



การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน
หลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน
(การศึกษาในห้องปฏิบัติการ)

**Surface Profile and Hardness Changes of Enamel and Restorative Materials
after Immersed in Acidic Condition and Tooth Brushing : 'In vitro' Study**

สลิล ปัญจรัตน์กร

Salin Panjarattanakorn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน (การศึกษาในห้องปฏิบัติการ)

ผู้เขียน นางสาวสลิล ปัญรัตน์นกร

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชโนทัย เสงตระกุล)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์)
กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร.ชโนทัย เสงตระกุล)
กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี เนาว์รุ่งโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสว่าง)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชโนทัย เสงตระกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวสลิต ปัญรัตน์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวสลิต ปัญรัตน์กร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน หลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน (การศึกษาใน ห้องปฏิบัติการ)
ผู้เขียน	นางสาวสลิล ปัญจรัตน์กร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ฟันและวัสดุบูรณะฟันที่อยู่ในช่องปากโดยธรรมชาติแล้วเป็นสิ่งแวดล้อมที่มีความสลับซับซ้อน ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ สิ่งแวดล้อมจากการรับประทานอาหารชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอาหารที่มีรสเปรี้ยวที่มีส่วนผสมของสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดก็อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่อยู่ภายในช่องปาก นอกจากนี้ การรับประทานอาหารรสเปรี้ยว แล้วหากมีการแปรงฟันหลังมื้ออาหารทันที อาจจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อฟันและวัสดุบูรณะฟันรวดเร็วขึ้นซึ่งมีผลให้อายุการใช้งานของวัสดุสั้นลง

วัตถุประสงค์ : การศึกษาทางห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจากสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดแล้วตามด้วยการแปรงฟันทันที

วัสดุและวิธีการ : ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ผิวเคลือบฟัน กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดแคปซูล (Fuji[®] BULK) เรซินคอมโพสิต (Filtek[™] Z350XT) และเซรามิก (Feldspathic : Vitablocs[®] Mark II) โดยผิวเคลือบฟันเตรียมจากฟันกรามล่างแท้ซี่ที่ 3 จำนวน 18 ซี่ ถูกตัดในแนวใกล้กลาง-ใกล้กลาง ซึ่งจะตัดฟันแบ่งออกเป็น 2 ส่วนนำไปฝังในเรซิน อะคริลิกชนิดบ่มได้เองแล้วนำไปจัดให้เรียบ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเรซินคอมโพสิตถูกอุดใส่ลงในแม่แบบพลาสติกใสทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนเซรามิกชนิดแคดแคมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ถูกตัดให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นเซรามิกถูกนำไปยึดในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวได้ด้วยหลักการเดียวกับการฝังผิวเคลือบฟันนำไปจัดให้ผิวหน้าเรียบ แล้วนำไปตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานจาก 4 กลุ่มโดยแต่ละกลุ่มมีจำนวน 36 ชิ้น ประกอบด้วยกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชู 18 ชิ้นงาน และกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม 18 ชิ้นงาน ชิ้นงานถูกกำหนดบริเวณสัมผัสกรดให้มีขนาด 5×5 ตารางมิลลิเมตรสำหรับการวัดความแข็งผิว และ 3×5 ตารางมิลลิเมตรสำหรับการวัดค่าการเปลี่ยนแปลง

พื้นผิว ซึ่งงานถูกนำไปสัมผัสสารละลายกรดแต่ละชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้น นำไปแปรงด้วยเครื่องจำลองการแปรงพื้นชนิด 10 หัวแปรงที่เคลื่อนที่เป็นแนวราบเป็นระยะ 2 เซนติเมตร โดยใช้แรงกดหัวแปรง 150 กรัม 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที โดยที่น้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตรจะถูกใช้ป้อนน้ำหล่อลื่นขณะแปรงพื้น การทดลองนี้ออกแบบให้เป็น Erosion-abrasion cycle โดยที่ Erosion-abrasion:A เป็นการสัมผัสกรดและการแปรงพื้นดังกล่าวจำนวน 2 รอบ แล้วนำไปวัดค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว จากนั้นทำต่อไปอีก 4 รอบ (Erosion-abrasion:B) จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ค่าที่วัดได้ถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำและเลือกใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติแมนวิทนีย์ ($p < 0.05$)

ผลการทดลอง : ความแข็งผิวเฉลี่ยของผิวเคลือบพื้นก่อนการทดลองอยู่ในช่วง 257.5 -328.42 โดยที่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 64.88-66.87 เรซินคอมโพสิต 73-76.15 และเซรามิกมีค่า 605.68-644.15 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร หลังการทดสอบ พบว่าค่าความแข็งผิวในกลุ่มผิวเคลือบพื้นมีแนวโน้มลดลงมากที่สุดพบตั้งแต่ Erosion-abrasion:A และมีค่าลดลงจนถึง Erosion-abrasion:B โดยในกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียมมีการลดลงมากกว่ากลุ่มน้ำส้มสายชู การเปลี่ยนแปลงที่พบรองลงมาคือ กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ตามด้วยกลุ่มเซรามิก ในขณะที่เรซินคอมโพสิตไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว พบว่ากลุ่มที่ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ได้แก่ กลุ่มผิวเคลือบพื้น กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเซรามิก ตามลำดับ โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มเรซินคอมโพสิต เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวในทุกกลุ่ม โดยในกลุ่มผิวเคลือบพื้น กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการทำลายพื้นผิวในกลุ่มน้ำมะนาวเทียมมากกว่ากลุ่มน้ำส้มสายชูอย่างเห็นได้ชัด

สรุป : ผิวเคลือบพื้นและวัสดุบูรณะฟันเมื่อสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและตามด้วยการแปรงพื้นทันทีพบมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวในรูปแบบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของสารแต่ละชนิด ดังนั้น การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ควรใช้เครื่องมือหลายชนิดร่วมกัน

Thesis Title	Surface Profile and Hardness Changes of Enamel and Restorative Materials after Immersed in Acidic Condition and Tooth Brushing : ' <i>In vitro</i> ' Study
Author	Miss Salin Panjarattanakorn
Major Program	Oral Health Sciences
Academic Year	2018

Abstract

Introduction : Tooth and restorative materials exposed to the complex oral environment. One of these environment is acidic food and beverages consumptions. These could affect on tooth surface and restorative materials in the oral cavity. After acidic food consumptions, in the case of toothbrushing has been done consequently, tooth and restorative materials may be altered progressively. Therefore, these may affected on the longevity of tooth and restorative materials.

Objectives : This '*in vitro*' study was to investigate the effect of acidic conditions and brushing on surface hardness, surface profile changes and scanning electron micrographs.

Materials and methods : Human enamel and 3 types of tooth-colored restorative materials were used. These restorative materials included capsulated glass-ionomer cement (Fuji[®]BULK), resin composite (Filtek[™] Z350XT) and ceramic (Feldspathic : Vitablocs[®] Mark II) were used here. For glass-ionomer cement and resin composite, specimens were prepared and embedded in plastic moulds. For enamel and ceramic, the specimens were embedded in self-cured acrylic resin. Before experiment, all specimens were coated with nail varnish in order to provide the testing area of 5×5 mm² for surface microhardness measurement and 3×5 mm² for surface profile measurement (Ra and Rz). Surface hardness and surface profile of each specimens were investigated prior to erosion-abrasion cycle as a baseline data. The specimens were immersed in acidic solutions either vinegar or artificial lemon juice for 1 hr. and follow with tooth brushing for 5 min. (150 strokes) with a load of 150 g. Acidic immersion and following with brushing cycle 2nd time was done, which meant to complete Erosion-abrasion:A. Surface hardness and surface profile changes were then measured. After Erosion-abrasion:A, the specimens were immersed and brushed again at the same manner for 4 cycles. These meant to finish Erosion-abrasion:B. All specimens were investigated

surface hardness, surface profile changes and scanning electron microscope . Surface hardness and surface profile changes were analyzed by Friedman test and Wilcoxon signed ranks test ($p < 0.05$).

Results : The mean hardness and surface profile of specimens in each group were measured before experiment were greatly various. These different values depended on compositions of each materials, chemical and physical properties by themselves. Surface hardness of enamel and glass-ionomer cement immersed either vinegar and artificial lemon juice were significantly decreased after Erosion-abrasion:A and progressively reduced after Erosion-abrasion:B when compared with baseline data of each group. Surface hardness of resin composite and ceramic have been showed moderate changes. Surface profile parameter (Ra and Rz) values of enamel and glass-ionomer cement showed the same manner of surface hardness changes whereas resin composite was not significantly changed in both solutions. Scanning electron micrographs showed obviously surface alterations in all groups.

Conclusion : Enamel and 3 types of restorative materials immersed in acidic solutions and following with brushing have shown that surface hardness and surface profile have been changed greatly various depend on their chemical and physical properties. In order to investigate erosion and abrasion effect, the experiment should have multiple measurements.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชโนทัย เสงตระกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาวิจัย รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ คุณจรรยา ชื่นอารมณั นักวิทยาศาสตร์ประจำหน่วยส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณคุณพิเชษฐ เจริญผล เจ้าหน้าที่หน่วยวิชะซ่อมบำรุง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการประกอบและติดตั้งเครื่องแปรงฟันที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และกลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลประจวบคีรีขันธ์ ที่สนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาต่อ และกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าอย่างสูงที่สนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา

สลิล ปัญจรัตนกร

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อ.....	(5)
	กิตติกรรมประกาศ.....	(9)
	สารบัญ.....	(10)
	รายการตาราง.....	(12)
	รายการรูป.....	(13)
บทที่		
1	บทนำ.....	1
	1.1 บทนำต้นเรื่อง.....	1
	1.2 การทบทวนวรรณกรรม.....	2
	1.2.1 องค์ประกอบของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน.....	3
	ผิวเคลือบฟันและองค์ประกอบ.....	3
	วัสดุบูรณะฟันและองค์ประกอบ.....	3
	1.2.2 การกัดกร่อนต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน.....	12
	กลไกการกัดกร่อนต่อผิวเคลือบฟัน.....	12
	กลไกการกัดกร่อนต่อวัสดุบูรณะฟัน.....	16
	1.2.3 การสึกเหตุขัดถูต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน.....	17
	การสึกเหตุขัดถูของผิวเคลือบฟัน.....	18
	การสึกเหตุขัดถูของวัสดุบูรณะฟัน.....	18
	1.2.4 การกัดกร่อนร่วมกับการสึกเหตุขัดถูต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน..	19
	1.3 วัตถุประสงค์.....	21
	1.4 สมมติฐาน.....	21
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	21
2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
	2.1 การเตรียมชิ้นงาน.....	23
	2.1.1 การเตรียมชิ้นงานผิวเคลือบฟัน.....	23
	2.1.2 การเตรียมชิ้นงานกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.3 การเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิต.....	24
2.1.4 การเตรียมชิ้นงานเซรามิก.....	25
2.2 การเตรียมเครื่องจำลองการแปร่งฟัน.....	25
2.3 คุณสมบัติเฉพาะพื้นฐานของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิด	26
2.4 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	26
2.4.1 การกำหนดบริเวณที่จะสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และการแปร่งฟัน.....	26
2.4.2 ชิ้นงานกับสถานะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน.....	26
2.4.3 การวัดค่าความแข็งผิว.....	29
2.4.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว.....	29
2.4.5 การศึกษาพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	31
2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	31
3 ผลการวิจัย.....	38
3.1 คุณสมบัติเฉพาะพื้นฐานของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน.....	38
3.2 ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวหลังผ่านสถานะความเป็นกรดและ การแปร่งฟันของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน.....	40
3.2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน....	40
3.2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน.....	46
3.2.3 ผลการศึกษาพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	53
4 บทวิจารณ์.....	60
5 บทสรุป.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	74
ประวัติผู้เขียน.....	85

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงค่า pK_u ของกรดและสารคีเลท.....	14
2 สรุปการวัดการทดลองในแต่ละรอบ.....	27
3 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและ วัสดุบูรณะฟันก่อนการทดลอง.....	39
4 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของชิ้นงานก่อนและหลังสัมผัสสารละลายกรดร่วมกับ การแปรงฟัน.....	42
5 สรุปนัยสำคัญทางสถิติของสารละลายที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของ ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง.....	43
6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและ วัสดุบูรณะฟันหลังสัมผัสสารละลายกรดระหว่าง Erosion-abrasion:A และก่อนทดลองและระหว่าง Erosion-abrasion:B กับก่อนการทดลอง.....	44
7 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนทดลองและ หลังผ่าน Erosion-abrasion:A, Erosion-abrasion:B ในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชู.....	47
8 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ก่อนทดลองและหลังผ่าน Erosion-abrasion:A, Erosion-abrasion:B ในกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม.....	48
9 สรุปนัยสำคัญทางสถิติของสารละลายที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของ ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง.....	49

รายการรูป

รูป		หน้า
1	แสดงรูปแบบของเรซินคอมโพสิตจำแนกตามอนุภาคฟิลเลอร์.....	6
2	แสดงการแบ่งประเภทของเซรามิกในทางทันตกรรม.....	8
3	แสดงการเกิดศิลปะชั้น โดยซีเทรตไอออนกัลเลทเคลือบไอออน.....	13
4	แสดงการตัดฟันกรามล่างซี่ที่ 3.....	32
5	แสดงการตัดชิ้นงานเซรามิก.....	32
6	แสดงชิ้นงานเซรามิกหลังจากขัดเรียบด้วยอนุภาคโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์ แล้วนำไปตัดให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร.....	33
7	แสดงการเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิตและกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	33
8	แสดงสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้และการกำหนดบริเวณสัมผัส สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด.....	34
9	แสดงเครื่องจำลองการแปร่งฟันที่ใช้ในการทดลอง.....	35
10	แสดง Erosion and abrasion cycle ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	28
11	แสดงเครื่องวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคและเครื่องวัดค่าความหยาบผิว.....	36
12	แสดงการกำหนดจุดที่ใช้วัดค่าความแข็งผิวห้วกดแบบวิกเกอร์ส.....	29
13	แสดงบริเวณที่เข็ม contact stylus วัดค่าความหยาบผิวลากผ่านชิ้นงาน.....	30
14	แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	37
15	แสดงกราฟแห่งการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและ วัสดุบูรณะฟันก่อนและหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม.....	45
16	แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว (Ra) ของ ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม.....	50

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
17	แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว (Rz) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม 51
18	แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว (Rz) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชู..... 52
19	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มผิวเคลือบฟันที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า..... 55
20	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า..... 56
21	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า..... 57
22	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มเซรามิกที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า..... 58
23	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันชนิดต่างๆหลังจากแช่น้ำส้มสายชูที่กำลังขยาย 1500 เท่า..... 59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

(Introduction)

ฟัน และวัสดุบูรณะฟันชนิดต่างๆ โดยธรรมชาติแล้ว อยู่ในช่องปากที่มีสิ่งแวดล้อมที่สลับซับซ้อน อันได้แก่ น้ำลาย การแปร่งฟัน ความเป็นกรดจากการรับประทานอาหารและอื่นๆ ทั้งนี้ น้ำลายซึ่งประกอบด้วยโปรตีน เอนไซม์ แบคทีเรียและแร่ธาตุต่างๆ บทบาทของน้ำลายในช่องปากจะส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (buffer capacity) ของสารละลายในช่องปากและความสามารถในการคืนกลับของแร่ธาตุ (remineralization) ต่อฟัน ดังนั้น จึงมีผลต่อกระบวนการกัดกร่อน (erosion process) ต่อฟันและวัสดุบูรณะฟัน นอกจากนี้การแปร่งฟันเป็นกิจกรรมประจำวันที่ประชาชนทั่วไปทำทุกวันเมื่อตื่นนอนและก่อนเข้านอน และในบางครั้งทันตแพทย์จะแนะนำให้ผู้ป่วยแปร่งฟันหลังอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดช่องปากและฟัน แต่อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าผลของการแปร่งฟันสามารถทำให้เกิดการสึกต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันได้ หากมีการรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและตามด้วยการแปร่งฟันทันทีอาจจะมีผลต่อฟันและวัสดุบูรณะฟันมากขึ้น ปัจจุบันนี้อาหารหลายชนิดที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน เช่น ผลไม้รสเปรี้ยว (1) เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเนตหรือกรดจากธรรมชาติและสังเคราะห์ (2) ลูกอมที่มีส่วนผสมของกรด ยา และสิ่งแวดล้อมที่ทำให้มีการสัมผัสของกรดในช่องปาก ในปัจจุบันมีการส่งเสริมให้รับประทาน อาหารเพื่อสุขภาพ แคลลอรี่ต่ำ เพื่อควบคุมน้ำหนักและการมีสุขภาพที่ดี เพื่อการมีอายุที่ยืนยาว ประกอบกับอาหารไทยเพื่อสุขภาพนั้นมีธรรมชาติมักจะเป็นอาหารรสจัดและรสเปรี้ยว ซึ่งสารที่ให้ รสเปรี้ยวในองค์ประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพเหล่านี้ ผู้ปรุงอาหารมักจะใช้ มะม่วง มะขาม มะนาว น้ำส้มสายชู เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหารจำพวกยำและซุ๊ปต่างๆ ปัจจุบันมะนาว เป็นผลผลิตที่มีชุกในบางฤดูกาล แต่ในบางช่วงมีผลผลิตน้อย และราคาสูง จึงมีการพัฒนาน้ำมะนาวเทียมออกมาเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ใช้งานง่ายและราคาถูก รสชาติใกล้เคียง มะนาวจริง ซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นน้ำมะนาว 30-55 เปอร์เซ็นต์และกรดซิตริก น้ำมะนาวเทียม ปัจจุบันถูกผลิตให้มีสี กลิ่นและรสชาติใกล้เคียงน้ำมะนาวจริง และมีการนิยมนำมาปรุงอาหาร บริโภคกันมากขึ้นในปัจจุบัน การใช้น้ำส้มสายชู ซึ่งเป็นสารให้ความเปรี้ยวที่มีส่วนผสมของกรดอะ ซิดิกมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกันมานานอันได้แก่ ส่วนประกอบในน้ำสลัด ซอสเปรี้ยว

ซอสพริก ซอสมะเขือเทศ มายองเนส น้ำจิ้มที่เป็นอาหารของคนไทยหลายชนิด ผู้วิจัยเห็นว่าหากมีการบริโภคอาหารไทยที่มีรสเปรี้ยวอมส่งผลกระทบต่อฟันและวัสดุบูรณะฟันในช่องปากอยู่แล้ว และหากผู้ป่วยไม่ตระหนักรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้วทำการแปรงฟันทันทีหลังจากที่รับประทานอาหารรสเปรี้ยว อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของฟันและวัสดุบูรณะฟันเหล่านั้น เป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะศึกษาว่าหลังจากการรับประทานอาหารที่ประกอบด้วยน้ำส้มสายชูหรือน้ำมะนาวเทียม เมื่อมีการแปรงฟันเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันอย่างไร

1.2 การทบทวนวรรณกรรม

(Literature review)

ในปัจจุบันปัญหาฟันสึก (tooth surface loss) มีอัตราการเกิดมากขึ้นเนื่องจากประชากรมีอายุยืนขึ้น ประกอบกับการมีฟันไว้ใช้งานยาวนานขึ้น ซึ่งปัญหาฟันสึกนั้นเป็นผลมาจากการสูญเสียเนื้อฟันที่รวมถึง ผิวเคลือบฟัน เนื้อฟันและเคลือบรากฟัน เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการสบฟัน สูญเสียความสวยงาม และเกิดการทำลายวัสดุบูรณะฟัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลมาจากการสึกเหตุขัดถู (abrasion) การสึกเหตุบดเคี้ยว (attrition) การสึกแอฟแฟกชัน (abfraction) จากแรงกลชีวภาพ การสึกกร่อนหรือการกัดกร่อนของฟันจากสารละลายจำพวกกรด (erosion) ซึ่งปัจจุบันเชื่อว่า การสึกกร่อนหรือการกัดกร่อน มักจะเป็นสาเหตุหลักของฟันสึกและเกิดร่วมกับสาเหตุอื่นๆ ได้แก่ ฟันสึกเหตุขัดถู หรือ ฟันสึกเหตุบดเคี้ยว ทำให้ยากต่อการวินิจฉัยว่าเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว

การทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งแรงผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันหลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน เพื่อให้ครอบคลุมองค์ความรู้และที่มาของการวิจัย จึงแบ่งการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 4 ตอน กล่าวคือ ตอนที่ 1 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ตั้งแต่ส่วนประกอบ ปฏิบัติการก่อตัว โครงสร้าง การพัฒนา คุณสมบัติและสมบัติเฉพาะของวัสดุบูรณะฟัน ตอนที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกลไกการกัดกร่อนของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่ใช้ในการทดลองนี้ ตอนที่ 3 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการสึกกร่อนเหตุขัดถูของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ตอนที่ 4 คือการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกลไกการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นร่วมกับการสึกเหตุขัดถูต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ซึ่งจะ

นำมาใช้อธิบายกลไกการเกิดการกัดกร่อนร่วมกับการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันในงานวิจัยชิ้นนี้

1.2.1 องค์ประกอบของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงองค์ประกอบของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่มีผลต่อการละลายในสารละลายกรด รวมถึงปฏิกิริยาก่อตัว โครงสร้าง การพัฒนาและคุณลักษณะและสมบัติเฉพาะของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้

ผิวเคลือบฟันและองค์ประกอบ

ผิวเคลือบฟัน (3,4) ประกอบด้วยแร่ธาตุ โปรตีน ไขมัน และน้ำ ซึ่งมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันในผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยปริมาณขององค์ประกอบของแร่ธาตุในผิวเคลือบฟัน มีส่วนประกอบร้อยละ 85 และเนื้อฟันร้อยละ 47 ต่อปริมาตร

ส่วนประกอบของผิวเคลือบฟันมีส่วนประกอบเป็นแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ไฮดรอกซีอะพาไทท์ ($\text{Ca}_{10-x}\text{Na}_x(\text{PO}_4)_{6-y}(\text{CO}_3)_z(\text{OH})_{2-u}\text{F}_u$) ซึ่งเป็นร่างแหคริสตัลที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุ โดยรูปแบบที่สมบูรณ์ที่สุดคือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ และหากไฮดรอกซีไอออน (OH^-) ก็ถูกแทนที่โดยฟลูออไรด์ไอออน เกิดเป็นโครงสร้างของฟลูออโรอะพาไทท์ ซึ่งโครงสร้างใหม่นี้จะทนต่อการละลายในสารละลายกรดมากกว่าโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทท์รูปแบบปกติ (5,6) นอกจากนี้ องค์ประกอบหลักอย่างคาร์บอเนต (CO_3) บางส่วนก็อาจถูกแทนที่ด้วยฟอสเฟต (PO_4) การแทนที่ดังกล่าวเป็นผลให้องค์ประกอบทางเคมีของผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันเปลี่ยนไป จึงมีผลให้ละลายในสารละลายกรดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทท์รูปแบบปกติ (5,7) นอกจากนี้ยังมีส่วนของน้ำ โปรตีน และไขมันเป็นส่วนประกอบ องค์ประกอบของน้ำในผิวเคลือบฟันมีปริมาณเพียงพอต่อการแพร่กระจายของกรดและองค์ประกอบอื่นๆ เข้าสู่ฟันในระหว่างกระบวนการละลายแร่ธาตุโดยสารละลายกรด (erosion process) สารละลายกรดจะมีผลต่อพื้นผิวของผลึกแร่ธาตุหลังจากเกิดการแพร่กระจายผ่านคราบจุลินทรีย์ (plaque) ผ่านเพลลิเคิล (pellicle) และโปรตีนหรือไขมันที่เคลือบฟันผิวของผลึกแร่ธาตุแต่ละผลึกไว้

วัสดุบูรณะฟันและองค์ประกอบ

วัสดุบูรณะฟันที่ใช้ในทางทันตกรรมในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุบูรณะฟันเชิงตรง (direct restoration) และวัสดุบูรณะฟันเชิงอ้อม (indirect restoration) โดยทั้งสองชนิดมีการพัฒนาคุณสมบัติให้มีความแข็งแรงทั้งเชิงเคมีและเชิงกล สามารถ

คงอยู่ได้ในสภาพช่องปากเป็นเวลานานภายใต้สิ่งแวดล้อมต่างๆ ในช่องปากและการบดเคี้ยว ซึ่งวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดในระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุแต่ละชนิด

กลาส ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุบูรณะฟันที่ถูกผลิตขึ้นมาตั้งแต่ปีค.ศ.1969 โดย Wilson and Kent (8,9) โดยมีคุณสมบัติหลัก ได้แก่ สามารถยึดติดกับฟันได้ด้วยพันธะเคมี สีสเหมือนฟัน สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ และมีการใช้งานทางคลินิกที่หลากหลาย ได้แก่ วัสดุบูรณะฟัน วัสดุรองพื้น วัสดุยึดครอบฟัน อินเลย์ ออนเลย์ แต่มีข้อด้อย ได้แก่ ไวต่อความชื้น มีสีทึบ มีการสึกกร่อนหากใช้งานเป็นเวลานาน ความแข็งแรงไม่เพียงพอต่อการใช้งานในตำแหน่งที่รับแรง โดยค่าความทนแรงอัด (Compressive strength) ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เป็นวัสดุบูรณะฟัน มีค่า 70 เมกะปาสกาล (MPa) (10)

องค์ประกอบของกลาส ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (11) ประกอบด้วย ส่วนเหลว ได้แก่ กรดโพลีเมอร์ิกที่ละลายน้ำได้ (polymeric water-soluble acid) ประกอบด้วย กรดโพลีอัลคิโนอิก (polyalkenoic acid) ที่เป็นทั้งโพลีอัลคิโนอิกอย่างเดียว (homopolymer poly(acrylic acid)) หรือ มีโคโพลิเมอร์ร่วมกับกรดมาเลอิก (2:1 copolymer of acrylic acid and maleic acid และ ส่วนผง คือ ผงแก้ว (glasses) ที่เป็นเบสสามารถแตกตัวเป็นไอออนที่ละลายน้ำได้ (ion-leachable glass) สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดทำให้เกิดเกลือ (salt) โดยทั่วไป จะมีอะลูมิโนซิลิเกตกลาส (alumino-silicate glasses) ที่มีฟลูออไรด์และหมู่ฟอสเฟตเพิ่มเข้าไปด้วย

ปฏิกิริยาก่อตัวจากการผสมส่วนผงกับส่วนเหลว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 4 ขั้นตอน (12) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การแตกตัวของผงกลาส (decomposition of the powder)

เมื่อผสมส่วนผงเข้ากับส่วนเหลวที่เป็นกรด กรดในส่วนเหลวจะจับกับผิวของผงแก้ว ทำให้เกิดการละลายและการแตกตัวของผงแก้วประมาณร้อยละ 20-30 พร้อมทั้งปล่อยประจุต่างๆ ซึ่งได้แก่ แคลเซียม อะลูมิเนียม และฟลูออไรด์ไอออน เมื่อเริ่มมีการแตกตัวให้ไอออนจากผงแก้ว จะทำให้โมเลกุลของกรดเกิดการคลายเกลียว ช่วยให้หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ของกรดสามารถจับกับไอออนบวกได้ดียิ่งขึ้น โดยไอออนที่แตกตัวออกจากผงแก้วนี้มีการเคลื่อนตัวเข้ามาในส่วนเหลวของซีเมนต์ ระยะเวลาความเข้มข้นของแคลเซียมจะมากที่สุดและมากกว่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียม

โดยค่าความเป็นกรดต่างก็เพิ่มขึ้นด้วย ระยะเวลาที่ซีเมนต์มีความหนืดค่อนข้างน้อยจึงถือเป็นระยะทำงาน

2. การเกิดเจล (gelation)

ในขั้นตอนนี้เป็นการจับกันระหว่างไอออนบวกของโลหะจากส่วนผงกับไอออนลบของกรด ทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามระหว่างโมเลกุลของกรดไว้ โดยเริ่มตั้งแต่แคลเซียมไอออน อะลูมิเนียมไอออน มีการละลายตัวออกมามากพอ เกิดเป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอกซิเลตมากในช่วงแรก (initial set) ในขั้นตอนนี้เป็นระยะที่ซีเมนต์เริ่มมีการเพิ่มความแข็งแรงหรือมีการก่อตัวขึ้น

3. การแข็งตัว (hardening)

การก่อตัวระยะแรกซึ่งถือว่าเป็นการก่อตัวทางคลินิก จะเกิดจากแคลเซียมไอออนเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโมเลกุลของกรด โพลีอะคริลิกเป็นส่วนใหญ่ ซีเมนต์จะมีความไวต่อน้ำในช่วงเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงแรกของการก่อตัว ซึ่งการก่อตัวที่สมบูรณ์นั้นจะเกิดจากการที่อะลูมิเนียมไอออนไปจับกับหมู่คาร์บอกซิลของกรด เกิดเป็นเกลืออะลูมิเนียมคาร์บอกซิเลต ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งหลัง 24 ชั่วโมงไปแล้ว

4. การก่อตัว (maturation)

ระยะนี้เกิดขึ้นหลังจาก 24 ชั่วโมง โดยการก่อตัวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และต่อเนื่องในลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย ทำให้ความต้านทานต่อการแตกในเนื้อวัสดุจากการสูญเสียน้ำ (desiccation) และความต้านทานจากการทำลายจากกรดเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเดือน ซีเมนต์จะแข็งแรงมากขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น

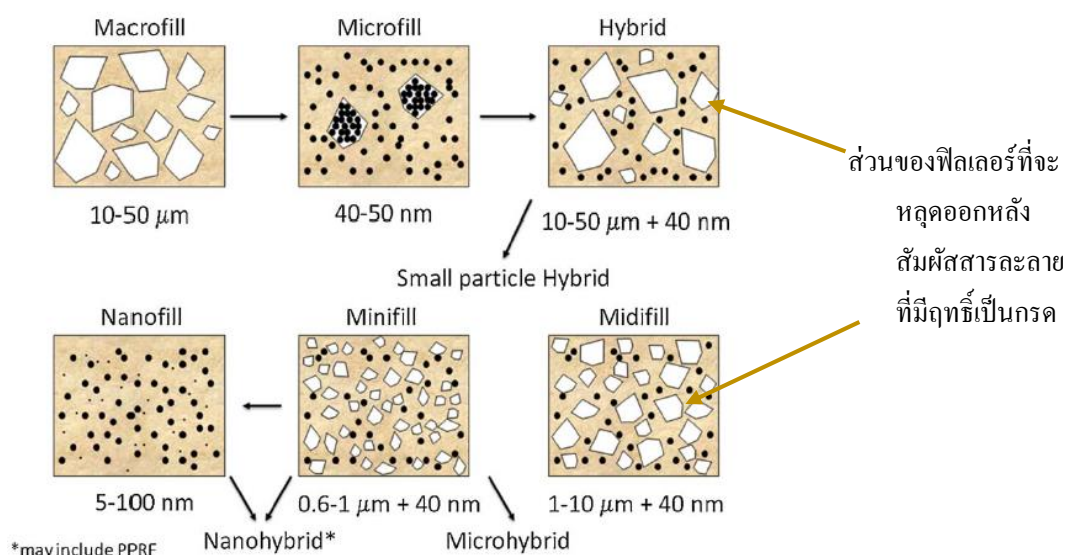
เรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุบูรณะฟันสีเหมือนฟันที่มีองค์ประกอบเป็น เรซินเบสคอมโพสิตที่ใช้กันมายาวนานกว่า 50 ปี ในปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติจากอดีต (13,14) ได้แก่ การเติมฟิลเลอร์เพื่อเพิ่มความแข็งแรง การลดขนาดของฟิลเลอร์เพื่อให้วัสดุใช้งานและขัดแต่งได้ง่าย ทนต่อการสึกกร่อน สามารถใช้งานได้ทุกตำแหน่งในช่องปากโดยเฉพาะในพื้นที่หลัง เมื่อไม่นานมานี้ การเปลี่ยนแปลงมักจะให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบโพลีเมอริก เมทริกซ์ โดยการลดการหดตัวจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) เพื่อให้วัสดุสามารถยึดติดกับโครงสร้างของฟันได้ดียิ่งขึ้น

องค์ประกอบของเรซิน คอมโพสิต (15) ประกอบด้วยเรซิน เมทริกซ์ (resin matrix) ซึ่งเป็นส่วนของสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วย บิส จีเอ็มเอ (Bis-GMA : bisphenol A-glycidyl methacrylate) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่ง มีความหนืดสูง จึงนำมาผสมกับ โมโนเมอร์ที่มีสายสั้น (short-chain monomers) ได้แก่ ไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต (triethyleneglycol-dimethacrylate : TEGDMA)(16) โดย บิส จีเอ็มเอ ที่มีส่วนของไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต สูงจะมีการหดตัวจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันสูง และฟิลเลอร์ (filler) เป็นส่วนของ ควอตซ์ เซรามิก และ/หรือซิลิกา เป็นส่วนของสารประกอบอินทรีย์และสารเชื่อมต้อ (coupling agents) เป็นสารยึดส่วนฟิลเลอร์ เข้ากับเมทริกซ์

เรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่แล้วมีปฏิกิริยาก่อตัวด้วยแสง โดยสารเริ่มปฏิกิริยาก่อตัวด้วยแสง (photoinitiator) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ แคมฟอโรควิโนน (camphoroquinone) (17) ซึ่งถูกกระตุ้นโดยเทอเชียรี่ เอมีน (tertiary amine) ชนิด อะโรมาติก (aromatic)

การแบ่งประเภทของเรซิน คอมโพสิต สามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ จากตัวอย่างที่ยกมานี้ เป็นการแบ่งตามลักษณะและขนาดของฟิลเลอร์ ได้ 6 ประเภท(15) ได้แก่



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของเรซินคอมโพสิตจำแนกตามอนุภาคฟิลเลอร์ (15)

แมคโครฟิลล์ (Macrofill) มีขนาดอนุภาค 10-50 ไมโครเมตร มีความแข็งแรงแต่ขัดแต่งยากและทำให้พื้นผิวเรียบยาก

ไมโครฟิลล์ (Microfill) มีขนาดอนุภาคประมาณ 40 นาโนเมตร (ซึ่งในความเป็นจริง เป็นเรซินคอมโพสิต ชนิดนาโนฟิลล์ ที่เป็นอนุภาคที่เสริมสร้างด้วยซิลิกาที่เป็นทรงกลมที่มีหลายขนาด (amorphous spherical silica reinforcing particles) โดย ขนาดนาโน มีขนาดตั้งแต่ 1-100 นาโนเมตร) สามารถเพิ่มฟิลเลอร์ ชนิด ฟรี โพลีเมอไรซ์ เรซิน (PPRF) เข้าไปในเมทริกซ์เพิ่มเติม เป็นการเพิ่มอนุภาคขนาดไมโครฟิลล์ สามารถขัดแต่งได้ แต่อ่อนแอเนื่องจากมีปริมาณฟิลเลอร์น้อย

ไฮบริด (Hybrid) ประกอบด้วย ฟิลเลอร์ขนาด 10-50 ไมครอน และ 40 นาโนเมตร

มิดิฟิลล์ (Midifill) ประกอบด้วย ฟิลเลอร์ขนาด 1-10 ไมครอนและ 40 นาโนเมตร

มินิฟิลล์ (Minifill) (18) ประกอบด้วย ฟิลเลอร์ขนาด 0.4-1 ไมครอน และ 40 นาโนเมตร เรียกอีกชื่อ ว่า ไมโครไฮบริด ซึ่งเป็นเรซิน คอมโพสิตที่ใช้กันแพร่หลาย ที่สามารถใช้ได้ทั้งพื้นหน้าและพื้นหลัง จากการรวมกันของความแข็งแรงและสามารถขัดแต่งได้สวยงาม

นาโนฟิลล์ (Nanofill) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดนาโน จากการ คัดแปลงไมโครไฮบริด โดยการเพิ่ม อนุภาคขนาดนาโนและฟิลเลอร์ชนิดฟรี โพลีเมอไรซ์ เรซิน ใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิต ชนิดไมโครฟิลล์เรียกว่า นาโนไฮบริด (Nanohybrid)

เซรามิกในทางทันตกรรม

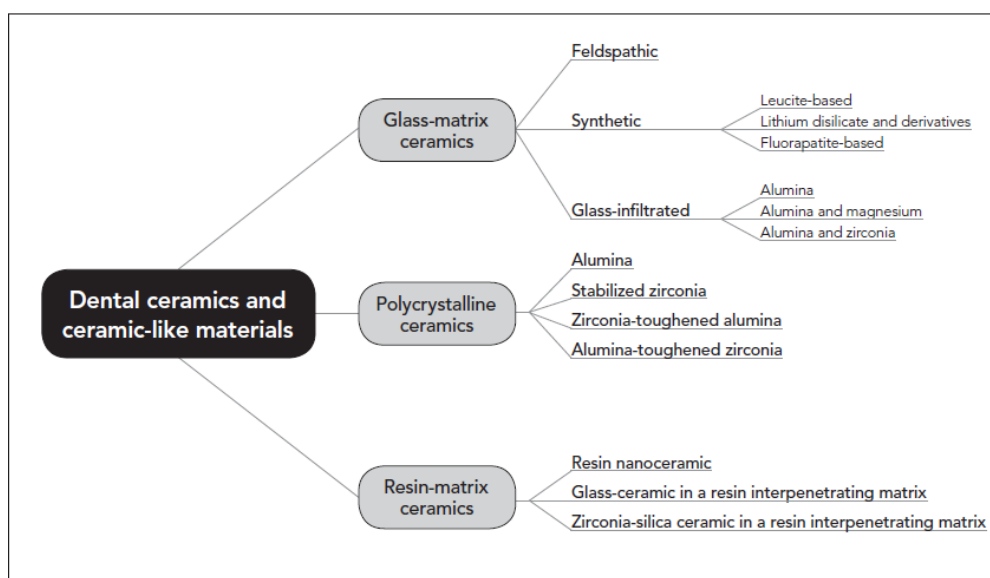
เซรามิกในทางทันตกรรมมีใช้กันมานานในงานด้านทันตกรรมบูรณะ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความทนทานและมีความสวยงามให้สีที่เหมือนฟันธรรมชาติ ประวัติการใช้งานที่ยาวนานมีมาตั้งแต่ 700 ปีก่อนคริสตกาล ในยุคสมัยโรมัน ที่มีการนำฟันธรรมชาติของมนุษย์, ฟันของสัตว์ และงาช้างมาใช้ทดแทนฟันที่สูญเสียไปของมนุษย์ และเริ่มมีการนำแร่ธาตุหรือ พอร์ซเลน มาใช้เป็นครั้งแรกเนื่องด้วยคุณสมบัติที่ดีในหลายๆ ด้านและความเสถียรทางชีวภาพของวัสดุ เมื่อเทียบกับฟันสัตว์หรือฟันจากมนุษย์ที่ไม่ทนต่อสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนในน้ำลาย นอกจากนี้ งาช้างและกระดูกมีรูพรุนทำให้ง่ายต่อการติดสี ทำให้มีการนิยมใช้ฟันที่ทำมาจากแร่ธาตุและพอร์ซเลนมากขึ้น จากนั้นจึงมีการพัฒนาคุณสมบัติของ พอร์ซเลนชนิดเฟลสปาติก มาเรื่อยๆ ทั้งในแง่ของการผลิตและพัฒนาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบภายในพอร์ซเลน เพื่อให้มีความทนทาน มีสีและความโปร่งแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด โดยในปี ค.ศ.1963 ดร.ชาร์ล แลนด์ ได้จดลิขสิทธิ์ครอบฟันเซรามิกเป็นครั้งแรก และใช้ชื่อว่า Vita Zahnfabrik โดยเป็นชื่อทางการค้าของครอบฟันเซรามิกรุ่นแรก

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่าเซรามิกในทางทันตกรรมมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากคุณสมบัติที่เหมือนฟันธรรมชาติและมีคุณสมบัติทางเคมีที่มีความทนทานต่อกรดและสมบัติเชิงแสงที่ใกล้เคียงฟันธรรมชาติ และมีการพัฒนาขึ้นจากอดีตทำให้มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาทำ

ครอบฟันเซรามิกได้ โดยเราสามารถแบ่งประเภทของเซรามิกได้หลายประเภท โดยการแบ่งประเภทของเซรามิก สามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ ดังนี้

- แบ่งตามประเภทการใช้งาน เช่น ใช้ในครอบฟันหน้า ฟันหลัง วีเนียร์ เดือยฟัน หรือสะพานฟันแบบติดแน่น
- แบ่งตามองค์ประกอบที่อยู่ภายในเซรามิกแต่ละชนิด ได้แก่ กลาสเซรามิก โพลีคริสตัลไลน์ เรซินเมทริกซ์ เป็นต้น
- แบ่งตามความโปร่งแสง ได้แก่ ทึบแสง โปร่งแสง และ โปร่งใส
- แบ่งตามความต้านทานต่อการแตกหัก ได้แก่ ต้านทานสูง กลาง และต่ำ

แต่ในที่นี้จะใช้การแบ่งประเภทของเซรามิกตามองค์ประกอบและชนิดของแร่ธาตุที่อยู่ในเซรามิก (19) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการแบ่งประเภทของเซรามิกในทางทันตกรรม (19)

1. **Glass-matrix ceramic** : ประกอบด้วยเซรามิกที่มีเฟสกลาส (glass phase)
 - a. **Feldspathic** ตัวอย่างเช่น IPS Empress Esthetic, IPS Empress CAD, IPS Classic, Ivoclar Vivadent® ; Vitadur, Vita VMK 68, Vitablocs, Vident®
ประกอบด้วย ดินเหนียว/คาโอลิน (hydrated aluminosilicate) ควอตซ์ (silica) และ เฟลสปาที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (ส่วนผสมของโพแทสเซียมและ โซเดียมอะลูมิโนซิลิเกต) โพแทสเซียมเฟลสปาจะก่อตัวเป็นผลึกลิวไรท์ (Crystalline phase) ซึ่งขึ้นกับปริมาณ ซึ่งไม่

เพียงแค่เพิ่มความแข็งแรงของวัสดุแต่ยังทำให้ฟอร์ชเลนเหมาะสมต่อการปกปิดสีโลหะ โดยวัสดุในกลุ่มนี้เหมาะจะใช้ในการทำวีเนียร์บนโครงโลหะและเป็นครอบฟันเซรามิก

b. **Synthetic** ประกอบด้วย 3 กลุ่มย่อย ได้แก่

Leucite-based ตัวอย่างเช่น IPS d.Sign, Ivoclar Vivadent® ; Vita VM7, VM9, VM13, Vident® ; Noritake EX-3, Cerabien, Cerabien ZR, Noritake® เป็นการนำผลึกลิวไซต์ใส่เพิ่มเข้าไปในเมทริกซ์กลาส เนื่องจากผลึกลิวไซต์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงกว่าเมทริกซ์กลาส ขณะเกิดการเย็นตัวจะมีแรงอัดภายในเมทริกซ์กลาส ซึ่งแรงอัดนี้สามารถเปลี่ยนทิศทางรอยร้าวได้ (crack deflection) เป็นเหตุให้มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยมีค่าความทนต่อการตัดโค้ง ~80-140 เมกกะปาสคาล นิยมใช้เป็นวัสดุปิดสีโลหะหรือครอบฟันแท้ในฟันหน้า

Lithium disilicate and derivatives ตัวอย่างเช่น IPS e.max CAD, IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent® ; Suprinity, Vita® ; Celtra Duo, Dentsply® โดยส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ผลึกลิเทียม ไดซิลิเกต เป็นผลึกที่มีรูปร่างคล้ายเข็ม (needle-like) ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหของแสงใกล้เคียงกับดัชนีหักเหของแสงของเมทริกซ์กลาส ทำให้ไม่เสียความโปร่งแสงไป นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเปลี่ยนทิศทางรอยร้าวได้ คือเมื่อมีการเกิดรอยร้าวขึ้นในเนื้อวัสดุแล้วรอยร้าวจะมีการดำเนินมาจนชนกับผลึกของลิเทียม ไดซิลิเกต จะทำให้เปลี่ยนแปลงทิศทางของรอยร้าว ซึ่งมีผลทำให้เกิดการรอยร้าวลดลง ตัวนี้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นกว่ากลุ่มลิวไซต์ค่อนข้างมาก คือมีค่าความทนต่อการตัดโค้ง ~350-450 เมกกะปาสคาล นิยมใช้เป็นวีเนียร์ ครอบฟันแท้ในฟันหลัง สะพานฟัน 3 ยูนิตในฟันหน้าถึงฟันกรามน้อย อินเลย์ ออนเลย์ ฟันหลักของรากฟันเทียม เป็นต้น

Fluoroapatite-based ตัวอย่างเช่น IPS e.max Ceram, ZirPress, Ivoclar Vivadent® ประกอบด้วยผลึกของฟลูออไรด์ให้ความสวยงามจากผลึกที่มีความโปร่งแสง มีค่าการกระเจิงแสง (light scattering) ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ

c. **Glass-infiltrated** ประกอบด้วย **Alumina** ตัวอย่างเช่น In-Ceram Alumina, Vita® ; **alumina and magnesium** ตัวอย่างเช่น In-ceram Spinell, Vita® ; **alumina and zirconia** ตัวอย่างเช่น In-Ceram Zirconia, Vita®

In-Ceram Alumina ผลิตในปี 1989 โดยใช้วิธีสลีปแคสต์ (slip-casting technique) โดยการแผ่คละลูมิเนียมออกไซด์แล้วนำไปเผา จากนั้นแทรกซึมด้วย แลนทานัม กลาส (lanthanum glass) เพื่อปิดรูพรุนและเพิ่มความแข็งแรง องค์ประกอบจากผู้ผลิต ประกอบด้วย Al_2O_3 (82%), La_2O_3 (12%), SiO_2 (4.5%), CaO (0.8%) และ oxide อื่นๆ (0.7%)

In-Ceram Spinell ถูกแนะนำในปี 1994 กลาสถูกแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนของแมกนีเซียมอะลูมินา ($MgAl_2O_4$)

In-Ceram Zirconia ถูกคิดแปลงจาก In-Ceram Alumina โดยเพิ่มเซอร์โคเนียออกไซด์ ลงไปในองค์ประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิก องค์ประกอบ ประกอบด้วย Al_2O_3 (62%), ZnO (20%), La_2O_3 (12%), SiO_2 (4.5%), CaO (0.8%) และ oxide อื่นๆ (0.7%)

ปัจจุบันไม่นิยมใช้เซรามิกในกลุ่มกลาส อินฟิลเตรตแล้วเนื่องจากความยากในการขึ้นรูป (slip-casting technique) และวัสดุมีความเปราะและแตกหักง่าย

2. **Polycrystalline ceramics** : ประกอบด้วยเซรามิกที่ไม่มีเฟสกลาส มีส่วนของโครงสร้างคริสตัลไลน์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (fine-grain crystalline structure) ให้ความแข็งแรง และความเหนียวที่ต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความใส (Translucency) และเนื่องจากไม่มีส่วนของเฟสกลาส ทำให้กลุ่มนี้ มีความยากในการใช้ กระจกไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งต้องใช้เวลาขึ้นและใช้อุณหภูมิสูง เซรามิกกลุ่มนี้ยังแบ่งได้ เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่
 - a. **Alumina** ตัวอย่างเช่น Procera AllCeram, Noble Biocare®
ประกอบด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์บริสุทธิ์ (99.5%) ใช้เป็นวัสดุแกน ในระบบ CAD/CAM ของบริษัท Nobel Biocare มีความแข็งผิวสูง (17-20 GPa) และแข็งแรงสูง ความยืดหยุ่นของมอดูลัส = 300 กิกกะปาสคาล สูงที่สุดในกลุ่มเซรามิกในทางทันตกรรม ทำให้ง่ายต่อการแตกหัก (bulk fracture)
 - b. **Stabilized zirconia** ตัวอย่างเช่น NobelProcera Zirconia, Nobel Biocare® ; Lava Plus, 3M ESPE® ; In-Ceram YZ, Vita® ; IPS e.max ZirCAD, Ivoclar Vivadent®
Pure zirconia ประกอบด้วย 3 วัฏภาค ได้แก่ โมโนคลินิก ที่เสถียรที่ 1170 องศาเซลเซียส และ เตตระโกนอล และ คิวบิก ที่ 2370 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนจาก เตตระโกนอลไปเป็น โมโนคลินิกจะมีการเพิ่มความเครียดเฉือน (shear strain) และปริมาตรมากขึ้น 4% ซึ่ง ปริมาตรที่เพิ่มมากขึ้นจะช่วยปิดรอยร้าว นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเหนียวที่ต้านทานการแตกหัก เรียกว่า ทรานสฟอร์มเมชัน ทัพเทนนิ่ง (transformation toughening) โดยกระบวนการนี้เตตระโกนอล และ คิวบิก ต้องเสถียรที่อุณหภูมิห้อง โดยการใส่ อีเทรียม แมกนีเซียม แคลเซียม และ เซอเรียม ลงไปในเซอร์โคเนีย ออกไซด์ การแบ่งชนิดของ เซอร์

โคเนียเป็นไปตาม โครงสร้างระดับจุลภาค ได้แก่ fully stabilized zirconia (FSZ), partially stabilized (PSZ) และ tetragonal zirconia polycrystals (TZP) โดย เซอร์โคเนียในทาง ทันตกรรม ทั้งหมดเป็น TZP ที่ถูกทำให้เสถียรโดยใส่ไอเทรียม (Y-TZP) หรือ เซอเรีย ซึ่ง Y-TZP เป็นรูปแบบที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและมีความเหนียวที่ต้านทานการแตกหักมากที่สุด

เซอโคเนียใช้ในงานวัสดุที่เป็นโครงร่างในทางทันตกรรมประดิษฐ์ (prosthetic framework materials) ที่ปกปิดด้วยเซรามิกชนิดอื่นหรือใช้เป็นวัสดุบูรณะประเภท โมโนลิติก (monolithic restoration) และมีการพัฒนาเป็นโพลีโครมาติก แคด/แคม และดิสก์ เพื่อให้เลียนแบบสีที่หลากหลายของทั้งเนื้อฟันและผิวเคลือบฟัน

c. **Zirconia-toughening alumina and alumina-toughened zirconia** ตัวอย่างเช่น In-Ceram Zirconia, Vita® เป็นชนิด Zirconia-toughening alumina

เนื่องจากในกลุ่มเซอโคเนียจะเป็นเฟสพาร์เซิลล์ สเตบิลไลซ์ เตตระโกนอล (partially stabilized tetragonal phase) จึงมีการพัฒนา อะลูมินา-เซอโคเนีย (zirconia-toughened alumina [ZTA]) และ เซอโคเนีย-อะลูมินา (alumina-toughened zirconia [AZT]) ประกอบด้วยโครงสร้างระดับจุลภาคและนาโน

ZTA มีอะลูมิเนียม >50% โดยน้ำหนัก ขณะที่ AZT มีเซอโคเนีย >50% โดยน้ำหนัก ยกตัวอย่างเช่น ZTA ประกอบด้วย ZrO_2 67.9%; Al_2O_3 21.5%; CeO_2 10.6%; MgO 0.06%; TiO_2 0.03% ข้อดีของวัสดุนี้เมื่อเทียบกับ Y-TZP คือ ทนต่อการเสื่อมสลายที่อุณหภูมิต่ำ, มีความแข็งแรงสูง และความเหนียวที่ต้านทานการแตกหัก มากกว่า Y-TZP เป็นสองเท่า

นิยมใช้เซรามิกในกลุ่มโพลีคริสตัลไลน์ ในการทำครอบฟันหลัง เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ต้านทานต่อการแตกหัก แต่มีข้อเสียคือ ทำให้ครอบฟันมีสีทึบ ไม่โปร่งใส จึงเหมาะต่อการใช้ในฟันหลัง

3. **Resin-matrix ceramics** : ประกอบด้วยส่วนของเมทริกซ์ที่เป็นอินทรีย์ (organic matrix) ที่อยู่ใน อนุภาคเซรามิก (ceramic particles) (มีส่วนของโพลีเมอร์อยู่ในส่วนประกอบอินทรีย์ ที่ประกอบด้วย พอร์ซเลน กลาส เซรามิก และ กลาส-เซรามิก) แบ่งประเภท ตามองค์ประกอบอินทรีย์ ได้เป็น 3 กลุ่มย่อยได้แก่

a. **Resin nanoceramic** ตัวอย่างเช่น Lava Ultimate, 3M ESPE®

ประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์และอนุภาคนาโนเซรามิก 80% โดยน้ำหนัก โดยประกอบด้วยอนุภาคซิลิกา นาโน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นาโนเมตร), อนุภาคเซอโคเนียชนิดนาโน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 4-11 นาโนเมตร) และเซอโคเนีย-ซิลิกา นาโนคลัสเตอร์ช่วยลดช่องว่างของอนุภาคฟิลเลอร์

b. Glass ceramic in a resin interpenetrating matrix ตัวอย่างเช่น Enamic, Vita®

ประกอบด้วย ร้างแห 2 ชนิดได้แก่ ร้างแหเฟลสปาติก (86% โดยน้ำหนัก/ 75% โดยปริมาตร)และร้างแหโพลีเมอร์ (14% โดยน้ำหนัก/ 25% โดยปริมาตร) องค์ประกอบของร้างแหเฟลสปาติก ได้แก่ 58-63% SiO₂, 20-23% Al₂O₃, 9-11% Na₂O, 4-6% K₂O, 0.5-2% B₂O₃, less than 1% Zr₂O and CaO ร้างแหโพลีเมอร์ประกอบด้วย (urethane dimethacrylate :UDMA) และ (triethylene glycol dimethacrylate :TEGDMA) ซึ่งผู้ผลิตเรียกกลุ่มนี้ว่า ไฮบริดเซรามิก

c. Zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix

ประกอบด้วยเมทริกซ์อินทรีย์หลายชนิด และมีเซรามิกหลายรูปแบบ เช่น ผงซิลิกา เซอโคเนียม ซิลิเกต ยูริเทน ไดเมทอะไครเลท ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทอะไครเลท เม็ดสี ซึ่งส่วนประกอบอนินทรีย์มีปริมาณมากกว่า 60% โดยน้ำหนัก

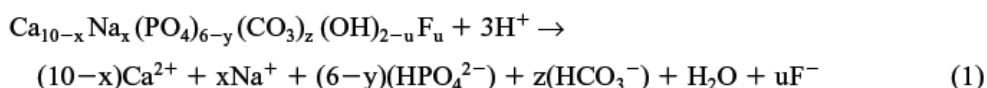
1.2.2 การกักร้อนต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

การเกิดการกักร้อนของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดมีกลไกที่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของสารที่อยู่ภายในวัสดุและการเกิดพันธะขององค์ประกอบต่างๆ ที่สามารถทนต่อการกักร้อนได้มากน้อยแตกต่างกัน และในส่วนของกลไกของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

กลไกการกักร้อนต่อผิวเคลือบฟัน

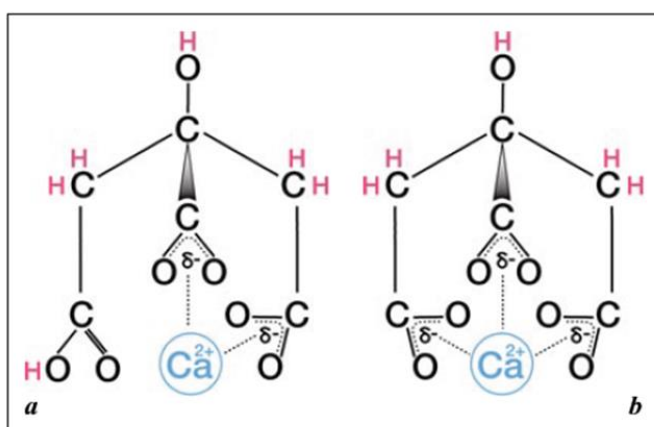
การกักร้อนทางเคมีของฟันเกิดขึ้นได้จาก 2 กระบวนการ (20) ได้แก่ กระบวนการที่ 1 คือ สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดแตกตัวและให้ไฮโดรเจนไอออน และกระบวนการที่ 2 ส่วนที่เหลือจากการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออนจะเกิดเป็นแอนไอออน (anions) ที่สามารถเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนทางเคมีกับแคลเซียมซึ่งเรียกว่าสารคีเลท (chelating agent) ทำการจับกับแคลเซียมไอออนของฟันผ่านกระบวนการคีเลชัน (chelation)

กลไกที่ 1 ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ได้จากการละลายของกรดในน้ำ เช่นในกรดซิตริก สามารถผลิตไฮโดรเจนไอออนได้ 3 โมเลกุล ซึ่งไฮโดรเจนไอออนสามารถละลายแร่ธาตุบนผิวฟันโดยการจับกับคาร์บอเนตไอออนหรือฟอสเฟตไอออน ดังสมการ (1)



ผลจากการทำปฏิกิริยาโดยตรงของไฮโดรเจนไอออน โดยการรวมกับคาร์บอเนตหรือฟอสเฟต เพื่อให้เกิดการปล่อยไอออนจากพื้นผิวของผลึกนำไปสู่การกัดกร่อนพื้นผิวโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น กรดไฮโดรคลอริกที่ละลายได้ในน้ำอย่างสมบูรณ์ สามารถปล่อยไฮโดรเจนไอออนและคลอไรด์ไอออนอย่างรวดเร็วและทำการละลายและกำจัดแร่ธาตุ โดยที่คลอไรด์ไอออนไม่มีผลต่อกระบวนการละลายแร่ธาตุ

กลไกที่ 2 เป็นปฏิกิริยาคีเลชัน จากการได้รับแอนไอออนซึ่งเป็นส่วนที่เหลือของกรดจากการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออน ทำให้คาร์บอกซิเลต (COO^-) จับกับแคลเซียมไอออนในฟัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเกิดคีเลชันโดยซิเตรตไอออนคีเลตแคลเซียมไอออน ในขณะที่ $COOH$ 2 กลุ่มสูญเสียไฮโดรเจนไอออนและเป็นประจุลบ ซึ่งดึงดูดประจุบวกของแคลเซียมไอออน (a) และขณะที่ $COOH$ 3 กลุ่มสูญเสียไฮโดรเจนไอออนและถูกแทนที่ด้วยแคลเซียมไอออน (b) (20)

กรดซิตริกมีปฏิกิริยาที่ซับซ้อนกว่ากรดไฮโดรคลอริก ในน้ำจะมีการแตกตัวเป็นส่วนผสมทั้งไฮโดรเจนไอออนและแอนไอออน (citrate) และโมเลกุลของกรดที่ไม่ละลายน้ำ (undissociated acid molecules) ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าพีเอชของสารละลาย ไฮโดรเจนไอออนทำหน้าที่ดังกล่าว

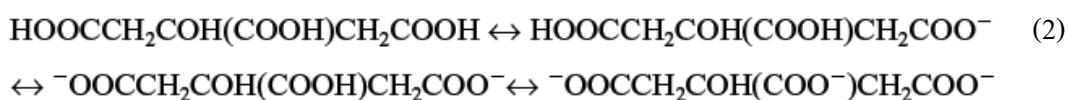
ข้างต้น โดยการละลายพื้นผิวของผลึกแร่ธาตุโดยตรงและนอกจากนี้ ซิเตรตไอออนจะเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแคลเซียมทำให้แคลเซียมถูกดึงออกจากพื้นผิวผลึกแร่ธาตุของฟัน ซึ่งแอนไอออนของกรดแต่ละชนิดมีความแข็งแรงแตกต่างกันในการเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแคลเซียมขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลและความง่ายของตัวมันเองที่จะดึงแคลเซียมเข้ามา

ความแข็งแรงของกรดนั้นขึ้นอยู่กับค่าคงที่ในการละลาย (K_a) ซึ่งค่าที่เป็นประโยชน์ในการอธิบายความแข็งแรงของการเกิดพันธะกับแคลเซียมคือ pK_a ซึ่งเป็นค่าลอการิทึมที่เป็นฟังก์ชันผกผันของค่าคงที่ในการละลาย (K_a) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า pK_a หมายถึงการมีพันธะที่แข็งแรงมากขึ้น ยังมีพันธะที่แข็งแรงมาก ความสามารถในการดึงแคลเซียมออกจากผิวฟันก็ยิ่งมาก โดยขณะเกิดการกัดกร่อนของฟันจากสารละลายกรดจะเกิดปฏิกิริยา 2 อย่างร่วมกัน คือการสลายของไฮโดรเจนไอออนทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุและการเกิดพันธะเชิงซ้อนของแคลเซียมกับแอนไอออนซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาคีเลชัน

ตารางที่ 1 แสดงค่า pK_a ของกรดและสารคีเลท (Chelating agent)(20)

Acid	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}
Acetic	4.76		
Lactic	3.86		
Citric	3.13	4.76	6.40
Phosphoric	2.15	7.20	12.35

กรดซิตริกมีความซับซ้อนในเชิงโครงสร้างทางเคมี เนื่องจากมีค่า pK_a 3 ค่า ดังตารางที่ 1 เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนทั้ง 3 ไอออนของกรดสามารถผันกลับได้เมื่อเกิดพันธะกับซิเตรตไอออนดังแสดงในสมการ(2)



ซิเตรตไอออนสามารถเกิดได้ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น หากไฮโดรเจนไอออน 2 หรือ 3 ไอออนออกจากโมเลกุล ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแคลเซียม เรียกว่า tree-dimensional electrostatic interaction จากการที่กลุ่ม COO^- จับกับแคลเซียม โดยเมื่อกรดซิตริกมีค่าพีเอชต่ำ ($\text{pH}=2$) ไฮโดรเจนไอออนจะทำหน้าที่จับกับแร่ธาตุโดยตรงและเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ($\text{pH}=7$) ซิเตรตไอออนจะทำหน้าที่

ดิ่งแคลเซียมไอออนออกจากผิวของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทท์ และที่ค่าพีเอชระหว่างนี้ (pH=2-7) จะเกิดปฏิกิริยาทั้งสองอย่าง

จากการศึกษาของ Larson และ Nyvad ในปี 1999 (2) ที่ศึกษาผลของพีเอชที่แตกต่างกันในเครื่องดื่มน้ำประเภทที่ไม่มีแอลกอฮอล์ผสมและน้ำผลไม้ที่วางขายในประเทศเดนมาร์ก 18 ชนิดต่อการสึกของผิวเคลือบฟันเมื่อเวลาผ่านไป พบว่า เครื่องดื่มที่มีพีเอชน้อยกว่า 5.5 และต่ำกว่าลงมาจะพบว่ามี การสึกของผิวเคลือบฟันเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 7 วัน และโดยสามารถพบการสึกตั้งแต่ 24 ชั่วโมงแรก ในเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ผสมและน้ำส้ม และจากการศึกษาของ von Fraunhofer และ Roger ในปี 2004 (21) ที่ศึกษาการละลายของผิวเคลือบฟันเมื่อแช่ในเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ เครื่องดื่มคาร์บอนेट ชา กาแฟ ที่มีพีเอชตั้งแต่ 2.46 ถึง 6.25 โดยศึกษาน้ำหนักของผิวเคลือบฟันที่หายไปเมื่อแช่ในเครื่องดื่มเป็นเวลา 14 วัน พบว่าน้ำหนักของผิวเคลือบฟันหายไปเพิ่มมากขึ้น ณ ช่วงเวลาต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของเครื่องดื่มด้วย โดยเครื่องดื่มคาร์บอนेटส่งผลให้น้ำหนักของผิวเคลือบฟันหายไปจากการกัดกร่อนของกรดมากกว่าชาและกาแฟ และเมื่อศึกษาค่าความแข็งผิวของเคลือบฟันเมื่อเวลาผ่านไป หลังจากแช่ในสารละลายกรด จากการศึกษานี้ของ de Carvalho Sales-Peres และคณะในปี 2007 (22) ศึกษาผลของเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ผสม (soft drinks) ที่มีค่าพีเอชตั้งแต่ 2.9 ถึง 3.6 ต่อค่าความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันที่เปลี่ยนไป พบว่า เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ผสมทั้ง 5 ชนิดส่งผลให้เกิดการนึ่มลงของผิวเคลือบฟันไม่แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้ว่า งานวิจัยที่ยกตัวอย่างมา แสดงให้เห็นว่า เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาร์บอนेट น้ำผลไม้ ที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟัน ทั้งในแง่การสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิว ขึ้นกับระยะเวลาในการแช่และค่าพีเอช นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาของ Zanatta RF. และคณะ ในปี 2016 (23) ได้มีการศึกษาผลของเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ต่อการสึกของผิวเคลือบฟัน โดยศึกษาผลของเบียร์ต่อผิวเคลือบฟันวัวเมื่อเทียบกับ โค้กและน้ำลาย โดยการวัดความแข็งผิวก่อนการทดลอง และที่เวลา 5 30 และ 60 นาทีหลังการแช่ในสารละลาย จากการทดลอง พบว่า โค้กมีความสามารถในการลดความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันในทุกช่วงเวลาที่ทดลอง และเบียร์ไฮเนเก้นสามารถลดความแข็งผิวเคลือบฟันได้เมื่อแช่เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเบียร์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง

นอกจากนี้ งานวิจัยที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟัน โดยการวัดค่าความหยาบผิวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากการศึกษานี้ของ Kitchens M. และ Owens BM. ในปี 2007 (24) ที่ศึกษาผลของ เครื่องดื่มคาร์บอนेट กาแฟ เครื่องดื่มให้พลังงานสูง พบว่า ทั้งเครื่องดื่มที่มีหรือไม่มีคาร์บอนेटส่งผลต่อค่าความหยาบผิวที่เปลี่ยนไปของผิวเคลือบ

พืชนงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวขึ้นกับค่าพีเอช นอกจากค่าพีเอชแล้ว ชนิดของกรดที่เป็นองค์ประกอบซึ่งส่งผลต่อค่า pK_a ซึ่งเป็นความสามารถในการแตกตัวของกรดแต่ละชนิด ก็มีความแตกต่างกัน ปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตที่อยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะส่งผลต่อการละลายตัวของผิวเคลือบฟันซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมและฟอสเฟต แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของผู้ป่วย น้ำลายมีหน้าที่ปรับกรดให้เป็นกลาง (neutralization) มีความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (buffer capacity) ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ที่ช่วยลดความรุนแรงของกรดจากการรับประทานอาหารและส่งผลต่อการคืนกลับของแร่ธาตุไปยังผิวเคลือบฟัน

กลไกการกัดกร่อนต่อวัสดุบูรณะฟัน

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงกลไกการกัดกร่อนของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดที่กล่าวข้างต้น

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

โครงสร้างของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย โพลีซอลต์เมทริกซ์ (polysalt matrix) กลาสคอร์ (glass core) ซึ่งเป็นส่วนผงแก้วที่ไม่ละลายหลังจากทำปฏิกิริยาก่อตัว และชั้นซิลิเกตไฮโดรเจล (siliceous hydrogel) ที่ล้อมรอบกลาสคอร์ เมื่อมีการสัมผัสกันของสารละลายกรดและกลาส ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ จะมีการละลายของโพลีซอลต์เมทริกซ์รอบๆ อนุภาคกลาส ซึ่งทำให้เกิดการละลายของชั้นซิลิเกต ไฮโดรเจล ส่งผลให้อนุภาคกลาสหลุดออกจากชั้นซิลิเกตไฮโดรเจล ซึ่งผลที่ตามมาคือ ทำให้พื้นผิวของกลาส ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ มีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น

เรซินคอมโพสิต

ในเรซินคอมโพสิต หลังจากก่อตัวด้วยปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน จะประกอบด้วย ฟิลเลอร์ที่ถูกล้อมรอบด้วย silane coupling agent และเมทริกซ์ซึ่งเป็นส่วนของโพลีเมอร์ หลังจากการสัมผัสกับสารละลายกรดจะมีการหลุดออกของผิวหน้าของวัสดุบูรณะทั้งในส่วนของฟิลเลอร์ เรซินเมทริกซ์ และ/หรือรอยต่อของเมทริกซ์และฟิลเลอร์ (matrix-filler interface) ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของฟิลเลอร์ ด้วยเช่นกันที่จะทำให้ความหยาบของพื้นผิวและความแข็งผิวแตกต่างกัน โดยกระบวนการหลักในการทำให้เกิดการหลุดออกของฟิลเลอร์ในชั้นผิวของเรซิน คอมโพสิตเกิดจากกระบวนการอ่อนตัวลง (softening effect) ของเรซิน เมทริกซ์ก่อให้เกิดการหลุดออกของฟิลเลอร์บางส่วนออกไป (25)

เซรามิก

ในส่วนของเซรามิก (26) โดยเฉพาะในกลุ่ม glass ceramic เมื่อเซรามิกมีการสัมผัสกับสารละลายที่เป็นกรดแล้วจะมี 2 กลไกเกิดขึ้น กล่าวคือ กลไกที่ 1 การสูญเสียอัลคาไลน์ไอออน (alkaline ion) จากวัฏภาคแก้วของเซรามิก และ กลไกที่ 2 การละลายของร่างแหกลาส (glass network) โดยกลไกแรกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 9 จากการแพร่ของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือ ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) จากสารละลายเข้าสู่ชั้นกลาสของเซรามิก แลกเปลี่ยนกับการสูญเสียอัลคาไลน์ไอออน โดยทั่วไปแล้ว อัลคาไลน์ไอออน จากชั้นกลาสเซรามิก จะมีความเสถียรต่ำในเฟสกลาส (glass phase) เมื่อเทียบกับเฟสคริสตัลไลน์ (crystalline phase) ทำให้มีการสูญเสียได้เร็วกว่า แต่เนื่องด้วยคุณสมบัติของเซรามิกที่มีความเฉื่อยทางเคมี (chemical inertness) ทำให้ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ใช้เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริด ยี่ห้อ Filtek™ Z350XT และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยี่ห้อ GC Fuji® BULK ซึ่งเป็นวัสดุบูรณะฟันที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยที่มีฟันสึกจากการรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด (Patient with erosion) เนื่องจากการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุให้สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากกรดจากในอดีตขึ้นมาก โดยจากการทบทวนวรรณกรรมของบริษัท(27) ได้เปรียบเทียบการกัดกร่อนของ GC Fuji® BULK กับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดคอนเวนชันนอลชนิดอื่น ได้แก่ GC Fuji IX GP FAST และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อีก 3 ยี่ห้อที่ไม่ระบุบริษัท หลังจากแช่ในกรดแลคติก ที่มีค่าพีเอช 3.3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า อัตราการสึกของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะโดยรอบของ GC Fuji® BULK น้อยกว่ายี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ณ ปัจจุบันนี้ ยังไม่มีรายงานการวิจัยจากห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการสึกกร่อนของวัสดุบูรณะฟันชนิดนี้

1.2.3 การสึกเหตุขัดถู (abrasion) ต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

การสึกเหตุขัดถูเป็นรอยโรคที่เกิดจากการเสียดสีของผิวฟันกับวัตถุภายนอกช่องปาก (28) ซึ่งอาจจะเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีลักษณะหยาบ การแปรงฟันแรง การใช้ไหมขัดฟันหรือไม้จิ้มฟันที่ไม่ถูกต้อง การเลียวไบซาสูบ การกัดวัตถุที่เป็นของแข็งบริเวณเดิมน้อยๆ เช่น ปากกา ดินสอ กีบติดผม มักเกิดบริเวณด้านใกล้แก้ม (buccal) หรือด้านบดเคี้ยว (occlusal)

การสึกเหตุขัดถูที่เกิดขึ้นในช่องปากส่วนใหญ่เกิดจากการแปรงฟัน ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การแปรงฟันส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันได้ ทั้งนี้ขึ้นกับ

แรงที่ใช้ในการแปร่ง ระยะเวลาในการแปร่ง จำนวนรอบในการแปร่ง ชนิดของขนแปร่งที่ใช้ ชนิดของผงขัดที่ใช้ร่วมกับยาสีฟันที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น

การศึกษาค่าความหยาบผิวของผิวเคลือบฟัน

การแปร่งฟันถูกแนะนำให้ทำ 2 ครั้งต่อวัน หรือหลังการรับประทานอาหารเพื่อกำจัดเศษอาหารและคราบจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุให้เกิดฟันผุ จากการศึกษาของ Kumar S. และคณะในปี 2015 (29) ที่ศึกษาผลของแปร่งสีฟันที่มีรูปแบบขนแปร่งที่แตกต่างกัน (ขนแปร่งอ่อน/ปานกลาง/แข็ง) ต่อการสึกของผิวเคลือบฟัน เมื่อใช้ร่วมหรือไม่ร่วมกับยาสีฟัน โดยแปร่งเป็นเวลา 2 นาที 2 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 3 เดือน จากนั้นนำค่าความหยาบผิว (Ra) ก่อนและหลังทดลองมาเปรียบเทียบกัน พบว่า เมื่อแปร่งฟันกับน้ำโดยไม่ใช้ยาสีฟันร่วมด้วยค่าความหยาบผิวน้อยกว่าแปร่งฟันร่วมกับยาสีฟัน และในกลุ่มที่แปร่งร่วมกับน้ำเปล่า แปร่งสีฟันขนแปร่งแข็งให้ค่าความหยาบผิวสูงที่สุด แต่ในกลุ่มที่แปร่งร่วมกับยาสีฟัน พบว่าแปร่งสีฟันขนแปร่งอ่อนมีค่าความหยาบผิวเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

การศึกษาค่าความหยาบผิวของวัสดุบูรณะฟัน

การแปร่งฟันนอกจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อผิวเคลือบฟันแล้ว ในช่องปากที่ประกอบด้วยวัสดุบูรณะฟันหลายชนิด พบว่าการแปร่งฟันย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟันเช่นเดียวกัน

การศึกษาของ Momoi และคณะในปี 1997 (30) ที่ศึกษาผลของการแปร่งฟันต่อการสึกของวัสดุบูรณะฟัน ได้แก่ เรซิน มอดิฟายด์ กลาสไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์ 2 ยี่ห้อ (Fuji II LC และ Phototac-Fil Aplicap) คอนเวนชันนอล กลาสไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์ 2 ยี่ห้อ (Fuji II และ Ketac-Fil Aplicap) เรซินคอมโพสิต 1 ชนิด (Z-100) และอมัลกัมชนิด high-copper (Spherical-D) โดยเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวก่อนและหลังทดลองจากการแปร่งฟันด้วยเครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติที่ 20,000 รอบ จากนั้นศึกษาคุณลักษณะพื้นผิว (surface characteristics) หลังการแปร่งฟันโดยวัดค่าความแข็งผิว และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ผลการทดลองพบว่าความหยาบผิวของเรซิน มอดิฟายด์ กลาสไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์มีค่าสูงกว่าคอนเวนชันนอล กลาสไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์ทั้งสองชนิด และค่าความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตและอมัลกัมมีค่าต่ำกว่ากลาส ไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์ทั้งชนิด เรซิน มอดิฟายด์และคอนเวนชันนอล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกับความหยาบผิว คือเรซิน มอดิฟายด์ กลาสไอโอไอโนเมอร์ ซีเมนต์มีรูปแบบของพื้นผิวที่หยาบกว่าคอน

เวนชั้นนอล กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ และเรซินคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวหลังการทดลอง พบว่า เรซิน มอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ ทั้งสองยี่ห้อ มีความแข็งผิวต่ำกว่า คอนเวนชันนอล กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ และอมัลกัม มีความแข็งผิวสูงที่สุดตามด้วยเรซินคอมโพสิต และเมื่อศึกษาผลของการแปร่งพื้นต่อวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิตจากการศึกษาของ Al khuraif ในปี 2014 (31) ที่ศึกษาผลของการแปร่งพื้นต่อการสึกและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด ที่มีองค์ประกอบของฟิลเลอร์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ Filtek Z250-Micro hybrid SpectrumTPH3-submicron hybrid Filtek Z350XT Nanofiller และ Filtek P90-Microhybrid พบว่า เมื่อแปร่งพื้นเป็นจำนวนรอบ 5000 10000 และ 20000 รอบ แล้วทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิว (Ra) และวัดปริมาณน้ำหนักรั่วของชิ้นงาน พบว่า Filtek P90 สูญเสียน้ำหนักไปมากที่สุดหลังจากการแปร่งพื้น และเมื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิว พบว่าเรซินคอมโพสิตทุกกลุ่มมีความหยาบผิวเพิ่มขึ้น โดย Filtek Z250 มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นมากที่สุด ตามด้วย Filtek P90 Spectrum TPH3 และ Filtek Z350 XT และเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเรซินคอมโพสิตทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวในระดับ sub-micron hybrid เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทดลอง และเมื่อศึกษาผลของการแปร่งพื้นต่อความหยาบผิวของเซรามิกที่ใช้วิธีขึ้นรูปด้วยวิธีกดอัด (pressable) จากการศึกษาของ Garza และคณะในปี 2016 (32) ที่ศึกษาผลของการแปร่งพื้นต่อการเปลี่ยนสีและความหยาบผิวของเซรามิก 2 ชนิด ได้แก่ ลิวไซด์ และลิเทียมไดซิลิเกต โดยใช้หลักการในการใส่สีภายนอก 3 วิธี ได้แก่ เคลือบสารเคลือบ (glazing) อย่างเดียว ทาสีภายนอก (staining) แล้วตามด้วยเคลือบสาร และทาสีพร้อมกับการเคลือบสาร นำชิ้นงานไปวัดสีและความหยาบผิวก่อนการทดลอง จากนั้นนำชิ้นงานไปแปร่งด้วยเครื่องแปร่งพื้นอัตโนมัติ เป็นเวลา 288 ชั่วโมง อัตราการแปร่ง 90 รอบต่อนาที มีการวัดค่าความหยาบผิวและการเปลี่ยนสีที่ 72 144 และ 216 ชั่วโมง (เท่ากับ 3 6 9 และ 12 ปี) จากการทดลองสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสีและความหยาบผิวในกลุ่มลิวไซด์หลังจากแปร่งพื้น 216 ชั่วโมง เทียบเท่ากับ 12 ปี และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการเปลี่ยนสีและความหยาบผิวในกลุ่มลิเทียม ไดซิลิเกตหลังจากแปร่งพื้น 12 ปี

จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าทั้งผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันล้วนมีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวซึ่งนำไปสู่การสึกของฟันและวัสดุบูรณะฟัน ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาในการแปร่งพื้น จำนวนรอบในการแปร่ง ชนิดของชนแปร่งที่ใช้ แรงที่ใช้ในการแปร่ง รวมทั้งชนิดของผงขัดที่ใช้ร่วมกับยาสีฟันที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น

1.2.4 การกักร่อนร่วมกับการสึกเหตุขัดถูต่อฟันและวัสดุบูรณะฟัน

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกักร่อนที่เกิดร่วมกับการสึกเหตุขัดถูจากการแปรงฟัน พบว่า การกักร่อนและการแปรงฟันล้วนก่อให้เกิดผลการสึกต่อฟันและวัสดุบูรณะฟัน ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า ถ้ามีภาวะทั้ง 2 อย่างเกิดขึ้นร่วมกันจะส่งผลให้เกิดการสึกของทั้งฟันและวัสดุบูรณะฟัน

การศึกษาของ Hao Yu และคณะ ในปี 2009 (33) ที่ศึกษาผลการสึกกร่อนจากการวัดค่าความหยาบผิวภายหลังการสัมผัสสารละลายกรด (citric acid) และการแปรงฟันต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ได้แก่ ผิวเคลือบฟัน เรซินคอมโพสิต 3 ชนิด (Filtek Silorane, Tetric EvoCeram, Tetric EvoFlow) โพลีเอซิดมอดิฟายด์คอมโพสิต (Dyract Extra) และ คอนเวนชันนอล กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Ketac Fil Plus) พบว่า ผิวเคลือบฟันมีการสึกกร่อนจากการสัมผัสสภาวะกรดร่วมกับการแปรงฟันและการสัมผัสกรดเพียงอย่างเดียวมากกว่าวัสดุบูรณะฟันทุกชนิด โดยเฉพาะเมื่อมีการสัมผัสกับสภาวะกรดร่วมกับการแปรงฟันทำให้มีการสึกที่รุนแรง แต่อย่างไรก็ตามเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในกลุ่มของเรซินคอมโพสิต และเมื่อศึกษาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีร่องรอยการแปรงฟันในวัสดุบูรณะฟันกลุ่มที่มีการแปรงฟันและกลุ่มที่สัมผัสกับสภาวะกรดร่วมกับการแปรง และพบว่าการเสื่อมของชั้นเมทริกซ์และการเผยตัวของฟิลเลอร์ให้เห็นชัดเจนมากขึ้นในกลุ่มเรซินคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบวัสดุบูรณะฟันทั้ง 5 ชนิด พบว่า กลุ่มโพลีเอซิดมอดิฟายด์คอมโพสิตและกลุ่มคอนเวนชันนอล กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวที่รุนแรงมากที่สุด ในกลุ่มผิวเคลือบฟัน พบว่ากลุ่มที่แปรงฟันเพียงอย่างเดียวพบร่องรอยการแปรงให้เห็นในภาพ และในกลุ่มที่สัมผัสกับสารละลายกรด พบว่าการละลายของพริซึมคอร์และบริเวณโดยรอบ ในกลุ่มที่สัมผัสกับสารละลายกรดร่วมกับการแปรง พบว่าพริซึมที่ถูกกักร่อนจากกรดเกิดการหลุดออกจากการแปรง เป็นผลให้พื้นผิวเรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่สัมผัสกรดเพียงอย่างเดียว โดยผู้วิจัยได้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าเกิดจากกลไกการสึกของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และจากการศึกษาของ Kaur และคณะ ในปี 2015(34) ที่ศึกษาผลของสารละลายกรด (Coca-cola) และการแปรงฟันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิว (Ra) ต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันสีเหมือนฟัน ได้แก่ Filtek Z350XT (nanofilled) Heliomolar (microfilled) Fuji II LC (RMGIC) เมื่อวัดค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวหลังจากแช่ในสารละลายกรดแล้วตามด้วยการแปรงฟัน พบว่า ในกลุ่มผิวเคลือบฟันมีพื้นผิวที่นุ่มลงและมีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวมากที่สุดตามด้วยกลุ่มเรซิน มอดิฟายด์ กลาส ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ กลุ่มไมโครฟิลล์ คอมโพสิต และกลุ่มนา

โนฟิลล์ คอมโพสิต ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การแปร่งพื้นหลังการสัมผัสสารละลายกรดของชิ้นงานมีผลเสริมให้เกิดการสูญเสียพื้นผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นในทุกชิ้นงาน

งานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่า การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการสึกเหตุขัดถู ควรใช้เครื่องมือในการวัดค่าต่างๆ ที่หลากหลาย ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ การวัดผลของการกัดกร่อนและการสึกเหตุขัดถูที่เกิดขึ้นในพื้นและวัสดุบูรณะพื้นสามารถใช้หลักการวัด ได้แก่ การวัดค่าความแข็งผิว (microhardness) การสูญเสียน้ำหนักของพื้นและวัสดุบูรณะพื้น (loss of weight) การวัดค่าความหยาบผิวที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิว (profilometry) การใช้ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) เป็นต้น และหากมีการทดลองที่จำลองสภาวะให้เกิดการกัดกร่อนจากสารละลายกรดร่วมกับการแปร่งพื้นแล้วควรใช้เครื่องมือหลายชนิดในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่ชัดเจน

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

(Objectives)

1. เพื่อศึกษาความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดร่วมกับการแปร่งพื้น
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดร่วมกับการแปร่งพื้น

1.4 สมมติฐานการวิจัย

(Hypothesis)

1. ค่าความแข็งผิวของวัสดุผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนและหลังจากการสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและการแปร่งพื้นไม่แตกต่างกัน
2. พื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนและหลังจากการสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและการแปร่งพื้นไม่แตกต่างกัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(Expected benefits)

1. เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยนี้ไปสู่อุ้มนแนะนำในการให้ความรู้ผู้ป่วยถึงผลของการรับประทานอาหารที่เป็นกรดร่วมกับการแปร่งฟันทันที

2. ทันตแพทย์ตระหนักรู้ ทราบผลของการรับประทานอาหารร่วมกับการแปรงฟันทันที ต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันและมีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อวัสดุบูรณะฟัน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน หลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน เป็นการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ (Experimental study) งานวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ การเตรียมชิ้นงานผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน รวมถึงสารที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนที่ 2 คือ การเตรียมเครื่องจำลองการแปรงฟัน ส่วนที่ 3 คือ คุณสมบัติเฉพาะของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ส่วนที่ 4 จะเป็นวิธีการดำเนินการทดลอง และส่วนที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

(Specimens preparation)

2.1.1 การเตรียมชิ้นงานผิวเคลือบฟัน

ฟันกรามล่างแท้ซี่ที่ 3 (Mandibular third molar) จำนวน 18 ซี่ มีเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าศึกษา คือ เป็นฟันที่ถูกถอนจากฟันคุดหรือโรคปริทันต์โดยมีผิวเคลือบฟันด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้นปกติ ไม่มีพยาธิสภาพหรือความผิดปกติใดๆและไม่เคยผ่านการบูรณะ โดยจะต้องมีผิวเคลือบฟันที่เรียบและสม่ำเสมอ โดยการเลือกฟันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นการเลือกแบบสุ่ม (simple randomization) ฟันทั้งหมดเก็บรักษาในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จนกว่าจะถึงเวลาการศึกษา

ฟันถูกยึดด้วยดินน้ำมันเข้ากับท่อพีวีซี (PVC : Polyvinyl chloride) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตรก่อนผสมเรซินอะคริลิก โดยให้ส่วนของตัวฟันอยู่ในดินน้ำมันแล้วนำท่อพีวีซีมาครอบส่วนรากฟันไว้ และตกแต่งดินน้ำมันให้เรียบจากนั้นผสมเรซินอะคริลิกแล้วเทลงในท่อพีวีซีที่มีส่วนของรากฟันอยู่แล้วรอให้เรซินอะคริลิกเกิดปฏิกิริยาก่อนตัวเต็มที่ จึงนำส่วนของฟันออกจากดินน้ำมัน ฟันจะถูกนำไปตัดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางภายใต้ความเย็น เพื่อให้ได้เคลือบฟันด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้น ชิ้นงานที่ถูกตัดจะมีความหนา 2 มิลลิเมตร ก่อนชิ้นงานจะถูกนำไปขัดจะถูกฝังลงในเรซินอะคริลิกสูง 3 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร (รูปที่ 4) เพื่อให้สามารถจับชิ้นงานได้อย่างมั่นคง โดยให้ด้านใกล้แก้มหรือใกล้ลิ้นของฟันอยู่ด้านนอก รอจนเรซินอะคริลิกแข็งตัว จากนั้นนำไปขัดโดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุ (Buehler Metaserve™ grinding polisher) ร่วมกับกระดาษทรายความละเอียด 240, 320, 600 และ 1200 ที่เปียกน้ำ ทำการขัดจนได้

ผิวเคลือบฟันที่มีขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 7 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานไปจัดเรียงด้วยอนุภาค โพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์ (Polycrystalline diamond particles) ขนาด 6 และ 1 ไมครอน ชิ้นงานที่ประกอบด้วยผิวเคลือบฟันและเรซินอะคริลิกจะถูกนำไปตัดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ขณะที่เรซินอะคริลิกมีความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร ซึ่งสามารถยึดได้พอดีกับเครื่องแปรงฟัน เก็บชิ้นงานที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดลอง

2.1.2 การเตรียมชิ้นงานกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิดแคปซูล (capsulated GIC : Fuji[®]BULK) ชิ้นงานถูกเตรียมจากการผสมส่วนผงและส่วนเหลวโดยใช้เครื่องปั่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ชนิดแคปซูลเป็นเวลา 10 วินาที (+/- 4,000 Rpm) แล้วอุดใส่ลงในแม่แบบพลาสติกใส สีเหลืองจัตุรัส กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ที่ถูกเจาะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงกลางขนาด กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และถูกกดให้แบนทั้งสองด้าน โดยใช้แผ่นกระจกสำหรับกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic glass slide) ที่ทาวาสลีน (Vaseline) บริเวณด้านที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะฟันเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและการสัมผัสความชื้นก่อนวัสดุเกิดปฏิกิริยาก่อตัว รอจนวัสดุเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเต็มที่แล้วนำแผ่นกระจกสำหรับกล้องจุลทรรศน์ออก (รูปที่ 7) เก็บชิ้นงานที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วไว้ในตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 23 ชั่วโมงก่อนนำมาทดลอง

2.1.3 การเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิต

เตรียมโดยใช้เรซินคอมโพสิต ชนิดนาโนฟิลล์ (Nanofilled : Filtek[™] Z350XT) ชิ้นงานถูกเตรียมโดยอุดเรซินคอมโพสิตลงในแม่แบบพลาสติกใส สีเหลืองจัตุรัส กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ที่ถูกเจาะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงกลางขนาด กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร จากนั้นกดให้แบนทั้งสองด้านโดยใช้แผ่นกระจกสำหรับกล้องจุลทรรศน์ ฉายแสงโดยใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Light-emitting diode : LED curing light unit) ยี่ห้อ Demi[™]Plus Dental curing light โดยฉายแสงทั้งสองด้านของชิ้นงาน ด้านละ 20 วินาทีแล้วนำแผ่นกระจกสำหรับกล้องจุลทรรศน์ออก (รูปที่ 7) เก็บชิ้นงานที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วไว้ในตู้บ่มเชื้อ (Incubator) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 23 ชั่วโมงก่อนนำมาทดลอง

2.1.4 การเตรียมชิ้นงานเซรามิก

เซรามิกที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เซรามิกชนิดเฟลสปาติก (Feldspathic : Vitablocs® Mark II) โดยเตรียมจากบล็อกสำเร็จรูปจากผู้ผลิต ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีแคคแคม บล็อกสำเร็จรูปถูกยึดด้วยดินน้ำมัน เข้ากับท่อพีวีซีโดยให้ส่วนของบล็อกอยู่ในดินน้ำมันแล้วนำท่อพีวีซีมาครอบส่วนของค้ำจับไว้ และตกแต่งดินน้ำมันให้เรียบ จากนั้นผสมเรซินอะคริลิกแล้วเทลงในท่อพีวีซีให้ครอบคลุมส่วนของค้ำจับ รอให้เรซินอะคริลิกเกิดปฏิกิริยาก่อนตัวเต็มที่ แล้วนำออกมาจากดินน้ำมัน จากนั้นบล็อกสำเร็จรูปถูกนำไปตัดโดยใช้เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำภายใต้ น้ำเย็น ให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร นำเซรามิกไปฝังลงในเรซินอะคริลิก สูง 3 เซนติเมตร กว้าง 2.5 มิลลิเมตร ยาว 2.5 มิลลิเมตร รอจนเรซินอะคริลิกแข็งตัว นำชิ้นงานไปขัดโดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุร่วมกับกระดาษทรายความละเอียด 240, 320, 600 และ 1200 ที่เปียกน้ำ จากนั้นนำไปขัดกับอนุภาคโพลีคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ ขนาด 6 และ 1 ไมครอน (รูปที่ 5) เพื่อให้ชิ้นงานมีผิวเรียบ ชิ้นงานที่ประกอบด้วยเซรามิก และอะคริลิกจะถูกนำไปตัดด้วยเครื่องตัดฟันให้ชิ้นงานมีความหนา 2 มิลลิเมตร ขณะที่เรซินอะคริลิกมีความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร (รูปที่ 6) ซึ่งสามารถยึดได้พอดีกับเครื่องแปร่งฟัน เก็บชิ้นงานที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดลอง

2.2 การเตรียมเครื่องจำลองการแปร่งฟัน

(Brushing stimulator)

เครื่องจำลองการแปร่งฟัน (รูปที่ 9) ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของถาดแปร่งฟันและส่วนที่ปรับความเร็วรอบของการแปร่ง โดยส่วนของถาดแปร่งฟัน ประกอบด้วยถาดสแตนเลสขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตรเป็นฐานของเครื่องจำลองการแปร่งฟันและใช้ถาดสแตนเลสขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร เป็นส่วนที่ใช้ยึดชิ้นงาน โดยสามารถยึดชิ้นงานได้ 10 ชิ้นงานต่อ 1 รอบของการแปร่ง ติดตั้งเข้ากับส่วนที่ปรับความเร็วรอบในการแปร่งฟัน ประกอบด้วยรางเลื่อนสำเร็จรูปเคลื่อนที่ในแนวหน้าหลังและใช้มอเตอร์อย่างง่ายในการเคลื่อนรางเลื่อน โดยสามารถปรับระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ 3 ระดับ ระดับที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ที่ 150 รอบ/นาที โดยด้านบนจะมีแปร่งสีฟันจำนวน 10 แปร่งที่วางตรงกับชิ้นงานแต่ละชิ้นและมีโลหะกันกระดกพร้อมทั้งบริเวณที่วางลูกคีมโลหะเพื่อถ่วงน้ำหนักบนหัวแปร่ง แปร่งสีฟันที่ใช้ในการทดลองนี้คือ แปร่งสีฟันยี่ห้อซิสเท็มมา ออริจินัล สแตนคาร์ด ซอฟท์ รูนหัวแปร่ง

ขนาดกลาง (original) ขนแปรงนุ่มมาตรฐาน ซึ่งเป็นขนแปรงปลายเรียวแหลม ขณะที่มีการทดลอง จะมีการใส่น้ำกลั่นในถาดสแตนเลสที่ขีดขึ้นงาน 100 มิลลิลิตรเพื่อเป็นน้ำหล่อเลี้ยงขณะแปรง

2.3 คุณสมบัติเฉพาะพื้นฐานของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิด (Characterization of enamel and restorative materials)

ก่อนดำเนินการทดลอง ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันจะถูกวัดค่าความแข็งผิว ด้วยเครื่องวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (Microhardness tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 (รูปที่ 11) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิว (Ra, Rz) ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer) ยี่ห้อ Kosaka Lab รุ่น Surfcoeder SE-2300 (รูปที่ 11) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน

2.4 วิธีการดำเนินการทดลอง (Experimental procedures)

ในการดำเนินการทดลอง ชิ้นงานจะถูกกำหนดบริเวณที่จะสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด การจำลองสภาวะกรดกับชิ้นงานและการแปรงฟัน การวัดค่าความแข็งผิวของเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน การวัดความหยาบผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน และการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 การกำหนดบริเวณที่จะสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและการแปรงฟัน

การวัดค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน โดยนำชิ้นงานมาซับให้แห้งด้วยกระดาษซับแห้งแล้วนำมากำหนดขอบเขตที่จะใช้ทดสอบเพื่อสะดวกในตอนอ่านค่า โดยใช้น้ำยาทาเล็บทาที่ส่วนนอกของพื้นที่ให้มีขนาด กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร โดยรอบในชิ้นงานที่วัดค่าความแข็งผิว และ ขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร ในชิ้นงานที่วัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว

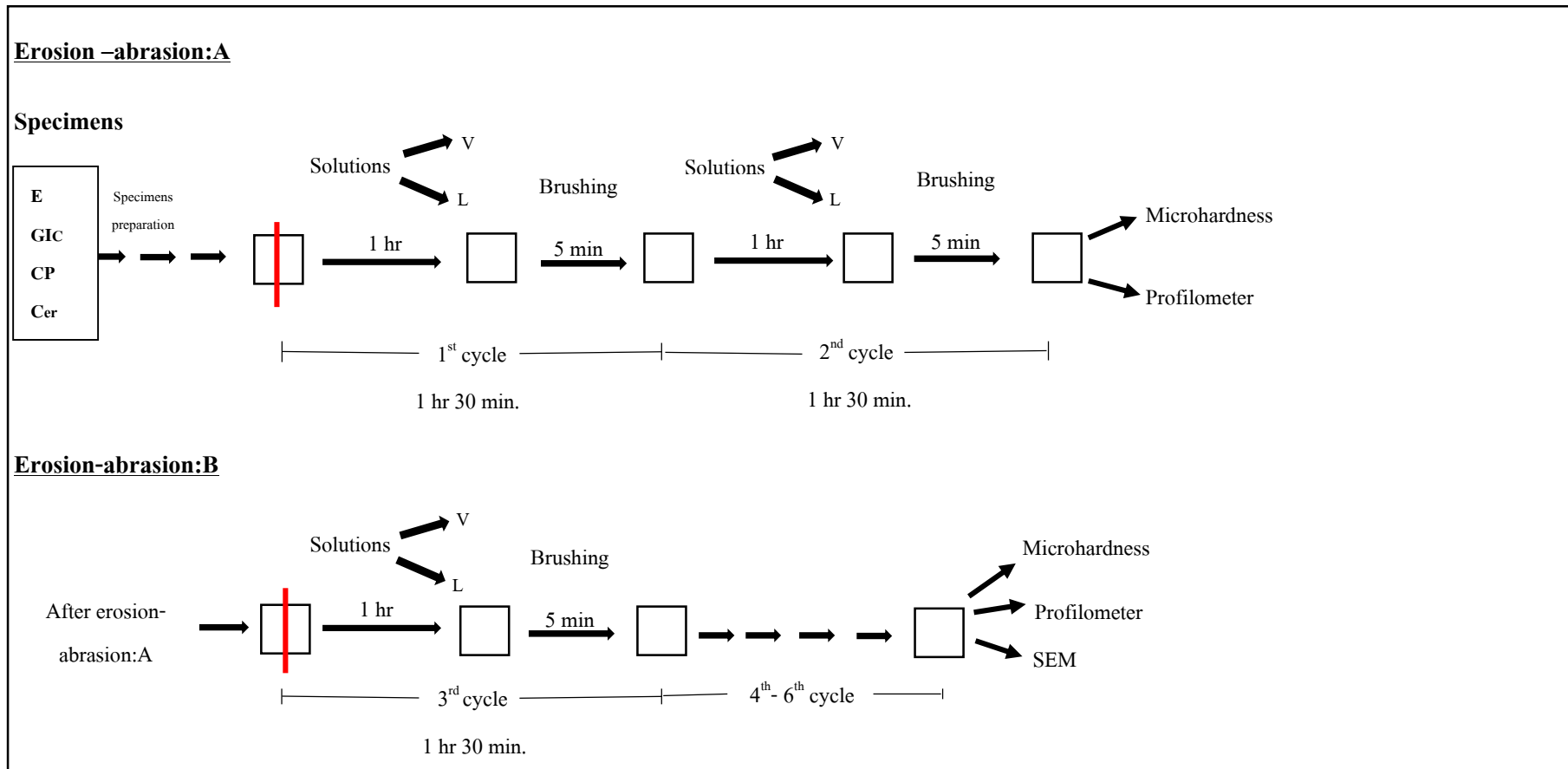
2.4.2 ชิ้นงานกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน

เริ่มต้นจาก ชิ้นงาน ได้แก่ ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่เตรียมข้างต้นถูกผ่านการทดลอง Erosion-abrasion cycle โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B โดย Erosion-abrasion:A ดำเนินการโดยนำชิ้นงานมาแช่ในน้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์หรือน้ำมะนาวเทียม 5 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 8) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาแปรงโดยใช้เครื่องจำลองการแปรงฟันเป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แรงกดหัวแปรงจากลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก 150 กรัม ใช้จำนวนรอบ

150 รอบ/นาทีกัดใส่ชิ้นงานของเครื่องแปร่งฟันเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นระยะ 2 เซนติเมตร น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรจะถูกเทลงในภาควัดใส่ชิ้นงานของเครื่องแปร่งฟันเพื่อเป็นน้ำหล่อลื่นขณะแปร่งฟัน ทำจนครบ 2 รอบ โดยนำไปแช่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแปร่งด้วยเครื่องแปร่งฟันเป็นเวลา 5 นาที เป็นรอบที่ 2 การแช่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วตามด้วยการแปร่งในแต่ละครั้ง ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งรวมเวลาในการแช่สารละลายกรดและการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับเครื่องแปร่งฟัน จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปวัดค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจากนั้นเป็นการเริ่มต้น Erosion-abrasion:B โดยเป็นการทำต่อจาก Erosion-abrasion:A โดยการแช่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด 1 ชั่วโมงแล้วตามด้วยการแปร่ง 5 นาที ทำซ้ำเป็นจำนวน 4 รอบ (รูปที่ 10) แล้วนำไปวัดค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว ศึกษาสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำการเปลี่ยนน้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมหลังจากผ่านไปทุกรอบการทดลองและทดสอบเหมือนดังที่กล่าวมาข้างต้น วัดค่าพีเอชของสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดก่อนการทดลองทุกรอบ พบว่าค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้ชิ้นงานเดิมในการทดสอบ โดยนำชิ้นงานมาซับให้แห้งก่อนนำไปวัดค่าต่างๆ ดังตารางที่ 2 สรุปการวัดการทดลองในแต่ละรอบ และแผนภาพแสดง erosion and abrasion cycle

ตารางที่ 2 สรุปการวัดการทดลองในแต่ละรอบ

Specimens (N = 144)	Measurement after Erosion-abrasion:A	Measurement after Erosion-abrasion:B
Vinegar (pH 2.35) (n = 18)	Microhardness (n=8) Profilometer (n=8)	Microhardness (n=8), Profilometer (n=8), SEM (n=2)
Lemon juice (pH 1.95) (n=18)	Microhardness (n=8) Profilometer (n=8)	Microhardness (n=8), Profilometer (n=8), SEM (n=2)



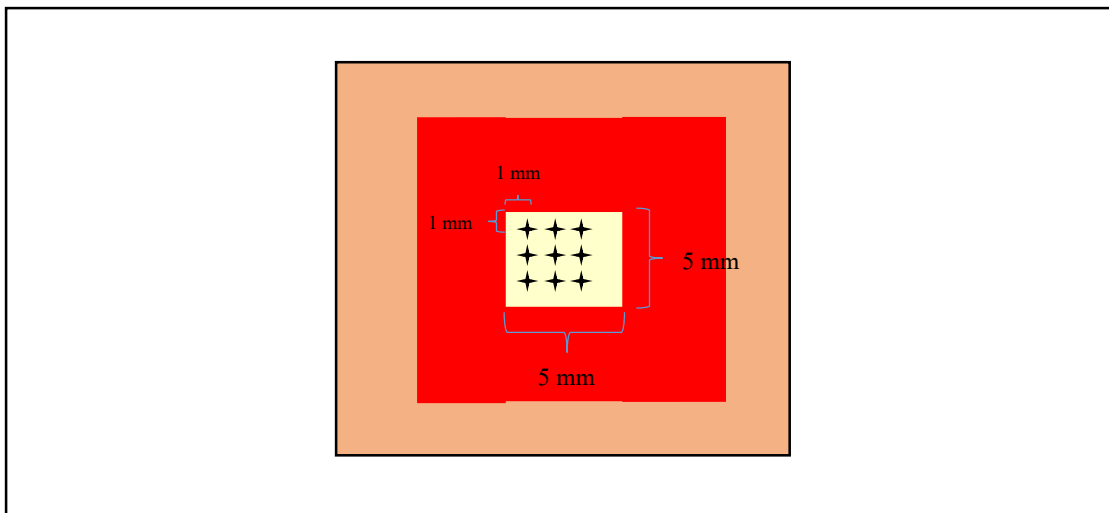
รูปที่ 10 แสดง Erosion and abrasion cycle ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

**หมายเหตุ : E = Enamel, GIC = Glass-ionomer cement (Fuji[®] BULK), CP = Resin composite (Filtek[™] Z350XT), Cer = ceramic (Vitablocs[®] Mark II), V = Vinegar, L= Lemon juice

การวัดค่าความแข็งผิว

ชิ้นงานจะถูกวัดค่าความแข็งผิวของผิวเคลือบพื้นและวัสดุบุรณะพื้นเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเริ่มต้นก่อนการทดสอบ(ที่เวลา 0 ชั่วโมง) โดยใช้เครื่องวัดความแข็งระดับจุลภาคแบบกดวิกเกอร์ส (Vickers) (รูปที่ 11) ใช้แรง 50 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ใช้หน่วยวัดเป็นกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร (kg/mm^2) โดยวัดชิ้นงานละ 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งแรกอยู่ห่างจากรอยต่อระหว่างวัสดุบุรณะหรือเคลือบพื้นและน้ำยาทาเล็บซึ่งเป็นตำแหน่งอ้างอิง (reference area) เป็นระยะทาง 1 มิลลิเมตร แต่ละรอยกดอยู่ห่างกันเป็นเส้นตรง 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 12) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย บันทึกไว้เป็นค่าความแข็งผิวของวัสดุบุรณะพื้นและผิวเคลือบพื้น ชิ้นงานหลังการทดสอบใน

Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B ใช้หลักการเดียวกับการทดสอบรอบแรก วัดความแข็งผิวทั้งหมด 3 รอบ วัดชิ้นงานเดิมตลอดการทดลอง ทำการกำหนดจุดที่จะทำการวัดในแต่ละรอบเพื่อไม่ให้วัดซ้ำกับตำแหน่งเดิม โดยระยะที่วัดห่างจากรอยแรก 1 มิลลิเมตรและ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

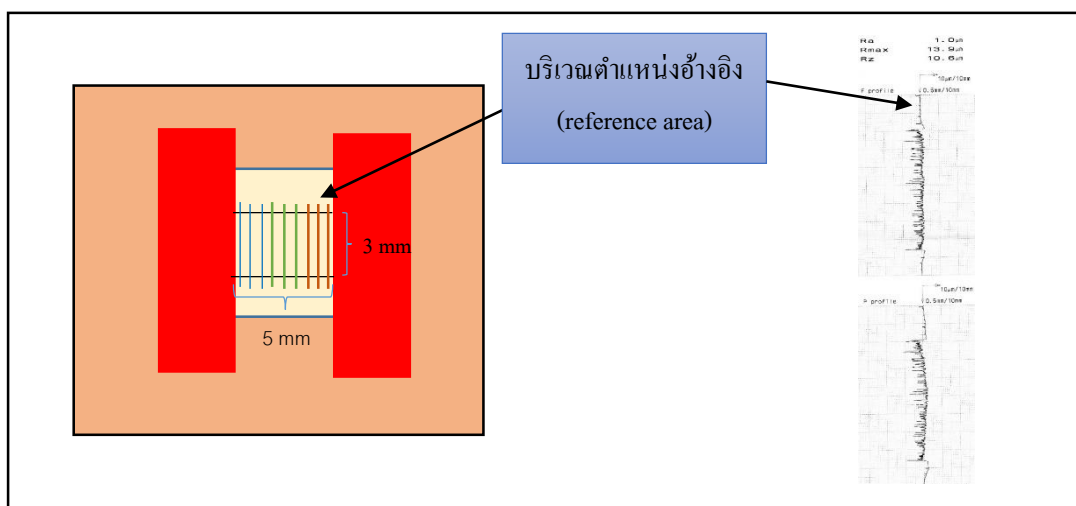


รูปที่ 12 แสดงการกำหนดจุดที่ใช้วัดค่าความแข็งผิวหัวกดแบบวิกเกอร์ส โดยแถวแรกในแนวตั้งเป็นจุดที่กำหนดก่อนการทดลอง แถวที่สอง หลังผ่าน Erosion-abrasion:A และแถวที่ 3 หลังผ่าน Erosion-abrasion:B

2.4.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว

ชิ้นงานถูกนำไปวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer) (รูปที่ 11) ด้วยเข็มวัดขนาดรัศมีปลายเข็ม 5 ไมโครเมตรลากผ่านผิวของวัสดุบุรณะพื้นและผิวเคลือบพื้นด้วยความเร็วในการลากผ่านชิ้นงานละ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที วัด 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกันอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตรจากรอยลากแรก ใช้ความยาวในการลาก 5 มิลลิเมตร แล้วบันทึกค่า R_a

และ Rz นำผลการวัดทั้ง 3 ตำแหน่งมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยมีหน่วยในการวัดเป็น ไมครอน (μm) บันทึกไว้เป็นค่าความหยาบผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันเริ่มต้นก่อนการทดลอง (ที่เวลา 0 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำชิ้นงานมากำหนดบริเวณพื้นที่ที่จะสัมผัสสารละลายและแปรง โดยทาน้ำยาทาเล็บในบริเวณตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนด ทาน้ำยาทาเล็บ 2 รอบ (ตามวิธีกำหนดบริเวณพื้นที่ที่จะสัมผัสสารละลายและน้ำกลั่นที่กล่าวไว้ข้างต้น) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดจากการสลายและการแปรงฟันส่งผลต่อวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันขณะทำการทดสอบ นำชิ้นงานหลังการทดสอบ Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B มาล้างน้ำกลั่น ซับผิวให้แห้งด้วยกระดาษซับ แล้วใช้อะซิโตนเช็ดน้ำยาทาเล็บบริเวณตำแหน่งอ้างอิง (reference area) เพื่อล้างน้ำยาทาเล็บออกด้วยความระมัดระวังไม่ให้โดนบริเวณภายในพื้นที่ที่ทดสอบ ชิ้นงานถูกวัดค่าโดยใช้หลักการเดียวกับก่อนการทดสอบ โดยลากให้จุดเริ่มต้นอยู่ภายในตำแหน่งอ้างอิง 0.5 มิลลิเมตร ใช้ความยาวในการลาก 5 มิลลิเมตร วัด 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 13) การวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันจะทำการวัดทั้งหมด 3 รอบซึ่งจะวัดชิ้นงานเดิมตลอดการทดลอง ชิ้นงานจะถูกกำหนดจุดแรกที่จะทำการวัดในแต่ละรอบห่างจากจุดสุดท้ายของรอบก่อนหน้า 0.5 มิลลิเมตรเพื่อไม่ให้วัดซ้ำกับตำแหน่งเดิม



รูปที่ 13 แสดงบริเวณที่เข็ม contact stylus วัดค่าความหยาบผิวลากผ่านชิ้นงาน โดยเส้นสีฟ้า แสดงการลากผ่านชิ้นงานก่อนการทดลอง เส้นสีเขียว แสดงการลากผ่านชิ้นงานหลังผ่าน Erosion-abrasion:A และเส้นสีส้ม แสดงการลากผ่านชิ้นงานหลังผ่าน Erosion-abrasion:B

2.4.4 การศึกษาพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

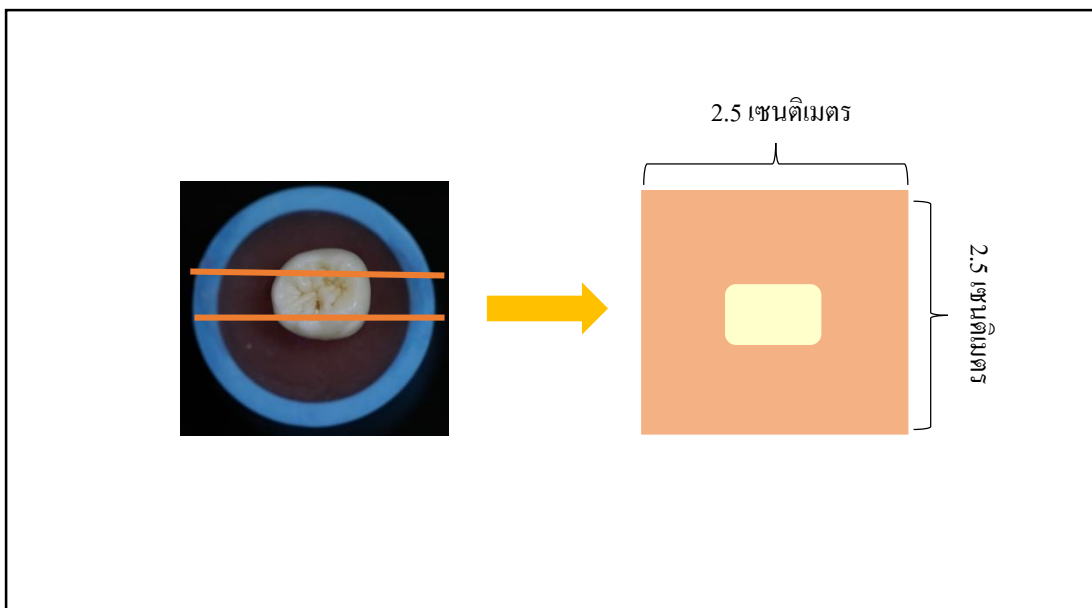
(Scanning electron microscope evaluation)

ชิ้นงานจะถูกเลือกจากแต่ละกลุ่มของสารที่ใช้ทดสอบกลุ่มละ 1 ชิ้นงานและนำชิ้นงานไปติดลงบนแท่นวางด้วยสก็อตเทปใส จากนั้นนำไปฉาบด้วยเครื่องพ่นทอง (Sputter Coater SPI-Module Sputter Coater, West Chester, USA) วางชิ้นงานภายในช่องทดสอบ ทำการเดินเครื่องตามกำหนดก็จะได้ชิ้นงานที่ผ่านการพ่นทอง ซึ่งพร้อมจะนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400 (รูปที่ 14) ที่กำลังขยาย 500 1,500 และ 5,000 เท่า เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเริ่มต้นก่อนการทดสอบ (ที่เวลา 0 ชั่วโมง) ชิ้นงานจะถูกเลือกจากแต่ละกลุ่มของสารที่ใช้ทดลองกลุ่มละ 1 ชิ้นงานหลังการทดลองในรอบ Erosion-abrasion:B ซึ่งเป็นคนละชิ้นกับชิ้นงานก่อนการทดลอง ใช้หลักการเดียวกับก่อนการทดสอบ

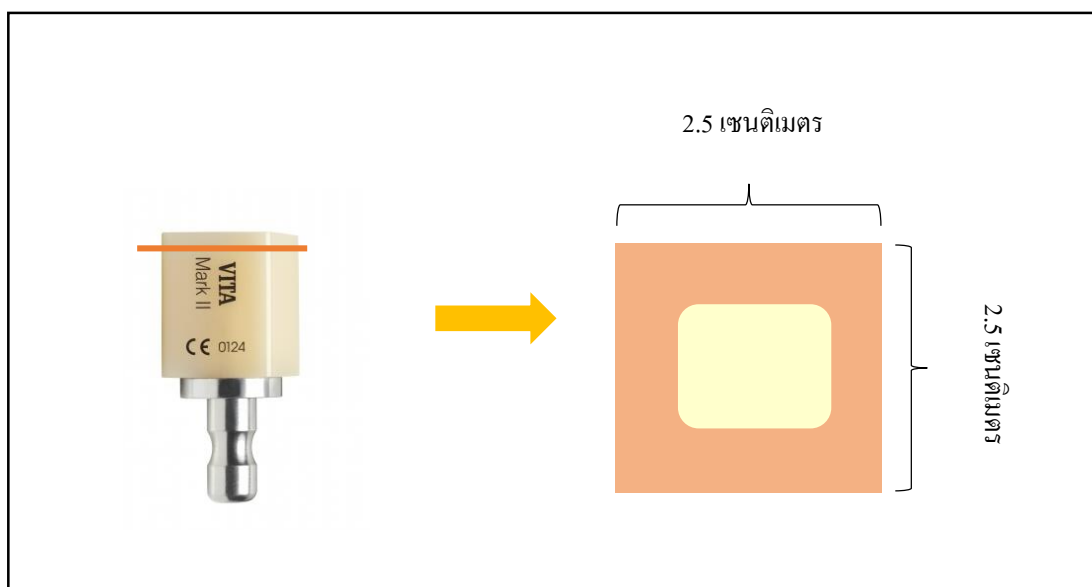
2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(Statistical analysis)

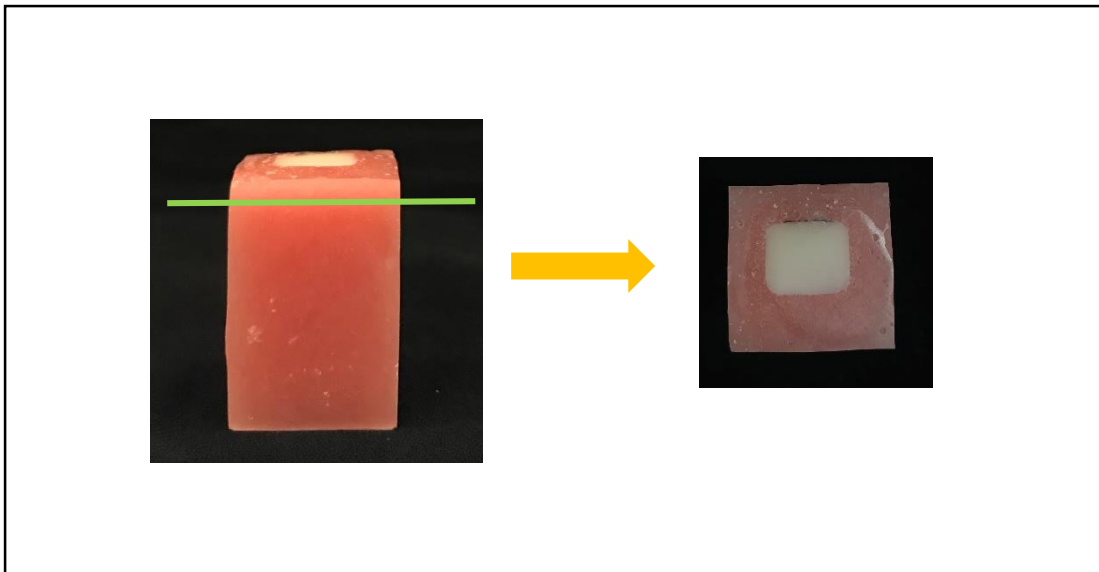
1. ข้อมูลค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวที่วัดได้ถูกนำมาวิเคราะห์การกระจายตัวและทดสอบความแปรปรวนหรือความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน ถ้าการกระจายตัวปกติและมีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนวิเคราะห์ข้อมูลแบบสถิติพารามิเตอร์ด้วย Independent t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่ม (น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม) และ One-way repeated ANOVA เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรอบการทดลองที่แตกต่างกัน (ก่อนการทดลองและหลังผ่านไป 2 และ 6 รอบการทดลอง) กำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \text{ value} < 0.05$
2. ถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติและไม่มีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน วิเคราะห์ข้อมูลแบบสถิตินอนพารามิเตอร์ด้วย Mann-whiney test เพื่อเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของ 2 กลุ่ม (น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม) และ Friedman test ร่วมกับ Wilcoxon signed ranks test เพื่อเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของรอบการทดลองที่แตกต่างกัน กำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \text{ value} < 0.05$



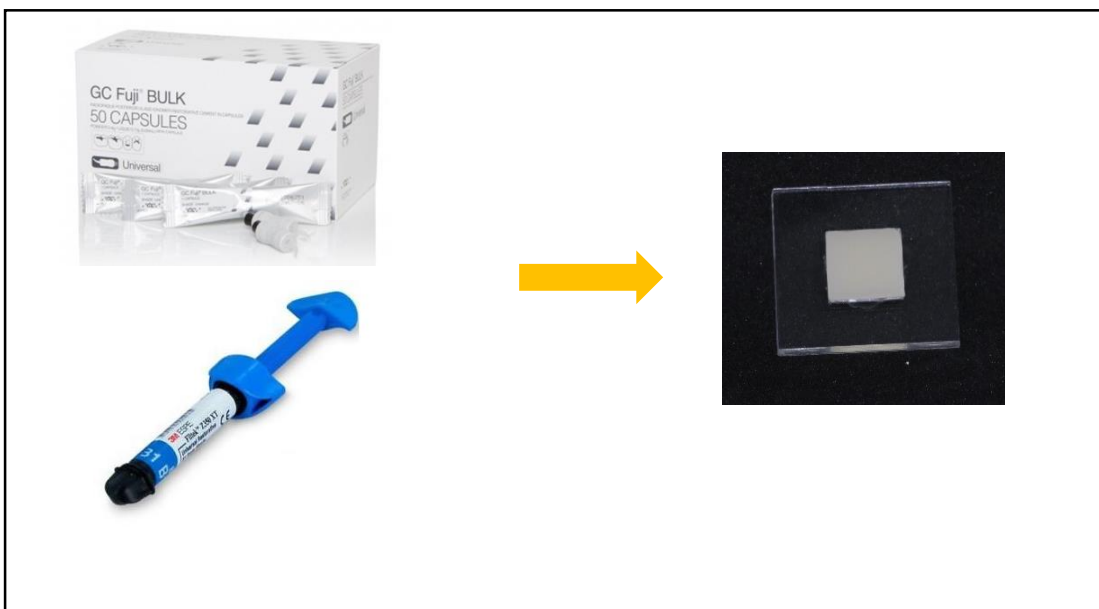
รูปที่ 4 แสดงการตัดฟันกรามล่างซี่ที่ 3 ในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง จากนั้นนำไปฝังในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง สูง 3 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร โดยให้ด้านใกล้แก้ม หรือ ใกล้ลิ้นอยู่ด้านนอก



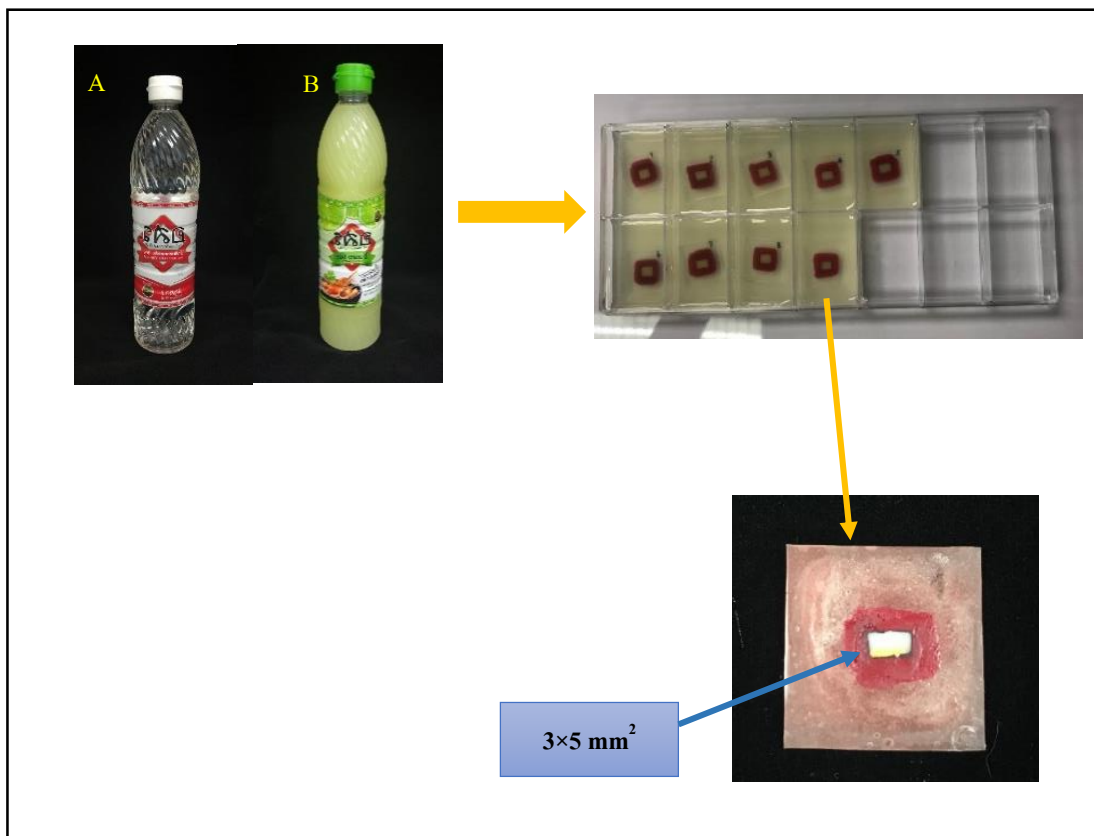
รูปที่ 5 แสดงการตัดชิ้นงานเซรามิกชนิดเฟลสปาดิก (Vita Blocs Mark II) จากนั้นนำไปฝังในเรซินอะคริลิก ชนิดบ่มด้วยตัวเอง สูง 3 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร



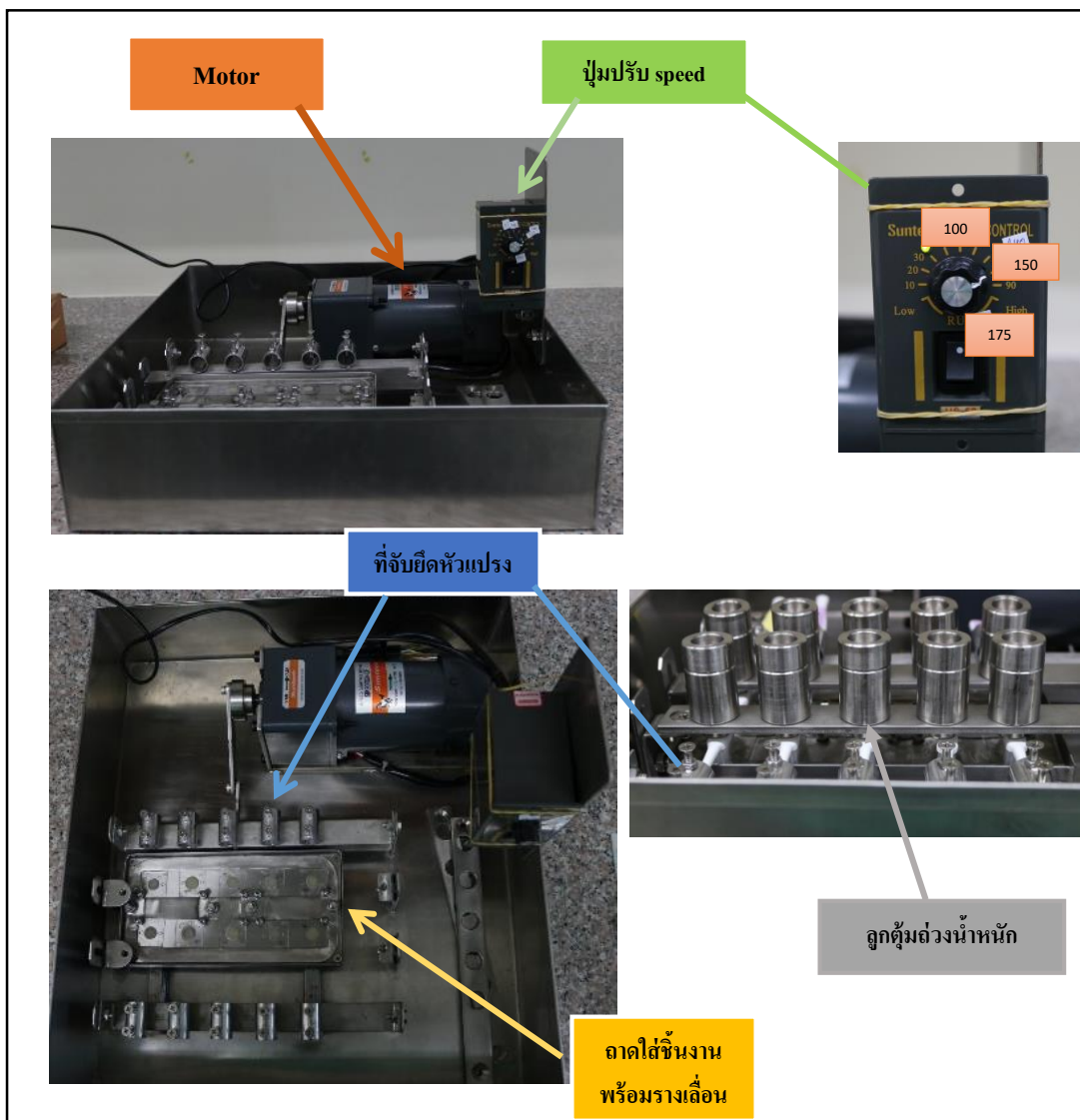
รูปที่ 6 แสดงชิ้นงานเซรามิกหลังจากตัดเรียบด้วยอนุภาคโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์แล้วนำไปตัดให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร



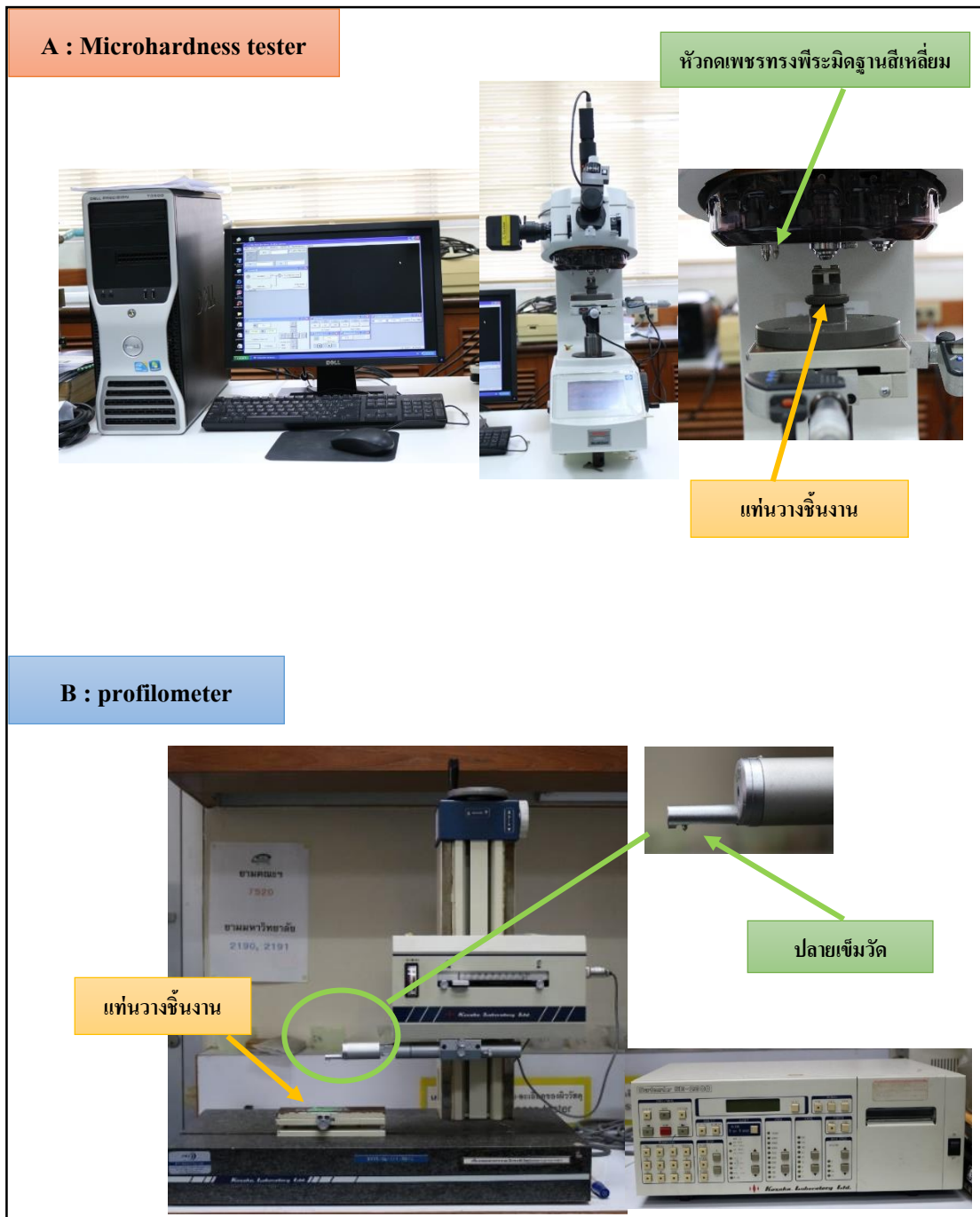
รูปที่ 7 แสดงการเตรียมชิ้นงานเรซินคอมโพสิตและกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยใช้แผ่นพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยกดให้วัสดุบูรณะแนบกับช่องใส่ด้วยแผ่นกระจกสำหรับกล้องจุลทรรศน์



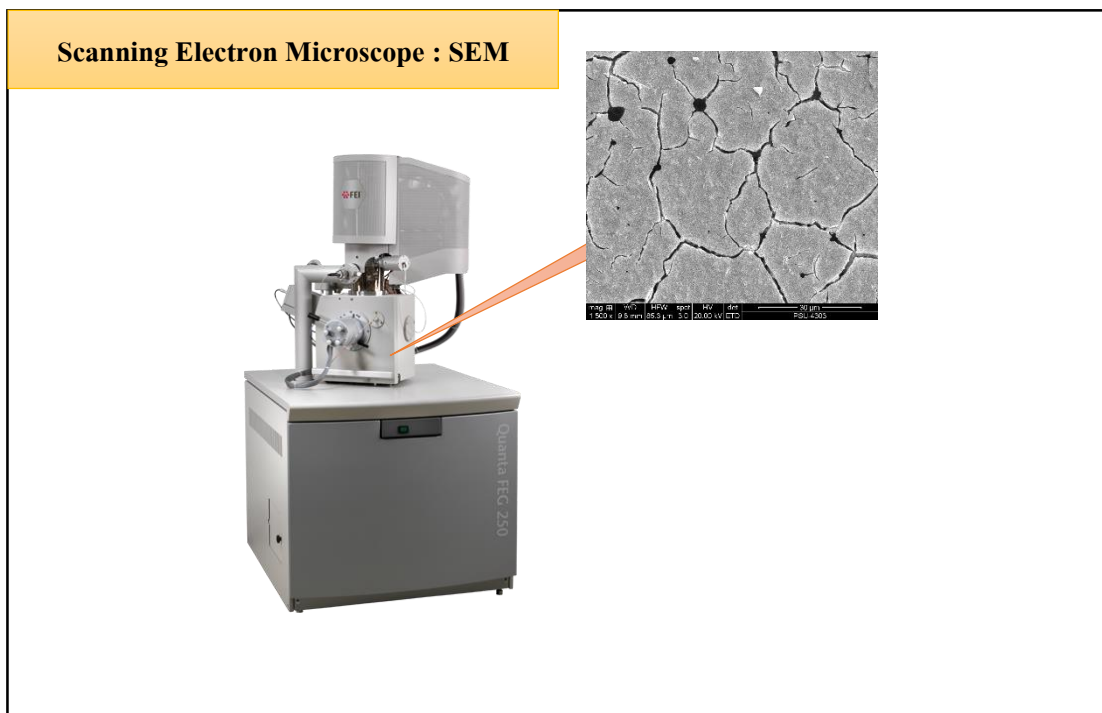
รูปที่ 8 แสดงสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ A : น้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์ และ B : น้ำมะนาวเทียม 55 เปอร์เซ็นต์ โดยชิ้นงานถูกกำหนดบริเวณสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดจากการใช้น้ำยาทาเล็บทาที่ส่วนนอกของพื้นที่ให้มีขนาด $5 \times 5 \text{ mm}^2$ สำหรับการวัดค่าความแข็งผิวขนาด $3 \times 5 \text{ mm}^2$ สำหรับการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว



รูปที่ 9 แสดงเครื่องจำลองการแปร่งฟันที่ใช้ในการทดลอง โดยแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องจำลองการแปร่งฟัน



รูปที่ 11 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ A : เครื่องวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบหัวกดวิกเกอร์ส (Vicker's microhardness tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 และ B : เครื่องวัดค่าความหยาบผิว (profilometer) ยี่ห้อ Kosaka Lab รุ่น Surfcoorder SE-2300



รูปที่ 14 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM)

ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400

บทที่ 3

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน หลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน (การศึกษาในห้องปฏิบัติการ) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นคุณลักษณะเฉพาะพื้นฐานของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่วัดได้จากการวัดค่า อันได้แก่ ค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะที่แตกต่างกัน ส่วนที่สองเป็นการแสดงผลของการวัดค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว และผลการศึกษาพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติเฉพาะพื้นฐานของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

(Characterization of enamel and restorative materials)

ค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยก่อนการทดลองในกลุ่มน้ำส้มสายชูและกลุ่มน้ำมะนาวเทียม แสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดรวมถึงผิวเคลือบฟันมีค่าความแข็งผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแตกต่างกันแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะพื้นฐานของวัสดุแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบที่อยู่ภายในผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดซึ่งเป็นผลต่อเนื้อให้ผลการทดลองภายหลังจากสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและการแปรงมีค่าที่แตกต่างกัน ดังจะเห็นว่า ค่าความแข็งผิวเบื้องต้นของผิวเคลือบฟัน มีค่า 292.96 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตรซึ่งสูงกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประมาณ 6 เท่า (65.88 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร) และเซรามิกมีค่าความแข็งผิวมากที่สุด (624.92 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร) สูงกว่าผิวเคลือบฟันเกือบ 3 เท่า ค่าความหยาบผิว (Ra) พบว่า เรซินคอมโพสิต มีค่าน้อยที่สุด(0.03 ไมโครเมตร) แสดงว่ามีความเรียบผิวมากที่สุด รองลงมาคือเซรามิก (0.08 ไมโครเมตร)

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Ra,Rz) (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)ซึ่งแสดงในตารางแฉบนและค่ามัธยฐานซึ่งแสดงในแฉล่างของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนการทดลอง

Materials	Vicker's hardness (kg/mm ²)	Surface roughness (µm)	
		Ra	Rz
Enamel	292.96(50.15)	0.2(0.08)	5.53(0.54)
	296.45	0.19	4.43
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	65.88(1.41)	0.25(0.04)	6.39(1.31)
	65.69	0.26	6.49
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	74.58(2.23)	0.03(0.04)	0.93(0.21)
	74.01	0.01	0.94
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	624.92(27.2)	0.08(0.01)	3.07(0.81)
	639.15	0.09	2.68

3.2 ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวหลังผ่านสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟันต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

(Surface changes after acidic condition and brushing)

หลังจากนำชิ้นงานไปแช่ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด คือ น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมร่วมกับการแปรงใน Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B จากนั้นวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิว โดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิว (Surface microhardness tester; ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 บริษัทผู้ผลิต Mitutoyo Corporation, Japan) หัวกดแบบวิกเกอร์ส และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer ; ยี่ห้อ Kosaka Lab รุ่น Surfcoorder SE-2300) โดยใช้พารามิเตอร์ 3 ตัว ได้แก่ ค่า Ra Rz และ Rmax ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันโดยใช้สถิติวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลและความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ จึงใช้สถิตินอนพารามิเตอร์ วัดความแปรปรวนของข้อมูลแบบวัดซ้ำ (Friedman test และ Wilcoxon signed ranks test) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและความหยาบผิวในแต่ละรอบการทดลอง และใช้สถิติ Mann-Whitney test เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสารละลาย 2 ชนิด

3.2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

ค่าความแข็งผิวเริ่มต้นของวัสดุชนิดเดียวกันก่อนการทดลอง ในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

กลุ่มผิวเคลือบฟัน ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อสัมผัสกับทั้งกลุ่มน้ำส้มสายชูและในน้ำมะนาวเทียม หลังจาก Erosion-abrasion:A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และลดลงเพิ่มขึ้นหลังจาก

Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยทั้ง 2 สารละลาย เมื่อนำผล

Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B มาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวในระดับที่ใกล้เคียงกัน

กลุ่มกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่ในน้ำส้มสายชูใน

Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม ค่าความแข็งผิวลดลงตั้งแต่ Erosion-abrasion:A และวัดค่าไม่ได้ใน Erosion-abrasion:B เนื่องจากวัสดุมีลักษณะอ่อนนุ่ม โดยในน้ำมะนาวเทียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวมากกว่ากลุ่มน้ำส้มสายชูเมื่อเปรียบเทียบ Erosion-abrasion cycle ในรอบการทดลองเดียวกัน

กลุ่มเรซินคอมโพสิต ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่ในน้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมใน Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใน Erosion-abrasion:A น้ำส้มสายชูมีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวมากกว่าน้ำมะนาวเทียม แต่ใน Erosion-abrasion:B น้ำมะนาวเทียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวมากกว่าน้ำส้มสายชู

กลุ่มเซรามิก ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่ในน้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมตั้งแต่ Erosion-abrasion:A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในทั้งสองรอบของการวัดค่า น้ำมะนาวเทียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวมากกว่าน้ำส้มสายชู

ค่าความแข็งผิวเฉลี่ยและค่ามัธยฐานเปรียบเทียบวัสดุแต่ละชนิดในสารละลายทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 4 นัยสำคัญทางสถิติที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5 โดยจะแสดงค่าความแตกต่างของค่าความแข็งผิวเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิว ในตารางที่ 6 และเมื่อนำข้อมูลค่าความแข็งผิวที่วัดได้ทั้งหมดมาเขียนแผนผังกราฟแท่ง แสดงในรูปที่ 15

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว (Vicker's hardness) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(แถวบน)และค่ามัธยฐาน(แถวล่าง) ของชิ้นงานก่อนและหลังสัมผัสสารละลายกรดร่วมกับการแปรงฟันที่ช่วงเวลาต่างๆ

Materials	Solutions					
	Vinegar			Lemon juice		
	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	257.5(16.91)	152.18(23.99)	131.53(30.59)	328.42(34.24)	157.83(26.47)	142.36(29.64)
	258.9 ^a	154.3 ^b	136.82 ^c	334 ^a	151.57 ^b	140.8 ^c
Glass-ionomer cement (Fuji[®] BULK)	64.88(7.91)	62.61(12.78)	33.26(7.76)	66.87(14.63)	41.92(9.18)	-----
	66.3 ^a	65.93 ^a	33.85 ^b	65.07 ^a	43.6 ^b	
Resin composite (Filtek[™] Z350XT)	73(3.81)	71.83(3.21)	69.78(3.33)	76.15(3.13)	75.79(2.85)	66.49(3.54)
	72.58 ^a	71.55 ^a	68.88 ^b	75.43 ^a	76 ^a	66.37 ^b
Ceramic (Vitablocs[®] Mark II)	605.68(48.38)	490.35(97.87)	465.57(116.55)	644.15(59.4)	378.36(153.06)	359.5(158.14)
	624.47 ^a	503.4 ^b	474.05 ^b	653.83 ^a	364.95 ^b	405.72 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแตกต่างชนิด Wilcoxon signed ranks test ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 5 สรุปนัยสำคัญทางสถิติของสารละลายที่มีผลต่อค่ามัธยฐานความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองที่ $p < 0.05$

Materials	Solutions	Significantly	
		Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	Vinegar	*	*
	Lemon juice	*	*
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	Vinegar	-	*
	Lemon juice	*	วัดค่าไม่ได้
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	Vinegar	-	*
	Lemon juice	-	*
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	Vinegar	*	*
	Lemon juice	*	*

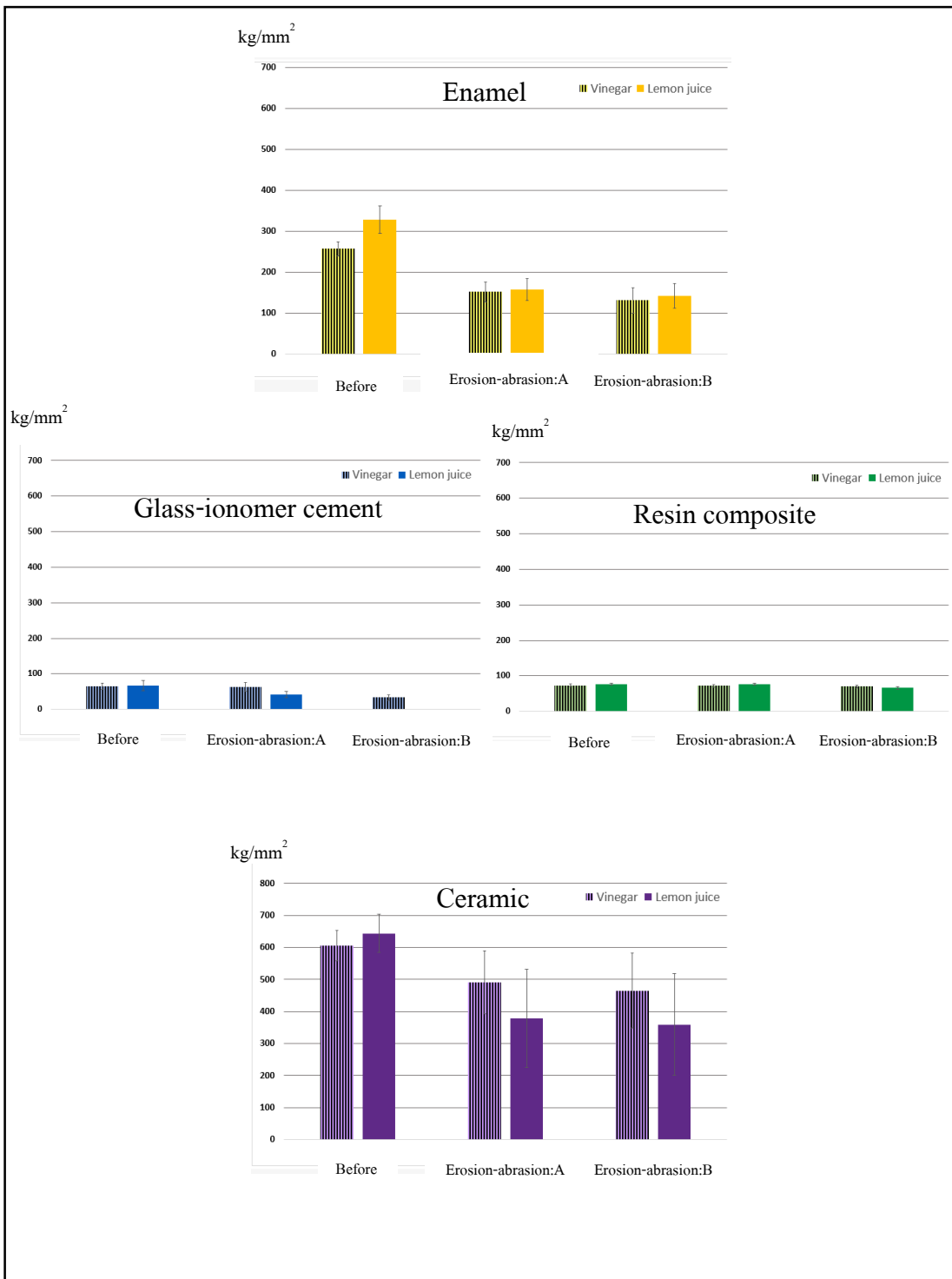
หมายเหตุ เครื่องหมาย * หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เครื่องหมาย - หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 แสดงค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิว (Vicker's hardness) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันชนิดต่างๆ หลังสัมผัส

สารละลายกรด Erosion-abrasion:A และก่อนการทดลอง และ Erosion-abrasion:B และก่อนการทดลอง

Materials	Solutions			
	Vinegar		Lemon juice	
	% of difference after Erosion-abrasion:A	% of difference after Erosion-abrasion:B	% of difference after Erosion-abrasion:A	% of difference after Erosion-abrasion:B
Enamel	40.9	48.92	51.94	56.65
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	3.5	48.74	31.31	-----
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	1.6	4.41	0.47	12.69
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	19.04	23.13	41.26	44.19



รูปที่ 15 แสดงกราฟแท่งการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน ก่อนและหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมในแต่ละรอบการทดลอง

3.2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

ผลการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันในการทดลองนี้ แสดงในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยใช้พารามิเตอร์ 2 ตัว ได้แก่ ค่า Ra และ Rz ซึ่งจะอ่านค่าทั้งสองก่อนการทดลอง ซึ่งงานหลังแช่ในสารละลายทั้ง 2 ชนิด ใน Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B โดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิวด้วยเข็มวัดขนาดรัศมีปลายเข็ม 5 ไมโครเมตรลากผ่านผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟัน พบว่าค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแสดงโดยพารามิเตอร์ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชิ้นงาน

กลุ่มผิวเคลือบฟัน และกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ค่าความหยาบผิวทั้ง 2 ค่า (Ra และ Rz) มีค่าเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม ตั้งแต่ Erosion-abrasion:A จนถึง Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มเรซิน คอมโพสิต ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิว (Ra และ Rz) ทั้งในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มเซรามิก ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) และค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 10 จุด (Rz) มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและแช่น้ำมะนาวเทียมใน Erosion-abrasion:A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมาก จึงแยกตารางสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมออกจากกัน ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 นัยสำคัญทางสถิติที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง แสดงในตารางที่ 9 เมื่อนำข้อมูลค่าความหยาบผิวที่วัดได้ทั้งหมดมาเขียนแผนภูมิการกระจายแยกตามพารามิเตอร์ (Ra และ Rz) แสดงในรูปที่ 16-17 และเมื่อนำข้อมูลค่าความหยาบผิวพารามิเตอร์ Rz กลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูมาเขียนแผนภูมิการกระจาย ดังแสดงในรูปที่ 18 จะเห็นว่า ผิวเคลือบฟันมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ตามด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย (แถวบน) และค่ามัธยฐาน (แถวล่าง) ความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน(Ra, Rz ; ไมโครเมตร) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนทดลองและหลัง Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B ในน้ำส้มสายชู

Surface roughness parameter (μm) : Ra			
Materials	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	0.25(0.14) 0.25 ^a	3.29(0.44) 3.33 ^b	6.18(0.88) 6.33 ^c
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	0.28(0.1) 0.3 ^a	0.95(0.4) 0.9 ^b	2.78(0.41) 2.77 ^c
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	0(0) 0 ^a	0.01(0.03) 0 ^a	0.03(0.06) 0 ^a
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	0.08(0.05) 0.1 ^a	0.38(0.39) 0.22 ^b	0.22(0.2) 0.15 ^b
Surface roughness parameter (μm) : Rz			
Materials	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	5.91(4.23) 4.33 ^a	19.76(4.17) 19.22 ^b	46.95(7.54) 45.17 ^c
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	7.31(2.16) 7.4 ^a	13.27(3.94) 12.82 ^b	25.94(4.52) 25.65 ^c
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	0.78(0.36) 0.8 ^a	0.83(0.67) 0.65 ^a	1.29(1.3) 0.75 ^a
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	3.64(1.97) 3.58 ^a	6.63(3.26) 6.1 ^b	5.23(1.87) 5.07 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแตกต่างชนิด Wilcoxon signed ranks test ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย (แถวบน) และค่ามัธยฐาน (แถวล่าง) ความหยาบผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน (Ra, Rz ; ไมโครเมตร) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนทดลองและหลัง Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B ในน้ำมะนาวเทียม

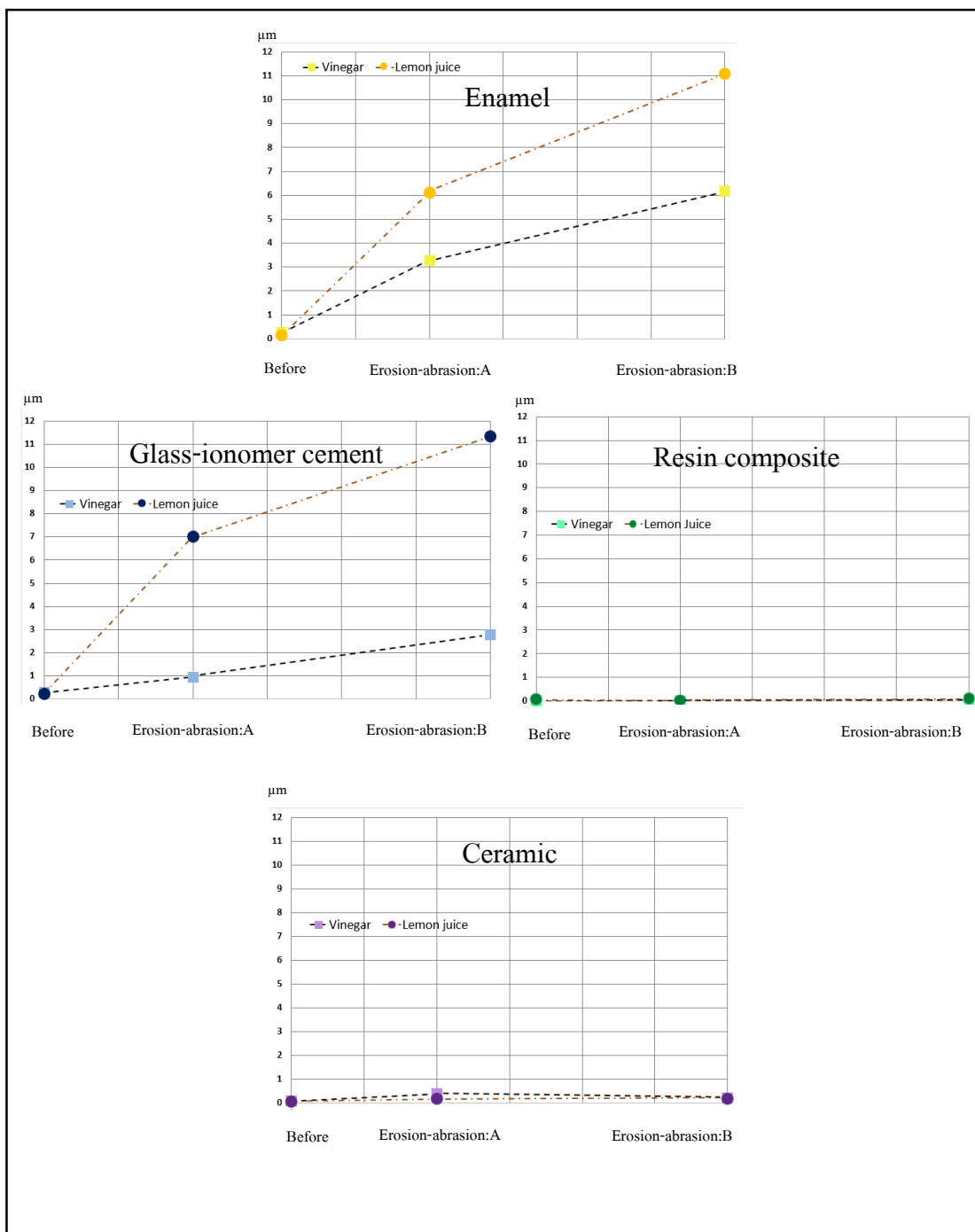
Surface roughness parameter (μm): Ra			
Materials	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	0.14(0.08)	6.12(0.51)	11.08(2.04)
	0.13 ^a	6.2 ^b	11.17 ^c
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	0.22(0.1)	7.02(1.18)	11.33(1.9)
	0.22 ^a	7.02 ^b	11.83 ^c
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	0.05(0.07)	0.03(0.04)	0.1(0.13)
	0.02 ^a	0.02 ^a	0.08 ^a
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	0.07(0.05)	0.17(0.05)	0.19(0.05)
	0.08 ^a	0.17 ^b	0.2 ^b
Surface roughness parameter (μm) : Rz			
Materials	Before	Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	5.14(2.38)	37.76(3.86)	93.88(9.42)
	4.52 ^a	37.08 ^b	91.83 ^c
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	5.46(2.46)	49.2(7.19)	131.79(10.91)
	5.58 ^a	49.52 ^b	133.5 ^c
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	1.08(0.77)	0.91(0.66)	1.89(1.5)
	1.07 ^a	0.8 ^a	1.73 ^a
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	2.49(1.21)	4.28(1.44)	4.54(1.12)
	1.78 ^a	3.8 ^b	4.35 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแตกต่างชนิด Wilcoxon signed ranks test ที่ $p < 0.05$

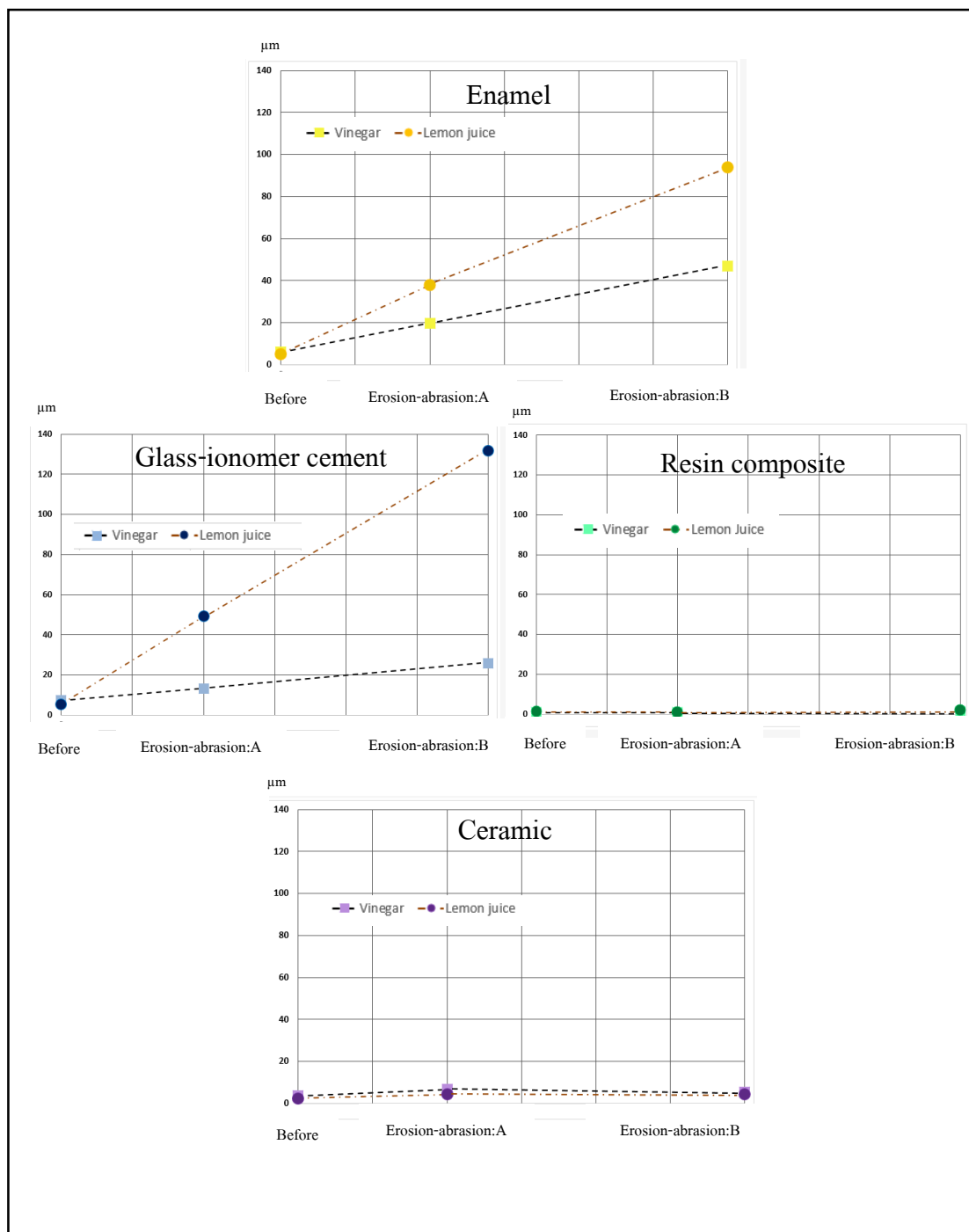
ตารางที่ 9 แสดงนัยสำคัญทางสถิติของสารละลายที่มีผลต่อค่ามัธยฐานความหยาบผิว (Ra และ Rz) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองที่ $p < 0.05$

Materials	Solutions	Significantly	
		Erosion-abrasion:A	Erosion-abrasion:B
Enamel	Vinegar	* #	* #
	Lemon juice	* #	* #
Glass-ionomer cement (Fuji [®] BULK)	Vinegar	* #	* #
	Lemon juice	* #	* #
Resin composite (Filtek [™] Z350XT)	Vinegar	- - -	- -
	Lemon juice	- -	- -
Ceramic (Vitablocs [®] Mark II)	Vinegar	* #	* #
	Lemon juice	* #	* #

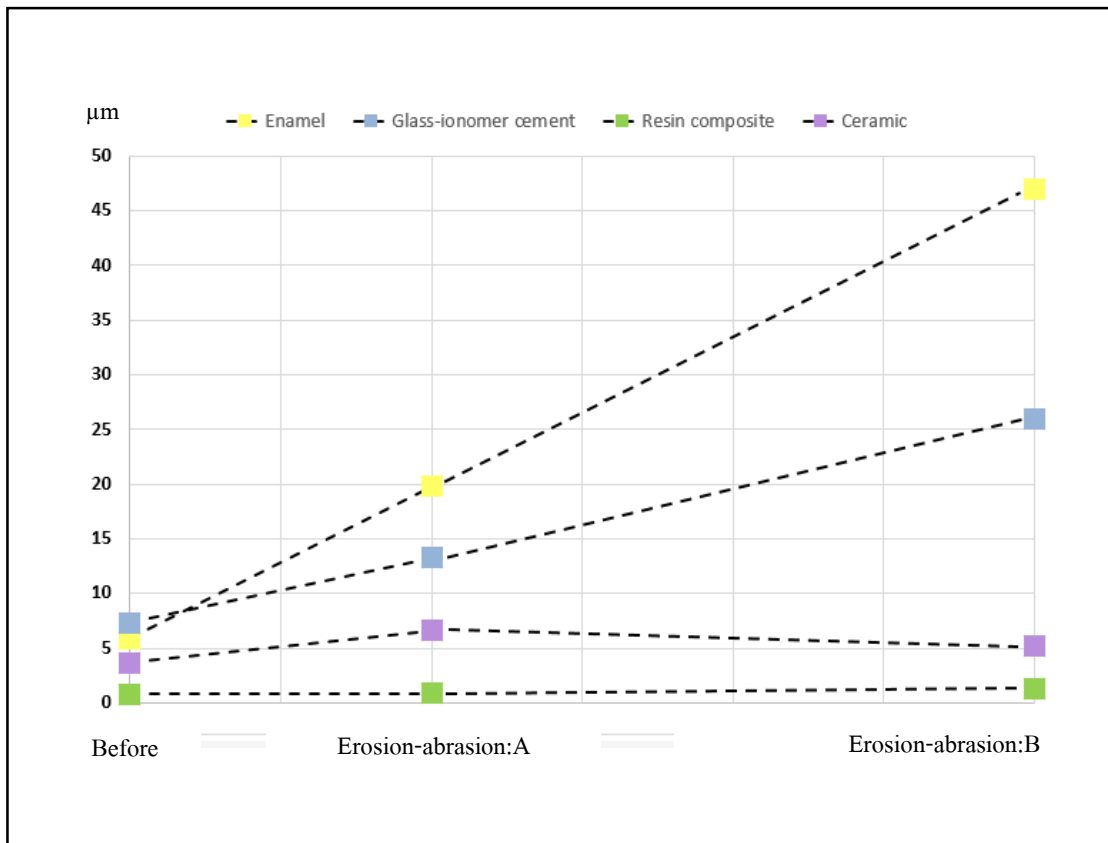
หมายเหตุ เครื่องหมาย * หมายถึงค่า Ra แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 เครื่องหมาย # หมายถึงค่า Rz แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 เครื่องหมาย - หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 16 แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยพื้นผิว (R_a) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนและหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวที่ขมในแต่ละรอบการทดลอง



รูปที่ 17 แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยพื้นผิว (R_z) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันก่อนและหลังแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม



รูปที่ 18 แสดงแผนภูมิการกระจายการเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว (Rz) ของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันหลังจาก Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B ในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชู

3.2.3 ผลการศึกษาพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope evaluation)

งานวิจัยได้แสดงผลพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า โดยเปรียบเทียบก่อนการทดลองและหลัง Erosion-abrasion: B ซึ่งเป็นการแสดงผลในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ชิ้นงานก่อนการทดลองทุกวัสดุพบว่าพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ โดยที่กำลังขยาย 500 เท่า A คือส่วนที่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน B คือส่วนที่ไม่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน โดยการทำน้ำยาทาเล็บป้องกันพื้นผิวของชิ้นงาน

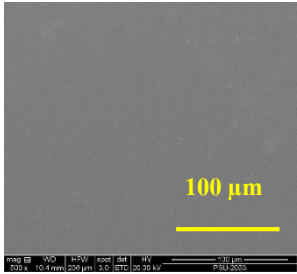
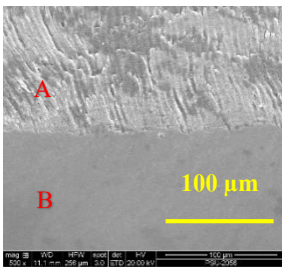
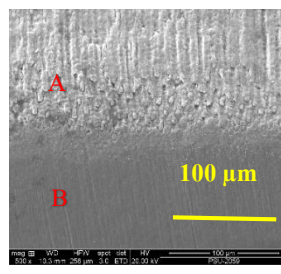
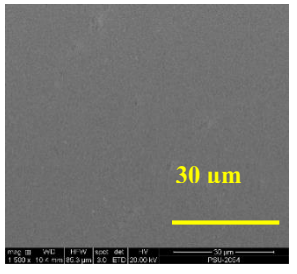
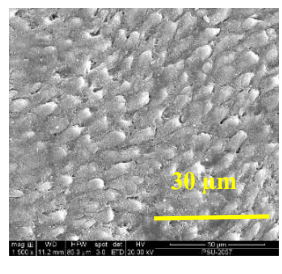
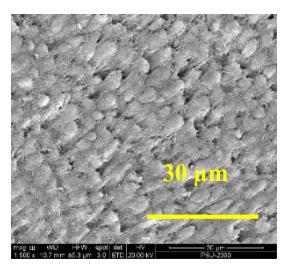
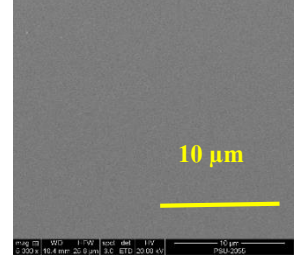
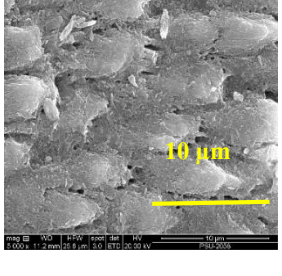
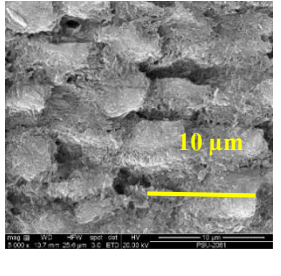
ชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟัน (รูปที่ 19) ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าชิ้นงานมีความแตกต่างระหว่างรอยต่อของบริเวณที่สัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดร่วมกับการแปร่ง และบริเวณพื้นที่ที่ป้องกันพื้นผิวของชิ้นงานด้วยน้ำยาทาเล็บ โดยพบว่า ชิ้นงานกลุ่มน้ำมะนาวเทียมพบทำลายพื้นผิวของผิวเคลือบฟันรุนแรงกว่าชิ้นงานกลุ่มน้ำส้มสายชู โดยรูปแบบการทำลายพื้นผิวเคลือบฟันจะเป็นรูปแบบการกัดกร่อนลักษณะหินกรวด (cobblestone) ซึ่งเห็นความแตกต่างได้ชัดที่ กำลังขยาย 1500 และ 5000 เท่า ซึ่งผลการศึกษาได้ผลลักษณะเดียวกับกลุ่มกลาส ไอโอ โนเมอร์ ซีเมนต์ (รูปที่ 20) ที่มีการทำลายพื้นผิวของชิ้นงานกลุ่มน้ำมะนาวเทียมมากกว่าชิ้นงานกลุ่มน้ำส้มสายชู จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าการทำลายพื้นผิวกลาส ไอโอ โนเมอร์ ซีเมนต์ของชิ้นงานกลุ่มน้ำส้มสายชูและกลุ่มน้ำมะนาวเทียม โดยชิ้นงานในกลุ่มน้ำส้มสายชู มีการทำลายชั้น

โพลีซัลไฟด์เมทริกซ์ทำให้มีการหลุดออกของอนุภาคกลาสจากซิลิเกตไฮโดรเจล ส่วนชิ้นงานกลุ่มน้ำมะนาวเทียม นอกจากมีการหลุดออกของอนุภาคกลาสแล้ว ยังมีการทำลายพื้นผิวของชิ้นเมทริกซ์อีกด้วย ซึ่งรุนแรงกว่าชิ้นงานกลุ่มน้ำส้มสายชู

นอกจากนี้ ชิ้นงานที่ให้ผลใกล้เคียงกันของทั้งกลุ่มน้ำส้มสายชูและกลุ่มน้ำมะนาวเทียมคือกลุ่มเซรามิค (รูปที่ 22) ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งในกลุ่มน้ำส้มสายชูและกลุ่มน้ำมะนาวเทียม โดยจะมีการหลุดออกของเฟสคริสตัลไลน์ออกจากเฟสกลาส บริเวณพื้นผิวของเซรามิคทั้งสองกลุ่ม

ชิ้นงานกลุ่มเรซิน คอม โพลิต (รูปที่ 21) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการวัดค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว ซึ่งในกำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า จะให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ในขณะที่กำลังขยาย 5000 เท่า พบการเปลี่ยนแปลงทั้งเมื่อสัมผัสกับกลุ่มน้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม คือ มีการหลุดออกของฟิลเลอร์จากเมทริกซ์ และเห็นร่องรอยการแปร่งจากทั้งสองกลุ่ม

รูปที่ 23 เปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันชนิดต่างๆที่แช่ใน
น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม หลังผ่าน Erosion-abrasion:B ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

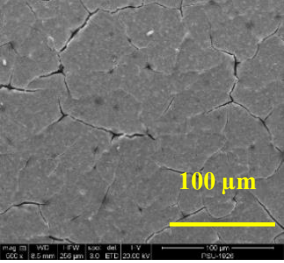
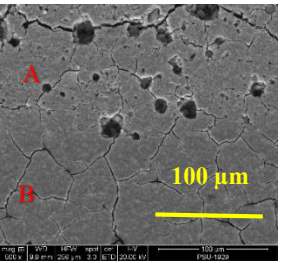
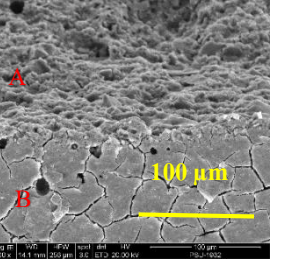
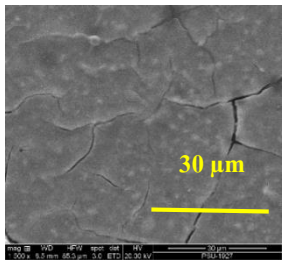
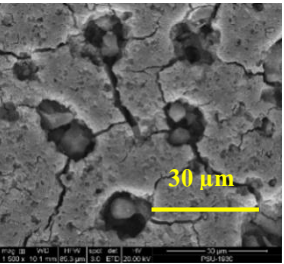
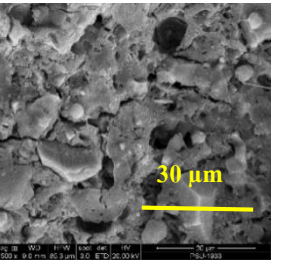
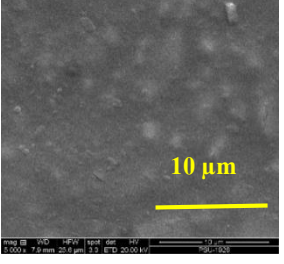
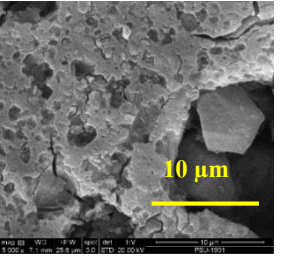
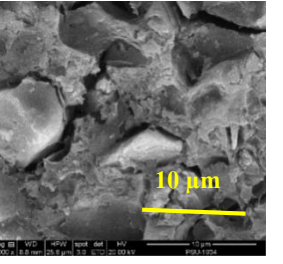
Resolutions	Before	Vinegar	Lemon juice
500x			
1500x			
5000x			

รูปที่ 19 แสดงผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มผิวเคลือบฟันที่
กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า

ที่กำลังขยาย 500 เท่า

A คือ ส่วนที่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน

B คือ ส่วนที่ไม่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งฟัน โดยการทาน้ำยาทาเคลือบป้องกัน
ฟันผิวของชิ้นงาน

Resolutions	Before	Vinegar	Lemon juice
500x			
1500x			
5000x			

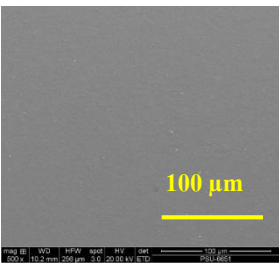
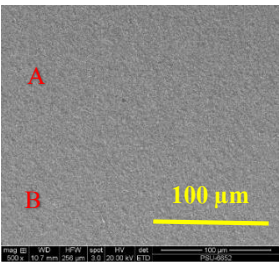
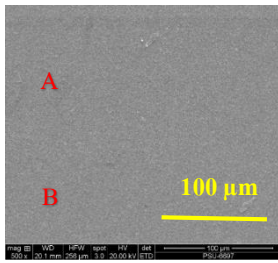
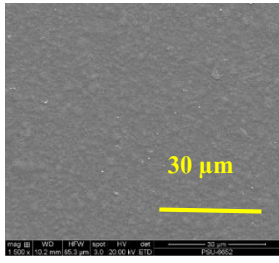
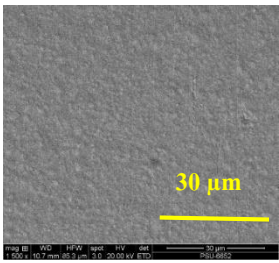
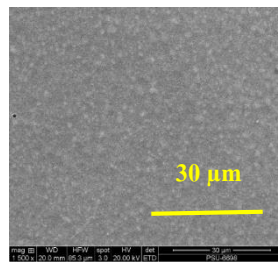
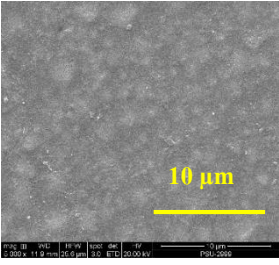
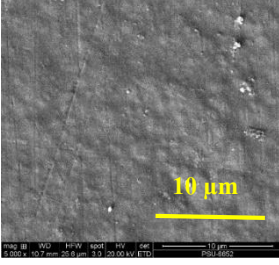
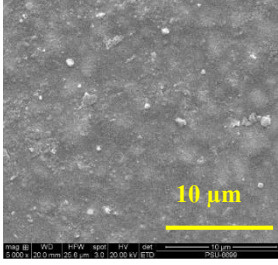
รูปที่ 20 แสดงผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มกลาส ไอโอโนเมอร์

ซีเมนต์ที่กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า

ที่กำลังขยาย 500 เท่า

A คือ ส่วนที่สัมผัสกับสถานะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น

B คือ ส่วนที่ไม่สัมผัสกับสถานะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น โดยการทาน้ำยาทาเล็บป้องกัน
พื้นผิวของชิ้นงาน

Resolutions	Before	Vinegar	Lemon juice
500x			
1500x			
5000x			

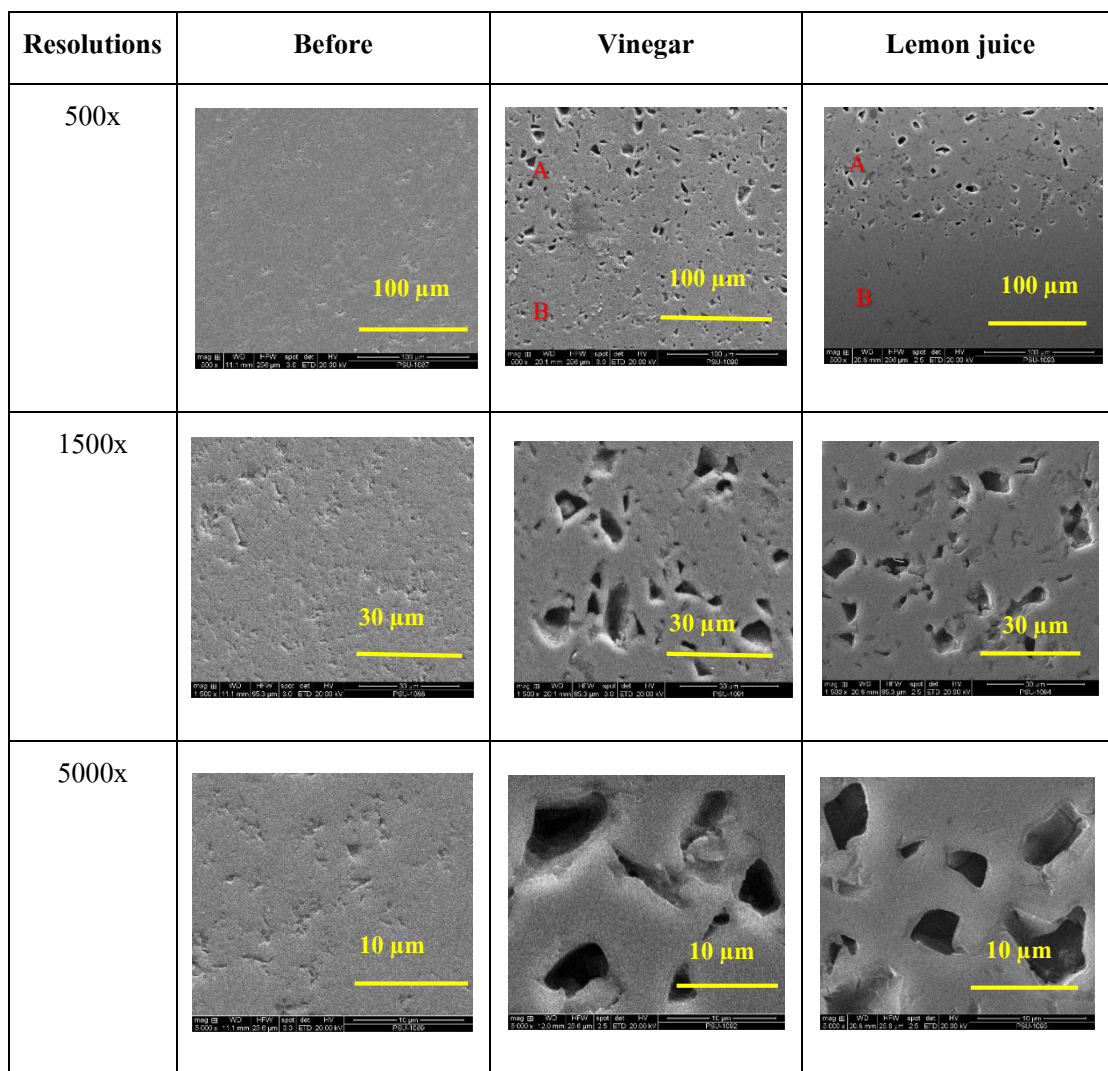
รูปที่ 21 แสดงผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่

กำลังขยาย 500 1500 และ 5000 เท่า

ที่กำลังขยาย 500 เท่า

A คือ ส่วนที่สัมผัสกับสถานะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น

B คือ ส่วนที่ไม่สัมผัสกับสถานะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น โดยการทาน้ำยาทาเล็บป้องกัน
พื้นผิวของชิ้นงาน



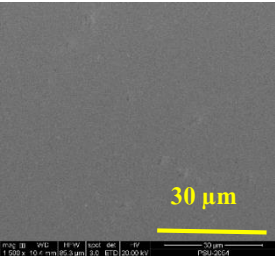
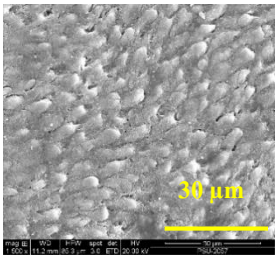
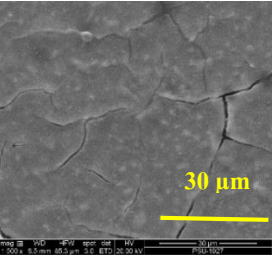
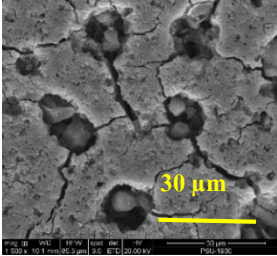
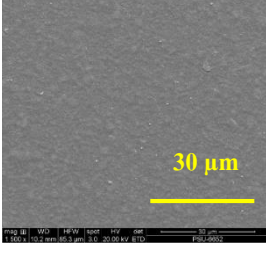
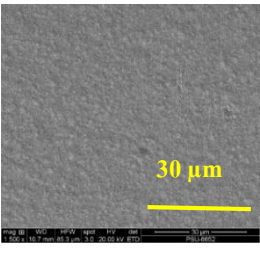
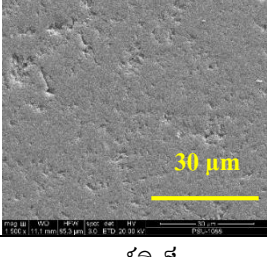
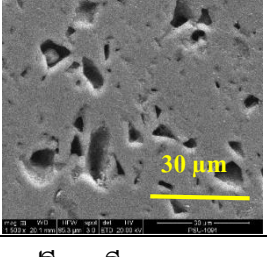
รูปที่ 22 แสดงผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกลุ่มเซรามิคที่กำลังขยาย

500 1500 และ 5000 เท่า

ที่กำลังขยาย 500 เท่า

A คือ ส่วนที่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น

B คือ ส่วนที่ไม่สัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปร่งพื้น โดยการทาน้ำยาทาเล็บป้องกัน
พื้นผิวของชิ้นงาน

Materials	Before	Erosion-abrasion:B
Enamel		
Glass-ionomer cement		
Resin composite		
Ceramic		

รูปที่ 23 แสดงผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบความแตกต่างของกุ่มผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันชนิดต่างๆหลังจากแช่ในน้ำส้มสายชูหลังจากผ่าน Erosion-abrasion:B ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

บทที่ 4

บทวิจารณ์

การกัดกร่อนของฟัน (dental erosion) หมายถึง ภาวะที่มีการสูญเสียเนื้อเยื่อแข็งของฟัน (dental hard tissue) หรือกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของฟันโดยกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดหรือจากปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลชีพ (microorganisms) ภายในช่องปาก ซึ่งการกัดกร่อนจะมีการเกิดแบบเรื้อรัง แบบค่อยเป็นค่อยไป (38)

ปัจจัยเสี่ยง (risk factor) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการกัดกร่อนต่อฟันนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน (multifactorial condition) การป้องกันการดำเนินของรอยโรคทำได้โดยการหาสาเหตุปัจจัยการเกิดให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ (39) สาเหตุการเกิด(40) แบ่งได้เป็นสาเหตุจากภายใน (intrinsic sources) และสาเหตุจากภายนอก (extrinsic sources) โดยสาเหตุภายใน ได้แก่ ความผิดปกติของการรับประทานอาหาร (eating disorders) เช่น อาการเบื่ออาหาร (anorexia nervosa) หรือโรคผิดปกติทางอารมณ์ทำให้กินมากเกินไปแล้วอาเจียนออก (bulimia nervosa) การสำรอกอาหารอันเนื่องมาจากการติดเชื้อ กลุ่มอาการดูดซึมอาหารผิดปกติ (malabsorption syndrome) การอาเจียนเรื้อรังในระหว่างการตั้งครรภ์ และโรคกรดไหลย้อน (gastroesophageal reflux disease : GERD) เป็นผลให้เกิดการสึกกร่อนของฟัน สาเหตุภายนอกได้แก่ การรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งรวมถึง เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาร์บอนหรือกรดจากธรรมชาติและสังเคราะห์ ลูกอมที่มีส่วนผสมของกรด ยา และสิ่งแวดล้อมที่ทำให้มีการสัมผัสของกรดในช่องปาก เช่น น้ำยาล้างฟันที่วางน้ำในสระที่มีคลอรีน

จากการศึกษาอุบัติการณ์เกิดการกัดกร่อนต่อฟันในเด็กประเทศอังกฤษ พบว่ามีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี 1993 และ 1996 (41) การศึกษาในประเทศอังกฤษ พบว่า ในเด็ก 1,308 คน ที่มีอายุ 12 ปี มีการสึกของฟันจากการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านไป 2 ปี โดยมีรอยโรคที่เกิดขึ้นใหม่ 12.3 เปอร์เซ็นต์ ในเด็กอายุระหว่าง 12 ถึง 14 ปี (42) นอกจากนี้ ยังพบว่า การสึกของฟันจากการกัดกร่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น (52-56 ปี) เมื่อเทียบกับประชากรอายุน้อยกว่า (32-36 ปี) (43)

วิจารณ์การออกแบบการทดลอง

สารละลายที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ น้ำส้มสายชู มีค่าพีเอช 2.85 และน้ำมะนาวเทียมมีค่าพีเอช 1.95 ซึ่งสารละลายทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบของอาหารไทยและอาหารเพื่อสุขภาพ เป็นองค์ประกอบในเครื่องจิ้มหลายชนิด มีฤทธิ์เป็นกรด เหตุผลในการใช้น้ำมะนาวเทียมแทนมะนาวจริง เนื่องจากน้ำมะนาวเทียมสามารถหาซื้อได้ง่าย ไม่มีปัจจัยในเรื่องของฤดูกาลของผลผลิตมะนาวมาเกี่ยวข้องและสามารถควบคุมปัจจัย เช่น ค่าพีเอชได้คงที่ เวลาในการสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดในแต่ละรอบ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ได้อ้างอิงจากเวลาในการรับประทานอาหารของประชาชนทั่วไปในแต่ละมื้อ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง รอบการแปร่งฟันที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีโดยประกอบด้วย Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B จากงานวิจัยของ Goldstein และ Lerner ในปี 1991(44) ที่อ้างอิงรอบการแปร่งฟัน 10,000 รอบ เท่ากับ 1 ปี ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ใช้รอบการแปร่ง 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ที่ Erosion-abrasion:A จะได้จำนวนรอบเท่ากับ 1,500 รอบ จำนวนได้เท่ากับระยะเวลาประมาณ 2 เดือน และที่

Erosion-abrasion:B เท่ากับ 4,500 รอบ จำนวนได้เท่ากับระยะเวลาในการแปร่งฟันประมาณ 6 เดือน นอกจากนี้ การศึกษาของ Garza LA และคณะในปี 2016 (35) ใช้รอบการแปร่งฟัน 90 รอบต่อนาที แรงกดหัวแปรง 1.96 นิวตัน เทียบเท่ากับ 199.86 กรัม โดยกำหนดให้ 48,000 รอบเท่ากับระยะเวลาการแปร่งฟัน 3 ปี เมื่อแปร่งฟัน 2 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 2 นาที

งานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วยชิ้นงาน 4 ชนิด ได้แก่ ผิวเคลือบฟัน กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji[®] BULK) เรซินคอมโพสิต (Filtek[™] Z350XT) และเซรามิกชนิดเฟลสปาดิก (Vitablocs[®] Mark II) ชิ้นงานทั้งหมดนี้เป็นวัสดุที่อยู่ในช่องปากที่มีความสลับซับซ้อน งานวิจัยนี้ต้องการจำลองสถานการณ์ที่ประกอบด้วยการแช่ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดแล้วตามด้วยการแปร่งฟันทันทีเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัสดุแต่ละชนิดว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างไรตามองค์ประกอบของวัสดุ ในการจำลองดังกล่าวเป็นสถานการณ์ที่ให้ผลรุนแรง (Aggressively) ต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันในสถานการณ์เดียวกันซึ่งเป็นสถานการณ์หนึ่งที่น่าจะเกิดขึ้นได้ในชีวิตจริง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่ได้ต้องการเปรียบเทียบว่าวัสดุชนิดใดสามารถทนต่อการกัดกร่อนจากสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและการแปร่งฟันได้มากกว่ากัน แต่ต้องการเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานของตัวมันเองแต่สามารถศึกษาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงที่เปรียบเทียบกันได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของวัสดุแต่ละชนิด จากผลการทดลองพบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุแต่ละชนิด แนวทางการเลือกวัสดุบูรณะฟันที่นำมาใช้ทดสอบคือ การเลือกวัสดุที่มีใช้

แพร่หลายในประเทศไทย เช่น Fuji® BULK เป็นคอนเว็นชันนอล กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่บริษัทผู้ผลิตออกแบบมาเพื่อคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายกรด ซึ่งกลาสไอโอโนเมอร์รูปแบบอื่นมักไม่ทนต่อกรด นอกจากนี้ ผิวเคลือบฟันเป็นบริเวณของฟันที่ล้อมรอบวัสดุบูรณะ ฟันภายนอกไว้

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันทุกชนิด เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดในช่วงเวลาที่กำหนดตามด้วยการแปรงฟัน ล้วนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวและความหยาบผิว โดยค่าความแข็งผิวจะมีค่าลดลง และความหยาบผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการทำลายพื้นผิวจากการสัมผัสกรดและการแปรงฟัน จากผลการทดลองจะเห็นว่า ในกลุ่ม ผิวเคลือบฟัน ค่าความแข็งผิวมีแนวโน้มลดลงทั้งในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชู และน้ำมะนาวเทียม เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง โดยมีค่าลดลงตั้งแต่ Erosion-abrasion:A (40.89%, 51.94%) และลดลงเพิ่มขึ้นหลังจาก

Erosion-abrasion:B (48.92%, 56.65%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ Erosion-abrasion:A ไปจนถึง Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน และให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือ ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่น้ำส้มสายชูใน Erosion-abrasion:B (48.74%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม ค่าความแข็งผิวลดลงตั้งแต่ Erosion-abrasion:A (31.31%) และวัดค่าไม่ได้ใน

Erosion-abrasion:B เนื่องจากวัสดุมีลักษณะอ่อนนุ่ม และค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ Erosion-abrasion:A และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง Erosion-abrasion:B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มเรซินคอมโพสิต ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมใน Erosion-abrasion:B (4.41%, 12.69%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าความหยาบผิวทั้งใน Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B กลุ่มเซรามิก ค่าความแข็งผิวมีค่าลดลงเมื่อแช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียมตั้งแต่ Erosion-abrasion:A (19.04%, 41.62%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ Erosion-abrasion:A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดในรอบการทดลองเดียวกับ พบว่า กลุ่มผิวเคลือบฟัน น้ำมะนาวเทียมและน้ำส้มสายชูมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวและค่าความหยาบผิวใกล้เคียงกัน ในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ Erosion-abrasion:A กลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ Erosion-abrasion:B และเซรามิก ทั้งใน Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B น้ำมะนาวเทียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิวมากกว่าน้ำส้มสายชู เนื่องจากกรดที่อยู่ในน้ำส้มสายชูเป็นกรดอะซิติก และกรดที่อยู่ในน้ำมะนาวเทียมเป็นกรดซิตริก จากการพิจารณาค่า pK_a พบว่า ค่า

pK_a ของกรดอะซิติกมีค่าเดียวคือมีค่า 4.76 แต่กรดซิตริกมีค่า pK_a 3 ค่า ได้แก่ 3.13 4.76 และ 6.40 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า pK_a ที่มีหลายค่าของกรดซิตริก บ่งบอกว่า กรดชนิดนั้นมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาคีเลชัน ซึ่งเป็นการแตกตัวเพื่อจับกับแคลเซียมในแร่ธาตุของฟันได้ดีกว่ากรดที่มีค่า pK_a เพียงค่าเดียว เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาคีเลชันได้ 3 ครั้งจากการแตกตัวของกรด

ผิวเคลือบฟันมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยไฮดรอกซีอะพาไทท์ หลังจากสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะเกิดปฏิกิริยา 2 กระบวนการ (20) ได้แก่ กระบวนการที่ 1 คือ สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดแตกตัวและให้ไฮโดรเจนไอออน ซึ่งไปจับการหมู่ฟอสเฟตหรือคาร์บอกซิเลตในโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทท์ และกระบวนการที่ 2 ส่วนที่เหลือจากการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออนจะเกิดเป็นแอนไอออน (anions) ที่สามารถเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนทางเคมีกับแคลเซียมซึ่งเรียกว่าสารคีเลต (chelating agent) ทำการจับกับแคลเซียมไอออนของฟัน ผ่านกระบวนการคีเลชัน (chelation) ทั้ง 2 กระบวนการทำให้เกิดการนํ้าลดลงของผิวเคลือบฟันซึ่งง่ายต่อการขจัดจากการแปรง กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หลังจากสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (26,28) ทำให้เกิดการเสื่อมลงของชั้นโพลีซัลท์อเมริกันซ์และเกิดการหลุดออกของกลาสคอร์ออกจากชั้นซิลิเกตไฮโดรเจล นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งผิวของเซรามิก หลังจากผ่าน Erosion-abrasion:A และ Erosion-abrasion:B แล้ว มีแนวโน้มลดลงมากกว่ากลุ่มเรซินคอมโพสิต ทั้งนี้เนื่องจาก เซรามิกที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเซรามิกชนิดเฟลสปาติก ซึ่งเป็นชนิดที่มีวัฏภาคผลึกแก้วโดดเด่น ซึ่งวัฏภาคแก้วในเซรามิกได้จากเฟลสปา ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียวัฏภาคแก้วของเซรามิกจากการสูญเสียอัลคาไลน์ไอออนแลกเปลี่ยนกับไฮโดรเจนไอออนและไฮโดรเนียมไอออนจากการแตกตัวของกรดได้ง่ายกว่าเรซินคอมโพสิตที่เกิดการเสื่อมของเรซินเมทริกซ์ที่เป็นร่างแหโพลิเมอร์และรอยต่อระหว่างเรซินเมทริกซ์และฟิลเลอร์ ในหลายการทดลองศึกษาผลของเครื่องคัมหลายชนิดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ เครื่องคัมที่มี/ไม่มีแอลกอฮอล์ (2,45-48) เครื่องคัมเกลือแร่ที่ให้พลังงาน (49,50) เครื่องคัมคาร์บอนเนต (24,51) น้ำผลไม้ (2) อาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด (52) เป็นต้น ให้ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ในสารละลายกรด จะทำให้ค่าความแข็งผิวลดลง และค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของผิวเคลือบฟันต่อระยะเวลาในการแช่ในสารละลายกรด พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่นานขึ้น จะทำให้น้ำหนักที่หายไปเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับค่าพีเอช องค์ประกอบของแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียมและฟอสเฟตในสารละลายกรด ความเป็นกรดจากการไทเทรต (titrable acidity) ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุบูรณะที่ใช้ในการทดลอง ระยะเวลาในการแช่สารละลายที่เป็นกรด เมื่อทดสอบโดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ชิ้นงานผิวเคลือบฟันในกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียมแล้วตามด้วยการ

แปร่งฟัน และกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูแล้วตามด้วยการแปร่งฟันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริซึมคอร์ (prism core) คือ มีการละลายของปริซึมคอร์อย่างเห็นได้ชัดที่กำลังขยาย 1500 เท่า และจะเห็นความแตกต่างของทั้งสองกลุ่มได้ชัดเจนที่กำลังขยาย 5000 เท่า โดยกลุ่มที่มีการละลายของปริซึมคอร์ที่มากกว่าคือ กลุ่มน้ำมะนาวเทียมเนื่องจากมีค่าพีเอชที่ต่ำกว่า ในกลุ่มกลาส ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ก็ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับกลุ่มผิวเคลือบฟัน คือ ค่าความแข็งผิวมีแนวโน้มลดลง ทั้งในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม โดยใน Erosion-abrasion:B ของกลุ่มที่แช่น้ำมะนาวเทียม ไม่สามารถวัดค่าความแข็งผิวได้ เนื่องจากพื้นผิวของวัสดุบูรณะถูกทำลายไปมากจนเครื่องมือไม่สามารถวัดค่าได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Hengtrakool C และคณะในปี 2011(1) ที่ศึกษาผลของน้ำผลไม้รสเปรี้ยว ได้แก่ น้ำมะม่วงเบาและน้ำสับปะรดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งผิว เมื่อผ่านการแช่ในน้ำผลไม้รสเปรี้ยวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 1, 2, 3, 4 และ 7 วัน พบว่า ในกลุ่ม Ketac Silver Aplicap ที่แช่ในน้ำมะม่วงเบาที่มีค่าพีเอช 2.56 เมื่อแช่ผ่านไป 2 วัน พบว่าวัสดุนี้ลงจนไม่สามารถวัดค่าความแข็งผิวได้ และค่าเฉลี่ยความหยาบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการหลุดออกของอนุภาคกลาส หลังจากการสัมผัสสารละลายกรดร่วมกับการแปร่ง เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีการทำลายพื้นผิวของชิ้นงานจากการหลุดออกของอนุภาคกลาส จากชั้นซิลิเกตไฮโดรเจล เนื่องจากการละลายของชั้นเมทริกซ์จากการสัมผัสกับสารละลายกรด โดยสารละลายกรดยังมีค่าพีเอชต่ำยิ่งทำให้เกิดการหลุดออกของอนุภาคกลาสมากขึ้นจากการถูกทำลายของชั้นเมทริกซ์ กลุ่มเรซิน คอมโพสิต พบว่า ค่าความแข็งผิวมีแนวโน้มลดลง ใน Erosion-abrasion:B ในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม และมีความแตกต่างของค่าความแข็งผิวเมื่อเปรียบเทียบจากทั้ง 2 สารละลาย สอดคล้องกับการทดลองของ Wongkhantee S และคณะในปี 2005 (52) ที่ศึกษาผลของอาหารรสเปรี้ยวและเครื่องดื่มน้ำที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (น้ำโคล่า น้ำส้ม และเครื่องดื่มเกลือแร่) มีค่าพีเอช 2.74 ถึง 4.2 โดยการแช่ในอาหารและเครื่องดื่มเป็นเวลา 5 วินาที สลับกับการแช่ในน้ำลายเทียม 5 วินาที เป็นเวลา 10 รอบต่อค่าความแข็งผิวที่เปลี่ยนไป พบว่าผิวเคลือบฟัน เนื้อฟัน เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ และเรซิน มอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในกลุ่มที่แช่น้ำโคล่า มีค่าความแข็งผิวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อวัดค่าความหยาบผิวในทั้งสองกลุ่มของสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด เมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเห็นการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตเพียงเล็กน้อย โดยพบร่องรอยการแปร่งฟันบนผิวหน้าของชิ้นงาน ที่กำลังขยาย 5000 เท่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากชนิดของฟิลเลอร์ของเรซิน คอมโพสิตที่ใช้ในการทดลองนี้เป็น นาโนฟิลล์ ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยอาจจะมีการหลุดออกของอนุภาคฟิลเลอร์แต่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่กำลังขยาย 5000 เท่า แต่จะเห็นว่ามีย่องรอยการแปร่งปรากฏให้เห็น แสดงว่ามีการ

อ่อนลงของชั้นเมทริกซ์จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าของเรซินคอมโพสิต ซึ่งการทดลองของ de Alenclar E และคณะในปี 2014(53) ศึกษาการเปลี่ยนสีและค่าความหยาบผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์และนาโนไฮบริด หลังจากแช่ในน้ำอาซาอี น้ำองุ่น และไวน์แดง มีค่าพีเอชตั้งแต่ 3.7 ถึง 4 พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิลล์มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นหลังจากแช่ในไวน์แดง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ กลุ่มเซรามิก พบว่าค่าความแข็งผิวมีแนวโน้มลดลงใน

Erosion-abrasion:A แต่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อวัดค่าที่ Erosion-abrasion:B และพบว่ามีความแตกต่างของค่าความแข็งผิวระหว่างสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด 2 ชนิด ค่าความหยาบผิวก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลงใน Erosion-abrasion:A แต่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อวัดค่าใน Erosion-abrasion:B และไม่มี ความแตกต่างของค่าความหยาบผิวระหว่างสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดทั้ง 2 ชนิด เมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีการทำลายของพื้นผิวของชิ้นงานทั้งในกลุ่มที่แช่น้ำส้มสายชูและแช่น้ำมะนาวเทียม แต่ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า มีการหลุดออกของเฟสคริสตัลไลน์จากการสูญเสียอัลคาไลน์ ไอออนแลกเปลี่ยนกับไฮโดรเจนและ/หรือไฮโดรเนียมไอออนจากกรดเมื่อสัมผัสกับสารละลายกรดร่วมกับการแปรงฟัน โดยจะเห็นได้ชัดเจนที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการทดลองนี้ใช้เครื่องมือในการวัดหลายชนิด และค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกัน ขึ้นกับคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิด เครื่องมือแต่ละชนิดมีความไวต่อการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือหลายชนิดร่วมกันในการตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและแม่นยำต่อการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการจำลองสถานการณ์การกัดกร่อนและการสึกเหตุขัดถูร่วมกันในห้องปฏิบัติการจึงเป็นการยากที่จะเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก เนื่องจากภายในช่องปากประกอบด้วยสิ่งแวดล้อมที่สลับซับซ้อน รวมทั้งมีผลของน้ำลาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายและความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุต่อผิวฟันจากแร่ธาตุในน้ำลาย จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีหลายการทดลองที่พยายามจำลองสภาวะความเป็นกรด โดยการใส่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่แตกต่างกัน เวลาในการแช่สารละลายที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ องค์ประกอบของแร่ธาตุที่อยู่ภายในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดเองก็มีผลต่อการกัดกร่อนจากสารละลายเช่นเดียวกัน ทำให้ในแต่ละการทดลอง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงมีความแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. การทดลองนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่สามารถเลียนแบบสภาพช่องปากและควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้สมบูรณ์ เช่น ผลจากน้ำลายในช่องปากที่มีผลต่อกระบวนการละลายของกรด ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำลาย ความสามารถในการคืนกลับของแร่ธาตุ ระยะเวลาในการสัมผัสกรด ปริมาณของกรดที่อยู่ในช่องปาก รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปร่งฟัน ได้แก่ ระยะเวลาในการแปร่ง ชนิดของขนแปรง แรงที่ใช้ในการแปร่ง ลักษณะการเคลื่อนที่ของขนแปรงที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคล ชนิดของยาสีฟันที่ใช้ซึ่งประกอบด้วยผงขัดที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามยี่ห้อของยาสีฟัน ซึ่งจะส่งผลต่อการสึกเหตุขัดถูจากการแปร่งฟันด้วย เช่นกัน การศึกษาในขั้นถัดไป จึงควรศึกษาผลของน้ำลายที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการละลายของกรด ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และการคืนกลับของแร่ธาตุ ซึ่งเกี่ยวข้องกับแร่ธาตุและสารประกอบที่อยู่ในน้ำลาย
2. จากการทดลองจะเห็นว่า การแปร่งฟันทันทีหลังสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้ผิวเคลือบฟันเกิดการสึกกร่อนมากที่สุด การศึกษาในขั้นถัดไปจึงเป็นการศึกษาถึงระยะเวลาที่เหมาะสมหลังจากการรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดก่อนการแปร่งฟัน เพื่อให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุจากน้ำลายภายหลังจากการสูญเสียแร่ธาตุจากการสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากการรับประทานอาหาร บางการศึกษาที่แนะนำให้แปร่งฟันหลังรับประทานอาหารไปแล้วอย่างน้อย 30-60 นาที เพื่อลดการสูญเสียผิวเคลือบฟันจากการแปร่งฟันหลังสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (54) และเพื่อให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุจากน้ำลายภายหลังจากการสูญเสียแร่ธาตุเนื่องจากการสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (55,56) นอกจากนี้ บางการศึกษาแนะนำให้เลื่อนการแปร่งฟันหลังสัมผัสสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกไป เฉพาะในผู้ป่วยที่มีปัญหาฟันสึก (erosive tooth wear) เท่านั้น (57)

บทที่ 5

บทสรุป

จากการศึกษาเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน หลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน สามารถสรุปได้ว่า

1. ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะพื้นฐานและองค์ประกอบ ได้แก่ ค่าความแข็งผิวเริ่มต้น ลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน จึงเป็นการยากที่จะนำวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาเปรียบเทียบกันในสถานการณ์จำลองที่เหมือนกัน การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดจึงควรเปรียบเทียบข้อมูลก่อนทำและหลังทำเป็นหลัก
2. ค่าความแข็งผิวหลังจากผ่านกระบวนการแช่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม) แล้วตามด้วยการแปรง พบว่า ผิวเคลือบฟันมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (48.92, 56.65) รองลงมาคือ กลาสไอโอไอโนเมอร์ซีเมนต์ (48.74) เซรามิก (23.13, 44.19) และ เรซินคอมโพสิต (4.41, 12.69) ตามลำดับ (มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)
3. ค่าความหยาบผิวทั้ง 2 พารามิเตอร์ (Ra, Rz) หลังจากผ่านกระบวนการแช่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (น้ำส้มสายชูและน้ำมะนาวเทียม) แล้วตามด้วยการแปรงมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ในกลุ่มผิวเคลือบฟันและกลาสไอโอไอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่แช่สารละลายทั้ง 2 ชนิด พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ Erosion-abrasion:A และลดลงอย่างต่อเนื่องใน Erosion-abrasion:B ในขณะที่เซรามิกและเรซินคอมโพสิต พบการเปลี่ยนแปลงที่ Erosion-abrasion:B
4. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันทุกชนิดสอดคล้องกับผลการวัดค่าความแข็งผิวและความหยาบผิว
5. ผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟันทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดแล้วตามด้วยการแปรงฟัน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอาจต้องใช้เครื่องมือหลายชนิดร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง

1. Hengtrakool C, Kukiattrakoon B, Kedjarune-Leggat U. Effect of naturally acidic agents on microhardness and surface micromorphology of restorative materials. *Eur J Dent* 2011 Jan;5(1):89–100.
2. Larsen MJ, Nyvad B. Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999;33(1):81–7.
3. Teruel J de D, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJO. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol* 2015 May;60(5):768–75.
4. Featherstone JD. The science and practice of caries prevention. *J Am Dent Assoc* 1939. 2000 Jul;131(7):887–99.
5. Calcium Phosphates in Enamel, Dentin and Bone. In: Monographs in Oral Science [Internet]. S. Karger AG; 1991 [cited 2018 Oct 10]. p. 108–29. Available from: <https://www.karger.com/Article/FullText/419238>
6. Featherstone JD, Shields CP, Khademazad B, Oldershaw MD. Acid reactivity of carbonated apatites with strontium and fluoride substitutions. *J Dent Res* 1983 Oct;62(10):1049–53.
7. Featherstone JD, Mayer I, Driessens FC, Verbeeck RM, Heijligers HJ. Synthetic apatites containing Na, Mg, and CO₃ and their comparison with tooth enamel mineral. *Calcif Tissue Int* 1983;35(2):169–71.
8. Wilson AD. Glass-ionomer cement origins, development and future. *Clin Mater* 1991 Jan;7(4):275–82.
9. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J* 1972 Feb 15;132(4):133–5.

10. ISO 9917-1: Dental Water Based Cement; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2003.
11. Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J Funct Biomater* 2016 Jun 28;7(3).
12. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J* 2013 Jul;10(4):411–20.
13. Klapdohr S, Moszner N. New Inorganic Components for Dental Filling Composites. *Monatshefte Fr Chem - Chem Mon.* 2005 Jan;136(1):21–45.
14. Chen M-H. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res* 2010 Jun;89(6):549–60.
15. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater* 2011 Jan;27(1):29–38.
16. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci* 1997 Apr;105(2):97–116.
17. Stansbury JW. Curing dental resins and composites by photopolymerization. *J Esthet Dent* 2000;12(6):300–8.
18. Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc* 1939. 1994 Jun;125(6):687–701.
19. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NRFA, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont* 2015 Jun;28(3):227–35.
20. Featherstone JDB, Lussi A. Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci* 2006;20:66–76.
21. von Fraunhofer JA, Rogers MM. Dissolution of dental enamel in soft drinks. *Gen Dent* 2004 Aug;52(4):308–12.

22. de Carvalho Sales-Peres SH, Magalhães AC, de Andrade Moreira Machado MA, Buzalaf MAR. Evaluation of the erosive potential of soft drinks. *Eur J Dent* 2007 Jan;1(1):10–3.
23. Zanatta RF, Esper MÁLR, Valera MC, Melo RM, Bresciani E. Harmful Effect of Beer on Bovine Enamel Microhardness – In Vitro Study. Rodella LF, editor. PLOS ONE. 2016 Oct 19;11(10):e0163440.
24. Kitchens M, Owens BM. Effect of carbonated beverages, coffee, sports and high energy drinks, and bottled water on the in vitro erosion characteristics of dental enamel. *J Clin Pediatr Dent* 2007;31(3):153–9.
25. Carvalho FG, Sampaio CS, Fucio SBP, Carlo HL, Correr-Sobrinho L, Puppim-Rontani RM. Effect of chemical and mechanical degradation on surface roughness of three glass ionomers and a nanofilled resin composite. *Oper Dent* 2012 Oct;37(5):509–17.
26. Hotta M, Hirukawa H, Aono M. The effect of glaze on restorative glass-ionomer cements: evaluation of environmental durability in lactic acid solution. *J Oral Rehabil* 1995 Sep;22(9):685–9.
27. McKinney JE, Wu W. Chemical softening and wear of dental composites. *J Dent Res* 1985 Nov;64(11):1326–31.
28. Geurtsen W. Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements. *Eur J Oral Sci* 1998 Apr;106(2 Pt 2):687–95.
29. Anusavice KJ. Degradability of dental ceramics. *Adv Dent Res* 1992 Sep;6:82–9.
30. [http://www.gcaustralasia.com/Products/1 / Glass-Ionomer/GC-Fuji-BULK](http://www.gcaustralasia.com/Products/1/Glass-Ionomer/GC-Fuji-BULK). Fuji BULK Rapid,Rebust, Remarkable.
31. Grippo JO, Simring M, Schreiner S. Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions. *J Am Dent Assoc* 1939. 2004 Aug;135(8):1109-1118; quiz 1163-1165.

32. Kumar S, Kumar Singh S, Gupta A, Roy S, Sareen M, Khajuria S. A Profilometric Study to Assess the Role of Toothbrush and Toothpaste in Abrasion Process. *J Dent Shiraz Iran* 2015 Sep;16(3 Suppl):267–73.
33. Momoi Y, Hirosaki K, Kohno A, McCabe JF. In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of resin-modified glass ionomers. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater* 1997 Mar;13(2):82–8.
34. Al Khuraif AAA. An in vitro evaluation of wear and surface roughness of particulate filler composite resin after tooth brushing. *Acta Odontol Scand* 2014 Nov;72(8):977–83.
35. Garza LA, Thompson G, Cho S-H, Berzins DW. Effect of toothbrushing on shade and surface roughness of extrinsically stained pressable ceramics. *J Prosthet Dent* 2016 Apr;115(4):489–94.
36. Yu H, Wegehaupt FJ, Wiegand A, Roos M, Attin T, Buchalla W. Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel. *J Dent* 2009 Dec;37(12):913–22.
37. Kaur S, Makkar S, Kumar R, Pasricha S, Gupta P. Comparative evaluation of surface properties of enamel and different esthetic restorative materials under erosive and abrasive challenges: An in vitro study. *Indian J Dent* 2015 Dec;6(4):172–80.
38. Imfeld T. Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 1996 Apr;104(2 (Pt 2)):151–5.
39. Lussi A, Jaeggi T. Erosion--diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig* 2008 Mar;12 Suppl 1:S5-13.
40. Lussi A, editor. Dental Erosion: From Diagnosis to Therapy [Internet]. S. Karger AG; 2006 [cited 2018 Oct 16]. (Monographs in Oral Science; vol. 20). Available from: <http://www.karger.com/Book/Home/231844>
41. Nunn JH, Gordon PH, Morris AJ, Pine CM, Walker A. Dental erosion -- changing prevalence? A review of British National childrens' surveys. *Int J Paediatr Dent* 2003 Mar;13(2):98–105.

42. Dugmore CR, Rock WP. The progression of tooth erosion in a cohort of adolescents of mixed ethnicity. *Int J Paediatr Dent* 2003 Sep;13(5):295–303.
43. Lussi A, Schaffner M. Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period. *Caries Res* 2000 Apr;34(2):182–7.
44. Goldstein GR, Lerner T. The effect of toothbrushing on a hybrid composite resin. *J Prosthet Dent* 1991 Oct;66(4):498–500.
45. von Fraunhofer JA, Rogers MM. Dissolution of dental enamel in soft drinks. *Gen Dent* 2004 Aug;52(4):308–12.
46. de Carvalho Sales-Peres SH, Magalhães AC, de Andrade Moreira Machado MA, Buzalaf MAR. Evaluation of the erosive potential of soft drinks. *Eur J Dent* 2007 Jan;1(1):10–3.
47. Zanatta RF, Esper MÂLR, Valera MC, Melo RM, Bresciani E. Harmful Effect of Beer on Bovine Enamel Microhardness - In Vitro Study. *Plos One*. 2016;11(10):e0163440.
48. Bansal K, Acharya SR, Saraswathi V. Effect of alcoholic and non-alcoholic beverages on color stability and surface roughness of resin composites: An in vitro study. *J Conserv Dent* 2012 Jul;15(3):283–8.
49. de Melo MAS, Passos VF, Lima JPM, Santiago SL, Rodrigues LKA. Carbohydrate-electrolyte drinks exhibit risks for human enamel surface loss. *Restor Dent Endod* 2016 Nov;41(4):246–54.
50. Cochrane NJ, Yuan Y, Walker GD, Shen P, Chang CH, Reynolds C, et al. Erosive potential of sports beverages. *Aust Dent J* 2012 Sep;57(3):359–364; quiz 398.
51. al-Hiyasat AS, Saunders WP, Sharkey SW, Smith GM. The effect of a carbonated beverage on the wear of human enamel and dental ceramics. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont* 1998 Mar;7(1):2–12.
52. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, Tantbirojn D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. *J Dent* 2006 Mar;34(3):214–20.

53. de Alencar E Silva Leite ML, da Cunha Medeiros E Silva FDS, Meireles SS, Duarte RM, Andrade AKM. The effect of drinks on color stability and surface roughness of nanocomposites. *Eur J Dent* 2014 Jul;8(3):330–6.
54. Tsuda Y, Kitasako Y, Sadr A, Nakashima S, Tagami J. Effects of brushing timing after erosive challenge on enamel loss in situ: White light interferometer and nanoindentation study. *Dent Mater J* 2016;35(4):613–20.
55. Jaeggi T, Lussi A. Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. *Caries Res* 1999 Dec;33(6):455–61.
56. Attin T, Knöfel S, Buchalla W, Tütüncü R. In situ evaluation of different remineralization periods to decrease brushing abrasion of demineralized enamel. *Caries Res* 2001 Jun;35(3):216–22.
57. Lussi A, Lussi J, Carvalho TS, Cvikl B. Toothbrushing after an erosive attack: will waiting avoid tooth wear? *Eur J Oral Sci* 2014 Oct;122(5):353–9.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา



1. เครื่องจำลองการแปร่งฟันอย่างง่าย เป็นเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง
2. แบบซิลิโคน (silicone mold) สำหรับทำบล็อกเรซินอะคริลิก
3. เครื่องฉายแสง ยี่ห้อ Demi™Plus Dental curing light บริษัทผู้ผลิต SDS KERR CO.,Ltd, USA
4. เครื่องปั่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดแคปซูล ยี่ห้อ Capsule Mixer CM-II™ บริษัทผู้ผลิต GC America, USA
5. เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Low speed cutting machine) ยี่ห้อ Buehler รุ่น ISOMET 4000 บริษัทผู้ผลิต Buehler Ltd., USA
6. เครื่องฝนให้บางและขัดให้เรียบ (Grinding and polishing machine) ยี่ห้อ JeanWirtz รุ่น Phoenix 4000 ชนิดงานขัดเดี่ยว บริษัทผู้ผลิต Wirtz-Buehler GmbH, Germany
7. เครื่องวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาค (Surface microhardness tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 บริษัทผู้ผลิต Mitutoyo Corporation, Japan
8. เครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer) ยี่ห้อ Kasaka Lab รุ่น Surfcoorder SE-2300 บริษัทผู้ผลิต Kasaka Lab Inc., Japan
9. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดค่า (pH meter) ยี่ห้อ Orion model EA 520A บริษัทผู้ผลิต Orion Research Incorporated, USA
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400 (SEM-Quanta) บริษัทผู้ผลิต FEI company, USA

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. คอนเวนชันนอลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ชนิดแคปซูล ยี่ห้อ Fuji® BULK Shade : Universal LOT No.1706221 บริษัทผู้ผลิต GC Australian Dental Pty.Ltd, Australia
2. เรซินคอมโพสิต ชนิดนาโนฟิลล์ ยี่ห้อ Filtek™ Z350XT Shade A3b LOT No. N876524 บริษัทผู้ผลิต 3M ESPE, USA
3. เซรามิกชนิดเฟลสปาดิก ยี่ห้อ Vitablocs® Mark II Shade 2M2C LOT No. 59000 บริษัทผู้ผลิต VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Germany

ภาคผนวก (ต่อ)

เอกสารรับรองความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมในการวิจัย

<p>ที่ ศธ 0521.1.03/ 1055</p>		<p>คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 15 ถนนกาญจนวนิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110</p>
<p>หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อรับรองว่า</p>		
<p>โครงการวิจัยเรื่อง</p>	<p>การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและความแข็งผิวของวัสดุบูรณะฟันและผิวเคลือบฟันหลังจากสัมผัสกับสภาวะความเป็นกรดและการแปรงฟัน</p>	
<p>รหัสโครงการ</p>	<p>EC6008-28-P-LR</p>	
<p>หัวหน้าโครงการ</p>	<p>รองศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.ชโยทัย เสงตระกุล</p>	
<p>ผู้ร่วมวิจัย</p>	<p>ทพญ.สลิล ปัญจรัตนกร</p>	
<p>สังกัดหน่วยงาน</p>	<p>ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์</p>	
<p>ได้ผ่านการพิจารณาและได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมในการวิจัย (Research Ethics Committee) ซึ่งเป็นคณะกรรมการพิจารณาศึกษาการวิจัยในคนของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดำเนินการให้การรับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice (ICH-GCP)</p>		
<p>ในคราวประชุมครั้งที่ 8/2560 เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2560</p>		
<p>ให้ไว้ ณ วันที่ 13 กันยายน 2560</p>		
<p> (รองศาสตราจารย์ ดร.ทพ.ไชยรัตน์ เจลิมรัตน์โรจน์) ประธานคณะกรรมการจริยธรรมในการวิจัย</p>		

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.100 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.036

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-1.540 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.123

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-.420 ^b	-2.521 ^c	-2.521 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.674	.012	.012

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test	
	Lemon_2cycle - Lemon_before
Z	-2.524 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-1.540 ^b	-2.521 ^b	-2.243 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.123	.012	.025

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-.560 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.575	.012	.012

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-1.120 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.263

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.380 ^b	-2.521 ^b	.000 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.017	.012	1.000

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.524 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.533 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.011	.012	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.524 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Friedman Test	
N	8
Chi-Square	5.600
df	2
Asymp. Sig.	.061

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Friedman Test	
N	8
Chi-Square	.783
df	2
Asymp. Sig.	.676

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.366 ^b	-2.388 ^b	-1.859 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.018	.017	.063

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Ra) ของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.530 ^b	-2.536 ^b	-1.473 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.011	.011	.141

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มผิวเคลือบฟันที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่
แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่
แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-2.521 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.012

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่แช่ใน
น้ำส้มสายชู

Friedman Test	
N	8
Chi-Square	1.067
df	2
Asymp. Sig.	.587

ภาคผนวก (ต่อ)

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มเรซินคอม โพลีตที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Friedman Test	
N	8
Chi-Square	1.750
df	2
Asymp. Sig.	.417

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำส้มสายชู

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Vinegar_2cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_before	Vinegar_6cycle - Vinegar_2cycle
Z	-2.521 ^b	-1.680 ^b	-1.521 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.093	.128

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบผิว (Rz) ของชิ้นงานกลุ่มเซรามิกที่แช่ในน้ำมะนาวเทียม

Wilcoxon Signed Ranks Test			
	Lemon_2cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_before	Lemon_6cycle - Lemon_2cycle
Z	-2.521 ^b	-2.521 ^b	-1.263 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012	.012	.206

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสลิล ปัญจรัตน์นากร

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810820027

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ โรงพยาบาลประจวบคีรีขันธ์
อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ ปีการศึกษา 2558-2560

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ทันตแพทย์ชำนาญการ กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลประจวบคีรีขันธ์ อ.เมือง
จ.ประจวบคีรีขันธ์

การตีพิมพ์

อยู่ในช่วงกำลังดำเนินการ