



ผลของวิธีการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลนต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อ
ของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิต

**Effects of Porcelain Surface Treatments on Microleakage of
Porcelain and Resin Composite Repaired Junction**

สลิล กาจกำแหง

Salil Kajkumhaeng

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของวิธีการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลนต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิต
ผู้เขียน	นางสาวสลิล กาจำแหง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การแตกหักของเซรามิกวีเนียร์ในงานบูรณะโลหะเคลือบเซรามิกหรืองานบูรณะเซรามิกล้วนสามารถเกิดขึ้นและอาจซ่อมแซมได้ โดยใช้ระบบสารซ่อมแซมต่าง ๆ ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวรอยแตกหักให้เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลของการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลนต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิต

วัสดุและวิธีการวิจัย เตรียมชิ้นทดสอบทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5x5 ตารางมิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตรจากวีเนียร์พอร์ซเลน 2 ชนิด (พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์และไอพีเอสอีแม็คซีแรม) จำนวน 40 ชิ้น/ชนิด โดยพื้นผิวทั้งทางด้านบนและล่างถูกทำให้ขรุขระเพื่อเลียนแบบพื้นผิวของพอร์ซเลนที่มีการแตกหัก ชิ้นทดสอบแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (1) ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว (2) เป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (3) ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัด และ (4) เป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับการใช้กรดกัด หลังจากผ่านการปรับสภาพพื้นผิวบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต (พีวีเท็กแซด 250) หนา 1 มิลลิเมตรโดยใช้ระบบสารซ่อมแซมไอโวลาร์หรือคูราเรย์ จากนั้นนำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงก่อนนำมาผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 2,500 รอบ แล้วนำไปแช่ในสารละลายเบสิกฟลูสซิน ความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบมาฝังในบล็อกเรซินและตัดในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวที่มีการขีดคิดเป็น 4 ส่วนเพื่อประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ

ผลการวิจัย กรณีไม่มีการปรับสภาพผิวเชิงกล พบว่า ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างสารซ่อมแซม 2 ระบบเมื่อใช้ในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.0007$) สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์เกิดการรั่วซึมมากกว่าระบบคูราเรย์ในพอร์ซเลนทั้งสองชนิด แต่ค่าแตกต่างกันทางสถิติเฉพาะในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ กรณี (3)

ที่มีการปรับสภาพผิวเชิงกลในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ พบว่า การปรับสภาพผิวเชิงกลลดค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์ ($p = 0.000$) แต่เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์ พบว่า ค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p = 0.091$) นอกจากนี้ ไม่พบความแตกต่างระหว่างการปรับสภาพผิวเชิงกลทั้งสามวิธีในสารซ่อมแซมทั้งสองระบบ กรณีที่มีการปรับสภาพผิวเชิงกลในพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม พบว่า การใช้กรดกัดและการเป่าทรายร่วมกับกรดกัดลดค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์ ($p = 0.014$) ส่วนการใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์ พบว่า การปรับสภาพผิวเชิงกลทุกวิธีมีค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p = 0.305$) ถึงแม้ว่าการใช้กรดกัดทำให้เกิดการรั่วซึมมากกว่าการไม่ปรับสภาพผิวก็ตาม

สรุป การรั่วซึมระดับจุลภากระหว่างรอยต่อของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล ระบบสารซ่อมแซม และชนิดของพอร์ซเลน

Thesis Title	Effects of Porcelain Surface Treatments on Microleakage of Porcelain and Resin Composite Repaired Junction
Author	Miss Salil Kajkumhaeng
Major Program	Oral Health Sciences
Academic Year	2009

ABSTRACT

Fractures of ceramic veneer on metal-ceramic or all ceramic restorations can occur and can be repaired by using various different porcelain repair systems with appropriate surface treatments.

Objective: To compare the effects of different porcelain surface treatments on the microleakage of the porcelain and resin composite repaired junction.

Materials and Methods: Two veneering porcelain systems (IPS d.SIGN[®] and IPS e.max[®] Ceram) were used to fabricate square blocks of 5-mm x 5-mm and 3 mm-thick (40 blocks each), of which the top and bottom surfaces were roughened to simulate the texture of fractured porcelain. The specimens were randomly divided into four groups to receive one of the following treatments on the prepared surfaces: (1) no treatment, (2) air abraded with aluminium oxide particles, (3) hydrofluoric acid etching, (4) combination of air abrasion and acid etching. Each treated surface was repaired with 1-mm thick resin composite (Filtek Z250[®]), using either an Ivoclar[®] or a Kuraray[®] porcelain repair system. The specimens were stored in 37°C distilled water for 24 hours prior to being thermocycled at 5°C to 55°C for 2,500 cycles, and were immersed in 2% basic fuchsin solution for 20 hours. Then, each specimen was embedded in a resin block and was sectioned perpendicularly to bonded surfaces into four pieces for microleakage evaluation under a stereomicroscope.

Results: Without any mechanical surface treatments, there was a highly significant difference in median microleakage between the two repair systems when used with IPS d.SIGN[®] porcelain ($p = 0.0007$). Ivoclar[®] repair system had higher microleakage than Kuraray[®] repair system in both porcelains, but had a significant difference only in IPS (5)

d.SIGN[®] porcelain. In IPS d.SIGN[®] porcelain group, all mechanical surface treatments significantly decreased the median microleakage when repaired with Ivoclar[®] system ($p = 0.000$), but had no significant effect on microleakage when repaired with Kuraray[®] system ($p = 0.091$). There was no significant difference in microleakage among the three mechanical surface treatments in both repair systems. In IPS e.max[®] Ceram porcelain group, only the etched surface treatment as well as sandblasted and etched surface treatment methods significantly decreased the median microleakage when repaired with Ivoclar[®] system ($p = 0.014$). All mechanical surface treatments had no statistically significant effects on microleakage when repaired with Kuraray[®] ($p = 0.305$), although the acid etching method appeared to cause more microleakage when compared to untreated surfaces.

Conclusion: The microleakage of porcelain and resin composite repaired junction was different, depending on the mechanical surface treatment method, repair system and type of porcelain used.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ เนื่องจากความกรุณาจากหลาย ๆ ฝ่าย จึงขอกราบ
ขอบพระคุณ ดร.สุพานี บุณนธรรม และ ผศ.วิระชัย ธรรมวานิช ผู้ซึ่งให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะอาจารย์สุพานี ผู้ซึ่งเป็นที่ปรึกษาทางด้านงานวิจัยที่ดีมาก ให้
คำปรึกษาและสละเวลาส่วนตัวอันมีค่าตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้แก่ศิษย์คนนี้ และอาจารย์วิระชัย
กำลังใจจากอาจารย์ทำให้ศิษย์คนนี้ไม่ท้อแท้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ดร.สมจินต์ รัตนเสถียร ผศ.ดร.จุฑาทิพย์ สมิตไมตรี ที่ให้
ข้อเสนอแนะจากการสอบ โครงร่างวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุจิต
พลทอง ผู้ซึ่งให้ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ
ผศ.ดร.อังคณา เรือมนตรี และ ดร.จรัญญา หุ่นศรีสกุล สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับสถิติ ตลอดจน
อาจารย์สาขาทันตกรรมอนุรักษ์ทุกท่าน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่เป็น
ผู้ให้ทุนอุดหนุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณวิทยาลัยการสาธารณสุขสุลีรินทร์ จังหวัด
ยะลา ซึ่งเป็นต้นสังกัดที่สนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาต่อ ขอขอบคุณบริษัท 3M จำกัด บริษัท
Dental vision จำกัด และบริษัท Action จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์วัสดุทางทันตกรรม

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่
ห้องปฏิบัติการที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิจัย โดยเฉพาะคุณจรรยา ชื่นอารมณ์
นักวิทยาศาสตร์ประจำศูนย์เครื่องมือทันตวัสดุ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยกลาง และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ
פורซเลนที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือทดสอบและให้ความสะดวกในการใช้สถานที่และ
เครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้องร่วมสาขา โดยเฉพาะทพ.รุจน์ ทพญ.นริศา ทพญ.ปวีณา และ
ทพญ.ภูริดา ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด ตลอดจนผู้ช่วยเหลือทุกท่านที่ได้กล่าวนาม ณ
ที่นี่ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและน้อง ๆ ที่ให้กำลังใจเสมอมา ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจ
คำว่า ครอบครัวยุคใหม่ที่พึงใจที่ดีที่สุด อยากบอกว่า ข้าพเจ้าทำสำเร็จแล้ว สุดท้าย มีคำกล่าวที่ว่า
“ชีวิต คือ การเรียนรู้” ดังนั้น “งานวิจัย ก็คือ ชีวิตอีกรูปแบบหนึ่ง”

สลิล กากำแหง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การทบทวนวรรณกรรม	2
วัตถุประสงค์	20
2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	21
3 ผลการวิจัย	31
4 บทวิจารณ์	42
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	56
ประวัติผู้เขียน	70

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. รายละเอียดของพอร์ชเลน	22
2. รายละเอียดคุณสมบัติที่ใช้เผาพอร์ชเลนแต่ละชนิด	22
3. กลุ่มและขั้นตอนของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล	24
4. ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของ กลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล	32
5. ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของ กลุ่มศึกษาในพอร์ชเลนไอพีเอสดีไซน์	33
6. ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของ กลุ่มศึกษาในพอร์ชเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม	36
7. ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมระดับจุลภาคของพอร์ชเลน ไอพีเอสดีไซน์	59
8. ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมระดับจุลภาคของพอร์ชเลน ไอพีเอสอีแม็คซีแรม	60
9. ค่ามัธยฐาน ค่าควอไทล์ที่ 1 และ 3 ค่าพิสัยควอไทล์ และส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ของการรั่วซึมระดับจุลภาคของกลุ่มศึกษาต่าง ๆ	61
10. ค่านัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคของกลุ่ม ที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยสถิติโคโนเวอร์	62
11. ส่วนประกอบของสารที่ใช้ในสารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์และคูราเรย์	67
12. การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของพันธะการยึดติดของการเตรียมพื้นผิว พอร์ชเลนด้วยวิธีต่าง ๆ	68

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1. แบบจำลองโครงสร้าง 2 มิติของโซเดียมซัลไฟด์และแบบจำลอง 3 มิติของลูโซล	3
2. ลักษณะพื้นผิวของพอร์ซเลนเมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และอะซิติกเลทฟอสเฟตฟลูออไรด์	8
3. กระบวนการไหลในเซชันและแบบจำลองของชั้นโซลลอกเซนฟิล์ม	13
4. โครงสร้างทางเคมีของโซลลอกเซนฟิล์ม	14
5. บริเวณของรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตที่เกิดคราบสีที่เวลา 1 ปี	17
6. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ	23
7. การปรับสภาพพื้นผิวแต่ละด้านของชิ้นทดสอบ	25
8. ขั้นตอนเปรียบเทียบการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ และคูราเรย์	26
9. การยึดชิ้นทดสอบกับลวดด้วยขี้ผึ้งและการแช่ชิ้นทดสอบในสารละลายสีเบสิกฟูลซัน	28
10. ลักษณะชิ้นทดสอบที่ฝังในบล็อกเรซินก่อนนำไปตัดและแนวการตัด	28
11. ภาพจำลองแนวการตัดและตำแหน่งด้านของชิ้นทดสอบที่ใช้ในการประเมิน	28
12. แผนภาพแสดงกลุ่มของการทดลอง	29
13. แผนภาพรวมแสดงผลของระบบสารซ่อมแซมและวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์	34
14. แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์	35
15. แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์	35
16. แผนภาพรวมแสดงผลของระบบสารซ่อมแซมและวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีเอ็มซีซีแรม	37
17. แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีเอ็มซีซีแรมเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์	38
18. แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสดีเอ็มซีซีแรมเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์	38

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
19. เปรียบเทียบพื้นผิวของพอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์กลุ่มไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล และกลุ่มปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยวิธีต่าง ๆ	40
20. เปรียบเทียบพื้นผิวของพอร์ซเลน ไอพีเอสดีแม่คชีแรมกลุ่มไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล และกลุ่มปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยวิธีต่าง ๆ	41
21. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยการใช้กรดกัด	64
22. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทราย	64
23. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทราย ร่วมกับกรดกัด	65
24. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีแม่คชีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยการใช้กรดกัด	65
25. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีแม่คชีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทราย	65
26. พอร์ซเลน ไอพีเอสดีแม่คชีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทราย ร่วมกับกรดกัด	66

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันมีการนำพอร์ซเลนมาใช้ในงานทันตกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานครอบและสะพานฟัน เช่น ครอบฟัน โลหะเคลือบพอร์ซเลน (porcelain fused to metal crown) ครอบฟันพอร์ซเลนล้วน (all ceramic crown) พอร์ซเลนวีเนียร์ (porcelain veneer) เป็นต้น เนื่องจากพอร์ซเลนเป็นวัสดุที่มีความเปราะ ดังนั้นอาจพบปัญหาการแตกหักของพอร์ซเลนได้ โดยผลแทรกซ้อนจากการแตกหักมีอุบัติการณ์ในครอบฟัน โลหะเคลือบด้วยพอร์ซเลนร้อยละ 3 สะพานฟันร้อยละ 2 และครอบฟันพอร์ซเลนล้วนถึงร้อยละ 7 โดยเฉพาะในงานครอบฟันพบว่า การแตกหักของพอร์ซเลนเป็นผลแทรกซ้อนที่พบได้มากกว่าสาเหตุอื่น¹

ปัญหาการแตกหักของพอร์ซเลนเกิดได้จากหลายสาเหตุ เมื่อครอบหรือสะพานฟันมีการแตกหักจำเป็นต้องได้รับการบูรณะ ในบางกรณีการแตกหักของพอร์ซเลนอาจอยู่ในชั้นงานที่มีความซับซ้อนมาก ทำให้การรีอู้งานทำได้ยากและเกิดอันตรายต่อตัวฟันหลักยึดได้ หรือในบางครั้งผู้ป่วยมีข้อจำกัดทางด้านค่าใช้จ่ายหรือเวลาในการรักษา การพิจารณาแก้ไขด้วยวิธีการซ่อมแซม (repairing method) เป็นทางเลือกหนึ่งแทนที่วิธีการทำชิ้นงานใหม่ (replacing method) สามารถทำได้โดยวิธีอุดด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยตรง (direct placement resin composite) ซึ่งในส่วนของบริษัทผิวรอยต่อของพอร์ซเลนที่ซ่อมแซมจำเป็นต้องได้รับการปรับสภาพ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและสร้างลักษณะพื้นที่ผิวที่เหมาะสมต่อการยึดติดของวัสดุบูรณะ^{2,3}

นอกจากนี้ สภาวะแวดล้อมในช่องปากเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะส่งผลต่อความคงทน (durability) ของวัสดุที่นำมาซ่อมแซม โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและวัสดุเรซินคอมโพสิต ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ในช่องปาก เช่น น้ำลาย ความชื้น อุณหภูมิ และอาหาร อาจจะมีผลต่อความคงทนของวัสดุได้ ดังนั้น ถ้ามีการรบกวนเกิดขึ้น โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ ก็จะเป็นจุดเริ่มของการเกิดความล้มเหลว

ดังที่กล่าวมาข้างต้น แม้ว่าการซ่อมแซมพอร์ซเลนด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตเป็นวิธีการแก้ไขชั่วคราว แต่ก็พบว่า เป็นวิธีที่มีประโยชน์ในกรณีที่การรักษามีข้อจำกัด เช่น ค่าใช้จ่าย

เวลาหรือความซับซ้อนของงานครอบและสะพานฟัน นอกจากนี้ การศึกษาการร่วซึมระดับจุลภาคจะสามารถทำนายถึงความล้มเหลวตามขอบของวัสดุได้ โดยการเตรียมพื้นผิวของพอร์ซเลนที่เหมาะสมจะช่วยให้บริเวณรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามีการร่วซึมตามขอบเกิดขึ้นซึ่งเป็นส่วนที่สารจากสิ่งแวดล้อมสามารถร่วซึมเข้าไป ทำให้ในอนาคตอาจเกิดคราบสีส่งผลต่อความสวยงามและส่งผลต่อการยึดติดของวัสดุได้เช่นกัน^{4,5}

การทบทวนวรรณกรรม

1. พอร์ซเลน

เซรามิก (ceramic) เป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ จุดหลอมเหลวสูง การนำความร้อนและไฟฟ้าต่ำ ความทนแรงอัด (compressive strength) และความทนแรงดึง (tensile strength) สูง แข็ง เพราะ คุณสมบัติการมองเห็น (optical property) ตั้งแต่ใสมันทึบแสง ไม่เกิดปฏิกิริยาและไม่ละลาย⁶

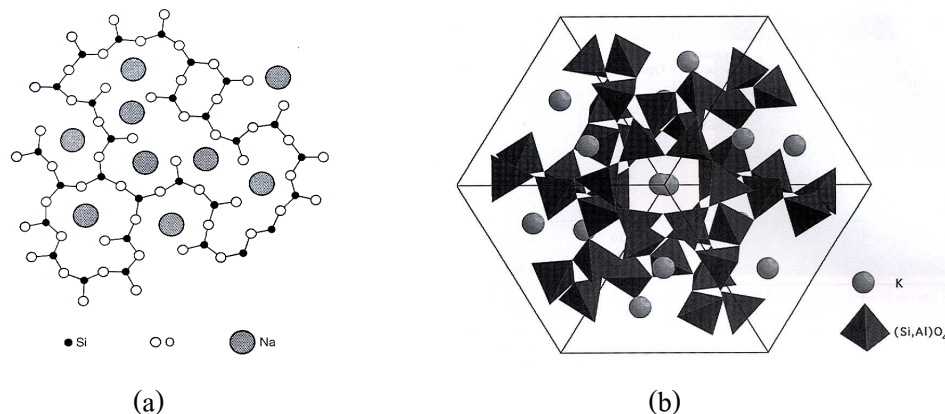
เซรามิกหรือมักเรียกว่า พอร์ซเลน (porcelain) ถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมเป็นเวลานาน โดยเริ่มแรกนำมาใช้ในงานฟันเทียม (denture) ต่อมามีการนำมาใช้ในงานครอบฟัน (crown) สะพานฟัน (bridge) วีเนียร์ (veneer) อินเลย์ (inlay) และออนเลย์ (onlay)⁶ เทคนิคการทำพอร์ซเลนที่นิยม คือ การเผา (sintering) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่พอร์ซเลน เพื่อให้เกิดการอัดแน่น หลังจากผ่านการเผาพอร์ซเลนจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของแก้ว (glassy phase) ล้อมรอบส่วนของผลึก (crystalline phase)⁷

องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ซเลน

พอร์ซเลนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากอนินทรีย์สารโลหะ ได้แก่ แร่ธาตุ ดิน หินต่าง ๆ โดยผ่านกระบวนการเผาทำให้มีคุณสมบัติแข็งแรงทนถาวร⁸ องค์ประกอบหลักทางเคมีประกอบด้วย แร่ธาตุผลึก (crystalline minerals) เช่น เฟลด์สปาร์ (feldspar) ควอตซ์ (quartz) อะลูมินา หรืออะลูมินัมออกไซด์ (alumina or aluminum oxide) และบางครั้งอาจมีเคโอลิน (kaolin) ในกลาสเมทริกซ์ (glass matrix) สัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงตามชนิดของพอร์ซเลนและตราสินค้า (brands)⁹

โครงสร้างทางเคมีของพอร์ซเลน

พอร์ซเลนประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะ โครงสร้างหลัก คือ โมเลกุลของซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, silica; SiO_2) โดยซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดโครงสร้างรูปทรงสี่หน้า (tetrahedron) ซึ่งมีลักษณะเหมือนปริซึม (prism) ซิลิกอนแต่ละอะตอมจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) โดยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับออกซิเจน 4 อะตอม ดังนั้นอะตอมของออกซิเจนจะอยู่ระหว่างอะตอมของซิลิกอน โครงข่ายพันธะนี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกหรือโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) ขึ้น ส่วนเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนในปัจจุบันมีองค์ประกอบหลักเป็นโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (potash feldspar; $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$) และควอตซ์ (quartz; SiO_2) ปริมาณเล็กน้อย ในกระบวนการผลิตส่วนประกอบจะถูกผสมเข้าด้วยกันและเติมแอลคาไลเมทัลคาร์บอเนต (alkali metal carbonate) เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (flux) ที่อุณหภูมิสูงเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนจะเกิดส่วนของแก้วซึ่งมีโครงสร้างอสัณฐาน (รูปที่ 1a) และส่วนของผลึกจะประกอบด้วยลูไซต์ (leucite; KAlSi_2O_6 หรือ $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2$) มีโครงสร้างมุมเป็นรูปทรงสี่หน้า (รูปที่ 1b)⁷



รูปที่ 1 a) แสดงแบบจำลองโครงสร้าง 2 มิติของโซเดียมซิลิเกตกลาส (sodium silicate glass)

b) แสดงแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติของลูไซต์ (KAlSi_2O_6)

(คัดลอกจาก Craig และ Powers⁷)

เมื่อเกิดการแตกหักส่วนของพอร์ซเลนชั้นนอกซึ่งก็คือ วินีเยริงพอร์ซเลน (veneering porcelain) มักเกิดการบิ่นหรือหลุดออก โดยวินีเยริงพอร์ซเลนมีหลายชนิด แต่ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ (IPS d.SIGN[®], Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) และไอพีเอสอีแม็กซ์แรม (IPS e.max[®] Ceram, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งใช้สำหรับพอกเป็นชั้นนอก (layering porcelain) ของบริษัทหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยไอพีเอสดีไซน์ใช้

สำหรับงานบูรณะโลหะเคลือบพอร์ซเลน (metal ceramic restorations) ส่วนไอพีเอสอีแม็คซีแรมใช้สำหรับงานบูรณะพอร์ซเลนล้วน (all ceramic restorations) ความแตกต่างระหว่างพอร์ซเลนสองชนิดนี้ได้แก่ องค์ประกอบ อุณหภูมิในการเผา สัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อน การใช้งาน

พอร์ซเลนไอพีเอสอีไซน์มีส่วนของผลึก (crystal phase) ที่มีองค์ประกอบเด่นประกอบด้วยแคลเซียมฟอสเฟต (calcium-phosphate) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเหมือนฟลูอออะพาไทต์คล้ายกับผลึกในฟันธรรมชาติ การที่มีฟลูอออะพาไทต์มีผลต่อคุณสมบัติการมองเห็นที่เหมือนฟันธรรมชาติและมีความคงทนต่อสารเคมี นอกจากนี้ มีลูไซต์เป็นองค์ประกอบที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง

พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็ค (IPS e.max[®]) ใช้สำหรับงานบูรณะพอร์ซเลนล้วน ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ส่วนของแกนหรือโครงพอร์ซเลนทำได้จากหลายเทคนิค เช่น กดอัด (press) หรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (CAD/CAM) โดยชั้นนอกใช้พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมปกทับ ซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกโครงพอร์ซเลนในระบบไอพีเอสอีแม็ค องค์ประกอบเป็นนาโนฟลูอออะพาไทต์กลาสเซรามิก (nano-fluorapatite glass-ceramic) ผลึกคล้ายกับผลึกในฟันธรรมชาติ ในปัจจุบันความต้องการงานบูรณะพอร์ซเลนล้วนมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการซ่อมแซมในงานบูรณะพอร์ซเลนล้วนที่แตกหักยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการรื้อซึมระดับจุลภาคจึงทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาประเด็นนี้

2. ปัญหาการแตกหักของพอร์ซเลน

งานบูรณะโลหะเคลือบพอร์ซเลน ประกอบด้วยโครงหรือแกนโลหะซึ่งจะมีส่วนของพอร์ซเลนอย่างน้อย 2 ชั้นปกทับ โดยชั้นแรกเป็นส่วนของชั้นทึบแสง (opaque layer) เพื่อปิดสีโลหะและให้พันธะยึดติดระหว่างพอร์ซเลนกับโลหะ ส่วนชั้นถัดไปจะเป็นส่วนของพอร์ซเลนเนื้อฟันและเคลือบฟัน (dentin and enamel porcelain) ปกทับ เพื่อเลียนแบบฟันธรรมชาติ โดยพอร์ซเลนที่ปกเป็นชั้นนอกจะเป็นเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) ที่มีส่วนของแก้วและส่วนของผลึกที่มีลูไซต์เป็นส่วนประกอบ⁷ ส่วนงานบูรณะพอร์ซเลนล้วนมีลักษณะเช่นเดียวกับงานบูรณะโลหะเคลือบพอร์ซเลน กล่าวคือ มีส่วนของโครงหรือแกนเป็นพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรง แต่มักมีข้อด้อยเรื่องความสวยงามและทึบแสง และมีส่วนของเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนปกทับ ถึงแม้ว่าเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนจะมีส่วนประกอบที่เสริมความแข็งแรงแล้ว แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาสำคัญ คือ เปราะและแตกหักง่าย การแตกหักอาจเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่

1. คุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ รอยตำหนิ (defect) หรือรอยร้าวเล็ก ๆ (microcrack) ในพอร์ซเลน ซึ่งถ้าได้รับแรงเค้น (stress) มาก รอยตำหนิเหล่านี้อาจเกิดการแตกร้าวได้¹⁰ ความ

แตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิ (thermal expansion coefficient) และมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ระหว่างพอร์ซเลนกับโลหะ¹¹

2. ความผิดพลาดจากกระบวนการผลิต เช่น รูพรุนภายในพอร์ซเลน พื้นผิวของพอร์ซเลนที่ไม่เรียบจะเกิดความเครียดสะสม (stress concentration) ทำให้เกิดรอยร้าว หรือพอร์ซเลนที่มีความหนาแน่นมากเกินไป¹¹

3. ความผิดพลาดจากการออกแบบ เช่น การเลือกวัสดุไม่ถูกประเภทหรือฐานโลหะแข็งแรงไม่เพียงพอทำให้เกิดแรงค้ำต่อชิ้นงาน การสร้างรูปร่าง (contour) ของชิ้นงานไม่ถูกต้องทำให้รับแรงบดเคี้ยวมากเกินไป ความหนาของพอร์ซเลนที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจเกิดจากการกรอพื้นหลักยึดไม่เพียงพอจึงส่งผลให้ระยะระหว่างการสบฟัน (interocclusal space) น้อย ทำให้เกิดการแตกหักตามมาได้¹²⁻¹⁴

4. ปัจจัยอื่น ๆ เช่น การบาดเจ็บเหตุสบฟัน (traumatic occlusion) นิสัยทำงานนอกหน้าที่ (parafunctional habit) จากการนอนกัดฟันหรือขบแน่นฟัน สิ่งแวดล้อมในช่องปากโดยเฉพาะความชื้น ซึ่งมีการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวถึงผลของความชื้นทำให้ความแข็งแรงของการยึดระหว่างโลหะและพอร์ซเลนลดลงร้อยละ 20-30 โดยพันธะซลิคาในพอร์ซเลนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อมีความเค้นเชิงกล (mechanical stress) เกิดขึ้น เช่น การบดเคี้ยว ทำให้เกิดความล้า โดยจุดเริ่มของความล้มเหลวเกิดบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความชื้นนำไปสู่การเกิดรอยร้าวและการแตกหักตามมาได้¹¹

3. การซ่อมพอร์ซเลนที่มีการแตกหัก

ในครอบหรือสะพานฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน จะพบลักษณะการแตกหักของพอร์ซเลนได้ 3 แบบ^{2, 15, 16} ได้แก่

- 1) การแตกหักเกิดเฉพาะในส่วนพอร์ซเลนไม่มีส่วนของโลหะโผล่
- 2) การแตกหักที่มีส่วนของพอร์ซเลนและโลหะ โผล่
- 3) การแตกหักที่เหลือเฉพาะส่วนของโลหะ

สำหรับครอบหรือสะพานฟันพอร์ซเลนล้วน การแตกหักที่เกิดขึ้นก็จะเกิดในลักษณะเดียวกันแต่ต่างตรงบริเวณของโลหะจะเป็นส่วนของแกนพอร์ซเลน

วิธีการแก้ไขพอร์ซเลนที่มีการแตกหักทำได้โดยการทำใหม่หรือการซ่อมแซม ในบางครั้งการซ่อมแซมเป็นทางเลือกหนึ่งแทนที่การทำใหม่ เนื่องจากมีข้อดีเกี่ยวกับเวลา ค่าใช้จ่าย ความเสี่ยงต่ำและเป็นวิธีการเชิงอนุรักษ์นิยม (conservative approach)^{2, 15, 17, 18} ในทางปฏิบัติมีวิธีการซ่อมพอร์ซเลนที่แตกหัก 2 วิธี คือ การซ่อมแซมโดยวิธีตรง (direct technique) สามารถแก้ไขโดย

การใช้วัสดุอุดเรซินคอมโพสิตและการซ่อมแซมโดยวิธีอ้อม (indirect technique) แก้ไขโดยการทำขึ้นฟอร์ชเลนใหม่เหมือนการทำแผ่นปิดหน้า (facing) แล้วนำยึดกับบริเวณที่แตกหักของฟันเทียมติดแน่นด้วยซีเมนต์^{12-14, 18-20} จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่มีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนสำหรับการพิจารณาซ่อมแซมระหว่างสองวิธีนี้ การซ่อมแซมด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตโดยตรงเป็นวิธีที่ง่ายประหยัดและมีความสวยงาม โดยการซ่อมบริเวณที่แตกหักมีได้ 2 รูปแบบ คือ ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างโลหะหรือแกนกับเรซินและฟอร์ชเลนกับเรซิน^{2, 21} ทั้งนี้ ในการทบทวนวรรณกรรมจะเน้นเฉพาะในส่วนของการฟอร์ชเลนกับเรซินคอมโพสิต

การยึดติดระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับส่วนที่แตกหักต้องแข็งแรงและคงทนต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยการยึดติดที่ดีระหว่างพื้นผิวต้องการสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ 1) พื้นผิวที่สะอาด ซึ่งจะช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) 2) สารยึดติดควรมีคุณสมบัติเปียกไปบนพื้นผิวได้ดี โดยมีมุมสัมผัส (contact angle) ต่ำและสามารถไหลแผ่บนพื้นผิวได้ 3) การแนบสนิทของสารยึดติดโดยปราศจากอากาศหรือสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิว 4) การยึดติดระหว่างพื้นผิวควรมีความแข็งแรงทางกายภาพ เคมี และ/หรือทางกลที่เพียงพอที่จะต้านต่อการหลุดของพันธะ (debonding) และ 5) สารยึดติดสามารถบ่มตัวได้ดีภายใต้สภาวะที่แนะนำสำหรับการใช้งาน²² ทั้งนี้ ความสำเร็จทางคลินิกของการซ่อมแซมขึ้นกับบูรณภาพ (integrity) ของการยึดติดระหว่างฟอร์ชเลนและเรซินคอมโพสิต โดยได้จากการยึดติดทางกลและทางเคมี^{2, 15, 23} หลักสำคัญในการซ่อมฟอร์ชเลนที่แตกหัก คือ การปรับสภาพพื้นผิวให้เหมาะสมต่อการยึดติดระหว่างพื้นผิวของฟอร์ชเลนหรือโลหะกับเรซินคอมโพสิตจากการทบทวนวรรณกรรมการปรับสภาพพื้นผิวมีวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1. การปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล (mechanical surface treatment) ได้แก่

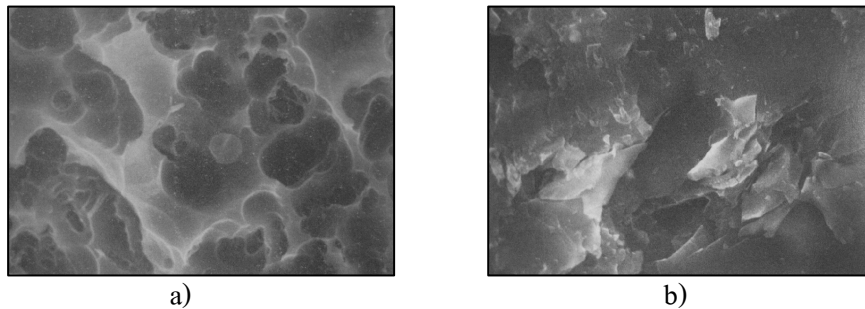
1.1 การใช้หัวกรอ เช่น การใช้หัวกรออากาศเพชรชนิดหยาบในการสร้างผิวของฟอร์ชเลนให้มีความขรุขระ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติด^{2, 24, 25} แต่การศึกษาของ Wood และคณะ²⁶ ชัดแจ้งว่า การใช้หรือไม่ใช้หัวกรอในการปรับสภาพพื้นผิวให้ค่าความแข็งแรงการยึดติด (bond strength) ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การกรออาจทำให้เพิ่มและขยายการเกิดรอยร้าวผ่านในชั้นฟอร์ชเลนส่งผลให้เกิดการแตกหักตามมาได้

1.2 การใช้กรดกัด (acid etching) ในการปรับสภาพพื้นผิวของฟอร์ชเลนด้วยการใช้กรดกัด จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า กรดแต่ละชนิดให้ความขรุขระผิวแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของกรด ความเข้มข้น และระยะเวลาที่ใช้ ส่วนใหญ่กรดที่ใช้ ได้แก่ กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และอะซิดูเลทฟอสเฟตฟลูออไรด์หรือเอพีเอฟ (acidulated phosphate fluoride; APF) โดยกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลละลายกลาสมทริกซ์ในฟอร์ชเลนทำให้เกิดรูพรุนที่พื้นผิวและส่งเสริมให้เรซินคอมโพสิตฝังในรูพรุนเกิดการยึดเชิงกลระดับจุลภาคของวัสดุ¹⁵ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การศึกษาส่วนใหญ่แนะนำการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก

ซึ่งให้ผลการศึกษาความแข็งแรงของการยึดติดที่^{4, 25, 27-31} แม้ว่ากรดไฮโดรฟลูออริกจะมีประสิทธิภาพมาก แต่เนื่องจากกรดสามารถทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปากได้ การใช้อย่างไม่ระมัดระวังจะเกิดผลเสียตามมา ดังนั้น จึงมีการประยุกต์นำกรดฟอสฟอริกมาใช้ในการซ่อมพอร์ซเลน

Leibrock และคณะ³² เปรียบเทียบกรดฟอสฟอริก (32% Uni-Etch) เป็นเวลา 10 นาทีกับกรดไฮโดรฟลูออริก (8% Porcelain Etchant) เป็นเวลา 3-4 นาที Kussano และคณะ³³ เปรียบเทียบกรดฟอสฟอริก (35% phosphoric acid gel, Scotchbond Multi Purpose Plus, 3M, Sumaré, SP, Brazil) เป็นเวลา 1 นาทีกับกรดไฮโดรฟลูออริก (10% hydrofluoric acid gel, Dentsply, Riode Janeiro, Brazil) เป็นเวลา 4 นาที ทั้งสองการศึกษาพบว่า กรดฟอสฟอริกให้ความแข็งแรงของการยึดติดเท่ากับกรดไฮโดรฟลูออริก แต่มีข้อสังเกตว่าทั้งสองการศึกษาใช้ไซเลนปรับสภาพตามหลังการใช้กรด อย่างไรก็ตาม บางการศึกษาให้ผลที่ขัดแย้ง เช่น Creugers และคณะ³⁴ ศึกษาผลทางคลินิกทดลองใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 กัดผิวพอร์ซเลน (Shofu porcelain, Shofu, Kyoto, Japan) เป็นเวลา 2 นาที พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกให้ผลทางคลินิกที่ค่อนข้างต่ำ โดยที่เวลา 1 ปีพบอัตราความล้มเหลวซึ่งเกิดการหลุดของวัสดุซ่อมแซมร้อยละ 50 นอกจากนี้ Thurmond และคณะ²⁷ ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดติด พบว่า กรดฟอสฟอริก (32% Unietch) ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดน้อยกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (8% porcelain etchant gel) โดยค่าความแข็งแรงของพันธะเท่ากับ 13.4 และ 17.4 เมกะปาสกาล ตามลำดับ แต่การศึกษานี้ไม่ได้บอกระยะเวลากรดกัด แม้ว่าจะมีการประยุกต์นำกรดฟอสฟอริกมาใช้ในการซ่อมพอร์ซเลน แต่ผลการศึกษาสนับสนุนการนำกรดฟอสฟอริกมาใช้ยังมีไม่มากนัก

อะซิดูเลทฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นกรดที่นำมาประยุกต์ใช้อีกชนิดหนึ่งและแนะนำว่าสามารถใช้แทนกรดไฮโดรฟลูออริกได้³⁵ บางการศึกษาแนะนำว่าต้องใช้เวลากรดกัดเพิ่มขึ้น³⁶ แต่ก็พบการศึกษาที่ขัดแย้งว่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่เพียงพอ^{15, 31, 37} เมื่อประเมินลักษณะพื้นผิวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า การปรับสภาพพื้นผิวด้วยอะซิดูเลทฟอสเฟตฟลูออไรด์จะมีผิวที่เรียบและเป็นเนื้อเดียว (homogenous) มากกว่าต่างจากกรดไฮโดรฟลูออริกจะเกิดพื้นผิวที่เป็นรูพรุนและมีลักษณะอสัณฐาน คือ มีรูปร่างไม่แน่นอนซึ่งจะช่วยในการยึดติด^{15, 31, 37} (รูปที่ 2) ทั้งนี้ การศึกษาโดยส่วนใหญ่ยอมรับว่ากรดไฮโดรฟลูออริกให้ความแข็งแรงการยึดติดที่ดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ และนำมาใช้ในการซ่อมพอร์ซเลนอย่างแพร่หลายมากที่สุด^{2, 15, 30, 31}



รูปที่ 2 a) แสดงลักษณะพื้นผิวของพอร์ซเลน (Will-Ceram) เมื่อปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก
b) แสดงลักษณะพื้นผิวของพอร์ซเลน (Will-Ceram) เมื่อปรับสภาพผิวด้วยอะซิดูเลทฟอสเฟต
ฟลูออไรด์ (คัดลอกจาก Tylka และคณะ³¹)

1.3 การเป่าทราย (air abrasion or sandblasting)

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยการขัดสีแบบพ่นอนุภาคในอากาศโดยการใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide; Al_2O_3) ทำให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระ เพิ่มพื้นที่ผิว (surface area) สำหรับการยึดติด และเป็นการลดแรงตึงผิว (surface tension) โดยส่วนใหญ่ มักจะใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์อนุภาคขนาด 50 ไมโครเมตร^{2, 15} การปรับสภาพพื้นผิววิธีนี้สามารถทำได้โดยตรงในช่องปาก

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีหลายการศึกษาสนับสนุนวิธีการนี้ Appeldoorn และคณะ³⁸ ศึกษาความทนแรงเฉือน (shear bond strength) ของการยึดติดระหว่างพอร์ซเลน (Ceramic II porcelain, Ceramco Inc., Burlington, N.J.) และเรซินคอมโพสิตซึ่งใช้ระบบสารเชื่อมแซม 8 ชนิด โดยทำการปรับสภาพพื้นผิวตามที่บริษัทของแต่ละระบบแนะนำ พบว่า กลุ่มที่ได้รับการเป่าทรายมีค่าความแข็งแรงการยึดติดมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ เนื่องจากในแต่ละกลุ่มใช้ระบบสารเชื่อมแซมและเรซินคอมโพสิตที่แตกต่างกัน ดังนั้น การศึกษานี้จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าเป็นผลจากการเป่าทรายเพียงอย่างเดียว Chung และ Hwang²³ ศึกษาความทนแรงเฉือนของเรซินคอมโพสิตยึดติดกับพื้นผิวของโลหะ พอร์ซเลน และโลหะพอร์ซเลนร่วมกัน (โลหะและพอร์ซเลนของระบบไบโอบอนด์: Biobond system, Dentsply International Inc., York, Pa.) โดยเปรียบเทียบวิธีการปรับสภาพพื้นผิวและระบบสารเชื่อมแซม ในการเปรียบเทียบวิธีการปรับสภาพพื้นผิว พบว่า บนพื้นผิวโลหะการเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์อนุภาคขนาด 50 ไมโครเมตร เป็นเวลา 20 วินาทีช่วยเพิ่มพันธะการยึดติดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว ส่วนพื้นผิวพอร์ซเลนพบว่า การเป่าทรายช่วยทำให้พันธะการยึดติดเพิ่มขึ้นในระบบสารเชื่อมแซม 4 ใน 6 ชนิด และไม่แตกต่างจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดเป็นเวลา 4 นาที (9.5% Ultradent, Salt Lake City, Utah) ส่วนพื้นผิวของโลหะพอร์ซเลน พบว่า การเป่าทรายมีพันธะการยึดติดมากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการ

ปรับสภาพพื้นผิวและไม่แตกต่างจากการใช้กรดกัดร่วมกับเป่าทราย แต่ก็มีการศึกษาที่ขัดแย้ง ได้แก่ Llobell และคณะ³⁹ ศึกษาเกี่ยวกับความล้า (fatigue testing) ของการซ่อมพอร์ซเลน (Vita VMK 68, Vident Corp, Baldwin Park, Calif) ภายใต้การจำลองการบดเคี้ยวและความชื้น พบว่า การเป่าทราย ให้จำนวนรอบความล้าที่น้อยกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 9.5 (การศึกษาไม่ได้ระบุระยะเวลาที่ใช้) แสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพพื้นผิวโดยวิธีเป่าทรายทนต่อสภาวะจำลองได้น้อยกว่าการใช้กรดกัด แต่การศึกษานี้ใช้ระบบสารซ่อมแซมที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ดังนั้นอาจไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นผลจากกรดไฮโดรฟลูออริกอย่างแท้จริง

บางการศึกษาแนะนำให้ใช้การเป่าทรายร่วมกับวิธีอื่น ๆ เช่น Thurmond และคณะ²⁷ พบว่า การปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าทราย (microetcher, model etc, Danville Engineering, Danville, Calif; Al_2O_3 , 50 μ m) ตามด้วยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัด (8% porcelain etchant gel ไม่ได้ระบุระยะเวลาการกัด) ให้ค่าความทนแรงเฉือนมากกว่าการใช้กรดเพียงอย่างเดียว Kupiec และคณะ²⁸ พบว่า การเป่าทราย (microetcher; Al_2O_3 , 50 μ m) ร่วมกับการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัด (8% porcelain etching gel, Bisco, Inc., Itasca, Ill.) เป็นเวลา 4 นาทีให้ค่าความทนแรงเฉือนมากกว่าการใช้กรดกัดหรือการเป่าทรายเพียงอย่างเดียว

จากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่า การเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวิธีการปรับสภาพพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง แต่ก็มีข้อจำกัดในการใช้ เช่น การฟุ้งกระจายของผงอะลูมิเนียมออกไซด์อาจมีผลเสียต่อผู้ป่วยที่มีโรคทางเดินหายใจ หรือการใช้แรงดันลมที่สูงอาจทำให้พอร์ซเลนแตกบิ่นหรือสูญเสียเนื้อพอร์ซเลนได้⁴⁰ ในปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปเกี่ยวกับผลทางกลของการเป่าทรายที่ชัดเจน แต่ในทางคลินิกก็มีนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

2. การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีเชิงเคมี (chemical surface treatment)

การใช้ไซเลน (silane) เป็นวิธีการทางเคมีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งซึ่งมีรายงานการใช้ในปี 1978 โดย Newburg และ Pameijer⁴¹ พบว่า ในช่วงแรกไซเลนยากต่อการใช้ เนื่องจากไม่เสถียรภาพ (instability) ต่อมาจึงมีการพัฒนาไซเลนขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติด โดยอาศัยปฏิกิริยายึดติดทางเคมีเกิดพันธะ โควาเลนต์ขึ้นระหว่างซิลิกา (silica) ในพอร์ซเลนกับไซเลน และโครงสร้างอีกส่วนหนึ่งของไซเลนจะทำปฏิกิริยากับเรซินคอมโพสิต ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตได้^{42, 43} นอกจากนี้ ไซเลนยังช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ของของเหลว (wettability) บนพื้นผิวด้วย⁴⁴

ปัจจุบันระบบสารซ่อมแซมต่าง ๆ จะรวมการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้ไซเลนเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมพื้นผิวก่อนใช้สารยึดติด (bonding agent) จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการปรับสภาพพื้นผิวสำหรับการซ่อมพอร์ซเลน การศึกษาส่วนใหญ่พบว่า การใช้ไซเลนช่วยให้พันธะการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Lacy และคณะ³⁷ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวเซิงกล โดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัด (9.5% Ceram-Etch, Gresco Dental Products, Stafford, Tex.) เป็นเวลา 4 นาทีหรืออะซิติกเลทฟอสเฟตฟลูออไรด์ (1.23% APF, Sultan Chemists Inc., Englewood, N.J.) เป็นเวลา 10 นาทีรวมกับการใช้ไซเลน (Scotchprime, 3M, Dental Products Div., St. Paul, Minn.) มีความทนแรงเฉือนระหว่างพอร์ซเลน (Will-Ceram, Williams Gold and Refining, Buffalo, N.Y.) กับเรซินคอมโพสิต (P-30, 3M) มากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ไซเลนประมาณร้อยละ 25

Kussano และคณะ³³ พบว่า ในการเตรียมพื้นผิวของพอร์ซเลน (IPS Classic, Ivoclar) การใช้ไซเลน (Ceramic Primer, Scotchbond Mult Purpose Plus, 3M, Sumaré, SP, Brazil) ร่วมกับกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 10 (Dentsply, Rio de Janeiro, Brazil) เป็นเวลา 4 นาทีหรือกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 (Scotchbond Multi Purpose Plus, 3M) เป็นเวลา 2 นาที ให้ความทนแรงเฉือนสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผิวหรือกลุ่มที่ใช้เฉพาะหัวกรออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Filho และคณะ⁴ เปรียบเทียบวิธีการปรับสภาพพื้นผิวพอร์ซเลน (IPS Empress 2, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) พบว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (9.5% Ultradent Porcelain Etch, Ultradent Products, South Jordan, UT) ร่วมกับการใช้ไซเลน (RelyX Ceramic Primer, 3M Dental Products, St. Paul, MN) ให้ความทนแรงดึงมากกว่ากลุ่มที่ใช้ไซเลนอย่างเดียวและกลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกอย่างเดียว ตามลำดับ ซึ่งการศึกษานี้แสดงผลในการทำงานเหมือนกับ Jardel และคณะ⁴⁵ ศึกษาการเตรียมพื้นผิวเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (GC ceramic[®]; GC Dental Industrial และ PVS ceramic[®]; SS White) พบว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (10% hydrofluoric acid, Symphyse) เป็นเวลา 5 นาทีรวมกับการใช้ไซเลน (Silicoup[®]; Haraeus Kulzer) ให้ความแข็งแรงการยึดติดที่ดีกว่าการใช้กรดหรือไซเลนเพียงอย่างเดียว

ถึงแม้ว่าการศึกษาส่วนใหญ่สนับสนุนการใช้ไซเลน แต่ก็มีการศึกษาขัดแย้งของ Sorensen และคณะ³⁰ เปรียบเทียบความทนแรงเฉือนของวิธีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยไซเลนเพียงอย่างเดียวกับการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเพียงอย่างเดียวกับการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว พบว่า การใช้ไซเลนในทั้งสองกลุ่มไม่ได้ช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของการยึดติดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีข้อสังเกต คือ การศึกษานี้ใช้เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน 9 ชนิด ซึ่งบางชนิดใช้ไซเลนที่แตกต่างกันตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ ส่วนกรดไฮโดรฟลูออริกใช้เพียงชนิดเดียว (20% Hydrofluoric acid, Stripit, National Keystone Products, Philadelphia, Pennsylvania) เป็นเวลา 3 นาทีเหมือนกันทุกกลุ่ม ซึ่งการใช้ไซเลนที่แตกต่างกันสำหรับการศึกษานี้อาจทำให้ไม่สามารถสรุปผลได้ โดยสรุป ส่วนใหญ่แนะนำการใช้ไซเลนในการปรับสภาพพื้นผิวโดยจะใช้ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิวเซิงกล ทั้งนี้ ไซเลนให้ผลการศึกษาเซิงกล

ได้แก่ ความแข็งแรงการยึดติดและการแนบสนิทตามขอบที่ดี ในปัจจุบันมีการแนะนำให้ใช้เป็นขั้นตอนหนึ่งสำหรับการซ่อมพอร์ซเลน

3. การปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าผงซิลิกา (air abrasion with SiO₂)

นอกจากวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลและเชิงเคมีแล้ว ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถนำหลักการของทั้งสองวิธีมาใช้ร่วมกัน โดยการเคลือบซิลิกาเป็นการพัฒนาการเป่าทรายโดยนำผงอะลูมิเนียมออกไซด์เคลือบด้วยกรดซิลิซิก (silicic acid) ทำให้เพิ่มปริมาณของซิลิกา โดยกลไกที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการยึดติดมี 2 กลไก คือ การทำให้พื้นผิวเกิดความขรุขระโดยเป็นผลมาจากการเป่าทรายและการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะทางเคมีระหว่างเรซิน ไซเลน และพื้นผิวที่ปกคลุมด้วยซิลิกา⁴⁶ จากกลไกดังกล่าวเป็นการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดมากขึ้น ระบบที่ใช้ได้แก่ ระบบโรคาเทค (Rocatec[®]; 3M ESPE) ระบบโคเจทแซนด์ (CoJet Sand[®]; 3M ESPE) ขนาดอนุภาคผงซิลิกามีขนาดตั้งแต่ 30-110 ไมโครเมตร ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากและการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า การปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าผงซิลิกา ให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดสูง^{46, 47} แต่ในการใช้งานจำเป็นต้องมีเครื่องมือเฉพาะ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดของการปรับสภาพพื้นผิววิธีนี้¹⁵

4. ไซเลน

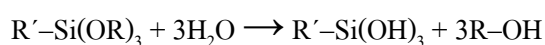
ระบบสารซ่อมแซมจะใช้ไซเลนเป็นตัวที่ทำให้เกิดการยึดติดที่มั่นคงขึ้น โดยเกิดพันธะโควาเลนต์และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักสำหรับยึดติดกับพอร์ซเลนที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ไซเลนเป็นสารประกอบที่มีอะตอมของซิลิกอน (silicon; Si) เป็นองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นโมเลกุลไบฟังก์ชันนอล (bifunctional molecules)^{15, 43, 48} สูตรโครงสร้างคือ R-Si-(OR)₃ โดยมีโมเลกุลที่ทำหน้าที่ 2 ส่วน คือ

- หมู่อร์แกโนฟังก์ชันนอล (organofunctional groups) มีคาร์บอนพันธะคู่ทำปฏิกิริยากับส่วนอินทรีย์เมทริกซ์ (organic matrix) หรือกลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate group) ในเรซินคอมโพสิต เช่น vinyl-CH=CH₂, allyl-CH₂CH=CH₂, amino-NH₂ และ isocyanato-N=C=O เป็นต้น

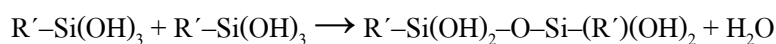
- หมู่แอลคอกซี (alkoxy groups) ทำปฏิกิริยากับส่วนของอนินทรีย์ซับสเตรต (inorganic substrate) หรือซิลิกอนในพอร์ซเลน เช่น methoxy -O-CH₃, ethoxy -O-CH₂CH₃ เป็นต้น โดยยึดกับซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (OH groups) บนพื้นผิวพอร์ซเลน⁴³

ปฏิกิริยาของซิลเลน (Chemical reactions of silanes)

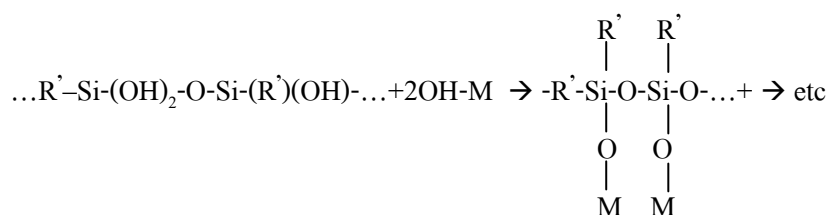
ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นโดยหมู่แอลคอกซีทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นหมู่ซิลานอล (silanol groups, Si-OH) ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถเกิดปฏิกิริยา (reactive) ชอบน้ำ (hydrophilic) เป็นกรด (acidic) และเมื่อเกิดปฏิกิริยาจะปลดปล่อยแอลกอฮอล์ออกมา ขั้นตอนนี้เชื่อว่าจะเกิดการดูดซับ (adsorption) ไปยังสารอนินทรีย์หรือพื้นผิวพอร์ซเลนที่ปกคลุมไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลโดยหมู่ซิลานอลนี้จะถูกดูดซับ สะสมและเกิดพอลิเมอร์ สุดท้ายจะเกิดพันธะโควาเลนต์กับผิวของซับสเตรต กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า ซิลเลนไนเซชัน (silanization)^{43, 49, 50} ดังสมการพื้นฐาน ดังนี้

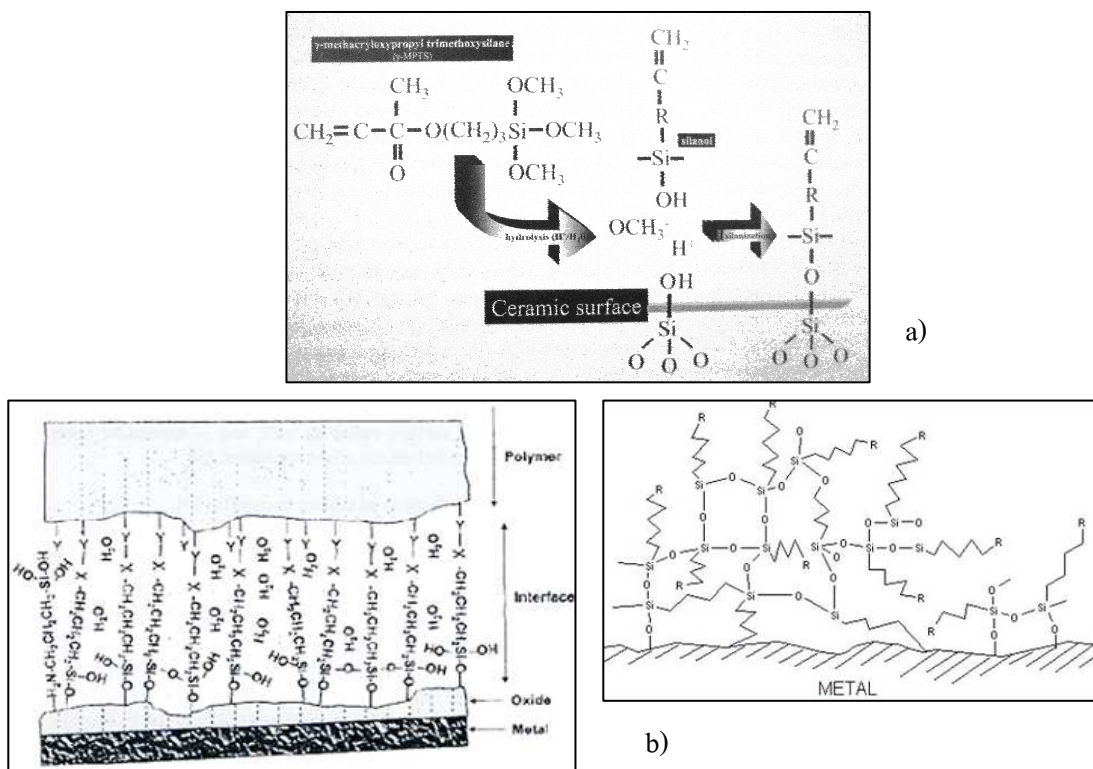


ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condensation reaction) โมเลกุลของซิลเลนสามารถทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เกิดโครงสร้างเป็นไดเมอร์ (dimers) ดังสมการ



ไดเมอร์สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นซิลลอกเซนโอลิโกเมอร์ (siloxane oligomers) ซึ่งจะมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างซิลลอกเซนโมโนเมอร์ (siloxane monomers) ส่วนของซิลลอกเซนโอลิโกเมอร์จะทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันเกิดการสร้างพันธะซิลลอกเซน (-Si-O-Si-) ซึ่งเป็นพันธะที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในส่วนของสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกา ออกไซด์ของโลหะ จะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สามารถเกิดพันธะซิลลอกเซนได้ ตัวอย่างเช่น ในโลหะเกิดพันธะ -Si-O-M- ส่วนในซิลิกา (ควอตซ์, SiO₂) หรือซิลิเกต เกิดขึ้นของพันธะซิลลอกเซน (-Si-O-Si-) ดังสมการและรูปที่ 3





รูปที่ 3 a) กระบวนการซิลนไนเซชัน (silanization) บนพื้นผิวพอร์ซเลน (คัดลอกจาก Summitt และคณะ⁵¹)

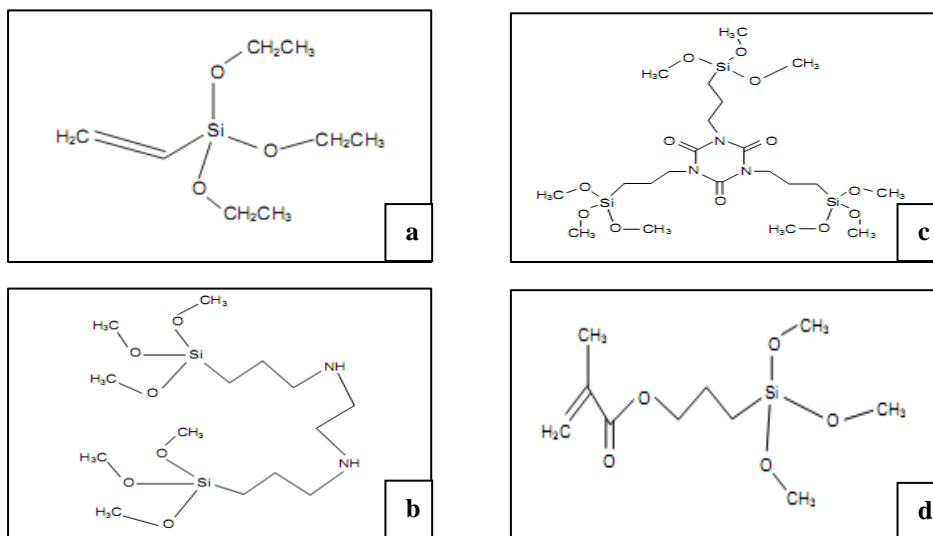
b) แผนภาพแสดงแบบจำลองของชั้นซิลอกเซนฟิล์ม (siloxane film) ในภาพส่วนของชั้นสเตรคเป็นโลหะ ส่วนในกรณีของพอร์ซเลนก็เกิดปฏิกิริยาในรูปแบบเดียวกัน

(คัดลอกจาก Matinlinna และคณะ⁴⁹)

ไซเลนที่ใช้อาจมีส่วนประกอบเป็นหมู่ฟังก์ชันเดี่ยว (monofunctional silanes) ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยซิลิกา 1 อะตอมกับหมู่แอลคอกซี 3 กลุ่ม เช่น vinyltriethoxysilane (รูปที่ 4a) หรือเป็นหมู่ฟังก์ชันคู่ (bifunctional silanes) ประกอบด้วยซิลิกา 2 อะตอม แต่ละอะตอมจับกับหมู่แอลคอกซี 3 กลุ่ม เช่น bis(3-trimethoxysilyl)propylethylenediamine (รูปที่ 4b) หรือเป็นหมู่ฟังก์ชันสาม (trifunctional silanes) ประกอบด้วยซิลิกา 3 อะตอม แต่ละอะตอมจับกับหมู่แอลคอกซี 3 กลุ่ม เช่น tris(3-trimethoxysilylpropyl)isocyanurate (รูปที่ 4c)

ในทางทันตกรรมไซเลนที่ใช้บ่อยคือ monofunctional γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane หรือ 3-trimethoxysilylpropylmethacrylate (MPS) (รูปที่ 4d) มักจะถูกทำให้เจือจางในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักและปรับให้มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4-5 โดยกรดอะซิติก (acetic acid) กลายเป็นพริไฮโดรไลซ์ไซเลน⁴³ ในการเกิดปฏิกิริยาของ MPS จะเกิดโดยหมู่แอลคอกซี 3 กลุ่ม (methoxy-O-CH₃) ของโมเลกุลไซเลน เกิด

พันธะโควาเลนต์ซิลอกเซน (-Si-O-Si-) กับซิลิกาของพอร์ซเลน ขณะที่ส่วนของหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์เกิดปฏิกิริยากับส่วนของอินทรีย์เมทริกซ์ในเรซินคอมโพสิต ดังนั้น MPS ช่วยส่งเสริมการยึดติดระหว่างโลหะกับเรซินคอมโพสิต พอร์ซเลนกับเรซินคอมโพสิต และเรซินคอมโพสิตกับเรซินคอมโพสิตได้^{42, 52}



รูปที่ 4 a) monofunctional silane, vinyltriethoxysilane

b) bisfunctional silane, bis(3-trimethoxysilyl)propylethylenediamine

c) trifunctional silane, tris(3-trimethoxysilylpropyl)isocyanurate

d) 3-methacryloyloxypropyltrimethoxysilane

(คัดลอกจาก Matinlinna และคณะ^{43, 49})

ชนิดของไซเลน

ไซเลนมี 2 กลุ่ม คือ 프리ไฮโดรไลซ์ไซเลน (single phase prehydrolyzed silane) และทวูคอมโพเนนท์ไซเลน (two-component silane)^{53, 54} ซึ่งในระบบทวูคอมโพเนนท์ไซเลน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผสมไซเลนคู่ควบ (silane coupler; γ -MPTS) กับมอนอเมอร์ที่เป็นกรด (acidic monomer) ดังนั้น จะมีสารสองชนิดและต้องทำการผสมส่วนประกอบสองส่วนนี้ก่อนการใช้งานต่างจากฟรีไฮโดรไลซ์ไซเลนที่ไม่ต้องทำการผสมก่อนการใช้งาน การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไซเลน 2 ระบบในการซ่อมพอร์ซเลนที่แตกหักนั้น การศึกษาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของการยึดติด แต่การศึกษาเกี่ยวกับการรั่วซึมระดับจุลภาคนั้นพบว่ายังไม่มีการศึกษาในประเด็นนี้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การศึกษาส่วนใหญ่สนับสนุนฟรีไฮโดรไลซ์ไซเลนว่ามีประสิทธิภาพเกี่ยวกับความแข็งแรงของพันธะการยึดติดมากกว่าทูกอมโพเนนท์ไซเลน⁵⁴⁻⁵⁷ เนื่องจากเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะไซลานอลที่เกิดขึ้นสามารถเกิดเป็นโครงสร้างแบบต่าง ๆ ได้ เช่น การศึกษาของ Anagnostopoulos และคณะ⁵⁴ พบว่า ฟรีไฮโดรไลซ์ไซเลนเกิดโครงสร้างเป็นเส้น (linear tetramers) ส่วนทูกอมโพเนนท์ไซเลนเกิดโครงสร้างเป็นวง (cyclic tetramers) ซึ่งโครงสร้างเป็นเส้นของไซลานอลโอลิโกเมอร์มีคุณสมบัติเป็นสารคู่ควบ (coupling agent) ที่ดีกว่าโครงสร้างเป็นวง นอกจากนี้ ทูกอมโพเนนท์ไซเลนเกิดขึ้นของไซลานอลที่หนากว่า เนื่องจากมีความเข้มข้นของ γ -methacryloxypropyl trimethoxysilane (γ -MPTS) มากกว่า ซึ่งการเกิดฟิล์มที่หนานี้จะส่งผลให้เกิดการอัดแน่น (condensation) ของพันธะไซลานอลมากกว่าที่จะเกิดพันธะกับพื้นผิวส่งผลเสียทำให้ชั้นนอกของพันธะไซลานอลมีการยึดกันอย่างหลวม ๆ ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะการยึดติดลดลง ซึ่งอาจเป็นจุดที่ทำให้เกิดการร้าวซึมได้ นอกจากนี้ ในการใช้งานทูกอมโพเนนท์ไซเลนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ก็ต่อเมื่อผสมสารคู่ควบไซเลน (silane coupler; γ -MPTS) กับมอนอเมอร์ที่เป็นกรด (acidic monomer) ดังนั้น ปฏิกิริยาอาจเกิดไม่สมบูรณ์ถ้าตัวทำละลายระเหยไม่สมบูรณ์⁵⁵

ปัจจุบันระบบสารซ่อมแซมที่เป็นที่นิยมใช้ในการซ่อมพอร์ซเลน ได้แก่ ระบบไอวอคลาร์ (Ivoclar[®] repair system) และระบบคูราเรย์ (Kuraray[®] repair system)

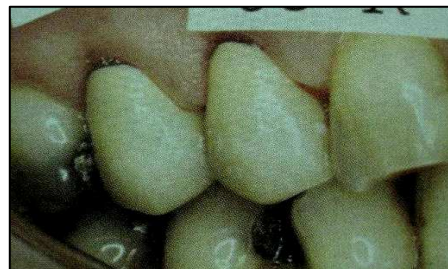
สารซ่อมระบบไอวอคลาร์ เป็นระบบซึ่งผลิตและแนะนำโดยบริษัทเดียวกับพอร์ซเลนระบบไอพีเอส ส่วนสารซ่อมระบบคูราเรย์เป็นระบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันระบบสารซ่อมแซม (repair system) ประกอบด้วยไซเลนและสารยึดติด ส่วนไซเลนของระบบไอวอคลาร์คือ มอนอบอนด์เอส (Monobond-S[®]) เป็นฟรีไฮโดรไลซ์ไซเลนและระบบคูราเรย์คือ เคลียฟิวว์พอร์ซเลนบอนด์แอ็คติเวเตอร์ (Clearfil porcelain bond activator[®]) เป็นทูกอมโพเนนท์ไซเลน โดยเวลาใช้งานต้องผสมกับไพรเมอร์คือ เคลียฟิวว์เอสอีบอนด์ไพรเมอร์ (Clearfil SE Bond[®] primer) ก่อน ส่วนสารยึดติดของระบบไอวอคลาร์คือ เฮลิโอบอนด์ (Heliobond[®]) เป็นสารยึดติดชนิดที่ไม่มีสารเติม (unfilled adhesive) และระบบคูราเรย์คือ เคลียฟิวว์เอสอีบอนด์บอนด์ (Clearfil SE Bond[®] bond) เป็นสารยึดติดชนิดที่มีสารเติม (filled adhesive) สำหรับการใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

5. การรั่วซึมระดับจุลภาคในการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิต

การศึกษาส่วนใหญ่มักจะสนใจเกี่ยวกับความแข็งแรงของการยึดติด ซึ่งในอีกแง่หนึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการรั่วซึมระดับจุลภาคก็มีบทบาทสำคัญ แม้ว่าการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของการยึดติดกับการรั่วซึมระดับจุลภาคยังไม่ชัดเจน แต่ก็มีรายงานการศึกษาของ Okuda และคณะ⁵⁸ กล่าวว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของการยึดติดกับการรั่วซึมระดับจุลภาคจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น คือ เมื่อเวลาผ่านไปความแข็งแรงของการยึดติดจะลดลงสัมพันธ์กับการรั่วซึมระดับจุลภาคที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในทางคลินิกการที่มีพันธะการยึดติดอย่างเพียงพอจะช่วยป้องกันการเกิดการรั่วซึมที่บริเวณรอยต่อได้ และในกรณีที่มีการรั่วซึมตามขอบเกิดขึ้น แม้ว่าวัสดุอาจยึดติดอยู่ได้ แต่ในทางคลินิกก็มีรายงานการพบปัญหาการเกิดคราบสีตามขอบซึ่งส่งผลกระทบต่อความสวยงาม และถ้าวัสดุมีการรั่วซึมมากเกิดการทำลายการยึดติดจนถึงระดับหนึ่ง วัสดุก็อาจจะหลุดออกจากพื้นผิวได้ ดังการศึกษาของ Creugers และคณะ³⁴ ศึกษาผลทางคลินิกของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนจำนวน 20 ชิ้น ในการเตรียมครอบฟันพอร์ซเลน (Shofu porcelain, Shofu, Kyoto, Japan) ถูกทำให้แตกหักและทำการปรับสภาพผิวเชิงกลและเชิงเคมี ได้แก่ การทำให้พื้นผิวขรุขระด้วยหัวกรออากาศเพชร การใช้กรดฟอสฟอริกกัด (37% phosphoric acid) ผสมกับไฮเลน (Prisma Ceraprime, Detry/Dentsply, Koblenz, Germany) ทาบนพื้นผิวเป็นเวลา 2 นาทีและสารยึดติด (Prima Universal Bond 2) ก่อนการซ่อมด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิต (Prisma Fil) โดยตรงในช่องปาก พบว่า ที่ 1 ปีอัตราการรอด (survival rate) โดยที่วัสดุอุดไม่มีการหลุดเท่ากับร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังพบปัญหาการเกิดสีตามขอบถึงร้อยละ 50 (รูปที่ 5) Özcan และ Niedermeier⁵⁹ พบว่าครอบและสะพานฟันที่ได้รับการซ่อมแซมเกิดคราบสีจำนวน 14 ใน 289 ชิ้นงาน (ร้อยละ 5) ในช่วงเวลา 3 ปี นอกจากนี้ การดูดซึมน้ำ (water absorption) ลดคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่มีองค์ประกอบของเรซินได้โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างวัสดุสองชนิด และในผู้ป่วยที่มีพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น ดื่มกาแฟ แอลกอฮอล์ หรือสูบบุหรี่เป็นประจำก็มีความเสี่ยงต่อการติดสีตามขอบของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตได้เช่นกัน



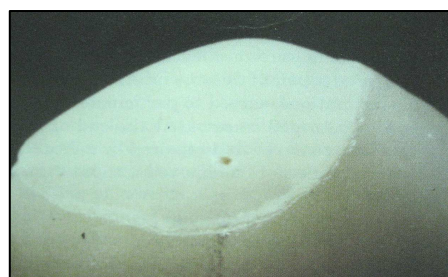
a) พอร์ซเลนที่มีการแตกหักบริเวณซี่ 14 และ 15



b) ภายหลังจากการซ่อมพอร์ซเลนที่แตกหัก



c) หลังจากการซ่อมแซม 1 ปี



d) การรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิต

รูปที่ 5 แสดงบริเวณของรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตที่เกิดคราบสีที่เวลา 1 ปี

(คัดลอกจาก Creugers และคณะ³⁴)

การรั่วซึมระดับจุลภาค หมายถึง ทางผ่านของแบคทีเรีย ของเหลว โมเลกุล หรือออรอนระหว่างผนังโพรงฟันกับวัสดุบูรณะ⁶⁰ ซึ่งการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากทำง่าย ใช้เวลาน้อย และสามารถทดสอบได้หลายวิธี เช่น ทดสอบด้วยสีแบคทีเรีย ที่ออกซิน ของแบคทีเรีย (bacterial toxin) และไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope)⁶¹ การทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคอาศัยหลักการแทรกซึม (diffusion) กล่าวคือ เมื่อมีช่องว่างเกิดขึ้น สีหรือสารทดสอบต่าง ๆ สามารถแทรกซึมจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารทดสอบมากผ่านเข้าไปในช่องว่างที่มีความเข้มข้นของสารต่ำกว่าได้ ซึ่งเชื่อว่ากรณีที่สารทดสอบสามารถแทรกซึมผ่านช่องว่างที่มีอยู่ได้ แบคทีเรีย สารอาหาร ของเหลว โมเลกุลต่าง ๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงกับสารทดสอบก็อาจสามารถแทรกซึมผ่านช่องว่างนี้และเป็นสาเหตุของความล้มเหลวต่าง ๆ ตามมา การรั่วซึมตามขอบ (leakage) สามารถพบได้ทั่วไปเมื่อมีรอยต่อระหว่างวัสดุสองชนิดหรือระหว่างวัสดุบูรณะกับฟัน เช่น การอุดอะมัลกัม เรซินคอมโพสิต การใช้ซีเมนต์ยึดในงานครอบฟัน หรือในการซ่อมพอร์ซเลน โดยถ้ามีการรั่วซึมตามขอบอาจเกิดผลเสียต่าง ๆ เช่น โรคฟันผุกลับซ้ำ (secondary caries) ภาวะเนื้อฟันไวเกิน (dentinal hypersensitivity) คราบสี (staining) และการสะสมแผ่นคราบจุลินทรีย์ (plaque accumulation) เป็นต้น⁶²

การศึกษาเกี่ยวกับการร่วซึมระดับจุลภาคของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยวัสดุอุดเรซิน คอมโพสิตมีการศึกษาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Ferrando และคณะ⁶³ ศึกษาเปรียบเทียบระบบสารซ่อมแซม ในการยึดพอร์ซเลน (Will-Ceram, William Gold Refining Co. Inc., Buffalo, N.Y.) กับวัสดุเรซิน คอมโพสิตมีการเตรียมพื้นผิวให้ขรุขระโดยใช้เพียงหัวกรอกากเพชรเท่านั้น ผลพบว่า Enamelite500 (Lee Pharmaceuticals, South El Monte, Calif.) ซึ่งเป็นระบบสารซ่อมแซมในสมัยนั้นให้ค่าระดับ การร่วซึมที่น้อยกว่าและมีความทนแรงดึงที่มากกว่าระบบอื่น ๆ ได้แก่ Adaptic (Johnson & Johnson Dental Products Co., East Windsor, N.J.), Cyano-Veneer (Ellman International Manufacturing Inc., Hawlett, N.Y.), Den-Mat porcelain repair kit (Den-Mat, Santa Maria, Calif.) และ Fusion (George Turb Products, and Fusion Co., Jersey City, N.J.) ซึ่งเป็นไซเลนที่ใช้ร่วมกับ กลุ่ม Adaptic ส่วนการใช้ไซเลนเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม Adaptic กับกลุ่ม Fusion ร่วมกับ Adaptic ลดการร่วซึมได้แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ ในการศึกษาพบว่า ระดับการร่วซึมไม่ได้ สัมพันธ์กับความแข็งแรงการยึดติด ต่อมา Bello และคณะ⁶⁴ ทำการศึกษาเหมือน Ferrando และคณะ เพียงแต่ใช้ระบบสารซ่อมแซมที่ต่างกันเล็กน้อย ได้แก่ Enamelite500 (Lee Pharmaceuticals), Enamelite500 plus experimental primer (Lee Pharmaceuticals), Den-Mat porcelain repair kit (Den-Mat) และ Silanit (Vivadent, Tonawanda, N.Y.) ก็พบว่าให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกัน คือ Enamelite500 ให้ค่าการร่วซึมน้อยที่สุดและความทนแรงดึงมากที่สุด

Demirel และคณะ⁶⁵ เปรียบเทียบวิธีและวัสดุซ่อม 3 ชนิดในพอร์ซเลน (Vita VMK; Vita Zahnfabrik) โดยกลุ่มที่ 1 ปรับสภาพผิวโดยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 40 เป็นเวลา 5 วินาที ทาสารยึดติด (Newbond; Cavex Holland) และอุดเรซินคอมโพสิต (Clearfil Lustre; Cavex Holland) กลุ่มที่ 2 กรอผิวให้ขรุขระด้วยหัวกรอ ทาไซเลน (Silicer; Heraus Kulzer) เป็นเวลา 2 นาที ทาสารยึดติด (Silibond; Heraus Kulzer) และอุดเรซินคอมโพสิต (Charizma; Heraus Kulzer) กลุ่มที่ 3 ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 (Porcel-lock porcelain etchant) เป็นเวลา 5 นาที ทาสาร ปรับสภาพผิว (porcelain conditioner และ Dry Bond) เป็นเวลา 30 วินาที ทาสารยึดติด (Cerate Prime; Den-Mat) และอุดเรซินคอมโพสิต (Ultradent; Den-Mat) เมื่อขึ้นทดสอบผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิ แบบร้อนเย็นเป็นจังหวะจำนวน 500 รอบแล้วทดสอบการร่วซึมระดับจุลภาคประเมินโดยใช้ ไอโซโทปกัมมันตรังสี พบว่า กลุ่มที่ 1 ร่วซึมน้อยที่สุดและกลุ่มที่ 3 ร่วซึมมากที่สุด ซึ่งการศึกษานี้มี ปัจจัยที่เป็นตัวแปรหลากหลาย ทำให้ไม่สามารถทราบถึงปัจจัยหลักและนำไปสู่ข้อสรุปได้

แม้ว่าการศึกษากการร่วซึมระดับจุลภาคของการซ่อมพอร์ซเลนยังมีไม่มากนัก แต่ ในวัสดุอื่น ๆ เช่น เรซินซีเมนต์ก็มีการศึกษาผลของการเตรียมพื้นผิวของครอบฟันต่อการร่วซึม ระดับจุลภาค นอกจากนี้ในวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตและอะมัลกัมก็มีการศึกษาการเตรียมพื้นผิวใน กรณีที่ต้องมีการซ่อมแซมเช่นกัน เช่น Sorensen และคณะ⁶² ศึกษาการเตรียมพื้นผิวสำหรับการยึด

ติดของเรซินซีเมนต์กับพอร์ซเลน 4 ชนิด (Vitadur N, Ceramco II, G-Cera และ Cerinate) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (20% hydrofluoric acid, Stripit, National Keystone Products, Philadelphia, PA) เป็นเวลา 3 นาทีร่วมกับไฮเลนแต่ละชนิดตามแต่ละระบบพอร์ซเลนหรือการใช้กรดเพียงอย่างเดียวเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคน้อยกว่าการทำไฮเลนเพียงอย่างเดียว Cavalcanti และคณะ⁶⁶ เปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวในการซ่อมแซมวัสดุอุดเรซินคอมโพสิต (Filtek Z250, 3M Dental Products, St Paul, MN, USA) โดยใช้การพ่นล้างด้วยไฮเดียมไบคาร์บอเนต เป็นเวลา 15 วินาที การเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3 , 50 ไมโครเมตร) เป็นเวลา 10 วินาที หรือไม่ทำการปรับสภาพผิว จากนั้นทำการอุดซ่อมแซมโดยผ่านชั้นตอนตามปกติ (กรดฟอสฟอริกกัดและทาสารยึดติด) พบว่า การเตรียมพื้นผิวในแต่ละกลุ่มเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งปัจจัยสำคัญน่าจะเป็นผลมาจากการใช้สารยึดติด Hadavi และคณะ⁶⁷ ศึกษาการซ่อมแซมอะมัลกัมด้วยอะมัลกัม พบว่าการใช้สาร คือ 4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) ช่วยลดการรั่วซึมได้มากกว่าการไม่ใช้สาร 4-META

6. การเลียนแบบสภาวะในช่องปาก

การรับประทานอาหาร การดื่ม และการหายใจ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปากได้ ซึ่งความเค้นจากอุณหภูมิ (thermal stress) อาจทำให้เกิดผลเสียได้จาก 2 ทาง คือ 1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิผลทำให้เกิดรอยร้าวผ่านไปยังรอยต่อของวัสดุโดยตรง 2) การเปลี่ยนแปลงช่องว่าง (gap) ที่บริเวณรอยต่อของวัสดุจะสัมพันธ์กับปริมาตรของช่องว่างในบริเวณนั้นที่ยอมให้ของเหลวผ่านเข้าออกได้ ซึ่งรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (coefficient of thermal expansion) ต่างกันหรือระหว่างวัสดุกับฟันที่มีค่าสัมประสิทธิ์ต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดความเค้นที่บริเวณรอยต่อและมีผลต่อการสูญเสียการยึดติดของวัสดุได้⁶⁸

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อนสลับเย็น (thermocycling) เป็นวิธีการทดลองทางห้องปฏิบัติการ เพื่อเลียนแบบสภาวะในช่องปาก โดยปกติอุณหภูมิภายในช่องปากเท่ากับ $35.2(\pm 2.1)$ องศาเซลเซียส⁶⁹ ซึ่งการเลียนแบบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่องปากมีทั้งร้อนและเย็นจากการทบทวนวรรณกรรมของ Hilton⁷⁰ พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดในช่องปากอยู่ในช่วง 4-12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 48-60 องศาเซลเซียส ส่วนระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดตั้งแต่ 10 วินาที – 3 นาที ส่วนความถี่ของรอบการเคี้ยวในชีวิตประจำวันอาจเกิดขึ้น 20-50 ครั้ง/วัน หรือประมาณ 10,000 รอบ/ปี

จากการทบทวนวรรณกรรม นำมาสู่แนวคิดในการซ่อมพอร์ซเลนที่แตกหักด้วยการอุดเรซินคอมโพสิต ซึ่งจำเป็นต้องมีการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลนให้เหมาะสมโดยวิธีการปรับสภาพผิวเชิงกลและการใช้ระบบสารซ่อมแซม โดยขึ้นงานเมื่อผ่านการซ่อมแซมแล้วจะมีรอยต่อของวัสดุสองชนิดเกิดขึ้น ภายในช่องปากมีสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น น้ำ ความชื้น อุณหภูมิ เมื่อผ่านการใช้งานระยะเวลาหนึ่งแล้วอาจเกิดการรั่วซึมที่จะส่งผลเสียต่อวัสดุได้ ดังนั้น ในการเตรียมพื้นผิวให้เหมาะสมจะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการซ่อมงานบูรณะ โลหะเคลือบพอร์ซเลนและงานพอร์ซเลนล้วนที่มีการแตกหักโดยส่งผลต่อการรั่วซึมตามขอบน้อยที่สุดและช่วยให้การซ่อมพอร์ซเลนมีการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้นนำไปสู่ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิตเมื่อได้รับการปรับสภาพผิวด้วยวิธีเชิงกล (การเป่าทราย การใช้กรดกัด และการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด) และระบบสารซ่อมแซม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเลือกวิธีการปรับสภาพพื้นผิวสำหรับการซ่อมงานบูรณะโลหะเคลือบพอร์ซเลนและงานบูรณะพอร์ซเลนล้วนที่มีการแตกหักโดยส่งผลต่อการรั่วซึมตามขอบน้อยที่สุด

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคในการซ่อมพอร์ซเลน 2 ชนิดที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล 3 แบบ และใช้สารซ่อมแซม 2 ระบบ

1. การเตรียมชิ้นทดสอบ (Specimens preparation)

ชิ้นทดสอบถูกเตรียมจากพอร์ซเลน 2 ชนิด ได้แก่ พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ (IPS d.SIGN[®]; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) สีเอสาม เนื้อฟัน (A3 dentine) และไอพีเอสอีแม็กซ์ซีแรม (IPS e.max[®] Ceram; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) สีเอสาม เนื้อฟัน (A3 dentine) แสดงรายละเอียดและองค์ประกอบ ดังตารางที่ 1 ทำการเตรียมชิ้นทดสอบชนิดละ 40 ชิ้น โดยมีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 6x6 ตารางมิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร โดยผสมผงพอร์ซเลนกับน้ำกลั่นอัดลงในเบ้าที่ทำจากแม่แบบซิลิโคน (รูปที่ 6a) ทำการอัดแน่นซับของเหลวส่วนเกินออกโดยใช้กระดาษซับ จากนั้นปาดผงพอร์ซเลนส่วนเกินที่พื้นผิวหน้าตัดทั้งสองด้านให้เรียบโดยใช้ไบมีด โคน แกะชิ้นพอร์ซเลนออกจากแบบหล่อ (รูปที่ 6b) นำไปเผาตามอุณหภูมิที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ (ตารางที่ 2) จะได้ชิ้นทดสอบพอร์ซเลนทรงสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยม (รูปที่ 6c)

นำชิ้นทดสอบที่ได้มาขัดตามขอบให้ได้ผิวเรียบลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5x5 ตารางมิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร โดยใช้กระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide abrasive papers) ความละเอียด 400 และ 600 กริท ขัดเรียบภายใต้ น้ำ (running water) ด้วยเครื่องขัดแบบจานหมุน (rotary grinding machine: Metaserve[®]; Buehler, USA)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของพอร์ซเลน

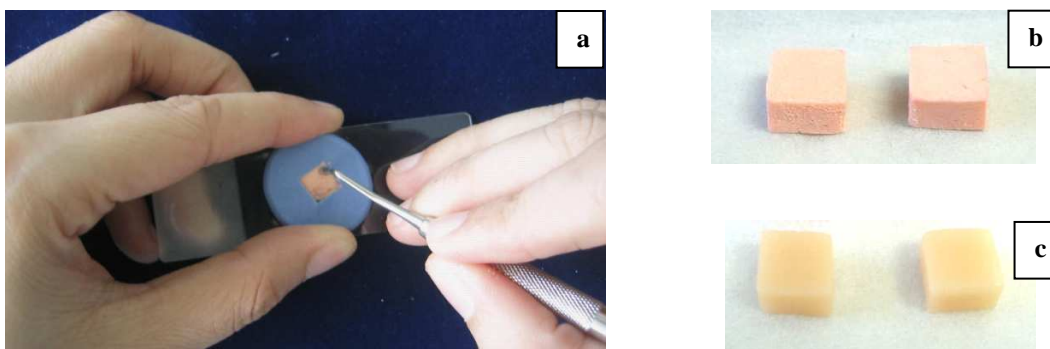
ชื่อทางการค้าของพอร์ซเลน	ประเภท	การใช้งาน	องค์ประกอบ (wt%)								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	F	Other oxides	Pigments
ไอพีเอสดีไชนัน	ฟลูอออะพาไทต์ ลูไซต์ พอร์ซเลน (fluorapatite leucite porcelain)	วีเนียร์พอร์ซเลน สำหรับงานบูรณะโลหะ เคลือบพอร์ซเลน	50-65	8-20	4-12	7-13	0.1-6	0-5	0.1-3	<-----0-3----->	
ไอพีเอสอีแม็คซีแรม	ฟลูอออะพาไทต์ พอร์ซเลน (fluorapatite porcelain)	วีเนียร์พอร์ซเลน สำหรับงานบูรณะ พอร์ซเลนล้วน	60-65	8-12	6-9	6-8	<-----2-6----->			2-8.5	0.1-1.5

หมายเหตุ อ้างอิงจากเอกสารทางวิทยาศาสตร์ (scientific documentation) ของ ไอพีเอสดีไชนันและไอพีเอสอีแม็คซีแรม

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดอุณหภูมิที่ใช้เผาพอร์ซเลนแต่ละชนิด

ชื่อทางการค้าของพอร์ซเลน	สัมประสิทธิ์การขยายตัว โดยความร้อน {x10 ⁻⁶ (K ⁻¹)}	ชนิดของการเผา	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อัตราการเพิ่ม อุณหภูมิ (°C/นาที)	ช่วงอุณหภูมิ ที่ใช้สุญญากาศ (°C)	อุณหภูมิ สุดท้าย (°C)	ระยะเวลาที่คงอยู่ที่ อุณหภูมิสุดท้าย (นาที)
ไอพีเอสดีไชนัน	12.0 ± 0.5	Dentine	403	60	450-869	870	1
ไอพีเอสอีแม็คซีแรม	9.5 ± 0.25	Dentine	403	50	450-749	750	1

หมายเหตุ อ้างอิงจากเอกสารทางวิทยาศาสตร์ของ ไอพีเอสดีไชนันและไอพีเอสอีแม็คซีแรม



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ โดยส่วนผงพอร์ซเลนที่ผ่านการผสมกับน้ำกลั่นนำอัดลงในเบ้าที่ทำจากไวนิลโพลีไซลอคเซน (a) แยกออกจากเบ้าได้ลักษณะผงพอร์ซเลนอัดแน่นทรงสี่เหลี่ยม (b) เมื่อผ่านกระบวนการเผาจะได้ชิ้นทดสอบพอร์ซเลนทรงสี่เหลี่ยมสีเหลือง (c)

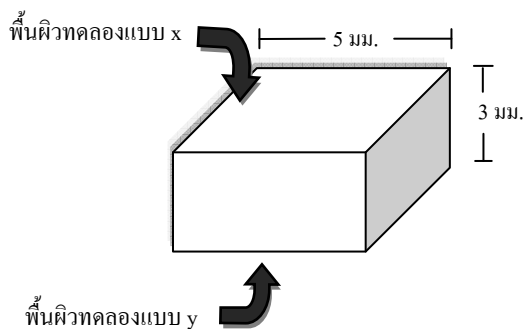
2. การปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลของพอร์ซเลน

ในการเตรียมชิ้นทดสอบเลียนแบบพื้นผิวพอร์ซเลนที่มีการแตกหักจริงโดยการนำชิ้นพอร์ซเลนมาทำให้เกิดการแตกหักแล้ววัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในตำแหน่งที่มีการแตกหักด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (profilometer: Surfcomer® SE-2300; Kosaka Laboratory Ltd., Japan) พบว่า ค่าอยู่ในช่วง 1-1.2 ไมโครเมตร ซึ่งการใช้กระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 100 กริท ให้ค่าความหยาบผิวที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวที่มีการแตกหัก (จากการศึกษานำร่อง; pilot study) ดังนั้นในส่วนของหน้าตัดชิ้นทดสอบเฉพาะด้านที่มีขนาด 5x5 ตารางมิลลิเมตรทำการขัดด้วยกระดาษขัดความละเอียด 100 กริท แล้วทำการสุ่มวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิว เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าให้อยู่ในช่วงที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นทดสอบพอร์ซเลนมาทำความสะอาดพื้นผิวด้วยเครื่องความดันพ่นไอน้ำ (pressure vaporized stream cleaner: Wasi-Steam 2, Wassermann Dental-Maschinen, Hamburg, Germany) และนำมาปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ดังแสดงตารางที่ 3

ในชิ้นทดสอบ 1 ชิ้นมีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน (รูปที่ 7) โดยชิ้นทดสอบจะได้รับการปรับสภาพผิวด้านบนและล่างโดยจับคู่การทดลอง คือ กลุ่มควบคุมกับกลุ่มใช้กรดกัด และกลุ่มเป่าทรายกับกลุ่มเป่าทรายร่วมกับกรดกัด โดยใช้ระบบสารซ่อมแซมที่เหมือนกันในชิ้นทดสอบนั้นๆ ในการเตรียมพื้นผิวแต่ละด้านขณะที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล ทาไซเลน สารยึดติดและอุดเรซินคอมโพสิตจะป้องกันการปนเปื้อนของพื้นผิวในด้านตรงข้าม โดยนำชิ้นทดสอบด้านที่ไม่ได้ทดลองใส่ลงในบล็อกรที่ทำจากไวนิลโพลีไซลอคเซนเหลืองเฉพาะส่วนด้านที่ต้องการสำหรับทำการทดลอง

ตารางที่ 3 แสดงกลุ่มและขั้นตอนของการปรับสภาพพื้นผิวเซิงกล

กลุ่ม	วิธีการปรับสภาพพื้นผิว	ขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวเซิงกล
1	กลุ่มควบคุม (control)	ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว
2	การเป่าทราย (sandblasting)	การเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ขนาด 50 ไมโครเมตรเป็นเวลา 20 วินาที โดยปลายของเครื่องพ่น (Micro Etcher™; Danville. Engineering, Danville, CA) ห่างจากผิววัสดุเป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตร สังเกตเห็นลักษณะของพื้นผิวมีสีขาวขุ่น จากนั้นล้างน้ำและเป่าให้แห้ง
3	การใช้กรดกัด (etching)	การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเจลดความเข้มข้นร้อยละ 4.9 (IPS Ceramic Etching gel®; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) โดยใช้พู่กันทาบริเวณพื้นผิวเป็นเวลา 2 นาที (ตามบริษัทแนะนำ) จากนั้นล้างน้ำและเป่าให้แห้ง
4	การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้ 2 วิธีร่วมกัน คือ การเป่าทรายและใช้กรดกัด (combination of air abrasion and etching)	การปรับสภาพพื้นผิวพอร์ซเลน โดยวิธีการเป่าทรายก่อน และตามด้วยการใช้กรดกัดพื้นผิว ตามวิธีการของกลุ่มที่ 2 และ 3



รูปที่ 7 แสดงการปรับสภาพพื้นผิวแต่ละด้านของชิ้นทดสอบ โดย x, y หมายถึง วิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน กรณี x คือ กลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวและกลุ่มใช้กรดกัด กรณี y คือ กลุ่มเป่าทรายและกลุ่มเป่าทรายร่วมกับกรดกัด

3. การซ่อมพื้นผิวด้วยเรซินคอมโพสิต

นำชิ้นพอร์ซเลนทั้งหมดมาทำเครื่องหมายในบริเวณด้านข้างของชิ้นทดสอบ เพื่อเป็นการระบุด้านที่จะทดสอบการรั่วซึมโดยใช้รอยต่อเพียงด้านเดียวในการทดสอบ เพื่อควบคุมให้สารละลายสีเกิดการรั่วซึมจากทางเดียวเท่านั้น จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาใส่ในแบบไวเนลโพลีไซลอกเซน และใช้พลาสติกใสเป็นเมทริกซ์สำหรับการอุดเรซินคอมโพสิตโดยให้ขอบด้านบนบนของเมทริกซ์มีความสูงเหนือผิวพอร์ซเลน 1 มิลลิเมตร จากนั้นชิ้นทดสอบจะถูกนำมาปรับสภาพพื้นผิวโดยสารซ่อมแซมหนึ่งในสองระบบ คือ

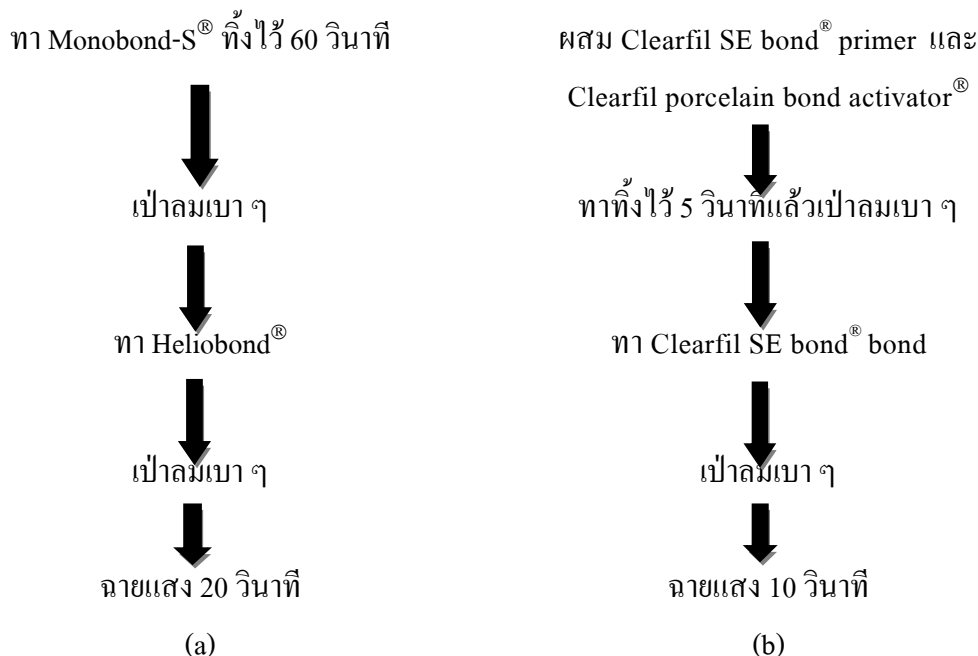
ระบบที่ 1 : สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์ (Ivoclar ceramic repair system[®]; Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

ขั้นตอนการทำตามคำแนะนำของบริษัท (รูปที่ 8) คือ ทาสารไซเลนมอนอบอนด์เอส (Monobond-S[®]) ที่ผิวพอร์ซเลนทิ้งไว้ 60 วินาที จากนั้นเป่าลมเบา ๆ ทาสารฮิโบลอนด์ (Heliobond[®]) เป่าลมเบา ๆ จากนั้นฉายแสง 20 วินาทีด้วยเครื่องฉายแสง (Elipar[™] 2500 curing light; 3M ESPE, St Paul, Minn, USA) ความเข้มแสง 450 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยมีระยะห่าง 1 มิลลิเมตร

ระบบที่ 2 : สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์ (Kuraray ceramic repair system[®]; Kuraray Co Ltd, Tokyo, Japan)

ขั้นตอนการทำตามคำแนะนำของบริษัท (รูปที่ 8) คือ ผสมเคลือบผิวพอร์ซเลนบอนด์แอ็คทีเวเตอร์ (Clearfil porcelain bond activator[®]) และเคลือบผิวเอสอีบอนด์ไพรมเมอร์ (Clearfil SE bond[®] primer) เข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นสารผสมไซเลนและไพรมเมอร์ทาที่พื้นผิวพอร์ซเลนทิ้งไว้ 5 วินาที แล้ว

เป่าลมเบา ๆ จากนั้นทาสารยึดติดเคลือบผิววีเอสอีบอนด์บอนด์ (Clearfil SE bond[®] bond) เป่าลมเบา ๆ แล้วทำการฉายแสง 10 วินาที



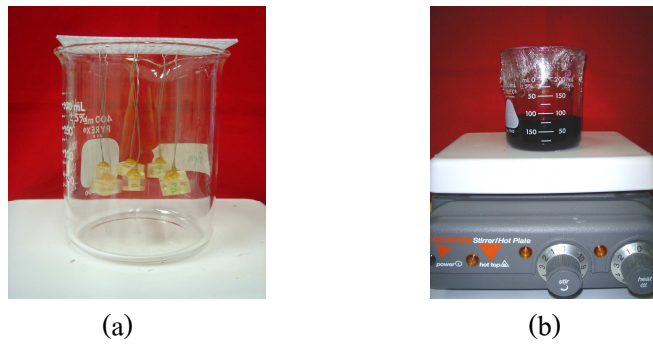
รูปที่ 8 แผนภาพแสดงขั้นตอนเปรียบเทียบการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้ระบบสารซ่อมแซม

(a) สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ (b) สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์

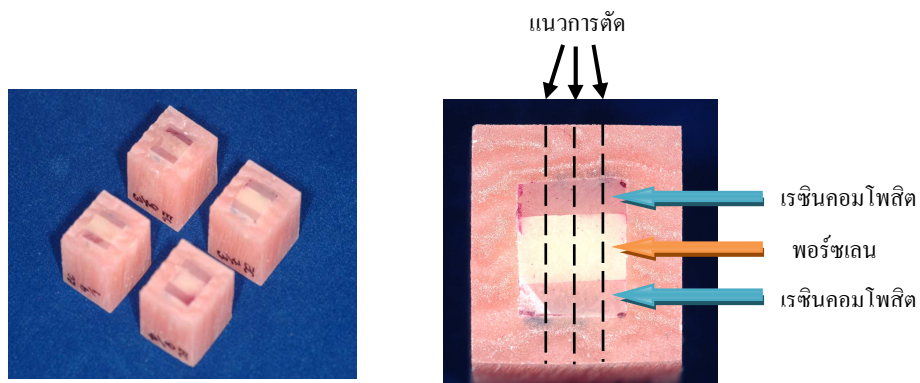
จากนั้น ทำการอุดเรซินคอมโพสิตฟิวท์เท็กซ์ 250 (Filtek[™] Z250, 3M ESPE, St Paul, Minn, USA) หนา 1 มิลลิเมตร ส่วนบนปิดด้วยพลาสติกใส เพื่อให้ได้พื้นผิวของวัสดุที่เรียบ ฉายแสงทางด้านบน 40 วินาที จากนั้นแกะวัสดุออกมาจากแบบไวน์ลโพลีไซลอคเซนแล้วทำการฉายแสงซ้ำ 20 วินาทีในบริเวณด้านข้างที่รอยต่อระหว่างฟอร์ชเลนและวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตเฉพาะด้านที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว จากนั้นนำชิ้นฟอร์ชเลนและเรซินคอมโพสิตที่ได้แช่ในน้ำกลั่น (distilled water) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ นำชิ้นทดสอบซึ่งเปรียบเสมือนชิ้นงานฟอร์ชเลนที่มีการซ่อมด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตมาทำการขัดพื้นผิวบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุด้วยกระดาษขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 400, 600 และ 1,000 กริท ขัดเรียบภายใต้ น้ำด้วยเครื่องขัดแบบจานหมุน จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อเลียนแบบสภาวะในช่องปากด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycler : TC 600 KMIT; ลาดกระบัง ประเทศไทย) จำนวน 2,500 รอบ โดย 1 รอบของการเปลี่ยนแปลงคือ แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที และที่อุณหภูมิ 55 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที โดยมีเวลาพักระหว่างสองอุณหภูมินาน 15 วินาที

4. การทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาค (Microleakage testing)

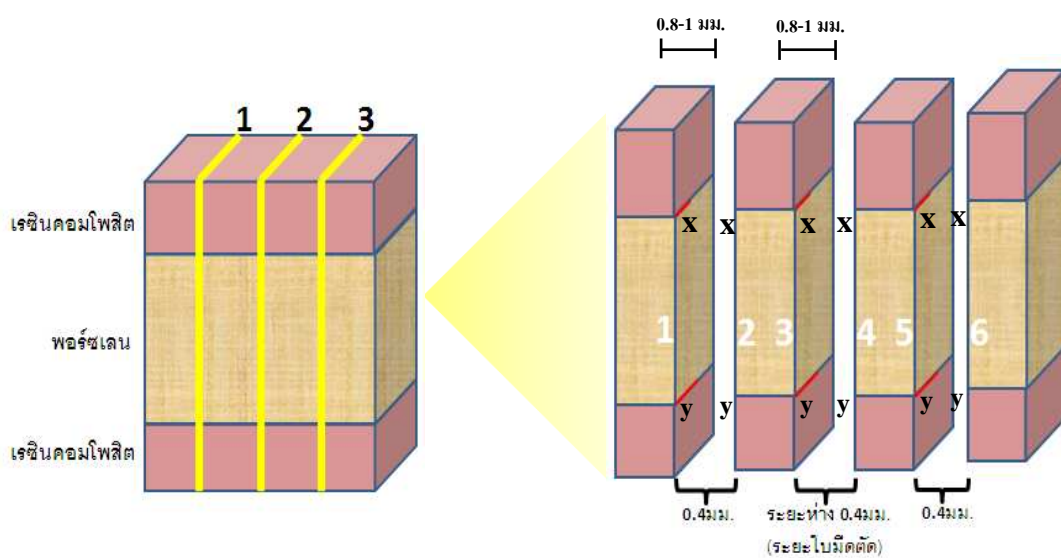
ก่อนการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคใช้น้ำยาทาเล็บทาชั้นทดสอบให้ทั่วโดยเหลือเฉพาะหน้าตัดด้านที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ เพื่อควบคุมให้สีย้อม (dye) ซึมเข้าไปเฉพาะหน้าตัดด้านนี้เท่านั้น ทา 2 ชั้นทิ้งไว้ให้แห้งก่อนนำไปทดสอบโดยการแช่ในสารละลายเบสิกฟุสซิน (basic fuchsin solution) ความเข้มข้นร้อยละ 2 ในเอซิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 40 เป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องภายใต้เครื่องกวนสาร (hotplate stirrer PC420D, Corning, USA) (รูปที่ 9) กำจัดสีย้อมส่วนเกินออกด้วยการล้างน้ำกลั่น นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบการรั่วซึมแล้วมาฝังในบล็อกเรซินชนิดบ่มเองทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 10x10 ตารางมิลลิเมตร สูง 12 มิลลิเมตร โดยให้ด้านที่ทดสอบการรั่วซึมอยู่เสมอพื้นผิวของบล็อก (รูปที่ 10) นำบล็อกเรซินแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ ทำการตัดบล็อกเรซินในแนวผ่านรอยต่อระหว่างฟอร์ชเลนและเรซินคอมโพสิตด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน (Precision saw : ISOMET 4000[®]; Buehler, USA) ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที อัตราเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที และใช้น้ำหล่อเย็นใบตัดและชิ้นงาน โดยทำการตัดจำนวนรอยตัด 3 ครั้งที่ระยะห่างจากขอบของชิ้นตัวอย่าง 1, 2.4 และ 3.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 10, 11a) จะได้ชิ้นทดสอบ 4 ชิ้นที่มีความหนาประมาณ 0.8-1 มิลลิเมตร ในแต่ละชิ้นทำการวัดผล 2 ด้านยกเว้นด้านที่ติดกับบล็อกเรซินจะไม่ทำการวัดค่า ดังนั้นวัดผลได้ 6 จุดต่อ 1 ชิ้นทดสอบ ซึ่งนำมาหาเป็นค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของแต่ละชิ้นการประเมินจะวัดระยะทางการซึมผ่านของสีระหว่างรอยต่อของวัสดุฟอร์ชเลนและเรซินคอมโพสิต (รูปที่ 11b) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereomicroscope : Nikon smz 1500[®]; Nikon Instech Co Ltd, Japan) ที่กำลังขยาย 10 เท่าและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ภาพ (Image J Launcher version 1.4.3.67 Symmetry Software, Watkinsville, CA, USA) ช่วยในการประเมิน จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ ขั้นตอนการทดลองทั้งหมดแสดงผังแผนภาพในรูปที่ 12



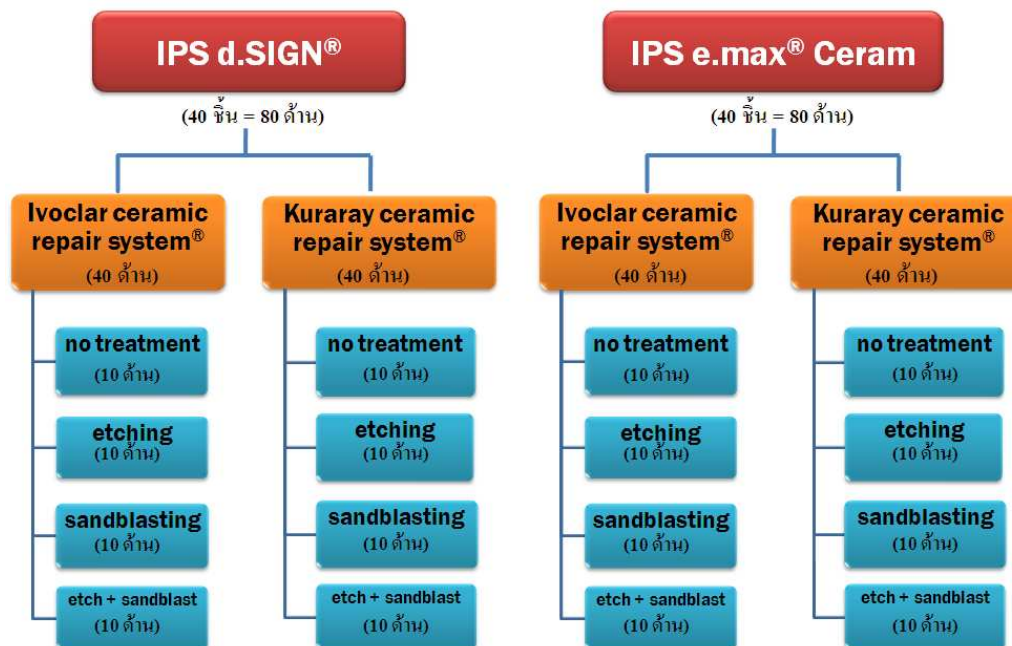
รูปที่ 9 แสดงการขีดยื่นทดสอบกับหลอดด้วยจี้ผึ้ง (a) และการเข้ยื่นทดสอบในสารละลายเบสีกฟูสซิน (b)



รูปที่ 10 แสดงลักษณะขีดยื่นทดสอบที่ฝังในบล็อกเรซินก่อนนำไปตัดและแนวการตัด



รูปที่ 11 แสดงภาพจำลอง (a) แนวการตัดขีดยื่นทดสอบ และ (b) ตำแหน่งด้านของขีดยื่นทดสอบที่ใช้ในการประเมิน x และ y แสดงตำแหน่งที่วัดการรั่วซึม



รูปที่ 12 แผนภาพแสดงกลุ่มของการทดลอง

5. การตรวจลักษณะผิวพอร์ซเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(Scanning Electron Microscope: SEM)

เตรียมชิ้นทดสอบที่ไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลและปรับสภาพผิวเชิงกลด้วยวิธีต่าง ๆ ตามวิธีที่กล่าวมาในพอร์ซเลนทั้งสองชนิด รวมทั้งหมด 8 ชิ้น นำไปศึกษาพื้นผิวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, SEM model JSM-5800; JEOL, Tokyo, Japan) การเตรียมชิ้นทดสอบทำโดยทิ้งชิ้นทดสอบไว้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมงและเข้าเครื่องเคลือบอากาศอีก 5 นาที ก่อนเคลือบชิ้นทดสอบด้วยทองโดยใช้เทคนิคสปัตเตอร์ริง (sputtering coat) ด้วยเครื่องเคลือบผิวชิ้นทดสอบด้วยทอง (SPI-module sputter; SPI Pupplies, West Chester, PA, USA) เป็นเวลานาน 8 นาที (ได้ความหนาของทอง 100-300 ไมโครเมตร) แล้วนำไปตรวจสอบสภาพพื้นผิวชิ้นทดสอบพอร์ซเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 และ 10,000 เท่า

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้ใช้สถิตินอนพารามตริก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนี้

1. วิเคราะห์เปรียบเทียบการรื้อซึมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้ระบบสารซ่อมแซมที่แตกต่างกันในพอร์ซเลนแต่ละชนิดเมื่อไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล ใช้สถิติแมนวิทนี (Mann-Whitney U test)
2. วิเคราะห์เปรียบเทียบการรื้อซึมที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มศึกษาที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลและใช้ระบบสารซ่อมแซมที่แตกต่างกันในพอร์ซเลนแต่ละชนิด ใช้สถิติครัสคาลวัลลิส (Kruskal-Wallis) และการจับคู่โดยสถิติโคโนเวอร์ (Conover)

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. การศึกษาการรื้อซึมระดับจุลภาคในกลุ่มที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล

การศึกษาการรื้อซึมระดับจุลภาคในกลุ่มที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล พบว่า ในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์เกิดการรื้อซึมระดับจุลภาคที่แตกต่างกันระหว่างสารซ่อมแซมทั้งสองระบบ โดยระบบไอโวลาร์เกิดการรื้อซึมมากกว่าระบบคัวร์เรย์ ค่ามัธยฐานการรื้อซึมระดับจุลภาคเท่ากับ 210.09 และ 0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mann-Whitney, $p = 0.0007$) ส่วนในพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมมีค่ามัธยฐานการรื้อซึมระดับจุลภาคเท่ากับ 55.00 และ 2.25 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Mann-Whitney, $p = 0.1352$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ระบบสารซ่อมแซมที่ใช้มีผลทำให้เกิดการรื้อซึมระดับจุลภาคแตกต่างกันเมื่อใช้กับพอร์ซเลนแต่ละชนิด กล่าวคือ สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์เมื่อใช้กับพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์มีค่ามัธยฐานการรื้อซึมระดับจุลภาคสูงถึง 210.09 ไมโครเมตร ซึ่งมากกว่าการรื้อซึมที่เกิดขึ้นในพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม (55 ไมโครเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mann-Whitney, $p = 0.0156$) ส่วนสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์เมื่อใช้กับพอร์ซเลนทั้งสองชนิด พบว่า การรื้อซึมระดับจุลภาคมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Mann-Whitney, $p = 0.2143$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (ไมโครเมตร) ของกลุ่มที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล

ระบบสารซ่อมแซม พอร์ซเลน	ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค (ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์)		นัยสำคัญทางสถิติ แมนวิทนีย์
	ระบบไอโวลลาร์	ระบบดูราเรย์	
ไอพีเอสดีไซน์	210.09 (217.92)	0.00 (3.71)	0.0007*
ไอพีเอสอีแม็คซีแรม	55.00 (54.92)	2.25 (28.52)	0.1352
นัยสำคัญทางสถิติ แมนวิทนีย์	0.0156*	0.2143	

จำนวนตัวอย่าง เท่ากับ 10 ชิ้น/กลุ่ม

* แสดงผลสถิติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ผลการศึกษาในกลุ่มที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล

2.1 พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์

การศึกษารวบรวมข้อมูลระดับจุลภาคในกลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ พบว่า กลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้กรดกัด การเป่าทรายร่วมกับกรดกัด และการเป่าทราย ร่วมกับการใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลลาร์ มีค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคเท่ากับ 2.50, 0 และ 0 ไมโครเมตร ตามลำดับ และเมื่อใช้ร่วมกับสารซ่อมแซมระบบคูราเรย์มีค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค เท่ากับ 31.25, 11.67 และ 0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 13

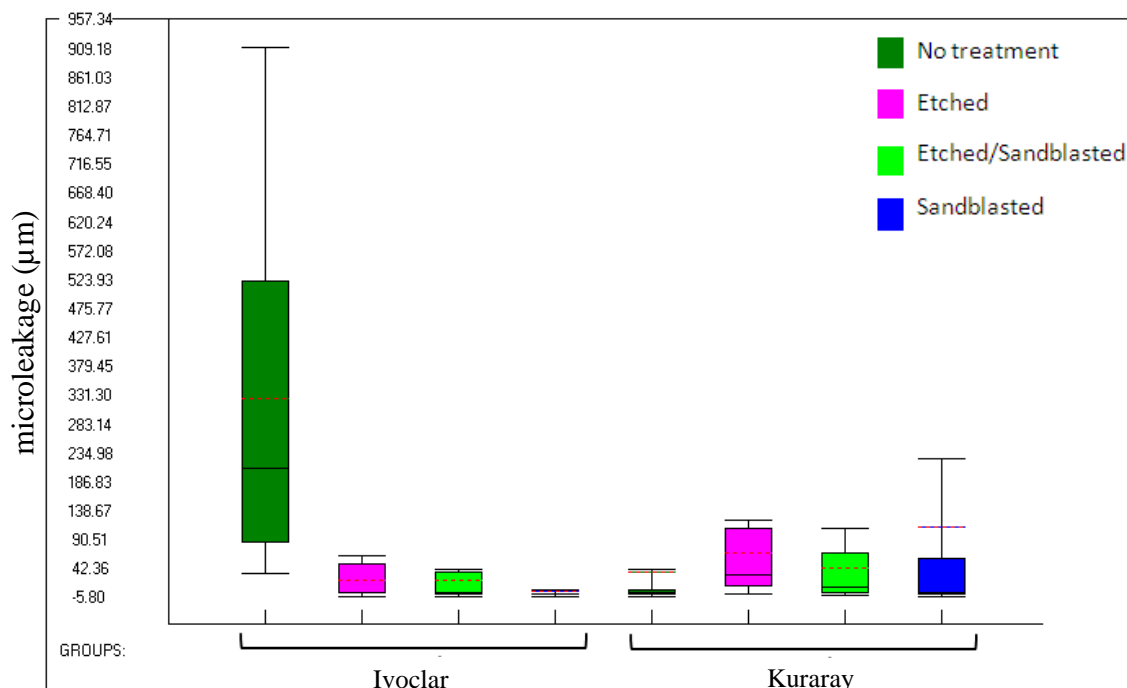
ตารางที่ 5 แสดงค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (ไมโครเมตร) ของกลุ่มศึกษาในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์

	ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค (ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์)	
ระบบสารซ่อมแซม วิธีการปรับสภาพพื้นผิว	ระบบไอโวลลาร์	ระบบคูราเรย์
ไม่ปรับสภาพพื้นผิว	210.09 (217.92)	0.00 (3.71)
การใช้กรดกัด	2.50 (24.83)	31.25 (49.60)
การเป่าทรายร่วมกับกรดกัด	0.00 (17.67)	11.67 (33.73)
การเป่าทราย	0.00 (0.38)	0.00 (29.60)
นัยสำคัญทางสถิติ ครัสคาล-วัลลิส	0.000*	0.091

จำนวนตัวอย่าง เท่ากับ 10 ด้าน/กลุ่ม

* แสดงผลสถิติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

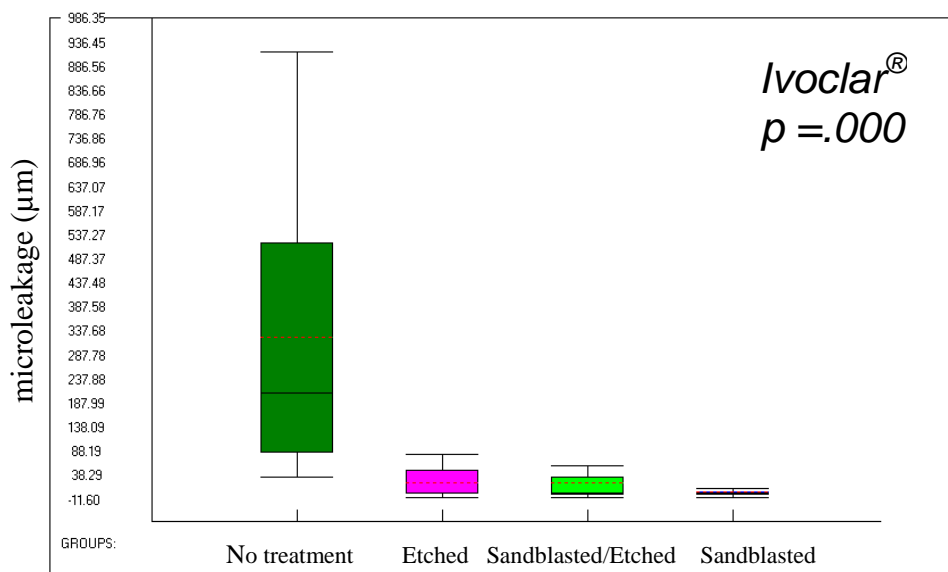
| แสดงผลสถิติที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อใช้สถิติโคโนเวอร์



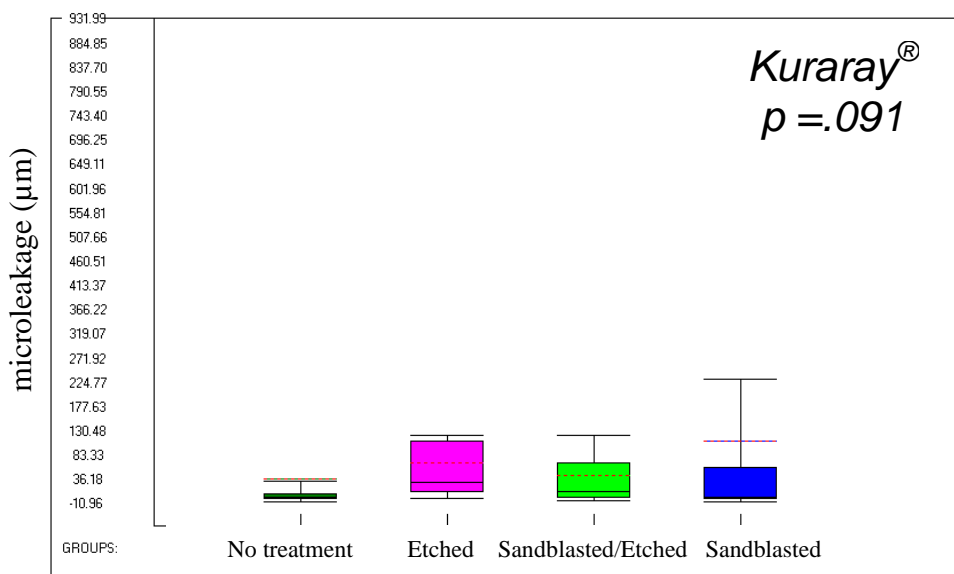
รูปที่ 13 แผนภาพรวมแสดงผลของระบบสารซ่อมแซมและวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์

(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)

กรณีที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลร่วมกับการใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์พบว่า กลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลทั้งสามกลุ่มมีค่ามัชฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kruskal-Wallis, $p = 0.000$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลทั้งสามวิธี (Conover, $p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 14 ส่วนการใช้สารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ พบว่า การปรับสภาพผิวเชิงกลทั้งสามวิธีมีผลเพิ่มค่ามัชฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kruskal-Wallis, $p = 0.091$) ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 15



รูปที่ 14 แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลนไอทีเอสดีไซน์เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์
(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)



รูปที่ 15 แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลนไอทีเอสดีไซน์เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์
(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)

2.2 พอร์ชเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม

การศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาคในกลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวในพอร์ชเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม พบว่า กลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวโดยการเป่าทราย การใช้กรดกัด และการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด ร่วมกับการใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ มีค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค เท่ากับ 18.67, 1.34 และ 0 ไมโครเมตร ตามลำดับ และเมื่อใช้ร่วมกับสารซ่อมแซมระบบคูราเรย์ มีค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค เท่ากับ 1.92, 101.50 และ 9.50 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 16

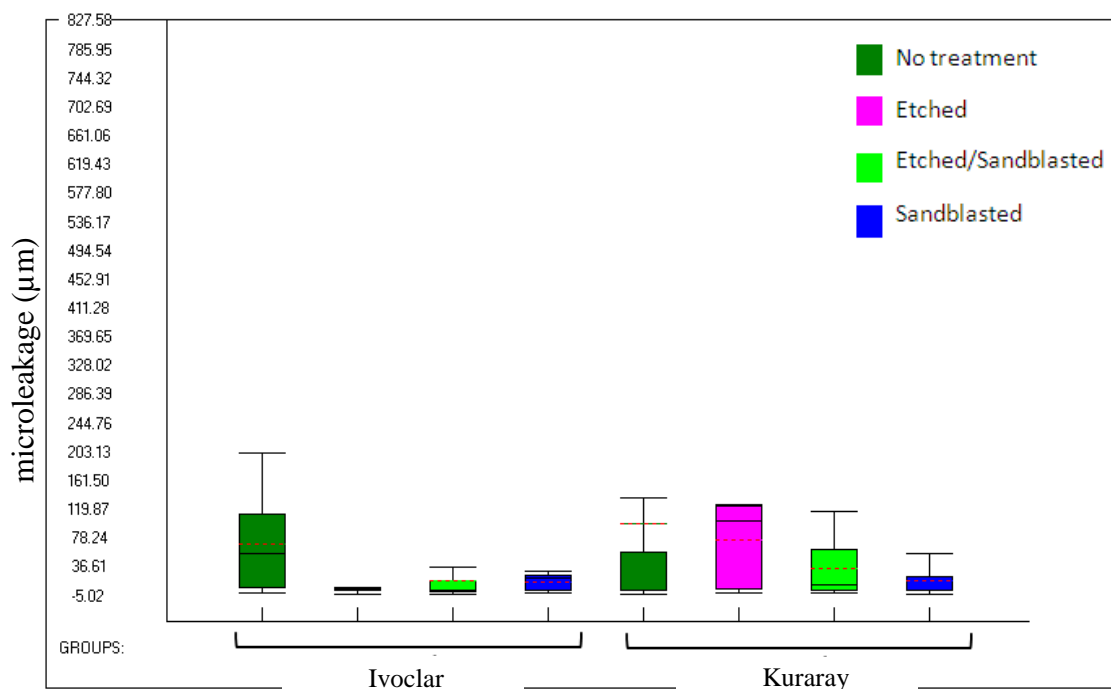
ตารางที่ 6 แสดงค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคและส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (ไมโครเมตร) ของกลุ่มศึกษาในพอร์ชเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม

	ค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาค (ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์)	
ระบบสารซ่อมแซม วิธีการปรับสภาพพื้นผิว	ระบบไอโวลาร์	ระบบคูราเรย์
ไม่ปรับสภาพพื้นผิว	55.00 (54.92)	2.25 (28.52)
การเป่าทราย	18.67 (12.15)	1.92 (10.98)
การใช้กรดกัด	1.34 (2.00)	101.50 (61.46)
การเป่าทรายร่วมกับกรดกัด	0.00 (8.31)	9.50 (30.29)
นัยสำคัญทางสถิติ ครัสคาล-วัลลิส	0.014*	0.305

จำนวนตัวอย่าง เท่ากับ 10 ด้าน/กลุ่ม

* แสดงผลสถิติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

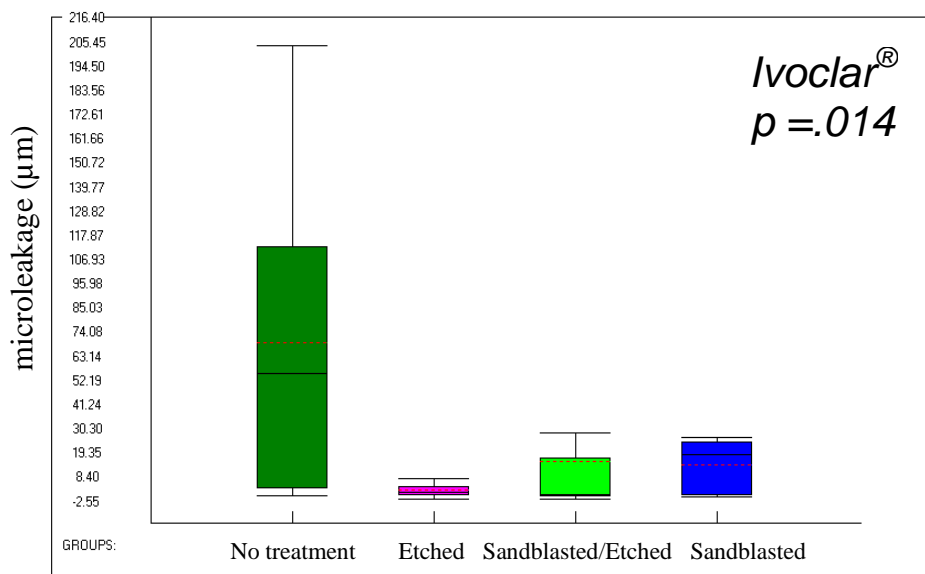
| แสดงผลสถิติที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อใช้สถิติโคโนเวอร์



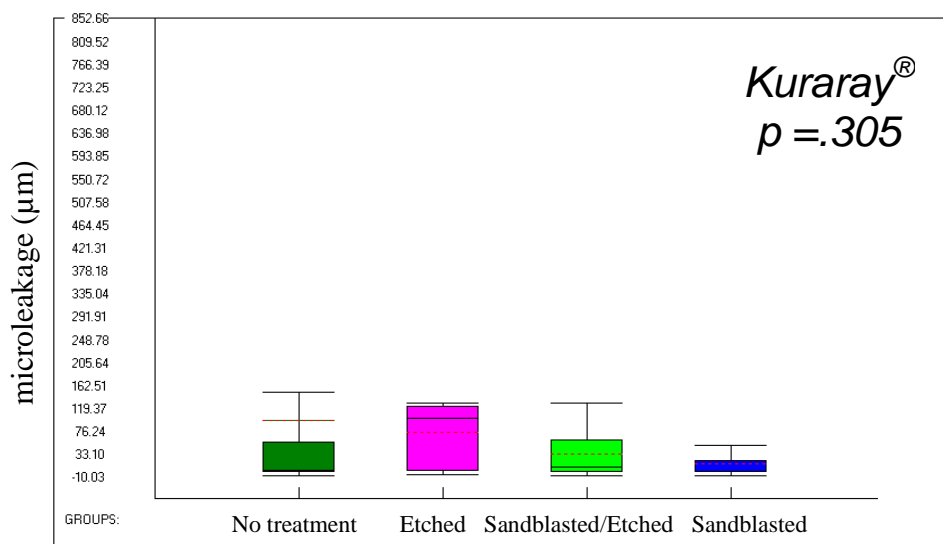
รูปที่ 16 แผนภาพรวมแสดงผลของระบบสารซ่อมแซมและวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม

(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)

กรณีที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลร่วมกับการใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์พบว่า กลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยการใช้กรดกัด และการเป่าทรายร่วมกับกรดกัดเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kruskal-Wallis, $p = 0.014$) ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 17 ส่วนการใช้สารซ่อมแซมระบบคুরารายพบว่า ทั้งกลุ่มที่มีและไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลทั้งสองกลุ่มเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Kruskal-Wallis, $p = 0.305$) ถึงแม้ว่าการใช้กรดกัดทำให้เกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคมากกว่าการไม่ปรับสภาพพื้นผิวก็ตาม แต่ก็ไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 18



รูปที่ 17 แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสอีแม็คซีแรมเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์
(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)



รูปที่ 18 แผนภาพแสดงผลของการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคในพอร์ซเลน ไอพีเอสอีแม็คซีแรมเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคูราเรย์
(เส้นสีแดง คือ ค่าเฉลี่ย เส้นสีดำ คือ มัชฐาน กล่องแสดงช่องเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25-75 และเส้นตรงในแนวดิ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10-90)

3. การศึกษาพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

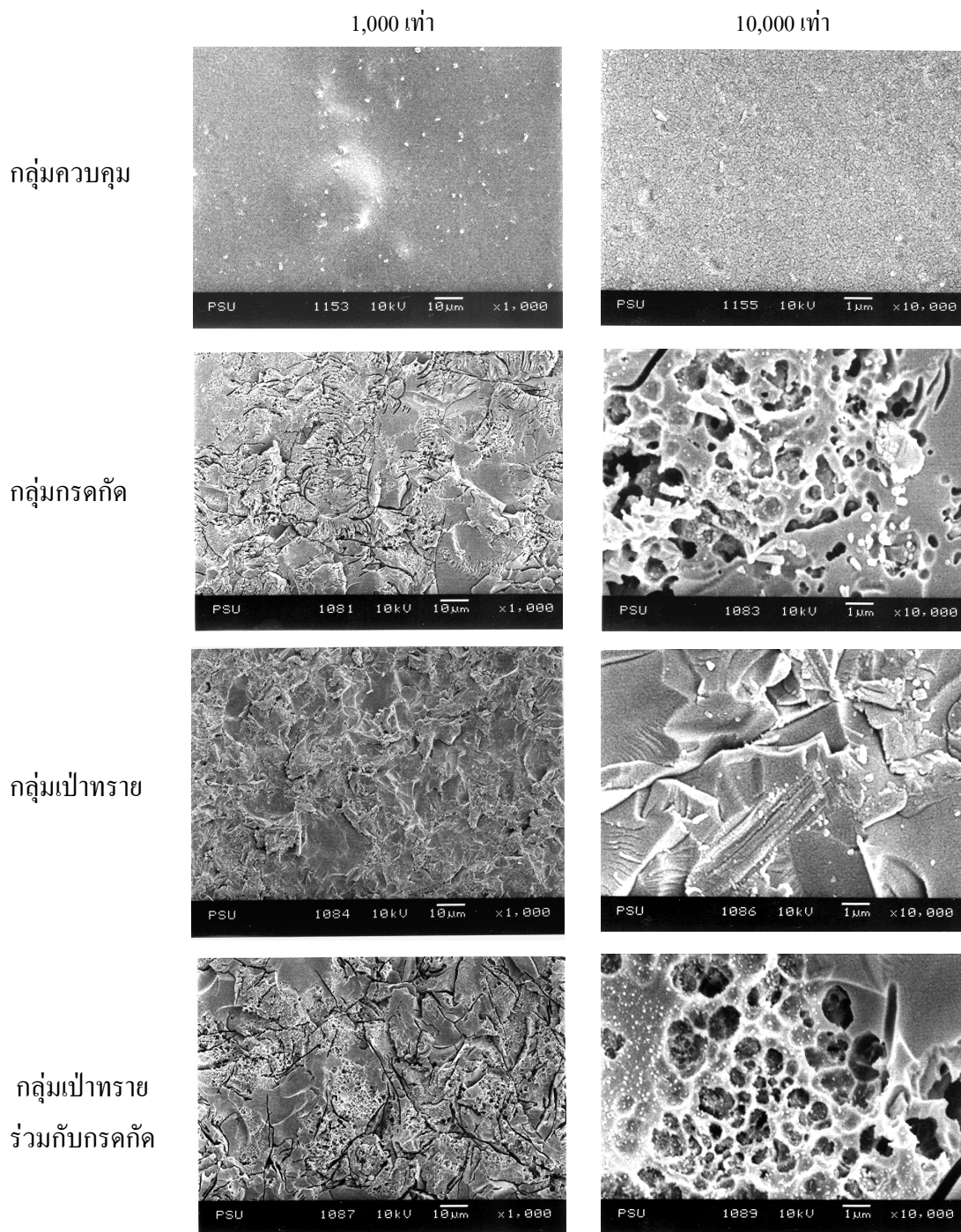
3.1 พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์

พื้นผิวของพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ที่ปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีกรดกัดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ พบว่า มีลักษณะขรุขระมากกว่า มีรูพรุนขนาดเล็กคล้ายรังผึ้งกระจายเป็นหย่อม ๆ และพบร่องลึกกระจายทั่วไป ส่วนพื้นผิวที่ได้รับการปรับสภาพโดยวิธีการเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ พบว่า มีลักษณะขรุขระ และพบลักษณะที่แตกต่างจากการใช้กรดกัด คือ พื้นผิวเป็นรอยที่มีลักษณะเหลี่ยมมน ส่วนพื้นผิวที่ได้รับการปรับสภาพโดยวิธีการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด พบว่า มีลักษณะเหมือนกับกลุ่มที่ใช้กรดกัดเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 19)

3.2 พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม

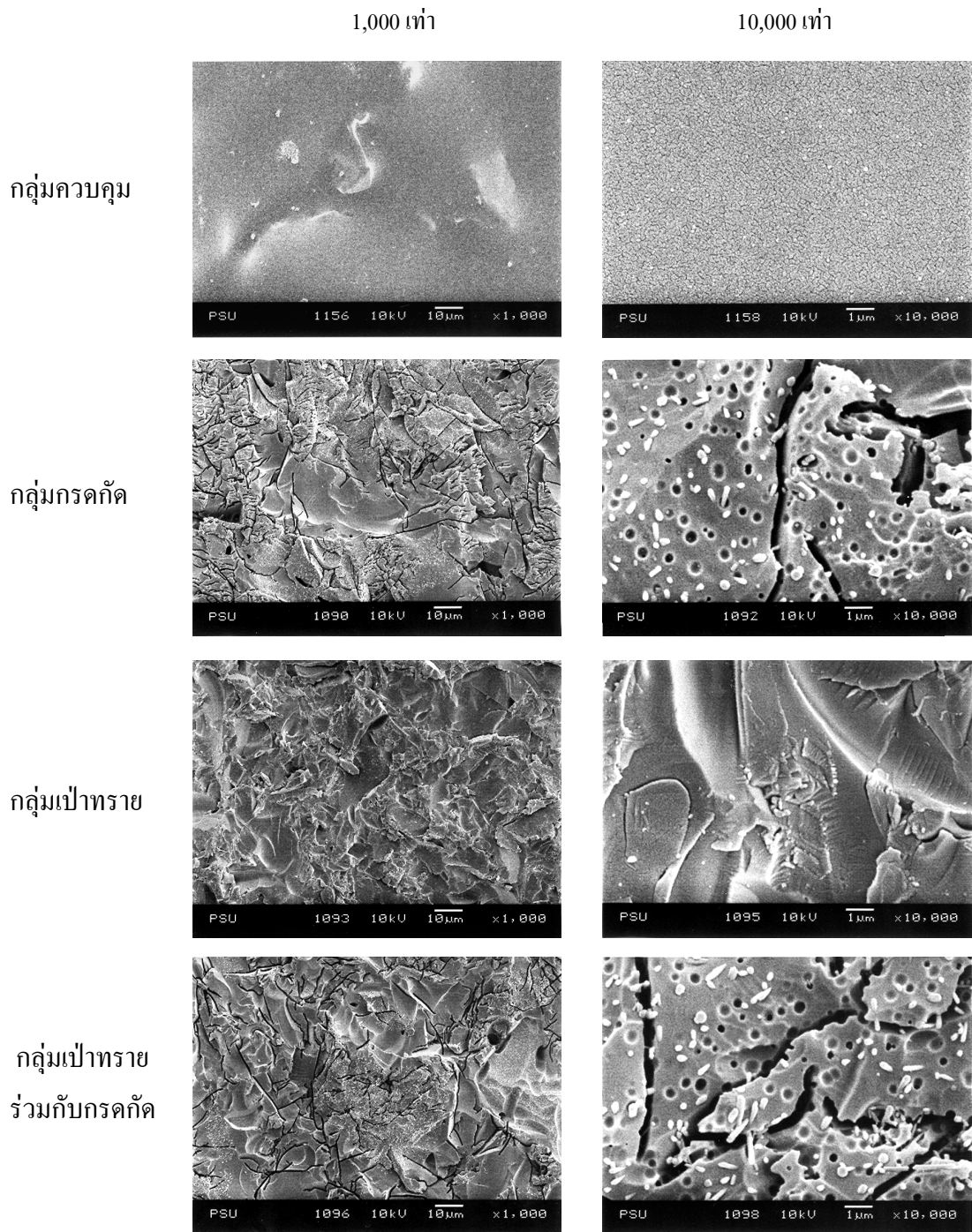
พื้นผิวของพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมที่ปรับสภาพพื้นผิวโดยวิธีกรดกัดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ พบว่า มีลักษณะขรุขระมากกว่า มีหลุมขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร กระจายเป็นหย่อม ๆ และพบร่องลึกกระจายโดยทั่วไป ส่วนพื้นผิวที่ได้รับการปรับสภาพโดยวิธีการเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ พบลักษณะที่แตกต่าง คือ มีความขรุขระมากกว่าและมีลักษณะเป็นรอยเหลี่ยมมน ส่วนพื้นผิวที่ได้รับการปรับสภาพโดยวิธีการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด พบว่า มีลักษณะเหมือนกับกลุ่มที่ใช้กรดกัดเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 20)

พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์



รูปที่ 19 เปรียบเทียบพื้นผิวของพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์กลุ่มไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลและกลุ่มปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยวิธีต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (แถวด้านซ้าย) และ 10,000 เท่า (แถวด้านขวา)

พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม



รูปที่ 20 เปรียบเทียบพื้นผิวของพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมกลุ่มไม่ปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลและกลุ่มปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลโดยวิธีต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (แถวด้านซ้าย) และ 10,000 เท่า (แถวด้านขวา)

บทที่ 4

บทวิจารณ์

ปัจจัยที่มีผลต่อความแนบสนิทตามขอบ (marginal integrity) ระหว่างพอร์ซเลนและวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ซ่อมแซม ได้แก่ ความแข็ง (stiffness) ความหนืด (viscosity) การหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) ของสารซ่อมแซมและสารยึดติด โดยวัสดุที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากมักจะมี ความแข็งและความหนืดมากกว่า และเกิดการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าวัสดุที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อย ส่วนวัสดุที่มีความหนืดน้อยกว่าจะเกิดการไหลแผ่ได้ดีกว่า สัมพันธ์กับการแนบสนิทตามขอบได้ดีกว่า^{62, 71-73} นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยการขยายตัวเนื่องจากความชื้น (hygroscopic expansion) ของเรซินคอมโพสิต⁷⁴ ความแข็งแรงของการยึดติดตลอดจนสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (thermal expansion coefficient mismatch) ระหว่างวัสดุซ่อมแซม สารยึดติด และพอร์ซเลนที่จะส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของวัสดุได้^{62, 71} ในการศึกษาที่มีการนำชิ้นทดสอบไปผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อน-เย็นในน้ำเป็นจำนวน 2,500 รอบ เพื่อจำลองสภาพการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่องปากเป็นเวลา 3 เดือน⁶⁸ พบว่า สามารถสังเกตเห็นการรั่วซึมตามขอบของชิ้นทดสอบได้ อาจเป็นผลจากการที่พอร์ซเลนและวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่แตกต่างกัน คือ มีค่าเท่ากับ 9.5 ถึง $12 \pm 0.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ และ $0.28 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้วัสดุเกิดการหดและขยายตัวไม่เท่ากัน ส่งผลทำให้บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุเกิดเป็นช่องว่างเล็ก ๆ ซึ่งนำไปสู่การเกิดการรั่วซึมตามขอบได้^{68, 75}

เมื่อไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล พบว่า ในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์การใช้สารซ่อมแซมทั้งสองระบบมีผลต่อการเกิดการรั่วซึมต่างกันอย่างมาก โดยระบบไอโวลาร์มีค่ามัธยฐานการรั่วซึมสูงถึง 210 ไมโครเมตร ในขณะที่ระบบคัวร์เรย์เกือบจะไม่พบการรั่วซึมเกิดขึ้นเลย ส่วนในพอร์ซเลนไอพีเอสดีแม็กซ์แรม พบว่า สารซ่อมแซมทั้งสองระบบเกิดการรั่วซึมน้อยมากและมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าระบบไอโวลาร์มีค่าการรั่วซึมระดับจุลภาคมากกว่าระบบคัวร์เรย์เช่นกัน ซึ่งการรั่วซึมที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลจากส่วนของสารยึดติดที่แตกต่างกันในสารซ่อมแซมทั้งสองชนิด โดยในระบบไอโวลาร์ประกอบด้วยสารยึดติดเฮลิโอบอนด์ ซึ่งเป็นสารยึดติดที่ไม่มีสารเติม (unfilled adhesive) ส่วนในระบบคัวร์เรย์นั้น ส่วนของสาร

ยึดติด คือ เคลือบผิวเอสอีบอนด์บอนด์ ซึ่งเป็นสารยึดติดที่มีสารเติม (filled adhesive) เป็นคอลลอยด์คอลลซิลิกา (colloidal silica) และผงของสารเติมชนิดแก้ว (glass filler powders) จากการศึกษาของ Labella และคณะ⁷⁶ พบว่าสารยึดติดชนิดที่ไม่มีสารเติมหรือที่มีสารเติมในปริมาณต่ำ จะเกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่าสารยึดติดที่มีปริมาณสารเติมสูง ดังนั้น สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์อาจเกิดการหดตัวจากการก่อตัวมากกว่าสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ เป็นเหตุให้เกิดการรั่วซึมตามขอบได้สูงกว่า

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในส่วนของไซเลนที่ใช้ทาผิวพอร์ซเลน ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างพอร์ซเลนกับเรซินคอมโพสิตและช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ของสารยึดติดบนพื้นผิวพอร์ซเลน ในระบบไอโวลาร์ประกอบด้วยมอนอบอนด์เอส ซึ่งเป็นฟริไฮโดรไลซ์ไซเลน ส่วนระบบคัวร์เรย์ประกอบด้วยเคลือบผิวพอร์ซเลนบอนด์แอ็คติเวเตอร์ ซึ่งเป็นทูกอมโพเนนท์ไซเลน โดยเวลาใช้งานต้องผสมกับไพรเมอร์ คือ เคลือบผิวเอสอีบอนด์ไพรเมอร์ จากผลการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่รายงานว่าไซเลนที่เป็นลักษณะฟริไฮโดรไลซ์จะทำให้เกิดการยึดติดที่แข็งแรงกว่าแบบทูกอมโพเนนท์^{54, 56, 57} เนื่องจากเมื่อเกิดพันธะยึดติด โครงสร้างทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยาของฟริไฮโดรไลซ์ไซเลนมีคุณสมบัติของสารคู่ควบที่ดีกว่าทูกอมโพเนนท์ไซเลน แต่จากการทบทวนวรรณกรรมไม่พบการศึกษาถึงผลของชนิดไซเลนต่อการเกิดการรั่วซึมตามขอบระหว่างพอร์ซเลนและวัสดุซ่อมแซมเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้มีหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการเกิดการรั่วซึมตามขอบและประสิทธิภาพในการยึดติดนั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน^{63, 64, 77, 78} จากผลการศึกษาในปัจจุบันของสารยึดติดต่อการรั่วซึมอาจมีอิทธิพลมากกว่าไซเลน ซึ่งสารยึดติดชนิดที่มีสารเติมจะเกิดการหดตัวน้อยกว่าและส่งผลให้เกิดการแนบสนิทตามขอบที่ดีกว่า

การที่สารซ่อมแซมส่งผลต่อการรั่วซึมต่างกันนพอร์ซเลนทั้งสองระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ อาจเป็นผลจากส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของพอร์ซเลนทั้งสองชนิด คือ ไอพีเอสดีไซน์เป็นฟลูอออะพาไทด์ลูไซต์ และไอพีเอสอีแม็คซีแรมเป็นฟลูอออะพาไทด์กลาสเซรามิก ซึ่งถึงแม้ว่าพื้นผิวจะควมมีลักษณะใกล้เคียงกันภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แต่อาจมีพลังงานพื้นผิวที่แตกต่างกัน ดังนั้นอาจส่งผลต่อความสามารถในการไหลแผ่ที่แตกต่างกันของสารยึดติด อย่างไรก็ตามควรต้องมีการศึกษาถึงปัจจัยนี้ต่อไป สาเหตุอีกประการหนึ่งอาจเกิดจากการที่พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์มีค่าการละลายทางเคมี (chemical solubility) เท่ากับ 9 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ($\mu\text{g}/\text{cc}$)⁷⁹ ซึ่งต่ำกว่าไอพีเอสอีแม็คซีแรมที่มีค่าเท่ากับ 15 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (อ้างอิงจากเอกสารทางวิทยาศาสตร์ของไอพีเอสอีแม็ค) แสดงนัยว่า ไอพีเอสอีแม็คซีแรมอาจเกิดปฏิกิริยาต่อสารเคมีอื่น ๆ เช่น ไซเลนหรือสารยึดติดได้ง่ายกว่า เกิดการยึดติดที่ดีกว่า จึงเกิดการรั่วซึมน้อยกว่า นอกจากนี้การที่พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์มีค่า

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเท่ากับ $12 \pm 0.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ซึ่งสูงกว่าพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีเรมที่มีค่าเท่ากับ $9.5 \pm 0.25 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดมากกว่าเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อน-เย็น ซึ่งนำไปสู่การเกิดการรั่วซึมตามขอบได้มากกว่าดังที่กล่าวมาแล้ว ถึงอย่างไรก็ตามเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวพอร์ซเลนทั้งสองมีค่าสูงกว่าตัววัสดุซ่อมแซมเรซินคอมโพสิตอย่างมาก ในความเป็นจริงปัจจัยนี้จึงอาจมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการรั่วซึมที่แตกต่างกัน

การปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลทำให้พื้นผิวมีลักษณะขรุขระมากขึ้น ส่งผลให้เกิดพื้นที่ผิวรวม (total surface area) มากกว่าและส่งผลให้ให้มีพลังงานพื้นผิวรวม (total surface energy) มากกว่าพื้นที่ผิวที่เรียบ⁸⁰ จากการศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของ Phoenix และคณะ⁸¹ ซึ่งทำในเฟลด์สปาดิกพอร์ซเลน (Wil-Ceram, Williams Dental, Amherst, NY) พบว่า การปรับสภาพผิวโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (9.5% Ultradent Porcelain Etch, Ultradent Products, South Jordan, UT) เป็นเวลา 4 นาทีและการเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดอนุภาค 50 ไมโครเมตรทำให้เกิดลักษณะผิวที่ขรุขระมากขึ้น ทำให้ของเหลว (น้ำ; high-performance liquid chromatography grade water) มีมุมสัมผัส (contact angle) ลดลงและสามารถไหลแผ่ได้ดีขึ้น ซึ่งลักษณะที่ปรากฏในภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของการศึกษาของ Phoenix และคณะสอดคล้องกับการศึกษานี้เช่นกัน โดยภาพถ่ายของพื้นผิวที่ถูกกรดกัดมีลักษณะเป็นรูพรุนมากมายและมีร่องลึกเล็ก ๆ ส่วนการเป่าทรายจะพบลักษณะพื้นผิวเป็นรอยเหลี่ยมมุม (รูปที่ 19 และ 20) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การศึกษาทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิกส่วนใหญ่สนับสนุนให้มีการปรับสภาพพื้นผิวก่อนการซ่อมแซมเนื่องจากช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการยึดติด^{4, 23, 25, 27, 34, 38, 45} และช่วยลดการรั่วซึมระดับจุลภาค^{62, 65, 66, 82} ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ในกรณีที่ใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลลาร์ โดยพบว่า การปรับสภาพผิวเชิงกลจะทำให้การรั่วซึมตามขอบมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพอร์ซเลนทั้งสองชนิด ส่วนในสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ซึ่งแทบจะไม่พบการรั่วซึมตามขอบเลยเมื่อไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวนั้น การปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลกลับทำให้เกิดการรั่วซึมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การที่การปรับสภาพผิวเชิงกลทั้งสามวิธีส่งผลในทางบวกเมื่อใช้ร่วมกับสารซ่อมแซมระบบไอโวลลาร์นั้น อาจเนื่องจากเฮลิโอบอนด์ซึ่งเป็นสารยึดที่ไม่มีสารเติมจะมีความหนืดต่ำ สามารถไหลแผ่ได้ดี ถึงแม้ว่าพื้นผิวเกิดความขรุขระก็จะสามารถไหลไปตามร่องหรือหลุมที่เกิดขึ้นได้ เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างพอร์ซเลนและสารยึดติด ยิ่งไปกว่านั้นการใช้กรดกัดหรือเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้พื้นผิวมีพลังงานมากขึ้น ช่วยสนับสนุนให้เกิดการไหลแผ่ของสารยึดติดได้ดีขึ้นอีกด้วย การเพิ่มพื้นที่ในการยึดติดอาจมีส่วนช่วยต้านต่อการหดตัวขณะก่อตัวของวัสดุซ่อม ทำให้การรั่วซึมบริเวณขอบมีค่าเกือบจะเป็นศูนย์ แต่มีข้อสังเกตว่า ในพอร์ซเลน

ไอพีเอสอีแม็คซีเรมนั้น การเป่าทรายมีผลต่อค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างจากการไม่ปรับสภาพพื้นผิว เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการไหลแผ่ของสารยึดติดเกิดได้ดีมากอยู่แล้วบนพื้นผิวพอร์ซเลนชนิดนี้จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว ถึงแม้วิธีการเป่าทรายอาจทำให้เกิดพื้นที่ผิวมากขึ้น แต่อาจไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับลักษณะการเกิดรูพรุนและร่องลึกเมื่อใช้กรดกัด นอกจากนี้อาจส่งผลต่อการเพิ่มพลังงานพื้นผิวน้อยกว่าวิธีการใช้กรดกัด จึงไม่ช่วยลดการรั่วซึมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลของการปรับสภาพผิวแต่ละวิธีต่อคุณสมบัติเชิงผิว (surface properties) ของพอร์ซเลนแต่ละชนิดควรมีการศึกษา โดยละเอียดต่อไป

เนื่องจากสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์มีความสามารถในการทำให้เกิดการแนบสนิทตามขอบได้ดีมากอยู่แล้วแม้ว่าจะไม่มีการปรับสภาพพื้นผิว การปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลกลับทำให้เกิดการรั่วซึมมากขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเป็นเพราะส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ยึดติดในระบบคัวร์เรย์เป็นชนิดมีสารเติมจึงมีความหนืด เมื่อพื้นผิวเกิดความขรุขระมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะเป็นหลุมหรือรอยแยกเล็ก ๆ ดังเช่นสภาพที่ปรากฏเมื่อใช้กรดกัดวัสดุที่หนืดอาจไม่สามารถไหลแผ่ลงไปตามหลุมร่องต่าง ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ เกิดเป็นฟองอากาศค้างอยู่ระหว่างสารซ่อมแซมและผิวของพอร์ซเลน จึงเกิดการยึดติดที่ไม่สมบูรณ์และมีผลต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคได้^{8, 22, 81} นอกจากนี้ การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกอาจมีผลต่อระบบโซเลนของสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ โดยอาจไปทำลายพื้นผิวหรือองค์ประกอบบางส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารซ่อมแซมระบบนี้ หรืออาจรบกวนส่วนของไพโรเมอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ที่เป็นกรด (acidic monomer) อยู่ หรือส่วนของสารยึดติด อันได้แก่เคลือบผิววีเอสอีบอนด์บอนด์ได้

ถึงแม้ว่าสารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์จะเป็นสารที่ผลิตโดยบริษัทเดียวกับพอร์ซเลนทั้งสองชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ผลิตจากบริษัทไอโวลาร์ แต่การใช้สารซ่อมแซมนี้ก็กลับทำให้เกิดรอยซึมเล็กน้อยตามขอบของวัสดุซ่อมเรซินคอมโพสิตมากกว่าสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์หากไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลร่วมด้วย ดังนั้น ในทางปฏิบัติสารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์อาจจะสามารถใช้งานได้สะดวกกว่า เนื่องจากไม่ต้องเตรียมเครื่องมือหรือสารเคมีพิเศษในการซ่อมแซม อย่างไรก็ตามในการประเมินประสิทธิภาพของการยึดติด ควรต้องพิจารณาทั้งการรั่วซึมและความแข็งแรงของการยึดติดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ไม่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้การใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าควรต้องมีการปรับสภาพพื้นผิวของพอร์ซเลนก่อนทำการซ่อมแซม โดยทั้งสามวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติควรเลือกใช้วิธีที่สามารถใช้งานได้ง่าย โดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นวิธีการที่สะดวก แต่ต้องระวังเนื่องจากทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อได้ ส่วนการเป่าผงอะลูมิเนียมออกไซด์จำเป็นต้องมีเครื่องมือเฉพาะซึ่งอาจมีราคาสูงกว่าและอาจมีข้อดีเกี่ยวกับการฟุ้งกระจายของผงอะลูมิเนียมออกไซด์

การปรับสภาพพื้นผิวทั้งเชิงกลและการใช้ระบบสารซ่อมแซมมีประโยชน์ในการช่วยลดการร้าวซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและเรซินคอมโพสิต แม้ว่าการศึกษานี้จะเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการก็ตาม แต่ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นขั้นตอนการปฏิบัติในทางคลินิกได้ เนื่องจากในการซ่อมแซมพอร์ซเลนที่มีการแตกหักยังไม่มีหลักการหรือแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจน ดังนั้นผลการทดลองที่ได้ อาจเป็นข้อมูลเสริมสำหรับการตัดสินใจนำวิธีการไปใช้ในทางคลินิก อย่างไรก็ตาม ผลที่เกิดขึ้นในทางคลินิกอาจแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงและควรทำการศึกษาต่อไป

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ เรื่องผลของวิธีการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลนต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคที่รอยต่อของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตนี้ ในข้อจำกัดต่าง ๆ ของงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่า

1. การรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างรอยต่อของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกล ระบบสารซ่อมแซม และชนิดของพอร์ซเลน

2. กรณีไม่มีการปรับสภาพผิวเชิงกล การใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์เกิดการรั่วซึมมากกว่าระบบคัวร์เรย์ในพอร์ซเลนทั้งสองชนิด แต่ค่าแตกต่างกันทางสถิติเฉพาะในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์

3. ในพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ การปรับสภาพผิวเชิงกลลดการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ แต่เมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ พบว่า ค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ ไม่พบความแตกต่างระหว่างการปรับสภาพผิวเชิงกลทั้งสามวิธีในสารซ่อมทั้งสองระบบ

4. ในพอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรม การใช้กรดกัดและการเป่าทรายร่วมกับกรดกัดลดการรั่วซึมระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใช้สารซ่อมแซมระบบไอโวลาร์ ส่วนการใช้สารซ่อมแซมระบบคัวร์เรย์ พบว่า การปรับสภาพผิวเชิงกลทุกวิธีมีค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ถึงแม้ว่าการใช้กรดกัดทำให้เกิดการรั่วซึมมากกว่าการไม่ปรับสภาพพื้นผิวก็ตาม

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

เนื่องจากการศึกษาใช้สารซ่อมแซมเพียง 2 ระบบ ซึ่งอาจจะไม่สามารถเป็นตัวแทนของสารซ่อมแซมทุกชนิดที่มีอยู่ได้ เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตสารระบบต่าง ๆ ออกมา

มากมาย ซึ่งมีองค์ประกอบและส่วนประกอบที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การศึกษาสารซ่อมแซมระบบอื่น ๆ เพิ่มเติมจะทำให้ได้ผลการศึกษาที่สมบูรณ์ขึ้น

นอกจากนี้ การหลุดของวัสดุเป็นความล้มเหลวของการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตที่เป็นปัญหามากอีกอย่างหนึ่ง มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับวิธีการเตรียมพื้นผิวให้มีประสิทธิภาพในการยึดติดมากที่สุด แต่การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของการยึดติดกับการรั่วซึมตามขอบยังมีไม่มากนัก ซึ่งการศึกษาความสัมพันธ์ของประเด็นทั้งสองอย่างนี้จะนำไปสู่การป้องกันความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้นในการซ่อมพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications in fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 2003; 90(1): 31-41.
2. Yanikoglu N. The repair methods for fractured metal-porcelain restorations: a review of the literature. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2004; 12(4): 161-5.
3. Pameijer CH, Louw NP, Fischer D. Repairing fractured porcelain: how surface preparation affects shear force resistance. *J Am Dent Assoc* 1996; 127(2): 203-9.
4. Filho AM, Vieira LC, Araujo E, Monteiro Junior S. Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J Prosthodont* 2004; 13(1): 28-35.
5. Strygler H, Nicholls JI, Townsend JD. Microleakage at the resin-alloy interface of chemically retained composite resins for cast restorations. *J Prosthet Dent* 1991; 65(6): 733-9.
6. Ferracane LJ. Materials in dentistry: principles and applications. Philadelphia, Pennsylvania: J.B. Lippincott Company; 1995.
7. Craig GR, Powers JM. Restorative dental materials. 11 th ed. St. Louis, Missouri: Mosby; 2002.
8. Anusavice K. Phillips' Science of Dental Materials. 11 th ed. St. Louis, Missouri: W.B.Saunders; 2003.
9. Naylor WP. Introduction to metal ceramic technology. Carol Stream, Illinois: Quintessence Publishing Co,Inc; 1992.
10. O'Brien WJ. Dental materials and their selection 3ed. Chicago Quintessence; 2002.
11. Özcan M. Fracture reasons in ceramic-fused-to-metal restorations. *J Oral Rehabil* 2003; 30(3): 265-9.
12. Burke FJ, Grey NJ. Repair of fractured porcelain units: alternative approaches. *Br Dent J* 1994; 176(7): 251-6.
13. Quarnstrom FC, Aw TC. Repairing fractured porcelain-fused-to-metal bridge pontics. *J Am Dent Assoc* 2003; 134(8): 1097-100.
14. Galiatsatos AA. An indirect repair technique for fractured metal-ceramic restorations: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2005; 93(4): 321-3.

15. Özcan M. Evaluation of alternative intra-oral repair techniques for fractured ceramic-fused-to-metal restorations. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 194-203.
16. Bertolotti RL, Lacy AM, Watanabe LG. Adhesive monomers for porcelain repair. *Int J Prosthodont* 1989; 2(5): 483-9.
17. Mjör IA. Repair versus replacement of failed restorations. *Int Dent J* 1993; 43(5): 466-72.
18. Zhukovsky L, Godder B, Settembrini L, Scherer W. Repairing porcelain restorations intraorally: techniques and materials. *Compend Contin Educ Dent* 1996; 17(1): 18, 20, 22 passim; quiz 30.
19. Cardoso AC, Spinelli Filho P. Clinical and laboratory techniques for repair of fractured porcelain in fixed prostheses: a case report. *Quintessence Int* 1994; 25(12): 835-8.
20. Denehy G, Bouschlicher M, Vargas M. Intraoral repair of cosmetic restorations. *Dent Clin North Am* 1998; 42(4): 719-37, x.
21. Tulunoglu IF, Beydemir B. Resin shear bond strength to porcelain and a base metal alloy using two polymerization schemes. *J Prosthet Dent* 2000; 83(2): 181-6.
22. Powers JM, Sakaguchi RL. Craig's restorative dental materials. 12 th ed. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier; 2006.
23. Chung KH, Hwang YC. Bonding strengths of porcelain repair systems with various surface treatments. *J Prosthet Dent* 1997; 78(3): 267-74.
24. Jochen DG, Caputo AA. Composite resin repair of porcelain denture teeth. *J Prosthet Dent* 1977; 38(6): 673-9.
25. Suliman AH, Swift EJ, Jr., Perdigo J. Effects of surface treatment and bonding agents on bond strength of composite resin to porcelain. *J Prosthet Dent* 1993; 70(2): 118-20.
26. Wood M, Litkowski LJ, Thompson VP, Church T. Repair of porcelain/metal restoration with resin bonded overcasting. *J Esthet Dent* 1992; 4(4): 110-3.
27. Thurmond JW, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *J Prosthet Dent* 1994; 72(4): 355-9.
28. Kupiec KA, Wuertz KM, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Evaluation of porcelain surface treatments and agents for composite-to-porcelain repair. *J Prosthet Dent* 1996; 76(2): 119-24.

29. Goia TS, Leite FP, Valandro LF, Ozcan M, Bottino MA. Repair bond strength of a resin composite to alumina-reinforced feldspathic ceramic. *Int J Prosthodont* 2006; 19(4): 400-2.
30. Sorensen JA, Engelman MJ, Torres TJ, Avera SP. Shear bond strength of composite resin to porcelain. *Int J Prosthodont* 1991; 4(1): 17-23.
31. Tylka DF, Stewart GP. Comparison of acidulated phosphate fluoride gel and hydrofluoric acid etchants for porcelain-composite repair. *J Prosthet Dent* 1994; 72(2): 121-7.
32. Leibrock A, Degenhart M, Behr M, Rosentritt M, Handel G. In vitro study of the effect of thermo- and load-cycling on the bond strength of porcelain repair systems. *J Oral Rehabil* 1999; 26(2): 130-7.
33. Kussano CM, Bonfante G, Batista JG, Pinto JH. Evaluation of shear bond strength of composite to porcelain according to surface treatment. *Braz Dent J* 2003; 14(2): 132-5.
34. Creugers NH, Snoek PA, Kayser AF. An experimental porcelain repair system evaluated under controlled clinical conditions. *J Prosthet Dent* 1992; 68(5): 724-7.
35. Della Bona A, van Noort R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. *J Dent Res* 1995; 74(9): 1591-6.
36. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. The effect of different etching times of acidulated phosphate fluoride gel on the shear bond strength of high-leucite ceramics bonded to composite resin. *J Prosthet Dent* 2007; 98(1): 17-23.
37. Lacy AM, LaLuz J, Watanabe LG, Dellinges M. Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. *J Prosthet Dent* 1988; 60(3): 288-91.
38. Appeldoorn RE, Wilwerding TM, Barkmeier WW. Bond strength of composite resin to porcelain with newer generation porcelain repair systems. *J Prosthet Dent* 1993; 70(1): 6-11.
39. Llobell A, Nicholls JJ, Kois JC, Daly CH. Fatigue life of porcelain repair systems. *Int J Prosthodont* 1992; 5(3): 205-13.
40. Kato H, Matsumura H, Tanaka T, Atsuta M. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *J Prosthet Dent* 1996; 75(2): 163-8.
41. Newburg R, Pameijer CH. Composite resins bonded to porcelain with silane solution. *J Am Dent Assoc* 1978; 96(2): 288-91.

42. Akungor G, Sen D, Aydin M. Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. *J Prosthet Dent* 2008; 99(5): 388-99.
43. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004; 17(2): 155-64.
44. Aida M, Hayakawa T, Mizukawa K. Adhesion of composite to porcelain with various surface conditions. *J Prosthet Dent* 1995; 73(5): 464-70.
45. Jardel V, Degrange M, Picard B, Derrien G. Correlation of topography to bond strength of etched ceramic. *Int J Prosthodont* 1999; 12(1): 59-64.
46. Frankenberger R, Kramer N, Sindel J. Repair strength of etched vs silica-coated metal-ceramic and all-ceramic restorations. *Oper Dent* 2000; 25(3): 209-15.
47. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jr. Shear bond strengths of 2 intraoral porcelain repair systems to porcelain or metal substrates. *J Prosthet Dent* 2001; 86(5): 526-31.
48. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003; 89(3): 268-74.
49. Matinlinna JP, Vallittu PK. Silane based concepts on bonding resin composite to metals. *J Contemp Dent Pract* 2007; 8(2): 1-8.
50. Matinlinna JP, Vallittu PK. Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces - an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *J Oral Rehabil* 2007; 34(8): 622-30.
51. Summitt JB, Robbins JR, Hilton TJ, Schwartz RS. Fundamentals of operative dentistry: a contemporary approach. 3 ed. Hanover Park, Illinois: Quintessence Publishing Co, Inc; 2006.
52. Shen C, Oh WS, Williams JR. Effect of post-silanization drying on the bond strength of composite to ceramic. *J Prosthet Dent* 2004; 91(5): 453-8.
53. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent* 2004; 32(6): 443-50.
54. Anagnostopoulos T, Eliades G, Palaghias G. Composition, reactivity and surface interactions of three dental silane primers. *Dent Mater* 1993; 9(3): 182-90.

55. Nogami T, Tanoue N, Atsuta M, Matsumura H. Effectiveness of two-liquid silane primers on bonding sintered feldspathic porcelain with a dual-cured composite luting agent. *J Oral Rehabil* 2004; 31(8): 770-4.
56. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Storage effect of a pre-activated silane on the resin to ceramic bond. *Dent Mater* 2004; 20(7): 635-42.
57. Monticelli F, Osorio R, Toledano M, Tay FR, Ferrari M. In vitro hydrolytic degradation of composite quartz fiber-post bonds created by hydrophilic silane couplings. *Oper Dent* 2006; 31(6): 728-33.
58. Okuda M, Pereira PNR, Nakajima M, Tagami J, Pashley DH. Long-term durability of resin dentin interface: Nanoleakage vs micotensile bond strength. *Oper Dent* 2002; 27: 289-96.
59. Özcan M, Niedermeier W. Clinical study on the reasons for and location of failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. *Int J Prosthodont* 2002; 15(3): 299-302.
60. Kidd EA. Microleakage: a review. *J Dent* 1976; 4(5): 199-206.
61. Taylor MJ, Lynch E. Microleakage. *J Dent* 1992 20(1): 3-10.
62. Sorensen JA, Kang SK, Avera SP. Porcelain-composite interface microleakage with various porcelain surface treatments. *Dent Mater* 1991; 7(2): 118-23.
63. Ferrando JM, Graser GN, Tallents RH, Jarvis RH. Tensile strength and microleakage of porcelain repair materials. *J Prosthet Dent* 1983; 50(1): 44-50.
64. Bello JA, Myers ML, Graser GN, Jarvis RH. Bond strength and microleakage of porcelain repair materials. *J Prosthet Dent* 1985; 54(6): 788-91.
65. Demirel F, Muhtarogullari M, Yüksel G, Cekiç C. Microleakage study of 3 porcelain repair materials by autoradiography. *Quintessence Int* 2007; 38(6): 285-90.
66. Cavalcanti AN, Lobo MM, Fontes CM, Liporoni P, Mathias P. Microleakage at the composite-repair interface: effect of different surface treatment methods. *Oper Dent* 2005; 30(1): 113-7.
67. Hadavi F, Hey JH, Ambrose ER, ElBadrawy HE. Repair of high-copper amalgam with and without an adhesive system: in vitro assessment of microleakage and shear bond strength. *Gen Dent* 1993; 41(1): 49-53.

68. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999; 27(2): 89-99.
69. Spierings TA, Peters MC, Bosman F, Plasschaert AJ. Verification of theoretical modeling of heat transmission in teeth by in vivo experiments. *J Dent Res* 1987; 66(8): 1336-9.
70. Hilton TJ. Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations. Part 2. *Am J Dent* 2002; 15(4): 279-89.
71. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater* 2005; 21(10): 962-70.
72. Chiaraputt S, Mai S, Huffman BP, Kapur R, Agee KA, Yiu CK, et al. Changes in resin-infiltrated dentin stiffness after water storage. *J Dent Res* 2008; 87(7): 655-60.
73. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, Grandini R. A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restorations. *J Contemp Dent Pract* 2006; 7(4): 79-88.
74. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25(6): 435-40.
75. Kenshima S, Grande R, Singer J, Ballester R. Effect of thermal cycling and filling technique on leakage of composite resin restorations. *J Appl Oral Sci* 2004; 12(4): 307-11.
76. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 1999; 15(2): 128-37.
77. Prati C, Nucci C, Davidson CL, Montanari G. Early marginal leakage and shear bond strength of adhesive restorative systems. *Dent Mater* 1990; 6(3): 195-200.
78. Prati C, Simpson M, Mitchem J, Tao L, Pashley DH. Relationship between bond strength and microleakage measured in the same Class I restorations. *Dent Mater* 1992; 8(1): 37-41.
79. Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist--a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dent Mater* 2008; 24(4): 433-49.
80. Wenzel RN. Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Ind Eng Chem* 1936; 28: 988-94.

81. Phoenix RD, Shen C. Characterization of treated porcelain surfaces via dynamic contact angle analysis. *Int J Prosthodont* 1995; 8(2): 187-94.
82. Osorio AB, Camacho GB, Demarco FF, Powers JM. Microleakage in full-crown all-ceramic restorations: influence of internal surface treatment, silane application, alumina system, and substrate. *Int J Prosthodont* 2007; 20(2): 123-4.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

วัสดุ

1. พอร์ซเลน 2 ชนิด ได้แก่
 - ชนิดลูโซร์อินพอร์ซ กลาสเซรามิก ไอพีเอสดีไซน์ (leucite-reinforced glass ceramics; IPS d.SIGN[®], Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
 - ชนิดฟลูออราอะพาไทต์ กลาสเซรามิก ไอพีเอสอีแม็กซ์แรม (fluoroapatite glass ceramics; IPS e.max Ceram[®], Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
2. เรซินคอมโพสิตไฟว์เท็กแซด 250 (Filtek Z250[®]; 3M ESPE, St. Paul, Minn, USA)
3. กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 (IPS Ceramic Etching gel[®], Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
4. ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) ขนาด 50 ไมโครเมตร
5. สารซ่อมแซม 2 ระบบ ได้แก่
 - Ivoclar[®] ceramic repair system (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ประกอบด้วย Monobond-S[®] และ Heliobond[®]
 - Kuraray[®] ceramic repair system (Kuraray Co Ltd, Tokyo, Japan) ประกอบด้วย Clearfil porcelain bond activator[®], Clearfil SE bond[®] primer และ Clearfil SE bond[®] bond
6. สารเบสีกฟูสซิน (basic fuchsin)
7. เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol)
8. น้ำกลั่น (distilled water)
9. เรซินชนิดบ่มตัวเอง (self-cured acrylic resin)
10. ไวนิลโพลีไซลอกเซน (Silagum Putty[®]; DMG Inc., Hamburg, Germany)
11. กระดาษซับ
12. กระดาษทรายเบอร์ 100, 400, 600 และ 1000

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระบอกตวง
2. ขวดแก้ว ขนาด 200 มิลลิลิตร
3. ปิเปตแก้ว ขนาด 10 มิลลิลิตร
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Mettler® AE 200)
5. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hotplate stirrer PC420D, Corning, USA)
6. ตู้เลี้ยงเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubator BE500: Memmert GmbH+Co.KG, Germany)
7. เตาเผาพอร์ซเลน (IPS Empress - EP 600 Combi; Ivoclar Vivadent Inc., Schaan, Liechtenstein)
8. เครื่องขัดแบบจานหมุน (rotary grinding machine: Metaserve®; Buehler, USA)
9. เครื่องตัดชิ้นงาน (precision saw : ISOMET 4000®; Buehler, USA)
10. เครื่องเป่าทราย (Micro Etcher™; Danville. Engineering, Danville, CA)
11. เครื่องฉายแสง (Elipar™ 2500 curing light; 3M ESPE, St Paul, Minn, USA)
12. เครื่องความดันพ่นไอน้ำ (pressure vaporized stream cleaner: Wasi-Steam 2, Wassermann Dental-Maschinen, Hamburg, Germany)
13. เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะ (thermocycler : TC 600 KMIT; ลาดกระบัง ประเทศไทย)
14. เครื่องวัดความหยาบผิว (profilometer: Surfcoorder® SE-2300; Kosaka Laboratory Ltd., Japan)
15. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereomicroscope : Nikon smz 1500®; Nikon Instech Co Ltd, Japan)
16. เครื่องเคลือบผิวชั้นทดสอบด้วยทอง (SPI-module sputter; SPI Pupplies, West Chester, PA, USA)
17. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, SEM model JSM-5800; JEOL, Tokyo, Japan)

ภาคผนวก 2

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยการรั่วซึมระดับจุลภาค (ไมโครเมตร) ของพอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ (n = 10)

No.	Ivoclar ceramic repair system [®]				Kuraray ceramic repair system [®]			
	control	etch	sandblast	sandblast + etch	control	etch	sandblast	sandblast + etch
1	928.33	15.33	0.00	0.00	0.00	87.83	223.33	0.00
2	124.33	5.00	0.00	40.33	29.67	278.50	0.00	11.00
3	100.33	0.00	0.00	0.00	0.00	45.50	0.00	12.33
4	906.33	45.00	0.00	127.67	0.00	14.67	877.17	0.00
5	392.17	63.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	209.33
6	310.00	0.00	0.00	33.67	0.00	17.00	0.00	0.00
7	133.00	0.00	0.00	0.00	334.50	108.00	0.00	40.83
8	287.17	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108.33
9	38.50	96.50	0.00	0.00	0.00	115.83	0.00	53.83
10	32.33	0.00	40.00	19.17	0.00	14.33	4.50	0.00
Mean	325.25	22.55	4.30	22.08	36.42	68.17	110.50	43.57
SD	333.91	34.26	12.58	40.21	105.15	86.07	278.33	67.84
SE	105.59	10.84	3.98	12.71	33.25	27.22	88.02	21.45

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยการรั่วซึมระดับจุลภาค (ไมโครเมตร) ของพอร์ซเลนไอพีเอสอีเอ็มซีซีแรม (n = 10)

No.	Ivoclar [®] ceramic repair system				Kuraray [®] ceramic repair system			
	control	etch	sandblast	sandblast + etch	control	etch	sandblast	sandblast + etch
1	82.50	4.00	0.00	111.50	0.00	125.17	0.00	12.33
2	0.00	0.00	0.00	25.50	802.50	108.33	80.00	43.33
3	39.33	3.67	25.17	0.00	0.00	2.50	0.00	112.33
4	203.67	10.67	19.33	0.00	7.67	121.83	3.83	6.67
5	203.50	2.67	24.00	13.67	0.00	177.67	0.00	0.00
6	70.67	0.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.67
7	77.00	0.00	5.00	0.00	0.00	123.83	6.00	0.00
8	11.00	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00	35.17
9	3.33	0.00	21.50	0.00	133.67	94.67	13.50	0.00
10	1.67	4.00	27.17	0.00	31.50	1.67	47.33	0.00
Mean	69.27	2.50	14.02	15.07	97.98	75.57	15.07	34.25
SD	77.69	3.40	11.39	34.96	250.98	67.51	27.09	49.22
SE	24.57	1.07	3.60	11.06	79.37	21.35	8.57	15.56

หมายเหตุ : Mean = ค่าเฉลี่ย SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตารางที่ 9 แสดงค่ามัธยฐาน ค่าควอไทล์ที่ 1 และ 3 ค่าพิสัยควอไทล์ และส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของการรื้อซึมระดับจุลภาค (ไมโครเมตร) ของกลุ่มศึกษาต่าง ๆ

NO TREATMENT

Porcelain	Repair system	Median	Quartile1	Quartile3	Inter quartile range	Quartile deviation
IPS d.SIGN	<i>Ivoclar</i>	210.09	84.87	520.71	435.84	217.92
	<i>Kuraray</i>	0	0	7.42	7.42	3.71
IPS e.max Ceram	<i>Ivoclar</i>	55.00	2.92	112.75	109.84	54.92
	<i>Kuraray</i>	2.25	0	57.04	57.04	28.52

IPS d.SIGN

Repair system	Surface treatments	Median	Quartile1	Quartile3	Inter quartile range	Quartile deviation
Ivoclar	<i>Control</i>	210.09	84.87	520.71	435.84	217.92
	<i>Etch</i>	2.50	0	49.67	49.67	24.83
	<i>Sandblast-Etch</i>	0	0	35.34	35.34	17.67
	<i>Sandblast</i>	0	0	0.75	0.75	0.38
Kuraray	<i>Control</i>	0	0	7.42	7.42	3.71
	<i>Etch</i>	31.25	10.75	109.96	99.21	49.60
	<i>Sandblast-Etch</i>	11.67	0	67.46	67.46	33.73
	<i>Sandblast</i>	0	0	59.21	59.21	29.60

IPS e.max Ceram

Repair system	Surface treatments	Median	Quartile1	Quartile3	Inter quartile range	Quartile deviation
Ivoclar	<i>Control</i>	55.00	2.92	112.75	109.84	54.92
	<i>Etch</i>	1.34	0	4.00	4.00	2.00
	<i>Sandblast-Etch</i>	0	0	16.63	16.63	8.31
	<i>Sandblast</i>	18.67	0	24.29	24.29	12.15
Kuraray	<i>Control</i>	2.25	0	57.04	57.04	28.52
	<i>Etch</i>	101.50	1.25	124.17	122.91	61.46
	<i>Sandblast-Etch</i>	9.50	0	60.58	60.58	30.29
	<i>Sandblast</i>	1.92	0	21.96	21.96	10.98

ภาคผนวก 3

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 10 แสดงค่านัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบค่ามัธยฐานการรั่วซึมระดับจุลภาคของกลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยสถิติโคโนเวอร์

1. IPS d.SIGN – Ivoclar repair system

Kruskal-Wallis Test

	n tied Ranks	Chi-Square	df	p (2-tailed)
Microleakage	19	21.3173	3	0.000

Kruskal-Wallis Paired Comparisons (Conover)

	I	J	5 % Critical Difference	(I-J) Differences	p
Leakage	control	etch	7.4312	15.7	***
		etch+sandblast	7.4312	17	***
		sandblast	7.4312	21.3	***
	etch	control	7.4312	-15.7	***
		etch+sandblast	7.4312	1.3	
		sandblast	7.4312	5.6	
	etch+sandblast	control	7.4312	-17	***
		etch	7.4312	-1.3	
		sandblast	7.4312	4.3	
sandblast	control	7.4312	-21.3	***	
	etch	7.4312	-5.6		
	etch+sandblast	7.4312	-4.3		

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

2. IPS e.max Ceram – Ivoclar repair system

Kruskal-Wallis Test

	n tied Ranks	Chi-Square	df	<i>p</i> (2-tailed)
Microleakage	18	10.5748	3	0.014

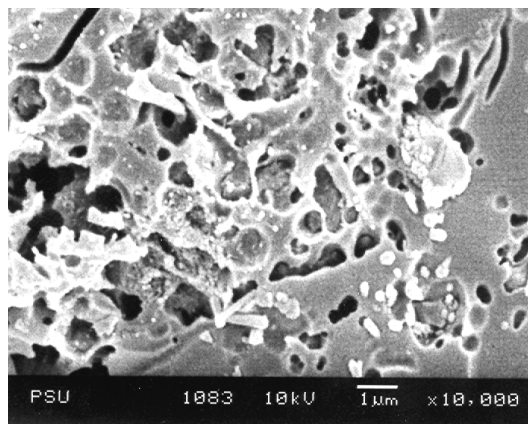
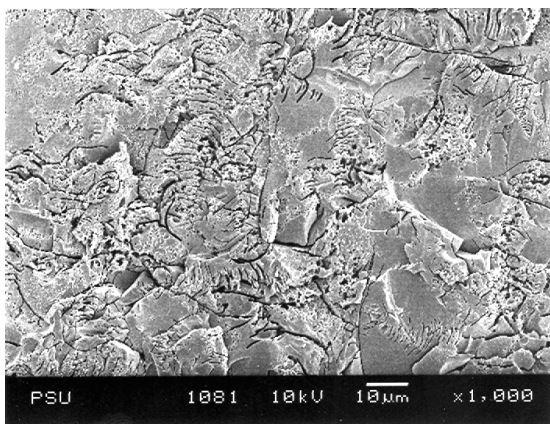
Kruskal-Wallis Paired Comparisons (Conover)

	I	J	5 % Critical Difference	(I-J) Differences	<i>p</i>
Leakage	control	etch	9.4218	14.3	**
		etch+sandblast	9.4218	13.5	**
		sandblast	9.4218	6.4	
	etch	control	9.4218	-14.3	**
		etch+sandblast	9.4218	-0.8	
		sandblast	9.4218	-7.9	
	etch+sandblast	control	9.4218	-13.5	**
		etch	9.4218	0.8	
		sandblast	9.4218	-7.1	
	sandblast	control	9.4218	-6.4	
		etch	9.4218	7.9	
		etch+sandblast	9.4218	7.1	

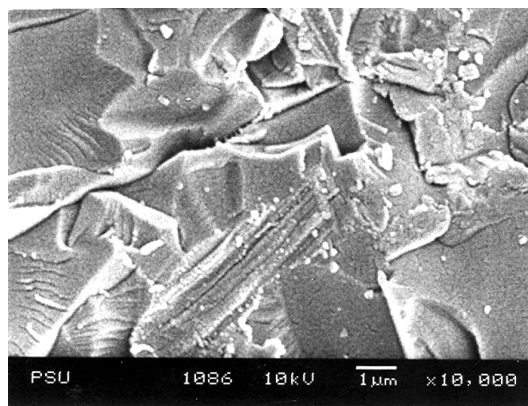
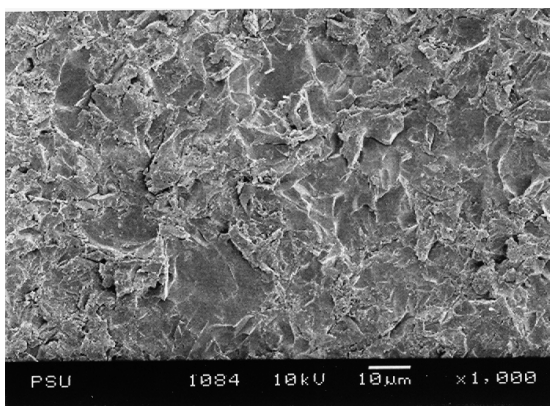
* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

ภาคผนวก 4

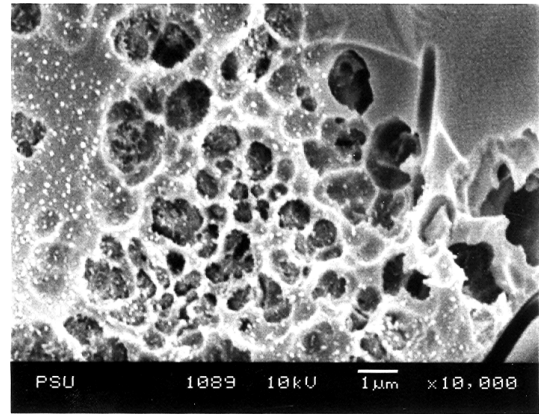
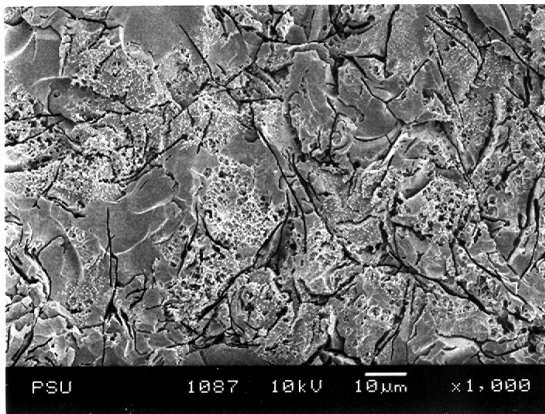
ภาพถ่ายพื้นผิวพอร์ซเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด



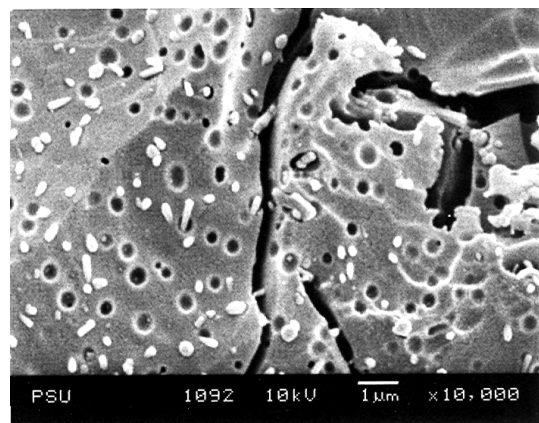
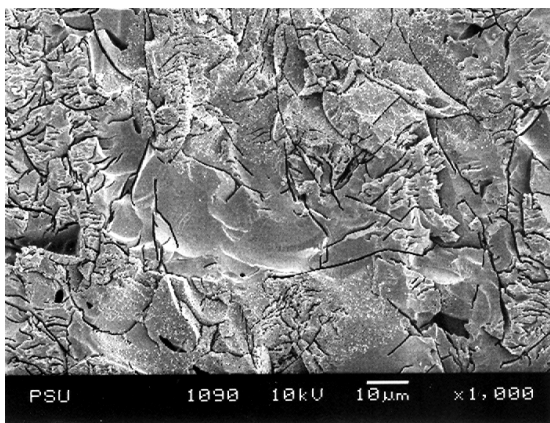
รูปที่ 21 พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยใช้กระดาษทรายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)



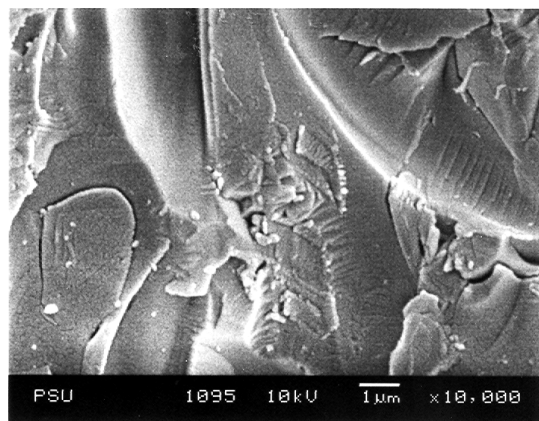
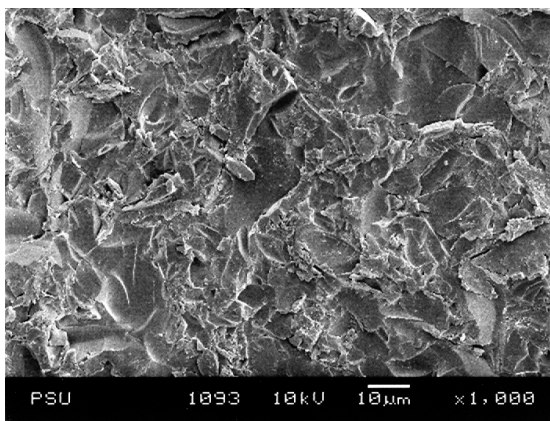
รูปที่ 22 พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทรายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)



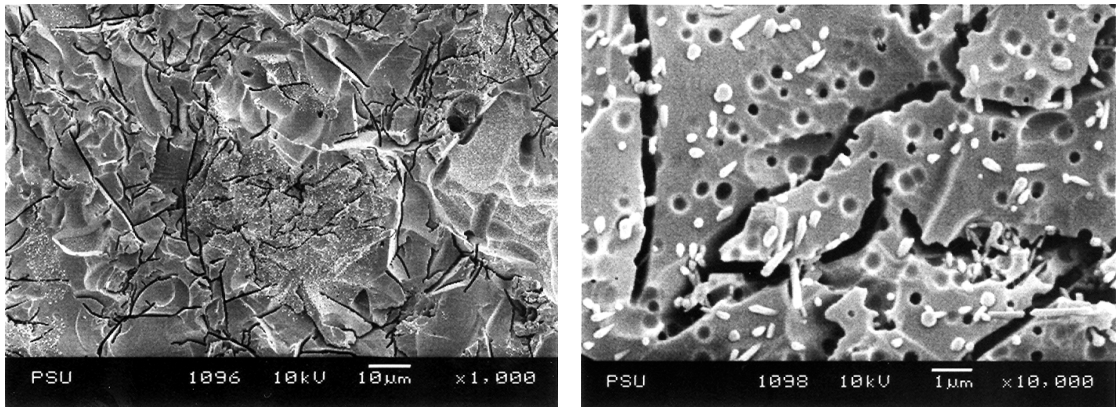
รูปที่ 23 พอร์ซเลนไอพีเอสดีไซน์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)



รูปที่ 24 พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยการใช้กรดกัด ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)



รูปที่ 25 พอร์ซเลนไอพีเอสอีแม็คซีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทราย ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)



รูปที่ 26 พอร์ซเลน ไอพีเอสอีแม็คซีแรมที่ได้รับการปรับสภาพผิวเชิงกลโดยวิธีการเป่าทรายร่วมกับกรดกัด ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)

ภาคผนวก 5

ส่วนประกอบของสารที่ใช้ในระบบสารซ่อมแซม

ตารางที่ 11 แสดงส่วนประกอบของสารที่ใช้ในสารซ่อมแซมระบบไอวอคลาร์และคูราเรย์

ชื่อทางการค้า	ชนิด	ส่วนประกอบ
Monobond-S [®]	silane	3-Methacryloxy propyl-trimethoxysilane (1.0 wt. %) in a water/ethanol solution.
Heliobond [®]	bonding agent	Bis-phenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA) and Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) (99 wt.%), catalysts and stabilizers (< 1wt.%)
Clearfil porcelain bond activator [®]	silane	γ -Methacryloxy propyl-trimethoxysilane (MPS), Bis-phenol A polyethoxy-dimethacrylate
Clearfil SE bond [®] primer	primer	10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), Hydrophilic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, N,N-Diethanol-p-toluidine, Water
Clearfil SE bond [®] bond	bonding agent	10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), Bis-phenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), Hydrophobic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, N,N-Diethanol-p-toluidine, Silanated colloidal silica

ภาคผนวก 6

ตารางที่ 12 แสดงการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของพันธะการยึดติดของการเตรียมพื้นผิวพอร์ซเลน
ด้วยวิธีต่าง ๆ

ผู้วิจัย	รอยต่อพื้นผิว (interface)	การศึกษา	การ เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ (°C/cycle)	การทดลอง	
				วิธีการ	ค่าความ แข็งแรงพันธะ (MPa)
Lacy และ คณะ (1988)	พอร์ซเลน (Will-Ceram) – เรซินคอมโพสิต (P-30)	ความทน แรงเฉือน	-	bur bur, silane bur, APF bur, APF, silane bur, HF bur, HF, silane	7.06 15.39 8.12 39.49 9.58 47.78
Sorensen และคณะ (1991)	พอร์ซเลน (9 ชนิด) – เรซิน คอมโพสิต (Heliolux II)	ความทน แรงเฉือน	5/50°C 1,000	no treatment silane HF HF, silane	5.76 7.81 13.63 13.3
Suliman และ คณะ (1993)	พอร์ซเลน (Vita VMK 68) – เรซินคอมโพสิต (Prisma AP.H)	ความทน แรงเฉือน	5/55°C 500	bur sandblast HF	14.29 13.37 16.73
Pameijer และ คณะ (1996)	พอร์ซเลน (Vita VMK) – เรซิน คอมโพสิต	ความทน แรงเฉือน	-	glaze bur sandblast HF sandblast, HF	3.75 9.34 10.64 13.65 14.39

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ผู้วิจัย	รอยต่อพื้นผิว (interface)	การศึกษา	การ เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ (°C/cycle)	การทดลอง		
				วิธีการ	ค่าความ แข็งแรงพันธะ (MPa)	
Jardel และ คณะ (1999)	พอร์ซเลน (GC, PVS) – เรซิน ซีเมนต์ (Super- Bond)	ความทน แรงดึง	-	no treatment HF silane HF, silane	GC 8.3 11.6 19.6 21.7	PVS 6.9 11.2 12.4 14.6
Haselton และ คณะ (2001)	พอร์ซเลน (Vita VMK 68) – เรซินคอมโพสิต (Tetric Ceram)	ความทน แรงเฉือน	5/55°C 300	ceramic repair system (Ivoclar) CoJet System	22.4 18.3	
Filho และ คณะ (2004)	พอร์ซเลน (IPS Empress 2) – เรซินคอมโพสิต (Filtek Z250)	ความทน แรงดึง	-	no treatment HF silane HF, silane	0 35.1 44.8 56.8	
Nagayassu และคณะ (2006)	พอร์ซเลน (Vitadur α) – เรซินซีเมนต์ (Bistite II)	ความทน แรงเฉือน	-	no treatment sandblast HF sandblast, HF	6.09 14.21 10.04 12.74	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวสลิต กาจกำแพง		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910820012		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2545	

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ วิทยาลัยการสาธารณสุข
สิรินธร จังหวัดยะลา ปีการศึกษา 2549-2552

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ทันตแพทย์ 6 วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดยะลา สถาบันพระบรมราชชนก
สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข