

## การศึกษาไอออนโลหะที่เหลือค้างบนพื้นผิวและลักษณะพื้นผิวแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการใช้งานในผู้ป่วยจัดฟันที่เป็นนักกีฬาว่ายน้ำ

### The Study of Surface Remaining Metal Ions and Surface Characteristics of Retrieved Stainless Steel Brackets in Swimming Athletes Undergoing Orthodontic Treatment

นพพล จันทรพงศ์แสง<sup>1</sup>

Noppadon Chanpongsaeng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มงานทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>1</sup>Dental Department, Queen Sirikit National Institute of Child Health, Bangkok, Thailand

#### Abstract

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไอออนโลหะที่เหลือค้างบนผิวแบร็กเกตและเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกตก่อนและหลังการใช้งานของแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชนิดในสภาพแวดล้อมคลอรีนสระว่ายน้ำ 2 สระ และเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะของแบร็กเกต 2 ชนิด งานวิจัยดำเนินการโดยติดแบร็กเกต 2 ชนิด (AM, KO) ด้วยวิธีการสุ่มตามลำดับ ให้กลุ่มตัวอย่างนักกีฬาว่ายน้ำ 28 คน จากสระว่ายน้ำ 2 สระ (CU, BC) และให้กลุ่มควบคุมที่เป็นผู้ป่วยจัดฟัน 14 คน หลังรักษา 1 ปี ถอดแบร็กเกตพื้นหน้าล่าง 4 ซี่ ซี่ในอิตาลีที่เอความเข้มข้นร้อยละ 17 แล้วส่งตรวจหาปริมาณไอออนเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) วิเคราะห์ปฏิกิริยาระหว่างปัจจัยชนิดแบร็กเกต และปัจจัยสภาพแวดล้อมคลอรีนสระว่ายน้ำ ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง เปรียบเทียบภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บริเวณร่องแบร็กเกตที่ยังไม่ผ่านและที่ผ่านการใช้งาน ตรวจหาองค์ประกอบโลหะของแบร็กเกตด้วยเครื่อง EDX ผลการศึกษา พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดแบร็กเกต และชนิดสระว่ายน้ำ แต่พบความแตกต่างปริมาณไอออนเหล็ก นิกเกิล ระหว่างแบร็กเกต 2 ชนิด ในระดับนัยสำคัญสถิติ 0.01 แบร็กเกต AM พบความแตกต่างลักษณะพื้นผิวร่องแบร็กเกตระหว่างกลุ่มที่ใช้งานและที่ยังไม่ผ่านการใช้งานแต่ไม่พบความแตกต่างในแบร็กเกต KO แบร็กเกต AM ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม Precipitate Hardening แบร็กเกต KO ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยสรุปแบร็กเกต AM พบไอออนโลหะเหลือค้างบนพื้นผิวแบร็กเกตมากกว่าแบร็กเกต KO และสภาพแวดล้อมคลอรีนจากสระว่ายน้ำไม่มีผลทำให้เกิดไอออนโลหะเหลือค้างบนแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมากกว่าปกติ

**คำสำคัญ :** คลอรีน, แบร็กเกต, สระว่ายน้ำ, เหล็กกล้าไร้สนิม, ไอออนโลหะ

#### Abstract

This study aimed to examine the surface remaining metal ions of two types of stainless steel brackets in different chloride environments of two swimming pools by comparing the amount of ions found on the surface of the brackets and comparing surface characteristics at bracket slots between the study groups after one year usage and analyzing the metallic composition of the two types of brackets. Two brands of brackets were studied (AM, KO). Participants included 28 swimmers from two different pools (CU, BC) and a control group of 14 orthodontic patients. Bracket brands were randomly allocated to all participants. The mandibular incisor brackets were removed after one year of treatment. The removed brackets were soaked in 17% EDTA and analyzed for iron ion (Fe), nickel ion (Ni), and chromium ion (Cr) using ICP-OES. Two-way ANOVA were used to examine the effects of brackets and pools on the amount of ions. Additionally, electron microscopy images were compared between the unused and used bracket surfaces and using EDX to detect metal composition. The results revealed no significant relationship between bracket

types and pools. However, there were significant differences in the quantity of iron ion and nickel ion between the two types of brackets at a statistical significance level of 0.01. AM brackets exhibited distinct surface characteristics between the used and unused groups, while KO brackets did not show such differences. In conclusion, AM brackets exhibited higher surface remaining metal ions than KO brackets. The chloride environments of the swimming pools did not significantly affect the surface remaining metal ions of stainless steel brackets.

**Keywords :** Chloride, Bracket, Swimming pool, Stainless steel, Metal ion

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

**ติดต่อเกี่ยวกับบทความ :**

นพปดล จันทร์ผ่องแสง, กลุ่มงานทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี 420/8 ถนนราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย  
โทรศัพท์ : 02-354-8333 Email : doiji.fern@gmail.com

**Correspondence to:**

Noppadon Chanpongsaeng, Dental Department Queen Sirikit National Institute of Child Health 420/8 Ratchawithi Road, Phayathai Subdistrict, Ratchathewi, Bangkok, 10400 Thailand. Tel: 02-354-8333 Email : doiji.fern@gmail.com

**บทนำ**

เครื่องมือที่ใช้ในการรักษาทันตกรรมจัดฟันในปัจจุบันมีการพัฒนาก้าวหน้าไปหลากหลายรูปแบบ แต่แบร็กเกตยังคงเป็นเครื่องมือจัดฟันพื้นฐานที่ใช้ในการรักษาทันตกรรมจัดฟันในประเทศไทย แบร็กเกตสมัยปัจจุบัน<sup>1</sup> ทำจากวัสดุ 3 ชนิด คือ โลหะ พลาสติก เซรามิก แบร็กเกตโลหะส่วนใหญ่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหล่อ (casting) การมิลลิ่ง (milling) หรือวิธี MIM (metal injection molding) แบร็กเกตโลหะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท<sup>1</sup> คือ แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม แบร็กเกตไทเทเนียม และแบร็กเกตโลหะมีค่า แต่ส่วนใหญ่แบร็กเกตผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม<sup>2,3</sup> เนื่องจากมีความแข็งแรง ต้านทานการกัดกร่อน ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสม (alloy) ที่มีองค์ประกอบเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 50 และมีโครเมียมอย่างน้อยร้อยละ 11<sup>4</sup> เหล็กกล้าไร้สนิมทางทันตกรรมจัดฟันมีองค์ประกอบใกล้เคียงแผนภาพเฟส (phase diagram) Fe-Cr-Ni<sup>5</sup> แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดผลิตด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน และผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด เช่น AISI 304, 304L, 316, 316L, 17-4 PH หรือ Duplex เหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดมีความแข็งแรง ความต้านทานการกัดกร่อนแตกต่างกัน คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดจากพาสซีฟฟิล์ม (passive film) ที่ปกคลุมผิวโลหะ พาสซีฟฟิล์มเกิดขึ้นเองได้ตลอดเวลาในสภาวะที่มีออกซิเจนและมีโครเมียม สภาวะที่ขัดขวางการสร้างพาสซีฟฟิล์ม คือ สภาวะที่พื้นผิวขาดออกซิเจน สภาพความเป็นกรดและสภาพแวดล้อมที่มีคลอรีน<sup>6</sup> การศึกษาการกัดกร่อนของแบร็กเกต

เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งตามวิธีการศึกษาเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) โดยการนำแบร็กเกตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาอยู่ในสภาวะจำลองที่ช่วยให้เกิดการกัดกร่อน เช่น แช่ในน้ำลายเทียม<sup>7</sup> แช่ในสารละลายที่เป็นกรด-ด่าง<sup>8</sup> หรือแช่ในสภาพที่เป็นคลอรีน<sup>9</sup> เป็นต้น จากนั้นตรวจหาปริมาณไอออนเหล็ก ไอออนโครเมียม ไอออนนิกเกิล ผลการศึกษาพบว่าของเหลวที่มีความเป็นกรดสูงตรวจพบไอออนนิกเกิล ไอออนโครเมียม ไอออนเหล็ก ไอออนแมงกานีส ปริมาณสูงกว่าของเหลวที่มีความเป็นกรดต่ำ<sup>8</sup> และตรวจพบไอออนนิกเกิล ไอออนโครเมียมในการทดลองแช่แบร็กเกตในของเหลวที่มีโซเดียมคลอไรด์<sup>10</sup> นอกจากนี้ยังใช้วิธีวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าเคมีแบบพลวัต (Potentiodynamic test) วัดความต้านทานการกัดกร่อน (Rp) ของแบร็กเกตที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด หรือแบร็กเกตจากต่างบริษัท โดยการแช่ในน้ำลายเทียมแล้วใช้กระแสไฟฟ้า<sup>10,11</sup> หรือแช่ในโซเดียมคลอไรด์แล้วใช้กระแสไฟฟ้า<sup>12</sup> ผลการศึกษาพบว่าแบร็กเกตจากต่างบริษัท และแบร็กเกตที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดมีความต้านทานการกัดกร่อนแตกต่างกัน แต่การศึกษาในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างจากสภาวะช่องปากผู้ป่วย เนื่องจากมีปัจจัยเรื่องน้ำลาย ความเป็นกรดและคลอรีนในอาหารมาเกี่ยวข้อง การศึกษาอีกประเภทเป็นการศึกษาในมนุษย์ ด้วยการติดแบร็กเกตบนผิวฟันผู้ป่วยและเก็บตัวอย่างน้ำลาย<sup>13,14</sup> หรือเลือด<sup>15</sup> หรือทั้งน้ำลายและเลือด<sup>16</sup> จากผู้ป่วยตั้งแต่เริ่มติดแบร็กเกตและนับมาเก็บน้ำลายหรือเลือดเป็นระยะจากนั้นส่งตรวจปริมาณไอออนโลหะ การศึกษาลักษณะดังกล่าวสัมพันธ์ต่อการละเมิดข้อ

กำหนดจริยธรรมวิจัยในมนุษย์เนื่องจากการเก็บสารคัดหลั่งจากร่างกายมนุษย์ การศึกษาอีกประเภท คือการศึกษาในแบร็กเกตที่ผ่านการใช้งาน (retrieved bracket) โดยการตรวจการกัดกร่อนของแบร็กเกตที่ติดสีดำหรือสีเขียวบนผิวฟันรอบแบร็กเกต โดยตรวจดูสภาพผิวแบร็กเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อตรวจการเกิดออกไซด์โลหะบนผิวแบร็กเกต<sup>2</sup> หรือนำแบร็กเกตที่ผ่านการใช้งานมาตรวจหาองค์ประกอบโลหะเปรียบเทียบกับแบร็กเกตที่ยังไม่ใช้งาน<sup>17</sup>

ที่ผ่านมาแม้แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมจะได้รับการพัฒนาทั้งกรรมวิธีผลิตและชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ผลิต แต่ทันตแพทย์จัดฟันยังคงให้ความสนใจกับคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนของแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เห็นได้จากช่วง 5 ปี ที่ผ่านมา มีรายงานการศึกษากัดกร่อนของแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างต่อเนื่อง แต่ทว่าทั้งหมดเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ<sup>18-23</sup> และแม้แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อน แต่หากแบร็กเกตต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมคลอไรด์ของสระว่ายน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมง/สัปดาห์ เช่น นักกีฬาว่ายน้ำที่ได้รับการติดแบร็กเกตบนผิวฟัน จะมีไอออนที่เหลือน้ำบนผิวแบร็กเกต และมีพื้นผิวแบร็กเกตแตกต่างจากผู้จัดฟันทั่วไปหรือไม่ โดยทั่วไป ผู้ดูแลสระจะใช้กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกเติมลงในสระว่ายน้ำเพื่อฆ่าเชื้อ ผลที่ได้คือคลอไรด์ไอออนและกรดไซยานูริก ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำถึง 2.5-2.7 ผู้ดูแลสระจะใช้โซเดียมคาร์บอเนตในการแก้ไขปัญหาความเป็นกรดเพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ตามมาตรฐาน ดังนั้นการควบคุมปริมาณคลอไรด์ไอออนและความเป็นกรดของสระจึงมีความสำคัญมาก ดังมีรายงานฟันกร่อนจากสภาพความเป็นกรดและคลอไรด์ในสระว่ายน้ำในนักกีฬาว่ายน้ำ<sup>24-26</sup> และจากผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของสระว่ายน้ำในกรุงเทพมหานคร 34 สระ พบมี 9 สระที่ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ตรงกับมาตรฐานของสระว่ายน้ำที่สำนักงานอนามัย กรุงเทพมหานครกำหนดไว้<sup>27</sup> โดยองค์การอนามัยโลก ได้กำหนดค่ามาตรฐานของน้ำในสระว่ายน้ำ โดยให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.2-7.8 และคลอไรด์อิสระไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร<sup>28</sup>

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไอออนโลหะที่เหลือน้ำบนผิวแบร็กเกตและเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวร่องแบร็กเกตก่อนและหลังการใช้งานของแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชนิดในสภาพแวดล้อมคลอไรด์สระว่ายน้ำ 2 สระ และเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะของแบร็กเกต 2 ชนิด

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยในมนุษย์ ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์โรงพยาบาลเลิดสิน

เลขที่หนังสือ 491005 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำอายุ 14-24 ปี จำนวน 28 คน เพศชาย 18 คน เพศหญิง 10 คน จากสระว่ายน้ำ 2 สระ คือ สระว่ายน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU) สระว่ายน้ำโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน (BC) สระละ 14 คน โดยทั้ง 2 สระมีการควบคุมคุณภาพน้ำในสระตามมาตรฐานที่สำนักงานอนามัย กรุงเทพมหานครกำหนดไว้ คือมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.2-7.8 และคลอไรด์อิสระไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร นักกีฬาว่ายน้ำทั้งสองสระมีการฝึกซ้อมว่ายน้ำสัปดาห์ละ 5 วัน วันละ 2.30 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างจากแต่ละสระถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 7 คน ด้วยวิธีการสุ่มตามลำดับก่อนหลังการมารับการรักษาเพื่อติดแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชนิด กลุ่มละชนิด คือ ชนิด AM ผลิตจากสหรัฐอเมริกาและชนิด KO ผลิตจากประเทศเกาหลี แบร็กเกตที่ใช้เป็นรูปแบบ Roth ขนาดร่อง 0.018"X0.025" กลุ่มควบคุมเป็นผู้จัดฟันทั่วไปที่ไม่เป็นนักกีฬาว่ายน้ำและไม่ได้ว่ายน้ำเป็นประจำ อายุ 14-24 ปี จำนวน 14 คน เพศชาย 8 คน เพศหญิง 6 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 7 คน เพื่อติดแบร็กเกต 2 ชนิด โดยใช้วิธีการสุ่มตามลำดับเช่นกัน ก่อนเริ่มการรักษา ผู้ปกครองและผู้ป่วยของทั้งสองกลุ่มได้ลงชื่อในเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัย หลังจากนั้นทั้งสองกลุ่มจะได้รับการติดแบร็กเกตในฟันบน/ล่าง จำนวน 20 ซี่ และติดท่อจัดฟันด้านแก้ม (buccal tube) (Tomy, ญี่ปุ่น) บนฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง ผู้ป่วยทุกรายได้รับการใส่ลวด 4 เส้น คือ ลวด 0.014 NiTi, 0.016 NiTi, 0.016SS และ 0.018SS ตามลำดับและยึดลวดกับร่องแบร็กเกตด้วยยางพอลิยูรีเทน Dyna Sticks (DynaFlex, สหรัฐอเมริกา) ผู้ป่วยได้รับการนัดหมายเพื่อรับการรักษาและเปลี่ยนยางทุกเดือน

หลังรักษานาน 1 ปี ผู้ป่วยถูกนัดมาเพื่อถอดยาง ถอดลวด โค้งในฟันล่างและถอดแบร็กเกต (debond) ตำแหน่งฟันหน้าล่าง 4 ซี่ โดยใช้แรงเฉือนปกในการถอดแบร็กเกต จากนั้นขัดผิวฟันและติดแบร็กเกตชนิดเดิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งานบนผิวฟัน นำแบร็กเกตที่ถูกถอดออกทั้ง 4 ซี่ จากกลุ่มตัวอย่างแต่ละรายใส่รวมกันในหลอดทดลองแก้วขนาด 13x100 มิลลิเมตร เติมกรดเอทิลีนไดอามีนเตตระอะซิติก (อีดีทีเอ) ความเข้มข้นร้อยละ 17 จำนวน 10 มิลลิลิตร นำหลอดทดลองวางบนเครื่องสั่นสะเทือนความถี่สูง (ultrasonic cleaner) (L&R Ultrasonic, สหรัฐอเมริกา) ความถี่ 60 Hz. นาน 30 นาที เทของเหลวจากหลอดทดลองแก้วใส่หลอดทดลองพลาสติกและเติมอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ให้ได้ปริมาณ 30 มิลลิลิตร โดยวิธีนำไอออนโลหะออกจากผิวแบร็กเกตประยุกต์จากวิธีของ Ehsan<sup>29</sup> จากนั้นนำของเหลวที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นส่งตรวจหาปริมาณไอออนเหล็ก (Fe) ออานิกเกิล (Ni) ออานโครเมียม (Cr) โดยใช้วิธีการวัดการดูดกลืนแสงอะตอม (Atomic Absorption Spectroscopic Analysis) ด้วยเครื่อง ICP OES ของบริษัท IQA

จากนั้นนำแบร็กเกต 4 ชั้น จากหลอดทดลองมาเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปผ่านเครื่องสั่นสะเทือนความถี่สูงอีกครั้งนาน 5 นาที ทำแบร็กเกตให้แห้ง นำแบร็กเกต 2 ชั้นจากแต่ละกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มควบคุมและแบร็กเกตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานไปตรวจลักษณะพื้นผิวบริเวณร่องแบร็กเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) (Philip XL 30 cp, เนเธอร์แลนด์) กำลังขยาย 1,000 เท่า

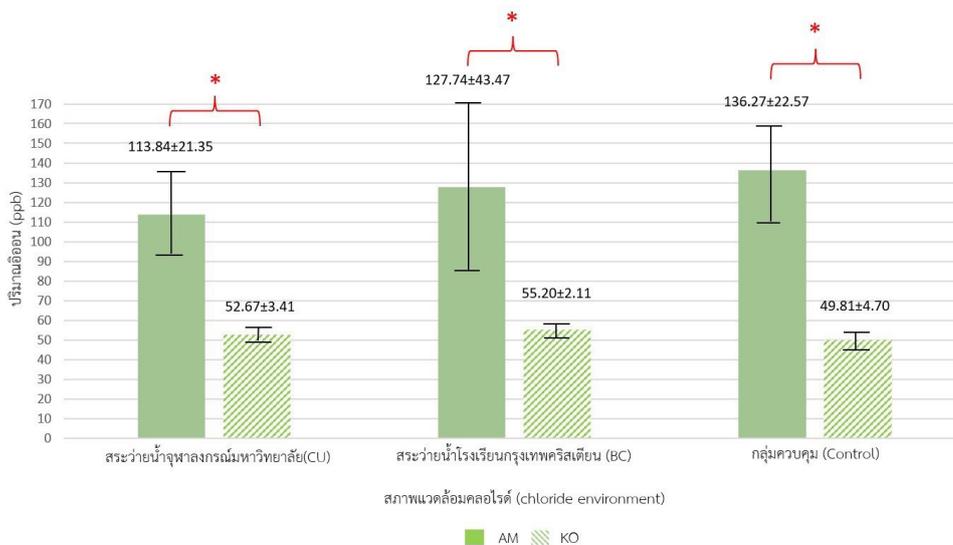
นำแบร็กเกตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 4 ชั้น มาตรวจองค์ประกอบโลหะที่ตำแหน่งปีกแบร็กเกตบนขวาและบนซ้ายของแบร็กเกตชิ้นงานละ 2 ตำแหน่ง รวมตรวจชนิดละ 8 ตำแหน่ง ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ แบบกระจายพลังงาน (Energy – Dispersive X-Ray Spectroscopy) (EDX) (CDUTM LEAPTM Detector, สหรัฐอเมริกา) นำข้อมูลที่ได้ไปเทียบกับค่ามาตรฐาน<sup>1</sup> เพื่อจำแนกชนิดโลหะของแบร็กเกตแต่ละชนิด

นำข้อมูลปริมาณไอออนโลหะที่ได้รับจากห้องปฏิบัติการ มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณไอออนเหล็ก ไอออนโครเมียม ไอออนนิกเกิล ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) เพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดแบร็กเกตกับปัจจัยสภาพแวดล้อมคลอไรด์สระว่ายน้ำ 2 สระและกลุ่มควบคุม โดยจำแนกตามชนิดไอออนโลหะและใช้การทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison Test) ด้วยวิธีของ Tukey ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 16 และ ใช้สถิติเชิงพรรณนา บรรยายลักษณะพื้นผิวแบร็กเกตจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

## ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนโลหะ 3 ชนิด (หน่วยวัดเป็น part per billion (ppb)) ที่เหลือค้างบนพื้นผิวแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชนิด ที่ผ่านการใช้งานในสภาพแวดล้อมคลอไรด์ สระว่ายน้ำ 2 สระ และกลุ่มควบคุมแสดงในรูปที่ 1 - 3

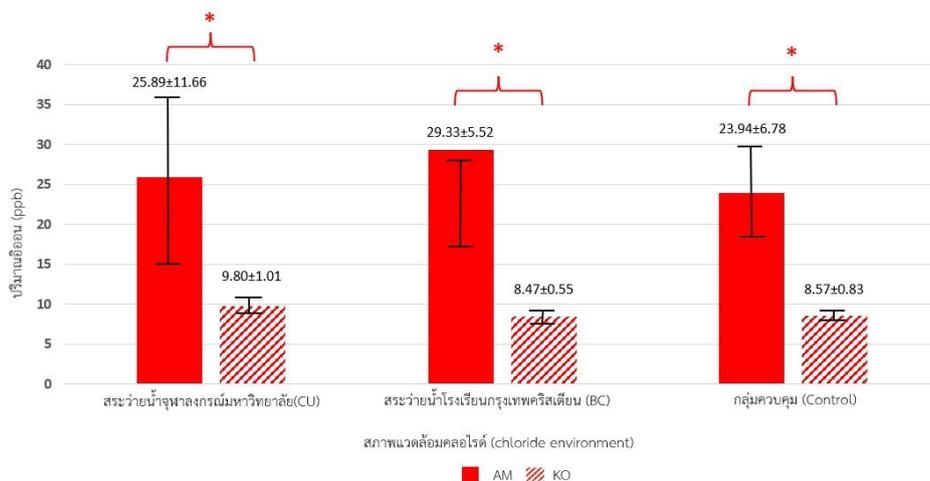
ผลการตรวจหาไอออนโลหะที่เหลือค้างบนผิวแบร็กเกตแบร็กเกต AM พบไอออนเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ ไอออนนิกเกิล และพบไอออนโครเมียมน้อยที่สุด เช่นเดียวกับแบร็กเกต KO ที่พบไอออนเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ ไอออนนิกเกิล แต่ตรวจไม่พบไอออนโครเมียม เนื่องจากมีปริมาณน้อยกว่า 5 ppb ซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุดที่เครื่อง ICP-OES จะตรวจพบได้ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณไอออนเหล็กและนิกเกิล ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางระหว่างปัจจัยชนิดแบร็กเกต 2 ชนิดและปัจจัยสภาพแวดล้อมคลอไรด์สระว่ายน้ำ 2 สระ และกลุ่มควบคุม ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดแบร็กเกตกับปัจจัยสภาพแวดล้อมคลอไรด์สระว่ายน้ำ 2 สระกับกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ กล่าวคือ นักกีฬาที่ว่ายน้ำในสระ 2 สระและกลุ่มควบคุมตรวจพบปริมาณไอออนเหล็กและไอออนนิกเกิลตกค้างบนผิวแบร็กเกตไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญสถิติ แต่นักกีฬาว่ายน้ำที่ใช้แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดกันตรวจพบปริมาณไอออนโลหะตกค้างบนผิวแบร็กเกตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ 0.01 โดยแบร็กเกต AM พบไอออนเหล็ก และไอออนนิกเกิล มากกว่าแบร็กเกต KO ส่วน ไอออน โครเมียมไม่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง เนื่องจากตรวจไม่พบในแบร็กเกต KO



p-values of two-way ANOVA statistical analysis; \* p < 0.01

รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณไอออนเหล็กจำแนกตามชนิดแบร็กเกต และสภาพแวดล้อมคลอไรด์

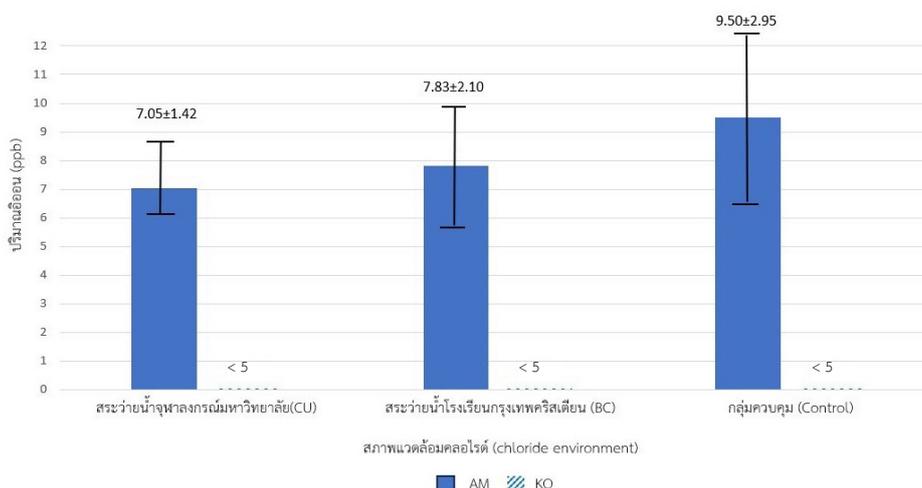
Figure 1 Means and Standard deviation of the amount of iron ion from different brackets types and different chloride environment



p-values of two-way ANOVA statistical analysis; \* p < 0.01

รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณไอออนนิกเกิลจำแนกตามชนิดแบร็กเกต และสภาพแวดล้อมคลอไรด์

Figure 2 Means and Standard deviation of the amount of Nickel ion from different brackets types and different chloride environment



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณไอออนโครเมียมจำแนกตามชนิดแบร็กเกต และสภาพแวดล้อมคลอไรด์

Figure 3 Means and Standard deviation of the amount of Chromium ion from different brackets types and different chloride environment

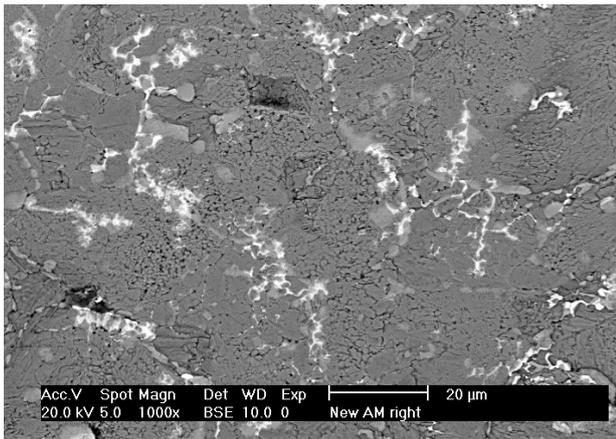
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางแสดงผลของแบร็กเกตต่างชนิดและสภาพแวดล้อมคลอไรด์ที่มีต่อปริมาณไอออนของเหล็ก และไอออนนิกเกิล

Table 1 Two-way ANOVA analysis demonstrating the effects of different bracket types and different chloride environments on the amount of irons and nickel ions.

| Source of variation  | df | Ms       | F ratio | P value |
|----------------------|----|----------|---------|---------|
| <b>Iron</b>          |    |          |         |         |
| Bracket type         | 1  | 56554.70 | 117.31  | .00*    |
| Chloride Environment | 2  | 386.64   | 0.80    | .46     |
| Interaction          | 2  | 561.33   | 1.16    | .32     |
| Error                | 36 | 482.11   |         |         |
| <b>Nickel</b>        |    |          |         |         |
| Bracket type         | 1  | 3193.61  | 89.40   | .00*    |
| Chloride Environment | 2  | 24.79    | 0.69    | .51     |
| Interaction          | 2  | 31.12    | 0.87    | .43     |
| Error                | 36 | 34.72    |         |         |

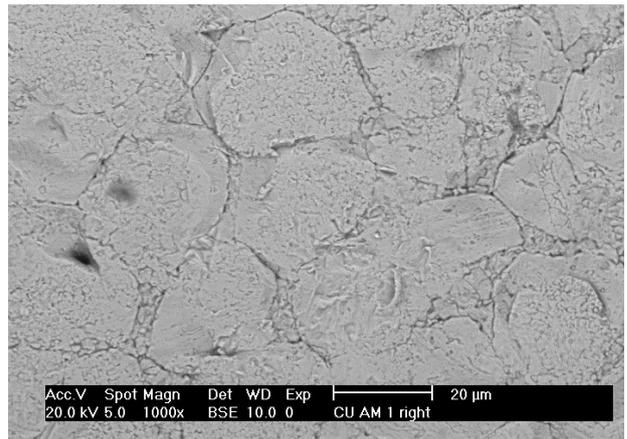
p-values of two-way ANOVA statistical analysis; \* p < 0.01

จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบร์ริเกต AM ที่ไม่ผ่านการใช้งานมีลักษณะเป็นโครงสร้างเกรนโลหะขนาดใหญ่ มีการเรียงตัวของอะตอมโลหะภายในเกรนไม่สม่ำเสมอ และพบเส้นสีขาวบริเวณขอบเกรนโลหะที่บ่งบอกว่าโลหะบริเวณดังกล่าวมีเลขอะตอมแตกต่างจากโลหะที่อยู่ในเกรนโลหะ (รูปที่ 4) ส่วนแบร์ริเกต AM ที่ผ่านการใช้งาน จากสระว่ายน้ำ 2 สระและกลุ่มควบคุมควมมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือพบเกรนโลหะขนาดใหญ่ที่มีการเรียงตัวของอะตอมโลหะภายในเกรนโลหะสม่ำเสมอ พบเส้นสีดำ

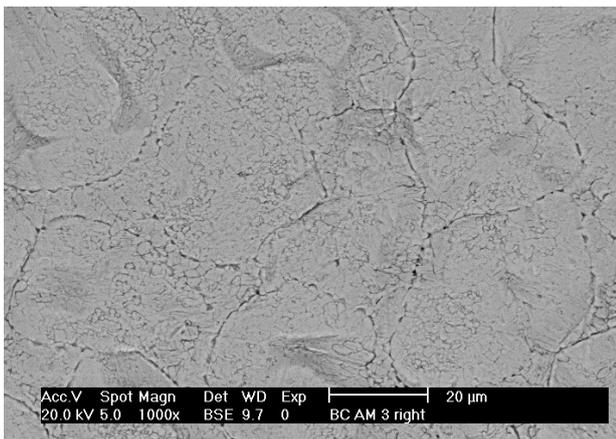


รูปที่ 4 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแบร์ริเกต ชนิด AM ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
Figure 4 SEM image at the slot area of a new AM bracket (x1000)

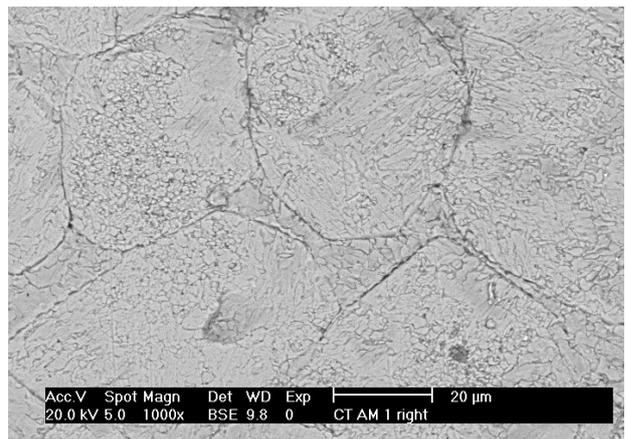
บริเวณขอบเกรนโลหะ (รูปที่ 5 - 7) ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแบร์ริเกต KO ที่ไม่ผ่านการใช้งาน พบเนื้อโลหะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ไม่พบโครงสร้างเกรนโลหะแต่พบมีหลุม (pit) ร่อง (fissure) บนผิวโลหะที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตแบร์ริเกต (รูปที่ 8) ส่วนแบร์ริเกต KO ที่ผ่านการใช้งานจากสระว่ายน้ำ 2 สระ และกลุ่มควบคุม เมื่อเปรียบเทียบกับแบร์ริเกตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานพบเพียงความแตกต่างของการสีบริเวณร่องแบร์ริเกต (รูปที่ 9 - 11)



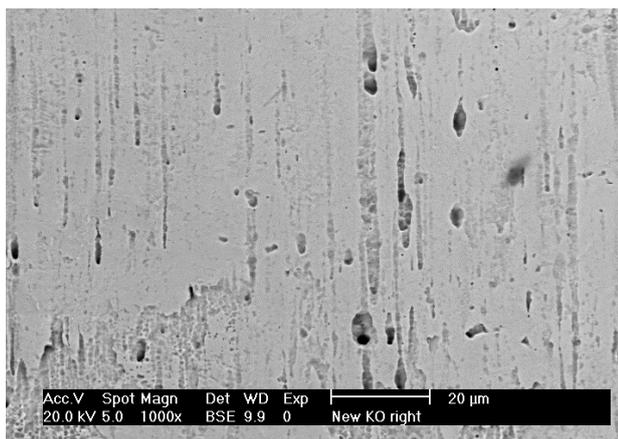
รูปที่ 5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแบร์ริเกต ชนิด AM จากกลุ่มตัวอย่าง สระว่ายน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU) (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
Figure 5 SEM image at the slot area of an AM bracket from CU swimming pool (x1000)



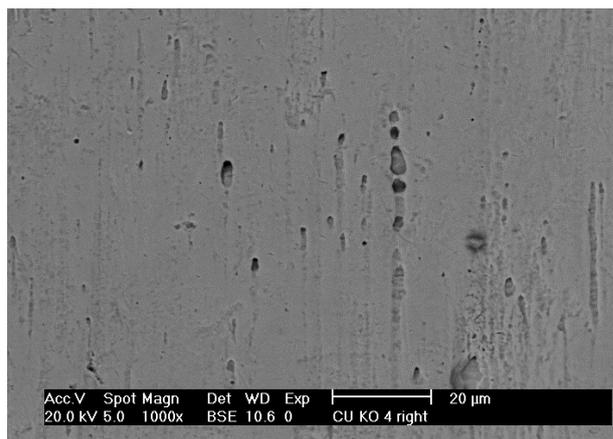
รูปที่ 6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแบร์ริเกต ชนิด AM จากกลุ่มตัวอย่าง สระว่ายน้ำโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน (BC) (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
Figure 6 SEM image at the slot area of an AM bracket from BC swimming pool (x1000)



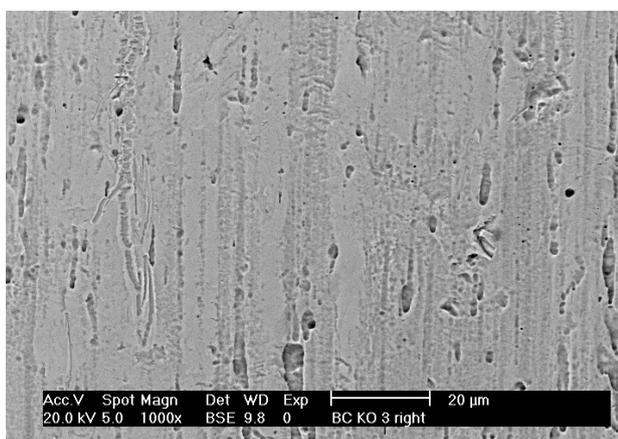
รูปที่ 7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแบร์ริเกต ชนิด AM จากกลุ่มควบคุม (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
Figure 7 SEM image at the slot area of an AM bracket from control group (x1000)



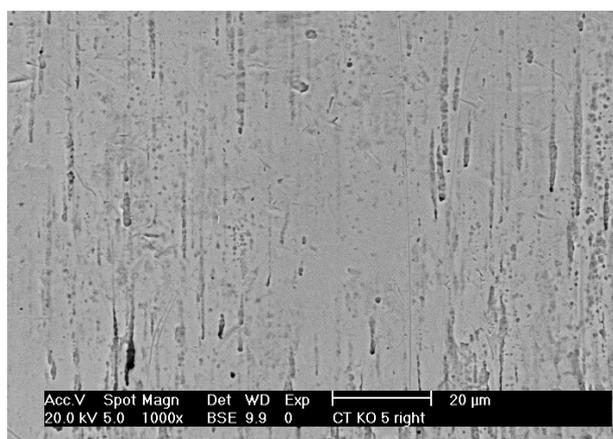
รูปที่ 8 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแปรรีกเกตชนิด KO ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
 Figure 8 SEM image at the slot area of a new KO bracket (x1000)



รูปที่ 9 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแปรรีกเกตชนิด KO จากกลุ่มตัวอย่าง สระว่ายน้ำน้ำจืดจากกรมมหาวิทยาลัย (CU) (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
 Figure 9 SEM image at the slot area of a KO bracket from CU swimming pool (x1000)



รูปที่ 10 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแปรรีกเกตชนิด KO จากกลุ่มตัวอย่าง สระว่ายน้ำน้ำโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน (BC) (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
 Figure 10 SEM image at the slot area of a KO bracket from BC swimming pool (x1000)



รูปที่ 11 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวร่องแปรรีกเกตชนิด KO จากกลุ่มควบคุม (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
 Figure 11 SEM image at the slot area of a KO bracket from control group (x1000)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะของแปรรีกเกตที่ไม่ผ่านการใช้งาน 2 ชนิด (ตารางที่ 2) แปรรีกเกต KO ประกอบด้วย เหล็ก ร้อยละ 72.47 โดยน้ำหนัก โครเมียมร้อยละ 19.06 โดยน้ำหนัก นิกเกิล ร้อยละ 8.31 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน<sup>4</sup> พบว่า ตรงกับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม Austenitic AISI 304 แปรรีกเกตชนิด AM

ประกอบด้วย เหล็กร้อยละ 81.02 โดยน้ำหนัก โครเมียมร้อยละ 11.40 โดยน้ำหนัก นิกเกิลร้อยละ 3.90 โดยน้ำหนัก ทองแดง ร้อยละ 3.68 โดยน้ำหนัก ซึ่งใกล้เคียงกับเหล็กกล้าไร้สนิมในกลุ่ม Precipitate Hardening (PH) กลุ่ม Martensitic ใกล้เคียงกับ grade17-4 PH และ grade 15-5 PH

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานองค์ประกอบโลหะ (wt%) ของแปรรีกเกตชนิด KO และชนิด AM ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานด้วยเครื่อง EDX  
 Table 2 Means and Standard deviation of metal composition (wt%) of new brackets (KO, AM) analyzed by EDX

| ชนิดแปรรีกเกต | อิตอนโลหะ | โครเมียม (wt%) | เหล็ก (wt%) | นิกเกิล (wt%) | ทองแดง (wt%) |
|---------------|-----------|----------------|-------------|---------------|--------------|
| KO (n=8)      |           | 19.06±0.32     | 72.97±1.57  | 8.31±0.41     | -            |
| AM (n=8)      |           | 11.41±0.31     | 81.02±0.85  | 3.90±0.36     | 3.68±0.84    |

## บทวิจารณ์

งานวิจัยฉบับนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง เนื่องจากเป็นการวิจัยในมนุษย์และเป็นการศึกษาไปข้างหน้า (prospective study) จึงเป็นข้อจำกัดในการหาข้อมูลตัวอย่าง ทำให้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีกลุ่มตัวอย่างเพียงสละ 14 คน และเมื่อแบ่งกลุ่มเพื่อติดแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชนิดทำให้เหลือกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มละ 7 คน ส่วนการเลือกตรวจหาปริมาณอโลหะ ได้ทำการส่งตรวจหาอโลหะซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเหล็กกล้าไร้สนิมเพียง 3 ชนิด คือ เหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) และสุม์เลือกใช้แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมสองชนิดจากสองบริษัทที่นิยมใช้ในการรักษาผู้ป่วย โดยแทนชื่อทางการค้าของแบร็กเกตทั้งสองชนิดคือ AM, KO แทนชื่อทางการค้าของแบร็กเกตแต่ละชนิด ด้วยเหตุผลเพื่อป้องกันการละเมิดทางกฎหมาย เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนนี้<sup>18,20</sup>

ในทางโลหะวิทยาการวัดอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อพื้นที่หรือต่อช่วงเวลา การวัดความลึกของหลุมโดยใช้คาลิเปอร์ (caliper) หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ประเมินขนาดหลุม การวัดลักษณะปรากฏที่เปลี่ยนไปด้วยตาเปล่า หรือด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวัดคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน หรือใช้วิธีการไฟฟ้า เพื่อวัดความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะโดยวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าเคมีแบบพลวัต<sup>30</sup> แต่การที่ผู้วิจัยเลือกใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกตก่อนและหลังใช้งานในแบร็กเกตชนิดเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแบร็กเกตต่างชนิด ร่วมกับการเปรียบเทียบปริมาณอโลหะที่ตกค้างบนผิวแบร็กเกตต่างชนิด เนื่องจากแบร็กเกตมีรูปร่างที่ซับซ้อนและแบร็กเกตต่างชนิดมีขนาดพื้นผิวแตกต่างกันและเนื่องจากมีรายงานการพบออกไซด์โลหะจากการกัดกร่อนตกค้างบนผิวแบร็กเกตที่ผ่านการใช้งาน<sup>2</sup> การใช้ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับปริมาณอโลหะที่ตรวจพบเพื่ออธิบายการกัดกร่อนของแบร็กเกตสอดคล้องกับการศึกษาการกัดกร่อนของแบร็กเกตที่สัมผัสผลิตภัณฑ์ที่มีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบ<sup>22</sup> ปริมาณอโลหะที่ตรวจพบบอกถึงอโลหะที่ตกค้างบนผิวแบร็กเกต อันเป็นผลรวมจากการกัดกร่อนของแบร็กเกตในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงผลจากคลอไรด์จากสระว่ายน้ำที่เป็นสภาพแวดล้อมเดียวที่กลุ่มควบคุมไม่ได้รับ

ในการศึกษาครั้งนี้ วิธีการนำอโลหะออกจากผิวแบร็กเกตจะทำโดยการประยุกต์วิธีการของ Ehsan<sup>29</sup> โดยการใช้ฮีตที่เอ เพื่อใช้เป็นสารคีเลต (Chelating agent) กับอโลหะร่วมกับวิธีทำความสะอาดแบร็กเกตของบริษัท ORTHO-CYCLE<sup>31</sup> ที่ใช้เครื่องสั่นสะเทือนความถี่สูง ของเหลวที่เกิดจากขั้นตอนดังกล่าว จะถูกส่งไปยังห้อง

ปฏิบัติการเพื่อตรวจหาปริมาณอโลหะด้วยเครื่อง ICP-OES โดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงอะตอม เมื่อนำปริมาณอโลหะที่ตรวจพบไปวิเคราะห์สถิติพบว่าแบร็กเกตต่างชนิดในแต่ละสละ พบอโลหะเล็กน้อยอโลหะนิกเกิล ตกค้างบนผิวแบร็กเกตในปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สถิติระดับ 0.01 โดยแบร็กเกต AM พบอโลหะเล็กน้อยและนิกเกิลมากกว่าแบร็กเกต KO การพบปริมาณอโลหะในแบร็กเกต AM มากกว่าในแบร็กเกต KO สอดคล้องกับภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแบร็กเกต AM หลังการใช้งาน 1 ปี ที่พบการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion)<sup>32</sup> แต่ในแบร็กเกต KO ที่ผ่านและไม่ผ่านการใช้งานพบเพียงความแตกต่างของการสึกกร่อนของแบร็กเกต ผลวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะของแบร็กเกตด้วยเครื่อง EDX นำมาใช้อธิบายผลวิจัยข้างต้นว่า เนื่องจากแบร็กเกต KO มีองค์ประกอบที่ตรงกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 แต่แบร็กเกต AM จัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกตะกอน (Precipitate Hardening (PH)) เพราะมีองค์ประกอบ นิกเกิลร้อยละ 3.90 โดยน้ำหนัก และทองแดงร้อยละ 3.68 โดยน้ำหนัก และแม้เหล็กกล้าไร้สนิม 17- 4 PH จะมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนใกล้เคียงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304<sup>1,4,10</sup> แต่แบร็กเกต AM มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบเพียง 11.40 wt% ขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิม 17-4 PH มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15-17.5 โดยน้ำหนัก และเหล็กกล้าไร้สนิม 15-5 PH มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 14.0-15.5 โดยน้ำหนัก ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าแบร็กเกต AM ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม PH กลุ่มใด โครเมียมร้อยละ 11.40 โดยน้ำหนัก ในแบร็กเกต AM แม้เพียงพอจะทำให้เกิดพาสซีฟฟิล์มและต้านทานการกัดกร่อนได้ แต่ในสภาพช่องปากที่แบร็กเกตต้องสัมผัสน้ำลายที่มีคลอไรด์แบร็กเกต AM จึงอาจเกิดการกัดกร่อนมากกว่าแบร็กเกต KO ที่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 19.06 โดยน้ำหนัก ทำให้ตรวจพบอโลหะตกค้างบนผิวแบร็กเกต AM สูงกว่าแบร็กเกต KO

ผลการวิจัยที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณอโลหะในแบร็กเกตชนิดเดียวกันจาก 2 สละ และจากกลุ่มควบคุม ทำให้อาจสรุปได้ว่าคลอไรด์จากสระว่ายน้ำที่มีการควบคุมมาตรฐานไม่มีผลทำให้พบอโลหะบนผิวแบร็กเกตมากกว่าปกติ นักกีฬาว่ายน้ำจึงมีความมั่นใจว่าการรับการรักษาทันตกรรมจัดฟันด้วยแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมีความปลอดภัย

สิ่งที่ยืนยันว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการกัดกร่อนในช่องปากจริง พบในการศึกษาในมนุษย์ก่อนหน้า<sup>3</sup>จากการตรวจน้ำลายผู้ป่วยจัดฟันก่อนและหลังติดแบร็กเกต ผลพบว่ามีอโลหะเล็กน้อยอโลหะนิกเกิลปริมาณสูงสุดทันทีที่ติดแบร็กเกต และ

ในสัปดาห์ที่ 3 พบมีปริมาณเท่ากับก่อนติดแบร็กเกต<sup>13</sup> แต่ในการศึกษาที่มีการศึกษาพาราฟินก่อนเก็บน้ำลายพบว่า มีทั้งไม่พบความแตกต่าง<sup>14</sup> และที่พบความแตกต่าง<sup>33</sup> ของปริมาณอออนนิคเกิล และอออนโครเมียม ก่อนและหลังติดแบร็กเกต โดยพบสูงสุดที่สัปดาห์แรกหลังติดแบร็กเกต ส่วนการศึกษาที่ตรวจทั้งน้ำลายและเลือดพบปริมาณอออนนิคเกิล อออนโครเมียมสูงสุดหลังติดเครื่องมือ 1 สัปดาห์<sup>16</sup> แต่มีการศึกษาที่ไม่พบความแตกต่างอออนนิคเกิลในเลือดก่อนและหลังติดเครื่องมือ<sup>15</sup> จากผลการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าว อาจจะประเมินได้ว่ามีการปล่อยอออนโลหะปริมาณสูงออกมาทันทีที่ติดแบร็กเกตในช่องปาก จากนั้นการกักต้อนยังคงดำเนินต่อไปและปลดปล่อยอออนโลหะออกมาอย่างต่อเนื่องแต่เป็นปริมาณน้อย<sup>20</sup> จากการศึกษาครั้งนี้ พบอออนโลหะปริมาณน้อยเนื่องจากการตรวจแบร็กเกตเพียง 4 ชิ้น จากแต่ละตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น และเหตุผลที่ใช้แบร็กเกตฟันหน้าล่างเพราะมีขนาดและพื้นที่ผิวแบร็กเกตเท่ากันทั้ง 4 ซี่ หากจะหาค่าเฉลี่ยปริมาณอออนโลหะต่อแบร็กเกตก็จะสามารถทำได้

การตรวจพบอออนโลหะปริมาณน้อย อาจเกิดจากปัจจัยวิธีการสกัดอออนโลหะด้วยวิธี Ehsan<sup>29</sup> โดยหากเพิ่มเวลาในการสันตะเทือนหรือเปลี่ยนจากอิตีทีเอ เป็นสารตัวอื่น อาจทำให้ตรวจพบอออนโลหะได้มากขึ้น และข้อด้อยของงานวิจัยฉบับนี้คือไม่ได้มีการตรวจวัดปริมาณอออนโลหะบนผิวแบร็กเกตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเพื่อนำมาเป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบเมื่อผ่านการใช้งาน 1 ปี นอกจากนี้อาจมีข้อกังวลว่าอออนโลหะที่ตรวจพบอาจเกิดจากการเสียดสีของลวดจัดฟันกับแบร็กเกตหรืออาจเกิดขณะใช้เครื่องมือถอดแบร็กเกตออกจากผิวฟัน โดยขั้นตอนการเสียดสีอาจก่อให้เกิดผงโลหะ (metal powder) แต่มีได้เป็นอออนโลหะ (metal ion) ซึ่งสารอิตีทีเอ จะคีเลตกับอออนโลหะเท่านั้น ผงโลหะที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนดังกล่าวจึงไม่มีผลต่อปริมาณอออนโลหะที่ตรวจพบ

แม้ปริมาณอออนนิคเกิลที่ตรวจพบในการศึกษาที่ผ่านมาและการศึกษาครั้งนี้ จะมีปริมาณน้อย แต่จากรายงานภาวะไวเกินต่อนิคเกิลในผู้ป่วยจัดฟัน<sup>34-36</sup> และรายงานผู้ป่วยที่เคยเจาะหูหรือเจาะร่างกายมีโอกาสเกิดภาวะไวเกินต่อนิคเกิลภายหลังติดแบร็กเกตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เคยเจาะมาก่อน<sup>37</sup> อาการที่ปรากฏอาจเป็นเหงือกอักเสบ (gingivitis) ภาวะเหงือกอกเกิน (gingival hyperplasia) ริมฝีปากลอก (lip desquamation) ผื่นแดงอักเสบ (multiform erythema) ปวดแสบปวดร้อน (burning sensation) รสโลหะในปาก (metallic taste) แผลเปื่อยที่มุมปาก (angular cheilitis) ปริทันต์อักเสบ (periodontitis)<sup>35,36,38,39</sup> นอกจากนี้อออนนิคเกิลปริมาณต่ำ ๆ ที่ปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องยังมีผลให้เกิดเหงือกโตเกินปกติ (gingival overgrowth) เนื่องจากไปกระตุ้นให้เพิ่มการ

บ่งเซลล์เยื่อผิว (epithelium cell)<sup>40</sup> ทันตแพทย์อาจต้องคำนึงถึงชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ผลิตแบร็กเกต โดยเลือกชนิดที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงเช่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 หรือ 316L1 หรือชนิดที่ไม่มีนิคเกิลเป็นองค์ประกอบในการรักษาผู้ป่วยที่มีประวัติแพ้ นิกเกิล

องค์การอาหารและยา แห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration 2019 (FDA)) กำหนดให้แบร็กเกตโลหะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ CL I (general control) หมายถึงมีความเสี่ยงและอันตรายต่ำ<sup>41</sup> ซึ่งมีความหมายว่าเป็นเครื่องมือที่ต้องการการกำกับดูแลน้อยที่สุด แต่ตามหลักเกณฑ์การจัดประเภทเครื่องมือแพทย์ตามความเสี่ยง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข 2561 ได้จัด ลวดจัดฟัน เป็นเครื่องมือแพทย์ประเภทที่ 2 ในหลักเกณฑ์ มุ่งหมายให้ใช้งานระยะยาวในช่องปากจนถึงช่องคอ ช่องหูจนถึงแก้วหู หรือช่องจมูก และไม่มีแนวโน้มต่อการถูกดูดซึมโดยเยื่อผิวที่มีลักษณะเป็นเมือก<sup>42</sup> แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมได้ถูกจัดให้เป็นเครื่องมือแพทย์กลุ่มนี้เช่นกัน ดังนั้นเมื่ออ้างตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2564 ผู้ที่จะนำแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยจะต้องแจ้งรายละเอียด<sup>43</sup> และต้องเป็นผู้ที่จดทะเบียนสถานประกอบการนำเข้าเครื่องมือแพทย์ โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และจะต้องได้รับการออกหนังสือรับรองการนำเข้าเครื่องมือแพทย์ ตามพระราชบัญญัติเครื่องมือแพทย์<sup>44</sup> ก่อนจึงจะนำแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นมาวางจำหน่ายแก่ทันตแพทย์จัดฟันได้

แต่โดยทั่วไปผู้ผลิตและผู้จำหน่ายแบร็กเกตมักจะไม่แจ้งว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมที่จำหน่าย ผลิตด้วยวิธีใด และผลิตจากโลหะที่มีองค์ประกอบอย่างไร ยกเว้นทันตแพทย์ผู้ซื้อจะสอบถามและอาจมีผู้จำหน่ายบางรายเลือกที่จะนำแบร็กเกตที่มีคุณภาพน้อยมาจำหน่าย ทันตแพทย์จัดฟันจึงต้องตระหนักว่าแบร็กเกตทุกชิ้นเกิดการกัดกร่อนได้ในช่องปาก<sup>1</sup> ดังนั้นก่อนตัดสินใจเลือกซื้อแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมรวมถึงอุปกรณ์จัดฟันอื่นที่ใช้งานในช่องปากผู้ป่วย ทันตแพทย์จัดฟันสามารถสอบถามผู้จำหน่ายเพื่อขอดูใบรับรองการนำเข้าอุปกรณ์ที่ตนเองสนใจ พร้อมสอบถามถึงวิธีการผลิตชนิดโลหะที่ใช้ผลิตจากผู้จำหน่ายก่อนตัดสินใจเลือกใช้แบร็กเกต เพื่อให้การรักษาผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยจัดฟันจะได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันที่ดีมีคุณภาพและมีความปลอดภัยสูงสุด

เนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการศึกษาในสภาวะน้ำที่มีการควบคุมมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณคลอไรด์เป็นอย่างดี ผลการศึกษาจึงไม่ครอบคลุมถึงสภาวะน้ำอื่นหรือสภาวะน้ำที่มีได้มีการควบคุมตามมาตรฐานที่สำนักงานนัยกำหนด

ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจเป็นการศึกษาในสระว่ายน้ำของภาคเอกชน หรือเป็นการศึกษาในสระน้ำเกลือ (Salt Water Sanitation System) ซึ่งมีการใช้เกลือธรรมชาติละลายลงไป และมีคลอไรด์ไอออนเกิดขึ้นระหว่างระบบทำงานหรือศึกษาในสระโอโซน (Ozone Pool System) เนื่องจากมีการใช้คลอรีนร่วมในการฆ่าเชื้อ และแนวทางใหม่ในการศึกษาการกัดกร่อนของแบร็กเกตในมนุษย์อาจเป็นการวัดปริมาณไอออนโลหะในน้ำเหลืองเหงือก (gingival crevicular fluid)<sup>45</sup> ของผู้ป่วยจัดฟันเพื่อเปรียบเทียบการกัดกร่อนของแบร็กเกตต่างชนิดหรือในช่วงเวลารักษาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ควรศึกษาว่าวิธีการผลิตแบร็กเกตที่ต่างกันมีผลต่อการกัดกร่อนของแบร็กเกตอย่างไร และควรนำแบร็กเกตทั้งหมดในช่องปากจำนวน 20 ชิ้นมาตรวจเพื่อหาปริมาณไอออนโลหะที่ถูกกัดกร่อนจากการใช้งานจริง เพื่อให้ทราบว่ามีปริมาณทั้งหมดนั้นจะมีผลต่อสุขภาพหรือไม่

### บทสรุป

แบร็กเกต AM พบไอออนโลหะเหลือค้างบนพื้นผิวแบร็กเกตมากกว่าแบร็กเกต KO และสภาพแวดล้อมคลอไรด์จากสระว่ายน้ำไม่มีผลทำให้เกิดไอออนโลหะเหลือค้างบนแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมากกว่าปกติ

### เอกสารอ้างอิง

1. Khan H. Orthodontic Brackets Selection, Placement and Debonding. North Charleston: Create Space Independent Publishing Platform; 2015.
2. Maijer R, Smith DC. Corrosion of orthodontic bracket bases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982;81(1):43-8.
3. Arici S, Regan D. Alternatives to ceramic brackets: the tensile bond strengths of two aesthetic brackets compared ex vivo with stainless steel foil-mesh bracket bases. *Br J Orthod* 1997;24(2):133-7.
4. Lai JKL. Designing with Stainless Steel; In: Totten GE, Xie L, Funatani K, editors. Handbook of Mechanical Alloy Design. New York : Marcel Dekker; 2004 .P. 355-91.
5. Matasa CG. Biomaterials in Orthodontics; In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL. editors. Orthodontics: Current Principles and Techniques. 4 th ed. St Louis : Mosby; 2005. P.345-89.
6. Baroux B, Béranger G, Lemaitre G. Passivity and passivity breakdown in stainless steels; In: Lacombe P, Baroux B, Beranger G. editors. Stainless steels. France: Les Editions de Physique Les Ulis; 1993 .P. 161-82.
7. Barrette RD, Bishara SB, Quinn JK. Biodegradation of orthodontic appliances Part I. Biodegradation of nickel and chromium in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103(1):8-14.

8. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Maffia E, Massironi S, Scribante A, Alberti G, et al. Chromium release from new stainless steel, recycled and Nickel-Free orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2009;79(2):361-7.
9. Grimsdottir MR, Gjerdet NR, Pettersen AH. Composition and *In vitro* corrosion of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101(6):525-32.
10. Oh KT, Choo SU, Kim KM, Kim KN. A stainless-steel bracket for orthodontic application. *Eur J Orthod* 2005;27(3):237-44.
11. Lin MC, Lin SC, Lee TH, Huang HH. Surface analysis and corrosion resistance of different stainless steel bracket in artificial saliva. *Angle Orthod* 2006;76(2):322-9.
12. Platt JA, Guzman A, Zuccari A, Thornbury DW, Rhodes BF, Oshida Y, Moore BK. Corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112(1):69-79.
13. Gjerdet NR, Erichsen ES, Remlo HE, Evjen G. Nickel and iron in saliva of patients with fixed orthodontic appliances. *Acta Odontol Scand* 1991;49(2):73-8.
14. Kerosuo H, Moe G, Hensten-Pettersen A. Salivary nickel and chromium in subjects with different types of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111(6):595-8.
15. Bishara SE, Barrette RD, Selim MI. Biodegradation of Orthodontic appliances. Part II. Changes in the blood level of nickel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103(2):115-9.
16. Agaoglu G, Arun T, Izgn B, Yarat A. Nickel and Chromium levels in the saliva and serum of patients with fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2001;71(5):375-9.
17. Eliades T, Zinelis S, Eliades G, Athanasiou AE. Characterization of As-received, Retrieved and Recycled Stainless Steel Brackets. *J Orofac Orthop* 2003;64(2):80-7.
18. Wishney M, Mahadevan S, Cornwell JA, Savage T, Proschogo N, Darendeliler MA, Zoellner H. Toxicity of Orthodontic Brackets Examined by Single Cell Tracking. *Toxics* 2022;10(8):460.
19. Fro/is A, Evaristo M, Santos AC, Louro CS. Salivary pH Effect on Orthodontic Appliances: *In Vitro* Study of the SS/DLC System. *Coatings* 2021;11(11):1302.
20. Neculescu DA, Antoniac I, Milea C, Ciurdas M. Structural analysis and corrosion resistance of dental brackets. *U.P.B.sci.Bull., Series B* 2021;83(2):283-90.
21. Khadeer R, Salim S, Kenneth FHT, Lakshmikanth SM, Shendre S, Raghunandan C. Comparative evaluation of ion release from orthodontic brackets in two mouthwashes and two gels: an *in vitro* study. *Int J Appl Dent* 2021;7(2):36-44.
22. Yanisarapan T, Thunyakitpisal P, Chantarawatit P. Corrosion of metal orthodontic brackets and archwires caused by fluoride-containing products: Cytotoxicity, metal ion release and surface roughness. *Orthod Waves* 2018;77(2):79-89.

23. Doomen RA, Nedeljkovic I, Kuitert RB, Kleverlaan CJ, Aydin B. Corrosion of orthodontic brackets: qualitative and quantitative surface analysis. *Angle Orthod* 2022;92(5):661-8.
24. Limsintaropas W, Leelasithorn S, Ungchusuk C. Dental Erosion among Swimming Athletes in Phitsanulok Province. *J Dent Assoc Thai* 1995;45(2):98-104.
25. Thaweboon B, Kritpet T, Waranun B, Thaweboon S. Prevalence of Enamel Erosion in Thai Swimmers and The Related Factors. *J Dent Assoc Thai* 1998;48(3):138-42.
26. Ungchusak C, Mongkolchai-arunya S, Rattananungsima K. Risk Factors of Dental Erosion in Swimmers. *J Dent Assoc Thai* 1999; 49(2):113-9.
27. Manopatanakul S, Piboonniyom Khovidhunkit S, Chaikanjakij W. The study of factors affecting pH of public swimming pools water in Bangkok. *Mahidol Dental J* 2006;26:89-96.
28. World Health Organization (WHO), Guidelines for safe recreational water environments: swimming pools and similar environments 2006; 2: P 1-114.
29. Ehsan S, Prasher SO, Marshall WD. A washing procedure to mobilize mixed contaminants from soil.II.Heavy metals. *J Environ Qual* 2006;35(6):2084-91.
30. Toms AP. The corrosion of orthodontic wire. *Eur J Orthod* 1988; 10(2):87-97.
31. Ortho-cycle, Product Information Materials, Ortho-Cycle Company,1231 Ross Ave.,St Louise, Mo.63146,June,1984.
32. Matasa C, Characterization of used orthodontic brackets; In: Eliades G, Eliades T, Brantley WA, Watts DC, editors. Dental Materials *In Vivo*: Aging and Related Phenomena. Hong Kong: Quintessence Publishing; 2003.P.139-154.
33. Singh DP, Sehgal V, Pradham KL, Chandna A, Gupta. Estimation of nickel and chromium in saliva of patients with fixed orthodontic appliances. *World J Orthod* 2008;9(3):196-202.
34. Dunlap CL, Vincent SK, Barker BF. Allergic reaction to orthodontic wire: report of case. *J Am Dent Assoc* 1989;118(4):449-50.
35. Lindsten R, Kurol J. Orthodontic appliances in relation to nickel hypersensitivity: a review. *J Orofac Orthop* 1997;58(2):100-8.
36. Starkjaer L, Menne T. Nickel allergy and orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 1990;12(3):284-9.
37. Golz L, Papageorgiou SN, Jager A. Nickel hypersensitivity and orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Contact Dermatitis* 2015;73(1):1-14.
38. Janson GR, Dainesi EA, Consolaro A, Woodside DG, Freitas MR. Nickel hypersensitivity reaction before, during and after orthodontic therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;113(6):655-60.
39. Lamster IB, Kalfus DI, Steigerwald PJ, Chasens AI. Rapid loss of alveolar bone association with nonprecious alloy crowns in two patients with nickel hypersensitivity. *J Periodontol* 1987;58(7):486-92.
40. Gursoy UK, Sokucu O, Uitto VJ, Aydin A, Demier S, Toker H, et al. The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. *Eur J Orthod* 2007;29(6):555-8.
41. Sec.872.5410 Orthodontic appliance and accessories, in code of Federal Regulations Title 21 Chapter I. Food and Drug Administration Department of Health and Human Services. Subchapter. Medical Devices. Part 872 Dental Devices April 1, 2019.
42. Guidance on Risk Classification of Medical Device, Medical Device Control Division, Food and Drug Administration, Ministry of Public Health, March 2018.Bangkok: Aksorn Graphic and Design Publication Limited Partnership;2018. P. 1-64.
43. Ministerial Notification: Title: A Group of Medical Devices or Medical Devices Requiring Certificate of Manufactured or Imported Notified Medical Device (No2);2021(138), Special part No 35 Ngor, Government Gazette;2021 Feb 15 .P. 61-8.
44. Medical Device Act (No2);2019(136), Part 56 Kor, Government Gazette,2019 Apr 30: P 126-211.
45. Amini F, Shariati M, Sobouti F, Rakhshan V. Effect of fixed orthodontic treatment on nickel and chromium levels in gingival crevicular fluid as a novel systemic biomarker of trace elements: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016; 149(5):666-72.