



ผลของวิธีการปรับสภาพผิวต่อค่ากำลังแรงยึดเค้นของเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการ
แทรกซึมของพอลิเมอร์

THE EFFECT OF DIFFERENT SURFACE TREATMENTS ON THE SHEAR BOND
STRENGTH OF RESIN COMPOSITE TO POLYMER-INFILTRATED CERAMIC-NETWORK
MATERIAL

ณัฐพร ไพรสสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

ผลของวิธีการปรับสภาพผิวต่อค่ากำลังแรงยึดเคียนของเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการ
แทรกซึมของพอลิเมอร์



ณัฐพร ไพรสสุวรรณ

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE EFFECT OF DIFFERENT SURFACE TREATMENTS ON THE SHEAR BOND
STRENGTH OF RESIN COMPOSITE TO POLYMER-INFILTRATED CERAMIC-NETWORK
MATERIAL



NATHAPORN PRAISUWANNA

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

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของวิธีการปรับสภาพผิวต่อค่ากำลังแรงยึดเค้นของเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึม

ของพอลิเมอร์

ของ

ณัฐพร ไพรสสุวรรณ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.ศิริจันทร์ เจียรพุมดี)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทพ.นิยม ธำรงค์อนันต์

สกุล)

..... ที่ปรึกษาร่วม

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ทพ.ณัฐพล กิตติคุณเดชา)

(อาจารย์ ดร.ทพ.วิบูลย์ไพศาลกอบกุล)

..... ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพ.ตุลย์ ศรีอัมพร)

ชื่อเรื่อง	ผลของวิธีการปรับสภาพผิวต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์
ผู้วิจัย	ณัฐพร ไพรสุวรรณนา
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ. ศิริจันทร์ เจียรพุดผิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ทพ. ณัฐพล กิตติคุณเดชา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพ. ตุลย์ ศรีอัมพร

วัสดุเซรามิกเมื่อมีการใช้งานในช่องปากอาจมีความเสียหายเกิดขึ้นได้ วิธีดั้งเดิมในการซ่อมแซมคือการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก การเป่าทราย และการทำผิวให้หยาบด้วยหัวกรอ จากนั้นตามด้วยไฮเลน และเรซินคอมโพสิต อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดและมีความยุ่งยากซับซ้อนหลายปัจจัย ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตและวีต้าอีนามิกโดยการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆเพื่อจำลองการซ่อมแซม โดยการทดลองนี้นำวีต้าอีนามิกตัดแบ่งเป็น 8 กลุ่ม และเตรียมพื้นผิวด้วย กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลน โมโนบอนด์แอนด์ไพรึม และโมโนบอนด์แอนด์ไพรึมตามด้วยไฮเลน จากนั้นยึดเรซินคอมโพสิตโดยใช้แบบจำลองซิลิโคน และนำกลุ่มทดลองหนึ่งผ่านเครื่องควบคุมความร้อนเป็นจังหวะเป็นจำนวน 5,000 รอบ จากนั้นนำกลุ่มทดลองทั้งหมดมาทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว วิเคราะห์สถิติโดยความแปรปรวนแบบสองทางและวิธีการของตุ๊กี ตรวจสอบรูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอ จากการทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวก่อนผ่านเครื่องควบคุมความร้อนเป็นจังหวะทุกกลุ่มอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่เมื่อผ่านเครื่องควบคุมความร้อนเป็นจังหวะมีเพียงวีต้าอีนามิกที่เตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามโมโนบอนด์แอนด์ไพรึมยังเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจและควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

คำสำคัญ : กรดไฮโดรฟลูออริก, วีต้าอีนามิก, การซ่อมแซมเซรามิก, โมโนบอนด์แอนด์ไพรึม

Title	THE EFFECT OF DIFFERENT SURFACE TREATMENTS ON THE SHEAR BOND STRENGTH OF RESIN COMPOSITE TO POLYMER-INFILTRATED CERAMIC-NETWORK MATERIAL
Author	NATHAPORN PRAISUWANNA
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Assistant Professor Sirichan Chiaraputt
Co Advisor	Dr. Nuttaphon Kittikundecha
Co Advisor	Assistant Professor Tool Sriamporn

Dental ceramic materials are subject to damage when in use. A conventional surface treatment used to repair dental material includes etching with hydrofluoric acid, sandblasting, and grinding, followed by silane and resin composite. However, those methods face limitations and various difficulties. Therefore, this study aims to present an experimental research design to compare the shear bond strength between resin composites and PICN using varying surface treatments to simulate the repair of PICN. The PICN blocks were cut and sorted randomly into eight groups. The PICN surface was pre-treated with HF followed by silan MEP and MEP followed by silane. In the next step, the resin composite was bonded to the PICN surface using a putty index. The other half of the specimens were thermocycled in water for 5000 cycles. The specimens were tested for their shear bond strength. The data were analyzed using Two-Way ANOVA and Tukey's Test. The Modes of Failure were examined under a stereomicroscope. The surface prior to silane application was examined using a SEM. All groups undergoing surface treatment in non-thermocycled yielded optimal repair bond strength. However, only group HFS had satisfactory repair bond strength after thermocycling. Hydrofluoric acid, followed by silane, is still the gold standard to repair the PICN, but there should be further research on self-etching ceramic primer.

Keyword : hydrofluoric acid, Vita Enamic, repair ceramic, self-etching ceramic primer

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากปราศจากคำชี้แนะจากคณาจารย์ที่ให้ความรู้ ความเห็นทางวิชาการอันเป็นประโยชน์ อีกทั้งความช่วยเหลือจากบุคลากรหลายฝ่าย ที่คอยอำนวยความสะดวกในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.ศิริจันทร์ เจียรพุมิ อ.ดร.ทพ.ณัฐพล กิตติคุณเดชา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพ. ตฤย์ ศรีอัมพร ที่ให้การช่วยเหลือชี้แนะในการเลือกหัวข้อปริญญาานิพนธ์ แก่ไขอุปสรรคระหว่างทางตลอด อีกทั้งเป็นขวัญและกำลังใจต่อผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในความอนุเคราะห์ให้สถานที่ อุปกรณ์และทุนวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่กนกพร สุขยานันท์ และ เจ้าหน้าที่วิภาวี เจนจิตติกุล ที่เอื้อเพื่อช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์วิจัย จากคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อนุชาติ ศรีจันบาล และเจ้าหน้าที่อัครชัย จิตระการ สำหรับความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์วิจัย จากศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่ให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆรวมทั้งครอบครัวที่คอยให้กำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จลุล่วงด้วยดี

ณัฐพร ไพรสวรรณา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
นิยามคำศัพท์เฉพาะ	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1. เวจินเมทริกซ์เซรามิก	7
2 การเป่าทราย	14
3 กรดไฮโดรฟลูออริก	16
4 ไฮเลน	17
5 สารปรับสภาพผิวเซรามิกชั้นตอนเดียว	19
6 การซ่อมแซมวัสดุเซรามิก.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	24
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	31
1 การเตรียมชิ้นงาน	31
2 การเตรียมพื้นผิว	31
3 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค	32
4 การยึดติดวัสดุเรซินคอมโพสิต	32
5 การเตรียมชิ้นงานหลังการยึดติด	34
6 การทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว	34
7 รูปแบบของการแตกหัก	36
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	38
1 กำลังแรงยึดเหนี่ยว	38
2 ลักษณะพื้นผิวที่ผ่านการปรับสภาพ	39
3 รูปแบบของการแตกหักระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิต	41
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	43
1 อภิปรายผลการวิจัย	43
2 สรุปผลการทดลอง	47
3 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	54
ประวัติผู้เขียน	61

สารบัญตาราง

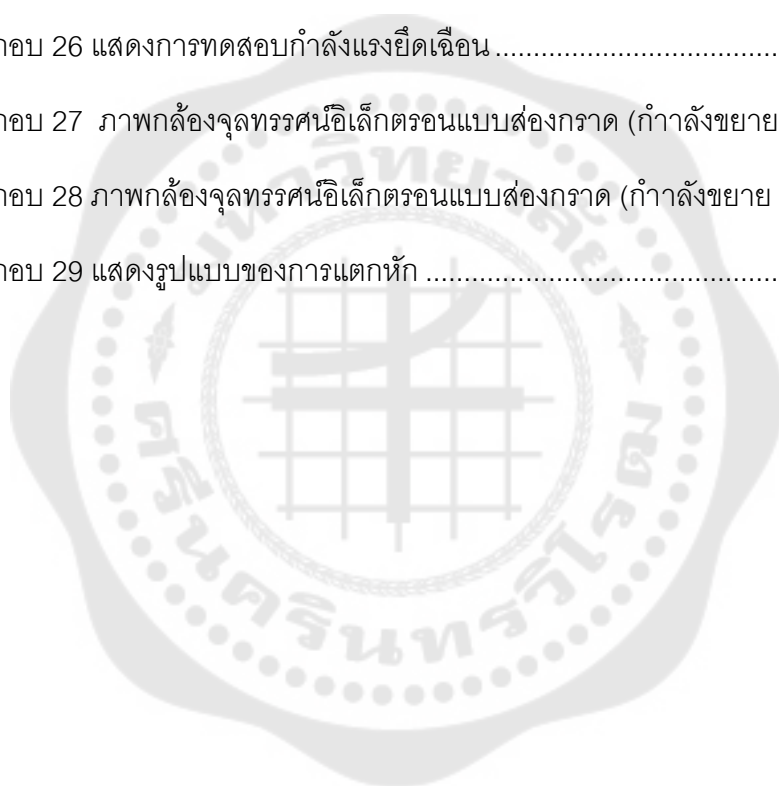
	หน้า
ตาราง 1 คุณสมบัติทางกลและกายภาพของเรซินเมทริกซ์.....	12
ตาราง 2 วัสดุในงานวิจัย.....	30
ตาราง 3 การเตรียมพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง.....	31
ตาราง 4 กลุ่มการทดลอง.....	35
ตาราง 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังแรงยึดเฉือน.....	38
ตาราง 6 แสดงรูปแบบของการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิต.....	41



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 แผนภาพการแบ่งชนิดของเซรามิกและวัสดุกลุ่มคล้ายเซรามิก	7
ภาพประกอบ 3 ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคที่มีการกระจายตัว(ขวา)เทียบกับเซรามิกที่มี โครงข่ายของพอลิเมอร์(ซ้าย).....	10
ภาพประกอบ 4 ลักษณะรังผึ้งจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์ เป็นเวลา 60 วินาทีจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า	14
ภาพประกอบ 5 รอยร้าวในไซฟูบลิคเอซซี.....	15
ภาพประกอบ 6 การเกิดปฏิกิริยากัดไฮโดรฟลูออริกกับซิลิกา	17
ภาพประกอบ 7 สูตรโครงสร้างโมเลกุลทรีเมทาครีลออกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน	18
ภาพประกอบ 8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของไซเลน.....	19
ภาพประกอบ 9 สูตรโครงสร้างแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์.....	20
ภาพประกอบ 10 การคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่าง	24
ภาพประกอบ 11 วีต้าอีนาไมก.....	26
ภาพประกอบ 12 ไฮฟีเอสเซรามิกเอ็กซ์เจด.....	26
ภาพประกอบ 13 โมโนบอนเอตซ์แอนดีไฟร์ม.....	26
ภาพประกอบ 14 รีไลน์เอกเซรามิกไฟร์เมอร์	27
ภาพประกอบ 15 สารยึดติดแอดเปอร์สก็อติบอนมัดติเพอร์โพส	27
ภาพประกอบ 16 เรซินคอมโพสิตฟิลเท็ค.....	27
ภาพประกอบ 17 เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก	28
ภาพประกอบ 18 เครื่องตัดความเร็วต่ำอัตโนมัติ	28
ภาพประกอบ 19 เครื่องทดสอบแรงสากล	28

ภาพประกอบ 20 เครื่องขัดตัวอย่างชิ้นงาน.....	29
ภาพประกอบ 21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	29
ภาพประกอบ 22 เครื่องเคลือบทอง	29
ภาพประกอบ 23 แม่แบบพลาสติก.....	33
ภาพประกอบ 24 แม่แบบซิลิโคน.....	33
ภาพประกอบ 25 การยึดติดวัสดุเรซินคอมโพสิต.....	34
ภาพประกอบ 26 แสดงการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว.....	36
ภาพประกอบ 27 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 1,000เท่า).....	40
ภาพประกอบ 28 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3,000เท่า).....	40
ภาพประกอบ 29 แสดงรูปแบบของการแตกหัก	42



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันความสวยงามเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบูรณะ และได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทำให้วัสดุบูรณะทางทันตกรรมหลายชนิดได้รับการพัฒนาให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันหรือเซรามิกทางทันตกรรมที่ได้รับความนิยมมากขึ้น วัสดุกลุ่มนี้แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลาสเมทริกซ์เซรามิก (glass-matrix ceramics) โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramics) เรซินเมทริกซ์เซรามิก (resin-matrix ceramics) โดยเรซินเมทริกซ์เซรามิกสามารถแบ่งตามส่วนประกอบอนินทรีย์ (inorganic composition) ได้เป็น วัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ (polymer-infiltrated ceramic-network material) เรซินนาโนเซรามิก (resin nanoceramic) และเซอโคเนียซิลิกาเซรามิกในร่างแหเรซินเมทริกซ์ (zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix)⁽¹⁾ แต่บางครั้งมีการเรียกเรซินนาโนเซรามิก และเซอโคเนียซิลิกาเซรามิกในร่างแหเรซินเมทริกซ์ว่านาโนเซรามิก (nanoceramics)⁽²⁾

คุณสมบัติของเรซินเมทริกซ์เซรามิกมีข้อได้เปรียบกว่าเซรามิกโดยทั่วไปหลายประการ เนื่องจากมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (elasticity modulus) และค่าความแข็ง (hardness) ใกล้เคียงเนื้อฟัน (dentine) ซึ่งทำให้รับแรงกระแทกจากการบดเคี้ยวได้นุ่มนวล (shock absorber) กว่าเซรามิกปกติ นอกจากการพัฒนาคุณสมบัติวัสดุแล้วการขึ้นรูปที่ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วก็เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง โดยการขึ้นรูปที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือระบบแคดแคม (cad-cam) เรซินเมทริกซ์เซรามิกถูกออกแบบให้สามารถขึ้นรูปด้วยระบบแคดแคม โดยหลังการขึ้นรูปไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อน (thermal treatment) ทำให้วัสดุชนิดนี้สามารถกลึงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการหรือคลินิก⁽²⁾

เมื่อมีการใช้งานในช่องปากบางครั้งอาจเกิดความเสียหายของวัสดุจากปัจจัยหลายประการ เช่น ความล้มเหลวการยึดติดบางบริเวณ การเตรียมเนื้อที่ให้วัสดุไม่เพียงพอ แรงบดเคี้ยวที่มากกว่าปกติซึ่งตามเกณฑ์ปัจจุบันขององค์การสหพันธ์ทันตกรรมโลก (FDI world dental federation) กำหนดว่ากรณีที่มีความเสียหายไม่มากแนะนำให้ซ่อมแซมดีกว่าทำใหม่ทดแทน เนื่องจากหลีกเลี่ยงการสูญเสียเนื้อฟันมากขึ้น^(3, 4) การซ่อมแซมวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ ได้แก่ การทำให้พื้นผิวขรุขระด้วยวิธีต่างๆ เช่น การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) การเป่าทราย (sandblasting) และการทำให้พื้นผิวหยาบด้วยหัวกรอ (grinding) จากนั้นจึงทาสารปรับสภาพผิว (primer) ซึ่งในวัสดุเซรามิกสารปรับสภาพผิวที่เหมาะสมจะมีซิลเลน (silane) เป็นองค์ประกอบ เมื่อเตรียมพื้นผิวเสร็จแล้วจึงทาสารยึดติด (adhesive) และซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่อไป วิธีการ

ดังกล่าวเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการซ่อมแซมวัสดุเซรามิกรวมถึงเรซินเมทริกซ์เซรามิก แต่การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกสามารถใช้ในช่องปากได้อย่างจำกัดและมีความเป็นพิษอย่างมากจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง⁽⁵⁾ การเป่าทรายในช่องปากก็มีความยุ่งยากและต้องมีอุปกรณ์เฉพาะ และการทำให้พื้นผิวหยาบด้วยหัวกรอก็ไม่สามารถเข้าได้ในทุกตำแหน่ง อีกทั้งการเป่าทรายและการทำให้พื้นผิวหยาบด้วยหัวกรออาจทำให้เกิดรอยร้าวในเนื้อวัสดุได้ หากกำหนดปัจจัยต่างๆไม่เหมาะสมกับชนิดวัสดุ⁽⁶⁻⁸⁾

ปัจจุบันมีการคิดค้นสารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียว (self etch primer) ที่ใช้ในวัสดุเซรามิก คือ โมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์ม (Monobond Etch & Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งประกอบด้วยแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ (ammonium polyfluoride) ซึ่งเป็นสารปรับสภาพพื้นผิวให้มีความขรุขระ และไตรเมทอกซีโพรพิล (trimethoxypropyl) เป็นตัวไฮเลน ซึ่งการที่ไฮเลนรวมอยู่กับสารอื่นอาจลดประสิทธิภาพของไฮเลนได้แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของไฮเลนในโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์ม^(9, 10) อย่างไรก็ตามโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์มถูกผลิตขึ้นมาเพื่อปรับสภาพผิวกลาสเซรามิกได้ในชั้นตอนเดียว โดยสามารถปรับสภาพพื้นผิวได้รวดเร็วและมีอันตรายน้อยกว่าวิธีการดั้งเดิม⁽¹¹⁾ มีบางการศึกษากล่าวว่าโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์มสามารถทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์เทียบเท่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลน^(12, 13) แต่บางการศึกษาก็พบว่าเกิดการยึดติดที่น้อยกว่า^(14, 15)

มีการศึกษาที่พบว่าหากนำโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์มมาใช้ร่วมกับการเป่าทรายและทาสารยึดติดจะได้ค่ายึดติดดียิ่งขึ้น^(16, 17) และมีการนำโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์มมาใช้ในการซ่อมแซมลิเทียมไดซิลิเกตและกลาสเซรามิกด้วยเรซินคอมโพสิต^(16, 18) แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่นำโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์มมาซ่อมแซมกลุ่มเรซินเมทริกซ์ ฉะนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการซ่อมแซมในวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของเรซินเมทริกซ์ โดยใช้วิธีการดั้งเดิมได้แก่การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนเทียบกับการใช้สารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียว ตามด้วยการทาไฮเลนและไม่ได้ทาไฮเลน จากนั้นผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycling) เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์และเรซินคอมโพสิต

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆและผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ
2. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิววัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆ

ความสำคัญของการวิจัย

เมื่อวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ได้รับใช้งานในช่องปากย่อมมีความเสียหายของวัสดุเกิดขึ้น และในบางกรณีผู้ป่วยยังต้องการซ่อมแซมเพื่อใช้งานชั่วคราว แต่การใช้วิธีการดั้งเดิมในการซ่อมแซมสามารถทำในช่องปากได้อย่างจำกัด ปัจจุบันมีการคิดค้นโมโนบอนด์เอตซ์แอนดีไพร์ม หรือสารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียวที่ใช้ในวัสดุเซรามิก ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ในการซ่อมแซมในช่องปาก เนื่องจากความเป็นพิษกักร้อนต่ำกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก และสามารถใส่ซ่อมแซมผิววัสดุเซรามิกได้ในขวดเดียวแต่การศึกษาในวัสดุชนิดนี้ยังมีไม่มาก ฉะนั้นการศึกษานี้ได้นำโมโนบอนด์เอตซ์แอนดีไพร์มมาซ่อมแซมวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ด้วยเรซินคอมโพสิต ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการซ่อมแซมวัสดุกลุ่มนี้ทางคลินิกและคาดหวังว่าการซ่อมแซมดังกล่าวจะสามารถทำได้สะดวกกว่าวิธีการดั้งเดิม

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองภายในห้องปฏิบัติการ (experimental research) เพื่อศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์และเรซินคอมโพสิต โดยการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการดั้งเดิมคือการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยการทาไฮเลน และทาสารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียวตามด้วยการทาไฮเลนและไม่ทาไฮเลน มีการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวก่อนการทาไฮเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) และทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์และเรซินคอมโพสิต โดยใช้เครื่องทดสอบแรงแบบสากลโดยขึ้นงานบางส่วนผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycling) และตรวจสอบลักษณะบริเวณรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอ

ตัวแปรที่ศึกษา

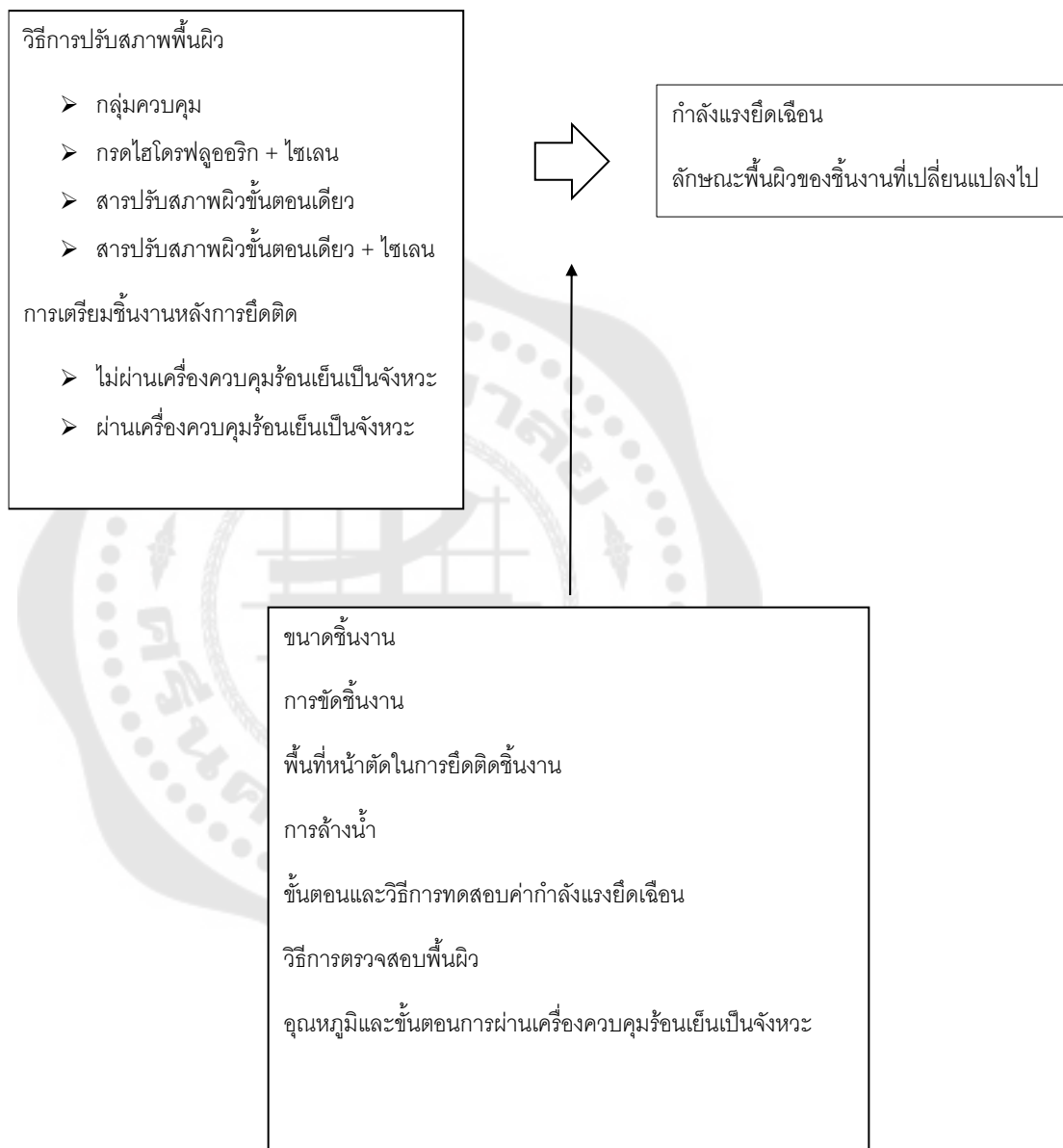
ตัวแปรอิสระ	วิธีการปรับสภาพพื้นผิว การผ่านเครื่องควบคุมความร้อนเป็นจังหวะ
ตัวแปรตาม	กำลังแรงยึดเหนี่ยว ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป
ตัวแปรควบคุม	ขนาดชิ้นงาน การขัดชิ้นงาน พื้นที่หน้าตัดในการยึดติดชิ้นงาน การล้างน้ำ ขั้นตอนและวิธีการทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว วิธีการตรวจสอบพื้นผิว อุณหภูมิและขั้นตอนการผ่านเครื่อง- ควบคุมความร้อนเป็นจังหวะ

นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1. สารปรับสภาพพื้นผิว (primer) หมายถึง สารปรับสภาพที่มีองค์ประกอบทางเคมีช่วยในการยึดติด
2. สารปรับสภาพผิวขั้นตอนเดียว (self etch primer) หมายถึง สารปรับสภาพผิวเซรามิกที่สามารถใช้ได้ขั้นตอนเดียวในที่นี้หมายถึงโมโนบอนด์แอนด์ไพรเมอร์
3. สารยึดติด (adhesive) หมายถึง สารที่ช่วยในการยึดติดหรือบอนด์ดิ่งที่ไม่ได้มีไซเลนเป็นองค์ประกอบ
4. แคดแคม (cad-cam) หมายถึง ระบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิตในทางทันตกรรม
5. องค์การสหพันธ์ทันตกรรมโลก (FDI world dental federation) หมายถึง องค์การชั้นนำของโลกที่เป็นตัวแทนของวิชาชีพทันตกรรม
6. กระบวนการทางความร้อน (thermal treatment) หมายถึง การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนหลังจากเซรามิกได้รับการขึ้นรูป
7. วัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ (polymer-infiltrated ceramic-network material) หมายถึง เรซินเมทริกซ์เซรามิกชนิดหนึ่งประกอบด้วยร่างแหของเฟลสปาทิกและโพลีเมอร์

กรอบแนวคิดในการวิจัย

แสดงดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

H₀ ไม่มีความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆและผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ

H₁ มีความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆและผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ



บทที่ 2

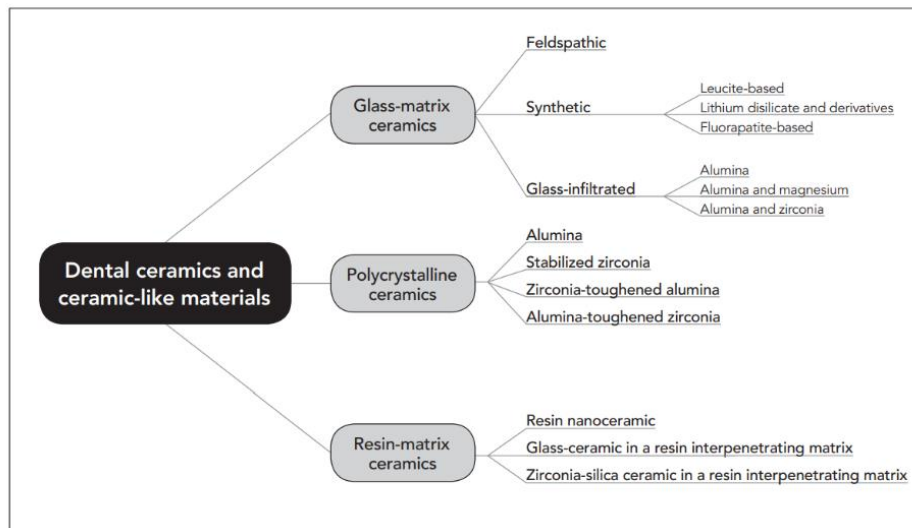
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เรซินเมทริกซ์เซรามิก
2. การเป่าทราย
3. กรดไฮโดรฟลูออริก
4. ไฮเลน
5. สารปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกชั้นตอนเดียว
6. การซ่อมแซมวัสดุเซรามิก

1. เรซินเมทริกซ์เซรามิก

ปัจจุบันความสวยงามเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบูรณะ ดังนั้นวัสดุกลุ่มสีเหมือนฟัน หรือ เซรามิกได้รับความนิยมและสนใจเป็นอย่างมาก จึงมีการพัฒนาวัสดุกลุ่มนี้อย่างต่อเนื่องและได้มีการแบ่งชนิดของวัสดุเซรามิกทางทันตกรรมไว้เป็น 3 กลุ่มดังภาพประกอบ 2 ⁽¹⁾



ภาพประกอบ 2 แผนภาพการแบ่งชนิดของเซรามิกและวัสดุกลุ่มคล้ายเซรามิก

ที่มา Gracis, Thompson (2015) The International Journal of Prosthodontics ⁽¹⁾

กลุ่ม 1 คืออกลาสเมทริกซ์เซรามิก (glass-matrix ceramics) คือวัสดุเซรามิกอนินทรีย์อโลหะ (nonmetallic inorganic ceramic materials) ที่มีเฟสแก้วเป็นองค์ประกอบ (glass phase) กลุ่ม 2 คือโพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramics) คือวัสดุเซรามิกอนินทรีย์อโลหะที่ไม่มีเฟสแก้วเป็นองค์ประกอบ กลุ่ม 3 คือเรซินเมทริกซ์เซรามิก (resin-matrix ceramics) คือพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีสารประกอบทนไฟอนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (polymer-matrices containing predominantly inorganic refractory compounds) ได้แก่ พอร์ซเลน แก้ว เซรามิก⁽¹⁾ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงกลุ่ม 3 คือเรซินเมทริกซ์เซรามิกเป็นส่วนใหญ่

เรซินเมทริกซ์เซรามิกประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่มีอนุภาคเซรามิก แม้ว่าคำจำกัดความดั้งเดิมของเซรามิกจะกล่าวถึงอโลหะอนินทรีย์ที่ผ่านความร้อนสูงเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ⁽¹⁹⁾ แต่ในปี 2013 ADA Code on Dental Procedures and Nomenclature ได้ให้คำจำกัดความของพอร์ซเลนและเซรามิกว่าเป็นวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด (pressed) เผาไฟ (fired) ขัด (polished) หรือกลึง (milled) ซึ่งวัสดุเหล่านี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบทนไฟอนินทรีย์ (inorganic refractory compounds) ได้แก่ พอร์ซเลน (porcelains) แก้ว (glasses) เซรามิก (ceramics) และอกลาสเซรามิก (glass-ceramics)

เรซินเมทริกซ์เซรามิกประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ทนไฟมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักและมีสารอินทรีย์ เช่น โพลีเมอร์ในปริมาณน้อย นิยามวัสดุกลุ่มนี้ยังไม่แน่ชัดอีกทั้งมีชื่อเรียกที่หลากหลาย วัสดุกลุ่มเรซินเมทริกซ์เซรามิกนี้ขึ้นรูปด้วยระบบแคดแคม ซึ่งเป็นการผลิตจากโรงงานทำให้วัสดุมีคุณภาพดี ลดการเกิดรูพรุนทำให้เนื้อวัสดุเป็นเนื้อเดียว อีกทั้งมีความแม่นยำสูง วัสดุกลุ่มนี้มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟันเมื่อเทียบกับเซรามิกชนิดดั้งเดิม สามารถขึ้นรูปด้วยแคดแคมได้ง่าย โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนหลังการขึ้นรูป ทำให้สามารถขึ้นรูปง่ายในห้องปฏิบัติการและคลินิก นอกจากนี้สามารถซ่อมแซมและเติมแต่งด้วยเรซินคอมโพสิตได้สะดวก^(1, 20)

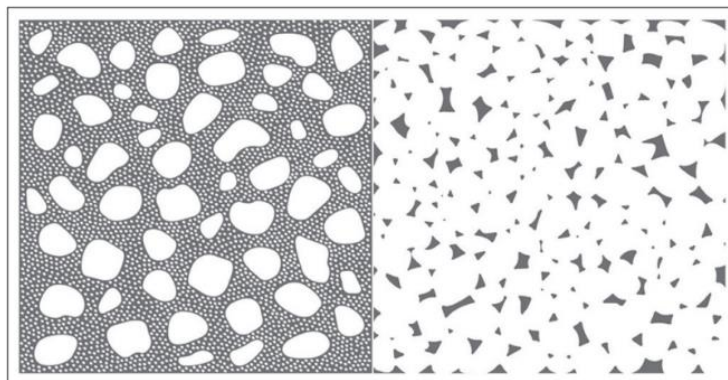
วัสดุกลุ่มนี้เริ่มพัฒนาจากชิ้นงานแคดแคมบูรณะเรซินคอมโพสิตโดยอ้อม (indirect composite CAD-CAM block) โดยในปี ค.ศ. 2010 มีการผลิตพาราไดม์เอ็มแซดวันโอโอ (Paradigm MZ100;3M ESPE, USA) ซึ่งมีส่วนประกอบและบ่มด้วยแสงเหมือนเรซินคอมโพสิตโดยตรง (direct composite) ชนิด Z100 ต่อมาบริษัท 3M ได้พัฒนาลาวาอัลติเมท (Lava Ultimate;3M ESPE, USA) ซึ่งเป็นนาโนเซรามิก (nanoceramic) ส่วนทางบริษัท GC ได้ผลิตเซรามาร์ท (Cerasmart,GC, Japan) และบริษัท SHOFU ผลิตโซฟูล็อกเฮซซี (Shofu block HC ;SHOFU, Japan) ซึ่งส่วนประกอบเป็นก้อนเรซินคอมโพสิตที่มีอนุภาคกระจายในยูรีเทนไดเมทาคริ

เลท (urethane dimethacrylate) และผ่านการบ่มด้วยความร้อนก่อนจะนำมาวางจำหน่าย ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 ได้มีการผลิตวัสดุวีต้าอีนามิก (Vita Enamic ;VITA, Germany) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ (polymer-infiltrated ceramic-network material) วัสดุชนิดนี้ปรับปรุงมาจากกลาสอินฟิลเตรทเซรามิก (glass infiltrated ceramic) โดยการแทนที่ผลึกกลาสด้วยโพลิเมอร์ซึ่งแตกต่างจากเรซินคอมโพสิต เพราะมีสานสัมพันธ์ระหว่างเซรามิกและโพลิเมอร์ในสามมิติอย่างแท้จริงซึ่งทำให้มีการกระจายแรงที่ดีกว่ากลุ่มที่มีอนุภาคเซรามิกกระจายตัว^(2, 20) โดยหากแบ่งเรซินเมทริกซ์เซรามิกตามองค์ประกอบทางอนินทรีย์จะสามารถแบ่งได้เป็น⁽¹⁾

1.1 วัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ (polymer-Infiltrated-Ceramic-Network material, PICN)

วัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ (polymer-Infiltrated-Ceramic-Network material, PICN) หรือบางที่เรียกกลาสเซรามิกในร่างแหเรซินเมทริกซ์ (glass ceramic in a resin interpenetrating matrix) เช่น วีต้าอีนามิก ประกอบด้วยร่างแหของเซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (feldspathic ceramic network) ร้อยละ 86 โดยน้ำหนัก โดยมีร้อยละ 58 - 63 ของ SiO_2 ร้อยละ 20 - 23 ของ Al_2O_3 ร้อยละ 9 -11 ของ Na_2O ร้อยละ 4 - 6 ของ K_2O ร้อยละ 0.5 - 2 ของ B_2O_3 , น้อยกว่าร้อยละ 1 ของ Zr_2O และ CaO ⁽¹⁾ และร่างแหของพอลิเมอร์ (polymer network) ร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยยูรีเทนไดเมทาไคเลท (urethane dimethacrylate ,UDMA) และไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาไคเลท (triethylene glycol dimethacrylate ,TEGDMA)

การผลิตเริ่มจากมีร่างแหเซรามิกก่อนเผาจากนั้นเติมโพลิเมอร์เข้าไปจะได้ร่างแหของเฟลสปาทิกและโพลิเมอร์ (fine structure of feldspar ceramic and the acrylate polymer network) ดังภาพประกอบ 3 การขึ้นรูปใช้วิธีกระบวนการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ (slip casting) และอาศัยความร้อนมากกว่า 100 องศาเซลเซียสและความดันมากกว่า 150 เมกาปาสคาลในการขึ้นรูปทางอุตสาหกรรม⁽²⁰⁾ซึ่งสามารถทนแรงขัดถู มีความแข็งแรง ความยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟันและสามารถยึดติดได้ดี การสานกันเป็นร่างแหช่วยป้องกันการขยายตัวของรอยแตก (crack propagation) นอกจากนี้สามารถกลึงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการหรือคลินิกโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อน (thermal treatment)⁽²⁾ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดในปัจจุบันคือ วีต้าอีนามิก⁽²¹⁾



ภาพประกอบ 3 ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคที่มีการกระจาย(ขวา)เทียบกับเซรามิกที่มี
โครงข่ายของพอลิเมอร์(ซ้าย)

ที่มา Mainjot, Dupont (2016). Critical Reviews in Oral Biology & Medicine ⁽²⁰⁾

1.2) เรซินนาโนเซรามิก (resin nanoceramic)

เรซินนาโนเซรามิกประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์ที่ป่มสูง (highly cured resin matrix) และมีนาโนเซรามิกประมาณร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก โดยมีอนุภาคนาโนซิลิกา อนุภาคนาโนเซอร์โคเนีย กลุ่มอนุภาคนาโนเซอร์โคเนียและซิลิกา ⁽¹⁾ ส่วนประกอบของเรซินนาโนเซรามิกเหมือนส่วนประกอบในเรซินคอมโพสิตแบบที่ใช้ในช่องปากโดยตรงแต่มีการพัฒนาส่วนเมทริกซ์คือยูรีเทนไดเมทาคริเลทที่ป่มตัวด้วยความร้อนแทนการป่มตัวด้วยแสง ในการผลิตนั้นใช้ความร้อนสูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียสในการขึ้นรูปทางอุตสาหกรรม ⁽²⁰⁾ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดในปัจจุบันคือ ลาวาอัลติเมท

1.3) เซอโคเนียซิลิกาเซรามิกในร่างแหเรซินเมทริกซ์ (zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix)

เมทริกซ์อินทรีย์ (organic matrices) ที่มีเซรามิกหลายชนิดเช่น ผงซิลิกาเซอร์โคเนียซิลิเกต ยูรีเทนไดเมทาโคลเลท ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาโคลเลท โดยมีสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ⁽¹⁾ เช่น โซฟูล็อกเอชซีหรืออีกตัวอย่างพาราไดม์เอ็มแซดวันไอโอ ประกอบด้วยร้อยละ 85 ของอนุภาคละเอียดพิเศษของเซอโคเนียซิลิกาเซรามิก (ultrafine zirconia-silica ceramic particles) ทรงกลมขนาด 0.6 ไมโครเมตรฝังในโพลิเมอร์เมทริกซ์ของบิสฟีนอลเอไกลซีดีลเมทาคริเลท (bisphenol A glycidyl methacrylate ,Bis-GMA) และไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาโคลเลท ⁽¹⁾

ในการผลิตใช้ความร้อนสูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียสในการขึ้นรูปทางอุตสาหกรรม⁽²⁰⁾ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดปัจจุบันคือ โซฟุบล็อกเอชซี และพาราไดม์เอ็มแซดวันโอโอ

บางการศึกษาได้เรียกรวมเรซินนาโนเซรามิกและเซอโคเนียซิลิกาเซรามิกในร่างแหเรซินเมทริกซ์ว่านาโนเซรามิก (nanoceramics)⁽²⁾ นาโนเซรามิกคล้ายวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยมีโครงสร้างเหมือนกันแต่อัตราส่วนโพลิเมอร์เมทริกซ์และฟิวเลอร์ต่างกัน ซึ่งนาโนเซรามิกประกอบด้วยเซรามิกชนิดดั้งเดิมหรือโพลีคริสตัลไลน์เซรามิกประมาณร้อยละ 80 และมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร มีคุณสมบัติใกล้เคียงเนื้อพอลิเมอร์ธรรมชาติ แรงการโค้งงอ (flexure) มีค่าสูงถึง 200 เมกะปาสคาล แรงการบีบอัด (compression) 380 เมกะปาสคาล และการทนแรงขัดถู (abrasion) อยู่ที่ 2 ถึง 10 ไมโครเมตรต่อปี ค่าความยืดหยุ่น (elasticity) อยู่ที่ 15 จิกะปาสคาล นาโนเซรามิกมีการสึกไวมากกว่าเซรามิกชนิดดั้งเดิม วัสดุชนิดนี้ไม่ต้องผ่านกระบวนการภายหลังการกลึงเช่นกระบวนการทางความร้อนทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายนอกจากนี้สามารถซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตได้แต่การศึกษาวัดคุณสมบัตินี้ค่อนข้างจำกัด⁽²⁾

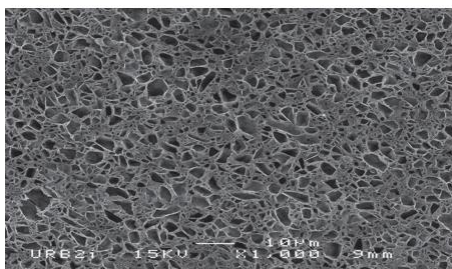
คุณสมบัติทางกลของเรซินเมทริกซ์เซรามิกขึ้นกับระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) โดยส่งผลต่อความต้านทานการสึกหรอ (wear resistance) ความแข็ง มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น โดยจะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับการเกิดพอลิเมอร์มากขึ้นโดยยูรีเทนไดเมทาคริเลทที่ผ่านความร้อนและความดันในวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์จะมีระดับการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าการบ่มด้วยความร้อนอย่างเดียวแบบในนาโนเซรามิก และยูรีเทนไดเมทาคริเลทมีระดับการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าบิสฟีนอลเอไกลซีดีไดเมทาคริเลททำให้คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ดีกว่านาโนเซรามิก⁽²⁰⁾ นอกจากนี้คุณสมบัติทางกลขึ้นกับองค์ประกอบสารเติม (filler content) ชนิด ขนาดและปริมาณของสารเติมด้วย ยิ่งมีปริมาณสารเติมมากและขนาดเล็กจะส่งผลให้คุณสมบัติวัสดุดีขึ้น อีกทั้งการที่มีการกระจายตัวของสารเติมแตกต่างกันทำให้โครงสร้างจุลภาค (microstructure) ไม่เหมือนกัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางกลต่างกันด้วย⁽²⁰⁾ โดยคุณสมบัติทางกลและกายภาพของวัสดุแสดงดังตาราง 1⁽²⁾

ตาราง 1 คุณสมบัติทางกลและกายภาพของเรซินเมทริกซ์

	Block available	Biaxial strength (MPa)	Young Modulus (MPa)	Hardness Vickers (MPa)
Nanoceramic	Ultimate (Lava)	204	12770	Not specified
	Cerasmart (GC)	238	Not specified	Not specified
	Ambarino High Class (Creamed)	191	13812	815
	Shofu block HC (Shofu)	Not specified	Not specified	Not specified
PICN	Enamic (Vita)	150-160	30000	2500

ที่มา Lambert, Durand (2017). The Journal of Advanced Prosthodontics⁽²⁾

วัสดุเรซินเมทริกซ์เซรามิกมียูรีเทนไดเมทาโคลเลท ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาโคลเลท บิสฟีนอลเอ (bisphenol A) ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (hydroxyethyl Methacrylate) บิสฟีนอลเอไกลซีดีลเมทาคริเลท สารเหล่านี้อาจทำให้เกิดการก่อตัวแบคทีเรีย อันตรายต่อโพรงประสาทฟัน เกิดการแพ้หรือเกิดพิษต่อเซลล์ได้ แต่ระดับการเกิดพอลิเมอร์ที่สูงและการที่ไม่มีสารเริ่มปฏิกิริยา การเกิดพอลิเมอร์ (photoinitiators) ทำให้เป็นพิษต่ำ อย่างไรก็ตามการเข้าได้ทางชีวภาพของวัสดุ ชนิดนี้ต่ำ (biocompatibility) อาจมีการปล่อยโมโนเมอร์เช่น บิสฟีนอลเอไกลซีดีลเมทาคริเลทได้ บ้าง^(2, 20) ส่วนด้านการยึดติดของวัสดุเรซินเมทริกซ์เซรามิก ขึ้นกับการเพิ่มการเกี่ยวติดกันทางกล ขนาดเล็ก (micro-mechanical interlocking) ซึ่งคือการทำให้พื้นผิวมีความหยาบมากขึ้น การยึดติดทางกลมีความสำคัญว่าสารยึดติดทางเคมี ในปัจจุบันการเตรียมพื้นผิวของนาโนเซรามิก แนะนำให้ฟันทรายขนาด 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์หรือฟันด้วยระบบอะลูมิเนียม ออกไซด์เคลือบซิลิกา ซึ่งมีขนาด 30 ไมโครเมตร (silica-coating systems ,Co-Jet and Rocatec systems; 3M ESPE, Germany) เพื่อเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) และทำให้พื้นผิว ขรุขระเพื่อเพิ่มการเกี่ยวติดกันทางกลขนาดเล็ก ในนาโนเซรามิกการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกให้ผลดี ไม่เท่าการเป่าทรายและตามด้วยไซเลน⁽²⁰⁾ อย่างไรก็ตามวีต้าอีนาไมกซึ่งอยู่ในกลุ่มวัสดุที่มีโครงข่าย การแทรกซึมของพอลิเมอร์ ทางบริษัทแนะนำให้เตรียมพื้นผิวโดยกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็น เวลา 60 วินาที หรือเป่าทราย โดยลักษณะโครงสร้างเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์ หลังกรด ไฮโดรฟลูออริกละลายกลาสเฟสในเซรามิกจะเป็นรังผึ้ง (honeycomb) ดังภาพประกอบ 4 วีต้าอีนาไมกมีแรงยึดติดสูงกว่าลวาล์ดติเมท ในปัจจุบันทางบริษัทไม่แนะนำให้ใช้ลวาล์ดติเมททำ ครอบฟันเพราะมีการรายงานว่ามีความล้มเหลวด้านการยึดติดจำนวนมาก แม้ว่าการศึกษากการยึด ติดของวัสดุใหม่ชนิดนี้ยังมีการศึกษาที่น้อย เพราะจากโครงสร้างที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลี เมอร์ไรเซชันสูง ทำให้ลดการยึดติดทางเคมีระหว่างมอนอเมอร์อิสระและเรซินซีเมนต์⁽²⁰⁾



ภาพประกอบ 4 ลักษณะรังผึ้งจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์ เป็นเวลา 60 วินาทีจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า

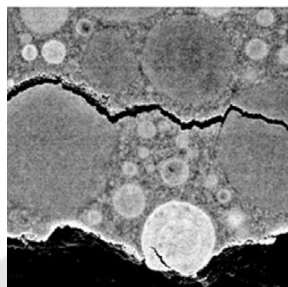
ที่มา Mainjot, Dupont (2016). Critical Reviews in Oral Biology & Medicine⁽²⁰⁾

2 การเป่าทราย

การเป่าทรายเป็นวิธีการที่ทำให้พื้นผิวขรุขระของวัสดุที่ได้รับความนิยม เพราะสามารถทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายไม่แพง และสามารถทำให้พื้นผิวเกิดความขรุขระได้อย่างดี การเป่าทรายมีวัสดุหลายชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิคอนคาร์ไบด์ กลาสบีด เม็ดพลาสติกเป็นต้นแต่วัสดุที่ได้รับความนิยมคืออะลูมิเนียมออกไซด์⁽²²⁾ โดยมีขนาดตั้งแต่ 25-250 ไมโครเมตร แต่อย่างไรก็ดี การเป่าทรายควรทำด้วยความระมัดระวังเพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายของพื้นผิวและเกิดรอยร้าวในเนื้อวัสดุได้ ดังนั้นการกำหนดขนาดทราย ระยะห่าง เวลา และความดัน เป็นเรื่องที่สำคัญ มีหลายการศึกษาได้ศึกษาความสัมพันธ์ของการเป่าทรายด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ในเซรามิก โดยในเซอร์โคเนียนิยมใช้ อะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 30 และ 50 ไมโครเมตร ที่ความดัน 0.5 และ 0.25 เมกะปาสคาลเป็นระยะเวลา 20 วินาทีที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร^(23, 24)

ส่วนเรซินเมทริกซ์เซรามิกมีการศึกษาที่น้อย แต่มีการศึกษาถึงปัจจัยที่เหมาะสมในการเป่าทรายเนื่องจากต้องควบคุม ความดัน ระยะห่าง อนุภาคเม็ดทรายและเวลา ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเป่าทรายในเรซินเมทริกซ์เซรามิกอนุภาค 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ ความดัน 0.25 เมกะปาสคาล ระยะห่าง 10 มิลลิเมตรที่เวลา 15 30 และ 60วินาที พบว่าที่ 60 วินาทีแม้จะได้พื้นผิวที่หยาบกว่า แต่กลับทำให้เกิดรอยร้าวในวัสดุดังแสดงในภาพประกอบ 5 นอกจากนี้ยังส่งผลให้การยึดติดแยกลง ฉะนั้นแนะนำให้เป่าทรายไม่เกิน 30 วินาทีในเรซินเมทริกซ์เซรามิก⁽²⁵⁾ แต่ในวัสดุกลุ่มนาโนเซรามิก พบว่าการเป่าทรายด้วยอนุภาค 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ความดัน 0.2 เมกะปาสคาล เพียง 5 วินาทีก็พบรอยร้าวในเนื้อวัสดุ ดังนั้นวัสดุกลุ่มนาโนเซรามิก แนะนำให้เป่าทรายอนุภาค 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ความดันต่ำกว่า 0.1

เมกะปาสคาล ซึ่งการแนะนำนี้สอดคล้องกับการแนะนำการเตรียมพื้นผิวของนาโนเซรามิกยี่ห้อ เซรามาร์ท ที่แนะนำให้เป่าทรายอนุภาค 25-50 ไมโครเมตร ที่ความดันน้อยกว่า 0.1 เมกะปาสคาล⁽²⁵⁾



ภาพประกอบ 5 รอยร้าวในโซฟุบล็อกเอชซี

ที่มา Yoshihara, Nagaoka(2017).Dental materials⁽²⁶⁾

อนุภาคของอะลูมิเนียมออกไซด์ในการเป่าเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์ การเป่าทราย 50 ไมโครเมตร แนะนำความดันที่ 0.2 เมกะปาสคาล ระยะห่าง 10 มิลลิเมตรแนวตั้งฉากกับพื้นผิว ซึ่งสามารถเพิ่มความหยابโดยที่ไม่มีผลเสีย แต่ถ้าเป่าทรายอนุภาค 120 ไมโครเมตร อะลูมิเนียมออกไซด์ ความดัน 0.2 เมกะปาสคาลจะเกิดรอยร้าวในเนื้อวัสดุ ส่วนในนาโนคอมโพสิต แนะนำไว้เพียง 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ ความดัน 0.1 เมกะปาสคาล⁽²⁶⁾ และหากเป็นการซ่อมแซมเรซินเมทริกซ์เซรามิกในช่องปากแนะนำให้ใช้หัวกรอความหยاب 80 ไมโครเมตรซึ่งให้ผลความหยาบดีกว่าหัวกรอ 4 ไมโครเมตร^(6, 27, 28) นอกจากนี้การเป่าทรายและตามด้วยไซเลนช่วยเพิ่มการยึดติดดีขึ้นเนื่องจากการเป่าทรายช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวและไซเลนช่วยเพิ่มการยึดติดทางเคมี^(7, 8, 26, 27)

ตั้งแต่อดีตมีการคิดค้นกระบวนการใหม่เพื่อเพิ่มพลังงานพื้นผิวและเพิ่มการยึดติดโดยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์เคลือบซิลิกาด้วยความเร็วสูงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นความร้อนอุณหภูมิสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียสทำให้เกิดชั้นซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂) ผสานแทรกซึมเข้าไปในเซรามิกและช่วยเพิ่มการยึดติดในเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) โลหะและคอมโพสิต ซึ่งเรียกว่าระบบไตรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (tribochemical silica-coating system) นอกจากนี้มีการผลิตเครื่องเพื่อใช้ในช่องปากคือโคเจ็ต (cojet) โดยใช้ 30

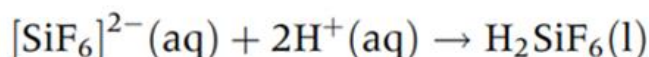
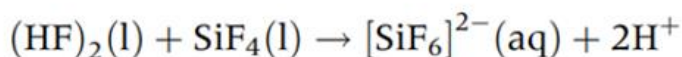
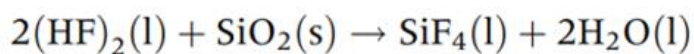
ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยซิลิกา (silica coated alumina powder) ^(7, 8) การยึดติดระหว่างไตรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้งซึ่งใช้ 30 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยซิลิกาและการเป่าทรายอนุภาค 50 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์โดยมีระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.25 เมกะปาสคาลเป็นเวลา 20 วินาที พบว่าการเป่าทรายวิธีปกติมีพื้นผิวที่หยากกว่าไตรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าหลังการเตรียมพื้นผิวทั้งสองวิธีทำให้มีองค์ประกอบอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากนาโนเรซินคอมโพสิตมีผิวที่นุ่มกว่าอะลูมิเนียม และมีองค์ประกอบซิลิกาเพิ่มขึ้น โดยซิลิกาเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเป่าทรายได้กำจัดส่วนเมทริกซ์ และเผยผิวชั้นในของฟิวเลอร์ซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ⁽²⁸⁾ หลายการศึกษากล่าวว่าการยึดติดที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทรายจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน ^(6, 28)

3 กรดไฮโดรฟลูออริก

กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีธาตุฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบ กรดชนิดนี้ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม โดยมีการนำมากัดแก้ว ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและทางอุตสาหกรรมทางเคมี สารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนและเป็นพิษอย่างมาก ⁽⁵⁾ การยึดติดของเซรามิกอาศัยการยึดติดทางกลและการยึดติดทางเคมี การยึดติดทางกลเกิดจากพื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกกำจัดส่วนแก้วของเซรามิกออก นอกจากนี้กรดไฮโดรฟลูออริกยังช่วยส่งเสริมการสร้างหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเซรามิก

กรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2) เป็นซิลิกอนเตตระฟลูออไรด์ (silicon tetrafluoride, SiF_4) จากนั้นซิลิกอนเตตระฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (hexafluorosilicate, SiF_6) จากนั้นเฮกซะฟลูออโรซิลิเกตทำปฏิกิริยากับโปรตอนกลายเป็นกรดเตตระฟลูออโรซิลิสิก (tetra fluorosilicic acid) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ปฏิกิริยาแสดงดังภาพประกอบ 6 ⁽⁷⁾

เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกมีอันตราย และเป็นพิษอย่างมากจึงมีการศึกษาเพื่อใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) แต่พบว่ากรดฟอสฟอริกช่วยกำจัดสิ่งปนเปื้อนเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำให้พื้นผิวของเซรามิกขรุขระมากขึ้น ดังนั้นการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกยังเป็นกรดที่เหมาะสมในการทำให้พื้นผิวเซรามิกขรุขระ อย่างไรก็ตามควรใช้อย่างระมัดระวังด้วยวิธีการที่เหมาะสม ^(7, 24)



ภาพประกอบ 6 การเกิดปฏิกิริยากกรดไฮโดรฟลูออริกกับซิลิกา

ที่มา Matinlinna and Vallittu (2007) Journal of oral rehabilitation⁽⁷⁾

วัสดุแต่ละชนิดมีวิธีการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่ต่างกัน โดยหากวัสดุมีองค์ประกอบแก้ว เป็นส่วนใหญ่ (predominantly glass) เช่น เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนแนะนำให้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 10 เป็นเวลา 2-3 นาที⁽²⁴⁾ และหากวัสดุมีองค์ประกอบเป็นแก้วบางส่วน (particle-filled glass) เช่น ลูไซต์ (leucite) แนะนำให้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 60 วินาที⁽²⁹⁾ ส่วน ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) แนะนำให้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 วินาที^(29, 30)

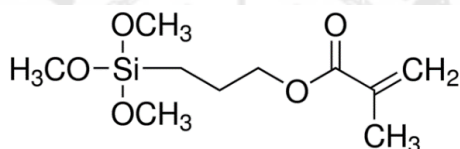
มีการศึกษาการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์แนะนำให้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 90 วินาที ช่วยให้ความสามารถในการเปียก (wettability) ดีขึ้น และค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural strength) ไม่เปลี่ยนแปลงส่วนกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 10 ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในเซรามิกที่มีโครงข่ายของพอลิเมอร์ลดลง⁽³¹⁾

4 ไซเลน

สารควบไซเลนในทางทันตกรรมจะอยู่ในรูปไตรอัลคอกซีไซเลน (trialkoxysilane) ทำละลายในเอทานอล (ethanol) และน้ำ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 2-6 ไซเลนที่วางจำหน่ายมีความเข้มข้นร้อยละ 1-10 โดยผลิตภัณฑ์มีในรูปแบบ 1-2 ขวดถ้าผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบ 1 ขวดสารจะอยู่ในรูปพรีไฮโดรไลซิสไซเลน (pre-hydrolysed) ถ้าผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบ 2 ขวด ขวดหนึ่งสาร

จะอยู่ในรูปที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (unhydrolysed silane) ทำละลายในเอทานอล อีกชนิดเป็นกรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งการแยก 2 ชนิดทำให้สามารถเก็บได้นาน

ไตรอัลคอกซีไซเลนมี 2 หมู่ฟังก์ชันอยู่ในรูป $L-(CH_2)_k-Si-(OR)_3$ โดย L เป็นกลุ่มออกาโนฟังก์ชัน (organofunctional group) เช่นเมทาคริเลต (methacrylate) อะคริเลต (acrylate) ไอโซไซยานาโต (isocyanato) อีพ็อกซี (epoxy) ซึ่งโครงสร้างฝั่งนี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น เรซินซีเมนต์หรือเรซินคอมโพสิต และ OR เป็นหมู่อัลคอกซิลที่ย่อยสลายได้ (ahydrolysable alkoxyl group) เช่น เมทอกซี (methox) อีพอกซี (ethoxy) ซึ่งโครงสร้างฝั่งนี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลิกา เช่น แก้ว กระจกเซรามิก โดยไซเลนที่นิยมใช้ในทางทันตกรรมคือทริเมทาคริลอกรีพอร์พิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-methacryloxypropyltrimethoxysilane; MPS) ซึ่งสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพประกอบ 7

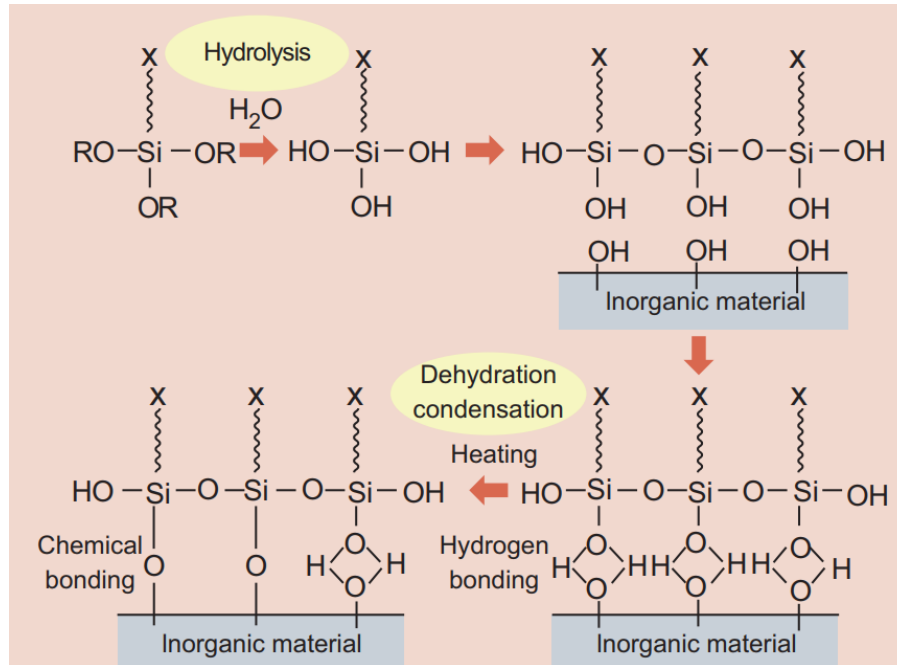


ภาพประกอบ 7 สูตรโครงสร้างโมเลกุลทริเมทาคริลอกรีพอร์พิลไตรเมทอกซีไซเลน

ที่มา: ดัดแปลงจาก <https://www.sigmaaldrich.com>

การยึดติดของไซเลนขึ้นกับชนิดของวัสดุ โดยไซเลนสามารถยึดได้ดีกับซิลิกา แก้ว และควอตซ์ ฟอรัมเป็นซิล็อกเซน (siloxane) $Si-O-Si$ และสามารถเกิดการยึดติดอย่างอ่อนกับโลหะเป็นสาย $-Si-O-M-$ โดยการเกิดปฏิกิริยาของไซเลนจะถูกกระตุ้นโดยกรดกลายเป็นซิลานอล (silanol; $SiOH$) ก่อนที่จะไปยึดติดกับพื้นผิวอนินทรีย์ ซึ่งถูกทำปฏิกิริยาและมีหมู่ไฮดรอกซิล $-OH$ โดยหมู่ไฮดรอกซิลทำปฏิกิริยากับเซรามิกและเกิดเป็น $-Si-O-Si-$ ^(7,8) ดังภาพประกอบ 8 นอกจากนี้หมู่ซิลานอล สามารถทำปฏิกิริยากันเอง กลายเป็น โอลิโกเมอร์ (Oligomer) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้โอกาสเกิดพันธะเคมีกับผิววัสดุลดลง ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4 ช่วยป้องกันการทำปฏิกิริยากันเองของไซเลน และยังสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดีที่สุด โดยรีไลน์เอกเซรามิกไพร์เมอร์บรรจุในขวดเดียวที่มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ

ไฮเลนนอกจากขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่างแล้ว ยังขึ้นกับความเข้มข้น อุณหภูมิ ความชื้น ตัวทำละลายอีกด้วย^(8, 24)



ภาพประกอบ 8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของไฮเลน

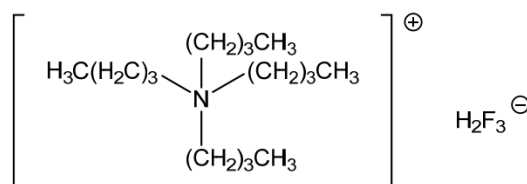
ที่มา Ebnesajjad and Ebnesajjad (2013). Surface treatment of materials for adhesive bonding⁽²²⁾

ในวัสดุหลายชนิดการเตรียมพื้นผิวด้วยการสร้างความขรุขระด้วยการเป่าทรายหรือกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจากนั้นทาไฮเลนและไม่ทาไฮเลน พบว่าการทาไฮเลนให้ผลการยึดติดที่ดีกว่าการไม่ทาไฮเลนและมีการศึกษาที่พบว่าไฮเลนแยกขวดให้ค่าการยึดติดที่ดีกว่าไฮเลนที่รวมอยู่ในสารเตรียมพื้นผิวอื่นหลายชนิด (universal bond)^(10, 32, 33)

5 สารปรับสภาพผิวเซรามิกชั้นตอนเดียว

การเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกหรือเป่าทรายตามด้วยไฮเลนยังคงเป็นวิธีมาตรฐาน แต่เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารที่อันตรายและมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง อีกทั้งการเป่าทรายในช่องปากต้องทำด้วยความระมัดระวังจึงมีการคิดค้นโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์ม (Monobond Etch & Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งเป็นสารปรับสภาพผิว

เซรามิกชั้นตอนเดียว โดยมีแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ (ammonium polyfluoride) หรือเตตระบิวทิลแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนไตรฟลูออไรด์ (tetrabutylammonium dihydrogen trifluoride) เป็นตัวกรดกัดสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพประกอบ 9 และไตรเมทอกซิลโพรพิล (trimethoxypropyl) เป็นตัวไซเลน โดยมีแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์กับไตรเมทอกซิลโพรพิลประมาณร้อยละ 15-25 โดยน้ำหนัก โมโนบอนด์แอนด์ไพร์มมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4⁽³⁴⁾



ภาพประกอบ 9 สูตรโครงสร้างแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์

ที่มา Thomas and Erik(2015). Documentation Monobond Etch & Prime⁽¹¹⁾

โมโนบอนด์แอนด์ไพร์มผลิตขึ้นมาเพื่อเป็นสารปรับสภาพผิวเพียงชนิดเดียวที่สามารถแทนกรดกัด (etching) และปฏิกิริยาไซลาไนเซชัน (silanization) วัสดุกระจกเซรามิกในชั้นตอนเดียว ซึ่งโมโนบอนด์แอนด์ไพร์มสามารถปรับสภาพพื้นผิวได้รวดเร็วและมีอันตรายน้อย ตามคู่มือการใช้งานแนะนำให้ทำสารนี้ด้วยแปรงขนแข็งเป็นเวลา 20 วินาที ทิ้งไว้ 40 วินาที ให้แอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับเซรามิกเพื่อให้ได้พื้นผิวที่ขรุขระจากนั้นล้างออก 10 วินาทีและเป่าให้แห้งอีก 10 วินาที ซึ่งทางผู้ผลิตกล่าวว่าโพลีฟลูออไรด์และสารคงเหลืออย่างอื่นจะถูกกำจัดออก การทำปฏิกิริยาระหว่างไซเลนและกระจกเซรามิกจะเริ่มขึ้นโดยแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับซิลิกอนในกระจกเซรามิกโดยปราศจากการปล่อยกรดไฮโดรฟลูออริก เนื่องจากการมีพันธะที่เหนียวแน่นระหว่างซิลิกอนและฟลูออไรด์ หลังจากล้างและเป่าแห้งจะมีชั้นไซเลนบางๆที่ผิววัสดุ ซึ่งจะทำการปฏิกิริยาต่อไป แม้ผลิตภัณฑ์นี้ยังไม่มีการอธิบายกระบวนการที่แน่ชัด แต่ก็มีหลายการศึกษาที่นำโมโนบอนด์แอนด์ไพร์มเทียบกับกรดไฮโดรฟลูออริก และวิธีการเตรียมพื้นผิวแบบดั้งเดิม⁽¹¹⁾

การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ เพื่อเทียบกับโมโนบอนด์แอนด์ไพร์ม พบว่าในลิเทียมไดซิลิเกตการใช้โมโนบอนด์แอนด์ไพร์มเป็นเวลา 60 วินาที ส่งผล

ต่อการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ ไม่ต่างจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 9 เป็นเวลา 20 วินาที และการยึดติดดีกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 และ 90 วินาที^(15, 35) อย่างไรก็ตามบางการศึกษา เทียบการใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มเป็นเวลา 60 วินาทีในวัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่ ลิเทียมไดซิลิเกตและวีต้าบล็อคมาร์คทูวีเอ็ม (Vita Blocs Mark II VM ;VITA, Germany) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 4.8 และตามด้วยไซเลนได้ค่าการยึดติดที่สูงกว่าโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มเป็นเวลา 60 วินาที แต่ในวีต้าอีนามิกการใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มเป็นเวลา 60 วินาทีให้ค่าการยึดติดที่สูงกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 4.8⁽¹⁴⁾ นอกจากนี้พบว่าการทำโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มตามด้วยสารยึดติด (bonding) ได้ค่าการยึดติดที่ดีขึ้นได้⁽¹⁷⁾ จะเห็นได้ว่าการยึดติดของโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มยังไม่เป็นที่แน่ชัด โมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มทำให้พื้นผิวขรุขระได้น้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก เนื่องจากแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์เป็นกรดที่อ่อนกว่า⁽¹³⁻¹⁵⁾ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุพบว่าการใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มจะมีธาตุฟลูออไรด์เหลือหลังล้างออก แต่การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลนจะไม่พบ ซึ่งในโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มอาจเกิดเกลือซิลิกาฟลูออไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ⁽¹⁴⁾

การใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มตามคู่มือคือ ชยี้ 20 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ 40 วินาทีรวมเป็น 60 วินาทีแล้วจึงล้างน้ำ มีการทดลองเพิ่มเวลาเป็น 2 เท่าโดยชยี้ 40 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ 80 วินาที รวมเป็น 120 วินาที พบว่าการเพิ่มระยะเวลาโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มไม่มีผลต่อความหยาบ ส่วนค่ากำลังแรงยึดเค้นในวีต้าอีนามิก ลูไซต์เบสกลาสเซรามิก (leucite-based glass-ceramic) ลิเทียมไดซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (zirconia-reinforced lithium silicate ceramic) พบว่าไม่มีความต่างระหว่างโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มที่กัดเป็นเวลา 120 วินาที และกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 60 วินาที แต่การกัดด้วยโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์ม 60 วินาทีในลิเทียมไดซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย ได้ค่ากำลังแรงยึดเค้นไม่ต่างจากการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 60 วินาทีและ 120 วินาที ส่วนในวีต้าอีนามิก ลูไซต์เบสกลาสเซรามิกและลิเทียมไดซิลิเกตพบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 ให้ค่าที่สูงกว่าโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มที่ 60 วินาที⁽¹³⁾ และมีการศึกษาค่ากำลังแรงยึดเค้นในลิเทียมไดซิลิเกตและเรซินซีเมนต์โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 วินาทีเทียบกับโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มที่ชยี้เป็นเวลา 20 วินาทีและทิ้งไว้ 40 80 120 วินาทีตามลำดับพบว่า ค่ากำลังแรงยึดเค้นที่ได้ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวมีค่ากำลังแรงยึดเค้นที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว⁽¹²⁾ ส่วนลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยในโมโนบอเนตซ์แอนด์ไฟร์มทั้ง

การใช้เวลาปกติและการเพิ่มเวลาแต่การศึกษาของโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไฟร์มดังกล่าวยังมีน้อย^(12, 13)

6 การซ่อมแซมวัสดุเซรามิก

เมื่อมีการใช้งานในช่องปากย่อมมีความเสียหายเกิดขึ้นของวัสดุบูรณะทางทันตกรรม^(3, 4) จึงมีการพัฒนาการซ่อมแซมวัสดุต่างๆ โดยการเตรียมพื้นผิวหลายแบบ โดยมีการใช้วิธีทางกลและวิธีทางเคมี โดยเริ่มจากการกำจัดส่วนเคลือบผิวเซรามิกและทำให้พื้นผิวขรุขระ ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ การกรอด้วยหัวกรอเคลือบเพชรโดยแนะนำให้ใช้หัวกรอความเร็วสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดรอยร้าวจากการสั่นสะเทือนของหัวกรอความเร็วต่ำ การเป่าทรายในช่องปากซึ่งขณะเป่าต้องระวังอันตรายจากผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ดังนั้นควรมีการใช้แผ่นยางกันน้ำลายร่วมกับที่ดูดน้ำลายแรงดูดสูง การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ช่วยกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งกรดชนิดนี้ไม่สามารถทำให้พื้นผิวขรุขระได้ การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งแนะนำให้ใช้ตามระยะเวลา ตามความเข้มข้นของกรด และชนิดของเซรามิก แต่ข้อเสียของกรดไฮโดรฟลูออริกคือมีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อในช่องปากที่รุนแรงมาก หรือการใช้แอซิดดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ (acidulated phosphate fluoride) ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลา 5-15 นาที ข้อดีของกรดชนิดนี้คือไม่เป็นพิษในช่องปาก เมื่อเตรียมพื้นผิวตามวิธีต่างๆข้างต้นแล้ว จึงทาสารช่วยยึดติดทางเคมีซึ่งคือไซเลน และซ่อมแซมด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตต่อไป⁽³⁶⁾

นอกจากการเตรียมพื้นผิวหลายวิธีตามที่กล่าวมาแล้วมีการใช้เลเซอร์เตรียมพื้นผิวในการซ่อมลิเทียมไดซิลิเกต และเรซินเมทริกซ์เซรามิกด้วยคอมโพสิตเทียบกับวิธีปกติ พบว่าเลเซอร์ไม่สามารถทำให้เกิดการยึดติดเทียบเท่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก การกรอ และการเป่าทรายได้⁽³⁷⁾

⁽³⁸⁾ นอกจากนี้การใช้ไซเลนตามด้วยสารยึดติด เทียบกับการใช้สารไพรเมอร์ที่มีไซเลนและMDPในขวดเดียวกันพบว่าได้ค่าการยึดติดที่เหมือนกัน⁽³⁸⁾ แต่หากเตรียมพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพผิวที่มีไซเลนเป็นองค์ประกอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดสำหรับการซ่อมแซมเซรามิกโดยเฉพาะ เทียบกับโคเจตอนุภาค 30 ไมโครเมตรอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยซิลิกา พบว่าโคเจตให้การยึดติดในการซ่อมแซมในลูไซต์ได้ดีกว่า⁽³⁹⁾

การซ่อมแซมเรซินเมทริกซ์เซรามิกยังไม่มีวิธีการที่แน่ชัด แต่พบว่าการทำให้พื้นผิวขรุขระโดยการกรอด้วยหัวกรอเคลือบเพชรได้ค่าแรงยึดที่มากกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ในขณะที่เฟลสปาทิกเหมาะกับกรดไฮโดรฟลูออริก และพบว่าหากมีเรซินในวัสดุมากขึ้นย่อมส่งผลให้การซ่อมแซมด้วยวัสดุคอมโพสิตได้ผลดีขึ้นด้วย^(37, 40) มีการนำโมโนบอนเอตซ์แอนด์ไฟร์มมาใช้ซ่อมแซมเฟลสปาทิกด้วยคอมโพสิต พบว่าการใช้โมโนบอนเอตซ์แอนด์ไฟร์มได้ค่าแรงยึดใกล้เคียง

กับการเป่าทราย นอกจากนี้การใช้โมโนบอนเอตซ์แอนด์ไฟร์ร่วมกับการเป่าทรายยังช่วยส่งเสริมการยึดติด แต่อย่างไรก็ตามกรดไฮโดรฟลูออริกยังคงให้แรงยึดติดที่ดีที่สุด แต่ต้องใช้ในช่องปากด้วยความระมัดระวัง⁽¹⁶⁾ แม้ว่าค่าแรงยึดในการซ่อมแซมยังไม่ได้มีการกำหนดที่แน่ชัด แต่ค่ากำลังแรงยึดเฉือนในการซ่อมแซมที่หลายการศึกษาใช้อ้างอิงคือ 10-20 เมกะปาสคาล⁽⁴¹⁻⁴³⁾

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการซ่อมแซมสามารถทำได้หลายวิธี แต่การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในช่องปากมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงเป็นอันตรายอย่างมาก และการเป่าทรายต้องทำด้วยความระมัดระวัง อีกทั้งหากควบคุมปัจจัยต่างๆในการเป่าทรายไม่ดี อาจทำให้พื้นผิวของวัสดุเกิดความเสียหายได้ การศึกษาการซ่อมแซมวัสดุกลุ่มเซรามิกด้วยสารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียวยังมีไม่มากนัก อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาที่ใช้สารปรับสภาพผิวชั้นตอนเดียวซ่อมแซมวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ด้วยเรซินคอมโพสิตจึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้

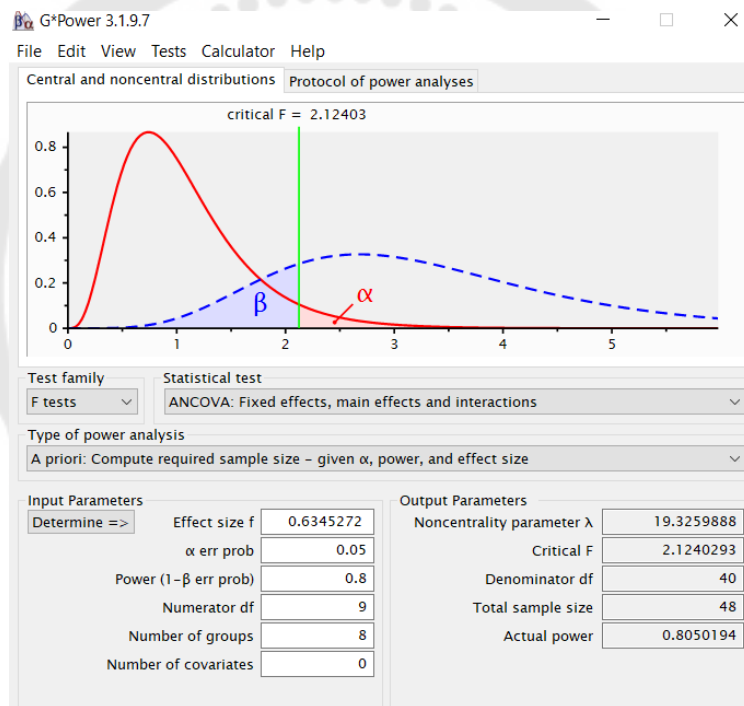


บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง



ภาพประกอบ 10 การคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G power 3.1.9.7

Effect size=0.6345272 อ้างอิงจากการทดลองของ Yildirim, Recen ⁽¹⁶⁾

จำนวนการศึกษา = 8 กลุ่ม

ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 48 ขึ้น จึงมีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 6 ตัวอย่าง

เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจึงเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างตามการศึกษาก่อนหน้า ⁽⁴⁴⁾

จึงมีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier Caliper)
2. วีต้าอีนามิก (Vita Enamic; VITA Zahnfabrik, Germany)
3. ไอพีเอสเซรามิกเอชชิงเจล (IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
4. โมโนบอนด์เอทช์แอนด์ไพม์ (Monobond Etch & Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
5. รีไลเอกเซรามิกไพม์เมอร์ (Rely X Ceramic Primer, 3M ESPE, St. Paul, USA)
6. สารยึดติดแอดแฮปส์ก๊อตบอนมัลติเพอร์โพส (Adper Scotchbond Multipurpose Adhesive, 3M ESPE, St. Paul, USA)
7. เรซินคอมโพสิตฟิลเทค (Filtek-z350, 3M ESPE, St. Paul, USA)
8. เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิค (ultrasonic cleaning machine, Bandelin, Germany)
9. เครื่องตัดความเร็วต่ำอัตโนมัติ (Low speed cutting machine, ISOMET 1000, Buehler, Illinois, USA)
10. เครื่องทดสอบแรงสากล (universal testing machine : EZ Test Series, Shimadzu, Japan)
11. เครื่องขัดตัวอย่างชิ้นงาน (grinding and polishing machine)
12. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL-6510 LV, JEOL Inc., Tokyo, Japan)
13. เครื่องเคลือบทอง (JFC-1600, JEOL Inc., Tokyo, Japan)
14. กระดาษทรายน้ำความละเอียด 600 800 1,000 และ 2000 (waterproof abrasive paper DCC; TOA Paint Co., Thailand)
15. ฟู่กัน



ภาพประกอบ 11 วีต้าอีนามิก

(Vita Enamic; VITA Zahnfabrik, Germany)



ภาพประกอบ 12 ไอพีเอสเซรามิกเอ็ชชิงเจล

(IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)



ภาพประกอบ 13 โมโนบอนเอตซ์แอนด์ไพร์ม

(Monobond Etch & Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)



ภาพประกอบ 14 รีไลน์เอ็กเซรามิกไพรเมอร์

(RelyX™ Ceramic Primer, 3M ESPE, St. Paul, USA)



ภาพประกอบ 15 สารยึดติดแอดเปอร์สก็อตบอนมัลติเพอร์โพส

(Adper Scotchbond Multipurpose Adhesive, 3M ESPE, St. Paul, USA)



ภาพประกอบ 16 เรซินคอมโพสิตฟิลเท็ค

(Filtek-z350, 3M ESPE, St. Paul, USA)



ภาพประกอบ 17 เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก

(ultrasonic cleaning machine, Bandelin, Germany)



ภาพประกอบ 18 เครื่องตัดความเร็วต่ำอัตโนมัติ

(Low speed cutting machine ,ISOMET 1000, Buehler, Illinois, USA)



ภาพประกอบ 19 เครื่องทดสอบแรงสากด

(universal testing machine : EZ Test Series, Shimadzu, Japan)



ภาพประกอบ 20 เครื่องขัดตัวอย่างชิ้นงาน

(grinding and polishing machine)



ภาพประกอบ 21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(JEOL-6510 LV, JEOL Inc., Tokyo, Japan)



ภาพประกอบ 22 เครื่องเคลือบทอง

(JFC-1600, JEOL Inc., Tokyo, Japan)

ตาราง 2 วัสดุในงานวิจัย

วัสดุ	ส่วนประกอบ
Vita Enamic	UDMA, TEGDMA. filler: feldspar ceramic enriched with aluminum oxide, 86% by weight
IPS Ceramic Etching Gel	5% hydrofluoric acid, water
3M™ RelyX™ Ceramic Primer	ethyl alcohol water 3- methacryloxypropyltrimethoxysilane
Monobond Etch & Prime	butanol, trimethoxysilylpropyl methacrylate bis (triethoxysilyl) ethane tetrabutylammonium dihydrogen trifluoride methacrylated phosphoric acid ester colorant
Adper Scotchbond Multipurpose Adhesive	bisphenol A diglycidyl ether dimethacrylate (BISGMA) 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA)
Filtek-z350(Nanofill)	matrix: Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA filler: SiO ₂ nanofiller, ZrO ₂ nanofiller, ZrO ₂ / SiO ₂ nanocluster

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1 การเตรียมชิ้นงาน

1.1 นำวีดี้อินามิกมาตัดให้ได้ขนาดสี่เหลี่ยมกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำอัตโนมัติ (Low speed cutting machine ,ISOMET 1000, Buehler, Illinois, USA) จำนวน 83 ชิ้นทดสอบ

1.2 นำชิ้นงานวีดี้อินามิกวางบนแท่นกระจก

1.3 ผสมอะคริลิกใส่ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร

1.4 ชัดชิ้นงานบริเวณทดสอบด้วย กระจกทรายเบอร์ 600 800 1,000 และ 2,000 ตามลำดับโดยใช้เครื่องขัดอัตโนมัติ 100 รอบต่อนาที ในทิศทางวนเข็มนาฬิกาขัดเป็นเวลา 5 นาทีในแต่ละความหยาบของกระจกทราย โดยเปลี่ยนกระจกทรายใหม่ทุกชิ้นงาน

1.5 นำชิ้นทดสอบทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาทีจากนั้นเป่าให้แห้ง

1.6 นำชิ้นงานไปเตรียมพื้นผิวตามแต่ละกลุ่มการทดลอง

2 การเตรียมพื้นผิว

แบ่งกลุ่มการทดลองดังตาราง 3

ตาราง 3 การเตรียมพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง

กลุ่ม	จำนวน	การเตรียมพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง
1	20	ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว
2	20	HF 5% 60 วินาที และ ไชเลน
3	20	Monobond etch and prime 60 วินาที
4	20	Monobond etch and prime 60 วินาที และ ไชเลน

โดยแต่ละกลุ่มเตรียมพื้นผิวดังนี้

2.1 การเตรียมพื้นผิวกลุ่มที่ 2 โดยกรดไฮโดรฟลูออริก

2.1.1 นำชิ้นทดสอบวีต้าอีนาไมกาทากรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 60 วินาที

2.1.2 จากนั้นล้างน้ำออกให้สะอาดเป็นเวลา 60 วินาทีเป่าลมให้แห้ง

2.1.3 ทาสารรีไลน์เอกเซรามิกไพรเมอร์ด้วยฟู่กันเป็นทิศทางเดียว จากนั้นเป่าให้ไม่มีการเคลื่อนไหวของวัสดุ

2.2 การเตรียมพื้นผิวกลุ่มที่ 3 โดยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม

2.2.1 นำชิ้นทดสอบวีต้าอีนาไมกาทาสารโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์มด้วยแปรงและขี้เป็น เวลา 20 วินาที ทิ้งไว้ 40 วินาที

2.2.2 จากนั้นล้างออก 10 วินาที และเป่าให้แห้งอีก 10 วินาที

2.3 การเตรียมพื้นผิวกลุ่มที่ 4 โดยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์มและ ไฮเลน

2.3.1 นำชิ้นทดสอบวีต้าอีนาไมกาทาสารโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์มด้วยแปรงและขี้เป็น เวลา 20 วินาที ทิ้งไว้ 40 วินาที

2.3.2 จากนั้นล้างออก 10 วินาที และเป่าให้แห้งอีก 10 วินาที

2.3.3 ทาสารรีไลน์เอกเซรามิกไพรเมอร์ด้วยฟู่กันเป็นทิศทางเดียวจากนั้นเป่าให้ไม่มีการเคลื่อนไหวของวัสดุ

3 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค

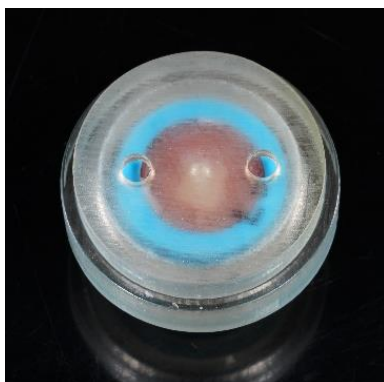
นำชิ้นงานจากกลุ่ม 1-3 ก่อนทาสารรีไลน์เอกเซรามิกไพรเมอร์ กลุ่มละ 1 ชิ้นงานไป เคลือบทองที่บริเวณด้านที่ศึกษาและนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1,000 และ 3,000 เท่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ (kV) ที่ระยะห่าง 13-15 มิลลิเมตร

4 การยึดติดวัสดุเรซินคอมโพสิต

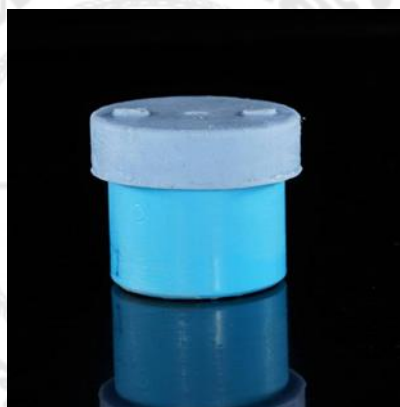
4.1 นำชิ้นทดสอบทุกกลุ่มมาทาสารยึดติดแอดแฮร์สก็อปปอนมัลติเพอร์โพสด้วยฟู่กันเป็นทิศทาง เดียวจากนั้นเป่าให้ไม่มีการเคลื่อนไหวของวัสดุ

4.2 ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ด้วยความเข้มแสง 100 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

4.3 ทำแม่แบบพลาสติก ดังภาพประกอบ 23 เพื่อผลิตแม่แบบซิลิโคน ให้มีรูตรงกลางขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 23 แม่แบบพลาสติก



ภาพประกอบ 24 แม่แบบซิลิโคน

4.4 นำแม่แบบซิลิโคนใส่ท่อ PVC ให้แนบสนิท จากนั้นใส่เรซินคอมโพสิตในแม่แบบจนเต็มแล้ว
ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที แกะแม่แบบซิลิโคนออกด้วยความระมัดระวังฉายแสงต่อ 40 วินาที
จนเรซินคอมโพสิตติดกับชิ้นทดสอบดังภาพประกอบ 25

4.5 ทำความสะอาดแม่แบบพลาสติกและใช้ในขั้นตอนถัดไป



ภาพประกอบ 25 การยัดดีดีไวรัสโคโรนาคอมโพสิต

5 การเตรียมชิ้นงานหลังการยัดดีดี

5.1 ไม่ผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะ

นำชิ้นทดลองกลุ่มละ 10 ชิ้น รวมทั้งหมด 40 ชิ้น ที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวโดยนำชิ้นงานทั้งหมดไปแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.2 ผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะ

นำชิ้นทดลองกลุ่มละ 10 ชิ้น รวมทั้งหมด 40 ชิ้น ที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวไปแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะ (thermocycling) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส 5,000 รอบ อุณหภูมิละ 30 วินาที

6 การทดสอบกำลังแรงยึดเฉือน

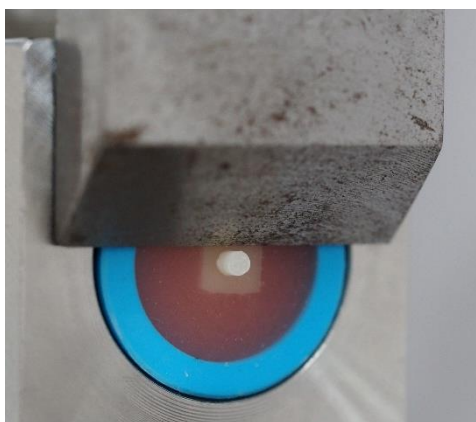
จากนั้นนำชิ้นงานทดลองทั้งหมดจำนวน 80 ชิ้นไปทดสอบกำลังแรงยึดเฉือน โดยแบ่งกลุ่มได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 กลุ่มการทดลอง

กลุ่ม	การเตรียมพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง	การเตรียมชิ้นงานหลังการยึดติด	จำนวน
1	ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว	ไม่ผ่าน thermocycling	10
		ผ่าน thermocycling	10
2	HF 5% 60 วินาที และ ไฮเลน	ไม่ผ่าน thermocycling	10
		ผ่าน thermocycling	10
3	Monobond etch and prime 60 วินาที	ไม่ผ่าน thermocycling	10
		ผ่าน thermocycling	10
4	Monobond etch and prime 60 วินาที และ ไฮเลน	ไม่ผ่าน thermocycling	10
		ผ่าน thermocycling	10

นำชิ้นงานมาทดสอบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (universal testing machine: EZ Test) โดยเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาทีโดยใช้แรง (load cell) ขนาด 1,000 นิวตัน หัวทดสอบรูปร่างเหมือนคมมีด (knife-edge blade) โดยให้หัวทดสอบอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุและออกแรงกระทำต่อรอยต่อระหว่างเรซินคอมโพสิตในแนวตั้งดังภาพประกอบ 26 บันทึกแรงที่ทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างวัสดุและคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{ค่ากำหนดค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว(MPa)} = \frac{\text{แรงที่ทำให้ชิ้นงานหลุดจากกัน(นิวตัน)}}{\text{พื้นที่บริเวณแตกหัก(ตารางมิลลิเมตร)}}$$



ภาพประกอบ 26 แสดงการทดสอบกำลังแรงยึดเคียน

7 รูปแบบของการแตกหัก

การตรวจสอบรูปแบบของการแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบกำลังแรงยึดเคียนมา ตรวจสอบลักษณะการแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบและเรซินเรซินคอมโพสิตด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า โดยกำหนดรูปแบบของการแตกหักเป็น 4 แบบ⁽⁴⁵⁾ ดังนี้

แบบที่ 1 การแตกหักแบบการเชื่อมติด (adhesive) คือ ไม่มีส่วนของเรซินคอมโพสิตอยู่บนชั้นทดสอบ

แบบที่ 2 การแตกหักแบบเชื่อมแน่นในเรซินคอมโพสิต (cohesive failure within the body of resin composite) คือ มีส่วนของเรซินคอมโพสิตอยู่บนชั้นทดสอบครอบคลุมทั้งพื้นผิว หรือ มีการแตกหักในเรซินคอมโพสิต

แบบที่ 3 การแตกหักแบบเชื่อมแน่นในเรซินเมทริกซ์เซรามิก (cohesive failure within the body of resinmatrix ceramic) คือ มีส่วนของเรซินเมทริกซ์เซรามิกอยู่บนชั้นทดสอบครอบคลุมทั้งพื้นผิว หรือ มีการแตกหักในเรซินเมทริกซ์เซรามิก

แบบที่ 4 การแตกหักแบบผสม (mixed failure or a combination of adhesive and cohesive) การแตกหักที่มีรูปแบบผสมระหว่างทุกแบบที่กล่าวมา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการทดสอบโดยโปรแกรม SPSS กำหนด P- value < 0.05

ทดสอบการแจกแจงปกติ (normal distribution) โดยการทดสอบ Kolmogorov-Smirnov Test หากเป็นการแจกแจงปกติและความแปรปรวนของประชากรแต่ละชุดเท่ากัน (Homogeneity of Variance) ใช้ Two-Way ANOVA และหากไม่ใช้การแจกแจงปกติใช้ Friedman test จากนั้นวิเคราะห์ภายในกลุ่ม โดย Multiple comparison



บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้มีการซ่อมแซมวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ด้วยเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆ โดยบางส่วนผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและบางส่วนไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

- 1 ค่ากำลังแรงยึดเฉือน
- 2 ลักษณะพื้นผิวที่ผ่านการปรับสภาพ
- 3 รูปแบบของการแตกหัก

1 กำลังแรงยึดเฉือน

การทดสอบกำลังแรงยึดเฉือนแสดงผลของค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 5

ตาราง 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังแรงยึดเฉือน

การเตรียมพื้นผิว	กำลังแรงยึดเฉือน(MPa)	
	ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ(NT)	ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ(T)
ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว(control)	5.89(1.12) ^a	0(0) ^b
กรดไฮโดรฟลูออริก ตามด้วยไฮเลน(HFS)	21.56(1.82) ^c	10.78(1.26) ^d
โมโนบอนด์เอ็กซ์แอนดีไพร์ม (MEP)	15.55(1.45) ^e	6.55(0.78) ^a
โมโนบอนด์เอ็กซ์แอนดีไพร์ม ตามด้วยไฮเลน (MEPS)	14.64(1.20) ^e	5.84(2.18) ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากผลการทดสอบ Kolmogorov-Smirnov พบว่า P-value มากกว่า 0.05 ทุกค่าแสดงว่ากำลังแรงยึดเฉือนมีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วย Levene statistic

พบว่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม สามารถใช้ Two-Way ANOVA และได้ผลแสดงว่า ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ โดยค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเฉือนเรียงจากน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มที่ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิวและผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ Control (T) ขึ้นทดสอบหลุดหลังจากผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะทั้งหมด ส่งผลให้ไม่มีค่ากำลังแรงยึดเฉือน ตามด้วยกลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม ตามด้วยไซเลน จากนั้นผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ MEPS(T) กลุ่มที่ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิวที่ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ Control(NT) และกลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม จากนั้นผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ MEP(T) มีค่ากำลังแรงยึดเฉือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามด้วย กลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ตามด้วยไซเลน จากนั้นผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ HFS (T) ตามด้วย กลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม ตามด้วยไซเลน ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ MEPS(NT) กลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ MEP(NT) ค่ากำลังแรงยึดเฉือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามด้วย กลุ่มที่ได้รับการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ตามด้วยไซเลน ที่ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ HFS (NT) หากเรียงค่ากำลังแรงยึดเฉือนจากน้อยไปมากเรียงได้ดังต่อไปนี้ $Control(T) < MEPS(T) = Control(NT) = MEP(T) < HFS(T) < MEPS(NT) = MEP(NT) < HFS(NT)$

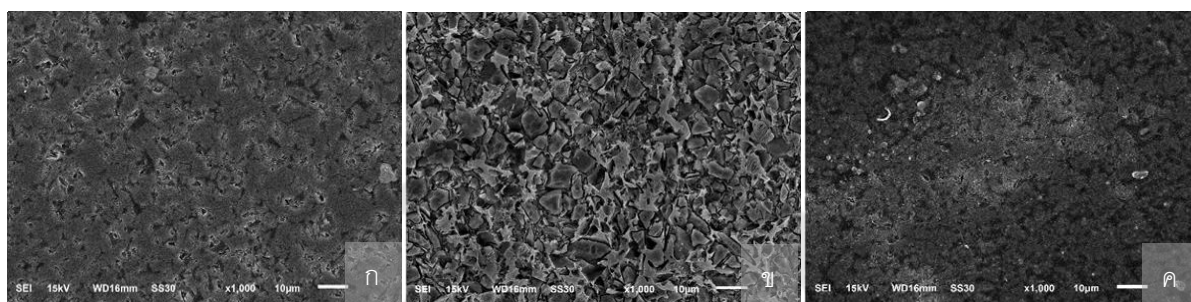
2 ลักษณะพื้นผิวที่ผ่านการปรับสภาพ

จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1,000 และ 3,000 เท่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ (kV)

กลุ่มที่ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว ลักษณะพื้นผิววีต้าอีนามิกที่กำลังขยาย 1,000 แสดงลักษณะ โครงสร้างสามมิติของร่างแหของของเซรามิกชนิดเฟลสปาทิก ดังภาพประกอบ 27ก และที่กำลังขยาย 3,000 แสดงลักษณะโครงสร้างที่ชัดเจน โดยลูกศรสีขาวชี้โพลีเมอร์ที่แทรกซึมอยู่ในร่างแหเซรามิก ดังภาพประกอบ 28ก

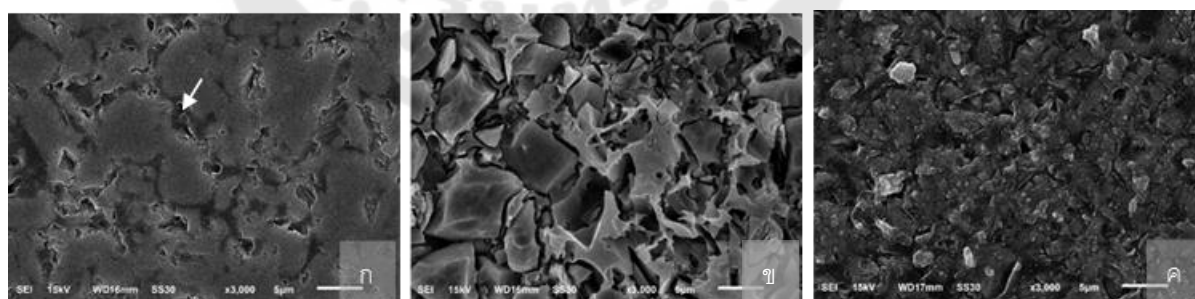
กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ลักษณะพื้นผิววีต้าอีนามิกที่กำลังขยาย 1000 แสดงลักษณะ โครงสร้างของพื้นผิวเซรามิกที่มีลักษณะขรุขระ ดังภาพประกอบ 27ข และที่กำลังขยาย 3,000 แสดงลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวเซรามิกที่มีลักษณะเป็นหลุมและโดนกัดกร่อนอย่างชัดเจน ดังภาพประกอบ 28ข

กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์ม ลักษณะพื้นผิววีต้าอีนามิกที่ กำลังขยาย 1,000 แสดงลักษณะของพื้นผิวที่โดนกัดกร่อนเล็กน้อย อีกทั้งมีลักษณะเคลือบ แผ่นฟิล์มบางๆที่ผิววัสดุ ดังภาพประกอบ 27ค และที่กำลังขยาย 3,000 แสดงลักษณะพื้นผิวที่ ขรุขระเล็กน้อยและมีลักษณะสารแขวนลอย ดังภาพประกอบ 28ค



ภาพประกอบ 27 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

(ก) กลุ่มไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว (ข) กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (ค) กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์ม



ภาพประกอบ 28 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3,000 เท่า)

(ก) กลุ่มไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว (ข) กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (ค) กลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์ม

3 รูปแบบของการแตกหักระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิต

ลักษณะการแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่าพบรูปแบบของการแตกหัก(ร้อยละ) ดังแสดงในตาราง 6

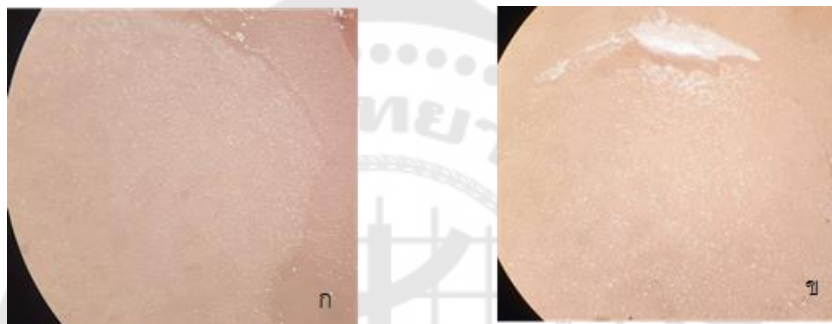
ตาราง 6 แสดงรูปแบบของการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิต

การเตรียม พื้นผิว	การผ่านกระบวนการ ทางความร้อน	รูปแบบของการแตกหัก(ร้อยละ)			
		การแตกหักแบบ เชื่อมติด (Adhesive Failure)	การแตกหักแบบ เชื่อมแน่นในเรซิน คอมโพสิต (Cohesive Failure in resin composite)	การแตกหักแบบ เชื่อมแน่นใน เรซินเมทริกซ์ (Cohesive Failure in PICN)	การแตกหักแบบ ผสม (Mixed Failure)
control	ไม่ผ่าน(Non-thermo)	100	-	-	-
	ผ่าน (thermo)	100	-	-	-
HFS	ไม่ผ่าน(Non-thermo)	20	10	-	70
	ผ่าน (thermo)	30	-	-	70
MEP	ไม่ผ่าน(Non-thermo)	60	10	-	30
	ผ่าน (thermo)	90	-	-	10
MEPS	ไม่ผ่าน(Non-thermo)	80	-	-	20
	ผ่าน (thermo)	90	-	-	10

กลุ่มที่ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว(control) ทั้งที่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ และไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ มีการแตกหักแบบเชื่อมติดทั้งหมดโดยการแตกหักอยู่ระหว่างเซรามิกและสารยึดติดดังภาพประกอบ 29ก

กลุ่มที่ผ่านการเตรียมโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์ม (MEP) และ กลุ่มที่ผ่านการเตรียมโมโนบอเนตซ์แอนดีไพร์มตามด้วยไซเลน(MEPS) มีการแตกหักแบบเชื่อมติดเป็นส่วนใหญ่

กลุ่มที่ผ่านการเตรียมด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลน(HFS) มีการแตกหักแบบผสมเป็นส่วนใหญ่ดังภาพประกอบ 29ข



ภาพประกอบ 29 แสดงรูปแบบของการแตกหัก

ก รูปแบบการแตกหักแบบการเชื่อมติด

ข การแตกหักแบบผสม

บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาผลของวิธีการปรับสภาพผิวต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลจากการศึกษามาวิเคราะห์ ได้สรุปผลการดำเนินการ ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. อภิปรายผลการวิจัย
2. สรุปผลการวิจัย
- 3 ข้อเสนอแนะ

1 อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาการซ่อมแซมของวัสดุเซรามิกชนิดที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์หรือในปัจจุบันมีชื่อทางการค้าว่าวีต้าอีนามิก ซึ่งวัสดุชนิดนี้มีความอดุลย์สภาพยึดหยุ่น และค่าความแข็งใกล้เคียงเนื้อฟัน ซึ่งทำให้รับแรงกระแทกจากการบดเคี้ยวได้นุ่มนวล⁽²⁾ อีกทั้งยังขึ้นรูปได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ วัสดุทางทันตกรรมเมื่อมีการใช้งานในช่องปากอาจทำให้มีความเสียหายเกิดขึ้นได้ การซ่อมแซมวัสดุชนิดนี้มีวิธีการดั้งเดิมคือการปรับสภาพผิวเชิงกลด้วยวิธีต่างๆ เช่น การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก การเป่าทราย และการทำให้พื้นผิวหยาบด้วยหัวกรอ จากนั้นจึงทำการปรับสภาพผิวเพื่อการยึดโดยพันธะเคมี ซึ่งในวัสดุเซรามิกชนิดที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ สารปรับสภาพผิวที่เหมาะสมจะมีไซเลนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเตรียมพื้นผิวเพื่อการยึดติดทางกลและทางเคมีเรียบร้อย ให้ทำสารยึดติด และซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตต่อไป⁽⁶⁻⁸⁾ ปัจจุบันมีการคิดค้นสารที่สามารถปรับสภาพผิวเชิงกลและเพิ่มการยึดติดทางเคมีในขั้นตอนเดียว คือโมโนบอนด์เอตซ์แอนด์ไพร์ม ซึ่งประกอบด้วยแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์เป็นตัวกรดกัด และไตรเมทอกซิลโพรพิลเป็นตัวไซเลนในขวดเดียว⁽¹¹⁾ การศึกษาครั้งนี้ได้จำลองการซ่อมแซมของวัสดุวีต้าอีนามิกในเชิงคลินิก โดยได้ออกแบบการทดลองภายในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเรซินคอมโพสิตและวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเตรียมพื้นผิวโดยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยการทาไซเลน การเตรียมพื้นผิวโดยโมโนบอนด์เอตซ์แอนด์ไพร์ม การเตรียมพื้นผิวโดยโมโนบอนด์เอตซ์แอนด์ไพร์มตามด้วยการทาไซเลน และการไม่เตรียมพื้นผิว จากนั้นนำขึ้นทดสอบครั้งหนึ่งไปผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะ และทำการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว เมื่อขึ้นงานแตกหักแล้วตรวจสอบลักษณะบริเวณรอยแตกหักของวีต้าอี

นามิกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอ รวมทั้งศึกษาลักษณะพื้นผิวของวีต้าอีนามิกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินคอมโพสิตกับวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์เมื่อปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่างๆ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มที่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะและไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ โดยพบว่า การปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนได้ค่ายึดติดดีกว่าโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์มและโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์มตามด้วยไฮเลน สอดคล้องกับภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการทดลองนี้ ที่แสดงว่ากรดไฮโดรฟลูออริกสามารถกัดพื้นผิววีต้าอีนามิกได้ดีกว่าโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม ส่งผลให้เกิดการเกี่ยวติดกันทางกลขนาดเล็กของวีต้าอีนามิก ได้มากกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม สอดคล้องกับการศึกษาของ El-Damanhoury and Gaintantzopoulou ในปี 2018 ที่มีการทดสอบความขรุขระพื้นผิวในวีต้าอีนามิก (surface roughness test) พบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกมีค่าความหยาบผิว (surface roughness values ;Ra) มากกว่าโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม โดยปฏิกิริยาของกรดไฮโดรฟลูออริกกับวีต้าอีนามิกอธิบายได้ดังนี้ วีต้าอีนามิกประกอบด้วย ร่างแหของเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกซึ่งมี SiO_2 ร้อยละ 58-60 เป็นองค์ประกอบ^(1, 2, 20, 21) โดยกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นซิลิกอนเตตระฟลูออไรด์ (SiF_4) จากนั้นซิลิกอนเตตระฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นเฮกซะฟลูออโรโรซิลิเกต (SiF_6) จากนั้นเฮกซะฟลูออโรโรซิลิเกตทำปฏิกิริยากับโปรตอน กลายเป็นกรดเตตระฟลูออโรซิลิซิกซึ่งสามารถละลายน้ำได้⁽⁷⁾ ทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิว ส่งผลให้เกิดการเกี่ยวติดกันทางกลขนาดเล็ก (micromechanical lock) และทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลเกาะบนพื้นผิวเซรามิกจากปฏิกิริยาดังกล่าว⁽²⁹⁾ ในขณะที่โมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม ประกอบด้วยแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ (ammonium polyfluoride) หรือเตตระบิวทิลแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนไตรฟลูออไรด์ (tetrabutylammonium dihydrogen trifluoride) ซึ่งแอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับซิลิกอนในกลาสเซรามิก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกัดกร่อนพื้นผิวเซรามิกน้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก สอดคล้องกับรูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการทดลองนี้ที่แสดงว่าโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม ทำให้เกิดความขรุขระพื้นผิวบนวีต้าอีนามิกน้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก⁽¹¹⁾ นอกจากนี้เซรามิกที่เตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนมีค่ามุมสัมผัส (contact angle) ที่น้อย หรือมีพลังงานพื้นผิวที่มากกว่าเซรามิกที่เตรียมผิวด้วยโมโนบอนเอตซ์แอนดีไพร์ม เนื่องจากแขนข้างหนึ่งของไฮเลนเป็นกลุ่มออกซิเจนฟังก์ชัน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำซึ่ง

ส่วนนี้จะทำปฏิกิริยากับเรซินซีเมนต์หรือเรซินคอมโพสิต ส่วนแขนอีกข้างที่เป็นหมู่อัลคอกซิลจะทำปฏิกิริยากับซิลิกาในเซรามิก โดยการเกิดพันธะจะเป็นรูปแบบสามมิติทำให้มีหมู่อัลคอกซิลที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยามีคุณสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นการทำให้เลนบนผิวเซรามิกจึงเพิ่มคุณสมบัติชอบน้ำและลดค่ามุมสัมผัส ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้เซรามิกที่เตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลนได้ค่าแรงยึดติดที่มากกว่า^(34, 46) การใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มเริ่มจากขยี้ 20 วินาทีเพื่อกำจัดน้ำลายและสิ่งแปลกปลอม จากนั้นทิ้งไว้ 40 วินาทีเพื่อให้แอมโมเนียมโพลีฟลูออไรด์ทำปฏิกิริยากับกลาสเซรามิก จากนั้นล้างน้ำ 10 วินาที และเป่าอีก 10 วินาทีเพื่อกำจัดโพลีฟลูออไรด์และสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะยังคงเหลือไซเลนเคลือบบางๆบนพื้นผิววัสดุ อย่างไรก็ตามยังไม่มีกรออธิบายถึงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มอย่างชัดเจน⁽¹¹⁾ มีการศึกษาระยะเวลาในการทำโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์ม จากคู่มือให้ขยี้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์ม 20 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ 40 วินาทีรวมเป็น 60 วินาทีแล้วจึงล้างน้ำและเป่าลม มีการทดลองเพิ่มระยะเวลาเป็น 2 เท่าโดยขยี้ 40 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ 80 วินาที รวมเป็น 120 วินาที พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มไม่มีผลต่อความหยาบ⁽¹³⁾ ใน การศึกษานี้จึงกำหนดระยะเวลาการทดสอบตามคู่มือผลิตภัณฑ์ ผลของภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการศึกษานี้ พบว่าโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มมีฤทธิ์ในการกัดพื้นผิวที่น้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก ส่งผลให้เกิดการยึดติดเชิงกลที่น้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัยก่อนหน้า^(12, 13, 15, 35)

การเตรียมพื้นผิวเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ เริ่มจากการสร้างการยึดติดเชิงกลด้วยการเป่าทรายหรือการปรับสภาพผิว ตามด้วยการทำให้เลน โดยพบว่าการเตรียมพื้นผิวเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ การทำให้เลนให้ผลการยึดติดที่ดีกว่าการไม่ทำให้เลนเนื่องจากไซลาโนเซชันช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวและเกิดการยึดติดเชิงเคมี^(10, 32, 33) ไซเลนสามารถยึดติดได้ดีกับซิลิกา แก้ว และ ควอตซ์ โดยเริ่มแรกไซเลนจะถูกกระตุ้นโดยกรดกลายเป็นไซลานอล(SiOH) จากนั้นไซลานอลจะไปทำปฏิกิริยากับหมูไฮดรอกซิล(-OH)บนพื้นผิวอนินทรีย์ และเกิดเป็นซิล็อกเซน(-Si-O-Si-) ซึ่งหมูไฮดรอกซิลบนพื้นผิวอนินทรีย์ดังกล่าวเกิดจากกระบวนการกัดด้วยกรด^(7, 8) หลายการศึกษาพบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลน ให้ค่ายึดติดที่เหมาะสมและเป็นมาตรฐานในการเตรียมพื้นผิวของเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ⁽²⁹⁻³¹⁾ สอดคล้องกับคู่มือผลิตภัณฑ์ของวีต้าอีนามิกที่แนะนำให้ใช้ กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 5 ที่พื้นผิวเซรามิกด้านในเป็นเวลา 60 วินาที และทำให้เลนบนพื้นผิวที่ผ่านกรดกัด การศึกษานี้ได้มีการเตรียมผิวเซรามิกด้วยโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มและโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มตามด้วยไซเลน พบว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ เนื่องจากโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มและรีไลน์เอกเซรามิกไพร์เมอร์ประกอบด้วยไตรเมทออกซิลโพรพิลซึ่งคือไซเลน และเป็นตัวทำปฏิกิริยาเคมีกับกลาสเซรามิกเหมือนกัน โดยคุณภาพของไซเลนก็เป็นอีกปัจจัยที่คำนึงถึง เนื่องจากหมู่ไซลานอล สามารถทำปฏิกิริยากันเอง กลายเป็น โอลิโกเมอร์(Oligomer) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้โอกาสเกิดพันธะเคมีกับผิววัสดุลดลง ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4 ช่วยป้องกันการทำปฏิกิริยากันเองของไซเลน และยังส่งเสริมเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดีที่สุด โดยรีไลน์เอกเซรามิกไพร์เมอร์บรรจุในขวดเดียวมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4⁽⁶⁾ แม้ว่าโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มจะมีทั้งส่วนที่ทำหน้าที่เป็นกรดและส่วนที่ทำหน้าที่เป็นไซเลน แต่ในโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบทำให้ค่าความเป็นกรดต่างคงที่ คุณภาพของไซเลนในโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มจึงอยู่ในคุณภาพที่ดี โดยโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4 เช่นกัน^(8, 34) ซึ่งเหมาะสมกับการเก็บรักษาและการเกิดปฏิกิริยาของไซเลน^(7, 11, 34) จะเห็นได้ว่าไซเลนในรีไลน์เอกเซรามิกไพร์เมอร์และโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มมีประสิทธิภาพที่ดีฉะนั้นการทาไซเลนเพิ่มไม่ส่งผลให้ค่าการยึดติดเพิ่มขึ้น

จากผลการซ่อมแซมวีต้าอีนามิกด้วยเรซินคอมโพสิต พบว่า ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของวีต้าอีนามิกที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวโดยโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์ม และ โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มตามด้วยไซเลน ได้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวโดยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลน ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Yildirimและคณะในปี 2019 ที่พบว่าการซ่อมแซมเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกโดยใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์ม ได้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก โดยภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มกัดพื้นผิวเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบน้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก⁽¹⁶⁾ และสอดคล้องกับอีกหลายการศึกษาที่กล่าวว่าการเตรียมผิวเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบโดยโมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์ม ให้ค่ากำลังแรงยึดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนน้อยกว่าการเตรียมผิวด้วยวิธีการดั้งเดิมซึ่งคือการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไซเลน^(14, 15) แต่ยังมีบางการศึกษาที่ได้ค่ากำลังแรงยึดเทียบเท่าวิธีการดั้งเดิม^(12, 13) ดังนั้นการใช้โมโนบอเนตซ์แอนด์ไพร์มในการซ่อมแซมเซรามิกยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน

วัสดุทางทันตกรรมเป็นวัสดุที่ใช้ในช่องปาก ทำให้ผ่านสภาวะที่หลากหลายทั้งอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและความชื้นตลอดเวลา ฉะนั้นเพื่อเป็นการจำลองสภาวะที่เสมือนจริงในการใช้งานในช่องปากจึงมีการนำชิ้นงานผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะจำนวน 5,000 รอบ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการใช้งาน 6 เดือน เนื่องจากการผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะทำให้เกิด⁽⁴³⁾ไฮโดรไลติก(hydrolytic) พบว่าก่อนผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นจังหวะ วีต้าอีนามิกที่ผ่านการ

เตรียมด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลน โมโนบอเนตซ์แอนดไพร์ม และโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์มตามด้วยไฮเลนมีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่า 10 เมกะปาสคาลแต่เมื่อผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ 5,000 รอบ พบว่ามีเพียงกลุ่มกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลน ที่มีค่ามากกว่า 10 เมกะปาสคาล แม้ว่าค่าการยึดติดการซ่อมแซมยังไม่ได้มีการกำหนดที่แน่ชัด แต่ค่าการยึดติดการซ่อมแซมที่หลายการศึกษาใช้อ้างอิงก่อนหน้าอยู่ในช่วง 10-20 เมกะปาสคาล^(42, 43, 47) ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงว่าหากมีการซ่อมวัสดุอานามิกด้วยการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลน โมโนบอเนตซ์แอนดไพร์มและโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์มตามด้วยไฮเลน ทั้งสามกลุ่มจะอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ในระยะแรก แต่เมื่อมีการใช้งานไป 6 เดือนจะเหลือเพียงแค่ วัสดุอานามิกที่เตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนเท่านั้นที่มีค่าการยึดติดการซ่อมแซมมากกว่า 10 เมกะปาสคาลซึ่งค่าการยึดติดการซ่อมแซมที่อยู่ในช่วงยอมรับได้

นอกจากนี้ยังพบว่าการเตรียมพื้นผิวแบบต่างๆ ทำให้มี รูปแบบของการแตกหักแบบผสมเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองนี้พบว่า วิธีการซ่อมแซมวัสดุอานามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนยังเป็นวิธีที่ได้ค่าแรงยึดติดที่ดีที่สุด แต่โมโนบอเนตซ์แอนดไพร์มก็ยังคงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจในการซ่อมแซมระยะสั้นแต่ควรมีการศึกษาที่มากกว่านี้

2 สรุปผลการทดลอง

1 จากการศึกษาพบว่า การเตรียมพื้นผิววัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุดสอดคล้องกับภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวเรียงลำดับได้ดังนี้ $Control(T) < MEPS(T) = Control(NT) = MEP(T) < HFS(T) < MEPS(NT) = MEP(NT) < HFS(NT)$

2 แสดงให้เห็นว่าการผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวลดลง

3 หลังผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะมีเพียง กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนเท่านั้นที่มีค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวมากกว่า 10 เมกะปาสคาล

4 พื้นผิววัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์ที่ผ่านการเตรียมด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกมีลักษณะถูกกัดกร่อนมากกว่าโมโนบอเนตซ์แอนดไพร์ม

5 กรดไฮโดรฟลูออริกตามด้วยไฮเลนยังคงเป็น วิธีมาตรฐานของการซ่อมวัสดุที่มีโครงข่ายการแทรกซึมของพอลิเมอร์

3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยตรวจสอบรูปแบบการแตกหักของชิ้นงานที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทดสอบและเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการทดสอบกำลังแรงยึดเฉือนมาตรวจสอบลักษณะการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า ซึ่งการตรวจสอบดังกล่าว ใช้วิธีการสังเกตโดยผู้วิจัยทั้งนี้หากมีการพัฒนาต่อยอดโดยใช้เครื่องมือ เช่น Field Emission Scanning Electron Microscope ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการตรวจสอบ จะได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น

ในการวิจัยนี้ใช้สารยึดติดแอดเฮอส์สก็อตบอนด์มัลติเพอร์ (Adper Scotchbond Multipurpose Adhesive) โดยไม่ได้ใช้ส่วนปรับสภาพผิว (Adper Scotchbond Multipurpose Primer) ซึ่งส่วนปรับสภาพผิวจะมี น้ำ และ Copolymer of Acrylic and Itaconic acids ซึ่งตามปกติในทางคลินิกนิยมใช้สารยึดติดชนิดชนิดเดียวมากกว่า ดังนั้นหากมีการจำลองสารยึดติดที่จำลองสถานการณ์เชิงคลินิกมากขึ้นย่อมเป็นประโยชน์ในการซ่อมแซมที่ใกล้เคียงสถานการณ์จริง

บรรณานุกรม

1. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *International Journal of prosthodontics*. 2015; 28(3).
2. Lambert H, Durand J-C, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *The journal of advanced prosthodontics*. 2017; 9(6): 486-95.
3. Federation FWD. FDI policy statement on Minimal Intervention Dentistry (MID) for managing dental caries: Adopted by the General Assembly: September 2016, Poznan, Poland. *International Dental Journal*. 2017; 67(1): 6-7.
4. Marquillier T, Doméjean S, Le Clerc J, Chemla F, Gritsch K, Maurin J-C, et al. The use of FDI criteria in clinical trials on direct dental restorations: A scoping review. *Journal of dentistry*. 2018; 68: 1-9.
5. Bertolini JC. Hydrofluoric acid: a review of toxicity. *The Journal of emergency medicine*. 1992; 10(2): 163-8.
6. Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. *Clinical oral investigations*. 2018; 22(8): 2787-97.
7. Matinlinna J, Vallittu P. Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces— an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *Journal of oral rehabilitation*. 2007; 34(8): 622-30.
8. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dental materials*. 2018; 34(1): 13-28.
9. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, Maruo Y, Makita Y, Okihara T, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dental materials*. 2016; 32(10): 1218-25.
10. Flury S, Dulla FA, Peutzfeldt A. Repair bond strength of resin composite to restorative materials after short-and long-term storage. *Dental materials*. 2019; 35(9): 1205-13.

11. Scientific Documentation Monobond Etch & Prime [database on the Internet]. Ivoclar Vivadent. 2015.
12. Alshihri A. Etching efficacy and bonding performance of resin to lithium disilicate ceramic using self-etching primer with different reaction times. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2019; 33(11): 1215-25.
13. Donmez MB, Okutan Y, Yucel MT. Effect of prolonged application of single-step self-etching primer and hydrofluoric acid on the surface roughness and shear bond strength of CAD/CAM materials. *European Journal of Oral Sciences*. 2020; 128(6): 542-9.
14. El-Damanhoury HM, Gaintantzopoulou MD. Self-etching ceramic primer versus hydrofluoric acid etching: Etching efficacy and bonding performance. *Journal of prosthodontic research*. 2018; 62(1): 75-83.
15. Levartovsky S, Bohbot H, Shem-Tov K, Brosh T, Pilo R. Effect of Different Surface Treatments of Lithium Disilicate on the Adhesive Properties of Resin Cements. *Materials*. 2021; 14(12): 3302.
16. Yildirim B, Recen D, Paken G. Effect of self-etching ceramic primer on the bond strength of feldspathic porcelain repair. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2019; 33(14): 1598-610.
17. Guimarães HA, Cardoso PC, Decurcio RA, Monteiro LJ, de Almeida LN, Martins WF, et al. Simplified surface treatments for ceramic cementation: use of universal adhesive and self-etching ceramic primer. *International journal of biomaterials*. 2018; 2018.
18. Ueda N, Takagaki T, Nikaido T, Takahashi R, Ikeda M, Tagami J. The effect of different ceramic surface treatments on the repair bond strength of resin composite to lithium disilicate ceramic. *Dental Materials Journal*. 2021: 2020-362.
19. Ahmed H. *Craig's restorative dental materials*. 14 ed. China 2019.
20. Mainjot A, Dupont N, Oudkerk J, Dewael T, Sadoun M. From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. *Journal of dental research*. 2016; 95(5): 487-95.
21. Dirxen C, Blunck U, Preissner S. Clinical performance of a new biomimetic double

network material. *The open dentistry journal*. 2013; 7: 118.

22. Ebnesajjad S, Ebnesajjad C. *Surface treatment of materials for adhesive bonding*. 2 ed. Oxford: William Andrew; 2013.

23. Özcan M. Air abrasion of zirconia resin-bonded fixed dental prostheses prior to adhesive cementation: why and how. *the journal of adhesive dentistry*. 2013; 15(4): 394.

24. ศรีอัมพร ต. *ทันตวัสดุศาสตร์พื้นฐาน* 1. 3 ed. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2564.

25. Tekçe N, Tuncer S, Demirci M. The effect of sandblasting duration on the bond durability of dual-cure adhesive cement to CAD/CAM resin restoratives. *The journal of advanced prosthodontics*. 2018; 10(3): 211-7.

26. Yoshihara K, Nagaoka N, Maruo Y, Nishigawa G, Irie M, Yoshida Y, et al. Sandblasting may damage the surface of composite CAD–CAM blocks. *Dental Materials*. 2017; 33(3): e124-e35.

27. Barutcigil K, Barutcigil Ç, Kul E, Özarlan MM, Buyukkapan US. Effect of different surface treatments on bond strength of resin cement to a CAD/CAM restorative material. *Journal of Prosthodontics*. 2019; 28(1): 71-8.

28. Wu X, Xie H, Meng H, Yang L, Chen B, Chen Y, et al. Effect of tribochemical silica coating or multipurpose products on bonding performance of a CAD/CAM resin-based material. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2019; 90: 417-25.

29. Vargas MA, Bergeron C, Diaz-Arnold A. Cementing all-ceramic restorations: recommendations for success. *The journal of the American dental association*. 2011; 142: 20S-4S.

30. 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.

31. Miranda JS, Monteiro JB, Silva PNF, Valera MC, Bresciani E, Melo RM. Can different etching protocols change the properties of a hybrid ceramic. *General dentistry*. 2020; 68(2): 20-5.

32. Brentel AS, Özcan M, Valandro LF, Alarça LG, Amaral R, Bottino MA. Microtensile

- bond strength of a resin cement to feldspathic ceramic after different etching and silanization regimens in dry and aged conditions. *Dental Materials*. 2007; 23(11): 1323-31.
33. Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *the journal of adhesive dentistry*. 2014; 16(6): 531-40.
34. Grégoire G, Poulet P-P, Sharrock P, Destruhaut F, Tavernier B. Hydrofluoric acid etching versus self-etching glass ceramic primer: consequences on the interface with resin cements. *Oral Health Care*. 2019; 4: 1-7.
35. Lyann SK, Takagaki T, Nikaido T, Uo M, Ikeda M, Sadr A, et al. Effect of different surface treatments on the tensile bond strength to lithium disilicate glass ceramics. *the journal of adhesive dentistry*. 2018; 20(3): 261-8.
36. Reston EG, Filho S, Arossi G, Cogo RB, Rocha C, Closs LQ. Repairing ceramic restorations: final solution or alternative procedure? *Operative dentistry*. 2008; 33(4): 461-6.
37. Bayraktar Y, Arslan M, Demirtag Z. Repair bond strength and surface topography of resin-ceramic and ceramic restorative blocks treated by laser and conventional surface treatments. *Microscopy Research and Technique*. 2021; 84(6): 1145-54.
38. Ataol AS, Ergun G. Effects of surface treatments on repair bond strength of a new CAD/CAM ZLS glass ceramic and two different types of CAD/CAM ceramics. *Journal of oral science*. 2018; 60(2): 201-11.
39. Blum IR, Nikolinakos N, Lynch CD, Wilson NH, Millar BJ, Jagger DC. An in vitro comparison of four intra-oral ceramic repair systems. *Journal of dentistry*. 2012; 40(11): 906-12.
40. Moura DMD, Verissimo AH, Vila-Nova TEL, Calderon PS, Özcan M, Souza ROA. Which surface treatment promotes higher bond strength for the repair of resin nanoceramics and polymer-infiltrated ceramics? A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021.
41. Shahdad S, Kennedy J. Bond strength of repaired anterior composite resins: an

study. *Journal of dentistry*. 1998; 26(8): 685-94.

42. Teixeira EC, Bayne SC, Thompson JY, Ritter AV, Swift EJ. Shear bond strength of self-etching bonding systems in combination with various composites used for repairing aged composites. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2005; 7(2).

43. Kiomarsi N, Saburian P, Chiniforush N, Karazifard M-J, Hashemikamangar S-S. Effect of thermocycling and surface treatment on repair bond strength of composite. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2017; 9(8): e945.

44. Sismanoglu S, Yildirim-Bilmez Z, Erten-Taysi A, Ercal P. Influence of different surface treatments and universal adhesives on the repair of CAD-CAM composite resins: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020; 124(2): 238. e1-. e9.

45. Kraisintu P, See LP, Swasdison S, Klaisiri A, Thamrongananskul N. Effect of different neutralizing agents on feldspathic porcelain etched by hydrofluoric acid. *European journal of dentistry*. 2019; 13(01): 075-81.

46. Prado M, Prochnow C, Marchionatti AME, Baldissara P, Valandro LF, Wandscher VF. Ceramic surface treatment with a single-component primer: resin adhesion to glass ceramics. *J Adhes Dent*. 2018; 20(2): 99-105.

47. Matsumura H, Yanagida H, Tanoue N, Atsuta M, Shimoe S. Shear bond strength of resin composite veneering material to gold alloy with varying metal surface preparations. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001; 86(3): 315-9.



ตารางแสดงค่ากำลังแรงยึดเคียนกลุ่มที่ไม่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ

การเตรียมพื้นผิว	ชั้นทดสอบที่	กำลังแรงยึดเคียน (MPa)	รูปแบบการ ล้มเหลว	ค่าเฉลี่ย(SD)
ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว (control)	1	4.26	adhesive	5.89(1.12)
	2	4.34	adhesive	
	3	5.00	adhesive	
	4	5.58	adhesive	
	5	5.89	adhesive	
	6	6.33	adhesive	
	7	6.47	adhesive	
	8	6.56	adhesive	
	9	6.63	adhesive	
	10	7.83	adhesive	
กรดไฮโดรฟลูออริกตาม ด้วยไซเลน(HFS)	1	19.51	mix	21.56(1.82)
	2	19.55	adhesive	
	3	20.06	adhesive	
	4	20.34	mix	
	5	20.46	mix	
	6	22.04	mix	
	7	22.11	cohesive	
	8	23.44	mix	
	9	24.02	mix	
	10	24.09	mix	

การเตรียมพื้นผิว	ชั้นทดสอบที่	กำลังแรงยึดเฉือน (MPa)	รูปแบบการ ล้มเหลว	ค่าเฉลี่ย(SD)
โมโนบอนด์เอนด์ ไพร้ม (MEP)	1	14.10	adhesive	15.55(1.45)
	2	14.17	mix	
	3	14.18	adhesive	
	4	14.29	adhesive	
	5	14.80	adhesive	
	6	15.59	mix	
	7	16.47	adhesive	
	8	16.83	adhesive	
	9	17.17	cohesive	
	10	17.94	mix	
โมโนบอนด์เอนด์ ไพร้มตามด้วยไซเลน (MEPS)	1	12.88	adhesive	14.64(1.20)
	2	12.93	adhesive	
	3	14.06	adhesive	
	4	14.3	adhesive	
	5	14.53	mix	
	6	14.74	adhesive	
	7	14.8	adhesive	
	8	15.58	adhesive	
	9	16.23	adhesive	
	10	16.35	mix	

ตารางแสดงค่ากำลังแรงยึดเคียนกลุ่มที่ผ่านเครื่องควบคุมร้อนเย็นเป็นจังหวะ

การเตรียมพื้นผิว	ชั้นทดสอบที่	กำลังแรงยึดเคียน (MPa)	รูปแบบการ ล้มเหลว	ค่าเฉลี่ย(SD)
ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิว (control)	1	0	adhesive	0(0)
	2	0	adhesive	
	3	0	adhesive	
	4	0	adhesive	
	5	0	adhesive	
	6	0	adhesive	
	7	0	adhesive	
	8	0	adhesive	
	9	0	adhesive	
	10	0	adhesive	
กรดไฮโดรฟลูออริกตาม ด้วยไซเลน(HFS)	1	9.28	mix	10.78(1.26)
	2	9.37	adhesive	
	3	9.45	adhesive	
	4	9.82	mix	
	5	10.27	mix	
	6	11.43	adhesive	
	7	11.5	mix	
	8	12.07	mix	
	9	12.17	mix	
	10	12.4	mix	

การเตรียมพื้นผิว	ชั้นทดสอบที่	กำลังแรงยึดเฉือน (MPa)	รูปแบบการ ล้มเหลว	ค่าเฉลี่ย(SD)
โมโนบอนด์เอตซ์แอนด์ ไพร์ม (MEP)	1	4.7	adhesive	6.55(0.78)
	2	6.19	adhesive	
	3	6.29	adhesive	
	4	6.42	adhesive	
	5	6.42	adhesive	
	6	6.68	adhesive	
	7	6.90	adhesive	
	8	7.18	adhesive	
	9	7.19	adhesive	
	10	7.48	mix	
Fโมโนบอนด์เอตซ์แอนด์ ไพร์ม ตามด้วยไฮเลน (MEPS)	1	3.28	adhesive	5.84(2.18)
	2	3.6	adhesive	
	3	3.62	adhesive	
	4	4.805	adhesive	
	5	4.955	adhesive	
	6	5.418	adhesive	
	7	7.29	adhesive	
	8	8.01	adhesive	
	9	8.01	adhesive	
	10	9.43	mix	

การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis)

Tests of Normality

surface	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
1	.154	10	.200*	.947	10	.637
2	.228	10	.150	.877	10	.119
3	.209	10	.200*	.873	10	.108
4	.147	10	.200*	.938	10	.527

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ภาพประกอบ การแจกแจงปกติของข้อมูลกำลังแรงยึดเคื่อนกลุ่มที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

Tests of Normality^a

surface	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
2	.198	10	.200*	.866	10	.090
3	.224	10	.167	.873	10	.108
4	.177	10	.200*	.908	10	.267

*. This is a lower bound of the true significance.

a. score is constant when surface = 1. It has been omitted.

b. Lilliefors Significance Correction

ภาพประกอบ การแจกแจงปกติของข้อมูลกำลังแรงยึดเคื่อนกลุ่มที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

Descriptives

score

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Conthermo.	10	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
conNonther	10	5.8890	1.11742	.35336	5.0896	6.6884	4.26	7.83
HFther	10	10.7760	1.26271	.39931	9.8727	11.6793	9.28	12.40
HFnonther	10	21.5620	1.81692	.57456	20.2623	22.8617	19.51	24.09
MEPther	10	6.5450	.77918	.24640	5.9876	7.1024	4.70	7.48
MEPnonther	10	15.5540	1.44747	.45773	14.5185	16.5895	14.10	17.94
MEP-sthermo	10	5.8418	2.18430	.69074	4.2792	7.4044	3.28	9.43
MEP-snonther	10	14.6400	1.19523	.37797	13.7850	15.4950	12.88	16.35
Total	80	10.1010	6.62032	.74017	8.6277	11.5743	.00	24.09

ภาพประกอบ สถิติพรรณนาของข้อมูลกำลังแรงยึดเค้นของกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 10 กลุ่ม

score

Tukey HSD^a

condition	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Conthermo.	10	.0000				
MEP+sthermo	10		5.8418			
conNonther	10		5.8890			
MEPther	10		6.5450			
HFther	10			10.7760		
MEP+snonther	10				14.6400	
MEPnonther	10				15.5540	
HFnonther	10					21.5620
Sig.		1.000	.944	1.000	.810	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ภาพประกอบ การทดสอบทูกีย์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเค้น

ประวัติผู้เขียน

