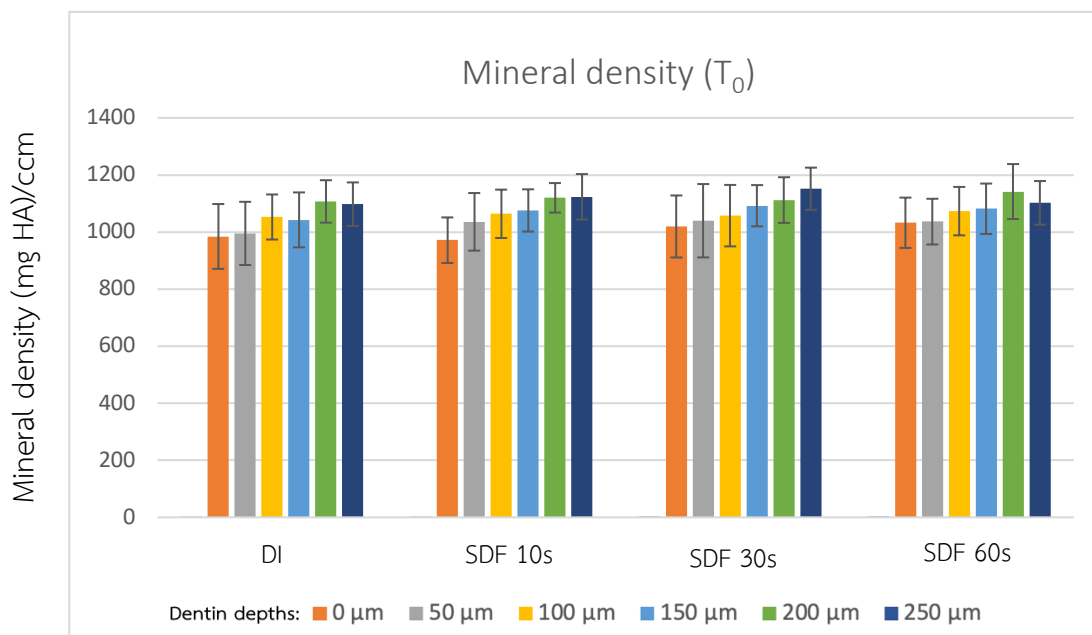
บทที่ 3

ผลการวิจัย

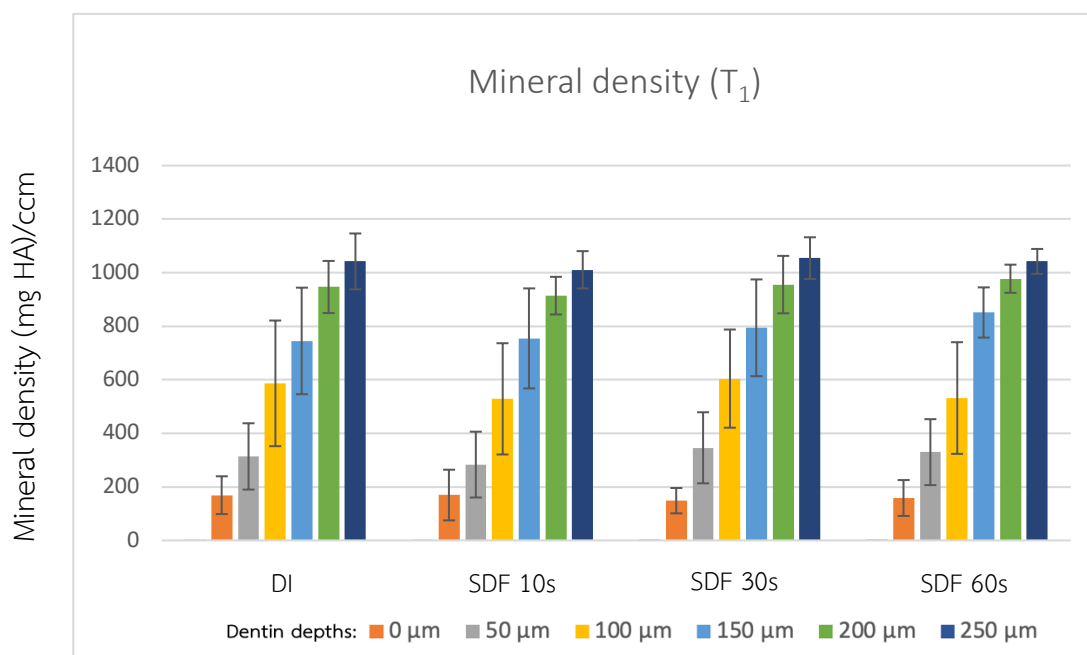
ก่อนการเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_0) ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของชั้นเนื้อฟัน ทั้ง 4 กลุ่มที่ระดับความลึกต่าง ๆ ได้แก่ 0 50 100 150 200 และ 250 ไมครอน (ภาพที่ 18 และ ตารางที่ 5) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้สถิติทดสอบ repeated One-way ANOVA ($p > 0.05$) แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีการกระจายของชั้นเนื้อฟันไม่แตกต่างกัน หลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุจำลอง (T_1) ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มที่ระดับความลึกต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_0) (ภาพที่ 19 และ ตารางที่ 5) เกิดรอยผุขึ้นในทุกกลุ่ม เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแร่ธาตุที่ระดับความลึกต่าง ๆ หลังการเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุจำลอง (T_1) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม โดยใช้สถิติทดสอบ repeated One-way ANOVA พบว่าความหนาแน่นแร่ธาตุของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าแต่ละกลุ่มทดลองมีการกระจายของชั้นเนื้อฟันตัวอย่างไม่แตกต่างกัน โดยจะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุสูงที่สุดที่บริเวณผิวของชั้นเนื้อฟัน และมีการสูญเสียของแร่ธาตุหรือเกิดรอยผุน้อยลงในระดับชั้นที่ลึกขึ้น จนมีค่าความหนาแน่นของแร่ธาตุใกล้เคียงกับเนื้อฟันปกติที่ระดับความลึก 200 และ 250 ไมโครเมตร

ผลความหนาแน่นแร่ธาตุ

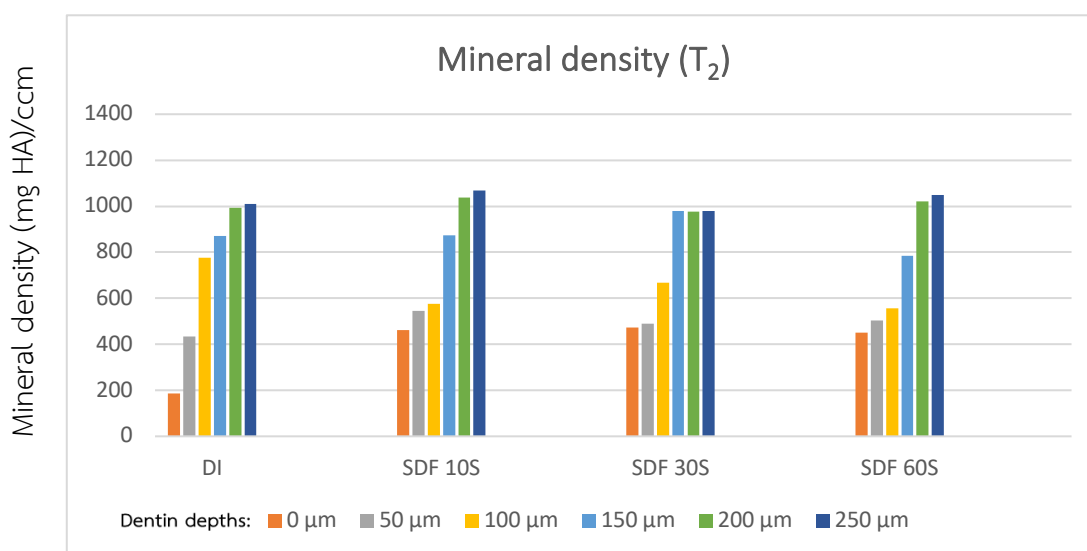
เมื่อทาสารทดสอบคือน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนในกลุ่มควบคุม หรือทา SDF เป็นเวลา 10 30 หรือ 60 วินาที บนชั้นเนื้อฟันในกลุ่มทดลอง และยึดติดด้วยวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มการทดลองทุกกลุ่มที่ทา SDF มีค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟันหลังการทดลอง (T_2) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกับค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟันก่อนการทาสารทดสอบ (T_1) โดยความหนาแน่นแร่ธาตุเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 และ 50 ไมโครเมตร และความแตกต่างค่อยๆลดลงเมื่อระดับความลึกมากขึ้น ส่วนในกลุ่มควบคุมพบว่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) ไม่แตกต่างจากค่าความหนาแน่นของแร่ธาตุหลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) ดังภาพที่ 20 และ ตารางที่ 5



ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาแน่นแร่ธาตุก่อนเหนียวนำไปเกิดรอยโรคฟันผุ (T_0) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)



ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาตรฐานความหนาแน่นแร่ธาตุหลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)



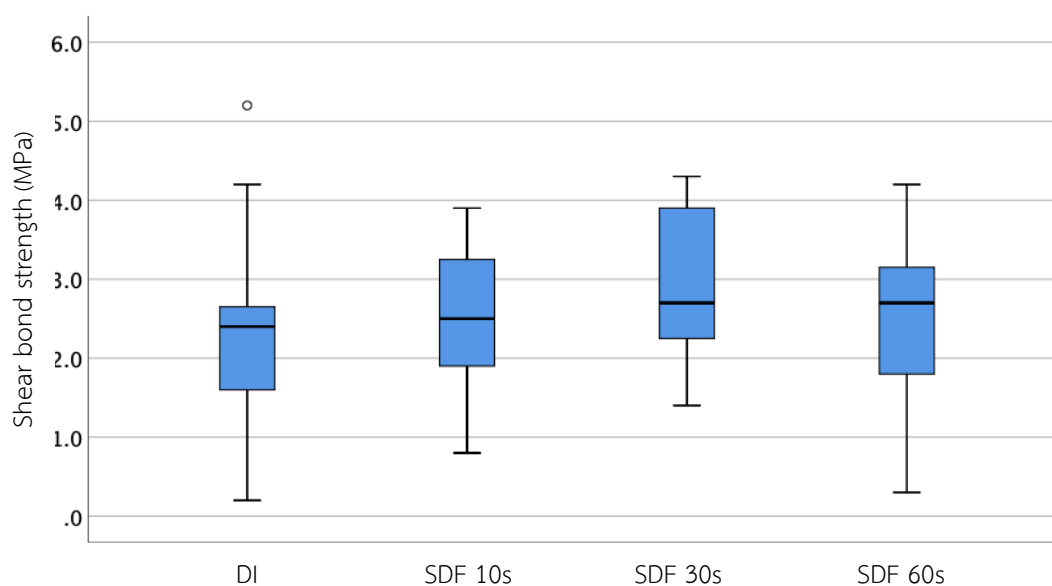
ภาพที่ 20 ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) ของเนื้อฟันในแต่ละระดับชั้นของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความหนาแน่นแร่ธาตุเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) ก่อนเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T₀) หลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T₁) และค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T₂) ของแต่ละกลุ่มโดยแยกแต่ละระดับความลึก

Groups	Dentin depth (μ m)	Mineral density (Mean \pm SD mg HA/ccm)		Mineral density (mg HA/ccm)
		T ₀ (n=12/gr)	T ₁ (n=12/gr)	T ₂ (n=1/gr)
1. DI (control)	0	984.39 \pm 113.58	168.96 \pm 70.54	186.1497
	50	995.02 \pm 110.74	313.67 \pm 123.87	435.2150
	100	1052.52 \pm 78.97	586.57 \pm 234.63	777.5865
	150	1042.40 \pm 96.30	745.00 \pm 198.95	871.5297
	200	1107.11 \pm 74.32	946.45 \pm 97.36	993.6840
	250	1097.52 \pm 76.26	1042.01 \pm 104.35	1010.7581
2. SDF 10s	0	971.31 \pm 79.77	169.47 \pm 94.60	461.0312
	50	1035.55 \pm 100.94	283.152 \pm 122.90	545.9162
	100	1063.73 \pm 84.74	528.72 \pm 207.74	576.4265
	150	1075.52 \pm 74.03	754.45 \pm 186.76	873.2625
	200	1119.77 \pm 51.68	914.10 \pm 70.24	1036.6239
	250	1123.31 \pm 79.60	1010.69 \pm 69.64	1068.4178
3. SDF 30s	0	1019.30 \pm 108.68	148.45 \pm 47.31	472.9861
	50	1039.45 \pm 128.49	345.89 \pm 132.71	488.6266
	100	1057.26 \pm 107.66	604.27 \pm 183.36	667.1341
	150	1092.08 \pm 72.25	793.97 \pm 180.75	979.2149
	200	1111.90 \pm 79.97	955.40 \pm 107.28	977.4911
	250	1151.68 \pm 73.88	1054.36 \pm 77.76	980.2519
4. SDF 60s	0	1032.32 \pm 88.18	158.41 \pm 66.99	451.0016
	50	1036.32 \pm 80.09	329.67 \pm 123.16	502.8457
	100	1073.12 \pm 84.82	531.73 \pm 208.52	555.0488
	150	1081.49 \pm 88.19	851.21 \pm 93.79	784.8284
	200	1141.65 \pm 96.39	977.30 \pm 52.57	1020.7361
	250	1102.03 \pm 76.47	1048.41 \pm 46.51	1048.7420

ผลค่าแรงยึดเฉือน

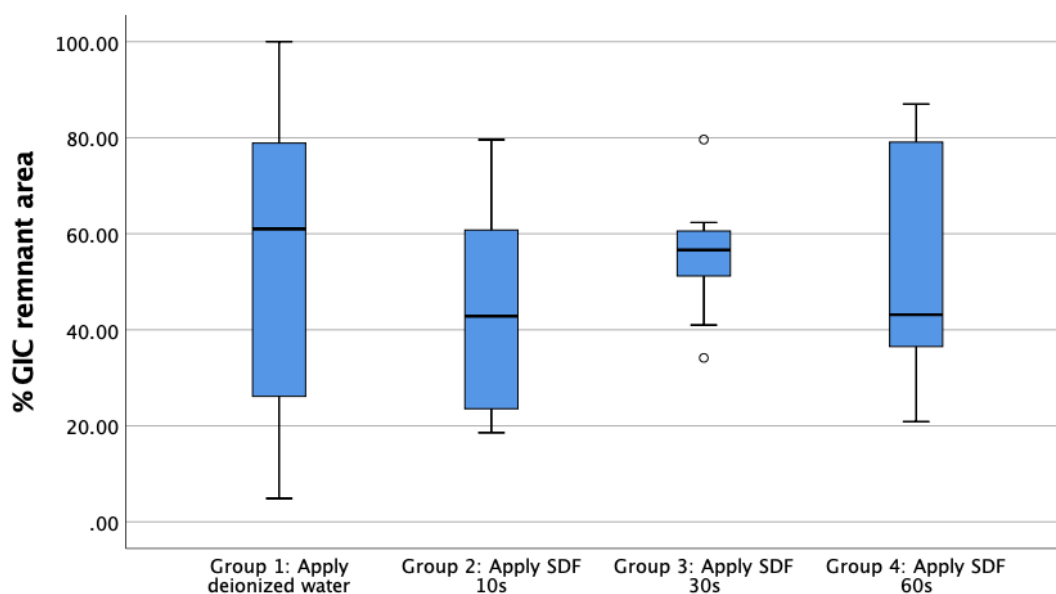
ผลค่าแรงยึดเฉือนของแต่ละกลุ่ม และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงยึดเฉือนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองรวมทั้งหมด 4 กลุ่ม แสดงดังภาพที่ 21 และตารางที่ 6 พบว่าค่าแรงยึดเฉือนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้สถิติทดสอบ one-way ANOVA ($p=0.66$) รูปแบบการล้มเหลวหลังการทดสอบแรงยึดเฉือนระหว่างเนื้อฟันและวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ารูปแบบความล้มเหลวที่พบมากที่สุดจากทั้ง 4 กลุ่มคือการล้มเหลวแบบผสม โดยในกลุ่มควบคุม พบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นวัสดุอุดร้อยละ 18.18 การล้มเหลวแบบผสมร้อยละ 81.82 ส่วนในกลุ่มทดลองที่ทา SDF ในระยะเวลาต่าง ๆ ทั้ง 3 กลุ่มพบการล้มเหลวแบบผสมร้อยละ 100 ไม่พบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นเนื้อฟันและการล้มเหลวแบบยึดไม่อยู่ในทุกกลุ่มตัวอย่าง และพบว่ารูปแบบการล้มเหลวเมื่อเทียบเป็นร้อยละของวัสดุบูรณะที่คงเหลืออยู่บนเนื้อฟันเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการยึดติด ของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ($p=0.668$) ดังแสดงในภาพที่ 22 และตัวอย่างความล้มเหลวในรูปแบบต่าง ๆ แสดงไว้ในภาพที่ 23



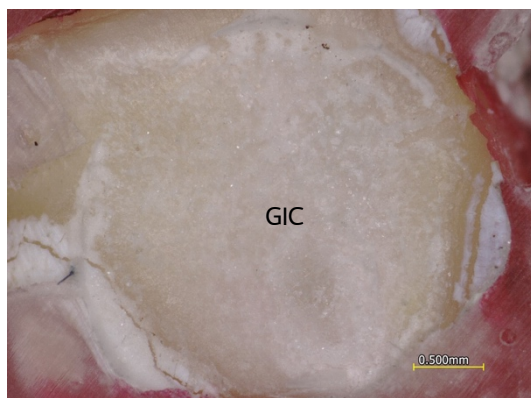
ภาพที่ 21 แสดงแผนภาพกล่อง (Boxplots) ของค่าแรงยึดเฉือนระหว่างชั้นเนื้อฟันกับวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)

ตารางที่ 6 ค่าแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) และผลค่าร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวชนิดต่าง ๆ

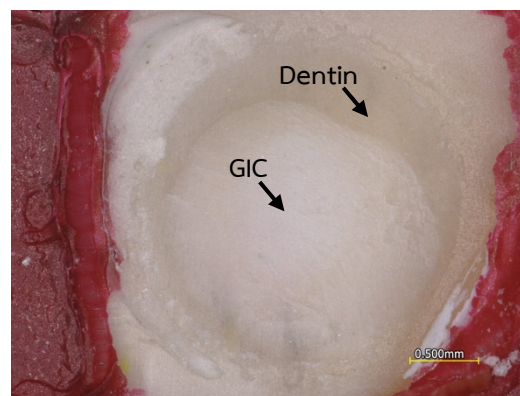
Groups	Shear bond strength (mean \pm SD)	Bond failure (%)			
		Adhesive	Cohesive in dentin	Cohesive in restoration	Mixed
1. DI	2.39 \pm 1.36	0	0	18.18	81.82
2. SDF 10s	2.51 \pm 1.00	0	0	0	100
3. SDF 30s	2.95 \pm 0.99	0	0	0	100
2. SDF 60s	2.47 \pm 1.12	0	0	0	100



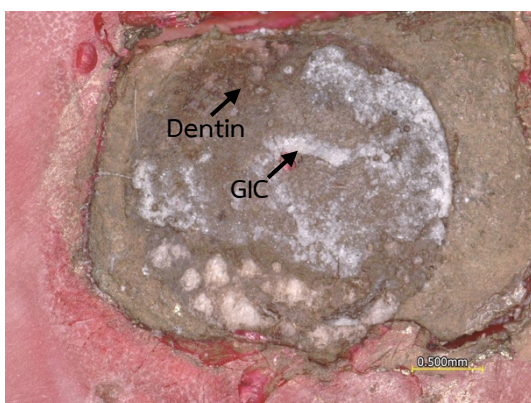
ภาพที่ 22 แสดงแผนภาพกล่อง (Boxplots) ร้อยละของวัสดุบูรณะที่คงเหลืออยู่บนเนื้อฟัน ของแต่ละกลุ่มการทดลอง (1: DI, 2: SDF 10s, 3: SDF 30s, 4: SDF 60s)



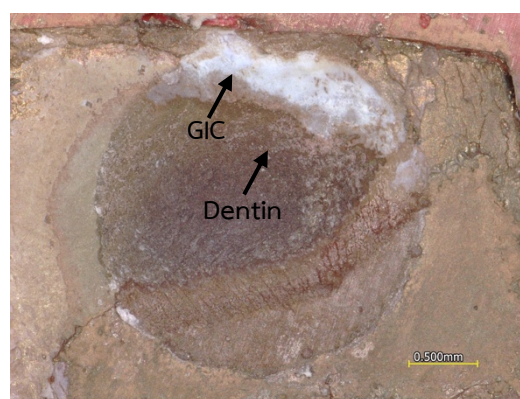
(ก)



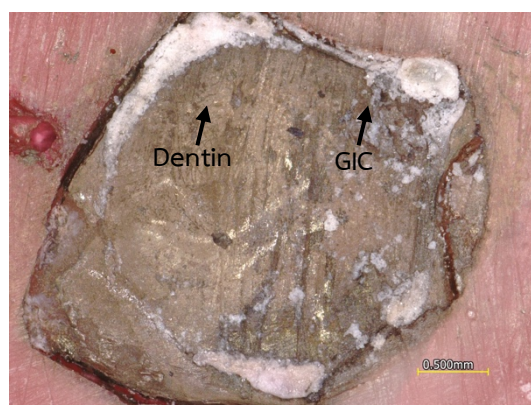
(ข)



(ค)



(ง)

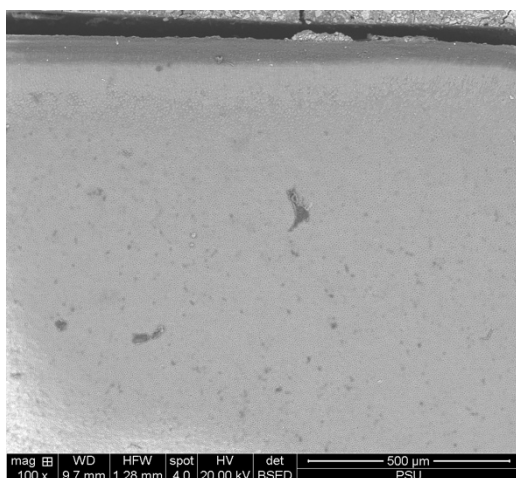


(จ)

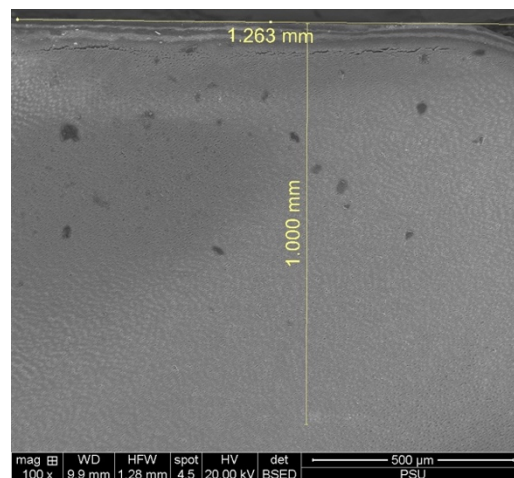
ภาพที่ 23 ภาพถ่ายจากเครื่องมือสแกนพื้นผิวแบบสามมิติ กำลังขยาย 80 เท่า แสดงรูปแบบการ ล้มเหลวในแต่ละกลุ่ม (ก) การเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นวัสดุอุด ในกลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัด ไอออน (ข) การล้มเหลวแบบผสม ในกลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (ค) การล้มเหลวแบบ ผสม ในกลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที (ง) การล้มเหลวแบบผสม ในกลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที (จ) การล้มเหลวแบบผสม ในกลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที หมายถึง GIC หมายถึง วัสดุกลาสไอโอโน เมอร์ซีเมนต์ Dentin หมายถึง เนื้อฟัน

ความลึกในการแทรกผ่านและปริมาณธาตุซิลเวอร์ที่ตรวจเจอในท่อเนื้อฟัน

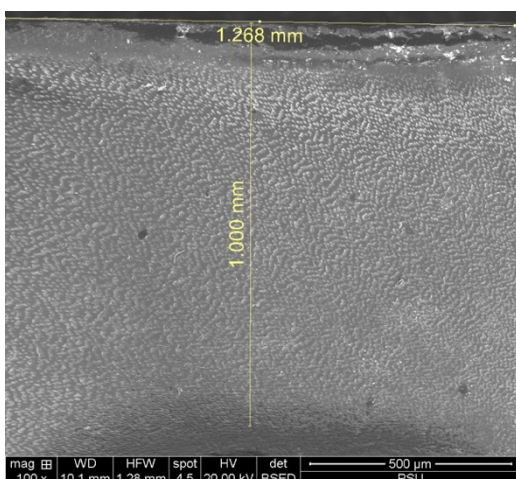
หลังจากเก็บชิ้นงานในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบผลึกคริสตัล (crystal-shaped particles) อยู่ภายในท่อเนื้อฟัน และเมื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค SEM-EDX point scan พบว่าผลึกนั้น คือธาตุซิลเวอร์ และความลึกที่มากที่สุดที่ตรวจพบธาตุซิลเวอร์ของทุกกลุ่มอยู่ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 24 โดยแต่ละกลุ่มตรวจพบธาตุซิลเวอร์ ที่ระดับชั้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 25 และปริมาณธาตุซิลเวอร์ที่ตรวจพบที่แต่ละระดับความลึกแสดงดังภาพที่ 26 และตารางที่ 7 พบว่าการสะสมของธาตุซิลเวอร์พบมากที่ระดับผิวฟัน และค่อยๆลดลงในระดับความลึกที่มากขึ้น โดยที่ระดับผิวฟันพบปริมาณธาตุซิลเวอร์เรียงจากมากไปน้อยดังนี้ กลุ่มทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูไรด์ 60 วินาที กลุ่มทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูไรด์ 30 วินาที และกลุ่มทา SDF 10 วินาที ตามลำดับ ส่วนที่ระดับ 1,000 ไมโครเมตร พบว่าปริมาณธาตุซิลเวอร์ที่พบในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน



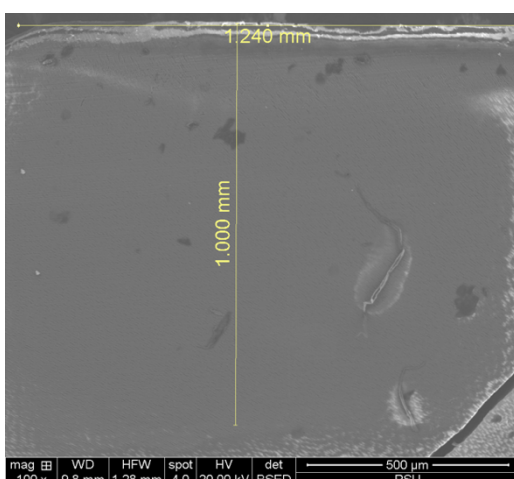
(ก)



(ข)

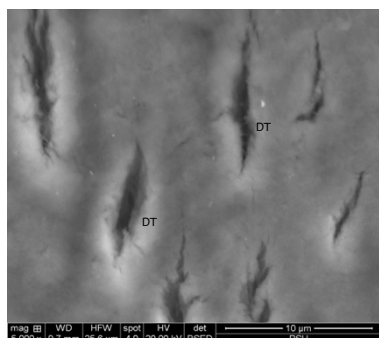


(ค)

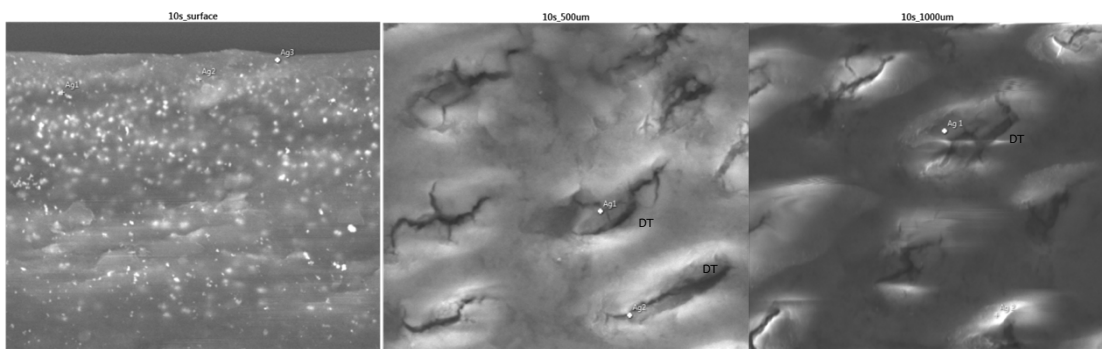


(ง)

ภาพที่ 24 ภาพถ่ายที่ 2 สัปดาห์ กำลังขยาย 100 เท่า แสดงความลึกที่มากที่สุดที่ตรวจเจอธาตุซิลเวอร์ในแต่ละกลุ่ม (ก) กลุ่มที่ 1 ทาน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ไม่พบธาตุซิลเวอร์ (ข) กลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร (ค) กลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร (ง) กลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที พบธาตุซิลเวอร์ที่ 1,000 ไมโครเมตร



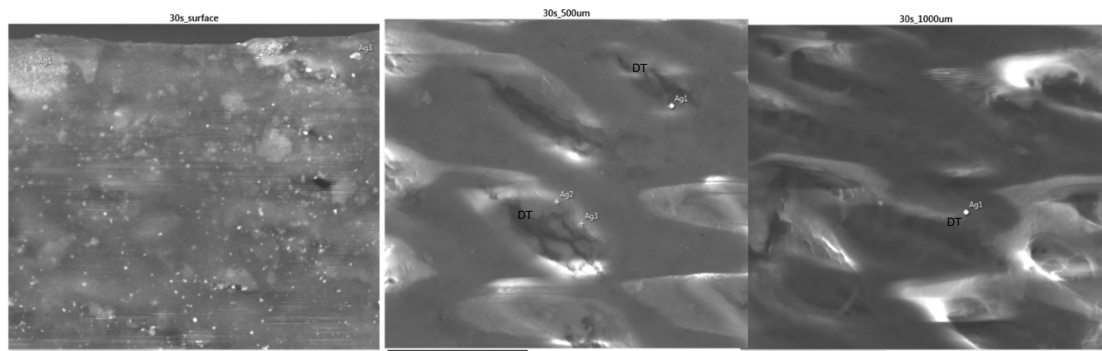
(1n)



(2n)

(2v)

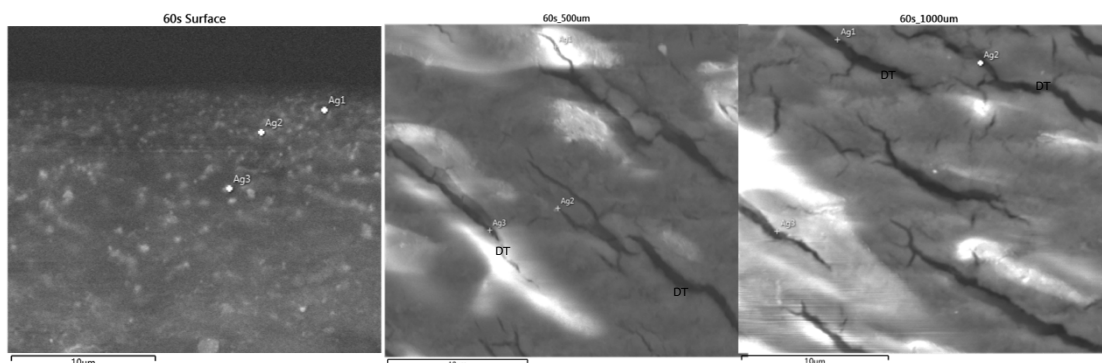
(2a)



(3n)

(3v)

(3a)

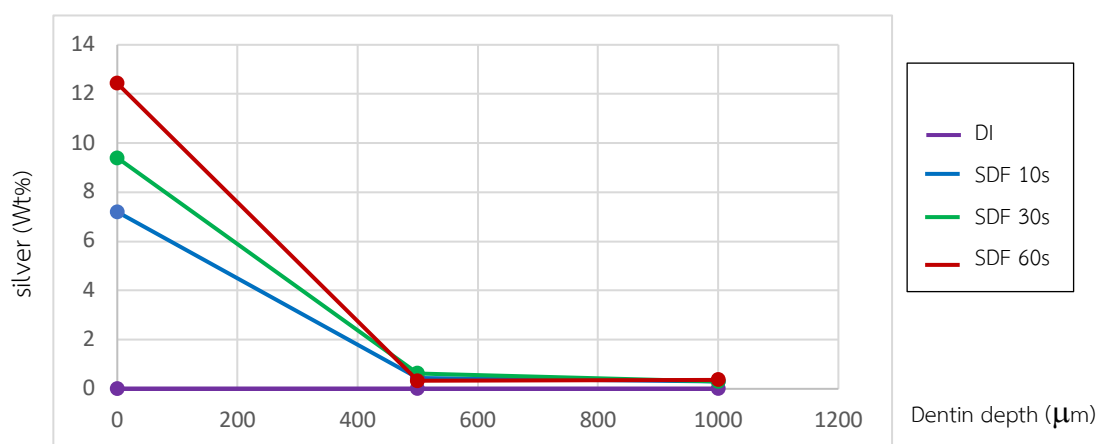


(4n)

(4v)

(4a)

ภาพที่ 25 ภาพถ่ายที่ 2 สัปดาห์ กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงธาตุซิลเวอร์แทรกผ่านไปตามแนวยาวของท่อเนื้อฟัน ที่ความลึกแต่ละระดับ และที่ระยะเวลาในการทา SDF แตกต่างกัน (1ก) กลุ่มที่ 1 ทา น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ไม่พบธาตุซิลเวอร์ (2ก-ค) กลุ่มที่ 2 ทา SDF 10 วินาที ตรวจสอบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ (3ก-ค) กลุ่มที่ 3 ทา SDF 30 วินาที ตรวจสอบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ (4ก-ค) กลุ่มที่ 4 ทา SDF 60 วินาที ตรวจสอบธาตุซิลเวอร์ที่ความลึก 0, 500 และ 1,000 ไมโครเมตร ตามลำดับ หมายถึง เหตุ Ag หมายถึง ธาตุซิลเวอร์ DT หมายถึง ท่อเนื้อฟัน



ภาพที่ 26 กราฟเส้นแสดงปริมาณธาตุซิลเวอร์เฉลี่ยที่ตรวจพบในความลึกระดับต่างๆ ของแต่ละกลุ่ม การทดลอง ที่เวลา 2 สัปดาห์

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุซิลเวอร์เฉลี่ยที่ตรวจพบที่ระดับความลึกต่างๆในแต่ละกลุ่มการทดลอง ที่เวลา 2 สัปดาห์

Dentin depth (μm)	Silver (wt%)			
	DI	SDF 10s	SDF 30s	SDF 60s
0	0	7.20	9.40	12.43
500	0	0.45	0.63	0.33
1,000	0	0.30	0.30	0.37

บทที่ 4

บทวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทา SDF ต่อแรงยึดเหนี่ยวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม และความลึกในการแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ในเนื้อฟัน โดยใช้เวลาที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนที่ 10 30 และ 60 วินาทีตามลำดับ ผลการศึกษาค้นพบว่า การทา SDF และระยะเวลาที่ใช้ทา ไม่ส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม และความลึกในการแทรกผ่านของธาตุซิลเวอร์ในเนื้อฟัน

การศึกษานี้เลือกใช้แรงยึดเหนี่ยวในการทดสอบการยึดติดของวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟัน แต่ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุอุดฟันกับเนื้อฟันมีได้หลายปัจจัย เช่น ชนิดของฟัน ได้แก่ฟันน้ำนม หรือฟันแท้ ฟันที่ปราศจากการผุ หรือเป็นฟันที่มีรอยผุอยู่แล้ว เป็นต้น ความลึกของชั้นเนื้อฟัน ชนิดของสารละลายที่ใช้เก็บฟันรวมทั้งระยะเวลาในการเก็บฟัน ขั้นตอนการเตรียมผิวฟันและการบรูณะด้วยวัสดุอุดฟัน⁶³ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีการควบคุมคุณภาพโดยใช้สารเก็บฟันชนิดเดียวกันและระยะเวลาที่เก็บฟันเท่ากัน ใช้ชนิดของฟันเป็นฟันน้ำนมและนำมาเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุในภายหลัง มีการประเมินความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟันก่อนและหลังการเหนี่ยวนำให้เกิดฟันผุ และพบว่าลักษณะการเกิดรอยโรคฟันผุของชิ้นฟันในทุกกลุ่มตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน รวมถึงขั้นตอนในการบรูณะด้วยวัสดุอุดฟัน การเก็บชิ้นฟันหลังจากที่บรูณะด้วยวัสดุอุดฟัน ถูกควบคุมให้เหมือนกันในทุกกลุ่มการทดลอง โดยการเก็บชิ้นฟันหลังจากที่บรูณะด้วยวัสดุอุดฟันโดยการเคลือบผิววัสดุบรูณะด้วยปิโตรเลียมเจลลี และนำชิ้นงานไปเก็บในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน ทำเพื่อรักษาสมดุลของน้ำในตัววัสดุบรูณะ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา ก่อนหน้าของ Gorseta และคณะในปี ค.ศ. 2016²² ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลของการเคลือบผิววัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเก็บในสารเก็บฟันชนิดต่างๆต่อความแข็งแรงแรงดัด (flexural strength) จากการศึกษาพบว่า การเคลือบผิววัสดุบรูณะด้วยปิโตรเลียมเจลลีและเก็บชิ้นงานในน้ำให้ผลค่าความแข็งแรงดัดไม่ต่างไปจากการเก็บชิ้นงานในน้ำลายเทียมหรือกรดแลคติก (lactic acid) และการเคลือบผิวด้วยปิโตรเลียมเจลลีและเก็บในน้ำให้ผลค่าความแข็งแรงแรงดัดมากกว่าการเก็บชิ้นงานในน้ำโดยไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษานี้พบว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม เมื่อใช้เวลาที่แตกต่างกันในการทาสาร SDF ได้แก่ 10 30 และ 60 วินาทีตามลำดับ และเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการใช้เวลาที่แตกต่างกันตั้งแต่ 10-60 วินาที ในการทาสาร SDF ลงบนชั้นเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ ก่อนที่จะทำการบรูณะฟันด้วยวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อแรงยึดติดระหว่างวัสดุอุด

กับชั้นเนื้อฟันที่ผุ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Ng และคณะในปี ค.ศ. 2020⁹³ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลของ SDF ต่อแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับฟันแท้ที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ จากการศึกษาพบว่าการทำ SDF ตามด้วยการขัดส่วนเกินออกด้วยสำลีก้อนเล็กไม่ส่งผลกระทบต่อแรงยึดติดแบบเฉือนของชั้นเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุกับวัสดุอุดกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Puwanawiroj และคณะ ปี ค.ศ. 2018¹⁸ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการถึงผลของ SDF ต่อแรงยึดติดระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ของวัสดุอุดกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันน้ำนมที่มีรอยผุ จากการศึกษาพบว่าการทำ SDF ตามด้วยการล้างน้ำไม่มีผลต่อแรงยึดติดระดับจุลภาคของเนื้อฟันที่ผุกับวัสดุอุดกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ อาจเนื่องมาจากการล้างน้ำหลังทำ SDF เป็นการกำจัดตะกอนของซิลเวอร์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับผิวฟันซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อแรงยึดติดของวัสดุบูรณะกับเนื้อฟันได้ ออกไป การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรงยึดติดแบบเฉือนของเนื้อฟันกับวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ในฟันน้ำนม โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงยึดเหนี่ยวประเภทที่มีหน้าตัดแบบครึ่งวงกลมในการจับชิ้นงาน ซึ่งจะให้ความสม่ำเสมอในการกระจายแรงมากกว่าเครื่องมือทดสอบรูปแบบอื่น ทำให้ได้ผลการวัดแรงที่แม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเป็นการศึกษาที่มีแรงยึดขนาดน้อยกว่า 5 เมกะปาสคาล⁶³

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะลดระยะเวลาในการรักษาลงเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด 19 ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้มีการยึดติดเนื้อฟันกับวัสดุบูรณะให้เสร็จทันทีในขั้นตอนเดียวหลังจากที่ทาสาร SDF เพื่อลดขั้นตอนในการรักษา ต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา ที่หลังทาสาร SDF แล้วมีการเก็บชิ้นฟันเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ตามลำดับ ก่อนที่จะนำไปยึดติดกับวัสดุบูรณะ^{17, 18, 93} จากงานวิจัยนี้เมื่อบูรณะฟันทันทีหลังจากทาสาร SDF ในขั้นตอนเดียวพบว่าไม่ได้ส่งผลให้แรงยึดติดแบบเฉือนระหว่างเนื้อฟันน้ำนมกับวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำ SDF ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าแตกต่างกับการศึกษาก่อนหน้าที่ศึกษาในฟันแท้⁹³ อาจเนื่องมาจากโครงสร้างและองค์ประกอบของฟันน้ำนมต่างจากฟันแท้ คือฟันน้ำนมมีปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟสในเนื้อฟันรอบท่อ (peritubular dentin) และเนื้อฟันระหว่างท่อ (intertubular dentin) น้อยกว่าฟันแท้⁹⁴ นอกจากนี้แล้วฟันน้ำนมยังมีอัตราส่วนของท่อเนื้อฟันที่มีขนาดใหญ่มากกว่าฟันแท้ ส่งผลให้มีพื้นที่ในการยึดติดกับวัสดุบูรณะน้อยกว่าฟันแท้ จึงส่งผลให้แรงยึดติดกับวัสดุบูรณะในฟันน้ำมน้อยกว่าฟันแท้ได้⁹⁵ สอดคล้องกับการศึกษาของ Singh และคณะ ปี ค.ศ. 2021⁴⁸ ที่พบว่าค่าแรงยึดติดแบบเฉือนระหว่างวัสดุเคลือบไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันน้ำนมมีค่าน้อยกว่าในฟันแท้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน กล่าวคือ ในขั้นตอนการยึดติดกับวัสดุบูรณะ มีบางชิ้นงานที่มีวัสดุบูรณะเกินออกไปนอกวงพิมพ์จนไม่สามารถจับกับหัวกดแบบครึ่งวงกลม ของเครื่องมือทดสอบแรงยึดเหนี่ยวได้ จึงทำการตัดออก เนื่องจากในหลายการศึกษาที่ทดสอบความแข็งแรงยึด

เนียน และความแข็งแรงยึดติดของเนื้อฟันกับวัสดุบูรณะ พบว่า พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงยึดติด โดย ยิ่งพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น แรงยึดติดที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากการกระจายแรงมีความไม่สม่ำเสมอเพิ่มขึ้น⁷⁹⁻⁸¹

รูปแบบการล้มเหลวหลังการแตกหักหลังการทดสอบแรงยึดระหว่างเนื้อฟันและวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ รูปแบบที่พบมากที่สุดจากทุกกลุ่มคือการล้มเหลวแบบผสมสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhou และคณะ ปี ค.ศ. 2019¹⁷ และ Puwanawiroj และคณะ ปี ค.ศ. 2018¹⁸ ซึ่งเป็นทดสอบแรงยึดในชั้นเนื้อฟันที่ผู้ อาจเนื่องมาจากพื้นที่มีรอยโรคฟันผุมีความอ่อนนุ่มที่ผิวมากกว่าเนื้อฟันปกติที่ไม่มีการผุ จึงทำให้เกิดการแตกหักในลักษณะเช่นนี้ แตกต่างจากการศึกษาของ Burrow และคณะในปี 2002⁹⁶ ซึ่งทำการทดสอบแรงยึดในชั้นเนื้อฟันปกติที่ไม่มีการผุ และพบรูปแบบการล้มเหลวแบบเชื่อมแน่นในวัสดุอุดมากที่สุด จากการศึกษาในในกลุ่มควบคุม พบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในชั้นวัสดุอุดร้อยละ 18.18 หรือพบเพียง 2 ชิ้น ซึ่งชิ้นฟันที่พบรูปแบบความล้มเหลวนี้พบว่าเป็นชิ้นฟันที่มีค่าแรงยึดเหนี่ยวน้อยที่สุดในกลุ่ม อาจเกิดมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในชั้นวัสดุอุดระหว่างขั้นตอนการยึดติดของวัสดุอุดกับเนื้อฟัน จึงทำให้การแตกหักในลักษณะเช่นนี้ได้

ความหนาแน่นของแร่ธาตุหลังจากทำ SDF การศึกษานี้เลือกใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (microCT) ในการศึกษาเนื่องจากสามารถวัดผลก่อนและหลังได้ ในชิ้นงานเดียวกัน และใช้โปรแกรมคำนวณค่าความหนาแน่นของแร่ธาตุได้ จึงมีความแม่นยำในการอ่านผล⁹⁷ แต่การศึกษานี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำชิ้นงานทุกชิ้นไปวัดความหนาแน่นหลังจากการทำ SDF และยึดติดกับวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้ เนื่องจากอาจเกิดการแตกหักของวัสดุบูรณะได้ ก่อนการนำไปทดสอบแรงยึดเหนี่ยว การศึกษานี้พบว่าแต่ละกลุ่มการทดลองที่ทำ SDF มีค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) เพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มเมื่อเทียบกับค่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) โดยในแต่ละกลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในระดับใกล้เคียงกัน และมีการสะสมแร่ธาตุค่อยๆเพิ่มขึ้นจากระดับพื้นผิว โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 และ 50 ไมโครเมตร และความแตกต่างค่อยๆลดลงเมื่อระดับความลึกมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการทำ SDF ส่งผลให้มีการสะสมของแร่ธาตุเพิ่มขึ้น โดยไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการทำ SDF สอดคล้องกับการศึกษาของ Srisomboon และคณะในปี ค.ศ. 2021⁹⁸ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการถึงผลของระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทำ SDF ต่อการสะสมแร่ธาตุในเนื้อฟันกรามแท้ที่ผุ โดยเวลาที่ใช้คือ 30 60 และ 180 วินาทีตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการทำ SDF ที่เวลาแตกต่างกันให้ผลการสะสมแร่ธาตุเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ส่วนในกลุ่มควบคุมเมื่อวัดโดยประมาณพบว่าความหนาแน่นแร่ธาตุหลังการทดลอง (T_2) ไม่แตกต่างจากความหนาแน่นของแร่ธาตุหลังเหนี่ยวนำให้เกิดรอยโรคฟันผุ (T_1) แต่จากข้อจำกัดเรื่องขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มีเพียงกลุ่มละ 1 ชิ้น จึงทำให้การศึกษานี้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้

การศึกษานี้ประเมินความลึกในการแทรกผ่านของซิลเวอร์ไอออนในท่อเนื้อฟัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น QUANTA 400 โดยใช้เทคนิค EDX point scan เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ธาตุในเชิงคุณภาพ ว่าตัวอย่างที่ต้องการศึกษามีธาตุชนิดใดประกอบอยู่ ยังสามารถวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณโดยบอกเป็นร้อยละของธาตุที่พบได้⁹⁹ จากการศึกษาพบว่าธาตุซิลเวอร์สามารถแทรกผ่านชั้นรอยโรคฟันผุลงไปได้ทั้งหมด และสามารถแทรกผ่านต่อไปยังชั้นเนื้อฟันที่ไม่ได้มีการสูญเสียแร่ธาตุได้ถึง 1,000 ไมโครเมตร ในทุกกลุ่มการทดลอง จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Li และคณะ ในปี ค.ศ. 2019¹⁰⁰ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการเรื่องการแทรกผ่านของSDF ในฟันหน้าน้ำนมที่มีรอยผุ พบว่าการแทรกผ่านของซิลเวอร์ อยู่ที่ 16.75-2,490 ไมโครเมตร และการศึกษาของ Sayed และคณะ ในปี ค.ศ. 2019¹⁰¹ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการถึงการแทรกผ่านของSDF ในเนื้อฟันวัวที่ผุ ได้ถึงความลึก 1,750 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Willershausen และคณะ ในปี ค.ศ. 2015¹⁰² ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการถึงการแทรกผ่านของ SDF ในชั้นเนื้อฟันกรามแท้ที่ปราศจากรอยผุ พบว่าการแทรกผ่านของซิลเวอร์ อยู่ที่เพียง 40 ไมโครเมตร สาเหตุที่ความลึกที่วัดได้ในแต่ละการศึกษามีความแตกต่างกันอาจมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของฟันที่ใช้ ขั้นตอนในการทำให้เหนียวทำให้เกิดฟันผุ ซึ่งการศึกษาของ Li และคณะในปี ค.ศ. 2019¹⁰⁰ เป็นการศึกษาในฟันหน้าน้ำนมที่มีรอยผุธรรมชาติอยู่แล้ว ซึ่งมีระดับการผุที่หลากหลายตั้งแต่ฟันผุในระดับชั้นเคลือบฟัน ไปจนถึงฟันในระดับใกล้เคียงประสาทฟัน โดยชั้นฟันที่ผุใกล้เคียงประสาทฟัน ซิลเวอร์สามารถแทรกผ่านได้ถึงไปจนถึงประสาทฟัน แสดงให้เห็นว่ายิ่งฟันผุในระดับที่ลึก ซิลเวอร์ก็สามารถแทรกผ่านไปในท่อเนื้อฟันในระดับที่ลึกมากขึ้นได้เช่นเดียวกัน ในขณะที่การศึกษานี้มีการเหนียวทำให้เกิดฟันผุโดยใช้กระบวนการสลับสภาวะกรด-ด่าง โดยเกิดฟันผุถึงระดับความลึก 210 ไมโครเมตรซึ่งน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมา¹⁰⁰ จึงอาจเป็นเหตุให้ความลึกในการแทรกผ่านของซิลเวอร์ในการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องวิธีที่ใช้ในการวัดการแทรกผ่านของซิลเวอร์ โดยการศึกษาของ Sayed และคณะ ในปี ค.ศ. 2019¹⁰¹ ใช้วิธีวัดความลึกในการแทรกผ่านโดยใช้เทคนิค EDS line analysis เทคนิคนี้สามารถทำได้เร็วและง่ายกว่าแบบ EDX point scan โดยสามารถวัดความลึกของซิลเวอร์ในเนื้อฟันที่ผุได้ถึง 1,750 ไมโครเมตร ที่เวลา 1 ปี แต่ที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 2 สัปดาห์หลังจากทา SDF ไม่สามารถตรวจเจอซิลเวอร์ได้ เนื่องจากผลึกซิลเวอร์ มีปริมาณไม่มากพอให้เครื่องตรวจจับได้ จากการศึกษาพบว่า SDF เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวฟัน เกิดเป็นซิลเวอร์ฟอสเฟต ซึ่งเป็นผลึกที่ไม่เสถียร จะแตกตัวให้ซิลเวอร์ไอออนและเกิดการรวมตัวกันเป็นผลึก เมทัลลิกซิลเวอร์ (metallic silver) ซึ่งผลึกนี้มีรูปร่างกลม และมีขนาดเล็กมาก¹⁰³ เมื่อเวลาผ่านไป ผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยอาจเห็นเป็นผลึกสีเหลือง หรือหกเหลี่ยมได้¹⁰⁴ โดยจะสามารถตรวจเจอโดยใช้เทคนิค EDX point scan ได้ที่เวลา 2 สัปดาห์¹⁰⁵ ด้วยข้อจำกัดด้านเวลา การศึกษานี้จึงเลือกใช้เทคนิค EDX point scan

ในการทดสอบ ในการศึกษานี้พบการสะสมของธาตุซิลเวอร์พบมากที่ระดับผิวพื้น และค่อยๆลดลงใน ระดับความลึกที่มากขึ้น โดยค่าที่วัดได้มีค่าค่อนข้างต่ำอาจเนื่องมาจาก การศึกษานี้หลังจากทา SDF แล้วมีการบูรณะตามด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งมีการทาสารปรับสภาพผิวฟันซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด อ่อน ทำให้ชั้นสเมียร์ที่ผิวฟันถูกกำจัดไป รวมทั้งมีการล้างน้ำตามหลังการทาสารปรับสภาพผิวฟัน จึง อาจส่งผลให้ SDF บางส่วนถูกชะล้างออกไปได้

การศึกษานี้มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาการแทรกผ่านของ ซิลเวอร์ในท่อเนื้อฟันซึ่งมีเพียงกลุ่มละ 4 ชิ้น นอกจากนี้การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบนอกร่างกายที่ มีการวัดผลของSDF ต่อการยึดติดของวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในระยะสั้น อาจต้องศึกษาผล ของการยึดติดในระยะเวลาที่มากขึ้น และศึกษาในการใช้งานจริงในอาสาสมัคร เพื่อให้คล้ายคลึงกับ สภาวะการใช้งานจริงของวัสดุบูรณะมากที่สุด

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าการทาสาร SDF ไม่ส่งผลกระทบต่อแรงยึดติดระหว่างวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับชั้นเนื้อฟันน้ำนม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการทา SDF ไม่ส่งผลต่อการยึดติดของชั้นเนื้อฟันน้ำนมกับวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และการแทรกผ่านของซิลเวอร์ไนทอเนอ์ฟันน้ำนม

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของการยึดติดของวัสดุอุดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันในระยะเวลาที่มากขึ้น
2. การบูรณะด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ตามทันทีหลังจากทา SDF ทำให้ SDF คงอยู่ในรอยฟันผุไม่ถูกชะล้างออกไป อาจส่งผลดีต่อการป้องกันฟันผุ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบว่าเวลาที่แตกต่างกันในการทา SDF ส่งผลต่อการป้องกันฟันผุอย่างไรบ้าง จึงควรมีการศึกษาผลของระยะเวลาที่แตกต่างกันในการทา SDF ต่อการป้องกันฟันผุต่อไป
3. เนื่องจากลักษณะการเกิดรอยผุที่จำลองขึ้น อาจแตกต่างจากลักษณะฟันผุธรรมชาติ รวมทั้งการนำวัสดุอุดไปใช้บังคับเคี้ยวของผู้ป่วยแต่ละคนอาจส่งผลต่อการยึดติดของวัสดุอุดต่างจากการทดสอบแรงยึดติดในห้องปฏิบัติการ จึงควรมีการศึกษาในอาสาสมัคร เพื่อให้คล้ายคลึงกับสภาวะการใช้งานจริงของวัสดุบูรณะมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. SDF for Thai children [Internet]. 2012. Available from: <http://www.vrpdent.com/images/SDF%2009-2012%20final.pdf>.
2. Rosenblatt A, Stamford TC, Niederman R. Silver diamine fluoride: a caries "silver-fluoride bullet". *J Dent Res* 2009;88(2):116-25.
3. Dos Santos VE, Jr., de Vasconcelos FM, Ribeiro AG, Rosenblatt A. Paradigm shift in the effective treatment of caries in schoolchildren at risk. *Int Dent J* 2012;62(1):47-51.
4. Llodra JC, Rodriguez A, Ferrer B, Menardia V, Ramos T, Morato M. Efficacy of silver diamine fluoride for caries reduction in primary teeth and first permanent molars of schoolchildren: 36-month clinical trial. *J Dent Res* 2005;84(8):721-4.
5. Chu CH, Lo EC, Lin HC. Effectiveness of silver diamine fluoride and sodium fluoride varnish in arresting dentin caries in Chinese pre-school children. *J Dent Res* 2002;81(11):767-70.
6. Yee R, Holmgren C, Mulder J, Lama D, Walker D, Van Palenstein Helder W. Efficacy of silver diamine fluoride for arresting caries treatment. *J Dent Res* 2009;88(7):644-7.
7. Zhi QH, Lo EC, Lin HC. Randomized clinical trial on effectiveness of silver diamine fluoride and glass ionomer in arresting dentine caries in preschool children. *J Dent* 2012;40(11):962-7.
8. Duangthip D, Wong MCM, Chu CH, Lo ECM. Caries arrest by topical fluorides in preschool children: 30-month results. *J Dent* 2018;70:74-9.
9. Fung MHT, Duangthip D, Wong MCM, Lo ECM, Chu CH. Randomized clinical trial of 12% and 38% silver diamine fluoride treatment. *J Dent Res* 2018;97(2):171-8.
10. Gao SS, Zhao IS, Hiraishi N, Duangthip D, Mei ML, Lo ECM, et al. Clinical trials of silver diamine fluoride in arresting caries among children: a systematic review. *JDR Clin Trans Res* 2016;1(3):201-10.

11. Kovarik RE, Haubenreich JE, Gore D. Glass ionomer cements: a review of composition, chemistry, and biocompatibility as a dental and medical implant material. *J Long Term Eff Med Implants* 2005;15(6):655-71.
12. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellemans L, Lambrechts P, et al. Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces. *J Dent Res* 2000;79(2):709-14.
13. Berg JH. Glass ionomer cements. *Pediatr Dent*. 2002;24(5):430-8.
14. Wilson AD, Prosser HJ, Powis DM. Mechanism of adhesion of polyelectrolyte cements to hydroxyapatite. *J Dent Res* 1983;62(5):590-2.
15. Tyas MJ. Clinical evaluation of glass-ionomer cement restorations. *J Appl Oral Sci* 2006;14 Suppl:10-3.
16. Alvear Fa B JJ, Wong A. Silver modified atraumatic restorative technique (SMART): an alternative caries prevention tool. *Stomatology Edu Journal* 2016;3:243-8.
17. Zhao IS, Chu S, Yu OY, Mei ML, Chu CH, Lo ECM. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide on shear bond strength of glass ionomer cements to caries-affected dentine. *Int Dent J* 2019;69(5):341-7.
18. Puwanawiroj A, Trairatvorakul C, Dasanayake AP, Auychai P. Microtensile bond strength between glass ionomer cement and silver diamine fluoride-treated carious primary dentin. *Pediatr Dent* 2018;40(4):291-5.
19. Koizumi H, Hamama HH, Burrow MF. Effect of a silver diamine fluoride and potassium iodide-based desensitizing and cavity cleaning agent on bond strength to dentine. *Int J Adhes* 2016;68:54-61.
20. Knight GM, McIntyre JM, Mulyani. The effect of silver fluoride and potassium iodide on the bond strength of auto cure glass ionomer cement to dentine. *Aust Dent J* 2006;51(1):42-5.
21. Jiang M, Mei ML, Wong MCM, Chu CH, Lo ECM. Effect of silver diamine fluoride solution application on the bond strength of dentine to adhesives and to glass ionomer cements: a systematic review. *BMC Oral Health* 2020;20(1):40.

22. Duangthip D, Chu CH, Lo EC. A randomized clinical trial on arresting dentine caries in preschool children by topical fluorides--18 month results. *J Dent* 2016;44:57-63.
23. Braga MM, Mendes FM, De Benedetto MS, Imparato JC. Effect of silver diamine fluoride on incipient caries lesions in erupting permanent first molars: a pilot study. *J Dent Child (Chic)* 2009;76(1):28-33.
24. Crystal YO, Marghalani AA, Ureles SD, Wright JT, Sulyanto R, Divaris K, et al. Use of silver diamine fluoride for dental caries management in children and adolescents, including those with special health care needs. *Pediatr Dent* 2017;39(5):135-45.
25. Mei ML, Li QL, Chu CH, Lo EC, Samaranayake LP. Antibacterial effects of silver diamine fluoride on multi-species cariogenic biofilm on caries. *Ann Clin Microbiol Antimicrob* 2013;12:4.
26. Youravong N, Carlen A, Teanpaisan R, Dahlén G. Metal-ion susceptibility of oral bacterial species. *Lett Appl Microbiol* 2011;53(3):324-8.
27. Chu CH, Mei L, Seneviratne CJ, Lo EC. Effects of silver diamine fluoride on dentine carious lesions induced by *Streptococcus mutans* and *Actinomyces naeslundii* biofilms. *Int J Paediatr Dent* 2012;22(1):2-10.
28. Knight GM, McIntyre JM, Craig GG, Mulyani, Zilm PS, Gully NJ. An in vitro model to measure the effect of a silver fluoride and potassium iodide treatment on the permeability of demineralized dentine to *Streptococcus mutans*. *Aust Dent J* 2005;50(4):242-5.
29. Zhao IS, Gao SS, Hiraishi N, Burrow MF, Duangthip D, Mei ML, et al. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J* 2018;68(2):67-76.
30. Chaussain-Miller C, Fioretti F, Goldberg M, Menashi S. The role of matrix metalloproteinases (MMPs) in human caries. *J Dent Res* 2006;85(1):22-32.
31. Mei ML, Li QL, Chu CH, Yiu CK, Lo EC. The inhibitory effects of silver diamine fluoride at different concentrations on matrix metalloproteinases. *Dent Mater* 2012;28(8):903-8.

32. Wakshlak RB, Pedahzur R, Avnir D. Antibacterial activity of silver-killed bacteria: the "zombies" effect. *Sci Rep* 2015;5:9555.
33. Seifo N, Robertson M, MacLean J, Blain K, Grosse S, Milne R, et al. The use of silver diamine fluoride (SDF) in dental practice. *Br Dent J* 2020;228(2):75-81.
34. Crystal YO, Niederman R. Evidence-based dentistry update on silver diamine fluoride. *Dent Clin North A.* 2019;63(1):45-68.
35. Fung MHT, Duangthip D, Wong MCM, Lo ECM, Chu CH. Arresting dentine caries with different concentration and periodicity of silver diamine fluoride. *JDR Clin Trans Res.* 2016;1(2):143-52.
36. Chibinski AC, Wambier LM, Feltrin J, Loguercio AD, Wambier DS, Reis A. Silver diamine fluoride has efficacy in controlling caries progression in primary teeth: a systematic review and meta-analysis. *Caries Res.* 2017;51(5):527-41.
37. Monse B, Heinrich-Weltzien R, Mulder J, Holmgren C, van Palenstein Helderman WH. Caries preventive efficacy of silver diammine fluoride (SDF) and ART sealants in a school-based daily fluoride toothbrushing program in the Philippines. *BMC Oral Health.* 2012;12:52.
38. Liu BY, Lo EC, Chu CH, Lin HC. Randomized trial on fluorides and sealants for fissure caries prevention. *J Dent Res* 2012;91(8):753-8.
39. Crystal YO, Niederman R. Silver diamine fluoride treatment considerations in children's caries management. *Pediatr Dent* 2016;38(7):466-71.
40. Lohbauer U. Dental Glass ionomer cements as permanent filling materials? — properties, limitations future trends. *Materials (Basel)* 2009;3(1):76-96.
41. Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *J Funct Biomater* 2016;7(3):16.
42. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res* 1970;49(6):Suppl:1359-68.
43. Vasiliu S, Racovita S, Gugoasa I, Lungan M, Popa M, Desbrieres J. The benefits of smart Nanoparticles in dental applications. *Int J Mol Sci* 2021;22:2585.

44. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dent Mater* 2010;26(2):e100-21.
45. Tanumiharja M, Burrow MF, Tyas MJ. Microtensile bond strengths of glass ionomer (polyalkenoate) cements to dentine using four conditioners. *J Dent* 2000;28(5):361-6.
46. Sriamporn T, Klaisiri A, Thamrongananskul N. Dentin conditioning agents for glass ionomer cement. 2016.
47. Nanavati K, Katge F, Chimata VK, Pradhan D, Kamble A, Patil D. Comparative evaluation of shear bond strength of bioactive restorative material, zirconia reinforced glass ionomer cement and conventional glass ionomer cement to the dentinal surface of primary molars: an in vitro Study. *J Dent (Shiraz)* 2021;22(4):260-6.
48. Singh P, Jha M, Arora K, Bhat D, Awchat K, Goyal G, et al. Comparison of shear bond strength of packable glass ionomer cement, resin modified glass ionomer cement, compomer and giomer to primary and permanent teeth - an in vitro study. *J. Evol Med. Dent* 2021;10:1429-34.
49. Palma-Dibb RG, de Castro CG, Ramos RP, Chimello DT, Chinelatti MA. Bond strength of glass-ionomer cements to caries-affected dentin. *J Adhes Dent* 2003;5(1):57-62.
50. Auychai P, Khumtrakoon N, Jitongart C, Daomanee P, Laiteerapong A. Bond strength and microleakage of a novel glass ionomer cement containing silver diamine fluoride. *Eur J Dent* 2021.
51. Poggio C, Beltrami R, Scribante A, Colombo M, Lombardini M. Effects of dentin surface treatments on shear bond strength of glass-ionomer cements. *Ann Stomatol (Roma)* 2014;5(1):15-22.
52. Burke FM, Lynch E. Glass polyalkenoate bond strength to dentine after chemomechanical caries removal. *J Dent* 1994;22(5):283-91.
53. Frencken JE. The ART approach using glass-ionomers in relation to global oral health care. *Dent Mater* 2010;26(1):1-6.

54. Sitthisettapong T, Tasanarong P, Phantumvanit P. Strategic management of early childhood caries in Thailand: a critical overview. *Front Public Health* 2021;9:664541
55. Marquezan M, Corrêa FN, Sanabe ME, Rodrigues Filho LE, Hebling J, Guedes-Pinto AC. Artificial methods of dentine caries induction: A hardness and morphological comparative study. *Arch Oral Biol* 2009;54(12):1111-7.
56. Silverstone LM. The surface zone in caries and in caries-like lesions produced in vitro. *Br Dent J* 1968;125(4):145-57.
57. Feagin FF, Clarkson BH, Wefel JS. Chemical and physical evaluation of dialyzed-reconstituted acidified gelatin surface lesions of human enamel. *Caries Res* 1985;19(3):219-27.
58. Damato FA, Strang R, Stephen KW. Comparison of solution- and gel-prepared enamel lesions--and in vitro pH-cycling study. *J Dent Res* 1988;67(8):1122-5.
59. Yu OY, Zhao IS, Mei ML, Lo EC, Chu CH. A review of the common models used in mechanistic studies on demineralization-remineralization for cariology research. *Dent J (Basel)* 2017;5(2).
60. Ten Cate JM, Duijsters PP. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res* 1982;16(3):201-10.
61. Clarkson BH, Wefel JS, Miller I. A model for producing caries-like lesions in enamel and dentin using oral bacteria in vitro. *J Dent Res* 1984;63(10):1186-9.
62. Ogawa K, Yamashita Y, Ichijo T, Fusayama T. The ultrastructure and hardness of the transparent layer of human carious dentin. *J Dent Res* 1983;62(1):7-10.
63. El Mourad AM. Assessment of bonding effectiveness of adhesive materials to tooth structure using bond strength test methods: a review of literature. *Open Dent J* 2018;12:664-78.
64. Burke FJ, Hussain A, Nolan L, Fleming GJ. Methods used in dentine bonding tests: an analysis of 102 investigations on bond strength. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2008;16(4):158-65.
65. McDonough WG, Antonucci JM, He J, Shimada Y, Chiang MY, Schumacher GE, et al. A microshear test to measure bond strengths of dentin-polymer interfaces. *Biomaterials* 2002;23(17):3603-8.

66. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dent Mater* 1998;14(2):120-8.
67. Tantbirojn D, Cheng YS, Versluis A, Hodges JS, Douglas WH. Nominal shear or fracture mechanics in the assessment of composite-dentin adhesion. *J Dent Res* 2000;79(1):41-8.
68. Della Bona A, van Noort R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. *J Dent Res* 1995;74(9):1591-6.
69. Hu M, Weiger R, Fischer J. Comparison of two test designs for evaluating the shear bond strength of resin composite cements. *Dent Mater* 2016;32(2):223-32.
70. Zanatta RF, Lungova M, Borges AB, Torres C, Sydow HG, Wiegand A. microleakage and shear bond strength of composite restorations under cycling conditions. *Oper Dent* 2017;42(2):E71-e80.
71. Raju VG, Venumbaka NR, Mungara J, Vijayakumar P, Rajendran S, Elangovan A. Comparative evaluation of shear bond strength and microleakage of tricalcium silicate-based restorative material and radioopaque posterior glass ionomer restorative cement in primary and permanent teeth: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2014;32(4):304-10.
72. DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z. Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater* 1995;11(2):126-31.
73. Pecora N, Yaman P, Dennison J, Herrero A. Comparison of shear bond strength relative to two testing devices. *J Prosthet Dent* 2002;88(5):511-5.
74. (ISO) IOFS. ISO 29022:2013 Dentistry — Adhesion — Notched-edge shear bond strength test. 2013.
75. Libeck W, Elsayed A, Lehmann F, Kern M. Efficacy of different surface treatments for intraoral repair of veneered zirconia frameworks. *J Adhes Dent* 2017;19(4):323-9.
76. Abreu A, Loza MA, Elias A, Mukhopadhyay S, Looney S, Rueggeberg FA. Tensile bond strength of an adhesive resin cement to different alloys having various surface treatments. *J Prosthet Dent* 2009;101(2):107-18.

77. Kern M, Barloi A, Yang B. Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *J Dent Res* 2009;88(9):817-22.
78. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. *Dent Mater* 2010;26(2):e38-49.
79. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 1994;10(4):236-40.
80. El-Askary FMS, Nassif MSA, Andrade AM, Reis A, Loguercio AD. Effect of surface area and air-drying distance on shear bond strength of etch-and-rinse adhesive. *Brazilian Oral Research* 2012;26:418-23.
81. Shono Y, Terashita M, Pashley EL, Brewer PD, Pashley DH. Effects of cross-sectional area on resin-enamel tensile bond strength. *Dental Materials* 1997;13(5):290-6.
82. Sultana N, Nawal RR, Chaudhry S, Sivakumar M, Talwar S. Effect of acid etching on the micro-shear bond strength of resin composite-calcium silicate interface evaluated over different time intervals of bond aging. *J Conserv Dent* 2018;21(2):194-7.
83. Campos RE, Santos Filho PCF, de O. Júnior OB, Ambrosano GMB, Pereira CA. Comparative evaluation of 3 microbond strength tests using 4 adhesive systems: Mechanical, finite element, and failure analysis. *J Prosthet Dent* 2018;119(1):166-74.
84. Placido E, Meira JB, Lima RG, Muench A, de Souza RM, Ballester RY. Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dent Mater* 2007;23(9):1086-92.
85. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, et al. The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1999;1(4):299-309.
86. Dikmen B, Gurbuz O, Ozsoy A, Eren MM, Cilingir A, Yucel T. Effect of different antioxidants on the microtensile bond strength of an adhesive system to sodium hypochlorite-treated dentin. *J Adhes Dent*. 2015;17(6):499-504.
87. Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. *Crit Rev Oral Biol Med* 1996;7(2):104-33.

88. Gupta J, Thomas MS, Radhakrishna M, Srikant N, Ginjupalli K. Effect of silver diamine fluoride-potassium iodide and 2% chlorhexidine gluconate cavity cleansers on the bond strength and microleakage of resin-modified glass ionomer cement. *J Conserv Dent* 2019;22(2):201-6.
89. Wang AS, Botelho MG, Tsoi JKH, Matinlinna JP. Effects of silver diamine fluoride on microtensile bond strength of GIC to dentine. *Int J Adhes* 2016;70:196-203.
90. Auld DSP, Coassin PB, Coussens NPP, Hensley P, Klumpp-Thomas C, Michael S. Microplate selection and recommended practices in high-throughput screening and quantitative biology. *NCATS* 2004.
91. Piangsuk T. Equipments in morphological analysis for dental research. *CM Dent J* 2017;38(1).
92. Gorseta K, Glavina D, Skrinjaric T, Czarnecka B, Nicholson JW. The effect of petroleum jelly, light-cured varnish and different storage media on the flexural strength of glass ionomer dental cements. *Acta Biomater Odontol Scand* 2016;2(1):55-9.
93. Ng E, Saini S, Schulze KA, Horst J, Le T, Habelitz S. Shear bond strength of glass ionomer cement to silver diamine fluoride-treated artificial dentinal caries. *Pediatr Dent* 2020;42(3):221-5.
94. Courson F, Bouter D, Ruse ND, Degrange M. Bond strengths of nine current dentine adhesive systems to primary and permanent teeth. *J Oral Rehabil* 2005;32(4):296-303.
95. Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ. Microstructure of primary tooth dentin. *Pediatr Dent* 1999;21(7):439-44.
96. Burrow MF, Nopnakeepong U, Phrukkanon S. A comparison of microtensile bond strengths of several dentin bonding systems to primary and permanent dentin. *Dent Mater* 2002;18(3):239-45.
97. Lo EC, Zhi QH, Itthagarun A. Comparing two quantitative methods for studying remineralization of artificial caries. *J Dent* 2010;38(4):352-9.

98. Srisomboon S, Kettratad M, Pakawanit P, Rojviriya C, Phantumvanit P, Panpisut P. Effects of different application times of silver diamine fluoride on mineral precipitation in demineralized dentin. *J Dent* 2021;9(6):70.
99. Scimeca M, Bischetti S, Lamsira HK, Bonfiglio R, Bonanno E. Energy dispersive X-ray (EDX) microanalysis: a powerful tool in biomedical research and diagnosis. *Eur J Histochem* 2018;62(1):2841.
100. Li Y, Liu Y, Psoter Walter J, Nguyen Olivia M, Bromage T, Walters M, et al. Assessment of the silver penetration and distribution in carious lesions of deciduous teeth treated with silver diamine fluoride. *Caries Research* 2019;53:1-10.
101. Sayed M, Matsui N, Uo M, Nikaido T, Oikawa M, Burrow MF, et al. Morphological and elemental analysis of silver penetration into sound/demineralized dentin after SDF application. *Dent Mater* 2019;35(12):1718-27.
102. Willershausen I, Schulte D, Azaripour A, Weyer V, Briseño B, Willershausen B. Penetration potential of a silver diamine fluoride solution on dentin surfaces. an Ex Vivo Study. *Clin Lab* 2015;61(11):1695-701.
103. Lou YL, Botelho MG, Darvell BW. Reaction of silver diamine fluoride with hydroxyapatite and protein. *J. Dent* 2011;39(9):612-8.
104. Zhang Z, Yang X, Shen M, Yin Y, Liu J-F. Sunlight-driven reduction of silver ion to silver nanoparticle by organic matter mitigates the acute toxicity of silver to *Daphnia magna*. *J. Environ Sci* 2015;35.
105. Sayed M, Matsui N, Hiraishi N, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J. Effect of glutathione bio-molecule on tooth discoloration associated with silver diammine fluoride. *Int J Mol Sci* 2018;19(5):1322.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟืนก่อนการเหนี่ยวนำให้เกิดฟืนผุ (T_0) ที่ระดับความลึก 0 50 100 150 200 และ 250 ไมโครเมตร ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สถิติ One-way repeated-measure ANOVA

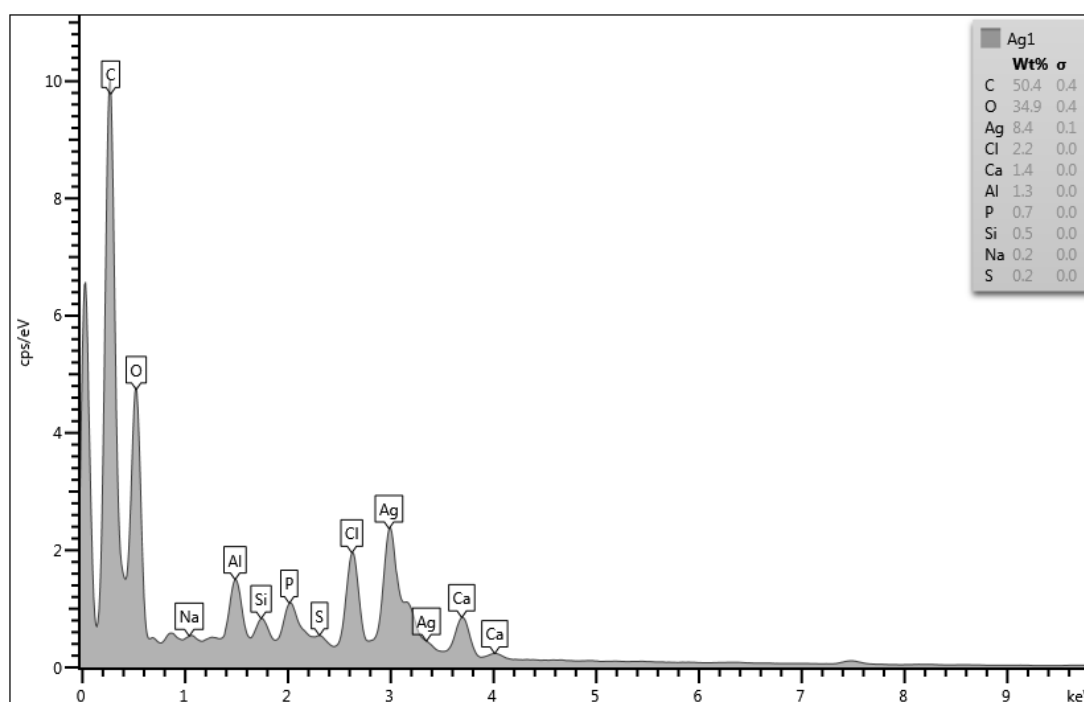
Tests	Factors	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value	Partial Eta Squared
Within groups	depth	548654.619	5	109730.924	31.763	<0.01*	0.724
	depth * Group	46788.637	15	3119.242	0.903	0.562	0.053
	Repeated measures ANOVA, Adjusted df by Sphericity, alpha = .05						
Between groups	Intercept		1	327852641	10712.044	<0.01*	0.996
	Group		3	16251.122	0.531	0.663	0.035
	Repeated measures ANOVA, alpha = .05						

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นแร่ธาตุของเนื้อฟืนหลังการเหนี่ยวนำให้เกิดฟืนผุ (T_1) ที่ระดับความลึก 0 50 100 150 200 และ 250 ไมโครเมตร ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สถิติ One-way repeated-measure ANOVA

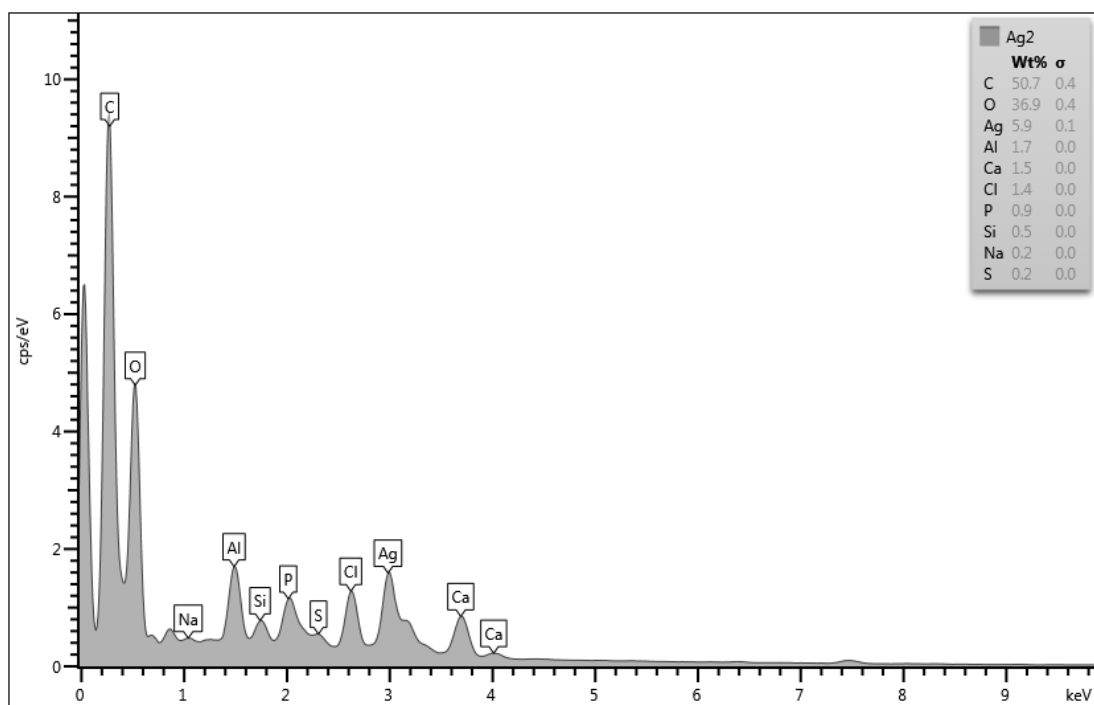
Tests	Factors	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value	Partial Eta Squared
Within groups	depth	29478073.0	2.23 5	13189126.8	758.243	<0.01*	0.945
	depth * Group	127986.052	6.70 5	19087.908	1.097	0.371	0.070
	Repeated measures ANOVA, Adjusted df by Greenhouse-Geisser, alpha = .05						
Between groups	Intercept	116469042	1	116469042	1711.278	<0.01*	0.975
	Group	76604.757	3	25534.919	0.375	0.771	0.025
	Repeated measures ANOVA, alpha = .05						

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการทา SDF (10, 30 และ 60 วินาที) และความแข็งแรงเฉือนระหว่างผิวเนื้อฟันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สถิติ One-way ANOVA

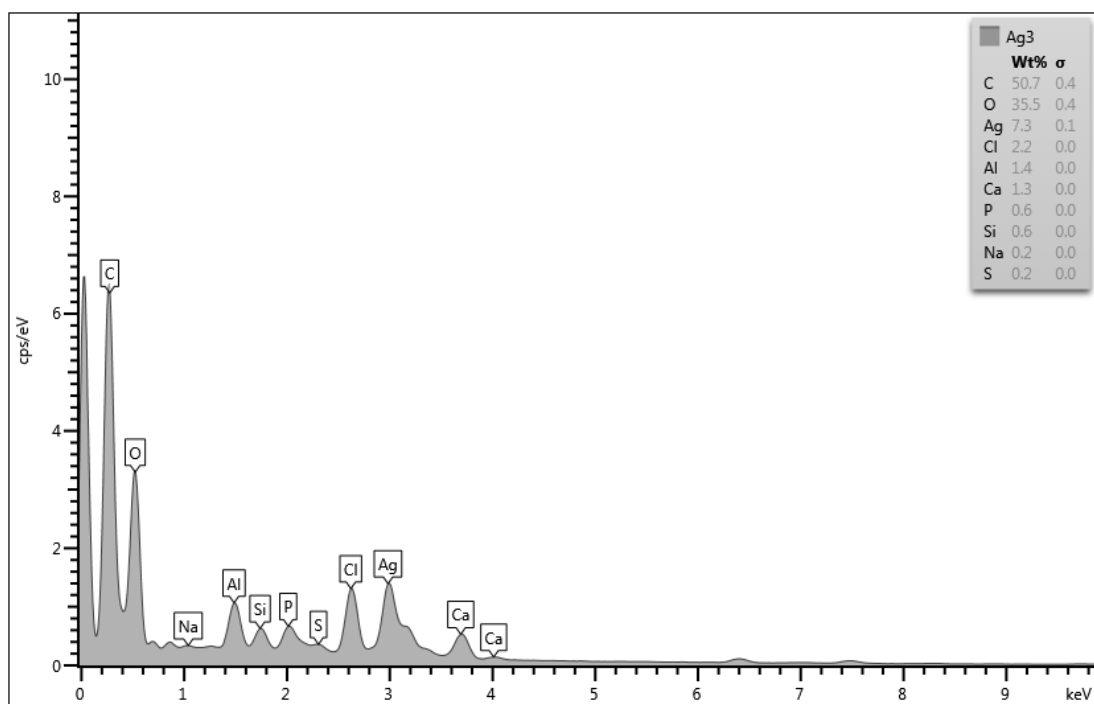
Bond strength	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Between Groups	2.044	3	0.681	0.536	0.66
Within Groups	50.867	40	1.272		
One way ANOVA, alpha = .05					



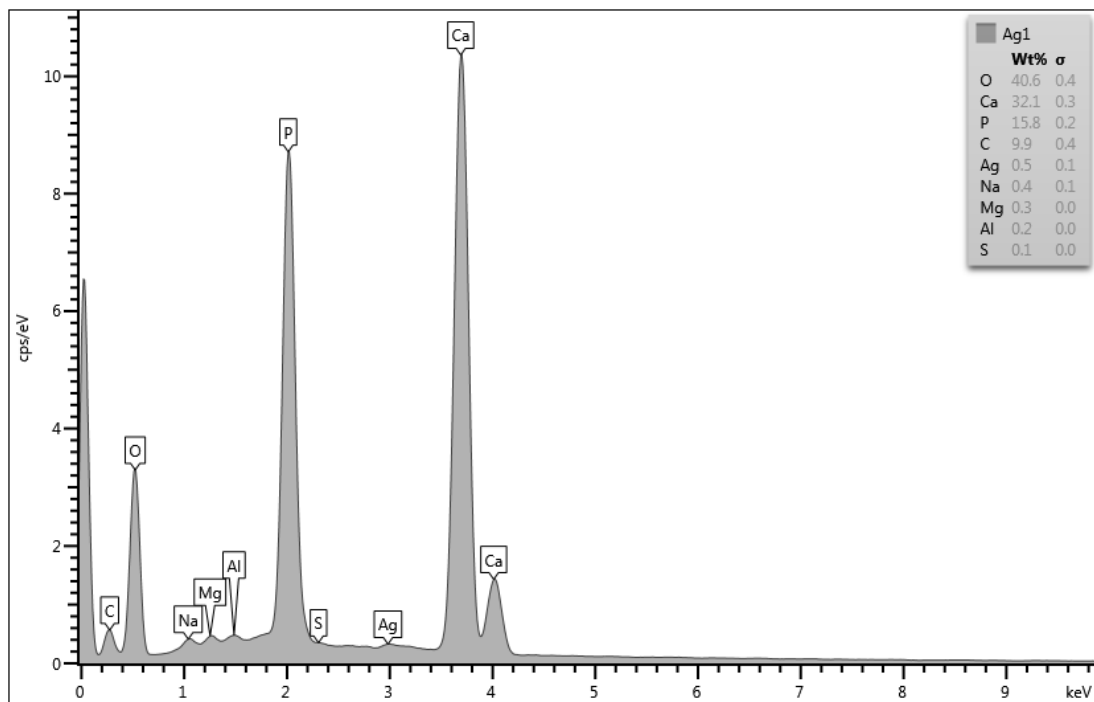
ภาพที่ 1ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



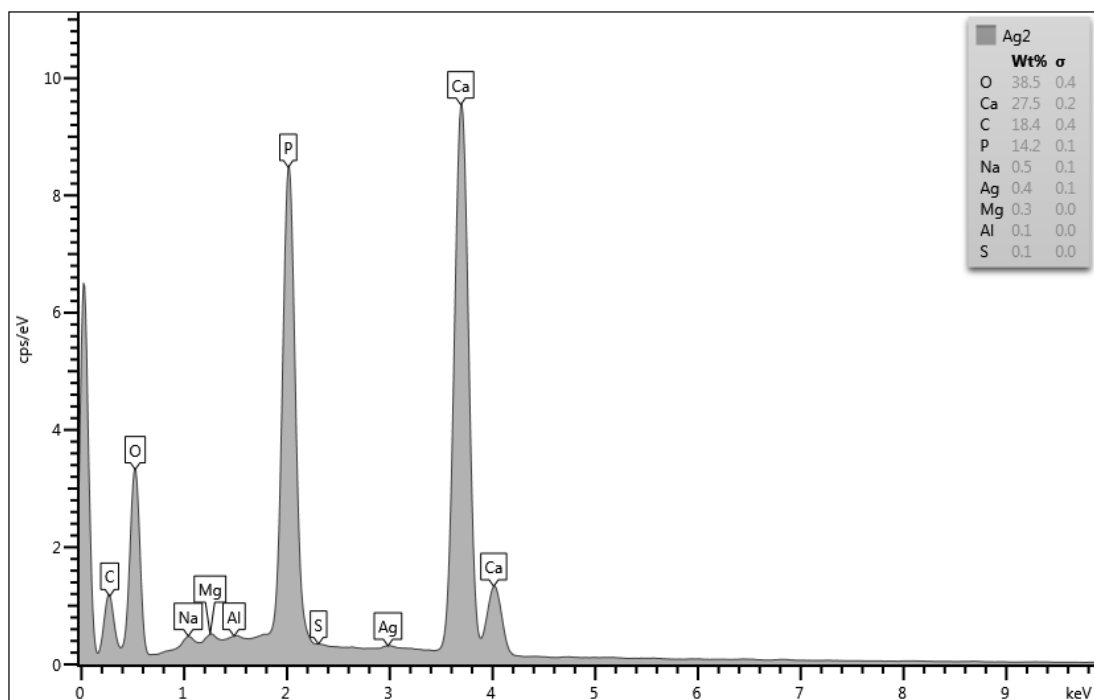
ภาพที่ 1ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



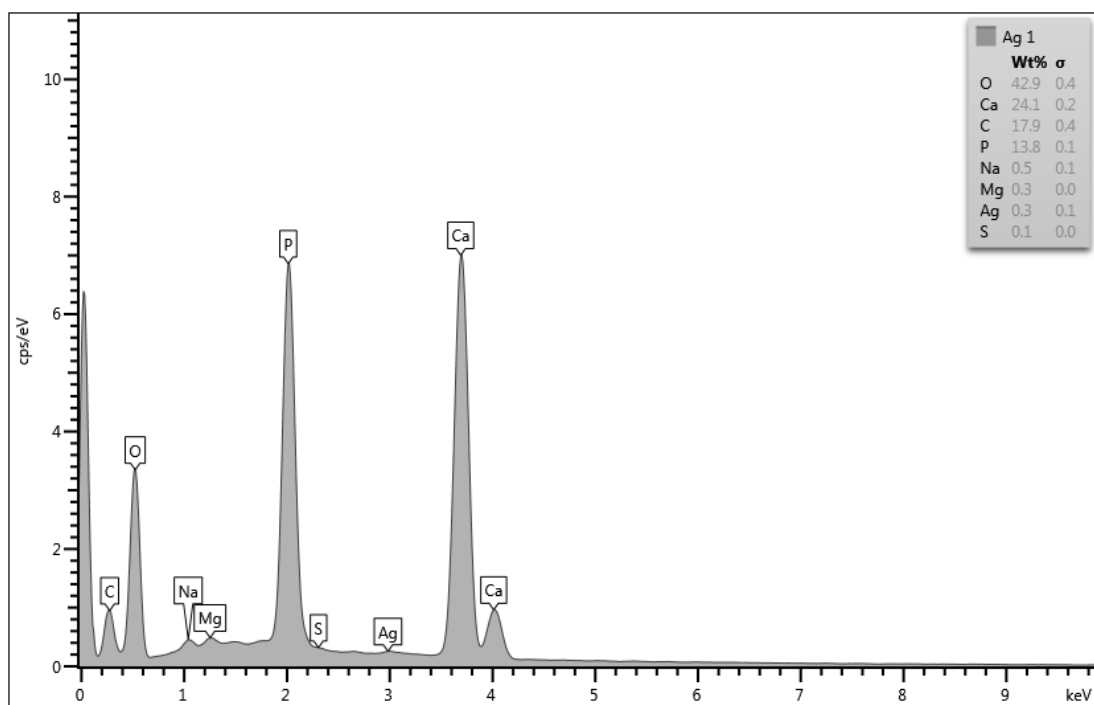
ภาพที่ 1ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



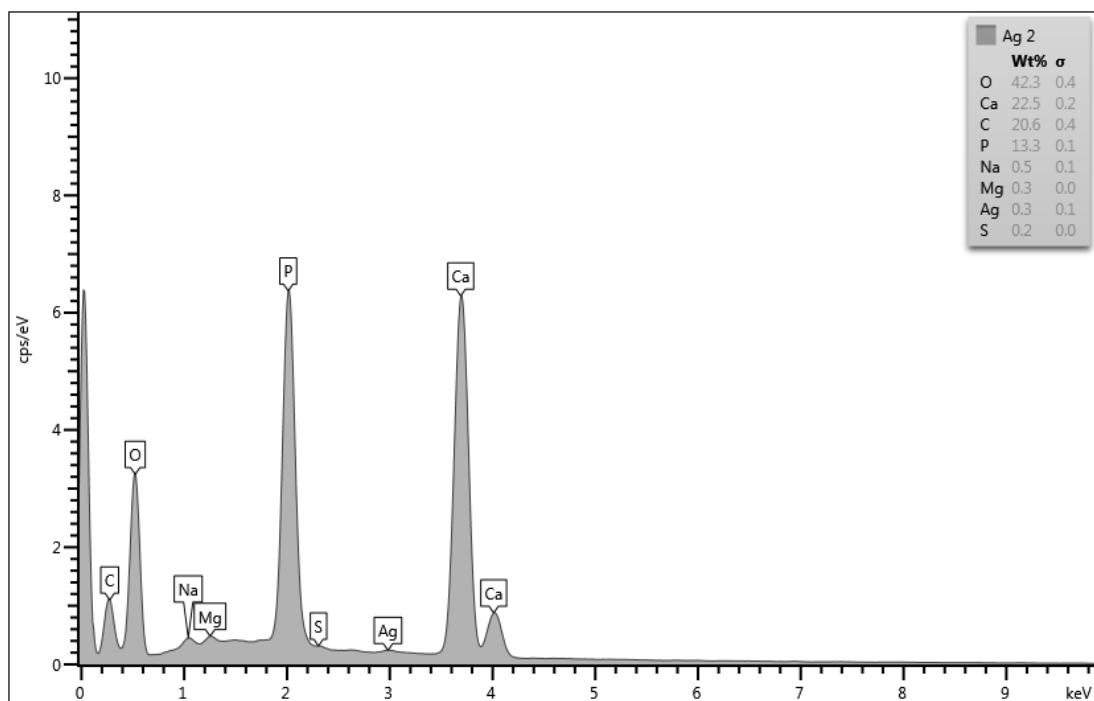
ภาพที่ 2ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



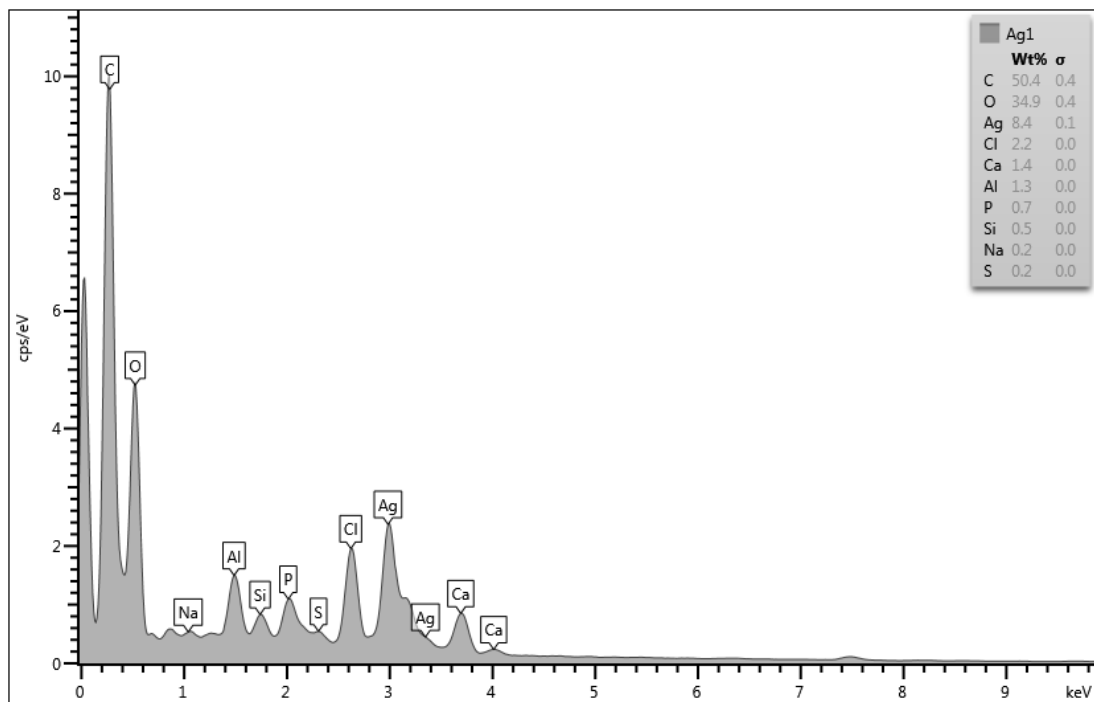
ภาพที่ 2ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



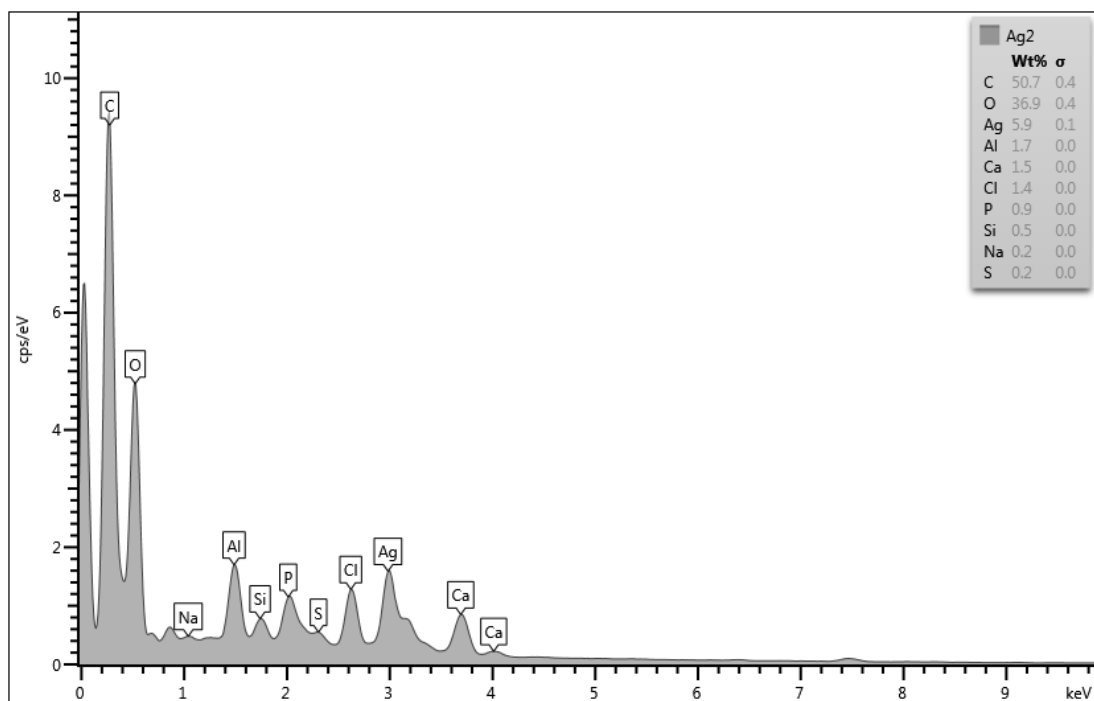
ภาพที่ 3ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร



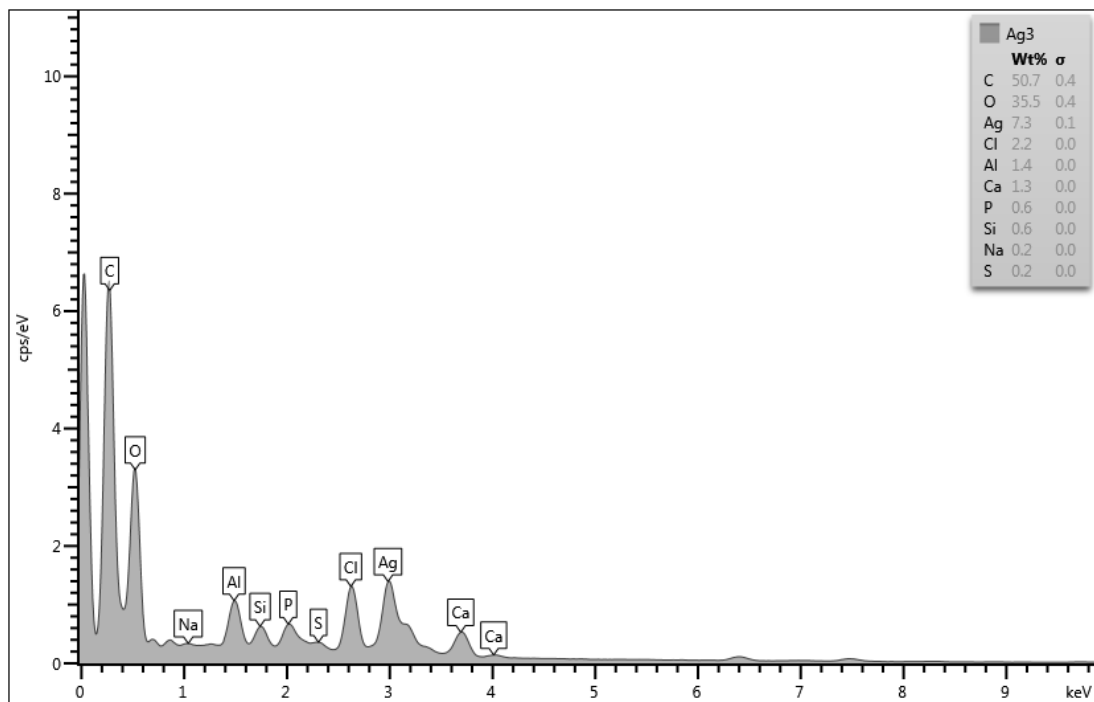
ภาพที่ 3ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 10 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร



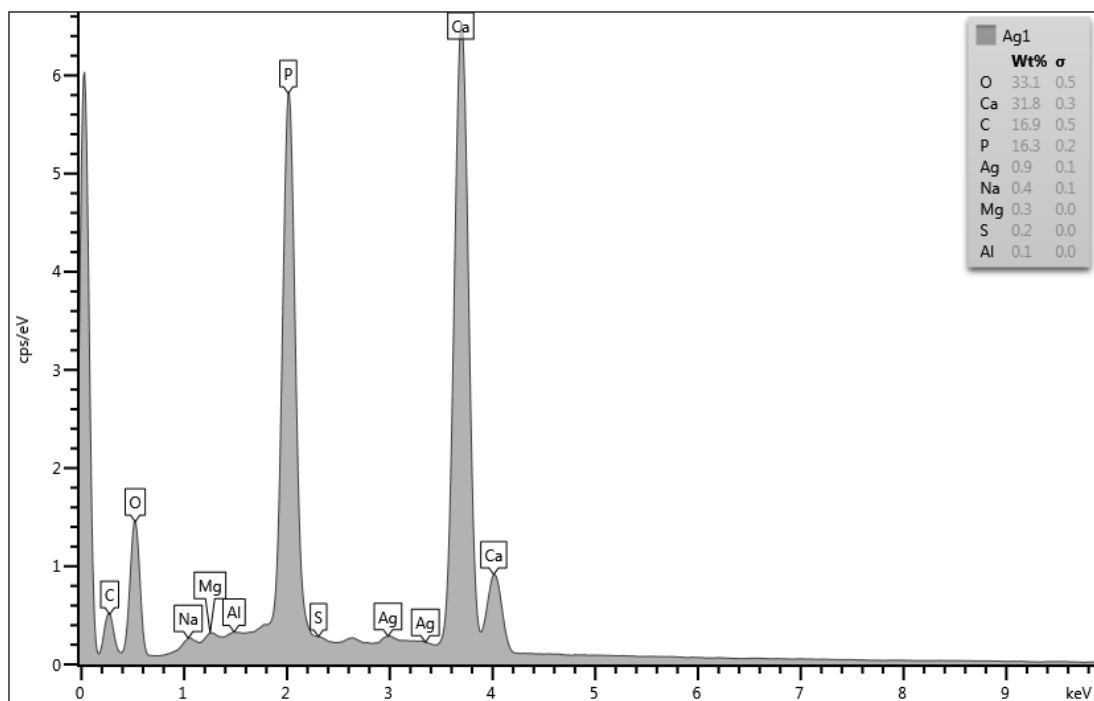
ภาพที่ 4ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



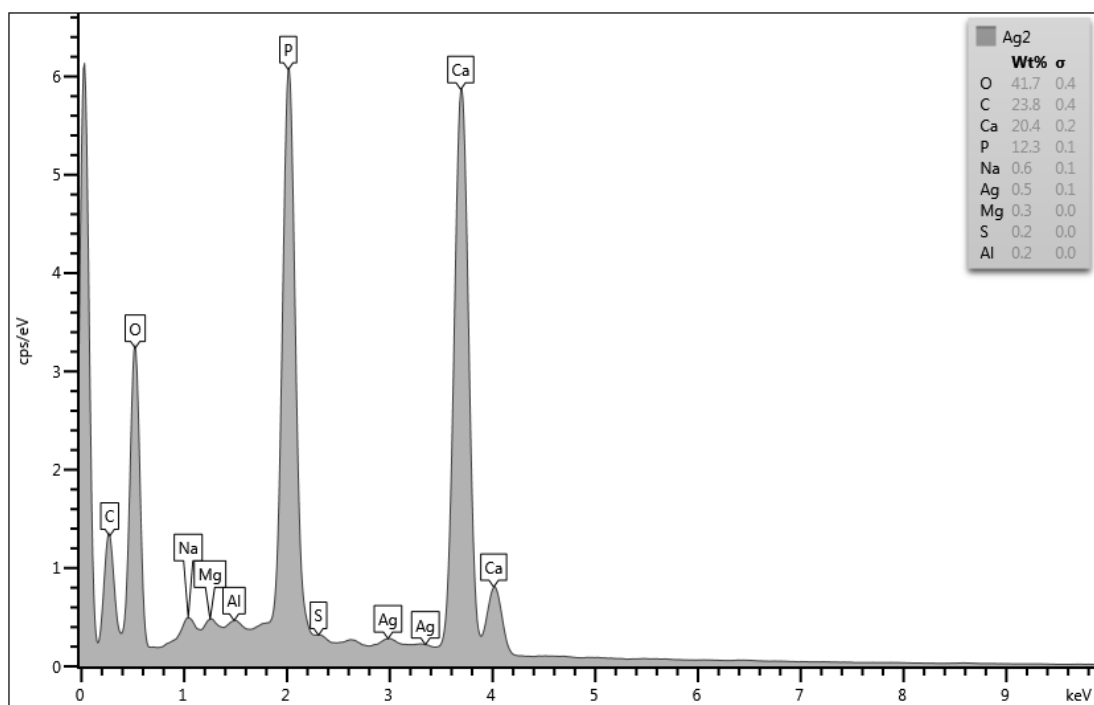
ภาพที่ 4ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



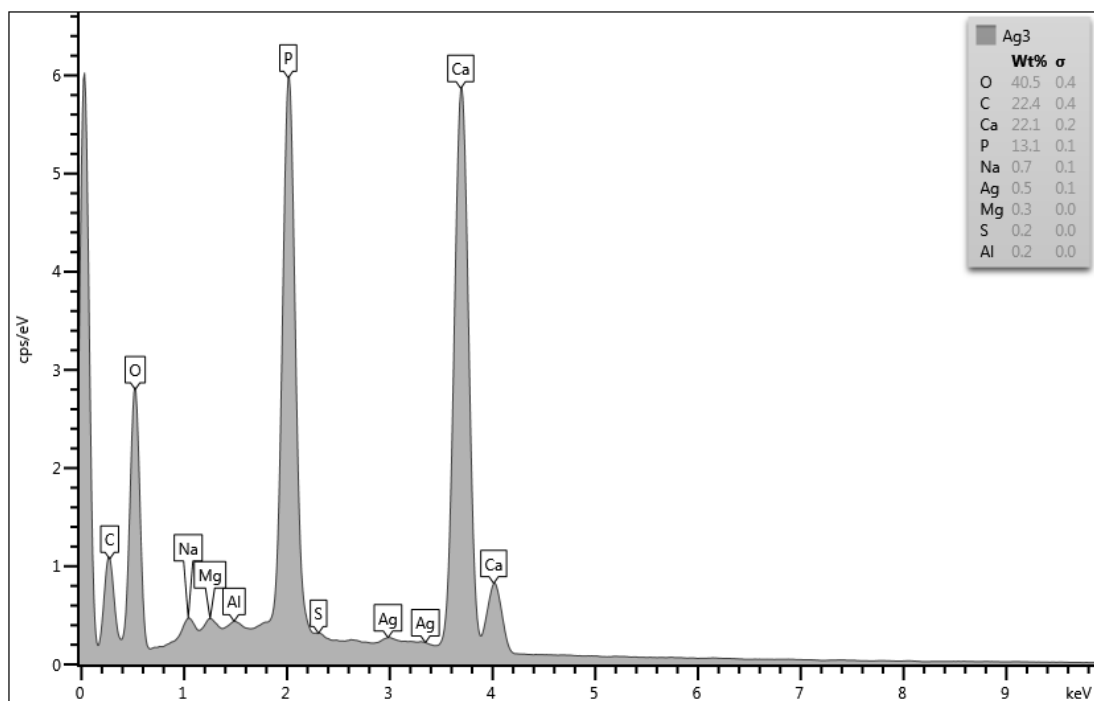
ภาพที่ 4ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



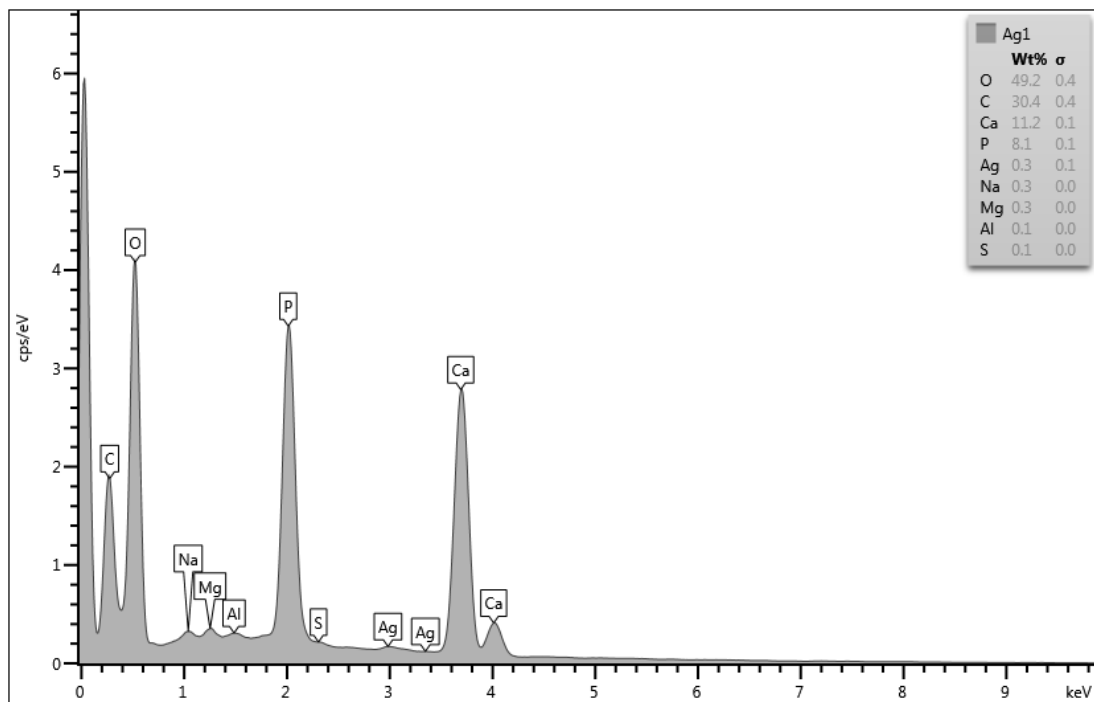
ภาพที่ 5ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



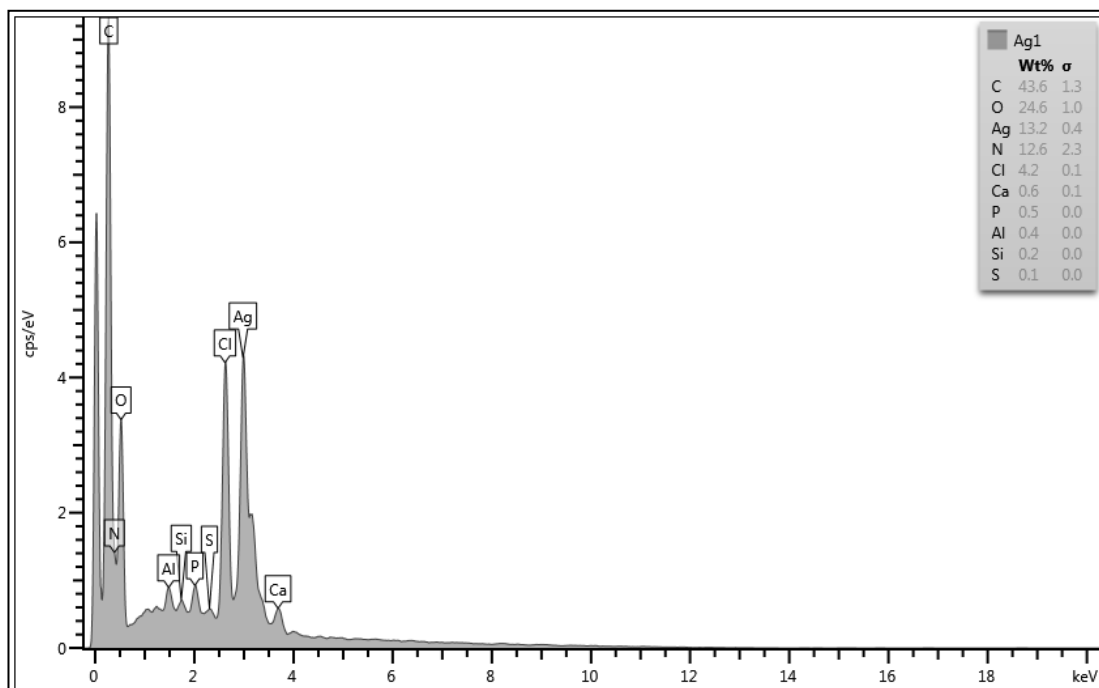
ภาพที่ 5ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



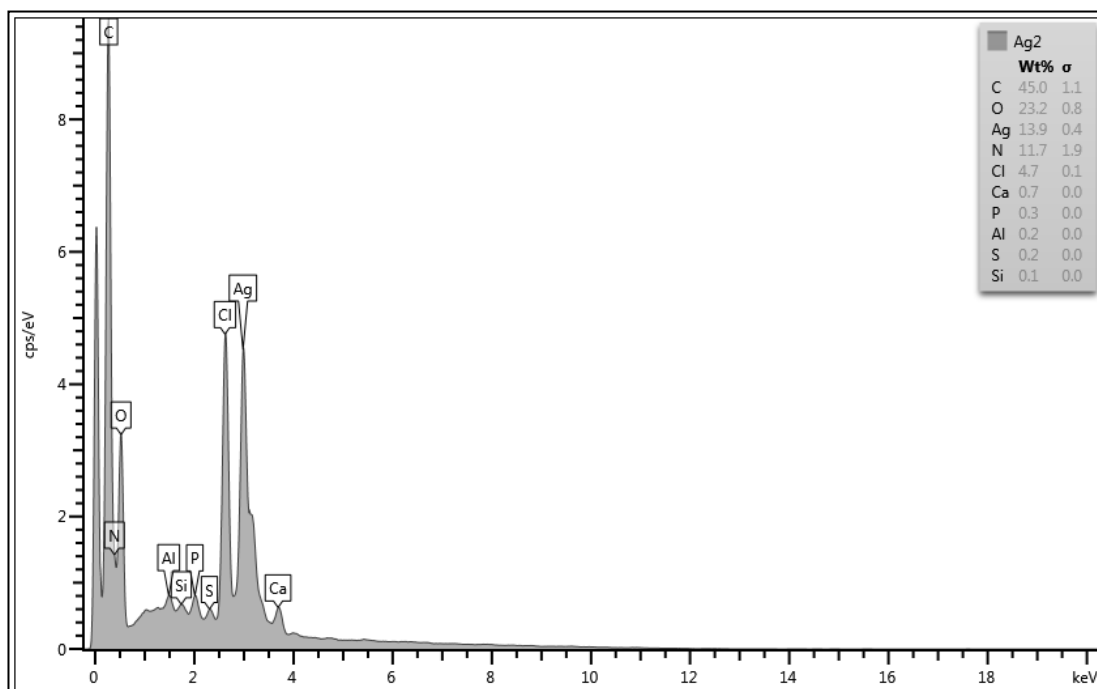
ภาพที่ 5ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



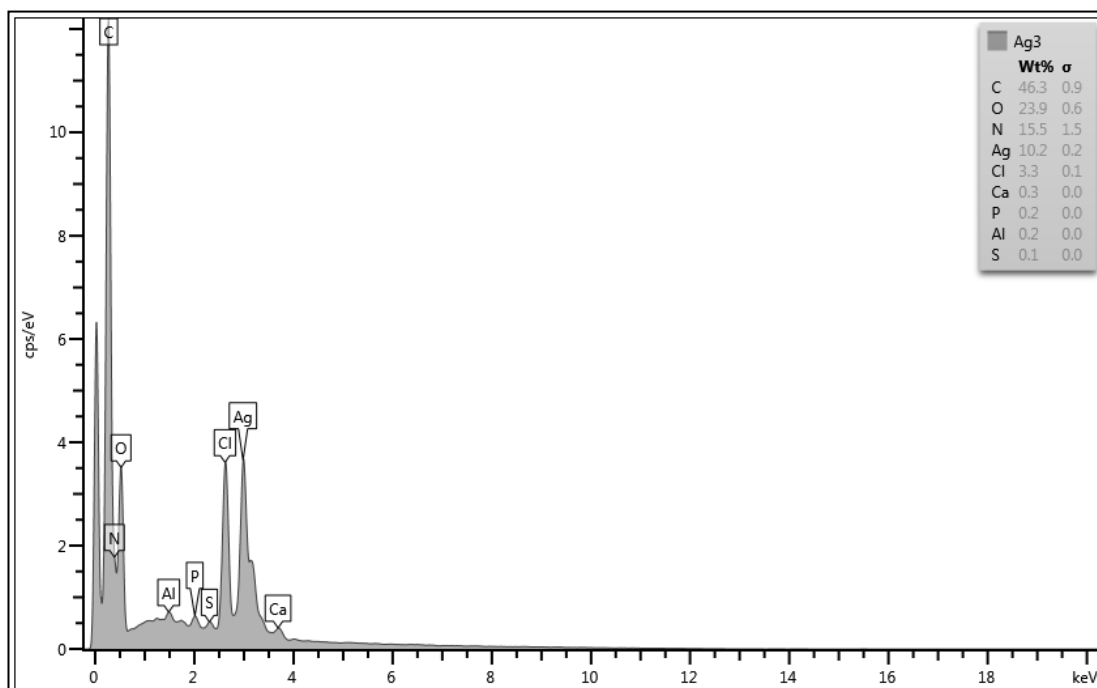
ภาพที่ 6ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 30 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร



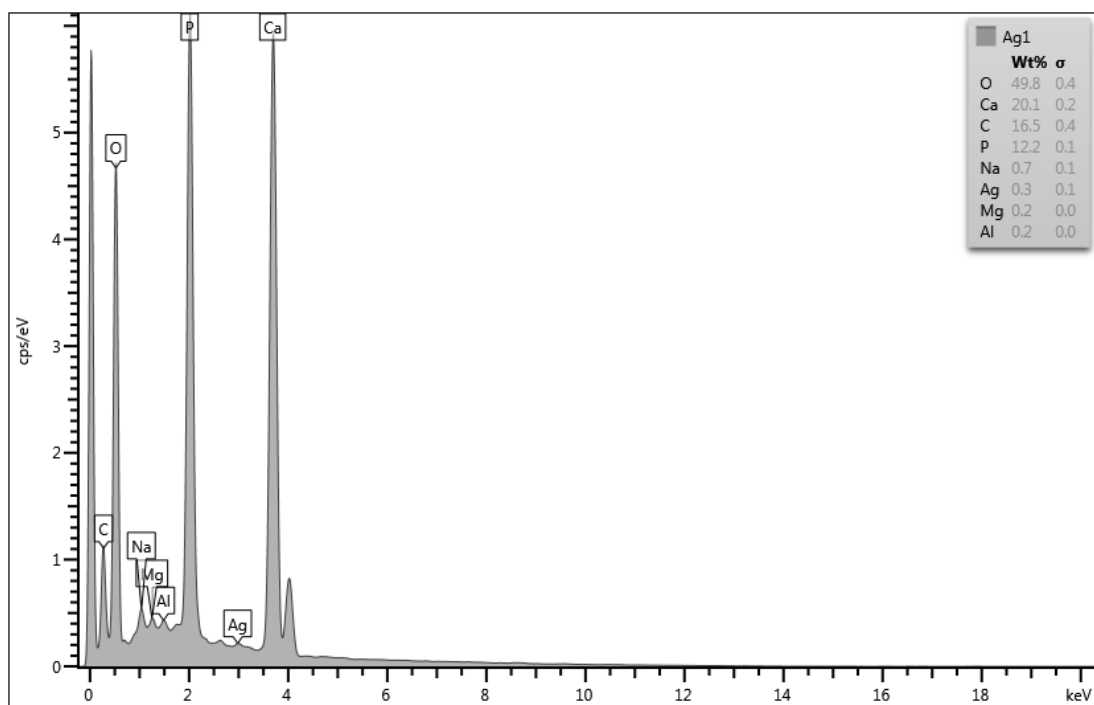
ภาพที่ 7ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



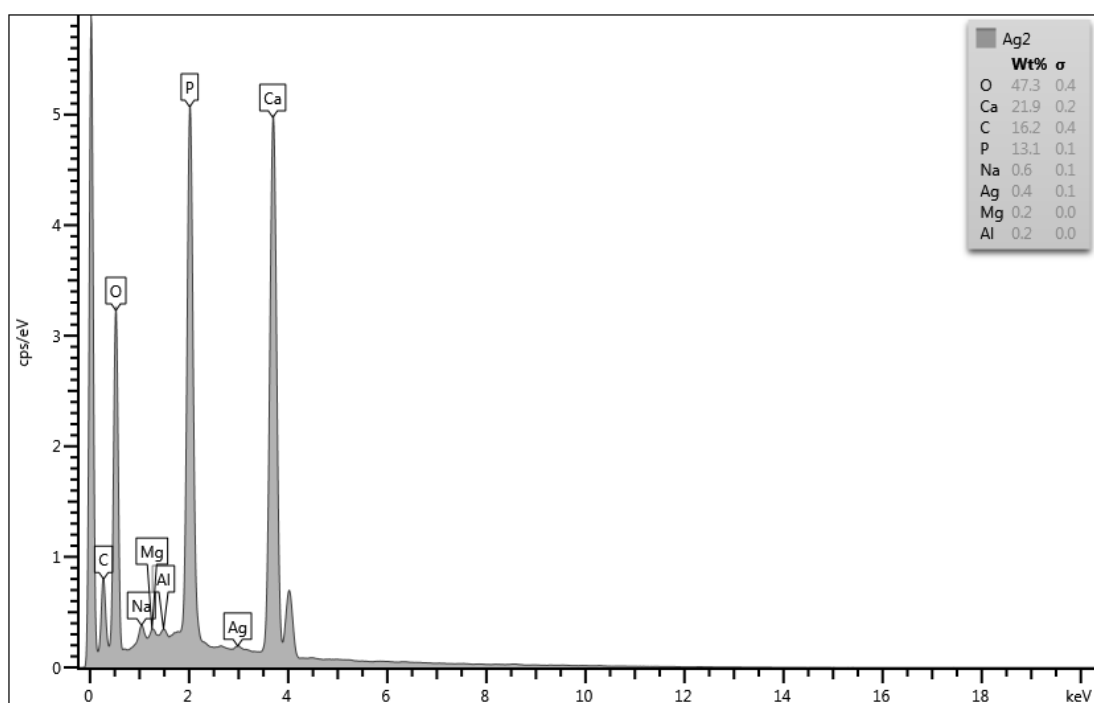
ภาพที่ 7ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



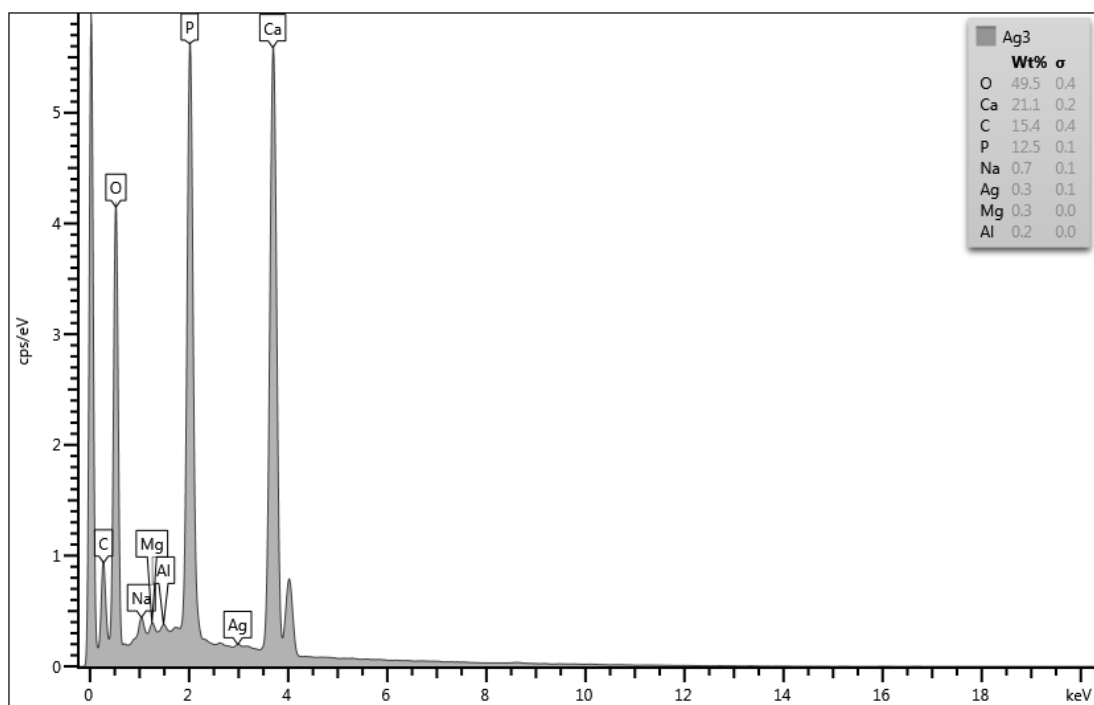
ภาพที่ 7ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ระดับผิวฟัน



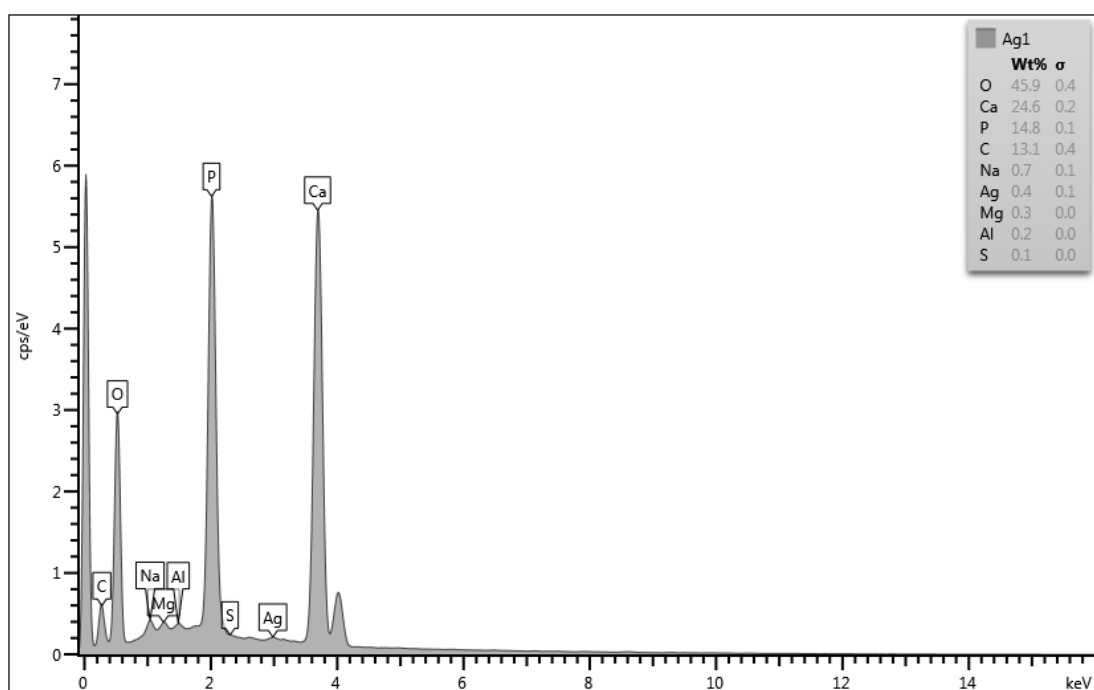
ภาพที่ 8ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



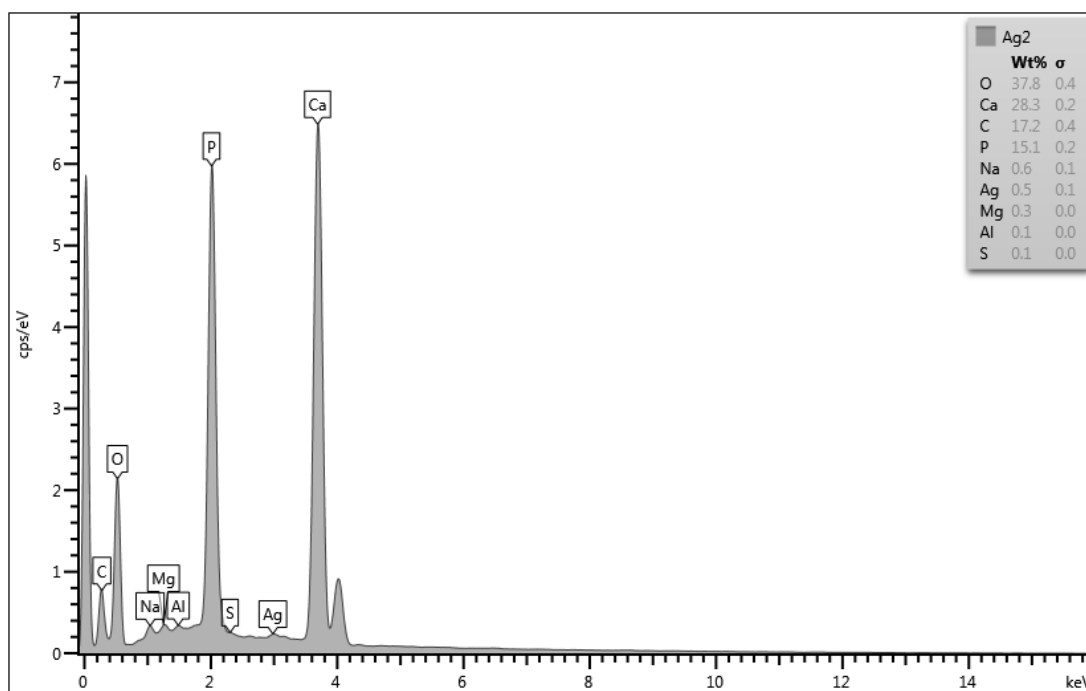
ภาพที่ 8ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



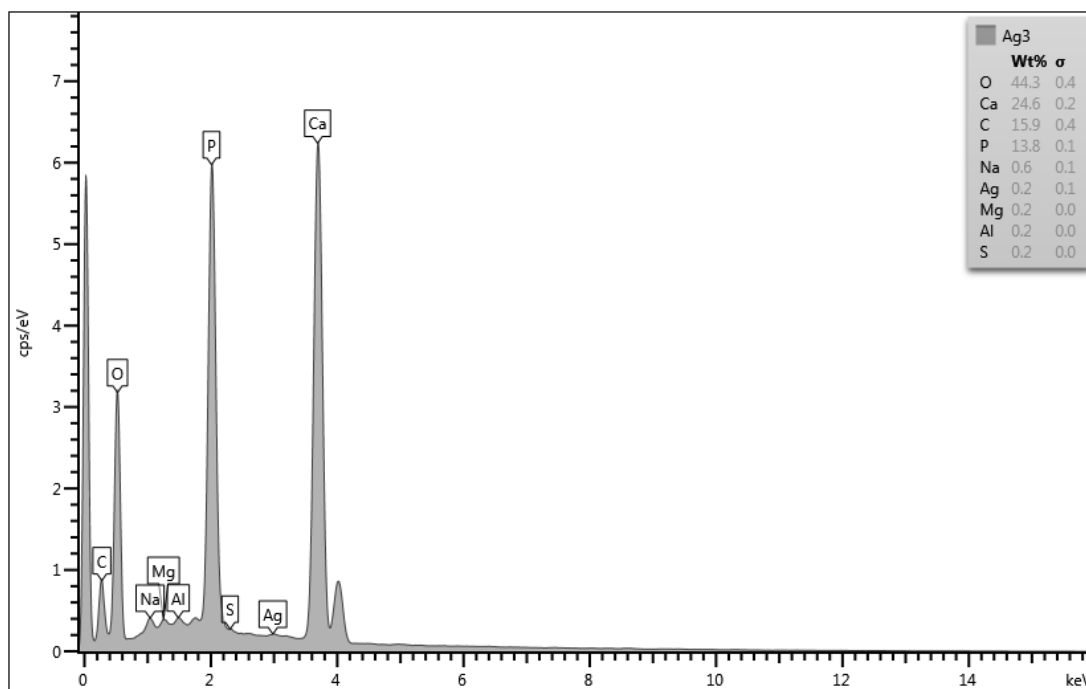
ภาพที่ 8ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 500 ไมโครเมตร



ภาพที่ 9ก แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 1 ของชั้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร



ภาพที่ 9ข แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 2 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร



ภาพที่ 9ค แสดงการวิเคราะห์หาธาตุซิลเวอร์จุดที่ 3 ของชิ้นเนื้อฟันที่ทา SDF 60 วินาที ที่ความลึก 1,000 ไมโครเมตร

ภาคผนวก

หนังสือรับรองการพิจารณาโครงการวิจัยเข้าข่ายยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์

ที่ ม.อ.109.17/64-135



คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15 ถนนกาญจนวนิชย์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

หนังสือแจ้งผล การพิจารณาโครงการวิจัย

วันที่ 28 เมษายน 2564

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาโครงการวิจัย

เรียน รองศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์

ตามที่ท่านเสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

รหัสโครงการ EC6405-026

เรื่อง (ภาษาไทย) ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาซิลเวอร์ไดอามีนฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ : การศึกษานอกร่างกาย

(ภาษาอังกฤษ) The effect of different application times of silver diamine fluoride on shearbond strength of demineralized dentine to glass ionomer cements : An *in vitro* study

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.สุพัชรินทร์ พิวัฒน์

สังกัด สาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย ทันตแพทย์หญิงมณฑนาภรณ์ กรอุไร

สังกัด สาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ได้ทบทวนโครงการวิจัย ผลการพิจารณา คือ
โครงการวิจัยเข้าข่ายยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (Exempt Determination)
จึงออกใบรับทราบ เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2564

ทั้งนี้ ได้บรรจุในวาระการประชุมคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ครั้งที่ 5/2564 วาระที่ 3.1.5 เพื่อให้รับทราบแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทพ.ไชยรัตน์ เฉลิมรัตน์โรจน์)
ประธานกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หมายเหตุ

- ผู้วิจัยไม่ต้องรายงานความก้าวหน้าการวิจัย ทั้งนี้ เมื่อดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้น ท่านต้องดำเนินการส่งรายงานสรุปผลการวิจัยแก่คณะกรรมการจริยธรรม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวมัณฑนาภรณ์ กรอุไร
รหัสประจำตัวนักศึกษา 6310820011

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	2561

ทุนการศึกษา

1. ทุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์/โครงการวิจัยสำหรับนักศึกษาหลังปริญญาจากเงินกองทุนวิจัย
2. ทุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์/โครงการวิจัย/โครงการงานพิเศษสำหรับนักศึกษาหลังปริญญาจากเงินรายได้คณะทันตแพทยศาสตร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ทันตแพทย์ปฏิบัติการ กลุ่มงานทันตกรรม สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

มัณฑนาภรณ์ กรอุไร, สุพัชรินทร์ พิวัฒน์. ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทาSDFต่อความแข็งแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อฟันที่มีการสลายแร่ธาตุกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์: การศึกษานอกร่างกาย. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 4 (The 4th National Conference in Science, Technology and Innovation); วันที่ 8 เมษายน 2565; Virtual Online Conference ผ่านระบบ Zoom, ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย เลย, ประเทศไทย; 2565.