รายงานวิจัยเรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะและลักษณะพื้นผิวของแบรกเก็ตจัดฟันที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทรายกับแบรกเก็ตจัดฟันใหม่

โดย

ธ. ทพญ. นงลักษณ์ สมบุญธรรม

ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมป้องกัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

และ

รศ. ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรรัตน์

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย ทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ฉบับที่ 065/2545

617.643
น148ก
ร.3

288	การศึกษาเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะและลักษณะพื้นผิวของแบรกเก็ตจัดฟันที่นำกลับมาใช้ใหม่	นงลักษณ์ สมบุญธรรม	617.643 น148ก ร.3	31011103916912

617.643
น148ก
ร.3

รายงานวิจัย

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะและลักษณะพื้นผิวของแบรกเก็ตจัดฟันที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทรายกับแบรกเก็ตจัดฟันใหม่

(Comparisons of metal ion release and surface characteristic between new and recycled orthodontic metal brackets by sandblast technique)

โดย

อ.ทพญ. นงลักษณ์ สมบุญธรรม

ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมป้องกัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

และ

รศ. ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย ทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ สัญญาเลขที่ 065/2545

128445

ชื่อเรื่อง **การศึกษาเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะและลักษณะพื้นผิว ของแบรกเก็ตจัดฟันที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทรายกับแบรกเก็ตจัดฟันใหม่**

ผู้วิจัย **1. อ.ทพญ. นงลักษณ์ สมบุญธรรม**

วุฒิการศึกษา Master of Science in Dentistry, Certificate in Orthodontics
ตำแหน่ง อาจารย์
สถานที่ทำงาน ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมป้องกัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ 114 ซอย 23, ถ. สุขุมวิท, เขตคลองตัน กทม.10110
โทร. (02) 664-1000 ต่อ 5081
โทรสาร (02) 260-1457
E-mail nonglako@swu.ac.th

แหล่งเงินทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โครงการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ สัญญาเลขที่ 065/2545

2. รศ. ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์

วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สถานที่ทำงาน ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ ถนนอังรีดูนังต์ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
โทร. (02) 218-8903

Title **Comparisons of metal ion release and surface characteristic between new and recycled orthodontic metal brackets by sandblast technique**

Principal Investigator

1. **Dr. Nonglak Sombuntham**

Education	Master of Science in Dentistry, Certificate in Orthodontics
Position	Instructor
Address	Department of Pedodontics and Preventive Dentistry
	Srinakarinwirot University
Telephone	(02) 664-1000 ext 5081
Facsimile	(02) 260-1457
E-mail	nonglako@swu.ac.th
Grant	Supported by Srinakharinwirot Research Grant No. 065/2545

Co-Investigator

2. **Associate Professor Chairat Wiwatwarrapan**

Education	Master of Science (Polymer Science)
	Chulalongkorn University
Position	Associate Professor
Address	Department of Prosthodontics
	Faculty of Dentstry, Chulalongkorn University
	Henri Dunant Road, Patumwan District, Bangkok
Telephone	(02) 218-8903

ชื่อเรื่อง **การศึกษาเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะและลักษณะพื้นผิว ของแบรกเก็ตจัดฟันที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทรายกับแบรกเก็ตจัดฟันใหม่**

บทคัดย่อ

การนำแบรกเก็ตจัดฟันโลหะมาใช้ใหม่อาจทำได้โดยการพ่นทราย งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการพ่นทรายต่อการสึกกร่อนของนิเกิลและโครเมียมไอออน และวิเคราะห์พื้นผิวของฐานของแบรกเก็ตจัดฟันโลหะที่นำกลับมาใช้ใหม่เมื่อเทียบกับแบรกเก็ตใหม่ กลุ่มตัวอย่างเป็นแบรกเก็ตจัดฟันโลหะสำหรับฟันกรามน้อย ที่มีลักษณะฐานแบบ Ormesh® base รุ่น Minidiamond ผลิตภัณฑ์บริษัท Ormco Corportion ที่มีขนาดร่องกว้าง 0.018 และ 0.022 นิ้ว กลุ่มที่ 1 หรือกลุ่มควบคุมเป็นแบรกเก็ตใหม่จำนวน 42 อัน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยแบรกเก็ตใหม่ 42 อัน ซึ่งนำมาติดบนฟันกรามน้อยที่ถูกถอน แล้วทำให้หลุดออกด้วยเครื่อง Lloyd® universal testing machine และทำความสะอาดด้วยเครื่องพ่นทราย รุ่น Macro Cab ผลิตภัณฑ์บริษัท Danville Engineering, Inc. โดยใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน กลุ่มที่ 3 เป็นแบรกเก็ตจำนวน 41 อัน ที่หลุดจากการปฏิบัติงานในคลินิกและนำมาพ่นทรายด้วยวิธีเดียวกัน จากนั้นสุ่มแบรกเก็ตจากแต่ละกลุ่ม กลุ่มละ 36 อัน มาแช่ในขวดพลาสติกที่บรรจุน้ำกลั่น 15 มล. โดยใส่แบรกเก็ตจากกลุ่มเดียวกันขวดละ 6 อัน นำกลุ่มตัวอย่างเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 วัน เก็บตัวอย่างสารละลายปริมาณ 8 มล. จากแต่ละขวดที่เวลา 0, 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน, และ 180 วัน ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง มีการเติมน้ำกลั่นกลับคืนในปริมาณเท่าเดิม การวิเคราะห์ปริมาณ นิเกิลและโครเมียมไอออนทำโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer รุ่น PLASMA-1000 ผลิตภัณฑ์ บริษัท Perkin Elmer ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและลักษณะพื้นผิวฐานของแบรกเก็ตที่เหลือจากแต่ละกลุ่มด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ซึ่งมี Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDXs) จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Kuskal Wallis Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการศึกษาพบว่าปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมา ณ เวลาต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ ($p \leq 0.001$) โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณนิเกิลไอออนที่เวลา 24 ชม., 30 วัน, 90 วัน, และ 180 วัน มากกว่ากลุ่มอื่น (5.36, 19.53, 23.94, และ 39.45 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ) แบรกเก็ตในกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยปริมาณนิเกิลไอออน ณ เวลาต่างๆกันน้อยที่สุด (0.75, 4.01, 4.88, และ 5.27 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ส่วนปริมาณโครเมียมไอออนจากแบรกเก็ตทุกกลุ่ม มีค่าน้อยจนไม่สามารถวัดได้ (< 0.008 ไมโครกรัม/ลิตร) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุที่พื้นผิวฐานแบรกเก็ตพบว่า ปริมาณนิเกิลและเหล็กที่ฐานแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตใหม่ ส่วนปริมาณโครเมียมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแบร็กเก็ตใหม่ ($p \leq 0.05$) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณนิเกิลไอออนเฉลี่ยที่ปล่อยออกมาในระยะเวลา 180 วันจากแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ ไม่เกินปริมาณสะสมที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

Title Comparison of metal ion release and surface analysis between recycled brackets by sandblasting and new brackets

Abstract

Sandblasting was recently introduced to recycle used orthodontic metal brackets. The study investigated Nickel and Chromium ion released from recycled brackets by sandblasting and elemental analysis of surface of bracket base. All samples were 0.018" and 0.022" slot orthodontic metal brackets for premolars (Ormesh® base, Minidiamond, Ormco Corp.). Group1 were 42 new brackets as control. Group 2 were 42 new brackets bonded to extracted human premolars and debonded by Lloyd® universal testing machine. The bracket base was cleaned by sandblaster (Macro Cab, Danville Engineering, Inc.) using 50 μm Aluminium Oxide. Group 3 comprised of 41 bonded-failure brackets collected from dental clinics and recycled by sandblasting with the same method. 36 brackets of each group were immersed in plastic bottles containing 15 ml. distilled water and made into six replicates. The samples were kept in an incubator at 37°C. over a period of 180 days. 8 ml. solution was drawn from each bottle to evaluate for Nickel and Chromium ion released at the time 0 hr., 24 hrs.. 30, 90 and 180 days. The same amount of distilled water was replaced back into the bottles each time of sample collection. Nickel and Chromium ion release were analyzed by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (PLASMA-1000, Perkin Elmer Inc.). Elemental analysis at base of the rest of brackets was carried out by Scanning Electron Microscope with an Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDXs). Kruskal Wallis test indicated highly significant difference of Nickel ion released among the three groups over the period of 180 days ($p \leq 0.001$). Nickel ion released from group 2 was greater than the other groups (mean = 5.36, 19.53, 23.94, and 39.45 μg/L respectively) Nikel ion released from group 3 was the least (mean = 0.75, 4.01, 4.88 and 5.27 μg/L respectively). Nickel released from each group increased over a period of time. The release of Chromium ion was less than the minimum value that the instrument could detect (mean < 0.008 μg/L) From elemental analysis, there was no significant difference in metal composition of the new and recycled brackets except Chromium ($p \leq 0.05$). The cumulative amounts of Nickel ion release averaged over the period of 180 days did not exceed the normal daily intake.

บทนำ

อุปกรณ์จำเป็นที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยในงานทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่น ได้แก่ ตัวยึดลวดจัดฟัน หรือเรียกว่า แบรกเก็ต (bracket) ในปัจจุบันแบรกเก็ตทุกชนิดที่มีจำหน่ายในประเทศไทยเป็นเครื่องมือที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ทำให้มีราคาค่อนข้างสูง ทันตแพทย์จัดฟันจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ดังกล่าวอย่างระมัดระวังและคุ้มค่า อย่างไรก็ตามในการติดแบรกเก็ตเหล่านี้บนผิวฟันของผู้ป่วยด้วยวัสดุยึดติด (adhesive material) ต้องอาศัยความชำนาญและวิธีการที่ถูกต้องอย่างมาก ดังนั้นจึงพบว่าทันตแพทย์จัดฟันส่วนใหญ่มีประสบการณ์ของการที่แบร็กเก็ตเหล่านี้หลุดในระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันมาแล้ว แนวคิดในการนำแบรกเก็ตที่หลุดหรือใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ จึงมีอยู่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยมีกรอบสำคัญในการพิจารณาสองประการ คือ ประการแรก แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ต้องมีคุณสมบัติคงเดิมตามวัตถุประสงค์การใช้งาน กล่าวคือ สามารถยึดติดกับฟันได้ดี, สามารถรับแรงจากลวดจัดฟัน และนำฟันให้เคลื่อนไปตามลวดได้ดังเดิม ประการที่สองคือต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่คงทน และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายหลังจากนำกลับมาใช้ใหม่ ได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อนำแบรกเก็ตที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่ในหลายวิธี โดยหลักการที่สำคัญคือ การทำความสะอาดโดยเฉพาะบริเวณฐานของแบรกเก็ตซึ่งมักทำเป็นตะแกรงเพื่อให้เป็นที่ยึดเกาะระหว่างวัสดุยึดติดกับผิวฟัน วิธีทำความสะอาดฐานแบรกเก็ต ได้แก่ การให้ความร้อนเพื่อเผาไหม้วัสดุยึดติดซึ่งเป็นสารที่มีองค์ประกอบของเรซิน[๑, ๒, ๓] นอกจากนี้อีกวิธีการหนึ่งคือ การใช้สารเคมีเป็นตัวทำละลายวัสดุยึดติดที่เหลือค้างบนฐานแบรกเก็ต[๑, ๒, ๓] แต่วิธีนี้จำเป็นต้องใช้สารเคมีซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยของ Buchman[๗] แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนโดยการเผาด้วยตะเกียงบุนเสน เป็นวิธีการที่ทันตแพทย์จัดฟันสามารถทำความสะอาดแบรกเก็ตโลหะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในสถานบริการเองได้ โดยฐานแบรกเก็ตที่นำมาทำความสะอาดเพื่อใช้ใหม่ไม่ได้ทำให้ความสามารถในการยึดติดของวัสดุยึดติดกับผิวฟันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือทำให้คุณสมบัติทางกายภาพอื่นของแบรกเก็ตเปลี่ยนแปลงไปและการไม่สามารถขจัดออกไซด์ที่เกิดจากการเผา ทำให้แบรกเก็ตโลหะมีสีดำคล้ำไม่สวยงาม มีงานวิจัยรายงานถึงความสามารถในการยึดติดของวัสดุยึดติดระหว่างฐานของแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีดังกล่าวกับผิวฟันมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตใหม่[๓, ๔] แต่ค่าความแข็งแรงยึดระหว่างวัสดุยึดติดกับผิวฟันยังเพียงพอในการใช้งานในคลินิกสำหรับงานทันตกรรมจัดฟัน ทำให้ในปัจจุบันมีการรับบริการทำความสะอาดแบรกเก็ตเหล่านี้ในเชิงพาณิชย์ทั้งสองวิธี โดยค่าใช้จ่ายในการนำกลับมาใช้ใหม่มีราคาถูกกว่า การซื้อแบรกเก็ตใหม่หลายเท่า

เทคนิคการเป่าพ่นทรายเป็นเทคนิคที่ทำเพื่อเตรียมพื้นที่ผิวให้มีความขรุขระระดับจุลภาค (micro-roughness) สำหรับการช่วยในการยึดเกาะของวัสดุยึดติดในงานทันตกรรมหลายสาขา เช่นทันตกรรม

ประดิษฐ์ ปัจจุบันทันตแพทย์เริ่มมีแนวคิดที่จะประยุกต์เอาเครื่องพ่นทรายมาใช้ในการทำความสะอาดฐานแบรกเก็ตที่ใช้แล้วในงานทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากเครื่องเป่าพ่นทรายสามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางในงานทันตกรรม และ มีทั้งชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และ ชนิดที่ใช้ในคลินิกบริการ (Hand microblast) เทคนิควิธีการพ่นทรายจึงได้รับความสนใจมากขึ้น Newman และคณะ[๕] ได้ทดลองนำแบรกเก็ตมาใช้ใหม่โดยผ่านกรรมวิธีต่างๆ และรายงานว่าวิธีการพ่นทรายด้วย ผงอลูมินัมออกไซด์ขนาด 90 ไมครอน ทำให้มีค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (Shear bond strength) เพิ่มขึ้น โดย Newman และคณะ ให้เหตุผลว่า การพ่นทรายนอกจากจะช่วยกำจัดวัสดุยึดติดที่หลงเหลือค้างแล้ว ยังช่วยทำความสะอาดสิ่งปนเปื้อน และออกไซด์ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความขรุขระและพื้นที่ผิวของฐานแบรกเก็ตอีกด้วย ในขณะที่ Willems, Carels และ Varbeke [๖] ได้ทดลองทำความสะอาดด้วยวิธีพ่นทรายที่ฐานของแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ชนิดต่างๆ และพบว่าการพ่นทรายที่ฐานแบรกเก็ตชนิดตะแกรง (Ormesh®) ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดเฉือน นอกจากนี้มีงานวิจัยซึ่งศึกษาเปรียบเทียบการยึดติดกับผิวฟันระหว่างฐานชนิดต่างๆของแบรกเก็ตใหม่และแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่หลังการทำความสะอาดด้วยวิธีพ่นทราย โดยดูจากค่าความแข็งแรงปอกและแรงยึดเฉือน (peel and shear bond strength)[๖] พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่มีปรากฏในวารสารวิชาการในระยะที่ผ่านมาเป็นการทดลองนำแบรกเก็ตที่ทำให้หลุดในห้องปฏิบัติการมาใช้ใหม่ จีรภรณ์ สมพรประสิทธิ์และคณะ[๗] จึงเก็บตัวอย่างแบรกเก็ตที่หลุดระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในคลินิกต่างๆ นำมาใช้ใหม่โดยวิธีพ่นทราย และศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดเฉือนของแบร็กเก็ตที่ทำให้หลุดในห้องปฏิบัติการที่นำมาพ่นทรายและกลุ่มแบรกเก็ตใหม่ ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงยึดเฉือนของทั้งสามกลุ่ม (14.24 $\pm$5.76, 14.09 $\pm$4.73, 15.51$\pm$3.91 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ) และค่าความแข็งแรงยึดเฉือนของทั้งสามกลุ่มอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในการใช้งานทางคลินิกในงานทันตกรรมจัดฟัน(7.1 $\pm$4.4 เมกกะปาสคาล)[๘] การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพ่นทรายสามารถทำความสะอาดวัสดุยึดติดที่ตกค้างบนฐานแบรกเก็ตได้ และเมื่อนำแบรกเก็ตนั้นมาใช้งานใหม่ ก็มีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุยึดติดและผิวฟันเพียงพอสำหรับการปฏิบัติงานในคลินิก อย่างไรก็ตาม การพ่นทรายน่าจะมีผลต่อการสึกกร่อนของแบรกเก็ต นอกจากนี้มีรายงานว่าโลหะที่สึกกร่อนในรูปไอออนอิสระจากแบรกเก็ตใหม่ที่ใช้งานทางทันตกรรมจัดฟัน และทำให้ผู้ป่วยมักเกิดอาการแพ้ คือ โลหะนิเกิล[๙] Huang, Yen และ Kao[๑๐] จึงศึกษาการสึกกร่อนของไอออนของนิเกิล,โครเมียม, เหล็ก และ แมงกานีส ของแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีให้ความร้อน จากการวิเคราะห์ด้วย Atomic absorption spectrophotometer พบว่า แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ มีการปล่อยไอออนของนิเกิล, เหล็ก และ แมงกานีส มากกว่าแบรกเก็ตใหม่ และพบว่าปริมาณการปล่อยไอออนแปรตามเวลาที่ผ่านไป อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาการสึกกร่อนของแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทราย

การสึกกร่อนของแบรกเก็ตโลหะใหม่ที่ใช้ในช่องปาก มีหลายตำแหน่ง มีรายงานว่าการสึกกร่อนที่มักพบในงานทันตกรรมจัดฟันคือ Crevice corrosion[๑๑] ซึ่งมักพบที่บริเวณฐานแบรกเก็ตซึ่งสัมผัสกับวัสดุยึดติดที่เป็นกลุ่มเรซินหรือพลาสติก อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยของ Huang และคณะ[๑๐] เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ และทดสอบการกร่อนของโลหะของแบรกเก็ตทั้งชิ้นโดยการแช่ในสารละลายน้ำลายเทียม Park และ Shearer[๑๒] ได้ทดสอบการสึกกร่อนของนิเกิล และโครเมียม โดยใช้อุปกรณ์เลียนแบบเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นในช่องปาก (Simulated orthodontic appliances) ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนครอบฟัน (Bands), แบรกเก็ตที่ปิดฐานด้วยวัสดุยึดติด และ ลวดจัดฟัน ทำการทดลองแช่ในสารละลายน้ำเกลือ พบว่าปริมาณการปล่อยโลหะนิเกิล และ โครเมียม ต่อวัน ยังอยู่ในระดับต่ำกว่าปริมาณที่ได้จากสารอาหารเฉลี่ยที่รับประทานต่อวัน (average dietary intake) มาก

ผลจากการพ่นทรายทำให้เกิดคำถามที่ว่า แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่จะมีการสึกกร่อนจนขาดคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องของความแข็งแรงทนทานหรือไม่, การปล่อยไอออนอิสระของโลหะของแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่เหล่านี้อยู่ในระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์หรือไม่, นอกจากนี้ลักษณะพื้นผิวของฐานแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในระดับจุลกายวิภาค การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสึกกร่อนของโลหะ โดยวัดปริมาณการปล่อยไอออนของนิเกิล และ โครเมียม และ ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฐานแบรกเก็ต ที่มีผลต่อการยึดเกาะ (retention) ของวัสดุยึดติด โดยการตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด ระหว่างแบรกเก็ตจัดฟันโลหะที่หลุดในห้องปฏิบัติการและแบรกเก็ตที่หลุดระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในคลินิก ซึ่งนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการพ่นทราย เปรียบเทียบกับแบรกเก็ตจัดฟันโลหะใหม่

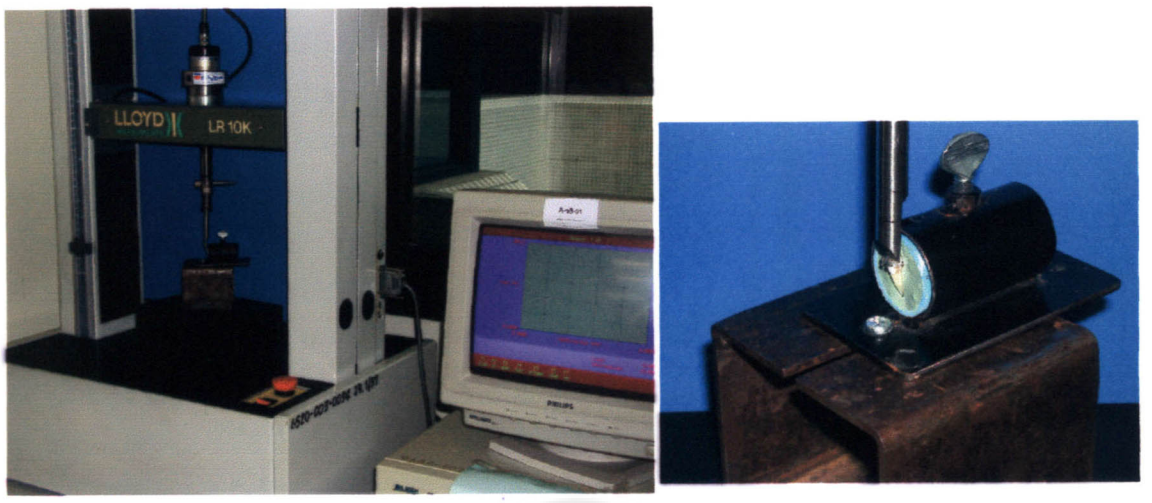
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยแบร็กเก็ตจัดฟันโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม(stainless steel) ผลิตภัณฑ์ Ormesh® base รุ่น Minidiamond (บริษัท Ormco Corporation, California, USA) ตามระบบ AISI (American Iron and Steel Institute) เป็นชนิด PH-14 ใช้สำหรับฟันกรามน้อยบนและล่าง มีขนาดร่องกว้าง 0.018 นิ้ว และ 0.022 นิ้ว ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ คือ กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) เป็นแบรกเก็ตจัดฟันโลหะใหม่สำหรับฟันกรามน้อยขนาดร่องกว้าง 0.018 นิ้ว และ 0.022 นิ้ว จำนวน 42 อัน กลุ่มทดลอง แบ่งออกเป็น กลุ่มที่ 2 คือ แบรกเก็ตใหม่สำหรับฟันกรามน้อยจำนวน 42 อัน ที่จำลองสถานการณ์การหลุดของแบรกเก็ตในทางคลินิก โดยการนำแบรกเก็ตใหม่มาทาวัสดุยึดติดและติดบนผิวฟันที่อยู่ในบล็อกจากนั้นทำให้หลุดในห้องปฏิบัติการโดยใช้ Universal Testing Machine (Lloyd Machine®) และนำไปทำความสะอาดที่ฐานแบรกเก็ตโดยการพ่นทราย กลุ่มที่ 3 คือ แบรกเก็ตที่หลุดระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันของทันตแพทย์จัดฟัน จำนวน 41 อัน แบรก

เก็ตเหล่านี้เก็บรวบรวมจากคลินิกทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และคลินิกเอกชน โดยเป็นแบรกเก็ตที่หลุดเนื่องจากความล้มเหลวของการยึดติด (Bond Failure) ในการใช้งานในคลินิก และมีวัสดุยึดติดเหลือค้างไม่น้อยกว่า ½ ของพื้นที่ฐานแบรกเก็ต และนำไปทำความสะอาดฐานแบรกเก็ตโดยการพ่นทราย กลุ่มที่ 4 คือ แบร็กเก็ตสำหรับฟันกรามน้อยจำนวน 28 อัน ที่ได้จากการทดลองของจีรภรณ์ สมพรประสิทธิ์และคณะ[๗] ซึ่งเป็นแบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการโดยใช้ Lloyd® Universal Testing Machine แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยการพ่นทราย จากนั้นนำไปศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (Shear Bond Strength) ระหว่างแบรกเก็ตกับผิวฟัน ในการศึกษานี้จะนำแบรกเก็ตกลุ่มนี้มาปิดพื้นที่บริเวณฐานแบรกเก็ตด้วยวัสดุยึดติด และทดสอบการกร่อนของแบรกเก็ตโลหะในพื้นผิวที่เหลือ กลุ่มที่ 5 คือ แบร็กเก็ตสำหรับฟันกรามน้อยจำนวน 28 อัน ที่ได้จากการทดลองของจีรภรณ์ สมพรประสิทธิ์และคณะ[๗] ซึ่งเป็นแบรกเก็ตที่หลุดระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันของทันตแพทย์จัดฟัน แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยการพ่นทราย จากนั้นนำไปศึกษาค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (Shear Bond Strength) ระหว่างแบรกเก็ตกับผิวฟัน ในการศึกษานี้จะนำแบรกเก็ตกลุ่มนี้มาปิดพื้นที่บริเวณฐานแบรกเก็ตด้วยวัสดุยึดติด และทดสอบการกร่อนของแบรกเก็ตโลหะในพื้นผิวที่เหลือ

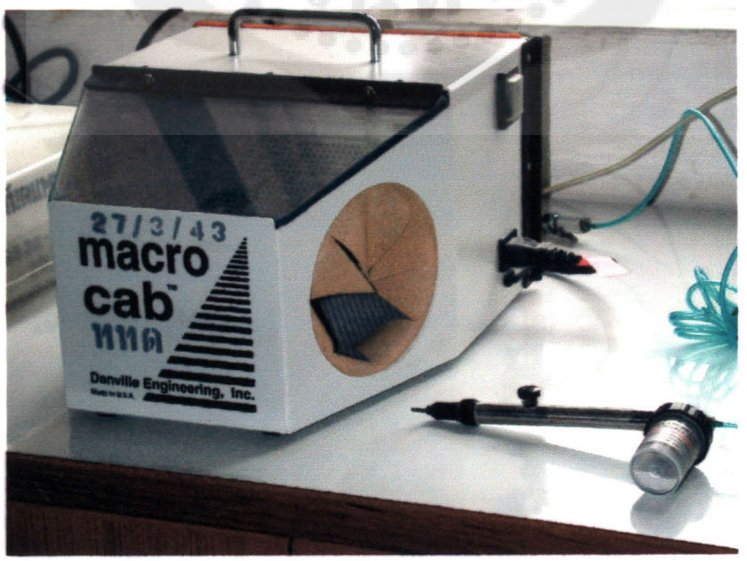
ขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเตรียมแบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการทำโดย การนำฟันกรามน้อยที่ถูกถอนจำนวน 42 ซี่ และเก็บในน้ำเกลือ (Normal Saline) มาลงบล็อกฟันแล้วแช่น้ำเกลือเก็บที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นติดแบรกเก็ตบนฟันกรามน้อยด้วยวัสดุยึดติด รุ่น Rely-a-bond® ผลิตภัณฑ์บริษัท Reliance Orthodontic Product Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมผิวฟันด้วยเทคนิคตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ในการติดแบรกเก็ตใช้แรงกดขนาด 2 ออนซ์ ซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดแรง (Force gauge) ผลิตภัณฑ์บริษัท ETM Corporation, Monrovia, ประเทศแคนาดา โดยขบวนการติดแบรกเก็ตทำโดยทันตแพทย์จัดฟันคนเดียวกัน นำบล็อกฟันแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้แบรกเก็ตหลุดจากฟัน ในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Lloyd® model LR10 K, Lloyd, England) (รูปที่1)โดยใช้หัวกดที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร / นาที ตามวิธีมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ



รูปที่ 1 แสดงเครื่อง Lloyd® Universal Testing Machine (model LR10 K, Lloyd, England) ในการวัดค่าแรงยึดเฉือน และการทำให้แบรกเก็ตหลุดออกจากฟัน

การเตรียมทำความสะอาดฐานแบรกเก็ตที่ใช้แล้วด้วยการพ่นทราย กระทำโดยพ่นทรายที่ฐานแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 ด้วยเครื่องพ่นทราย Macro Cab ผลิตภัณฑ์บริษัท Danville Engineering, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 2) ที่มีแรงดัน 5-7 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ด้วยผงอลูมินัมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอน เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นสังเกตด้วยตาเปล่า ถ้ายังเห็นวัสดุยึดติดหลงเหลืออยู่บนผิวฐานแบรกเก็ต ให้ทำการพ่นทรายต่ออีก ครั้งละ 5 วินาที จนกว่าจะเห็นว่าฐานแบรกเก็ตสะอาดปราศจากวัสดุยึดติดเหลือค้าง บันทึกเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำความสะอาดแบรก เก็ต หน่วยเป็นวินาที จากนั้นนำแบรกเก็ตโลหะไปทำความสะอาดด้วยเครื่องสั่นสะเทือนความถี่สูงเป็นเวลา 10 วินาที แล้วเป่าลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2 เครื่องพ่นทราย Macro Cab ผลิตภัณฑ์บริษัท Danville Engineering, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา

การปิดพื้นผิวฐานของแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 4 และ กลุ่มที่ 5 ทำโดยใช้วัสดุยึดติด รุ่น Rely-a-bond® ผลิตภัณฑ์บริษัท Reliance Orthodontic Product Inc., ประเทศ สหรัฐอเมริกา ตามวิธีของ วัฒนะ มธุรสัยและอนันต์ หล่อทองคำ[๑๓] โดยทาวัสดุยึดติดที่ฐานแบรกเก็ตจนเต็ม แล้วกดแบรกเก็ตลงบนกระดาษตะกั่ว ด้วยแรง 2 ออนซ์ ซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดแรง ที่ใช้ในกลุ่ม 2 กำจัดส่วนเกินของวัสดุยึดติดที่ขอบแบรกเก็ต

การวัดปริมาณของนิเกิลและโครเมียมไอออน ทำโดยเตรียมน้ำกลั่น ผลิตภัณฑ์บริษัท Thai victory ลงในภาชนะปิดฝาทำด้วยพลาสติก ปริมาณ 15 มิลลิลิตร จำนวน 18 ขวด ใส่แบรกเก็ตจากแต่ละกลุ่มโดยการสุ่มในภาชนะที่เตรียมไว้ จำนวนขวดละ 6 อัน พันฝาขวดพลาสติกด้วยพาราฟิน (paraffin) ให้แน่นหนาเพื่อป้องกันการระเหย นำภาชนะไปใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่มีแบรกเก็ตแช่อยู่ จำนวนขวดละ 8 มิลลิลิตร ณ เวลา 0 ชั่วโมง และหลังจากการควบคุมอุณหภูมิ ณ เวลา 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน เพื่อนำไปวัดหาความเข้มข้นของปริมาณของนิเกิล และโครเมียมไอออน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Model PLASMA-1000 ผลิตภัณฑ์บริษัท Perkin Elmer ที่ศูนย์วิจัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) ของน้ำกลั่น และของแต่ละธาตุ ก่อนการทดสอบกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ทุกช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างศึกษา หลังจากเก็บตัวอย่างศึกษา ณ เวลา 0 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 30 วัน และ 90 วัน เติมน้ำกลั่นจำนวน 8 มิลลิลิตร จนสารละลายมีปริมาณเท่าเดิมสำหรับการเก็บตัวอย่างในครั้งถัดไป

การวิเคราะห์พื้นผิวแบรกเก็ตทำด้วย Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV, ผลิตภัณฑ์บริษัท JEOL Ltd., Tokyo, ประเทศญี่ปุ่น ของหน่วยวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยสุ่มตัวอย่างแบรกเก็ตจากกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 จำนวนกลุ่มละ 6 อัน กลุ่มที่ 3 จำนวน 5 อัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 20kv x 35 และ 20kv x 200 พร้อมทั้งแสดงลักษณะพื้นผิวจากภาพถ่ายของแบรกเก็ตที่บริเวณ ฐานด้านตะแกรง (Mesh Surface) และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุโดย Dispersive X-ray Analyzer (EDXs)

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ ทำการเปลี่ยนหน่วยจาก ppm เป็น ไมโครกรัม/ลิตร (µg/L) และคำนวณหาปริมาณสะสมของไอออนนิเกิลและโครเมียมที่ปล่อยออกมาจากแบรกเก็ตจัดฟันโลหะโดยใช้สูตร [๑๔]

$$Aadj(m) = A(m) + 8/15 * \sum_{n=0}^{n=m-1} A(n)$$

เมื่อ Aadj (m) คือ Adjusted amount of leached element at month m

A (m) คือ Analyzed amount of leached element at month m

ทำการทดสอบการกระจายของข้อมูล (Sample Distribution) และ ความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ของทุกกลุ่มตัวอย่าง ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการพ่นทรายเพื่อทำความสะอาดฐานแบรกเก็ต ระหว่างกลุ่มที่ 2 และ 3 โดยใช้ Mann Whitney U test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของไอออนของนิเกิลและโครเมียมระหว่างกลุ่มทดลอง คือ แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยการพ่นทราย (กลุ่มที่ 2, 3, 4, และ 5) และกลุ่มควบคุม คือ แบรกเก็ตใหม่ ณ เวลาต่างๆกัน ด้วยสถิติ Kruskal Wallis โดยทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลอง

จากการทดสอบการปล่อยไอออนของนิเกิลและโครเมียมในน้ำกลั่นด้วยเครื่อง ICP ของแบรกเก็ตจัดฟันโลหะใหม่ (กลุ่มที่ 1) , และแบร็กเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทราย ซึ่งประกอบด้วยเป็นแบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการ (กลุ่มที่ 2), แบรกเก็ตที่หลุดขณะทำงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน (กลุ่มที่ 3), แบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการและนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการพ่นทราย ที่ปิดพื้นที่บริเวณฐานด้วยวัสดุยึดติด (กลุ่มที่ 4) และ แบรกเก็ตที่หลุดขณะทำงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน ที่ปิดพื้นที่บริเวณฐานด้วยวัสดุยึดติด (กลุ่มที่ 5) ผลการทดลองสามารถแสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของเวลาที่ใช้ในการพ่นทรายดังตารางที่ 1 และ ค่าสถิติเชิงพรรณนาของปริมาณนิเกิลไอออนที่เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของเวลาที่ใช้ในการพ่นทราย

ตัวแปร	กลุ่ม	n	Mean	SD	SE	95% Confidence Interval	
						Lower	Upper
เวลาที่ใช้ในการพ่นทราย (วินาที)	กลุ่ม 2	36	37.1667	4.3194	0.7199	35.7052	38.6281
	กลุ่ม 3	36	68.5000	21.9148	3.6525	61.0851	75.9149

ตารางที่ 2 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของปริมาณนิเกิลไอออนที่เวลา 0, 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ180 วัน

กลุ่ม	n		ปริมาณ Ni ที่ 0 ชั่วโมง (µg/L)	ปริมาณ Ni ที่ 24 ชั่วโมง (µg/L)	ปริมาณ Ni ที่ 30 วัน (µg/L)	ปริมาณ Ni ที่ 90 วัน (µg/L)	ปริมาณ Ni ที่ 180 วัน (µg/L)
กลุ่ม 1	36	Mean	0.000	4.750	11.1167	19.2778	37.7111
		SD	0.000	2.7650	8.6436	12.5770	29.0461
		SE	0.000	0.4608	1.4406	2.0962	4.8410
		95% CI (L)	0.000	3.8145	8.1921	15.0223	27.8833
		95% CI (u)	0.000	5.6855	14.0413	23.5332	47.5389
กลุ่ม 2	36	Mean	0.000	5.3611	19.5259	23.9426	39.4463
		SD	0.000	1.8294	9.9722	10.2021	18.6695
		SE	0.000	0.3049	1.6620	1.7003	3.1116
		95% CI (L)	0.000	4.7421	16.1518	20.4907	33.1294
		95% CI (u)	0.000	5.9801	22.9000	27.3945	45.7631
กลุ่ม 3	36	Mean	0.000	0.7500	4.0111	4.8815	5.2722
		SD	0.000	0.7792	1.4682	1.6542	2.2837
		SE	0.000	0.1299	0.2447	0.2757	0.3806
		95% CI (L)	0.000	0.4864	3.5144	4.3218	4.4995
		95% CI (u)	0.000	1.0136	4.5079	5.4412	6.0449
กลุ่ม 4	24	Mean	0.000	8.2083	23.2528	30.8611	35.3250
		SD	0.000	1.0860	4.4930	6.9262	7.3068
		SE	0.000	0.2217	0.9171	1.4138	1.4915
		95% CI (L)	0.000	7.7498	21.3555	27.9364	32.2396
		95% CI (u)	0.000	8.6669	25.1500	33.7858	38.4104
กลุ่ม 5	24	Mean	0.000	20.2500	55.2167	94.2806	93.2111
		SD	0.000	8.3627	14.9232	13.7792	23.9917
		SE	0.000	1.7070	3.0462	2.8127	4.8973
		95% CI (L)	0.000	16.7187	48.9151	88.4621	83.0803
		95% CI (u)	0.000	23.7813	61.5182	100.0990	103.3419

ผลการทดสอบการกระจาย (Normal Distribution) ของข้อมูลทุกกลุ่ม ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk test พบว่าข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ ($p \leq 0.001$ และ 0.01 ตามลำดับ)

จากการทดสอบความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ของข้อมูลทุกกลุ่มด้วยสถิติ Levene Test พบว่ามีความแตกต่างของความแปรปรวนของปริมาณนิเกิลไอออน ที่เวลา 90 วัน และเวลาที่ใช้ในการพ่นทราย สำหรับกลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.001$, และ 0.05 ตามลำดับ) จากผลการทดสอบดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิตินันพาราเมตริก ดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการพ่นทราย

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ของเวลาที่ใช้ในการพ่นทรายระหว่างกลุ่มที่ 2 (แบรกเก็ตใหม่ที่หลุดในห้องปฏิบัติการและผ่านการพ่นทราย) และ กลุ่มที่ 3 (แบรกเก็ตที่หลุดในคลินิกและผ่านการพ่นทราย) ด้วยสถิติ Mann-Whitney U Test พบว่า เวลาที่ใช้ในการพ่นทรายของกลุ่มที่ 3 มากกว่า กลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.001$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาในการพ่นทราย

กลุ่ม	จำนวน	Mean	SD	Z*	P
2	36	37.17	4.32	-5.298	0.000
3	36	68.50	21.91		

*ทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U Test

การทดสอบปริมาณของนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมา ณ เวลาต่างๆ

ปริมาณนิเกิลไอออนเฉลี่ยที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเวลา 0 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าที่เครื่อง ICP จะสามารถวัดได้ (น้อยกว่า 0.008 ppm) จึงสรุปว่ามีปริมาณการปลดปล่อยไอออนเป็น 0 μg/L ในทุกกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมามากที่สุด คือ กลุ่มที่ 2 (Mean = 5.3611 μg/L) รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 (แบรกเก็ตใหม่) (Mean = 4.7500 μg/L) และกลุ่มที่มีปริมาณนิเกิลไอออนที่ถูกปล่อยออกมาปริมาณน้อยที่สุด คือ กลุ่มที่ 3 (Mean = 0.4864 μg L) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของนิเกิลไอออนด้วยสถิติ Kruskal Wallis Test พบว่ามีปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมา แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ ($p \leq 0.001$) โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยการปล่อยนิเกิลไอออนมากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 ดังตารางที่ 4 สำหรับกลุ่มที่ 4 และ 5 เป็นแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่

โดยการพ่นทรายและมีวัสดุยึดปิดที่ฐานแบรกเก็ต มีการปล่อยนิเกิลไอออนออกมามากกว่า 3 กลุ่มแรก ((Mean = 8.2083, 20.2500 µg/L ตามลำดับ)

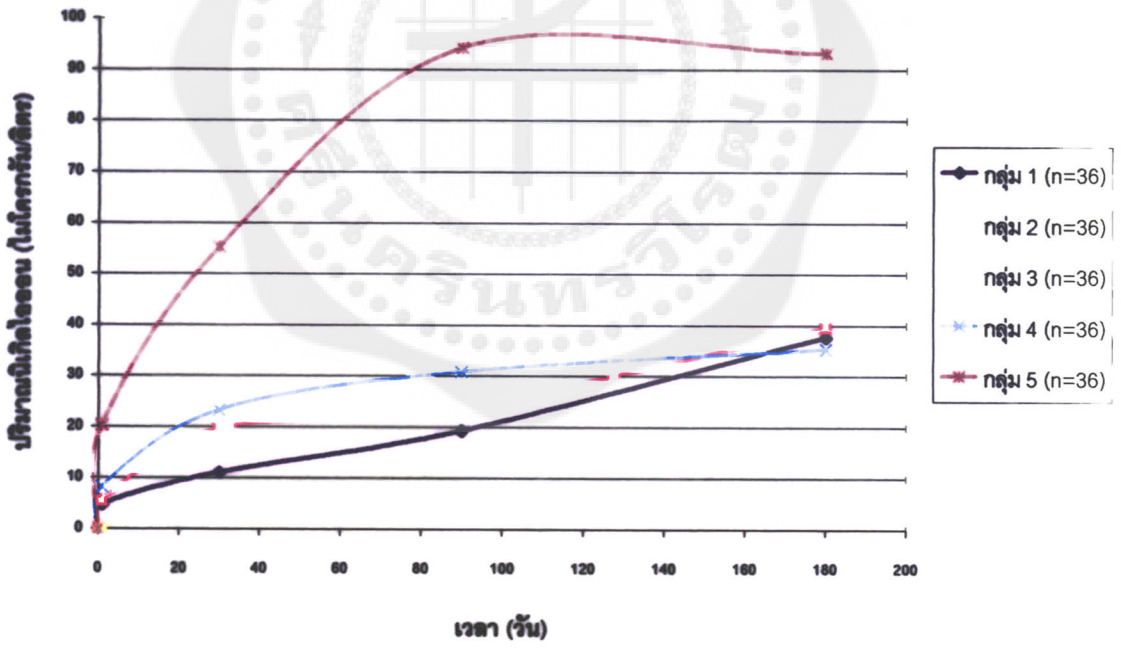
ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมาจากแบรกเก็ต ระหว่างกลุ่มต่างๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน

group		N	Mean Ranks	Chi-square*	df	Asymp.sig.
Ni 24 Hr.	1	36	70.00	121.252	4	0.000
	2	36	84.00			
	3	36	18.50			
	4	24	114.50			
	5	24	137.00			
Ni 30 days	1	36	59.00	111.196	4	0.000
	2	36	89.50			
	3	36	28.00			
	4	24	101.00			
	5	24	144.50			
Ni 90 days	1	36	69.50	114.718	4	0.000
	2	36	84.50			
	3	36	22.50			
	4	24	101.00			
	5	24	144.50			
Ni180 days	1	36	82.50	104.190	4	0.000
	2	36	87.50			
	3	36	20.50			
	4	24	86.00			
	5	24	138.50			

* ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal Wallis Test

เมื่อเวลา 30 วัน, 90 วัน, และ 180 วัน ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับที่เวลา 24 ชั่วโมง กล่าวคือ ปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมามากที่สุด คือ ในกลุ่มที่ 2 (Mean = 19.5259, 23.9426, และ 39.4463 µg/L ตามลำดับ) รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 (แบรกเก็ตใหม่) (Mean = 11.1167, 19.2778, และ 37.711 µg/L ตามลำดับ) และกลุ่มที่มีปริมาณนิเกิลที่ถูกปล่อยออกมาปริมาณน้อยที่สุด คือ กลุ่มที่ 3 (Mean = 4.0111, 4.8815 และ 5.2722 µg/L ตามลำดับ) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของนิเกิลไอออนด้วยสถิติ Kruskal – Wallis Test พบว่ามีปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมา แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ ที่เวลา 30 วัน, 90 วัน, และ 180 วัน ($p < 0.001$) โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยการปล่อยไอออนของนิเกิลมากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 สำหรับกลุ่มที่ 4 และ 5 มีการปล่อยนิเกิลไอออนออกมามากกว่า 3 กลุ่มแรกในทุกช่วงเวลา ดังตารางที่ 4

เมื่อพิจารณาการปล่อยนิเกิลไอออนของแบรกเก็ตในแต่ละกลุ่มเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 3 มีการปล่อยนิเกิลไอออนในปริมาณน้อยและเกือบจะเป็นเส้นตรงในแนวระนาบ ส่วนกลุ่มที่ 5 มีการปล่อยนิเกิลไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเริ่มมีการปล่อยนิเกิลไอออนในปริมาณคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 90 วัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยจากแบรกเก็ต ณ เวลาต่างๆ

การทดสอบปริมาณของโครเมียมไอออนที่ปล่อยออกมา ณ เวลาต่างๆ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณโครเมียมไอออนเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลอง มีค่าน้อยกว่าที่เครื่อง ICP จะสามารถวัดได้ (น้อยกว่า 0.008 ppm) ทั้งเวลา 0 ชั่วโมง , 24 ชั่วโมง และ 90 วัน จึงทำให้ค่าที่ได้แสดงผลเป็น 0 μg/L

การวิเคราะห์พื้นผิวแบรกเก็ตทำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยอิเลคตรอนส่องกราด พบว่า แบรกเก็ตใหม่มีองค์ประกอบธาตุที่สำคัญ คือ มี นิเกิลประมาณ 10-11% โครเมียม ประมาณ 19-20% และเหล็ก ประมาณ 64-68% ส่วนอื่นๆ ได้แก่ มังกานีส และ ซิลิกา ดังตารางที่ 5

นอกจากนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปริมาณนิเกิล และ เหล็ก ระหว่างแบรกเก็ตใหม่ (กลุ่มที่ 1) กับ แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (กลุ่ม 2, 3, 4, และ 5) โดยกลุ่มทดลองมีปริมาณธาตุนิเกิลและเหล็ก น้อยกว่ากลุ่มแบรกเก็ตใหม่ อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์โครเมียม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ โดยพบว่า แบรกเก็ตใหม่ มีแนวโน้มปริมาณโครเมียมที่มากกว่า แบรกเก็ตกลุ่มทดลองทั้งสี่กลุ่ม ดังตารางที่ 6

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฐานแบรกเก็ต แสดงให้เห็นว่า แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการพ่นทราย จะมีพื้นผิวฐานที่มีลักษณะเป็นรอยพรุน โดยคงลักษณะตะแกรงแต่มีความแบนราบลง เมื่อเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตใหม่ดังรูปที่ 4, 5, 6, 7, และ 8

เมื่อเปรียบเทียบแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่และปิดฐานแบรกเก็ตด้วยวัสดุยึด คือกลุ่มที่ 4 และ กลุ่มที่ 5 พบว่ามีการปล่อยนิเกิลไอออนในปริมาณมากกว่า กลุ่มที่ 1-3 แม้ว่าจะมีการปิดที่ฐานแบรกเก็ตด้วยวัสดุยึด ซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวของโลหะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากแบรกเก็ตทั้งสองกลุ่มนี้ถูกนำไปใช้ในการทดสอบความแข็งแรงเฉือนในการศึกษาของจีรภรณ์ สมพรประสิทธิ์และคณะ[๗] จึงเกิดขบวนการสึกกร่อนมาเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไป แบรกเก็ตในกลุ่มที่ 5 มีแนวโน้มสึกกร่อนลดลงในปริมาณคงที่

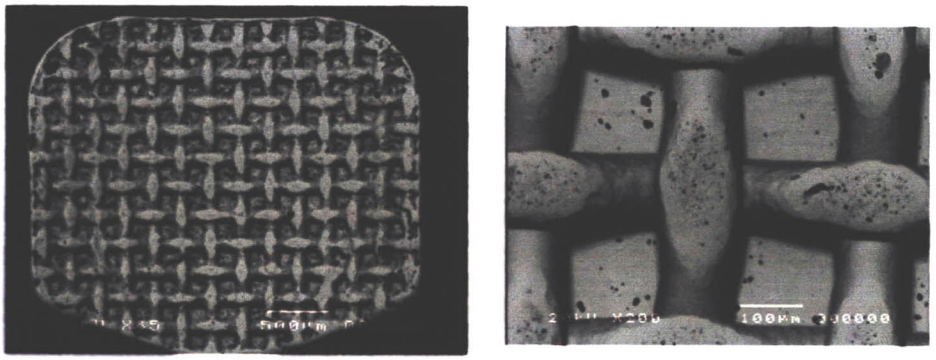
ตารางที่ 5 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของปริมาณธาตุนิเกิล โครเมียม เหล็ก และและ มังกานีส จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนส่องกราด

		Ni	Cr	Fe	Mn
Gr 1	Mean	11.3067	19.7350	65.9150	1.5150
(n=6)	SD	0.5440	0.1366	1.9521	1.4944
	SE	0.2221	0.3346	0.7970	0.6101
	95% CI (L)	10.7358	19.3839	63.8664	-5.33E-02
	95% CI (U)	11.8775	20.0861	67.9636	3.0833
Gr 2	Mean	10.7733	19.0883	56.4067	0.8517
(n=6)	SD	0.6124	0.4995	22.3820	0.5221
	SE	0.2500	0.2039	9.1374	0.2132
	95% CI (L)	10.1306	18.5641	32.9182	0.3037
	95% CI (U)	11.4160	19.6125	79.8951	1.3996
Gr 3	Mean	7.5940	12.9320	44.8520	0.8560
(n=5)	SD	4.6449	7.9598	27.7559	0.5778
	SE	2.0773	3.5597	12.4128	0.2584
	95% CI (L)	1.8266	3.0487	10.3884	0.1385
	95% CI (U)	13.3614	22.8153	79.3156	1.5735
Gr 4	Mean	7.8550	18.1350	71.3600	0.8350
(n=2)	SD	4.9710	2.0860	7.6368	0.1768
	SE	3.5150	1.4750	5.4000	0.1250
	95% CI (L)	-36.8073	-0.6067	2.7465	-0.7533
	95% CI (U)	52.5173	36.8767	139.9735	2.4233
Gr 5	Mean	7.9650	18.1800	70.8100	0.8750
(n=2)	SD	4.9568	1.2304	6.7882	0.6718
	SE	3.5050	0.8700	4.8000	0.4750
	95% CI (L)	-36.5702	7.1256	9.8202	-5.0416
	95% CI (U)	52.5002	29.2344	131.7998	6.9104

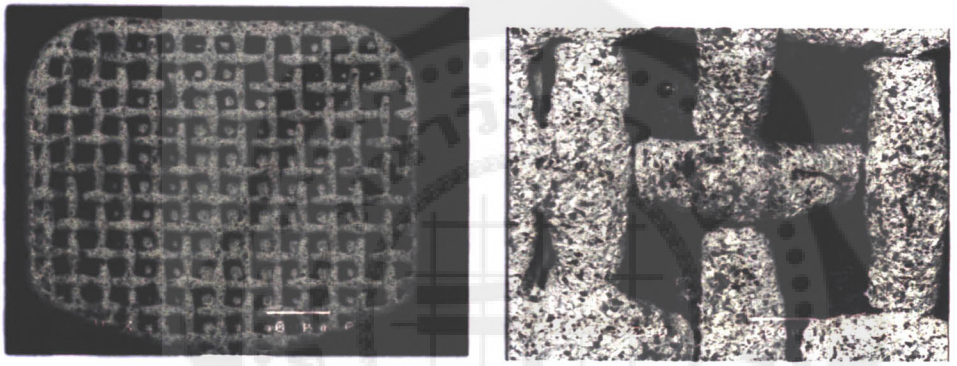
ตารางที่ 6 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ นิเกิล โครเมียม และเหล็กระหว่างกลุ่มแบรกเก็ตใหม่ และกลุ่มแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่

group		N	Mean Ranks	Chi-square*	df	Asymp.sig.
Ni	1	6	15.00	4.457	4	0.348
	2	6	10.42			
	3	5	7.30			
	4	2	9.50			
	5	2	11.50			
Cr	1	6	17.67	11.581	4	0.021
	2	6	10.50			
	3	5	5.80			
	4	2	10.00			
	5	2	6.50			
Fe	1	6	12.67	5.598	4	0.231
	2	6	10.33			
	3	5	6.20			
	4	2	15.50			
	5	2	15.50			

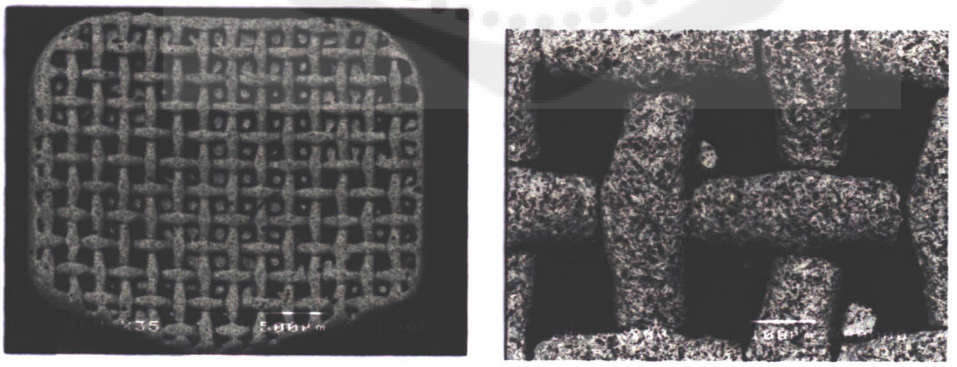
* ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis Test



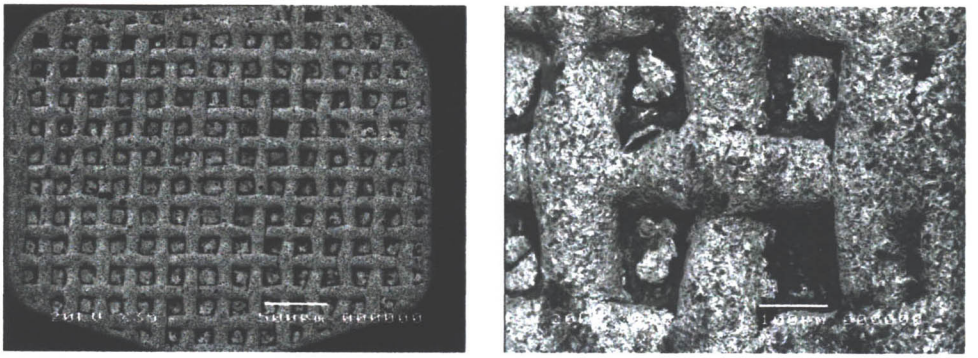
รูปที่ 4 แสดงลักษณะฐานของแบรกเก็ตใหม่ (กลุ่มที่ 1) จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนส่องกราด



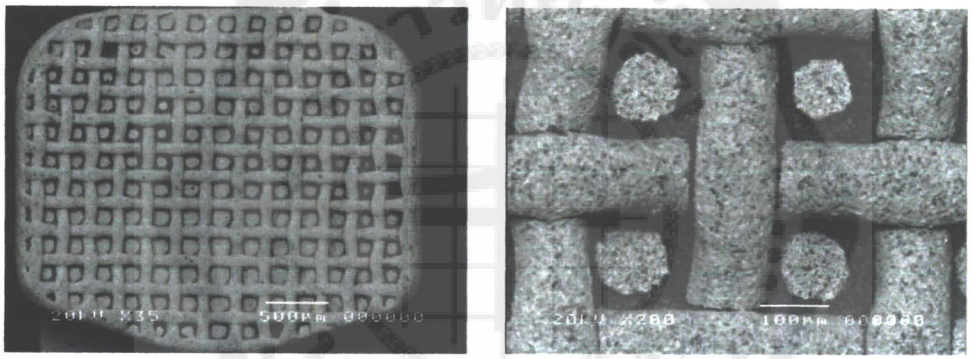
รูปที่ 5 แสดงลักษณะฐานของแบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการและนำมาพ่นทราย (กลุ่มที่ 2) จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนส่องกราด(กำลังขยาย x35 และ x200)



รูปที่ 6 แสดงลักษณะฐานของแบรกเก็ตที่หลุดในคลินิกและนำมาพ่นทราย (กลุ่มที่ 3) จากกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนส่องกราด(กำลังขยาย x35 และ x200)



รูปที่ 7 แสดงลักษณะฐานของแบรกเก็ตที่หลุดในห้องปฏิบัติการ และนำมาพ่นทราย ก่อนการปิดฐานแบรกเก็ตด้วยวัสดุยึด (กลุ่มที่ 4) จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนส่องกราด (กำลังขยาย x35 และ x200)



รูปที่ 8 แสดงลักษณะฐานของแบรกเก็ตที่หลุดในคลินิกและนำมาพ่นทราย ก่อนการปิดที่ฐานด้วยวัสดุยึด (กลุ่มที่ 5) จากกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนส่องกราด (กำลังขยาย x35 และ x200)

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการพ่นทรายระหว่างกลุ่มที่ 2 (แบรกเก็ตใหม่ที่หลุดในห้องปฏิบัติการและผ่านการพ่นทราย) และ กลุ่มที่ 3 (แบรกเก็ตที่หลุดในคลินิกและผ่านการพ่นทราย) พบว่าเวลาที่ใช้ในการพ่นทรายของกลุ่มที่ 3 มากกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 3 เป็นแบรกเก็ตที่หลุดระหว่างการใช้งานจากคลินิกต่างๆ ซึ่งอาจมีปัจจัยความแปรปรวนหลายประการ เช่น จากการที่ทันตแพทย์หลายคนเป็นผู้ใช้ ทำให้แรงในการติด ชนิดของวัสดุยึดติดแตกต่างกัน เป็นผลทำให้ความหนาของ Adhesive ที่ฐานของแบรกเก็ตไม่เท่ากัน นอกจากนี้เวลาที่ใช้งานในช่องปาก และสาเหตุที่เกิดความล้มเหลวในการติด (bond failure) ของแบรกเก็ตในกลุ่มนี้ไม่ได้นำมาคำนึงถึงด้วย ปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้ เวลาในการทำความสะอาดฐานแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 3 นานกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างไรก็ตามตัวอย่างแบรกเก็ตในกลุ่มที่ 3 จะเป็นกลุ่มเลียนแบบโอกาสจริงในการใช้งาน และมีความสามารถใช้อธิบายถึงกลุ่มประชากร (Generalization) ได้ดีกว่า

การศึกษาโดยคณะผู้วิจัย พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมาจากแบรกเก็ตที่ทำความสะอาดบริเวณฐานด้วยวิธีการพ่นทราย เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง ICP เมื่อเวลา 0 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าที่เครื่อง ICP จะสามารถวัดได้ (น้อยกว่า 0.008 μg/L) จึงสรุปว่ามีปริมาณการปลดปล่อยไอออนเป็น 0 μg/L

เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ กลุ่มที่ 2 (แบรกเก็ตใหม่ที่หลุดในห้องปฏิบัติการและผ่านการพ่นทราย) มีปริมาณนิเกิลไอออนที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 แบรกเก็ตใหม่ ส่วนกลุ่มที่ 3 (แบรกเก็ตที่หลุดในคลินิกและผ่านการพ่นทราย) มีปริมาณนิเกิลไอออนที่ถูกปล่อยออกมาในปริมาณน้อยที่สุด จากผลดังกล่าวอาจเป็นไปได้ว่า ในกลุ่มที่ 2 เป็นแบรกเก็ตใหม่ที่ผ่านการพ่นทราย ทำให้เป็นการเปิดผิวหน้าใหม่ คือ ผิวของฐานแบรกเก็ตที่เดิมเป็น ตะแกรง (mesh type) เมื่อผ่านการพ่นทราย ทำให้ลักษณะตะแกรงน้อยลง แต่จะพบรูพรุน (micro surface roughness) เกิดขึ้นแทน ดังรูปที่ 2 ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการปล่อยนิเกิลไอออนออกมา

ส่วนกลุ่มที่ 3 มีปริมาณนิเกิลไอออนที่ถูกปล่อยออกมาปริมาณน้อยที่สุด อาจเนื่องจาก เป็นแบรกเก็ตมีการปนเปื้อน (contaminate) ในขณะใช้งาน จากสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่ภายในช่องปาก ทำให้อาจมีสิ่งเคลือบผิว หรือออกไซด์ฟิล์มบริเวณพื้นผิว ทำให้การปล่อยไอออนออกมาน้อยกว่าที่ควรจะเป็น รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการในการพ่นทรายอาจจะมีผลต่อการปล่อยไอออนด้วย กล่าวคือ กลุ่มที่ 3 ใช้เวลาในการพ่นทรายมากที่สุด การใช้เวลาในการพ่นทรายที่มากเกินไปนั้นอาจจะทำให้ผิวของโลหะเรียบและทำให้พื้นที่ผิวลดลงแทนที่จะ

h 284759 ส.3

เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3 ดังนั้นการปล่อยไอออนจึงลดลงด้วย นอกจากนี้ใน ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นแบรกเก็ตใหม่ที่แช่ในน้ำกลั่น ก็พบว่ามีการปล่อยนิเกิลไอออนออกมาเช่นกัน

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณโครเมียมไอออนเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลอง มีค่าน้อยกว่าที่เครื่อง ICP จะสามารถวัดได้ (น้อยกว่า 0.008 μg/L) ทั้งเวลา 0 ชั่วโมง , 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน จึงแสดงผลเป็น 0 μg/L จากการศึกษาของ Park และ Shearer[๑๒] พบว่าโครเมียมไอออนที่ถูกปล่อยออกมาจากแบรกเก็ตนั้นจะไปสะสมอยู่ที่ขวด polyethylene ที่เป็นภาชนะบรรจุมากกว่าที่อยู่ในสารละลายถึงประมาณ 2 เท่า ดังนั้นจึงพบโครเมียมไอออนในสารละลายเป็นปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยอิเลคตรอนส่องกราด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญขององค์ประกอบของธาตุโครเมียมบนฐานแบรกเก็ต โดยแบรกเก็ตที่ผ่านการพ่นทราย มีเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมน้อยกว่าแบรกเก็ตใหม่ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide) ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนจะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Oxide film) ที่ผิวแบรกเก็ต ถูกทำลายไปโดยการพ่นทราย ทำให้มีองค์ประกอบโครเมียมน้อยลงกว่าแบรกเก็ตใหม่

Huang และคณะ [๑๐] กล่าวว่า นิเกิลสามารถคงอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน คือ มีค่าครึ่งชีวิต (half life) มากกว่า 200 วัน โดยปริมาณนิเกิลที่เราพบในน้ำดื่มประมาณ 0.025-0.15 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณนิเกิลที่คนเราสามารถรับประทานเข้าไปโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายนั้น คือ 300-500 ไมโครกรัม/วัน ขณะที่ปริมาณโครเมียม ที่คนเราสามารถรับประทานเข้าไปโดยไม่ทำให้เกิดอันตราย คือ 5-100 ไมโครกรัม/วัน จากการศึกษาของคณะผู้วิจัยพบว่าปริมาณนิเกิลและโครเมียมไอออนเฉลี่ย ที่ปล่อยออกมา ณ เวลาต่างๆ ในเวลา 180 วัน มีค่าน้อยกว่าปริมาณที่คนเราได้รับเข้าไปโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายมาก ดังนั้นแบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการพ่นทรายไม่ว่าจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือ จากทางคลินิกทันตกรรม มีการปล่อยไอออนของนิเกิลและโครเมียมในระดับที่ยังไม่มีอันตรายต่อร่างกาย เมื่อติดตามผล 180 วัน

สรุปผล

1. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของนิเกิลไอออนด้วยสถิติ Kruskal Wallis Test พบว่ามีปริมาณนิเกิลไอออนที่ปล่อยออกมาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอย่างน้อย 1 คู่ ($p \leq 0.001$) ณ เวลา 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน

2. ปริมาณนิเกิลไอออน และ โครเมียมไอออน ที่ปล่อยออกมา ณ เวลา 24 ชั่วโมง, 30 วัน, 90 วัน และ 180 วัน มีน้อยกว่าปริมาณที่คนเราได้รับเข้าไปโดยไม่ทำให้เกิดอันตราย ดังนั้น การนำแบรกเก็ตที่ใช้แล้วทางคลินิก อาจสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการพ่นทรายเมื่อพิจารณาในด้านปริมาณนิเกิลไอออน แต่มีความเสี่ยงต่อผู้ป่วยที่แพ้โลหะนิเกิล

3. จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนส่องกราด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับธาตุนิเกิล และ เหล็ก ระหว่างแบรกเก็ตใหม่ (กลุ่มที่ 1) กับ แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (กลุ่ม 2, 3, 4, และ 5) ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับธาตุโครเมียม ระหว่างแบรกเก็ตใหม่ (กลุ่มที่ 1) กับ แบรกเก็ตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (กลุ่ม 2 , 3, 4, และ 5)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ธราดล เก่งการพานิช คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทดสอบทางสถิติ และการเขียนรายงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

๑ Regan D, Noort RV, and Keefee C. The effects of recycling on the tensile bond strength of new and clinically used stainless steel orthodontic bracket: an in vitro study. Br J Orthod. 1990; 17: 137-145.

๒ Martina R, Laino A, Cacciafesta, and Cantiello P. Recycling effects on ceramic brackets: a dimensional, weight and shear bond strength analysis. Eu J Orthod. 1997; 19: 629-637.

๓ Buchman DJL. Effect of recycling on metallic direct-bond orthodontic brackets. Am J Orthod DentofacOrthop. 1980, 654-68.

๔ กัลยา เลาหพันธ์. การประเมินวิธีทำความสะอาดไดเร็กบอนด์แบรกเก็ต. วิทยานิพนธ์ ปริญญาทันตแพทย-ศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. 2530.

๕ Newman GV, Newman RA, Sun BI, Ha JJ, and Ozsoylu SA. Adhesion promoters, their effect on the bond strength of metal brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1995; 108:237-241.

๖ Willems G, Carels CEL, and Varbeke G. In vitro peel/shear bond strength evaluation of orthodontic bracket base design. J Dent. 1997; 25: 271-278.

๗ จีรภรณ์ สมพรประสิทธิ์, นฤมล จิตปัญโญยศ, พรรณิกา จงวิวัฒน์ถาวร, รุ่งนภา โล้วมั่นคง, และ อภิญญา วาเพชร. การศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างแบรกเก็ตจัดฟันโลหะที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยการทำความสะอาดด้วยวิธีพ่นทรายกับแบรกเก็ตจัดฟันโลหะใหม่. รายงานวิจัย ปริญญาทันตแพทย-ศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร. 2544.

๘ Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. Br J Orthod. 1979; 2: 171-178.

๙ North American Contact Dermatitis Group. Epidemiology of contact dermatitis. Arch Dermatol. 1973; 108:537.

๑๐ Huang T-H, Yen C-C and Kao C-T. Comparison of ion release from new and recycled orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 2001; 120:68-75.

๑๑ Matasa GC. Attachment corrosion and its testing. J Cli Orthod. 1995;24(1):16-23.

๑๒ Park HY, and Shearer TR. In vitro release of nickel and chromium from simulated orthodontic appliances. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1983; 84: 156-159.

๑๓ วัฒนะ มธุรสัย และ อนันต์ หล่อทองคำ การประเมินผลวิธีการทำความสะอาดแบรกเก็ตที่ใช้แล้ว. ว. ทันต. 2542; 49: 343-349.

๑๔ Soderholm KJM. Filler leachability during water storage of six composite materials. Scand J Dent Res 1990;98:82-88.