



ผลของวิธีทำความสะอาดน้ำยาห้ามเลือดต่อค่าแรงยึดติดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต

THE EFFECT OF CLEANSING METHODS OF HAEMOSTATIC AGENT TO SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN RESIN COMPOSITE AND LITHIUM DISILICATE CERAMIC

สิริรัตน์ มโนนิเวศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

ผลของวิธีทำความสะอาดน้ำยาห้ามเลือดต่อค่าแรงยึดติดเนื้อระหว่างเรซินซีเมนต์และ
เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE EFFECT OF CLEANSING METHODS OF HAEMOSTATIC AGENT TO
SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN RESIN COMPOSITE AND LITHIUM
DISILICATE CERAMIC



SIRIRAT MANOPINIVES

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF SCIENCE (Clinical Dentistry)
Faculty of Dentistry Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
ผลของวิธีทำความสะอาดน้ำยาห้ามเลือดต่อค่าแรงยึดติดเนื้อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกลิเทียมได
ซิลิเกต
ของ
สิริรัตน์ มโนนิเวศ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก	 ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุดผิ)	(รองศาสตราจารย์ ดร.นิยม อ่างวงศ์อนันต์สกุล)
..... ที่ปรึกษาร่วม	 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ ศรีอัมพร)	(ดร. ทันตแพทย์หญิงจารุมา ศักดิ์ดี)

ชื่อเรื่อง	ผลของวิธีทำความสะอาดน้ำยาห้ามเลือดต่อค่าแรงยึดติดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต
ผู้วิจัย	สิริรัตน์ มโนภินิเวศ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ เจียรพุดิ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูกำลังแรงยึดเคื่อนระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดหลังจากนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ น้ำลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกมาแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยกลุ่มที่ 1 ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวใด ๆ กลุ่มที่ 2 ทาด้วยสารคู่ควบไซเลนเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่ 3-6 ทาสารคู่ควบไซเลนแล้วตามด้วยน้ำยาห้ามเลือด (Viscostat® Clear) เป็นเวลา 5 นาที แล้วตามด้วยสารล้างตามกลุ่มต่อไปนี้ กลุ่มที่ 3 น้ำกลั่น กลุ่มที่ 4 กรดฟอสฟอริก กลุ่มที่ 5 คลอร์เฮกซิดีน และกลุ่มที่ 6 เอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำมายึดกับเรซินซีเมนต์ (Panavia™ V5) นำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเคื่อนด้วยเครื่องทดสอบสากล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติของทูกียที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่าค่ากำลังแรงยึดเคื่อนของกลุ่มที่ 4-6 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งค่ากำลังยึดเคื่อนของกลุ่มดังกล่าวต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม แต่สูงกว่ากลุ่มที่ 3 ที่ล้างด้วยน้ำกลั่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือด เมื่อทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ พบว่าค่ากำลังแรงยึดติดเพิ่มมากขึ้น โดยการทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นให้ค่าการยึดติดที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารล้างที่เป็นกรดฟอสฟอริก คลอร์เฮกซิดีน และเอทิลแอลกอฮอล์

คำสำคัญ : การปนเปื้อน, ค่ากำลังแรงยึดเคื่อน, น้ำยาห้ามเลือด, ลิเทียมไดซิลิเกต, เรซินคอมโพสิท

Title	THE EFFECT OF CLEANSING METHODS OF HAEMOSTATIC AGENT TO SHEAR BOND STRENGTH BETWEEN RESIN COMPOSITE AND LITHIUM DISILICATE CERAMIC
Author	SIRIRAT MANOPINIVES
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Assistant Professor Sirichan Chiaraputt , Ph.D.

The aim of this study was to evaluate the effect of cleansing agents on the shear bond strength of resin cement and lithium disilicate ceramic after being contaminated with the hemostatic agent. The specimens were randomly divided into six groups (n=10) according to different treatments on ceramic surfaces: Group 1 without any surface treatment, Group 2 only applied a silane coupling agent, Group 3-6 also applied silane coupling agent, followed by a hemostatic agent (Viscostat® Clear) for 5 minutes and then cleaned with cleansing agents (Group 3 distilled water, Group 4 phosphoric acid, Group 5 chlorhexidine, Group 6 ethanol). All prepared specimens were bonded with resin cement (Panavia™ V5). All bonded specimens were subjected to shear bond strength measurement using a universal testing machine. The data were statistically analyzed using one-way ANOVA and Tukey's test ($\alpha=0.05$). The results showed that the shear bond strength of Group 4-6 had no significant differences in shear bond strength between groups ($p>0.05$) and were lower than Group 2, which was the control group but higher than Group 1, the only group without surface treatment. In conclusion, cleaning hemostatic agent contaminated surfaces of ceramics can restore shear bond strength between lithium disilicate ceramic and resin cement. Cleaning with water showed the lowest shear bond strength among other cleansing agents in this experiment.

Keyword : Cleansing methods, Hemostatic agent, Shear bond strength, Lithium disilicate, Resin composite



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก

ผศ. ดร. ทพญ. ศิริจันทร์ เจียรพุมิ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ. ดร. ทพ. ศุภย์ ศรีอัมพร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนชี้แนะแนวทาง เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ตลอดจนคณะกรรมการสอบทุกท่าน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้หน่วยงานสังกัดคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และอุปกรณ์ จากศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในความดูแลของ ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พินิจคำ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างสูง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา หากงานวิจัยนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

สิริรัตน์ มโนภินิเวศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย	3
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา	3
กรอบแนวคิดการวิจัย	4
สมมติฐานในการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
เซรามิกทางทันตกรรม	5
1.1 การแบ่งเซรามิกตามองค์ประกอบ	5
1.2 การแบ่งเซรามิกตามกระบวนการการขึ้นรูป	6
ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (Lithium disilicate ceramic)	8

2.1 กระบวนการขึ้นรูปของลิเทียมไดซิลิเกต.....	8
2.2 การปรับสภาพพื้นผิวลิเทียมไดซิลิเกต	9
การยัดขึ้นงานวัสดุบุรณะ.....	11
3.1 การแยกเหงือก	11
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการห้ามเลือด	12
3.3 การทำความสะอาดขึ้นงานก่อนการยัดติด	14
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM)	14
4.1 สัญญาณที่นิยมใช้เพื่อให้เกิดภาพ	15
4.2 การเตรียมขึ้นงานก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
4.3 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเอกซเรย์ (x-ray detector)	16
4.4 รูปแบบความล้มเหลว	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	18
ประชากร	18
ขั้นตอนการทดลอง.....	18
1. การเตรียมขึ้นงาน (Specimen preparation)	18
1.1 การเตรียมขึ้นงานสำหรับนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว.....	18
1.2 การเตรียมขึ้นงานสำหรับไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	21
2. การนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว	23
3. การศึกษาแบบความล้มเหลว	23
4. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ.....	24
การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	24

บทที่ 4.....	25
ผลการดำเนินงานวิจัย	25
.....	29
.....	30
.....	31
บทที่ 5.....	32
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	32
สรุปผลการวิจัย.....	32
อภิปรายผลการวิจัย	32
ข้อเสนอแนะ	37
แผนการดำเนินงาน.....	38
ค่าใช้จ่ายในการวิจัย	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก.....	46
ตารางแสดงข้อมูลดิบ	46
สถิติที่ใช้ในการวิจัย	47
ประวัติผู้เขียน.....	49

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบ	22
ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังยึดเคียน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และลักษณะความล้มเหลว	27
ตาราง 3 แสดงปริมาณธาตุบนชิ้นทดสอบ	28



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
ภาพประกอบ 2 แผนภาพแสดงวิธีการทดลองและการแบ่งกลุ่มทดลอง	20
ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนทดสอบที่ทำการยึดติดกับเรซินซีเมนต์	21
ภาพประกอบ 4 ภาพ A และ B แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบการไม่ยึดอยู่	26
ภาพประกอบ 5 ภาพ A และ B แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสม	26
ภาพประกอบ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	31



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันวัสดุบูรณะฟันประเภทเซรามิกกล้วน (all ceramic) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านทันตกรรม เนื่องจากมีสมบัติที่ดีทั้งในด้านความสวยงามที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติและความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) โดยในปี ค.ศ. 1965 John McLean ได้พัฒนาอลูมินัสพอร์ซเลน (aluminous porcelain) ขึ้น ซึ่งมีการปรับปรุงทั้งในเรื่องของความแข็งแรง ความสวยงาม และขั้นตอนการผลิต นับเป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนาวัสดุประเภทเซรามิกมาจนถึงทุกวันนี้⁽¹⁾

ลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate) จัดอยู่ในกลุ่มเซรามิกกลุ่มสังเคราะห์ ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นคริสตัลประมาณร้อยละ 70^(2, 3) มีค่าความแข็งแรง (strength) และค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (flexural strength) อยู่ที่ 350 เมกะปาสคาลและ 440 เมกะปาสคาลตามลำดับ^(2, 3) เนื่องจากความแข็งแรงของวัสดุและความสวยงามที่ค่อนข้างมาก ทำให้สามารถนำเอาวัสดุลิเทียมไดซิลิเกตไปใช้งานทางทันตกรรมได้หลากหลาย เช่น อินเลย์ (inlay) ออนเลย์ (onlay) ครอบฟัน (crown) หรืองานฟันปลอมติดแน่นอื่น ๆ (fixed dental prosthesis) โดยวัสดุประเภทนี้สามารถขึ้นรูปได้ทั้งแบบการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (hot pressing) และแบบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการทำงาน (CAD/CAM)

ก่อนที่จะนำเอาวัสดุบูรณะลิเทียมไดซิลิเกตไปใช้งานนั้นจำเป็นต้องมีการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุเพื่อเพิ่มการยึดติดก่อนที่จะนำไปยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดมีอยู่ 3 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงกล การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงเคมี และการปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทั้งทางเชิงกลและเคมี โดยการปรับสภาพผิวที่ดีที่สุดของวัสดุลิเทียมไดซิลิเกตคือการปรับสภาพพื้นผิวให้เกิดการยึดติดทั้งทางเชิงกลและเคมี⁽⁴⁻⁸⁾ ทำได้โดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid)^(9, 10) ร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent)^(8, 11, 12) ในขั้นตอนการยึดติดวัสดุบูรณะด้วยเรซินซีเมนต์จะต้องมีการควบคุมการปนเปื้อนจากสิ่งปนเปื้อน (contamination) ต่าง ๆ เช่น เลือด น้ำลาย ซีเมนต์ลองฟัน (try in paste) การปนเปื้อนเหล่านี้ส่งผลให้ค่าการยึดติดของวัสดุลดลง^(7, 13-18)

การควบคุมการปนเปื้อนจากเลือดและน้ำลาย นอกจากการใส่แผ่นยางกันน้ำลายแล้ว ในบางสถานการณ์ เช่น การอุดปิดโพรงฟันบริเวณที่อยู่ใต้เหงือก หรือการยึดติดวัสดุบูรณะที่มีขอบของวัสดุอยู่บริเวณใต้เหงือก สามารถทำได้ด้วยวิธีการแยกเหงือกและการใช้สารห้ามเลือด (hemostatic agent) โดยการแยกเหงือกนั้นเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ สามารถทำได้โดยใช้การแยกเหงือกแบบเชิงกล (mechanical tissue displacement), การแยกเหงือกแบบเคมีเชิงกล (mechanochemical tissue displacement) และการทำศัลยกรรม (surgical tissue displacement)^(19, 20) โดยวิธีการใช้ด้ายแยกเหงือกร่วมกับน้ำยาห้ามเลือดนั้นเป็นวิธีที่สะดวก มีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายน้อย สามารถแยกเหงือกของพื้นที่ต้องการได้ตั้งแต่หนึ่งถึงจำนวนหลายซี่^(19, 20) น้ำยาห้ามเลือดที่นำมาใช้นั้นมีหลากหลายชนิด แต่ที่พบเห็นและถูกนำมาใช้บ่อยทางทันตกรรม ได้แก่ เฟอริกซัลเฟต (ferric sulfate) และอลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminum chloride) เนื่องจากมีผลช่วยในการตกตะกอนของเลือดจึงนิยมใช้มากกว่าน้ำยาห้ามเลือดชนิดที่มีผลต่อการหดตัวของหลอดเลือดเพียงอย่างเดียว น้ำยาห้ามเลือดนั้นจัดว่าเป็นสารปนเปื้อนอย่างหนึ่งดังนั้นจึงสามารถส่งผลกระทบต่อค่าการยึดติด ไม่ว่าจะเป็นการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับฟัน หรือเรซินซีเมนต์กับวัสดุบูรณะ จากหลายการศึกษาพบว่าน้ำยาห้ามเลือดส่งผลกระทบต่อค่าการยึดติดของเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์เอทช์ (self-etch system) และเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhesive system) กับเนื้อฟัน⁽²¹⁻²⁵⁾ โดยทำให้ค่าการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับฟันลดลง นอกจากนี้การศึกษาของ Isabela และคณะในปี ค.ศ. 2017 พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดจะส่งผลกระทบต่อค่าการยึดติดรวมไปถึงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเรซินซีเมนต์เอง⁽²⁴⁾ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษานี้เพื่อที่ต้องการดูผลของสารที่นำมาใช้ในการทำความสะอาดวัสดุบูรณะที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดก่อนที่จะทำการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ว่าส่งผลกระทบต่อค่าแรงยึดติดเฉือนหรือไม่ เพื่อที่จะได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการทำงานทางคลินิกต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดหลังจากนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษารูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชั้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์หลังการแตกหักของวัสดุ

3. เพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่อยู่บนพื้นผิวลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกหลังปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ

ความสำคัญของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดหลังจากนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกในอนาคต

ขอบเขตการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

1. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (Lithium disilicate) (IPS e.max[®] Press, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
2. น้ำยาห้ามเลือด
3. สารที่ใช้ทำความสะอาด

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

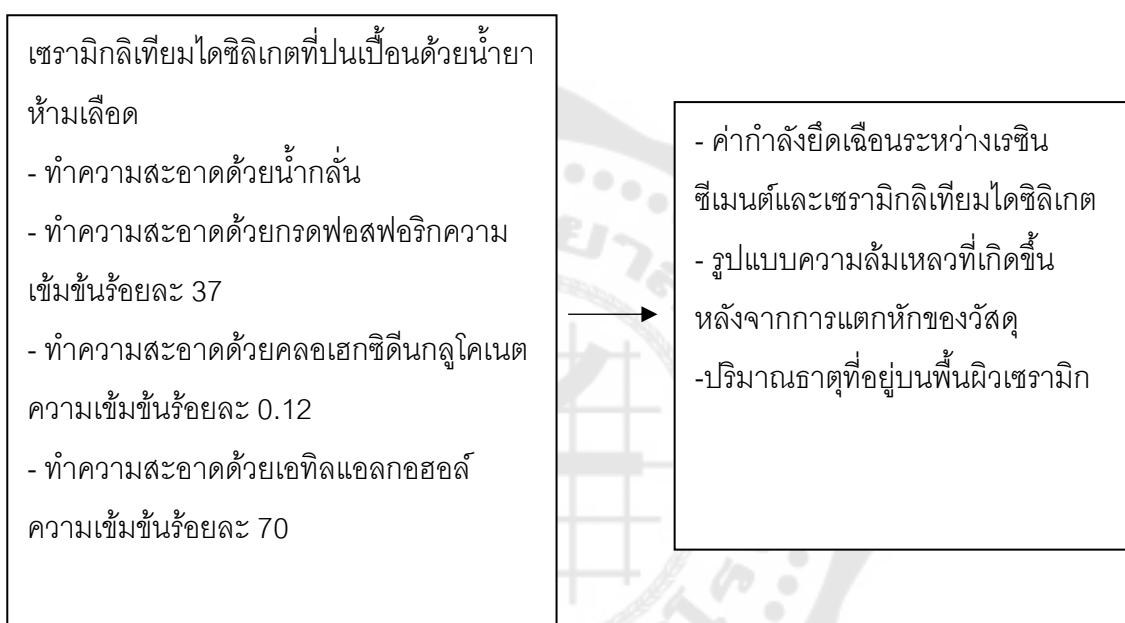
1. เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด
 - 1.1 ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น
 - 1.2 ทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37
 - 1.3 ทำความสะอาดด้วยคลอเฮกซิดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.12
 - 1.4 ทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ แบ่งเป็นดังนี้
 - 1.1 สารใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิวเซรามิกหลังจากการปนเปื้อน
 - 1.1.1 ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น
 - 1.1.2 ทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37
 - 1.1.3 ทำความสะอาดด้วยคลอเฮกซิดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.12
 - 1.1.4 ทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก รูปแบบความล้มเหลวของชิ้นงาน ปริมาณธาตุที่หลงเหลือบนพื้นผิว

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ การเตรียมสภาพผิวชิ้นงานก่อนการนำไปทดสอบ พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ ระยะเวลาในการทาสารชนิดต่าง ๆ ปริมาณสารต่าง ๆ ที่ทา ระยะเวลาในการฉายแสง ระยะทางของเครื่องฉายแสง ความเร็วหัวกดของเครื่องทดสอบแรงสาก

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

ไม่มีความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ถูกปนเปื้อนและทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น, คลอเฮกซีดีนกลูโคเนต, กรดฟอสฟอริก และเอทิลแอลกอฮอล์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้เสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เซรามิกทางทันตกรรม
2. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก
3. การยัดติดวัสดุบูรณะ
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เซรามิกทางทันตกรรม

ในปัจจุบันวัสดุบูรณะเซรามิกล้วน (all ceramic) ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาใช้งานทางทันตกรรมเนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีข้อดีคือ ให้ความสวยงาม มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก (biocompatible) รวมทั้งความแข็งแรงของวัสดุที่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้ทนต่อการใช้งานในช่องปากได้ วัสดุประเภทเซรามิกล้วนนี้ถูกนำมาใช้และพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย John McLean's ในช่วงปีค.ศ. 1965 และได้มีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงในด้านของความแข็งแรง ความสวยงาม วิธีการผลิต จนทำให้ได้เซรามิกที่หลากหลายสำหรับใช้ในทางทันตกรรม⁽¹⁾ โดยสามารถนำเอาเซรามิกมาใช้ทำเป็นวัสดุบูรณะในช่องปากได้หลากหลาย เช่น อินเลย์ (inlay), ออนเลย์ (onlay), วีเนียร์ (veneer) และงานฟันปลอมติดแน่นอื่น ๆ

การแบ่งประเภทของเซรามิกอาจแบ่งได้หลายรูปแบบ เช่น แบ่งตามองค์ประกอบของเซรามิก แบ่งโดยวิธีการขึ้นรูป เป็นต้น

1.1 การแบ่งเซรามิกตามองค์ประกอบ

เดิมการแบ่งประเภทของเซรามิกตามส่วนประกอบจะนิยมตามการแบ่งของ Kelly และ Benetti⁽¹⁾ ซึ่งจะแบ่งตามปริมาณส่วนประกอบของแก้วที่มีอยู่ แต่เนื่องจากปัจจุบันมีวัสดุชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นที่เป็นกลุ่มของเรซินเมทริกซ์ที่แทรกด้วยเซรามิก วัสดุกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มของวัสดุประเภทเซรามิกตามคำนิยามของสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน (the American Dental Association - ADA) ดังนั้นจึงอาจแบ่งประเภทของเซรามิกตามส่วนประกอบตามการแบ่งของ Gracis และคณะในปี ค.ศ. 2015⁽¹⁾ ได้ดังนี้

1.1.1 กลาส เมทริกซ์ เซรามิก (glass-matrix ceramic) เซรามิกกลุ่มนี้จะมีแก้วเป็นองค์ประกอบ ได้แก่

1.1.1.1 เฟลด์สปาร์ (feldspar) ตัวอย่างเช่น IPS Empress Esthetic, Ivoclar Vivadent; Vitablocs, Vident

1.1.1.2 กลุ่มสังเคราะห์ (synthetic) ได้แก่กลุ่มของ ลูไซต์ (leucite-based) ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) และฟลูออโรอโรพาไทต์ (fluoroapatite-based) ตัวอย่างของกลุ่มนี้เช่น IPS d.Sign, IPS Empress, IPS e.max, IPS e.max Ceram Ivoclar Vivadent; VITA VM 13, Vident; Suprinity, Vita

1.1.1.3 กลาสอินฟิลเทรต (glass-infiltrated) ตัวอย่างเช่น In-Ceram Alumina, In-Ceram Spinell, In-Ceram Zirconia; Vita เซรามิกชนิดนี้จะประกอบไปด้วย 2 เฟสที่ประสานกันอยู่ ขึ้นรูปโดยวิธีการ slip-cast โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดเมทริกซ์ที่มีรูพรุนก่อน จากนั้นจึงแทรกบริเวณรูพรุนเหล่านี้ด้วยแลนทานัมกลาส (lanthanum glass)^(1, 2) โดยเซรามิกระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นทางเลือกแทนวัสดุเมทัล-เซรามิก (metal-ceramics)⁽²⁾

1.1.2 โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramics) ตัวอย่างเช่น Procera AllCeram, NobelProcera, Nobel Biocare; In-Ceram AL, In-Ceram YZ, Vita; Katana Zirconia, Noritake โดยเซรามิกกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยโครงสร้างโพลีคริสตัลไลน์ที่ไม่มีองค์ประกอบของแก้วอยู่ ดังนั้นวัสดุประเภทนี้จึงมีค่าความแข็งแรง (strength) และค่าความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ที่สูง⁽¹⁾

1.1.3 เรซิน-เมทริกซ์ เซรามิก (resin-matrix ceramics) ตัวอย่างเช่น Enamic, Vita; Lava Ultimate, 3M ESPE โดยวัสดุกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยออกานิกเมทริกซ์ที่แทรกด้วยเซรามิก

1.2 การแบ่งเซรามิกตามกระบวนการการขึ้นรูป

เซรามิกชนิดเดียวกันนั้นอาจสามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนั้นบางครั้งอาจพบการแบ่งประเภทของเซรามิกตามกระบวนการการขึ้นรูปได้ ดังนี้

1.2.1 การพอกส่วนผงและของเหลวด้วยวิธีการดั้งเดิม (Powder condensation) วิธีนี้เป็นวิธีการขึ้นรูปเซรามิกแบบดั้งเดิมทำโดยการใช้พู่กันพอกผงพอร์ซเลน (porcelain) ที่ผสมกับน้ำกลั่นหรือสารละลายตามแต่ละบริษัทจากนั้นจึงค่อย ๆ ขับเอาสารละลายหรือของเหลวส่วนเกินออกเพื่อให้ส่วนของผงอัดกันแน่นมากขึ้นแล้วจึงนำไปเผาภายใต้สภาวะสุญญากาศ ข้อดีคือชิ้นงานที่ได้จะมีความใสสวย แต่วิธีนี้เนื่องจากการพอกส่วนผงและของเหลวไปเรื่อย ๆ ดังนั้นจะทำให้มีโอกาสเกิดรูพรุนในวัสดุได้มากหลังจากที่ทำการเผาชิ้นงานแล้วซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรง

ของตัวเซรามิกลดลง^(2, 26) ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานประเภทที่เป็นวีเนียร์ที่ปิดทับลงบนแกน (core) หรือโครง (framework) อีกทีหนึ่ง ตัวอย่างเช่น Duceram LFC, Dentsply; IPS e.max Ceram, Ivoclar-Vivadent

1.2.2 การเทหล่อ (slip casting) การเทหล่อนี้คือการนำเอาส่วนผสมที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างผงเซรามิกกับของเหลวที่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำ จากนั้นจึงนำของเหลวนี้เทเข้าแบบหล่อ (mold) โดยตัวแบบหล่อนี้จะทำหน้าที่ดูดน้ำบางส่วนออกมาจากส่วนผสมที่เทเข้าไปโดยอาศัยการซึมตามรูเล็ก ๆ (capillary action) ดังนั้นแบบหล่อจึงมักทำมาจากยิปซัม (gypsum) เป็นผลให้ส่วนผสมของเซรามิกมีการอัดตัวกันแน่นขึ้น จากนั้นจึงนำไปเผาเพื่อแยกส่วนที่เป็นแกนหรือโครงออกมาจากแบบหล่อ โดยชิ้นส่วนหลังจากที่ทำการเผาแล้วจะมีรูพรุนจำนวนมาก ขั้นตอนต่อไปจะทำการหลอมแก้วแลนทานัม (lanthanum glass) แล้วให้แก้วที่ถูกลหลอมแล้วนี้เข้าไปแรกตามรูพรุนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการซึมตามรูเล็กเช่นกัน ตัวอย่างเช่น In-Ceram, Vita

1.2.3 การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (hot pressing) การขึ้นรูปโดยวิธีนี้จะนำเอาก้อนเซรามิก (ingot) มาให้ความร้อนจนเกิดการหลอมเหลวแล้วจึงอัดเซรามิกที่ผ่านการหลอมแล้วด้วยแรงดันให้เข้าไปในแบบหล่อที่ได้จากการทำการหล่อขึ้นรูป (lost-wax technique) โดยการขึ้นรูปวิธีนี้จะทำให้เกิดรูพรุนในวัสดุที่น้อยจึงทำให้วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)⁽²⁷⁾ วิธีนี้สามารถนำมาขึ้นรูปชิ้นงานได้หลากหลาย เช่น อินเลย์, ออนเลย์, ครอบฟัน หรืองานฟันปลอมติดแน่นอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น IPS Empress, IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent

1.2.4 การนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยออกแบบและสร้างชิ้นงาน (computer-aided design/computer-aided manufacturing-CAD/CAM) วิธีนี้จะขึ้นรูปชิ้นงานจากบล็อกเซรามิก โดยจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและช่วยกลึงชิ้นงานออกมา โดยบล็อกที่ใช้จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือการขึ้นรูปจากบล็อกก่อนนำไปเผา (presintered block) วัสดุก่อนการเผานี้จะมีรูพรุนค่อนข้างมาก ข้อดีคือสามารถกลึงออกมาเป็นชิ้นงานได้เร็ว ใช้เวลาน้อย ลดการแตกหักของตัววัสดุ และลดการสึกของหัวกรอ หลังจากทีกลึงวัสดุออกมาได้แล้วจะต้องนำชิ้นงานไปเผาเพื่อกำจัดรูพรุนและให้ได้วัสดุสุดท้ายต่อไป อีกลักษณะหนึ่งคือการขึ้นรูปวัสดุบุรณะจากบล็อกที่ผ่านการเผาให้ความร้อนมาแล้ว ดังนั้นบล็อกที่ได้จึงไม่มีรูพรุนและไม่ต้องนำไปเผาอีกรอบหลังจากทีกลึงเสร็จแล้ว แต่ข้อเสียคือกลึงยากและทำให้หัวกรอที่สึกถึงสึกได้มาก^(27, 28) ตัวอย่างเช่น IPS e.max CAD, Ivoclar-Vivadent; Vitablocs Mark II, Vita Zahngabrik

ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (Lithium disilicate ceramic)

ลิเทียมไดซิลิเกต ($2\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$) เป็นกลุ่มของกลาสเซรามิกที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1988 โดยบริษัท Ivoclar ผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดขึ้น ได้แก่ IPS empress II จากนั้นได้รับการพัฒนาต่อมาจนเป็น IPS e.max Press ในปัจจุบัน^(2, 28, 29) โดยส่วนประกอบหลักของลิเทียมไดซิลิเกตจะประกอบไปด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide – SiO_2), ลิเทียมออกไซด์ (Lithium oxide – Li_2O), โพแทสเซียมออกไซด์ (potassium oxide – K_2O), ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide – ZnO), ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (phosphorus pentoxide), อลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide – Al_2O_3) และเซอร์โคเนียไดออกไซด์ (zirconium dioxide – ZrO_2) เนื่องจากลิเทียมไดซิลิเกตนั้นประกอบไปด้วยส่วนของคริสตัลประมาณร้อยละ 70^(2, 3) มีค่าความแข็งแรง (strength) อยู่ที่ประมาณ 350 เมกะปาสคาล และมีค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (flexural strength) อยู่ที่ประมาณ 440 เมกะปาสคาล⁽³⁾ ทำให้สามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุบูรณะทางทันตกรรมได้อย่างหลากหลาย เช่น อินเลย์ (inlay), ออนเลย์ (onlay), ครอบฟัน (crown) หรืองานฟันปลอมติดแน่นอื่น ๆ (fixed dental prosthesis) นอกจากนี้คุณสมบัติด้านความสวยงาม (optical properties) รวมทั้งความแข็งแรงของลิเทียมไดซิลิเกตทำให้สามารถนำเอาเซรามิกชนิดนี้มาใช้ทำเป็นวัสดุบูรณะเซรามิกล้วนทั้งชิ้น (monolithic) ได้⁽³⁰⁾ จากการศึกษาของ Marquardt และ Strub ในปี ค.ศ. 2006 พบว่าเมื่อทำครอบฟันเดี่ยวด้วยวัสดุบูรณะลิเทียมไดซิลิเกตชนิด IPS Empress 2 พบว่ามีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 100 ใน 5 ปี โดยพบเป็นการแตกหักของชั้นวีเนียร์เซรามิก⁽³¹⁾

2.1 กระบวนการขึ้นรูปของลิเทียมไดซิลิเกต

การขึ้นรูปของลิเทียมไดซิลิเกตนั้นสามารถขึ้นรูปได้ทั้งแบบกดอัด (pressable ceramic) และแบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAD/CAM)

2.1.1 การขึ้นรูปแบบกดอัด (pressable) เป็นการขึ้นรูปโดยการให้ความร้อนกับแท่งเซรามิก (ceramic ingot) เพื่อให้เซรามิก หลอมและอัดด้วยความดันเข้าแบบหล่อ (mold) ด้วยวิธีการลอสแวกซ์ (lost-wax technique) โดยกระบวนการตกผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเริ่มจากมีผลึกขนาดนาโน ระหว่างการเกิดผลึกนั้นจะพบลิเทียมเมตาซิลิเกต (lithium metasilicate) และคริสโตแบไลต์ (cristobalite) จนสุดท้ายเกิดผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต⁽²⁷⁾ ตัวอย่างเช่น IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent โดยสามารถทำออกมาในลักษณะโมโนลิทิก (monolithic) ได้ สามารถนำมาทำเป็นวัสดุบูรณะอินเลย์ ออนเลย์ และครอบฟันได้ โดยจากการศึกษา Esquivel-Upshaw และคณะในปี ค.ศ. 2013 พบว่าครอบฟันที่ทำจากเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตโดยการขึ้นรูปแบบกดอัด มีอัตราการรอดร้อยละ (survival rate) 100 ใน 3 ปี แต่พบการสึก (wear) และความขรุขระของ

ผิว (surface roughness) ได้มากกว่าครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน (porcelain fused to metal crown)⁽³²⁾

2.1.2 การขึ้นรูปโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต (CAD/CAM) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานจากบล็อกที่ยังไม่เกิดผลึกโดยสมบูรณ์ (partially crystallized state) การกลิ้งจากบล็อกลักษณะนี้จะช่วยลดระยะเวลาการกลิ้งชิ้นงานจากบล็อก ลดการสึกของหัวกรอ รวมทั้งลดความเสี่ยงในการแตกหักของชิ้นงานระหว่างการกลิ้งด้วย^(2, 3) ตัวอย่างเช่น IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent โดยการขึ้นรูปจะแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจะเป็นการกลิ้งจากบล็อกที่ยังเกิดผลึกไม่สมบูรณ์ บล็อกจะมีลักษณะเป็นสีน้ำเงิน (blue state) ซึ่งบล็อกในระยะนี้จะประกอบไปด้วยลิเทียมเมตาซิลิเกต (Lithium metasilicate – Li_2SiO_3) เป็นส่วนใหญ่ ในช่วงแรกนี้จะเกิดการตกตะกอนของลิเทียมเมตาซิลิเกต ส่งผลให้ได้กลาสเซรามิก (glass ceramic) ที่มีขนาดของผลึก 0.2-1.0 ไมโครเมตร โดยมีผลึกของเมตาซิลิเกตอยู่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร หลังจากที่ถูกกลิ้งได้รูปร่างของวัสดุเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่ช่วงที่สองคือการนำชิ้นงานที่ได้จากการกลิ้งไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment) ส่งผลให้บล็อกเกิดการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหมือนฟันตามที่ได้เลือกไว้และได้ผลึกที่มีขนาดประมาณ 1.5 ไมโครเมตร โดยประกอบไปด้วยผลึกของลิเทียมไดซิลิเกตอยู่ร้อยละ 70 โดยปริมาตร^(3, 29) สามารถนำมาทำเป็นวัสดุบูรณะอินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟันหน้าและครอบฟันหลัง ครอบฟันบนรากเทียม (implant crown) และวีเนียร์ (veneer)

2.2 การปรับสภาพพื้นผิวลิเทียมไดซิลิเกต

หลังจากขึ้นรูปชิ้นงานแล้วก่อนที่จะนำวัสดุบูรณะเหล่านี้มาใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการปรับสภาพผิวของชิ้นงานก่อน การปรับสภาพผิวนั้นเพื่อเพิ่มการยึดติดของชิ้นงาน โดยมีทั้งการเพิ่มการยึดติดทางเชิงกล (mechanical retention), การเพิ่มการยึดติดทางเคมี (chemical retention) และการเพิ่มการยึดติดทางเชิงกลร่วมกับการยึดติดทางเคมี (mechanochemical retention) โดยการยึดติดที่ดีที่สุดนั้นคือการทำให้เกิดการยึดติดทั้งทางเชิงกลร่วมกับการยึดติดทางเคมี⁽⁴⁻⁸⁾

2.2.1 การยึดติดเชิงกล (mechanical retention) การปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงกลนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเป่าพ่นทราย (sandblast), การใช้กรดกัด (etching) หรือการกรอ (grinding) แต่พบว่าวิธีที่เหมาะสมและได้ประสิทธิภาพมากที่สุดในการปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบทำได้โดยการใช้กรดกัด⁽³³⁾ ในการปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเชิงกลของลิเทียมไดซิลิเกตนั้นทำได้โดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 วินาที^(9, 10) โดยกรดจะไปทำปฏิกิริยากับ

ซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นส่วนของแก้วในเซรามิกทำให้เกิดเป็นรูพรุนขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ (micro mechanical interlock) ระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ (resin cement) นอกจากนี้การปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกโดยใช้กรดหรือเบสจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นของกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ซึ่งช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างพื้นผิวของเซรามิกกับสารคู่ควบไซเลนให้เพิ่มมากขึ้น⁽¹²⁾

2.2.2 การยึดติดทางเคมี (chemical retention) หลังจากที่วัสดุได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลแล้วจะนำมาปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงเคมี เป็นการเพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับกลาสเซรามิกด้วยการใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มการยึดติดของวัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ (silica-based material)^(8, 11, 12) จากการศึกษาของ Kalavacharla และคณะในปีค.ศ. 2015 พบว่าการทาสารคู่ควบไซเลนก่อนการใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซล (universal adhesive) จะช่วยเพิ่มค่าการยึดติด (bond strength) ไม่ว่าจะทำการปรับสภาพผิวเชิงกลด้วยการกัดด้วยกรดใด ๆ ก็ตาม⁽⁴⁾ สารคู่ควบไซเลนจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่ทำปฏิกิริยาอยู่ (reactive functional group) 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือกลุ่มที่สามารถเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ได้ กลุ่มนี้จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนพื้นผิวของวัตถุอนินทรีย์ (inorganic substrate) โดยหมู่แอลคอกซี (reactive alkoxy (-OR) group) จะถูกไฮโดรไลซิส เกิดเป็นหมู่ซิลานอล (silanol group) ซึ่งเป็นหมู่ที่จะไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซรามิกหรือพื้นผิวของวัตถุอนินทรีย์เกิดพันธะซิลอกเซน (siloxane bond) และได้น้ำเป็นผลพลอยได้ (byproduct) และอีกกลุ่มคือกลุ่มอินทรีย์ (organofunctional group) โดยกลุ่มอินทรีย์จะเกิดพันธะได้กับเรซินซีเมนต์^(6, 12) สารคู่ควบไซเลนที่นิยมใช้ทางทันตกรรม คือ 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (หรือ γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane) สารคู่ควบไซเลนนี้จะทำหน้าที่ในการเพิ่มการกระจายตัวของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวของวัสดุ (wettability) รวมทั้งลดมุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับพื้นผิวของวัสดุ (contact angle)⁽⁶⁾ สารคู่ควบไซเลนนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารคู่ควบไซเลนแบบขูดเดียว (pre-hydrolyzed silane primer) สารคู่ควบไซเลนแบบขูดเดียวนี้จะมีระยะเวลาในการเก็บ (shelf life) ค่อนข้างสั้นเมื่อเปิดใช้งานไประยะหนึ่งแล้วอาจเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีขุ่นเนื่องจากมีซิลอกเซนโอลิโกเมอร์หรือโพลีเมอร์ (siloxane oligomers/polymers) ส่วนเกินที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่เป็นผลทำให้ไม่สามารถนำสารคู่ควบไซเลนที่เกิดลักษณะนี้มาใช้ได้อีกต่อไป^(11, 12) ตัวอย่างเช่น CLEARFIL CERAMIC PRIMER, Kuraray; Monobond Plus, Ivoclar Vivadent อีกชนิดหนึ่งคือ สารคู่ควบไซเลนแบบ 2 ขวด (hydrolyzed silane primer) สารคู่ควบไซเลนแบบ

2 ขวดนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อต้องการเพิ่มระยะเวลาการเก็บ (shelf life) ผลิตภัณฑ์ให้สามารถใช้ได้นานขึ้น โดยขวดแรกจะประกอบด้วยไฮเลนโมโนเมอร์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา (unhydrolyzed silane monomer) ที่ละลายอยู่ในเอทานอลหรือน้ำและขวดที่สองประกอบด้วยสารละลายกรดแอซิติก (acetic acid) โดยวิธีใช้จะนำสารละลายทั้งสองขวดมาผสมกันเพื่อให้เกิดเป็น hydrolyzed silane แล้วจึงนำมาใช้งานต่อไป^{(11) (12)} ตัวอย่างเช่น BIS-SILANE, Bisco

การยัดชิ้นงานวัสดุบูรณะ

พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีระบบการยึดติดแบบต่าง ๆ (adhesive resin cementation) เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการยัดติดวัสดุบูรณะที่เป็นเซรามิกมากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์ (biomechanics) ที่ดีเหมาะที่จะนำมาใช้ยึดติดระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะ⁽¹⁶⁾ หลังจากการปรับแต่งชิ้นงานให้ได้ตามความต้องการแล้ว จึงทำการยัดวัสดุบูรณะบนพื้นหลักที่ต้องการ ในการยัดติดวัสดุบูรณะนั้นจำเป็นต้องควบคุมการปนเปื้อนบริเวณที่จะทำการยัดติดให้ดี เนื่องจากน้ำลาย เลือดหรือสารเคมีต่าง ๆ ส่งผลต่อค่าการยึดติดระหว่างซีเมนต์และฟัน โดยพบว่าเมื่อวัสดุบูรณะเหล่านี้สัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ จะส่งผลให้ค่าการยึดติดของวัสดุลดลง^(7, 13-16) จากการศึกษาของ Nicholls ในปี ค.ศ. 1988 พบว่าสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ น้ำลาย จะทำให้ค่าการยึดติดระหว่างเรซินกับพอร์ซเลนลดลง^(13, 14) ในการศึกษาของ Prata และคณะ ในปี ค.ศ. 2011 พบว่าวัสดุประเภทซิลิโคนที่ใช้ในขั้นตอนการลองฟัน (try-in paste) นั้นส่งผลต่อค่าแรงยึดติดของวัสดุบูรณะ⁽¹⁶⁾ ดังนั้นในบางครั้งนอกจากการใช้แผ่นยางกันน้ำลาย (rubber dam) แล้ว การแยกเหงือกด้วยวิธีต่าง ๆ ยังสามารถที่จะช่วยควบคุมกสนปนเปื้อนจากเลือดในบริเวณที่ต้องการรวมทั้งยังเป็นการดันเหงือกส่วนเกินที่เป็นสาเหตุให้ไม่สามารถใส่ครอบฟันหรือวัสดุบูรณะอื่นลงในตำแหน่งที่ต้องการออกไปได้โดยเฉพาะในตำแหน่งที่อยู่ใต้เหงือก⁽²¹⁾

3.1 การแยกเหงือก

การแยกเหงือกนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็นการแยกเหงือกก่อนการพิมพ์ปากเพื่อให้เห็นขอบโดยรอบของฟันอย่างชัดเจน หรือแยกเหงือกระหว่างขั้นตอนของการลองและยัดติดวัสดุบูรณะเข้ากับพื้นหลัก เนื่องจากอาจมีเหงือกบางส่วนที่เติบโตเข้ามาขัดขวางทำให้ไม่สามารถใส่วัสดุบูรณะลงในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ การแยกเหงือกนั้นสามารถทำได้หลายวิธี มีทั้งการแยกเหงือกโดยวิธีเชิงกล การศัลยกรรมเหงือก และการแยกเหงือกโดยวิธีเชิงกลรวมกับการใช้สารเคมี

3.1.1 การแยกเหงือกแบบเชิงกล (mechanical tissue displacement) การแยกเหงือกแบบเชิงกล คือ วิธีการแยกเหงือกโดยการใช้อุปกรณ์แยกเหงือกหรือวัสดุพิมพ์ปากต่าง ๆ กัน

ระหว่างเหงือกและตัวฟันไว้⁽²⁰⁾ การแยกเหงือกโดยใช้ด้ายแยกเหงือกนั้นเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการทำชิ้นงานบูรณะแบบติดแน่น จากการศึกษาของ Donovan และคณะในปี ค.ศ. 1985 พบว่าทันตแพทย์ชาวอเมริกาเหนือจะใช้ด้ายแยกเหงือกเพื่อช่วยในการทำงานเป็นประจำ⁽¹⁹⁾ ด้ายแยกเหงือกมีหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชนิดที่ไม่ถูกเคลือบด้วยขี้ผึ้ง (unwaxed floss) ทำจากวัสดุสังเคราะห์ (synthetic material) ด้ายแยกเหงือกแบบเกลียว (twisted cord) แต่ที่นิยมใช้ทางคลินิก คือ ด้ายแยกเหงือกแบบเปีย (braided cord) และ ด้ายแยกเหงือกแบบถัก (knitted cord)

3.1.2 การทำศัลยกรรม (surgical tissue displacement) การทำศัลยกรรมจะทำในบริเวณที่ต้องการกำจัดเหงือกส่วนเกินออกไปด้วย มีด้วยกันหลากหลายวิธี ได้แก่ การตัดด้วยเครื่องจี้ไฟฟ้า (electrosurgery) วิธีนี้สามารถตัดเหงือกส่วนเกินไปพร้อมกับห้ามเลือดได้ แต่เป็นข้อห้ามสำหรับผู้ป่วยที่ใส่เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าหัวใจ (pacemaker)⁽¹⁹⁾ การขูดเนื้อเยื่อเหงือกส่วนที่มีการอักเสบตายออก (rotary gingival curettage) การกำจัดเนื้อเหงือกส่วนเกินออกโดยใช้เลเซอร์ (laser tissue sculpting for tissue displacement)

3.1.3 การแยกเหงือกแบบเคมีเชิงกล (mechanicochemical tissue displacement) วิธีนี้เป็นวิธีการที่ใช้ด้ายแยกเหงือกร่วมกับน้ำยาห้ามเลือดชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการใช้ด้ายแยกเหงือกร่วมกับน้ำยาห้ามเลือดนั้นเป็นวิธีที่สะดวก มีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายน้อย สามารถแยกเหงือกของพื้นที่ต้องการได้ตั้งแต่หนึ่งถึงจำนวนหลายซี่^(19, 20) เกิดการเคลื่อนที่ของเหงือกทั้งทางด้านความสูง (vertical displacement) และขยายออกด้านข้าง (lateral displacement) ทำอันตรายต่อเหงือกน้อย⁽³⁴⁾

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการห้ามเลือด

ในบางครั้งบริเวณที่ทำการแยกเหงือกอาจมีเลือดปนเปื้อนด้วย เนื่องมาจากการบาดเจ็บของเหงือก เหงือกอักเสบ จึงได้มีการนำเอาสารห้ามเลือดมาใช้เพื่อช่วยให้การแยกเหงือกไปด้วย สารห้ามเลือดที่นำมาใช้มีอยู่หลายชนิด โดยสารห้ามเลือดที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพ ไม่ทำอันตรายหรือก่อให้เกิดการบาดเจ็บในบริเวณที่สัมผัสกับสาร และไม่มีข้อห้ามใช้ที่ส่งผลกระทบต่อทั้งระบบของร่างกาย สารเคมีที่ใช้ในการห้ามเลือดจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.2.1 ประเภทที่ 1 (Class 1 vasoconstrictors, adrenergics) สารในกลุ่มนี้จะช่วยให้เส้นเลือดหดตัว แต่ไม่ได้ช่วยในการแข็งตัวของเลือด ได้แก่ อีพิเนฟริน (epinephrine)⁽²⁰⁾ ในช่วงปี ค.ศ. 1980-1989 พบว่าอีพิเนฟรินถูกนำมาใช้ร่วมกับด้ายแยกเหงือกในทางทันตกรรมเป็นจำนวนมาก จากหลายการศึกษาพบว่าการใช้อีพิเนฟรินนั้นส่งผลกระทบต่อระบบของร่างกาย ที่ต้อง

ระมัดระวังมากที่สุดคือระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular system) เพราะจะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างบีบตัวมากขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจมากขึ้น จนส่งผลให้ความดันเลือดเพิ่มขึ้น และจะส่งผลมากในผู้ป่วยที่มีปัญหาโรคหัวใจ^(19, 34) ในด้ายแยกเหงือกที่ผสมน้ำยาห้ามเลือดนั้นจะประกอบไปด้วยอิพิเนพรีน 0.2-1 มิลลิกรัม ต่อความยาวด้าย 1 นิ้ว ซึ่งมีปริมาณมากกว่าปริมาณมากที่สุดสำหรับผู้ป่วยโรคหัวใจ คือเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัม ดังนั้นการใช้ด้ายแยกเหงือกที่มีส่วนผสมของอิพิเนพรีนจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ⁽³⁴⁾

3.2.2 ประเภทที่ 2 (Class 2 hemostatics, astringents) สารกลุ่มนี้เป็นกลุ่มของเกลือโลหะ (metal salt) นิยมนำมาใช้ทางทันตกรรมมากกว่าเนื่องจากช่วยให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดเล็ก ๆ มีส่วนช่วยในการแข็งตัวของเลือดได้ โดยทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนและป้องกันการเคลื่อนที่ของพลาสมาโปรตีนผ่านผนังหลอดเลือดฝอย (transcapillary movement) มีความสามารถในการผ่านเข้าเซลล์ได้ต่ำ⁽³⁴⁾ แต่หากสัมผัสกับเนื้อเยื่อบริเวณเหงือกนานเกินไปจะทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อและทำให้แผลหายช้าได้ มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ที่ 0.7-3.0⁽²²⁾ ซึ่งสารที่ถูกนำมาใช้นั้นมีมากมายหลายตัว แต่ที่นำมาใช้มาก ได้แก่ อลูมิเนียมโพแทสเซียมซัลเฟต (aluminum potassium sulfate) อลูมิเนียมซัลเฟต (aluminum sulfate) เฟอริกซัลเฟต (ferric sulfate) รูปแบบที่ใช้มีหลากหลายทั้งแบบของเหลว (liquid) เจล (gel) ครีม (cream) น้ำยาห้ามเลือดเฟอริกซัลเฟตจะช่วยให้เกิดการตกตะกอนการแข็งตัวของเลือดได้ค่อนข้างเร็วแต่มีค่าความเป็นกรดสูงสามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากได้รวมทั้งการมีค่าความเป็นกรดที่สูงยังส่งผลต่อปฏิกิริยาการก่อตัวของวัสดุพิมพ์ปากบางชนิดด้วย นอกจากนี้ยังเกิดตะกอนเกลือสีเหลือง-น้ำตาลไปจนถึงดำติดสีที่ฟันและเหงือกบริเวณที่โดนน้ำยาได้⁽²⁰⁾ และ อลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminum chloride) น้ำยาห้ามเลือดกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ในการตกตะกอนของเลือดเช่นเดียวกับเฟอริกซัลเฟต ความเข้มข้นที่นิยมใช้อยู่ที่ร้อยละ 5-25 และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากน้อยกว่าน้ำยาห้ามเลือดชนิดอื่น^(20, 35) รูปแบบที่นิยมใช้มีทั้งของเหลวและเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 20-25 โดยถ้าใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ขึ้นไปจะทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อเหงือกได้ ดังนั้นจึงมีการใส่สารลดความเป็นกรดต่างเข้าไปด้วย มีการศึกษาที่แนะนำให้ใช้ด้ายแยกเหงือกที่จุ่มในสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์เพื่อช่วยในการห้ามเลือด (hemostasis) และหลีกเลี่ยงการเกิดบาดแผลที่เนื้อเยื่อเหงือก อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารห้ามเลือดอีกชนิดหนึ่งแต่ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากก่อให้เกิดการระคายเคืองค่อนข้างมาก⁽¹⁹⁾

3.3 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการยึดติด

จากที่กล่าวมาแล้วว่าสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำลาย เลือด สารเคมี สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อค่าแรงยึดติดของวัสดุบูรณะหากมีการปนเปื้อนโดยไม่ได้รับการกำจัดออก โดยการทำความสะอาดวัสดุบูรณะหลังการปนเปื้อนสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเชิงกลและวิธีทางเคมี⁽³⁶⁾ การทำความสะอาดโดยวิธีทางเชิงกล ทำได้โดยการพ่นผงพ่นทรายไปบนพื้นผิวของวัสดุ ส่วนการทำความสะอาดโดยวิธีทางเคมี เป็นการทำความสะอาดโดยใช้สารเคมีต่าง ๆ เช่น ทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 แช่ในไฮโดรฟลิแอตลอกฮออลส์ความเข้มข้นร้อยละ 70 ทำความสะอาดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 96 คลอเฮกซีดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 2 ไฮเดียมไฮโปรคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 หรือฉีดล้างด้วยน้ำสะอาด⁽³⁷⁾ จากหลายการศึกษาพบว่าน้ำยาห้ามเลือดส่งผลต่อค่าการยึดติดของเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์เอทช์ (self-etch system) และเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhesive system) กับเนื้อฟัน⁽²¹⁻²⁵⁾ การศึกษาของ Slavcheva S. และคณะในปี ค.ศ. 2013 พบว่าเมื่อนำเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิวไซต์ (leucite-reinforced ceramic) มาทำการปนเปื้อนด้วยสารต่าง ๆ พบว่าเมื่อมีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดที่มีอลูมินัมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ตามขอบวัสดุเซรามิก (marginal degradation) หลังจากได้รับแรงเชิงกล (mechanical loading)⁽²¹⁾ การศึกษาของ Chaiyabutr Y และ Kois JC ในปี ค.ศ. 2011 เมื่อดูค่าการยึดติด (bond strength) หลังจากทำความสะอาดเนื้อฟันที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่าการพ่นผงทรายอลูมินา (aluminum oxide particles) จะช่วยเพิ่มค่าการยึดติดขึ้นได้⁽²⁵⁾ แต่มีบางการศึกษาเช่นกันที่พบว่าเนื้อฟันที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดไม่ได้ส่งผลต่อค่าการยึดติดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการปนเปื้อน⁽²²⁾ นอกจากนี้การศึกษานี้ของ Isabela และคณะในปี ค.ศ. 2017 พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดจะส่งผลต่อค่าการยึดติดรวมไปถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเรซินซีเมนต์เอง⁽²⁴⁾

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นกล้องที่นำมาใช้ในการศึกษารูปร่างโครงสร้าง รวมทั้งส่วนประกอบทางเคมีของพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ลักษณะภาพที่เห็นจะเป็นภาพสามมิติ มีกำลังขยายที่สูงมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยพัฒนาให้มีการนำแหล่งพลังงานลำอิเล็กตรอน (energy electron beam) มาแทนแหล่งกำเนิดที่เป็นแสง

การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเกิดจากการทำปฏิกิริยากันของลำอิเล็กตรอนกับพื้นผิวของชิ้นงานที่นำมาทำการทดสอบ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่

อันตรกิริยาแบบยืดหยุ่น (elastic interaction) และ อันตรกิริยาแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic interaction)⁽³⁸⁾ ถ้าอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) เรียกว่าอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (incident electron / primary electron) เมื่อมาชนกับนิวเคลียสของชั้นทดสอบจะเกิดการหักเหของอิเล็กตรอนปฐมภูมิเกิดการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) ปฏิกริยานี้อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะมีการสูญเสียพลังงานเพียงเล็กน้อย อิเล็กตรอนปฐมภูมิที่เกิดการกระเจิงแบบยืดหยุ่นโดยทำมุมมากกว่า 90 องศา⁽³⁹⁾ จะเรียกว่าอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electrons) ซึ่งจะส่งสัญญาณให้เกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ ส่วนการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นจะเกิดจากการทำปฏิกริยากันในหลากหลายรูปแบบระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอิเล็กตรอนและอะตอมของชั้นทดสอบ มีการถ่ายโอนพลังงานไปยังอะตอมนั้น ๆ โดยอิเล็กตรอนของชั้นทดสอบที่หลุดออกมาจะถูกเรียกว่า อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ส่วนอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่สูญเสียพลังงานไปจะเกิดการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) นอกจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ ยังมีสัญญาณอื่นที่เกิดขึ้นระหว่างที่ลำอิเล็กตรอนมาชนกับชั้นทดสอบ ได้แก่ รังสีเอกซ์เรย์ลักษณะเฉพาะ (characteristic X-Ray) ไอเจอิเล็กตรอน (Auger electron) และการปล่อยแสง (cathodoluminescence)

4.1 สัญญาณที่นิยมใช้เพื่อให้เกิดภาพ

สัญญาณที่ทำให้เกิดภาพ ที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด ได้แก่

4.1.1 อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) เป็นรูปแบบสัญญาณที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ปล่อยออกมามีพลังงานที่ต่ำทำให้เคลื่อนที่ออกมาจากตำแหน่งได้แค่เพียงไม่กี่นาโนเมตรจากพื้นผิวของชั้นทดสอบ ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของวัตถุ เช่น รายละเอียดต่าง ๆ ความขรุขระผิวและให้รายละเอียดที่ดี โดยขึ้นกับจำนวนของอิเล็กตรอนที่ไปยังเครื่องตรวจจับ โดยอิเล็กตรอนที่ไม่ส่งไปถึงยังเครื่องตรวจจับจะเกิดเป็นบริเวณของเงาดำขึ้น

4.1.2 อิเล็กตรอนสะท้อนกลับ (backscattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดการกระเจิงเพียงหนึ่งหรือหลายครั้งออกจากพื้นผิว โดยอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะไปชนกับอิเล็กตรอนหรือนิวเคลียสของชั้นทดสอบ ทำให้เกิดการดั่งกลับของอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนสะท้อนกลับนี้มีพลังงานค่อนข้างสูง โดยอิเล็กตรอนชนิดนี้จะให้ข้อมูลทั้งส่วนประกอบและลักษณะพื้นผิวของชั้นทดสอบ

4.1.3 รังสีเอกซ์เรย์ (characteristic X-ray) เมื่อมีการปล่อยลำอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะไปชนกับอิเล็กตรอนวงในของพื้นผิวชั้นทดสอบ ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอก หล่นเข้ามาแทนที่ และมีการปลดปล่อยอนุภาคของแสงเอกซ์เรย์ (x-ray photon) ออกมา

4.2 การเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถเตรียมได้จากหลายหลายวิธีขึ้นกับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยถ้าเป็นชิ้นทดสอบทางชีวภาพ (bioorganic specimen) ชิ้นงานจะต้องผ่านการคงรูปร่างชิ้นงาน (fixation and drying method) ด้วยสาร เช่น กลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เพื่อให้ชิ้นทดสอบอยู่ในสภาวะที่เป็นของแข็ง จากนั้นจึงทำการไล่น้ำออกจากชิ้นทดสอบ (dehydration and air drying) ส่วนมากนิยมใช้สารเอทานอลหรืออะซิโตน หลังจากไล่น้ำออกจากชิ้นทดสอบแล้วจึงเป็นขั้นตอนของการทำชิ้นงานให้แห้ง ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การทำให้แห้งตัวอย่างอย่างรวดเร็วโดยใช้ไนโตรเจนเหลว (freeze drying) การทำให้แห้งโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว (critical point drying) ต่อมาจะต้องทำการเคลือบพื้นผิวด้วยโลหะเนื่องจากชิ้นทดสอบที่นำมาใช้จำเป็นต้องเหนียวนำกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นชิ้นทดสอบที่ไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานทางชีวภาพ พลาสติก หรือเซรามิก ล้วนต้องทำการเคลือบพื้นผิวทั้งชิ้นจะเคลือบด้วยโลหะมีค่า (precious metal) เช่น ทอง เงิน แพลตินัม พาเลเดียม ไปบนผิวของชิ้นทดสอบ เม็ดของโลหะที่ใช้เคลือบจะมีการเคลื่อนที่เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบนชิ้นงาน ในวัสดุประเภทเซรามิก โลหะ และโลหะเจือ จะต้องขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ห่อเลียงด้วยน้ำ เพื่อให้เกิดความเรียบและนำไปขัดเงาด้วยผงอลูมินา ต่อมาติดชิ้นทดสอบบนแท่งโลหะ (stub) และยึดชิ้นงานด้วยการส่องหน้าหรือสารยึดติดอื่น⁽⁴⁰⁾ และนำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทำการส่องด้วยกล้องต่อไป

4.3 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเอกซ์เรย์ (x-ray detector)

ดังที่กล่าวไปแล้วว่ารังสีเอกซ์คือการปลดปล่อยพลังงานแสงเอกซ์เรย์ออกมา เนื่องจากมีการหลุดออกของอิเล็กตรอนวงในทำให้อิเล็กตรอนวงนอกหล่นเข้ามาแทนที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงานต่าง ๆ เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละตัว ดังนั้นจึงเกิดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเอกซ์เรย์ (energy dispersive x-ray spectroscopy: EDS) ขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในการศึกษาถึงองค์ประกอบโครงสร้างขนาดเล็กของชิ้นทดสอบ โดยปริมาณสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับพลังงานรังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา และน้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เครื่องตรวจจับสัญญาณนี้จะวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพ (qualitative) และเชิงปริมาณ (quantitative)⁽⁴⁰⁾

การเตรียมชิ้นงานสำหรับใช้ในการตรวจจับสัญญาณเอกซเรย์นั้นขั้นตอนเหมือนกับการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปใช้ในการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แต่ต้องระมัดระวังในขั้นตอนของการเคลือบผิวด้วยโลหะจะต้องให้โลหะที่เคลือบนั้นมีความบางประมาณ 10 นาโนเมตร เนื่องจากฟิล์มโลหะที่หนาเกินไปจะบดบังรายละเอียดและการรับสัญญาณจากเครื่องตรวจจับสัญญาณ แต่ถ้าฟิล์มโลหะบางเกินไปความร้อนที่เกิดขึ้นจากการยิงลำอิเล็กตรอนจะไปทำลายชิ้นงานได้ ชิ้นงานต้องถูกขัดจนเรียบเนื่องจากมีผลต่อสัญญาณเอกซเรย์ที่ออกมา

4.4 รูปแบบความล้มเหลว

ความล้มเหลวของวัสดุที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้บริเวณหลายตำแหน่ง ไม่ว่าจะเป็นในเนื้อวัสดุชนิดเดียวกันหรือบริเวณรอยต่อ โดยวัสดุจะยึดอยู่ได้นั้นจะต้องอาศัยแรงดักกล่าวต่อไปนี้ แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน เป็นแรงยึดทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในของสารนั่นเอง แรงยึดติด (adhesion force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน เป็นแรงที่เกิดระหว่างวัสดุหนึ่งกับอีกวัสดุหนึ่ง ในทางทันตกรรมพบว่าเมื่อยึดวัสดุบูรณะกับฟัน ด้านหนึ่งจะเกิดแรงยึดติดระหว่างซีเมนต์กับฟันส่วนอีกด้านหนึ่งจะเกิดแรงยึดติดระหว่างซีเมนต์กับวัสดุบูรณะและขณะเดียวกันก็เกิดแรงเชื่อมแน่นในตัวของซีเมนต์เอง ความล้มเหลวของการใช้ระบบสารยึดติดจะเกิดขึ้นเมื่อสารยึดติดหรือซีเมนต์มีการแยกออกจากพื้นผิวที่ทำการยึดติดหรือมีการแตกหักภายในของสารยึดติดเอง⁽⁴¹⁾ โดยรูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจำแนกออกเป็น 3 รูปแบบได้แก่

1. การไม่ยึดอยู่ (adhesive failure) ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างสารยึดติดและพื้นผิวที่ทำการยึดติด เมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจะพบลักษณะของพื้นผิววัสดุที่ถูกขัดเรียบร้อยละ 100
2. การเชื่อมแน่นล้มเหลวในเนื้อวัสดุ (cohesive failure) ความล้มเหลวนี้จะเกิดในเนื้อวัสดุเอง เมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจะพบลักษณะของเนื้อวัสดุที่เกิดการแตกหักอยู่ร้อยละ 100
3. การล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) จะเกิดความล้มเหลวทั้งแบบการไม่ยึดอยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลวผสมกันอยู่

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการทดลองการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

1. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวใด ๆ
2. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน
3. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยด่างน้ำกลั่น
4. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยด่างกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37
5. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยคลอเฮกซิดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.12
6. ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นงาน (Specimen preparation)

1.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเฉือน

นำแท่งหล่อลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (IPS e.max[®] Press, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) MO 0 มาขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. หนา 3 มม. ทั้งหมด 60 ชิ้น จากนั้นนำไปยัดติดบนปูนสโตนพลาสติกเตอร์ชนิดแข็ง (stone plaster) ที่เทไว้ในท่อพีวีซี โดยกดชิ้นเซรามิกจนมีความสูงเหนือปูนสโตนพลาสติกเตอร์ชนิดแข็ง 1 มม. จากนั้นจึงนำไปขัดด้วยกระดาษทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ที่มีความหยาบไปละเอียด 220 400 600 ตามลำดับ โดยดูความขรุขระผิวหลังขัด ให้ขึ้นทดสอบแต่ละชิ้น มีความขรุขระผิวเท่า ๆ กัน ทุกชิ้นทดสอบ นำ

ขึ้นทดสอบมาขัดภายใต้ น้ำหล่อเลี้ยงด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ (NANO 2000, PACE TECHNOLOGIES USA) น้ำหนักหัวกด 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยขึ้นงานจะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาและกระดาศทรายซิลิกอนคาร์ไบด์จะหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา ใช้เวลาขัด 5 นาทีต่อความหยาบของกระดาศซิลิกอนคาร์ไบด์แต่ละเบอร์และเปลี่ยนกระดาศซิลิกอนคาร์ไบด์ใหม่ทุกครั้งที่เราเริ่มขัดขึ้นงานใหม่ หลังจากขัดขึ้นงานแล้วนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic cleaner) ที่มีน้ำอยู่ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเป่าให้แห้ง นำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอ (stereomicroscope, SZ 61, Olympus Co., Japan) ที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อดูว่าปราศจากรอยแตกใด ๆ บนชิ้นเซรามิกก่อนทำการทดสอบ แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม (ภาพประกอบที่ 2)

กลุ่มที่ 1 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวใด ๆ

กลุ่มที่ 2 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน (เป็นกลุ่มควบคุม)

กลุ่มที่ 3 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น

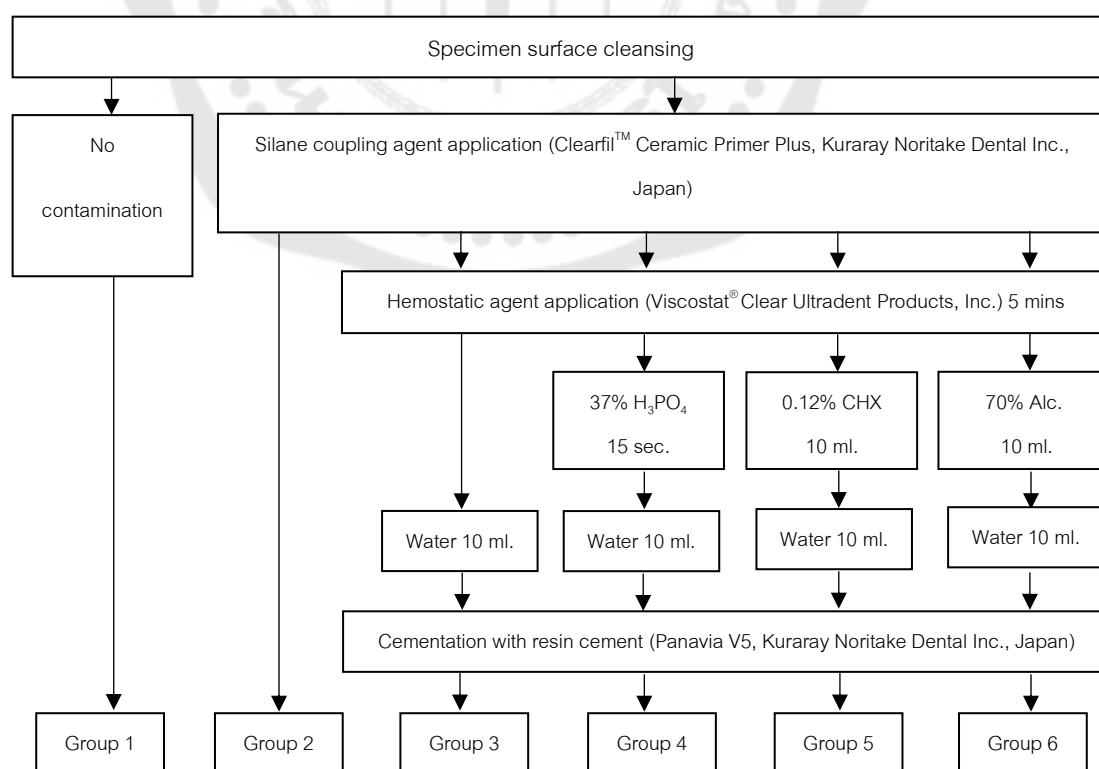
กลุ่มที่ 4 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37

กลุ่มที่ 5 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยคลอเฮกซิดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.12

กลุ่มที่ 6 ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน ทาด้วยน้ำยาห้ามเลือด ทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70

แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยวิธีการสุ่มด้วยการจับสลาก โดยกลุ่มทดลองที่ 2-6 จะปรับสภาพผิวด้วยการทาสารคู่ควบไฮเลนลงบนพื้นผิวของชิ้นงาน ทาปริมาณ 1 ชั้น แล้วจึงเป่าลมจากทริปปเปิลไชรินจ์ที่ปราศจากละอองน้ำและน้ำมันด้วยแรงดัน 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยให้ปลายของทริปปเปิลไชรินจ์ห่างจากผิวหน้าเซรามิกประมาณ 1 เซนติเมตร เป่าจนไม่มีการไหลของสารคู่ควบไฮเลน กลุ่มที่ 3-6 หลังจากทาสารคู่ควบไฮเลนแล้ว จะทาน้ำยาห้ามเลือดทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นชิ้นงานจะถูกนำไปทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ ตามกลุ่มที่กำหนด โดยสารล้างแต่ละชนิดจะถูกบรรจุไว้ในกระบอกฉีดยาปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยให้ปลายกระบอกฉีดห่างจากพื้นผิวประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วตามด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ยกเว้นในกลุ่มที่ 3 ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียวปริมาตร 10 มิลลิลิตร และกลุ่มที่

4 ที่ทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริก จะทากรดฟอสฟอริกทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วินาที แล้วตามด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงเป่าให้แห้ง นำเทปกาวหน้าเดียว (Scotch blue Painter's Minnesota, USA) ที่มีความหนา 80 ไมโครเมตร ขนาด 10x10 มิลลิเมตร เจาะรูบนกระดาษกาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร มาติดลงบนชิ้นงานด้านที่ทำการเตรียมพื้นผิวไว้แล้ว นำแม่แบบซิลิโคน (Elite HD, Zhermack, Badia Polesine, Italy) ที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความลึก 2 มิลลิเมตร วางบนผิวหน้าเซรามิก โดยให้รูที่จะบรรจุเรซินซีเมนต์อยู่ครอบคลุมบริเวณเทปกาวที่เจาะรูไว้ทั้งหมด จากนั้นฉีดเรซินซีเมนต์ที่ถูกผสมผ่านเกลียวผสมอัตโนมัติลงในรูแม่แบบ ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที (ภาพประกอบที่ 3) แกะแม่แบบออกจากนั้นกดด้านบนเรซินซีเมนต์ด้วยค้อนน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ฉายแสงซ้ำอีกครั้งที่บริเวณ 3 6 9 และ 12 นาฬิกา อีกด้านละ 20 วินาที แซ่ชิ้นงานไว้ในน้ำกลั่น เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator; Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., Korokoro, Lower Hutt, New Zealand) โดยให้อยู่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการนำไปทดสอบ โดยเซรามิกชนิดนี้เคยมีไดซิติเกต เรซินซีเมนต์ น้ำยาห้ามเลือด และสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้มีเลขที่สินค้าและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพประกอบ 2 แผนภาพแสดงวิธีการทดลองและการแบ่งกลุ่มทดลอง

1.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เตรียมชิ้นเซรามิกเพิ่มอีกกลุ่มละ 1 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 7 ชิ้น นำชิ้นเซรามิกมาขัดด้วยกระดาษทรายซิลิคอนคาร์ไบด์จากหยาบไปละเอียดตั้งแต่เบอร์ 220 400 600 ตามลำดับภายใต้ น้ำหล่อเลี้ยง หลังจากขัดชิ้นงานแล้วนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic cleaner) ที่มีน้ำอยู่ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเป่าให้แห้ง จากนั้นนำชิ้นเซรามิกที่ได้ไปปรับสภาพผิวตามแต่ละกลุ่มที่ได้กำหนดไว้ โดยกลุ่มที่มีการล้างด้วยน้ำกลั่นจะเปลี่ยนมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) แทน โดยเพิ่มขั้นตอนทดสอบกลุ่มที่ทำด้วยสารคู่ควบไฮเลน ตามด้วยน้ำยาห้ามเลือด โดยไม่ได้ล้างออกด้วยสารใด เพิ่มขึ้นมา 1 กลุ่ม เก็บชิ้นทดสอบที่เตรียมพื้นผิวแล้วในตู้ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปเคลือบผิวด้วยทองภายใต้เครื่องระเหยที่ทำงานในสภาวะสุญญากาศ (vacuum evaporator) แล้วนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; JEOL, JSM-IT300 and Oxford,X-MaxN20)



ภาพประกอบ 3 ชิ้นทดสอบที่ทำการยึดติดกับเรซินซีเมนต์

ตาราง 1 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบ

ผลิตภัณฑ์	Lot no.	ส่วนประกอบ
ลิเทียมไดซิลิเกต เซรามิก (IPS e.max [®] Press, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)	W02583	Lithium disilicate crystals (approx. 70%), Li ₂ Si ₂ O ₅ , embedded in a glassy matrix. Standard compositions: SiO ₂ , Li ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , ZrO ₂ , ZnO, other oxides and ceramic pigments
เรซินซีเมนต์ (Panavia [™] V5, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	AN0018	Base: bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA), silanated barium glass filler, silanated fluoroaluminosilicate glass filler, colloidal silica, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophilic aliphatic dimethacrylate, initiators, accelerators Catalyst: bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophilic aliphatic dimethacrylate, silanated barium glass filler, silanated aluminium oxide filler, di-Camphorquinone, accelerators, pigments
สารเคลือบไฮเลน (Clearfil [™] Ceramic Primer Plus, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	6K0036	Ethanol, 3-trimethoxysilylpropyl methacrylate, 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (10-MDP)

ตาราง 1 (ต่อ)

น้ำยาห้ามเลือด (Viscostat® Clear, Ultradent Products, Inc)	BG7KB	25% m/m Aluminium chloride solution
กรดฟอสฟอริก (SDI Super Etch Bayswater, Victoria, Australia)	180402	37% Phosphoric acid
คลอเฮกซิดีนกลูโคเนต (C-20, Osoth Inter Laboratories Co., LTD, Thailand)	02390016	Chlorhexidine gluconate 0.12 g.
เอทิลแอลกอฮอล์ (Siribuncha Co., LTD, Thailand)	0979343	Ethyl alcohol 70% V/V

2. การนำไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว

นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้แล้วไปทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (Universal testing machine; EZ-S 500N, Shimadzu corporation, Kyoto, Japan) ที่ความเร็วหัวกด (crosshead speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที คำนวณค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวในหน่วยเมกะพาสคาล ซึ่งได้จากค่าแรงสูงสุดก่อนเกิดการแตกหักส่วนด้วยพื้นที่ที่ทำการยึดติด

3. การศึกษารูปแบบความล้มเหลว

หลังจากการทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวแล้วจึงนำชิ้นงานมาศึกษาดูรูปแบบของความล้มเหลวที่เกิดขึ้น (mode of failure) ทางด้านตัดขวางของชิ้นทดสอบหลังการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอ (stereomicroscope, SZ 61, Olympus Co., Japan) ที่กำลังขยาย 40 เท่า รูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้น ได้แก่ ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชั้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure) ลักษณะหลังจากการแตกหักจะพบพื้นที่ผิวเซรามิกมากกว่าร้อยละ 75 ความล้มเหลวเชื่อมแน่นในชั้นงานเซรามิก (cohesive failure in ceramic) พบการแตกหักในเนื้อเซรามิกมากกว่าร้อยละ 75 ความล้มเหลวเชื่อมแน่นในเนื้อเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in resin cement) พบเรซินซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 75 อยู่บนพื้นผิวเซรามิกหลังการแตกหัก หรือความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) พบความล้มเหลวทั้งแบบการไม่ยึดอยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว โดยจะพบเรซินซีเมนต์บนด้านเซรามิกของชิ้นทดสอบอยู่เป็น

หยาบๆ โดยพบเรซินซีเมนต์บนพื้นผิวเซรามิกอยู่ร้อยละ 50-75 โดยคำนวณพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ

4. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้สำหรับไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; JEOL, JSM-IT300 and Oxford, X-MaxN20) ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 2000 เท่า ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (elemental chemical analysis) ที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเอกซเรย์ (energy dispersive x-ray spectroscopy) พลังงานที่ใช้ปลดปล่อยอิเล็กตรอนปฐมภูมิอยู่ที่ 5-20 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยดูการกระจายตัวของแร่ธาตุบนพื้นผิวเซรามิกก่อน (mapping) จากนั้นเลือกตำแหน่ง 3 ตำแหน่งที่แตกต่างกันของชิ้นทดสอบเพื่อทำการทดสอบ

การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การดูค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว ดูค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ โดยนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทิศทางเดียว (One-way ANOVA) จากนั้นจึงนำมาหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มโดยการจับคู่กลุ่ม (Multiple comparison) แบบทูกีย์ (Tukey) ด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS)

2. การศึกษารูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้น ศึกษาารูปแบบของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นว่าเป็นความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชิ้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure), ความล้มเหลวเชื่อมแน่นในชิ้นงานเซรามิก (cohesive failure in ceramic, ความล้มเหลวเชื่อมแน่นในเนื้อของเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in resin cement) หรือความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) จุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอ จากนั้นจึงคำนวณร้อยละของรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้น

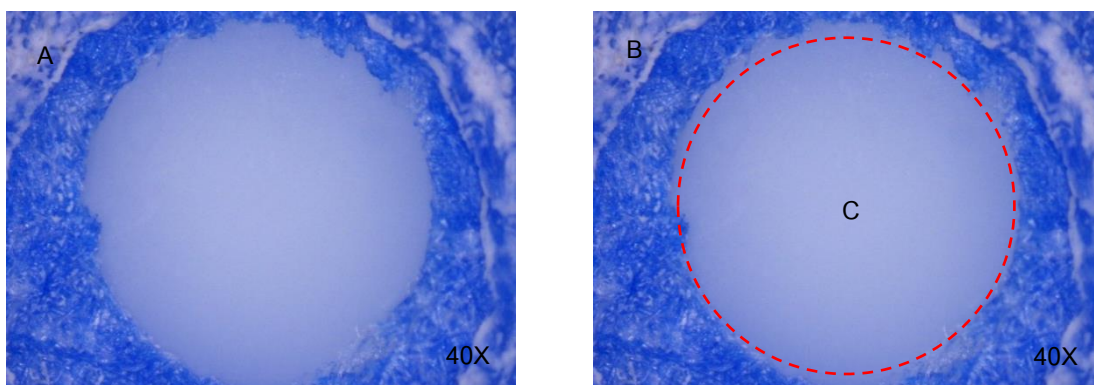
3. การวิเคราะห์ธาตุเคมี ศึกษาปริมาณของธาตุที่อยู่บนพื้นผิวของกลุ่มตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเอกซเรย์ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุทั้งก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ

บทที่ 4

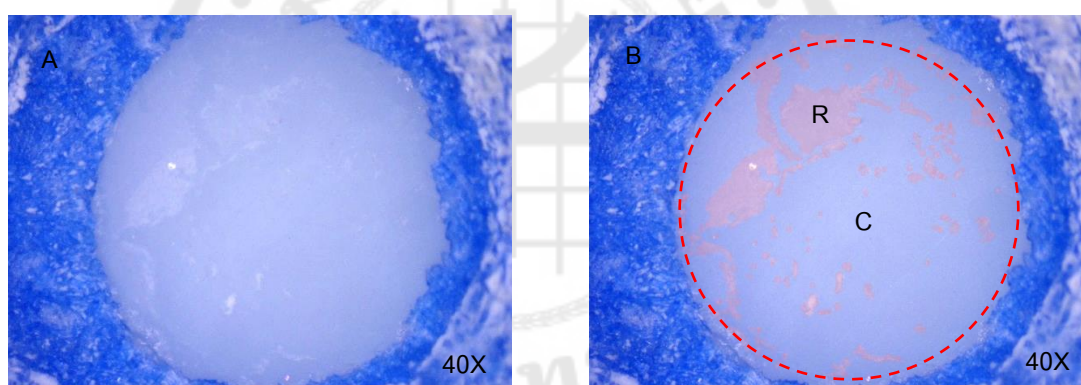
ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารทำความสะอาดหลังจากการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดบนลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก โดยศึกษาจากค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก ศึกษารูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชิ้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์หลังการแตกหักของวัสดุ และดูปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตหลังปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างชิ้นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตกับเรซินซีเมนต์ หลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดและนำมาทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนทางเดียวและสถิติทูกี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดบนลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกส่งผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว โดยในกลุ่มที่ 2 ที่ทาสารคลุมผิวเลนเพียงอย่างเดียวเป็นกลุ่มควบคุม พบว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด ได้แก่ กลุ่มที่ 3-6 พบว่ากลุ่มดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนื่อนน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในกลุ่มที่ 3 ที่ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ 4-6 ที่ทำการล้างด้วยกรดฟอสฟอริก คลอร์เฮกซีดิน และเอทิลแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในกลุ่มที่ 4-6 มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในกลุ่มที่ 1 ที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกพบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำที่สุด เมื่อศึกษาลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ พบลักษณะความล้มเหลวแบบผสมมากที่สุด โดยพบในกลุ่มที่ 2-6 ในกลุ่มที่ 3 และ 6 พบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชิ้นเซรามิกกับเรซินซีเมนต์อยู่ร้อยละ 10 ในทั้งสองกลุ่ม และในกลุ่มที่ 1 พบชิ้นทดสอบก่อนการแตกหัก 3 ชิ้น เกิดความล้มเหลวระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ในทุกชิ้นการทดสอบ (ภาพประกอบที่ 4, 5)



ภาพประกอบ 4 ภาพ A และ B แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบการไม่ยึดอยู่บนด้านตัดขวางของ
ชิ้นทดสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 (C = เซรามิก)



ภาพประกอบ 5 ภาพ A และ B แสดงรูปแบบความล้มเหลวแบบผสม บนด้านตัดขวางของชิ้น
ทดสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า (C = เซรามิก R = เรซินซีเมนต์)

ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังยึดเหนี่ยว (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และลักษณะความล้มเหลว

Group	Shear bond strength in MPa (SD)	Number of the pretest failures	Mode of failure (%)		
			Adhesive	Cohesive	Mixed
Group 1 No treatment	2.13 (0.43) ^A	3/10	100	0	0
Group 2 Control group	18.04 (1.18) ^B	0/10	0	0	100
Group 3 Hemostatic agent + Distilled water	9.79 (0.86) ^C	0/10	10	0	90
Group 4 Hemostatic agent + 37% Phosphoric acid	14.31 (3.03) ^D	0/10	0	0	100
Group 5 Hemostatic agent + 0.12% Chlorhexidine	13.96 (3.27) ^D	0/10	0	0	100
Group 6 Hemostatic agent + 70% Ethyl alcohol	13.07 (3.47) ^D	0/10	10	0	90

**Superscript letters following mean values: the same letter indicates not significantly different at p-value 0.05*

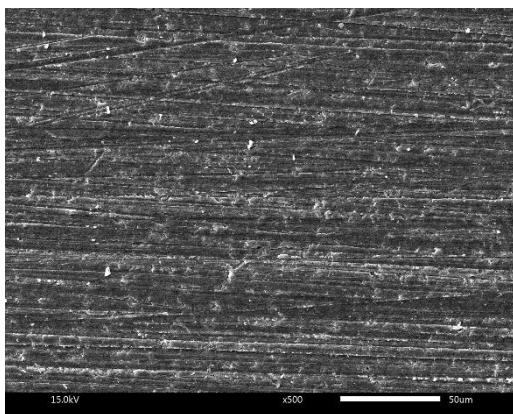
ลักษณะพื้นผิวลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกก่อนการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด และหลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยสารต่าง ๆ แสดงโดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังภาพประกอบ 6 จากผลการทดลองพบลักษณะของพื้นผิวเซรามิกที่ไม่ได้ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือด มีลักษณะของรอยขีดจากกระดาษทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ ลักษณะของพื้นผิวเซรามิกที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดจะพบลักษณะของ

ผลึกอลูมิเนียมคลอไรด์อยู่เต็มพื้นผิวของเซรามิก และลักษณะของพื้นผิวเซรามิกที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยสารต่าง ๆ จะพบผลึกอลูมิเนียมคลอไรด์ที่มีขนาดเล็กกระจายอยู่บนพื้นผิวของเซรามิกเช่นกัน เมื่อนำขึ้นทดสอบมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุพบคลอไรด์อยู่บนขึ้นทดสอบที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดและขึ้นทดสอบที่ปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยสารต่าง ๆ โดยปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่พบแสดงตามตารางที่ 3

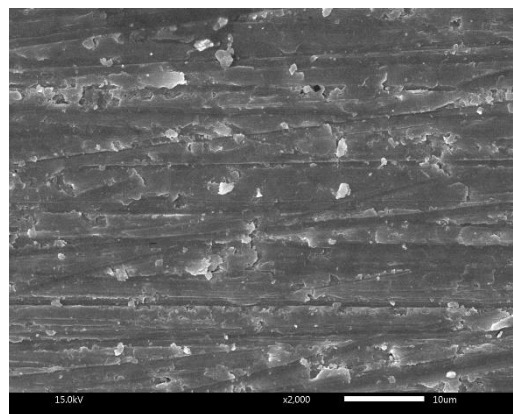
ตาราง 3 แสดงปริมาณธาตุบนขึ้นทดสอบ

Element wt. (%)	No treatment	Control group	H	H + water	H + 37% H ₃ PO ₄	H + 0.12% CHX	H + 70% Alc
C	8.37	27.30	26.92	20.85	36.74	28.25	16.86
O	45.18	39.04	34.33	36.90	28.09	33.80	40.98
Mg	0.79	0.55	-	-	-	0.50	0.57
Al	1.00	0.52	2.00	-	0.64	0.51	1.08
Si	39.00	28.35	26.20	35.07	31.97	31.36	34.29
Cl	-	-	7.15	3.27	2.56	3.23	4.86
K	2.77	2.09	1.94	3.2	-	2.84	2.43
Zn	2.89	2.16	1.45	-	-	1.78	2.86

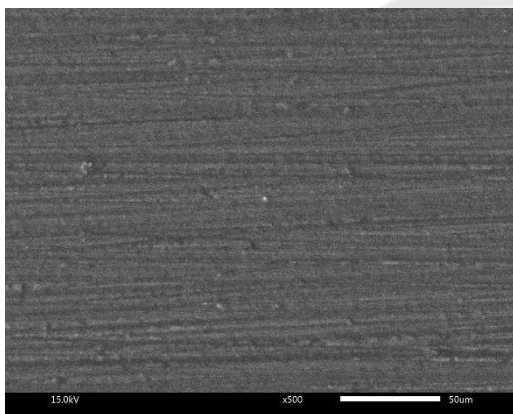
*H = Hemostatic agent, H₃PO₄ = Phosphoric acid, CHX = Chlorhexidine, Alc = Ethyl alcohol, C = Carbon, O = Oxygen, Mg = Magnesium, Al = Aluminium, Si = Silicon, Cl = Chloride, K = Potassium, Zn = Zinc



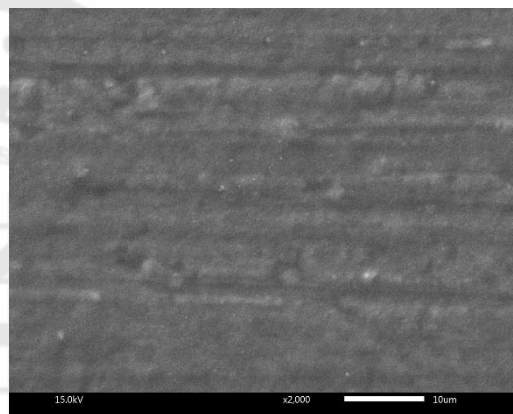
A



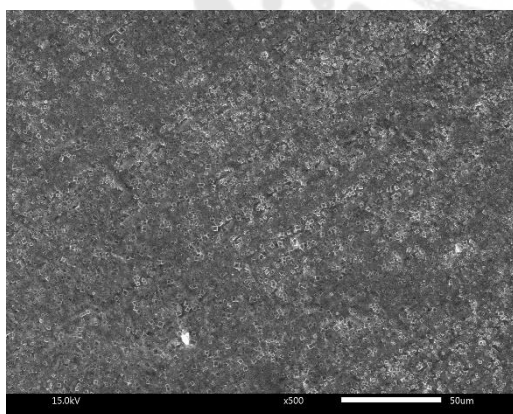
B



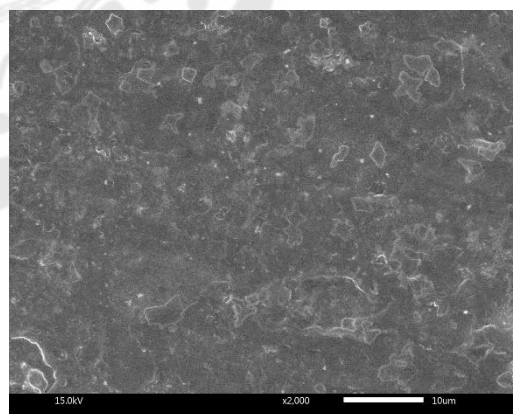
C



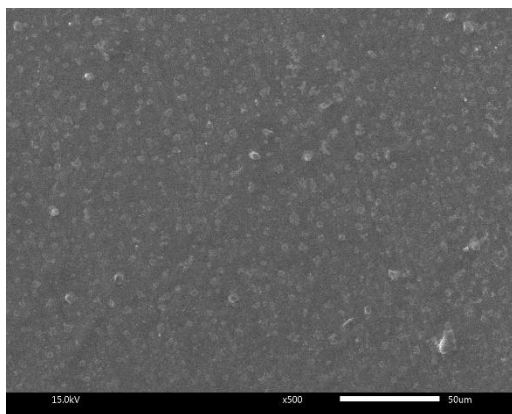
D



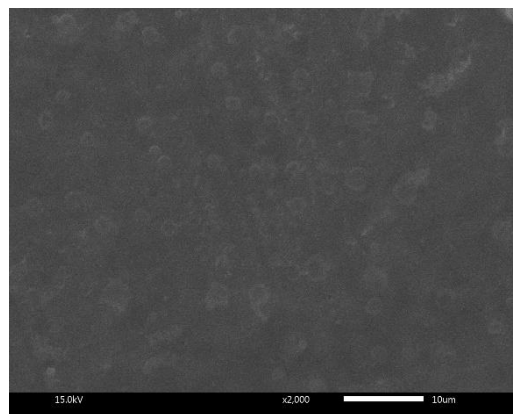
E



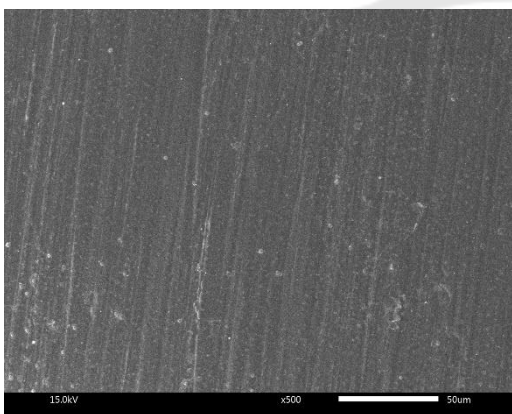
F



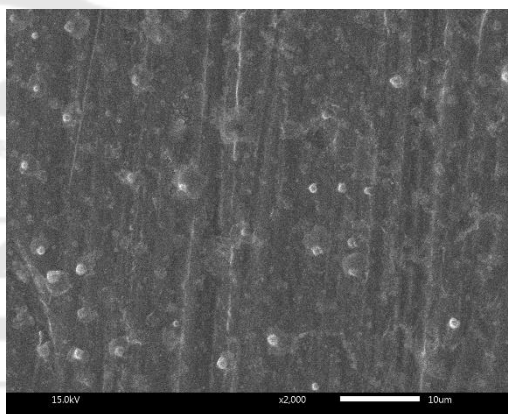
G



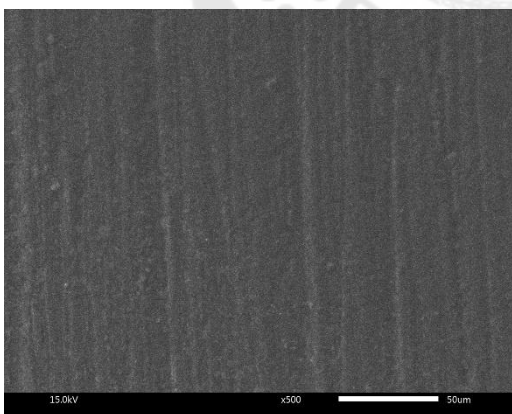
H



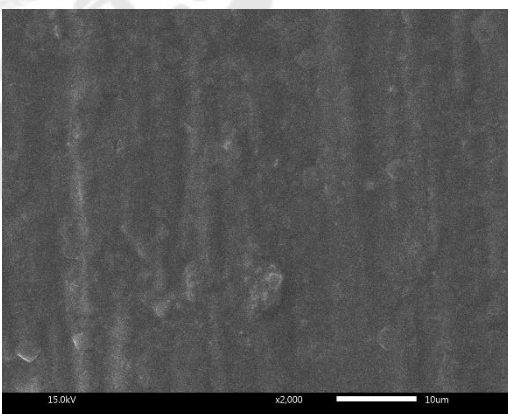
I



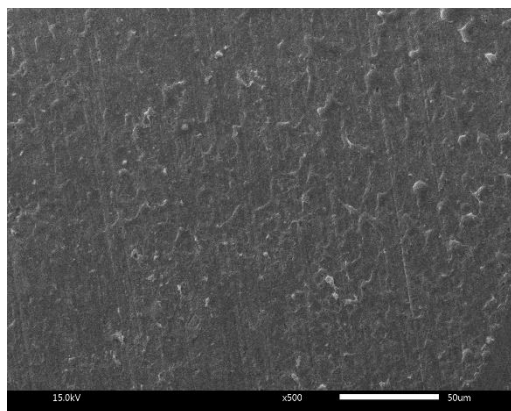
J



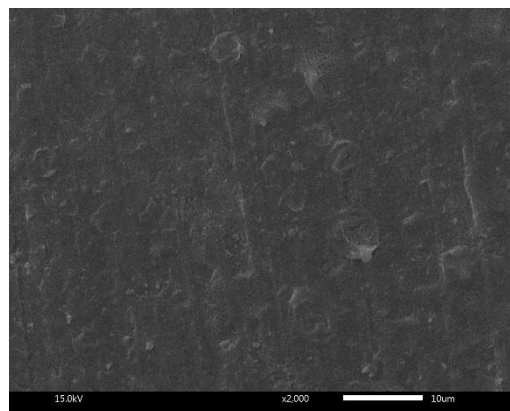
K



L



M



N

ภาพประกอบ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิว
ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่กำลังขยาย 500 เท่า (รูปด้านซ้ายมือ) และ 2000 เท่า (รูปด้านขวามือ)

A, B ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิว

C, D ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจน

E, F ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจนและปนเปื้อนด้วย
น้ำยาห้ามเลือด

G, H ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกหลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยน้ำ

I, J ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกหลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยกรดฟอสฟอริก

K, L ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกหลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยคลอเฮกซิดีน

M, N ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกหลังจากปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยแอลกอฮอล์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดบนลิเทียมไดซลิเกตเซรามิกก่อนนำไปทำการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดติดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ พบว่าค่ากำลังแรงยึดติดเพิ่มมากขึ้น โดยการทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นให้ค่าการยึดติดที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารล้างที่เป็นกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 0.12 และเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 ส่วนการใช้สารล้างกรดฟอสฟอริก คลอร์เฮกซิดีน และเอทิลแอลกอฮอล์พบว่ามีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างลิเทียมไดซลิเกตเซรามิกกับเรซินซีเมนต์หลังเซรามิกถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดและนำมาทำความสะอาดด้วยสารต่าง ๆ ได้แก่ น้ำกลั่น กรดฟอสฟอริก คลอร์เฮกซิดีน และเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าเมื่อนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นจะให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งไว้

การศึกษานี้ทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเพื่อดูการค่าการยึดติดระหว่างชิ้นงานเซรามิกและเรซินซีเมนต์ เนื่องจากค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงที่ทำให้ชิ้นงานในช่องปากเกิดการหลุดออกแตกหัก มากกว่าแรงดึง นอกจากนี้ยังสามารถสร้างชิ้นทดสอบได้ง่าย ได้พื้นที่ในการยึดติดที่มีขนาดใกล้เคียงกันของแต่ละชิ้นทดสอบ สะดวกในการนำมาดูพื้นที่ทำการยึดติดหลังการแตกหักได้⁽⁴²⁻⁴⁴⁾

ลิเทียมไดซลิเกตเป็นวัสดุเซรามิกประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุบูรณะอย่างแพร่หลายทางทันตกรรม เนื่องจากความสวยงาม ความแข็งแรง และความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก⁽¹⁻³⁾ จากการศึกษาจำลองถึงสถานการณ์การยึดติดวัสดุบูรณะเซรามิกภายในช่องปากด้วยเรซินซีเมนต์ ซึ่งจำลองการควบคุมการปนเปื้อนจากเลือดด้วยการใช้น้ำยาห้ามเลือด โดยการศึกษานี้ใช้สารห้ามเลือดที่มีส่วนประกอบของอลูมิเนียมคลอไรด์อยู่ร้อยละ 25 เนื่องจากเป็นสารห้ามเลือดที่นิยมใช้ทางทันตกรรม และสามารถควบคุมให้เลือดหยุดไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ^(20, 34, 45, 46) การศึกษานี้ทำการทาน้ำยาห้ามเลือดทิ้งไว้บนชิ้นเซรามิกเป็นเวลา 5 นาที เนื่องจากเป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ห้ามเลือดในบริเวณที่ต้องการ ก่อนทำการบูรณะฟันในบริเวณดังกล่าว^(25, 47)

การปรับสภาพผิวของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตก่อนการนำไปยึดติดนั้น ทำได้โดยการปรับสภาพผิวทางเชิงกล ร่วมกับการใช้สารเคมี โดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน^(8, 9, 11) การปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจะเป็นการกำจัดส่วนที่เป็นแก้ว (glass phase) ออกไป เกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกล (mechanical bonding) ระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเซรามิก และการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนจะช่วยเพิ่มแรงยึดติดทางเคมี (chemical bond) กับพื้นผิวของเซรามิก⁽⁴⁸⁾ จากการศึกษานี้พบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่มที่ 2-6 ที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่ากลุ่มที่ 1 ที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การศึกษาที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเพียงอย่างเดียวเนื่องจากต้องการศึกษาผลของสารเคมีที่ส่งผลต่อค่ากำลังแรงยึดติดเหนี่ยวเท่านั้น จึงได้ตัดปัจจัยจากแรงยึดติดทางเชิงกลที่เกิดจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกออกไป

จากหลาย ๆ การศึกษาพบว่าเมื่อวัสดุบูรณะสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ก่อนการนำไปยึดติดจะส่งผลให้ค่าการยึดติดของวัสดุลดลง^(7, 13-18) จากการศึกษาที่พบว่าลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดที่มีส่วนประกอบของอลูมินัมคลอไรด์ก่อนนำไปยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ จะส่งผลให้ค่ากำลังยึดติดลดลงเช่นเดียวกัน โดยพบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่ 3-6 ที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ที่เป็นกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาของ Pucci และคณะ⁽⁴⁹⁾ พบค่ากำลังการยึดติดระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดโดยไม่ได้ทำการล้างออกจะให้ค่ากำลังการยึดติดที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ทำความสะอาดน้ำยาห้ามเลือดด้วยคลอร์เฮกซิดีน การศึกษาของ Slavcheva และคณะ⁽²¹⁾ พบว่าเมื่อนำเอาเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลิวไซต์ (leucite-reinforced ceramic) มาทำการปนเปื้อนด้วยสารต่าง ๆ พบว่าเมื่อมีการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดที่มีอลูมินัมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ตามขอบวัสดุเซรามิก (marginal degradation) หลังจากได้รับแรงเชิงกล (mechanical loading) การศึกษาของ Kumar และคณะ⁽¹⁸⁾ พบว่าเนื้อฟันที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดตามด้วยการใช้สารยึดติดระบบโททอลเอตซ์ 2 ขั้นตอนและสารยึดติดระบบเซลฟ์เอตซ์แล้วตามด้วยเรซินคอมโพสิตโดยที่ไม่ได้กำจัดน้ำยาห้ามเลือดออกจะพบค่าการรั่วซึมระดับไมครอน (marginal microleakage) ที่มาก ในกลุ่มที่ 2 ที่หาสารคู่ควบไซเลนเพียงอย่างเดียวพบว่าได้ค่าแรงยึดติดเหนี่ยวสูงที่สุด ซึ่งตรงกับหลายการศึกษา^(4, 43) เช่น การศึกษาของ Kalavacharla และคณะ⁽⁴⁾ ที่พบว่าเมื่อนำเอาลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกมาปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเพียงอย่างเดียว

ส่งผลให้ค่าการยึดติดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ได้ไม่ทำการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนที่จะนำมาทำการยึดติด จากการศึกษาชิ้นสารที่นำมาใช้ทำความสะอาดชิ้นเซรามิกที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 0.12 และเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 เนื่องจากเป็นสารที่ใช้ทั่วไปและหาได้ง่ายในคลินิกทันตกรรม โดยพบว่ากลุ่มที่ 3 ที่ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ 4-6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากการศึกษาใช้น้ำยาห้ามเลือดที่อยู่ในรูปแบบของเจล (gel) ที่มีความหนืดทำให้สามารถล้างออกได้ยาก^(18, 47, 49) โดยจากการศึกษาของ Pucci และคณะ⁽²⁷⁾ และ Kumar และคณะ⁹ ทั้ง 2 การศึกษานี้ใช้น้ำยาห้ามเลือดที่มีส่วนประกอบของเฟอร์ริกซัลเฟต (ferric sulfate) ที่อยู่ในรูปแบบของเจลเช่นกัน โดยพบว่าน้ำยาห้ามเลือดแบบเจลจะถูกกำจัดออกไปได้ยากกว่า แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 2 การศึกษานี้ทำการศึกษาน้ำยาห้ามเลือดโดยปนเปื้อนลงบนเนื้อฟัน ซึ่งน้ำยาห้ามเลือดที่ใช้ในการทดลองมีเฟอร์ริกซัลเฟตอยู่ทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนในท่อเนื้อฟันทำให้ขัดขวางการทำงานของสารยึดติดเช่นกัน ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่พื้นผิวที่ถูกการปนเปื้อนเป็นวัสดุประเภทเซรามิกเซรามิก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ปนเปื้อนลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกด้วยน้ำลาย แล้วนำมาล้างด้วยสารต่าง ๆ พบว่าการล้างด้วยน้ำกลั่นจะให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการล้างด้วยสารอื่น⁽⁵⁰⁾ ส่วนการทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 0.12 และเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 ในการศึกษาพบว่าค่ากำลังยึดติดที่ได้สูงกว่าการทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น งานวิจัยนี้เลือกใช้กรดฟอสฟอริกมาเป็นสารล้างเนื่องจากพบว่าในคู่มือการใช้เรซินซีเมนต์ มักแนะนำให้ทำความสะอาดชิ้นเซรามิกด้วยกรดฟอสฟอริก ก่อนนำชิ้นงานไปยึดติดเสมอ⁽⁷⁾ จากการศึกษาของ Yoshida และคณะ⁽⁵¹⁾ พบว่าเมื่อนำเอทิลเทียมไดซิลิเกตเซรามิกและลิวไซตรีอินฟอร์ซเซรามิก (leucite-reinforce ceramic) มาปนเปื้อนด้วยน้ำลาย แล้วทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่าสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวของเซรามิกได้ และมีความเหมาะสมที่จะนำไปยึดติดต่อไป⁽⁵¹⁾ แต่มีบางการศึกษาที่พบว่าเมื่อปนเปื้อนนําลายลงบนลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก แล้วทำความสะอาดด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่าค่าการยึดติดที่ได้ไม่ต่างจากกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽⁷⁾ นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกจะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมที่อยู่บนพื้นผิวเกิดเป็นสารประกอบอลูมิเนียมฟอสเฟต (Aluminium phosphate – $AlPO_4$) และถูกกำจัดออกไป⁽⁵²⁾ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ajami และคณะ⁽⁵²⁾ พบว่าเมื่อทำความสะอาดเนื้อฟันที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดที่มีอลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบด้วยกรดฟอสฟอริกจะมีค่ากำลังแรง

ยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มที่ล้างออกด้วยน้ำ แต่ยังมีค่ากำลังแรงยึดติดที่น้อยกว่ากลุ่มควบคุม จากการศึกษาของ Chaiyabutr และ Kois⁽²⁵⁾ พบว่าเมื่อทำความสะอาดเนื้อฟันที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 25-30 จะช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดมากกว่ากลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยน้ำเช่นกัน สำหรับคลอร์เฮกซิดีนเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) ที่นิยมใช้ โดยมีคุณสมบัติยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลุ่มเมทริกซ์ เมทัลโลโปรตีนเนส (matrix metalloproteinases) ที่อยู่ในเนื้อฟันได้⁽⁵³⁾ ซึ่งเอนไซม์นี้จะถูกกระตุ้นได้เมื่อเนื้อฟันสัมผัสกับกรด เกิดการปลดปล่อยซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และเกิดการย่อยสลายของคอลลาเจนตามมา^(49, 54) สำหรับการศึกษาคลอร์เฮกซิดีนนั้นสามารถช่วยเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินคอมโพสิตได้ เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นสารล้าง (detergent) ของตัวคลอร์เฮกซิดีนเองที่จะช่วยชะล้างส่วนของน้ำยาห้ามเลือดที่เหลืออยู่ออกไปได้^(20, 49) แต่จากการศึกษาอื่น ๆ นั้นเป็นการศึกษาการปนเปื้อนของน้ำยาห้ามเลือดบนเนื้อฟันซึ่งผลการศึกษาที่ได้แตกต่างกันออกไป เช่น การศึกษาของ Pucci และคณะ⁽⁴⁹⁾ พบว่าการใช้คลอร์เฮกซิดีนหลังจากเนื้อฟันสัมผัสกับน้ำยาห้ามเลือดส่งผลให้ค่าการยึดติดสูงขึ้น แต่ยังมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอยู่ เนื่องมาจากคลอร์เฮกซิดีนทำหน้าที่เป็นสารชะล้างร่วมกับยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อฟันดังที่กล่าวมาแล้ว เป็นผลให้ค่าการยึดติดระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตสูงขึ้น ส่วนการศึกษาของ Sharafeddin และคณะ⁽⁵⁵⁾ พบว่าการใช้คลอร์เฮกซิดีนตามหลังการปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดบนเนื้อฟันนั้นไม่ได้ส่งผลต่อค่ากำลังการยึดติดแต่อย่างใด การใช้เอทิลแอลกอฮอล์ในการศึกษานี้พบว่าสามารถเพิ่มค่ากำลังยึดติดหลังการปนเปื้อนน้ำยาห้ามเลือดได้ อาจจะเนื่องมาจากความสามารถในการละลายของแอลกอฮอล์ที่สามารถละลายได้ทั้งสารที่มีขั้วและไม่มีขั้ว⁽⁵⁶⁾ โดยในน้ำยาห้ามเลือดที่ใช้ประกอบด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์ที่สามารถละลายได้กับส่วนที่มีขั้วของแอลกอฮอล์ (OH) จึงเป็นอีกสารหนึ่งที่ช่วยกำจัดน้ำยาห้ามเลือดออกไปได้ จากการศึกษาของ Nikolaus และคณะ⁽¹⁵⁾ พบว่าเมื่อทำความสะอาดขึ้นเซรามิกที่ปนเปื้อนน้ำลายด้วยเอทานอลจะให้ค่าแรงยึดติดที่มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทำความสะอาดอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ในกลุ่มที่มีค่ากำลังยึดติดต่ำ เป็นผลมาจากการมีส่วนของอลูมิเนียมในน้ำยาห้ามเลือดหลงเหลืออยู่ ซึ่งมีผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ โดยจากการศึกษาของ Araújo และคณะ⁽²⁴⁾ พบว่าเรซินซีเมนต์ที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดที่มีส่วนผสมของอลูมิเนียมคลอไรด์อยู่จะส่งผลต่อปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) ที่ลดลง โดยค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ยังสัมพันธ์กับความแข็งแรง (strength) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) การละลาย (solubility) ความแข็งผิว (hardness) ซึ่งเป็นลักษณะทางกายภาพของเรซินซีเมนต์ (physical characteristic)

นอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเรซินซีเมนต์ด้วย ได้แก่ ความสามารถในการคงขนาด (dimensional stability) ค่าการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับฟัน⁽⁵⁷⁾

จากหลาย ๆ การศึกษาพบว่า เมื่อใช้ระบบสารยึดติดเซลฟ์เอตซ์กับเนื้อฟันที่ปนเปื้อนด้วยสารห้ามเลือดที่มีส่วนประกอบของอลูมินัมคลอไรด์จะให้ค่ากำลังการยึดติดที่ต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม^(45, 58, 59) เนื่องจากไพรเมอร์ในระบบสารยึดติดนี้เป็นกรดอ่อนทำให้กัดบริเวณชั้นเนื้อฟันได้น้อยและอลูมิเนียมไม่ได้ถูกกำจัดออกไป โดยจากการศึกษาของ Kuphasuk และคณะ⁽⁴⁵⁾ พบว่าเมื่อนำชิ้นทดสอบดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุพบว่ามีอลูมิเนียมจากน้ำยาห้ามเลือดหลงเหลืออยู่บนผิวของเนื้อฟันเมื่อใช้ระบบสารยึดติดเซลฟ์เอตซ์ซึ่งเป็นผลให้ค่ากำลังแรงยึดติดลดลง จากการศึกษาเดียวกันยังพบอีกว่าเมื่อเปลี่ยนระบบสารยึดติดเป็นแบบโททอลเอตซ์ค่ากำลังแรงยึดติดทั้งของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน เนื่องมาจากมีการใช้กรดฟอสฟอริกที่ช่วยกำจัดส่วนของอลูมิเนียมออกไปได้มากกว่า ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Harnirattisai และคณะ⁽⁶⁰⁾ พบว่าเมื่อใช้ระบบสารยึดติดเซลฟ์เอตซ์กับเนื้อฟันทั้งกลุ่มที่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดและกลุ่มที่เป็นเนื้อฟันปกติ ให้ค่ากำลังการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในการศึกษาที่ใช้เรซินซีเมนต์ฟานาเวียวีไฟร์ ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ระบบสารยึดติดแบบเซลฟ์เอตซ์ พบว่าค่ากำลังการยึดติดของกลุ่มทดลองทุกกลุ่มมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมทั้งหมด ทั้งนี้การศึกษานี้ได้ทำการหาค่ากำลังแรงยึดติดเฉือนระหว่างเซรามิกกับเรซินซีเมนต์ซึ่งต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาที่ทำการหาค่ากำลังแรงยึดติดเฉือนระหว่างเนื้อฟันกับเรซินคอมโพสิต

นอกจากค่าการยึดติดแล้ว คุณภาพการยึดติดยังประเมินได้จากรูปแบบความล้มเหลวหลังการแตกหัก โดยลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบที่เกิดขึ้นพบว่าส่วนใหญ่เป็นรูปแบบความล้มเหลวแบบผสม ในกลุ่มที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิวพบชิ้นทดสอบก่อนการแตกหัก 3 ชิ้น ซึ่งพบเป็นลักษณะของการไม่ยึดติดอยู่ โดยชิ้นทดสอบก่อนการแตกหักจะคิดเป็นค่ากำลังแรงยึดเฉือนเท่ากับ 0 เมกะปาสกาล^(61, 62) ในกลุ่มที่ 3 และ 6 ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำและแอลกอฮอล์จะพบการไม่ยึดติดอยู่ และการศึกษานี้ไม่พบการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเซรามิกในทุกกลุ่มการทดสอบเนื่องจากไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก⁽⁴⁸⁾

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบลักษณะของผลึกอลูมินัมคลอไรด์บนชิ้นทดสอบเซรามิกที่ปนเปื้อนนํายาห้ามเลือด และยังพบผลึกของอลูมินัมคลอไรด์หลงเหลืออยู่ในชิ้นทดสอบที่ปนเปื้อนนํายาห้ามเลือดแล้วล้างออกด้วยสารต่าง ๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุพบว่าปริมาณของคลอไรด์ลดลงเมื่อทำการล้างนํายาห้ามเลือดด้วยสารล้างต่าง ๆ โดยกลุ่มที่ล้างด้วยคลอเฮกซิดีนและกรดฟอสฟอริกเหลือปริมาณคลอไรด์บนพื้นผิวต่ำกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งทา

ด้วยสารคู่ควบไซเลนเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงยึดติดเงื่อนไขที่ได้ แต่พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยแอลกอฮอล์มีปริมาณของคลอไรด์หลงเหลืออยู่มากที่สุดซึ่งไม่สอดคล้องกับค่ากำลังยึดติดเงื่อนไขที่ได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของแอลกอฮอล์เองที่ระเหยได้เร็วอาจทำให้เหลือสารตกค้างอยู่ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการดูค่าแรงยึดติดเงื่อนไขที่เกิดขึ้นหลังการยึดติด 24 ชั่วโมง แต่ในระยะยาวแล้วส่วนของน้ำยาห้ามเลือดที่หลงเหลืออยู่อาจมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) การเปลี่ยนสีของเรซินซีเมนต์ รวมทั้งความคงทนของแรงยึดติด (bond durability) ด้วย⁽²⁴⁾

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ทำการปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดบนเซรามิกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ในความเป็นจริงแล้วบริเวณที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาห้ามเลือดอาจมีส่วนของเลือดเข้ามาปะปนอยู่ด้วย ซึ่งสารล้างทำความสะอาดที่ใช้อาจให้ผลที่แตกต่างออกไป จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาต่อไป นอกจากนี้การศึกษานี้ในขั้นตอนของการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกได้ตัดการใช้กรดฟอสฟอริกที่ช่วยเพิ่มการยึดติดเชิงกลออกไป ดังนั้นการศึกษาในอนาคตอาจทำการปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนจะนำมาทดสอบหาค่ากำลังยึดติด

แผนการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	กิจกรรม
เดือนที่ 1	จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์
เดือนที่ 2-3	เตรียมชิ้นงานเซรามิกและคอมโพสิตเรซิน
เดือนที่ 4-5	วิเคราะห์ธาตุเคมีบนพื้นผิวที่ทำการทดสอบในแต่ละกลุ่ม
เดือนที่ 6-7	ทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซรามิกและเรซินคอมโพสิต
เดือนที่ 8-9	ดูรูปแบบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงหลังทำการทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว
เดือนที่ 10	วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
เดือนที่ 11-12	วิเคราะห์ สรุปผลและจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ค่าใช้จ่ายในการวิจัย

รายการ	จำนวนเงิน(บาท)
1. งบประมาณ	
ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	
2. งบดำเนินงาน	
2.1 ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ	
2.1.1 ค่าตอบแทน ได้แก่ ค่าตอบแทนผู้วิจัย	
2.1.2 ค่าใช้สอย ได้แก่	
- ค่าจ้างในการขึ้นรูปเซรามิก	3,600
- ค่าจ้างส่ง SEM	3,680
- ค่าจ้างถ่ายรูป SEM	600
- ค่าจ้างวิเคราะห์ธาตุเคมี	6,000
- ค่าจัดทำเอกสารเพื่อการรายงานผลวิจัย	1,000
- ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบแรงสาก	3,000
- ค่าใช้เครื่องขัดผิววัสดุ	1,500
- ค่าใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	450
2.1.3 ค่าวัสดุ ได้แก่	
- ค่าเซรามิกเติมไดซิลเกต	36,000
- ค่าเรซินซีเมนต์และสารคู่ควบไซเลน	13,500
- ค่าน้ำยาห้ามเลือด	2,400
- ค่าคอมโพสิตเรซิน	3,600
- ค่ากรดไฮโดรฟลูออริก	5,100
- ค่ากรดฟอสฟอริก	1,000
- ค่าแปรงขนาดเล็ก	800
- ค่ากระดาษทราย	1,500
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	83,730

บรรณานุกรม

1. Gracis S TV, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. . A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2015;28(3):227-35.
2. Giordano R, McLaren EA. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compend Contin Educ Dent*. 2010;31(9):682-4.
3. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NR. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dent Clin North Am*. 2011;55(2):333-52.
4. Kalavacharla VK, Lawson N, Ramp L, Burgess J. Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength. *Operative dentistry*. 2015;40(4):372-8.
5. Pisani-Proenca J, Erhardt MCG, Valandro LF, Gutierrez-Aceves G, Bolanos-Carmona MV, Del Castillo-Salmeron R, et al. Influence of ceramic surface conditioning and resin cements on microtensile bond strength to a glass ceramic. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2006;96(6):412-7.
6. Tian T, Tsoi JK-H, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dental materials*. 2014;30(7):e147-e62.
7. Alfaro M. Effect of a New Salivary Contaminant Removal Method on Bond Strength. *Uniformed Services University of the Health Sciences Bethesda United States*; 2014.
8. Filho AM, Vieira LCC, Araujo E, Monteiro Júnior S. Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J Prosthodont*. 2004;13(1):28-35.
9. Hickel R, Brühaver K, Ilie N. Repair of restorations—criteria for decision making and clinical recommendations. *Dent Mater J*. 2013;29(1):28-50.
10. Puppini-Rontani J, Sundfeld D, Costa A, Correr A, Puppini-Rontani R, Borges G, et al. Effect of hydrofluoric acid concentration and etching time on bond strength to lithium disilicate glass ceramic. *Operative dentistry*. 2017;42(6):606-15.
11. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater J*. 2018;34(1):13-28.

12. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dental materials*. 2012;28(5):467-77.
13. Nicholls J. Tensile bond of resin cements to porcelain veneers. *J Prosthet Dent*. 1988;60(4):443-7.
14. Aboush YE. Removing saliva contamination from porcelain veneers before bonding. *J Prosthet Dent*. 1998;80(6):649-53.
15. Nikolaus F, Wolkewitz M, Hahn P. Bond strength of composite resin to glass ceramic after saliva contamination. *Clin Oral Investig*. 2013;17(3):751-5.
16. Prata RA, De Oliveira VP, De Menezes FCH, Borges GA, De Andrade OS, de Souza Gonçalves L. Effect of 'Try-in' paste removal method on bond strength to lithium disilicate ceramic. *J Dent*. 2011;39(12):863-70.
17. Eiriksson SO, Pereira PN, Swift Jr EJ, Heymann HO, Sigurdsson A. Effects of blood contamination on resin–resin bond strength. *Dent Mater J*. 2004;20(2):184-90.
18. Kumar P, Shenoy A, Joshi S. The effect of various surface contaminants on the microleakage of two different generation bonding agents: A stereomicroscopic study. *J Conserv Dent*. 2012;15(3):265.
19. Baba NZ, Goodacre CJ, Jekki R, Won J. Gingival displacement for impression making in fixed prosthodontics: contemporary principles, materials, and techniques. *Dental Clinics*. 2014;58(1):45-68.
20. Tarighi P, Khoroushi M. A review on common chemical hemostatic agents in restorative dentistry. *Dent Res J (Isfahan)*. 2014;11(4):423.
21. Slavcheva S KI, Bortolotto T. Luting of ceramic crowns with a self-adhesive cement: Effect of contamination on marginal adaptation and fracture strength. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2013 Sep;18(5):e799.
22. Harnirattisai C KW, Senawongse P, Tagami J. Bond strengths of resin cements to astringent-contaminated dentin. *Oper Dent*. 2009 Jul;34(4):415-22.
23. W Kuphasuk CH, P Senawongse, J Tagami. Bond strengths of two adhesive systems to dentin contaminated with a hemostatic agent. *Oper Dent* 2007 Jul;32(4):399-405.

24. Araújo IS PC, Raposo LH, Soares CJ, Zanatta RF, Torres CR, Ruggiero R, Silva GR. Influence of Hemostatic Solution on Bond Strength and Physicochemical Properties of Resin Cement. *Braz Dental J.* 2017 Sep;28(5):624-31.
25. Chaiyabutr Y KJ. The effects of tooth preparation cleansing protocols on the bond strength of self-adhesive resin luting cement to contaminated dentin. *Oper Dent.* 2008 Sep;33(5):556-63.
26. Griggs JA. Recent advances in materials for all-ceramic restorations. *Dental Clinics of North Am* 2007;51(3):713-27.
27. Denry I, Holloway J. Ceramics for dental applications: a review. *Materials.* 2010;3(1):351-68.
28. SILVA LHd, MIRANDA RBdP, FAVERO SS, LOHBAUER U, CESAR PF. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Brazilian oral research.* 2017;31.
29. Willard A, Chu T-MG. The science and application of IPS e. Max dental ceramic. *The Kaohsiung journal of medical sciences.* 2018.
30. Kern M, Sasse M, Wolfart S. Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. *The Journal of the American Dental Association.* 2012;143(3):234-40.
31. Marquardt P, Strub JR. Survival rates of IPS Empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: Results of a 5-year prospective clinical study. *Quintessence International.* 2006;37(4).
32. Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry.* 2014;112(1):22-30.
33. Roulet J, Söderholm K, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *Journal of Dental Research.* 1995;74(1):381-7.
34. Donovan TE, Gandara B, Nemetz H. Review and survey of medicaments used with gingival retraction cords. *J Prosthet Dent.* 1985;53(4):525-31.

35. Nowakowska D SJ, Kulbacka J, Choromanska A. . Dynamic oxidoreductive potential of astringent retraction agents. *Folia Biol (Praha)*. 2010;56(6):263-8.
36. Wattanasirmkit K, Charasseangpaisarn T. Effect of different cleansing agents and adhesive resins on bond strength of contaminated zirconia. *Journal of prosthodontic research*. 2019.
37. Aladağ A, Elter B, Çömlekoğlu E, Kanat B, Sonugelen M, Kesercioğlu A, et al. Effect of different cleaning regimens on the adhesion of resin to saliva-contaminated ceramics. *Journal of Prosthodontics*. 2015;24(2):136-45.
38. Zhou W, Apkarian R, Wang ZL, Joy D. Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). *Scanning microscopy for nanotechnology*: Springer; 2006. p. 1-40.
39. Allen T, A Rutherford S, Murray S, Drummond S, Goldberg M, Kiseleva E. Chapter 20 Scanning Electron Microscopy of Nuclear Structure 2008. 389-409 p.
40. Girão AV, Caputo G, Ferro MC. Application of Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*. 75: Elsevier; 2017. p. 153-68.
41. von Fraunhofer JA. Adhesion and cohesion. *International journal of dentistry*. 2012;2012.
42. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of “macro” test methods. *Dent Mater J*. 2010;26(2):e38-e49.
43. Lee H-Y, Han G-J, Chang J, Son H-H. Bonding of the silane containing multi-mode universal adhesive for lithium disilicate ceramics. *Restor Dent Endod*. 2017;42(2):95-104.
44. Choi B-K, Han J-S, Yang J-H, Lee J-B, Kim S-H. Shear bond strength of veneering porcelain to zirconia and metal cores. *J Adv Prosthodont*. 2009;1(3):129-35.
45. Kuphasuk W, Harnirattisai C, Senawongse P, Tagami J. Bond strengths of two adhesive systems to dentin contaminated with a hemostatic agent. *Oper Dent*. 2007;32(4):399-405.
46. Nowakowska D, Saczko J, Kulbacka J, Choromanska A. Dynamic oxidoreductive potential of astringent retraction agents. *Folia Biol (Praha)*. 2010;56(6):263-8.
47. Saad A, Inoue G, Nikaido T, ABDOL AM, Sayed M, Burrow MF, et al. Effect of

dentin contamination with two hemostatic agents on bond strength of resin-modified glass ionomer cement with different conditioning. *Dent Mater J.* 2019;38(2):257-63.

48. Sriamporn T, Kraisintu P, See LP, Swasdison S, Klaisiri A, Thamrongananskul N. Effect of Different Neutralizing Agents on Feldspathic Porcelain Etched by Hydrofluoric Acid. *Eur J Dent.* 2019.

49. Pucci CR, Araújo RMD, Lacerda AJFd, Souza MAd, Huhtala MFRL, Feitosa FA. Effects of contamination by hemostatic agents and use of cleaning agent on etch-and-rinse dentin bond strength. *Braz Dent J.* 2016;27(6):688-92.

50. Borges AL, Posritong S, Özcan M, Campos F, Melo R, Bottino MC. Can cleansing regimens effectively eliminate saliva contamination from lithium disilicate ceramic surface? *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry.* 2017;25(1):9-14.

51. Yoshida F, Tsujimoto A, Ishii R, Nojiri K, Takamizawa T, Miyazaki M, et al. Influence of surface treatment of contaminated lithium disilicate and leucite glass ceramics on surface free energy and bond strength of universal adhesives. *Dental materials journal.* 2015;34(6):855-62.

52. Ajami AA, Kahnamoii MA, Kimyai S, Oskoei SS, Pournaghi-Azar F, Bahari M, et al. Effect of three different contamination removal methods on bond strength of a self-etching adhesive to dentin contaminated with an aluminum chloride hemostatic agent. *J Contemp Dent Pract.* 2013;14(1):26.

53. Mazzoni A, Angeloni V, Comba A, Maravic T, Cadenaro M, Tezvergil-Mutluay A, et al. Cross-linking effect on dentin bond strength and MMPs activity. *Dent Mater J.* 2018;34(2):288-95.

54. Tezvergil-Mutluay A, Agee KA, Hoshika T, Carrilho M, Breschi L, Tjäderhane L, et al. The requirement of zinc and calcium ions for functional MMP activity in demineralized dentin matrices. *Dent Mater J.* 2010;26(11):1059-67.

55. Sharafeddin F, Farhadpour H. Evaluation of shear bond strength of total-and self-etching adhesive systems after application of chlorhexidine to dentin contaminated with a hemostatic agent. *J Dent.* 2015;16(3):175.

56. Erkut S, Yilmaz B, Bagis B, Küçükeşmen C, Ozdemir E, Acar O. Effect of different

surface-cleaning techniques on the bond strength of composite resin restorations. The Journal of prosthetic dentistry. 2014;112(4):949-56.

57. Novais VR, RAPOSO LHA, MIRANDA RRd, LOPES CdCA, Simamoto Junior PC, Soares CJ. Degree of conversion and bond strength of resin-cements to feldspathic ceramic using different curing modes. J Appl Oral Sci. 2017;25(1):61-8.

58. Karaman E, Tuncer D, Toz T, Kusdemir M, Genc G. The influence of blood and/or hemostatic agent contamination on Micro-TBS to dentin. J Adhes Sci Technol. 2015;29(13):1295-300.

59. O'Keefe K, Pinzon L, Rivera B, Powers J. Bond strength of composite to astringent-contaminated dentin using self-etching adhesives. Am J Dent. 2005;18(3):168-72.

60. Harnirattisai C, Kuphasuk W, Senawongse P, Tagami J. Bond strengths of resin cements to astringent-contaminated dentin. Oper Dent. 2009;34(4):415-22.

61. ALMEIDA CMd, MEEREIS CTW, Leal FB, Ogliari AO, Piva E, Ogliari FA. Evaluation of long-term bond strength and selected properties of self-adhesive resin cements. Brazilian oral research. 2018;32.

62. Bottino M, Snellaert A, Bergoli C, Özcan M, Bottino M, Valandro L. Effect of ceramic etching protocols on resin bond strength to a feldspar ceramic. Operative dentistry. 2015;40(2):E40-E6.

ภาคผนวก

ตารางแสดงข้อมูลดิบ

	Group 1 No treatment	Group 2 Control group	Group 3 Hemostatic agent + Distilled water	Group 4 Hemostatic agent + 37% Phosphoric acid	Group 5 Hemostatic agent + 0.12% Chlorhexidine	Group 6 Hemostatic agent + 70% Ethyl alcohol
1	0	18.24	9.28	11.01	9.78	10.98
2	2.25293	18.51	10.18	16.08	9.02	16.97
3	1.7691	16.67	9.95	10.81	13.94	9.17
4	2.8464	17.25	10.85	11.61	12.99	13.94
5	2.23312	18.62	9.46	14.61	13.68	18.63
6	0	18.15	8.5	10.96	12.06	17.08
7	2.07397	19.46	10.81	18.26	18.73	10.17
8	0	20.75	9.19	14.88	15.73	9.67
9	1.47236	18.31	8.83	18.52	14.86	10.72
10	2.24373	19.48	10.81	16.31	18.78	13.36
mean	2.127	18.044	9.786	14.305	13.957	13.069
S.D.	0.43	1.18	0.86	3.03	3.27	3.47

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

Descriptives

			Statistic	Std. Error
shear	Mean		12.3947	.68508
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	11.0223	
		Upper Bound	13.7670	
	5% Trimmed Mean		12.6041	
	Median		12.0600	
	Variance		26.752	
	Std. Deviation		5.17222	
	Minimum		1.47	
	Maximum		19.48	
	Range		18.01	
	Interquartile Range		7.46	
	Skewness		-.587	.316
	Kurtosis		-.362	.623

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
shear	.105	57	.182	.914	57	.001

a. Lilliefors Significance Correction



→ Oneway

[DataSet1] D:\research.sav

ANOVA

shear					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1190.697	5	238.139	39.508	.000
Within Groups	307.410	51	6.028		
Total	1498.107	56			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: shear

			Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
(I) clean	(J) clean						
Tukey HSD	control	water	8.25800 [*]	1.09797	.000	5.0072	11.5088
		H3PO4	3.73900 [*]	1.09797	.015	.4882	6.9898
		CHx	4.08700 [*]	1.09797	.006	.8362	7.3378
		ALC	4.97500 [*]	1.09797	.000	1.7242	8.2258
		no	15.91750 [*]	1.20990	.000	12.3352	19.4997
	water	control	-8.25800 [*]	1.09797	.000	-11.5088	-5.0072
		H3PO4	-4.51900 [*]	1.09797	.002	-7.7698	-1.2682
		CHx	-4.17100 [*]	1.09797	.005	-7.4218	-.9202
		ALC	-3.28300 [*]	1.09797	.046	-6.5338	-.0322
		no	7.65950 [*]	1.20990	.000	4.0772	11.2417
	H3PO4	control	-3.73900 [*]	1.09797	.015	-6.9898	-.4882
		water	4.51900 [*]	1.09797	.002	1.2682	7.7698
		CHx	.34800	1.09797	1.000	-2.9028	3.5988
		ALC	1.23600	1.09797	.868	-2.0148	4.4868
		no	12.17850 [*]	1.20990	.000	8.5962	15.7607
	CHx	control	-4.08700 [*]	1.09797	.006	-7.3378	-.8362
		water	4.17100 [*]	1.09797	.005	.9202	7.4218
		H3PO4	-.34800	1.09797	1.000	-3.5988	2.9028
		ALC	.88800	1.09797	.965	-2.3628	4.1388
		no	11.83050 [*]	1.20990	.000	8.2482	15.4127
	ALC	control	-4.97500 [*]	1.09797	.000	-8.2258	-1.7242
		water	3.28300 [*]	1.09797	.046	.0322	6.5338
		H3PO4	-1.23600	1.09797	.868	-4.4868	2.0148
		CHx	-.88800	1.09797	.965	-4.1388	2.3628
		no	10.94250 [*]	1.20990	.000	7.3602	14.5247
	no	control	-15.91750 [*]	1.20990	.000	-19.4997	-12.3352
		water	-7.65950 [*]	1.20990	.000	-11.2417	-4.0772
		H3PO4	-12.17850 [*]	1.20990	.000	-15.7607	-8.5962
		CHx	-11.83050 [*]	1.20990	.000	-15.4127	-8.2482
		ALC	-10.94250 [*]	1.20990	.000	-14.5247	-7.3602

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สิริรัตน์ มโนภินิเวศ
วัน เดือน ปี เกิด	20 ธันวาคม 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยรังสิต พ.ศ. 2559
ที่อยู่ปัจจุบัน	68 เอ ที แมนชั่น ซอยสุขุมวิท 97/1 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร

