



ผลของกรดซิตริกต่อความคงทนของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่าง
ไอพีเอสเอ็มเพรสเซรามิก และเรซินซีเมนต์

**Effect of Citric Acid on Bond Durability between IPS Empress Ceramic and
Resin Cement**

ปวีณา รันทกิจ

Paweena Rantakit

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

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดซัลฟูริกต่อความคงทนของค่าความแข็งแรงการยึดติกระหว่าง
ไอพีเอสเอ็มเพรสเซรามิก และเรซินซีเมนต์
ผู้เขียน นางสาวปวีณา รันทกิจ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยรัตน์ เถลิมรัตน์โรจน์)

สมจิณต์ รัตนเสถียร.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมจิณต์ รัตนเสถียร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยรัตน์ เถลิมรัตน์โรจน์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระชัย ธรรมวานิช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระชัย ธรรมวานิช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ สมิตไมตรี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต พูลทอง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สุขภาพช่องปาก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดซัลฟิวริกต่อความคงทนของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่าง ไอพีเอส
เอ็มเพรสเซรามิก และเรซินซีเมนต์

ผู้เขียน นางสาวปวีณา รันทกิจ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

ความคงทนของการยึดติดกันระหว่างเรซินและเซรามิกมีความสำคัญต่อความสำเร็จของวัสดุบูรณะชนิดทางอ้อมเซรามิกประเภทวัสดุอุดฟัน มีรายงานการศึกษาที่พบว่าการหลุดของวัสดุดังกล่าวภายหลังการยึดซึ่งสาเหตุการสูญเสียการยึดติดอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น มีความบกพร่องของเทคนิคในการยึดวัสดุบูรณะ มีการปนเปื้อนน้ำลาย และขาดการเตรียมพื้นผิวเซรามิกที่เหมาะสม นอกจากนี้ในช่องปากยังมีปัจจัยของน้ำลาย ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร และ เครื่องดื่มซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสื่อมของวัสดุกลุ่มเรซิน โพลีเมอร์ได้ เนื่องจากเรซินคอมโพสิตง่ายต่อการเกิดไฮโดรไลซิสและการเสื่อมของการยึดติดกันที่บริเวณรอยต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอุดแทรก ดังนั้นสารประกอบทางเคมีในช่องปากเช่น น้ำลาย หรือ อาหารและเครื่องดื่มอาจส่งผลให้เกิดการเสื่อมของวัสดุเรซินโพลีเมอร์ดังกล่าวข้างต้นได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมทางเคมีของเรซินโพลีเมอร์เช่น เรซินซีเมนต์ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิกได้และยังมีการศึกษาจำนวนน้อยเกี่ยวกับความคงทนของการยึดติดเมื่อเรซินซีเมนต์สัมผัสน้ำลายเทียมและกรดเป็นระยะเวลานาน

วัตถุประสงค์: เพื่อ (1) เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงการยึดติดแบบแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิก ไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกและเรซินซีเมนต์สองชนิดคือวาริโอลลิงก์ทูและรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ภายหลังการแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำลายเทียม และกรดซัลฟิวริกซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.2 เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน และ (2) ประเมินรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมต่อ

วัสดุและวิธีการ: เตรียมชิ้นเซรามิกชนิดไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกขนาด 6X6X12 มม³ จำนวน 14 ชิ้นขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 240, 360, 600 และ 1,200 กริท ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคนาน 10 นาที เตรียมชิ้นเรซินคอมโพสิตจำนวน 14 ชิ้นจากแบบหล่อโลหะขนาด 6X6X12 มม³ โดยอุดเรซินคอมโพสิตเป็นชั้นๆ ฉายแสงนาน 40 วินาที แบ่งเซรามิกและเรซินคอมโพสิตเป็นสองกลุ่มตามการเตรียมพื้นผิวเซรามิก (1) ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก,

ทาสารไซเลน, ทาสารยึคติดเฮลิโอบอนด์และยึคกับซึนเรซินคอมโพสิตด้วยวาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ (2) ปรับสภาพผิวด้วยกรดและสารไซเลนเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1 และยึคกับซึนเรซินคอมโพสิตด้วยริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ ฉายแสงนาน 40 และ 20 วินาทีสำหรับวาริโอลิงค์ทูและริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ตามลำดับ แช่วัคซึนทดสอบที่ยึคติดกันในน้ปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดเป็นแท่งทดสอบขนาดเล็ก (พื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร) แท่งทดสอบในแต่ละกลุ่มของซีเมนต์จะถูกแบ่งอย่างสุ่มไปทดสอบทันที (กลุ่มควบคุมจำนวน 15 แท่ง) และแช่วในสารทดสอบ 3 ชนิดได้แก่ น้ปราศจากไอออน น้ลายเทียม และกรดซิตริกซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.2 นำมาทดสอบค่าความแข็งแรงการยึคติดแบบดิงชนิดไมโครเทนไซล์ที่เวลาต่างๆ (กลุ่มละ 15 แท่ง) ดังต่อไปนี้ 7 วัน 1, 2 และ 3 เดือนภายหลังการยึคติด ตรวจสอบรูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว สถิติที่ใช้คือสถิติการทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส (Kruskal-Wallis) และการทดสอบของแมน วิทนี (Mann-Whitney U-test) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึคติดแบบดิงชนิดไมโครเทนไซล์

ผลการทดลอง: ผลการศึกษาพบว่าสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดไม่มีผลต่อความคงทนของค่าความแข็งแรงการยึคติดของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด ยกเว้นกลุ่มของริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่วในน้ปราศจากไอออนพบว่าค่าความแข็งแรงการยึคติดของกลุ่มที่ทดสอบหลังแช่วนาน 7 วัน 1, 2 และ 3 เดือนมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงการยึคติดระหว่างกลุ่มที่แช่วในน้ปราศจากไอออนและน้ลายเทียม และระหว่างน้ปราศจากไอออนและกรดซิตริกในกลุ่มทดสอบที่เวลา 1 เดือนของริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ ความแข็งแรงการยึคติดของวาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์มีค่ามากกว่าริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่แช่วในน้ปราศจากไอออนที่เวลา 7 วันและ 1 เดือน และกลุ่มที่แช่วในกรดซิตริกที่เวลา 7 วัน รูปแบบการแตกหักของกลุ่มควบคุมร้อยละ 66.7 เป็นการแตกหักในเซรามิก ภายหลังการแช่วสารทดสอบพบว่าทุกกลุ่มมีรูปแบบการแตกหักแบบผสมของเซรามิกและเรซินซีเมนต์ ยกเว้นกลุ่มของริไลเอ็ชยูนิเซ็มที่แช่วในกรดซิตริกนาน 1 เดือนขึ้นไปพบว่าเกิดการแตกหักในเรซินซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

สรุป: การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงการยึคติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดมีความคงทนต่อการเสื่อมภายหลังจากการแช่วในสารทดสอบนาน 3 เดือน ยกเว้นกลุ่มที่ยึคด้วยริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่วในน้ปราศจากไอออน การสัมผัสกรดซิตริกเป็นเวลานานมีผลทำให้เกิดการเสื่อมคุณสมบัติของริไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มากกว่าวาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์

Thesis Title Effect of Citric Acid on Bond Durability between IPS Empress Ceramic and Resin Cement

Author Miss Paweena Rantakit

Major Program Oral Health Sciences

Academic Year 2009

ABSTRACT

Introduction: The long-term durability of the resin-ceramic bond is of importance to the longevity of the indirect ceramic inlay. Evidence of loss of adhesion after cementation was occasionally found. There were several causes of bond failure such as poor operator technique, saliva contamination and the deficiency of surface treatment technique. Besides, the presence of saliva, food components and beverages can degrade polymeric resin materials. Because the dental composite is prone to hydrolysis and subsequently disintegration at the resin-filler interface, the chemical environment in oral cavity may have a critical influence on the degradation of polymeric resin materials. The softening and degradation of resin, which may be associated with increased bond failure in resin-ceramic bonding, have never been evaluated. Moreover, very little is known about resin-ceramic bond durability when aging in saliva and acidic beverages.

Objectives: The purposes of this study were to compare (1) bond durability of ceramic and two resin cements (Variolink II and RelyX Unicem) in deionized water, artificial saliva and citric acid at pH 3.2 and (2) failure mode of bonding of the resin cements after exposure to the testing conditions at various exposure periods.

Materials and methods: Fourteen ceramic (IPS Empress Esthetic) blocks (6X6X12mm) were fabricated, polished up to 1200-grit SiC paper and ultrasonically cleaned for 10 minutes. Fourteen resin composite blocks (6X6X12mm) were fabricated by incrementally condensed into a metal split mold and each layer was light polymerized for 40 seconds. One resin composite block was fabricated for each ceramic block. Ceramic blocks were divided into two groups of surface conditioning and cementation method (1) applied hydrofluoric acid, silane and resin adhesive, mixed two pastes of Variolink II resin cement and applied on ceramic bonded

surface (2) applied hydrofluoric acid and silane as group1, mixed RelyX Unicem resin cement and applied on ceramic bonded surface. Each conditioned ceramic was bonded to resin composite block. The resin cement was light polymerized for 40 seconds for group1 and 20 seconds for group2. All the bonded specimens were stored in deionized water at 37°C for 24 hours and then serially sectioned to produce beam specimens (approximate 1.0 mm² bonded area). For each group of cement, beam specimens were randomly selected for immediate testing as a control (n=15) and divided to store in three storage mediums (1) deionized water/H₂O (2) artificial saliva/AS (3) citric acid pH 3.2/CT. Specimens prepared for each solution were randomly selected for the microtensile bond strength (μ TBS) test at a crosshead speed of 0.5 mm/min after 7-day 1, 2 and 3-month (n=15). Fracture surfaces were examined by use of measuring microscope. The microtensile bond strength data was analyzed by using the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U-test at 95% confidence interval.

Results: The result showed that, there was no significant difference of the μ TBS of VII group as a function of time. However, in the case of RelyX Unicem group stored in deionized water, the μ TBS after 7-day 1, 2 and 3-month decreased significantly from initial bond strength. There was the significant difference between H₂O/AS and H₂O/CT group in the RelyX Unicem group tested at 1-month. The μ TBS of Variolink II group was significantly higher than RelyX Unicem group in the 7-day and 1-month groups stored in deionized water and the 7-day group stored in citric acid pH 3.2. The failure mode changed from cohesive failure in ceramic at initial testing of control group to mixed cohesive failure in ceramic and resin cement in all groups test after 7-day. The exception were the RelyX Unicem group tested after 1, 2 and 3-month storage in citric acid pH 3.2 which the predominant mode changed to cohesive failure in resin cement.

Conclusion: Bond between leucite-reinforced glass-ceramic to both resin cements were durable when storage in water, artificial saliva and citric acid pH 3.2 for 3 months, except for RelyX Unicem group stored in deionized water. Long-term storage in citric acid had detrimental effect on RelyX Unicem resin cement itself more than Variolink II resin cement as showed by cohesive failure in resin cement as a predominant mode of failure.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์ไชยรัตน์ เถลิมนรัตนโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์วีระชัย ธรรมวานิช ท่านอาจารย์ผู้ซึ่งให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อข้าพเจ้าในการให้ความรู้ คำปรึกษา และตรวจสอบเพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ลุล่วง ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิง สมจินต์ รัตนเสถียร อาจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิง สุพานี นูรณะธรรม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิง จุฑาทิพย์ สมิตโมตรี ท่านอาจารย์ผู้ซึ่งให้ความกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อข้าพเจ้าในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านรวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์ สุจิต พูลทอง ผู้ซึ่งให้ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์และภาควิชาชีววิทยาช่องปากและระบบการบดเคี้ยวที่เอื้ออำนวยสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณ คุณจรยา และคุณบรรเจิด นักวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณน้องดาร์ ช่างทันตกรรมที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมชิ้นงานเซรามิก รวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยกลางทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ซึ่งให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หน่วยบัณฑิตวิทยาลัยในการตรวจสอบและแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องและเป็นกำลังใจที่ดีให้ข้าพเจ้าเสมอมา รวมถึงอาจารย์วีระชัย ธรรมวานิช และอาจารย์สมจินต์ รัตนเสถียรซึ่งเป็นคุณครูผู้มีทั้งความเมตตา กรุณาและความเสียสละที่เป็นแบบอย่างให้แก่ข้าพเจ้าและสนับสนุนให้ข้าพเจ้ามีความมานะ พากเพียรจนประสบความสำเร็จในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและสั่งสอนให้มีคุณธรรมและจริยธรรมในการดำรงชีวิตและการดูแลรักษาผู้ป่วยในฐานะวิชาชีพทันตแพทย์ และขอขอบคุณรุ่นพี่และน้องๆป.โททันตกรรมอนุรักษ์ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าเสมอมา

ปวีณา รันทกิจ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำขึ้นเรื่อง	1
การทบทวนวรรณกรรม	3
วัตถุประสงค์	14
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	15
3 ผลการวิจัย	24
1. ค่าความแข็งแรงการยึดติดแบบดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิก และเรซินซีเมนต์	24
2. รูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิก แลเรซินซีเมนต์	34
3. การตรวจพื้นผิวรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว	38
4 บทวิจารณ์	49
5 บทสรุป	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้เขียน	87

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงส่วนประกอบของเซรามิก	17
2 แสดงส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์	19
3 แสดงวิธีการเตรียมพื้นผิวเซรามิกและการผสมเรซินซีเมนต์	19
4 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ของวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์	25
5 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	26
6 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือน	28
7 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาของกลุ่มวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์เมื่อแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด ใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส	29
8 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาของกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์เมื่อแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส	29
9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดแบบแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างกลุ่มทดสอบที่เวลาต่างๆของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกซ์	30
10 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของสารทดสอบ 3 ชนิดของวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ เมื่อทดสอบ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส	31
11 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของสารทดสอบ 3 ชนิดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ เมื่อทดสอบ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส	32
12 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดแบบแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างสารทดสอบ 3 ชนิดเมื่อทดสอบที่เวลาต่างๆกันของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามเมตริกซ์	32

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดในแต่ละกลุ่มทดลอง	33
14 แสดงจำนวน และสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของรูปแบบการแตกหักกับบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่มวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์	36
15 แสดงจำนวน และสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของรูปแบบการแตกหักกับบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	37
16 แสดงการแบ่งกลุ่มแท่งทดสอบภายหลังการตัดชิ้นทดสอบจำนวน 7 ชิ้น ของเรซินซีเมนต์ 1 ชนิด (ชิ้นทดสอบ 1 ชิ้นตัดแบ่งได้แท่งทดสอบจำนวน 28 แท่ง)	69
17 แสดงการแบ่งกลุ่มแท่งทดสอบเพื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงของเรซินซีเมนต์ 1 ชนิด ช่วงเวลาต่างๆ	70
18 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด	71
19 แสดงค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวบริเวณรอยเชื่อมต่อของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด	71
20 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่น้ำปราศจากไอออน โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริก ชนิดแมน วิทนีย์	72
21 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่น้ำลายเทียม โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริก ชนิดแมน วิทนีย์	73
22 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในกรดซิตริก โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริก ชนิดแมน วิทนีย์	74
23 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มสารทดสอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่เวลา 1 เดือน โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดแมน วิทนีย์	75
24 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด ณ เวลาต่างๆ โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริก ชนิดแมน วิทนีย์	76

รายการรูป

รูป	หน้า	
1	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอนอเมอร์	5
2	แสดงตำแหน่งในการวัดความหยาบพื้นผิวของซีเมนต์เรซามิก	18
3	แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบกลุ่มต่างๆ	21
4	Box plot แสดงการกระจายของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ และค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือน	28
5	แสดงสัดส่วนเป็นร้อยละของรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่มวารีโอ-ลิงก์ทูเรซินซีเมนต์และกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ในสารทดสอบ 3 ชนิด	35
6	แสดงรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นฝั่งหน้าตัดของแท่งเรซามิกและฝั่งของแท่งเรซิน-คอมโพสิต	38
7	แสดงรูปแบบการแตกหักของกลุ่มควบคุม	39
8	แสดงรูปแบบการแตกหักภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 7 วัน	40
9	แสดงรูปแบบการแตกหักภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 1 เดือน	41
10	แสดงรูปแบบการแตกหักภายหลังการแช่ในสารทดสอบ นาน 2 เดือน	42
11	แสดงรูปแบบการแตกหักภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 3 เดือน	43
12	แสดงแท่งทดสอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในกรดซิตริก นาน 1 เดือน	44
13	แสดงแท่งทดสอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในกรดซิตริก นาน 3 เดือน	47
14	แสดงลักษณะพื้นผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกเซรามิกภายหลังการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์	77
15	แสดงลักษณะพื้นผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกเซรามิกภายหลังการขัด และปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก	77
16	แสดงลักษณะพื้นผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกเซรามิกภายหลังการขัด และปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และทาด้วยสารไซเลน	78
17	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 1 ของแท่งเรซามิกทดสอบ กลุ่มควบคุมของวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์	79

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
18	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 1 ของแท่งเซรามิกทดสอบ กลุ่มควบคุมของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	80
19	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 2 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์	81
20	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 2 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	82
21	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 3 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	83
22	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 4 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	84
23	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 5 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์	85
24	แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 5 ของแท่งเซรามิกทดสอบ ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์	86

บทที่ 1

บทนำ

บทนำตั้งเรื่อง

ปัจจุบันงานทันตกรรมเพื่อความสวยงามได้รับความนิยมจากผู้ป่วยมากขึ้นรวมถึงการบูรณะฟันหลังเมื่อมีการสูญเสียเนื้อฟันในปริมาณมากด้วยวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดทางอ้อม (indirect restoration) เช่น งานอุดฝัง (inlay) และงานอุดครอบ (onlay) ทั้งนี้เนื่องจากเซรามิกมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานการแตกหักเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยว มีความคงทน เข้ากับเนื้อเยื่อในช่องปากได้ดีและมีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ โดยในปี 1983 ได้มีการพัฒนาเซรามิกชนิดอัดความดันโดยใช้ความร้อน (heated pressed ceramics) ภายใต้ชื่อทางการค้า ไอพีเอสเอ็มเพรส ซึ่งการเตรียมชิ้นงานคล้ายกับงานโลหะโดยการทำแบบขี้ผึ้งและใช้ความร้อนสูงในการหลอมและกดอัดก่อนเซรามิกเข้าไปแทนที่แบบขี้ผึ้ง (loss-wax technique) ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงต้านทานต่อการคดงอ (flexural strength) สูง¹ โดยทางบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในการทำครอบฟัน (crown) งานอุดฝัง (inlay) และงานอุดครอบ (onlay)

ในขณะเดียวกันได้มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์เพื่อใช้ยึดวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดทางอ้อมเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง การยึดวัสดุบูรณะชนิดทางอ้อมด้วยเรซินซีเมนต์โดยทั่วไปฟันจะถูกปรับสภาพผิวด้วยกรดแล้วจึงใช้สารไพรเมอร์ (primer) และสารยึดติด (adhesive) ทาก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ซึ่งเรียกว่า ระบบโททัลเอช (total-etch หรือ etch and rinse)² ข้อดีของระบบนี้คือมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอาการเสียวฟันภายหลังการยึดวัสดุบูรณะ³ องค์ประกอบหลักของเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ คือ เรซินแมทริกซ์ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยมอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาคริเลท (dimethacrylate) เช่น บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) เท็กดีมา (TEGDMA) ยูดีเอ็มเอ (UDMA) และวัสดุอัดแทรก (filler) เช่น ซิลิกา ควอตซ์ แบเรียม เป็นต้น แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่เพื่อลดขั้นตอนในการทำงานโดยในการยึดติดกับฟันไม่มีขั้นตอนการปรับสภาพผิวฟัน เนื่องจากส่วนของเรซินแมทริกซ์ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันได้ (polymerizable acidic monomer) ดังนั้นเรซินซีเมนต์จึงมีความเป็นกรดสามารถปรับสภาพผิวฟัน (self-etching) พร้อมกับเกิดการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับฟันและวัสดุบูรณะได้ อย่างไรก็ตามการมีกลุ่มฟอสเฟตซึ่งจัดเป็น โมเลกุลมีขั้วเป็นส่วนประกอบทำให้มอนอเมอร์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilicity)⁴ ⁵มากกว่ามอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาคริเลทนอกจากนี้ส่วนของ

วัสดุอัดแทรก คือ แก้วอลูมิโนฟลูออโรซิลิเกต (alumino-fluoro-silicate glass) สามารถเกิดปฏิกิริยากรด-เบสกับมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดทำให้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์เพื่อป้องกันการเกิดฟันผุ อย่างไรก็ตามแม้จะมีลักษณะร่วมระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์และเรซินซีเมนต์ ซีเมนต์ชนิดนี้ถูกจัดกลุ่มไว้เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดสามารถยึดติดได้เอง (self-adhesive resin cement) ซึ่งพบว่า ทั้งเรซินซีเมนต์ระบบโททัลเอชและระบบยึดติดได้เองมีความสามารถในการยึดติดกับฟันได้ดี^{6,7}

การยึดติดที่ดีในระยะยาวระหว่างฟัน เรซินซีเมนต์ และวัสดุบูรณะฟันเซรามิกเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งซึ่งแสดงถึงอัตราความสำเร็จของวัสดุบูรณะชนิดทางอ้อม การติดตามผลการใช้งานของเซรามิกอุดฟันและเซรามิกอุดครอบนาน 6-8 ปีพบว่า ประสบความสำเร็จในทางคลินิกดี^{8,9} ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบ คือ การแตกหักของเซรามิก อย่างไรก็ตาม Stoll และคณะ¹⁰ ติดตามผลการใช้งานวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดอุดฟันและอุดครอบนาน 10 ปีพบว่า มีการสูญเสียการยึดติดของวัสดุบูรณะดังกล่าวภายหลังการใช้งาน ผลการศึกษาการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกในห้องปฏิบัติการพบว่า น้ำสามารถทำให้เกิดการเสื่อม (hydrolysis degradation) การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกได้โดยการทำลายพันธะไฮดรอกซิล (Si-O-Si)¹¹ นอกจากนี้ น้ำสามารถทำให้เกิดการเสื่อมของวัสดุเรซินคอมโพสิตได้ที่ตำแหน่งรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก (resin-filler interface) ดังนั้นหากเรซินซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุกลุ่มเรซินโพลีเมอร์สัมผัสกับน้ำ กระบวนการเสื่อมที่เกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกได้ นอกจากนี้ภายในช่องปากยังมีปัจจัยทางเคมีอื่นๆ เช่น การสัมผัสกับน้ำลาย อาหารและเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรด-เบสสามารถทำให้เกิดการเสื่อมของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่อยู่ในช่องปากได้¹²⁻¹⁴ โดยกระบวนการเสื่อมทางเคมี (chemical degradation) และอาจส่งผลกระทบต่อเรซินซีเมนต์รวมถึงความสามารถในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกได้เช่นกัน

ปัจจุบันมีความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มน้ำผลไม้เพิ่มมากขึ้น โดยกรดซิตริกพบมากในน้ำผลไม้จำพวกส้มและมะนาว กรดซิตริกที่มีความเป็นกรดสูงทำให้เกิดการสึกกร่อนของฟันได้¹⁵ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุบูรณะฟันในช่องปากโดยทำให้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์และวัสดุกลุ่มเรซินโพลีเมอร์ เช่น เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ และคอมโพเมอร์ เกิดการสึกกร่อนบริเวณพื้นผิวทำให้มีความหยาบบริเวณพื้นผิวมากขึ้น^{16, 17} และมีความแข็งบริเวณพื้นผิวลดลง^{18, 19} การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลบริเวณพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมทางเคมีภายหลังการสัมผัสกรดของวัสดุกลุ่มดังกล่าวซึ่งมีลักษณะร่วมกัน คือ ประกอบด้วยวัสดุอัดแทรกเช่นเดียวกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์และเรซินแมทริกซ์ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ สำหรับเรซินคอมโพสิตนั้นพบว่าเรซินคอมโพสิตซึ่งมีวัสดุอัดแทรกเช่นเดียวกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์เกิดการเสื่อมได้ในสภาวะสัมผัสกรด^{18,20} อย่างไรก็ตามภาวะความเป็นกรดส่งผลกระทบต่อวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมเพียงเล็กน้อย²¹

ดังนั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่า หากเรซินซีเมนต์ชนิดสามารถยึดติดได้เองประกอบด้วยเรซินแมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและมีส่วนของวัสดุอัดแทรกซึ่งง่ายต่อการเสื่อมโดยกรด เมื่ออยู่ใน

สถานะที่สัมพันธ์กับกรดซัลฟิวริกเป็นเวลานานอาจเกิดการเสื่อมทางเคมีและส่งผลต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก รวมถึงส่งผลต่อรูปแบบการแตกหักแตกต่างไปจากเรซินซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมซึ่งมีส่วนของมอนอเมอร์ชนิดครอสลิงค์เป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำความรู้ไปใช้ในทางคลินิกและอาจนำไปสู่การปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์เพื่อให้การบูรณะด้วยวัสดุบูรณะแบบทางอ้อมประสบความสำเร็จในระยะยาว

การทบทวนวรรณกรรม

เดนทัลเซรามิก

เดนทัลเซรามิก (dental ceramic) เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง คงทนถาวร เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก²² ดังนั้นวัสดุบูรณะฟันหลังแบบทางอ้อมเช่น งานอุดฝัง (inlay) และงานอุดครอบ (onlay) ซึ่งทำจากเซรามิกจึงได้รับความนิยมในการบูรณะฟันหลังกรณีที่มีการสูญเสียเนื้อฟันในปริมาณมากและต้องการบูรณะให้ได้ความสวยงาม ที่ผ่านมามีการพัฒนาคุณสมบัติของเซรามิกให้มีความสวยงามและมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจากเซรามิกชนิดดั้งเดิม หรือเฟลด์สปาทิกเซรามิก (feldspathic ceramics) ซึ่งต้องผ่านกระบวนการนำชิ้นงานเข้าเตาเผาได้เป็นชิ้นงานที่มีความสวยงามสูงและมีความแข็งแรงพอสมควร ต่อมาในปี 1983 ได้มีการพัฒนาเซรามิกชนิดอัดความดันโดยใช้ความร้อน (heated pressed ceramics) คือ ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress หรือ leucite-reinforced glass ceramics) โดยมีส่วนประกอบสำคัญคือ ลิวไซท์ ($K_2OAl_2O_3 \cdot 4SiO_2$) ปริมาณร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซรามิก โดยทางบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในการทำครอบฟัน (crown) งานอุดฝัง และงานอุดครอบ ซึ่งการเตรียมชิ้นงานคล้ายกับงานโลหะโดยการทำแบบขี้ผึ้งและใช้ความร้อนสูงในการหลอมและกดอัดก้อนเซรามิกเข้าไปแทนที่แบบขี้ผึ้ง (loss-wax technique) ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความทนแรงดัด (flexural strength) ที่สูง¹ ทั้งนี้เป็นผลจากการกระจายตัวของผลึกลิวไซท์ภายหลังจากกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน (heat pressing)¹ และการมีจำนวนของผลึกลิวไซท์เพิ่มขึ้นภายหลังจากกระบวนการเผา (firing)²³ ปัจจุบันมีการปรับปรุงเทคนิคในการผลิตเซรามิกชนิดดังกล่าวเพื่อพัฒนาให้มีความทนแรงดัดที่ดีขึ้นภายใต้ชื่อผลิตภัณฑ์ ไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเทติก (IPS Empress Esthetic) โดยยังคงมีส่วนประกอบหลักทางเคมีเหมือนไอพีเอสเอ็มเพรส แต่โครงสร้างระดับจุลภาคมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า มีการกระจายตัวของผลึกลิวไซท์ที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างสม่ำเสมอและมีความหนาแน่นมากขึ้นทำให้เซรามิกชนิดนี้มีความแข็งแรงด้านทานต่อการดัดงอเพิ่มขึ้น

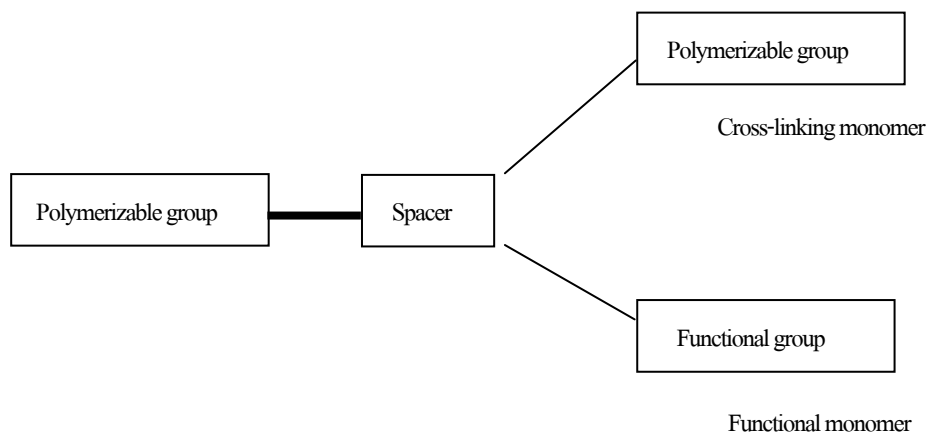
เรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์ถูกนำมาใช้งานทางทันตกรรมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในการยึดวัสดุบูรณะฟันเซรามิกชนิดทางอ้อม เช่น ครอบฟันเซรามิกล้วน (all ceramic crown) พอร์ซเลนวีเนียร์ (porcelain veneers) งานอุดครอบ และงานอุดฝัง ทั้งนี้เนื่องมาจากเรซินซีเมนต์ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุบูรณะฟัน เซรามิก²⁴ และทำให้เกิดการยึดติดที่ีระหว่างฟันและวัสดุบูรณะฟันเซรามิกชนิดทางอ้อม^{9, 25} โดยในขั้นตอนของการยึดด้วยเรซินซีเมนต์นั้นส่วนของฟันได้แก่ ผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน รวมถึงเซรามิกควรได้รับการปรับสภาพพื้นผิวก่อนเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ีระหว่างฟันเรซินซีเมนต์ และเซรามิก

เรซินซีเมนต์มีส่วนประกอบหลักเช่นเดียวกับเรซินคอมโพสิตคือ เรซินเมทริกซ์ โดยทั่วไปประกอบด้วยมอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาคริเลทเช่น บิสฟินอล เอ ไดโกลซิคลิเมทาคริเลท (bisphenol A diglycidyl methacrylate/Bis-GMA) ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลท (triethylene glycol dimethacrylate/TEGDMA) ยูรีเทน ไดเมทาคริเลท (urethane dimethacrylate/UDMA) และ วัสดุอัดแทรกปริมาณร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างเช่น ซิลิกา คิวทซ์ แบเรียม เป็นต้น และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ตัวกระตุ้นปฏิกิริยาการบ่มด้วยแสง เป็นต้น

เรซินซีเมนต์แบ่งเป็น 3 ชนิดตามปฏิกิริยาการบ่มตัว²⁶ ได้แก่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองหรือบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical cure) ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light cure) และชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีและแสง (dual cure) เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองมีเวลาในการทำงานสั้นกว่า และเนื่องจากไม่ต้องการแสงเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานครอบฟันโลหะ เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีเวลาในการทำงาน (working time) เพิ่มขึ้นและสามารถแข็งตัวได้ภายหลังการฉายแสง อย่างไรก็ตามสีและความหนาของวัสดุบูรณะเซรามิกมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (conversion rate) ดังนั้นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงจึงเหมาะสำหรับยึดวัสดุบูรณะเซรามิกที่มีลักษณะบาง สำหรับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีและแสงมีข้อดีคือ ช่วยเพิ่มเวลาในการทำงานและสามารถแข็งตัวได้ภายหลังการฉายแสง นอกจากนี้ส่วนของตัวกระตุ้นเคมี (chemical activator) ทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้นจึงเหมาะสำหรับการยึดวัสดุบูรณะชนิดทางอ้อมที่มีความหนา แม้ว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีและแสงสามารถแข็งตัวได้โดยไม่ต้องมีการฉายแสง อย่างไรก็ตามการฉายแสงทำให้เรซินซีเมนต์มีคุณสมบัติความแข็งผิวและการยึดติดกับเซรามิกที่ดีกว่า²⁷

มอนอเมอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเรซินเมทริกซ์และมีส่วนกำหนดคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์นั้น โดยทั่วไปมีโครงสร้างหลักแบ่งเป็น 3 ส่วน (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของมอนอเมอร์ (คัดลอกจาก Biomaterials 2007; 28(26): 3757-3785)

(1) กลุ่มโพลิเมอร์ไรซ์ (polymerizable group) เป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันตัวอย่างได้แก่ อคริเลท (acrylate) และเมทาคริเลท (metacrylate) ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถถูกทำให้เชื่อมได้โดยน้ำที่ตำแหน่งกลุ่มเอสเทอร์ (ester group)²⁸ เนื่องจากเมทาคริเลทสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันได้ดีและมีความเป็นพิษน้อยกว่าอคริเลท ดังนั้นจึงได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานมากกว่า

(2) ส่วนเชื่อมต่อ (spacer) มีอิทธิพลในการกำหนดคุณสมบัติของมอนอเมอร์ เช่น ความหนืด (viscosity) ความสามารถในการละลาย (solubility) เป็นต้น

(3) อาจเป็นกลุ่มโพลิเมอร์ไรซ์ หรือกลุ่มฟังก์ชันนัล (functional group) ซึ่งกลุ่มฟังก์ชันนัลเป็นส่วนเพิ่มเติมเพื่อให้มอนอเมอร์มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ตัวอย่างได้แก่ กลุ่มฟอสเฟต กรดคาร์บอกซิลิก และกลุ่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งกลุ่มที่มีความเป็นกรดนี้สามารถปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนและเกิดปฏิกิริยากรด-เบสได้ และมีส่วนในการทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุของฟัน นอกจากนี้กลุ่มฟังก์ชันนัลโดยทั่วไปมีลักษณะชอบน้ำทำให้มีความสามารถในการเปียกพื้นผิวเนื้อฟัน (wetting dentin) และทำให้สารยึดติด (adhesive) เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นกับเนื้อฟันซึ่งมีความชื้น อย่างไรก็ตามกลุ่มฟังก์ชันนัลเหล่านี้สามารถถูกทำให้เชื่อมโดยน้ำได้เช่นกัน⁴

มอนอเมอร์แบ่งเป็น 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างได้แก่

(1) มอนอเมอร์ชนิดครอสลิงก์ (crosslinking monomer) ประกอบด้วยกลุ่มโพลิเมอร์ไรซ์อย่างน้อย 2 กลุ่ม ตัวอย่างของมอนอเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น บิสจีเอ็มเอ เท็กคิมา ยูดีเอ็มเอ เป็นต้น บิสจีเอ็มเอเป็นมอนอเมอร์ชนิดไคเมทาคริเลทที่มีลักษณะข้นหนืดเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีบริเวณส่วนเชื่อมต่อเป็นวงแหวนอโรมาติกทำให้มีค่าการละลายในน้ำและตัวทำละลายต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่นเพื่อช่วยในการละลาย เช่น เท็กคิมา ยูดีเอ็มเอ เป็นต้น

มอนอเมอร์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติความชอบน้ำที่แตกต่างกันดังนั้นสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในเรซินซีเมนต์จึงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติความชอบน้ำของเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

มอนอเมอร์กลุ่มนี้พบในเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบสารยึดติดซึ่งมีการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดและต้องล้างน้ำก่อนที่จะทาสารยึดติด ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์และระบบสารยึดติดที่ใช้ เช่น วาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ (Variolink II) ร่วมกับสารยึดติดเฮลิโอบอนด์ (Heliobond) เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าข้อดีของระบบนี้ คือ มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการเสียวฟันภายหลังการยึดวัสดุบูรณะ³

(2) มอนอเมอร์ชนิดฟังก์ชันนัล (functional monomer) ประกอบด้วยกลุ่มโพลีเมอร์ไรซ์อย่างน้อย 1 กลุ่มและกลุ่มฟังก์ชันนัลซึ่งทำให้มอนอเมอร์แสดงคุณสมบัติเฉพาะดังที่กล่าวข้างต้น ตัวอย่างของมอนอเมอร์ชนิดนี้ เช่น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (2-hydroxyethylmethacrylate/HEMA) 4-เมทาคริโกลิลออกซีเอทิลไตรเมทิลเทคแอนไฮไดรด์ (4-methacryloyloxyethyl trimellitateanhydride/4-META) และ 10-เมทาคริโกลิลออกซีเดซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (10-methacryloyloxydecyl dihydrogenphosphate/10-MDP) เป็นต้น⁴

พบบมอนอเมอร์กลุ่มนี้ในเรซินซีเมนต์ที่มีระบบสารยึดติดที่ไม่ต้องล้างน้ำภายหลังการปรับสภาพผิวฟัน เนื่องจากมอนอเมอร์สามารถปรับสภาพผิวฟันและเกิดการยึดติดกับเนื้อฟันในขั้นตอนเดียวเรียกว่า ระบบเซล์ฟเอช (self-etch) ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ ได้แก่ ปานาเวีย (Panavia) และซีแอนด์บีเมตาบอนด์ (C&B Metabond) เป็นต้น

ต่อมาได้มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์ชนิดใหม่ภายใต้ชื่อ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ (RelyX Unicem) เพื่อให้ใช้งานง่ายเหมือนการใช้งานของซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นต้น โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพผิวฟันหลายขั้นตอนเหมือนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมโดยทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ฟอสฟอริกแอซิด (เม็ท) อคริเลทเรซิน (phosphoric acid (meth)acrylate resin) ซึ่งมีกรดฟอสฟอริกเป็นกลุ่มฟังก์ชันนัลในมอนอเมอร์ชนิดนี้ ความเป็นกรดของกลุ่มฟังก์ชันนัลสามารถปรับสภาพผิวฟันพร้อมกับเกิดการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับฟันได้ ซีเมนต์ชนิดนี้ถูกจัดกลุ่มไว้เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดสามารถยึดติดตัวเอง (self-adhesive resin cement) นอกจากนี้ส่วนของวัสดุอุดแทรกมีส่วนประกอบคล้ายวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ คือ แก้วลูมิโนฟลูออโรซิลิเกต (alumino-fluoro-silicate glass) ปริมาณร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยาการแข็งตัวจึงมีทั้งปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) และปฏิกิริยากรด-เบส (acid-base reaction) ระหว่างส่วนของมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดและวัสดุอุดแทรก มีการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์พบว่า มีการยึดติดที่ดีกับเนื้อฟัน (15.9 (3.9) เมกกะปาสกาล) ใกล้เคียงกับปานาเวีย-เอฟเรซินซีเมนต์ (17.5 (5.9) เมกกะปาสกาล) ซึ่งจัดเป็นเรซินซีเมนต์กลุ่มที่มีระบบสารยึดติดชนิดเซล์ฟเอชและมีค่าสูงกว่าวาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ (1.1(2.5) เมกกะปาสกาล) อย่างมีนัยสำคัญ แต่การยึดติดกับผิวเคลือบฟัน (enamel) นั้นพบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงการยึดติด

(19.6 (6.0) เมกกะปาสกาล) น้อยกว่าพานาเวีย-เอฟ (35.4 (9.5) เมกกะปาสกาล) และวาริ โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ (49.3 (12.7) เมกกะปาสกาล) ซึ่งมีการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยกรดก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์²⁹ สอดคล้องกับการศึกษาของ Abo-Hamar⁶ ซึ่งทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงเฉือน อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อมีการปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนการยึดด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มสามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงการยึดติดกับผิวเคลือบฟันได้ (35.2 (11.9) เมกกะปาสกาล)²⁹ ในการยึดวัสดุบูรณะเซรามิกด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์บริษัทผู้ผลิตแนะนำว่าเพื่อให้ได้ผลที่ดีควรใช้ร่วมกับสารไฮเลน มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีการยึดติดที่แข็งแรงกับเซรามิกชนิดโอพีเอสเอ็มเพรสและโอพีเอสเอ็มเพรส ทู (IPS Empress I, II) ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาสารไฮเลน²⁷ นอกจากนี้การศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีคุณสมบัติทางกลที่ดีได้แก่ ความทนแรงอัด (compressive strength) ความทนแรงคัด³⁰ และความแข็งพื้นผิว (surface hardness)³¹ อย่างไรก็ตามเกิดการเสื่อมบริเวณพื้นผิวได้เมื่อแช่ในกรด³²

การยึดติดและการเสื่อมการยึดติดระหว่างฟัน เรซินซีเมนต์ และเซรามิก

ในการยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดทางอ้อมและฟันจำเป็นต้องใช้เรซินซีเมนต์เพื่อทำหน้าที่เป็นสารยึดติด (adhesive) ซึ่งการยึดติดที่ติดแน่นพื้นผิวที่ต้องการยึด (adherend) ได้แก่ ฟันและเซรามิกต้องสะอาด สารยึดติดหรือเรซินซีเมนต์ควรมีการไหลแผ่และสัมผัสไปบนพื้นผิวของฟันและเซรามิกได้ดีโดยไม่มีฟองอากาศแทรกระหว่างรอยเชื่อมต่อ และเกิดการยึดติดกันทั้งทางกายภาพ ทางกล และทางเคมีที่สามารถต้านทานต่อแรงที่มากระทำให้สูญเสียการยึดติด และเรซินซีเมนต์ต้องเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวที่เพียงพอ การมีตำหนิ (defect) เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมต่อเป็นเสมือนจุดกำเนิดของรอยร้าว (crack) และนำไปสู่การเกิดการแตกหักของรอยเชื่อมต่อและความล้มเหลวในการยึดติด

ในการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับฟันนั้น การปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยกรดเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) ทั้งหมด ในกรณีที่ใช้ระบบสารยึดติดชนิดโททัลเอชหรือกำจัดเพียงบางส่วนในกรณีของระบบสารยึดติดชนิดเซล์ฟเอช รวมถึงการแพร่ซึมของสารยึดเข้าไปในส่วนของท่อเนื้อฟัน โครงข่ายคอลลาเจน และชั้นสเมียร์ที่ยังคงหลงเหลือบางส่วนทำให้เกิดการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับฟันชนิดทางกลแบบจุลภาค (micromechanical interlock)

สำหรับการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์นั้นพบว่า การปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติด สำหรับเซรามิกชนิดอัดความดันโดยใช้ความร้อนที่มีการเติมลิทเซทนั้นการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 ทำให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดกับผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันมีค่ามากกว่าการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกโดยการเป่าทราย หรือโดยการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 และ 60³³ ทั้งนี้เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกทำให้เกิดพื้นผิวที่

สะอาดและมีลักษณะขรุขระเป็นรูพรุนคล้ายรังผึ้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานบริเวณพื้นผิวของเซรามิกทำให้เกิดการไหลแผ่ของของเหลวบนพื้นผิวที่ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ เป็นการเพิ่มความสามารถในการเปียกพื้นผิว (wettability) โดยสารยึดติด³⁴ และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและการยึดอยู่แบบจุลภาค (micro-retention) ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ นอกจากนี้พบว่า การทาสารไฮเลนบนพื้นผิวเซรามิกที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงการยึดติดได้มากกว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดเพียงอย่างเดียว³⁵ ทั้งนี้เนื่องจากไฮเลนเป็นสารที่มีกลุ่มฟังก์ชันนัล คือ กลุ่ม ไวนิลที่สามารถเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันกับกลุ่มเมทาคริลเลทของเรซินซีเมนต์ และมีกลุ่มอัลคอกซีที่สามารถเกิดพันธะไฮลอกเซน (Si-O-Si) กับซิลิกาออกไซด์บนผิวเซรามิกซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรง ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มการยึดติดทางเคมีระหว่างเรซินซีเมนต์และพื้นผิวเซรามิกที่ขรุขระ

การยึดติดระหว่างฟันและเรซินซีเมนต์ (tooth-resin cement adhesion) เซรามิกและเรซินซีเมนต์ (ceramic-resin cement adhesion) รวมถึงคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์ (cohesive strength of resin cement) เป็นสิ่งสำคัญที่กำหนดความสำเร็จในการยึดอยู่ระหว่างวัสดุบูรณะเซรามิกและฟัน การสูญเสียการยึดติดระหว่างเซรามิกและฟัน (debonding) เกิดจากกระบวนการที่มีรอยร้าวเกิดขึ้นบริเวณที่มีรอยตำหนิและมีการกระจายตัวของรอยร้าวนำไปสู่ความล้มเหลวของการยึดติดบริเวณรอยเชื่อมต่อยึดต่อ รอยตำหนิที่เกิดขึ้น ได้แก่ ตำแหน่งของพื้นผิวรอยเชื่อมต่อยึดต่อที่มีการปนเปื้อนของเลือด น้ำลาย หรือความชื้น การมีฟองอากาศที่รอยเชื่อมต่อยึดต่อ เช่น ที่พื้นผิวของเซรามิก หรือบริเวณ โครงข่ายคอลลาเจนที่สารยึดติดไม่สามารถไหลแผ่เข้าไปได้อย่างสมบูรณ์ รวมถึงการมีรอยตำหนิ หรือฟองอากาศที่พบในสารยึดติด

ภายในช่องปากมีปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้น น้ำลาย การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปากซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมการยึดติดได้ ในการศึกษาความสามารถในการยึดติดของเซรามิกและฟันมีทั้งการศึกษาทางคลินิกและทางห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาทางคลินิกโดยการติดตามผลการยึดอยู่และการใช้งานของวัสดุบูรณะมีข้อดี คือ เป็นการแสดงให้เห็นความสามารถในการยึดติดในสภาวะความเป็นจริงในช่องปากซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการยึดอยู่ อย่างไรก็ตามเป็นการศึกษาที่ใช้ระยะเวลาและไม่สามารถศึกษาปัจจัยเฉพาะซึ่งอาจมีผลต่อความสามารถในการยึดติดเพียงปัจจัยเดียวได้ ส่วนการศึกษาทางห้องปฏิบัติการเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการประเมินความสามารถและความแข็งแรงของการยึดติดซึ่งสามารถวัดเป็นปริมาณได้โดยวิธีการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติด (bond strength test)

จากรายงานผลการใช้งานทางคลินิกระยะสั้นพบว่า วัสดุบูรณะชนิดงานอุดฝังและงานอุดครอบ ไอพีเอสเอ็มเพรสเซรามิกประสบความสำเร็จในทางคลินิกสูงแสดงให้เห็นว่า เรซินซีเมนต์มีส่วนช่วยให้วัสดุบูรณะมีการยึดติดที่ดีกับฟัน ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือ การแตกหักของเซรามิก^{8, 9} อย่างไรก็ตามการติดตามผลทางคลินิกเป็นระยะเวลา 10 ปีของวัสดุบูรณะเซรามิกชนิด ไอพีเอสเอ็มเพรสซึ่งเป็นงานอุดฝังและครอบฟันบางส่วนจำนวน 1,624 ชิ้นพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่คือการแตกหักของเซรามิก

(18 ชั้น) และมีการหลุดของวัสดุบูรณะเซรามิกจำนวน 6 ใน 1,624 ชั้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมการยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะเซรามิกและฟัน

จากการศึกษาความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างฟัน เรซินซีเมนต์ และเซรามิกในห้องปฏิบัติการ Uno³⁶ พบว่า ความล้มเหลวในการยึดติดนั้นเกิดขึ้นระหว่างฟันและเรซินซีเมนต์ (ร้อยละ 27-39) และระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (ร้อยละ 13-37) นอกจากนี้ยังพบการแตกหักภายในชั้นของเรซินซีเมนต์ด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 33-44) สอดคล้องกับ Yang³⁷ ซึ่งศึกษาการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ 3 ชนิดกับเนื้อฟันส่วนนอก (superficial dentin) และเนื้อฟันส่วนใน (deep dentin) พบว่า เกิดการแตกหักในเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดคิดเป็นร้อยละ 33-68 ในกลุ่มที่ยึดติดกับเนื้อฟันส่วนนอกและร้อยละ 6-28 ในกลุ่มที่ยึดติดกับเนื้อฟันส่วนใน การแตกหักในชั้นของเรซินซีเมนต์แสดงถึงการยึดติดที่บริเวณรอยเชื่อมต่อมีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงภายใน (cohesive strength) ของเรซินซีเมนต์ และการแตกหักในเรซินซีเมนต์ภายหลังการแช่น้ำแสดงให้เห็นว่า น้ำมีผลทำให้เกิดการเสื่อมคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์ซึ่งอาจเป็นความล้มเหลวในการยึดติดระหว่างฟันและวัสดุบูรณะเซรามิกรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นภายในช่องปากและเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหลุดของวัสดุบูรณะชนิดทางอ้อมภายหลังการใช้งานระยะยาว

การเสื่อมของเรซินซีเมนต์เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำเกิดจาก 2 กลไกคือ

(1) การเสื่อมของเรซินแมทริกซ์ โดยเรซินแมทริกซ์มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ (water sorption) และน้ำจะแทรกตัวระหว่างสายโพลีเมอร์ทำให้เกิดการยึดตัวของสายโพลีเมอร์และเกิดการบวมตัวของเรซินแมทริกซ์ (plasticizing effect) ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำมีความแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างของมอนอเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบ พบว่า เรซินคอมโพสิตที่ดูดซึมน้ำได้มากส่งผลให้คุณสมบัติทางกล คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) มีค่าลดลง³⁸

(2) การเสื่อมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก (resin-filler interface) จากกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ของน้ำที่แทรกซึมเข้าไปในโครงข่ายโพลีเมอร์แมทริกซ์ทำให้เกิดการทำลายพันธะไฮดรอกเซนและมีการปลดปล่อยไอออนที่อยู่บริเวณพื้นผิวของวัสดุอัดแทรก³⁹ เป็นผลให้เกิดรอยแยก (gap) ระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกนำไปสู่การเกิดการเสื่อมและสูญเสียการยึดติด (debond) ที่บริเวณรอยเชื่อมต่อดังกล่าว⁴⁰ เป็นสาเหตุให้เรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติทางกลลดลง⁴¹ อย่างไรก็ตามหากพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกมีการเคลือบด้วยสารไฮดรอกซีเลนพบว่า การสูญเสียไอออนจากพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกเกิดขึ้นน้อยกว่า⁴²

กระบวนการเสื่อมโดยน้ำนี้อาศัยเวลาเนื่องจากเป็นไปตามการแพร่ซึมของน้ำ (diffusion control) โดยการเสื่อมเริ่มเกิดขึ้นที่พื้นผิวส่วนนอกของวัสดุเรซินโพลีเมอร์ที่สัมผัสน้ำก่อนเป็นผลให้คุณสมบัติบริเวณพื้นผิว เช่น ความหนาแน่นพื้นผิว ความแข็งพื้นผิว เกิดการเปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตามหากน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปถึงส่วนแกนกลางของวัสดุ อาจส่งผลถึงคุณสมบัติของวัสดุทั้งชิ้น เช่น ความทนแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น เป็นต้น

การสัมผัสน้ำเป็นระยะเวลาอันยาวนานมีผลทำให้เกิดการเสื่อมการยึดติดระหว่างฟัน เรซินซีเมนต์ และเซรามิก โดย Hernandez⁴³ พบว่า ภายหลังจากแช่น้ำนาน 9 เดือนความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ร่วมกับการพบการแตกหักระหว่างฟันและเรซินซีเมนต์ประมาณร้อยละ 20 และพบการแตกหักระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกร้อยละ 65 นอกจากนี้ผลการศึกษาการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกโดย Roulet¹¹ และ Foxton⁴⁴ เป็นระยะเวลา 6 เดือนและ 1 ปีพบว่าความแข็งแรงการยึดติดมีค่าลดลงร่วมกับพบรูปแบบการแตกหักเกิดขึ้นที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกในสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกง่ายต่อการเสื่อมการยึดติดเมื่ออยู่ในสภาวะสัมผัสกับน้ำเป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยกลไกการเสื่อมเกิดจากการทำลายพันธะไฮดรอกเซน¹¹ ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์

จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นกล่าวได้ว่า น้ำมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของการยึดติดระยะยาวของวัสดุบูรณะเซรามิก โดยมีผลต่อการยึดติด (1) ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (2) ระหว่างฟันและเรซินซีเมนต์ รวมถึง (3) มีผลต่อคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์ ซึ่งต่างมีส่วนสำคัญในการกำหนดความสำเร็จในการยึดอยู่ของวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดทางอ้อมเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของน้ำเพื่อจำลองสภาวะความชื้นและการสัมผัสน้ำภายในช่องปากที่มีต่อการยึดติดระยะยาวด้วยการทดสอบการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ยังมีจำกัด

นอกจากนี้ในช่องปากยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การสัมผัสน้ำลาย รวมถึงอาหารและเครื่องดื่มที่ประกอบด้วยสารประกอบทางเคมี หรือมีความเป็นกรด-ด่างซึ่งอาจส่งผลให้เรซินซีเมนต์เกิดการเสื่อมทางเคมี (chemical degradation)^{14, 28} และส่งผลกระทบต่อ การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกได้เช่นกัน

การจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปาก (thermocycling) เป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่แตกต่างกัน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า วิธีการเตรียมพื้นผิวเซรามิก ชนิดของเรซินซีเมนต์ และชนิดของเซรามิกมีผลต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดภายหลังจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปาก โดยวัสดุกลุ่มแก้วเซรามิกซึ่งปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาสารไฮเลนไม่พบการลดลงของค่าความแข็งแรงการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญแม้ผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปากจำนวน 40,000 รอบ⁴⁵ สอดคล้องกับการศึกษาของ Blatz⁴⁶ และ Hooshmand⁴⁷ นอกจากนี้การทาสารไฮเลนเป็นการเพิ่มการยึดอยู่ทางเคมีระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก โดย Kamada⁴⁸ ไม่พบการลดลงของค่าความแข็งแรงการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญของเซรามิกที่ผ่านการขัดและทาสารไฮเลนแม้ผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปากจำนวน 20,000 รอบ

อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับชนิดของสารไซเลนที่ใช้ด้วยเช่นกัน⁴⁹ สำหรับเซรามิกที่ผ่านการขัด หรือผ่านการขัด และปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดฟอสฟอริกพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่องปาก^{45, 48, 49} ทั้งนี้เนื่องจากการขัดและปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกไม่สามารถทำให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระและเกิดการยึดอยู่แบบจุลภาคระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ได้

การศึกษาโดยทั่วไปใช้น้ำเพื่อจำลองสถานะความชื้นและการสัมผัสน้ำหลายภายในช่องปาก อย่างไรก็ตามมีการศึกษาจำนวนจำกัดซึ่งใช้น้ำหลายเทียมในการจำลองสถานะในช่องปาก⁵⁰ และไม่พบการศึกษาใดที่เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้ น้ำและน้ำหลายเทียมในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติด แม้ว่าน้ำหลายมีน้ำเป็นส่วนประกอบแต่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างจากน้ำ Söderholm และคณะ⁵¹ แสดงให้เห็นว่าน้ำหลายเทียมมีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยไอออนของเรซินคอมโพสิตได้มากกว่าน้ำ ดังนั้นในการศึกษาการเสื่อมของวัสดุบูรณะการใช้ น้ำหลายเทียมเป็นการจำลองสถานะในช่องปากให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆเช่น กรดที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียในแผ่นคราบจุลินทรีย์ อาหารและเครื่องดื่มซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูงอาจมีผลทำให้เกิดการเสื่อมทางเคมีและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกลุ่มเรซินโพลีเมอร์ได้เช่นกัน โดยการศึกษาของ Chadwick⁵² แสดงให้เห็นว่ากรดที่พบในแผ่นคราบจุลินทรีย์ทำให้ความแข็งแรงพื้นผิวของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตมีค่าลดลง ส่วนการศึกษาของ Lee⁵³ พบว่ากรดในแผ่นคราบจุลินทรีย์มีผลกระทบต่อความแข็งแรงชนิดแรงดึงไดเมทรีล (diametral tensile strength) ของเรซินคอมโพสิต อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงในเรซินคอมโพสิตบางชนิด ทั้งนี้เป็นผลจากการมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน นอกจากนี้มีการศึกษาการยึดติดระหว่างผิวเคลือบฟัน สารยึดเรซินทางทันตกรรมจัดฟันและแบรคเก็ตโลหะพบว่า ภายหลังจากการสัมผัสกรดแลคติกนาน 12 สัปดาห์ มีผลทำให้ความแข็งแรงการยึดติดในกลุ่มของสารยึดเรซินทางทันตกรรมจัดฟันชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่แช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลกระทบต่อกลุ่มที่ยึดด้วยสารยึดเรซินทางทันตกรรมจัดฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง⁵⁴

นอกจากนี้ในปัจจุบันปัจจัยจากกรดที่พบในอาหารและเครื่องดื่มซึ่งส่งผลกระทบต่อวัสดุบูรณะในช่องปากนั้นได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแสนิยมในการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพและเครื่องดื่มน้ำผลไม้มีเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการพบอุบัติการณ์การเกิดฟันสึก (erosion) ที่เพิ่มขึ้น โดยกรดที่พบบ่อยในเครื่องดื่มน้ำผลไม้และมีการนำมาใช้ศึกษาการเกิดฟันสึกและการเกิดการเสื่อมของวัสดุบูรณะฟันในห้องปฏิบัติการ คือ กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$)^{18, 55} ซึ่งจัดเป็นกรดอ่อนมีชื่อทางเคมีว่า β -hydroxy tricarboxylic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบในผลไม้รสเปรี้ยวเช่น มะนาว และส้ม นอกจากนี้มีการใช้เป็นส่วนผสมในการทำน้ำผลไม้และไวน์ซึ่งมีบทบาทในการแต่งกลิ่นและรสของเครื่องดื่ม มีรายงานการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่า กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.2 มีผลทำให้ความแข็งแรงผิวของฟันมีค่าลดลง⁵⁶ และพบว่า กรดมีผลต่อคุณสมบัติ

ทางกายภาพและทางกลของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และวัสดุกลุ่มเรซินโพลีเมอร์ โดย Örtengren²⁰ พบว่า กรดซिटริกทำให้เรซินคอมโพสิตมีการละลายตัว (solubility) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และคอมโพเมอร์มีลักษณะพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป และมีความหยาบของพื้นผิวเพิ่มขึ้น^{16, 17} อย่างไรก็ตามกรดซिटริกมีผลต่อความหยาบของพื้นผิวและลักษณะพื้นผิวของวัสดุเรซินคอมโพสิตเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่ากรดซिटริกซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ทำให้ความแข็งของพื้นผิววัสดุบูรณะจิโอเมอร์ คอมโพเมอร์ และเรซินคอมโพสิตมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 31.8 67.2 และ 20.6 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรดซिटริกซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 ภายหลังการแช่ในกรดซिटริกเป็นเวลานาน 7 วัน¹⁹ Gömec และคณะ¹⁸ พบผลที่สอดคล้องกัน คือ กรดซिटริกซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.23 ทำให้วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ คอมโพเมอร์ และเรซินคอมโพสิตมีค่าความแข็งของพื้นผิวลดลง ในขณะที่การศึกษาของ Yap และคณะ²¹ พบการเปลี่ยนแปลงความแข็งพื้นผิวเพียงเล็กน้อยในวัสดุเรซินคอมโพสิตภายหลังการสัมผัสกรด อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษาของ Örtengren²⁰ และ Gömec¹⁸ ดังกล่าวข้างต้นมีส่วนของวัสดุอัดแทรกเป็นแก้วลุมิโนซิลิเกตเช่นเดียวกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ ซึ่งพบว่า พื้นผิวของวัสดุอัดแทรกในวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ทั้งชนิดดั้งเดิมและชนิดแข็งตัวด้วยแสงง่ายต่อการเสื่อมเมื่อสัมผัสกรด⁵⁷

กลไกการเสื่อมทางเคมีของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์โดยกรดเกิดจากไฮโดรเจนไอออนแพร่เข้าไปและแทนที่ไอออนบวกในส่วนของเมทริกซ์ ขณะเดียวกันจะมีการปลดปล่อยไอออนบวกนั้นจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ออกมา ซึ่งกระบวนการมีการดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นเมื่อไอออนในส่วนของเมทริกซ์ลดลงจึงเริ่มมีการดึงไอออนออกมาจากส่วนของวัสดุอัดแทรกทำให้เกิดเสื่อมของบริเวณพื้นผิวของซีเมนต์และวัสดุอัดแทรกบริเวณที่สัมผัสกรด⁵⁸

สำหรับวัสดุบูรณะกลุ่มเรซินโพลีเมอร์ชนิดที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ ได้แก่ คอมโพเมอร์ เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตบางชนิดนั้นพบว่า ชนิดของสารทดสอบมีผลต่อการปลดปล่อยไอออนของวัสดุดังกล่าว โดยพบว่า เมื่อแช่ในกรดอ่อนวัสดุจะมีการปลดปล่อยไอออนออกมามากกว่าเมื่อแช่ในน้ำ^{59, 60} ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์^{39, 61} และเป็นสาเหตุทำให้คุณสมบัติทางกลของวัสดุกลุ่มนี้มีค่าลดลง¹⁸ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกล แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมของวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และวัสดุกลุ่มเรซินโพลีเมอร์ภายหลังการสัมผัสกรดซिटริก โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับกรด อย่างไรก็ตามการศึกษาผลระยะยาวของกรดต่อคุณสมบัติของเรซินซีเมนต์ในการยึดติดกับเซรามิกยังมีจำนวนจำกัด

วิธีการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์

การประเมินความสามารถในการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์โดยการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทางห้องปฏิบัติการเป็นการศึกษาที่ได้รับความนิยม โดยมีวิธีการทดสอบชนิดต่างๆ ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงเฉือน (shear bond strength test) และแรงดึง (tensile bond strength test) ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงเฉือนนั้นมีข้อด้อย คือ เกิดการแตกหักบริเวณผิวหน้าของวัสดุที่เป็นส่วนฐาน (substrate)⁶² แสดงให้เห็นว่าแรงที่เกิดขึ้นไม่ผ่านบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก สอดคล้องกับ van Noort^{62,63} ซึ่งพบว่า การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงเฉือนมีการกระจายแรงที่ไม่สม่ำเสมอโดยทำให้เกิดความเครียดชนิดดึง (tensile stress) ปริมาณมากภายในวัสดุที่เป็นส่วนฐานและนำไปสู่การแตกหักของบริเวณผิวหน้าของวัสดุที่เป็นส่วนฐาน ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงไม่ใช่ค่าความแข็งแรงการยึดติดที่แท้จริงระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก แม้ว่าการศึกษาเดียวกันพบว่า การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงมีการกระจายแรงที่ไม่สม่ำเสมอบริเวณขอบของวัสดุ แต่พบว่า หากแท่งทดสอบมีความสูงประมาณ 4-5 มิลลิเมตรสามารถทำให้การกระจายแรงที่บริเวณขอบและส่วนกลางของแท่งทดสอบมีความสม่ำเสมอมากขึ้น นอกจากนี้รูปแบบการแตกหักส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินและเซรามิก และไม่เกิดการแตกหักบริเวณผิวหน้าของเซรามิก⁶² ต่อมามีการเสนอวิธีการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแบบแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ (microtensile bond strength test) เพื่อใช้ในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน โดยขึ้นทดสอบมีขนาดเล็ก ลักษณะเป็นรูปทรงนาฬิกาทรายโดยบริเวณรอยเชื่อมต่ออยู่ที่ตำแหน่งส่วนคอดของแท่งทดสอบและมีพื้นที่หน้าตัดขนาดประมาณ 1.6- 1.8 ตารางมิลลิเมตร⁶⁴ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีใหม่นี้มีข้อดี คือ มีการกระจายแรงที่รอยเชื่อมต่ออย่างสม่ำเสมอและการที่ขึ้นทดสอบมีขนาดเล็กลงเป็นการลดทั้งขนาดและจำนวนของรอยตำหนิ (defect) ในเนื้อวัสดุ ทำให้รูปแบบการแตกหักเกิดขึ้นที่รอยเชื่อมต่อมากกว่าการแตกหักของเนื้อวัสดุ นอกจากนี้ความแข็งแรงการยึดติดที่วัดได้มีค่าสูงกว่าการทดสอบด้วยวิธีดั้งเดิม และการที่แท่งทดสอบมีขนาดเล็กทำให้ได้แท่งทดสอบจำนวนมากขึ้นจากการเตรียมขึ้นทดสอบหนึ่งชิ้น ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเรซินและเซรามิกอย่างกว้างขวาง⁶⁵⁻⁶⁹ ซึ่งมีการเตรียมขึ้นทดสอบเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.8-1 ตารางมิลลิเมตรโดยไม่กรอแต่งให้มีลักษณะคอดบริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (non-trimming method)⁷⁰ เพื่อเป็นการลดแรงเครียดที่บริเวณรอยเชื่อมต่อและลดการแตกหักที่อาจเกิดขึ้นในขณะเตรียมขึ้นทดสอบ

จากที่กล่าวข้างต้นถึงผลของกรดซिटริกต่อการเสื่อมบริเวณพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกชนิดแก้วฟลูโอโรลูมิโนซิลิเกตที่พบในวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์และวัสดุเรซินโพลีเมอร์ อาจส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณสมบัติภายในของวัสดุได้หากมีการสัมผัสกรดเป็นระยะเวลานานและบ่อย

ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่าเรซินซีเมนต์ชนิดยึดติดได้ด้วยตัวเองซึ่งส่วนของมอนอเมอร์มีคุณสมบัติชอบน้ำและมีวัสดุอัดแทรกชนิดแก้วฟลูออโรลูมิโนซิลิกเกตอาจเกิดการเชื่อมทางเคมีเมื่อสัมผัสกับกรดซิตริกเป็นระยะเวลาสั้นและส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก รวมถึงส่งผลต่อรูปแบบการแตกหักแตกต่างไปจากเรซินซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมซึ่งมีส่วนของมอนอเมอร์ชนิดครอสลิงค์เป็นองค์ประกอบ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด หลังจากการสัมผัสกับกรดซิตริก น้ำปราศจากไอออน และน้ำลายเทียมเป็นเวลานาน 7, 30, 60 และ 90 วัน โดยใช้การทดสอบแบบแรงดึงและประเมินรูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว (measuring microscope) และตุ้มตัวอย่างเพื่อศึกษารูปแบบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. เซรามิกชนิด ไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเธติก (IPS Empress Esthetic) ที E TC2 บริษัทผู้ผลิต Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein (ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1)
2. เรซินคอมโพสิตชนิด Filtek Z250 ที A4 บริษัทผู้ผลิต 3M ESPE, USA
3. เรซินชนิดบ่มตัวเอง ยี่ห้อ Pattern resin บริษัทผู้ผลิต GC corporation, Japan
4. วารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ (Variolink II) บริษัทผู้ผลิต Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein (ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2)
5. รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ (RelyX Unicem) บริษัทผู้ผลิต 3M ESPE, Seefeld, Germany (ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2)
6. กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.9 (IPS Ceramic Etching-gel) บริษัทผู้ผลิต Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein
7. ไซเลน (Monobond S) บริษัทผู้ผลิต Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein
8. สารยึดติดเฮลิโอบอนด์ (Heliobond) บริษัทผู้ผลิต Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein
9. กาวไชยาโนอคริเลท (Zapit), USA
10. น้ำปราศจากไอออน
11. น้ำลายเทียม (สูตรน้ำลายเทียม โดยอาจารย์ ดร.ทพญ. สมจินต์ รัตนเสถียร)

ประกอบด้วย	Methyl-p-hydroxybenzoate	2.000 กรัม/ลิตร
	KCl	0.127 กรัม/ลิตร
	NaCl	0.935 กรัม/ลิตร
	KSCN	0.194 กรัม/ลิตร
	KH ₂ PO ₄	2.722 กรัม/ลิตร
	(CH ₂) ₂ NO	0.240 กรัม/ลิตร
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.061 กรัม/ลิตร
	NH ₄ Cl	0.213 กรัม/ลิตร
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.221 กรัม/ลิตร



0.630 กรัม/ลิตร

ใช้ KOH ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 6.75

12. กรดซิตริก

ประกอบด้วย $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot (\text{H}_2\text{O})$ (MW=192.125g/mole) 3.000 กรัม/ลิตร

ใช้ HCl และ NaOH ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 3.2

อุปกรณ์

1. แบบหล่อโลหะสำหรับทำชิ้นทดสอบขนาด 6 มิลลิเมตร × 6 มิลลิเมตร × 12 มิลลิเมตร
2. ชุดให้แรงกดขนาดน้ำหนัก 750 กรัม
3. เครื่องฉายแสง รุ่น Coltolux 75 บริษัทผู้ผลิต Coltene/Whaledent Inc., USA
4. ตู้เลี้ยงเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ยี่ห้อ Memmert รุ่น BE 500 บริษัทผู้ผลิต Memmert GmbH Co.KG, Germany
5. เครื่องตัด (Precision saw) ยี่ห้อ Buehler รุ่น Isomet 4000 บริษัทผู้ผลิต Buehler Ltd., USA
6. เครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ยี่ห้อ Lloyd รุ่น LRX-Plus บริษัทผู้ผลิต Lloyd Instrument Ltd., UK
7. กล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว (Measuring microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น MM40/L และโปรแกรมประมวลผลข้อมูล (E-MAX software) บริษัทผู้ผลิต Nikon Co., Japan
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) รุ่น JSM-52000 บริษัทผู้ผลิต JEOL, Japan
9. เครื่องขัดชนิดจานหมุน (Grinding and polishing machine) ยี่ห้อ JeanWirtz รุ่น Phoenix 4000 บริษัทผู้ผลิต Wirtz-Buehler GmbH, Germany
10. เครื่องอัลตราโซนิก ยี่ห้อ ultrasonic model รุ่น LC-30H บริษัทผู้ผลิต Yahal USA, Los Angeles, CA, USA
11. เครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer) ยี่ห้อ Surfcoorder รุ่น SE-2300 บริษัทผู้ผลิต Kasaka Lab Inc., Japan
12. เครื่องชั่งชนิดวัดความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็ว (Analytical balance) ยี่ห้อ Mettler รุ่น AE 200 บริษัทผู้ผลิต Mettler Toledo AG, Switzerland
13. เครื่องกวนสารขณะร้อน (Hot plate stirrer) บริษัทผู้ผลิต Global Business Operations, Italy
14. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น Precisa บริษัทผู้ผลิต Instrument AG, Switzerland

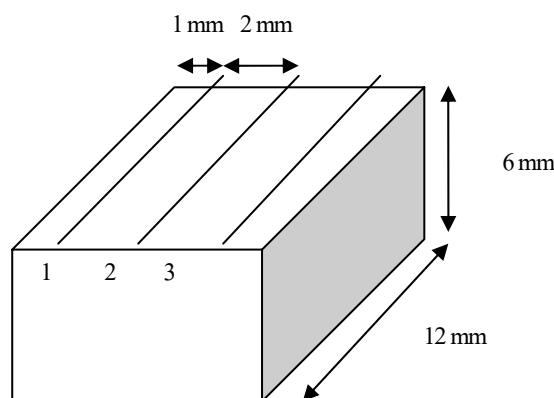
15. กระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ ความละเอียด 240 320 600 และ 1,200 กริท บริษัทผู้ผลิต Wirtz-Buehler, Düsseldorf, Germany
16. ดิจิตอลคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 500-136 Tokyo, Japan
17. บีกเกอร์ (Beaker)
18. หลอดทดลองพลาสติกปริมาตร 15 มิลลิลิตร

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของเซรามิก

วัสดุ (บริษัทผู้ผลิต)	ส่วนประกอบ
IPS Empress Esthetic Ceramic (Ivoclar-Vivadent, Schaan,Liechtenstein)	Leucite-reinforced glass ceramic: SiO ₂ > 55% wt Additional components: K ₂ O, Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, B ₂ O ₃ , CaO, TiO ₂ , CeO ₂ , pigment

การเตรียมชิ้นตัวอย่างเซรามิก

เตรียมชิ้นตัวอย่างเซรามิกชนิดไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกเซรามิกสี E TC2 โดยการทำชิ้นตัวอย่างด้วยเรซินชนิดบ่มได้เองขนาด 6 มิลลิเมตร × 6 มิลลิเมตร × 12 มิลลิเมตร จากแบบหล่อโลหะจำนวน 14 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ได้ผ่านกระบวนการเพื่อถอดยึดก้อนเซรามิกชนิดไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเซติกเข้าไปแทนที่ โดยทำตามขั้นตอนที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ จากนั้นขัดพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างเซรามิกด้วยกระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 240 320 600 และ 1200 กริท ซึ่งยึดบนเครื่องขัดชิ้นงานแบบหมุนที่ความเร็ว 50 รอบ/นาที ประเมินพื้นผิวภายหลังการขัดโดยวัดความหยาบพื้นผิวตามความยาวของชิ้นตัวอย่างเซรามิกด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวซึ่งมีเข็มเพชรเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 ไมโครเมตร แรงกด 4 มิลลินิวตัน โดยกำหนดสภาวะในการวัดคือ ระยะในการวัด 10 มิลลิเมตร ค่าคัทออฟ (cut off) เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร การขยายในแนวตั้ง (V. MAG.) ที่ 1000 เท่า การขยายในแนวนอน (H. MAG.) ที่ 20 เท่า ความเร็วในการลากหัวเข็ม 0.5 มม/วินาที วัดตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกที่วัดเป็นตำแหน่งที่ห่างจากขอบของชิ้นตัวอย่างเซรามิก 1 มิลลิเมตร และวัดความหยาบผิวตำแหน่งที่ 2 และ 3 โดยที่ตำแหน่งที่ 2 ห่างจากตำแหน่งแรก 2 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่ 3 ห่างจากตำแหน่งที่สอง 2 มิลลิเมตรเช่นกัน (ดังภาพที่ 2) ซึ่งได้ความหยาบของพื้นผิว (Ra) เท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร จากนั้นทำความสะอาดชิ้นเซรามิกโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกในน้ำปราศจากไอออนเป็นระยะเวลา 10 นาที



ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งในการวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นเซรามิก

การเตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินคอมโพสิต

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความแข็งแรงการยึดติดบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์โดยกำหนดความหนาของเรซินซีเมนต์เพื่อจำลองสภาวะความเป็นจริงทางคลินิกและเลือกใช้วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตยึดติดกับเรซินซีเมนต์เพื่อเป็นส่วนทดแทนเรซินซีเมนต์ที่เกินจากความหนาที่กำหนดเนื่องจากเป็นวัสดุเรซินโพลีเมอร์เช่นเดียวกัน โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินคอมโพสิตขนาด 6 มิลลิเมตร \times 6 มิลลิเมตร \times 12 มิลลิเมตรจากแบบหล่อโลหะจำนวน 14 ชิ้น ทำการอุดเรซินคอมโพสิตเป็นชั้นๆลงในแบบหล่อโลหะ แต่ละชั้นหนา 2 มิลลิเมตร ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสง 410 MW/cm^2 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายท่อฉายแสงเท่ากับ 8.5 มิลลิเมตร ฉายแสง 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 40 วินาที ในชั้นสุดท้ายปิดด้วยแผ่นเซลลูลอยด์ใสและปิดทับอีกชั้นด้วยกระดาษสไลด์ก่อนฉายแสงเพื่อให้พื้นผิวชั้นบนของเรซินคอมโพสิตเรียบและได้ระนาบ จากนั้นนำกระดาษสไลด์และแผ่นเซลลูลอยด์ใสออก ทำการติดสติ๊กเกอร์ใสความหนา 60 ไมโครเมตร ที่ด้านข้างของชิ้นตัวอย่างตามแนวด้านกว้างเพื่อกำหนดความหนา (spacer) ของเรซินซีเมนต์

การยึดชิ้นตัวอย่างเซรามิกและเรซิน คอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด

แบ่งชิ้นตัวอย่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์เป็น 2 กลุ่มเพื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด นำชิ้นตัวอย่างเซรามิกมาเตรียมพื้นผิว และทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ตามคำแนะนำของบริษัท (ตารางที่ 3) นำเรซินซีเมนต์ไปยึดชิ้นตัวอย่างเซรามิกและเรซินคอมโพสิตที่อยู่ในแบบหล่อโลหะ กดชิ้นตัวอย่างทั้งสองที่ยึดติดกันโดยใช้ค้อนน้ำหนักขนาด 750 กรัม กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน ฉายแสงทางด้านข้าง 6 ตำแหน่ง (ดังภาพที่ 3) จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ยึดติดกันแล้วออกจากแบบหล่อโลหะ และฉายแสงซ้ำทั้ง 6 ตำแหน่งอีกครั้งโดยยังคงให้แรงกดจนกระทั่งฉายแสงเสร็จ

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ส่วนประกอบ
Variolink II	IPS Ceramic Etching gel: aqueous solution of hydrofluoric acid (4.9%) Monobond-S: 3-MPS, ethanol/ water-based solvent, acetic acid Heliobond: Bis-GMA, triethylene glycoldimethacrylate, initiators, stabilizer Paste A: Bis-GMA, urethane dimethacrylate, TEGDMA, inorganic filler, Ytterbium trifluoride, initiator, stabilizer Paste B: Bis-GMA, urethane dimethacrylate, TEGDMA, inorganic filler, Ytterbium trifluoride, benzoyl peroxide, stabilizer Powder: glass powder, silica, calcium hydroxide, pigment, substituted
RelyX Unicem	pyrimidine, peroxide compound, initiator Liquid: methacrylated phosphoric ester, dimethacrylate, acetate, stabilizer, initiator
3-MPS = 3-methacryloyloxypropyltrimethoxysilane; Bis-GMA = bisphenol A glycidyl methacrylate; TEGDMA = triethylene glycol dimethacrylate	

ตารางที่ 3 การเตรียมผิวเซรามิกและการผสมเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	การเตรียมผิวเซรามิก	การผสมซีเมนต์
Variolink II	ทากรดไฮโดรฟลูออริก 4.9 % (1 นาที) ถ้าง และเป่าลม, ทาสารไซเลน (1 นาที) และ เป่าลม, ทาสารยึดติด	ผสมเบสและแคตาลีสต์ (สัดส่วน 1:1) ฉายแสงตำแหน่งละ 40 วินาที
RelyX Unicem	ทากรดไฮโดรฟลูออริก 4.9 % (1 นาที) ถ้างและเป่าลม, ทาสารไซเลน (1 นาที) และเป่าลม	นำแคปซูลของซีเมนต์ชนิดนี้ ปั่นในเครื่องปั่นอมัลกัมนาน 10 นาที ฉายแสงตำแหน่งละ 20 วินาที

การเก็บชิ้นตัวอย่าง

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการยัดด้วยเรซินซีเมนต์แล้วแช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 20 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เก็บในตู้เลี้ยงเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงก่อนนำชิ้นตัวอย่างไปตัด

การตัดชิ้นตัวอย่าง

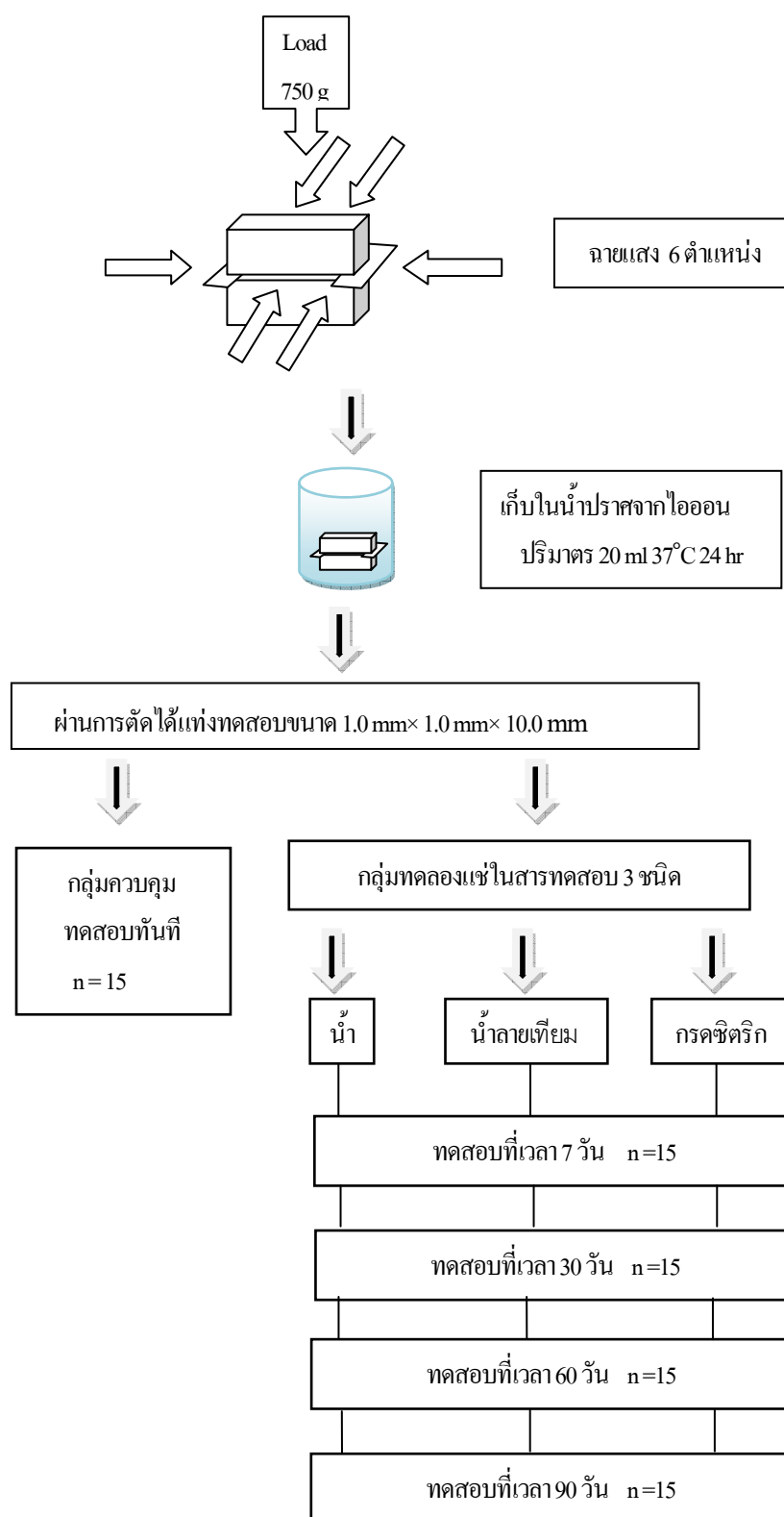
นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำปราศจากไอออนมาตัดโดยติดด้านของแท่งเรซินคอมโพสิตไว้กับตัวจับโลหะรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากด้วยกาวไปชยาโนอกรีเลท (Powerglue) ก่อนนำไปตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อัตราเร็วการเคลื่อนที่ของใบตัด 2 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการตัดบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นทดสอบออกซึ่งเป็นส่วนที่มีซีเมนต์ส่วนเกินและสติ๊กเกอร์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความหนาของเรซินซีเมนต์ จากนั้นเริ่มตัดตามแนวด้านกว้างของชิ้นทดสอบเพื่อให้ได้ชิ้นทดสอบที่มีความหนาเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร จำนวน 7 ชิ้น โดยการตัดยังคงเหลือส่วนของเรซินคอมโพสิตส่วนฐานหนาประมาณ 1.0 มิลลิเมตรเพื่อให้เหลือส่วนยึดติดกับตัวจับโลหะ จากนั้นพลิกตัวจับโลหะ 90 องศา และทำการตัดตามแนวยาวของชิ้นทดสอบเพื่อให้ได้ชิ้นทดสอบรูปแท่งขนาด 1.0 มิลลิเมตร × 1.0 มิลลิเมตร × 10.0 มิลลิเมตร จำนวน 28 แท่งสำหรับการตัดชิ้นทดสอบ 1 ชิ้น

การแบ่งกลุ่มชิ้นทดสอบรูปแท่ง

แบ่งชิ้นทดสอบรูปแท่งที่ตัดได้จากชิ้นตัวอย่าง 1 ชิ้น จำนวน 28 แท่ง อย่างสุ่มเป็น 4 กลุ่ม การทดลอง ดังนี้ (ภายหลังการตัดครบ 14 ชิ้นทดสอบ แต่ละกลุ่มมีแท่งทดสอบจำนวนกลุ่มละ 15 แท่ง)

- (1) ทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงทันที
- (2) เก็บในหลอดทดลองพลาสติกบรรจุน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- (3) เก็บในหลอดทดลองพลาสติกบรรจุสารละลายกรดซัลฟูริก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- (4) เก็บในหลอดทดลองพลาสติกบรรจุน้ำลายเทียม ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

เก็บชิ้นทดสอบรูปแท่งที่แช่ในสารละลายทั้ง 3 ชนิดในตู้เลี้ยงเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ทำการพลิกหลอดทดลองพลาสติกวันละ 3 เวลาและเปลี่ยนสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดทุก 2 สัปดาห์ เลือกชิ้นทดสอบรูปแท่งที่เก็บในสารละลายทั้ง 3 ชนิดอย่างสุ่มเพื่อนำมาทดสอบที่ระยะเวลาต่างๆกัน ดังนี้ 1 สัปดาห์ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบกลุ่มต่างๆ

การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์

เลือกแท่งทดสอบอย่างสุ่มเพื่อนำมาทดสอบการยึดติดแรงดึง โดยก่อนทดสอบทำการวัดความหนาของเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวและวัดขนาดชิ้นทดสอบเพื่อคำนวณพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยเชื่อมต่อ จากนั้นนำชิ้นทดสอบรูปแท่งยึดติดกับตัวจับสำหรับการทดสอบแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์โดยใช้กาวไซยาโนอคริลิก (Zapit) จากนั้นทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์ที่อัตราเร็วการดึง (crosshead speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นทดสอบที่บริเวณรอยต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ คำนวณออกมาเป็นค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa)

หมายเหตุ ภายหลังจากตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวพบว่า มีแท่งทดสอบบางส่วนของเรซินซีเมนต์ทั้งสองกลุ่มมีส่วนของซีเมนต์ส่วนเกินตามขอบและส่วนของสติ๊กเกอร์ซึ่งใช้กำหนดความหนาของเรซินซีเมนต์ ทำให้ต้องเพิ่มขึ้นทดสอบเซรามิกเป็นกลุ่มละ 8 ชิ้น และเลือกอย่างสุ่มเพื่อทำการทดสอบในกลุ่มที่พบแท่งทดสอบที่มีปัญหาดังกล่าว

การประเมินรูปแบบการแตกหัก

ตรวจดูบริเวณรอยแตกหักของแท่งทดสอบที่ผ่านการทดสอบแรงดึงแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวเพื่อจำแนกรูปแบบการแตกหัก โดยจำแนกเป็น 5 กลุ่มดังนี้

- (1) การแตกหักในเซรามิก (cohesive failure in ceramic) เมื่อเกิดการแตกหักของเซรามิกมากกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ
- (2) การแตกหักแบบผสมในเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (mixed cohesive failure in ceramic and resin cement) เมื่อเกิดการแตกหักของเรซินซีเมนต์น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ
- (3) การแตกหักแบบผสมในเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (mixed cohesive failure in ceramic and resin cement) เมื่อเกิดการแตกหักของเรซินซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 50 ถึง 80 ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ
- (4) การแตกหักในเรซินซีเมนต์ (cohesive failure in resin cement) เมื่อเกิดการแตกหักของเรซินซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ
- (5) การแตกหักแบบผสมในเซรามิก เรซินซีเมนต์ และระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (mixed cohesive failure in ceramic and resin cement and adhesive failure between ceramic and resin cement) เมื่อเกิดการแตกหักของเซรามิกร่วมกับเรซินซีเมนต์และพบการแตกหักที่บริเวณเชื่อมรอยต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดของเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกันที่เก็บในสารละลายชนิดต่างๆกันและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแต่ละช่วงเวลาในการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส (Kruskal-Wallis) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดซึ่งเก็บในสารละลายชนิดเดียวกัน โดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดแมน วิตนีย์ (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 3

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสัมผัสกรดซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 3.2 นาน 3 เดือนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล คือ ความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออนและน้ำลายเทียม ผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์

เนื่องจากภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงการยึดติดพบว่า แท่งทดสอบที่เลือกและแบ่งอย่างสุ่มมาจากชิ้นทดสอบเดียวกันนั้นมีค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่มย่อย ดังนั้นค่าที่ได้จึงเป็นตัวแทนของแต่ละแท่งทดสอบและแต่ละกลุ่มย่อยประกอบด้วยแท่งทดสอบจำนวน 15 แท่งตามที่แบ่งกลุ่มไว้ข้างต้น

ตารางที่ 4 และ 5 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ที่เข้าในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือนของวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์และรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ตามลำดับ

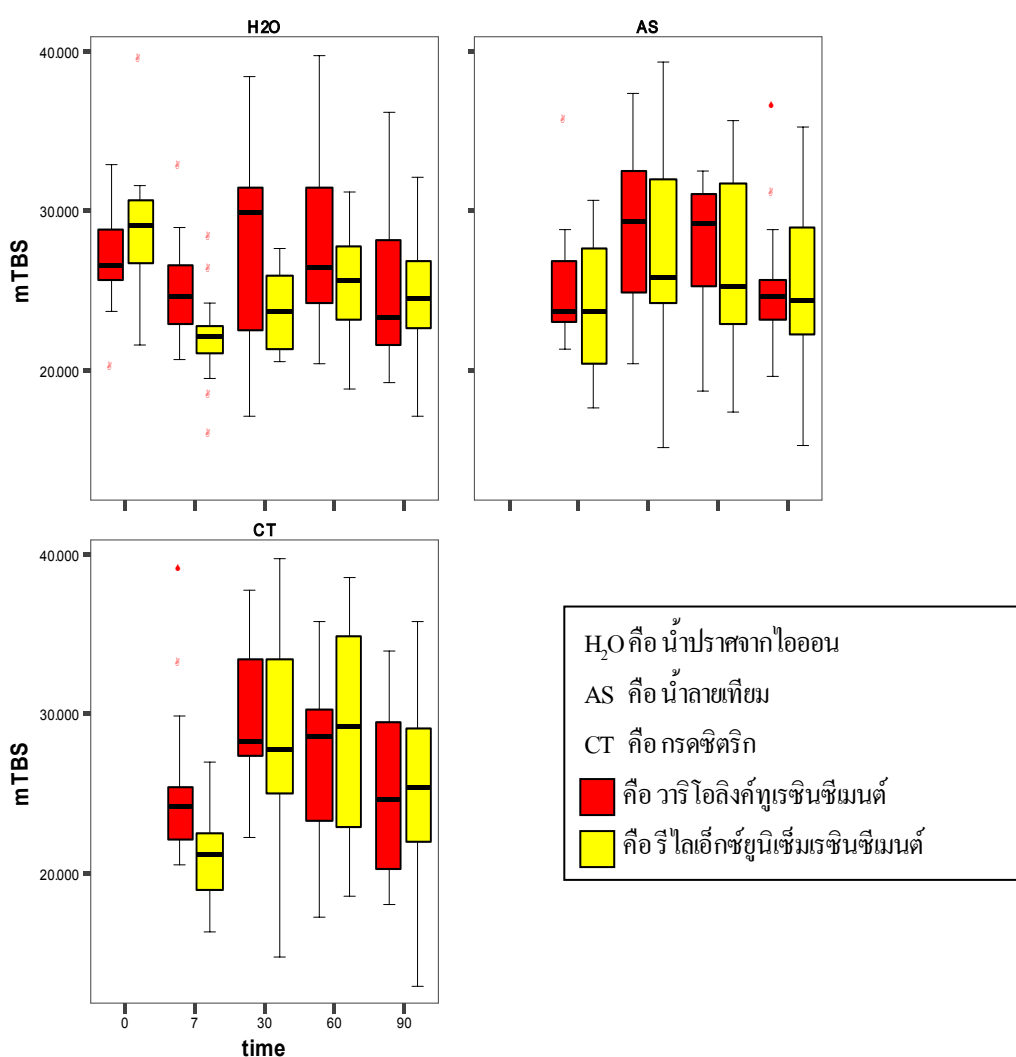
ตารางที่ 4 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ของวารีโอลิงค์ทุเรซินซีเมนต์

ซีเมนต์	สารทดสอบ	เวลา (วัน)	ค่าความแข็งแรงการยึดติด (เมกะปาสกาล)			
			มัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน ควอไทล์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
วารีโอ ลิงค์ทุ	กลุ่มควบคุม	0	26.557	1.831	20.060	32.876
	น้ำปราศจาก ไอออน	7	24.600	2.155	20.755	32.662
		30	29.897	5.415	17.133	38.415
		60	26.504	4.302	20.387	39.704
		90	23.308	4.552	19.284	36.244
	น้ำลายเทียม	7	23.650	2.558	21.345	35.534
		30	29.364	5.245	20.374	37.392
		60	29.166	3.622	18.657	32.472
		90	24.627	1.765	19.650	36.400
	กรดซิตริก pH 3.2	7	24.275	1.833	20.577	38.917
		30	28.338	3.458	22.266	37.719
		60	28.614	4.042	17.279	35.856
		90	24.626	5.922	18.116	33.975

ตารางที่ 5 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์

ซีเมนต์	สารทดสอบ	เวลา (วัน)	ค่าความแข็งแรงการยึดติด (เมกะปาสกาล)			
			มัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน ควอไทล์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
รีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็ม	กลุ่มควบคุม	0	29.165	2.516	21.644	39.356
	น้ำปราศจาก ไอออน	7	22.148	1.045	15.840	28.117
		30	23.666	2.697	20.502	27.634
		60	25.730	2.667	18.868	31.239
		90	24.504	2.298	17.191	32.125
	น้ำลายเทียม	7	23.649	3.954	17.621	30.725
		30	25.834	4.452	15.230	39.341
		60	25.284	5.019	17.397	35.713
		90	24.397	4.069	15.247	35.228
	กรดซิตริก pH 3.2	7	21.194	1.863	16.330	27.033
		30	27.836	4.890	14.796	39.796
		60	29.223	6.308	18.570	38.574
		90	25.461	4.520	12.930	35.743

ภาพที่ 4 และตารางที่ 6 แสดงข้อมูลค่ามัธยฐานของความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ และส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือน



ภาพที่ 4 Box plot แสดงการกระจายของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ และค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือน

ตารางที่ 6 แสดงค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด นาน 3 เดือน

ซีเมนต์	สารทดสอบ	ค่ามัธยฐานความแข็งแรงการยึดติด (ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์)				
		(เมกะปาสกาล)				
		วันที่ 0	วันที่ 7	วันที่ 30	วันที่ 60	วันที่ 90
วาริโอลิงค์ทู	น้ำ	26.56 (1.83)	24.6 (2.16)	29.90 (5.42)	26.50 (4.30)	23.31 (4.55)
	น้ำลายเทียม		23.65 (2.56)	29.36 (5.25)	29.17 (3.62)	24.63 (1.77)
	กรดซिटริก		24.28 (1.83)	28.34 (3.46)	28.62 (4.04)	24.26 (5.92)
รีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็ม	น้ำ	29.17 (2.52)	22.15 (1.05)	23.67 (2.70)	25.73 (2.67)	24.50 (2.30)
	น้ำลายเทียม		23.65 (3.95)	25.83 (4.45)	25.28 (5.02)	24.40 (4.07)
	กรดซิทริก		21.20 (1.86)	27.84 (4.89)	29.22 (6.31)	25.46 (4.52)

ตารางที่ 7-9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิด ไมโครเทนไซล์ระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามตริกชนิดครัสคัล วัลลิส และการทดสอบของ แมน วิทนีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามตริกชนิดครัสคัล วัลลิสแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดสำหรับกลุ่มของวาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์นั้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างช่วงเวลาต่างๆของการทดสอบในทั้ง 3 สารทดสอบ (ตารางที่ 7) และพบความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาต่างๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เฉพาะกลุ่มของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์เท่านั้น (ตารางที่ 8)

ผลการทดสอบของแมนวิทนีเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างภายในกลุ่มของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ระหว่างแต่ละช่วงเวลาเป็นคู่ (ตารางที่ 20-22) ดังสรุปในตารางที่ 9 พบว่าค่าความแข็งแรงการยึดติดที่เวลา 7 วันของสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้กลุ่มที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนพบว่าความแข็งแรงการยึดติดที่เวลา 1, 2 และ 3 เดือน มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และที่เวลา 7 วันมีค่าน้อยกว่าที่เวลา 2 และ 3 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับกลุ่มที่แช่ในกรดซิทริกพบว่าค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ เวลา 7 วันมีค่าน้อยกว่าที่เวลา 1, 2 และ 3 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดสอบที่เวลาต่างๆของ
กลุ่มวาริ โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์เมื่อแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารา
เมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส

กลุ่ม	เปรียบเทียบ	Chi-square	df	Asymp. Sig.
น้ำปราศจากไอออน	Between time	5.928	4	0.205
น้ำลายเทียม		8.494	4	0.075
กรดซिटริก		9.006	4	0.061

ตารางที่ 8 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดสอบที่เวลาต่างๆของ
กลุ่มวีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์เมื่อแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอน
พาราเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส

กลุ่ม	เปรียบเทียบ	Chi-square	df	Asymp. Sig.
น้ำปราศจากไอออน	Between time	21.718	4	0.000 **
น้ำลายเทียม		8.415	4	0.078
กรดซิทริก		19.515	4	0.001 **

สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 9 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างกลุ่มทดสอบที่เวลาต่างๆของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกซ์

เรซินซีเมนต์	สารทดสอบ	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของเวลา
วาริโอลิงก์ทู	น้ำปราศจากไอออน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	น้ำลายเทียม	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	กรดซิตริก	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
รีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็ม	น้ำปราศจากไอออน	กลุ่มควบคุม > กลุ่มทดสอบที่ 7, 30, 60, 90 วัน กลุ่มทดสอบที่ 60, 90 วัน > กลุ่มทดสอบที่ 7 วัน
	น้ำลายเทียม	กลุ่มควบคุม > กลุ่มทดสอบที่ 7 วัน
	กรดซิตริก	กลุ่มควบคุม > กลุ่มทดสอบที่ 7 วัน กลุ่มทดสอบที่ 30, 60, 90 วัน > กลุ่มทดสอบที่ 7 วัน

ผลการวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามตริกชนิดครัสคัล วัลลิสแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดของสารทดสอบต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดสำหรับกลุ่มของวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์นั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสารทดสอบทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 10) และพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เฉพาะกลุ่มของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่เวลา 1 เดือนเท่านั้น (ตารางที่ 11)

ผลการทดสอบของแมนิวิตินีย์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างภายในกลุ่มของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ระหว่างแต่ละชนิดของสารทดสอบที่ละคู่ (ตารางที่ 23) ดังสรุปในตารางที่ 12 พบว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่น้ำปราศจากไอออนมีค่าความแข็งแรงการยึดติดน้อยกว่ากลุ่มที่แช่น้ำลายเทียมและกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่แช่น้ำลายเทียมและกรดซิตริก

ตารางที่ 10 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของสารทดสอบ 3 ชนิดของวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ เมื่อทดสอบ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามตริกชนิดครัสคัล วัลลิส

กลุ่ม	เปรียบเทียบ	Chi-square	df	Asymp. Sig.
ทดสอบที่ 7 วัน	Between solution	0.058	2	0.971
ทดสอบที่ 30 วัน		0.376	2	0.828
ทดสอบที่ 60 วัน		0.141	2	0.932
ทดสอบที่ 90 วัน		0.712	2	0.701

ตารางที่ 11 แสดงการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของสารทดสอบ 3 ชนิด ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ เมื่อทดสอบ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดครัสคัล วัลลิส

กลุ่ม	เปรียบเทียบ	Chi-square	df	Asymp. Sig.
ทดสอบที่ 7 วัน	Between solution	3.175	2	0.204
ทดสอบที่ 30 วัน		6.521	2	0.038 **
ทดสอบที่ 60 วัน		2.451	2	0.294
ทดสอบที่ 90 วัน		0.466	2	0.792

สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 12 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างสารทดสอบ 3 ชนิดเมื่อทดสอบที่เวลาต่างๆกันของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกซ์

เรซินซีเมนต์	กลุ่มทดสอบ	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสารทดสอบ 3 ชนิด
วาริโอลิงค์ทู	7 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	30 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	60 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	90 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
รีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็ม	7 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	30 วัน	น้ำปราศจากไอออน > น้ำลายเทียม น้ำปราศจากไอออน > กรดซิตริก
	60 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	90 วัน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบนอนพารามตริกชนิดการทดสอบของแมนวิทนี (ตารางที่ 24) ดังสรุปในตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดเรซินซีเมนต์ต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดพบว่า วารีโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงการยึดติดมากกว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่แช่น้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 7 วัน และ 1 เดือน และกลุ่มที่แช่ในกรดซिटริกเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดในแต่ละกลุ่มทดลอง

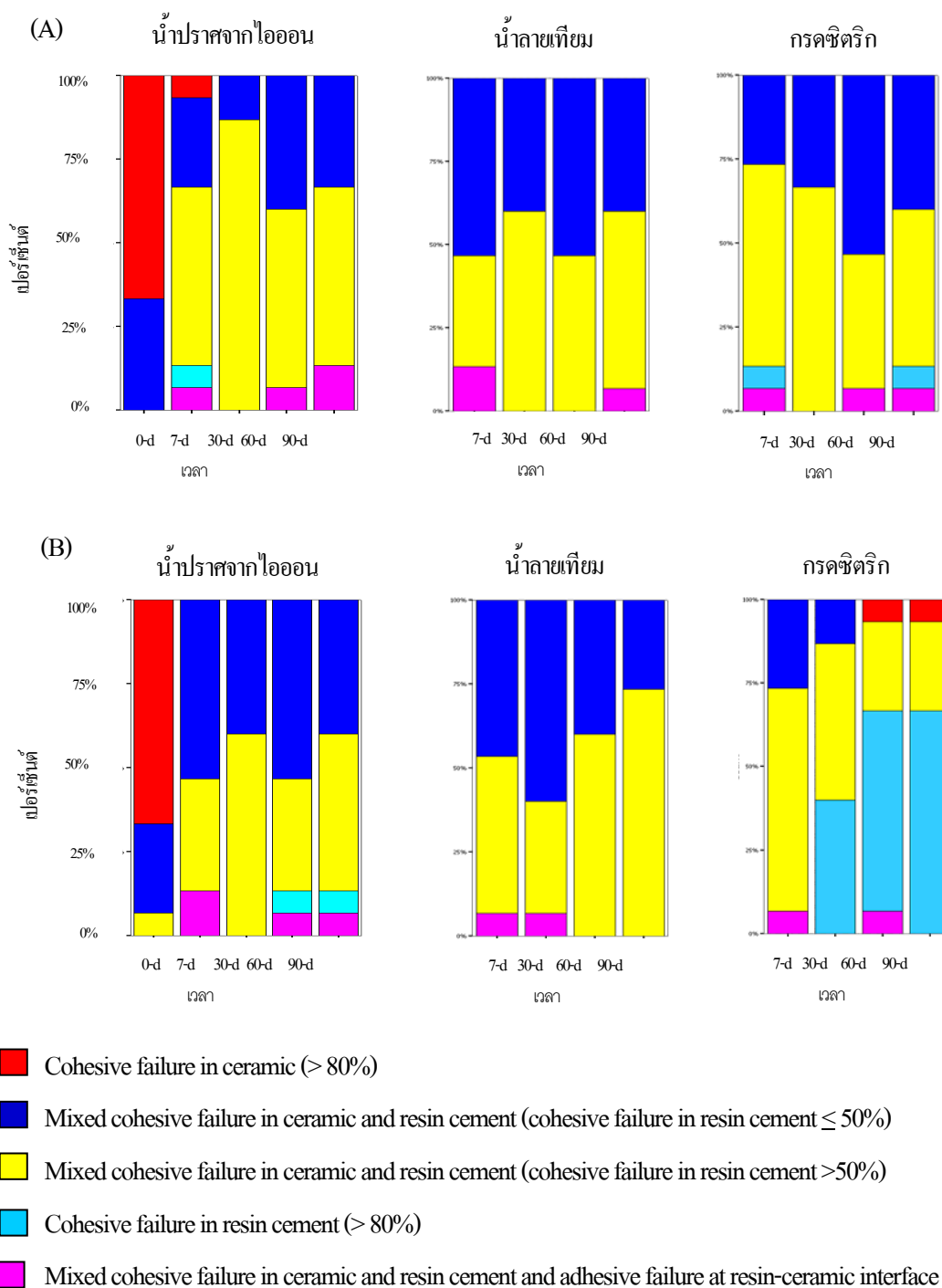
กลุ่มทดสอบ	สารทดสอบ	ความแตกต่างระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด
ควบคุม	-	วารีโอดิงค์ทู > รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม
เวลา 7 วัน	น้ำปราศจากไอออน	วารีโอดิงค์ทู > รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม
	น้ำลายเทียม	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	กรดซिटริก	วารีโอดิงค์ทู > รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม
เวลา 30 วัน	น้ำปราศจากไอออน	วารีโอดิงค์ทู > รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม
	น้ำลายเทียม	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	กรดซिटริก	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
เวลา 60 วัน	น้ำปราศจากไอออน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	น้ำลายเทียม	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	กรดซिटริก	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
เวลา 90 วัน	น้ำปราศจากไอออน	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	น้ำลายเทียม	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
	กรดซिटริก	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

2. วิเคราะห์รูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อภายหลังการทดสอบค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์

ภายหลังการทดสอบค่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างเซรามิกและวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ และระหว่างเซรามิกและรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ในสารทดสอบ 3 ชนิด นาน 3 เดือน พบจำนวนของรูปแบบการแตกหักของรอยเชื่อมต่อนิตต่างๆที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 5 (A) และ (B) ตามลำดับ และมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มควบคุมของวารีโอลิงก์ทูและรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่มีการแตกหักแบบที่ 1 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 66.7 ส่วนวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์กลุ่มทดสอบที่เวลา 7 วัน 1, 2 และ 3 เดือนนั้นพบว่ารูปแบบการแตกหักเปลี่ยนเป็นแบบที่ 2 และ 3

สำหรับรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนและน้ำลายเทียมซึ่งทดสอบที่เวลา 7 วัน 1, 2 และ 3 เดือนพบรูปแบบการแตกหักเช่นเดียวกับกลุ่มวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ดังกล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตามพบว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในกรดซิตริกและทดสอบที่ 1 เดือนเป็นต้นไปมีการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการแตกหักเป็นแบบที่ 3 และ 4 และพบการเพิ่มขึ้นของการแตกหักแบบที่ 4 จากร้อยละศูนย์ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดสอบที่เวลา 7 วันเป็นร้อยละ 46.7 53.3 และ 76.3 ในกลุ่มทดสอบที่ 30 60 และ 90 วันตามลำดับ



ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนเป็นร้อยละของรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่มวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ (A) และกลุ่มวีโรไลเอ็กซ์ยูนิเซิร์เรซินซีเมนต์ (B) ในสารทดสอบ 3 ชนิด

ตารางที่ 14 แสดงจำนวนและสัดส่วนเป็นร้อยละของรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่ม
วารีโอลิงก์ทุเรซินซีเมนต์

เวลา (วัน)	สารทดสอบ	รูปแบบการแตกหัก (จำนวน/ร้อยละ)				
		1	2	3	4	5
0		10/66.7	5/33.3	0/0	0/0	0/0
7	น้ำปราศจากไอออน	1/6.7	4/26.7	8/53.3	1/6.7	1/6.7
	น้ำลายเทียม	0/0	8/53.3	5/33.3	0/0	2/13.3
	กรดซिटริก	0/0	4/26.7	9/60	1/6.7	1/6.7
30	น้ำปราศจากไอออน	0/0	2/13.3	13/86.7	0/0	0/0
	น้ำลายเทียม	0/0	6/40	9/60	0/0	0/0
	กรดซिटริก	0/0	5/33.3	10/66.7	0/0	0/0
60	น้ำปราศจากไอออน	0/0	6/40	8/53.3	0/0	1/6.7
	น้ำลายเทียม	0/0	8/53.3	7/46.7	0/0	0/0
	กรดซिटริก	0/0	8/53.3	6/40	0/0	1/6.7
90	น้ำปราศจากไอออน	0/0	5/33.3	8/53.3	0/0	2/13.3
	น้ำลายเทียม	0/0	6/40	8/53.3	0/0	1/6.7
	กรดซिटริก	0/0	6/40	7/46.7	1/6.7	1/6.7

ตารางที่ 15 แสดงจำนวน และสัดส่วนเป็นร้อยละของรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อของกลุ่ม
รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์

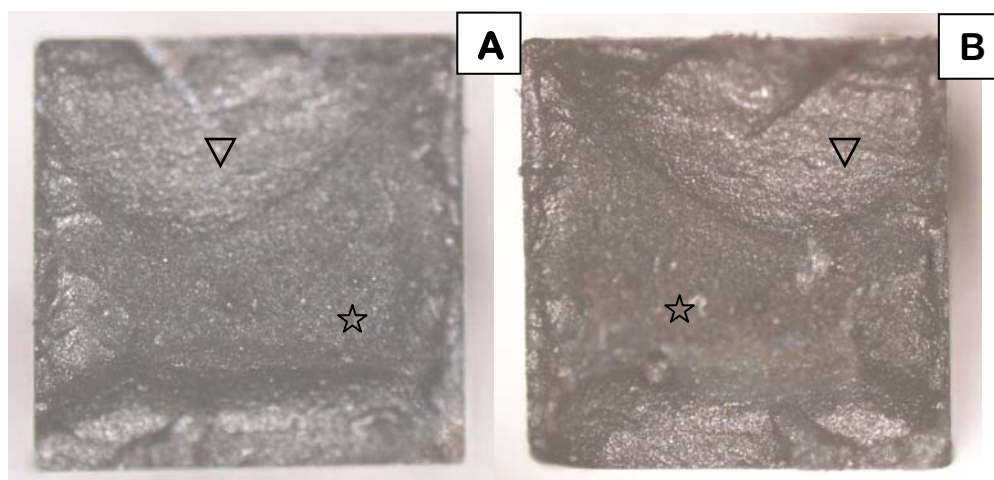
เวลา (วัน)	สารทดสอบ	รูปแบบการแตกหัก (จำนวน/ร้อยละ)				
		1	2	3	4	5
0		10/66.7	4/26.7	1/6.7	0/0	0/0
7	น้ำปราศจากไอออน	0/0	8/53.3	5/33.3	0/0	2/13.3
	น้ำลายเทียม	0/0	7/46.7	7/46.7	0/0	1/6.7
	กรดซิตริก	0/0	4/26.7	10/66.7	0/0	1/6.7
30	น้ำปราศจากไอออน	0/0	6/40	9/60	0/0	0/0
	น้ำลายเทียม	0/0	9/60	5/33.3	0/0	1/6.7
	กรดซิตริก	0/0	2/13.3	7/46.7	6/40	0/0
60	น้ำปราศจากไอออน	0/0	8/53.3	5/33.3	1/6.7	1/6.7
	น้ำลายเทียม	0/0	6/40	9/60	0/0	0/0
	กรดซิตริก	1/6.7	0/0	4/26.7	9/60	1/6.7
90	น้ำปราศจากไอออน	0/0	6/40	7/46.7	1/6.7	1/6.7
	น้ำลายเทียม	0/0	4/26.7	11/73.3	0/0	0/0
	กรดซิตริก	1/6.7	0/0	4/26.7	10/66.7	0/0

3. การตรวจพื้นผิวรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

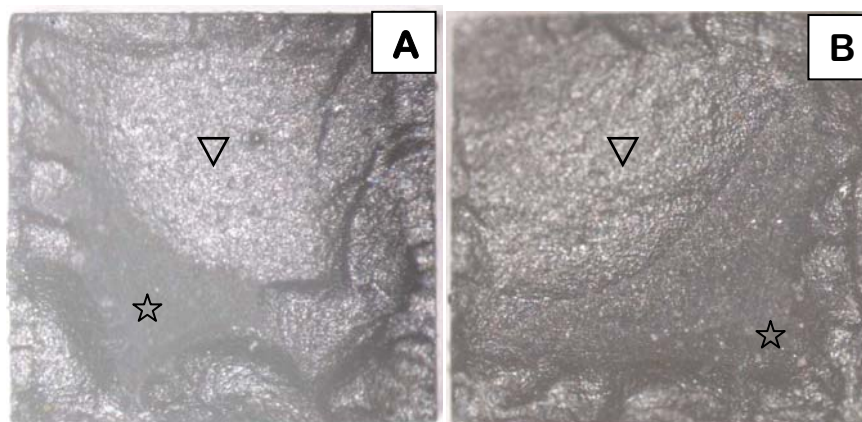
การศึกษาครั้งนี้พบว่ารูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นในฝั่งของแท่งเซรามิกและเรซินคอมโพสิตเมื่อดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวมีลักษณะของการแตกหักเหมือนกัน (สลัซซ้าย-ขวา) ดังแสดงในภาพที่ 6

ภาพที่ 7-11 แสดงรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดเป็นเวลา 7 วัน 1, 2 และ 3 เดือนตามลำดับ

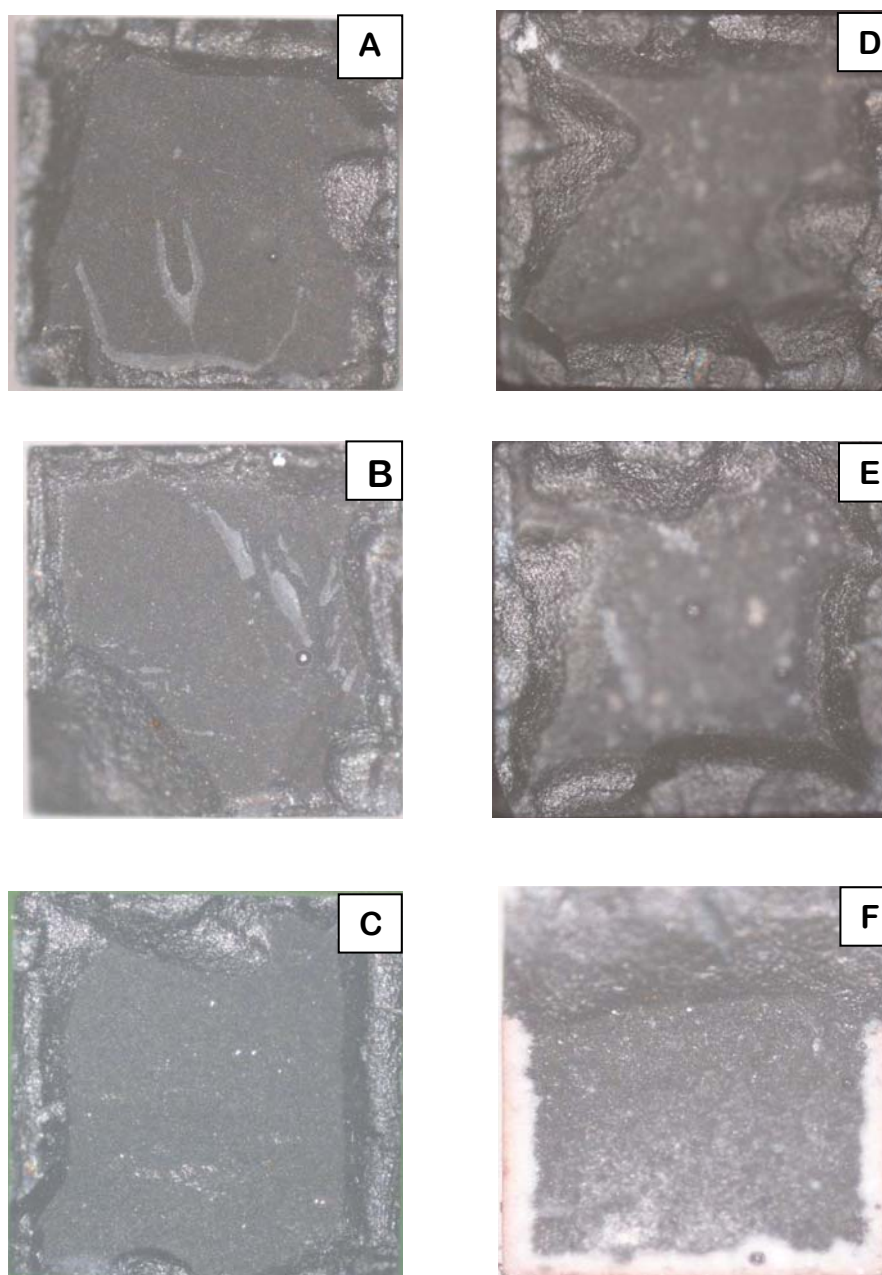
ภาพที่ 12 และ 13 แสดงลักษณะของแท่งทดสอบกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มที่เวลา 1 เดือนและ 3 เดือนพบว่า มีลักษณะคล้ายกันคือ เรซินซีเมนต์บริเวณขอบของแท่งทดสอบมีลักษณะเป็นรูพรุน พบลักษณะของช่องว่างระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินแมทริกซ์ และพบลักษณะทั่วไปของเรซินซีเมนต์บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ



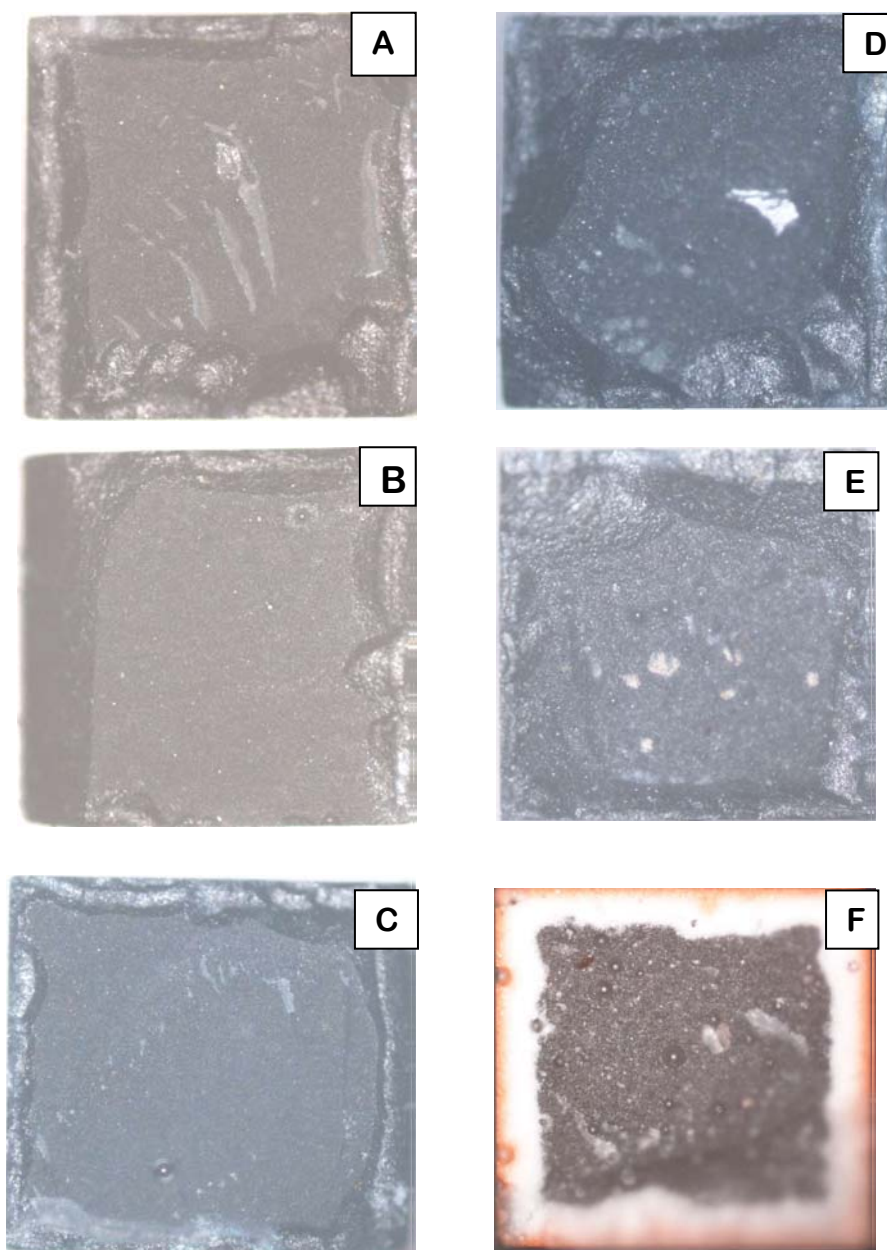
ภาพที่ 6 แสดงรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นเมื่อดูหน้าตัดฝั่งของแท่งเซรามิก (A) และฝั่งของแท่งเรซินคอมโพสิต (B) พบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์)



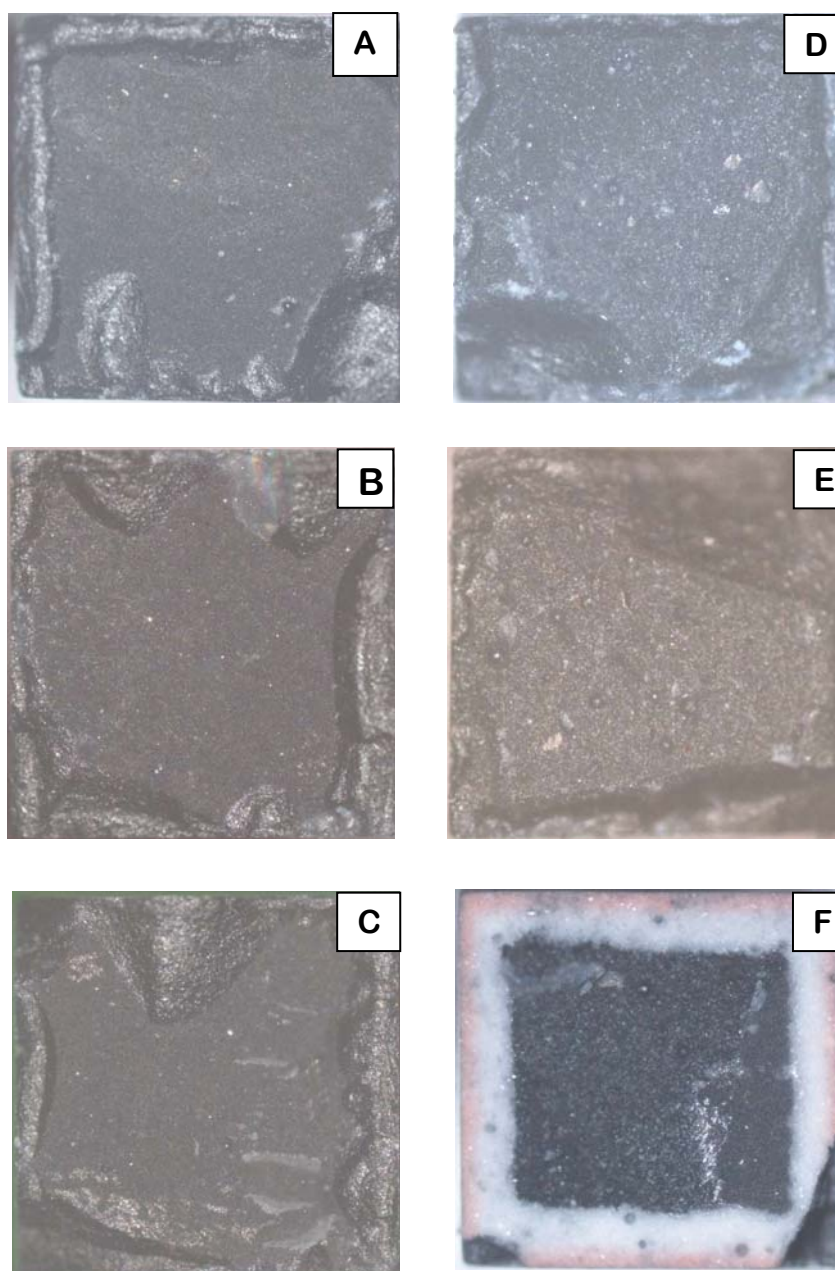
ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบการแตกหักของแท่งเซรามิกทดสอบรูปแบบที่ 1 ในกลุ่มควบคุมของกลุ่มวาริโอ ลิงค์ทู (A) และรีไลเอ็ทซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ (B)



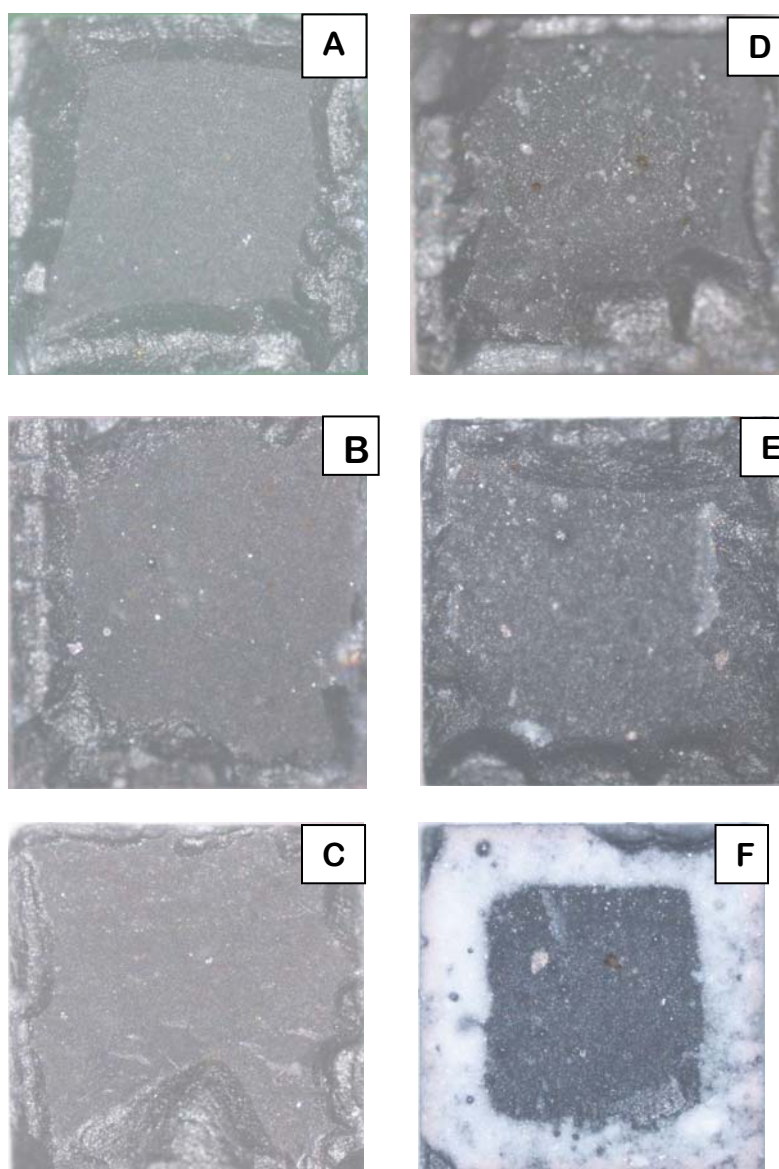
ภาพที่ 8 แสดงรูปแบบการแตกหักของแท่งเซรามิกทดสอบภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 7 วันของ กลุ่มวาริโอลิงค์เรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (A), น้ำลายเทียม (B), กรดซิตริก (C) และกลุ่มรีไล เอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (D), น้ำลายเทียม (E), กรดซิตริก (F) จากภาพพบการ แตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ที่ บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ จากภาพ (F) พบว่าเรซินซีเมนต์บริเวณขอบนอกของแท่ง ทดสอบมีลักษณะสีขาวทึบ



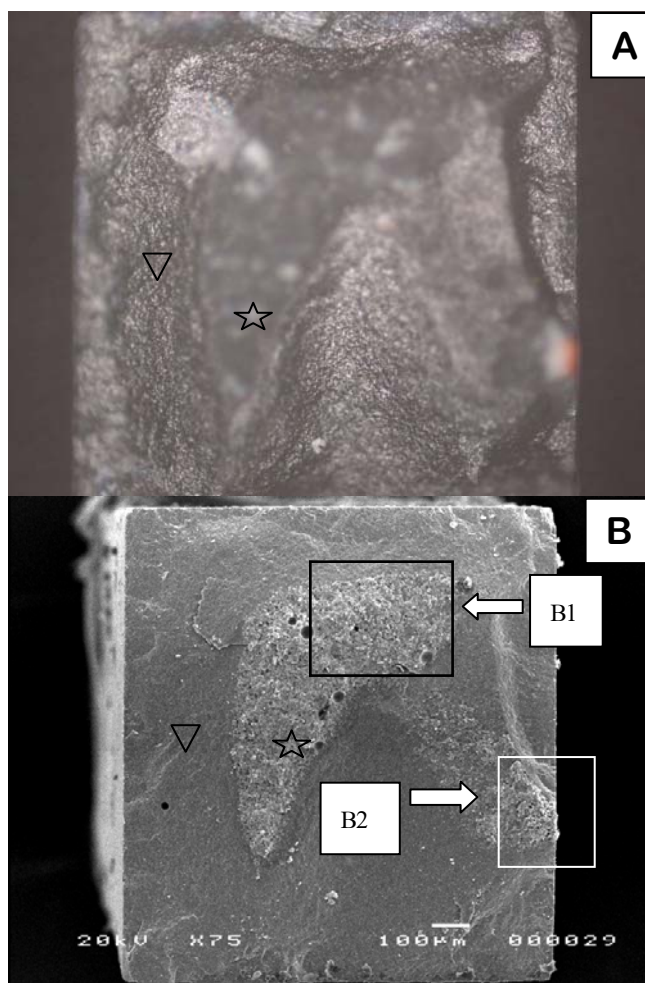
ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบการแตกหักของแท่งเซรามิกทดสอบภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 1 เดือนของกลุ่มวารีโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (A), น้ำลายเทียม (B), กรดซิตริก (C) และกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (D), น้ำลายเทียม (E), กรดซิตริก (F) จากภาพพบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ที่บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ จากภาพ (F) พบว่าเรซินซีเมนต์บริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบมีลักษณะสีขาวทึบ



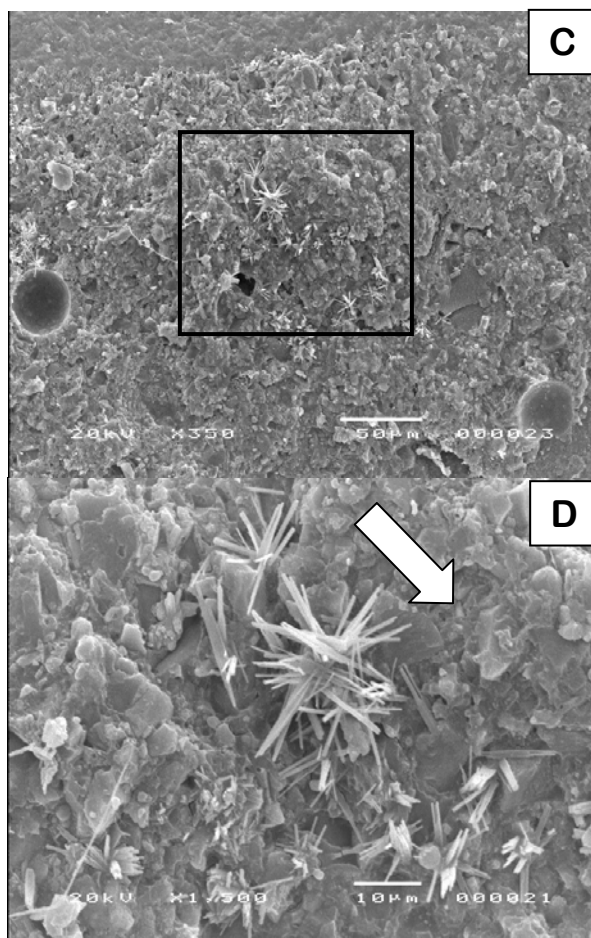
ภาพที่ 10 แสดงรูปแบบการแตกหักของแท่งเซรามิกทดสอบภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 2 เดือนของกลุ่มวาริ โอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (A), น้ำลายเทียม (B), กรดซิตริก (C) และกลุ่มรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซิร์เรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (D), น้ำลายเทียม (E), กรดซิตริก (F) จากภาพพบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ที่บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ จากภาพ (F) พบว่าเรซินซีเมนต์บริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบมีลักษณะขาวทึบ



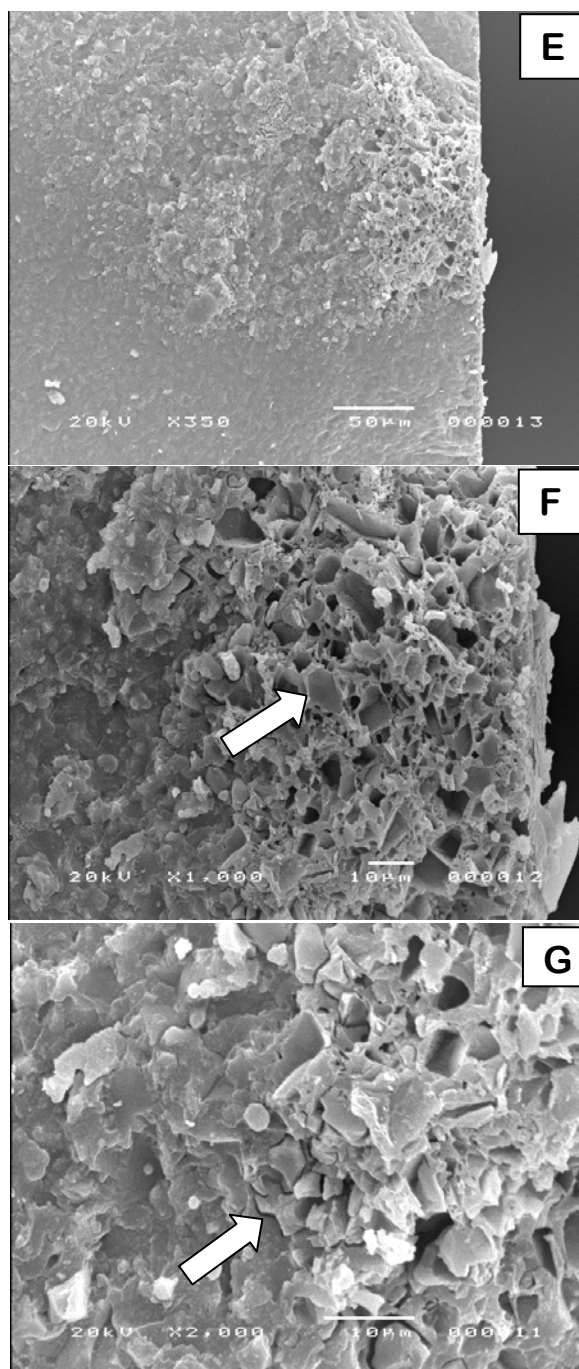
ภาพที่ 11 แสดงรูปแบบการแตกหักของแท่งเซรามิกทดสอบภายหลังการแช่ในสารทดสอบนาน 3 เดือน ของกลุ่มวาริ โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (A), น้ำลายเทียม (B), กรดซิตริก (C) และกลุ่ม ริไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำ (D), น้ำลายเทียม (E), กรดซิตริก (F) จากภาพพบการ แตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ที่ บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ จากภาพ (F) พบว่าเรซินซีเมนต์บริเวณขอบนอกของแท่ง ทดสอบมีลักษณะสีขาวทึบ



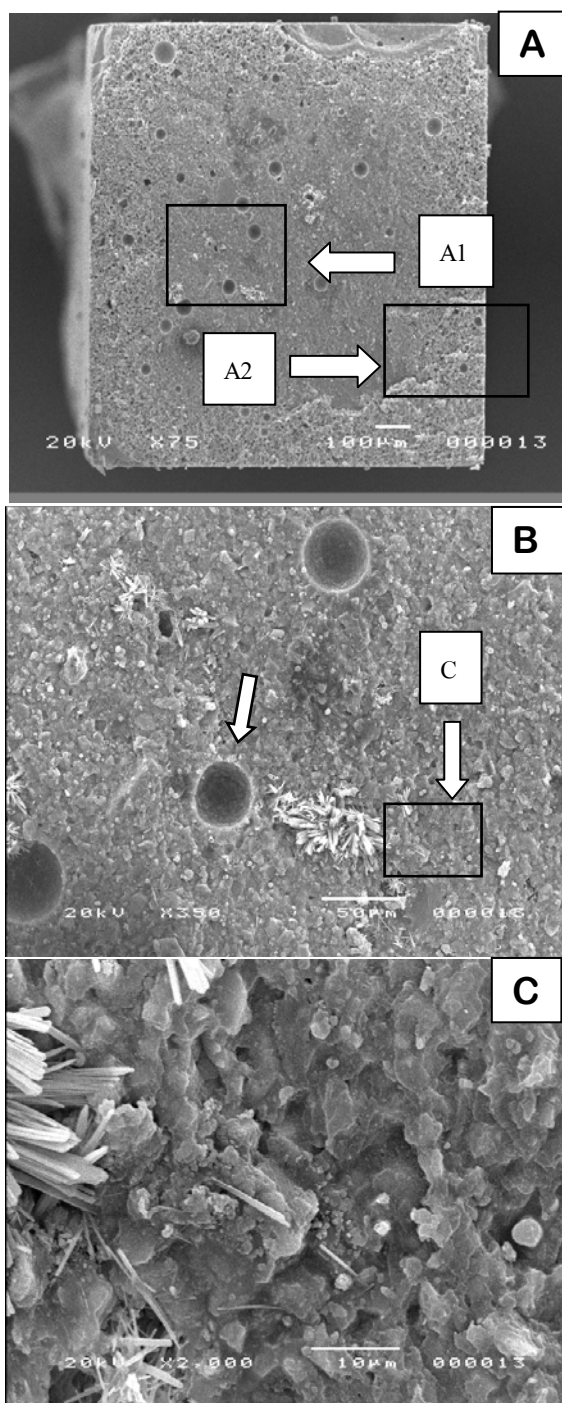
ภาพที่ 12 แสดงแท่งทดสอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซิร์เรซินซีเมนต์กลุ่มที่เซในกรดซिटริกนาน 1 เดือน (A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว และ (B) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ มีการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 2 พบลักษณะพื้นผิวบริเวณที่มีการแตกหักในเรซินซีเมนต์ ซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางของแท่งทดสอบ (B1) บริเวณขอบข้างทางด้านขวาของแท่งทดสอบ (B2)



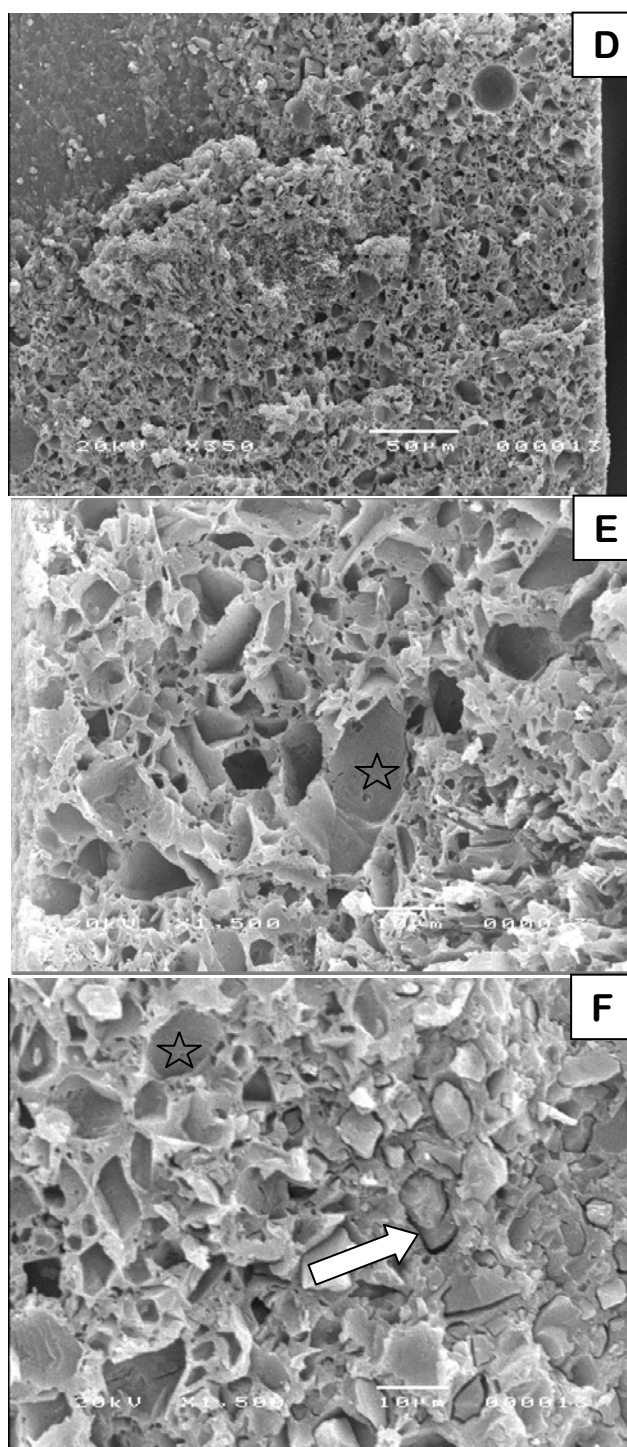
ภาพที่ 12.1 ภาพ (C) แสดงภาพขยายของ (B1) แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณที่มีการแตกหักในเรซินซีเมนต์ซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางของแท่งทดสอบ, ภาพ (D) แสดงภาพขยายของภาพ (C) พบลักษณะทั่วไปของเรซินเมทริกซ์ (ลูกศรชี้) พบลักษณะผลึกคล้ายผลึกของแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งพบเฉพาะในรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในสารทดสอบทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 12.2 ภาพ (E) แสดงภาพขยายของ (B2) แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณที่มีการแตกหักในเรซินซีเมนต์ ซึ่งอยู่บริเวณขอบด้านข้างของแท่งทดสอบที่มีการสัมผัสกับกรด, ภาพ (F) แสดงภาพขยายของภาพ (E) พบลักษณะที่เป็นรูพรุนขนาดต่างๆของเรซินเมทริกซ์ (ลูกศรชี้), ภาพ (G) แสดงภาพขยายของภาพ (F) พบช่องว่างที่เกิดรอบๆวัสดุอัดแทรก (ลูกศรชี้)



ภาพที่ 13 แสดงแท่งทดสอบของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซิร์มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในกรดซิตริกนาน 3 เดือน (A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อบนแบบที่ 4, (B) แสดงภาพขยายบริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (A1) พบลักษณะทั่วไปของเรซิน แมทริกซ์ และ ฟองอากาศ (ลูกศรชี้), (C) แสดงภาพขยายลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ของภาพ (B) ซึ่ง บริเวณพบส่วนกลางของแท่งทดสอบ



ภาพที่ 13.1 ภาพ (D) แสดงภาพขยายของ (A2) แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณที่มีการแตกหักในเรซินซีเมนต์ซึ่งอยู่บริเวณขอบด้านข้างของแท่งทดสอบที่มีการสัมผัสกับกรด ภาพ (E) และ (F) แสดงภาพขยายของภาพ (D) พบลักษณะที่เป็นรูพรุนขนาดต่างๆของเรซินเมทริกซ์ (สัญลักษณ์รูปดาว) และพบลักษณะคล้ายวัสดุอัดแทรกยื่นออกมาจากรูพรุนและมีช่องว่างรอบๆวัสดุอัดแทรก (ลูกศรชี้)

บทที่ 4

บทวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ประเมินการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์เมื่ออยู่ในสภาวะสัมผัสของเหลวพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดมีค่าลดลงภายหลังการแช่ในสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดนาน 3 เดือนร่วมกับการพบการแตกหักแบบผสมในเซรามิกและเรซินซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นแตกต่างจากกลุ่มควบคุม แสดงให้เห็นว่า การสัมผัสของเหลวทำให้เกิดการเสื่อมของเรซินซีเมนต์และการเสื่อมการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก

เนื่องจากเรซิน โพลีเมอร์มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำทำให้เกิดการยึดตัวของโครงข่ายโพลีเมอร์และทำให้เกิดการบวมของโพลีเมอร์เป็นสาเหตุที่ทำให้คุณสมบัติต่างๆของเรซิน โพลีเมอร์เปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำให้โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตและเรซินซีเมนต์มีค่าลดลง^{30,38,71-73} ทำให้วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตมีค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ลดลงเมื่อผ่านการแช่น้ำนาน 6 เดือนเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เก็บในที่แห้ง โดยเรซินโพลีเมอร์มีการดูดซึมน้ำมากที่สุดในช่วง 7-10 วัน⁷⁴⁻⁷⁶ สอดคล้องกับ Örtengren และคณะ⁷⁷ ซึ่งพบว่า วารี โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์มีการดูดซึมน้ำที่ 7 วันมากกว่าที่ 24 ชั่วโมงเป็น 2 เท่าและมีการดูดซึมน้ำเพิ่มอีกเล็กน้อยภายหลังการแช่น้ำนาน 60 และ 180 วัน ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่อธิบายการลดลงของค่าความแข็งแรงการยึดติดในกลุ่มทดสอบที่ 7 วันของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้พบว่า ภายหลังการแช่สารทดสอบการแตกหักส่วนใหญ่เป็นแบบผสมในเซรามิกและเรซินซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นแตกต่างจากกลุ่มควบคุมซึ่งการแตกหักส่วนใหญ่เกิดในเซรามิกแสดงให้เห็นว่า การเสื่อมเกิดขึ้นในส่วนของเรซินซีเมนต์ภายหลังการแช่ในสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ

อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับโครงสร้างของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ⁷⁸ ส่งผลให้วัสดุเรซินโพลีเมอร์มีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกันภายหลังการสัมผัสน้ำ Mese และคณะ⁷⁹ แสดงให้เห็นว่าวารี โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ซึ่งประกอบด้วยมอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาคริลเลทดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าแม็กซ์เซ็มเรซินซีเมนต์ (Maxem) ซึ่งประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีกลุ่มฟอสเฟตเป็นกลุ่มฟังก์ชันนัลเช่นเดียวกับรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และการศึกษาของ Kumbuloglu และคณะ³¹ พบว่า วารี โอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงการดัดงอมากกว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลานาน 7 วัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Piwowarczyk และ Lauer³⁰ ซึ่งทดสอบภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงและ 150 วัน ทั้งนี้เนื่องจากมอนอเมอร์ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์เป็นชนิดฟังก์ชันนัลประกอบด้วยกลุ่มฟอสเฟต

จำนวน 2 โมเลกุลซึ่งจัดเป็นกลุ่มที่มีขั้วจึงมีความชอบน้ำมากกว่ามอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาคริลเลท ดังนั้นจึงเกิดการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มากกว่าวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์และทำให้เกิดการเสื่อมของเรซินซีเมนต์ได้มากกว่าเป็นสาเหตุทำให้ความแข็งแรงการยึดติดในกลุ่มทดสอบที่ 7 วันของรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีค่าน้อยกว่ากลุ่มวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาที่ส่งผลต่อความแข็งแรงการยึดติดนั้นพบว่า ค่าความแข็งแรงการยึดติดในช่วงเวลาต่างๆของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกัน คือมีการลดลงในกลุ่มทดสอบที่ 7 วันต่ำกว่ากลุ่มควบคุมโดยมีเพียงกลุ่มของรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ซึ่งใช้ในสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจากรูปแบบการแตกหักแบบผสมของเซรามิกและเรซินซีเมนต์แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดสอบที่เวลา 7 วันมีการยึดติดกันที่แข็งแรงระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์แต่เกิดการเสื่อมในเรซินซีเมนต์ซึ่งอาจเป็นผลจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำของส่วนเรซินเมทริกซ์ในช่วงแรกภายหลังการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน หลังจากนั้นพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดของกลุ่มทดสอบที่ 1 เดือนมีค่าเพิ่มขึ้นและคงตัวในกลุ่มทดสอบที่ 2 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันอย่างต่อเนื่องภายหลังการฉายแสง³⁰ สอดคล้องกับ Piwowarczyk และคณะ²⁷ ซึ่งพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดระหว่างไอพีเอสเอ็มเพรสเซรามิกกับวารีโอลิงค์ทูและรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังจากการแช่น้ำเป็นเวลา 14 วันและผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจำนวน 1,000 รอบ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งทดสอบในเวลา 30 นาที ภายหลังจากการยึดขึ้นทดสอบ สำหรับกลุ่มทดสอบที่เวลา 3 เดือนในการศึกษาครั้งนี้แม้ว่าความแข็งแรงการยึดติดมีแนวโน้มลดลงแต่พบว่ามีเพียงกลุ่มของรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่น้ำมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำมีผลทำให้เกิดการเสื่อมการยึดติดระหว่างรีโกลีเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์และเซรามิก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคุณสมบัติความชอบน้ำของมอนอเมอร์ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานการเกิดไฮโดรไลซิสและทำให้เกิดการเสื่อมการยึดติดเมื่อสัมผัสน้ำเป็นเวลานาน

การลดลงของค่าความแข็งแรงการยึดติดของกลุ่มทดสอบที่เวลา 3 เดือนแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมการยึดติดเมื่ออยู่ในสภาวะที่สัมผัสกับสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดเป็นระยะเวลานาน สอดคล้องกับการศึกษาของ Foxton และคณะ⁴⁴ ซึ่งพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ภายหลังจากแช่น้ำเป็นเวลานาน 1 ปีเมื่อมีการใช้ร่วมกับสารไซเลนและสารยึดติดเนื้อฟันที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำเป็นตัวทำละลายและพบรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นตามเวลา อย่างไรก็ตามรูปแบบการแตกหักแตกต่างจากผลการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งพบการแตกหักแบบผสมของเรซินซีเมนต์และเซรามิกในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นและพบรูปแบบการแตกหักแบบผสมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกร่วมกับการแตกหักของเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (การแตกหักแบบที่ 5) เพียงร้อยละ 6-13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเซรามิกและเรซินซีเมนต์

ยังคงมีการยึดติดที่ดีแต่การเสื่อมและการแตกหักเกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์ซึ่งอธิบายด้วยกลไกการเสื่อมของเรซินคอมโพสิตดังกล่าวข้างต้น^{40, 41} Söderholm ศึกษาการเสื่อมของเรซินคอมโพสิตเมื่อสัมผัสน้ำเป็นเวลานาน 6 เดือนพบว่า มีการปลดปล่อยไอออนซึ่งเป็นองค์ประกอบในวัสดุอัดแทรกออกมตลอดเวลา และเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดมีปริมาณการปลดปล่อยไอออนสูงสุดแตกต่างกัน โดยมีการปลดปล่อยสูงสุดเกิดขึ้นภายหลังเดือนที่ 4 Söderholm⁴⁰ กล่าวว่ากระบวนการปลดปล่อยไอออนจากวัสดุอัดแทรกนี้ต้องอาศัยเวลาเพื่อให้ น้ำแพร่ผ่านเรซินแมทริกซ์ไปถึงรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก และเกิดการแพร่ผ่านของไอออนที่ถูกปลดปล่อยกลับออกมาสู่น้ำซึ่งเป็นสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นทำให้พบว่าปริมาณไอออนสูงสุดที่ปลดปล่อยออกมาจึงพบภายหลังเดือนที่ 4 และเมื่อมีการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในวัสดุเป็นระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อดังกล่าวในวัสดุชั้นลึกๆห่างจากพื้นผิวรอบนอกที่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึง (tensile force) จึงเกิดแรงเครียดเฉพาะตำแหน่งเพิ่มขึ้นที่รอยเชื่อมต่อนี้ทำให้เกิดการสูญเสียการยึดติดกันและนำไปสู่การกระจายตัวของรอยแตกหัก (crack propagation) ไปยังบริเวณรอยเชื่อมต่อเหล่านี้อย่างรวดเร็วและทำให้วัสดุเรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติทางกลลดลง^{41, 81} ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการลดลงของค่าความแข็งแรงการยึดติดในกลุ่มที่แช่ในสารทดสอบนาน 3 เดือน

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การสัมผัสกรดซิตริกเป็นเวลานาน 3 เดือนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการศึกษาผลของอาหารและเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดต่อความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิกยังมีจำกัดจึงพบว่ามีเพียง Akova และคณะ⁸² ซึ่งศึกษาผลของกรดซิตริกและน้ำต่อการยึดติดระหว่างเซรามิก สารยึดเรซิน และแบร์กเกตชนิดโลหะ โดยพบว่า ภายหลังจากแช่ในกรดซิตริกและน้ำนาน 3 เดือนความแข็งแรงการยึดติดมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งเก็บไว้ในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่สัมผัสน้ำและกรดซิตริกทำให้เกิดการเสื่อมการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิกได้ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า วาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 กลุ่มของสารทดสอบและรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มที่แช่ในน้ำลายเทียมและกรดซิตริกมีความต้านทานต่อการเสื่อมที่ดีในช่วง 3 เดือนของการทดสอบ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการใช้สารไซเลนก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ สอดคล้องกับ Blatz และคณะ⁴⁶ ซึ่งพบว่า วาริโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์เมื่อใช้ร่วมกับสารไซเลนมีการยึดติดที่คงทนกับเซรามิกแม้ผ่านการแช่น้ำนาน 6 เดือนและผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นจำนวน 12,000 รอบ ในขณะที่การศึกษาของ Akova ไม่มีการใช้สารไซเลนก่อนการยึดกับเซรามิกด้วยสารยึดเรซิน

ค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ยังคงสูงของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดนี้แม้ผ่านการแช่สารทดสอบนาน 3 เดือนเมื่อพิจารณาพร้อมกับรูปแบบการแตกหักซึ่งพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการแตกหักแบบผสมในเซรามิกและเรซินซีเมนต์ โดยพบการแตกหักแบบผสมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกร่วมกับการแตกหักของเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (การแตกหักแบบที่ 5) ของแต่ละกลุ่มในสัดส่วน

เพียงร้อยละ 6-13 แสดงให้เห็นว่า มีการยึดติดกันที่บริเวณรอยเชื่อมต่อด้วยพันธะที่แข็งแรงสอดคล้องกับการศึกษาของ Piwowarczyk²⁷ ซึ่งมีการปรับสภาพพื้นผิวไอพีเอสเอ็มเพรสเซรามิกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และใช้สารไซเลนและเรซินซีเมนต์เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกด้วยกรดและสารไซเลนมีส่วนส่งเสริมให้เซรามิกมีการยึดติดที่ดีกับเรซินซีเมนต์ มีการศึกษาที่สนับสนุนว่าการปรับสภาพผิวของแก้วเซรามิกชนิดกดอัดด้วยความร้อนโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดติด^{83,84} ทั้งนี้เนื่องจากการมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้นและมีพื้นผิวที่ขรุขระทำให้เกิดการยึดอยู่แบบจุลภาค นอกจากนี้การใช้สารไซเลนภายหลังการปรับสภาพผิวด้วยกรดช่วยให้เซรามิกชนิดกดอัดด้วยความร้อนและเรซินมีความแข็งแรงการยึดติดเพิ่มขึ้น⁶⁶ โดยสารไซเลนช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกพื้นผิวและลดค่าพลังงานพื้นผิวของเซรามิก ทำให้สารยึดติดและเรซินซีเมนต์สามารถแทรกซึมเข้าไปเกิดการยึดติดกับผิวเซรามิกที่มีความขรุขระ และสารไซเลนสามารถเกิดการยึดติดทางเคมีด้วยพันธะโควาเลนต์กับผิวเซรามิกและเรซินจึงทำให้มีการยึดกันด้วยพันธะเคมีและทางกลที่ค่อนข้างแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมต่อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Roulet และคณะ¹¹ซึ่งพบว่า เซรามิกที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาด้วยสารไซเลนมีความแข็งแรงการยึดติดที่คงทนแม้ผ่านการแช่น้ำนาน 12 เดือน

นอกจากนี้การใช้สารยึดติดช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิก เนื่องจากสารยึดติดเรซินซึ่งปราศจากวัสดุอัดแทรกช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกพื้นผิว และลดทั้งจำนวนและขนาดของรอยตำหนิที่อาจเกิดขึ้นที่บริเวณรอยเชื่อมต่องึงส่งเสริมให้เกิดการยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง⁴⁷ และเนื่องจากสารยึดติดเฮลิโอบอนด์ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีส่วนประกอบหลักคือ บิสฟีเอ็มเอ มีคุณสมบัติค่อนข้างไม่ชอบน้ำจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่อธิบายผลการศึกษากันนี้ที่พบว่ากลุ่มของวาริโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์ซึ่งมีการทาสารยึดติดเฮลิโอบอนด์ยังคงมีความแข็งแรงการยึดติดที่สูงไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมแม้ผ่านการแช่สารทดสอบนาน 3 เดือน และพบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกเพียงเล็กน้อย

ดังนั้นเมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาต่อความแข็งแรงการยึดติด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีการยึดติดกับเซรามิกที่แข็งแรงและคงทนต่อการเสื่อมสภาพหลังการสัมผัสกรดและน้ำลายเทียมเป็นเวลานานเช่นเดียวกับวาริโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์ และแม้ว่ากลุ่มของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่น้ำปราศจากไอออนมีความแข็งแรงการยึดติดที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามความแข็งแรงการยึดติดเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดที่พบในการศึกษานี้มีค่าระหว่าง 22.15-29.17 เมกกะปาสกาล ซึ่งยังคงสูงกว่าความแข็งแรงการยึดติดแรงดึงชนิดไมโครเทนไซล์ระหว่างรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กับพื้นซึ่งมีค่าประมาณ 15.9 -19.6 เมกกะปาสกาล⁷ ถึงแม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่แสดงว่า ความแข็งแรงการยึดติดควรมีค่าเท่าไรจึงจะประสบความสำเร็จในทางคลินิกและการมีค่าสูงมากกว่าค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างพื้นและวัสดุบูรณะหลายเท่าตัวอาจเกินความจำเป็น อย่างไรก็ตามการพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดที่มีค่าสูงแม้ผ่านกระบวนการเพื่อจำลอง

สภาวะต่างๆ ในช่องปากเป็นระยะเวลาานแสดงให้เห็นถึงการยึดติดกันที่ดีและต้านทานต่อการเกิดการรั่วซึมตามขอบและต้านทานการหลุดของวัสดุบูรณะเซรามิกชนิดทางอ้อมเมื่อใช้งานในระยะยาว

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดสารทดสอบแสดงให้เห็นว่า ชนิดของสารทดสอบไม่มีผลต่อความแข็งแรงการยึดติด สอดคล้องกับ Akova และคณะ⁸² ซึ่งพบว่า ความแข็งแรงการยึดติดระหว่างสารยึดเรซินทางทันตกรรมจัดฟันกับเซรามิกของกลุ่มทดลองที่แช่ในน้ำและกรดซิตริกนาน 3 เดือนมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า กรดไม่ได้ส่งผลให้เกิดการเสื่อมการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิกที่รุนแรงมากกว่าน้ำและน้ำลายเทียม

อย่างไรก็ตามพบว่า มีเพียงกลุ่มทดสอบที่เวลา 1 เดือนของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำมีความแข็งแรงการยึดติดน้อยกว่ากลุ่มที่แช่ในกรดซิตริกและน้ำลายเทียมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีคุณสมบัติชอบน้ำและง่ายต่อการดูดซับน้ำ⁷⁸ นอกจากนี้ปฏิกิริยาการแข็งตัวสามารถเกิดปฏิกิริยากรด-เบสซึ่งต้องอาศัยน้ำในการเกิดปฏิกิริยา จึงอาจมีการดึงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อแช่ในน้ำเรซินซีเมนต์จึงมีการดูดซับน้ำเข้าไปจนถึงจุดอิ่มตัว (saturation) โดยทั่วไปพบว่าเรซินคอมโพสิตเริ่มมีการอิมตัวภายหลังการแช่น้ำนาน 2-3 เดือน⁸⁵ นอกจากนี้วัสดุอัดแทรกซึ่งเป็นแก้วไอโอมิโนฟลูออโรซิลิเกตนั้น⁸⁶ บริษัทผู้ผลิตมีความต้องการให้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนและเกิดปฏิกิริยากรด-เบสได้ จึงไม่มีส่วนของสารไฮเลนเคลือบผิวของวัสดุอัดแทรกซึ่งทำให้สามารถแลกเปลี่ยนและเกิดการสูญเสียไอออนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งเป็นน้ำได้ง่าย ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีความไวต่อการเสื่อมโดยน้ำได้มาก สำหรับน้ำลายเทียมซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบส่งผลกระทบน้อยกว่าน้ำปราศจากไอออนทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีไอออนหลายชนิดเป็นองค์ประกอบทำให้มีความเข้มข้นของน้ำในสัดส่วนที่น้อยกว่า ดังนั้นปริมาณน้ำที่แพร่เข้าไปในเรซินซีเมนต์และส่งผลให้เกิดการเสื่อมจึงมีน้อยกว่า แม้ว่าการศึกษาของ Söderholm และคณะ⁸¹ พบว่าน้ำลายเทียมมีผลทำให้เรซินคอมโพสิตมีการปลดปล่อยไอออนเช่น ซิลิกา แบเรียม อลูมินัม ออกมาจากวัสดุอัดแทรกมากกว่าน้ำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ในการประเมินความแข็งแรงการยึดติดเมื่อแช่ในสารทดสอบต่างชนิดกันนั้นกลุ่มที่แช่ในน้ำลายเทียมมีความแข็งแรงการยึดติดไม่แตกต่างจากน้ำปราศจากไอออนยกเว้นกลุ่มทดสอบที่เวลา 1 เดือนของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ดังกล่าวข้างต้น

สำหรับรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในกรดซิตริก แม้ว่ากรดซิตริกมีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งมีส่วนทำให้เกิดการยึดออกของโครงข่ายโพลีเมอร์เช่นเดียวกับน้ำปราศจากไอออน อย่างไรก็ตามผลกระทบที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดมีน้อยกว่าน้ำปราศจากไอออน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่กรดซิตริกเมื่อแตกตัวในน้ำ ไฮโดรเจนไอออนเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำได้เป็นไฮโดรเนียมไอออน ซึ่งโมเลกุลของกรดซิตริก ($MW = 192.125 \text{ g/mole}$) และไฮโดรเนียมไอออนมีขนาดใหญ่กว่าน้ำ ดังนั้นการแทรกซึมและทำให้เกิดการเสื่อมจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า และแม้ว่ากรดทำให้เกิดการสูญเสียไอออนจากพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกชนิดฟลูออโรไอโอมิโนซิลิเกตมากกว่าน้ำซึ่งจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดแสดงให้เห็นช่องว่าง หรือรอยแยกบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์ และวัสดุอัดแทรกอย่างชัดเจน โดยไม่พบลักษณะดังกล่าวในกลุ่มที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนและน้ำลายเทียม ซึ่งการสูญเสียไอออนนำไปสู่การสูญเสียการยึดติดกันระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกและการเสื่อมคุณสมบัติทางกลของวัสดุได้ อย่างไรก็ตามพบว่าความแข็งแรงการยึดติดที่เวลา 1 เดือนของกลุ่มที่แช่น้ำมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่แช่กรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่แช่กรดซิตริกและน้ำลายเทียม ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่ากลไกการเสื่อมที่เกิดบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงการยึดติดน้อยกว่ากลไกการเสื่อมที่เกิดขึ้นในเรซินแมทริกซ์⁸¹

ในขณะที่กลุ่มของวาริโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่แช่ในสารต่างชนิดกันประกอบกับค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ยังคงสูงในทุกช่วงเวลาของการทดสอบไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างจากรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ คือ มีวัสดุอัดแทรกซึ่งเคลือบผิวด้วยสารไฮเลนและส่วนเรซินแมทริกซ์ คือ บิสจีเอ็มเอซึ่งมีความชอบน้ำน้อยกว่า ร่วมกับการใช้สารไฮเลนและสารยึดติดซึ่งมีความไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะสัมผัสของเหลวจึงมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าและการเสื่อมจึงเกิดขึ้นใกล้เคียงกันทั้งสามสารทดสอบ

เมื่อพิจารณาปัจจัยชนิดของเรซินซีเมนต์ผลการศึกษาค้างนี้แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงการยึดติดของเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิด มีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนว่าความแข็งแรงการยึดติดของชนิดใดมีค่าสูงกว่า ผลการศึกษายของ Piwowarczyk และคณะ²⁷ พบว่า เรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีความแข็งแรงการยึดติดไม่แตกต่างกันทั้งกลุ่มที่ทดสอบ 30 นาทีหลังผสมซีเมนต์และกลุ่มทดสอบภายหลังการแช่นาน 14 วันและผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นจำนวน 1,000 รอบ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้างนี้แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่พบความแตกต่างของความแข็งแรงการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญนั้นวาริโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์มีค่าสูงกว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ โดยพบความแตกต่างในกลุ่มทดสอบที่เวลา 7 วันซึ่งแช่น้ำและกรดซิตริกและกลุ่มทดสอบที่เวลา 1 เดือนซึ่งแช่น้ำ ทั้งนี้เป็นผลจากเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดบริเวณรอยแตกหักของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์พบว่า มีฟองอากาศอยู่ภายในชั้นของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fabianelli⁸⁷ ฟองอากาศเหล่านี้เกิดขึ้นขณะผสมซีเมนต์ซึ่งพบบ่อยในวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดแคปซูลผสม โดยวิธีการปั่นและมีผลทำให้วัสดุมีคุณสมบัติทางกลลดลง^{88, 89} ในขณะที่พบฟองอากาศเพียงเล็กน้อยในวาริโอดิงค์ทูเรซินซีเมนต์ที่ผสมด้วยมือ ฟองอากาศที่อยู่ภายในมีส่วนทำให้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์อ่อนแอและง่ายต่อการแตกหักได้มากกว่า

ในการประเมินความสามารถในการยึดติดนั้นไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าความแข็งแรงการยึดติดที่วัดได้เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ควรพิจารณารูปแบบของการแตกหักหรือตำแหน่งที่เกิดความล้มเหลว

ของการยึดติดร่วมด้วยซึ่งมีส่วนช่วยในการทำนายผลการใช้งานทางคลินิกของเรซินซีเมนต์และความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น ผลการประเมินรูปแบบการแตกหักพบว่า ในกลุ่มควบคุมนั้นส่วนใหญ่พบการแตกหักในเซรามิกโดยเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดพบการแตกหักชนิดนี้คิดเป็นร้อยละ 66.7 แสดงให้เห็นถึงการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ในระยะแรกของการยึดติด อย่างไรก็ตามเมื่อขึ้นทดสอบที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดถูกแช่ในสารละลายทั้งสามชนิดเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ 1, 2 และ 3 เดือนพบว่า รูปแบบการแตกหักมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการแตกหักแบบผสมของเซรามิกร่วมกับเรซินซีเมนต์ทั้งการแตกหักชนิดที่ 2 และ 3 ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มทดสอบที่แช่ในกรดซัลฟิวริก 1, 2, และ 3 เดือนพบว่ารูปแบบการแตกหักมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการแตกหักในส่วนของเรซินซีเมนต์ซึ่งจัดเป็นการแตกหักชนิดที่ 4 ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 40-66.7 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่แช่ในกรดซัลฟิวริก 7 วัน

มีการศึกษาพบว่า น้ำมีผลทำให้เกิดการเสื่อมการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิกเมื่อแช่ขึ้นทดสอบในน้ำเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ส่งผลให้ความแข็งแรงการยึดติดมีค่าลดลงและพบการแตกหักที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินและเซรามิกในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น^{44,65} ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้พบรูปแบบการแตกหักแบบผสมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกร่วมกับการแตกหักของเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (การแตกหักแบบที่ 5) ของแต่ละกลุ่มในสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 6.7-13.3) และยังคงพบการแตกหักในเซรามิกร่วมกับเรซินซีเมนต์ (การแตกหักชนิดที่ 2 และ 3) แม้จะผ่านการแช่ในสารทดสอบทั้ง 3 ชนิดเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา^{27,46,48,84,90} แสดงให้เห็นถึงการยึดติดกันที่แข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินและเซรามิกซึ่งเป็นผลจากการยึดอยู่แบบจุลภาคและการยึดติดทางเคมีดังกล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตามการพบลักษณะการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ (ภาพที่ 8-11) ในกลุ่มทดสอบซึ่งผ่านการแช่ในสารทดสอบเป็นเวลานาน อาจเป็นผลจากลักษณะการกระจายแรงที่ไม่สม่ำเสมอของการทดสอบแบบแรงดึงซึ่งความเครียดชนิดดึงที่เกิดขึ้นบริเวณขอบรอบนอกของแท่งทดสอบเกิดขึ้นมากกว่าบริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ ประกอบกับโดยทั่วไปการแตกหักมีจุดกำเนิดจากตำแหน่งของวัสดุซึ่งมีความอ่อนแอ ดังนั้นหากบริเวณขอบของแท่งทดสอบเซรามิกมีรอยตำหนิของเซรามิกดังที่พบในการศึกษาครั้งนี้ แรงเครียดที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้เกิดการแตกหักของเซรามิกในบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากเซรามิกมีคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงต่ำและการแตกหักจะดำเนินต่อไปยังส่วนที่อ่อนแอที่สุดของการยึดติดระหว่างเรซินและเซรามิก ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า คือ ส่วนของเรซินซีเมนต์ที่มีการแตกหักแสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์เกิดการเสื่อมในสภาวะที่สัมผัสของเหลว

การพบการแตกหักในชั้นของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ในกรดซัลฟิวริกนั้น เมื่อพิจารณารอยแตกหักจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 12 และ 13) แสดงให้เห็น ลักษณะรอยแยกระหว่างเรซินแมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก

และลักษณะพื้นผิวที่เป็นแอ่งเนื่องจากการหลุดของวัสดุอัดแทรกออกจากเรซินเมทริกซ์ซึ่งเกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์บริเวณขอบของแท่งทดสอบที่สัมผัสกรด ทั้งนี้เป็นผลจากกรดทำให้เกิดการสูญเสียไอออนออกจากผิวของแก้วฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตนำไปสู่เกิดการยึดติดกันระหว่างเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก อย่างไรก็ตามจากค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ยังคงสูงแสดงให้เห็นว่า แม้กรดมีผลทำให้เกิดการเสื่อมดังกล่าวแต่ไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดลดลงแตกต่างจากน้ำและน้ำลายเทียมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสนับสนุนว่าน้ำมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเรซินโพลีเมอร์โดยกลไกที่ทำให้เกิดการเสื่อมของเรซินเมทริกซ์มากกว่ากลไกที่ทำให้เกิดการเสื่อมที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก⁸¹ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเวลานานขึ้นกรดสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ลึกเพิ่มขึ้นและเกิดการสูญเสียไอออนบริเวณผิวของวัสดุอัดแทรกในชั้นลึกๆเกิดเป็นช่องว่างระหว่างเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก ร่วมกับการมีฟองอากาศในรีไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ซึ่งเป็นจุดอ่อนแอที่เกิดภายในเรซินซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงจุดที่อ่อนแอที่สุดเป็นจุดเริ่มต้นการแตกหักและการแตกหักจะกระจายไปยังช่องว่างเหล่านี้ นอกจากนี้การมีตำหนิ (defect) เช่น ฟองอากาศในเรซินซีเมนต์เป็นเสมือนช่องว่างให้น้ำเข้าไปแทรกตัวอยู่อาจมีส่วนทำให้เกิดการเสื่อมในเรซินซีเมนต์ได้มากขึ้น ดังนั้นจึงพบการแตกหักเกิดขึ้นในเรซินซีเมนต์ร้อยละ 80 ของพื้นที่ผิวในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นและพบการแตกหักของเซรามิกในสัดส่วนที่ลดลง

นอกจากนี้พบว่า บริเวณขอบนอกของรีไลเอ็ชยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปคือ มีลักษณะขุ่นทึบซึ่งจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงให้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวพบช่องว่าง หรือรอยแยกระหว่างเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก ในขณะที่บริเวณส่วนกลางซึ่งไม่มีลักษณะขุ่นทึบนั้นจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ไม่พบลักษณะดังกล่าว ดังนั้นการเกิดช่องว่าง หรือรอยแยกระหว่างเรซินเมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เห็นเรซินซีเมนต์มีลักษณะขุ่นทึบ⁴⁰

ในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการครั้งนี้เป็นการจำลองสภาวะของการสัมผัสกรดชนิดริคความเข้มข้นเทียบเท่าในน้ำผลไม้เป็นเวลาต่อเนื่อง 3 เดือนซึ่งไม่พบในสภาวะความเป็นจริงแต่เป็นการกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิก หากการรับประทานน้ำผลไม้ 1 ครั้งมีผลทำให้กรดสัมผัสฟันเป็นเวลานาน 10 นาทีดังนั้นระยะเวลา 3 เดือนในการศึกษาครั้งนี้เทียบเท่าระยะเวลา 12-18 ปีในการทานน้ำผลไม้วันละ 2-3 ครั้งต่อวัน ซึ่งผลการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดติดครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์มีการยึดติดที่แข็งแรงและคงทนภายหลังจากการสัมผัสกรดเป็นระยะเวลาาน อย่างไรก็ตามในช่องปากมีปัจจัยอื่นเช่น แรงจากการบดเคี้ยว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซึ่งอาจมีผลกระทบต่อกรยึดติดและเร่งให้เกิดการเสื่อมการยึดติดได้ การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะความแข็งแรงการยึดติดของรอยเชื่อมต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิกเพียงด้านเดียว เพื่อเป็นการลดปัจจัยรบกวนจากการใช้ฟันธรรมชาติในการศึกษา เนื่องจากความแปรผันของฟันแต่ละซี่และโอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวในฝังฟันทำให้ไม่เห็นผลที่ชัดเจนของปัจจัยที่สนใจศึกษาต่อความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซิน

ซีเมนต์ ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์แต่เกิดการเสื่อมขึ้นในเรซินซีเมนต์ อย่างไรก็ตามการทำนายผลในทางคลินิกต้องพิจารณา ร่วมกับการยึดติดระหว่างฟันและเรซินซีเมนต์ ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาผลจากปัจจัยทางเคมีในช่องปากต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินซีเมนต์และคุณสมบัติทางกลคือ ความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมประเด็นต่อไปนี้

1) ทำการศึกษาการยึดติดระหว่างวัสดุอุดฟันเซรามิก เรซินซีเมนต์ และฟันธรรมชาติภายใต้การจำลองสภาวะต่างๆ เช่น การสัมผัสสคร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือการให้แรงโหลดเป็นรอบ (cyclic loading) และศึกษาความแข็งแรงการยึดติดที่เปลี่ยนแปลงไปของบริเวณต่างๆ คือ บริเวณผนังตามแกน (axial wall) และพื้นโพรงฟัน (pupal floor) และประเมินรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้น

2) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์บริเวณขอบของวัสดุอุดฟันเซรามิกในฟันธรรมชาติภายหลังการแช่ในกรดซิตริก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

1. การยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อการเสื่อมเมื่อสัมผัสกรดซิตริก น้ำปราศจากไอออน และน้ำลายเทียมนาน 3 เดือน ยกเว้นกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนมีค่าความแข็งแรงการยึดติดน้อยกว่ากลุ่มควบคุม
2. กรดซิตริกความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.2 ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดที่แตกต่างจากน้ำปราศจากไอออน และน้ำลายเทียม ยกเว้นรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์กลุ่มทดสอบที่เวลา 1 เดือนซึ่งพบว่า กลุ่มแช่ในน้ำปราศจากไอออนมีค่าความแข็งแรงการยึดติดต่ำกว่ากลุ่มที่แช่ในน้ำลายเทียม และกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ
3. เรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีค่าความแข็งแรงการยึดติดที่คงทน และใกล้เคียงกันเมื่อผ่านกระบวนการทำให้เกิดความเสื่อมโดยการแช่ในสารทดสอบ 3 ชนิดนาน 3 เดือน
4. กรดซิตริกทำให้เกิดการเสื่อมทางเคมีต่อรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์บริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกรด ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่มีผลทำให้มีค่าความแข็งแรงการยึดติดที่แตกต่างจากน้ำปราศจากไอออน และน้ำลายเทียม
5. กรดมีผลทำให้รูปแบบการแตกหักของแท่งทดสอบกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มที่เวลา 1, 2 และ 3 เดือนเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบที่ 4 แตกต่างจากกลุ่มที่แช่น้ำและน้ำลายเทียม
6. กลุ่มของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มที่แช่ในกรดมีรูปแบบการแตกหักที่แตกต่างจากกลุ่มของวารีโอลิงค์ทูที่แช่ในกรด
7. กรดไม่มีผลต่อรูปแบบการแตกหักของแท่งทดสอบที่แตกต่างจากน้ำและน้ำลายเทียมในกลุ่มของวารีโอลิงค์ทูเรซินซีเมนต์

เอกสารอ้างอิง

1. Dong JK, Luthy H, Wohlwend A, Scharer P. Heat-pressed ceramics: technology and strength. *Int J Prosthodont* 1992; 5(1): 9-16.
2. Kramer N, Lohbauer U, Frankenberger R. Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 2000; 13(Spec No): 60D-76D.
3. Coelho Santos MJ, Mondelli RF, Lauris JR, Navarro MF. Clinical evaluation of ceramic inlays and onlays fabricated with two systems: two-year clinical follow up. *Oper Dent* 2004; 29(2): 123-30.
4. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-85.
5. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials* 2005; 26(33): 6449-59.
6. Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 2005; 9(3): 161-7.
7. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004; 20(10): 963-71.
8. Frankenberger R, Petschelt A, Kramer N. Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after six years: clinical behavior. *Oper Dent* 2000; 25(6): 459-65.
9. Kramer N, Frankenberger R. Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater* 2005; 21(3): 262-71.
10. Stoll R, Cappel I, Jablonski-Momeni A, Pieper K, Stachniss V. Survival of inlays and partial crowns made of IPS empress after a 10-year observation period and in relation to various treatment parameters. *Oper Dent* 2007; 32(6): 556-63.
11. Roulet JF, Soderholm KJ, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *J Dent Res* 1995; 74(1): 381-7.
12. Wu W, Toth EE, Moffa JF, Ellison JA. Subsurface damage layer of in vivo worn dental composite restorations. *J Dent Res* 1984; 63(5): 675-80.

13. Asmussen E. Softening of BISGMA-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. *Scand J Dent Res* 1984; 92(3): 257-61.
14. Gopferich A. Mechanisms of polymer degradation and erosion. *Biomaterials* 1996; 17(2): 103-14.
15. Barbour ME, Parker DM, Allen GC, Jandt KD. Human enamel dissolution in citric acid as a function of pH in the range 2.30 < or = pH < or = 6.30--a nanoindentation study. *Eur J Oral Sci* 2003; 111(3): 258-62.
16. Abu-Bakr N, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Changes in the mechanical properties and surface texture of compomer immersed in various media. *J Prosthet Dent* 2000; 84(4): 444-52.
17. Yap AU, Low JS, Ong LF. Effect of food-simulating liquids on surface characteristics of composite and polyacid-modified composite restoratives. *Oper Dent* 2000; 25(3): 170-6.
18. Gomec Y, Dorter C, Ersev H, Guray Efes B, Yildiz E. Effects of dietary acids on surface microhardness of various tooth-colored restoratives. *Dent Mater J* 2004; 23(3): 429-35.
19. Mohamed-Tahir MA, Tan HY, Woo AA, Yap AU. Effects of pH on the microhardness of resin-based restorative materials. *Oper Dent* 2005; 30(5): 661-6.
20. Ortengren U, Andersson F, Elgh U, Terselius B, Karlsson S. Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behaviour of three composite resin materials. *J Dent* 2001; 29(1): 35-41.
21. Yap AU, Chew CL, Ong LF, Teoh SH. Environmental damage and occlusal contact area wear of composite restoratives. *J Oral Rehabil* 2002; 29(1): 87-97.
22. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent* 1996; 75(1): 18-32.
23. Mackert JR, Jr., Russell CM. Leucite crystallization during processing of a heat-pressed dental ceramic. *Int J Prosthodont* 1996; 9(3): 261-5.
24. Groten M, Probst L. The influence of different cementation modes on the fracture resistance of feldspathic ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1997; 10(2): 169-77.
25. Kramer N, Frankenberger R. Leucite-reinforced glass ceramic inlays after six years: wear of luting composites. *Oper Dent* 2000; 25(6): 466-72.
26. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3): 280-301.
27. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials. *J Prosthet Dent* 2004; 92(3): 265-73.

28. Santerre JP, Shajii L, Leung BW. Relation of dental composite formulations to their degradation and the release of hydrolyzed polymeric-resin-derived products. *Crit Rev Oral Biol Med* 2001; 12(2): 136-51.
29. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater* 2007; 23(1): 71-80.
30. Piwowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage. *Oper Dent* 2003; 28(5): 535-42.
31. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont* 2004; 17(3): 357-63.
32. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. *Dent Mater J* 2007; 26(6): 906-14.
33. Ayad MF, Fahmy NZ, Rosenstiel SF. Effect of surface treatment on roughness and bond strength of a heat-pressed ceramic. *J Prosthet Dent* 2008; 99(2): 123-30.
34. Oh WS, Shen C, Alegre B, Anusavice KJ. Wetting characteristic of ceramic to water and adhesive resin. *J Prosthet Dent* 2002; 88(6): 616-21.
35. Sorensen JA, Engelman MJ, Torres TJ, Avera SP. Shear bond strength of composite resin to porcelain. *Int J Prosthodont* 1991; 4(1): 17-23.
36. Uno S, Tanaka T, Kawamoto C, Konishi J, Sano H. Microtensile bond strength to dentin and cavity adaptation of Cerec 2 inlay restoration. *Am J Dent* 2000; 13(2): 59-63.
37. Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 2006; 22(1): 45-56.
38. Kalachandra S, Wilson TW. Water sorption and mechanical properties of light-cured proprietary composite tooth restorative materials. *Biomaterials* 1992; 13(2): 105-9.
39. Soderholm KJ. Leaking of fillers in dental composites. *J Dent Res* 1983; 62(2): 126-30.
40. Soderholm KJ, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res* 1984; 63(10): 1248-54.
41. Soderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res* 1990; 69(12): 1812-6.
42. Soderholm KJ. Degradation of glass filler in experimental composites. *J Dent Res* 1981; 60(11): 1867-75.
43. Hernandez AI, Roongruangphol T, Katsube N, Seghi RR. Residual interface tensile strength of ceramic bonded to dentin after cyclic loading and aging. *J Prosthet Dent* 2008; 99(3): 209-17.

44. Foxton RM, Pereira PN, Masatoshi N, Tagami J, Miura H. Long-term durability of the dual-cure resin cement/silicon oxide ceramic bond. *J Adhes Dent* 2002; 4(2): 125-35.
45. Peumans M, Hikita K, De Munck J, Van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, et al. Bond durability of composite luting agents to ceramic when exposed to long-term thermocycling. *Oper Dent* 2007; 32(4): 372-9.
46. Blatz MB, Sadan A, Maltezos C, Blatz U, Mercante D, Burgess JO. In vitro durability of the resin bond to feldspathic ceramics. *Am J Dent* 2004; 17(3): 169-72.
47. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002; 18(2): 179-88.
48. Kamada K, Yoshida K, Atsuta M. Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material. *J Prosthet Dent* 1998; 79(5): 508-13.
49. Yoshida K, Yamashita M, Atsuta M. Bond strength between machinable glass-ceramic and dual-cured resin luting cements using silane coupling agents. *Am J Dent* 2005; 18(5): 327-30.
50. Kern M, Thompson VP. Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: adhesive methods and their durability. *J Prosthet Dent* 1995; 73(3): 240-9.
51. Soderholm KJ, Mukherjee R, Longmate J. Filler leachability of composites stored in distilled water or artificial saliva. *J Dent Res* 1996; 75(9): 1692-9.
52. Chadwick RG, McCabe JF, Walls AW, Storer R. The effect of storage media upon the surface microhardness and abrasion resistance of three composites. *Dent Mater* 1990; 6(2): 123-8.
53. Lee SY, Huang HM, Lin CY, Shih YH. Leached components from dental composites in oral simulating fluids and the resultant composite strengths. *J Oral Rehabil* 1998; 25(8): 575-88.
54. Hobson RS, McCabe JF, Hogg SD. The effect of food simulants on enamel-composite bond strength. *J Orthod* 2000; 27(1): 55-9.
55. Nicholson JW, Gjorgievska E, Bajraktarova B, McKenzie MA. Changes in properties of polyacid-modified composite resins (compomers) following storage in acidic solutions. *J Oral Rehabil* 2003; 30(6): 601-7.
56. Eisenburger M, Hughes J, West NX, Shellis RP, Addy M. The use of ultrasonication to study remineralisation of eroded enamel. *Caries Res* 2001; 35(1): 61-6.
57. Forss H. Release of fluoride and other elements from light-cured glass ionomers in neutral and acidic conditions. *J Dent Res* 1993; 72(8): 1257-62.

58. Fukazawa M, Matsuya S, Yamane M. The mechanism for erosion of glass-ionomer cements in organic-acid buffer solutions. *J Dent Res* 1990; 69(5): 1175-9.
59. Karantakis P, Helvatjoglou-Antoniades M, Theodoridou-Pahini S, Papadogiannis Y. Fluoride release from three glass ionomers, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Oper Dent* 2000; 25(1): 20-5.
60. Czarnicka B, Nicholson JW. Ion release by resin-modified glass-ionomer cements into water and lactic acid solutions. *J Dent* 2006; 34(8): 539-43.
61. Roulet JF, Walti C. Influence of oral fluid on composite resin and glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent* 1984; 52(2): 182-9.
62. 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.
63. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G. A critique of bond strength measurements. *J Dent* 1989; 17(2): 61-7.
64. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 1994; 10(4): 236-40.
65. Della Bona A, Anusavice KJ, Mecholsky JJ, Jr. Failure analysis of resin composite bonded to ceramic. *Dent Mater* 2003; 19(8): 693-9.
66. Della Bona A, Anusavice KJ, Shen C. Microtensile strength of composite bonded to hot-pressed ceramics. *J Adhes Dent* 2000; 2(4): 305-13.
67. El Zohairy AA, De Gee AJ, Mohsen MM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength testing of luting cements to prefabricated CAD/CAM ceramic and composite blocks. *Dent Mater* 2003; 19(7): 575-83.
68. 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.
69. Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Microtensile bond strength of a resin cement to glass infiltrated zirconia-reinforced ceramic: the effect of surface conditioning. *Dent Mater* 2006; 22(3): 283-90.
70. Shono Y, Ogawa T, Terashita M, Carvalho RM, Pashley EL, Pashley DH. Regional measurement of resin-dentin bonding as an array. *J Dent Res* 1999; 78(2): 699-705.
71. Braem MJ, Lambrechts P, Gladys S, Vanherle G. In vitro fatigue behavior of restorative composites and glass ionomers. *Dent Mater* 1995; 11(2): 137-41.

72. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK. Fracture toughness of water-aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 1995; 11(3): 201-7.
73. Ortengren U, Elgh U, Spasenoska V, Milleding P, Haasum J, Karlsson S. Water sorption and flexural properties of a composite resin cement. *Int J Prosthodont* 2000; 13(2): 141-7.
74. Oysaed H, Ruyter IE. Water sorption and filler characteristics of composites for use in posterior teeth. *J Dent Res* 1986; 65(11): 1315-8.
75. Burrow MF, Inokoshi S, Tagami J. Water sorption of several bonding resins. *Am J Dent* 1999; 12(6): 295-8.
76. Ruttermann S, Kruger S, Raab WH, Janda R. Polymerization shrinkage and hygroscopic expansion of contemporary posterior resin-based filling materials—a comparative study. *J Dent* 2007; 35(10): 806-13.
77. Ortengren U, Wellendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil* 2001; 28(12): 1106-15.
78. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, et al. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater* 2006; 22(10): 973-80.
79. Mese A, Burrow MF, Tyas MJ. Sorption and solubility of luting cements in different solutions. *Dent Mater J* 2008; 27(5): 702-9.
80. Peters AD, Meiers JC. Effect of polymerization mode of a dual-cured resin cement on time-dependent shear bond strength to porcelain. *Am J Dent* 1996; 9(6): 264-8.
81. Calais JG, Soderholm KJ. Influence of filler type and water exposure on flexural strength of experimental composite resins. *J Dent Res* 1988; 67(5): 836-40.
82. Akova T, Ozkomur A, Aytutuldu N, Toroglu MS. The effect of food simulants on porcelain-composite bonding. *Dent Mater* 2007; 23(11): 1369-72.
83. Oh WS, Shen C. Effect of surface topography on the bond strength of a composite to three different types of ceramic. *J Prosthet Dent* 2003; 90(3): 241-6.
84. 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.
85. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. In vitro aging of dental composites in water—effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 1998; 42(3): 465-72.

86. Gerth HU, Dammaschke T, Zuchner H, Schafer E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. *Dent Mater* 2006; 22(10): 934-41.
87. Fabianelli A, Goracci C, Bertelli E, Monticelli F, Grandini S, Ferrari M. In vitro evaluation of wall-to-wall adaptation of a self-adhesive resin cement used for luting gold and ceramic inlays. *J Adhes Dent* 2005; 7(1): 33-40.
88. Nomoto R, McCabe JF. Effect of mixing methods on the compressive strength of glass ionomer cements. *J Dent* 2001; 29(3): 205-10.
89. Fleming GJ, Kenny SM, Barralet JE. The optimisation of the initial viscosity of an encapsulated glass-ionomer restorative following different mechanical mixing regimes. *J Dent* 2006; 34(2): 155-63.
90. Hummel M, Kern M. Durability of the resin bond strength to the alumina ceramic Procera. *Dent Mater* 2004; 20(5): 498-508.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

วิธีการเตรียมน้ำลายเทียม

1. ส่วนประกอบ

Methyl-p-hydroxybenzoate	2.000 กรัม/ลิตร
KCl	0.127 กรัม/ลิตร
NaCl	0.935 กรัม/ลิตร
KSCN	0.194 กรัม/ลิตร
KH ₂ PO ₄	2.722 กรัม/ลิตร
(CH ₂) ₂ NO	0.240 กรัม/ลิตร
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.061 กรัม/ลิตร
NH ₄ Cl	0.213 กรัม/ลิตร
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.221 กรัม/ลิตร
NaHCO ₃	0.630 กรัม/ลิตร

(สูตรน้ำลายเทียม โดย อาจารย์ ดร.ทพญ. สมจินต์ รัตนเสถียร)

2. ขั้นตอนการทำ (สำหรับผลิตน้ำลายเทียมปริมาณ 1 ลิตร)

1. ชั่งสารแต่ละชนิดให้ได้ปริมาณตามส่วนประกอบ
2. ตวงน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1 ลิตร และแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งปริมาตร 900 มิลลิลิตร อีกส่วนหนึ่งปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. นำสาร KCl, NaCl, KSCN, KH₂PO₄, (CH₂)₂NO, MgCl₂·6H₂O, NH₄Cl, CaCl₂·2H₂O และ NaHCO₃ ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. นำสาร Methyl-p-hydroxybenzoate ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 900 มิลลิลิตร
5. นำสารละลายที่ได้ในข้อ 3 เติมลงในสารละลายข้อ 4 กวนสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันอีกครั้ง
6. ใช้ KOH ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 6.75
7. นำน้ำลายเทียมที่ได้เก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการใช้งานต่อไป

หมายเหตุ ถ้าต้องการผลิตน้ำลายเทียมปริมาณมากกว่า 1 ลิตร ให้คำนวณสารที่ใช้ตามอัตราส่วน

วิธีการเตรียมสารละลายกรดซिटริก

1. ส่วนประกอบ

$C_6H_8O_7(H_2O)$ 3.000 กรัม/ลิตร

2. ขั้นตอนการทำ (สำหรับผลิตกรดซิทริกปริมาณ 1 ลิตร)

1. ชั่งสาร $C_6H_8O_7(H_2O)$ ปริมาณ 3 กรัม
2. ตวงน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1 ลิตร
3. นำสาร $C_6H_8O_7(H_2O)$ ปริมาณ 3 กรัมละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1 ลิตร
กวนสารละลายจนละลายหมด
4. ใช้ NaOH และ HCl ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 3.2
5. นำสารละลายกรดซิทริกที่ได้เก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการใช้งานต่อไป

หมายเหตุ ถ้าต้องการผลิตกรดซิทริกปริมาณมากกว่า 1 ลิตร ให้คำนวณสารที่ใช้ตามอัตราส่วน

ภาคผนวก 2

การแบ่งกลุ่มแข่งทดสอบ

ตารางที่ 16 แสดงการแบ่งกลุ่มแข่งทดสอบภายหลังการตัดชั้นทดสอบจำนวน 7 ชั้นของเรซินซีเมนต์ 1 ชนิด (ชั้นทดสอบ 1 ชั้นตัดแบ่งได้แข่งทดสอบจำนวน 28 แข่ง)

กลุ่ม ทดสอบ	ชั้นทดสอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
กลุ่มควบคุม	3	2	2	2	2	2	2
น้ำปราศจาก ไอออน	9	8	9	9	8	9	9
น้ำลายเทียม	9	9	8	9	9	8	9
กรดซิตริก	8	9	9	8	9	9	8
จำนวนรวม (แข่ง)	28	28	28	28	28	28	28

ตารางที่ 17 แสดงการแบ่งกลุ่มแท่งทดสอบเพื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงการยึดติดแบบแรงดึงของ
เรซินซีเมนต์ 1 ชนิดในสารทดสอบ 3 ชนิด ณ ช่วงเวลาต่างๆ

ชั้น ทดสอบ ลำดับ ที่	จำนวน แท่ง ทดสอบ กลุ่ม ควบคุม	สารทดสอบ (จำนวนแท่ง ทดสอบ)	จำนวนแท่งที่ใช้ทดสอบ			
			ทดสอบที่ 7 วัน	ทดสอบที่ 30 วัน	ทดสอบที่ 60 วัน	ทดสอบที่ 90 วัน
1	3	น้ำ (9)	3	2	2	2
		น้ำลายเทียม (9)	3	2	2	2
		กรดซิตริก (8)	2	2	2	2
2	2	น้ำ (8)	2	2	2	2
		น้ำลายเทียม (9)	2	3	2	2
		กรดซิตริก (9)	2	3	2	2
3	2	น้ำ (9)	2	2	3	2
		น้ำลายเทียม (8)	2	2	2	2
		กรดซิตริก (9)	2	2	3	2
4	2	น้ำ (9)	2	2	2	3
		น้ำลายเทียม (9)	2	2	2	3
		กรดซิตริก (8)	2	2	2	2
5	2	น้ำ (8)	2	2	2	2
		น้ำลายเทียม (9)	3	2	2	2
		กรดซิตริก (9)	3	2	2	2
6	2	น้ำ (9)	2	3	2	2
		น้ำลายเทียม (8)	2	2	2	2
		กรดซิตริก (9)	2	3	2	2
7	2	น้ำ (9)	2	2	3	2
		น้ำลายเทียม (9)	2	2	3	2
		กรดซิตริก (8)	2	2	2	2

ภาคผนวก 3

ค่าเฉลี่ยความหนาของซีเมนต์ และพื้นที่ผิวบริเวณรอยเชื่อมต่อ

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด

เรซินซีเมนต์	ความหนาของเรซินซีเมนต์ (ไมโครเมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
วาริโอลิงค์ทู	65.0	10.8
รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม	66.6	8.7

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวบริเวณรอยเชื่อมต่อของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิด

เรซินซีเมนต์	พื้นที่ผิวบริเวณรอยเชื่อมต่อ (ตารางมิลลิเมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
วาริโอลิงค์ทู	1.0308	0.1401
รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม	1.0064	0.1259

ภาคผนวก 4

ตารางที่ 20 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาต่างๆ ของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำปราศจากไอออน โดยใช้การทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดแมน วิทนี (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กลุ่มทดสอบที่เวลา (วัน)	Mann- Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact. Sig.[2*(1- tailed Sig)]
0 7	19	139	-3.877	0.000 **	0.000 **
	33	153	-3.298	0.001 **	0.001 **
	62	182	-2.095	0.036 **	0.037 **
	48	168	-2.675	0.007 **	0.007 **
7 0	19	139	-3.877	0.000 **	0.000 **
	79	199	-1.39	0.165	0.174
	50	170	-2.592	0.010 **	0.009 **
	60	180	-2.178	0.029 **	0.029 **
30 0	33	153	-3.298	0.001 **	0.001 **
	79	199	-1.39	0.165	0.174
	80	200	-1.348	0.178	0.187
	103	223	-0.394	0.694	0.713
60 0	62	182	-2.095	0.036 **	0.037 **
	50	170	-2.592	0.010 **	0.009 **
	80	200	-1.348	0.649	0.713
	88	208	-1.016	0.310	0.325
90 0	48	168	-2.675	0.007 **	0.007 **
	60	180	-2.178	0.029 **	0.029 **
	103	223	-0.394	0.694	0.713
	88	208	-1.016	0.310	0.325

ตารางที่ 21 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาต่างๆ ของรีโพลีเอทซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในน้ำลายเทียม โดยใช้การทดสอบนอนพารามเทริก ชนิดแมน วิทนีย์ (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กลุ่มทดสอบที่เวลา (วัน)	Mann- Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact. Sig.[2*(1- tailed Sig)]
0 7	42	162	-2.924	0.003 **	0.003 **
	96	216	-0.684	0.494	0.512
	94	214	-0.767	0.443	0.461
	74	194	-1.597	0.11	0.116
7 0	42	162	-2.924	0.003 **	0.003 **
	68	188	-1.846	0.065	0.067
	76	196	-1.514	0.13	0.137
	85	205	-1.414	0.254	0.267
30 0	96	216	-0.684	0.494	0.512
	68	188	-1.846	0.065	0.067
	102	222	-0.436	0.663	0.683
	87	207	-1.058	0.29	0.305
60 0	94	214	-0.767	0.443	0.461
	76	196	-1.514	0.13	0.137
	102	222	-0.436	0.663	0.683
	98	218	-0.601	0.548	0.567
90 0	74	194	-1.597	0.11	0.116
	85	205	-1.414	0.254	0.267
	87	207	-1.058	0.29	0.305
	98	218	-0.601	0.548	0.567

สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 22 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มเวลาต่างๆ ของรีโพลีเอทซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่แช่ในกรดซิตริก โดยใช้การทดสอบนอนพารามเทริก ชนิดแมน วิทนีย์ (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กลุ่มทดสอบที่เวลา (วัน)	Mann- Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact. Sig.[2*(1- tailed Sig)]
0 7	12	132	-4.169	0.000 **	0.000 **
	111	231	-0.062	0.95	0.967
	111	230	-0.104	0.917	0.935
	77	197	-1.472	0.141	0.148
7 0	12	132	-4.169	0.000 **	0.000 **
	38	158	-3.090	0.002 **	0.001 **
	31	151	-3.38	0.001 **	0.000 **
	57	177	-2.302	0.021 **	0.021 **
30 0	111	231	-0.062	0.95	0.967
	38	158	-3.090	0.002 **	0.001 **
	101	221	-0.477	0.633	0.653
	87	207	-1.058	0.29	0.305
60 0	111	230	-0.104	0.917	0.935
	31	151	-3.38	0.001 **	0.000 **
	101	221	-0.477	0.633	0.653
	86	206	-1.099	0.272	0.285
90 0	77	197	-1.472	0.141	0.148
	57	177	-2.302	0.021 **	0.021 **
	87	207	-1.058	0.29	0.305
	86	206	-1.099	0.272	0.285

สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 23 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างสารทดสอบ 3 ชนิดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ที่เวลา 1 เดือน โดยการใช้การทดสอบนอนพารามเทริก ชนิดแมน วิทนีย์ (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กลุ่มทดสอบ	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact. Sig. [2*(1-tailed Sig)]
H ₂ O AS	64	184	-2.012	0.044 **	0.045 **
	CT	177	-2.302	0.022 **	0.021 **
AS H ₂ O	64	184	-2.012	0.044 **	0.045 **
	CT	218	-0.601	0.548	0.567
CT H ₂ O	57	177	-2.302	0.022 **	0.021 **
	AS	218	-0.601	0.548	0.567

สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

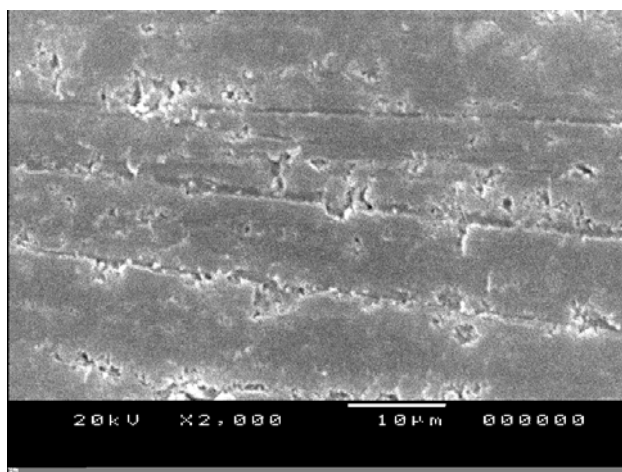
ตารางที่ 24 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ชนิดที่แช่ในสารทดสอบ 3 ชนิด ณ เวลาต่างๆ โดยการใช้การทดสอบนอนพารามตริกชนิดแมน วิทนี (Mann-Whitney U-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สารทดสอบ	เวลาที่ทดสอบ (วัน)	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact. Sig.[2*(1-tailed Sig)]
กลุ่มควบคุม		77	197	-1.472	0.141	0.148
น้ำ	7	48	168	-2.675	0.007 **	0.007**
	30	58	178	-2.261	0.024 **	0.023**
	60	84	204	-1.182	0.237	0.25
	90	102	222	-0.436	0.663	0.683
น้ำลายเทียม	7	87	207	-1.058	0.290	0.305
	30	99	219	-0.56	0.576	0.595
	60	100	220	-0.518	0.604	0.624
	90	112	232	-0.021	0.983	1.00
กรดซิตริก	7	44	164	-2.841	0.004 **	0.004**
	30	97	217	-0.643	0.539	0.539
	60	93	213	-0.809	0.436	0.436
	90	103	223	-0.394	0.713	0.713

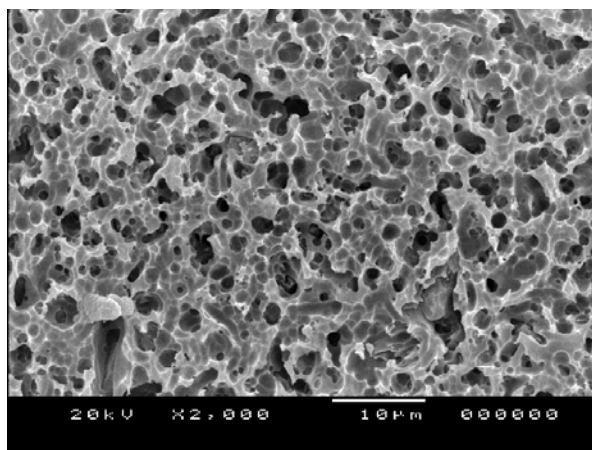
สัญลักษณ์ (**) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาคผนวก 5

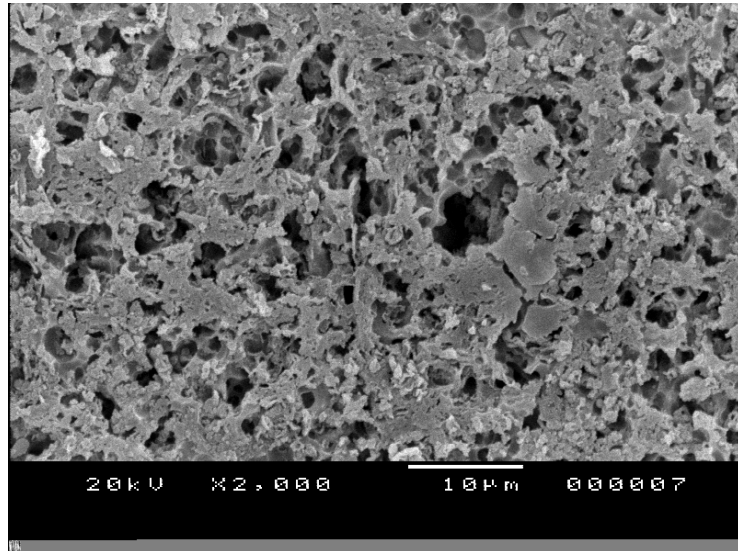
ภาพแสดงพื้นผิวเซรามิกภายหลังการเตรียมพื้นผิว



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะพื้นผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเตติกเซรามิกภายหลังการขัดด้วยกระดาษทราย น้ำซิลิกอนคาร์ไบด์



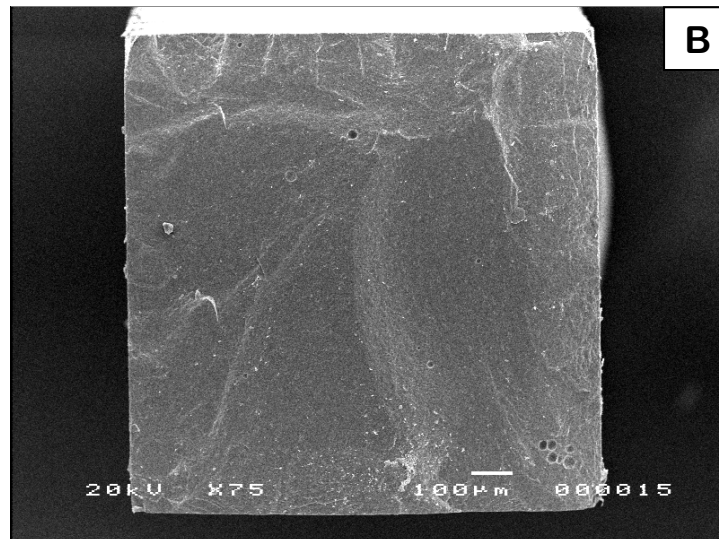
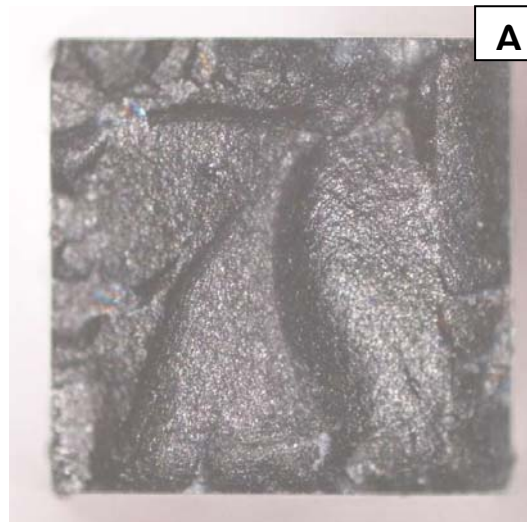
ภาพที่ 15 แสดงลักษณะพื้นผิวคล้ายรังผึ้งของไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเตติกเซรามิกภายหลังการขัดและปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4.9 นาน 1 นาที



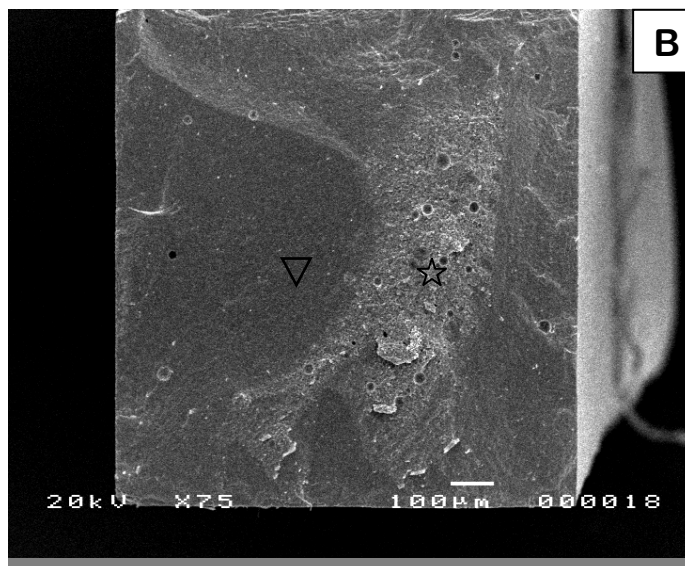
ภาพที่ 16 แสดงลักษณะพื้นผิวของไอพีเอสเอ็มเพรสเซดติกเซรามิกภายหลังการขัด และปรับสภาพผิว ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4.9 นาน 1 นาที และทาสารไซเลนนาน 1 นาที

ภาคผนวก 6

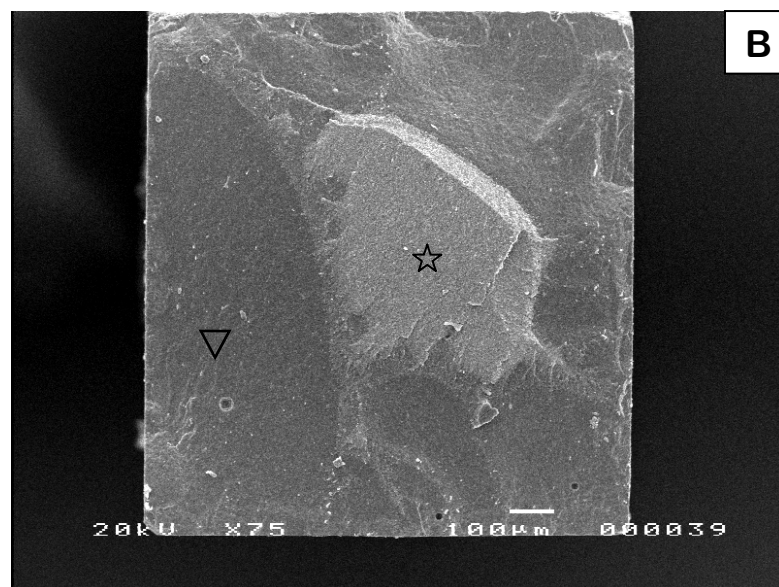
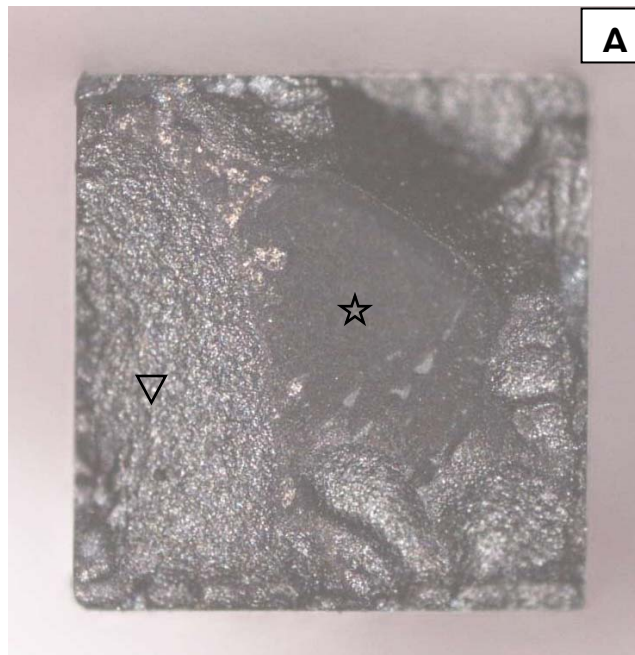
แสดงรูปแบบการแตกหัก 5 ประเภท



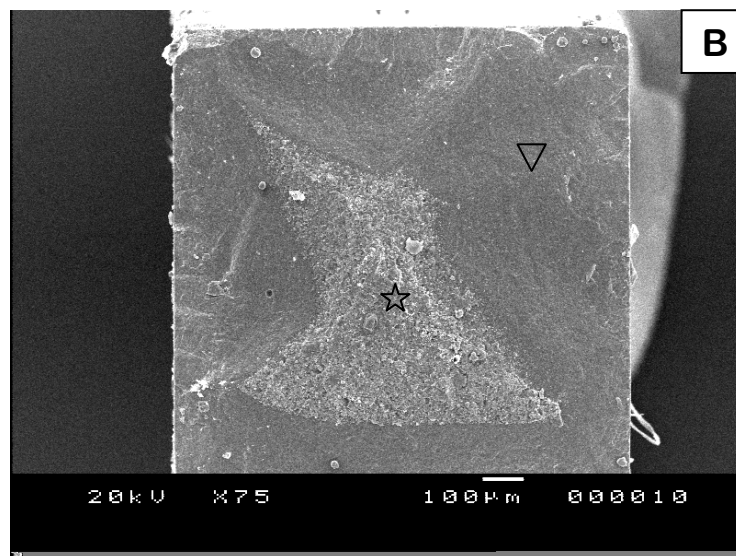
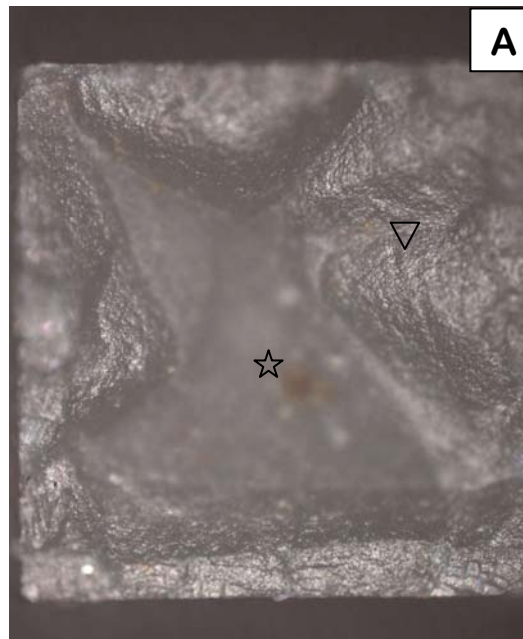
ภาพที่ 17 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 1 ของแท่งเซรามิกทดสอบกลุ่มควบคุม
ของวาริโอลิงก์ทูเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักในเซรามิกร้อยละ 100 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว (A) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (B)



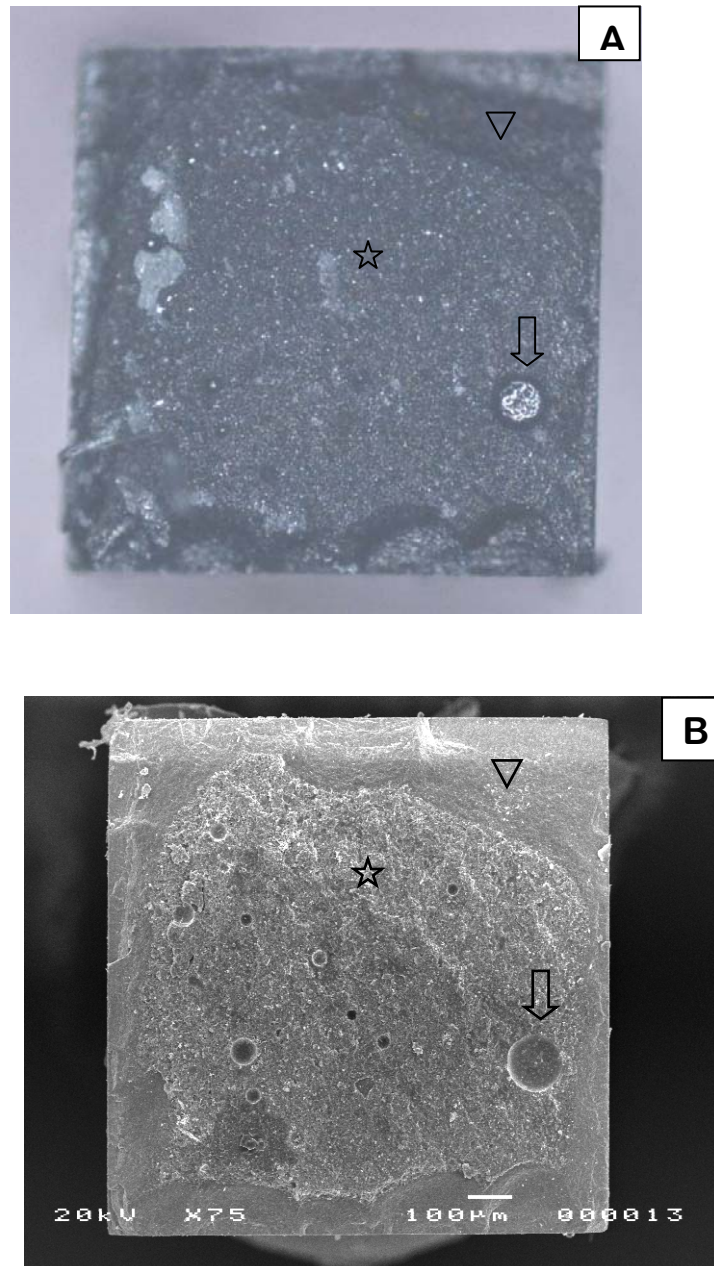
ภาพที่ 18 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 1 ของแท่งเซรามิกทดสอบกลุ่มควบคุมของ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักในเซรามิกร้อยละ 80 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ภาพ จากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว (A) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (B) พบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบและพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์)



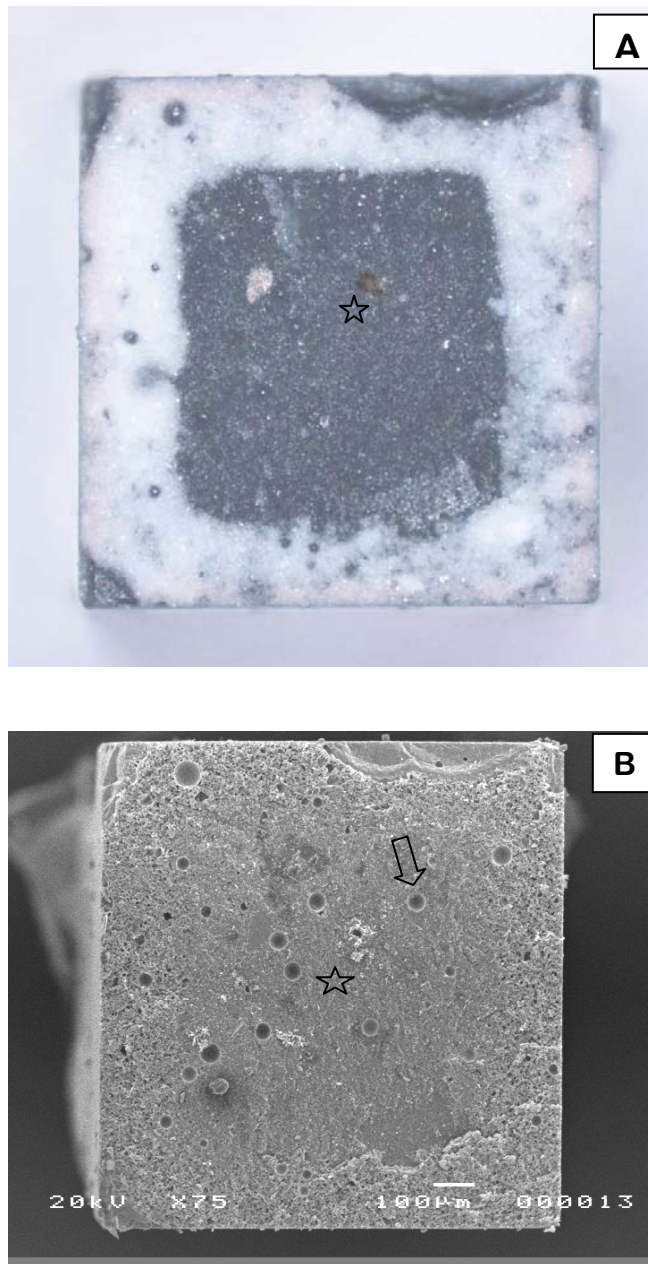
ภาพที่ 19 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อบนแบบที่ 2 ของแท่งเซรามิกทดสอบของวาริโอลิงค์
 ทูเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักแบบผสมของเซรามิก และเรซินซีเมนต์โดยพบการแตกหักใน
 เรซินซีเมนต์น้อยกว่าร้อยละ 50 (A) จากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว และ (B) จาก
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่ง
 ทดสอบและพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์
 รูปสามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์)



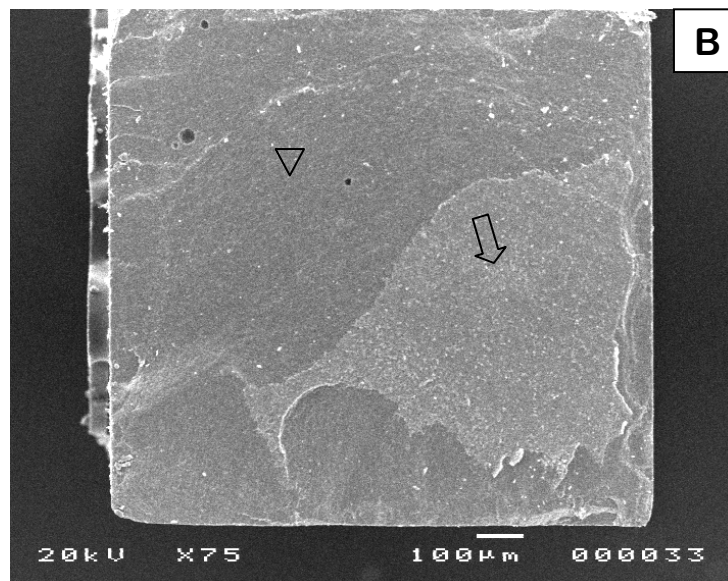
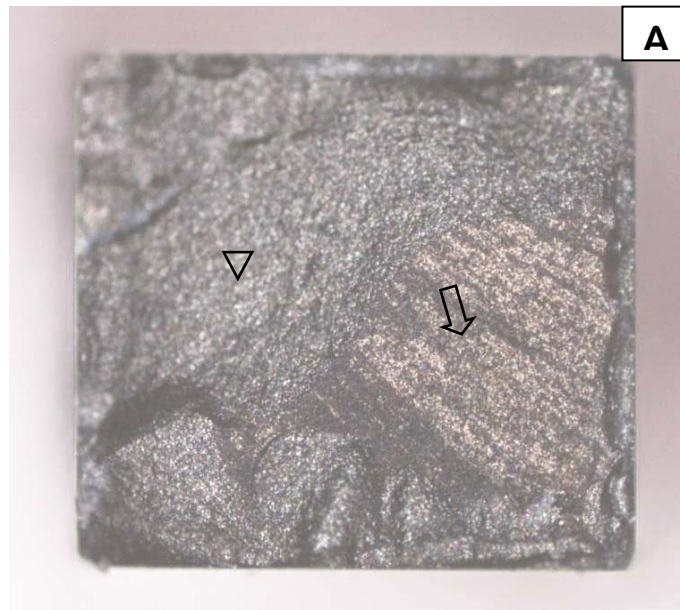
ภาพที่ 20 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 2 ของแท่งเซรามิกทดสอบของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักแบบผสม โดยมีการแตกหักในเรซินซีเมนต์น้อยกว่าร้อยละ 50 (A) จากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวและ (B) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ พบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบและพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์)



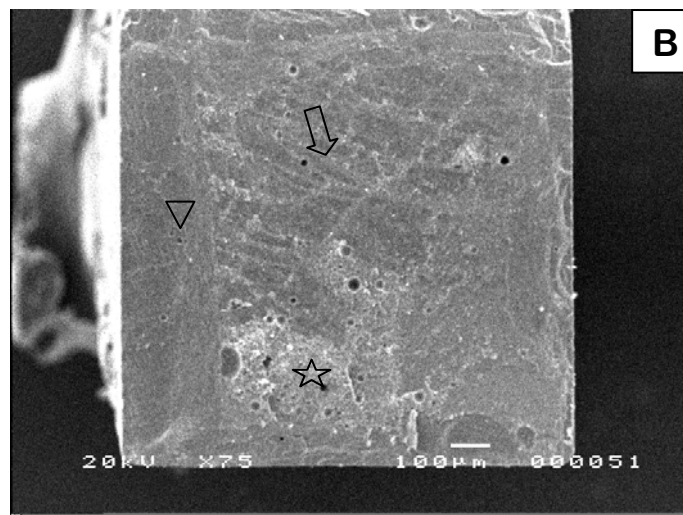
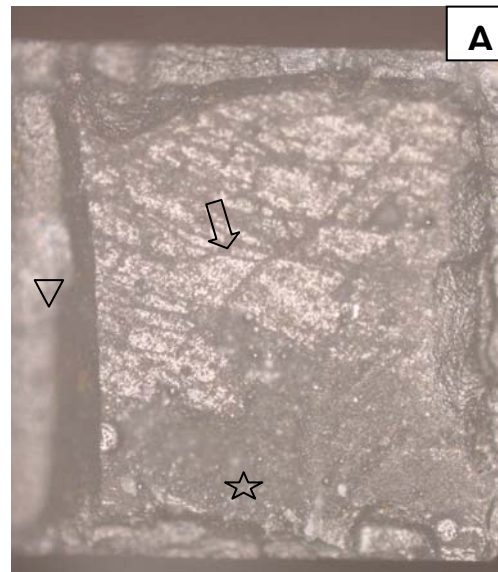
ภาพที่ 21 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อบนแบบที่ 3 ของแท่งเซรามิกทดสอบของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์พบการแตกหักแบบผสมโดยมีการแตกหักในเรซินซีเมนต์ร้อยละ 50 ถึง 80 (A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวและ (B) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบการแตกหักของเซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์ ลูกศรชี้ให้เห็นฟองอากาศภายในเรซินซีเมนต์)



ภาพที่ 22 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อบนแบบที่ 4 ของแท่งเซรามิกทดสอบของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซ็มเรซินซีเมนต์ (กลุ่มที่ ๕ ในกรดซิดริก) พบการแตกหักในเรซินซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 80 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาวพบว่าเรซินซีเมนต์บริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบมีลักษณะสีขาวทึบ (A) และจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (B) (สัญลักษณ์รูปดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์ ลูกศรชี้ให้เห็นฟองอากาศภายในเรซินซีเมนต์)



ภาพที่ 23 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 5 ของแท่งเซรามิกทดสอบของวาริ โอลิงค์ ทูเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักแบบผสม โดยมีการแตกหักในเซรามิก เรซินซีเมนต์และรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิกและเรซินซีเมนต์ (ลูกศร) (A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะ ความยาวและ (B) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบการแตกหักของเซรามิกบริเวณ ขอบนอกของแท่งทดสอบและพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์และบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่าง เซรามิกและเรซินซีเมนต์ที่บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมแสดง การแตกหักของเซรามิก)



ภาพที่ 24 แสดงรูปแบบการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมต่อแบบที่ 5 ของแท่งเซรามิกทดสอบของรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซิร์มเรซินซีเมนต์ พบการแตกหักแบบผสมโดยมีการแตกหักในเซรามิก เรซินซีเมนต์ และรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิก และเรซินซีเมนต์ (ลูกศร) (A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะ ความยาว และ (B) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับพบการแตกหักของ เซรามิกบริเวณขอบนอกของแท่งทดสอบ และพบการแตกหักของเรซินซีเมนต์ และบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเซรามิกและ เรซินซีเมนต์ที่บริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบ (สัญลักษณ์รูป สามเหลี่ยมแสดงการแตกหักของเซรามิก สัญลักษณ์รูป ดาวแสดงการแตกหักในเรซินซีเมนต์)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววิณา รันทกิจ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4862002

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2542