



ผลของสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด ต่อความแข็งผิวจุลภาคและการรั่วซึมระดับจุลภาค
ของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

THE EFFECT OF THREE SURFACE COATING AGENTS ON MICROHARDNESS AND
MICROLEAKAGE OF GLASS IONOMER CEMENTS

มนต์ชนก จงบุญเจือ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ผลของสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด ต่อความแข็งแรงผิวจุลภาคและการรั่วซึมระดับจุลภาค
ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์



มนต์ชนก จงบุญเจือ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE EFFECT OF THREE SURFACE COATING AGENTS ON MICROHARDNESS AND
MICROLEAKAGE OF GLASS IONOMER CEMENTS



MONCHANOK JONGBOONJUA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด ต่อความแข็งแรงผิวจุลภาคและการรั่วซึมระดับจุลภาค

ของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ของ

มนต์ชนก จงบุญเชื้อ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุดมิ)

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณกร ศรีอาจ)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ไพศาลกอบฤทธิ์)

ชื่อเรื่อง	ผลของสารเคลือบฟันผิว 3 ชนิด ต่อความแข็งแรงผิวจุลภาคและการรั่วซึมระดับจุลภาค
ผู้วิจัย	มนต์ชนก จงบุญเจือ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ เจียรพุฒิ

การศึกษานี้วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงผิวและการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อนำสารชนิดต่างๆมาใช้เคลือบฟันผิวหลังการบูรณะ โดยการทดลองตอนที่ 1 มีการเตรียมชิ้นวัสดุในบ้ำหล่อ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง 40 ซีน (High- viscosity glass ionomer cement: Fuji IX GP EXTRA) และเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอเมอร์ 40 ซีน (Resin modified glass ionomer cement: Fuji II LC) ภายหลังการเตรียมชิ้นงาน แบ่งกลุ่มชิ้นงานแต่ละวัสดุตามการทำสารเคลือบฟันผิว 4 กลุ่ม (n=10) ได้แก่ 1) ไม่ทำสารเคลือบฟันผิว 2) Single bond Universal 3) Teethmate F-1 sealant และ 4) G-coat plus นำชิ้นงานทั้งหมดผ่านการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสภาวะความเป็นกรดต่างในช่องปาก หลังจากนั้น นำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงผิว ผลข้อมูลนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ One-way ANOVA และ Bonferroni test และการทดลองตอนที่ 2 นำฟันกรามน้อยบน 20 ซี่มาเตรียมโพรงฟันบริเวณคอฟัน 40 โพรงฟัน บูรณะด้วยวัสดุทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 20 โพรงฟัน และทำสารเคลือบฟันผิว 4 ชนิด (n=5) หลังจากนั้นนำฟันกรามน้อยที่บูรณะแล้วมาแช่สารซิลเวอร์ไนเตรต และประเมินการรั่วซึม ด้วยเครื่องเอกซเรย์ Micro-CT Scan ผลข้อมูลนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kruskal-wallis test จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การทำสารเคลือบฟันผิวหลังบูรณะด้วย Fuji IX GP EXTRA ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงผิวสูงขึ้นและการรั่วซึมน้อยกว่าวัสดุที่ไม่ทำสารเคลือบฟันผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับวัสดุ Fuji II LC ที่ได้รับการเคลือบฟันผิวด้วย Teethmate F-1 sealant และ G-coat plus ให้ค่าความแข็งแรงผิวสูงกว่ากลุ่มที่ทำด้วย Single bond Universal และไม่ทำสารเคลือบฟันผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการทดสอบการรั่วซึมของวัสดุ Fuji II LC พบว่า กลุ่มที่ทำสารเคลือบฟันผิวชนิดต่างๆ และกลุ่มที่ไม่ทำสารเคลือบฟันผิว พบการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : สารเคลือบฟันผิว, ความแข็งแรงผิววัสดุ, การรั่วซึมของวัสดุ

Title	THE EFFECT OF THREE SURFACE COATING AGENTS ON MICROHARDNESS AND MICROLEAKAGE OF GLASS IONOMER CEMENTS
Author	MONCHANOK JONGBOONJUA
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sirichan Chiaraputt

The objective of this study was to compare the effects of different surface coating agents on microhardness and microleakage of high-viscosity and resin-modified glass ionomer cements. The materials and methods included the following: Part 1: Fuji IX GP EXTRA (n=40) and Fuji II LC (n=40). Surface coating agents were used to allocate the blocks into four groups (n=10): (1) non-coated; (2) coated with Single Bond Universal; (3) coated with Teethmate F-1 sealant; and (4) coated with G-coat plus. Then, they were subjected to a simulated oral environment. The surface microhardness was measured and the data were analyzed with One-way ANOVA and Bonferroni test. Part 2: 20 upper premolar teeth were prepared for 40 class V cavities. Two types of glass ionomer cements (n=20) were used to restore the cavities and divided into four groups (n=5). The microleakage was measured with Micro-CT scan and the data were analyzed with Kruskal-Wallis test. In conclusion, the application of surface coating agents on Fuji IX GP EXTRA blocks statistically increased microhardness and reduced microleakage compared to non-coated group ($P<0.05$). When Teethmate F-1 sealant and G-coat plus were applied on Fuji II LC blocks, the microhardness was statistically higher than the Single Bond Universal and non-coated group. The microleakage tests revealed no differences in leakage between three types of surface coating agents and non-coated groups.

Keyword : Surface coating agent, Microhardness, Microleakage

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นจนสำเร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาอิงจาก ผศ.ดร.ทพญ. ศิริจันทร์ เจียรพุมิ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ทพญ. ขวัญชนก อยู่เจริญ ภาควิชา ทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ถ่ายทอดองค์ความรู้และการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์นี้เกิดความสำเร็จมากที่สุด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทพญ. วรณกร ศรีอาจ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร. วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และคณาจารย์ภาควิชา ทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ข้อเสนอแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ และช่วยตรวจแก้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่เริ่มต้นการจัดทำเค้าโครงปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยบริการสถานที่และเครื่องมือวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย รวมถึงการอำนวยความสะดวกจากเจ้าหน้าที่ทุกท่านจนสามารถดำเนินการวิจัยได้อย่างราบรื่นตามที่วางแผนไว้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกล่าวขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

มนต์ชนก จงบุญเชื้อ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
กรอบแนวคิดในงานวิจัย	4
สมมุติฐานในการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1. วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	7
2. สารเคลือบพื้นผิววัสดุกระจกไอโอโนเมอร์.....	15
3. การใช้งานในทางคลินิกของกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	17
4. การจำลองการใช้งานในช่องปาก	18
5. การรั่วซึมและการทดสอบการรั่วซึมของวัสดุ.....	19
6. การถ่ายภาพเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร	22

7. ความแข็งแรงและการทดสอบความแข็งแรงผิวจุลภาค	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง	24
ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	26
1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน	26
1.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรงผิว	26
1.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบการรั่วซึม	27
2. ขั้นตอนการจำลองสภาวะในช่องปาก	29
2.1 การจำลองการเปลี่ยนแปลงของกรดเบส (pH-Cycling)	29
2.2 การจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น (Thermocycling)	29
3. ขั้นตอนการทดสอบ	29
3.1. การทดสอบความแข็งแรงผิวของวัสดุ	29
3.2. การประเมินการรั่วซึมของวัสดุ	29
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	31
ผลการทดสอบความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคของวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	31
1.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคของวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement)	31
1.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin-modified glass ionomer cement)	33
ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	35
2.1 ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement)	35

2.2 ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์	
ซีเมนต์(Resin-modified glass ionomer cement)	37
ภาพการวิเคราะห์การรั่วซึมด้วยการแพร่ผ่านของสารสีลเวอรในเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์	
คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร(Micro-Computed Tomography)	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	45
สรุปผลการวิจัย	45
อภิปรายผลการวิจัย.....	46
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	67

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา	25
ตาราง 2 แสดงสารเคลือบพื้นผิวที่ใช้ในการศึกษา	25
ตาราง 3 แสดงการแบ่งกลุ่มตามชนิดของสารเคลือบพื้นผิว	28
ตาราง 4 แสดงผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการรั่วซึมของวัสดุ ฟูลิจี นาย จีพี เอ็กซ์ตร้าและฟูลิจี ทุ แอลซี เมื่อทำสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด	38
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวน ทาง เดียว (One-way ANOVA) ในกลุ่มวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง	59
ตาราง 6 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ บอนเฟอ โรนั(Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิว ในกลุ่มวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง	60
ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวน ทาง เดียว (One-way ANOVA) ในกลุ่มวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	61
ตาราง 8 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ บอนเฟอ โรนั(Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิว ในกลุ่มวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	62
ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ใน กลุ่มวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง	63
ตาราง 10 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบ แบบ จับคู่(Pairwise Comparison) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิว ในกลุ่มวัสดุกระจกไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง	64
ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติKruskal-Wallis ใน กลุ่มวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	65

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กลไกการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	9
ภาพประกอบ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุสีเหมือนฟัน.....	11
ภาพประกอบ 3 แสดงการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิด	13
ภาพประกอบ 4 แสดงบรรจุภัณฑ์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	15
ภาพประกอบ 5 แสดงการไหลแผ่ของสารเคลือบพื้นผิวชนิดเรซินเข้าสู่รูพรุน และรอยแตกภายในวัสดุ	16
ภาพประกอบ 6 แสดงการใช้งานในทางคลินิกของวัสดุบูรณะแต่ละชนิด	18
ภาพประกอบ 7 แสดงระดับการรั่วซึมของวัสดุ โดยดูจากการแพร่ของสีย้อม	20
ภาพประกอบ 8 แสดงภาพการสะสมของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้ เครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร	21
ภาพประกอบ 9 แสดงรูปร่างของหัวกดที่ใช้ทดสอบความแข็งผิวของวัสดุ	23
ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะการเตรียมโพรงฟันบริเวณคอพั่นด้านแก้มและด้านลิ้น.....	27
ภาพประกอบ 11 แสดงภาพถ่ายระดับการรั่วซึมของวัสดุ โดยดูจากการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร	30
ภาพประกอบ 12 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวของวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยความแข็งผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)	32
ภาพประกอบ 13 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$).....	34
ภาพประกอบ 14 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยการรั่วซึมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$).....	36

- ภาพประกอบ 15 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุ
เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยการ
รั่วซึมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) 37
- ภาพประกอบ 16 แสดงภาพตัดชิ้นงาน 3 มิติภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร
..... 39
- ภาพประกอบ 17 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับ
ไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวหลัง
การบูรณะ บริเวณที่ถูกระบุคือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ในเตรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวาง
ตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา
(Sagittal plane)..... 40
- ภาพประกอบ 18 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับ
ไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิว หลังการ
บูรณะด้วยสารยึดยึด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล บริเวณที่ถูกระบุคือบริเวณที่มีการสะสมของซิล
เวอร์ในเตรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงาน
ตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)..... 41
- ภาพประกอบ 19 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับ
ไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการ
บูรณะด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ฟิชเชอร์ ซิลแลนท์ บริเวณที่ถูกระบุคือ
บริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ในเตรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง
(Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane) 42
- ภาพประกอบ 20 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับ
ไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการ
บูรณะด้วยสาร จี โค้ท พลัส (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane)
(B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)..... 43
- ภาพประกอบ 21 แสดงการเปรียบเทียบการแพร่ผ่านของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอกซเรย์
คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสาร
เคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะด้วยสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ (A) กลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว
(B) ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดยึด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล (C) ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วย

สารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนดฟีชเชอร์ ซีลแลนท์ (D) ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วย สาร จี ไคท์ พลัส	44
ภาพประกอบ 22 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลความแข็งผิวของวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test	59
ภาพประกอบ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลความแข็งผิวของวัสดุ เร ซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test.....	61
ภาพประกอบ 24 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลการรั่วซึมของวัสดุ กลาส ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test	63
ภาพประกอบ 25 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลการรั่วซึมของวัสดุ เรซิ นมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test.....	65



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) เป็นวัสดุที่มีสีเหมือนฟันธรรมชาติที่ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อปีค.ศ. 1970^(1, 2) ซึ่งได้รับความนิยมมาเป็นเวลานาน จากคุณสมบัติหลายประการ วัสดุสามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารยึดติดร่วมด้วย สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ จึงมีการนำมาใช้งานเป็นวัสดุบูรณะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง ใช้เป็นวัสดุรองฟัน และใช้ในงานทันตกรรมสำหรับเด็ก เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้งานง่าย ขั้นตอนการใช้งานไม่ซับซ้อน เมื่อเทียบกับวัสดุ สีเหมือนฟันเรซิน คอมโพสิต^(2, 3)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional glass ionomer cement) มีข้อจำกัดคือ มีความไวต่อการได้รับน้ำและการสูญเสียน้ำ ในช่วงเริ่มต้นที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับการก่อตัวของ เมทริกซ์โพลีซอลต์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble polysalt matrix) โดยเมทริกซ์จะเปลี่ยนรูปเป็น แคลเซียมโพลีอะคริเลตที่ละลายน้ำ (Soluble calcium polyacrylate) และมีความเสถียรมากขึ้น เกิดเป็น อะลูมิเนียมโพลีอะคริเลต (Aluminum polyacrylate) ซึ่งต้องใช้เวลาในการก่อตัว 24 ชั่วโมงหลังจากผสมวัสดุ⁽⁴⁾ ดังนั้น หากวัสดุได้รับน้ำหลังการบูรณะ โดยยังก่อตัวไม่สมบูรณ์ จะส่งผลต่อสมดุลของน้ำ (Water balance) และรบกวนการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัว ทำให้วัสดุเกิดการสึกกร่อนและมีการดูดซึมน้ำ ส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุแย่งลง ทั้งในด้านความโปร่งแสง ความแข็งแรงและประสิทธิภาพทางคลินิก

ในช่วงแรกของการก่อตัว วัสดุจะมีลักษณะทึบแสงสูง ทำให้สีของวัสดุแตกต่างจากสีฟันธรรมชาติ การเลือกสีของวัสดุให้เข้ากับสีของฟันธรรมชาติ จึงเป็นไปได้ยากและเมื่อเวลาผ่านไป 1 วันจนถึง 1 สัปดาห์ วัสดุจะค่อยๆมีลักษณะทึบแสงน้อยลง หรือมีความโปร่งแสงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติความโปร่งแสงของวัสดุ ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของความแข็งแรงและการใช้งาน⁽⁵⁾

เมื่อวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผ่านการก่อตัวจนสมบูรณ์แล้วจะมีคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ความแข็งแรงกดอัด (compressive strength) เพิ่มขึ้น ความเหนียวของวัสดุลดลง มีความเปราะมากขึ้น ความทึบแสงลดลง มีความโปร่งแสงมากขึ้น วัสดุมีการสูญเสียน้ำลดลง การแลกเปลี่ยนไอออนกับผิวฟันมากขึ้น ทำให้สามารถยึดกับผิวฟันได้เมื่อเวลาผ่านไป

หากวัสดุมีการสูญเสีย น้ำ จะทำให้มีรอยแตกขนาดเล็กในผิวของวัสดุ และค่อยๆมีลักษณะขาวขุ่น คล้ายชอล์ก (Chalky appearance)^(4, 5) จึงมีคำแนะนำให้ทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ (Surface coating agents) เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในช่วง 24 ชั่วโมงแรกที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่เต็มที่⁽⁶⁾

หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาโกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ขึ้น เพื่อลดปัญหาความไวต่อน้ำ และความแข็งแรงของวัสดุในช่วงแรกของการก่อตัว แต่ยังคงคุณสมบัติด้านการยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไว้ได้ เกิดเป็นวัสดุชนิดใหม่คือ เรซินมอดิไฟด์ โกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ วัสดุชนิดนี้ จะมีการก่อตัวจากสองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยากรดเบส และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถก่อตัวได้เร็วขึ้น สามารถขัดแต่งได้ทันทีหลังจากการบูรณะ⁽⁶⁾ จึงมีการปรับลดขั้นตอนในการใช้งาน คือ ไม่มีการใช้สารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ แต่มีบางการศึกษา⁽⁷⁾ แนะนำให้มีการทาสารเคลือบพื้นผิวบนวัสดุกลุ่มเรซินมอดิไฟด์ โกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงผิวที่มากกว่ากลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญ และในบางการศึกษา⁽⁸⁾ พบว่า การทาสารเคลือบพื้นผิวบนวัสดุกลุ่มนี้ จะส่งผลทำให้วัสดุมีความเครียดในเนื้อวัสดุเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวัสดุมีการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization shrinkage) เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุกับโพรงฟันมากขึ้น วัสดุไม่แนบสนิทกับโพรงฟัน การที่วัสดุได้สัมผัสกับน้ำ จะทำให้วัสดุเกิดการขยายตัว (Hygroscopic expansion) ช่วยลดช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุกับโพรงฟัน และช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุโกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟัน ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการรั่วซึม เมื่อทำการทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะชนิดต่างๆ

มีหลายการศึกษาก่อนหน้านี้⁽⁸⁻¹¹⁾ เปรียบเทียบผลของการทาสารเคลือบพื้นผิว ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงทางกลของวัสดุ และการรั่วซึมของวัสดุ และคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆกัน สารที่นำมาใช้ ได้แก่ สารยึดติด (Dental adhesives) น้ำมันขี้ผึ้ง (Petroleum jelly) สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์ (Nano-filled coating) แต่ทั้งนี้ในชีวิตประจำวัน ยังคงมีสารอื่นๆที่สามารถหาใช้งานได้ง่าย และมีอยู่แล้วในคลินิกทันตกรรม เช่น สารเคลือบหลุมร่องฟัน (Resin sealant) ซึ่งอาจนำมาใช้ในการทาสารเคลือบพื้นผิวโกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังการบูรณะได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่นำสารเคลือบหลุมร่องฟันมาใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิว

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบผลของการนำสารชนิดต่างๆมาใช้ในการเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ ได้แก่ สารยึดติด สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์ และสารเคลือบหลุม

ร้องฟัน ว่าสารใดส่งผลทำให้ วัสดุมีความแนบสนิทที่ดี เกิดการรั่วซึมน้อยที่สุด และทำให้วัสดุมีความแข็งแรงมากที่สุด

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุ และการรั่วซึมของวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทำสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ บริเวณคอฟันในฟันธรรมชาติของมนุษย์ โดยทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาค (Microhardness tester) และส่องดูช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกใส ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟันและประเมินการรั่วซึมของวัสดุจากการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรต ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro Computed Tomography or Micro CT Scan) หลังผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น

ความสำคัญของการวิจัย

กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุบูรณะที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง เนื่องจากมีข้อดีคือ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ นอกจากนี้ยังเหมาะสมกับการใช้งานในผู้ป่วยเด็กและในผู้ป่วยสูงอายุอีกด้วย โดยเฉพาะรอยผุบริเวณคอฟัน แต่เนื่องจากวัสดุอาจมีข้อจำกัดด้านความไวต่อน้ำในช่วงแรกของการก่อตัว ความแข็งแรง และการรั่วซึมของวัสดุ หากสามารถแก้ไข ปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุได้ ทำให้สามารถก่อตัวได้สมบูรณ์เต็มที่ มีความแข็งแรง และมีความแนบสนิทมากขึ้น เกิดการรั่วซึมลดลง จะช่วยลดปัญหาในการเกิดฟันผุซ้ำ หรือติดตามขอบของวัสดุได้ จะทำให้ผู้ป่วยสามารถลดเวลาในการรักษาและลดค่าใช้จ่าย ที่เกิดจากการรั่ววัสดุเพื่อทำการบูรณะซ้ำ อีกทั้งยังเป็นข้อมูลให้แก่ทันตแพทย์ผู้ทำการรักษา ว่าสารเคลือบพื้นผิวชนิดใด เหมาะสมในการใช้เคลือบพื้นผิวของกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังการบูรณะอีกด้วย

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research) โดยใช้วัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 2 ชนิดได้แก่ กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง และเรซินมอดิฟายด์ กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผังในบ้ำหล่อ 80 ขึ้น นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการและใช้ฟันแท่งรามาโน้อยบนซี่ที่หนึ่งของมนุษย์สภาพสมบูรณ์ที่ไม่มีรอยผุ รอยสึก

และไม่มีการบูรณะใดๆ มาทำการบูรณะบริเวณคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หลังจากการบูรณะ จึงทำการทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ

หลังจากนั้น นำกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไปผ่านการจำลองการใช้งานในช่องปาก และนำมาเปรียบเทียบความแข็งแรงผิวของวัสดุ(ในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ฝังในบ้ำหล่อ) และการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (ในกลุ่มคอฟันในฟันธรรมชาติ) เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ชนิดของสารเคลือบพื้นผิว
2. ตัวแปรตาม ได้แก่
 - 2.1 ความแข็งแรงผิวของวัสดุ
 - 2.2 ระดับการรั่วซึมของวัสดุ

กรอบแนวคิดในงานวิจัย

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด
ความหนืดสูง

ตัวแปรต้น

ชนิดของสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด :

- สารยึดติด :
Single bond Universal
- สารเคลือบหลุมร่องฟัน:
Teethmate F-1
pit & fissure sealant
- สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์:
G-Coat plus



ตัวแปรตาม

- ความแข็งแรงผิวของวัสดุ
- ระดับการรั่วซึมของวัสดุ

วัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์

ตัวแปรต้น

ชนิดของสารเคลือบฟันผิว 3 ชนิด :

- สารยึดติด :
Single bond Universal
- สารเคลือบหลุมร่องฟัน:
Teethmate F-1
pit & fissure sealant
- สารเคลือบฟันผิวชนิดนาโนฟิลด์:
G-Coat plus



ตัวแปรตาม

- ความแข็งแรงของวัสดุ
- ระดับการรั่วซึมของวัสดุ

สมมุติฐานในการวิจัย

สมมุติฐานที่ 1

H_0 : การใช้สารเคลือบฟันผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง หลังการบ่ม จะไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : การใช้สารเคลือบฟันผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง หลังการบ่ม จะส่งผล ต่อความแข็งแรงของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมมุติฐานที่ 2

H_0 : การใช้สารเคลือบฟันผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง หลังการบ่ม จะไม่ส่งผลต่อระดับการรั่วซึมของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : การใช้สารเคลือบฟันผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง หลังการบ่ม จะส่งผลต่อระดับการรั่วซึมของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมมุติฐานที่ 3

H_0 : การใช้สารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ หลังการบ่ม ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : การใช้สารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ หลังการบ่ม ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมมุติฐานที่ 4

H_0 : การใช้สารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ หลังการบ่ม ไม่ส่งผลต่อระดับการร่วซึมของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : การใช้สารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกัน บนวัสดุเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ หลังการบ่ม ส่งผลต่อระดับการร่วซึมของวัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
2. สารเคลือบพื้นผิววัสดุกระจกไอโอโนเมอร์
3. การใช้งานในทางคลินิกของกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
4. การจำลองการใช้งานในช่องปาก
5. การรั่วซึมและการทดสอบการรั่วซึมของวัสดุ
6. การถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร
7. ความแข็งแรงและการทดสอบความแข็งแรงจุลภาค

1. วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer Cements) หรือที่ย่อว่า GICs เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น self-adhesive restorative materials ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วนคือ ส่วนฟิลเลอร์ เป็นกลุ่มแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต (fluoroaluminosilicate glass) และส่วนเมทริกซ์เป็น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) มีการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวแบบกรด-เบส (acid-base reaction) สามารถใช้เป็นวัสดุบูรณะได้ และมีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์⁽²⁾ วัสดุชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ⁽²⁾ คือ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional Glass Ionomer cements) และเรซินมอดิฟายด์ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin modified glass ionomer cements)

1.1 ชนิดของกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

1.1.1 กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional Glass Ionomer cements)

กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ถูกค้นพบในปี 1970^(1, 2) โดยวัสดุได้มีการแบ่งส่วนผสมออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนน้ำและส่วนผง และนำมาผสมกัน เมื่อต้องการใช้งาน ได้มีการคิดพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ส่วนประกอบหลักที่สำคัญ^(2, 12) ได้แก่ กรดพอลิคาร์บอกซิลิก (Polycarboxylic

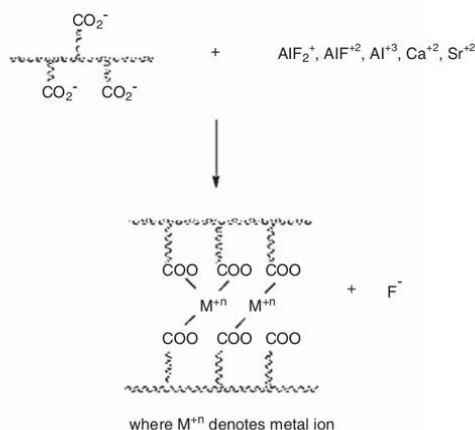
acid), แก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกต (fluoroaluminosilicate glass), กรดทาร์ตาริก (Tartaric acid) และน้ำ

ส่วนประกอบหลักของแมทริกซ์⁽⁹⁾ ในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ คือ สารโคโพลิเมอร์กลุ่มพอลิอะคริลิกแอซิดและ itaconic acid หรือ กรดมาลิก (maleic acid) ซึ่งมักจะอยู่ในรูปแบบของของเหลว หรือส่วนน้ำของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และมีกรดทาร์ตาริกทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานและระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุ

ส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย แก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกต และมีไอออนต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม, สตรอนเทียม และแลนทานัม เมื่อไอออนของโลหะหนักเหล่านี้อยู่ในวัสดุ จะทำให้มีคุณสมบัติที่รังสี สามารถมองเห็นได้ในภาพเอกซเรย์

เมื่อส่วนผงและส่วนน้ำถูกผสมเข้าด้วยกันจะเกิดปฏิกิริยากรด-เบส⁽¹³⁾ ดังภาพประกอบ 1 เกิดขึ้นระหว่างแก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกต และพอลิอะคริลิกแอซิด เริ่มมีการก่อตัว ช่วง 3-4 นาทีหลังจากที่เริ่มทำการผสม แต่การเกิดปฏิกิริยาไอออนิกจะยังคงดำเนินต่อไปอย่างน้อย 24 ชั่วโมง⁽⁵⁾ หรือนานกว่านั้นจนเกิดการก่อตัวอย่างสมบูรณ์ จากคุณสมบัตินี้ ทำให้การขัดแต่งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ควรทำหลังจากการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) คือ หมู่ฟังก์ชันหลัก ที่แสดงอยู่ในรูปของ COOH และเมื่ออยู่ในน้ำ จะเกิดการแตกตัวออกเป็นขั้วลบ (COO^-) และเกิดโปรตอน (H^+) เมื่อโปรตอนจับกับผิวของผลึกแก้ว จะเกิดการปลดปล่อยของแคลเซียมไอออนและอลูมิเนียมไอออน⁽²⁾



ภาพประกอบ 1 กลไกการก่อตัวของกลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

ที่มา : Ronald S. JF, John P. Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.

ไอออนคาร์บอกซิเลต(carboxylate ions) รวมตัวกับไอออนของโลหะ จากปฏิกิริยาข้างต้น เกิดเป็น "salt bridge" เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาการก่อตัวด้วยความเย็น(gelation) และเกิดการก่อตัวในที่สุด ระหว่างเริ่มทำการก่อตัว แคลเซียมไอออน จะสามารถจับกับห่วงพอลิอะคริเลต(polyacrylate chains) ได้รวดเร็วกว่าอลูมิเนียมไอออน ซึ่งอลูมิเนียมไอออนจะเข้าจับได้ในช่วงท้ายของการก่อตัว ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุต้องใช้เวลาในการก่อตัว⁽²⁾

กรดซิลิเกต(Silicic acid) จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์อย่างรวดเร็ว เกิดเป็น silica hydrogel ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออน ออกจากกลาสแมทริกซ์ กระบวนการปลดปล่อยฟลูออไรด์นี้จะคงอยู่เป็นระยะเวลานาน ซึ่งเป็นผลจากการก่อตัวและการแลกเปลี่ยนไอออนในวัสดุ เมื่อฟลูออไรด์ถูกปลดปล่อยออกจากกลาสแมทริกซ์ จะถูกแทนที่ด้วยคาร์บอกซิเลต และน้ำ⁽²⁾

น้ำจึงมีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของวัสดุ⁽³⁾ น้ำจะมีส่วนช่วยในการขนส่งไอออนในการเกิดปฏิกิริยากรด-เบส และกระบวนการปลดปล่อยฟลูออไรด์ นอกจากนี้ น้ำยังเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาเคมีในการก่อตัว และทำให้เกิดเสถียรภาพของวัสดุอีกด้วย

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคุณภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างผงกับของเหลว⁽¹⁴⁾ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น⁽¹⁵⁾ เช่น มีความหนืดสูงขึ้น ระยะเวลาการแข็งตัวรวดเร็วขึ้น^(14, 16) การไวต่อความชื้นในช่วงเพียง 4-7 นาทีแรกหลังผสม โดยวัสดุกลุ่มนี้มีปฏิกิริยาการแข็งตัวเป็นแบบกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม คือเกิดจากปฏิกิริยากรด-เบส (acid-base reaction) เพียงอย่างเดียว โดยมีการเรียกวัดชนิดนี้ว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement) ตัวอย่างวัสดุในกลุ่มนี้ ได้แก่ Fuji IX GP EXTRA, Ketac Molar, Ketac Fil Plus Aplicap เป็นต้น

1.1.2 เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin modified glass ionomer cements)

เนื่องจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีการระยะเวลาทำงานที่นาน จึงมีการพัฒนาให้มีการก่อตัวที่เร็วขึ้น ถูกคิดค้นและพัฒนาเป็น เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในปลายปี 1980^(1, 3) ส่วนประกอบหลักๆยังคงเหมือนกับกลาสไอโอโนเมอร์แบบดั้งเดิม คือมีส่วนของเหลวเป็นกรดพอลิคาร์บอกซิลิก ที่มาเกิดปฏิกิริยากรด-เบส กับ แก้วฟลูออโรลูมิโนซิลิเกต แต่มีการเพิ่มสารกลุ่มเมทาไครเลต (methacrylate) และสารตั้งต้นปฏิกิริยาการบ่มด้วยแสง (photoinitiated and/or redox curing reaction) ส่วนประกอบต่างๆ ขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต ซึ่งส่วนประกอบหลักๆของ เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ได้แก่ กรดพอลิคาร์บอกซิลิก พอลิเมอร์, แก้วฟลูออโรลูมิโนซิลิเกต, เมทาไครเลตโมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic methacrylate monomer), สารตั้งต้นปฏิกิริยา (Free radical initiators) และน้ำ^(2, 17)

เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย กลุ่มเมทาไครเลต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเรซินคอมโพสิต ซึ่งเมทาไครเลต มีสองชนิด⁽²⁾ คือ

ชนิดแรก คือ polycarboxylic acid polymer chain ที่มีการดัดแปลงโดยใส่สารประกอบกลุ่มเมทาไครเลตเข้าไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอกซิลิกที่อยู่ในกรดพอลิคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) กับสาร isocyanatoethyl methacrylate ซึ่งทำให้หมู่เมทาไครเลตเชื่อมกับสารกลุ่มเอไมด์ (amide) ได้เสถียรมากขึ้น ซึ่งวัสดุกลุ่มแรก มีชื่อการค้าตามชนิดของสารเคมีที่ใช้

ในกลุ่มอื่นๆ ที่ไม่ได้มีการดัดแปลงของสารกลุ่มกรดพอลิคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) ส่วนของเหลวของเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะมีการผสม

เมธาไครเลทโมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ(Hydrophilic methacrylate monomer) และน้ำเข้าไป ซึ่งจะทำให้วัสดุกลุ่มนี้ มีการใส่น้ำลงไปในส่วนประกอบน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ และมี โมโนเมอร์เป็นส่วนประกอบมากกว่าชนิดแรก ส่งผลให้วัสดุกลุ่มนี้ มีการขยายตัวจากความร้อนสูง นอกจากนี้มีการใส่สารตั้งต้นปฏิกิริยา(Free radical initiators) เข้าไปช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาของกลุ่มเมธาไครเลท และสารเร่งปฏิกิริยาการบ่มด้วยแสง

ชนิดที่สอง คือเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการบ่มตัวด้วยแสง คือ มีการก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด-เบส และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน(polymerization) ของกลุ่มเมธาไครเลท เมื่อมีการให้แสงอินฟราเรด จะทำให้เกิดไอออนคาร์บอกซิเลต(carboxylate ion) และ chain polymerization. ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยานี้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัสดุ ถ้าวัสดุมีการใส่น้ำน้อย และมีสารประกอบเมธาไครเลท ในปริมาณมาก ส่งผลต่อการเกิดการแตกตัวของไอออน(ionization) ของกรดพอลิคาร์บอกซิลิก ทำให้เกิดปฏิกิริยากรด-เบสน้อยลง

1.2 คุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้งสองระบบ คือ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional type) และเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin-modified type) มีคุณสมบัติที่คล้ายกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกรดพอลิคาร์บอกซิลิกและแก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกต การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ เป็นดังภาพประกอบ 2

TABLE 9.3 Properties of Various Types of Resin Composites, Compomers, Conventional Glass Ionomers, and Resin-Modified Glass Ionomers

Property	Nanocomposite ^a	Multipurpose Composite	Microfill Composite	Packable Composite	Flowable Composite	Laboratory Composite	Core Composite	Conventional Glass Ionomer	Resin-Modified Glass Ionomer
Flexural strength (MPa)	180	80–160	60–120	85–110	70–120	90–150 ^b	—	7–15	50–60
Flexural modulus (GPa)	—	8.8–13	4.0–6.9	9.0–12	2.6–5.6	4.7–15 ^b	—	—	—
Flexural fatigue limit (MPa)	—	60–110	—	—	—	—	—	—	—
Compressive strength (MPa)	460	240–290	240–300	220–300	210–300	210–280	210–250	10–15	200–250
Compressive modulus (GPa)	—	5.5–8.3	2.6–4.8	5.8–9.0	2.6–5.9	—	7.5–22	7.2–10.3	3.2–6.9
Diametral tensile strength (MPa)	81	30–55	25–40	—	33–48	—	40–50	7–15	30–40
Linear polymerization shrinkage (%)	—	0.7–1.4	2–3	0.6–0.9	—	—	—	—	—
Color stability, accelerated aging: 450 kJ/m ² (ΔE*) ^c	—	1.5	—	—	15	1.1–2.3	—	—	—
Color stability, stained by juice/tea (ΔE*) ^c	—	4.3	—	—	—	1.7–3.9	—	—	—

^aFrom Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. J Am Dent Assoc. 2003;134(10):1382–1390.

^bWithout fiber reinforcement.

^cΔE < 3.3 is considered not clinically perceptible.

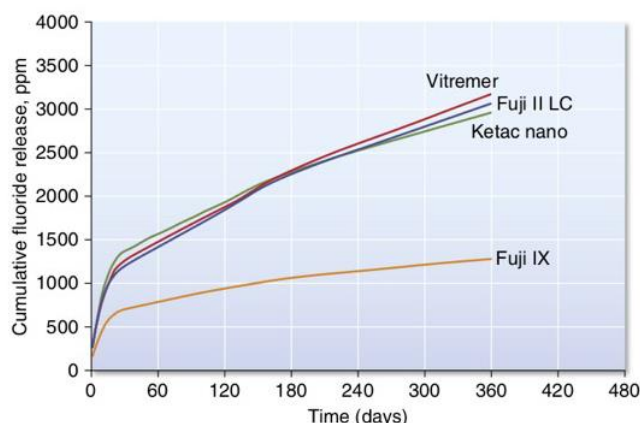
ภาพประกอบ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุสีเหมือนฟัน

ที่มา : Ronald S. JF, John P. Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.

คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นดีกว่าเรซินคอมโพสิต ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านการต้านทานการสึกกร่อน และความมีเสถียรภาพเชิงมิติดังตารางข้างต้น⁽²⁾ จึงมีการคิดค้นพัฒนาโดยใส่กลุ่มเมธาไคเลทเข้าไปในแมทริกซ์ เป็นกลุ่มเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งมีค่าความยืดหยุ่นโมดูลัสที่ต่ำ มีการบ่มตัวได้ด้วยแสง และทำให้มีการเกิดปฏิกิริยากรด-เบส ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้มีการนำเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มาใช้เป็นวัสดุรองพื้นในการอุดแบบ sandwich restorations ภายใต้วเรซิน คอมโพสิต เนื่องจากสามารถลดความเครียดในการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซิน คอมโพสิตได้⁽³⁾

คุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนและสัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อนของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อฟัน มากกว่าวัสดุเรซิน คอมโพสิตจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุรองพื้น⁽²⁾

คุณสมบัติในการปลดปล่อยและคืนกลับฟลูออไรด์เป็นคุณสมบัติเด่นของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยวัสดุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมของฟลูออไรด์ไอออน ฟลูออไรด์จะถูกปลดปล่อยด้วยการแลกเปลี่ยนกันของไอออนจากวัสดุ มีหลายการศึกษาที่พบว่า การปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออน เมื่อเคลือบฟันและเนื้อฟันมีการสะสมฟลูออไรด์เข้าไป จะทำให้โครงสร้างฟันมีความทนต่อกรดมากยิ่งขึ้น ร่วมกับ ช่วยลดการละลายตัวของเนื้อฟันและรบกวนการทำงานของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดฟันผุ



ภาพประกอบ 3 แสดงการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิด

โดยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์จะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์มากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป

ที่มา : Ronald S. JF, John P. Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.

การปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนต้องใช้เวลาต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยวัสดุทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมของฟลูออไรด์จากสภาพในช่องปาก จากฟลูออไรด์ในน้ำลายที่ได้จากยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และฟลูออไรด์เสริมแบบเฉพาะที่ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จึงเหมาะกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุนกลางจนถึงความเสี่ยงสูง

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีการยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี แตกต่างจากวัสดุกลุ่มเรซิน คอมโพสิตที่ต้องมีการใช้สารยึดติดร่วมด้วย โดยการใช้กรดฟอสฟอริก(phosphoric acid) ปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน. แต่การใช้งานวัสดุกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ไม่ต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด บางครั้งจึงเรียกกันว่า “self-adhesive”

ในผลิตภัณฑ์บางตัว มีการแนะนำให้มีการใช้สารเตรียมผิวฟันก่อนการอุดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะทำให้มีความแข็งแรงพันธะระหว่างผิวฟันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มากขึ้น⁽¹⁸⁾ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวสูง จะช่วยทำให้มีการไหลแผ่ของวัสดุที่ดีขึ้น ขั้นตอนการเตรียมผิวฟันคือ ทา 10% - 20% polyacrylic acid ที่โพรงฟันเป็นเวลา 10 วินาที ล้างน้ำออก และเป่าลม

กลไกการยึดติดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และผิวฟัน เป็นปฏิกิริยาทางเคมีในธรรมชาติของการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างวัสดุกับผิวฟัน บางการศึกษาพบว่า มีการยึดติดแบบทางกล(micromechanical bond) ร่วมด้วย⁽³⁾ แต่พบได้น้อยมาก จากการศึกษาเปรียบเทียบแรง

ยึดติดในห้องทดลอง พบว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และ เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีค่าแรงยึดติดที่น้อยกว่า การใช้เรซิน คอมโพสิตร่วมกับสารยึดติด แต่ในทางคลินิกพบว่า เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการยึดติดที่ดีและแนบสนิทกับเนื้อฟัน เนื่องมาจากการที่วัสดุสามารถช่วยลดแรงเครียดจากภายนอกได้⁽³⁾

เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ได้รับการจัดให้เป็นวัสดุอุดฟันที่ทำให้เกิดอาการเสียวฟันหลังจากการอุดได้น้อยที่สุด⁽²⁾ จาก 2 สาเหตุ

- 1) ไม่จำเป็นต้องมีการใช้ etching ในการเตรียมผิวฟันก่อนการอุด ทำให้แร่ธาตุในเส้นใยคอลลาเจนไม่ถูกละลายออกไป ทำให้เส้นใยไม่เกิดการยุบตัว และไม่มีเส้นใยที่เผยผิ
- 2) จากกลไกการก่อตัวของวัสดุ ที่เป็นระบบ Dual cure system วัสดุมีการค่อยๆ บ่มตัวเกิดขึ้น ทำให้เกิดแรงหดตัวจากการบ่มตัวที่น้อย เกิดแรงเครียดที่พื้นผิวรอยต่อของวัสดุและเนื้อฟันที่น้อยลง

1.3 รูปแบบบรรจุภัณฑ์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มี 2 ส่วนผสม คือ ส่วนผง และส่วนของเหลว ส่วนผงมักบรรจุอยู่ในขวด และใช้งานโดยตักด้วยช้อนตวง ส่วนของเหลว ใช้งานโดยใช้หลอดหยด ผสมกันตามสัดส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด มีคำแนะนำให้นำวัสดุผสมใส่ในหลอดฉีด และฉีดลงในโพรงฟัน⁽¹⁹⁾

ต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีการใช้งานสะดวกขึ้น โดยบรรจุทั้งสองส่วนผสมไว้ในรูปแบบแคปซูล โดยภายในแคปซูลมีการแยกส่วนกันของส่วนผงและส่วนของเหลวอย่างชัดเจน เพื่อช่วยยืดอายุของวัสดุ เมื่อใช้งาน นำแคปซูลเข้าปั่นด้วยเครื่องปั่นอะมัลกัม เพื่อผสมทั้งสองส่วนผสมในแคปซูลเข้าด้วยกัน และนำไปใส่ปืนฉีดเข้าในโพรงฟัน

ในปัจจุบัน เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ อยู่ในรูปแบบของ paste-liquid or two-paste systems. โดยบริษัทมีการใส่เรซินลงไปในส่วนผงของแก้วฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อครีม (paste like consistency) และส่วนของเหลวมีการใส่ nonreactive glass เพื่อช่วยให้เป็นเนื้อครีมมากขึ้น เมื่อมีการใช้งาน ทำการบีบวัสดุออกมาพร้อมกัน ในขนาดเท่าๆกัน และทำการผสม ซึ่งผสมใช้งานง่ายกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในระบบผงและของเหลว⁽²⁾

วัสดุเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ รุ่นล่าสุด มีการคิดค้นเป็นรูปแบบของ automixable, single-unit direct delivery device ดังภาพประกอบ 4 โดยอุปกรณ์นี้จะแยกส่วนผงและส่วนของเหลว ที่อยู่ในรูปเนื้อครีม กันเป็นสองส่วนออกจากกัน เมื่อใช้งานกดส่วนผสม

ทั้งสองออกมาที่ปลายหัวฉีดวัสดุ และสามารถฉีดใส่โพรงฟันได้เลย ระบบนี้ เชื่อกันว่า จะทำให้เกิดฟองอากาศน้อยลง และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อผสมด้วยเครื่องปั่น



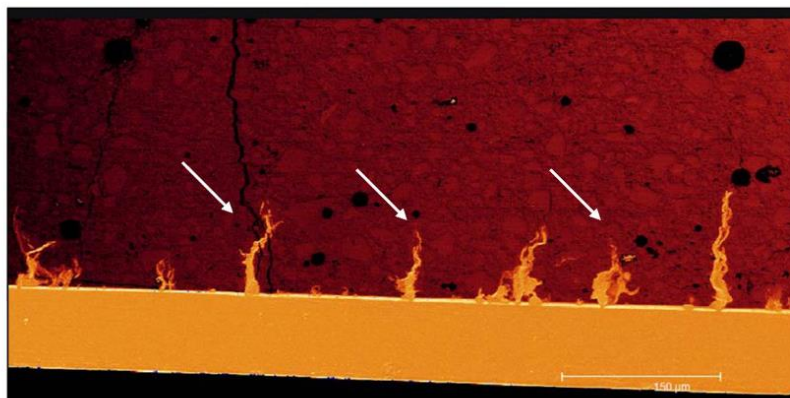
ภาพประกอบ 4 แสดงบรรจุภัณฑ์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ที่มา : Ronald S. JF, John P. Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.

2. สารเคลือบพื้นผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์

กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม และกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมกลุ่มที่ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติขึ้นมาแล้วนั้น อย่างเช่น กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดความหนืดสูง ยังคงมีข้อจำกัด คือ ในช่วงแรกของการก่อตัว วัสดุจะมีความแข็งแรงทางกลต่ำ และมีความไวต่อความชื้นสูง การได้รับน้ำและการสูญเสียน้ำของวัสดุในช่วงต้นนั้น จึงเป็นปัญหาสำคัญของวัสดุในกลุ่มนี้ จึงมีหลายการศึกษาแนะนำให้ทำสารเคลือบพื้นผิว หลังการบ่ม^(4-6, 20, 21) โดยสารที่นำมาใช้เคลือบพื้นผิวนั้น ควรเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ และมีความสามารถในการไหลแผ่ได้ดี⁽¹²⁾

การทำสารเคลือบพื้นผิว หลังการบ่ม เพื่อให้ประโยชน์ด้านระบบความสมดุลของน้ำ นอกจากนี้การทำสารเคลือบพื้นผิวยังช่วยในการเติมเต็มฟองอากาศ และรูพรุนที่พื้นผิวของวัสดุ ดังภาพประกอบ 5 ช่วยทำให้สีของวัสดุคงทนนานขึ้น เนื่องจากช่วยลดการติดสีของวัสดุจากคราบต่างๆได้อีกด้วย^(9, 22)



ภาพประกอบ 5 แสดงการไหลผ่านของสารเคลือบพื้นผิวชนิดเรซินเข้าสู่รูพรุน และรอยแตกภายในวัสดุ

ที่มา : Ulrich Lohbauer. Dental Glass Ionomer Cements as Permanent Filling Materials - Properties, Limitations and future Trends. material 2010, 3

การทำสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะนั้น จะมีส่วนช่วยในการเติมเต็มช่องว่างระหว่างรอยต่อของวัสดุบูรณะกับเนื้อฟัน และช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการผนึก (sealing properties) ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การที่วัสดุมีการไหลผ่านไปตามผนังโพรงฟันได้ดี จะช่วยเพิ่มความแนบสนิทระหว่างวัสดุบูรณะและผนังโพรงฟัน⁽⁶⁾

สารที่นำมาใช้ในการเคลือบพื้นผิว⁽⁸⁻¹¹⁾ ได้แก่ สารยึดติดในระบบต่างๆ (dental adhesives) , น้ำมันซีฟิง (petroleum jelly), สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์ (Nano-filled coating) เป็นต้น

แต่ยังไม่มีการศึกษาได้นำสารเคลือบหลุมร่องฟัน (resin sealant) มาใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิว ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบพื้นผิว คือมีความหนืดต่ำ และไหลผ่านได้ดี อีกทั้งมีการใช้อย่างแพร่หลายในคลินิก จึงน่าจะเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนสารเคลือบพื้นผิวที่ต้องซื้อเพิ่มเติมจากบริษัทผู้ผลิตได้

3. การใช้งานในทางคลินิกของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีการนำมาใช้งานหลากหลายในคลินิกทันตกรรม ได้แก่ ใช้เป็นวัสดุบูรณะในฟันน้ำนมและฟันแท้ วัสดุรองพื้น วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน รวมถึงเป็นการยึดติดเครื่องมือจัดฟันอีกด้วย โดยสามารถแบ่งประเภทของกลาสไอโอโนเมอร์ได้ตามการใช้งาน⁽³⁾ ดังนี้

3.1 กาวหรือสารยึดติด

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดนี้ ใช้เป็นกาวสำหรับยึดติดครอบฟัน (Crown) สะพานฟัน (Bridges) วัสดุอุดฝัง (Inlay) วัสดุอุดครอบ (Onlay) และเครื่องมือจัดฟัน ในกลุ่มนี้จะมีอัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวที่ต่ำ 1.5:1 ถึง 3.8:1 มีการก่อตัวที่รวดเร็ว และมีความสมบัติต้านทานต่อน้ำสูง มีความทึบแสงในภาพเอกซเรย์

3.2 วัสดุบูรณะ

3.2.1 ใช้สำหรับบูรณะในบริเวณที่มองเห็นได้ เช่น ฟันหน้า ในกลุ่มนี้จะมีอัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวที่ต่ำอย่างน้อย 3:1 และมากกว่า 6.8:1 ขึ้นไป มีสีและความโปร่งแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ มีความทึบแสงในภาพเอกซเรย์ มีการแนะนำให้ทาสารเคลือบฟันผิวเพื่อป้องกันความขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรก

3.2.2 ใช้สำหรับบูรณะในบริเวณที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น ฟันหลัง ในกลุ่มนี้จะมีอัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวที่สูง 3:1 ถึง 4:1 มีการก่อตัวที่รวดเร็ว ด้านทานการดูดซึมน้ำในช่วงแรก มีความทึบแสงในภาพเอกซเรย์

3.3 วัสดุรองพื้น

ในกลุ่มนี้จะมีอัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวที่ต่ำ 1.5:1 เมื่อใช้เป็นวัสดุไลน์เนอร์ สามารถแนบสนิทกับผนังโพรงฟันได้ดี และ อัตราส่วนของส่วนผงและส่วนของเหลวที่สูงขึ้น เมื่อใช้เป็นเบส รองพื้นเป็นสารแทนที่เนื้อฟันในการบูรณะเทคนิค open sandwich ซึ่งใช้ร่วมกับเรซิน คอมโพสิต

นอกจากนี้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ สามารถใช้เป็นสารเคลือบหลุมร่องฟัน^(3, 23)ในฟันน้ำนมและฟันแท้ เพื่อป้องกันการเกิดฟันผุบริเวณหลุมร่องฟัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการสะสมและกักเก็บของแบคทีเรีย วัสดุมีความชอบน้ำ (hydrophilic) มีเสถียรภาพทางมิติที่ดี ทำให้สามารถไหลแผ่ไปตามร่องฟัน แนบสนิทกันผิวเคลือบฟันได้ดี ช่วยลดฟันผุที่เกิดขึ้นด้านใต้ต่อสารเคลือบหลุมร่องฟันได้ และยังช่วยป้องกันฟันผุ จากการปลดปล่อยฟลูออไรด์อีกด้วย

TABLE 4-1 Uses of Composites, Compomers, Resin-Modified Glass Ionomers, and Glass Ionomers

Type	Uses
Universal composite	Class I, II, III, IV, V, patients with low risk of caries
Microfilled composite	Class III, V
Nanofilled composite	Class I, II, III, IV, V
Bulk-filled composite	Class I, II, VI (mesial, occlusal, distal= MOD)
Flowable composite	Cervical lesions, pediatric restorations, small, low-stress-bearing restorations
Universal flowable composite	Class I, II, III, IV, V, patients with low risk of caries
Laboratory composite	Class II, three-unit bridge (with fiber reinforcement)
Compomer	Cervical lesions, Class III primary teeth, Class I, II restorations in children, Class II (with sandwich technique), patients with medium risk of caries
Resin-modified glass ionomer	Cervical lesions, Class III, V, II (with sandwich technique), pediatric restorations primary teeth, Class I restorations in children, sandwich technique (Class II), patients with a high risk of caries
Glass ionomer	Cervical lesions, Class V restorations in adults in whom esthetics is less important than that of other types, patients with a high risk of caries

ภาพประกอบ 6 แสดงการใช้งานในทางคลินิกของวัสดุบูรณะแต่ละชนิด

ที่ ม า : John M. Power & John C Wataha. Dental materials Foundation and Applications, 11ed

4. การจำลองการใช้งานในช่องปาก

การจำลองการใช้งานในช่องปาก เป็นการทดลองเสมือนวัสดุได้ถูกใช้งานจริงในช่องปาก ซึ่งในการใช้งานจริง วัสดุจะต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิร้อนเย็นต่างๆที่เกิดขึ้นจากอาหารที่รับประทาน การเปลี่ยนแปลงค่าเป็นกรดเบส ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

การทดสอบวัสดุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะทำให้วัสดุเกิดความเครียด เนื่องจากวัสดุจะมีการขยายตัวและหดตัวอยู่ตลอดเวลา เมื่อเจออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป และเป็นการกระตุ้นโดยตรงต่อการยึดติด ที่พื้นผิวระหว่างวัสดุ (bonded interfaces) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของช่องว่าง(gaps volume change) ที่มากขึ้นระหว่างวัสดุกับเนื้อ

ฟัน ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้น จะทำให้แบคทีเรียสามารถแพร่ผ่านเข้าออกได้ นำไปสู่การเกิดติดสีตามขอบของวัสดุ(marginal staining) และการเกิดฟันผุซ้ำตามมาได้อีกด้วย

มีหลายการศึกษาที่พบว่า หลังจากวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ ผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น จะทำให้มีคุณสมบัติด้านต่างๆเปลี่ยนไป พบว่าวัสดุมี ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และความแข็งผิว ที่ลดลง ในขณะที่จะเกิดการรั่วซึมที่มากขึ้น^(12, 22) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อน

การทดสอบวัสดุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเบส เป็นการจำลองในช่องปาก เมื่อวัสดุอยู่ในกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ(Demineralization) และการคืนกลับแร่ธาตุ(Remineralization) ซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยฟลูออไรด์ และความแข็งแรงของวัสดุโดยตรง⁽²⁴⁾ ซึ่งมีการศึกษาในปี 2008 พบว่า การที่วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดการสึกจากการกัดกร่อนของกรด ได้มากกว่าวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต และอะมัลกัม⁽²⁵⁾ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่พบว่า ในสภาวะที่เป็นกรด วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่เนื้อฟันได้มากกว่าวัสดุบูรณะอื่น⁽²⁶⁾

5. การรั่วซึมและการทดสอบการรั่วซึมของวัสดุ

วัสดุบูรณะ มักพบการซึมผ่านของแบคทีเรียจากในช่องปากเข้าสู่เนื้อฟันได้ จากการรั่วซึม (microleakage) ของวัสดุ ซึ่งอาจเกิดได้ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมโพรงฟัน ไปจนถึงขั้นตอนการบูรณะ การประเมินการรั่วซึมของวัสดุ เราจะสามารถวิเคราะห์ได้จากคุณสมบัติการยอมให้สารผ่านเข้าออกของเนื้อฟัน อาจกล่าวได้ว่า ในขณะกรอเตรียมโพรงฟัน หากมีเนื้อฟันเผยผิ้มาก จะทำให้มีการเกิดการรั่วซึมได้มากเช่นกัน การที่เนื้อฟันมีความหนา จะยอมให้สารผ่านเข้าออกได้น้อยกว่าเนื้อฟันที่มีความบาง เนื้อฟันที่อยู่บริเวณตัวฟัน จะยอมให้สารผ่านเข้าออกได้มากกว่าเนื้อฟันบริเวณรากฟัน⁽⁹⁾ คุณสมบัติการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) และการหดขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของวัสดุ ก็ส่งผลต่อการเกิดการรั่วซึมของวัสดุได้เช่นเดียวกัน^(9, 12) ซึ่งการเกิดการรั่วซึม จะทำให้เกิดอาการเสียวฟันหลังจากการบูรณะตามมาได้ เนื่องมาจากการสะสมของแบคทีเรีย การผ่านเข้าออกของของเหลวเมื่อเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุ และการยึดติดที่ไม่ดีของวัสดุ⁽⁹⁾

วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการรั่วซึมได้จากการสัมผัสความชื้น และตัววัสดุเองมีลักษณะเป็นกรดและเบส วัสดุกลุ่มเรซินมอดิฟายด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะเกิดการหดตัวได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้มีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างวัสดุกับโพรงฟัน และเมื่อ

สัมผัสกับน้ำ วัสดุจะดูดซึมน้ำ เกิดการขยายตัว ช่วยชดเชยช่องว่างที่เกิดขึ้นให้เล็กลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ไม่สามารถชดเชยช่องว่างที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์⁽⁸⁾

การทดสอบการรั่วซึมนั้น มีหลายวิธี วิธีที่นิยมนำมาใช้คือ การแช่ลงในสีย้อม และดูการแพร่ผ่านของสีย้อม มีหลายๆการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบการใช้สีย้อมต่างชนิดกัน และนำไปผ่านการจำลองอุณหภูมิร้อนเย็นที่แตกต่างกัน พบว่า ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน การศึกษาส่วนใหญ่นิยมใช้เวลาในการแช่สารย้อม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิ 37° องศาเซลเซียส วิธีนี้ยังคงมีข้อจำกัด คือ การแปลผลข้อมูลเป็นเพียงการมองเห็น 2 มิติ จากที่สามารถมองเห็นสีย้อมได้ และเป็นการเก็บข้อมูลแบบมาตราส่วนลำดับ (Ordinal scale) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบอัตนัย (Subjective)⁽²⁷⁾

การเก็บข้อมูลมักจะใช้การจัดระดับของการรั่วซึม ว่าสีย้อม สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในวัสดุได้มากน้อยเพียงใด ดังภาพประกอบ 7 สามารถแพร่เข้าไปถึงชั้นเคลือบฟัน ชั้นเนื้อฟัน หรือในวัสดุที่มีการรั่วซึมอย่างมาก สีย้อมจะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้ถึงชั้นในสุดของโพรงฟันด้านใน ซึ่งในทางทันตกรรม ต้องการวัสดุบูรณะที่เกิดการรั่วซึมที่น้อยที่สุด^(9, 11, 12, 22)

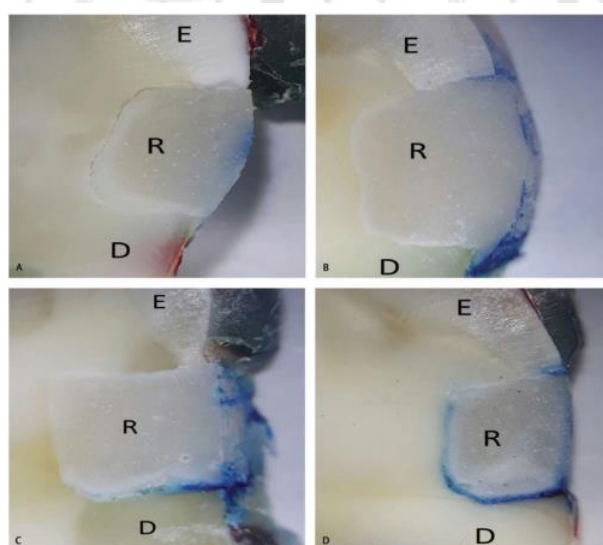


Fig. 3 Scoring of microleakage evaluation. (A) Score 0, (B) Score 1, (C) Score 2, (D) Score 3. E, enamel; D, dentin; R, restoration.

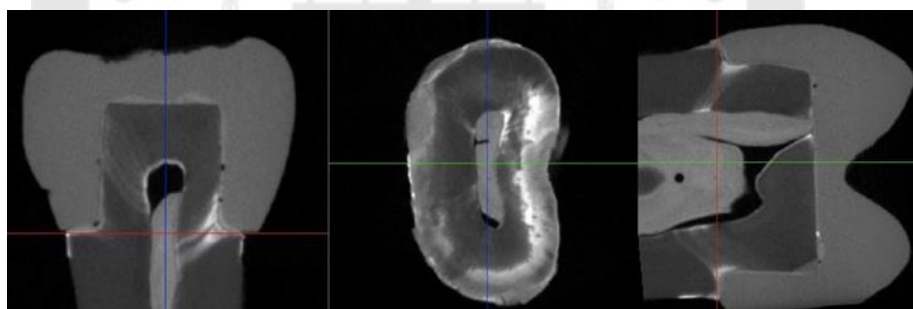
ภาพประกอบ 7 แสดงระดับการรั่วซึมของวัสดุ โดยดูจากการแพร่ของสีย้อม

ที่มา: Ebaya et al. Evaluation of Marginal adaptation and microleakage of glass ionomer-based Class V Restorations: In vitro study. Eur J Dent 2019;13:599-606

การทดสอบการรั่วซึมแบบ 3 มิติ (Three-dimensional methods) ถูกพัฒนามาจากข้อจำกัดของการทดสอบการรั่วซึมที่สามารถมองเห็นได้เพียง 2 มิติ โดยมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งซอฟต์แวร์จะคำนวณด้านที่มีการติดสีย้อม ออกมาเป็นปริมาตรของการรั่วซึม⁽²⁷⁾ ทำให้สามารถมองเห็นชิ้นงานได้ในทุกๆด้าน เมื่อเปรียบเทียบกับการตัดชิ้นงานเพียงระนาบเดียวแล้วนำมาส่องดู

แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องการตัดชิ้นงานเป็นส่วนๆ เพื่อนำมาคำนวณดูใน 3 มิติ จึงมีการพัฒนาขึ้นโดย Gale ในปี 1994⁽²⁷⁾ มีการนำสารที่มีความคมชัดสูง (High contrast) สามารถมองเห็นในภาพได้ คือ สาร 50% ซิลเวอร์ไนเตรต และสารนี้จะไม่ถูกชะล้างออกไปในขั้นตอนการขัดชิ้นงาน แต่ขั้นตอนการขัดและตัดชิ้นงาน มักทำให้ภาพที่ได้ มีคุณภาพต่ำลง

การถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร จึงมีการนำมาใช้ร่วมกับการทดสอบการรั่วซึม⁽²⁷⁾ เพื่อดูการสะสมของสารซิลเวอร์ไนเตรตบริเวณรอยต่อของผิวฟันกับวัสดุบูรณะ โดยชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย แต่ยังคงมีข้อจำกัดคือ ในการทดลองที่ไม่ได้มีการเตรียมโพรงฟันในฟันธรรมชาติ ไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ นอกจากนี้สาร 50% ซิลเวอร์ไนเตรต สามารถกัดกร่อนบริเวณขอบวัสดุ ซึ่งอาจทำให้การคำนวณเกิดความผิดพลาดได้



ภาพประกอบ 8 แสดงภาพการสะสมของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้
เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

ที่มา: Vohra F, Altwaim M, Alshuwaier AS, Alomayri A, Al Deeb M, AlFawaz YF, Arabiah M, Al Ahdal K, Al Deeb L, Abduljabbar T. Bond integrity and microleakage of dentin-bonded crowns cemented with bioactive cement in comparison to resin cements: in vitro study. Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials. 2020 Apr.

6. การถ่ายภาพอิเล็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

การตรวจสอบความแนบสนิทของวัสดุกับโพรงฟันด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม ในการวัดขนาดของช่องว่างด้านใน (Internal gap) ในรูปแบบ 2 มิติ หลังจากที่ทำการศึกษา⁽²⁸⁾ อย่างไรก็ดี การตัดชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย ทำให้เกิดรอยแตกของฟัน หรืออาจทำให้วัสดุหลุดออกจากโพรงฟันในขณะที่ทำการตัด

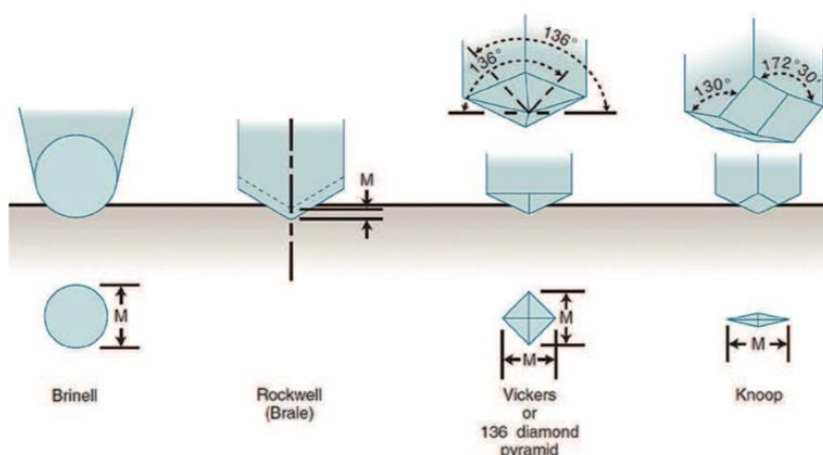
การถ่ายภาพด้วยเครื่องอิเล็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เป็นวิธีที่ไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย ให้ภาพเป็น 3 มิติ สามารถเปรียบเทียบความแนบสนิทด้านในระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุได้ มีข้อดีคือ ให้ภาพที่มีความคมชัด แม้ชิ้นงานจะมีขนาดเล็ก หรือมีรูปร่างที่ซับซ้อน โดยไม่ต้องผ่านการเตรียมชิ้นงานที่อาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย⁽²⁹⁾

ในทางทันตกรรม นิยมนำมาใช้กับการดูลักษณะของกระดูก พื้นผิวของรากเทียม ความแนบสนิทด้านในของวัสดุบูรณะกับโพรงฟัน เพื่อช่องว่างที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ⁽²⁹⁾ ความหนาของเนื้อฟัน วิเคราะห์รูปร่างและประเมินการเตรียมคลองรากฟัน การเจริญเติบโตของโครงสร้างไบโนาและกะโหลกศีรษะ ใช้ร่วมกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) เพื่อวิเคราะห์การกระจายแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุทางทันตกรรม ใช้ในการพัฒนาทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) วัดความหนาแน่นและการกระจายตัวของแร่ธาตุที่สะสมในฟัน รากเทียมและกระดูกโดยรอบรากเทียม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในการทดลองในห้องปฏิบัติการและการทดลองในมนุษย์⁽³⁰⁾

ในการศึกษานี้ มีการนำเครื่องอิเล็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตรมาใช้เพื่อส่องดูการแพร่ผ่านของสาร 50% ซิลเวอร์ไนเตรต ที่เกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟัน เพื่อเปรียบเทียบปริมาตรการรั่วซึมของวัสดุ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ

7. ความแข็งผิวและการทดสอบความแข็งผิวจุลภาค

ความแข็งผิว (Surface hardness) ของวัสดุ สามารถทดสอบได้ด้วยการกำหนดทิศทางและแรงที่ลงหัวกดลงบนวัสดุ แล้วนำไปส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละวัสดุ ตัวอย่างการทดสอบความแข็งผิว ได้แก่ Knoop, Vickers, Barcol, Brinell และ Rockwell hardness ซึ่งแต่ละการทดสอบจะแตกต่างกันที่รูปร่างของหัวกด และวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงรูปร่างของหัวกดที่ใช้ทดสอบความแข็งผิวของวัสดุ

ที่มา : Andre' R. LB, Ricardo W. . Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry. 7th ed ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.

ความแข็งผิวเป็นค่าที่แสดงถึงความต้านทานการสึกของผิววัสดุ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุที่มีเรซินเป็นส่วนประกอบ ความแข็งวิกเกอร์ (Vickers' hardness) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัดความแข็งผิวจุลภาคของวัสดุในกลุ่มนี้ ได้แก่ เรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซิน คอมโพสิต⁽⁷⁾

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม มีความไวต่อน้ำในช่วงที่ยังมีการก่อตัวไม่สมบูรณ์ วัสดุจะมีความแข็งผิวต่ำ จึงมีการแนะนำให้ทาสารเคลือบพื้นผิว เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในช่วงแรก และนอกจากนี้การทดสอบวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเบส ซึ่งเป็นการจำลองในช่องปาก จะส่งผลต่อการปลดปล่อยฟลูออไรด์ และความแข็งผิวของวัสดุ โดยตรง⁽²⁴⁾

การศึกษานี้มีการบูรณะด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง และเรซิน มอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ นำวัสดุมาทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และผ่านการจำลองการใช้งานในช่องปาก คือ การอยู่ในสภาวะกรด-เบส และอุณหภูมิร้อน-เย็น แล้วนำวัสดุมาวัดค่าความแข็งผิวจุลภาค เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ ว่า สารใดทำให้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ มีค่าความแข็งผิวที่มากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

จากการคำนวณจำนวนของกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G power จากการศึกษานำร่อง (effect size=1.91, alpha error=0.05) ทำให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ฝังในเบ้าหล่อ 80 ชิ้นงาน โดยแบ่งเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้นงาน และฟันแท็กกรมน้อยบนซี่ที่หนึ่งของมนุษย์สภาพสมบูรณ์ 20 ซี่ (effect size=0.84, alpha error=0.05) และกรอเตรียมฟันได้ 40 โพรงฟัน โดยแบ่งเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้นงาน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบความแข็งแรงและการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ แบ่งกลุ่มตัวอย่างตามวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ที่ใช้ในการบูรณะมีทั้งหมด 2 กลุ่มใหญ่ดังต่อไปนี้

1. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ยี่ห้อฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตราแบบบรรจุแคปซูล

2. เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ยี่ห้อฟูจิ ทุ แอลซีแบบบรรจุแคปซูล

ในทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง สามารถนำมาแบ่งแบบสุ่มตามชนิดของสารเคลือบพื้นผิว แบ่งออกเป็นกลุ่ม 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว

กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล (Single bond Universal)

กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ฟิสเซอร์ ซีลแลนท์ (Teethmate F-1 pit & fissure sealant)

กลุ่มที่ 4 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิว จี โค้ท พลัส (G-Coat plus)

ตาราง 1 แสดงวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

ผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ชนิดของวัสดุ	องค์ประกอบ
Fuji IX GP EXTRA CAPSULES	GC Corporation, Tokyo, Japan	High - viscosity glass ionomer cement	Powder: Alumino silicate glass, Polyacrylic acid powder Liquid: polyacrylic acid
Fuji II LC CAPSULES	GC Corporation, Tokyo, Japan	Resin-modified glass ionomer cement	Powder: Alumino silicate glass Liquid: water, polyacrylic acid, HEMA, UDMA, camphorquinone

ตาราง 2 แสดงสารเคลือบพื้นผิวที่ใช้ในการศึกษา

ผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ชนิดของสาร	องค์ประกอบ
Single bond universal	3M ESPE, Deutschland GmbH, Neuss, Germany	Dental adhesive	MDP Phosphate Monomer, Dimethacrylate resins, HEMA, Vitrebond Copolymer, Filler, Ethanol, Water, Initiators, Silane
Teethmate F-1 pit & fissure sealant	Kuraray, Osaka, Japan	Resin sealant	Triethylene glycol dimethacrylate, 2-hydroxyethyl methacrylate, 10-MDP, Methacryloyl fluoride-methyl methacrylate copolymer, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, Initiators, Accelerators, Dyes
G-Coat plus	GC Corporation, Tokyo, Japan	Nano-filled coating	Methyl methacrylate (MMA), Photoinitiator, Phosphoric acid ester monomer

ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

1.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรง

1.1.1 เตรียมเบ้าหล่ออะคริลิคเรซินใส ขนาดกว้าง 3 ซม. ยาว 3 ซม. และสูง 1 ซม. เจาะรูกึ่งกลางแผ่นอะคริลิคเป็นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และลึก 3 มม. จำนวน 80 ชิ้น

1.1.2. แบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ได้กลุ่มละ 40 ชิ้น คือ

1.1.2.1 กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง พูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตร้า แบบบรรจุแคปซูล นำแคปซูลของพูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตร้าไปปั่น และฉีดเข้าสู่เบ้าหล่อจนเต็ม ปิดด้วยแผ่น เมทริกซ์ เซลลูลอยด์ และตามด้วยแผ่นแก้ว (Glass slide) ทับลงที่ผิวด้านบนของวัสดุ ด้วยแรงกด 200 กรัม รอจนวัสดุก่อตัว (เป็นเวลา 2.30 นาที)

1.1.2.2 กลุ่มเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดพูจิ ทุ แอลซีแบบบรรจุแคปซูล นำแคปซูลของพูจิ ทุ แอลซีไปปั่น และฉีดเข้าสู่เบ้าหล่อจนเต็ม ปิดด้วยแผ่นเมทริกซ์ เซลลูลอยด์ และตามด้วยแผ่นแก้ว (Glass slide) ทับลงที่ผิวด้านบนของวัสดุด้วยแรงกด 200 กรัม ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที

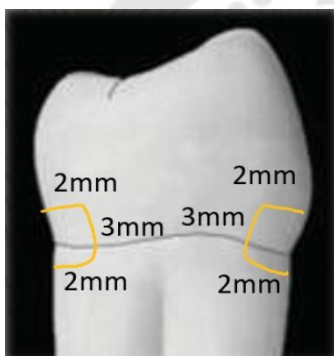
1.1.3. เมื่อวัสดุทุกกลุ่มก่อตัวเต็มที่แล้ว จึงนำมาทาด้วยสารเคลือบพื้นผิว โดยใช้แปรงจุ่มสาร 1 ครั้ง และนำมาทาสารลงบนวัสดุ 2 ชั้น ทาที่ความหนาและปริมาณเท่ากันในทุกๆ ชิ้นงาน สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม จากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิด ออกเป็นกลุ่มย่อย 4 กลุ่มตามการทาสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด ได้กลุ่มละ 10 ชิ้น ดังตารางที่ 3

1.1.4. นำชิ้นงาน แช่ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบการรั่วซึม

1.2.1. ใช้ฟันซี่กรามน้อยแท้ที่หนึ่งของมนุษย์สภาพสมบูรณ์ที่ไม่มีรอยผุ รอยสึก และ ไม่มีการบูรณะใดๆ ซึ่งได้รับการถอนทิ้งและเก็บไว้ในคลินิกทันตกรรมหรือโรงพยาบาลก่อนเริ่มทำการวิจัย จึงไม่สามารถระบุตัวตนของผู้ป่วยได้

1.2.2. นำฟันกรามน้อยมาทำการกรอเตรียมโพรงฟัน บริเวณคอฟันด้านแก้มและด้านลิ้น ด้วยหัวกรอกากเพชรรูปทรงกระบอกความเร็วสูง เปลี่ยนหัวกรอทุกครั้งเมื่อใช้ในการกรอไปแล้ว 5 โพรงฟัน กรอให้โพรงฟันมีขนาดเล็ก 2 มิลลิเมตร กว้าง 4 มิลลิเมตร (mesiodistal width) และสูง 3 มิลลิเมตร (Occlusogingival height) โดยให้ขอบเขตด้านบดเคี้ยว อยู่ในชั้นเคลือบฟัน และขอบเขตด้านคอฟัน อยู่ในชั้นเนื้อฟัน ขอบเขตทั้งหมดทำมุม 90 องศา (Cavosurface angle) และ ไม่มีการกรอ Bevel⁽¹²⁾



ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะการเตรียมโพรงฟันบริเวณคอฟันด้านแก้มและด้านลิ้น

1.2.3. จากซี่ฟันทั้งหมด 20 ซี่ นำมาเตรียมโพรงฟันทั้งในคอฟันด้านแก้ม และคอฟันด้านลิ้น จะได้โพรงฟันทั้งหมด 40 โพรงฟัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างใหญ่ๆโดยใช้การสุ่มให้มีโพรงฟันในด้านแก้มและด้านลิ้น กลุ่มละเท่าๆกัน ตามชนิดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะได้กลุ่มละ 20 โพรงฟัน ดังนี้

1.2.3.1 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตราแบบบรรจุแคปซูล

ทาเดนทินคอนดิชันเนอร์ (GC Cavity Conditioner: 20% Polyacrylic Acid) 10 วินาที ล้างออกและเป่าลม นำแคปซูลของฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตราไปปั่น และฉีดเข้าสู่โพรงฟันจนเต็ม แต่งรูปร่างโดยใช้ Cervical matrix และกำจัดส่วนเกินออกด้วย hand instrument

1.2.3.2 เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดฟูจิ 7u แอลซีบรจุแคปซูล
ทาเดนทีนคอนดิชันเนอร์ (GC Cavity Conditioner: 20% Polyacrylic Acid)
10 วินาที ล้างออกและเป่าลม นำแคปซูลของ ฟูจิ 7u แอลซีไปปั่น และฉีดเข้าสู่โพรงฟันจนเต็ม
แต่งรูปร่างโดยใช้ Cervical matrix และกำจัดส่วนเกินออกด้วย hand instrument ฉายแสงเป็น
เวลา 20 วินาที

1.2.4. เมื่อวัสดุทุกกลุ่มก่อตัวเต็มที่แล้ว (กลุ่มฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตร้า ระยะเวลาก่อ
ตัว: 2.30 นาที และ กลุ่มฟูจิ 7u แอลซี ระยะเวลาทำงาน: 3.15 นาที ก่อตัวสมบูรณ์ เมื่อฉายแสง
เป็นเวลา 20 วินาที) จึงนำมาทาสารเคลือบพื้นผิว โดยสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม จาก
วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิด ออกเป็นกลุ่มย่อย 4 กลุ่มตามการทาสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด
ได้กลุ่มละ 5 โพรงฟัน ดังนี้

ตาราง 3 แสดงการแบ่งกลุ่มตามชนิดของสารเคลือบพื้นผิว

กลุ่มที่	สารเคลือบพื้นผิว	ชนิดของสาร	วิธีการใช้งาน
1	ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว	-	-
2	ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล	สารยึดติด	ทาสารบางๆ 2 ชั้น ฉายแสง 20วินาที
3	ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ฟิชเชอร์ ซีลแลนท์	สารเคลือบหลุมร่องฟัน	ทาสารบางๆ 2 ชั้น ฉายแสง 20วินาที
4	จี ไคท์ พลัส	สารเคลือบพื้นผิว ชนิดนาโนฟิลด์	ทาสารบางๆ 2 ชั้น ฉายแสง 20วินาที

1.2.5. นำชิ้นงาน แขน้ำอุดงูหมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. ขั้นตอนการจำลองสภาวะในช่องปาก

2.1 การจำลองการเปลี่ยนแปลงของกรดเบส (pH-Cycling)

นำชิ้นงานกลุ่มที่มีวัสดุติดในเบ้าหล่อ แช่ลงในสารละลาย Demineralizing solution (1.5 mM CaCl_2 , 0.9 mM KH_2PO_4 , 5 mM NaN_3 , 50 mM acetic acid at pH 5.0) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตามด้วย การแช่ในสารละลาย Remineralizing solution (1.5 mM CaCl_2 , 0.9 mM KH_2PO_4 , 130 mM KCl, 50 mM Hepes at pH 7.0) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จนครบ 15 วัน⁽²⁴⁾ และนำชิ้นงานกลุ่มฟันกรามน้อยที่บูรณะคอฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แช่ลงในสารละลาย Demineralizing solution เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามด้วยการแช่ในสารละลาย Remineralizing solution เป็นเวลา 21 ชั่วโมง โดยในวันสุดท้ายสัปดาห์ ชิ้นงานจะถูกแช่ในสารละลาย Remineralizing solution เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนครบ 4 สัปดาห์⁽³¹⁾

2.2 การจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น (Thermocycling)

นำชิ้นงานเข้าในเครื่อง Thermocycling (KMITL, TC301, HWB332, Thailand) ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส สลับกับ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ

3. ขั้นตอนการทดสอบ

3.1. การทดสอบความแข็งผิวของวัสดุ

3.1.1 นำชิ้นงานขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Polishing Machine-MINITECH 233) ความละเอียด 1000 grit เป็นเวลา 20 วินาที 1200 grit เป็นเวลา 20 วินาที และขัดด้วยผงขัดเงา อลูมินัมออกไซด์ เป็นเวลา 60 วินาที ความเร็ว 250 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จนผิวของชิ้นงานเรียบและไม่มีสารเคลือบพื้นผิวคงเหลือบนผิวของชิ้นงาน⁽⁷⁾

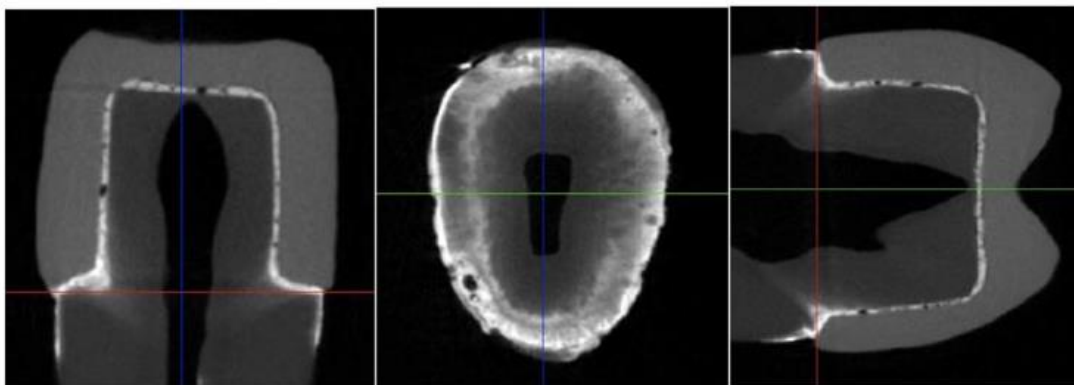
3.1.2 ทดสอบความแข็งผิวของชิ้นงาน ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวจุลภาค (Micro-Hardness Tester-FM810) ทดสอบ 3 ครั้งในแต่ละชิ้นงาน โดยระยะระหว่างรอยกดห่างกัน 1 มม. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของชิ้นงานแต่ละกลุ่มทดลอง

3.2. การประเมินการรั่วซึมของวัสดุ

3.2.1 นำชิ้นงานทั้งหมดทาดำด้วยน้ำยาเคลือบเล็บ โดยเว้นจากขอบของวัสดุโดยรอบ 1 มิลลิเมตร และ แช่ลงในสารละลาย 50% ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate: AgNO_3) ในห้องมืด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากสารละลาย นำชิ้นงานไปล้างน้ำ และนำไปแช่ในสารละลาย โฟโต้เดเวลอป (Photo-developing solution) ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง⁽²⁸⁾

3.2.2 นำชิ้นงานไปส่องดูการรั่วซึม ภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับ ไมโครเมตร (BRUKER SKYSCAN 1173) นำภาพที่ได้เข้าสู่โปรแกรม เพื่อตัดภาพออกตามแนว

3 มิติ เพื่อดูระดับการแพร่ซึมผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตเข้าสู่โพรงฟัน และนำภาพที่ได้วิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Bruker CTAn (CT- Analyser) ดูปริมาณการสะสมของซิลเวอร์ไนเตรต ที่สามารถแพร่ผ่านรอยต่อของโพรงฟันกับวัสดุ



ภาพประกอบ 11 แสดงภาพถ่ายระดับการรั่วซึมของวัสดุ โดยดูจากการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

ที่มา: Vohra F, Altwaim M, Alshuwaier AS, Alomayri A, Al Deeb M, AlFawaz YF, Arabiah M, Al Ahdal K, Al Deeb L, Abduljabbar T. Bond integrity and microleakage of dentin-bonded crowns cemented with bioactive cement in comparison to resin cements: in vitro study. Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials. 2020 Apr.

การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากค่าความแข็งผิวจุลภาค มาทดสอบค่าการแจกแจงและ ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test กรณีประชากรมีการแจกแจงและความแปรปรวนปกติ จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยสถิติบนเฟอโรน (Bonferroni test) เพื่อดูความแตกต่างของการใช้สารเคลือบพื้นผิวที่แตกต่างกันในแต่ละชนิดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทำการวิเคราะห์ค่าการรั่วซึม กรณีประชากรมีการแจกแจงและความแปรปรวนไม่ปกติ จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis และการเปรียบเทียบแบบจับคู่ (Pairwise comparison) ประกอบกับภาพระดับการรั่วซึมของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

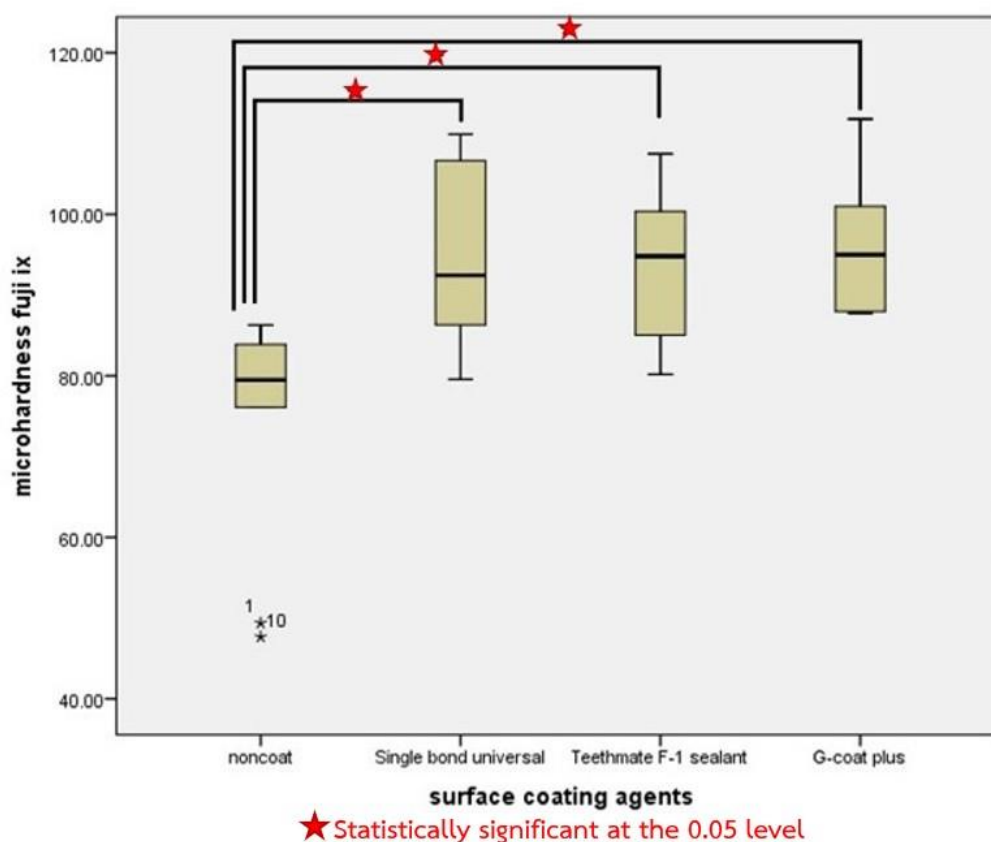
การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุ และการร่วซึมของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ บริเวณคอฟันในฟันธรรมชาติของมนุษย์ โดยทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาค (Microhardness tester) และส่องดูช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟันและประเมินการร่วซึมของวัสดุจากการแพร่ผ่านของสารสีเวอร์โนเดเรต ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro Computed Tomography or Micro CT Scan) หลังผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
2. ผลการทดสอบการร่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ผลการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

1.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement)

ผลการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง หรือ ฟุจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา หลังทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และนำไปผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น เมื่อนำไปวัดค่าความแข็งแรง พบว่า กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิว จี ไคท์ พลัส กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด์ฟิชเชอร์ ซิลแลนท์ มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุใกล้เคียงกัน คือ 95.62 ± 7.96 94.65 ± 10.73 และ 93.61 ± 8.89 ตามลำดับ และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุน้อยที่สุด คือ กลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว คือ 74.50 ± 14.05 (ภาพประกอบ 12)



ภาพประกอบ 12 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวของวัสดุ
 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด
 โดยค่าเฉลี่ยความแข็งผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)

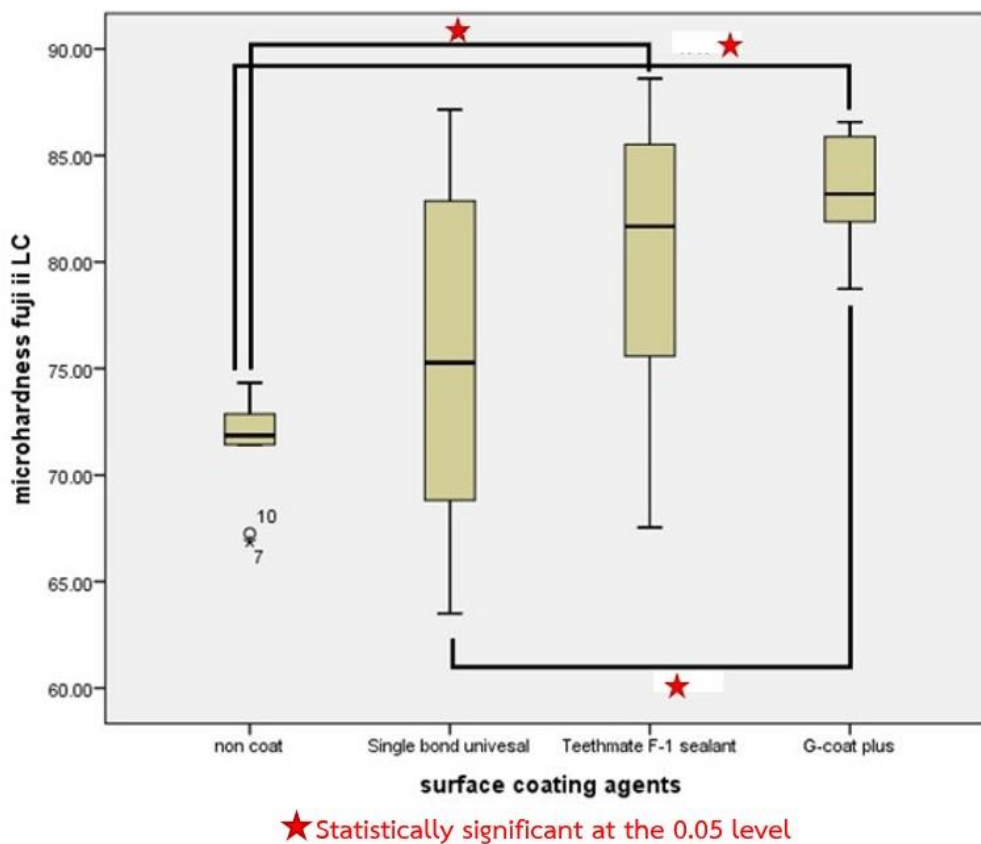
การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ได้มีการนำข้อมูลตรวจสอบการแจก
 แจงความปกติด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test (ภาพประกอบ 22 ภาคผนวก) พบว่า
 ข้อมูลมีการแจกแจง ปกติ จึงใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนทางเดียว ในการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติ ทดสอบความแปรปรวนทางเดียว
 (ตาราง 5 ภาคผนวก) พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของวัสดุฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา เมื่อทาสาร
 เคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ มีอย่างน้อย 1 ชนิดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ
 ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) และภายหลังการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม
 ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อ ค่าเฉลี่ย
 ของความแข็งผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ทำให้วัสดุมีค่าความแข็งผิว
 สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(p-value < 0.05) โดยการทาสารเคลือบพื้นผิวแต่ละชนิด ให้ค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p-value < 0.05) (ตาราง 6 ภาคผนวก)

1.2 ผลการทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินมอดิไฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin-modified glass ionomer cement)

ผลการทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินมอดิไฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ชนิดฟูจิ ทุ แอลซี หลังทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และนำไปผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น เมื่อนำไปวัดค่าความแข็งผิว พบว่า กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิว จี ไคท์ พลัส มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของวัสดุมากที่สุด คือ 83.44 ± 2.59 รองลงมา ได้แก่ กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพิชเชอร์ ซีลแลนท์ กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล คือ 80.47 ± 6.28 และ 74.96 ± 8.44 ตามลำดับ และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของวัสดุน้อยที่สุด คือ กลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว คือ 71.41 ± 2.46 (ภาพประกอบ 13)



ภาพประกอบ 13 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยความแข็งผิวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ได้มีการนำข้อมูลตรวจสอบการแจกแจงความปกติด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test (ภาพประกอบ 23 ภาคผนวก) พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ จึงใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนทางเดียว ในการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (ตาราง 7 ภาคผนวก) พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของวัสดุฟูจิ ทุ แอลซี เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ มีอย่างน้อย 1 ชนิดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) และภายหลังการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ฟิชเชอร์ ซีลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี โคท พลัส ส่งผลต่อ ค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำให้วัสดุมีค่าความแข็งผิวสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้

ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) แต่การทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ให้ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$)

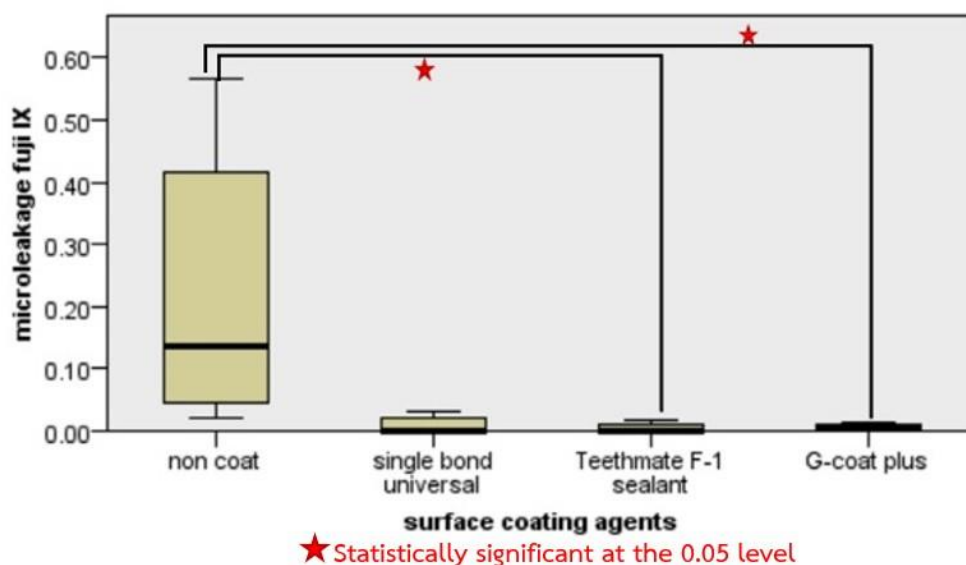
นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสาร จี โค้ท พลัส มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุมากที่สุด และมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล (Single bond Universal) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) อีกด้วย (ตาราง 8 ภาคผนวก)

ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

2.1 ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement)

ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุพูจี นาย จีพี เอ็กซ์ตร้า ที่ทำการบูรณะบริเวณคอฟัน หลังทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และนำไปผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น เมื่อนำไปวิเคราะห์การรั่วซึม โดยคำนวณจากปริมาตรของสารซิดเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์ คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร พบว่า กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของสารซิดเวอร์ในเตรต ที่สามารถแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มากที่สุด คือ กลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว เท่ากับ $0.212 \pm 0.219 \text{ mm}^3$ รองลงมา คือกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล เท่ากับ $0.009 \pm 0.014 \text{ mm}^3$ และมีค่าใกล้เคียงกันในกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ ฟิชเชอร์ ซิลแลนท์ และกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสาร จี โค้ท พลัส (G-Coat plus) เท่ากับ $0.005 \pm 0.007 \text{ mm}^3$ และ $0.005 \pm 0.006 \text{ mm}^3$ ตามลำดับ (ภาพประกอบ 14)



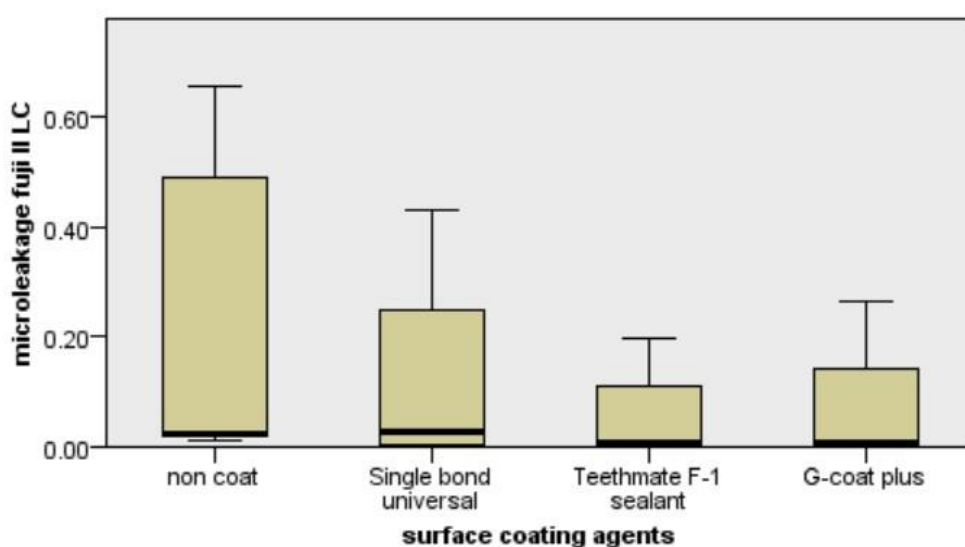
ภาพประกอบ 14 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุ
 กلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด
 โดยค่าเฉลี่ยการรั่วซึมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ได้มีการนำข้อมูลตรวจสอบการแจก
 แจกความปกติด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test (ภาพประกอบ 24 ภาคผนวก) พบว่า ข้อมูลมี
 การแจกแจงไม่ปกติ จึงใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ในการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis (ตาราง 9
 ภาคผนวก) พบว่า ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของวัสดุฟุจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตร้า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิด
 ต่างๆ มีอย่างน้อย 1 ชนิดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) และภายหลังการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติการ
 เปรียบเทียบแบบจับคู่ พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน
 พิทแอนด์พีซเซอร์ ซิลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี คัท พลัส ส่งผลต่อ ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึม
 ของวัสดุกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำให้วัสดุมีค่าการรั่วซึมต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว
 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) แต่การทาสารเคลือบ
 พื้นผิวด้วยสารยึดติดซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ให้ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่
 ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
 ($p\text{-value} < 0.05$) (ตาราง 10 ภาคผนวก)

2.2 ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์(Resin-modified glass ionomer cement)

ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของเรซิน มอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดฟูจิ ทุ แอลซี ที่ทำการบูรณะบริเวณคอฟฟัน หลังทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และนำไปผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและ อุณหภูมิร้อน-เย็น เมื่อนำไปวิเคราะห์การรั่วซึมโดยคำนวณจากปริมาตรของสารซิลเวอร์ไนเตรต ภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร พบว่า กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของสารซิลเวอร์ไนเตรต ที่สามารถแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มากที่สุด คือ กลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว เท่ากับ $0.208 \pm 0.284 \text{ mm}^3$ รองลงมา คือ คือกลุ่มที่ทาสาร เคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล กลุ่มที่ทาสาร เคลือบพื้นผิวด้วยสารจี คุก พัลส์ และกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด์พี ซเซอร์ ซีลแลนท์ เท่ากับ $0.107 \pm 0.184 \text{ mm}^3$ $0.059 \pm 0.115 \text{ mm}^3$ $0.046 \pm 0.086 \text{ mm}^3$ ตามลำดับ (ภาพประกอบ15)



ภาพประกอบ 15 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยการรั่วซึมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ได้มีการนำข้อมูลตรวจสอบการแจกแจงความปกติด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test (ภาพประกอบ 25 ภาคผนวก) พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ จึงใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ในการทดสอบ

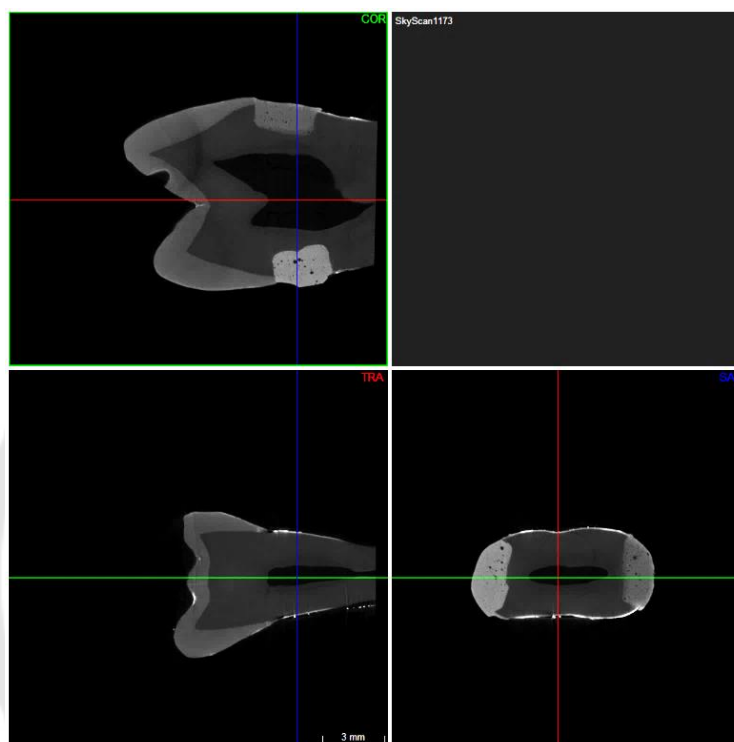
ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis (ตาราง 11 ภาคผนวก) พบว่า ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของวัสดุเรซิน มอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$)

ตาราง 4 แสดงผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการรั่วซึมของวัสดุ ฟุจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตราและฟุจิ ทุ แอลซี เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด

ชนิดของสารเคลือบพื้นผิว	ฟุจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา (mm^3)	ฟุจิ ทุ แอลซี (mm^3)
ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว	0.212 ± 0.219	0.208 ± 0.284
ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล	0.009 ± 0.014	0.107 ± 0.184
ทีธเมท เอฟ วัน	0.005 ± 0.007	0.046 ± 0.086
พิทแอนดพีชเชอร์ ซีลแลนท์	0.005 ± 0.006	0.059 ± 0.115

**ภาพการวิเคราะห์การรั่วซึมด้วยการแพร่ผ่านของสารสีเวอร์ไนเตรตภายใต้
เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร(Micro-Computed Tomography)**

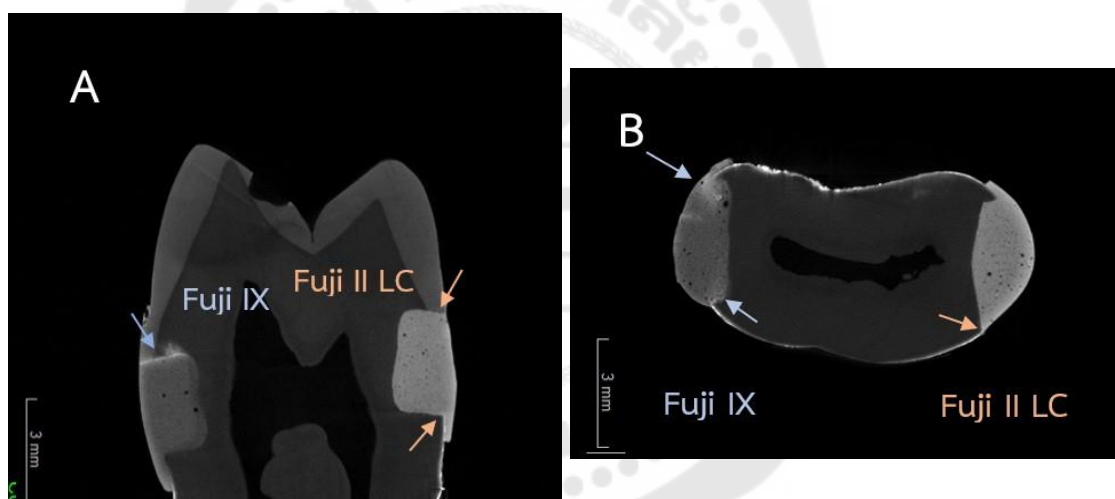
การวิเคราะห์การรั่วซึมด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เป็นการส่ง
ชิ้นงานโดยทำให้ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย และทำให้ได้ภาพแบบ 3 มิติ (ภาพประกอบ 16)



ภาพประกอบ 16 แสดงภาพตัดชิ้นงาน 3 มิติภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

จากภาพชิ้นงานภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร พบสารซิลเวอร์ในเตรตสามารถแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้มากที่สุดในกลุ่มที่ไม่ทำสารเคลือบฟันผิว ทั้งในกลุ่มวัสดุฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา และกลุ่มฟูจิ ทุ แอลซี

ในกลุ่มวัสดุฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา พบสารซิลเวอร์ในเตรต สามารถแพร่ผ่านจากรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟัน(enamel) เข้าไปในชั้นเนื้อฟัน(dentine) และผ่านเข้าไปถึงผิวด้านในของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อีกด้วย(ภาพประกอบ17) ส่วนในกลุ่มฟูจิ ทุ แอลซี พบสารซิลเวอร์ในเตรต สามารถแพร่ผ่านจากรอยต่อของวัสดุกับโพรงฟัน เข้าไปในชั้นเคลือบฟัน ไปจนถึงรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (Dentinoenamel junction) โดยพบการรั่วซึมทางขอบด้านบดเคี้ยว (Occlusal margin) มากกว่าขอบด้านเหงือก (Gingival margin) (ภาพประกอบ17)



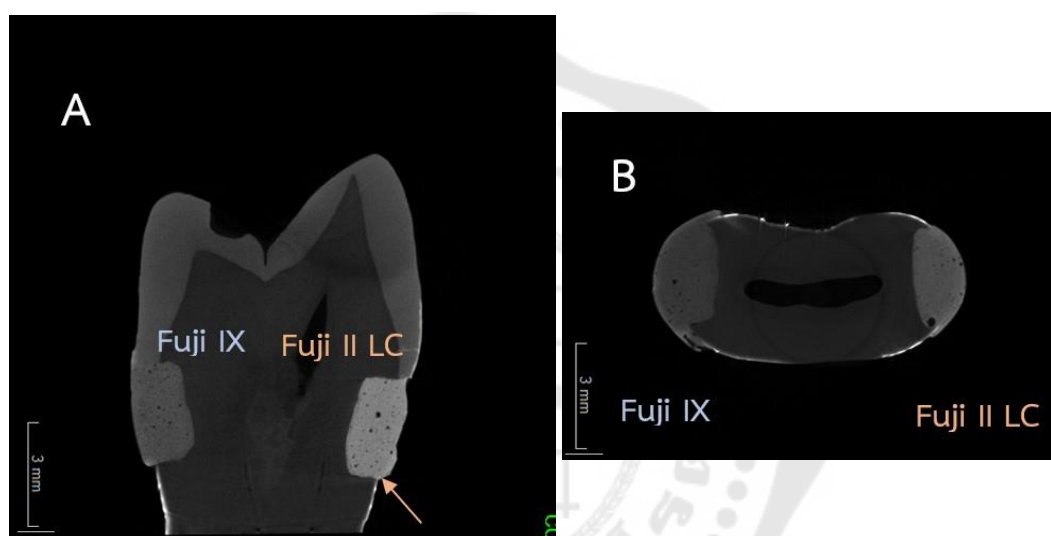
ภาพประกอบ 17 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และไม่ได้ทำสารเคลือบฟันผิวหลัง

การบูรณะ บริเวณที่ถูกครีซคือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ในเตรต

(A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane)

(B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

กลุ่มที่พบสารซิลเวอร์ในเตรต สามารถแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุ
 กلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ รองลงมาจากกลุ่มที่ไม่ได้ทำสารเคลือบพื้นผิว คือ กลุ่มที่ทำสารเคลือบ
 พื้นผิวด้วยสารยึดยึด ซึ่งเกิด บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ในกลุ่มฟูจิ ทุ แอลซี พบการแพร่ผ่านบริเวณ
 รอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุ แต่ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ในเตรตในกลุ่ม
 วัสดุฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา ที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดยึด ซึ่งเกิด บอนด์ ยูนิเวอร์แซล
 (ภาพประกอบ 18)



ภาพประกอบ 18 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ในเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์
 ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทำสารเคลือบพื้นผิว

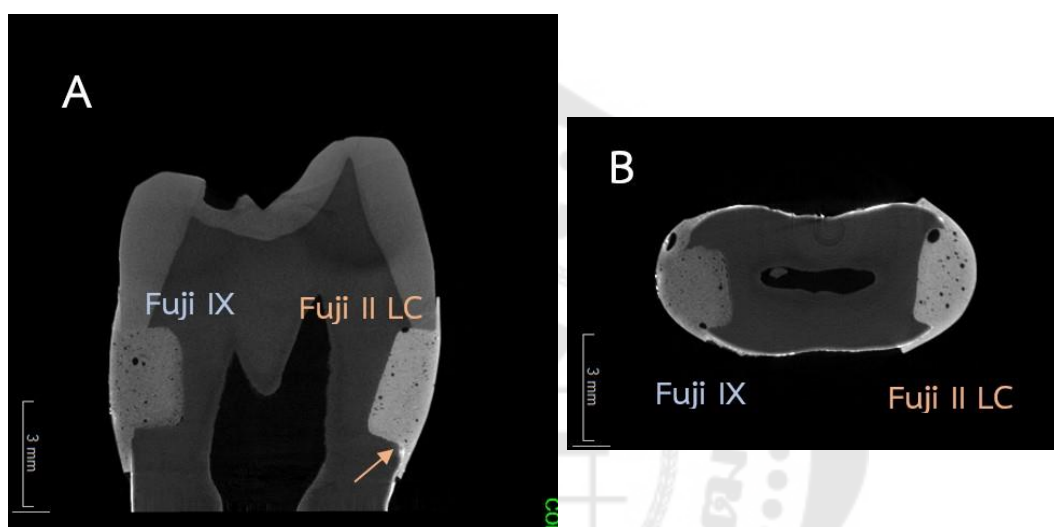
หลังการบูรณะด้วยสารยึดยึด ซึ่งเกิด บอนด์ ยูนิเวอร์แซล

บริเวณที่ลูกศรชี้คือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ในเตรต

(A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane)

(B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

กลุ่มที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพีชเชอร์ ซีลแลนท์ พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตเพียงเล็กน้อยในกลุ่มฟูจิ ทุ แอลซี ที่บริเวณรอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุ แต่ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตในกลุ่มวัสดุฟูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา ที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพีชเชอร์ ซีลแลนท์ (ภาพประกอบ 19)



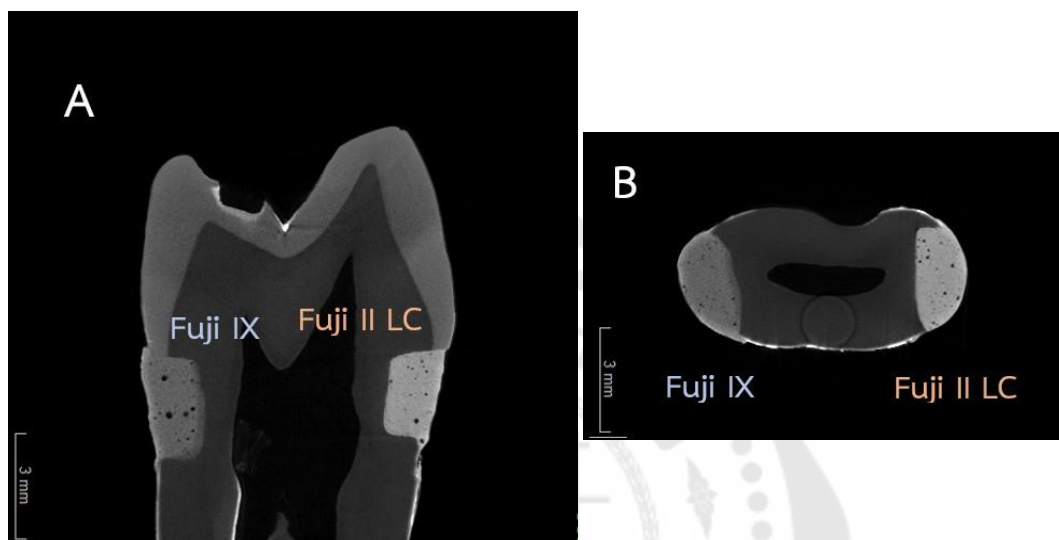
ภาพประกอบ 19 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอรืระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทำสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพีชเชอร์ ซีลแลนท์

บริเวณที่ลูกศรชี้คือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ไนเตรต

(A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane)

(B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิวด้วยสาร จี โค้ท พลัส ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรต (ภาพประกอบ 20) ทั้งในกลุ่มวัสดุฟูลิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา และกลุ่มฟูลิ ทุ แอลซี

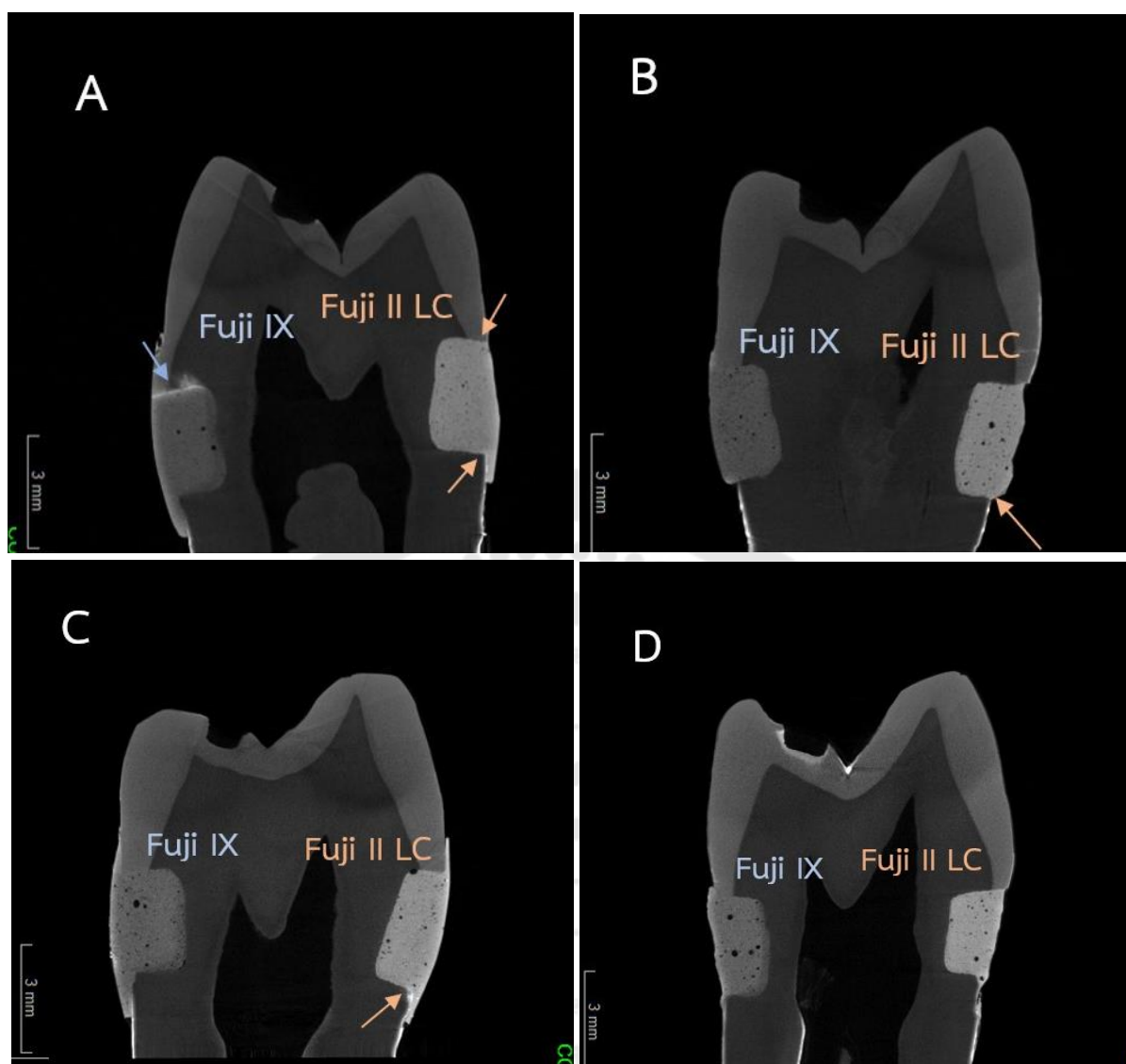


ภาพประกอบ 20 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิว

หลังการบูรณะด้วยสาร จี โค้ท พลัส

(A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane)

(B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)



ภาพประกอบ 21 แสดงการเปรียบเทียบการแพร่ผ่านของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์
คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
และทาสารเคลือบฟันผิวหลังการบูรณะด้วยสารเคลือบฟันชนิดต่างๆ

(A) กลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบฟันผิว

(B) ทาสารเคลือบฟันผิวด้วยสารยึดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล

(C) ทาสารเคลือบฟันผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน ฟิทแอนด์ฟิชเชอร์ ซิลแลนท์

(D) ทาสารเคลือบฟันผิวด้วยสาร จี ไคท์ พลัส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การทาสารเคลือบพื้นผิวแตกต่างกัน 3 ชนิด หลังการบ่มด้วยวัสดุกระจกไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง พูจิ นาย จีพี เอ็กซ์ตรา ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของวัสดุ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า วัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว มีค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าและมีการร้าวร้าวที่มากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ แต่การทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพิชเชอร์ ซิลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี โคท พลัส ทำให้วัสดุมีค่าการร้าวร้าวที่ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงควรทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบ่ม โดยเฉพาะใน 24 ชั่วโมงแรกที่วัสดุยังมีการก่อตัวที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้วัสดุไม่ถูกรบกวนจากความชื้น^(4, 5) และมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นได้

การทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบ่มด้วยวัสดุเรซินมอดิฟายด์กระจกไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด พูจิ ฟู แอลซี ด้วยสารต่างชนิดกัน ส่งผลกระทบต่อ ความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยการทาสารเคลือบพื้นผิว จี โคท พลัส และสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด พิชเชอร์ ซิลแลนท์ ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงที่มากกว่าวัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว แต่ในกลุ่มวัสดุที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยัดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ส่งผลให้วัสดุมีค่าความแข็งแรง ไม่แตกต่างกับวัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของการร้าวร้าวพบว่า การทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อการร้าวร้าวไม่แตกต่างกันและไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิวอีกด้วย ดังนั้นจากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ควรทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบ่มด้วยวัสดุ เรซินมอดิฟายด์กระจกไฮโอโนเมอร์ ด้วยสารเคลือบพื้นผิว จี โคท พลัส และ สารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด พิชเชอร์ ซิลแลนท์ จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กระจกไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ เพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ ให้วัสดุมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นจึงเป็นแนวทางให้ทันตแพทย์ เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้สารเคลือบพื้นผิวหลังการบ่ม ซึ่งเป็นสารที่ใช้งานง่ายและมีอยู่แล้วในคลินิกทันตกรรม

อภิปรายผลการวิจัย

รอยโรคบริเวณคอฟฟัน เป็นรอยโรคที่มีพบได้มากขึ้นตามอายุ โดยเป็นรอยโรคที่พบมากในช่วงวัยกลางคน⁽³²⁾ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของรอยโรคที่แตกต่างจากบริเวณอื่น คือ มีการประกอปกกันของเนื้อฟัน(Dentine)และเคลือบรากฟัน(Cementum) ใกล้กับเนื้อเยื่อขอบเหงือก ทำให้การบูรณะบริเวณคอฟฟัน มีความเสี่ยงของการเกิดการรั่วซึม และเกิดอาการเสียวฟันหลังการบูรณะได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากเนื้อฟันมีการสะสมของแร่ธาตุที่มากกว่าปกติ⁽³²⁾ จึงทำให้สารยึดติดมีประสิทธิภาพลดลง และยังเป็นบริเวณที่ยากต่อการควบคุมความชื้นในระหว่างขั้นตอนการบูรณะ อายุการใช้งานของวัสดุและความแนบสนิทของวัสดุกับโพรงฟัน จึงเป็นเรื่องยากสำหรับการบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟฟัน

วัสดุที่เป็นทางเลือกในการบูรณะคือ การบูรณะด้วย เรซินคอมโพสิต และวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ได้ถูกนำมาใช้บูรณะบริเวณคอฟฟันเนื่องจากวัสดุสามารถยึดติดกับเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ โดยไม่ต้องใช้สารยึดติดร่วมด้วย สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ มีสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี และยังมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนใกล้เคียงกับเนื้อฟันอีกด้วย นอกจากนี้ การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ได้มีการแนะนำให้กรอบริเวณขอบเคลือบฟัน(beveled enamel margin)ก่อนการบูรณะ แต่การบูรณะด้วยกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่มีความจำเป็นต้องกรอขอบเคลือบฟันออก จึงช่วยลดการสูญเสียโครงสร้างของฟันได้มากกว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต⁽³²⁾ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุที่เป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาใช้บูรณะบริเวณคอฟฟัน

กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional glass ionomer cement) มีข้อจำกัดคือ มีความไวต่อการได้รับน้ำและการสูญเสียน้ำ ในช่วงเริ่มต้นที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งต้องใช้เวลาในการ ก่อตัว 24 ชั่วโมงหลังจากผสมวัสดุ⁽⁴⁾ ดังนั้น หากวัสดุได้รับน้ำหลังการบูรณะ โดยยังก่อตัวไม่สมบูรณ์ จะส่งผลต่อสมดุลของน้ำ (Water balance) และรบกวนการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัว ทำให้วัสดุเกิดการสีกกร่อนและมีการดูดซึมน้ำ ส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุแยกลง ทั้งในด้านความโปร่งแสง ความแข็งแรงและประสิทธิภาพทางคลินิก จึงมีวัสดุกลุ่มกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงเกิดขึ้น เพื่อลดระยะเวลาการก่อตัว ให้แข็งตัวเร็วขึ้น และมีความคงทนทางกายภาพ ที่ดีขึ้นจากเดิม แต่อย่างไรก็ตาม วัสดุในกลุ่มนี้ก็ยังคงก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด-เบส เช่นเดียวกับวัสดุชนิดดั้งเดิม จึงยังคงมีความไวต่อน้ำในช่วงแรกของการก่อตัวเช่นกัน

หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนากระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ขึ้น เพื่อลดปัญหาความไวต่อน้ำและความแข็งแรงของวัสดุในช่วงแรกของการก่อตัว แต่ยังคงคุณสมบัติด้านการยึดติดกับเนื้อฟัน

ได้ดี และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไว้ได้ เกิดเป็นวัสดุชนิดใหม่คือ เรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ วัสดุชนิดนี้ จะมีการก่อตัวจากสองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยากัดเบส และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถก่อตัวได้เร็วขึ้น สามารถขัดแต่งได้ทันทีหลังจากการบ่ม⁽⁶⁾ จึงมีการปรับลดขั้นตอนในการใช้งาน คือ ไม่มีการใช้สารเคลือบพื้นผิวหลังการบ่ม

การศึกษานี้ มีศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุ และการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้งชนิดความหนืดสูงและเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ บริเวณคอฟันในฟันธรรมชาติของมนุษย์ โดยทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาค (Microhardness tester) และประเมินการรั่วซึมของวัสดุจากการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเดรต ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro Computed Tomography or Micro CT Scan) หลังผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น

ผลการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในการศึกษานี้ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุที่ทดสอบได้ มีค่าสูงกว่าในการศึกษาอื่นๆ^(7, 33-36) เนื่องจากมีความแตกต่างด้านระยะเวลาในการแช่ชิ้นงาน สารที่ใช้ในการแช่ชิ้นงาน แรงและระยะเวลาที่ใช้การทดสอบความแข็งแรง โดยการศึกษานี้ แช่ชิ้นงานในสารละลายกรดสลับเบส และแช่ในน้ำอุณหภูมิร้อนสลับเย็น เป็นเวลารวม 4 สัปดาห์ จึงนำมาทดสอบความแข็งแรงที่แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด ความหนืดสูงและเรซินมอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เท่ากับ 74.50 ± 14.05 และ 71.41 ± 2.46 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทดลองของการศึกษาอื่นๆ เช่น การศึกษา⁽³⁴⁾ ของ Bala และคณะ ในปี 2012 ที่มีการแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง จึงนำมาทดสอบความแข็งแรงที่แรงกด 200 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและเรซินโมดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เท่ากับ 26.37 ± 4.4 และ 42.28 ± 1.82 ตามลำดับ ด้วยระยะเวลาในการแช่ชิ้นงานและแรงกดที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงที่น้อยกว่าที่ได้จากการศึกษานี้ เนื่องจากมีการศึกษา⁽³⁵⁾ ของ Barbosa และคณะ ในปี 2016 ที่พบว่า ค่าความแข็งแรงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงหลังก่อตัว 24 ชั่วโมง และ 7 วัน และมีการศึกษา⁽³⁶⁾ ของ Bagheri และคณะ ในปี 2013 ที่พบว่า การนำวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ทาสารเคลือบพื้นผิวหลังบ่มแช่ในน้ำกลั่น เมื่อทดสอบความแข็งแรงมีค่าลดลงเมื่อทดสอบที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 8 สัปดาห์ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบที่เวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งในการศึกษานี้ ผู้วิจัยทำการจำลองกรดเบสและอุณหภูมิร้อนเย็น เป็นเวลา

ประมาณ 4 สัปดาห์และนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จึงทำให้มีค่าสูงกว่าการศึกษาอื่นๆก่อนหน้านี้

นอกจากนี้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษานี้ คือ Fuji IX GP EXTRA ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับการพัฒนา ให้มีความหนืดสูง (High viscosity glass ionomer cement) มีความแข็งแรงมากขึ้น ทนต่อการสึกกร่อน⁽¹⁾ สามารถนำมาบูรณะทั้งในด้านคอฟัน ด้านบดเคี้ยวและด้านประชิดของฟันได้ ซึ่งในการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Bala และคณะ ในปี 2012⁽³⁴⁾ และ Bagheri และคณะ ในปี 2013⁽³⁶⁾ มีการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX ในการทดลอง ซึ่งเป็นวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ได้ค่าความแข็งแรงเท่ากับ 26.37 ± 4.4 และ 11.8 ± 0.7 ตามลำดับ ให้ค่าต่ำกว่าการศึกษานี้ที่ใช้วัสดุกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่มีความหนืดสูง ในขณะการศึกษา⁽³⁵⁾ ของ Barbosa และคณะ ในปี 2016 ใช้วัสดุ Gold Label 9 และการศึกษา⁽³³⁾ ของ Al-tee และคณะ ในปี 2020 ใช้วัสดุ Fuji IX GP EXTRA ในการทดลอง ได้ค่าความแข็งแรงเท่ากับ 68.21 ± 4.37 และ 63.9 ± 4.5 ตามลำดับ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ตัวนี้ ให้ค่าความแข็งแรงที่สูงและใกล้เคียงกับการศึกษานี้มากที่สุด (74.50 ± 14.05) เนื่องจากเป็นวัสดุกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงเช่นเดียวกับการศึกษานี้

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ในกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด ซึ่งเกิด บอนด์ ยูนิเวอร์แซล สารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด์พีชเชอร์ ซิลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี ไคท์ พลัส พบว่า วัสดุมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆก่อนหน้านี้^(4-6, 37) ที่พบว่า การทาสารเคลือบพื้นผิว ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงมีคำแนะนำให้ทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ (Surface coating agents) เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในช่วง 24 ชั่วโมงแรกที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่เต็มที่⁽⁶⁾ แต่ในการศึกษานี้ พบว่า การใช้สารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกันคือ สารยึดติด สารเคลือบหลุมร่องฟัน และสารเคลือบพื้นผิวนาโนฟิลด์ ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในการศึกษาก่อนหน้านี้ ยังไม่มีการศึกษาใดเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟันกับสารชนิดอื่นๆ

จากการทดสอบความแข็งแรงระดับจุลภาคของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือฟูจิ ๗ แอลซี หลังทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนด์พีชเชอร์ ซิลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี ไคท์ พลัส ส่งผลต่อ ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของวัสดุเรซินมอดิฟายด์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำให้วัสดุมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทำสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึติดิด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ให้ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรง ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้ทำสารเคลือบพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสาร จี ไคท์ พลัส มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุมากที่สุด และมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึติดิด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ซึ่งผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับการศึกษา⁽⁷⁾ ของ Klaisiri และคณะในปี 2018 ทำการศึกษาผลของสารเคลือบพื้นผิวต่างชนิดกันต่อความแข็งแรงของเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่า กลุ่มวัสดุที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึติดิดซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ทำสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึติดิดและสารเคลือบพื้นผิวเรซินชนิดอื่นๆ เนื่องจากสารยึติดิด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล มีส่วนประกอบหลักเป็นเรซินโมโนเมอร์ที่มีความชอบน้ำ (Highly hydrophilic resin monomer) นั่นคือสาร HEMA (Hydroxyethylmethacrylate) การที่สารยึติดิดมีคุณสมบัติชอบน้ำ จะทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้น การทำสารยึติดิดที่มีความชอบน้ำ เป็นเพียงแค่การยึดระยะเวลาในการซึมผ่านของน้ำเท่านั้น ไม่ได้เป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้ามาในวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์^(7, 38) นอกจากนี้สารยึติดิด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ยังมีส่วนของตัวทำละลายที่มีความชอบน้ำผสมอยู่ด้วย เมื่อนำมาใช้งานเป็นสารยึติดิด จึงมีการแนะนำให้ทาแล้วเป่าลมเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไป แล้วจึงทำการฉายแสง หากมีการศึกษาที่นำสารยึติดิดชนิดนี้ มาทำการทดลองเป็นสารเคลือบพื้นผิว อาจทำการเป่าลมร่วมด้วย อาจให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไป จึงควรทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

สารเคลือบพื้นผิวชนิดอื่นๆที่นำมาใช้ในการศึกษา⁽⁷⁾ ของ Klaisiri และคณะในปี 2018 แล้วทำให้วัสดุมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น คือ สารที่มีส่วนประกอบหลักเป็นโมโนเมอร์ที่มีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic monomer) เช่น Methylmethacrylate, Bis-GMA(A-diglycidylether bisphenol dimethacrylate) หรือเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity) ทำให้ไหลแผ่บนผิววัสดุได้ดี เติมเต็มฟองอากาศบนพื้นผิวและป้องกันการแทรกซึมของน้ำจากภายนอกได้

สารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิธแอนดพิชเชอร์ ซิลแลนท์ เป็นสารเคลือบหลุมร่องฟันชนิดไม่มีฟิลเลอร์ (Unfilled resin sealant) มีความหนืดต่ำจึงทำให้สามารถไหลแผ่ได้ดี^(12, 39)

สารเคลือบพื้นผิว จี ไคท์ พลัส เป็นสารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์ (Nano-filled coating) มีส่วนประกอบหลักคือ สาร Methyl methacrylate และการกระจายตัวของนาโนฟิลเลอร์

จะช่วยปกป้องผิวชั้นนอกของวัสดุจากการสึกกร่อน สามารถช่วยปกป้องเรซิน มอดิฟายด์กลาส ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จากความไม่สมดุลของน้ำได้(water imbalance)⁽⁷⁾

จากการศึกษา⁽³⁹⁾ของ Hepdeniz และคณะ ในปี 2016 พบว่า สารที่นำมาใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิวได้ดี ควรมีความหนืดต่ำ มีมุมสัมผัสผิวน้อย(low contact angle) วัสดุที่เคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์จะมีการรั่วซึมที่น้อยกว่าสารเคลือบพื้นผิวชนิดไมโครฟิลด์(microfilled surface sealant) และกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการผนึกสูงที่สุด คือ สารเคลือบพื้นผิวชนิดไม่มีฟิลเลอร์ หรือชนิดนาโนฟิลด์ (Unfilled or Nanofilled surface sealant) จะสามารถแทรกซึมพื้นผิวได้ดีที่สุด

เนื่องจากสารทั้งสองชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ สารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพิชเชอร์ ซีลแลนท์ และสารเคลือบพื้นผิว จี โคท พลัส มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆ^(7, 12, 39) ดังที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ จึงทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ

การถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เป็นวิธีที่เราสามารถวิเคราะห์ภาพได้เป็น 3 มิติ สามารถเปรียบเทียบความแนบสนิทด้านในระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุได้^(40, 41) มีข้อดีคือ ให้ภาพที่มีคุณภาพสูง แม้ชิ้นงานจะมีขนาดเล็ก หรือมีรูปร่างที่ซับซ้อน โดยไม่ต้องผ่านการเตรียมชิ้นงานที่อาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย⁽²⁹⁾ มีการใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ตัดภาพแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์(human error)ได้⁽⁴²⁾ ในการศึกษานี้ มีการนำเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร(Bruker SkyScan 1173) มาใช้เพื่อส่องดูการแพร่ผ่านของสาร 50% ซิลเวอร์ไนเตรต ที่เกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟัน เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมของวัสดุเมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ พบว่า ในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว มีการแพร่ผ่านของสารเข้าไปยังรอยต่อระหว่างวัสดุและโพรงฟันได้มากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด อย่างชัดเจน และกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด พบว่า สารซิลเวอร์ไนเตรต ไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปยังรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ที่พบว่า วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว จะมีการรั่วซึมมากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ^(6, 8, 9, 12, 22) และเมื่อนำค่าการรั่วซึมของวัสดุ มาวิเคราะห์ด้วยสถิติ พบว่า ค่าการรั่วซึมของวัสดุที่ทำด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิตแอนดพิชเชอร์ ซีลแลนท์ และ

สารเคลือบฟันผิว จี ไคท์ พลัส ต่ำกว่าวัสดุที่ไม่ทำสารเคลือบฟันผิวอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กลุ่มที่ทำด้วยสารยึดติดซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ให้ค่าการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ทำสารเคลือบฟันผิว ซึ่งสอดคล้องข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่า สารยึดติดซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล มีส่วนประกอบของโมโนเมอร์ที่มีความชอบน้ำ หรือ HEMA จึงมีคุณสมบัติดูดน้ำเข้าสู่วัสดุได้^(7, 38) จึงไม่สามารถช่วยลดการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้

ผลการศึกษาการรั่วซึมของของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อทำสารเคลือบฟันผิวชนิดต่างๆ ภายใต้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอรืระดับไมโครเมตร พบว่า วัสดุกลุ่มที่ไม่ได้ทำสารเคลือบฟันผิว มีการแพร่ผ่านของสารเข้าไปยังรอยต่อระหว่างวัสดุและโพรงฟันได้มากกว่ากลุ่มที่ทำสารเคลือบฟันผิวทั้ง 3 ชนิด อย่างชัดเจน โดยมีการแพร่เข้าไปในชั้นเคลือบฟันไปจนถึงรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (Dentinoenamel junction) ซึ่งการรั่วซึมของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ทำสารเคลือบฟันผิว พบการรั่วซึมที่น้อยกว่ากลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทำสารเคลือบฟันผิว เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้^(1, 43, 44) เนื่องจากเมื่อวัสดุได้รับการฉายแสงแล้วเกิดการก่อตัวในช่วงแรก แต่เมื่อน้ำซึมเข้าสู่วัสดุ จะทำให้มีการละลายของไอออน และเกิดปฏิกิริยากรด-เบสไม่สมบูรณ์ตามมา เกิดการรั่วซึมที่มากขึ้นตามมาได้⁽⁴⁵⁾

ตำแหน่งที่มักพบการรั่วซึมจากหลายการศึกษา^(12, 18, 40) ให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ ผลการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มักพบที่ขอบด้านเหงือกมากกว่าขอบด้านบดเคี้ยว แต่ในการศึกษานี้ พบการรั่วซึมที่ขอบด้านบดเคี้ยว (Occlusal margin) มากกว่าขอบด้านเหงือก (Gingival margin) อาจเกิดจากวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อเริ่มเกิดการก่อตัวจากการฉายแสง วัสดุจะเริ่มมีความเครียดมากขึ้นและเกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ขอบทางด้านเหงือก เป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเนื้อฟันและผิวเคลือบฟัน ซึ่งมีช่องเหลวไหลออกจากท่อเนื้อฟันได้ เมื่อวัสดุอุดซีเมนต์ของเหลวจะทำให้วัสดุเกิดการขยายตัว และลดความเครียดของวัสดุลงได้ ช่วยชดเชยช่องว่างที่เกิดจากการหดตัว⁽⁸⁾ จึงทำให้เกิดการรั่วซึมที่น้อยลงที่ขอบด้านเหงือก

เมื่อทำสารเคลือบฟันผิวบนวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน ทีธเมท เอฟ วัน พิทแอนด์ ฟิชเชอร์ ซิลแลนท์ และการทำสารเคลือบฟันผิวด้วยสารยึดติด ซิงเกิล บอนด์ ยูนิเวอร์แซล ยังคงพบการรั่วซึมของสารซิลเวอร์ไนเตรตที่บริเวณรอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุได้ เมื่อนำค่าการรั่วซึมของวัสดุ เมื่อทำด้วยสารเคลือบฟันผิวทั้ง 3 ชนิด มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อทำสารเคลือบฟันผิวทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าการรั่วซึมของวัสดุที่ไม่มี

ความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ และค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้ทำสารเคลือบพื้นผิวอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา⁽⁴⁵⁾ ของ Jevnikar และคณะ ในปี 2000 ทำการทดลองเพื่อดูการดูดซึมน้ำของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังทำสารเคลือบพื้นผิว เมื่อเวลาผ่านไป พบว่า การทำสารเคลือบพื้นผิวบนวัสดุ จะช่วยป้องกันการสัมผัสน้ำจากภายนอกได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป สามารถพบของเหลวไหลออกมาจากเนื้อฟันเข้าสู่วัสดุ เนื่องจากวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีสาร HEMA เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและทำให้วัสดุสามารถเกิดการดูดซึมน้ำจากเนื้อฟัน เกิดการรั่วซึมของน้ำเข้ามาในเนื้อวัสดุได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรทำสารเคลือบพื้นผิวในช่วงแรกของการก่อตัว แม้วัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมีการก่อตัวทันทีเมื่อได้รับการฉายแสงแต่หากสัมผัสความชื้นในช่วงแรก อาจเกิดการรบกวนปฏิกิริยากรด-เบสที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้เวลาหลายชั่วโมงจึงก่อตัวสมบูรณ์ ทำให้วัสดุเกิดรูพรุนและมีคุณสมบัติที่แย่ลงได้

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการอาจไม่สามารถจำลองสภาวะการใช้งานจริงในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ และการศึกษานี้ได้มีการนำถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตรมาวิเคราะห์การรั่วซึมของวัสดุ ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถตัดภาพวิเคราะห์ดูการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ได้ทั้ง 3 มิติโดยไม่ต้องตัดแบ่งชิ้นงาน มีความละเอียดมากกว่าวิธีการวิเคราะห์การรั่วซึมด้วยสีย้อม (Dye penetration) ซึ่งวิเคราะห์ได้เพียง 2 มิติ แต่มีข้อจำกัดคือ มีราคาสูง จึงทำให้ประเมินชิ้นงานได้ในจำนวนที่จำกัด และเนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรตมีการกระเจิงแสง ทำให้ภาพที่ได้มีขอบเขตไม่ชัดเจน มีการอ่านผลวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในอนาคตจึงควรเพิ่มกลุ่มตัวอย่างให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่อให้วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาตรของสารซิลเวอร์ไนเตรตในแต่ละกลุ่มทดลองได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ หากมีการนำสารยึดยึด ชิงเกลบอน ยูนิเวอร์แซล มาเป็นสารเคลือบพื้นผิว อาจมีการเป่าลมร่วมด้วย เช่นเดียวกับการใช้งานในรูปแบบของสารยึดยึด อาจให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไป ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

1. Diem VTK, Tyas MJ, Ngo HC, Phuong LH, Khanh ND. The effect of a nano-filled resin coating on the 3-year clinical performance of a conventional high-viscosity glass-ionomer cement. *Clinical Oral Investigations*. 2014;18(3):753-9.
2. Ronald S. JF, John P. . Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2019.
3. Sidhu SK, Nicholson JW. A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *Journal of functional biomaterials*. 2016;7(3):16.
4. Wang X, Yap AUJ, Ngo H. Effect of early water exposure on the strength of glass ionomer restoratives. *Operative Dentistry*. 2006;31(5):584-9.
5. Nicholson JW. Maturation processes in glass-ionomer dental cements. *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*. 2018;4(1):63-71.
6. Karaoglanoglu S, AKGÜL N, ÖZDABAK HN, AKGÜL HM. Effectiveness of surface protection for glass-ionomer, resin-modified glass-ionomer and polyacid-modified composite resins. *Dental materials journal*. 2009;28(1):96-101.
7. Klaisiri A, Krajangta N, Yang L. Effect of different surface protection materials on microhardness of a resin-modified glass-ionomer cement. *Songklanakarin Dent J*. 2018;Vol.6 No.2 12-9.
8. Feilzer AJ, Kakaboura AI, de Gee AJ, Davidson CL. The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dental Materials*. 1995;11(3):186-90.
9. Ninawe N, Nayak UA, Nagar P, Khandelwal V, Jain S, Gupta AS. A comparative evaluation of microleakage of glass ionomer restoration with different surface protectors-an in-vitro study. *Dental Journal of Advance Studies*. 2014;2(02):105-8.
10. Soliman TA, Othman MS. Mechanical properties of the new Ketac™ Universal glass ionomer restorative material : effect of resin coating *Egyptian Dental Journal*. 2017;63(1-January (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)):1027-35.

11. Meral E, Baseren N. Shear bond strength and microleakage of novel glass-ionomer cements: An In vitro Study. *Nigerian journal of clinical practice*. 2019;22(4):566.
12. Ebaya MM, Mahmoud AIASH. Evaluation of Marginal Adaptation and Microleakage of Three Glass Ionomer-Based Class V Restorations: In Vitro Study. *European Journal of Dentistry*. 2019;13(4):599-606.
13. Prentice LH, Tyas MJ, Burrow MF. The effect of mixing time on the handling and compressive strength of an encapsulated glass-ionomer cement. *Dental Materials*. 2005;21(8):704-8.
14. Almuhaiza M. Glass-ionomer cements in restorative dentistry: a critical appraisal. *J Contemp Dent Pract*. 2016;17(4):331-6.
15. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dental research journal*. 2013;10(4):411.
16. Park EY, Kang S. Current aspects and prospects of glass ionomer cements for clinical dentistry. *Yeungnam University Journal of Medicine*. 2020;37(3):169.
17. Sidhu S, Sherriff M, Watson T. The effects of maturity and dehydration shrinkage on resin-modified glass-ionomer restorations. *Journal of dental research*. 1997;76(8):1495-501.
18. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL. Effect of surface treatments on the bond strength of glass ionomers to enamel. *Dental materials*. 2002;18(6):454-62.
19. Kilpatrick N, McCabe J, Murray J. Factors that influence the setting characteristics of encapsulated glass ionomer cements. *Journal of Dentistry*. 1994;22(3):182-7.
20. Naasan M, Watson T. Conventional glass ionomers as posterior restorations. A status report for the American Journal of Dentistry. *American Journal of Dentistry*. 1998;11(1):36-45.
21. Gemalmaz D, Yoruc B, Ozcan M, Alkumru HN. Effect of early water contact on solubility of glass ionomer luting cements. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1998;80(4):474-8.
22. Bayrak S, Sen Tunc E, Tuloglu N, Ceylan G. Effects of self-etch adhesives used as surface coating agents on microleakage of conventional and resin modified glass ionomer

cements. *Materials Research Innovations*. 2011;15(1):53-7.

23. M.S. Kher AR. Contemporary Treatment Techniques in Pediatric Dentistry.

2019(Resin and Glass Ionomer-Based Pit and Fissure Sealants):175-88.

24. Silva KG, Pedrini D, Delbem ACB, Cannon M. Effect of pH variations in a cycling model on the properties of restorative materials. *Operative Dentistry*. 2007;32(4):328-35.

25. Honório H, Rios D, Francisconi L, Magalhães A, Machado M, Buzalaf M. Effect of prolonged erosive pH cycling on different restorative materials. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2008;35(12):947-53.

26. Creanor S, Awawdeh L, Saunders W, Foye R, Gilmour W. The effect of a resin-modified glass ionomer restorative material on artificially demineralised dentine caries in vitro. *Journal of dentistry*. 1998;26(5-6):527-31.

27. Nguyen C. A new in vitro method for the study of micro-leakage of dental restorative materials: The university of Adelaide Australia; 2007.

28. Vohra F, Altwaim M, Alshuwaier AS, Alomayri A, Al Deeb M, AlFawaz YF, et al. Bond integrity and microleakage of dentin-bonded crowns cemented with bioactive cement in comparison to resin cements: in vitro study. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*. 2020;18.

29. Charoenkit M, Pumpaluk P. A micro-computed tomography study of internal gap with and without resinmodified glass-ionomer cement liner under occlusal resin composite restoration. *Mahidol Dental Journal*. 2020;40(2):159-64.

30. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*. 2009;1(4):177-88.

31. Mukai Y, Lagerweij M, Ten Cate J. Effect of a solution with high fluoride concentration on remineralization of shallow and deep root surface caries in vitro. *Caries research*. 2001;35(5):317-24.

32. Francisconi LF, Scaffa PMC, Barros VRdSPd, Coutinho M, Francisconi PAS. Glass ionomer cements and their role in the restoration of non-carious cervical lesions. *Journal of Applied Oral Science*. 2009;17:364-9.

33. Al-Tae L, Deb S, Banerjee A. An in vitro assessment of the physical properties of

manually-mixed and encapsulated glass-ionomer cements. *BDJ open*. 2020;6(1):1-7.

34. Bala O, Arisu DH, Yikilgan I, Arslan S, Gullu A. Evaluation of surface roughness and hardness of different glass ionomer cements. *European journal of dentistry*. 2012;6(01):079-86.

35. Barbosa PRR, Lopes AR, Lima LMS, Lima MDM, de Sá Brandim A, Gonçalves AR. Surface hardness of glass ionomer cements used in atraumatic restorative treatment. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*. 2016;16(1):449-55.

36. Bagheri R, Taha N, Azar M, Burrow M. Effect of G-Coat Plus on the mechanical properties of glass-ionomer cements. *Australian dental journal*. 2013;58(4):448-53.

37. VG S. To evaluate the effect of surface coating on three different types glass ionomer restorations. *Biomedical and pharmacology journal*. 2015;8(October Spl Edition):445-9.

38. Silva SMdA, Carrilho MRdO, Marquezini Junior L, Garcia FCP, Manso AP, Alves MC, et al. Effect of an additional hydrophilic versus hydrophobic coat on the quality of dentinal sealing provided by two-step etch-and-rinse adhesives. *Journal of Applied Oral Science*. 2009;17:184-9.

39. Hepdeniz OK, Temel UB, Ugurlu M, Koskan O. The effect of surface sealants with different filler content on microleakage of Class V resin composite restorations. *European journal of dentistry*. 2016;10(02):163-9.

40. Zhao X, Li S, Gu L, Li Y. Detection of marginal leakage of class v restorations in vitro by micro-computed tomography. *Operative dentistry*. 2014;39(2):174-80.

41. El Ashiry EA, Alamoudi NM, Farsi NM, Al Tuwirqi AA, Attar MH, Alag HK, et al. The Use of Micro-Computed Tomography for Evaluation of Internal Adaptation of Dental Restorative Materials in Primary Molars: An In-Vitro Study. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. 2019;8(1).

42. Rizzante FA, Sedky RA, Furuse AY, Teich S, Ishikiriyama SK, Mendonça G. Validation of a method of quantifying 3D leakage in dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;123(6):839-44.

43. Singla T, Pandit I, Srivastava N, Gugnani N, Gupta M. An evaluation of

microleakage of various glass ionomer based restorative materials in deciduous and permanent teeth: An in vitro study. The Saudi dental journal. 2012;24(1):35-42.

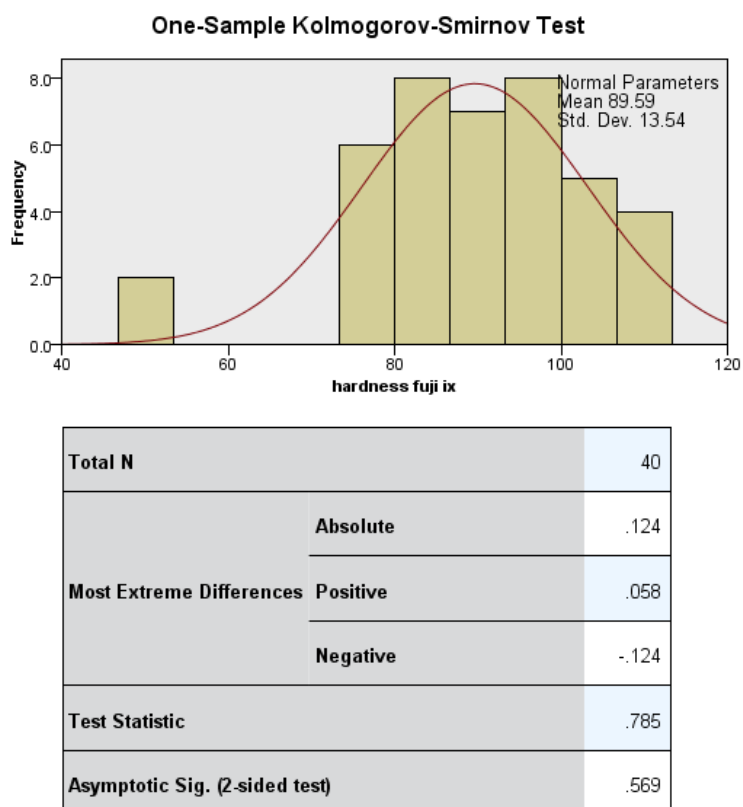
44. Rekha CV, Balagopal Varma J. Comparative evaluation of tensile bond strength and microleakage of conventional glass ionomer cement, resin modified glass ionomer cement and compomer: An in vitro study. Contemporary clinical dentistry. 2012;3(3):282.

45. Jevnikar P, Serša I, Sepe A, Jarh O, Funduk N. Effect of surface coating on water migration into resin-modified glass ionomer cements: A magnetic resonance micro-imaging study. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine. 2000;44(5):686-91.



ภาคผนวก





ภาพประกอบ 22 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลความแข็งผิวของวัสดุ
 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test

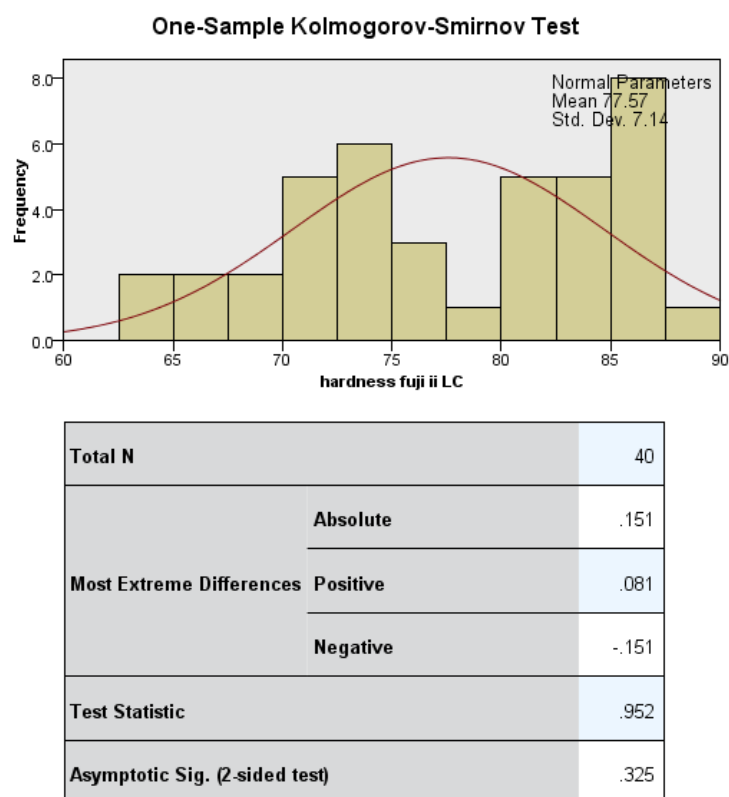
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวน
 ทางเดียว (One-way ANOVA) ในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	3059.622	3	1019.874	8.965	.000
Within Groups	4095.352	36	113.760		
Total	7154.974	39			

ตาราง 6 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนีส (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิวในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง

(I) surface coating agents	(J) surface coating agents	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Non-coated	Single bond universal	-20.14880 [*]	4.76990	.001	-33.4662	-6.8314
	Teethmate F-1 sealant	-19.11680 [*]	4.76990	.002	-32.4342	-5.7994
	G-coat plus	-21.12720 [*]	4.76990	.001	-34.4446	-7.8098
Single bond universal	Non-coated	20.14880 [*]	4.76990	.001	6.8314	33.4662
	Teethmate F-1 sealant	1.03200	4.76990	1.000	-12.2854	14.3494
	G-coat plus	-.97840	4.76990	1.000	-14.2958	12.3390
Teethmate F-1 sealant	Non-coated	19.11680 [*]	4.76990	.002	5.7994	32.4342
	Single bond universal	-1.03200	4.76990	1.000	-14.3494	12.2854
	G-coat plus	-2.01040	4.76990	1.000	-15.3278	11.3070
G-coat plus	Non-coated	21.12720 [*]	4.76990	.001	7.8098	34.4446
	Single bond universal	.97840	4.76990	1.000	-12.3390	14.2958
	Teethmate F-1 sealant	2.01040	4.76990	1.000	-11.3070	15.3278

The mean different is significant at the 0.05 level



ภาพประกอบ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลความแข็งผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test

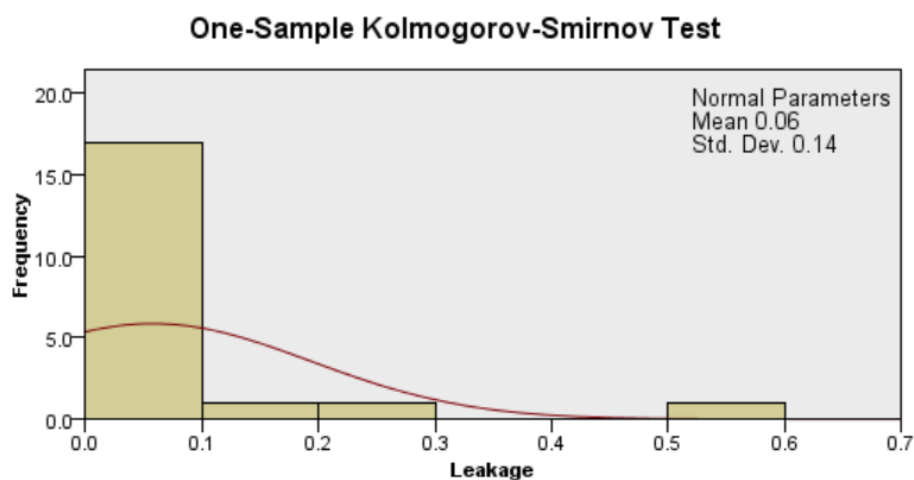
ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ในกลุ่มวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	876.745	3	292.248	9.475	.000
Within Groups	1110.42	36	30.846		
Total	1987.187	39			

ตาราง 8 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอเนเฟอโรนี (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิวในกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิต ฟอยล์ ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

(I) surface coating agents	(J) surface coating agents	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Non-coated	Single bond universal	-3.54590	2.48377	.972	-10.4805	3.3887
	Teethmate F-1 sealant	-9.05640*	2.48377	.005	-15.9910	-2.1218
	G-coat plus	-12.03420*	2.48377	.000	-18.9688	-5.0996
Single bond universal	Non-coated	3.54590	2.48377	.972	-3.3887	10.4805
	Teethmate F-1 sealant	-5.51050	2.48377	.197	-12.4451	1.4241
	G-coat plus	-8.48830*	2.48377	.009	-15.4229	-1.5537
Teethmate F-1 sealant	Non-coated	9.05640*	2.48377	.005	2.1218	15.9910
	Single bond universal	5.51050	2.48377	.197	-1.4241	12.4451
	G-coat plus	-2.97780	2.48377	1.000	-9.9124	3.9568
G-coat plus	Non-coated	12.03420*	2.48377	.000	5.0996	18.9688
	Single bond universal	8.48830*	2.48377	.009	1.5537	15.4229
	Teethmate F-1 sealant	2.97780	2.48377	1.000	-3.9568	9.9124

The mean different is significant at the 0.05 level



Total N		20
Most Extreme Differences	Absolute	.377
	Positive	.377
	Negative	-.336
Test Statistic		1.687
Asymptotic Sig. (2-sided test)		.007

ภาพประกอบ 24 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลการรั่วซึมของวัสดุ
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง ด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test

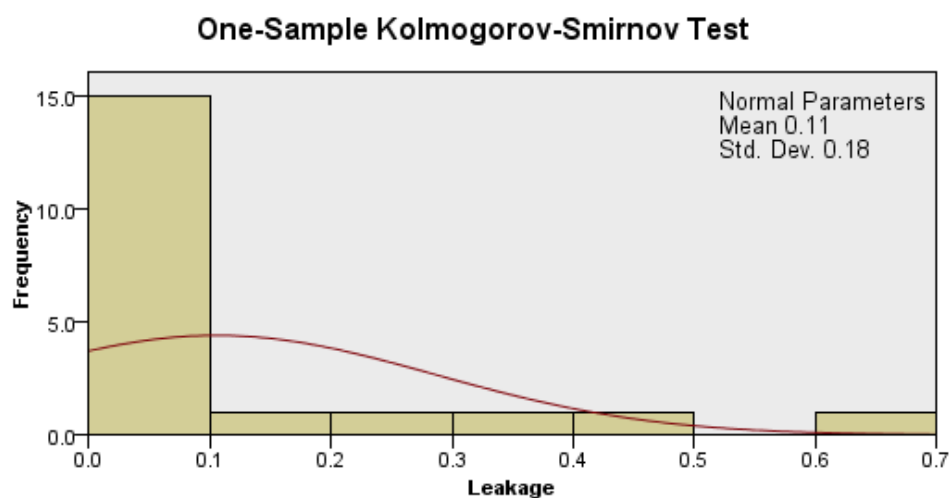
ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติ Kruskal-Wallis
ในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง

Total N	Test statistics	Degree of freedom	Asymptotic Sig.(2-side test)
20	10.481	3	.015

ตาราง 10 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบแบบจับคู่ (Pairwise Comparison) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบพื้นผิวในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
Teethmate F-1 sealant – G-coat plus	-.300	3.691	-.081	.935	1.000
Teethmate F-1 sealant – Single bond universal	.800	3.691	.217	.828	1.000
Teethmate F-1 sealant – Non-coated	10.100	3.691	2.737	.006	.037
G-coat plus – Single bond universal	.500	3.691	.135	.892	1.000
G-coat plus – Non-coated	9.800	3.691	2.655	.008	.048
Single bond un versal – Non-coated	9.300	3.691	2.520	.012	.070

The significant level is .05.



Total N		20
Most Extreme Differences	Absolute	.365
	Positive	.365
	Negative	-.280
Test Statistic		1.634
Asymptotic Sig. (2-sided test)		.010

ภาพประกอบ 25 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงความปกติของข้อมูลการรั่วซึมของวัสดุ
เรซินมอดิไฟด์ กลาสไฟเบอร์เรซินด้วยสถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov test

ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติ Kruskal-Wallis
ในกลุ่มวัสดุเรซินมอดิไฟด์ กลาสไฟเบอร์เรซิน

Total N	Test statistics	Degree of freedom	Asymptotic Sig.(2-side test)
20	4.135	3	.247

The multiple comparison are not performed because the overall test does not show significant
differences across sampl

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	มนต์ชนก จงบุญเจือ
วัน เดือน ปี เกิด	20 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2561 ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	4/29 ถนนพิศิษฐพยาบาล ตำบลท่าตะเภา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

