

## ปริมาตรการสึกของเซรามิกและเคลือบฟันที่สบกับเซรามิกภายใต้สภาวะกรดและภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### Volume Loss of Ceramic and Enamel by Ceramic Antagonist under Various Acidic Condition and Its SEM

คุณวัฒน์ แซ่บ่าง<sup>1</sup>, ชโนทัย เฮงตระกุล<sup>1</sup>

Khanawat Saebang<sup>1</sup>, Chanothai Hengtrakool<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Conservative Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

#### บทคัดย่อ

การสึกของฟันตามธรรมชาติมักเป็นกระบวนการที่ผสมผสานจากหลายสาเหตุร่วมกัน และเป็นสิ่งที่ยากในการวัดค่าการสึกที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากได้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาตรการสึกของเคลือบฟัน และเซรามิกที่สบกับเซรามิกภายใต้สภาวะกรด และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สามของมนุษย์บนและล่าง จำนวน 60 ซี่ และเซรามิก 2 ชนิด ได้แก่ เซรามิกเอ คือเฟลสปาทิกเซรามิก (VITABLOCS® Mark II) และเซรามิกบีคือ ลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (IPS e.max® CAD) วัสดุทั้งหมดถูกนำมาทำเป็นชิ้นตัวอย่างจำนวน 18 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ก่อนการทดลองขึ้นตัวอย่างทุกกลุ่มถูกนำไปวัดค่าความแข็งผิวเพื่อใช้เป็นค่าพื้นฐาน จากนั้นสุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 2 ชิ้น เพื่อนำไปถ่ายภาพ SEM ก่อนและหลังการทดลองขึ้นตัวอย่างทั้งหมดถูกทดสอบในเครื่องจำลองการสึกทิศทางเดียวอย่างง่าย (Simple mono-directional wear simulator) โดยใช้เซรามิกเอหรือเซรามิกบีเป็นคู่สบ โดยคู่สบนี้มีรูปทรงเป็นปริซึมฐานสามเหลี่ยม การทดสอบดังกล่าวใช้ระยะเวลาในการทดลอง 30 นาที ภายใต้สารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมะนาวเทียม (pH = 1.8) และน้ำส้มสายชู (pH = 2.6) โดยมีน้ำปราศจากไอออน (pH = 6.1) เป็นกลุ่มควบคุม หลังสิ้นสุดการทดลองรอยสึกรูปลิ้มบนขึ้นตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาวัดค่าความกว้าง ความยาว และความลึกของรอยสึก (มม.) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะ เพื่อคำนวณหาปริมาตรการสึก (ลบ.มม.) ค่าที่วัดได้ถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบครัสคัล-วัลลิส และการเปรียบเทียบพหุคูณ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ผลการทดลองพบว่าเคลือบฟันมีปริมาตรการสึกมากกว่าเซรามิกในทุก ๆ สารทดสอบ เคลือบฟันที่สบกับเซรามิกทั้งสองชนิดในสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีปริมาตรการสึกมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบปริมาตรการสึกสูงสุดในน้ำมะนาวเทียม ในกลุ่มเซรามิกพบการสึกเพียงเล็กน้อย และมีค่าปริมาตรการสึกที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ สารทดสอบ ภาพ SEM แสดงให้เห็นรอยสึกในระดับที่แตกต่างกันในแต่ละวัสดุอย่างชัดเจน โดยมีลักษณะการสึกเป็นร่องแนวยาวในทิศทางการเคลื่อนที่ของคู่สบ การศึกษานี้นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่าคู่สบเป็นเซรามิกก่อให้เกิดปริมาตรการสึกบนเคลือบฟันมากกว่าเซรามิกในทุก ๆ สารทดสอบ และเคลือบฟันในสภาวะ erosion-attrition มีปริมาตรการสึกมากกว่าสภาวะ attrition เพียงอย่างเดียว

**คำสำคัญ:** การสึกกร่อน, การสึกของเซรามิก, การสึกกร่อนร่วมกับการสึกเหตุสุดเฉียบ, คู่สบ, ฟันสึก

#### Abstract

The aim of this study was to measure volume loss of enamel and ceramic by the ceramic antagonists under acidic conditions and its SEM. Flat surface of ceramic and human enamel specimens were prepared with testing area 5x7 mm<sup>2</sup>. Triangular prism shape of ceramic antagonists were prepared using either a Feldspathic ceramic (A) or Lithium-disilicate ceramic (B). Simple mono-directional wear simulator was used in this study and set speed at 150

cycle/min with loading weigh 150 g. Two acidic solutions were commercial lemon juice (pH 1.8) and vinegar (pH 2.6) while deionized water (pH 6.1) was use as negative control. Erosion-attrition testing was run 30 mins for each group. After erosion-attrition cycle, wear scar with wedge shape on each specimen was assessed width, length and depth by measuring microscope. These values were calculated to volume loss of materials. Amounts of volume loss statistically analyzed by Kruskal-Wallis test and Multiple comparison between treatment ( $p < 0.05$ ). Result have showed that enamel loss by ceramic antagonist was significantly highest for both acidic solution (antagonist-A; lemon  $0.65 \pm 0.44 \text{ mm}^2 =$  vinegar  $0.44 \pm 0.28 \text{ mm}^2 >$  DW  $0.33 \pm \text{mm}^2$ , antagonist-B; lemon juice  $0.89 \pm 0.87 \text{ mm}^2 >$  vinegar  $0.29 \pm 0.13 \text{ mm}^2 >$  DW  $0.13 \pm 0.07 \text{ mm}^2$ ). Volume loss of enamel is significantly greater than ceramic in all condition. It was small amount of wear in both ceramic groups. SEM show longitudinal scratch along the direction of antagonist. In conclusion the amount of volume loss of enamel was greater than volume loss of ceramic in all solution. Erosion-attrition condition were could provide alteration of enamel more than attrition condition only.

**Keywords:** Erosion, Ceramic wear, Erosion-attrition, Antagonist, Tooth wear

Received Date: Jun 18, 2020

Revised Date: Jul 9, 2020

Accepted Date: Aug 18, 2020

doi: 10.14456/jdat.2021.16

#### ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ชโนทัย เสงตระกุล ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112 ประเทศไทย โทร: 074287571 อีเมล: chanothai.h@psu.ac.th

#### Correspondence to:

Chanothai Hengtrakool Department of Conservative Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Songkhla 90112 Thailand. Tel. 074287571 E-mail: chanothai.h@psu.ac.th

## บทนำ

ฟันสึกเป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน มักเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ร่วมกัน ได้แก่ การสึกกร่อน (erosion) การสึกจากการขัดถู (abrasion) การสึกหลุดบดเคี้ยว (attrition) และ การสึกแอบแฟรคชัน (abfraction) โดยอัตราการสึกเฉลี่ยบนด้านบดเคี้ยวของฟันกรามเกิดขึ้นประมาณ 29 ไมครอนต่อปี และในฟันกรามน้อยประมาณ 15 ไมครอนต่อปี<sup>1</sup> Van't Spijker และคณะ ในปี 2009 ได้สรุปว่า พบผู้ป่วยที่มีฟันสึกอย่างรุนแรงในอายุ 20 ปี เป็นร้อยละ 3 และอายุ 70 ปีเป็นร้อยละ 17<sup>2</sup> โดยพบว่าหากอัตราการสูญเสียเนื้อฟันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ก็จะกลายเป็นพยาธิสภาพ จนก่อนให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ อาการเสียวฟัน ผลกระทบด้านความสวยงาม การสูญเสียมิติตั้งในการบดเคี้ยว การสูญเสียเสถียรภาพการสบฟัน บริเวณฟันหลัง (posterior occlusal stability)<sup>3</sup> ทั้งหมดนี้นำไปสู่ความล้มเหลวเชิงกลของฟัน และวัสดุบูรณะได้

การสึกของฟันในช่องปากตามธรรมชาติมักเกิดขึ้นแบบผสมผสานโดยปกติเมื่อเคี้ยวอาหารไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ความหยาบของอาหารจะทำให้เกิดฟันสึกแบบ abrasion phase จนเมื่อก่อนอาหารหายไป และเหลือการสัมผัสกันระหว่างฟันคู่สบจะเกิดการ

สึกแบบ attrition phase หากบริโภคอาหาร และเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดมากขึ้น จะเปลี่ยน attrition phase ให้กลายเป็นสภาวะ erosion-attrition ซึ่งหากมีปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ภาวะกรดไหลย้อน การนอนกัดฟัน การอาเจียนแบบเรื้อรัง ก็จะมีผลให้เกิดสภาวะ erosion-attrition เพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการศึกษาเรื่อง attrition-erosion ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะการศึกษาเรื่องการสึกของฟันในช่องปากจริงสามารถทำได้ยาก รวมถึงการศึกษาเรื่องการสึกให้ห้องปฏิบัติการยังมีข้อมูลที่ไม่ชัดเจน จากศึกษาของ Eisenburger และ Addy ในปี 2002 พบว่าการสึกระหว่างเคลือบฟันต่อเคลือบฟันภายใต้สภาวะกรดจะลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะที่เป็นกลาง โดยการหล่อลิ้นด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถป้องกันการพัฒนาจากการสึกแบบ 2 body ไปสู่การสึกแบบ 3 body ซึ่งเป็นผลให้การสึกโดยรวมลดลง<sup>4</sup> ในทางกลับกัน Zheng และคณะ ในปี 2011 พบว่าเมื่อมีการหล่อลิ้นด้วยสารที่เป็นมีฤทธิ์เป็นกรด จะทำให้เกิดการสึกเพิ่มขึ้น โดยกลไกการสึก และผลของสภาวะที่เป็นกรดต่อการสึกของเคลือบฟันยังเป็นสิ่งที่โต้แย้งกัน<sup>5</sup>

เซรามิก (Ceramic) เป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการด้านทันตกรรมเพื่อความสวยงาม ในประเทศอเมริกา ปี ค.ศ.1990 ประมาณการว่าทันตแพทย์เอกชนมีการใส่ครอบฟัน 35 ล้านซี่ให้ผู้ป่วย โดยพบว่าครอบฟันนั้นมีเซรามิกเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 716 เซรามิกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่น คือ มีสี และสมบัติทางแสงที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ มีความแข็งแรงสูง อัตราการสึกต่ำ และทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีได้สูง เมื่อเทียบกับวัสดุบูรณะชนิดอื่น แต่มีข้อด้อยคือ เป็นวัสดุที่มีความเปราะ<sup>7</sup> ถึงแม้ว่าเซรามิกจะมีความแข็งผิวที่สูงแต่ก็มีการสึกได้ โดยการสึกของเซรามิกเกิดจากการแตกหักเนื่องจากความเปราะของวัสดุ รวมถึงเซรามิกเองก็อาจทำให้เกิดฟันสึกได้โดยมีหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง อันได้แก่ ความแข็งผิว (surface hardness) ความต้านทานต่อแรงเสียดทาน (resistance to friction) ความพรุน (porosity) และความหยาบผิว (surface roughness)<sup>8</sup>

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปริมาตรการสึกของเซรามิกและเคลือบฟัน หลังผ่านแบบจำลองฟันคู่สบเซรามิก ที่มีการเคลื่อนตัวในแนวราบ ภายใต้สภาวะกรด โดยมีสมมติฐานว่าปริมาตรการสึกของเซรามิก และเคลือบฟัน หลังผ่านแบบจำลองฟันคู่สบเซรามิกที่มีการเคลื่อนตัวในแนวราบ ภายใต้สภาวะกรด ไม่แตกต่างกัน

## วัสดุอุปกรณ์ และ วิธีการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมชิ้นตัวอย่าง การจำลองสภาวะ erosion-attrition และการวัดค่าปริมาตรการสึก รวมถึงการตรวจสอบสภาพพื้นผิวรอยสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** แสดงรายละเอียดของเซรามิกที่ใช้ในการวิจัย

**Table 1** Information of ceramic material in this study

Material	type	Manufacturer	Lot No.	shade	Average Particle Size, $\mu\text{m}$
VITABLOCS <sup>®</sup> Mark II	Feldspathic ceramic	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH&Co. KG	LOT 59621	2M2C	4 $\mu\text{m}$
IPS e.max <sup>®</sup> CAD	Lithium-disilicate ceramic	Ivoclar vivadent, Schaan, Liechtenstein	LOT Y25091	LT A3	0.2-1 $\mu\text{m}$

ชิ้นตัวอย่างทั้งหมดถูกเตรียม และแบ่งเป็นกลุ่มการทดลอง 18 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซีน โดยกำหนดให้กลุ่มที่ 1-6 เป็นชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน กลุ่มที่ 7-12 เป็นชิ้นตัวอย่างเซรามิกเอ

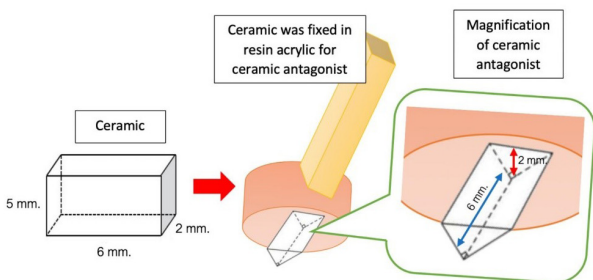
## การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน ถูกเตรียมจากฟันกรามใหญ่ซี่ที่สามของมนุษย์บน และล่าง (รหัสโครงการผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมในการวิจัย : EC6111-38-P-LR) จำนวน 60 ซี่ ฟันถูกยึดเข้ากับท่อพีวีซี (PVC : Polyvinyl chloride) ด้วยเรซินอะคริลิกแบบบ่มตัวเอง จากนั้นนำชิ้นฟันที่ได้ไปตัดในแนวใกล้กลางไกลกลางภายใต้ไม้น้ำเย็น ด้วยเครื่องตัดชิ้นงานชนิดละเอียด ยี่ห้อ Buehler รุ่น ISOMET 1000 ให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ชิ้นเคลือบฟันด้านใกล้แก้ม (buccal) ถูกนำมาใช้ในการทดลอง ชิ้นเคลือบฟันถูกนำมาวางในเบ้าซิลิโคน (silicone mold) จากนั้นจึงผสมเรซินอะคริลิก และเทลงในเบ้าซิลิโคน รอจนเรซินอะคริลิกแข็งตัว ชิ้นตัวอย่างที่ได้ถูกนำไปขัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (grinder polisher) ยี่ห้อ Buehler Metaserve<sup>™</sup> ร่วมกับกระดาษทรายที่มีความละเอียด 240 320 600 และ 1200 กริต หลังจากนั้นนำไปขัดด้วยผงขัดเพชร (polycrystalline diamond particles) ขนาด 1 ไมครอน จนได้ชิ้นตัวอย่างขนาด กว้าง×ยาว×สูง เป็น 25×25×2 มิลลิเมตร ชิ้นตัวอย่างเซรามิกถูกเตรียมจากเซรามิกบล็อก (ceramic block) 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1 คือ Feldspathic ceramic (เซรามิกเอ) ยี่ห้อ VITABLOCS<sup>®</sup> Mark II สี 2M2C ขนาด (block size) I12 และ ชนิด Lithium-disilicate ceramic (เซรามิกบี) ยี่ห้อ IPS e.max<sup>®</sup> CAD สี LT A3 ขนาด C14 เซรามิกบล็อกถูกนำมาตัด และขัดผิวด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน จากนั้นเซรามิกถูกนำไปทาสารเคลือบผิว และผ่านกระบวนการ crystallized และ glazing ในเตาอบเซรามิก (Programat EP 5000, Ivoclar Vivadent AG) ที่อุณหภูมิ 820-840 องศาเซลเซียส ตามวิธีการที่บริษัทกำหนด ก่อนนำไปฝังในเรซินอะคริลิก และทำการตัดแต่งจนได้ชิ้นตัวอย่างขนาดเท่ากับการเตรียมชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน

และกลุ่มที่ 13-18 เป็นชิ้นตัวอย่างเซรามิกบี ชิ้นตัวอย่างถูกสุ่มมา กลุ่มละ 1 ชิ้น เพื่อนำมาตรวจสอบสภาพพื้นผิวก่อนการทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชิ้นตัวอย่างที่เหลือถูกเก็บ

ไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดลอง ก่อนการทดลองขึ้นตัวอย่างถูกนำมากำหนดบริเวณทดสอบ (testing surface) เพื่อความสะดวก และชัดเจนในการวัดค่า โดยขึ้นตัวอย่างถูกนำมาซึบให้แห้ง ใช้น้ำยาทาเล็บยี่ห้อ Levlon® ทาบนขึ้นตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 5×7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นส่วนของผิววัสดุที่เผยผิ และสัมผัสกับสารทดสอบขณะทำการทดลอง จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างมาวัดค่าความแข็งผิวโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ส (Vickers microhardness tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 บริษัทผู้ผลิต Mitutoyo Corporation, Kanagawa, Japan โดยใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที หน่วยที่ใช้วัดเป็นกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร (Kg/mm<sup>2</sup>) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน (baseline data) ก่อนการทดลอง

ขึ้นคู้สบเซรามิกถูกเตรียมจากการนำเซรามิกบล็อกมาขัดด้วยวิธีเช่นเดียวกับการขัดขึ้นตัวอย่างเซรามิก จากนั้นเซรามิกบล็อกถูกนำมาตัดให้มีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เป็น 5×6×2 มิลลิเมตร นำขึ้นเซรามิกที่ได้มาเคลือบผิวตามวิธีที่บริษัทกำหนด หลังผ่านการเคลือบผิวขึ้นเซรามิกถูกนำมายึดเข้ากับด้ามพลาสติกด้วยเรซินอะคริลิก โดยให้ส่วนของเซรามิกโผล่พ้นเรซินอะคริลิก มีลักษณะเป็นปริซึมฐานสามเหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งมีความสูง 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



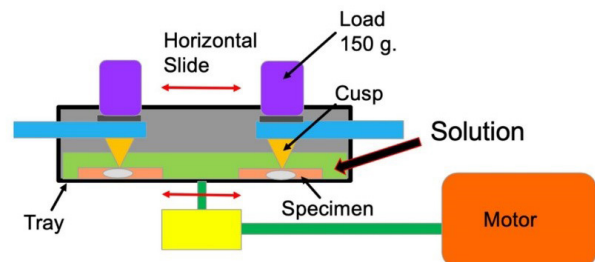
รูปที่ 1 การเตรียมและประกอบขึ้นคู้สบ  
Figure 1 Preparation and assembly of ceramic antagonist

### การจำลองสภาวะ erosion-attrition

สารทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด 2 ชนิดได้แก่ น้ำมะนาวเทียมและน้ำส้มสายชู โดยมี น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทดสอบสำหรับกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองทำการวัดและบันทึกค่าความเป็นกรด-ด่างของสารทดสอบที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Five Easy F20 ได้ผลค่าความเป็นกรดต่าง คือ น้ำมะนาวเทียม pH = 1.8 น้ำส้มสายชู pH = 2.6 และน้ำปราศจากไอออน pH = 6.1

การจำลองสภาวะ erosion-attrition ทำในเครื่องจำลองการสึกกร่อนทิศทางเดียวอย่างง่าย (simple mono-directional wear simulator) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย

ส่วนถาดยึดขึ้นตัวอย่าง ส่วนยึดขึ้นคู้สบ ส่วนมอเตอร์ และเครื่องปรับความเร็วรอบ ดังรูปที่ 2 การทดลองเริ่มขึ้นโดยการนำขึ้นตัวอย่างและขึ้นคู้สบตามกลุ่มการทดลองต่าง ๆ ประกอบเข้ากับเครื่องจำลองการสึกกร่อนทิศทางเดียวอย่างง่าย ใช้ลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 150 กรัม (15 N) กดบริเวณหัวยึดขึ้นคู้สบ ตรวจสอบแรงกด (Load) ในแต่ละคู้สบให้มีขนาดพอ ๆ กัน โดยใช้ชิมสติก (Shimstock foil) ยี่ห้อ Hanel ความหนา 8 ไมครอน สอดระหว่างขึ้นตัวอย่าง และขึ้นตัวงานคู้สบเมื่อออกแรงดึงต้องสามารถดึงชิมสติกออกมาได้โดยมีแรงฝืดและชิมสติกไม่ขาด สารทดสอบปริมาณ 100 มิลลิลิตรถูกใส่ในถาดยึดขึ้นตัวอย่างให้สารทดสอบต้องครอบคลุมขึ้นตัวอย่างทั้งหมด เมื่อเริ่มการทดลองเครื่องจำลองการสึกกร่อนทิศทางเดียวถูกเปิด โดยปรับให้มีจำนวนรอบการเคลื่อนที่ในแนวราบเป็น 150 รอบ/นาที ทำการทดสอบเป็นเวลา 30 นาที (4,500 รอบ) เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดถอดขึ้นตัวอย่าง และขึ้นคู้สบออก นำขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบมาล้างด้วยน้ำกลั่นแบบไหลผ่าน ซึบขึ้นตัวอย่างให้แห้งเพื่อนำไปวัดค่าปริมาตรการสึกต่อไป โดยเมื่อเริ่มการทดลองชุดถัดไปจะมีการเปลี่ยนขึ้นคู้สบและสารทดสอบใหม่ทุกครั้งในแต่ละรอบการทดลอง



รูปที่ 2 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องจำลองการสึกกร่อนทิศทางเดียวอย่างง่าย  
Figure 2 Importance composition of simple mono-directional wear simulator

### การวัดค่าปริมาตรการสึก และตรวจสอบสภาพพื้นผิวรอยสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขึ้นตัวอย่างหลังผ่านการทดลองถูกนำมาวัดค่าความยาว ความกว้าง และความลึกของรอยสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดระยะความยาว (Measuring microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น MM-400/L ค่าที่ได้ถูกนำไปคำนวณเป็นค่าปริมาตรการสึก ขึ้นตัวอย่างถูกสุ่มกลุ่มละ 1 ชิ้นเพื่อประเมินสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยเตรียมขึ้นตัวอย่างให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำขึ้นตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยเครื่องพ่นทอง (Sputter Coater SPI-Module Sputter Coater, West Chester, USA) เป็นเวลา 8 นาที (ได้ความหนาทอง 100-300 ไมครอน) แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400 (SEM-Quanta) ที่กำลังขยาย 500 1,500 และ 5,000 เท่า

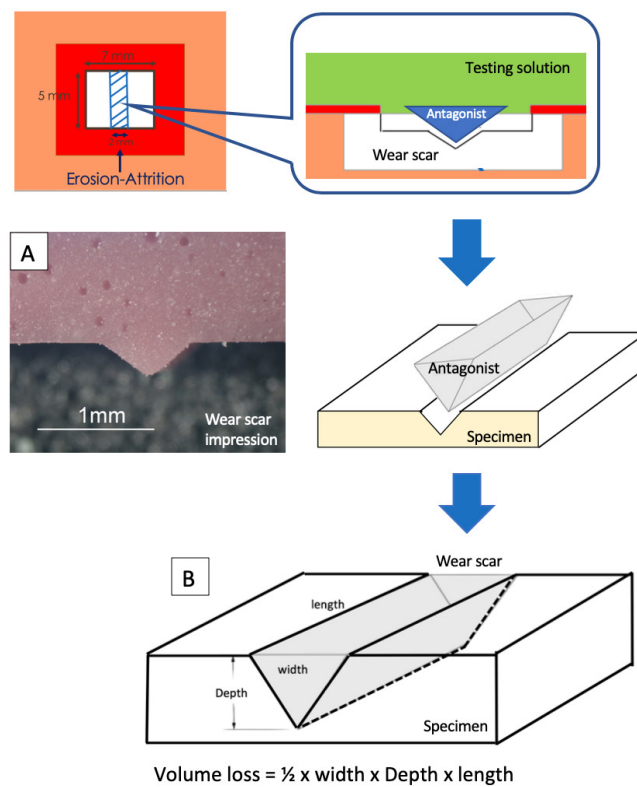
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าปริมาตรการสึกระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบนอนพาราเมตริกชนิดครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) และทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (Multiple comparisons between treatment) การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS Version 26.0) โดยพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ  $p < 0.05$

### ผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 2 โดยพบว่าความแข็งผิวเฉลี่ยก่อนการทดลองของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขึ้นตัวอย่างก่อนผ่านเครื่องจำลองการสึกจะมีปริมาตรเริ่มต้นเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาตรการสึกเท่ากับ 0 ลบ.มม. หลังผ่านการทดลองจำลองการสึกในสภาวะ erosion-attrition จะทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อวัสดุเกิดเป็นรอยสึก เมื่อนำชิ้นตัวอย่างมาพิมพ์ด้วยซิลิโคนเพื่อลอกเลียนลักษณะรอยสึกแล้วนำมาตัดขวาง ดังรูปที่ 3

พบว่ารอยพิมพ์บริเวณรอยสึกมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม (wedge shape) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะคู่สบที่เป็นรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม จึงอนุมานได้ว่ารอยสึกที่เกิดขึ้นบนชิ้นตัวอย่างมีรูปทรงเป็นปริซึมฐานสามเหลี่ยมเช่นเดียวกัน จึงทำการวัดความลึก ความกว้าง และความยาวของรอยสึก 3 ตำแหน่งต่อ 1 ชิ้นงาน เพื่อนำมาคำนวณปริมาตรการสึกในแต่ละตำแหน่งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้สูตรปริมาตรการสึก (Volume loss) =  $\frac{1}{2} \times$  ความกว้างรอยสึก  $\times$  ความยาวรอยสึก  $\times$  ความลึกรอยสึก

ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ามัธยฐานของปริมาตรการสึกในกลุ่มทดลองต่าง ๆ ในหน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตรแสดงในตารางที่ 3-5 และแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบปริมาตรการสึกในกลุ่มต่าง ๆ ดังรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรการสึกตามชนิดของวัสดุ พบว่ากลุ่มเคลือบฟันมีปริมาตรการสึกสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มเซรามิกเอน และกลุ่มเซรามิกบีเป็นกลุ่มที่มีปริมาตรการสึกต่ำสุด เมื่อนำข้อมูลไปทดสอบการกระจายตัวข้อมูลด้วยการทดสอบโคโมโกรอฟสเมอนอฟ พบว่ามีข้อมูลมีการกระจายตัวที่ไม่ปกติ ( $p < 0.05$ ) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าปริมาตรการสึกในแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยสถิติครัสคัล-วัลลิส



รูปที่ 3 แสดงรอยสึกในสภาวะ erosion-attrition: A=ภาพถ่ายแบบพิมพ์ซิลิโคนของรอยสึกด้วยกล้องสเตอริโอโคปที่กำลังขยาย 30 เท่า B=แสดงวิธีการคำนวณปริมาตรการสึก

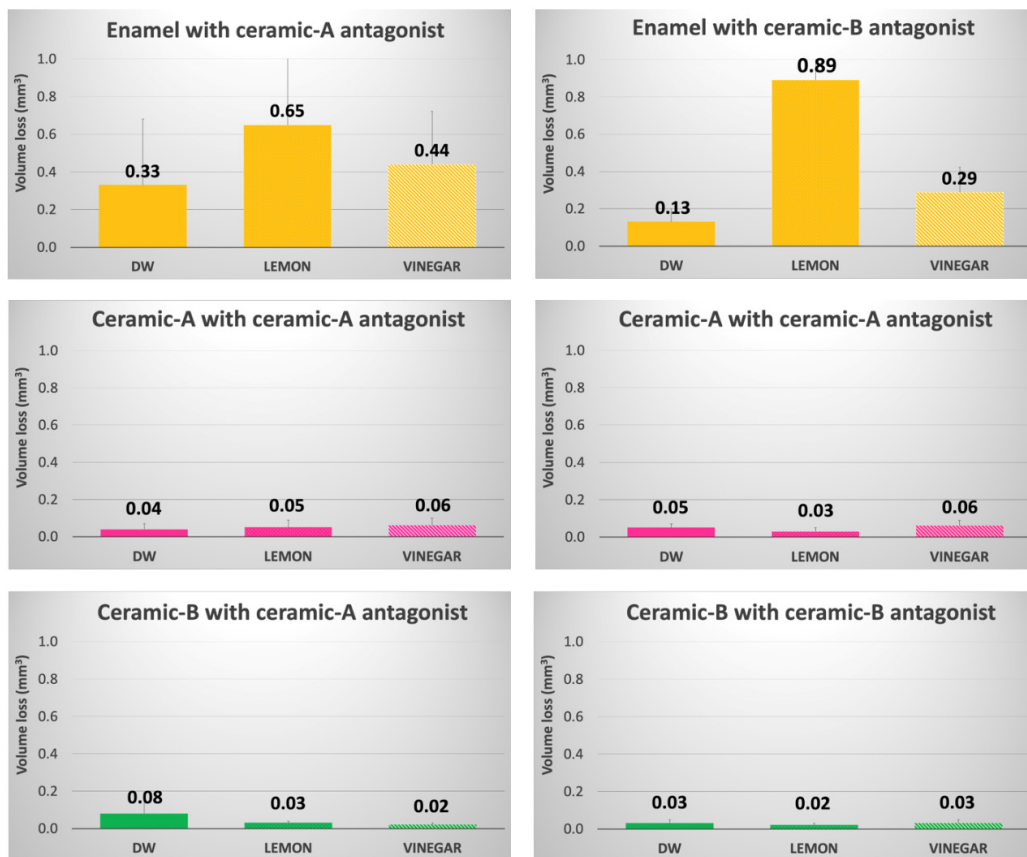
Figure 3 Wear scar in erosion-attrition condition: A=Stereoscope photograph of silicone impression of wear scar (at 30 magnification), B=The formula of volume loss calculation

ตารางที่ 2 แสดงความแข็งผิวเฉลี่ยเริ่มต้นของวัสดุ

Table 2 Results of mean of baseline microhardness (Kg/mm<sup>2</sup>) of each experimental group

Materials	Mean surface hardness (mean ± SD, Kg/mm <sup>2</sup> )
Enamel	364.1 ± 33.2
Ceramic A	549.5 ± 56.7
Ceramic B	587.6 ± 35.8

## Volume loss



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนของชิ้นตัวอย่างในกลุ่มต่าง ๆ หลังการจำลองสภาวะ erosion-attrition (n=8), DW แทนน้ำปราศจากไอออน, Lemon แทนน้ำมะนาวเทียม, Vinegar แทนน้ำส้มสายชู

Figure 4 Mean volume loss of all specimens after erosion-attrition testing (n=8), DW : distilled water, Lemon : commercial lemon juice, Vinegar : Vinegar

ผลปริมาณการสึกกร่อนของเคลือบฟันที่สับกับเซรามิกทั้งสองชนิดในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเคลือบฟันที่สับกับเซรามิกทั้งสองชนิดในสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีปริมาณการสึกกร่อนมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบปริมาณการสึกกร่อนของเคลือบฟันมากที่สุดในกลุ่มที่ทดสอบในน้ำมะนาวเทียม

โดยมีการเปรียบเทียบปริมาณการสึกกร่อนในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้  
 กลุ่มเคลือบฟันที่สับกับเซรามิกเอ (EA) : น้ำมะนาวเทียม = น้ำส้มสายชู > น้ำปราศจากไอออน  
 กลุ่มเคลือบฟันที่สับกับเซรามิกบี (EB) : น้ำมะนาวเทียม > น้ำส้มสายชู > น้ำปราศจากไอออน

ตารางที่ 3 ค่าปริมาตรการสึก (mm<sup>3</sup>) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นตัวอย่างหลังการทดลองของกลุ่มเคลือบฟัน

Table 3 Results of volume loss (mm<sup>3</sup>) and deviation of enamel groups

Condition	Volume loss (mm <sup>3</sup> ) and deviation	
	EA	EB
DW (W)	0.33 (0.35) <sup>b</sup> [0.18]	0.13 (0.07) <sup>c</sup> [0.11]
Lemon (L)	0.65 (0.44) <sup>a</sup> [0.53]	0.89 (0.87) <sup>a,c</sup> [0.43]
Vinegar (V)	0.44 (0.28) <sup>a</sup> [0.34]	0.29 (0.13) <sup>a,d</sup> [0.27]

Mean (SD) n = 8 \*Superscript letters following mean value: the difference letter indicates significant difference (p<0.05)

[Med]

ผลปริมาตรการสึกของเซรามิกเอที่สับกับเซรามิกทั้งสองชนิดในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4 โดยพบว่ากลุ่มเซรามิกเอที่สับกับเซรามิกเอมีปริมาตรการสึกในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่กลุ่มเซรามิกเอที่สับกับเซรามิกบีพบการสึกมากที่สุดใต้น้ำส้มสายชู และมีปริมาตรการสึกที่มากกว่ากลุ่มที่ทดสอบใต้น้ำมะนาวเทียมและน้ำ

ปราศจากไอออนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยมีการเปรียบเทียบปริมาตรการสึกในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้  
กลุ่มเซรามิกเอที่สับกับเซรามิกเอ (AA) : น้ำส้มสายชู = น้ำมะนาวเทียม = น้ำปราศจากไอออน  
กลุ่มเซรามิกเอที่สับกับเซรามิกบี (AB) : น้ำส้มสายชู > น้ำมะนาวเทียม = น้ำปราศจากไอออน

ตารางที่ 4 ค่าปริมาตรการสึก (mm<sup>3</sup>) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นตัวอย่างหลังการทดลองของกลุ่มเซรามิก A

Table 4 Results of volume loss (mm<sup>3</sup>) and deviation of ceramic-A groups

Condition	Volume loss (mm <sup>3</sup> ) and deviation	
	AA	AB
DW (W)	0.04 (0.03) [0.04]	0.05 (0.02) <sup>b</sup> [0.04]
Lemon (L)	0.05 (0.04) <sup>b</sup> [0.03]	0.03 (0.02) <sup>b,d</sup> [0.03]
Vinegar (V)	0.06 (0.04) <sup>a</sup> [0.06]	0.06 (0.03) <sup>a,c</sup> [0.06]

Mean (SD) n = 8 \*Superscript letters following mean value: the difference letter indicates significant difference (p<0.05)

[Med]

ผลปริมาตรการสึกของเซรามิกบีที่สับกับเซรามิกทั้งสองชนิดในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 5 โดยกลุ่มเซรามิกบีที่สับกับเซรามิกเอพบปริมาตรการสึกมากที่สุดในน้ำปราศจากไอออน และมีปริมาตรการสึกมากกว่ากลุ่มที่ทดสอบใต้น้ำส้มสายชูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กลุ่มเซรามิกบีที่สับกับเซรามิกบีไม่พบความแตกต่างของปริมาตรการสึกในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยมีการเปรียบเทียบปริมาตรการสึกในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้  
กลุ่มเซรามิกบีที่สับกับเซรามิกเอ (BA) : น้ำมะนาวเทียม = น้ำปราศจากไอออน > น้ำส้มสายชู  
กลุ่มเซรามิกบีที่สับกับเซรามิกบี (BB) : น้ำมะนาวเทียม = น้ำส้มสายชู = น้ำปราศจากไอออน

ตารางที่ 5 ค่าปริมาตรการสึก (mm<sup>3</sup>) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นตัวอย่างหลังการทดลองของกลุ่มเซรามิก B

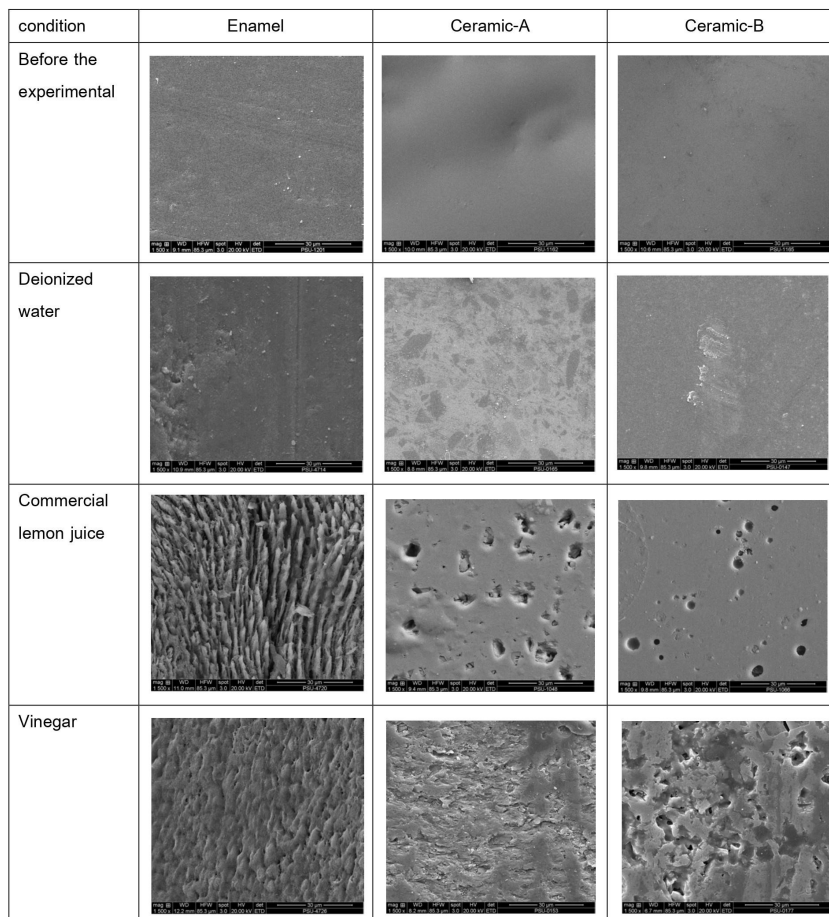
Table 5 Results of volume loss (mm<sup>3</sup>) and deviation of ceramic-B groups

Condition	Volume loss (mm <sup>3</sup> ) and deviation	
	AA	AB
DW (W)	0.08 (0.11) <sup>a</sup> [0.05]	0.03 (0.02) <sup>c,d</sup> [0.02]
Lemon (L)	0.03 (0.01) <sup>a</sup> [0.03]	0.02 (0.01) <sup>d</sup> [0.02]
Vinegar (V)	0.02 (0.01) <sup>b</sup> [0.02]	0.03 (0.02) <sup>c</sup> [0.03]

Mean (SD) n = 8 \*Superscript letters following mean value: the difference letter indicates significant difference (p<0.05) [Med]

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผิวเคลือบฟันหลังผ่านสภาวะ erosion-attrition ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาพชิ้นงานก่อนการทดลอง ชิ้นตัวอย่างเคลือบฟันในสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะพบรูปแบบการสึกกร่อน (etching pattern) และแตกหักของแท่งเคลือบฟัน ร่วมกับรอยครูดในทิศทางขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคู่สบ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสารทดสอบ พบว่ากลุ่มน้ำมะนาวเทียมมีลักษณะการสึกที่รุนแรงกว่ากลุ่มที่ทดสอบในน้ำส้มสายชู ส่วนเคลือบฟันที่

ทดสอบในน้ำปราศจากไอออนจะมีลักษณะการสึกที่แตกต่างออกไปคือมีลักษณะการขีดถูเป็นรอยครูดในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคู่สบ โดยไม่พบลักษณะการสึกกร่อน ในชิ้นตัวอย่างเซรามิก เมื่อเปรียบเทียบกับภาพชิ้นตัวอย่างก่อนการทดลอง พบว่าชิ้นเซรามิกมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวในรูปแบบต่าง ๆ โดยในสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะพบการสึกในลักษณะการสึกที่มีการทำลายของชั้นพื้นผิวที่มากกว่าสภาวะน้ำปราศจากไอออนซึ่งมีการสึกเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของรอยสึกบนชิ้นตัวอย่างที่มีคู่สบเป็นเซรามิกบี ในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 1500 เท่า  
Figure 5 Scanning electron micrograph of wear scar on flat surface specimens with ceramic-B antagonist in each condition (at 1,500 magnification)



## อภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ทำการทดลองในเครื่องจำลองการสึกที่ทิศทางเดียวอย่างง่าย (simple mono-directional wear simulator) ซึ่งถูกประดิษฐ์ในหน่วยปฏิบัติการ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และเคยถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเพื่อการจำลองการสึก ภายใต้สภาวะกรด และการแปรงฟัน<sup>21</sup> ซึ่งแสดงให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงในการทดลองเป็นอย่างดีเนื่องจากการวัดการสึกจริงในช่องปากสามารถทำได้ยาก และมีปัจจัยรบกวนต่าง ๆ ยากแก่การควบคุม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำลองการสึกที่เกิดขึ้นในช่องปากเพื่อดำเนินการในห้องปฏิบัติการ เป็นผลให้ง่ายต่อการควบคุมปัจจัยรบกวนต่าง ๆ และทำการทดลองในเครื่องจำลองการสึกซึ่งมีการเคลื่อนที่ของคู่สบในทิศทางเดียว แม้ว่าจะไม่เหมือนการสึกที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของคู่สบแบบหลายทิศทาง (multi-direction) แต่มีข้อดีคือ สามารถแสดงให้เห็นรูปแบบการสึกได้อย่างชัดเจน โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากการสึกในทิศทางอื่น ๆ ที่จะมาบดบัง (shading) นอกจากนี้เครื่องจำลองการสึกยังสามารถทดสอบชิ้นตัวอย่าง 8-10 ชิ้นพร้อมกัน ภายใต้สภาวะทดสอบเดียวกัน ทำให้ง่ายต่อการควบคุมสภาวะการทดลองในกลุ่มเดียวกันให้เหมือนกันทุกชิ้น ค่าความแข็งผิววิกเกอร์ของผิวเคลือบฟันก่อนการทดลองในการศึกษานี้มีค่า 328.8-404.9 Kg/mm<sup>2</sup> อยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยของผิวเคลือบฟันปกติ และค่าความแข็งผิวที่ได้มาจากกลุ่มประชากรเดียวกันซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ และมีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่เท่ากัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Oneway ANOVA พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของเคลือบฟันก่อนการทดลองในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ในการศึกษานี้ได้จำลองสภาวะการสัมผัสสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดในช่องปาก โดยชิ้นงานสัมผัสสารทดสอบเป็นเวลา 30 นาที โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Demirhanoglu and Sahin (1992)<sup>9</sup> และ Demirel *et al.* (2005)<sup>10</sup> ที่อนุมานว่าในแต่ละวันจะมีการสัมผัสกับกรดชนิดที่รุนแรงในช่องปาก 40 วินาทีต่อวัน ดังนั้นการสัมผัสสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที เทียบเท่ากับสภาวะในช่องปากเป็นระยะเวลา 45 วัน สารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการทดลองนี้ได้แก่ น้ำมะนาวเทียม และ น้ำส้มสายชู การศึกษานี้เลือกใช้น้ำมะนาวเทียมซึ่งมีองค์ประกอบเป็นกรดชนิดที่รุนแรง ความเข้มข้นร้อยละ 6 ซึ่งกรดชนิดที่รุนแรงที่สามารถพบได้โดยทั่วไปในน้ำอัดลม หรือผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว และการเลือกใช้น้ำส้มสายชู เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกรดอะซิติก ซึ่งเป็นกรดที่สามารถพบได้ใน ผัก และผลไม้หมักดอง นอกจากนี้ น้ำมะนาวเทียม และ น้ำส้มสายชู เป็นสารทดสอบที่สามารถหาซื้อได้ง่าย มีจำหน่ายในรูปแบบสำเร็จรูป ทำให้ทราบ

ส่วนประกอบได้อย่างชัดเจน และมีการควบคุมความเข้มข้นให้คงที่จากบริษัทผู้ผลิต รวมถึงจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างตามฤดูกาล

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสึกระหว่างเคลือบฟัน และ เซรามิกพบว่าเคลือบฟันมีปริมาณการสึกที่มากกว่าเซรามิกในทุก ๆ สารทดสอบ โดยพบว่าเคลือบฟันมีการสึกมากที่สุดในกลุ่มน้ำมะนาวเทียม ซึ่งการสึกของวัสดุที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี และสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันในแต่ละวัสดุ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันของโครงสร้างเหล่านั้นเมื่อสัมผัสกับสภาวะกรด เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีพบว่าเคลือบฟันเป็นเนื้อเยื่อที่มีแร่ธาตุปริมาณสูง โดยประมาณร้อยละ 96 โดยน้ำหนักประกอบด้วย แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (calcium hydroxyapatite) โดยมีองค์ประกอบที่เหลือเป็นสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 1 และน้ำร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก<sup>11</sup> จากองค์ประกอบเหล่านี้จึงทำให้เคลือบฟันเกิดการสึกกร่อนได้ง่ายกว่าเซรามิกเมื่อสัมผัสกับสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด

การสึกแบบ erosion-attrition ของเคลือบฟันได้รับอิทธิพลอย่างมาก จากความสามารถในการกัดกร่อนของสารทดสอบ (erosive potential) โดยความสามารถนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของกรด ค่าความเป็นกรดต่าง และความเข้มข้นของกรด<sup>12</sup> จากการทดลอง จะพบว่าในสารทดสอบที่เป็นน้ำมะนาวเทียมเคลือบฟันจะมีปริมาณการสึกสูงที่สุด เนื่องจากน้ำมะนาวเทียมมีองค์ประกอบเป็นกรดชนิดที่รุนแรงจากการศึกษาของ อแมชิ (Amaechi) และคณะ<sup>13</sup> พบว่าสารละลายกรดชนิดที่รุนแรงเกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการ ได้แก่ การละลาย (dissolution) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ และสมบัติคีเลชัน (chelation action) ซึ่งทำให้เกิดการดึงกลับของแคลเซียมไอออนบนผิวเคลือบฟันที่สัมผัสกับกรด เป็นผลให้เกิดการเพิ่มการละลายตัวของเคลือบฟัน จากกระบวนการสึกกร่อนก่อให้เกิดการอ่อนนิ่มลงของผิวเคลือบฟัน และมีการสูญเสียแร่ธาตุในชั้นใต้พื้นผิว (subsurface) เล็กน้อย ผิวเคลือบฟันที่อ่อนนิ่มนี้สามารถถูกกำจัด (removed) ได้ง่ายโดยฟันหรือวัสดุคู่สบ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยกลไกการสึกแบบรอยครูด (shaving wear mechanism) ซึ่งเชื่อว่าเป็นกลไกที่สำคัญขณะเกิดการสึกแบบ erosion-attrition โดยกลไกนี้ถูกอธิบายว่าเมื่อเคลือบฟันสัมผัสสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสร้างชั้นอ่อนนิ่ม (softened layer) ที่หนาขึ้น และเมื่อมีการเคลื่อนที่ของฟันคู่สบชั้นเคลือบฟันอ่อนนิ่มนี้จะถูกกำจัดเป็นผลให้เกิดการสึกเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารทดสอบว่ามีอิทธิพลเป็นอย่างมากในกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันมีการ

รายงานว่าการสึกกร่อนสูญเสียเคลือบฟันที่สูง จากการสึกแบบ erosion-attrition<sup>4</sup> ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ ซึ่งได้รับการยืนยันจากการศึกษาของ วู และคณะ (Wu et al.)<sup>12</sup> ที่ทำการศึกษารูปร่างของเคลือบฟันต่อฟันคู่สบ โดยใช้กรดอะซิติก และกรดซิตริกที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่าง ๆ พบว่าเคลือบฟันมีปริมาตรการสึกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างต่ำลง

เซรามิกทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลอง มีองค์ประกอบเป็นเฟลสปาติคเซรามิก และลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกซึ่งเกิดการสึกกร่อนที่ต่ำเมื่อเทียบกับเคลือบฟันในสภาวะกรด แม้ว่าจากการศึกษาของ Kukiattrakoon และคณะในปี ค.ศ. 2010 และ 2011<sup>14,15</sup> จะพบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเซรามิกภายใต้สภาวะกรด โดยพบว่าเซรามิกบางชนิดมีความแข็งผิวลดลง และมีความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในระดับที่น้อยมาก และแทบไม่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อเซรามิกสัมผัสกับกรดในระยะเวลา 30 นาที

ในเรื่องสมบัติทางกายภาพพบว่าความแข็งผิวเฉลี่ยเริ่มต้นของเคลือบฟัน ต่ำกว่าเซรามิก โดยพบว่าเคลือบฟันมีค่าความแข็งผิวเฉลี่ยเริ่มต้นเป็น  $364.1 \pm 33.2$  ตร.มม. ซึ่งต่ำกว่าความแข็งผิวของเซรามิก โดยเซรามิกเอ มีความแข็งผิวเฉลี่ยเริ่มต้นเป็น  $549.5 \pm 56.7$  ตร.มม. และ เซรามิกบี ความแข็งผิวเฉลี่ยเริ่มต้นเป็น  $587.6 \pm 35.8$  ตร.มม. ในอดีตมีหลายการศึกษาที่ให้ความเห็นว่าการสึกของฟันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งผิวของเซรามิกที่เป็นคู่สบ<sup>16,17</sup> แต่จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่าความแข็งผิวเพียงอย่างเดียวไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้ฟันคู่สบสึก<sup>18,19</sup> เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความเปราะและสามารถแตกได้เมื่อเกิดการสบกับเคลือบฟัน และก่อให้เกิดการสึกในลักษณะการสึกแบบขัด (abrasive wear)<sup>20</sup> ดังนั้นจึงอาจจะต้องพิจารณาสมบัติอื่น ๆ ของร่วมด้วย เช่น สมบัติความต้านทานต่อแรงเสียดทาน ความเป็นรูพรุนในเนื้อวัสดุ และความหยาบผิวของเซรามิก

ความแข็งผิวของเซรามิกดูเหมือนจะมีอิทธิพลที่ชัดเจนกับปริมาตรการสึกของเคลือบฟันที่ทดสอบในน้ำมะนาวเทียม โดยพบว่าเซรามิกบีซึ่งมีความแข็งผิวมากกว่าเซรามิกเอ ทำให้เคลือบฟันมีปริมาตรการสึกที่มากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อเคลือบฟันสัมผัสกับกรดจากน้ำมะนาวเทียม จะเกิดการละลายตัวของแร่ธาตุเกิดเป็นชั้นอ่อนนิ่ม (soften layer) ในขณะเดียวกันที่เกิดการเคลื่อนที่ของคู่สบ ซึ่งจะขจัดพื้นผิวของชั้นเคลือบฟันที่อ่อนนิ่มนี้ออกไป ซึ่งโดยปกติแล้วเซรามิกทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวน้อยมากในสภาวะกรด การสึกของเคลือบฟันที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะคล้ายการสึกจากการขัดถู (abrasive wear) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากความแข็งผิวด้วย ในขณะที่น้ำปราศจากไอออน อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวน้อยกว่า

จากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่มีกำลังขยาย 1500 เท่า ของกลุ่มเคลือบฟันในสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดทั้งสองชนิด จะพบการสูญเสียเคลือบฟัน โดยปรากฏรูปแบบการสึกกร่อน (etching pattern) ในลักษณะคอบเบิลสโตน (cobble stone appearance) ร่วมกับลักษณะของการขัดถู โดยมีการแตกหักของแท่งเคลือบฟัน และรอยครูดในแนวยาวขนานกับการเคลื่อนที่ของคู่สบ โดยกลุ่มเคลือบฟันที่ทดสอบในน้ำมะนาวเทียมมีลักษณะการสึกที่รุนแรงมากกว่าน้ำส้มสายชู ซึ่งแตกต่างจากน้ำปราศจากไอออนซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างใกล้เคียงความเป็นกลาง และถูกใช้เป็นกลุ่มควบคุม ในสภาวะนี้จะไม่พบลักษณะการสึกกร่อน แต่พบเฉพาะลักษณะการขัดถูเท่านั้น ลักษณะ และความรุนแรงของการสึกอาจเป็นผลมาจาก เคลือบฟันถูกกัดกร่อนในระดับที่แตกต่างกันในสารทดสอบชนิดต่าง ๆ ในขณะที่กลุ่มเซรามิกจะพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวที่ระดับต่าง ๆ ในทุกสารทดสอบ โดยพบลักษณะการสึกที่มากที่สุดใต้น้ำส้มสายชู รองลงมาคือน้ำมะนาวเทียม ในขณะที่สภาวะน้ำปราศจากไอออนพบการสึกเพียงเล็กน้อยคล้ายการหลุดลอกของชั้นเคลือบผิว (glazing) จากการทดลองจำลองการสึกทิศทางเดียว และภาพถ่าย SEM ในห้องปฏิบัติการ แม้ไม่ได้เป็นสภาวะที่เหมือนการสึกจริงในช่องปากซึ่งมีการเคลื่อนที่ของฟันคู่สบในหลายทิศทาง แต่สามารถจำลองให้เห็นถึงลักษณะการสึกของฟัน และเซรามิก ได้อย่างชัดเจน ซึ่งยากแก่การศึกษาได้จริงในทางคลินิก

ในความเป็นจริงการสึกของฟันเกิดจากสาเหตุหลายปัจจัยร่วมกัน (Multifactorial etiology) หากพิจารณาให้ดีจะพบว่าในสภาวะจริงของช่องปาก เมื่อผิวฟันเกิดการละลาย ค่าความแข็งผิวจะลดลงเนื่องจากสูญเสียแร่ธาตุ ทำให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนจากการขัดสีลดลง หรือในผู้ป่วยที่มีนิสัยชอบรับประทานพืชผักที่มีเส้นใยแข็งจะเพิ่มการขัดสีผิวฟันได้มากขึ้น นอกจากนี้การกระทบกันของฟันขณะเคี้ยวหรือการกะเทาะของผิวฟันจากแรงที่ผิดปกติ ต่างก็ส่งเสริมความรุนแรงของการสึกกร่อนให้มากขึ้น เมื่อเกิดการละลายของฟันจะเกิดผลเสียตามมาหลายประการได้แก่ การสูญเสียความสวยงาม เกิดอาการเสียวฟัน เคี้ยวอาหารลำบากในรายที่มีการสึกอย่างรุนแรง อาจจะทำให้ส่วนเคลือบฟันแตกหักตัวฟันสั้นลง และสูญเสียมิติตั้งขณะสบฟัน (vertical dimension) ได้

ในขณะที่ทำการทดลอง ถาดยึดขึ้นตัวอย่างจะมีการเคลื่อนที่ในแนวราบพร้อม ๆ กับการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารทดสอบไปบนขึ้นตัวอย่างซึ่งการไหลผ่านของสารทดสอบบนขึ้นตัวอย่างขณะการจำลองการสึก อาจมีผลในการชะล้างอนุภาคของสารที่หลุดลอกหรือ กะเทาะออกมาจากขึ้นตัวอย่างขณะเกิดการสึก จึงเชื่อว่าการสึกในบริเวณ erosion-attrition โดยส่วนใหญ่ของการทดลองนี้เกิดจาก

การสึกแบบหุบอดี (two body wear) เนื่องจากเชื่อว่ามีอนุภาคชั้นกลางระหว่างคู่สบน้อยมาก หรือแทบไม่มีอนุภาคชั้นกลางระหว่างคู่สบเลย จึงไม่สามารถกล่าวว่าการสึกที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้เป็น การสึกแบบทริบอดี (three body wear) ได้

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ในทางคลินิกได้คือ สามารถใช้เป็นข้อแนะนำสำหรับทันตแพทย์ผู้ให้การรักษาผู้ป่วยที่มีฟันสึกในระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง รวมถึงขอรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดว่า หากต้องทำการบูรณะฟันด้วยเซรามิกอาจเป็นข้อพิจารณาว่าจำเป็นต้องบูรณะฟันคู่สบด้วยหรือไม่ เพื่อลดการสึกของเนื้อฟันธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นข้อแนะนำสำหรับผู้ป่วยที่ชอบเคี้ยวของแข็ง และนิยมรับประทานอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด

### บทสรุป

ปริมาตรการสึกหลังผ่านกระบวนการ erosion-attribution เมื่อสัมผัสสารทดสอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด (น้ำส้มสายชู และน้ำมะนาวเทียม) พบว่าเคลือบฟันมีปริมาตรการสึก (volume loss) มากกว่าเซรามิกทั้งสองชนิด ในทุก ๆ สารทดสอบ โดยพบว่าเคลือบฟันมีปริมาตรการสึก สูงที่สุดในน้ำมะนาวเทียม รองลงมาคือน้ำส้มสายชู และพบปริมาตร การสึกของเคลือบฟันต่ำที่สุดเมื่อสัมผัสกับน้ำปราศจากไอออน

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### เอกสารอ้างอิง

1. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative *in vivo* wear of human enamel. *J Dent Res* 1989;68(12):1752-4.
2. Van't Spijker A, Rodriguez JM, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Bartlett DW, Creugers N. Prevalence of tooth wear in adults. *Int J Prosthodont* 2009;22(1):35-42.
3. Kelleher M, Bishop K. Tooth surface loss: an overview. *Br Dent J* 1999;186(2):61-6.
4. Eisenburger M, Addy M. Erosion and attrition of human enamel *in vitro* part I: interaction effects. *J Dent* 2002;30(7-8):341-7.
5. Zheng J, Huang H, Shi M, Zheng L, Qian L, Zhou Z. *In vitro* study on the wear behaviour of human tooth enamel in citric acid solution. *Wear* 2011;271(9-10):2313-21.

6. Rosenblum MA, Schulman A. A review of all-ceramic restorations. *J Am Dent Assoc* 1997;128(3):297-307.
7. Conrad HJ, Seong W-J, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2007;98(5):389-404.
8. Oh W-s, DeLong R, Anusavice KJ. Factors affecting enamel and ceramic wear: a literature review. *J Prosthet Dent* 2002;87(4):451-9.
9. Demirhanoglu ŞT. Effects of topical fluorides and citric acid on overglazed and autoglazed porcelain surfaces. *Int J Prosthodont* 1992;5(5):434-40.
10. Demirel F, Yüksel G, Muhtarogulları M, Çekiç C. Effect of topical fluorides and citric acid on heat-pressed all-ceramic material. *Int J Periodont Restor Dent* 2005;25(3):277-81.
11. Mjör IA. Human coronal dentine: structure and reactions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1972;33(5):810-23.
12. Wu Y-Q, Arsecularatne JA, Hoffman M. Effect of acidity upon attrition-corrosion of human dental enamel. *J Mech Behav Biomed* 2015;44:23-34.
13. Amaechi BT, Higham SM. Dental erosion: possible approaches to prevention and control. *J Dent* 2005;33(3):243-52.
14. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Chemical durability and microhardness of dental ceramics immersed in acidic agents. *Acta Odontol Scand* 2010;68(1):1-10.
15. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Effect of acidic agents on surface roughness of dental ceramics. *Dent Res J (Isfahan)* 2011;8(1):6-15.
16. Hudson JD, Goldstein GR, Georgescu M. Enamel wear caused by three different restorative materials. *J Prosthet Dent* 1995; 74(6):647-54.
17. Jagger D, Harrison A. An *in vitro* investigation into the wear effects of selected restorative materials on enamel. *J Oral Rehabil* 1995;22(4):275-81.
18. Dahl BL, Øilo G. *In vivo* wear ranking of some restorative materials. *Quintessence Int* 1994;25(8):561-5
19. Seghi R, Rosenstiel S, Bauer P. Abrasion of human enamel by different dental ceramics *in vitro*. *J dent Res* 1991;70(3):221-5.
20. DeLong R, Douglas W, Sakaguchi R, Pintado M. The wear of dental porcelain in an artificial mouth. *Dent mater* 1986;2(5):214-9.
21. Panjarattanakorn S, Hengtrakool C, editors. Surface hardness change of enamel and restorative materials after immersed in acidic solution and tooth brushing: 'IN VITRO' study. Proceeding of 12th Srinakharinwirot University Research Conference; 2019 Mar 20-21; Bangkok, Thailand.