

การศึกษามลกระทบของการกักกรองที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต
ระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดโค้งชนิดต่าง ๆ



นางสาว พินทุอร จันทรวราทิตย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CORROSION FROM FLUORIDE-CONTAINING PRODUCTS ON STATIC FRICTION
BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS AND DIFFERENT TYPES OF ARCHWIRES



Miss Pintu-on Chantarawatit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Orthodontics
Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาลักษณะของสารกัดกร่อนที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มี
ต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและ
ลวดโค้งชนิดต่าง ๆ

โดย

นางสาว พินทุอร จันทรวราทิตย์


สาขาวิชา

ทันตกรรมจัดฟัน

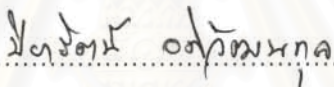
อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจ็๋งประภากร


คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


 คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง จิตติมา วุฒิศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยารัตน์ อภิวัฒน์นกุล)

 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจ็๋งประภากร)

 กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุวิมล เรืองศรี)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง กรพินท์ มหาทุมะรัตน์)

สถาบันทันตกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พินทุอร จันทรวราทิตย์ : การศึกษาผลกระทบของการกัดกร่อนที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดโค้งชนิดต่าง ๆ. (EFFECTS OF CORROSION FROM FLUORIDE-CONTAINING PRODUCTS ON STATIC FRICTION BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS AND DIFFERENT TYPES OF ARCHWIRES) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจ็งประภากร, 156 หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ 3 ชนิด

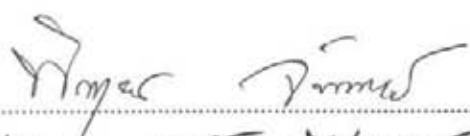
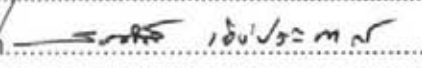
วัสดุและวิธีการ นำแปรงเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานของฟันเขี้ยวที่มัดติดกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม กลุ่มละ 25 ตัวอย่าง แช่ในสารละลายฟลูออไรด์ที่ได้จากการผสมน้ำลายเทียมกับยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส วัดค่าแรงเสียดทานสถิตด้วยเครื่องล้อยัตยานิวเวอร์แชลเลสติงแมชชีน โดยใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 5 นิวตัน ดึงด้วยความเร็ว 0.1 มม./นาที เป็นระยะทาง 0.5 มม. ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับนัยสำคัญ .05

ผลการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม มีเพียงกลุ่มเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกิดและลวดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม โดยมีค่าที่เท่ากับ .013 และ .000 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างลวดทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการแช่ในสารละลายเดียวกัน พบว่ามีเพียงกลุ่มยาสีฟันและเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบเท่านั้นที่ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่ามากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าที่เท่ากับ .003 และ .004 ตามลำดับ

สรุป การแช่แปรงเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกิดและลวดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันนวัตกรรมการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

4976132732 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: STATIC FRICTION / CORROSION / FLUORIDE / FLUORIDE TOOTHPASTE / FLUORIDE MOUTHWASH / TOPICAL FLUORIDE GEL / STAINLESS STEEL BRACKET / STAINLESS STEEL WIRE / β -TITANIUM WIRE

PINTU-ON CHANTARAWARATIT : EFFECTS OF CORROSION FROM FLUORIDE-CONTAINING PRODUCTS ON STATIC FRICTION BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS AND DIFFERENT TYPES OF ARCHWIRES.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SOMSAK CHENGPRAPAKORN, 156 pp.

Objective To investigate and compare the levels of static frictional forces between stainless steel brackets and two types of orthodontic wires after immersion in three types of solutions which contained fluoride products.

Materials and Methods Canine standard stainless steel brackets (Dyna-lock, 3M Unitek) with stainless steel wire (Stainless Steel, Omco) and beta-titanium wires (TMA, Omco) were immersed in three types of the solutions which contained artificial saliva and fluoride products: fluoride toothpaste, fluoride mouthwash and fluoride gel (APF) at 37°C. In this study, each group included 25 bracket-wire specimens. The static frictional forces were measured by using a Lloyd Universal Testing Machine, Model LR 10 K (Lloyd Instruments, UK) with a 5-N load cell. The wires were ligated by elastomeric rings to the brackets which were attached to the crosshead of the machine. The brackets were pulled up at a speed of 0.1 mm per minute for a distance of 0.5 mm. The control tests were performed using specimens that had not been dipped in any solution. Two-way ANOVA ($\alpha=0.05$) was used to test for significant differences among the groups of specimens.

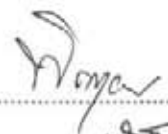
Results When comparing the control groups, only the mean static frictional forces of the APF-immersed groups in both stainless steel wire group and beta-titanium wire group were significantly greater than those of their control groups at $p = .013$ and $p = .000$, respectively. When comparing the mean static frictional forces of stainless steel groups to those of beta-titanium groups which were immersed in the same solution, the mean static frictional forces of stainless steel groups were lower than those of beta-titanium groups in which the specimens were dipped in the toothpaste solution and the APF solution at $p = .003$ and $p = .004$, respectively. There was no significant difference between the mean static frictional forces of stainless steel group and beta-titanium group in the control group and the mouthwash solution-immersed group.

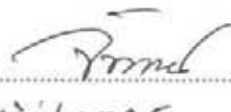
Conclusion Immersion of stainless steel brackets, stainless steel wires and beta-titanium wires in the APF solution can increase the static frictional forces between brackets and archwires.

Department Orthodontics

Field of study Orthodontics

Academic year 2007

Student's signature..... 

Advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความสนับสนุนอย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจ็่งประภากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยเหลือในด้านการเขียนและการแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ผู้เขียนวิทยานิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะด้านสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำในการทำวิจัย การเขียน และการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านสำหรับคำแนะนำ การสนับสนุน และการให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณบริษัททันต-สยาม วิสาหกิจ สำหรับการสนับสนุนแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทแอคคอร์ด คอร์ปอเรชั่น สำหรับการสนับสนุนลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับการสนับสนุนน้ำลายเทียม

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา สำหรับคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ การแก้ไขวิทยานิพนธ์ และการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ รวมทั้งกำลังใจที่ได้ให้แก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	13
คำสำคัญ.....	14
คำจำกัดความ.....	15
วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
ลำดับขั้นตอนในการเสนองานวิจัย.....	16
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	16
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	17
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแรงเสียดทาน.....	17
ชนิดของแรงเสียดทาน.....	17
กฎของแรงเสียดทาน.....	19
แรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น.....	20
ลักษณะของแรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น.....	21

	หน้า
ลักษณะของแรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นในขณะดึงฟันเขี้ยว.....	23
ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น.....	26
ปัจจัยทางกายภาพ.....	30
ลวดโค้งเส้นหลัก.....	30
วัสดุที่ใช้ทำลวด.....	30
ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด.....	31
ลักษณะพื้นผิวของลวด.....	32
ค่าความแข็งดึง.....	32
แบร็กเกต.....	33
วัสดุที่ใช้ทำแบร็กเกต.....	33
ขนาดของร่องแบร็กเกต.....	35
กระบวนการผลิต.....	35
การออกแบบลักษณะของแบร็กเกต.....	36
การมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร็กเกต.....	40
ชนิดของวัสดุที่ใช้มัด.....	40
วิธีในการมัด.....	42
ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน.....	43
ระยะห่างระหว่างแบร็กเกต.....	43
ระดับของร่องแบร็กเกตเมื่อเปรียบเทียบกับร่องแบร็กเกตของฟันข้างเคียง.....	43
มุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร็กเกตทั้งในออร์เดอร์ที่สองและสาม.....	44
แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน ตำแหน่งที่ให้แรง และวิธีที่ใช้เคลื่อนฟัน.....	44
ปัจจัยทางชีวภาพ.....	45
น้ำลาย.....	45
แผ่นคราบจุลินทรีย์และแผ่นฟิล์มน้ำลาย.....	46
การกัดกร่อนของลวดหรือแบร็กเกต.....	46
ฟลูออไรด์.....	47
บทบาทของฟลูออไรด์ในงานทันตกรรมจัดฟัน.....	47
การใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน.....	48

ชนิดของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่ได้รับคำแนะนำให้ใช้ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษา	
ทางทันตกรรมจัดฟัน.....	49
ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์.....	49
ชนิดของยาสีฟันผสมฟลูออไรด์.....	49
ปริมาณฟลูออไรด์ในยาสีฟัน.....	50
วิธีการใช้ยาสีฟันฟลูออไรด์.....	51
ขนาดของยาสีฟันที่ได้รับการแนะนำให้ใช้.....	51
น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์.....	51
ชนิดของน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์.....	52
วิธีการใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์.....	53
เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....	55
ชนิดของเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....	55
ข้อบ่งชี้.....	55
วิธีการใช้เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....	56
การกักคร่อนของเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่น.....	57
นิยามของการกักคร่อน.....	57
การกักคร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในสภาวะที่ไม่มี	
ฟลูออไรด์.....	60
การกักคร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในสภาวะที่มี	
ฟลูออไรด์.....	64
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกักคร่อนของโลหะทางทันตกรรมจัดฟันจากฟลูออไรด์.....	66
ชนิดของโลหะ.....	66
ชนิดของสารประกอบฟลูออไรด์ในผลิตภัณฑ์.....	68
ความเข้มข้นของฟลูออไรด์.....	70
ระดับความเป็นกรด-เบสของสภาวะแวดล้อม.....	71
การศึกษาเกี่ยวกับการกักคร่อนของโลหะทางทันตกรรมจัดฟันที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน	
ระหว่างแบร็กเกตและลวด.....	72

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	74
ประชากร.....	74
กลุ่มตัวอย่าง.....	74
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	78
การรวบรวมข้อมูล.....	88
ตัวแปรของการวิจัย.....	88
วิธีการทดลอง.....	89
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	97
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	101
การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด.....	101
รูปถ่ายพื้นผิวของแบร์กเกตและลวดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	111
ค่าพีเอชของสารละลาย.....	117
การเปลี่ยนสีของโลหะภายหลังการแช่ในสารละลายประเภทต่าง ๆ.....	117
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	119
อภิปรายผลการวิจัย.....	119
สรุปผลการวิจัย.....	129
ข้อเสนอแนะ.....	130
รายการอ้างอิง.....	132
ภาคผนวก.....	149
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	156

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานในวิธีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล.....	29
ตารางที่ 2 ตารางแสดงจำนวนครั้งต่อปีในการเคลือบฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคฟันผุในระดับต่าง ๆ กัน.....	56
ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าดัชนีวัดดัชนีมาตรฐาน.....	59
ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และเบตาไทเทเนียมภายหลังจากผ่านการแช่ในแอซิติกเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 จากการศึกษาของ Kao และคณะ (2006).....	75
ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลวดแต่ละชนิด จากการศึกษาของ Kao และคณะ (2006).....	75
ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจากการศึกษานำร่อง.....	76
ตารางที่ 7 ตารางแสดงจำนวนตัวอย่างแบ่งแยกตามกลุ่มทดลอง.....	78
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลางและค่ามากที่สุด ระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม.....	101
ตารางที่ 9 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแชมเปิลโคลโมโกรอฟสเมอร์นอฟ.....	104
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง.....	104
ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มทดลองที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม.....	105

ตารางที่ 12	ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก.....	106
ตารางที่ 13	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติบอแนเฟอร์โรนี.....	106
ตารางที่ 14	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติบอแนเฟอร์โรนี.....	107
ตารางที่ 15	ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบรวาร์วินฟอร์ซิช.....	108
ตารางที่ 16	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู่.....	108
ตารางที่ 17	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู่.....	109
ตารางที่ 18	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียม ในกลุ่มของสารละลายแต่ละชนิด รวมทั้งกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที.....	110
ตารางที่ 19	ตารางแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม แบ่งตามกลุ่มของสารละลายแต่ละชนิด รวมทั้งกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที.....	110
ตารางที่ 20	ค่าพีเอชของสารละลายฟลูออไรด์ก่อนและหลังการแช่ตัวอย่าง.....	117
ตารางที่ 21	ตำรับน้ำลายเทียมจากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	152

ตารางที่ 22 ผลการวัดค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ และน้ำลายเทียมที่ใช้ในการทดลอง.....	152
ตารางที่ 23 ผลการวัดค่าพีเอชของสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์.....	153
ตารางที่ 24 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแชมเปิล โคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟ.....	154



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1	ภาพประกอบการหามุมวิกฤต พร้อมทั้งขนาดของแบร์ริกเกตและลวดที่ใช้ในการคำนวณ หามุมวิกฤต..... 12
รูปที่ 2	การเกิดแรงเสียดทาน..... 17
รูปที่ 3	ความขรุขระของพื้นผิว.....19
รูปที่ 4	การเกิดแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างแบร์ริกเกต และลวดอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ.....22
รูปที่ 5	แรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น เมื่อความสัมพันธ์ ระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ.....23
รูปที่ 6	ระยะของการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งเส้นหลัก 4 ระยะ.....26
รูปที่ 7	ผลของการดึงฟันเขี้ยวที่ทำให้ลวดบิดงอ.....33
รูปที่ 8	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของแบร์ริกเกต ไทเทเนียม และแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม..... 34
รูปที่ 9	การเปรียบเทียบค่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นในแบร์ริกเกตที่กว้าง และในแบร์ริกเกตที่แคบ.....37
รูปที่ 10	แบร์ริกเกตเวอร์ซาทีของบริษัทร็อกกีเมาเทน.....38
รูปที่ 11	แบร์ริกเกตไซเคอร์ชของบริษัทจีเอซี.....38
รูปที่ 12	รูปแบบการมัดแบร์ริกเกตซินเนอร์จีด้วยวงแหวนยางโพลีเอทิลีนแบบปกติ และเมื่อ ต้องการลดแรงเสียดทาน สามารถมัดลวดหรือวงแหวนยางที่ปักอันกลาง เพื่อยก ลวดหรือวงแหวนยางที่มัดเอาไว้ไม่ให้สัมผัสกับลวด.....38
รูปที่ 13	แบร์ริกเกตซินเนอร์จีของบริษัทร็อกกีเมาเทน.....39
รูปที่ 14	แบร์ริกเกตสมาร์ทคลิปของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค.....39
รูปที่ 15	แบร์ริกเกตตามอน 3 ของบริษัทออร์มโคคคอร์ปอเรชัน.....39
รูปที่ 16	ลักษณะของการมัดลวดเข้าในร่องแบร์ริกเกตของวงแหวนยางโพลีเอทิลีนชนิด นอนคอนเวกชันนอลเปรียบเทียบกับมัดด้วยวงแหวนยางโพลีเอทิลีนรูปตัวโอ ที่นิยมใช้โดยทั่วไป.....42
รูปที่ 17	การมัดวงแหวนยางแบบปกติ เปรียบเทียบกับการมัดแบบพันเป็นรูปเลข 8.....42

รูปที่ 18	แสดงการมัดแบร์กเกตชินเนอร์จี้ในรูปแบบต่าง ๆ.....	43
รูปที่ 19	การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม เมื่อผ่านการแช่ ในน้ำที่ไม่มีประจุไอโซเดียมฟลูออไรด์ และในแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์.....	67
รูปที่ 20	การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และลวด ที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์.....	68
รูปที่ 21	การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ลวดเบตาไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และ ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัส ฟลูออไรด์.....	69
รูปที่ 22	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของลวด นิกเกิลไทเทเนียมภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 เปรียบเทียบ กับลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียม ที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์.....	71
รูปที่ 23	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของลวด นิกเกิลไทเทเนียมโคบอลต์ภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 เปรียบเทียบกับลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมโคบอลต์ภายหลังจาก การแช่น้ำลายเทียมที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์.....	72
รูปที่ 24	ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ยี่ห้อคอลเกต รสยอदनนิยม.....	79
รูปที่ 25	น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ยี่ห้อออร์ล-บี ทูธแอนด์แกมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์.....	79
รูปที่ 26	เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ยี่ห้อซิกตี้เซกเคิลเทสต์.....	80
รูปที่ 27	วงแหวนยางโพลียูรีเทนรูปตัวโอ.....	80
รูปที่ 28	สเตอร์ทูทเตอร์.....	81
รูปที่ 29	เอ็กซ์พลอเรอร์.....	81
รูปที่ 30	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล.....	82
รูปที่ 31	ออดิปีเปต และหัวทึบขนาด 5 มล.....	82
รูปที่ 32	แท่งอะคริลิกใสสำหรับยึดแบร์กเกต.....	83

	หน้า
รูปที่ 33 เครื่องมือสำหรับยึดแบร์กเกตให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งอะคริลิก.....	83
รูปที่ 34 เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้ง.....	84
รูปที่ 35 เครื่องมือสำหรับปรับแบร์กเกตให้ได้มุมกระทำ 1°	84
รูปที่ 36 เครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิก และต่อกับส่วนครอสเฮดของเครื่องลอยด์ ยูนิเวอร์ซัลเทสติงแมชชีน.....	85
รูปที่ 37 เครื่องลอยด์ยูนิเวอร์ซัลเทสติงแมชชีน.....	86
รูปที่ 38 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีฟ้า สำหรับกำหนดตำแหน่งวางเครื่องมือสำหรับยึดลวด.....	86
รูปที่ 39 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	87
รูปที่ 40 เครื่องเซกกิงอินคูเบเตอร์.....	87
รูปที่ 41 เครื่องพีเอชมิเตอร์.....	88
รูปที่ 42 ตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการนำไปแช่ในสารละลายฟลูออไรด์.....	90
รูปที่ 43 การกำหนดระยะบนแท่งอะคริลิก.....	91
รูปที่ 44 ลักษณะแบร์กเกตที่ติดกับปลายแท่งอะคริลิกเรียบร้อยแล้ว.....	92
รูปที่ 45 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ใช้กำหนดตำแหน่งฐานของเครื่องมือที่ใช้ยึดลวด.....	92
รูปที่ 46 การกำหนดตำแหน่งที่จะใช้ยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้งโดยใช้ไม้ฉาก.....	93
รูปที่ 47 ตำแหน่งที่สำหรับใช้ยึดลวด.....	93
รูปที่ 48 ลักษณะลวดที่ถูกกำหนดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว และถูกยึดไว้ด้วยเทปกาวใส.....	94
รูปที่ 49 ลักษณะของลวดที่ยึดเข้ากับเครื่องมือสำหรับยึดลวดเรียบร้อยแล้ว.....	94
รูปที่ 50 การวางเครื่องมือที่ใช้ยึดลวดลงบนตำแหน่งที่กำหนดไว้บนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด.....	95
รูปที่ 51 การยึดแท่งอะคริลิกเข้าเครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิก.....	95
รูปที่ 52 ลักษณะของเครื่องมือที่พร้อมทำการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานสถิต.....	96
รูปที่ 53 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิม กับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม.....	102
รูปที่ 54 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวด เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมที่เกิดกับแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็น สนิม เมื่อผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน.....	103

- รูปที่ 55 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของแบร็กเกต
เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และกลุ่ม
ตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลาย
จากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปาก
ฟลูออไรด์ และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....111
- รูปที่ 56 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง (x 5000)
แสดงลักษณะการกัดกร่อนแบบร่อง.....112
- รูปที่ 57 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง (x 5000)
แสดงพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้า
ไม่เป็นสนิม และในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม.....113
- รูปที่ 58 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของลวด
เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียม ในกลุ่มควบคุม กลุ่มตัวอย่าง
ที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการ
แช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่
ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....114
- รูปที่ 59 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง (x 5000)
เปรียบเทียบร่องที่เกิดจากการกัดกร่อนในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตา
ไทเทเนียม ในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์.....115
- รูปที่ 60 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดเหล็กกล้า
ไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบที่กำลังขยาย
ต่ำ(x 1000) และที่กำลังขยายสูง (x 5000)116
- รูปที่ 61 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดเบตาไทเทเนียม
ที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบที่กำลังขยายต่ำ (x 1000)
และที่กำลังขยายสูง (x 5000).....116
- รูปที่ 62 การเปรียบเทียบสีของลวดเบตาไทเทเนียมจากกลุ่มควบคุม และจากกลุ่มที่ผ่าน
การแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....118

- รูปที่ 63 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของแบร็กเกตและ
ลวดในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้
ลวดเบตาไทเทเนียม เมื่อผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ.....123



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อวัตถุชนิดหนึ่งเคลื่อนผ่านไปกับวัตถุอีกชนิดหนึ่ง จะเกิดแรงต้านทานการเคลื่อนที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัตถุทั้ง 2 ชนิดในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงดังกล่าวนี้คือ แรงเสียดทาน (friction)

ในการจัดพื้นจะต้องมีการเคลื่อนที่ผ่านกันระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในเกือบทุกขั้นตอนของการรักษา เช่น ในขั้นตอนการเรียงพื้นให้เรียบ (leveling phase) หรือ ในการเคลื่อนที่ของพื้นเขียวเพื่อปิดช่องว่างจากการถอนพื้นกรามน้อยด้วยวิธีการเลื่อนไถล (sliding mechanics) เป็นต้น เมื่อแบร์ริกเกตและลวดมีการเคลื่อนที่ผ่านกันจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเสมอ

การที่จะทำให้พื้นเคลื่อนที่ไปได้จำเป็นต้องให้แรงกระทำต่อพื้นที่มามากกว่าแรงเสียดทาน ดังนั้นแรงเสียดทานจึงเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับงานทันตกรรมจัดฟัน เพราะการที่มีแรงเสียดทานมากเกินไปจะส่งผลให้การเคลื่อนที่พื้นทำได้ยากมากขึ้น หรือส่งผลทำให้จำเป็นต้องมีหลักยึด (anchorage) ที่เพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น ความกว้างของร่องแบร์ริกเกต ระยะห่างระหว่างแบร์ริกเกต รูปร่างและขนาดของลวด มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวด ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตแบร์ริกเกตและลวด ลักษณะของพื้นผิวของลวดและร่องแบร์ริกเกต รวมทั้งชนิดของวัสดุและวิธีในการมัดลวดติดกับแบร์ริกเกต เป็นต้น (Braun, 1999; Rossouw, 2003)

การกัดกร่อนของพื้นผิวแบร์ริกเกตและลวดก็เป็นสาเหตุในการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดได้เช่นกัน ซึ่งฟลูออไรด์ก็เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีผลการวิจัยยืนยันว่าทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวแบร์ริกเกตและลวดหลายชนิด (Reclaru และ Meyer, 1998; Schiff และคณะ, 2002; Huang, 2003; Schiff และคณะ, 2004; Watanabe และ Watanabe, 2003; Yoshiki และคณะ, 2005; Schiff และคณะ, 2005; Walker, White และ Kula, 2005; Kao และคณะ, 2006; Schiff

และคณะ, 2006; Huang, 2007; Walker และคณะ, 2007) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ฟลูออไรด์เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการป้องกันการเกิดฟันผุ เนื่องจากฟลูออไรด์มีคุณสมบัติในการเพิ่มความต้านทานต่อการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟัน (demineralization) ส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุเข้าสู่ผิวฟัน (remineralization) อีกทั้งรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) และการสร้างกรดของเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นฟลูออไรด์จึงเป็นที่นิยมใช้ในการป้องกันฟันผุมายาวนานกว่า 50 ปี และได้มีการพัฒนาและผลิตรูปแบบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ออกมามากมายหลายชนิด ทั้งในรูปแบบการให้เฉพาะที่ (topical application) และรูปแบบรับประทานเพื่อหวังให้เกิดผลทางระบบ (systemic effect) เช่น ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ยาเม็ดฟลูออไรด์ (fluoride tablet) เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (topical fluoride gel) สารละลายฟลูออไรด์ (fluoride solution) ฟลูออไรด์เคลือบผิว (fluoride varnish) และ ผงขัดผสมฟลูออไรด์ (fluoride prophylaxis paste) เป็นต้น

การติดเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น (fixed orthodontic appliance) จะทำให้เกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย เนื่องจากเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นจะเป็นแหล่งสะสมคราบจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังกีดขวางการทำความสะอาดช่องปากของผู้ป่วย รวมทั้งรบกวนกระบวนการทำความสะอาดด้วยตัวเองตามธรรมชาติของตัวฟัน (self cleansing) ดังนั้นจึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคฟันผุ (cariogenic bacteria) ในช่องปากของผู้ป่วย จึงทำให้เพิ่มโอกาสในการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟัน ก่อให้เกิดรอยโรคต่างขาว (white spot lesion) รอยโรคต่างน้ำตาล (brown spot lesion) หรืออาจลุกลามจนเกิดรูผุ (cavity) ขึ้นได้ (Gorelick, Geiger และ Gwinnett, 1982; Ogaard และคณะ; 1988)

ด้วยเหตุนี้จึงนิยมให้ผู้ป่วยที่ได้รับการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟันผุ โดยเฉพาะในรูปแบบของยาสีฟันผสมฟลูออไรด์และน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ เนื่องจากผู้ป่วยสามารถใช้ได้เองที่บ้านเป็นประจำทุกวัน

ถึงแม้ฟลูออไรด์จะมีประโยชน์อย่างมากในการลดการเกิดรอยโรคต่างขาว และป้องกันฟันผุในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน แต่ในอีกแง่หนึ่งการใช้ฟลูออไรด์ก็อาจเป็นอุปสรรคต่อการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันได้เช่นกัน เนื่องจากฟลูออไรด์ทำให้เกิดการกัดกร่อนของแบร็กเกตและลวด ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดดั่งที่กล่าวมาแล้ว จึงอาจทำให้เพิ่มความยุ่งยากในการรักษาและจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันตามมาในที่สุด

อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้ฟลูออไรด์ต่อการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดนั้นยังมีอยู่น้อยมากในปัจจุบัน ส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งศึกษาผลของฟลูออไรด์ที่มีต่อการกัดกร่อนของพื้นผิวของโลหะที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน และมักจะเลือกทำการศึกษาในลวดหรือแบร็กเกตเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น อีกทั้งการวิจัยเกือบทั้งหมดจะกระทำในสภาวะที่แตกต่างไปจากการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยอย่างสิ้นเชิง เช่น การใช้ขี้ผึ้งไฟฟ้าต่อระหว่างโลหะ 2 ชนิด เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน หรือการแช่โลหะในผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าคำแนะนำในการใช้ผลิตภัณฑ์

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มีต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด ภายหลังจากที่แช่แบร็กเกตและลวดในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ 3 ชนิดที่ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นมักจะใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ เพื่อให้ทราบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์เหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานจริงหรือไม่ เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่ส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดน้อยที่สุด และถ้าหากว่าการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยก่อให้เกิดอุปสรรคในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันขึ้นจริง ผลของการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการกระตุ้นให้เกิดการศึกษาเพื่อค้นหาผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันฟันผุ แต่ไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อนำมาใช้ทดแทนฟลูออไรด์ต่อไป

คำถามการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดแต่ละชนิดภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ กับค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติระหว่างแบร็กเกตกับลวดชนิดดังกล่าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลาย มีความแตกต่างกันหรือไม่
2. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ต่างชนิดกัน มีความแตกต่างกันหรือไม่

3. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดต่างชนิดกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน มีความแตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม กับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel wire) และลวดเบตาไทเทเนียม (beta-titanium wire) ภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ กับค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตกับลวดชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลาย
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ต่างชนิดกัน
3. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดต่างชนิดกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน

สมมุติฐานการวิจัย

1. มีการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดแต่ละชนิดภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตกับลวดชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลาย
2. มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ต่างชนิดกัน

3. มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดต่างชนิดกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดกับแบร์ริกเกต ซึ่งส่งผลกระทบต่อการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบในผู้ป่วยที่ได้รับการใส่เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่น
2. เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มีผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดน้อยที่สุด
3. เพื่อให้เป็นแนวทางในการศึกษาหาผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันฟันผุ แต่ไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อนำมาใช้ทดแทนฟลูออไรด์ต่อไป หากว่าการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยที่ใส่เครื่องมือทันตกรรมแบบติดแน่นก่อให้เกิดอุปสรรคในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันขึ้นจริง

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานขนาดของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐาน สำหรับฟันเขี้ยวที่เกิดกับลวด 2 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม
2. แบร์ริกเกตที่ใช้ในการทดลองเป็นแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานสำหรับฟันเขี้ยวที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.018×0.025 นิ้ว² ที่มีค่ามุมต่าง ๆ เป็น 0°
3. ลวดที่ใช้ในการทดลองเป็นลวดเหล็ยม 2 ชนิดที่มีขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม

4. สารละลายที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้
 - 4.1. สารละลายที่ได้จากการผสมยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ยี่ห้อคอลเกต (Colgate) รสยอदनนิยมของบริษัทคอลเกต-ปาล์มโอลีฟ จำกัด, ประเทศไทย (Colgate-Palmolive Company, Thailand) ซึ่งมีปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride) ความเข้มข้นร้อยละ 0.22 w/w มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ (active fluoride ion) 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) จำนวน 1 กรัมต่อน้ำลายเทียม 4 มล. ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจนเกิดฟอง
 - 4.2. สารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ยี่ห้อออร์ล-บี ทูธแอนด์กัมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ (Oral-B Tooth and Gum Care Alcohol-Free Mouth Rinse) ของบริษัทพรอคเตอร์แอนด์แกมเบิล, ประเทศไทย (Procter and Gamble, Thailand) ซึ่งมีปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 226 พีพีเอ็ม ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 8.5 ต่อ 1
 - 4.3. สารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (topical fluoride gel หรือ acidulated phosphate fluoride gel, APF) ยี่ห้อซิกทีเซกเคิลเทสต์ (60 Second Taste) ของบริษัทปาสคาล, ประเทศสหรัฐอเมริกา (Pascal, USA) ซึ่งมีปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 1.23 มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 12,300 พีพีเอ็ม ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.4
5. ในการทดลองนี้จะให้แรงดึงแบร็กเกตผ่านลวดตรง โดยมีมุมกระทำระหว่างลวดกับแบร็กเกตเท่ากับมุมวิกฤต นั่นคือ 1°
6. การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าแรงเสียดทานสถิตในสภาวะแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการจำลองการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในช่วงเวลา 12 สัปดาห์ หรือ 3 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² มักจะถูกใช้อย่างต่อเนื่องในช่องปาก

2. ลวดทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดเดียวกัน คือ 0.016×0.022 นิ้ว² แต่ละชนิดจะมีขนาดและส่วนประกอบตามมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมของบริษัทออร์มโคคอร์ปอเรชัน, ประเทศสหรัฐอเมริกา (Ormco Corporation, USA)
3. แบริกเกตที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานยี่ห้อไดนาล็อก (Dyna-lock) ของบริษัทของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค, ประเทศเยอรมันนี (3M Unitek, Germany) สำหรับฟันเขี้ยวที่มีขนาดของร่องแบริกเกต 0.018×0.025 นิ้ว² และมีค่าทิป (tip) และค่าทอร์ก (torque) ในร่องแบริกเกตเป็น 0° มีขนาดและรูปร่างเหมือนกันทุกตัว และนำมาจากบริษัทผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว โดยแบริกเกตสำหรับฟันเขี้ยวทั้งข้างซ้ายและขวา ทั้งในขากรรไกรบนและล่าง มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ
4. ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ที่เลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นยาสีฟันที่ผู้ป่วยสามารถหาซื้อได้ง่าย มีความเข้มข้นและส่วนประกอบตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดมา
5. น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ที่เลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำยาบ้วนปากที่ผู้ป่วยสามารถหาซื้อได้ง่าย มีความเข้มข้นและส่วนประกอบตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดมา
6. เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบเป็นเจลชนิดแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 มีค่าพีเอช 3.5 และมีความเข้มข้นและส่วนประกอบตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดมา
7. อัตราส่วนในการผสมสารละลายแต่ละชนิดจะคำนวณจากปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ระบุไว้ตามคำแนะนำในการใช้ในฉลากของผลิตภัณฑ์ นำมาผสมกับปริมาณของน้ำลายเทียมที่คำนวณจากปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก (residual saliva) และอัตราการหลั่งของน้ำลายขณะถูกกระตุ้น (stimulated salivary flow rate) เพื่อให้สามารถจำลองการใช้ผลิตภัณฑ์ในผู้ป่วยได้อย่างใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นอัตราส่วนในการผสมสารละลายแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ดังนี้

7.1. สารละลายที่ได้จากการผสมยาสี่ฟันยาสี่ฟันคอลเกตรยอดนียมกับน้ำลายเทียม ในอัตราส่วนยาสี่ฟันจำนวน 1 กรัมต่อน้ำลายเทียม 4 มล. คำนวณจาก

7.1.1. ปริมาณยาสี่ฟัน 1 กรัม คำนวณจากปริมาณยาสี่ฟันที่กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แนะนำให้ใช้ในการแปรงฟันในผู้ใหญ่ นั่นคือ 1 กรัม/ครั้ง

7.1.2. ปริมาณน้ำลายเทียม 4 มล. คำนวณจากปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก รวมกับปริมาณน้ำลายที่ได้จากการควบคุ้อัตราเฉลี่ยของการหลั่งน้ำลายขณะถูกกระตุ้นต่อหน้าที่ กับจำนวนหน้าที่ที่ใช้ในการแปรงฟัน

7.1.2.1. ปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก คือ 1 มล. (Dawes, 2004)

7.1.2.2. อัตราเฉลี่ยของการหลั่งน้ำลายขณะถูกกระตุ้น คือ 1.5 มล./นาที (Tenovuo, 1999; Edgar และ Mullane, 1996)

7.1.2.3. ระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดที่กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แนะนำให้ใช้ในการแปรงฟัน คือ 2 นาที/ครั้ง

ดังนั้นปริมาณน้ำลายเทียมที่ใช้เพื่อจำลองปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมาผสมกับยาสี่ฟันในการแปรงฟัน 1 ครั้ง คือ

$$1 + (1.5 \times 2) = 4 \text{ มล.}$$

สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 996.02 พีพีเอ็ม

หมายเหตุ วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายได้แสดงไว้ในภาคผนวก

7.2. สารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากออรัล-บี ทูธแอนด์แกมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ ซึ่งผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 8.5 ต่อ 1 คำนวณจาก

7.2.1. ปริมาณน้ำยาบ้วนปากที่ระบุไว้ตามคำแนะนำในฉลากของผลิตภัณฑ์ คือ 15 มล./ครั้ง

7.2.2. ปริมาณน้ำลายเทียม 1.75 มล. คำนวณจากปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก รวมกับปริมาณน้ำลายที่ได้จากการควบคุมหัตถ์ของการหลั่งน้ำลายขณะ ถูกกระตุ้นใน 1 นาที กับจำนวนนาที่ที่ใช้ในการอมน้ำยาบ้วนปากที่ระบุไว้ ตามคำแนะนำในฉลากของผลิตภัณฑ์

7.2.2.1. ปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก คือ 1 มล.

7.2.2.2. อัตราเฉลี่ยของการหลั่งน้ำลายขณะถูกกระตุ้น คือ 1.5 มล./นาที

7.2.2.3. ระยะเวลาที่ใช้ในการอมน้ำยาบ้วนปากที่ระบุไว้ตามคำแนะนำใน ฉลากของผลิตภัณฑ์ คือ 30 วินาที/ครั้ง หรือ 0.5 นาที/ครั้ง

ดังนั้นปริมาณน้ำลายเทียมที่ใช้เพื่อจำลองปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมา ผสมกับน้ำยาบ้วนปากในการอมน้ำยา 1 ครั้ง คือ

$$1 + (1.5 \times 0.5) = 1.75 \text{ มล.}$$

อัตราส่วนของน้ำยาบ้วนปากต่อน้ำลายเทียมคือ 15 มล.ต่อ 1.75 มล. หรือประมาณ 8.5 ต่อ 1 หรือ 1 ต่อ 0.118

สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 225.97 พีพีเอ็ม

7.3. สารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.4 คำนวณจาก

7.3.1. ปริมาณเจลฟลูออไรด์ 5 มล. คำนวณจากปริมาณเจลฟลูออไรด์ที่กอง ทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แนะนำให้ใช้ในการเคลือบ เจลฟลูออไรด์ นั่นคือ 5 มล./ครั้ง หรือประมาณ 1 ใน 3 ของถาดเคลือบ ฟลูออไรด์

7.3.2. ปริมาณน้ำลายเทียม 7 มล. คำนวณจากปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก รวมกับปริมาณน้ำลายที่ได้จากการควบคุมหัตถ์ของการหลั่งน้ำลายขณะ ถูกกระตุ้นใน 1 นาที กับจำนวนนาที่ที่ใช้ในการเคลือบเจลฟลูออไรด์ที่ระบุไว้ ตามคำแนะนำในฉลากของผลิตภัณฑ์

- 7.3.2.1. ปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก คือ 1 มล.
- 7.3.2.2. อัตราเฉลี่ยของการหลั่งน้ำลายขณะถูกกระตุ้น คือ 1.5 มล./นาที
- 7.3.2.3. ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลือบเจลฟลูออไรด์ที่ระบุไว้ในคำแนะนำ
ในฉลากของผลิตภัณฑ์คือ 4 นาที/ครั้ง

ดังนั้นปริมาณน้ำลายเทียมที่ใช้เพื่อจำลองปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมา
ผสมกับน้ำยาบ้วนปากในการอมน้ำยา 1 ครั้ง คือ

$$1 + (1.5 \times 4) = 7 \text{ มล.}$$

อัตราส่วนของเจลฟลูออไรด์ต่อน้ำลายเทียมคือ 5 มล.ต่อ 7 มล. หรือ
ประมาณ 1 ต่อ 1.4

สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 12,282.80 พีพีเอ็ม

8. ระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลายเป็นระยะเวลารวมทั้งผู้ปวยใช้ผลิตภัณฑ์
ฟลูออไรด์ในช่วงระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยจะคำนวณจากเวลาที่ระบุไว้ในคำแนะนำใน
การใช้ในฉลากของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลายแต่ละชนิดจะไม่
เท่ากัน ดังนี้
- 8.1 การแช่ตัวอย่างในสารละลายที่ได้จากการผสมยาสีฟัน จะกระทำโดยการแช่
ตัวอย่างในสารละลายที่ดีเป็นฟอง (toothpaste slurry) 336 นาที แล้วล้างออก
ด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที เพื่อจำลองการแปรงฟันวันละ 2 ครั้งของผู้ปวยในช่วงเวลา
12 สัปดาห์ (ตามคำแนะนำของกองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวง
สาธารณสุขที่แนะนำให้บุคคลทั่วไปใช้เวลาในการแปรงฟันอย่างน้อยที่สุดครั้งละ 2
นาที)
- 8.2 การแช่ตัวอย่างในสารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากผสมกับน้ำลายเทียมจะกระทำ
โดยการแช่ตัวอย่างในสารละลาย 84 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที เพื่อ
จำลองการใช้ยาบ้วนปากวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที ในช่วงเวลา 12 สัปดาห์

- 8.3 การแช่ตัวอย่างในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบผสมกับน้ำลายเทียม จะกระทำโดยการแช่ตัวอย่างในสารละลาย 4 นาที จากนั้นนำขึ้นจากสารละลายทิ้งไว้ 30 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที เพื่อจำลองการเคลือบเจลฟลูออไรด์ที่กระทำโดยทันตแพทย์ 1 ครั้ง ที่มักจะกระทำทุก 6 เดือน
- 9 ในการทดลองนี้จะให้แรงดึงแบร็กเกตผ่านลวดตรง โดยมีมุมกระทำระหว่างลวดกับแบร็กเกตเท่ากับมุมวิกฤต นั่นคือ 1°

มุมวิกฤต (θ_c) หมายถึง มุมที่ทำให้ช่องว่างระหว่างแบร็กเกตและลวดไม่ปรากฏขึ้นเป็นครั้งแรก หรือเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตและลวดที่มุมทแยง (Kang และคณะ, 2003) ซึ่งสามารถคำนวณมุมวิกฤตได้จากสูตร ดังนี้ (Kusy, 2000)

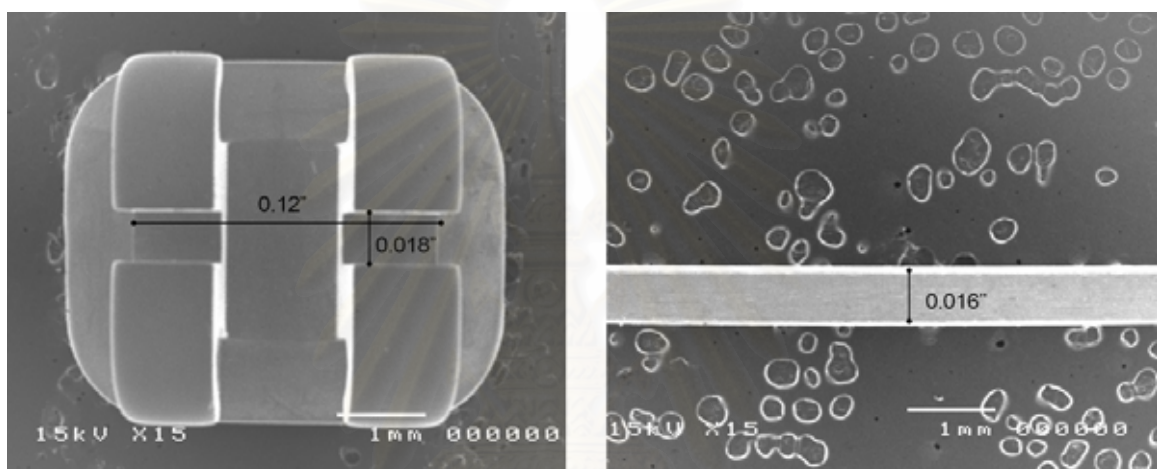
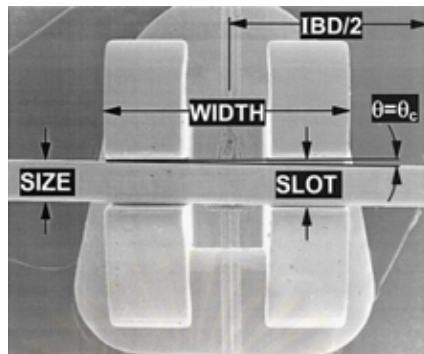
$$\theta_c = \frac{57.3 \text{ (CLEARANCE INDEX)}}{\text{(BRACKET INDEX)}}$$

$$\theta_c = \frac{57.3 (1 - \text{ENGAGEMENT INDEX})}{\text{(BRACKET INDEX)}}$$

โดยที่ ENGAGEMENT INDEX = (SIZE / SLOT)

BRACKET INDEX = (WIDTH / SLOT)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ภาพประกอบการหามุมวิกฤต (บน) พร้อมทั้งขนาดของแบร์กเกตและลวดที่ใช้ในการคำนวณหามุมวิกฤตในการศึกษาครั้งนี้ (ล่าง)

ดังนั้น

$$\theta_c = \frac{57.3 (1 - (0.016 / 0.018))}{(0.1379 / 0.018)}$$

$$\therefore \theta_c = 0.8310^\circ$$

มุมวิกฤตในการศึกษาครั้งนี้คือ 0.8310° หรือประมาณ 1°

10. น้ำลายเทียมที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำลายเทียมที่ผลิตจากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันต-แพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีความเข้มข้นและส่วนประกอบตามที่ตำรับผู้ผลิตกำหนด โดยไม่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์

11. วงอีลาสโตเมอร์ (elastomeric ring, o-ring) ที่ใช้สำหรับมัดลวดกับแบร์ริกเกตในการศึกษาในครั้งนี้ทั้งหมดเป็นวงอีลาสโตเมอร์ยี่ห้อทัฟ (Tuff) ของบริษัทเคลนโรเทคโนโลยี, ประเทศสหรัฐอเมริกา (GLENROE Technologies, USA) มีขนาดและส่วนประกอบตามมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต
12. วิธีการมัดลวดเข้ากับแบร์ริกเกตด้วยวงอีลาสโตเมอร์กระทำโดยการตัดวงอีลาสโตเมอร์ออกจากแกนด้วยกรรไกร จากนั้นใช้เครื่องสเตรทชูเตอร์ (straight shooter) ยิงวงอีลาสโตเมอร์ให้มัดเข้ากับแบร์ริกเกต ดังนั้นจึงสามารถถ่างวงอีลาสโตเมอร์ได้ในระดับเดียวกันทุกเส้น เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการยืดวงอีลาสโตเมอร์ในระดับที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงในการมัดที่ไม่เท่ากันตามมา
13. ค่าแรงเสียดทานสถิตได้จากการวัดด้วยเครื่องลดยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงแมชชีน รุ่นแอลอาร์ 10เค (Lloyd Universal Testing Machine, Model LR10K) ของบริษัทลอยด์อินสตรูเมนต์ ประเทศอังกฤษ (Lloyd Instruments, UK) โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (load cell) 5 นิวตัน และทำการทดลองดึงด้วยความเร็ว 0.1 มม./นาที การแปลผลแรงเสียดทานสถิตทำได้โดยการประเมินจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงกับระยะทางที่แบร์ริกเกตเคลื่อนที่ไป เมื่อเส้นกราฟที่เกิดจากแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของเส้นกราฟจุดแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของเส้นกราฟ โดยแรงที่อ่านค่าได้ที่จุดสูงสุดนี้คือ ค่าแรงเสียดทานสถิต
14. การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ที่ไม่ครอบคลุมถึงปัจจัยต่าง ๆ ทางชีวภาพที่อาจส่งผลต่อแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด เช่น น้ำลาย คราบจุลินทรีย์ หรือแรงบิดเคี้ยว เป็นต้น

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการจำลองการใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในช่วงเวลาเพียง 12 สัปดาห์ หรือประมาณ 3 เดือน ซึ่งในความเป็นจริงแบร์ริกเกตจะถูกใช้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 2 ปี อีกทั้งการใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² แต่ละชนิดนั้นจะมีระยะเวลาแตกต่างกันไปในผู้ป่วย

แต่ละคน ดังนั้นค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการทดลองจึงอาจมีค่าแตกต่างไปจากแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากของผู้ป่วย

2. การวัดค่าแรงเสียดทานสถิตเป็นการวัดค่าที่ได้จากแบบจำลองในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่เหมือนกับสภาวะจริงในช่องปากที่มีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวด จึงไม่อาจนำไปอ้างอิงสภาวะการณที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากได้ทั้งหมด
3. การศึกษานี้ทำการวัดค่าแรงเสียดทานสถิตในขณะที่ลวดเคลื่อนที่ผ่านแบร็กเกตด้วยความเร็วคงที่ 0.1 มม./นาที แต่ในการเคลื่อนฟันในผู้ป่วยจริงนั้น ฟันจะเคลื่อนที่ช้ามาก (ประมาณ 1 มม. ต่อ 3 หรือ 4 สัปดาห์) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงไม่สามารถอ้างอิงถึงการเคลื่อนที่ของฟันที่เกิดขึ้นจริงในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันได้ทั้งหมด
4. การทดลองนี้เป็นการกระทำในห้องทดลอง จึงไม่เหมือนกับสภาวะจริงในช่องปากที่มีองค์ประกอบอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย เช่น น้ำลาย คราบจุลินทรีย์ หรือเศษอาหาร ที่อาจจะส่งผลต่อความเข้มข้น องค์ประกอบ และระดับความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอชของฟลูออไรด์ จึงอาจทำให้ผลของฟลูออไรด์ในการกักคร่อนแบร็กเกตและลวดที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างไปจากสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก
5. การศึกษาการกักคร่อนที่เกิดจากยาสีฟันในการทดลองนี้ มิได้มีการจำลองการแปรงฟันโดยการใช้แปรงสีฟัน จึงไม่สามารถนำมาใช้อธิบายผลของการกักคร่อนของแบร็กเกตและลวดที่เกิดจากการแปรงฟันในชีวิตจริงได้ เพียงแต่เป็นการนำเสนอผลของการกักคร่อนที่อาจเกิดขึ้นจากฟลูออไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของยาสีฟันเท่านั้น

คำสำคัญ

1. แรงเสียดทานสถิต (static friction)
2. การกักคร่อน (corrosion)
3. แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel bracket)
4. ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel wire)
5. ลวดเบตาไทเทเนียม (beta-titanium wire)

6. ฟลูออไรด์ (fluoride)
7. น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ (fluoride mouthwash, fluoride mouth rinse)
8. ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ (fluoride toothpaste, fluoride dentifrice)
9. เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (topical fluoride gel)

คำจำกัดความ

1. แรงเสียดทานสถิต (static friction) หมายถึง แรงสูงสุดที่ทำให้แบร็กเกตเริ่มเคลื่อนที่ผ่านลวด โดยกำหนดจากค่าแรงสูงสุดจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่แบร็กเกตเคลื่อนที่ผ่านลวดไป
2. การกัดกร่อน (corrosion) หมายถึง การสูญเสียเนื้อโลหะโดยการเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (electrochemical reaction) โดยมีสารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) รวมอยู่ด้วย
3. การสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) หมายถึง กระบวนการละลายของไอออนของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ออกจากผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite crystal) ที่เป็นโครงสร้างหลักของผิวเคลือบฟัน
4. การคืนกลับของแร่ธาตุ (remineralization) หมายถึง กระบวนการที่ไอออนของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ กลับคืนเข้าไปสู่ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ ทำให้เคลือบฟันกลับมามีความเสถียรและแข็งแรงอีกครั้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

เริ่มงานวิจัยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 จนถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

กิจกรรม	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
เก็บรวบรวมข้อมูล												
วิเคราะห์ข้อมูล												
สรุปผลข้อมูล												
เขียนรายงานการวิจัย												
เสนอผลการวิจัย												

กรอบแนวคิดในการวิจัย

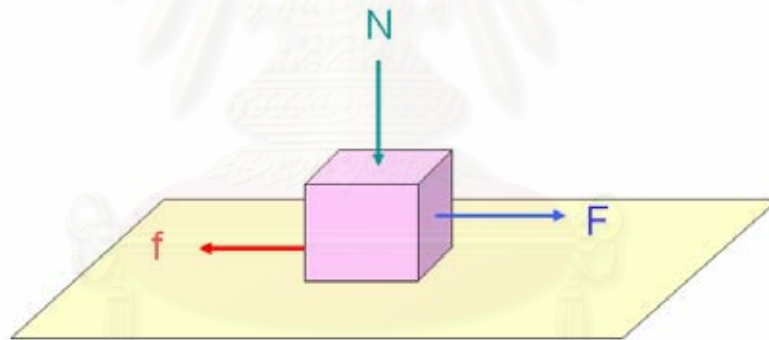


บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแรงเสียดทาน

เมื่อวัตถุคู่ใดคู่หนึ่งมีผิวสัมผัสกัน และมีการเคลื่อนที่ผ่านกัน จะเกิดแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองในทิศทางที่ขนานไปกับผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2 แรงต้านทานการเคลื่อนที่นี้คือแรงเสียดทาน (Besancon, 1985)



รูปที่ 2 การเกิดแรงเสียดทาน

ชนิดของแรงเสียดทาน

แรงเสียดทานมี 4 ประเภท ได้แก่ แรงเสียดทานแบบแห้ง แรงเสียดทานของของไหล แรงเสียดทานในการกลิ้ง และแรงเสียดทานภายใน (สมศักดิ์ คำปลิว, 2527)

1. แรงเสียดทานแบบแห้ง (dry friction) เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของของแข็งกับของแข็งที่ไม่ได้มีการหล่อลื่น ในขณะที่ผิวสัมผัสทั้งสองไถลหรือพยายามที่จะไถลผ่านกัน แรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

จะมีทิศทางสวนกับทิศทางของการเคลื่อนที่ บางครั้งเรียกแรงเสียดทานชนิดนี้ว่า แรงเสียดทานแบบคูลอมบ์ (Coulomb friction)

แรงเสียดทานชนิดนี้ได้ถูกค้นพบจากการทดลองของ Coulomb ในปี ค.ศ. 1781 ซึ่งพบว่าแรงเสียดทานชนิดนี้เป็นผลของแรงที่พื้นผิวหนึ่งกดลงบนอีกพื้นผิวหนึ่ง ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวหนึ่งหรือทั้งสองพื้นผิว คูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (coefficient of friction)

แรงที่พื้นผิวหนึ่งกดลงบนอีกพื้นผิวหนึ่งนี้เรียกว่า normal force (N) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (μ) เป็นค่าคงที่ และมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัตถุ

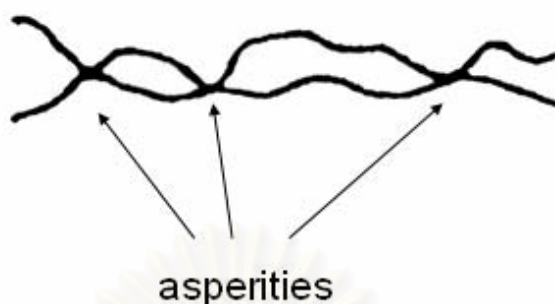
ดังนั้นสูตรที่ใช้คำนวณค่าแรงเสียดทานคือ

$$f = \mu N$$

วัตถุหนึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเกิดขึ้น 2 ชนิด ได้แก่

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิต (coefficient of static friction) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงที่ทำให้วัตถุที่หยุดนิ่งเริ่มมีการเคลื่อนที่
2. ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์ (coefficient of kinetic friction) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงที่ทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่ที่อยู่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์จะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิตเสมอ เนื่องจากผิวสัมผัสของวัสดุสองชนิดที่เคลื่อนผ่านกันนั้น เมื่อนำมาขยายดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบว่ายังคงมีความขรุขระอยู่ถึงแม้จะเห็นด้วยตาเปล่าว่าเรียบเพียงใดก็ตาม เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง ส่วนที่เป็นยอดของผิวสัมผัสที่มีความขรุขระ (asperity) จะยื่นเข้าไปในร่องหรือส่วนเว้าของพื้นผิวตรงข้ามที่สัมผัสกันอยู่ แต่เมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ไถลผ่านกัน ยอดตะปุ่มตะป่ำที่โผล่ออกมาจากแต่ละพื้นผิวจะยื่นเข้าไปในร่องของพื้นผิวตรงข้ามที่สัมผัสกันได้ไม่ลึกเหมือนในขณะหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 3 แรงเสียดทานจึงลดลงเมื่อวัตถุเริ่มมีการเคลื่อนที่ไป (Proffit และ Fileds, 2006)



รูปที่ 3 ความขรุขระของพื้นผิว เมื่อวัตถุอยู่หนึ่งส่วนที่เป็นยอดของผิวสัมผัสที่มีความขรุขระจะยื่นเข้าไปในร่องหรือส่วนเว้าของพื้นผิวตรงข้ามที่สัมผัสกันอยู่ จึงเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกันจริงระหว่างพื้นผิว

2. แรงเสียดทานของของไหล (fluid friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นย่อย ๆ ของของไหล ได้แก่ ของเหลวหรือแก๊ส เมื่อมีการใช้สารหล่อลื่น เช่น น้ำ น้ำมัน รวมไปถึงน้ำลาย แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะถือเป็นแรงเสียดทานชนิดนี้

3. แรงเสียดทานในการกลิ้ง (rolling friction) คือแรงต้านทานต่อการกลิ้งของวัตถุกลม เช่น ล้อรถ เป็นต้น

4. แรงเสียดทานภายใน (internal friction) พบในของแข็งทุกชนิดที่รับแรงกลับไปกลับมาแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้เกิดแรงเสียดทานภายใน และเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน

กฎของแรงเสียดทาน

ในกรณีที่วัตถุทั้งสองที่เป็นของแข็งเคลื่อนไถลผ่านกันโดยที่ผิวสัมผัสแห้ง ไม่มีการหล่อลื่นหรือการกลิ้งเกิดขึ้น จะเป็นไปตามกฎดังนี้ (ชาญ ถนัดงาน, 2523)

1. แรงเสียดทานจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไป
2. แรงเสียดทานจะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของเนื้อวัสดุที่สัมผัสกัน
3. แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส ทั้งในแง่ของขนาดและรูปร่างของผิวสัมผัส

4. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุหนึ่งจะมีค่าคงที่
5. ขนาดของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุหนึ่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่ผิวสัมผัส และไม่ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน
6. แรงเสียดทานอันเกิดจากวัตถุที่มีน้ำหนักเท่ากันจะมีขนาดเท่ากัน ไม่ว่าขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสจะเท่ากันหรือไม่ก็ตาม
7. เมื่อน้ำหนักของวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า
8. เมื่อวัตถุมีความเร็วต่ำ แรงเสียดทานจะไม่ขึ้นกับความเร็ว แต่เมื่อวัตถุมีความเร็วสูง แรงเสียดทานจะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากจนถึงค่าหนึ่ง แรงเสียดทานจะได้รับผลจากการหล่อลื่นของแก๊สที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ค่าแรงเสียดทานจลน์ลดลงอย่างมาก
9. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก และไม่ขึ้นกับขนาดของพื้นที่ของผิวสัมผัส แต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อวัสดุ
10. ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์จะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิตเสมอ

แรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น

Thurrow (1982) มีความเห็นว่า สิ่งที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแบร็กเกตและลวดโค้งเส้นหลัก ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน และแรงกดระหว่างผิวสัมผัสของแบร็กเกตกับลวด โดยที่ขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแบร็กเกตกับลวดไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจะเป็นการเพิ่มพื้นผิวที่สร้างแรงเสียดทาน (friction-creating surface) ในอัตราเดียวกันกับการลดแรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงหักล้างกันไป

ส่วน Tidy (1989) มีความเชื่อตามทฤษฎีของแรงเสียดทานที่ว่า “แรงเสียดทานใด ๆ จะเป็นปฏิกิริยากับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก” ซึ่งในกรณีที่แบร็กเกตกับลวดโค้งเส้นหลักมีการเคลื่อนที่ผ่านกัน แรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของแบร็กเกตและลวดจะเกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1. การมัด (engagement) ลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร์ริเกตซึ่งอยู่นอกแนวการเรียงของฟัน (out of alignment)
2. แรงจากการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับร่องแบร์ริเกต
3. แอคทีฟทอร์ก (active torque) ในลวดเหล็ยม
4. ความต้านทานที่จุดสัมผัส 2 จุด (two-point contact) ระหว่างแบร์ริเกตและลวดโค้งเส้นหลัก ในขณะที่มีการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี (bodily tooth movement) และมีแนวโน้มที่จะเกิดการล้มเอียงของฟัน (tipping)

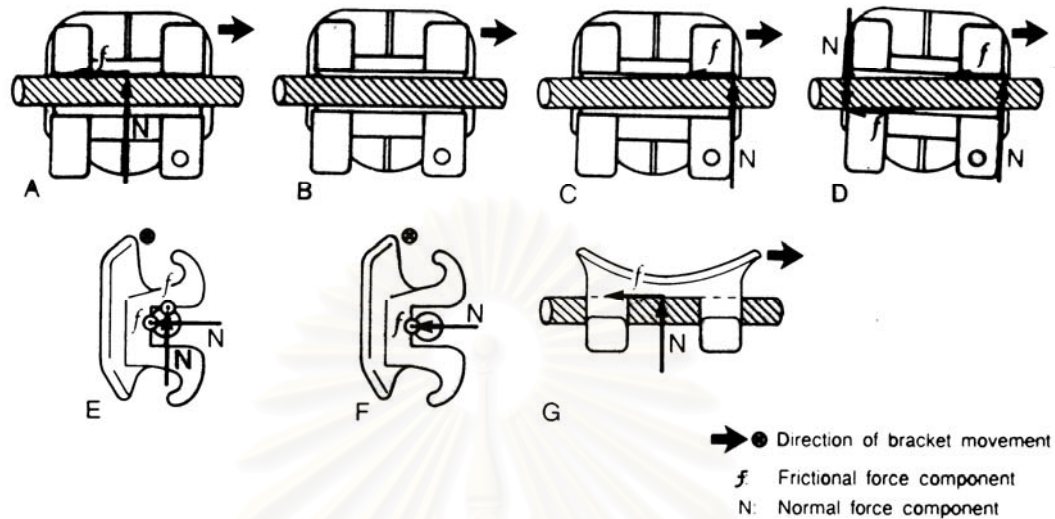
Proffit และ Fields (2006) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแบร์ริเกตและลวดโค้งเส้นหลัก ได้แก่ แรงกดระหว่างผิวสัมผัสของแบร์ริเกตกับลวด และคุณสมบัติของผิวสัมผัสคู่่นั้น และได้มีความเห็นสอดคล้องกับ Thurow (1982) นั่นคือ แรงเสียดทานไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า เพราะถึงแม้จะเห็นว่าผิวสัมผัสนั้นเรียบเพียงใดก็ตาม เมื่อนำมาขยายดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบว่ายังคงมีลักษณะที่ขรุขระอยู่ ดังนั้นส่วนที่สัมผัสกันจริงก็คือส่วนที่เป็นยอดตะปุ่มตะป่ำของผิวสัมผัสเท่านั้น ซึ่งไม่เท่ากับพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของวัตถุ

ลักษณะของแรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น

ขณะที่แบร์ริเกตเคลื่อนที่ผ่านลวดจะเกิดแรงขึ้น 2 ชนิด ได้แก่

1. แรงเสียดทาน ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงที่ทำให้ผิวสัมผัสทั้งสองเกิดการเคลื่อนที่ผ่านกัน แรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นนี้มีทั้งแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์
2. แรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ซึ่งจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส และตั้งฉากกับแนวของแรงเสียดทาน

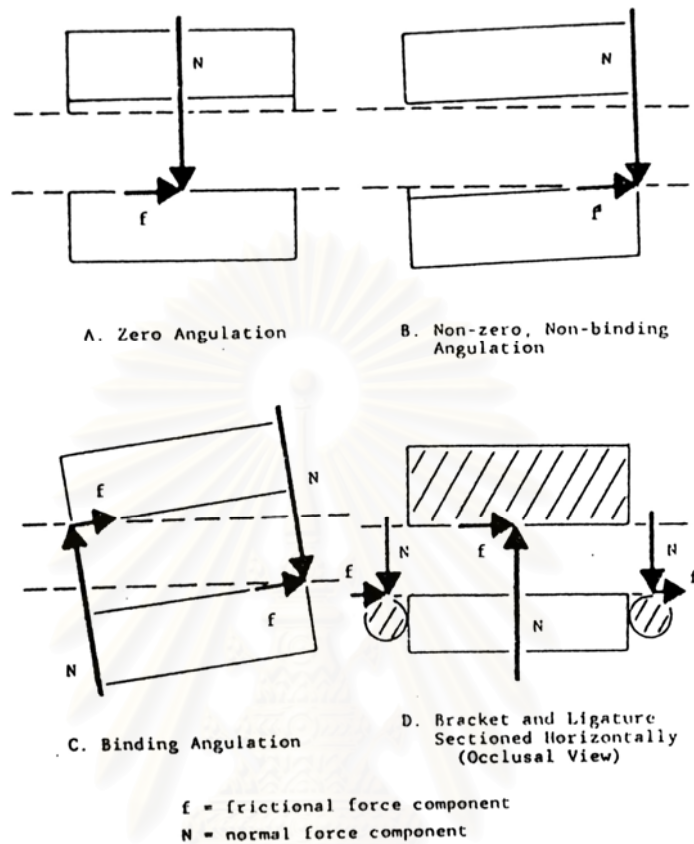
ขณะที่ฟันมีการเคลื่อนที่ไปตามแรงกระทำที่ให้อุปกรณ์จัดฟัน ความสัมพันธ์ระหว่างแบร์ริเกตและลวดอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ในลักษณะต่าง ๆ ดังรูปที่ 4 ทุกจุดที่แบร์ริเกตและลวดสัมผัสกันจะเกิดแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ณ ตำแหน่งนั้น (Kapila และคณะ, 1990)



รูปที่ 4 การเกิดแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างแบร็กเกตและลวดเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ

เมื่อมองจากทางด้านหน้า (facial view) จะพบว่าแรงปฏิกิริยาตั้งฉากในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นมีได้ 3 ลักษณะ ดังรูปที่ 5 ได้แก่ (Frank และ Nikolai, 1980)

1. ในขณะที่แบร็กเกตยังไม่เคลื่อนที่ไปตามลวด แรงปฏิกิริยาตั้งฉากของลวดที่กระทำต่อแบร็กเกตจะกระจายอยู่บนพื้นผิวของร่องแบร็กเกตทางด้านบดเคี้ยว (occlusal) หรือด้านใกล้เหงือก (gingival) ดังรูป A
2. เมื่อแบร็กเกตเริ่มมีการล้มเอียง (tip) ในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง แต่ยังมีช่องว่าง (clearance) ระหว่างลวดและร่องแบร็กเกต ลวดจะสัมผัสผิวด้านของร่องแบร็กเกตทางด้านใกล้กลางหรือด้านไกลกลาง ดังรูป B
3. เมื่อแบร็กเกตมีการล้มเอียงมากขึ้นจนไม่มีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบร็กเกต แรงปฏิกิริยาตั้งฉากจากลวดจะมี 2 ตำแหน่ง คือ ที่ขอบของร่องแบร็กเกตในแนวทแยงมุม ดังรูป C



รูปที่ 5 แรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดขึ้นในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น เมื่อความสัมผัสระหว่างแบร็กเกตและลวดเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ

แรงปฏิกิริยาตั้งฉากทั้ง 3 ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเสมอเมื่อมีการเคลื่อนที่ของฟันในขณะที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน แต่อาจมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยา เช่น ชนิดของลวด รูปร่างของลวด ขนาดของลวด ชนิดของแบร็กเกต รูปร่างของแบร็กเกต และการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร็กเกต เป็นต้น

ลักษณะของแรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นในขณะดึงฟันเขี้ยว (canine retraction)

Frank และ Nikolai (1980) แบ่งระยะการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งเส้นหลักออกเป็น 3 ระยะ

ดังนี้

ระยะที่ 1

ฟันเขี้ยวเกิดการเคลื่อนที่แบบล้มเอียงหรือแบบทipping (tipping) ของตัวฟันไปทางด้านไกลกลาง (distal crown tipping) เนื่องจากแรงจากแหล่งกำเนิดแรงมีมากกว่าความต้านทานของเนื้อเยื่อปริทันต์ และแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด ทำให้เกิดมุมขึ้นระหว่างลวดและร่องแบร็กเกต การเคลื่อนที่แบบทippingนี้จะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งช่องว่างระหว่างลวดและร่องแบร็กเกตหมดไป ทำให้เกิดการยึดติด (binding) ระหว่างลวดกับร่องแบร็กเกตขึ้น

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่แบบทipping ในระยะนี้ ได้แก่ การทำมุมของร่องแบร็กเกตตั้งแต่เริ่มแรก การโค้งงอแบบเกเบิลในลวด (gable bend) ความกว้างของแบร็กเกต ขนาดร่องแบร็กเกต และขนาดของลวดโค้งเส้นหลัก

ระยะที่ 2

ฟันเขี้ยวยังคงเคลื่อนที่ไปทางไกลกลางต่อไปเรื่อย ๆ แต่ขณะนี้จะมีแรงคู่ควบที่เกิดจากการที่ลวดแตะกับขอบของร่องแบร็กเกตในแนวทแยงมุม แรงคู่ควบนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่ทำให้ฟันล้มเอียง ฟันเขี้ยวจึงเริ่มเปลี่ยนจากการเคลื่อนที่แบบทipping เป็นการเคลื่อนที่แบบบอดิลี

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่แบบทipping ในระยะนี้ ได้แก่ การหมดฤทธิ์ (deactivation) ของแหล่งกำเนิดแรง และความแข็งตึงของลวดในการโค้งงอของออร์เดอร์ที่สอง (second order หรือ rotational bending stiffness) ซึ่งความแข็งตึงของลวดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวด วัสดุที่ใช้ทำลวด และระยะห่างระหว่างแบร็กเกต (interbracket distance)

ระยะที่ 3

ระยะนี้แรงจากแหล่งกำเนิดแรงจะค่อย ๆ ลดลง ในขณะเดียวกัน แรงคู่ควบก็จะลดลงด้วย ฟันเขี้ยวในระยะนี้จึงเกิดการเคลื่อนที่รากฟัน (root movement) และเกิดการตั้งฟัน (upright) ขึ้น และเมื่อแรงจากแหล่งกำเนิดแรงลดลงจนเกือบหมด การทำมุมของร่องแบร็กเกตก็จะกลับสู่ช่วงท้ายของระยะที่ 1

ส่วน Dreshcher, Bouranuel และ Schumacher (1989) แบ่งระยะของการดึงฟันซี่ยาวไปตาม ลวดโค้งเส้นหลักออกเป็น 4 ระยะ ดังรูปที่ 6 ได้แก่

ระยะที่ 1

คือ ระยะที่มีการปรับฟันให้อยู่ในระดับที่ดีแล้ว และยังไม่มีการให้แรงแก่ฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ระยะนี้ลวดและร่องแบร์ริกเกตจะอยู่ในแนวเดียวกัน ดังรูป A

ระยะที่ 2

คือ ระยะที่ฟันจะเริ่มล้มเอียงและหมุนเมื่อมีการให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเหนือต่อจุด ศูนย์กลางความต้านทานของฟัน (center of resistance) ดังรูป B และ C

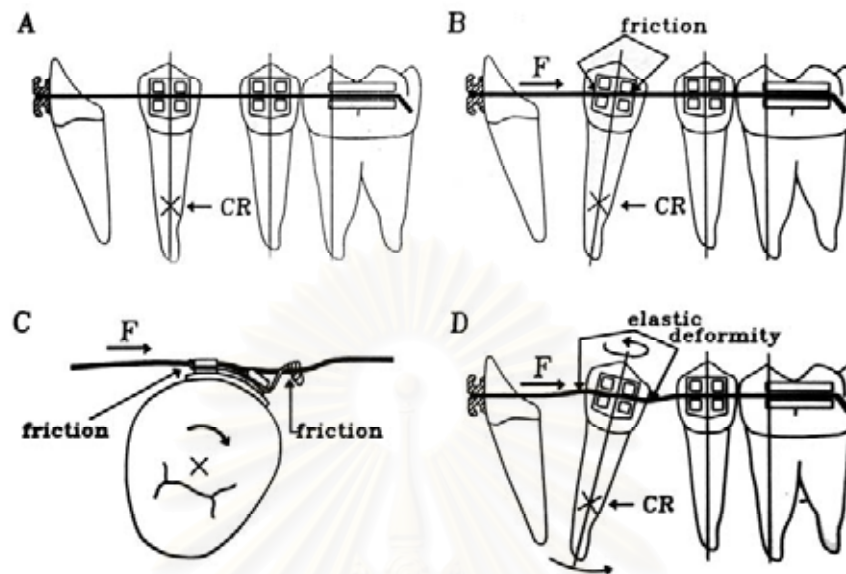
ระยะที่ 3

คือ ระยะที่ลวดเกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงการยืดหยุ่น (elastic deformation) เนื่องจากการให้แรง ในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่เดียวกันแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่าง แบร์ริกเกตและลวดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางหายไป การผิดรูปในช่วง ยืดหยุ่นของลวดจะต้านทานการล้มเอียง (antitip) และต้านทานการหมุน (antirotation) ของฟัน ดังรูป D

การเคลื่อนฟันไปตามลวดจะเกิดการเคลื่อนที่ของฟันตั้งแต่ระยะที่ 1 ถึงระยะที่ 3 ซ้ำ ๆ กัน หลายหน อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยหลายประการที่มาเกี่ยวข้อง เช่น แรงจากการบิดเคี้ยวที่อาจมีผลให้ การเคลื่อนที่ของฟันทั้ง 3 ระยะเสียไป โดยทำให้ลวดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) ได้

ระยะที่ 4

คือ ระยะที่ลวดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ระยะนี้เป็น ระยะที่ต้องพยายามหลีกเลี่ยง



รูปที่ 6 ระยะเวลาของการดิ่งฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งเส้นหลัก 4 ระยะ (Dreshcher, Bouranuel และ Schumacher, 1989)

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีผู้ทำการศึกษามากมายพยายามที่จะศึกษาปัจจัยถึงต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด ซึ่งผลการศึกษาเหล่านี้สามารถนำมาสรุปโดยแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ (Vaughan และคณะ, 1995; Nanda และ Ghosh, 1997)

1. ปัจจัยทางกายภาพ (physical factor)

1.1. ลวดโค้งเส้นหลัก (archwire)

1.1.1. วัสดุที่ใช้ทำลวด (material)

1.1.2. ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด (size และ cross-sectional shape)

1.1.3. ลักษณะพื้นผิวของลวด (surface texture)

1.1.4. ค่าความแข็งตึง (stiffness)

- 1.2. แบริกเกต (bracket)
 - 1.2.1. วัสดุที่ใช้ทำแบริกเกต (material)
 - 1.2.2. ขนาดของร่องแบริกเกต (slot width and depth)
 - 1.2.3. กระบวนการผลิต (manufacturing)
 - 1.2.4. การออกแบบลักษณะของแบริกเกต (bracket design)
- 1.3. การมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบริกเกต (ligation of archwire to bracket)
 - 1.3.1. ชนิดของวัสดุที่ใช้มัด (material)
 - 1.3.2. วิธีในการมัด (method of ligation)
- 1.4. ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic appliance)
 - 1.4.1. ระยะห่างระหว่างแบริกเกต (interbracket distance)
 - 1.4.2. ระดับของร่องแบริกเกตเมื่อเปรียบเทียบกับร่องแบริกเกตของฟันข้างเคียง (level of bracket slots between adjacent teeth)
 - 1.4.3. มุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบริกเกตทั้งในออร์เดอร์ที่สองและสาม (second และ third order deflection)
 - 1.4.4. แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน ตำแหน่งที่ให้แรง และวิธีที่ใช้เคลื่อนฟัน (force application)
2. ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factor)
 - 2.1. น้ำลาย (saliva)
 - 2.2. แผ่นคราบจุลินทรีย์ (dental plaque)
 - 2.3. แผ่นฟิล์มน้ำลาย (acquired pellicle)

2.4. การกัดกร่อนของลวดหรือแบร์ริเกต (corrosion)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานในวิธีการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถล

Table 10-1. The Variables That Have Been Considered in Major Studies on Friction in Orthodontic Sliding Systems

Author/year	Ligation	Saliva	Slot Size	Bracket Width	Wire Material	Bracket Material	Wire Size/ Shape	Surface Rough	Applied Load	Angulation	Interbrack. Width	Sliding Velocity
Buck et al. 1963 ⁴³			x	x			x			x		
Andreasen and Quevedo 1970 ²¹		x		x			x			x		
Echols 1975 ⁴⁶	x						x					
Creekmore 1976 ⁴⁷							x				x	
Greenberg and Kusy 1979 ⁴⁸								x				
Feeney et al. 1979 ⁴⁹				x								
Riley et al. 1979 ³²	x					x	x					
Frank and Nikolai 1980 ²⁴	x			x	x		x			x	x	
Peterson et al. 1982 ²⁷				x	x		x			x		
Stannard et al. 1986 ²⁹	x	x			x				x			
Garner et al. 1986 ²⁵					x		x					
Baker et al. 1987 ⁴⁵		x					x					
Kusy and Whitley 1988 ⁵⁰								x				
Kusy et al. 1988 ³⁴					x	x		x				
Drescher et al. 1989 ³³				x	x		x		x	x		
Kusy and Whitley 1989 ⁵¹					x							x
Tidy 1989 ³⁰			x	x	x		x		x	x		
Angolkar et al. 1990 ²³			x		x	x	x					
Berger 1990 ³⁹	x					x	x					
Kapila et al. 1990 ²⁶			x	x	x	x	x					
Kusy and Whitley 1990 ⁵²			x		x	x		x				
Kusy and Whitley 1990 ³⁵					x	x		x	x			
Pratten et al. 1990 ²⁸		x			x	x						
Bednar et al. 1991 ⁵³	x					x	x			x		
Ireland et al. 1991 ⁵⁴	x	x			x	x	x					x
Kusy 1991 ⁵⁵												
Kusy et al. 1991 ⁵⁶		x	x		x	x			x			
Prososki et al. 1991 ⁵⁷					x			x				
Tanne et al. 1991 ⁵⁸						x	x	x				
Omana et al. 1992 ²⁹	x			x	x	x		x				
Keith et al. 1994 ⁶⁰		x				x	x					
Ogata 1991 ⁴¹	x		x	x			x			x		
Saunders and Kusy 1994 ⁶¹		x			x	x			x			
Shivapuja and Berger 1994 ⁴⁰	x	x		x		x						
Tanne et al. 1994 ⁶²						x	x		x			
Tselepis et al. 1994 ⁶³		x			x	x						
Vaughan et al. 1995 ⁴²			x		x		x					

ที่มา: Nanda และ Ghosh (1997)

1. ปัจจัยทางกายภาพ

1.1. ลวดโค้งเส้นหลัก

1.1.1. วัสดุที่ใช้ทำลวด

เมื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดจากลวดชนิดต่าง ๆ จากผลการศึกษาล่าสุด พบว่า ลวดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อใช้กับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม คือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ส่วนลวดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุดคือ ลวดเบตาไทเทเนียม (Garner, Allai และ Moore, 1986; Kusy และคณะ 1988; Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989; Tidy, 1989; Angolkar และคณะ, 1990; Kapila และคณะ, 1990; Pratten และคณะ, 1990; Ireland, Sherriff และ McDonald, 1991; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Omana และคณะ, 1992; Vaghan และคณะ, 1995; Michelberger และคณะ, 2000) อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาของ Prosoki และคณะ (1991) พบว่าลวดโคบอลต์โครเมียมทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม

ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดนิกเกิลไทเทเนียมนั้นจะขึ้นอยู่กับมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกต เมื่อไม่มีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกต ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม แต่เมื่อมีมุมกระทำต่อกันระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตกลับพบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ทั้งนี้เนื่องจากการที่ลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีความแข็งตึง (stiffness) ต่ำ เมื่อมีมุมกระทำเกิดขึ้นจนทำให้มีการสัมผัสกันระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกต จะก่อให้เกิดแรงกดลงบนลวด ลวดนิกเกิลไทเทเนียมซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงจึงเกิดการโค้งงอ ทำให้มุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตลดลง จึงสามารถดึงลวดผ่านร่องแบร์ริกเกตไปได้ง่ายขึ้น (Frank และ Nikolai, 1980; Peterson, Spencer และ Andreasen, 1982)

Dickson, Jones และ Davies (1994) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแรงเสียดทานในลวดอ่อนที่ใช้ในช่วงของการปรับระดับพื้น เพื่อใช้ปรับระดับแบร์ริกเกต พบว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเกลียว (coaxial stainless steel wire) ขนาด 0.0155 นิ้วทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุด รองลงมาคือ ลวดเส้นใยแก้ว (fiber optic glass, Optiflex) ลวดนิกเกิลไทเทเนียม

(Titanal) และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเคลือบอีพอกซี (Epoxy-coated steel wire) และได้สรุปผลการศึกษาว่าชนิดของลวดมีผลต่อค่าแรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.1.2. ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด

ผลจากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขนาดของลวดจะส่งผลทำให้แรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเพิ่มขึ้นด้วย (Andreasen และ Quevedo, 1970; Echols, 1975; Riley, Garrett และ Simpson, 1979; Frank และ Nikolai, 1980; Peterson, Spencer และ Andreasen, 1982; Garner, Allai และ Moore, 1986; Kapila และคณะ, 1990; Berger, 1990; Angolkar และคณะ, 1990; Bednar, Gruendeman และ Sandrik, 1991; Ireland, Sherriff และ McDonald, 1991; Tanne และคณะ, 1991; Willems และคณะ, 2001)

แต่อย่างไรก็ตาม Vaughan และคณะ (1995) พบว่าเมื่อทดลองใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมขนาด 0.017×0.025 นิ้ว² กับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดซินเทอร์ (sintered stainless steel) ที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.018×0.025 นิ้ว² และลวดนิกเกิลไทเทเนียมขนาด 0.019×0.025 นิ้ว² กับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดซินเทอร์ที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.022×0.028 นิ้ว² จะได้ค่าแรงเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลวดกลมและลวดเหลี่ยมที่มีขนาดเล็กกว่า ในขณะที่ Kapila และคณะ (1990) กลับพบว่าเมื่อทดลองใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมขนาด 0.019×0.025 นิ้ว² กับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.022×0.028 นิ้ว² จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากที่สุด สาเหตุที่การศึกษาทั้งสองได้ผลแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากการใช้แบร์ริกเกตต่างชนิดกัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดของลวดที่ไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงเสียดทานนั้นพบเฉพาะผลของการศึกษาในลวดนิกเกิลไทเทเนียมเท่านั้น

การศึกษาลูกส่วนใหญ่พบว่าลวดที่มีรูปร่างหน้าตัดเหลี่ยมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดที่มีหน้าตัดกลม (Garner, Allai และ Moore, 1986; Angolkar และคณะ, 1990; Kapila และคณะ, 1990; Vaughan และคณะ, 1995) แต่จากการศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) พบว่าเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกต ลวดกลมขนาด 0.020 นิ้วกลับทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดเหลี่ยมขนาด 0.017×0.025 นิ้ว² โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตเกิดขึ้น ลวดเหลี่ยมจะมีพื้นที่สัมผัสกับแบร์ริกเกตมากกว่าลวดกลม ทำให้มีการกระจายของแรงกดระหว่างแบร์ริกเกตและลวดบนพื้นที่สัมผัสที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนในลวดกลมที่มีพื้นที่สัมผัสแบร์ริกเกตน้อยกว่าลวดเหลี่ยมจะมีแรงกดที่เกิดขึ้นระหว่างแบร์ริกเกตและลวดรวมอยู่ในพื้นที่

สัมผัสเล็ก ๆ ทำให้ขอบของแบร็กเกตสามารถฝังลงไปในเรื่องของลวดกลมได้ง่ายกว่า จึงทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่า

1.1.3. ลักษณะพื้นผิวของลวด

เมื่อเปรียบเทียบความหยาบของพื้นผิวลวดชนิดต่าง ๆ จะได้ผลเรียงลำดับจากลวดที่มีผิวเรียบที่สุดไปยังลวดที่มีผิวหยาบที่สุดดังนี้ คือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดเบตาไทเทเนียม และลวดนิกเกิลไทเทเนียม (Kusy และคณะ, 1988) อย่างไรก็ตามความหยาบของพื้นผิวของลวดไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดค่าแรงเสียดทานได้ในลวดทุกชนิด ถึงแม้ว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมซึ่งมีพื้นผิวเรียบที่สุดจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุด แต่ผลการศึกษาในลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียมกลับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบของพื้นผิวกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน โดยลวดนิกเกิลไทเทเนียมซึ่งมีพื้นผิวที่หยาบที่สุดกลับก่อให้เกิดค่าแรงเสียดทานที่น้อยกว่าลวดเบตาไทเทเนียม เนื่องจากในสภาวะแห้งลวดเบตาไทเทเนียมจะเกิดจุดเชื่อมต่อนานเล็ก (microweld) กับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม จึงทำให้มีแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Kusy และ Whitley, 1990; Kusy, Whitley และ de Araujo Gurgel, 2004)

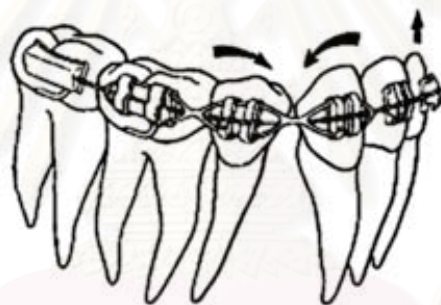
1.1.4. ค่าความแข็งดึง

การศึกษาของ Articulo และ Kusy (1999) พบว่าเมื่อมีมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมากกว่ามุมวิกฤตจนทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างแบร็กเกตและลวด ลวดที่มีแข็งดึงสูง เช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดที่มีค่าความแข็งดึงต่ำกว่า เช่น ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thorstenson และ Kusy (2002) ที่ได้ทำการศึกษาในแบร็กเกตชนิดมัดด้วยตัวเองเพื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในลวดขนาดต่าง ๆ เมื่อมีมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมากกว่ามุมวิกฤต พบว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่มีค่าความแข็งดึงมากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุดเช่นกัน ส่วนลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะให้ค่าแรงเสียดทานที่ต่ำกว่า

ส่วนการศึกษาของ Nishio และคณะ (2004) พบว่า เมื่อมีมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมากกว่ามุมวิกฤต ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะมีค่าแรงเสียดทานต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) เนื่องจากในลวดที่มีความแข็งดึงต่ำ เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและ

ร่องแบร็กเกตเกิดขึ้น จะทำให้เกิดแรงกดลงบนลวด ลวดจะมีการโค้งงอ มุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร็กเกตจึงลดลง และทำให้สามารถดึงลวดผ่านร่องแบร็กเกตไปได้ง่ายขึ้น

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ลวดโค้งเส้นหลักในระยะของการดึงฟันเขี้ยวควรจะต้องเลือกใช้ลวดที่มีความแข็งตึงมากเพียงพอ เนื่องจากช่องว่างที่เกิดจากการถอนฟันกรามน้อยจะทำให้มีช่องห่างระหว่างแบร็กเกตของฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยซี่ที่สองซึ่งเป็นส่วนที่ลวดโค้งเส้นหลักไม่มีส่วนพยุงเป็นระยะยาว จึงทำให้ความแข็งตึงของลวดลดลง ดังนั้นแรงจากการดึงฟันเขี้ยวอาจส่งผลทำให้ลวดบิดงอได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงเสียดทาน และเกิดการยึดติดระหว่างแบร็กเกตและลวดได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ฟันเขี้ยวล้มไปทางด้านในไกลกลาง และฟันตัดเคลื่อนตัวมาทางด้านบดเคี้ยว (extrusion) (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 การดึงฟันเขี้ยวที่ทำให้ลวดบิดงอ ส่งผลให้ฟันเขี้ยวล้มไปทางด้านในไกลกลาง และทำให้ฟันตัดเคลื่อนตัวขึ้นมาจากด้านบดเคี้ยว

1.2. แบร็กเกต

1.2.1. วัสดุที่ใช้ทำแบร็กเกต

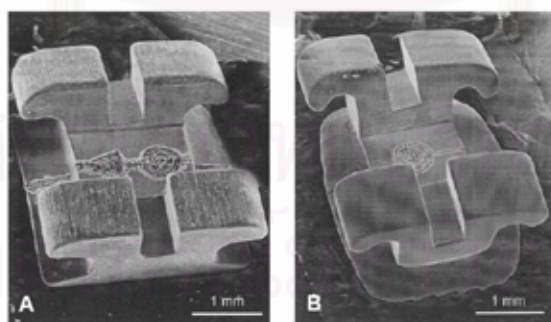
การศึกษาส่วนมากพบว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าแบร็กเกตเซรามิกและพลาสติก (Riley, Garrett และ Simpson, 1979; Kusy และ Whitley, 1990; Pretten และคณะ, 1990; Kusy, 1991; Tanne และคณะ, 1991)

Bazakidou และคณะ (1997) ศึกษาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างลวด 3 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเบตาไททาเนียม กับแบร็กเกต 3 ชนิด ได้แก่ แบร็กเกตคอมโพสิต แบร็กเกตเซรามิก และ แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม พบว่าขนาด

ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแบร็กเกตคอมโพสิตชนิดไม่มีร่องโลหะกับลวดชนิดต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุด ส่วนการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเซรามิกและแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่มีขนาดร่องแบร็กเกต 0.022×0.028 นิ้ว² พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Downing, McCabe และ Gordon (1994) ที่พบว่าแบร็กเกตเซรามิกชนิดพอลีคริสตัลไลน์ทำให้เกิดแรงเสียดทานเท่า ๆ กับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ยกเว้นในกรณีที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมกับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะให้ค่าแรงเสียดทานมากกว่าแบร็กเกตเซรามิก

Nishio และคณะ (2004) พบว่าแบร็กเกตเซรามิกที่มีร่องโลหะจะให้ค่าแรงเสียดทานน้อยกว่าแบร็กเกตเซรามิกที่ไม่มีร่องโลหะ เนื่องจากร่องแบร็กเกตที่เป็นโลหะจะป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างลวดและเซรามิก

ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและแบร็กเกตไทเทเนียม Michelberger และคณะ (2000) พบว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าแบร็กเกตไทเทเนียม แต่จากการศึกษาของ Kusy และ O'Grady (2000) พบว่าเมื่อไม่มีมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวด แรงเสียดทานที่เกิดจากแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและแบร็กเกตไทเทเนียมนั้นจะไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าแบร็กเกตไทเทเนียมจะมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมก็ตาม (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของแบร็กเกตไทเทเนียม (ซ้าย) ซึ่งมีความขรุขระของพื้นผิวมากกว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (ขวา)

1.2.2. ขนาดของร่องแบร็กเกต

ผลการศึกษาของ Tidy (1989) พบว่า ขนาดของร่องแบร็กเกตไม่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Andreasen และ Quevedo (1970) และการศึกษาของ Peterson, Spencer และ Andreasen (1982)

ในขณะที่การศึกษาของ Kusy (2000) กลับพบว่า เมื่อขนาดร่องแบร็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 0.018×0.025 นิ้ว² เป็น 0.022×0.028 นิ้ว² แรงเสียดทานจะลดลง เนื่องจากการเกิดการยึดติดระหว่างแบร็กเกตและลวดลดลง แต่จะทำให้ควบคุมตำแหน่งฟันได้ยากมากขึ้น

1.2.3. กระบวนการผลิต

แบร็กเกตที่มีกระบวนการผลิตแตกต่างกันย่อมทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดแรงเสียดทานที่แตกต่างกัน

แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดซินเทอร์ผลิตโดยการบีบอัดอนุภาค เล็ก ๆ ของโลหะด้วยแบบพิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดันสูง และหลอมเชื่อมอนุภาคนั้นไว้ด้วยกัน ทำให้แบร็กเกตที่ได้มีรูปร่างตามแบบพิมพ์ มีผิวเรียบ และมีมุมโค้งมน ส่วนแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดหล่อแบบ (conventional cast stainless steel bracket) จะมีกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมโดยการตัดและกลึงก้อนโลหะให้ได้รูปร่างตามต้องการ ทำให้พื้นผิวของแบร็กเกตที่ได้มีความหยาบ และมีมุมที่แหลมคม จากการศึกษาของ Vaughan และคณะ (1995) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดซินเทอร์ และแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดหล่อแบบ พบว่าขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดซินเทอร์มีค่าน้อยกว่าแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดหล่อแบบ

แบร็กเกตเซรามิกชนิดมอโนคริสตัลไลน์เป็นแบร็กเกตที่มีผลึกขนาดใหญ่ขนาดเดียวผลิตโดยการหลอมผงอลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) ที่มีความบริสุทธิ์มากเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ จะได้เซรามิกในรูปแท่งหรือก้อน จากนั้นนำมากลึงให้เป็นรูปร่างแบร็กเกตด้วยเครื่องตัดกากเพชร (diamond cutting) เลเซอร์ (Nd:YAG laser) หรือเครื่องอัลตราโซนิก แล้วจึงเผาอีกครั้งเพื่อกำจัดเศษต่าง ๆ บนผิวเซรามิกและลดความเครียดจากการตัด ส่วนแบร็กเกตเซรามิกชนิดพอลีคริสตัลไลน์จะมีผลึกแก้วขนาดเล็กหลายขนาดรวมกัน ผลิตโดยการรวมผง

อุณหภูมิเนยหมอกไซต์ด้วยแบบพิมพ์ที่เป็นรูปแบร์กเกตที่ต้องการ จากนั้นจึงนำไปเผาด้วยความร้อนสูงเพื่อเชื่อมผงเข้าด้วยกัน แล้วจึงนำมาตัดให้ได้ร่องแบร์กเกตในขนาดที่ต้องการด้วยเครื่องตัดเพชร จากนั้นจึงเผาอีกครั้งเช่นเดียวกันกับแบร์กเกตเซรามิกชนิดมอนอคริสตัลไลน์ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดมอนอคริสตัลไลน์มีพื้นผิวที่เรียกว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดพอลีคริสตัลไลน์

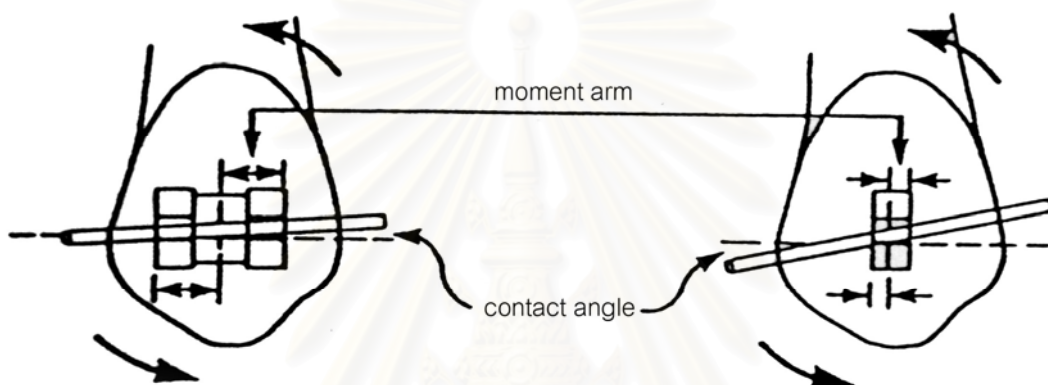
Articolo และ Kusy (1999) พบว่า เมื่อไม่มีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์กเกตแบร์กเกตเซรามิกชนิดพอลีคริสตัลไลน์ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดมอนอคริสตัลไลน์ แต่เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์กเกตพบว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดมอนอคริสตัลไลน์กลับให้ค่าแรงเสียดทานที่มากกว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดพอลีคริสตัลไลน์

Omana และคณะ (1992) พบว่าแบร์กเกตเซรามิกที่ผลิตด้วยวิธีการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (injection molding) จะให้ค่าแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร์กเกตเซรามิกชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการตัด เนื่องจากการฉีดเข้าแม่พิมพ์จะทำให้พื้นผิวของแบร์กเกตเซรามิกมีลักษณะเรียบและมีขอบโค้งมน ในขณะที่แบร์กเกตที่ผลิตด้วยวิธีการตัดจะทำให้พื้นผิวของแบร์กเกตที่ได้มีความหยาบมากกว่า ซึ่งจะทำให้ลวดเป็นรอยและเพิ่มแรงเสียดทาน

1.2.4. การออกแบบลักษณะของแบร์กเกต

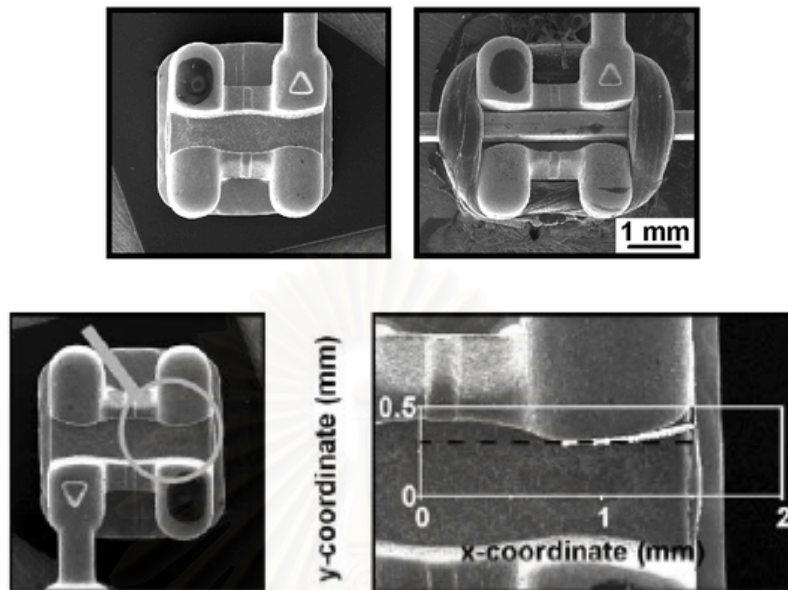
การศึกษาลักษณะใหญ่พบว่าความกว้างของแบร์กเกตมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน โดยแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อแบร์กเกตกว้างขึ้นและจะลดลงเมื่อแบร์กเกตแคบลง (Frank และ Nikolai, 1980; Dreshcher, Bouranuel และ Schumacher, 1989; Tidy, 1989; Kapila, 1990; Bednar, 1991; Omana, 1992) การที่แบร์กเกตมีความกว้างจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากอาจเนื่องมาจากการที่มุมวิกฤต (critical angle) จะแคบลงเมื่อแบร์กเกตมีความกว้างมากขึ้น ซึ่งมุมวิกฤตคือมุมแรกที่ลวดทำมุมกับร่องแบร์กเกตเมื่อเริ่มเกิดการสัมผัสกันระหว่างแบร์กเกตและลวด เมื่อมุมวิกฤตมีค่าน้อยลงในแบร์กเกตที่กว้าง จึงทำให้เกิดการแตะกันระหว่างแบร์กเกตและลวดได้เร็วกว่าในแบร์กเกตที่แคบ ทำให้แรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9 (Kang และคณะ, 2003) แต่การใช้แบร์กเกตที่แคบจะทำให้พื้นผิวการลื่นไถลได้มากกว่า ทำให้ยากต่อการเคลื่อนพื้นแบบบอดีลี และยังทำให้เกิดการบิดหมุนของพื้นได้มากกว่า อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้แบร์กเกตที่กว้างเกิดแรงเสียดทานได้มากกว่าแบร์กเกตที่แคบ คือเมื่อมีการมัดแบร์กเกตด้วยวงอีลาสโทเมอร์ที่มีขนาดเท่ากัน ในแบร์กเกตที่กว้างวงอีลาสโทเมอร์จะต้องถูกยืดออกมากกว่าเพื่อให้สามารถมัดลวดไว้ได้ ดังนั้นแรงที่วงอีลาสโทเมอร์กดลงบนลวด

เพื่อให้ลวดแนบอยู่ในร่องแบร็กเกตจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขึ้น (Kapila และคณะ, 1990; Ogata และคณะ, 1996) นอกจากนี้แบร็กเกตที่กว้างยังส่งผลทำให้ระยะห่างระหว่างแบร็กเกตลดลงซึ่งจะส่งผลทำให้ลวดมีค่าความแข็งดึงเพิ่มขึ้น ทำให้แรงเสียดทานมีค่ามากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้แบร็กเกตแบบเดี่ยว (single bracket) หรือแบบแฝด (twin bracket) จึงมีผลต่อแรงเสียดทานดังที่กล่าวมาแล้ว

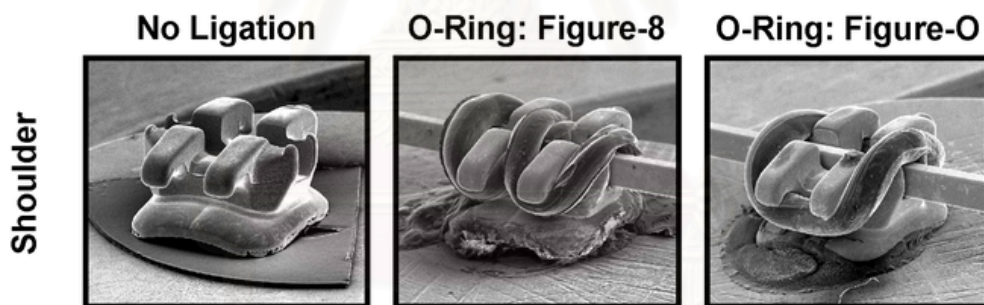


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นในแบร็กเกตที่กว้าง (ซ้าย) และในแบร็กเกตที่แคบ (ขวา)

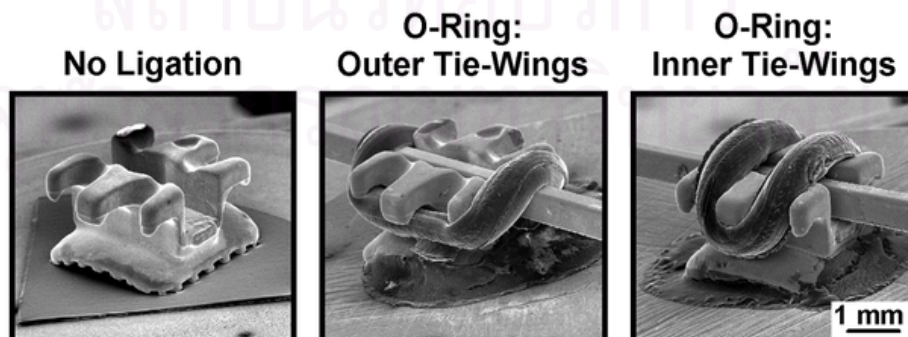
แบร็กเกตในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ โดยได้ถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ บางรูปแบบได้ออกแบบมาเพื่อลดแรงเสียดทานโดยเฉพาะ เช่น แบร็กเกตเวอร์ซาที (VersaT) และแบร็กเกตซินเนอร์จี (Synergy) ของบริษัทโรคกี้เมาเทน (Rocky Mountain) และแบร็กเกตโชเดอร์ (Shoulder) ของบริษัทจีเอซี (GAC) เป็นต้น แบร็กเกตแบบเวอร์ซาทีจะมีการออกแบบให้ผนังร่องแบร็กเกตเป็นมุมที่โค้งมนและมีพื้นของร่องแบร็กเกตที่นูนเพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับลวด ดังรูปที่ 10 แบร็กเกตโชเดอร์จะมีปุ่มค้ำเล็ก ๆ ที่ด้านนอกของปีกแบร็กเกต (wing) เพื่อยกลวดหรือวงอีลาสโตเมอร์ที่ใช้มัดให้ห่างออกจากลวดโค้งเส้นหลัก เป็นการลดแรงที่กดลงบนลวด ดังรูปที่ 11 ส่วนแบร็กเกตแบบซินเนอร์จีจะมีปีก 3 คู่ เมื่อต้องการลดแรงเสียดทานจะมัดลวดหรือวงอีลาสโตเมอร์ที่ปีกอันกลาง ดังรูปที่ 12 ดังนั้นจึงคล้ายกับแบร็กเกตโชเดอร์ที่มีปุ่มค้ำเพื่อยกลวดหรือวงอีลาสโตเมอร์ที่มัดเอาไว้ นอกจากนี้แบร็กเกตแบบซินเนอร์จียังเหมือนกับแบร็กเกตแบบเวอร์ซาทีตรงที่มีผนังร่องแบร็กเกตที่โค้งมนและมีพื้นของร่องแบร็กเกตที่มีความนูน ดังรูปที่ 13



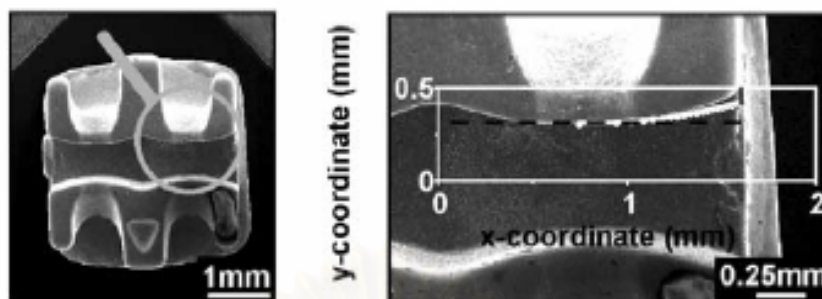
รูปที่ 10 แบริกเกตเวอร์ซาทิของบริษัทร็อกกีเมาเทน ซึ่งมีผนังร่องแบริกเกตเป็นมุมที่โค้งมนและมีพื้นของร่องแบริกเกตที่นูนเพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับลวด



รูปที่ 11 แบริกเกตโชเดอรัของบริษัทจีไอซี



รูปที่ 12 รูปแบบการมัดแบริกเกตซินเนอร์จีด้วยวงอีลาสโตเมอร์แบบปกติ (กลาง) และเมื่อต้องการลดแรงเสียดทาน สามารถมัดลวดหรือวงอีลาสโตเมอร์ที่ปักอันกลาง เพื่อยกลวดหรือวงอีลาสโตเมอร์ที่มัดเอาไว้ไม่ให้สัมผัสกับลวด (ขวา)



รูปที่ 13 แบริกเกตซินเนอริจของบริษัทรอกกีเมาเทน ซึ่งมีผนังร่องแบริกเกตเป็นมุมที่โค้งมน และมีพื้นของร่องแบริกเกตที่นูนเพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับลวด

ปัจจุบันได้มีการผลิตแบริกเกตแบบมัดด้วยตัวเอง (self-ligating bracket) ออกมาหลายชนิด โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อลดเวลาทำงานที่ทันตแพทย์ใช้ในการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบริกเกต แบริกเกตแบบมัดด้วยตัวเองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามวิธีการยึดลวดไว้ในร่องแบริกเกต นั่นคือ แบบคลิปหนีบ (active clip) เช่น แบริกเกตสมาร์ทคลิป (Smart Clip) ของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค (3M Unitek) (รูปที่ 14) และแบบแผ่นเลื่อน (passive slide) เช่น แบริกเกตดามอน 3 (Damon 3) ของบริษัทฮอร์มโคคอร์ปอเรชัน (รูปที่ 15)



รูปที่ 14 แบริกเกตสมาร์ทคลิปของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค



รูปที่ 15 แบริกเกตดามอน 3 ของบริษัทฮอร์มโคคอร์ปอเรชัน

แต่จุดเด่นอีกประการหนึ่งสำหรับแบริกเกตเหล่านี้ที่บริษัทผู้ผลิตมักจะอ้างถึงคือ การใช้แบริกเกตแบบมัดด้วยตัวเองจะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบริกเกตและลวดต่ำกว่าแบริกเกตที่

ใช้โดยทั่วไป จากการศึกษาของ Thorstenson และ Kusy (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบแผ่นเลื่อนกับแบร็กเกตปกติ พบว่าแบร็กเกตแบบแผ่นเลื่อนทำให้เกิดแรงเสียดทานต่ำกว่าแบร็กเกตแบบปกติทั้งในขณะที่มีและไม่มีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร็กเกต เนื่องจากเป็นการลดแรงที่เกิดจากการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้าไปในร่องของแบร็กเกต ต่อมาในปีถัดมา Thorstenson และ Kusy (2002) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบแผ่นเลื่อนกับแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบคลิปหนีบ พบว่าแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบแผ่นเลื่อนให้ค่าแรงเสียดทานต่ำกว่าแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบคลิปหนีบ เนื่องจากแบร็กเกตแบบมัดด้วยตัวเองแบบแผ่นเลื่อนจะไม่มีแรงกดให้ลวดแนบอยู่ในร่องแบร็กเกต แต่อาจทำให้สูญเสียการควบคุมฟันได้มากกว่า

แบร็กเกตพรีแอดจัสต์ (preadjusted brackets) ที่มีการปรับมุมต่าง ๆ มาให้ ทั้งมุมทึปและมุมทอริก เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการออกแบบเพื่อลดความจำเป็นในการตัดลวด แต่การที่มีการปรับมุมต่าง ๆ มาให้ในแบร็กเกตนั้นส่งผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสกันของลวดและผนังของร่องแบร็กเกตในหลายทิศทาง ดังนั้นจึงทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น Sims, Waters และ Birnie (1994) ได้ศึกษาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันโดยใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 0.018×0.025 นิ้ว² และ แบร็กเกตขนาด 0.022×0.028 นิ้ว² ที่มีการปรับมุมต่าง ๆ 3 ชนิด พบว่าเมื่อแบร็กเกตมีการปรับมุมทึป และมุมทอริกเพิ่มมากขึ้น แรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่จะเพิ่มมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการเพิ่มมุมทอริกจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดน้อยกว่าการเพิ่มมุมทึป

1.3. การมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร็กเกต

1.3.1. ชนิดของวัสดุที่ใช้มัด

วัสดุที่ใช้ในการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร็กเกตมีอยู่หลายชนิด แต่ปัจจุบันที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ วงอีลาสโทเมอร์ และลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (ligature wire)

วงอีลาสโทเมอร์ผลิตมาจากยางโพลีเอทรีเทน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการคลายความเค้น (stress relaxation) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในช่องปาก ซึ่งจะเกิดการคลายความเค้นอย่างรวดเร็ว ใน 2 ชั่วโมงแรก ทำให้แรงลดลงเกือบครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับแรงตั้งต้น (Ash และ Nikolai, 1978)

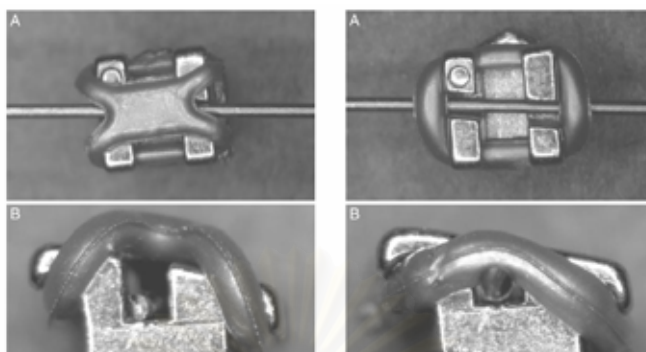
ในขณะที่ลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการมัดว่ามัดแน่นหรือหลวมเพียงใด ซึ่งขึ้นกับวิธีการมัดและความต้องการของทันตแพทย์ผู้ทำการรักษา

การศึกษาส่วนมากพบว่า การใช้วงอีลาสโตเมอร์ในการมัดจะทำให้เกิดแรงเสียดทานได้มากกว่าการใช้ลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (Rock และ Wilson, 1989; Berger, 1990; Bednar และคณะ 1991; Voudouris, 1997) แต่จากการศึกษาของ Edward, Davies และ Jones (1995) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแรงเสียดทานที่เกิดจากการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์และการมัดด้วยลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่การศึกษานี้ได้ปล่อยให้เกิดการคลายความเค้นของยางก่อนโดยนำวงอีลาสโตเมอร์ไปแช่ในน้ำลายที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดลอง

Khambay, Millet และ McHugh (2005) พบว่าวงอีลาสโตเมอร์ที่ผลิตจากต่างบริษัทจะให้แรงในการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับร่องแบร์ริกเกตไม่เท่ากัน และถึงแม้ว่าจะเป็นวงอีลาสโตเมอร์ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกัน ถ้าหากมีสีที่แตกต่างกันก็อาจให้แรงมัดที่ไม่เท่ากันได้เช่นกัน

Baccetti และ Franchi (2006) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างวงอีลาสโตเมอร์ที่นิยมใช้โดยทั่วไปกับวงอีลาสโตเมอร์ชนิดนอนคอนเวนชันนอล (nonconventional elastomeric ring) ที่มีรูปร่างคล้ายเลข 8 พบว่าวงอีลาสโตเมอร์ชนิดนอนคอนเวนชันนอลจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่น้อยกว่า เนื่องจากขณะมัด วงอีลาสโตเมอร์ชนิดนี้จะปิดทับร่องแบร์ริกเกตทำให้เกิดลักษณะเป็นท่อ (tube-like) โดยไม่ได้กดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับร่องแบร์ริกเกตเหมือนกับวงอีลาสโตเมอร์รูปตัวโอ (รูปที่ 16)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

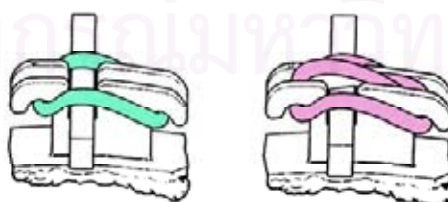


รูปที่ 16 ลักษณะของการมัดลวดเข้าในร่องแบร็กเกตของวงอีลาสโตเมอร์ชนิดนอนคอนเวกชันนอลเปรียบเทียบกับการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์ที่นิยมใช้โดยทั่วไป แสดงให้เห็นว่าวงอีลาสโตเมอร์ชนิดนอนคอนเวกชันนอลจะไม่ให้แรงกดลงบนลวดโค้งเส้นหลักเหมือนกับวงอีลาสโตเมอร์ แต่จะทำให้เกิดลักษณะที่เป็นท่อ ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่น้อยกว่า

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการมัดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับร่องแบร็กเกตด้วยลวดที่เคลือบด้วยเทฟลอน (Teflon-coated ligature) จะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์และลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (De Franco, Spiller และ von Fraunhofer, 1994; Edward, Davies และ Jones, 1995)

1.3.2. วิธีในการมัด

วิธีการมัดลวดโค้งเส้นหลักจะมีผลต่อแรงที่กดลวดลงในร่องแบร็กเกต ดังนั้นวิธีมัดที่ทำให้เกิดแรงกดมาก จะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดมากเช่นกัน จากการศึกษาของ Edward, Davies และ Jones (1995) พบว่าการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์โดยการพันเป็นรูปเลข 8 (figure-8) จะทำให้เกิดค่าแรงเสียดทานมากกว่าการมัดแบบปกติ (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 การมัดวงอีลาสโตเมอร์แบบปกติ (ซ้าย)
เปรียบเทียบกับมัดแบบพันเป็นรูปเลข 8 (ขวา)

ในขณะที่ลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมนั้นทันตแพทย์ผู้ทำการรักษาสามารถกำหนดแรงที่จะกดลวดโค้งเส้นหลักเข้ากับแบร็กเกตว่าต้องการมัดแน่นหรือหลวมเพียงใด ซึ่งการมัดแน่นจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมาก และในทางกลับกัน หากมัดให้หลวมก็จะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อย

แบร็กเกตบางชนิดได้ออกแบบให้สามารถมัดวงอีลาสโตเมอร์ได้หลายวิธี เช่น แบร็กเกตซินเนอจีซึ่งมีปีก 6 ปีก สามารถเลือกมัดวงอีลาสโตเมอร์ที่ปีกข้างหรือปีกกลางได้ โดยจะมัดปีกกลางในขณะที่ทำการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกลเพราะจะให้ค่าแรงเสียดทานที่น้อยลง ส่วนปีกข้างจะใช้มัดในกรณีที่ต้องการแก้ไขการหมุนของฟัน เนื่องจากจะทำให้สามารถควบคุมฟันได้ดีกว่า (รูปที่ 18)



รูปที่ 18 แสดงการมัดแบร็กเกตซินเนอจีในรูปแบบต่าง ๆ

1.4. ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน

1.4.1. ระยะห่างระหว่างแบร็กเกต

ระยะห่างระหว่างแบร็กเกตมีผลต่อความแข็งตึงของลวด กล่าวคือเมื่อมีระยะห่างระหว่างแบร็กเกตมาก ลวดบริเวณนั้นจะมีค่าความแข็งตึงน้อย และมีความยืดหยุ่น (flexibility) มาก ทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการยึดติด ในทางกลับกัน เมื่อมีระยะห่างระหว่างแบร็กเกตน้อย ลวดในบริเวณนั้นจะมีค่าความแข็งตึงมากในขณะที่มีความยืดหยุ่นน้อย (Moore และ Waters, 1993; Nanda และ Ghosh, 1997)

1.4.2. ระดับของร่องแบร็กเกตเมื่อเปรียบเทียบกับร่องแบร็กเกตของฟันข้างเคียง

เมื่อร่องแบร็กเกตในฟันแต่ละซี่มีระดับต่างกันจะเป็นเหตุให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างลวดและผนังของร่องแบร็กเกต ถ้าวร่องแบร็กเกตในฟันแต่ละซี่มีระดับต่างกันมากจะเป็นการเพิ่มขนาดของแรงที่กดลงบนลวด ทำให้แรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดเพิ่มมากขึ้น

Ogata และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาค่าแรงเสียดทานจลน์ระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความต่างของร่องแบร์ริกเกต 0.00, 0.25, 0.50 และ 0.75 มม. พบว่าค่าแรงเสียดทานจลน์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีความต่างระดับของแบร์ริกเกตเพิ่มขึ้น

1.4.3. มุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตทั้งในออร์เคอริที่สองและสาม

การศึกษาของ Tselepis, Brockhurst และ West (1994) ได้วัดค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดชนิดต่าง ๆ เมื่อมีค่ามุมระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกต 0° และ 10° ซึ่งพบว่าขนาดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในแบร์ริกเกตและลวดเกือบทุกคู่เมื่อมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตเพิ่มขึ้นทั้งในสภาวะแห้งและสภาวะเปียกเมื่อใช้น้ำลายเทียม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Articolo และ Kusy (1999) ที่ทำการศึกษาที่มุม 0° , 3° , 7° , 11° และ 13° โดยพบว่าต้องใช้แรงในการเคลื่อนฟันเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าเมื่อมีมุมกระทำเพิ่มขึ้น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะเกิดการต้านทานการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล (resistance to sliding) มากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียม เนื่องจากเกิดการยึดติดระหว่างแบร์ริกเกตและลวดได้มากกว่า

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีค่ามุมเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้แรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้นในลวดทุกชนิด เนื่องจากการที่มีมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตทั้งในออร์เคอริที่สองและสามจะทำให้เกิดการสัมผัสกันของลวดและผนังของร่องแบร์ริกเกตในหลายตำแหน่งและหลายทิศทาง ทำให้ค่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น (Andreasen และ Quevedo, 1970; Frank และ Nikolai, 1980; Peterson, Spencer และ Andreasen, 1982; Tidy, 1989; Bednar, Gruendeman และ Sandrik, 1991; Dickson, Jones และ Davies, 1994; Thorstenson และ Kusy, 2002)

1.4.4. แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน ตำแหน่งที่ให้แรง และวิธีที่ใช้เคลื่อนฟัน

การที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันแบบบอดิลีนัน จะต้องให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน (center of resistance) แต่ในทางปฏิบัตินั้นการให้แรงจำเป็นต้องกระทำผ่านแบร์ริกเกตซึ่งติดอยู่บนตัวฟัน แรงกระทำนั้นจึงอยู่เหนือต่อจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน ทำให้ฟันเกิดการล้มเอียง ซึ่งการล้มเอียงของฟันนี้จะทำให้เกิดการสัมผัสกันของแบร์ริกเกตและลวด ส่งผลทำให้แรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเพิ่มขึ้น (Fortin, 1971; Riley, Garrett และ Simpson, 1979;

Yamagushi และคณะ, 1996) ดังนั้นเพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานจึงควรให้แรงในตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันซี่นั้นมากที่สุด ดังนั้นจึงได้มีหลายบริษัทผลิตพาวเวอร์อาร์ม (power arms) เพื่อต่อบนแบร็กเกตของฟันเขี้ยว ทำให้สามารถให้แรงกระทำใกล้ต่อจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันมากขึ้น

ขนาดของแรงที่เหมาะสมในการใช้เคลื่อนฟัน คือ แรงที่มีขนาดเบา แต่สม่ำเสมอ เนื่องจากเมื่อให้แรงมาก ฟันจะมีการล้มเอียงมาก ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างแบร็กเกตและลวด ซึ่งส่งผลทำให้เพิ่มแรงเสียดทาน

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการให้แรง มีหลากหลายกลวิธีในการให้แรงเพื่อให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถล เช่น การใช้ยางดึงระหว่างขากรรไกร (interarch elastic) ยางดึงในขากรรไกร (intraarch elastic) โซ่ยาง (C-chain) หรือขดสปริง (coil spring) เป็นต้น การใช้ยางดึงหรือโซ่ยางจะไม่มีผลทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ ส่วนการใช้ขดสปริงควรเลือกใช้ที่มีช่องวงสปริงใหญ่ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเล็ก เพื่อให้เกิดแรงกระทำต่อฟันต่ำ และทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดต่ำเช่นกัน (Webb, Caputo และ Chaconas, 1978; Chaconas, Caputo และ Harvey, 1984)

2. ปัจจัยทางชีวภาพ

2.1. น้ำลาย

การศึกษาเกี่ยวกับผลของน้ำลายที่มีต่อค่าแรงเสียดทานแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา บางการศึกษาพบว่าน้ำลายมีผลช่วยลดแรงเสียดทานในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (Baker และคณะ, 1987; Tselepis, Brockhurst และ West, 1994) แต่มีหลายการศึกษาเช่นกันที่พบว่าน้ำลายทำให้ค่าแรงเสียดทานในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเพิ่มขึ้น (Stannard, Gau และ Hanna, 1986; Pratten และคณะ, 1990; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Downing , McCabe และ Gordon, 1991)

การศึกษาของ Kusy และคณะ (1991) ได้ศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและแบร็กเกตโพลีคริสตัลไลน์อลูมินา ที่เกิดกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม และลวดเบตาไทเทเนียม ในสภาวะแห้งและในสภาวะเปียกที่ใช้น้ำลายคน

พบว่าในสภาวะแห้งแบร์ริกเกตและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานน้อยที่สุด ส่วนในลวดนิกเกิลไทเทเนียมให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมากกว่าลวดโคบอลต์โครเมียมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม แต่ในสภาวะเปียกพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานในลวดนิกเกิลไทเทเนียมและเบตาไทเทเนียมกลับลดลง โดยเฉพาะในลวดเบตาไทเทเนียมซึ่งลดลงถึงร้อยละ 50 ในขณะที่ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการที่ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานในลวดนิกเกิลไทเทเนียมและเบตาไทเทเนียมลดลงเนื่องจากน้ำลายจะช่วยลดการสึกกร่อนของชั้นไทเทเนียมออกไซด์ ทำให้ลดโอกาสการเกิดปรากฏการณ์ยึดติดและเลื่อนไถล (stick-slip phenomenon) ส่วนในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม น้ำลายจะทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีที่ผิวลวด หรือทำให้แรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในลวดไทเทเนียมของ Kusy, Whitley และ Prewitt (1991) และ Sauders และ Kusy (1994) ที่พบว่าน้ำลายช่วยลดค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับลวดไทเทเนียมได้ถึงร้อยละ 50

ส่วนการศึกษาของ Kusy และ Whitley (2000) ได้ทำการศึกษาแรงเสียดทานในลวดเบตาไทเทเนียมกับแบร์ริกเกตโพลีคริสตัลไลน์อลูมินาในน้ำลายชนิดต่าง ๆ 6 ชนิด ได้ผลว่า ในน้ำลายคน (whole human saliva) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานลดลงเมื่อเทียบกับในสภาวะแห้ง ในขณะที่น้ำลายเทียมชนิดต่าง ๆ ให้ค่าแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้น

2.2. แผ่นคราบจุลินทรีย์และแผ่นฟิล์มน้ำลาย

การศึกษาของ Kusy (2005) พบว่าการที่มีคราบจุลินทรีย์ คราบอาหาร หรือคราบหินปูนเกาะอยู่ระหว่างลวดหรือแบร์ริกเกตทำให้ผิวลวดหรือแบร์ริกเกตมีความหยาบมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดได้

2.3. การกัดกร่อนของลวดหรือแบร์ริกเกต

Riley, Garrett และ Moon (1979) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดลวด วัสดุที่ใช้ทำแบร์ริกเกต ชนิดของการมัด และเวลาในการมัดที่มีผลต่อขนาดของแรงเสียดทาน พบว่าการแช่ลวดโค้งเส้นหลักในน้ำกลั่นจะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านมา เนื่องจากมีการกัดกร่อนของลวดเกิดขึ้น

ฟลูออไรด์

ฟลูออไรด์เป็นแร่ธาตุที่นิยมใช้ในการป้องกันฟันผุมานานกว่า 50 ปี ทั้งในรูปแบบใช้เฉพาะที่ (topical fluoride) และแบบรับประทานเพื่อหวังให้เกิดผลทั่วร่างกาย (systemic effect) เนื่องจากฟลูออไรด์มีคุณสมบัติหลายอย่างที่ส่งเสริมการป้องกันฟันผุ เช่น สามารถลดการละลายตัวของเคลือบฟัน ปรับปรุงรูปแบบการสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ ส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุเข้าสู่ผิวเคลือบฟัน (Fejerskov, Ekstrand และ Burt, 1996) อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์ (Loesche, Murray และ Mellberg, 1973; Loesche, Murray และ Mellberg, 1975) รวมทั้งยับยั้งการสร้างกรดและโพลีแซคคาไรด์ของเชื้อแบคทีเรียได้อีกด้วย (Weiss และคณะ, 1965) ทำให้ในปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบออกมาจำหน่ายในหลากหลายรูปแบบ เช่น ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ สารละลายฟลูออไรด์ ฟลูออไรด์เคลือบผิว ผงขัดผสมฟลูออไรด์ และยาเม็ดฟลูออไรด์ เป็นต้น

บทบาทของฟลูออไรด์ในงานทันตกรรมจัดฟัน

การสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันเป็นปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นในขณะที่ยู่ป่วยใส่เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น จากการศึกษาของ Gorelick, Geiger และ Gwinnett (1982) พบว่าผู้ป่วยซึ่งใส่เครื่องมือทันตกรรมแบบติดแน่นจะมีโอกาสเกิดรอยโรคต่างขาได้มากกว่าผู้ป่วยที่ไม่ได้ใส่เครื่องมืออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบริเวณผิวเคลือบฟันที่พบได้บ่อยว่ามีการสูญเสียแร่ธาตุ ได้แก่ บริเวณโดยรอบแบร็กเกต คอฟันทางด้านกระพุ้งแก้ม ด้านประชิดฟัน หรือใต้ปลอกรัดฟัน ซึ่งอาจเป็นเพียงรอยโรคต่างขา รอยด่างน้ำตาล หรืออาจลุกลามจนกลายเป็นรูผุได้

สาเหตุที่ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกจากผิวเคลือบฟันได้ง่าย เนื่องจากเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเป็นแหล่งสะสมของคราบจุลินทรีย์และเศษอาหารได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการทำความสะอาดฟันก็ทำได้ยากมากขึ้น เนื่องจากเครื่องมือจะกีดขวางขนแปรง ทำให้การแปรงฟันต้องใช้เวลา ใช้ความตั้งใจและความพยายามมากขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นยังทำให้สภาวะช่องปากสูญเสียความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตัวเอง เนื่องจากสภาพความโค้งงอ (contour) ของตัวฟันเปลี่ยนแปลงไป

จากการที่เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเป็นแหล่งสะสมของคราบจุลินทรีย์และเศษอาหาร ทำให้มีการสะสมของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดฟันผุ ทำให้ในช่องปากมีค่าพีเอช

ลดต่ำลง เมื่อค่าพีเอชลดลงน้อยกว่าระดับวิกฤตหรือ 5.5 จะทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุออกจากผิวเคลือบฟัน ผิวเคลือบฟันจึงเกิดรอยต่างหรือเกิดการผุขึ้น

นอกจากนี้การผสมซีเมนต์สำหรับยึดปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ถูกต้องตามกรรมวิธี การผสมที่มีอัตราส่วนผงและน้ำไม่ถูกต้อง หรือการควบคุมความชื้นไม่สมบรูณ์ขณะใส่ปลอกโลหะรัดฟัน ต่างก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการละลายของซีเมนต์ที่อยู่ภายใต้ปลอกโลหะรัดฟันได้โดยง่าย จึงทำให้เกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์และเศษอาหารภายใต้ปลอกโลหะรัดฟัน ซึ่งทันตแพทย์ส่วนใหญ่มักจะไม่สามารถตรวจพบได้ทางคลินิก จึงมักทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวฟันในบริเวณนี้ตามมาในที่สุด อีกทั้งการใส่ปลอกโลหะรัดฟันที่หลวมจนเกินไป จะทำให้มีช่องว่างระหว่างผิวเคลือบฟันกับปลอกโลหะมาก ผิวของซีเมนต์จึงมีการสัมผัสกับน้ำลายได้เป็นบริเวณกว้าง การละลายของซีเมนต์จึงเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างปลอกโลหะรัดฟันและผิวเคลือบฟันซึ่งจะเป็นที่สะสมของคราบจุลินทรีย์ ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันภายใต้ปลอกโลหะตามมา

จากเหตุผลดังที่กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า การใส่เครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นเป็นการส่งเสริมให้เกิดฟันผุได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในรายที่ผู้ป่วยไม่สามารถดูแลรักษาความสะอาดของช่องปากได้ดีพอ ดังนั้นการนำฟลูออไรด์มาใช้จึงเป็นทางเลือกอันดับต้น ๆ ในการป้องกันฟันผุในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น เนื่องจากประสิทธิภาพของฟลูออไรด์ที่นิยมรับประทานอย่างกว้างขวางมานานในการลดอัตราการเกิดฟันผุดังที่กล่าวมาแล้ว

การใช้ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน

ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันของมหาวิทยาลัย Oslo ได้แนะนำการใช้ฟลูออไรด์แก่ผู้ป่วยที่มารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันดังนี้ (Zachrisson, 1975)

1. ก่อนใส่หรือติดเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน

1.1. เคลือบฟันด้วยเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ซึ่งเป็นชนิดแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23

1.2. บ้วนปากวันละครั้งด้วยน้ำยาไฮเดียมฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.05

2. ระหว่างการรักษา

ให้บ้วนปากวันละครั้งด้วยน้ำยาไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และเพิ่มเป็นวันละ 2 ครั้งในผู้ป่วยที่มีแนวโน้มว่ามีฟันผุง่าย

3. ภายหลังจากถอดเครื่องมือจัดฟันออกแล้ว

3.1. สำหรับผู้ป่วยทั่ว ๆ ไป ให้บ้วนปากวันละครั้งด้วยน้ำยาไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05

3.2. สำหรับผู้ป่วยที่มีการสูญเสียของแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันเกิดขึ้นแล้ว ให้บ้วนปากวันละครั้งด้วยน้ำยาไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 นาน 2-4 เดือน หลังจากนั้นให้บ้วนปากวันละครั้งด้วยน้ำยาไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05

ชนิดของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่ได้รับคำแนะนำให้ใช้ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน

1. ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์

ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์เป็นรูปแบบการใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดมากกว่า 40 ปีทั่วโลก อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ใช้เป็นกลวิธีหลัก ในการป้องกันฟันผุในทุกกลุ่มอายุ ทั้งนี้เนื่องจากการแปรงฟันด้วยยาสีฟันผสมฟลูออไรด์เป็นวิธีพื้นฐานที่วิธีหนึ่งที่จะทำให้มีการคงปริมาณฟลูออไรด์ในระดับต่ำ แต่สามารถคงอยู่ในช่องปากได้เกือบตลอดเวลา เนื่องจากสามารถใช้แปรงฟันได้วันละหลายครั้ง

ชนิดของยาสีฟันผสมฟลูออไรด์

ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ที่เริ่มใช้กันเป็นสูตรแรก ได้แก่ ไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยนำมาผสมกับผงขัดชนิดแคลเซียมไพโรฟอสเฟต (calcium pyrophosphate) อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลในการป้องกันฟันผุจากการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ในระยะแรกให้ผลไม่ชัดเจน

และมีความขัดแย้งกันอย่างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไม่เข้ากันของสารประกอบฟลูออไรด์กับ สารที่ใช้ขัดฟันในยาสีฟัน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนานำสารขัดฟันชนิดต่างๆ มาใช้ และมีการนำ ฟลูออไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น สแตนนัสฟลูออไรด์ (stannous fluoride) โซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต (sodium monofluorophosphate) และ เอมีนฟลูออไรด์ (amine fluoride) มาใช้ แต่ภายหลังพบว่า สแตนนัสฟลูออไรด์ทำให้เกิดคราบสี โดยเฉพาะที่ขอบของวัสดุอุดฟันหน้า จึงเป็นเหตุให้ไม่ได้รับความนิยม และเลิกผลิตไปในที่สุด ส่วนผลของการศึกษาในระยะหลังพบว่า ประสิทธิภาพของยาสีฟันผสม ฟลูออไรด์ในการป้องกันฟันผุนั้นชัดเจนมากขึ้น โดยในช่วงทศวรรษ 1960-1970 พบว่ายาสีฟันผสม ฟลูออไรด์สามารถป้องกันฟันผุได้ถึงร้อยละ 15-30 (Holt และ Murray, 1997)

อย่างไรก็ตามยาสีฟันผสมฟลูออไรด์แต่ละยี่ห้อจะมีส่วนผสมแตกต่างกันไปตาม บริษัทผู้ผลิต เช่น ปริมาณฟลูออไรด์ การใช้สารประกอบฟลูออไรด์มากกว่าหนึ่งชนิด การเติมสารชนิด อื่น ๆ ลงไปในยาสีฟัน เนื่องจากการแข่งขันที่สูงมากทางด้านการตลาดของยาสีฟัน ผู้ผลิตแต่ละบริษัท จึงได้คิดค้นยาสีฟันสูตรต่าง ๆ ขึ้นมามากมาย เพื่อเอาใจผู้บริโภค

ปริมาณฟลูออไรด์ในยาสีฟัน

ปริมาณฟลูออไรด์ที่ให้ผลดีที่สุดในการป้องกันฟันผุนั้นยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด การศึกษาส่วนหนึ่งพบว่า ความสามารถในการป้องกันฟันผุนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ ฟลูออไรด์ในยาสีฟัน กล่าวคือ ยาสีฟันที่มีปริมาณฟลูออไรด์สูงจะให้ผลป้องกันฟันผุดีกว่ายาสีฟันที่มี ปริมาณฟลูออไรด์ที่ต่ำกว่า (Baysan และคณะ, 2001, Ammari, Bloch-Zupan และ Ashley, 2003) แต่บางการศึกษากลับพบว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไม่ว่ามากหรือน้อยต่างก็ให้ผลไม่แตกต่างกันใน การป้องกันฟันผุ เช่น การศึกษาของ Biesbrock และคณะ (2003) ที่พบว่าการแปรงฟันด้วยยาสีฟันที่มี ปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 500 พีพีเอ็ม หรือ 1,450 พีพีเอ็มให้ผลในการป้องกันฟันผุไม่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามประชาคมยุโรปยังคงใช้ข้อกำหนดสำหรับยาสีฟันที่วางขายทั่วไป ให้มี ปริมาณฟลูออไรด์สูงสุดไม่เกิน 1,500 พีพีเอ็ม สำหรับในประเทศไทย ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์เป็น ผลิตภัณฑ์ที่จัดเป็นเครื่องสำอางค์ อยู่ภายใต้การควบคุมของคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวง สาธารณสุข โดยมีข้อกำหนดว่าจะต้องมีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ไม่เกินกว่า 1,100 พีพีเอ็ม

ในปัจจุบันปริมาณฟลูออไรด์ในยาสีฟันส่วนใหญ่ที่วางขายในท้องตลาดจะมีปริมาณ ฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 1,000-1,100 พีพีเอ็ม

วิธีการใช้ยาสี่ฟันฟลูออไรด์

กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้แปรงฟันด้วยยาสี่ฟันผสมฟลูออไรด์ทุกวัน อย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง คือ หลังอาหารเช้าและก่อนนอน โดยการแปรงแต่ละครั้งควรใช้เวลาในการแปรงไม่ต่ำกว่า 2 นาที

ขนาดยาสี่ฟันที่ได้รับการแนะนำให้ใช้

1. เด็กอายุน้อยกว่า 6 ปี

1.1. ให้ผู้ใหญ่บีบยาสี่ฟันให้ ในขนาดเท่าเม็ดถั่วเขียว (<5 มม.) ซึ่งจะมีปริมาณฟลูออไรด์ประมาณ 0.2 มก. (เมื่อใช้ยาสี่ฟันที่มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 1,000 พีพีเอ็ม)

1.2. สำหรับเด็กเล็กที่ยังบ้วนน้ำไม่เป็น (<3 ปี) แต่ไม่ได้รับประทานฟลูออไรด์เสริมเป็นประจำ ให้ผู้ใหญ่บีบยาสี่ฟันให้ในปริมาณเล็กน้อย ให้เปียกขนแปรงเพียงจุดเดียว

1.3. สำหรับเด็กเล็กที่ยังบ้วนน้ำไม่เป็น (<3 ปี) และรับประทานฟลูออไรด์เสริมเป็นประจำ ให้แปรงฟันโดยไม่ต้องใช้ยาสี่ฟัน

2. เด็กอายุ 6 ปีขึ้นไป และผู้ใหญ่ ควรบีบยาสี่ฟัน 1 กรัม หรือยาวประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งจะมีปริมาณฟลูออไรด์ประมาณ 1 มก. (เมื่อใช้ยาสี่ฟันที่มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 1,000 พีพีเอ็ม)

2. น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์

การใช้ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์เป็นวิธีการให้ฟลูออไรด์แบบเฉพาะที่วิธีหนึ่งซึ่งผู้ป่วยสามารถปฏิบัติได้ง่ายด้วยตนเอง มีประสิทธิภาพ ประหยัด ปลอดภัย เหมาะสำหรับการใช้ร่วมกับฟลูออไรด์แบบอื่น ๆ จึงทำให้มีการนำน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์มาใช้ในการป้องกันฟันผุนานกว่า 50 ปี

ประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุของน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์เกือบทั้งหมดจะมาจากผลเฉพาะที่ ถึงแม้ว่าจะมีฟลูออไรด์จากการใช้น้ำยาบ้วนปากประมาณร้อยละ 6 ถูกกลืนลงไปในระบบ

ทางเดินอาหารและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Bossert และ Dunning, 1945) ซึ่งจะกลับเข้าสู่ช่องปากอีกครั้งโดยผ่านทางน้ำลาย แต่ผลทางระบบนี้มีผลน้อยมากทางทันตกรรมป้องกัน

เมื่อใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ฟลูออไรด์จากน้ำยาบ้วนปากส่วนหนึ่งจะเจือจางอยู่ในน้ำลาย แต่ฟลูออไรด์ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในคราบจุลินทรีย์ จากการศึกษากของ Ericsson (1983) พบว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในคราบจุลินทรีย์จะสูงกว่าในน้ำลายถึง 100 – 1,000 เท่า โดยจะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์อยู่ประมาณ 5-10 พีพีเอ็ม ซึ่งฟลูออไรด์ในคราบจุลินทรีย์มีความสำคัญในการป้องกันฟันผุเป็นอย่างมาก เนื่องจากคราบจุลินทรีย์นั้นเกาะติดอยู่กับผิวเคลือบฟัน และมีการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างคราบจุลินทรีย์และผิวเคลือบฟันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการที่คราบจุลินทรีย์มีปริมาณความเข้มข้นของฟลูออไรด์สูงจะทำให้ฟลูออไรด์สามารถเข้าไปทดแทนการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการรักษาทางด้านทันตกรรมจัดฟัน การใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ส่งผลดีต่อการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในบริเวณคอฟันทางด้านกระพุ้งแก้ม และด้านประชิดฟัน ซึ่งเป็นบริเวณที่เครื่องมือจัดฟันจะขัดขวางการแปรงฟันตามปกติของผู้ป่วย ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกจากผิวเคลือบฟันมากกว่าคนทั่วไป จากการศึกษาของ Geiger และคณะ (1992) พบว่าหากให้ผู้ป่วยใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์จะทำให้ลดโอกาสการเกิดรอยโรคต่างชาวดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของผิวเคลือบฟันที่อยู่ใต้ปลอกโลหะรัดฟัน Wisth (1972) ศึกษาพบว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ฟลูออไรด์จากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์นั้นสามารถซึมผ่านซีเมนต์ที่ใช้ยึดปลอกโลหะรัดฟันได้ ดังนั้นน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์จึงส่งผลดีในการป้องกันฟันผุในบริเวณผิวเคลือบฟันส่วนที่ปลอกโลหะรัดฟันคลุมอยู่ได้อีกด้วย

ชนิดของน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์

น้ำยาบ้วนปากที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ น้ำยาแอสซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ และน้ำยาแอสแตนเนสฟลูออไรด์ (McDonald, 2004) น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์และน้ำยาแอสแตนเนสฟลูออไรด์มีภาวะเป็นกลาง ส่วนน้ำยาแอสซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ นั้นคือโซเดียมฟลูออไรด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) ที่มีค่าพีเอช

เท่ากับ 4 โดยเชื่อว่าการเป็นบัพเฟอร์จะช่วยเพิ่มการดูดซึมฟลูออไรด์ที่ผิวเคลือบฟันได้ (Wellock และ Brudevold, 1963)

Jeansonne และ Feagin (1974) แนะนำให้ใช้น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ เนื่องจากน้ำยาสแตนนัสฟลูออไรด์ไม่ทนทานต่อสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ (aqueous solution) และทำให้เกิดการสะสมของคราบสีเหลืองในบริเวณที่เป็นรอยโรคบนตัวฟัน อีกทั้งยังมีรสชาติคล้ายโลหะ (metallic taste) ด้วยเหตุผลต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้น้ำยาสแตนนัสฟลูออไรด์ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ในปี 1974 การประชุมของ International Workshop on Fluoride and Dental Caries Reductions ได้ผลสรุปว่า การใช้น้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์ทั้งในรูปแบบที่เป็นกลางและเป็นกรด (neutral or acidulated form) นั้นปลอดภัยและให้ผลในการป้องกันฟันผุไม่แตกต่างกัน อีกทั้งยังแนะนำให้ใช้น้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์ไม่ว่าจะอยู่อาศัยในบริเวณที่มีการผสมฟลูออไรด์ลงในน้ำประปาหรือไม่ก็ตาม แต่ให้ใช้ในเด็กที่มีอายุ 6 ปีขึ้นไป เนื่องจากเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 6 ปียังไม่สามารถควบคุมการกลืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เศวต ทศนบรรจง, 2529) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Levine (1976) ที่พบว่าทั้งน้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ และน้ำยาแอสซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์นั้นให้ผลในการป้องกันฟันผุได้ไม่ต่างกัน

วิธีการใช้น้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์

ผลในการป้องกันฟันผุของน้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์นั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ในการใช้และความเข้มข้นของน้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์ จากการศึกษาของ Torell และ Ericsson (1965) พบว่ามีการลดลงของค่าดัชนี DMFS ถึงร้อยละ 50 ในเด็กอายุ 10 ปีที่บ้วนปากด้วยน้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ปริมาณ 10 มล. ทุกวันนาน 2 ปี ส่วนการศึกษาของ Von der Fehr และคณะ (1970) พบว่าการสูญเสียแร่ธาตุจากผิวเคลือบฟันที่เกิดบริเวณด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้นจะมีการคืนกลับของแร่ธาตุเข้าสู่ผิวเคลือบฟันได้เมื่อบ้วนปากทุกวันด้วยน้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 นาน 2 เดือนร่วมกับการรักษาความสะอาดในช่องปากอย่างดี ส่วน Birkeland (1978) ศึกษาพบว่าการใช้น้ำยاب้วนปากฟลูออไรด์เป็นประจำทุกวันจะให้ผลที่ดีในการป้องกันฟันผุได้มากกว่าการใช้สัปดาห์ละครั้ง และเมื่อใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 2-3 ปี พบว่าช่วยลดอัตราการเกิดฟันผุลงได้ถึงร้อยละ 40

ในประเทศไทย ได้มีการศึกษาถึงผลในการลดอัตราการเกิดฟันผุจากการใช้น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ ณ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2516 พบว่าการใช้น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 อมบ้วนปากทุก 2 สัปดาห์ ในเด็กนักเรียนอายุ 7-11 ปี เป็นเวลา 1 ปี ปรากฏว่าลดโรคฟันผุได้ร้อยละ 21.4 เมื่อคิดเป็นด้าน (DMFS) และลดได้ร้อยละ 26.9 เมื่อคิดเป็นซี่ (DMFT) (ศิริพร มุ่งถิ่น และคณะ, 2518)

ในสหรัฐอเมริกา ในปีค.ศ. 1974 ได้มีการประกาศเรื่องการใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์สำหรับบุคคลทั่วไปดังนี้

1. น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ที่มีค่าพีเอชประมาณ 7 เป็นน้ำยาบ้วนปากที่ปลอดภัยและให้ผลในการลดอัตราการเกิดฟันผุ โดยให้ใช้บ้วนปาก 1 ครั้งทุก 1-2 สัปดาห์
2. น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ที่มีค่าพีเอชประมาณ 7 เป็นน้ำยาบ้วนปากที่ปลอดภัยและให้ผลในการลดอัตราการเกิดฟันผุ โดยให้ใช้บ้วนปากวันละ 1 ครั้ง
3. น้ำยาแอสซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ ที่มีค่าพีเอชประมาณ 4 ซึ่งมีอนุภาคฟลูออไรด์ไอออนประมาณร้อยละ 0.02 เป็นน้ำยาบ้วนปากที่ปลอดภัยและให้ผลในการลดอัตราการเกิดฟันผุ โดยให้ใช้บ้วนปากวันละ 1 ครั้ง

สำหรับประเทศไทยได้มีการเริ่มนำน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์มาใช้ในงานทันตกรรมชุมชนอย่างกว้างขวางตั้งแต่ปี พ.ศ.2520 ในแผนพัฒนาสาธารณสุขของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 4 โดยกำหนดให้เด็กในวัยประถมศึกษาอมน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ทุก 2 สัปดาห์

โดยทั่วไปวิธีอมน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์จะใช้น้ำยาบ้วนปาก 10 มล. กลั้วให้ทั่วปากให้น้ำยาสัมผัสกับฟันทุกซี่ นาน 1-2 นาที แล้วบ้วนน้ำยาทิ้ง หลังจากอมน้ำยาบ้วนปากแล้ว ไม่ควรดื่มน้ำหรือรับประทานอาหารเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

ปริมาณที่กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้อมน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์แต่ละครั้งในเด็กอายุมากกว่า 5 ปี คือ 5 มล. ในเด็กอายุ 10-15 ปี ควรใช้ 7 มล. และในผู้ใหญ่ควรใช้ 10 มล. ส่วนในเด็กอายุต่ำกว่า 4 ปี ไม่ควรให้อมน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ เนื่องจากการควบคุมการกลืนของเด็กยังไม่ดีพอ ดังนั้นหากจะให้เด็กอายุ 4-6 ปีอมน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ควร

ทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากในการอมน้ำยาบ้วนปากจะมีน้ำยาบางส่วนถูกกลืนเข้าไปในระบบทางเดินอาหาร การกลืนในปริมาณมากและถี่ อาจทำให้เด็กได้รับฟลูออไรด์มากเกินไปได้

องค์การอนามัยโลกมีข้อเสนอแนะว่า การใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ในปริมาณที่ถูกต้อง แม้จะไม่ทำให้เกิดฟันตกกระในเด็กก่อนวัยเรียนก็ตาม แต่อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสภาวะฟันตกกระ ซึ่งขึ้นกับปริมาณฟลูออไรด์ที่ได้รับในแต่ละวัน จึงไม่แนะนำให้ใช้น้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมฟลูออไรด์ในเด็กอายุต่ำกว่า 6 ปี (World Health Organization, 1994)

3. เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีความสะดวกในการใช้โดยถาดเคลือบฟลูออไรด์ (fluoride tray) ซึ่งทำให้ฟันทั้งหมดในช่องปากสามารถได้รับฟลูออไรด์ได้ในคราวเดียวกัน ด้วยรูปแบบที่เป็นวงกลมทำให้ลดโอกาสในการกลืนกินฟลูออไรด์ในผู้ป่วยเด็กลงได้ โดยที่ยังไม่สูญเสียคุณสมบัติในการแทรกซึมผ่านด้านประชิดของฟันไป (Fejerskov, Ekstrand และ Burt, 1996)

ชนิดของเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

ในประเทศไทย ทันตแพทย์ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เจลแอซิดูเลเตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.23 (1.23% Acidulated phosphate fluoride gel) ซึ่งมีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 12,300 พีพีเอ็ม

นอกจากนี้ยังมีการใช้เจลโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 (2% neutral sodium fluoride gel) ซึ่งมีสถานะเป็นกลาง และมีรสชาติเปรี้ยวอ่อน โดยมีการแนะนำให้ใช้ในผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบที่มีแผลในช่องปาก ผู้ที่ไม่ชอบรสชาติของเจลแอซิดูเลเตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ หรือผู้ที่ได้รับการบูรณะฟันหน้าด้วยเรซินคอมโพสิตหรือพอร์ซเลน แต่อย่างไรก็ตามสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน (American Dental Association, ADA) ยังไม่รับรองผลของเจลฟลูออไรด์ชนิดนี้ เนื่องจากยังไม่มีรายงานการวิจัยทางคลินิกสนับสนุนอย่างเพียงพอ

ข้อบ่งชี้

โดยทั่วไปทันตแพทย์จะทำการเคลือบฟลูออไรด์ให้แก่เด็กตั้งแต่อายุ 3 ปี ถึง 15-16 ปี ยกเว้นในกรณีที่เป็นกลุ่มที่มีระดับความเสี่ยงต่อโรคฟันผุสูง ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการเคลือบอย่าง

ต่อเนื่องต่อไปอีก แต่อย่างไรก็ตามไม่แนะนำให้เคลือบฟลูออไรด์ในเด็กที่อายุต่ำกว่า 3 ปีเนื่องจากเด็กที่อายุต่ำกว่า 3 ปี ยังไม่สามารถควบคุมการกลืนของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีโอกาสูงในการกลืนกินเจลฟลูออไรด์จากการเคลือบ

วิธีการใช้เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

การใช้เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบจะกระทำโดยทันตแพทย์ในคลินิกทันตกรรม ซึ่งโดยปกติแล้วจะกระทำโดยใช้ถาดเคลือบฟลูออไรด์

เพื่อป้องกันการเกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลันจากการกลืนเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบปริมาณมากในเด็กเล็ก ให้ใช้ฟลูออไรด์เจลไม่เกิน 5 มล./ครั้ง หรือ 2.5 มล.ต่อถาดเคลือบฟลูออไรด์ 1 ถาด หรือ ประมาณ 1/3 ของขนาดถาดเคลือบฟลูออไรด์ ซึ่งมีปริมาณฟลูออไรด์ประมาณ 61.5 มก. ต่อการเคลือบหนึ่งครั้ง

ตารางที่ 2 ตารางแสดงจำนวนครั้งต่อปีในการเคลือบฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคฟันผุในระดับต่าง ๆ กัน

ปริมาณฟลูออไรด์ ในแหล่งน้ำ (พีพีเอ็ม)	ระดับความเสี่ยงต่อโรคฟันผุ		
	กลุ่มไม่มีฟันผุ	กลุ่มเสี่ยงต่ำ	กลุ่มเสี่ยงสูง
< 0.6 พีพีเอ็ม	2 ครั้ง/ปี	2 ครั้ง/ปี	4 ครั้ง/ปี
≥ 0.6 พีพีเอ็ม	-	2 ครั้ง/ปี	4 ครั้ง/ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกัดกร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่น

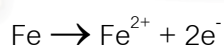
นิยามของการกัดกร่อน

การกัดกร่อน หมายถึง การสูญเสียเนื้อโลหะโดยการเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ร่วมอยู่ด้วย การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีทั้งการสูญเสียไอออน (ion) ของโลหะออกสู่สารละลายโดยตรง และเกิดการละลายของชั้นฟิล์มที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว คือ สารประกอบจำพวกออกไซด์ (oxide) หรือซัลไฟด์ (sulfide) ของโลหะ (von Fraunhofer, 1997)

การกัดกร่อนจะต้องประกอบไปด้วย 2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ในอัตราเดียวกัน นั่นคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชัน

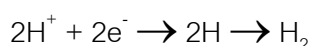
1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (anode) โดยจะมีการปล่อยอิเล็กตรอน (electron) และไอออนของโลหะซึ่งมีประจุบวกออกสู่สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังโลหะที่ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด (cathode) โลหะที่ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดจึงมีการกัดกร่อนเกิดขึ้น เนื่องจากการสูญเสียไอออนของโลหะออกไปสู่สารละลาย

ยกตัวอย่างเช่น การกัดกร่อนของเหล็ก หรือที่มักเรียกกันว่าการเกิดสนิมของเหล็ก จะมีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ดังนี้



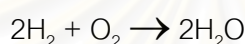
2. ปฏิกิริยารีดักชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดโดยจะมีการรับอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้วแอโนด ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีได้หลายแบบ ดังนี้

2.1. ในสภาวะที่เป็นกรด ไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) ที่มีอยู่ในน้ำหรือสารละลายที่เป็นกรดจะทำปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ดังสมการต่อไปนี้ที่เรียกว่า ไฮโดรเจนอีโวลูชัน (hydrogen evolution)

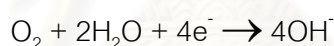


โมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไปเกาะบนผิวของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ทำให้ไอออนอื่น ๆ ของโลหะที่ขั้วแคโทดไม่สามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก ปฏิริยาไฟฟ้าเคมีจึงหยุดชะงักลง และทำให้การกัดกร่อนหยุดลงด้วยเช่นกัน ปฏิกิริยาการนี้เรียกว่า การเกิดโพลาริเซชัน (polarization)

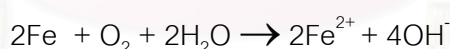
อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่แล้วสารละลายที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์มักจะมีการสัมผัสกับอากาศ จึงมีแก๊สออกซิเจน (O_2) ละลายปนอยู่เสมอ ดังนั้นแก๊สออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเกิดเป็นน้ำ (H_2O) สมการนี้เรียกว่า แคโทดิกดีโพลาริเซชัน (cathodic depolarization) จึงทำให้การกัดกร่อนยังคงดำเนินต่อไปได้



2.2 ในสถานะที่เป็นกลางหรือในสถานะที่เป็นด่าง ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นทางด้านโลหะที่ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดจะเป็นการเติมอิเล็กตรอนให้แก่แก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดไอออนของหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ดังสมการที่เรียกว่า ออกซิเจนรีดักชัน (oxygen reduction)



ดังนั้นปฏิกิริยารวม (overall reaction) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกัดกร่อนของเหล็กเกิดขึ้นได้แก่



เมื่อโลหะ 2 ชนิดมาอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เดียวกัน โลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐาน (standard electrode potential, E^0) สูงกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ส่วนโลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานต่ำกว่า จะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นรวมแล้วเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reaction) หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ซึ่งถ้าแยกเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาทั้งสองออกจากกัน จะพบว่ามีการเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากมีการให้และรับอิเล็กตรอน เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า กัลวานิกเซลล์ (galvanic cell) (Petrucci, 2002)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าศักย์รีดักชันมาตรฐาน

Standard Reduction Potentials at 25°C		E° (V)
Reduction Half-Reaction		
$F_2(g) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 F (aq)$	2.87
$H_2O_2(aq) + 2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 H_2O(l)$	1.78
$MnO_4^-(aq) + 8 H^+(aq) + 5 e^-$	$\longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4 H_2O(l)$	1.51
$Cl_2(g) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 Cl^-(aq)$	1.36
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14 H^+(aq) + 6 e^-$	$\longrightarrow 2 Cr^{3+}(aq) + 7 H_2O(l)$	1.33
$O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^-$	$\longrightarrow 2 H_2O(l)$	1.23
$Br_2(l) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 Br^-(aq)$	1.09
$Ag^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Ag(s)$	0.80
$Fe^{3+}(aq) + e^-$	$\longrightarrow Fe^{2+}(aq)$	0.77
$O_2(g) + 2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2O_2(aq)$	0.70
$I_2(s) + 2 e^-$	$\longrightarrow 2 I^-(aq)$	0.54
$O_2(g) + 2 H_2O(l) + 4 e^-$	$\longrightarrow 4 OH^-(aq)$	0.40
$Cu^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Cu(s)$	0.34
$Sn^{4+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Sn^{2+}(aq)$	0.15
$2 H^+(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2(g)$	0
$Pb^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Pb(s)$	-0.13
$Ni^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Ni(s)$	-0.26
$Cd^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Cd(s)$	-0.40
$Fe^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Fe(s)$	-0.45
$Zn^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Zn(s)$	-0.76
$2 H_2O(l) + 2 e^-$	$\longrightarrow H_2(g) + 2 OH^-(aq)$	-0.83
$Al^{3+}(aq) + 3 e^-$	$\longrightarrow Al(s)$	-1.66
$Mg^{2+}(aq) + 2 e^-$	$\longrightarrow Mg(s)$	-2.37
$Na^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Na(s)$	-2.71
$Li^+(aq) + e^-$	$\longrightarrow Li(s)$	-3.04

อย่างไรก็ตาม ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดไม่จำเป็นจะต้องเกิดจากโลหะต่างชนิดกัน ภายในโลหะชั้นเดียวกันก็สามารถทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชั้นได้ในกรณีต่อไปนี้ (von Fraunhofer, 1997)

1. กรณีของโลหะผสม (alloy)
2. กรณีที่โลหะชั้นเดียวกันมีการสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีระดับความเป็นกรด-เบส หรือค่าพีเอชในแต่ละบริเวณต่างกัน (differential pH)

3. กรณีที่โลหะขึ้นเดียวกันมีการสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีองค์ประกอบในแต่ละบริเวณต่างกัน (composition variations)
4. กรณีที่โลหะขึ้นเดียวกันมีการสัมผัสกับอากาศในแต่ละบริเวณต่างกัน (differential aeration)
5. กรณีที่โลหะขึ้นเดียวกันมีลักษณะของพื้นผิวต่างกัน (surface texture differences)
6. กรณีที่โลหะขึ้นเดียวกันมีความเค้นภายในต่างกัน (internal stress differences)
7. กรณีที่โลหะขึ้นเดียวกันมีการผ่านการทำให้แข็งตัวขึ้นในในแต่ละบริเวณต่างกัน (work hardening differences)

การกัดกร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในสถานะที่ไม่มีฟลูออไรด์

ตลอด 40 ปีที่ผ่านมา ได้มีการตระหนักถึงการเกิดการกัดกร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นที่เกิดขึ้นในช่องปากของผู้ป่วย สาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นเกิดการกัดกร่อนมี 2 ประการได้แก่

1. คลอไรด์ในน้ำลาย

คลอไรด์ถูกคาดว่าเป็นแร่ธาตุสำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะที่อยู่ในช่องปาก เนื่องจากคลอไรด์มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานค่อนข้างสูง เมื่อคลอไรด์รวมกับไฮโดรเจนไอออน จะเกิดเป็นกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ซึ่งเป็นกรดแก่ มีคุณสมบัติในการแตกตัวได้ดีมาก จึงสามารถทำปฏิกิริยากับฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวของโลหะได้ดี ทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะตามมา

ไฮโดรเจนไอออนในช่องปากจะได้จากกรดที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์ รวมอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น น้ำอัดลม น้ำผลไม้ ซึ่งส่งผลให้สภาวะช่องปากมีระดับความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จึงส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนได้ดีขึ้น (von Fraunhofer, 1997)

2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน

von Fraunhofer (1997) ได้กล่าวไว้ว่า เครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นมีคุณลักษณะที่เอื้ออำนวยให้เกิดกัลวานิกเซลล์ได้โดยง่าย เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ มากมาย ซึ่งแต่ละส่วนมักจะผลิตจากโลหะต่างชนิดกัน เช่น การใช้ลวดโค้งเส้นหลักกับแบร็กเกตที่ผลิตมาจากโลหะต่างชนิดกัน หรือการใช้ซดสปริงร่วมกับลวดโค้งเส้นหลักและแบร็กเกตที่ทำจากโลหะต่างชนิดกัน เป็นต้น ซึ่งโลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานสูงกว่าจะทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ส่วนโลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานต่ำกว่าจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด

2. ในโลหะชนิดเดียวกันแต่มีสัดส่วนของโลหะผสมต่างชนิดกันก็สามารถทำให้เกิดกัลวานิกเซลล์ขึ้นได้เช่นกัน เช่น แบร็กเกตตัวเดียวกันอาจมีส่วนฐานแบร็กเกตที่มีลักษณะเป็นตะแกรง (mesh) และส่วนตัวของแบร็กเกต (bracket body) ที่ผลิตมาจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมต่างชนิดกัน เช่น ส่วนตัวของแบร็กเกตผลิตมาจากโลหะเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม AISI316 ในขณะที่ตะแกรงในส่วนของฐานแบร็กเกตผลิตมาจากโลหะเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม AISI304 ก็สามารถทำให้เกิดกัลวานิกเซลล์ขึ้นได้ในแบร็กเกตตัวเดียวกัน เป็นต้น

3. ในบางตำแหน่งของเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นเอื้ออำนวยให้เกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์ หินปูน หรือเศษอาหารอย่างมาก เช่น ข้างใต้ตะขอ (hook) ของฟันเขี้ยวหรือฟันกราม ข้างใต้ปีกแบร็กเกตทางด้านใกล้ขอบเหงือก หรือบริเวณที่ใส่ซดสปริง เป็นต้น ซึ่งบริเวณเหล่านี้จะมีสภาวะเป็นกรดสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ อีกทั้งยังทำให้มีการเข้าถึงของอากาศต่ำกว่าบริเวณอื่น บริเวณเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ทำให้มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น

4. เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในแต่ละตำแหน่งของช่องปากจะมีส่วนประกอบของฟิล์มน้ำลายที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของโลหะต่างกัน ทำให้เกิดสภาพนำไฟฟ้า (conductivity) ที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดกัลวานิกเซลล์ขึ้นได้

5. หากมีความขรุขระของพื้นผิวเกิดขึ้น แม้ในโลหะขึ้นเดียวกัน บริเวณที่เป็นหลุมหรือร่องจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดและจะมีการกัดกร่อนเกิดขึ้น ดังนั้นวิธีการผลิตแบร็กเกตจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการกัดกร่อน เช่น แบร็กเกตที่ผลิตโดยการกลึง (milling) จะมีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระกว่า จึงทำให้มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนได้มากกว่าแบร็กเกตที่ผลิตโดยการหว่าน (casting)

มีการศึกษาจำนวนมากที่ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะประเภทต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ส่วนหนึ่งของการศึกษาเหล่านี้ระบุว่าโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมเป็นโลหะที่ถูกกัดกร่อนได้ง่ายที่สุดในบรรดาโลหะที่ถูกนำมาใช้ ดังเช่นในการศึกษาของ Sarkar และคณะ (1979) ได้ทำการทดสอบการกัดกร่อนของลวดที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิดคือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดเบตาไทเทเนียม และลวดนิกเกิลไทเทเนียม การทดสอบดังกล่าวทำในสารละลายเกลือแกงความเข้มข้นร้อยละ 1 (1% sodium chloride) ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่ามีความสัมพันธ์ในการเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์เทียบเท่ากับน้ำลาย ทำการทดสอบโดยใช้วิธีอิเล็กโทรเคมีคัลไซคลิกโพลาริเซชัน (electrochemical cyclic polarization) ที่ความต่างศักย์ -500 ถึง +300 mV จากการทดสอบพบว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดเบตาไทเทเนียม ไม่ถูกกัดกร่อน ในขณะที่นิกเกิลไทเทเนียมแสดงการถูกกัดกร่อนที่ความต่างศักย์ +150 mV ซึ่งเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตรวจดู จะพบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมนั้นถูกกัดกร่อนจนมีลักษณะเป็นหลุม ส่วนการศึกษาของ Clinard, von Fraunhofer และ Kuffinec (1980) ได้ศึกษาการกัดกร่อนของลวด 4 ชนิดคือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม นิกเกิล ลวดเบตาไทเทเนียม และลวดนิกเกิลไทเทเนียม โดยวิธีวัดความต้านทานการเกิดโพลาริเซชัน (polarization resistance) และซีโรรีซิสแตนซ์แอมเมตริย์ (zero resistance ammetry) พบว่าลวดเบตาไทเทเนียม และลวดโคบอลต์โครเมียม นิกเกิล มีความต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ส่วนลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม อีกทั้งยังแสดงแนวโน้มที่จะเกิดหลุมบนผิวลวดได้ง่ายกว่าอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาบางส่วนที่ได้ผลสรุปออกมาคัดค้านแนวคิดที่ว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมนั้นมีความทนทานต่อการกัดกร่อนน้อยกว่าลวดชนิดอื่น ๆ เช่น การศึกษาของ Schwaninger, Sarker และ Foster (1982) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของลวดนิตินอลทั้งก่อนและหลังการแช่สารละลายเกลือแกงร้อยละ 1 นานถึง 11 เดือน พบว่าลวดนิตินอลมีการกัดกร่อนให้เห็น แต่คุณสมบัติของลวดทั้งก่อนและหลังจากการแช่สารละลายไม่แตกต่างกัน ผลการศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่าการกัดกร่อนไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของลวดนิตินอล และเมื่อตรวจดูพื้นผิวบริเวณที่หักลวดโดยการตัดเป็นมุม 90° หลาย ๆ ครั้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าพื้นผิวของลวดบริเวณที่หักมีลักษณะของการถูกกัดกร่อนไม่แตกต่างจากบริเวณอื่น โดยการกัดกร่อนจะเริ่มเกิดจากบริเวณที่มีความบกพร่อง (defect) บนพื้นผิวก่อน ซึ่งผู้ทำการวิจัยสันนิษฐานว่าบริเวณที่มีความบกพร่องบนพื้นผิวลวดนิตินอลเกิดจากกรรมวิธีการผลิต มิได้เป็นผลจากการกัดกร่อน ส่วน

การศึกษาของ Hwang, Shin และ Cha (2001) ที่ได้ทำการวัดระดับของไอออนของโลหะในน้ำลายเทียมที่ใช้ในการแช่ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะมีการปล่อยไอออนของโลหะออกมามากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนนอกเหนือไปจากชนิดของโลหะที่ใช้ในการทำเครื่องมือ ได้แก่ สภาพความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอชของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีผู้ให้ความสนใจทำการศึกษามากเช่นกัน Staffolani และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาปลอกโลหะรัดฟันที่ผลิตมาจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม AISI304 และ AISI316 แปรกเกิดที่ผลิตมาจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม AISI316 และลวดนิกเกิลไทเทเนียม ที่ผ่านการแช่ในสารละลายทั้งจากกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ ที่มีค่าพีเอชในระดับต่าง ๆ กัน โดยทำการวัดปริมาณไอออนของนิกเกิล โครเมียม และคอปเปอร์ที่ถูกปล่อยออกมาสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไอออนที่ปล่อยออกมาในสารละลายที่มีค่าพีเอช 6.5 นั้นน้อยกว่าปริมาณไอออนที่ปล่อยออกมาในสารละลายที่มีค่าพีเอช 3.5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาของ Haung และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาลวดนิกเกิลไทเทเนียม ที่ผ่านการแช่ในน้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอชตั้งแต่ 2.5 จนถึง 6.25 โดยได้ทำการวัดปริมาณไอออนของนิกเกิลและไทเทเนียมที่ถูกปล่อยออกมาสู่น้ำลายเทียม และตรวจลักษณะพื้นผิวของลวดจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการปล่อยไอออนของนิกเกิลและไทเทเนียมจะมีค่าน้อยมากจนแทบจะไม่สามารถตรวจพบได้หากแช่โลหะในน้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอชตั้งแต่ 3.75 ขึ้นไป ดังนั้นจึงน่าจะสรุปได้ว่าในสภาวะที่เป็นกรดจะเอื้ออำนวยให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะได้ดีขึ้น

นอกจากจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของลวดในห้องทดลองแล้ว ยังมีผู้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของลวดในช่องปากของผู้ป่วยเช่นกัน โดยมีระยะเวลาและวิธีในการเก็บข้อมูลแตกต่างกันไป แต่การศึกษาเกือบทั้งหมดมักจะเป็นการศึกษาในลวดนิกเกิลไทเทเนียม

Sarkar Schwaninger และ Foster (1982) ได้ศึกษาลักษณะการกัดกร่อนของลวดนิตินอล ภายหลังการใช้งานในคลินิกแล้ว 3 สัปดาห์จนถึง 5 เดือน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (energy dispersing X-ray analysis) พบว่าลวดนิตินอลดังกล่าวมีการกัดกร่อนเป็นหลุมกลม ๆ มากมาย อีกทั้งยังพบผลของปฏิกิริยาการกัดกร่อน (corrosion product) บนลวดนิตินอลแต่ละเส้นด้วย ซึ่งเมื่อทำการพิสูจน์แล้วจะพบว่าผลของปฏิกิริยาการกัดกร่อนนั้นเต็มไปด้วยไทเทเนียม สำหรับลวดนิตินอลที่หักนั้น จะพบว่าพื้นผิวตรงบริเวณที่หักจะมี

ลักษณะเป็นหลุมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน (equiaxed dimple) ซึ่งดูเหมือนว่าจะเป็นผลมาจากช่องว่างเล็ก ๆ (microvoid) ที่รวมกันภายในบริเวณขอบของเกรน (grain boundary zone)

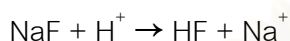
อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนหนึ่งกลับให้ผลตรงกันข้ามว่า ไม่พบการกัดกร่อนของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ถูกใช้งานจริงในคลินิก ดังเช่นการศึกษาของ Edie, Andreasen และ Zaytoun (1981) ได้ทำการศึกษากัดกร่อนของพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมภายหลังการใช้งานในคลินิกแล้วเป็นเวลา 1-8 เดือน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นผิวลวดนิกเกิลไทเทเนียมทั้งก่อนและหลังการใช้งานในคลินิก อีกทั้งภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และผลจากการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่พื้นผิวลวดยังพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างลวดทั้งสองชนิด การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่า ไม่มีมูลเหตุให้เชื่อว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเมื่อใช้งานจริงในคลินิก ส่วนการศึกษาของ Grimsdottir และ Hensten-Pettersen (1997) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมจากบริษัทต่าง ๆ ก่อนและหลังจากผ่านการที่ใช้งานในช่องปากตั้งแต่ 3 สัปดาห์จนถึง 4 เดือน ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของลักษณะพื้นผิวของลวดทั้งก่อนและหลังจากการใช้งานเช่นกัน

การกัดกร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในสถานะที่มีฟลูออไรด์

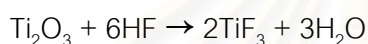
ปัจจุบันยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นที่เกิดจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์ไม่มากนัก อีกทั้งการศึกษาที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเน้นหนักไปทางด้านการศึกษาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของลวดที่ผลิตมาจากโลหะผสมไทเทเนียม (titanium-based alloy) ได้แก่ ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดเบตาไทเทเนียม หรือลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม

ในสถานะปกติโลหะผสมไทเทเนียมจะมีชั้นของฟิล์มออกไซด์เคลือบอยู่บนพื้นผิวของโลหะ ซึ่งฟิล์มออกไซด์นี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไทเทเนียมและออกซิเจนในอากาศ มีประโยชน์ในการช่วยป้องกันพื้นผิวของลวดจากการถูกกัดกร่อน ฟิล์มออกไซด์ของไทเทเนียมที่เกิดขึ้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ไตไทเทเนียมไตรออกไซด์ (dititanium trioxide, Ti_2O_3) หรือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2)

ในสภาวะที่เป็นกรด สารประกอบฟลูออไรด์ที่มีประจุ (ionized fluoride compound) เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (hydrogen fluoride) สามารถทำลายชั้นของฟิล์มออกไซด์ที่อยู่บนผิวของโลหะผสมไทเทเนียมได้ เนื่องจากสารประกอบฟลูออไรด์จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion, H^+) ทำให้เกิดกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid, HF) ขึ้น ดังสมการ

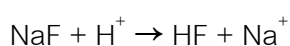


กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid, HF) ที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดการละลายของฟิล์มออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

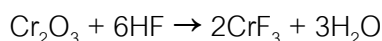


ไทเทเนียมเตตระฟลูออไรด์ (titanium tetrafluoride, TiF_4) ที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบที่สามารถละลายได้ในน้ำ ทำให้ถูกละลายออกไปจากผิวหน้าของโลหะผสมไทเทเนียม เมื่อฟิล์มออกไซด์ที่ปกป้องพื้นผิวของโลหะผสมไทเทเนียมถูกทำลายไป จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะเกิดขึ้นจากการดูดซึ่มไฮโดรเจน (hydrogen absorption) จากสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรด (Nakagawa และคณะ, 1999)

ส่วนพื้นผิวของแบร็กเกตหรือลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมนั้นต่างก็มีฟิล์มออกไซด์เกิดขึ้นที่พื้นผิวของลวดเช่นเดียวกับพื้นผิวของโลหะผสมไทเทเนียม ออกไซด์ของโลหะที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide, Cr_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide, Fe_2O_3) และมีนิกเกิลออกไซด์ (nickel oxide, NiO) ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย (Lin และคณะ, 2006) โครเมียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่ในการป้องกันการถูกกัดกร่อนของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม แต่เมื่อโลหะสัมผัสกับสารละลายฟลูออไรด์ในสภาวะที่เป็นกรด จะเกิดกรดไฮโดรฟลูออริกขึ้น



ซึ่งกรดไฮโดรฟลูออริกที่ได้นี้จะทำปฏิกิริยากับโครเมียมออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



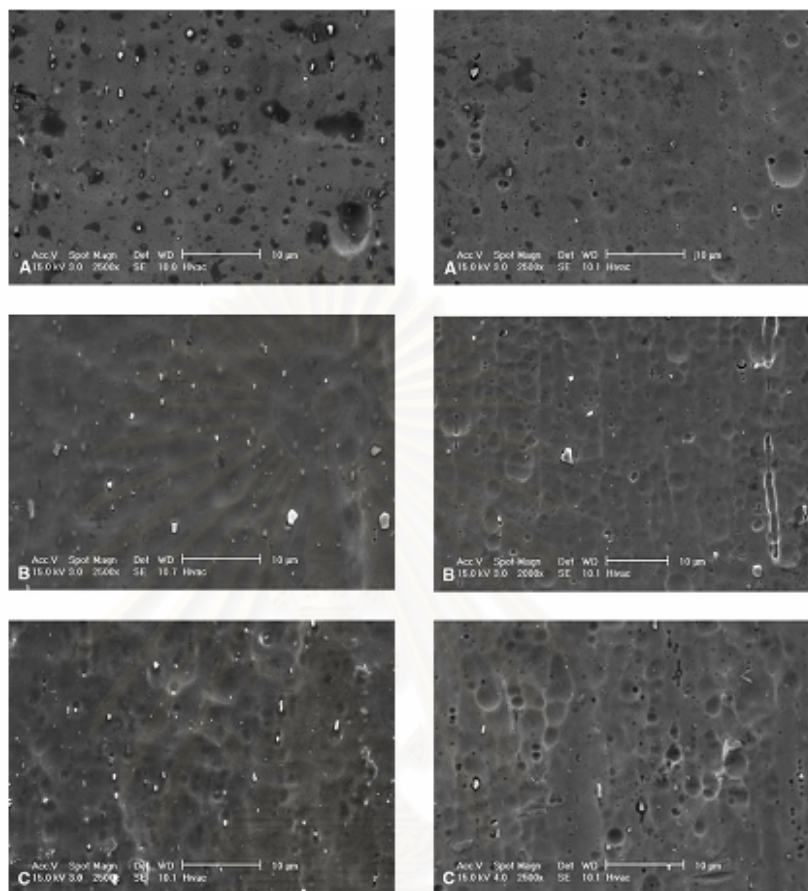
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียชั้นของฟิล์มออกไซด์ที่ปกป้องพื้นผิวของโลหะไป แบร์กเกตหรือลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจึงมีการดูดซึมไฮโดรเจนเกิดขึ้นเช่นกัน ทำให้มีการกัดกร่อนของโลหะเกิดขึ้น (Huang, 2003) จากการศึกษาของ Yoshiki และคณะ (2005) ได้ทำการวัดอัตราส่วนระหว่างโครเมียมต่อเหล็ก (Cr/Fe ratio) บนพื้นผิวของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์และสแตนเลสฟลูออไรด์ พบว่าพื้นผิวของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมบริเวณที่มีความขรุขระจะมีค่าอัตราส่วนระหว่างโครเมียมต่อเหล็กน้อยกว่าพื้นผิวของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมบริเวณที่มีพื้นผิวเรียบอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปว่าการกัดกร่อนของพื้นผิวเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมน่าจะเกิดจากการสูญเสียโครเมียมออกไปจากพื้นผิว (Cr depletion)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะทางทันตกรรมจัดฟันจากฟลูออไรด์

1. ชนิดของโลหะ

โลหะแต่ละชนิดนั้นมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนต่างกันไป จากการศึกษาของ Watanabe และ Watanabe (2003) พบว่าความขรุขระของพื้นผิวของลวดเบตาไทเทเนียมจะเพิ่มขึ้นมากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ และมีการเปลี่ยนสีได้มากกว่าเช่นกัน ส่วนการศึกษาของ Walker, White และ Kula (2005) พบว่าทั้งลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมและนิกเกิลไทเทเนียมนั้นสามารถถูกกัดกร่อนได้ในแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ แต่ลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะถูกกัดกร่อนได้มากกว่า ดังรูปที่ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของลวดนิกเกิลไทเทเนียม (ซ้าย) และลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม (ขวา) เมื่อผ่านการแช่ในน้ำที่ไม่มีประจุ (deionized water) (บน) ในโซเดียมฟลูออไรด์ (กลาง) และในแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ (ล่าง)

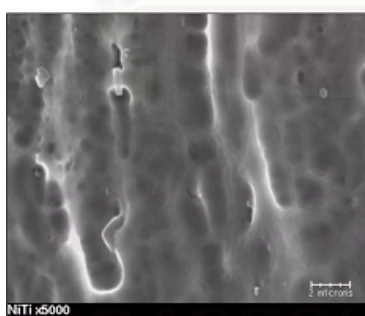
Schiff และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาโลหะผสมคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม ซึ่งเป็นโลหะผสมที่นำมาใช้ผลิตลวดโค้งเส้นหลัก และไทเทเนียมเฮกซะอลูมิเนียมเตตระวาเลียม ($TiAl_6V_4$) ซึ่งเป็นโลหะผสมที่นำมาใช้ผลิตแบร็กเกตและรากเทียม พบว่าโลหะผสมคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมและนิกเกิลไทเทเนียมเกิดการกัดกร่อนได้มากกว่าโลหะผสมไทเทเนียมเฮกซะอลูมิเนียมเตตระวาเลียมเมื่อผ่านการแช่ทั้งในสารละลายฟลูออไรด์ที่มีสภาวะเป็นกลางและเป็นกรด

Yoshiki และคณะ (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบการกัดกร่อนระหว่างแบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมพบว่า เมื่อทำการแช่ในสารละลายที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์และแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ แบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดจะมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น

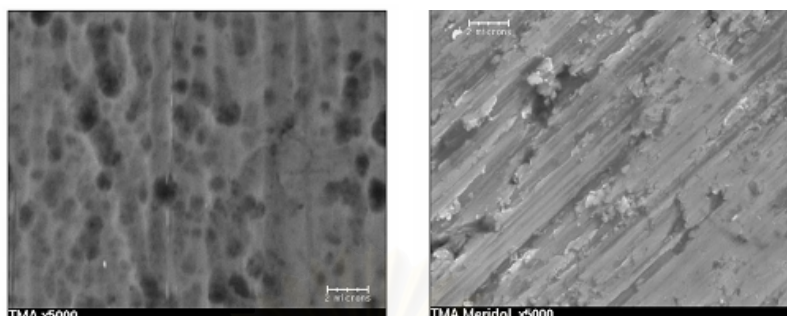
และพบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราส่วนระหว่างปริมาณโครเมียมและเหล็กบนพื้นผิวแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในส่วนที่มีการกัดกร่อน จึงทำให้สันนิษฐานได้ว่าการสูญเสียไอออนของโครเมียม ในขณะที่ไม่พบผลการทดลองที่พิสูจน์ว่ามีการสูญเสียไอออนของโลหะในแบร์กเกตไทเทเนียม

2. ชนิดของสารประกอบฟลูออไรด์ที่ผสมในผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการกัดกร่อนของฟลูออไรด์ที่มีต่อโลหะที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันคือ ชนิดของสารประกอบฟลูออไรด์ที่ผสมในผลิตภัณฑ์ ฟลูออไรด์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนแตกต่างกัน Schiff และคณะ (2003) ได้ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อน (corrosion resistance) ของลวดโค้งเส้นหลักที่มีไทเทเนียมเป็นส่วนประกอบภายหลังจากการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต พบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดเบตาไทเทเนียม และลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะทนการกัดกร่อนได้ดีในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ แต่จะถูกกัดกร่อนได้อย่างมากในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต (รูปที่ 20 และ 21)



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ (ซ้าย) และลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์ (ขวา)



รูปที่ 21 การเปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของลวดเบตาไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ (ซ้าย) และลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์ (ขวา)

ต่อมา Schiff และคณะ (2005) ได้ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของแบร็กเกต 3 ชนิด ได้แก่ แบร็กเกตไทเทเนียม แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม หลังจากการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ 3 ชนิดคือ น้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียมมีความต้านทานการกัดกร่อนมากที่สุด โดยไม่มีการเสื่อมสลาย (degradation) ของเนื้อวัสดุ เมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต แบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมจะให้ผลใกล้เคียงกับเมื่อแช่ในสารละลายอ้างอิง (reference electrolyte) แต่เมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนนัสฟลูออไรด์จะพบการกัดกร่อนระหว่างเกรนูล (intergranular corrosion) ในแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและพบว่ามีการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมในแบร็กเกตไทเทเนียม คณะผู้ทำวิจัยจึงแนะนำให้หลีกเลี่ยงการใช้สแตนนัสฟลูออไรด์ในผู้ป่วยที่ใช้แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและแบร็กเกตไทเทเนียม ส่วนผู้ป่วยที่ใช้แบร็กเกตโคบอลต์โครเมียมสามารถใช้น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ได้ทั้ง 3 ชนิด

ในปีถัดมา Schiff และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (galvanic corrosion) ที่เกิดระหว่างแบร็กเกตและลวดหลังจากที่แช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ พบว่าเมื่อใช้น้ำยาบ้วนปากต่างชนิดกันทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ การกัดกร่อนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของฟลูออไรด์ แบร็กเกตที่ใช้ในศึกษาในครั้งนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ แบร็กเกตไทเทเนียม แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม ส่วนลวดที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ ลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม ผลการศึกษาพบว่าเมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของ

โซเดียมฟลูออไรด์ ทั้งลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดเมื่อใช้คู่กับแบร็กเกตไทเทเนียม ทำให้ลวดเกิดการกัดกร่อน แต่เมื่อใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมกับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมหรือแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม แบร็กเกตจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดและปล่อยไอออนของเหล็กและโครเมียมออกมา แต่เมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนเลสฟลูออไรด์ ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดเมื่อใช้คู่กับแบร็กเกตไทเทเนียม แต่เมื่อใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมคู่กับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมหรือแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม แบร็กเกตจะเป็นขั้วแอโนด ส่วนลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดเมื่อใช้คู่กับแบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม แต่เมื่อใช้ลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมกับแบร็กเกตโคบอลต์โครเมียม แบร็กเกตจะเป็นขั้วแอโนด และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการถูกกัดกร่อนของลวดทั้งสองชนิด พบว่าเมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ ลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม แต่เมื่อแช่ในน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของสแตนเลสฟลูออไรด์ ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียม

ผลจากการศึกษาเหล่านี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าฟลูออไรด์ต่างชนิดกันมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดการกัดกร่อนได้มากน้อยแตกต่างกัน อีกทั้งยังอาจเป็นปัจจัยที่กำหนดการเป็นขั้วแอโนดหรือขั้วแคโทดของโลหะผสมได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามผลการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า ฟลูออไรด์ที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่ใส่เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น ได้แก่ โซเดียมฟลูออไรด์

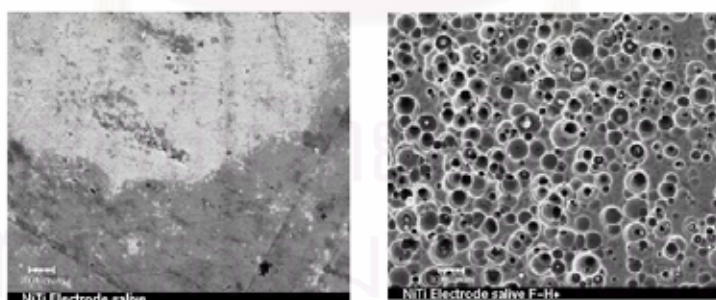
3. ความเข้มข้นของฟลูออไรด์

ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางทันตกรรมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน จากการศึกษาของ Huang (2007) พบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และในน้ำลายเทียมที่ผสมยาสีฟันฟลูออไรด์ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนต่ำ (น้อยกว่า 2,500 พีพีเอ็ม) จะมีระดับของการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดไม่แตกต่างกับลวดในกลุ่มควบคุมที่ผ่านการแช่ในน้ำลายเทียม แต่พบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในเจลฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนสูง (17,000 พีพีเอ็ม) เมื่อเปรียบเทียบกับลวดในกลุ่มควบคุม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนสูงน่าจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะได้มากกว่า

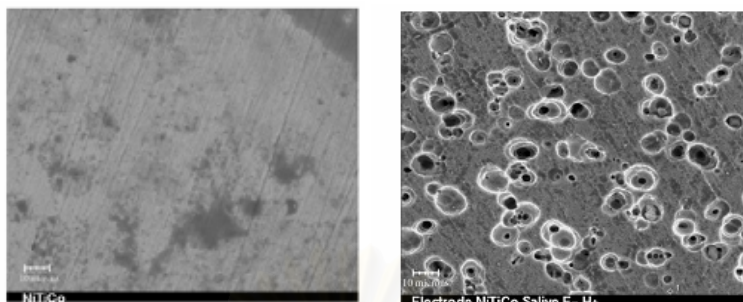
4. ระดับความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอชของสภาวะแวดล้อม

การศึกษาหลายการศึกษาได้พิสูจน์ว่า ในสภาวะที่เป็นกรดจะช่วยให้ฟลูออไรด์สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ดีกว่าในสภาวะที่เป็นกลาง จากการศึกษาของ Reclaru และ Meyer (1998) พบว่าโลหะไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมจะไม่เกิดการกัดกร่อนในสารละลายที่มีค่าพีเอชตั้งแต่ 3.5 ขึ้นไป ถึงแม้ว่าในสารละลายนั้นจะมีฟลูออไรด์อยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม ในขณะที่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 3.5 และมีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมอย่างมาก

ส่วนการศึกษาของ Schiff และคณะ (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบการกัดกร่อนของโลหะนิกเกิลไทเทเนียม และโลหะนิกเกิลไทเทเนียมโคบอลต์ (NiTiCo) ที่เกิดภายหลังจากการแช่ในสารละลาย 5 ชนิดได้แก่ น้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 น้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติกที่มีค่าพีเอช 2.5 น้ำลายเทียมที่ผสมฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 5.3 และน้ำลายเทียมที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 2.5 ผลการศึกษาพบว่าพื้นผิวของโลหะทั้ง 2 ชนิดที่แช่ในน้ำลายเทียมที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์มีการกัดกร่อนมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่แช่ในน้ำลายเทียมที่ผสมฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 5.3 น้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติกที่มีค่าพีเอช 2.5 และน้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 ตามลำดับ ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโลหะผสมไทเทเนียมจะมีการกัดกร่อนได้อย่างมากในสารละลายที่มีฟลูออไรด์ โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรด (รูปที่ 22 และ 23)



รูปที่ 22 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 (ซ้าย) เปรียบเทียบกับลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์ (ขวา) จะพบว่ามีการกัดกร่อนพื้นผิวของลวดแบบเป็นหลุม



รูปที่ 23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมโคบอลต์ภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 5.3 (ซ้าย) เปรียบเทียบกับลักษณะพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมโคบอลต์ภายหลังจากการแช่น้ำลายเทียมที่ผสมทั้งกรดแลคติกและฟลูออไรด์ (ขวา) จะพบว่ามีการกัดกร่อนพื้นผิวของลวดเป็นหลุม

แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้สภาวะที่เป็นกรดจะส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะผสม แต่จากการศึกษาของ Walker, White และ Kula (2005) พบว่าฟลูออไรด์สามารถกัดกร่อนลวดนิกเกิลไทเทเนียมและคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมได้ในสภาวะที่เป็นกลางเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะเกิดการกัดกร่อนได้น้อยกว่าในสภาวะที่เป็นกรดก็ตาม

ต่อมา Walker และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาเช่นเดียวกันในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมพบว่าฟลูออไรด์สามารถทำให้เกิดกัดกร่อนของพื้นผิวลวดทั้ง 2 ชนิดได้ แม้ในสภาวะที่เป็นกลางเช่นกัน

จากการศึกษาเหล่านี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการกัดกร่อนของเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่นในสารละลายที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบนั้นจะเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ส่วนผลสรุปของการกัดกร่อนในสภาวะที่เป็นกลางนั้นยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่ามีการกัดกร่อนเกิดขึ้นจริงหรือไม่

การศึกษาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของโลหะทางทันตกรรมจัดฟันที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด

จนถึงปัจจุบัน การศึกษาที่เกี่ยวกับผลของฟลูออไรด์ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดยังมีน้อยมาก มีเพียงการศึกษาเดียวที่แสดงผลของการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้

ในทางทันตกรรมจัดฟันที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด นั้นคือ การศึกษาของ Kao และคณะ (2006) ที่ได้ศึกษาค่าแรงเสียดทานจลน์และแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นในลวด 3 ชนิด ได้แก่ ลวดเบตาไทเทเนียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม เมื่อใช้กับแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ภายหลังจากผ่านการแช่ในน้ำยาแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่แช่กลุ่มตัวอย่างในน้ำลายเทียมที่มีค่าพีเอช 6.75 นาน 24 ชม. ทำการวัดค่าแรงเสียดทานโดยใช้เครื่องอีแซดเทสต์แมชชีน (EZ-test machine) ของบริษัทชิมาดาซี (Shimadazu) โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 5 นิวตัน ดึงด้วยความเร็ว 100 มม./นาที เป็นระยะทาง 5 มม. ผลการศึกษาพบว่าค่าแรงเสียดทานทั้งแรงเสียดทานจลน์และแรงเสียดทานสถิตมีค่าเพิ่มขึ้นในลวดทั้ง 3 ชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับลวดที่ผ่านการแช่ในน้ำลายเทียม โดยลวดที่มีความแตกต่างของค่าแรงเสียดทานระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมากที่สุด คือ ลวดเบตาไทเทเนียม รองลงมา คือ ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากร

แบร์ริกเกตที่ใช้ในการทดลองเป็นแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค สำหรับพื้นเขียวที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.018×0.025 นิ้ว²

ลวด 2 ชนิดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ที่มีขนาด 0.016×0.022 นิ้ว²

กลุ่มตัวอย่าง

สูตรการคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับประชากร 2 กลุ่ม โดยการทดสอบแบบสองทาง คือ

$$n = \frac{2\sigma^2(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

ผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยในครั้งนี้อย่างยิ่งที่สุด ที่สามารถนำมาใช้ประมาณจำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่างได้ ได้แก่ การศึกษาของ Kao และคณะ (2006) ที่ได้ศึกษาค่าแรงเสียดทานจลน์และแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นในลวด 3 ชนิด ได้แก่ ลวดเบตาไทเทเนียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม เมื่อใช้กับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานสำหรับพื้นตัดล่างของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค ที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.022×0.028 นิ้ว² ภายหลังจากผ่านการแช่ในน้ำยาออกซิเดเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ซึ่งได้ผลค่าแรงเสียดทานสถิต ดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และเบตาไทเทเนียมภายหลังจากผ่านการแช่ในน้ำยาแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 จากการศึกษาของ Kao และคณะ (2006)

	APF	
	Static force (N/mm ²)	
	Mean	SD
0.018 SSW	1.15	0.04
0.019 × 0.025 SSW	1.39	0.06
0.019 × 0.025 Ni-Ti	2.74	0.24
0.017 × 0.025 TMA	2.84	0.21

จากค่าแรงเสียดทานสถิตในตารางที่ 4 สามารถนำมาคำนวณหาค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลวดแต่ละชนิด จากการศึกษาของ Kao และคณะ (2006)

ชนิดลวด	μ_1	S_1	μ_2	S_2	σ^2	$Z_{1-\alpha/2}$	Z_{1-b}	จำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่าง
SSW/ TMA	1.39	0.06	2.84	0.21	0.02	1.96	1.96	0.35

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้ คือ 0.35 ตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Kao และคณะ (2006) นั้นได้กระทำในแบร์กเกตและลวดที่มีขนาดต่างไปจากงานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งใช้สารละลายเพียงสารละลายเดียวนั้นคือ แอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการศึกษานี้มาวิเคราะห์หาจำนวนประชากรตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เพียงแต่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเริ่มทำการวิจัยเท่านั้น ส่วนจำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่างที่แท้จริงนั้นจำเป็นต้องคำนวณจากผลการศึกษานำร่องอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อทำการศึกษานำร่องโดยมีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง จึงได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจากการศึกษานำร่อง

กลุ่มตัวอย่าง	μ_1	S_1	μ_2	S_2	σ^2	$Z_{1-\alpha/2}$	Z_{1-b}	จำนวน ประชากร กลุ่ม ตัวอย่าง
SS-control/ SS-toothpaste	0.43896	0.20081425	0.48891	0.19876372	0.03	1.96	1.96	120.13
SS-control/ SS-mouthwash	0.43896	0.20081425	0.53161	0.163654497	0.04	1.96	1.96	100.45
SS-control/ SS-fluoride gel	0.43896	0.20081425	0.54301	0.174496147	0.03	1.96	1.96	243.68
SS-toothpaste/ SS-mouthwash	0.48891	0.19876372	0.53161	0.163654497	0.03	1.96	1.96	367.28
SS-toothpaste/ SS-fluoride gel	0.48891	0.19876372	0.54301	0.174496147	0.03	1.96	1.96	101.07
SS-mouthwash/ SS-fluoride gel	0.53161	0.1636545	0.54301	0.174496147	0.03	1.96	1.96	26.71
TMA-control/ TMA-toothpaste	0.50231	0.15269475	0.58321	0.137769013	0.03	1.96	1.96	19.00
TMA-control/ TMA-mouthwash	0.50231	0.15269475	0.72325	0.192468337	0.04	1.96	1.96	10.45
TMA-control/ TMA-fluoride gel	0.50231	0.15269475	0.86501	0.257231385	0.03	1.96	1.96	19.00
TMA-toothpaste/ TMA-mouthwash	0.58321	0.13776901	0.72325	0.192468337	0.04	1.96	1.96	16.48
TMA-toothpaste/ TMA-fluoride gel	0.58321	0.13776901	0.86501	0.257231385	0.04	1.96	1.96	16.48
TMA-mouthwash/ TMA-fluoride gel	0.72325	0.19246834	0.86501	0.257231385	0.02	1.96	1.96	1.09
SS-control/ TMA-control	0.43896	0.20081425	0.50231	0.152694753	0.03	1.96	1.96	120.13

ตารางที่ 6 (ต่อ) ตารางแสดงค่าประชากรกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจากการศึกษานำร่อง

กลุ่มตัวอย่าง	μ_1	S_1	μ_2	S_2	σ^2	$Z_{1-\alpha/2}$	$Z_{1-\beta}$	จำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่าง
SS-toothpaste/ TMA-toothpaste	0.48891	0.19876372	0.58321	0.137769013	0.03	1.96	1.96	367.28
SS-mouthwash/ TMA-mouthwash	0.53161	0.1636545	0.72325	0.192468337	0.05	1.96	1.96	12.85
SS-fluoride gel/ TMA-fluoride gel	0.54301	0.17449615	0.86501	0.257231385	0.02	1.96	1.96	470.01

SS-control กลุ่มควบคุมที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม, SS-toothpaste กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์, SS-mouthwash กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์, SS-fluoride gel กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ, TMA-control กลุ่มควบคุมที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม, TMA-toothpaste กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมและผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์, TMA-mouthwash กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมและผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์, TMA-fluoride gel กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมและผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

จากตารางที่ 6 พบว่าจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการคำนวณคือ 470 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากตาราง ดังนั้นเมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 8 กลุ่มย่อย ตามตัวแปรต้น 2 ชนิด ได้แก่ ลวด และชนิดของสารละลาย จึงต้องใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 3,760 ตัวอย่าง แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและเวลาในการทำงาน จึงกำหนดให้จำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม คือ 25 ตัวอย่าง รวมแล้วจะมีตัวอย่างทั้งหมด 200 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะประกอบไปด้วยแบร์ริกเกตและลวดซึ่งถูกมัดไว้ด้วยกันด้วยวงอีลาสโทเมอร์

ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานสำหรับพื้นที่มีขนาดของร่องแบร์ริกเกต 0.018×0.025 นิ้ว² จำนวน 200 ตัว และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ที่มีขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² จำนวนชนิดละ 100 เส้น แต่ละเส้นมีความยาวเส้นละ 30 มม.

ตารางที่ 7 ตารางแสดงจำนวนตัวอย่างแบ่งแยกตามกลุ่มทดลอง

	แบร์กเกตชนิดมาตรฐาน / ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	แบร์กเกตชนิดมาตรฐาน / ลวดเบตาไทเทเนียม
กลุ่มควบคุม	25	25
กลุ่มที่แช่ในสารละลาย ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	25	25
กลุ่มที่แช่ใน น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	25	25
กลุ่มที่แช่ใน เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ	25	25
รวม	100	100
รวมทั้งหมด	200	

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐาน ยี่ห้อไดนาล็อก ของบริษัทสามเอ็มยูนิเทค, ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับพื้นที่ผิวที่มีขนาดของร่องแบร์กเกต 0.018×0.025 นิ้ว² จำนวน 200 ตัว
2. ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ของบริษัทออร์มโค ขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² ชนิดละ 100 เส้น ยาวเส้นละ 30 มม.

3. สารละลายที่ผสมจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่

- 3.1. สารละลายที่ได้จากยาสีฟันคอลเกต รสยอดนิยม ของบริษัทคอลเกต-ปาล์มโอดีฟ จำกัด, ประเทศไทย (รูปที่ 24) ซึ่งมีปริมาณไฮเดียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.22 w/w มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 1,000 พีพีเอ็ม ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วนยาสีฟัน 1 กรัมต่อน้ำลายเทียม 4 มล. ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจนเกิดฟอง



รูปที่ 24 ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ยี่ห้อคอลเกต รสยอดนิยม

- 3.2. สารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากออรัล-บี ทูธแอนด์กัมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ ของบริษัทพรอคเตอร์แอนด์แกมเบิล, ประเทศไทย (รูปที่ 25) ซึ่งมีปริมาณไฮเดียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 226 พีพีเอ็ม ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 8.5 ต่อ 1



รูปที่ 25 น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ยี่ห้อออรัล-บี
ทูธแอนด์กัมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์

- 3.3. สารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ยี่ห้อซิกตี้เซกเคิลเทสต์ ของบริษัท ปาสคาล, ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 26) ซึ่งมีปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 1.23 มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ออกฤทธิ์ 12,300 พีพีเอ็ม ผสมกับน้ำลายเทียมใน อัตราส่วน 1 ต่อ 1.4



รูปที่ 26 เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ยี่ห้อซิกตี้เซกเคิลเทสต์

4. น้ำลายเทียมแบบไม่ผสมฟลูออไรด์ จากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. วงอีลาสโตเมอร์สีชมพูยี่ห้อทัฟ ของบริษัทเกลนโรเทคโนโลยี, ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 27) ใช้สำหรับมัดลวดเข้ากับแบร์กเกต จำนวน 350 วง



รูปที่ 27 วงอีลาสโตเมอร์

6. สเตรทชูตเตอร์ (straight shooter) (รูปที่ 28) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่างวงอีลาสโตเมอร์ที่ใช้ในการมัดลวดตัวอย่างเข้ากับแบร์กเกต



รูปที่ 28 สเตรทชูตเตอร์

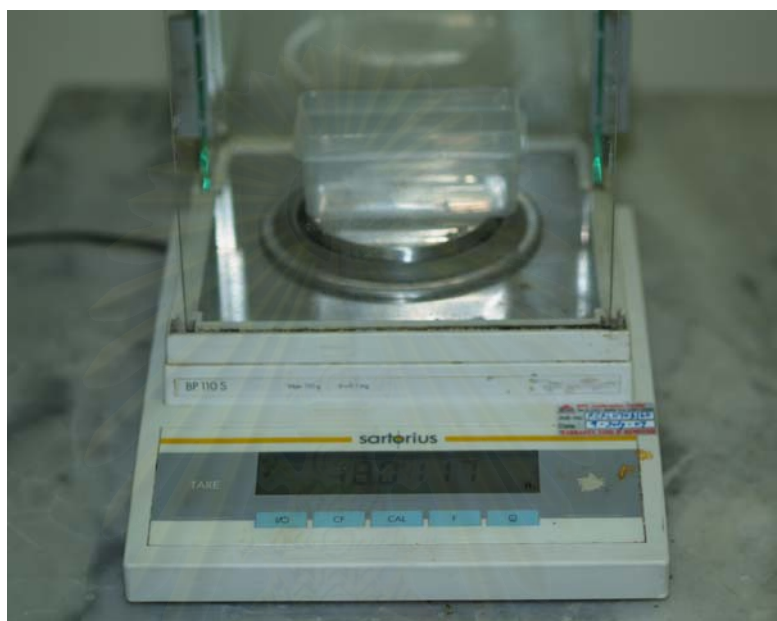
7. เอ็กซ์พลอเรอร์ (explorer) (รูปที่ 29) สำหรับถอดวงอีลาสโตเมอร์ออกจากแบร์กเกต



รูปที่ 29 เอ็กซ์พลอเรอร์

8. ภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสำหรับใส่แซ่สารละลาย
9. ตะแกรงพลาสติกสำหรับนำแบร์กเกตและลวดขึ้นจากสารละลาย
10. คีมพลาสติกสำหรับให้คีบแบร์กเกตและลวด
11. นาฬิกาจับเวลา

12. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล (digital balance) ยี่ห้อซาร์ทอเรียส รุ่นบีพี110เอส (Sartorius, Model BP 110S) ของบริษัทซาร์ทอเรียสเอจี, ประเทศเยอรมันนี (Sartorius AG, Germany) (รูปที่ 30)



รูปที่ 30 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลยี่ห้อซาร์ทอเรียส รุ่นบีพี110เอส

13. กระบอกตวงพลาสติกขนาด 10 มล. และ 50 มล.

14. ออโตปิเปต (autopipet) และหัวทิป (tip) ขนาด 5 มล. (รูปที่ 31)



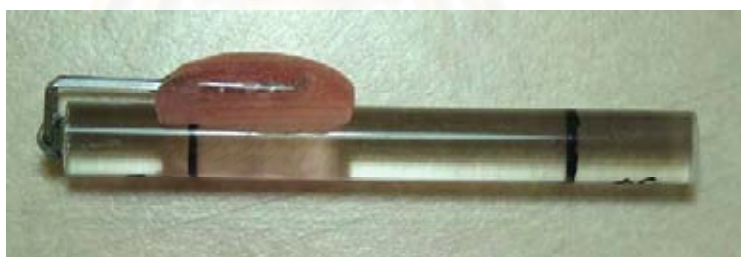
รูปที่ 31 ออโตปิเปต และหัวทิปขนาด 5 มล.

15. แ่งพลาสติกสำหรับใช้คนสารละลายให้เข้ากัน
16. แ่งอะคริลิกใส (รูปที่ 32) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ยาวแ่งละ 50 มม. สำหรับยึดแบร็กเกตจำนวน 200 แ่ง



รูปที่ 32 แ่งอะคริลิกใสสำหรับยึดแบร็กเกต

17. กาวไซยาโนอะคริเลตสำหรับยึดแบร็กเกตกับแ่งอะคริลิก
18. เครื่องมือสำหรับกำหนดตำแหน่งแบร็กเกต (รูปที่ 33) เพื่อยึดแบร็กเกตให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางแ่งอะคริลิกทุกครั้ง



รูปที่ 33 เครื่องมือสำหรับยึดแบร็กเกตให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางแ่งอะคริลิก

19. เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้ง (รูปที่ 34) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขอบของวงแหวนเหล็ก 2 วงที่ใช้ยึดลวด 22.5 มม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างแบร็กเกตของฟันตัดซี่ที่สองบนขวาถึงแบร็กเกตของฟันกรามน้อยซี่ที่สองบนขวา ที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยของขนาดฟันในคนไทย (วัชระ เพชรคุปต์ และ ปิยรัตน์ อภิวัฒนกุล, 2542) เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งของแบร็กเกตของฟันตัดซี่ที่สองบนขวาและแบร็กเกตของฟันกรามน้อยซี่ที่สองบนขวาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวฟัน



รูปที่ 34 เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้ง

20. เครื่องมือสำหรับปรับแบริกเกตให้ได้มุมกระทำ 1° (รูปที่ 35)



รูปที่ 35 เครื่องมือสำหรับปรับแบริกเกตให้ได้มุมกระทำ 1°

21. เครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิก และต่อกับส่วนโครงสร้างของเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึง-แมชชีน (รูปที่ 36)



รูปที่ 36 เครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิก และต่อกับส่วนโครงสร้างของเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึงแมชชีน

22. เครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึงแมชชีน รุ่นแอลอาร์ 10เค ของบริษัทลอยด์อินสตรูเมนต์, ประเทศอังกฤษ (รูปที่ 37) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดแรงที่ใช้ในการดึงแบร์กเกตผ่านลวด ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องมือมีดังนี้

22.1. ฟิกส์เฮด (fixed head) คือ ส่วนของเครื่องมือที่อยู่กับที่

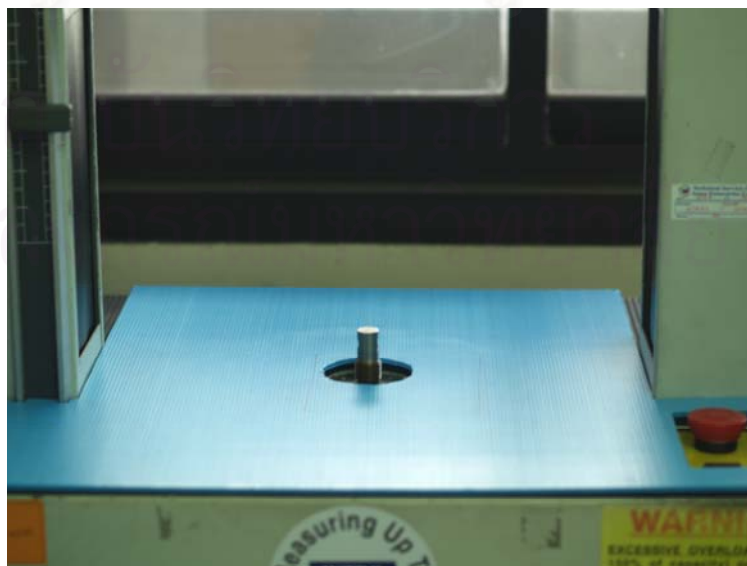
22.2. โครงสร้าง (cross head) คือ ส่วนของเครื่องมือที่เคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เกิดแรงดึง และมีการเชื่อมต่อกับจอแสดงผล ทำให้สามารถอ่านค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ ในการทดลองนี้ได้ยึดเครื่องมือที่ใช้ยึดแบร์กเกตเข้ากับส่วนโครงสร้าง โดยตั้งค่าให้โครงสร้างวิ่งด้วยความเร็ว 0.1 มม./นาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้ระยะทาง 0.5 มม.

22.3. ตั้มน้ำหนักขนาด 5 นิวตัน



รูปที่ 37 เครื่องลอยด์ยูนีเวอซัลทดสอบดึงแมชชีน

23. แผ่นพีวเจอร์บอร์ดสีฟ้า สำหรับกำหนดตำแหน่งวางเครื่องมือสำหรับยึดลวด (รูปที่ 38)



รูปที่ 38 แผ่นพีวเจอร์บอร์ดสีฟ้า สำหรับกำหนดตำแหน่งวางเครื่องมือสำหรับยึดลวด

24. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 39) สำหรับตรวจสอบคุณลักษณะของพื้นผิวของแบร็กเกตและลวด



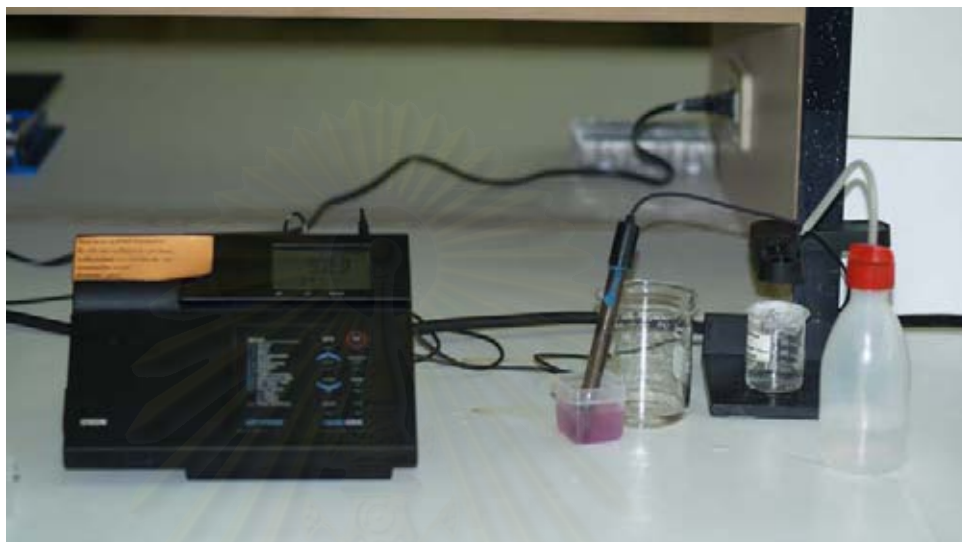
รูปที่ 39 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

25. เครื่องอินคิวเบเตอร์เซกเกอร์ (incubator shaker) ยี่ห้ออินฟอร์เอชที รุ่นมัลติตรอน (Infors-HT, Model Multitron) ของบริษัทอินฟอร์เอชที, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ (Infors-HT, Switzerland) (รูปที่ 40) สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 37° และเขย่าสารละลายฟลูออไรด์ขณะแช่แบร็กเกตและลวด



รูปที่ 40 เครื่องอินคิวเบเตอร์เซกเกอร์

26. มาตรฐานความเป็นกรด-เบส หรือเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter) ยี่ห้อโอไรออน รุ่น 420A (Orion, Model 420A) ของบริษัทโอไรออน, ประเทศสหรัฐอเมริกา (Orion, USA) (รูปที่ 41)



รูปที่ 41 เครื่องพีเอชมิเตอร์

การรวบรวมข้อมูล

วัดค่าแรงเสียดทานสถิตโดยใช้เครื่องลวดยูนีเวอร์แซลเทสต์ติงแมชชีน โดยดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึง (load) กับระยะทางที่เบร็กเกิดเคลื่อนผ่านลวดไป (extension) โดยเลือกตำแหน่งที่สูงสุดของกราฟก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ โดยวัดแรงเสียดทานเป็นหน่วยนิวตัน

ตัวแปรของการวิจัย

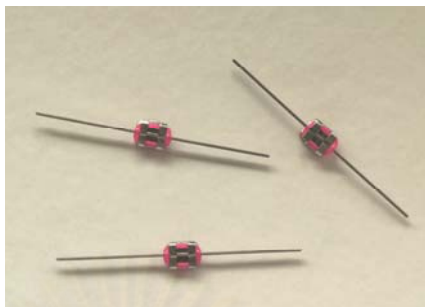
1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1.1. ชนิดของลวดที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม
- 1.2. สารละลายที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้

- 1.2.1. สารละลายที่ได้จากยาสีฟันคอลเกตรยอดนิยม ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วนยาสีฟัน 1 กรัมต่อน้ำลายเทียม 4 มล. ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจนเกิดฟอง
 - 1.2.2. สารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากออรัล-บี ทูธแอนด์แกมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 8.5 ต่อ 1
 - 1.2.3. สารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบซิกตี้เซกเคิลเทสต์ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.4
2. ตัวแปรตาม คือ ค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวด

วิธีการทดลอง

1. คัดเลือกลวด แบร็กเกต ผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์และวงอีลาสโตเมอร์แบบสุ่ม
2. ทำการเตรียมสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งทำการวัดค่าพีเอชของสารละลายทั้ง 3 ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ โดยทำการวัด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าพีเอชของสารละลายแต่ละชนิด
3. เตรียมลวดตรงชนิดละ 100 เส้น แต่ละเส้นยาว 30 มม. เพื่อให้มีความยาวส่วนปลายพอเหมาะสำหรับใช้ยึดลวดเข้ากับวงแหวนเหล็กของเครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้ง ซึ่งมีระยะห่างระหว่างวงแหวนเหล็กทั้ง 2 วงที่ใช้สำหรับยึดลวด 22.5 มม.
4. สุ่มตัวอย่างลวดทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 2 เส้น และแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ตัว นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อบันทึกลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกตและลวดที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ
5. นำลวดแต่ละเส้นใส่ลงในร่องของแบร็กเกต และทำการมัดลวดให้ติดกับแบร็กเกตด้วยวงอีลาสโตเมอร์ ดังนั้นหากแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามชนิดของลวดจึงได้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม จำนวนกลุ่มละ 100 ตัวอย่าง



รูปที่ 42 ตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการนำไปแช่ในสารละลายฟลูออไรด์

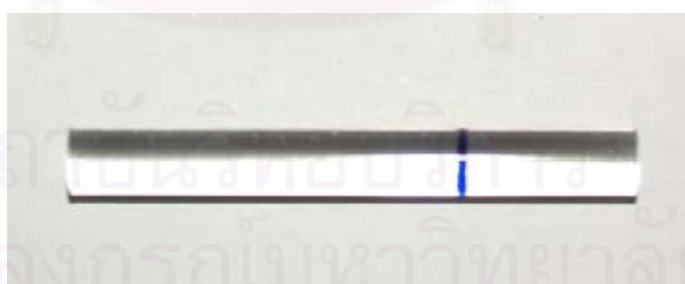
6. แบ่งกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 25 ตัวอย่าง ดังนี้
 - 6.1. กลุ่มย่อยที่ 1 คือ แบร์กเกตและลวดที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ ใช้เป็นกลุ่มควบคุม
 - 6.2. กลุ่มย่อยที่ 2 แบร์กเกตและลวดที่ถูกนำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากสารละลายที่ได้จากยาสีฟันคอลเกตรสยอदनนิยมผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วนยาสีฟัน 1 กรัม ต่อน้ำลายเทียม 4 มล.
 - 6.3. กลุ่มย่อยที่ 3 นำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากออรัลบี ทูธแอนด์แกมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 8.5 ต่อ 1
 - 6.4. กลุ่มย่อยที่ 4 นำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบซิกทีเซกเคิล-เทสต์ผสมกับน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.4
7. นำตัวอย่างในกลุ่มย่อยที่ 2 กลุ่มย่อยที่ 3 และกลุ่มย่อยที่ 4 ของลวดแต่ละชนิดแช่ในสารละลายตามระยะเวลาที่กำหนดดังนี้
 - 7.1. กลุ่มย่อยที่ 2 นำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากการผสมยาสีฟันเข้ากับน้ำลายเทียม และตีให้เข้ากันจนเป็นฟอง 336 นาที่เพื่อจำลองการแปรงฟันวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที ในช่วงเวลา 12 สัปดาห์
 - 7.2. กลุ่มย่อยที่ 3 นำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากน้ำยาบ้วนปากผสมกับน้ำลายเทียม 84 นาที่ เพื่อจำลองการใช้ยาบ้วนปากวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที ในช่วงเวลา 12 สัปดาห์

- 7.3. กลุ่มย่อยที่ 4 นำไปแช่ในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบผสมกับน้ำลายเทียม 4 นาที เพื่อจำลองการเคลือบเจลฟลูออไรด์ที่กระทำโดยทันตแพทย์ 1 ครั้ง ที่มักจะกระทำทุก 6 เดือน

การแช่ตัวอย่างในสารละลายจะทำการแช่ในถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด และนำไปใส่ในเครื่องอินคิวเบเตอร์เซกเกอร์ เพื่อให้มีการเขย่าของสารละลายอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้ความเร็ว 80 รอบ/นาที และมีการควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 37°C

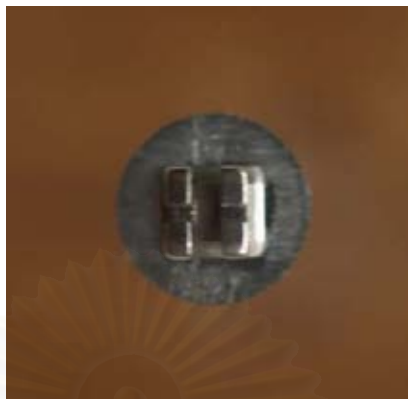
เมื่อทำการแช่ตัวอย่างครบตามเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างขึ้นจากสารละลายล้างตัวอย่างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น พร้อมทั้งทำการวัดค่าพีเอชของสารละลายทั้ง 3 อีกครั้งภายหลังจากการแช่ตัวอย่าง พร้อมทั้งจัดบันทึก

8. ถอดวงอีลาสโตเมอร์ออกจากแบร์ริกเกต พร้อมทั้งนำลวดออกจากแบร์ริกเกต จากนั้นสุ่มตัวอย่างแบร์ริกเกตและลวดจากกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 2 ตัวอย่าง นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อบันทึกลักษณะพื้นผิวของแบร์ริกเกตและลวดภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายตามระยะเวลาที่กำหนด
9. กำหนดระยะทางที่จะให้แท่งอะคริลิกยื่นออกมาจากเครื่องมือที่ติดกับส่วนครอสเฮด 30 มม. โดยใช้ปากกาเขียนแก้วกั้นน้ำขีดเส้นบนแท่งอะคริลิก (รูปที่ 43)



รูปที่ 43 การกำหนดระยะบนแท่งอะคริลิก

10. นำแบร์ริกเกตมายึดติดกับแท่งอะคริลิกด้วยกาวไซยาโนอะคริเลตโดยใช้เครื่องมือสำหรับยึดแบร์ริกเกตเพื่อให้แบร์ริกเกตอยู่ในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง



รูปที่ 44 ลักษณะแบร์กเกตที่ติดกับปลายแท่งอะคริลิกเรียบร้อยแล้ว

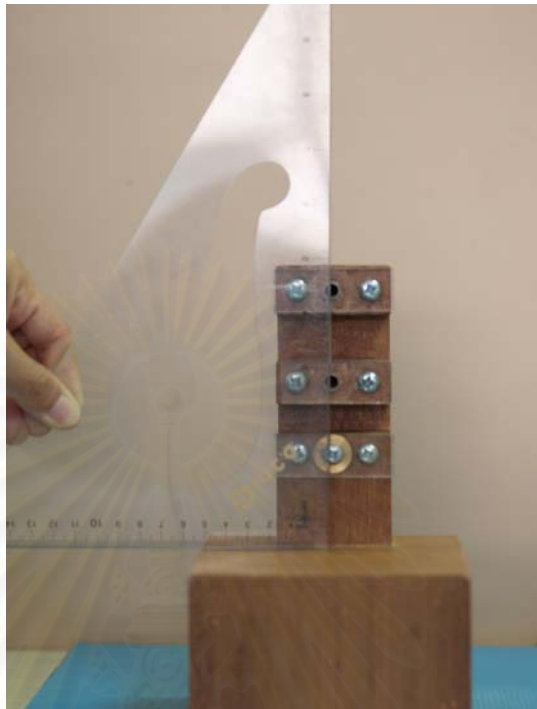
11. ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดชนิดต่าง ๆ โดยที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดเป็น 1° โดย

11.1. วางแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งฐานของเครื่องมือที่ใช้ยึดลวด



รูปที่ 45 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ใช้กำหนดตำแหน่งฐานของเครื่องมือที่ใช้ยึดลวด

11.2. กำหนดตำแหน่งที่จะยึดลวดให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้งโดยใช้ไม้ฉากแนบกับแผ่นอะคริลิกของเครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้ง โดยให้ฐานของไม้ฉากแนบกับฐานไม้ของเครื่องมือ (รูปที่ 46) จากนั้นใช้ปากกาเขียนแก้วกันน้ำขีดตำแหน่งที่จะยึดลวด

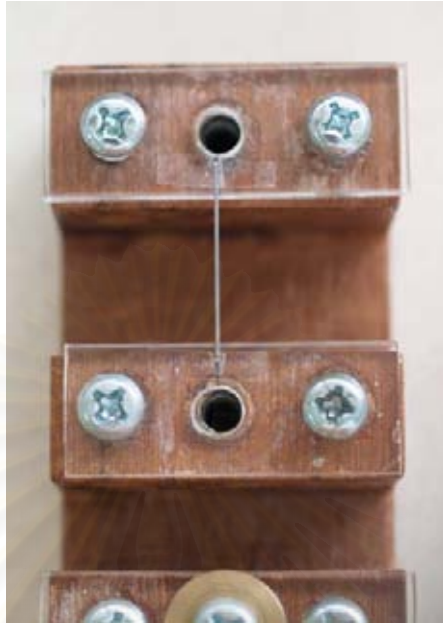


รูปที่ 46 การกำหนดตำแหน่งที่จะใช้ยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้งโดยใช้ไม้ฉาก



รูปที่ 47 ตำแหน่งที่สำหรับใช้ยึดลวด

- 11.3. ยึดลวดเข้ากับเครื่องมือสำหรับยึดลวดโดยติดเทปกาวยใส (รูปที่ 48) ใช้ไม้ฉากวัดอีกครั้งหนึ่งว่าลวดวางตัวอยู่ในแนวตั้งอย่างแท้จริง หลังจากนั้นไขวงแหวนโลหะยึดลวดให้แน่น (รูปที่ 49)



รูปที่ 48 ลักษณะลวดที่ถูกกำหนดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว และถูกยึดไว้ด้วยเทปกาวใส



รูปที่ 49 ลักษณะของลวดที่ยึดเข้ากับเครื่องมือสำหรับ ยึดลวดให้อยู่ในแนวตั้งเรียบร้อยแล้ว

11.4. วางเครื่องมือที่ใช้ยึดลวดลงบนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดในตำแหน่งที่กำหนด



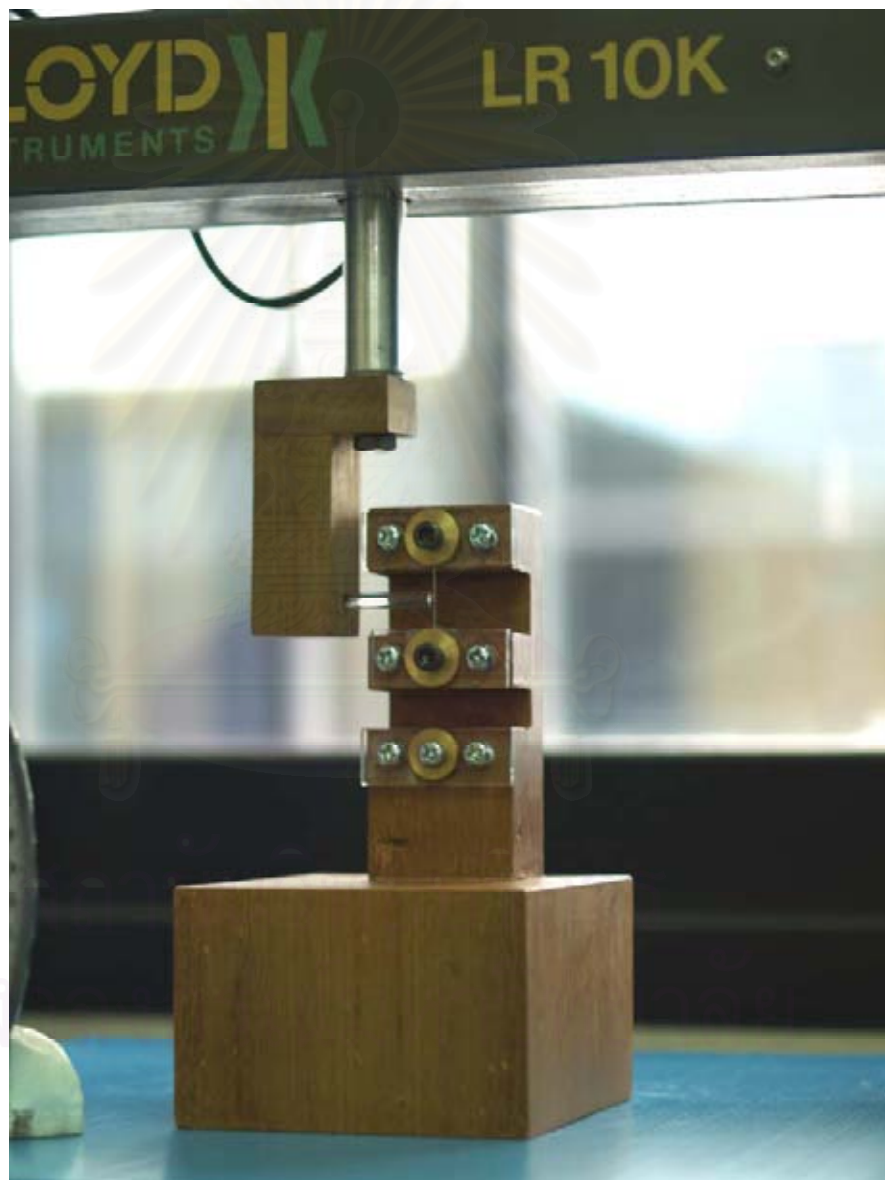
รูปที่ 50 การวางเครื่องมือที่ใช้ยึดลวดลงบนตำแหน่งที่กำหนดไว้บนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

11.5. ยึดแท่งอะคริลิกเข้ากับเครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิกให้ตรงกับเส้นที่เขียนไว้ด้วยปากกาเขียนแก้วก้นน้ำที่ขีดเตรียมไว้บนแท่งอะคริลิก (รูปที่ 51) ปรับมุมแบร์กเกตให้เป็น 1° โดยใช้เครื่องมือสำหรับตั้งมุม



รูปที่ 51 การยึดแท่งอะคริลิกเข้ากับเครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิก

- 11.6. ยึดเครื่องมือสำหรับยึดแท่งอะคริลิกเข้ากับส่วนโครสเฮด
- 11.7. ทำการมัดแบร์กเกตเข้ากับลวดด้วยวงอีลาสโทเมอร์ โดยใช้สเตเรท-ชูทเตอร์ เครื่องมือทั้งหมดจะอยู่ในสภาพที่พร้อมให้ทำการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานสถิต (รูปที่ 52)



รูปที่ 52 ลักษณะของเครื่องมือที่พร้อมทำการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานสถิต

- 11.8. ทดสอบแรงดึงโดยให้โครสเฮดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.1 มม./นาที เป็นเวลา 5 นาที

11.9. บันทึกค่าแรงเสียดทานสถิต โดยดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงกับระยะทางที่เบร็กเกิดเคลื่อนผ่านลวดไป โดยเลือกตำแหน่งที่สูงที่สุดของกราฟก่อนที่จะมีการเคลื่อนที่ลดลงหรือคงที่ โดยวัดเป็นหน่วยนิวตัน

12. ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดและลวดทั้ง 2 ชนิด ตามวัตถุประสงค์การวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวด 2 ชนิด โดยมีตัวแปรต้น 2 ตัว ดังนี้

ตัวแปรที่ 1 คือ ชนิดของลวด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม

ตัวแปรที่ 2 คือ ชนิดของสารละลายฟลูออไรด์ที่ใช้การแช่ตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ รวมถึงกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายฟลูออไรด์

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถเป็นไปได้อีก 4 กรณี ดังนี้

1. ตัวแปรที่ 1 เท่านั้นที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดและลวด
2. ตัวแปรที่ 2 เท่านั้นที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดและลวด
3. ทั้งตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 มีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดและลวด แต่ไม่มีอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกัน
4. ทั้งตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 มีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกิดและลวด และมีอันตรกิริยาระหว่างกัน

จากนั้นทำการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มโดยเลือกใช้สถิติพาราเมตริกหรือนอนพาราเมตริกตามผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ (normal distribution) โดยใช้การ

ทดสอบสถิติวันแชนเปิลโคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) ซึ่งต้องพิจารณาคู่กับผลการทดสอบจากผลการวิเคราะห์สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง ดังนี้

1. ในกรณีที่ผลการศึกษามีการกระจายแบบปกติ

1.1. ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางสรุปได้ว่ามีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง ซึ่งได้แก่ ชนิดของลวด และชนิดของสารละลายฟลูออไรด์

ทำการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นตัวแปรร่วม (combination) ของตัวแปรทั้งสอง

1.1.1 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวน (variance) เท่ากัน

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) ในกรณีผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการวิเคราะห์ต่อโดยการใช้อยู่สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparison) เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติบอนเฟอโรนนี่ (Bonferroni)

1.1.2 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิท (Brown-Forsyth) และถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการวิเคราะห์ต่อโดยการใช้อยู่สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู (Tamhane's T2)

1.2 ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง แต่พบว่าตัวแปรแต่ละตัวมีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

นำตัวแปรที่พบว่ามียุทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทีละตัวแปร

1.2.1 การพิสูจน์ทางสถิติว่าชนิดของลวดมีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตในลวดทั้ง 2 ชนิดเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายชนิดเดียวกัน โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที่ (Independent t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) เพื่อทดสอบว่าสารละลายนั้นมีผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดชนิดใดบ้าง

1.2.2 การพิสูจน์ทางสถิติว่าชนิดของสารละลายฟลูออไรด์มีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

1.2.2.1 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตในลวดแต่ละชนิดเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) เพื่อทดสอบว่าสารละลายแต่ละชนิดนั้นมีผลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดชนิดดังกล่าวหรือไม่

1.2.2.2 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิท (Brown-Forsyth) และถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการวิเคราะห์ต่อโดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู (Tamhane's T2)

1.3 ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง แต่พบว่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

1.3.1 กรณีที่พบว่าชนิดของลวดมีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบริกเกตและลวด แต่ชนิดของสารละลายไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิต

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเฉพาะข้อ 1.2.1

1.3.2 กรณีที่พบว่าชนิดของสารละลายฟลูออไรด์มีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบริกเกตและลวด แต่ชนิดของลวดไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงเสียดทานสถิต

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเฉพาะข้อ 1.2.2

2. ในกรณีที่ผลการศึกษามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ

ทำการทดสอบข้อมูลคล้ายกับในข้อ 1 แต่ใช้การทดสอบแบบครัสคาล-วัลลิสที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) แทนการวิเคราะห์และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก และใช้การทดสอบแบบแมน-วิทนียู (Mann-Whitney U Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) แทนสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

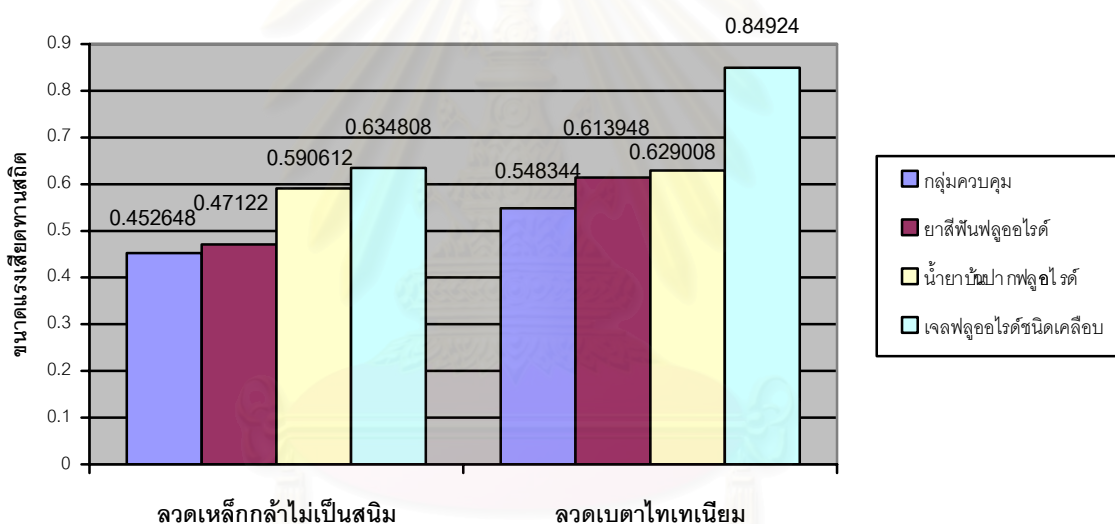
1. การทดสอบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

จากการศึกษาขนาดของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ภายหลังจากที่แช่แบร์ริกเกตและลวดในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และเจลฟลูออไรด์ ชนิดเคลือบ รวมทั้งกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 25 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าน้อยที่สุด (minimum, min) ค่ากลาง (median) และค่ามากที่สุด (maximum, max) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลาง และค่ามากที่สุด ระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม

ชนิดลวด	กลุ่มตัวอย่าง	Mean	SD	Min	Median	Max
ลวดเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิม	กลุ่มควบคุม	0.452648	0.197923	0.2235	0.4798	0.9526
	ยาสีฟันฟลูออไรด์	0.471220	0.154771	0.2315	0.4481	0.8868
	น้ำยาบ้วนปาก	0.590612	0.220887	0.2470	0.6326	1.1690
	เจลฟลูออไรด์	0.634808	0.237054	0.2900	0.6250	1.2190
ลวดเบตา ไทเทเนียม	กลุ่มควบคุม	0.548344	0.147629	0.3330	0.5260	0.8340
	ยาสีฟันฟลูออไรด์	0.613948	0.171928	0.3806	0.5822	0.9937
	น้ำยาบ้วนปาก	0.629008	0.217659	0.3310	0.5639	1.0503
	เจลฟลูออไรด์	0.849240	0.266665	0.3910	0.8160	1.4520

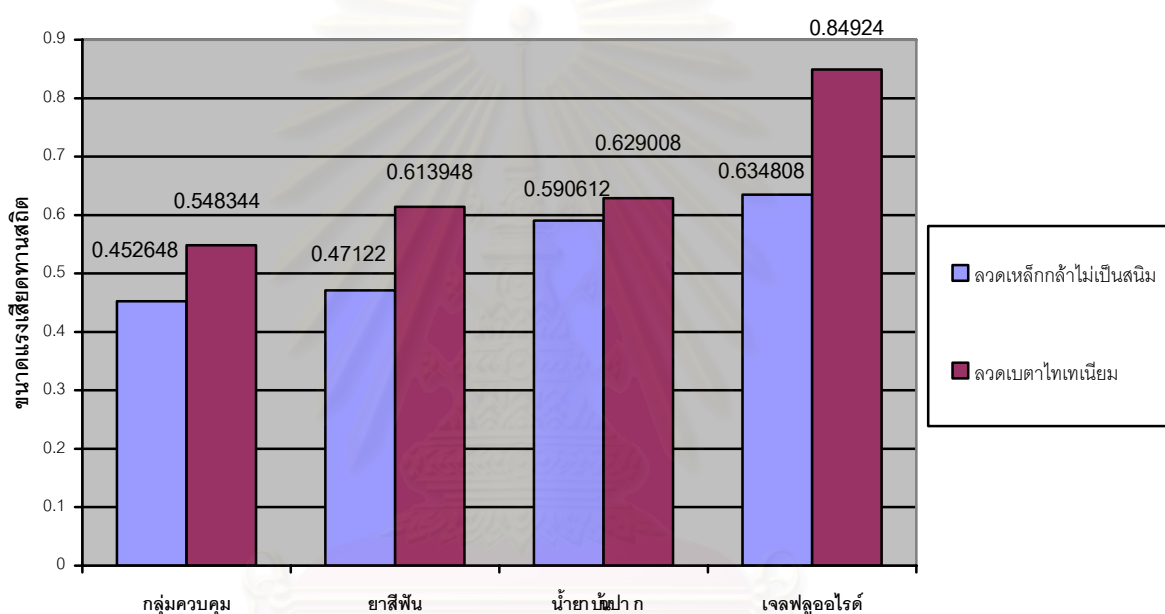
จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มต่าง ๆ มีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มควบคุมของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม กลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มควบคุมของลวดเบตาไทเทเนียม กลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ กลุ่มลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ กลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ และกลุ่มลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 53



รูปที่ 53 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเก็ตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม กับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตภายในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดชนิดเดียวกัน พบว่าทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มต่าง ๆ เรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มควบคุม กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมที่เกิดกับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน รวมทั้งค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มควบคุมของลวดทั้ง 2 ชนิด พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (รูปที่ 54)



รูปที่ 54 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมที่เกิดกับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน

เมื่อทำการทดสอบการกระจายแบบปกติ เพื่อนำผลไปเลือกใช้สถิติสำหรับวิเคราะห์ค่าแรงเสียดทาน โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) โดยทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows พบว่า ข้อมูลค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแชมเปิลโคโล-โมโกรอฟสเมอ์รโนฟ แสดงค่า p value ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$)

ชนิดลวด	p value ของกลุ่มตัวอย่าง			
	กลุ่มควบคุม	ยาสีพื้นผสม ฟลูออไรด์	น้ำยาบ้วนปาก ฟลูออไรด์	เจลฟลูออไรด์ ชนิดเคลือบ
ลวดเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิม	0.213	0.851	0.753	0.909
ลวดเบตา ไทเทเนียม	0.927	0.679	0.475	0.967

เมื่อทราบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการกระจายแบบปกติแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) เพื่อให้ทราบว่าตัวแปรใดที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้งชนิดของลวดและชนิดของสารละลายมีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแต่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

Dependent Variable: Static Friction

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.635 ^a	7	.376	8.912	.000
Intercept	71.695	1	71.695	1697.166	.000
WIRE	.754	1	.754	17.852	.000
SOLUTION	1.673	3	.558	13.200	.000
WIRE * SOLUTION	.208	3	.069	1.642	.181
Error	8.111	192	.042		
Total	82.441	200			
Corrected Total	10.746	199			

a. R Squared = .245 (Adjusted R Squared = .218)

จากผลของการทดสอบสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่พบว่าชนิดของลวดและชนิดของสารละลายมีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด แต่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง รวมทั้งผลของการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริกเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ต่างชนิดกัน และเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบทีเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดต่างชนิดกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมทุกกลุ่มมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน (ตารางที่ 11) ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมจำเป็นต้องใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอริชเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างแทนสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มทดลองที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม

Type of wire	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
SS	1.493	3	96	.221
TMA	3.349	3	96	.022

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม เมื่อผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ สารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ รวมทั้งกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) พบว่ามีกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวดแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ (ตารางที่ 12) จึงได้ทำการวิเคราะห์ต่อโดยการใช่วิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อ

พิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติบอนเฟอร์โรนี ได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลด เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพารามเมตริก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.597	3	.199	4.735	.004
Within Groups	4.035	96	.042		
Total	4.632	99			

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลด เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติบอนเฟอร์โรนี

Dependent Variable: Static Friction

Bonferroni

(I) Type of Solution	(J) Type of Solution	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Toothpaste	-.0185720	.0579851	1.000	-.174785	.137641
	Mouthwash	-.1379640	.0579851	.116	-.294177	.018249
	Fluoride Gel	-.1821600*	.0579851	.013	-.338373	-.025947
Toothpaste	Control	.0185720	.0579851	1.000	-.137641	.174785
	Mouthwash	-.1193920	.0579851	.253	-.275605	.036821
	Fluoride Gel	-.1635880*	.0579851	.035	-.319801	-.007375
Mouthwash	Control	.1379640	.0579851	.116	-.018249	.294177
	Toothpaste	.1193920	.0579851	.253	-.036821	.275605
	Fluoride Gel	-.0441960	.0579851	1.000	-.200409	.112017
Fluoride Gel	Control	.1821600*	.0579851	.013	.025947	.338373
	Toothpaste	.1635880*	.0579851	.035	.007375	.319801
	Mouthwash	.0441960	.0579851	1.000	-.112017	.200409

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 13 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม มีเพียงกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ที่มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) โดยมีค่าพีเท่ากับ 0.013 ($p=0.013$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลาย 3 ประเภท พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) โดยมีค่าพีเท่ากับ 0.035 ($p=0.035$) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทั้งกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันและกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติบอนเพอร์โรนี

ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	กลุ่มควบคุม	กลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	กลุ่มน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	กลุ่มเจลฟลูออไรด์
กลุ่มควบคุม	-	NS	NS	*
กลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	NS	-	NS	*
กลุ่มน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	NS	NS	-	NS
กลุ่มเจลฟลูออไรด์	*	*	NS	-

NS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, *** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

ส่วนในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมซึ่งมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิช ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) (ตารางที่ 15) ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 1 คู่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการวิเคราะห์ต่อโดยการนำสถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้ผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 15 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบรวาร์นฟอร์ดซิท

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	10.080	3	80.035	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู

Dependent Variable: Static Friction
Tamhane

(I) Type of Solution	(J) Type of Solution	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Toothpaste	-.0656040	.0453226	.634	-.190088	.058880
	Mouthwash	-.0806640	.0526004	.574	-.225845	.064517
	Fluoride Gel	-.3008960*	.0609604	.000	-.470205	-.131587
Toothpaste	Control	.0656040	.0453226	.634	-.058880	.190088
	Mouthwash	-.0150600	.0554742	1.000	-.167627	.137507
	Fluoride Gel	-.2352920*	.0634568	.004	-.410690	-.059894
Mouthwash	Control	.0806640	.0526004	.574	-.064517	.225845
	Toothpaste	.0150600	.0554742	1.000	-.137507	.167627
	Fluoride Gel	-.2202320*	.0688435	.015	-.409458	-.031006
Fluoride Gel	Control	.3008960*	.0609604	.000	.131587	.470205
	Toothpaste	.2352920*	.0634568	.004	.059894	.410690
	Mouthwash	.2202320*	.0688435	.015	.031006	.409458

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 16 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม มีเพียงกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ที่มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกตและลวดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99.9 % ($\alpha=0.001$) โดยมีค่าพีเท่ากับ 0.000 ($p=0.000$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมซึ่งผ่านการแช่ในสารละลาย 3 ประเภท พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟัน และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปาก

ฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha=0.01$) และ 95 % ($\alpha=0.05$) ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันและกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู

ลวดเบตาไทเทเนียม	กลุ่มควบคุม	กลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	กลุ่มน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	กลุ่มเจลฟลูออไรด์
กลุ่มควบคุม	-	NS	NS	***
กลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	NS	-	NS	**
กลุ่มน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	NS	NS	-	*
กลุ่มเจลฟลูออไรด์	***	**	*	-

NS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, *** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์เปรียบเทียบตามกลุ่มของสารละลายแต่ละชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) (ตารางที่ 18) พบว่า ในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha=0.01$) โดยมีค่าพีเท่ากับ 0.003 ($p=0.003$) และ 0.004 ($p=0.004$) ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มควบคุม และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม

ตารางที่ 18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม แบ่งตามกลุ่มของสารละลายแต่ละชนิด รวมทั้งกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที

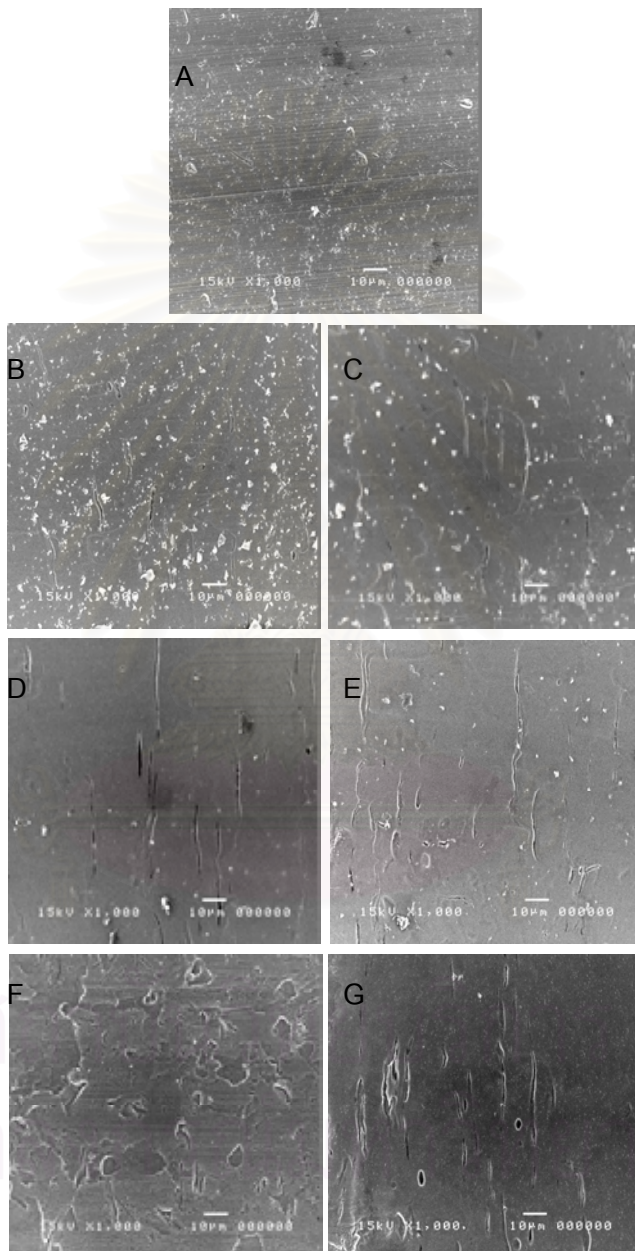
Type of Solution			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
			F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
										Lower	Upper
Control	Static Friction	Equal variances assumed	1.836	.182	-1.938	48	.059	-.0956960	.0493834	-.1949879	.0035959
		Equal variances not assumed			-1.938	44.393	.059	-.0956960	.0493834	-.1951968	.0038048
Toothpaste	Static Friction	Equal variances assumed	.411	.525	-3.085	48	.003	-.1427280	.0462658	-.2357517	-.0497043
		Equal variances not assumed			-3.085	47.479	.003	-.1427280	.0462658	-.2357781	-.0496779
Mouthwash	Static Friction	Equal variances assumed	.271	.605	-.619	48	.539	-.0383960	.0620215	-.1630986	.0863066
		Equal variances not assumed			-.619	47.990	.539	-.0383960	.0620215	-.1630993	.0863073
Fluoride Gel	Static Friction	Equal variances assumed	.193	.662	-3.005	48	.004	-.2144320	.0713595	-.3579100	-.0709540
		Equal variances not assumed			-3.005	47.350	.004	-.2144320	.0713595	-.3579609	-.0709031

ตารางที่ 19 ตารางแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม แบ่งตามกลุ่มของสารละลายแต่ละชนิด รวมทั้งกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบที

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวด 2 ชนิด	ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม	NS
การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ผ่านการแช่ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	**
การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ผ่านการแช่น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	NS
การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ผ่านการแช่เจลฟลูออไรด์	**

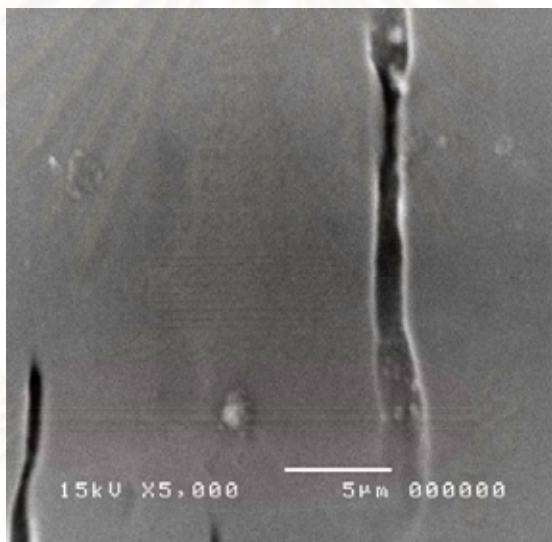
NS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, *** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

2. รูปถ่ายพื้นผิวของแบร็กเกตและลวดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 55 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (คอลัมน์ซ้าย) และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม (คอลัมน์ขวา) ในกลุ่มควบคุม (A, B) กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ (C, D) กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ (E, F) และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (G, H)

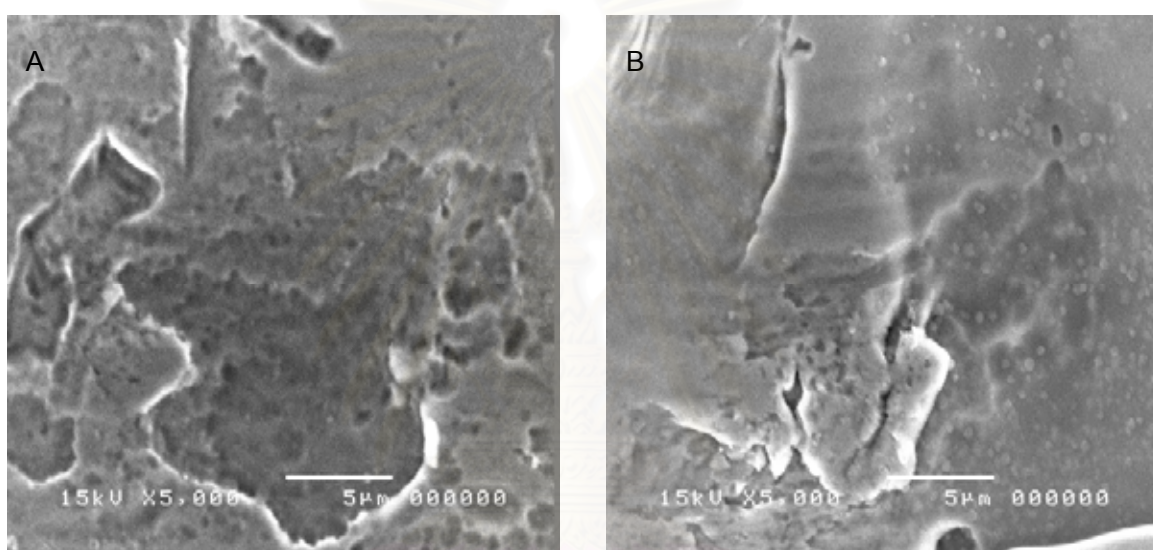
จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มตัวอย่างกลุ่มต่าง ๆ พบว่า พื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ จะมีลักษณะเรียบ มีเพียงรอยเส้นขนานบาง ๆ ในแนวขวางซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตแบร็กเกต (รูปที่ 55A) แต่ลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์ และแบร็กเกตที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์กลับพบร่อง (crevice) ที่เกิดจากการกัดกร่อนในแนวตั้งบนพื้นผิว ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับรอยที่เกิดการกระบวนการผลิตแบร็กเกต โดยร่องจากการกัดกร่อนเหล่านี้สามารถพบได้ทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม (รูปที่ 55B, 55C, 55D, 55E และ รูปที่ 56)



รูปที่ 56 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง ($\times 5000$) แสดงลักษณะการกัดกร่อนแบบร่อง

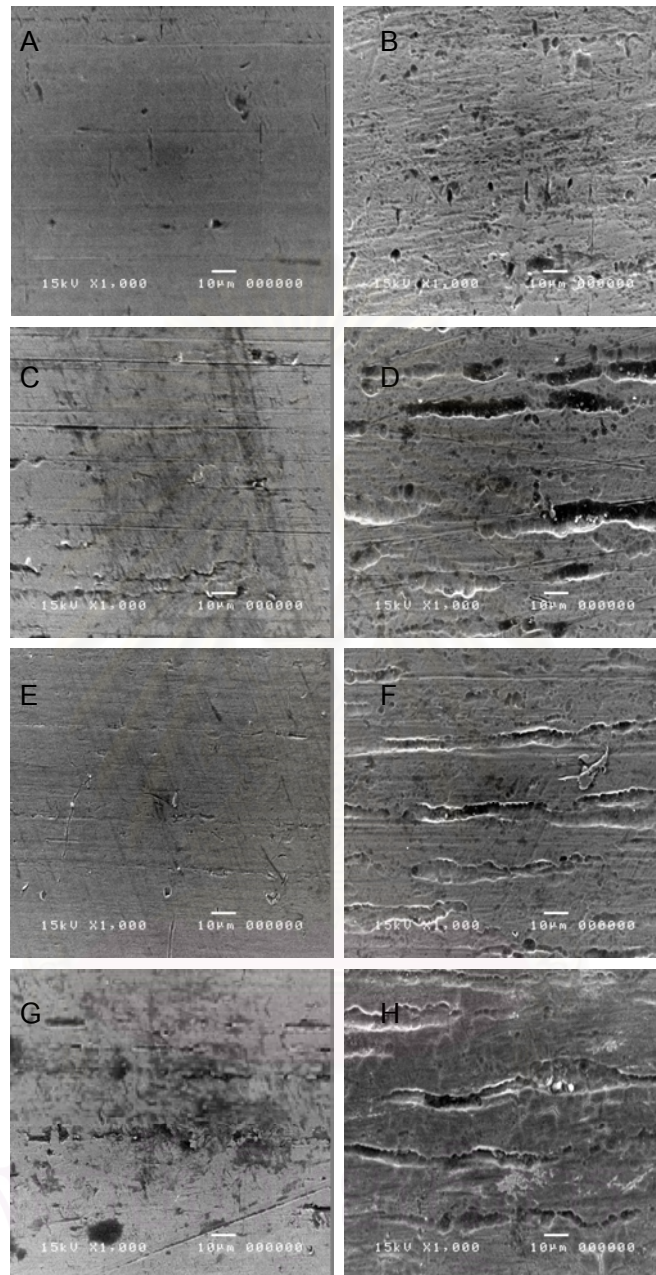
ส่วนในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบกลับพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม นั่นคือ ในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบพบว่า ไม่พบลักษณะการกัดกร่อนแบบเป็นร่องบนพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม แต่มีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายกับมีการหลุดลอกของพื้นผิวของโลหะเป็นแผ่น (รูปที่ 55F และ 57A) ส่วนพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบกลับพบลักษณะการกัดกร่อนเป็นร่องเช่นเดียวกับแบร็กเกต

ในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ แต่ร่องที่พบจะมีความกว้างและความลึกมากกว่า และมีจำนวนมากว่าที่พบในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ นอกจากนี้ยังพบการหลุดลอกของพื้นผิวของโลหะได้เช่นเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นที่สนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ แต่มีปริมาณน้อยกว่า (รูปที่ 55G และ 57B)



รูปที่ 57 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง ($\times 5000$) แสดงพื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นที่สนิมในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นที่สนิม (ซ้าย) และในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม (ขวา)

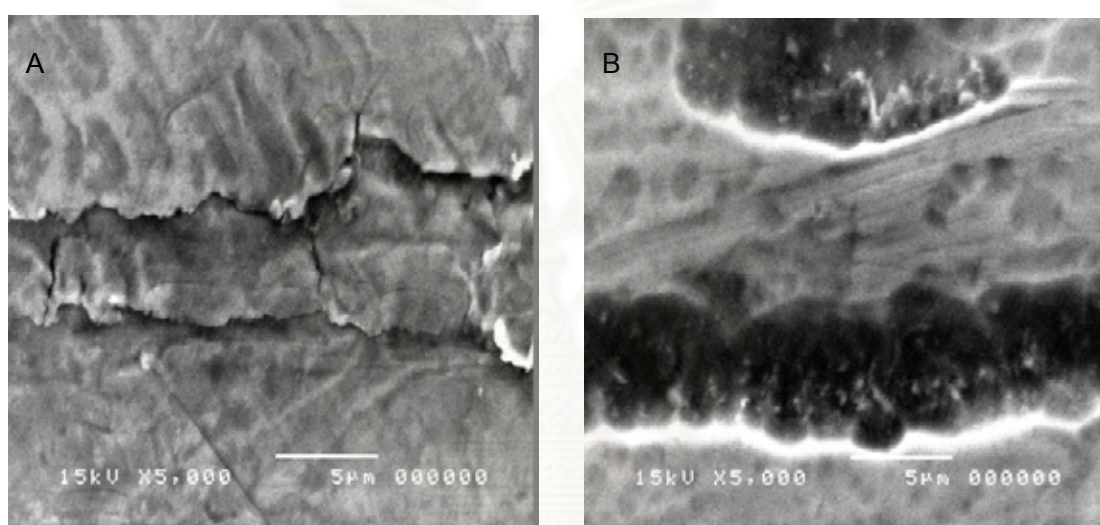
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของพื้นผิวลวดแต่ละชนิดระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายประเภทต่าง ๆ พบว่า ทั้งลวดเหล็กกล้าไม่เป็นที่สนิมและลวดเบตาไทเทเนียมมีการกัดกร่อนเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมก็พบว่า หลังจากผ่านการแช่ในสารละลายทั้ง 3 ประเภท ลวดทั้ง 2 ชนิดมีความขรุขระของพื้นผิวลวดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 58)



รูปที่ 58 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสแตนเลส (คออัลมันซ์าย) และลวดเบตาไทเทเนียม (คออัลมันซ์วา) ในกลุ่มควบคุม (A, B) กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ (C, D) กลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ (E, F) และกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (G, H)

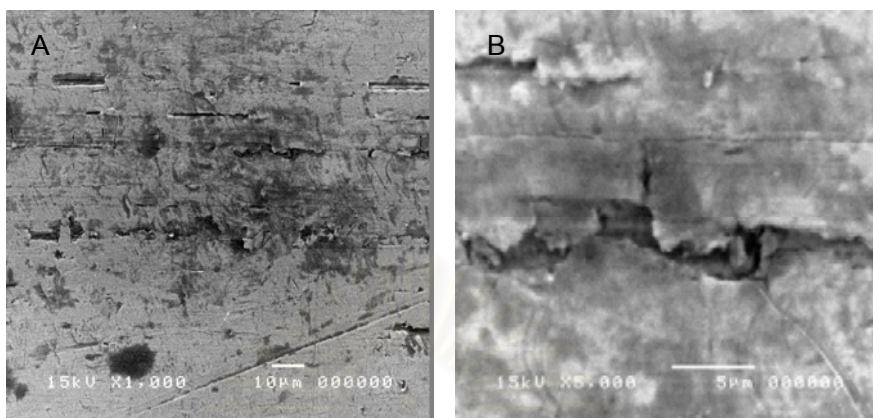
เมื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสแตนเลสเปรียบเทียบกับลวดเบตาไทเทเนียม (รูปที่ 58) พบว่า ในกลุ่มควบคุมที่ลวดไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสแตนเลสมีพื้นผิวเรียบกว่าลวดเบตาไทเทเนียมที่มีหลุม

และร่องมากมายบนพื้นผิว และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของพื้นผิวของลวดภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายแต่ละชนิดก็พบว่าลวดเบตาไทเทเนียมถูกกัดกร่อนได้มากกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างเห็นได้ชัดเจนเช่นกัน โดยการกัดกร่อนจะมีลักษณะเป็นร่องตามเส้นในแนวขวางที่เกิดจากกระบวนการผลิตลวดที่พบได้ทั้งในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียม ซึ่งร่องจากการกัดกร่อนเหล่านี้พบได้ในลวดเบตาไทเทเนียมมากกว่าในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม อีกทั้งยังมีความกว้างและลึกมากกว่าร่องที่พบในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอีกด้วย (รูปที่ 59)

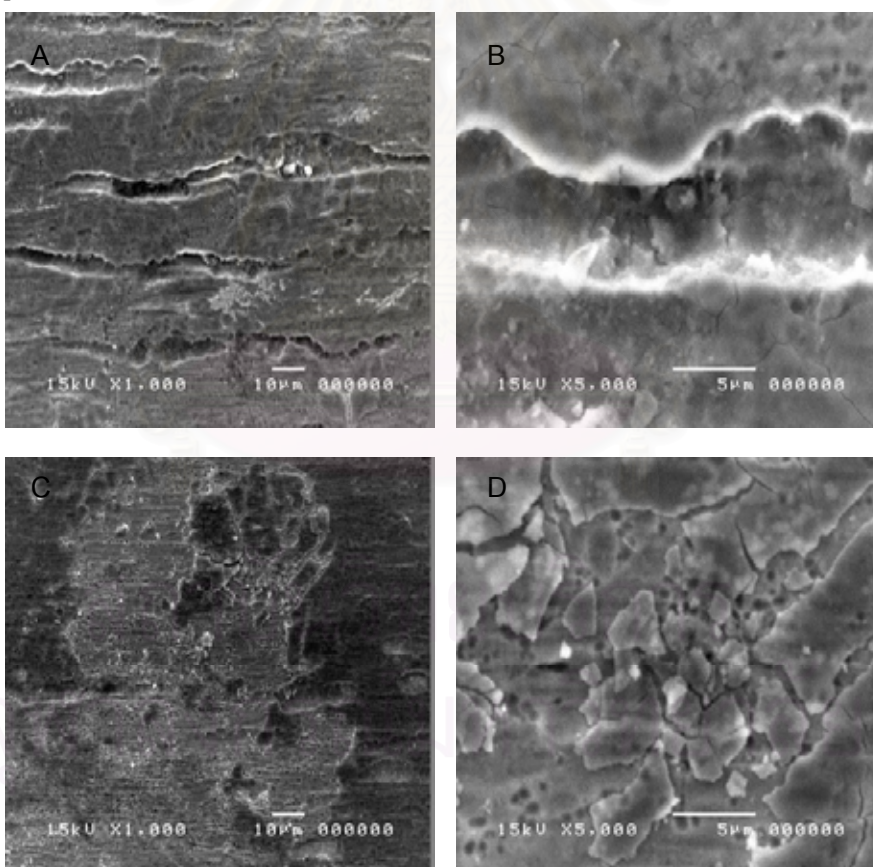


รูปที่ 59 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง ($\times 5000$) เปรียบเทียบร่องที่เกิดจากการกัดกร่อนในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (ซ้าย) และลวดเบตาไทเทเนียม (ขวา) ในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์

นอกจากนี้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของทั้งลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ยังแสดงให้เห็นลักษณะของการแตกร้าวของพื้นผิวของลวด นอกเหนือไปจากการกัดกร่อนแบบเป็นร่องตามแนวเส้นขวางที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยพบการแตกร้าวของพื้นผิวของลวดเบตาไทเทเนียมได้มากกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (รูปที่ 58G, 58H, รูปที่ 60 และ รูปที่ 61)



รูปที่ 60 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบที่กำลังขยายต่ำ (x 1000) (ซ้าย) และที่กำลังขยายสูง (x 5000) (ขวา)



รูปที่ 61 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบที่กำลังขยายต่ำ (x 1000) (ซ้าย) และที่กำลังขยายสูง (x 5000) (ขวา)

3. ค่าพีเอชของสารละลาย

จากการวัดค่าพีเอชของสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ก่อนและหลังการแช่กลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยของค่าพีเอชของสารละลายดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าพีเอชของสารละลายฟลูออไรด์ก่อนและหลังการแช่ตัวอย่าง

พีเอช	ค่าพีเอชก่อนแช่		ค่าพีเอชหลังแช่	
	กลุ่มตัวอย่าง		กลุ่มตัวอย่าง	
สารละลาย	SS	TMA	SS	TMA
สารละลายจาก ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	7.00	7.00	7.01	7.01
สารละลายจาก น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	6.09	6.09	6.12	6.11
สารละลายจาก เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ	5.18	5.18	5.29	5.26

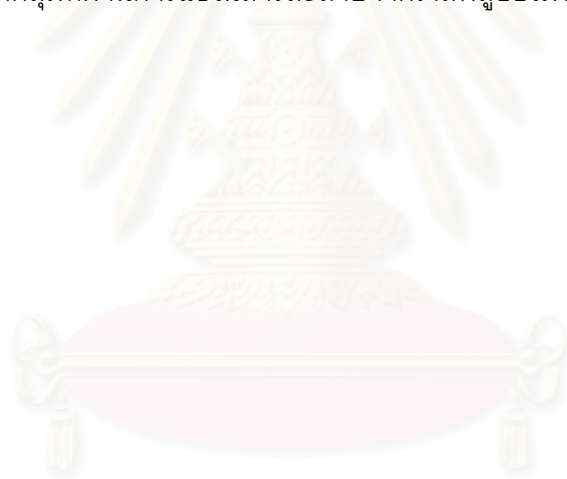
4. การเปลี่ยนสีของโลหะภายหลังการแช่ในสารละลายประเภทต่าง ๆ

ภายหลังจากที่แช่ตัวอย่างในสารละลายประเภทต่าง ๆ พบว่า ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลวดในกลุ่มควบคุม ในขณะที่ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ไม่พบว่ามี การเปลี่ยนสีแต่อย่างใด

ส่วนแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่สนิมและลวดเหล็กกล้าไม่สนิมไม่พบว่าการเปลี่ยนสีเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 62 การเปรียบเทียบสีของลวดเบตาไทเทเนียมจากกลุ่มควบคุม (ซ้าย)
และจากกลุ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ (ขวา)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม กับลวดขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² 3 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ที่อาจเกิดขึ้นภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ โดยได้มีการคำนึงถึงปัจจัยทั้งทางด้านชนิดของลวด และชนิดของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์

สาเหตุที่การวิจัยในครั้งนี้เลือกศึกษาในลวดเหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว² เนื่องจากเป็นขนาดลวดที่นิยมใช้ในการเคลื่อนที่ฟันเขี้ยวไปทางด้านไกลกลางแบบเลื่อนไถลในแบร์ริกเกตที่มีร่องขนาด 0.018×0.025 นิ้ว² ส่วนการที่เลือกมุมกระทำระหว่างลวดและร่องแบร์ริกเกตเป็น 1° เนื่องจากเป็นค่าประมาณของมุมวิกฤตที่มีขนาด 0.8310° โดยการกำหนดขนาดมุมในการวิจัยให้เท่ากับมุมวิกฤตจะเป็นการควบคุมพื้นที่การสัมผัสกันระหว่างแบร์ริกเกตและลวดให้จำกัดอยู่ในแนวทแยงมุมทุกครั้งที่ทำการศึกษา ซึ่งแตกต่างไปจากการกำหนดค่ามุมในการวิจัยให้เป็น 0° ที่อาจจะมีการสัมผัสกันระหว่างแบร์ริกเกตและลวดได้หลากหลายรูปแบบ

การทำงานวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาเฉพาะแรงเสียดทานสถิต เนื่องจากต้องการจำลองการเคลื่อนที่ฟันที่เกิดขึ้นจริงทางคลินิกที่ไม่ได้เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง แต่จะเคลื่อนในลักษณะล้มเอียงจนมีการสัมผัสกันระหว่างแบร์ริกเกตและลวด แล้วจึงเริ่มตั้งตรงขึ้นจากแรงคู่ควบจากการสัมผัส สลับกันเป็นวงจรเช่นนี้เรื่อยไป (Frank และ Nikolai, 1980; Kapila และคณะ, 1990) ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลจึงขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแรงเสียดทานจลน์

ระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างและความเข้มข้นของสารละลายแต่ละชนิดในงานวิจัยครั้งนี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการแช่คำนวณจากเวลารวมที่ผู้ป่วยใช้ผลิตภัณฑ์จริงในชีวิตประจำวันในช่วงเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ลวดเหล็กมี 1 เส้น มักจะถูกใช้อย่างต่อเนื่องในช่องปาก ส่วนความเข้มข้นของสารละลายจะคำนวณจากปริมาณสารละลายที่ผู้ป่วยใช้ผลิตภัณฑ์จริงในชีวิตประจำวัน ปริมาณน้ำลายที่คงอยู่ในช่องปาก และอัตราการหลั่งของน้ำลายเมื่อถูกกระตุ้น เพื่อให้การทดลองมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของลวดในช่องปากให้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ในผู้ป่วยจริงจะมีการใช้แบร็กเกตอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่มีการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น ซึ่งมักจะใช้ระยะเวลาในการรักษาประมาณ 2 ปี ดังนั้นแบร็กเกตที่ใช้งานจริงจึงมีการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์อย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่าแบร็กเกตที่ใช้ในการทดลอง จึงสามารถคาดเดาได้ว่าแบร็กเกตที่ใช้งานจริงในช่องปากของผู้ป่วยน่าจะมีการกัดกร่อนมากกว่าสภาพที่เห็นได้จากผลของการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้แรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากมีค่ามากกว่าค่าที่จากผลการทดลองเช่นกัน

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตภายในในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดชนิดเดียวกัน พบว่าทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มต่าง ๆ เรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายใด ๆ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ตามลำดับ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติกลับพบว่า ทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม มีเพียงกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตมากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) และ 99.9 % ($\alpha=0.001$) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kao และคณะ (2006) ที่พบว่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการแช่ในเจลแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ผ่านการแช่ในน้ำลายเทียม

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลาย 3 ประเภท พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่าน

การแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทั้งค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มอื่น ๆ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้หลอดเบตาไทเทเนียม พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์เช่นกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha=0.01$) และมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) อีกด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันและกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก็แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน นั่นคือ พื้นผิวของแบร็กเกตและลวดทั้งสองชนิดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบแสดงให้เห็นการกัดกร่อนที่มากกว่าพื้นผิวของแบร็กเกตและลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์อย่างเห็นได้ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะลักษณะการกัดกร่อนของพื้นผิวของลวดระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างชนิดกันพบว่า ลักษณะการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ นอกจากจะมีการกัดกร่อนเป็นร่องตามเส้นในแนวขวางที่เกิดจากกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์แล้ว ยังมีการแตกร้าวและหลุดลอกของพื้นผิวลวดที่เห็นได้ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะลักษณะการกัดกร่อนของพื้นผิวของแบร็กเกตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างชนิดกันพบว่า แบร็กเกตที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ จะมีลักษณะการถูกกัดกร่อนเป็นร่องลึกและแคบ กระจายตัวอยู่ทั่วไป แต่พื้นผิวส่วนใหญ่ของแบร็กเกตยังมีความเรียบเหมือนกับแบร็กเกตในกลุ่ม

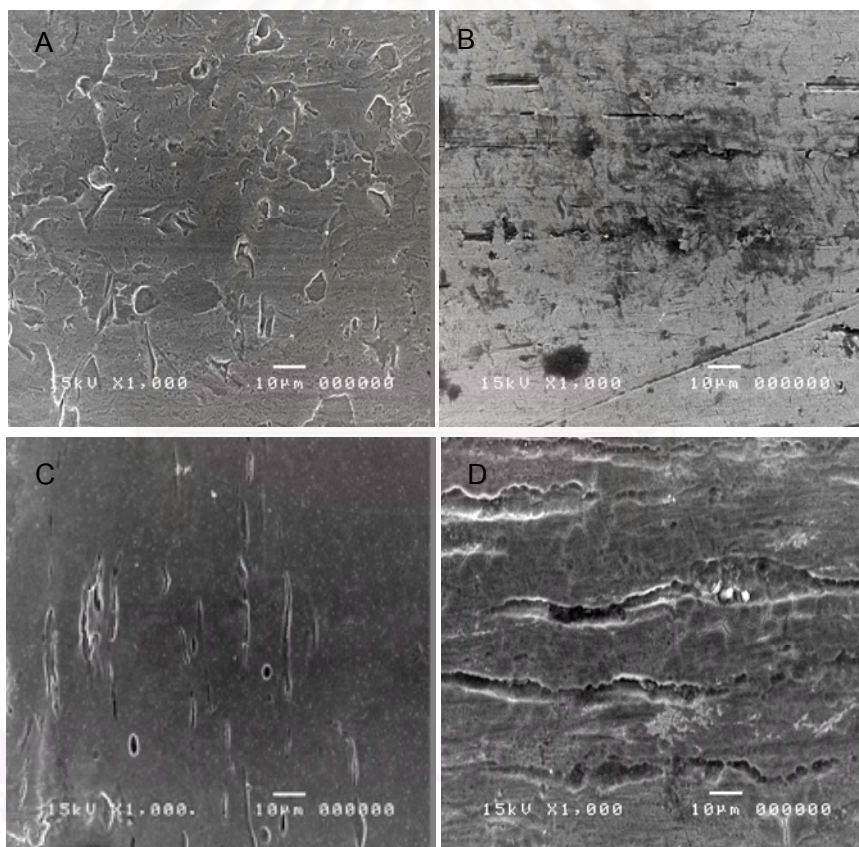
ควบคุม ในขณะที่ภาพถ่ายของพื้นผิวของแบร็กเกตที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบแสดงให้เห็นการหลุดลอกของพื้นผิวส่วนบนของโลหะ ซึ่งมีลักษณะเป็นแอ่งกว้าง ทำให้พื้นผิวแบร็กเกตมีความขรุขระมากกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่น ๆ

อย่างไรก็ตาม ยังมีความแตกต่างของลักษณะการกัดกร่อนของพื้นผิวแบร็กเกตในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม โดยในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมพบว่า พื้นผิวของแบร็กเกตมีการหลุดลอกเป็นแผ่น ทำให้เกิดลักษณะเป็นแอ่งกว้าง แต่ไม่พบลักษณะการกัดกร่อนแบบเป็นร่อง ในขณะที่พื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมกลับพบลักษณะการกัดกร่อนเป็นร่องเช่นเดียวกับแบร็กเกตในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ แต่ร่องที่พบจะมีความกว้างและความลึกมากกว่า นอกจากนี้ยังพบการหลุดลอกของพื้นผิวของโลหะได้เช่นเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ แต่มีการหลุดลอกของพื้นผิวในปริมาณที่น้อยกว่า

สาเหตุที่ลักษณะการกัดกร่อนของพื้นผิวแบร็กเกตจากสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมมีความแตกต่างกันอาจสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการกัดกร่อนแบบกัลวานิก นั่นคือ เมื่อโลหะ 2 ชนิดอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เดียวกัน โลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานสูงกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด มีการรับอิเล็กตรอน ส่วนโลหะที่มีค่าศักย์รีดักชันมาตรฐานต่ำกว่า จะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีการสูญเสียอิเล็กตรอน ทำให้มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด หลักการนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมของโลหะที่แช่อยู่ในน้ำหรือฝังอยู่ในดินในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น การต่อถังแก๊สหรืออะลูมิเนียมเข้ากับท่อน้ำมันที่ทำจากเหล็กที่ฝังอยู่ในดิน เพื่อให้ถังแก๊สหรืออะลูมิเนียมที่มีราคาสูงกว่าทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด แยกจ่ายอิเล็กตรอนและเกิดการกัดกร่อนแทน ทำให้ท่อเหล็กไม่เกิดสนิม กระบวนการนี้เรียกว่า การป้องกันแบบแคโทดิก (cathodic protection)

จากผลของการศึกษาครั้งนี้ ในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมพบว่า พื้นผิวของแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมถูกกัดกร่อนอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวแบร็กเกตในกลุ่มตัวอย่างกลุ่มอื่น ๆ (รูปที่ 63A) แต่ในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แบร็กเกต

เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเบตาไทเทเนียมกลับพบว่า พื้นผิวของแบร์กเกตมีการกัดกร่อนน้อยกว่า แบร์กเกตในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 63C) ในขณะที่พื้นผิวของลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มนี้กลับมีการกัดกร่อนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มอื่น ๆ (รูปที่ 63D) ดังนั้นจึงอาจคาดเดาได้ว่า เมื่อมีสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบเป็นอิเล็กโทรไลต์ ลวดเบตาไทเทเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างมากของพื้นผิวลวด ส่วนแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด จึงเกิดการกัดกร่อนได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านเคมีไฟฟ้า หรือการวัดปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโลหะออกสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อหาข้อสรุปที่แน่นอนเพื่อนำข้อมูลมาอธิบายผลที่เกิดขึ้นนี้ต่อไป

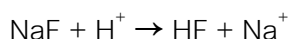


รูปที่ 63 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของแบร์กเกต (ซ้าย) และลวด (ขวา) ในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (A และ B) เปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม (C และ D) เมื่อผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

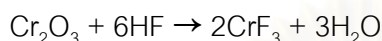
เมื่อพื้นผิวของแบร็กเกตและลวดถูกกัดกร่อน จึงทำให้พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น และส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดตามมาได้ ดังนั้นในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบจึงมีแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากมีการกัดกร่อนของพื้นผิวแบร็กเกตและลวดอย่างมาก ส่วนการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับพื้นผิวแบร็กเกตและลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์และน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

สาเหตุที่กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีการกัดกร่อนของพื้นผิวแบร็กเกตและลวดมากกว่าในกลุ่มตัวอย่างกลุ่มอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนสูงถึง 12,282.80 พีพีเอ็ม ซึ่งมากกว่าสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ ที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 996.02 พีพีเอ็ม และ 225.97 พีพีเอ็มตามลำดับ เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบจึงสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนของพื้นผิวแบร็กเกตและลวดได้มากกว่ายาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดนิกเกิลไทเทเนียมเมื่อแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ของ Huang (2007) ที่พบว่า ลวดที่ผ่านการแช่ในน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ และในน้ำลายเทียมที่ผสมยาสีฟันฟลูออไรด์ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของฟลูออไรด์ต่ำ (น้อยกว่า 2,500 พีพีเอ็ม) มีระดับของการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดไม่แตกต่างกับลวดในกลุ่มควบคุมที่ผ่านการแช่ในน้ำลายเทียม ในขณะที่พบว่าพื้นผิวของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในเจลฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูง (17,000 พีพีเอ็ม) มีการกัดกร่อนของพื้นผิวมากกว่าลวดในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์สูงน่าจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะได้มากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ต่ำ

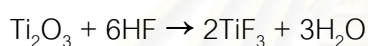
อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของฟลูออไรด์มิใช่ปัจจัยประการเดียวที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่าแรงเสียดทานสถิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุอีกประการหนึ่งคือ ความเป็นกรดของสารละลาย เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรด สารประกอบฟลูออไรด์ที่มีประจุ เช่น ไฮเดียมฟลูออไรด์หรือไฮโดรเจนฟลูออไรด์สามารถทำลายชั้นของฟิล์มออกไซด์ที่อยู่บนผิวของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และโลหะผสมไทเทเนียมได้ เพราะสารประกอบฟลูออไรด์จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนทำให้เกิดกรดไฮโดรฟลูออริกขึ้น ดังสมการ



บนพื้นผิวของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม กรดไฮโดรฟลูออริกที่ได้นี้จะทำปฏิกิริยากับโครเมียมออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



และบนพื้นผิวของโลหะผสมไทเทเนียม กรดไฮโดรฟลูออริกที่ได้นี้จะทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียชั้นของฟิล์มออกไซด์ที่ปกป้องพื้นผิวของโลหะไป โลหะจึงมีการดูดซึมไฮโดรเจนเกิดขึ้นเช่นกัน ทำให้มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น (Nakagawa และคณะ, 1999; Huang, 2003)

ผลการศึกษาล่าสุดส่วนใหญ่พบว่า สารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำหรือมีความเป็นกรดสูงจะเล็ดอำนาจทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะได้มากกว่าสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงหรือมีความเป็นกรดน้อยกว่า (Reclaru และ Meyer, 1998; Schiff และคณะ, 2002) และผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่าพีเอช 5.18 ซึ่งต่ำกว่าสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ ที่มีค่าพีเอช 6.09 และ 7.00 ตามลำดับ สารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบจึงมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบถูกกัดกร่อนได้มากกว่ากลุ่มตัวอย่างในกลุ่มอื่น ๆ และส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานระหว่างแปรงเกิดและลวด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yoshiki และคณะ (2005) ที่พบว่าแปรงเกิดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมสามารถถูกกัดกร่อนในเจลแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.23 (พีเอช 3.5)

ได้มากกว่าน้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.0 (พีเอช 7.0) ทั้งที่น้ำยาโซเดียมฟลูออไรด์มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนสูงกว่า

แต่จวบจนถึงปัจจุบัน ยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนว่าในสภาวะที่เป็นกลางจะเกิดการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและโลหะผสมไทเทเนียมหรือไม่ จากการศึกษาของ Reclaru และ Meyer (1998) พบว่าโลหะไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมจะไม่เกิดการกัดกร่อนในสารละลายที่มีค่าพีเอชตั้งแต่ 3.5 ขึ้นไป ถึงแม้ว่าในสารละลายนั้นจะมีฟลูออไรด์อยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม ในขณะที่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 3.5 และมีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมอย่างมาก และจากการศึกษาของ Watanabe และ Watanabe (2003) ได้ข้อสรุปว่าไม่พบการกัดกร่อนของลวดเบตาไทเทเนียมในสภาวะที่เป็นกลางเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นกับทั้งแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 6.09 และ 7.00 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Schiff และคณะ (2002) ที่พบว่า เมื่อมีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบในสารละลาย โลหะผสมไทเทเนียมสามารถถูกกัดกร่อนได้ทั้งในสภาวะเป็นกลางและเป็นกรด และจากการศึกษาของ Walker และคณะ (2007) ที่พบว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมนั้นเกิดการกัดกร่อนได้ทั้งในสารละลายฟลูออไรด์ที่เป็นกลางและเป็นกรดเช่นกัน

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับทั้งแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ที่พบได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำมาอธิบายสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มควบคุม ถึงแม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม

ส่วนสาเหตุที่ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดทั้งสองชนิดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์แสดงการกัดกร่อนมากกว่าพื้นผิวลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ เนื่องมาจากระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลายทั้ง 2

ชนิดนั้นไม่เท่ากัน โดยได้ทำการแช่กลุ่มตัวอย่างในสารละลายจากยาสีฟันเป็นเวลา 5 ชม. 36 นาที ในขณะที่ได้ทำการแช่กลุ่มตัวอย่างในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์เป็นเวลา 1 ชม. 24 นาที เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการแช่กลุ่มตัวอย่างคำนวณจากเวลารวมที่ผู้ป่วยใช้ผลิตภัณฑ์จริงในชีวิตประจำวันในช่วงเวลา 12 สัปดาห์ อีกทั้งสารละลายจากยาสีฟันมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน มากกว่าสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ โดยมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 996.02 พีพีเอ็ม และ 225.97 พีพีเอ็มตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างกันของการกัดกร่อนของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายทั้งสองยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าแรงเสียดทานสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติระหว่างแบร์ริเกตและลวดสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha=0.01$) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิติของลวดเบตาไทเทเนียมในกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมในทั้ง 2 กลุ่มนี้ก็มีความมากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิติของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาส่วนใหญ่ที่ทำการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานที่เกิดจากลวดชนิดต่าง ๆ ที่พบว่า ลวดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อใช้กับแบร์ริเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม คือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ส่วนลวดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุดคือ ลวดเบตาไทเทเนียม (Garner, Allai และ Moore, 1986; Tidy, 1989; Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989; Kapila และคณะ, 1990; Pratten และคณะ, 1990; Angolkar และคณะ, 1990; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Ireland, Sherriff และ McDonald, 1991; Omana และคณะ, 1992; Vanghan และคณะ, 1995; Michelberger และคณะ, 2000) สาเหตุที่ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเบตาไทเทเนียมนั้นเนื่องมาจากการที่ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีพื้นผิวเรียบที่กว่าลวดเบตาไทเทเนียม (Kusy และคณะ 1988) อย่างไรก็ตามความหยาบของพื้นผิวลวดมิใช่ตัวชี้วัดค่าแรงเสียดทานเพียงปัจจัยเดียว เพราะจากการศึกษาของ Kusy และ Whitley (1990) พบว่า ลวดเบตาไทเทเนียมที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุดกลับมีความหยาบของ

พื้นผิวน้อยกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม เนื่องจากในสภาวะแห้งลวดเบตาไทเทเนียมจะเกิดจุดเชื่อมต่อขนาดเล็กกับแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม จึงทำให้มีแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Kusy และ Whitley, 1990; Kusy, Whitley และ de Araujo Gurgel, 2004) อีกทั้งภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวลวดในการศึกษาค้างนี้ก็แสดงให้เห็นถึงการกัดกร่อนของลวดเบตาไทเทเนียมที่เกิดขึ้นมากกว่าการกัดกร่อนของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ประเภทต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Walker และคณะ (2007) ที่พบว่า โลหะผสมไทเทเนียมจะถูกกัดกร่อนได้มากกว่าเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และการศึกษาของ Kao และคณะ (2006) ที่พบว่า เมื่อผ่านการแช่ในแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียมจะมีค่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากการสังเกตสีของแบร์ริกเกตและลวดภายหลังจากที่แช่ตัวอย่างในสารละลายประเภทต่าง ๆ ใน การศึกษาค้างนี้ พบว่า ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลวดในกลุ่มควบคุม ในขณะที่ลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่พบว่ามี การเปลี่ยนสีแต่อย่างใด ซึ่งได้เคยมีการรายงานการเปลี่ยนสีของโลหะผสมไทเทเนียมภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายฟลูออไรด์ไว้ในการศึกษาของ Watanabe และ Watanabe (2003) ซึ่งพบว่า ลวดเบตาไทเทเนียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดคอปเปอร์นิกเกิลไทเทเนียมจะมีการเปลี่ยนสีเมื่อแช่ในเจลชนิดแอซิดูเลตเตทฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 3.5 เป็นเวลา 24 ชม. และในการศึกษาของ Kwon และคณะ (2005) ซึ่งพบว่า ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะมีการเปลี่ยนสีภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายฟลูออไรด์ที่มีค่าพีเอช 4 เป็นเวลา 3 วัน

การเปลี่ยนสีของโลหะผสมไทเทเนียมเกิดจากการที่ความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวของโลหะบางลง เนื่องจากชั้นฟิล์มออกไซด์ของโลหะเหล่านี้ได้ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกที่ได้มาจากสารละลายฟลูออไรด์ (Cotton และ Hayfield, 1967; Pan, Thierry และ Leygraf, 1996) ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดไทเทเนียมเตตระฟลูออไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ จึงถูกละลายออกไปจากผิวหน้าของโลหะผสมไทเทเนียม

ส่วนแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่สนิมและลวดเหล็กกล้าไม่สนิมที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ไม่พบว่าการเปลี่ยนสีเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิด แต่อย่างไรก็ตาม

การศึกษาของ Jang และคณะ (2006) พบว่า เมื่อแช่แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในสารละลายไฮโดรฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่มีค่าพีเอช 3.5 แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ไม่มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนประกอบจะมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น ในขณะที่แบร็กเกตที่มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนประกอบจะไม่มี การเปลี่ยนสี จึงคาดว่าโมลิบดีนัมเป็นธาตุที่ช่วยให้ชั้นฟิล์มออกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ยากมากขึ้น นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยได้คาดว่ากระบวนการผลิตแบร็กเกตก็น่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อเปลี่ยนสีของแบร็กเกตได้เช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

4. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเบตาไทเทเนียม ภายหลังจากที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตกับลวดที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha=0.05$) และ 99.9 % ($\alpha=0.001$) ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ มีค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตไม่แตกต่างจากแบร็กเกตกับลวดที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
5. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha =0.05$) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทั้งกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟัน และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

6. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดชนิดเดียวกันที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha = 0.01$) และ 95 % ($\alpha = 0.05$) ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันและกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
7. ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเบตาไทเทเนียมที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ได้จากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ชนิดเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha = 0.01$) ส่วนกลุ่มควบคุม และกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดเบตาไทเทเนียม
8. จากผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้สรุปได้ว่าการเคลือบเจลฟลูออไรด์อาจทำให้ค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเพิ่มขึ้นได้ในผู้ป่วยจริง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการเคลือบเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันแบบติดแน่น

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแรงเสียดทานสถิตในสภาวะแห้ง ซึ่งไม่เหมือนกับสภาวะจริงในช่องปาก ดังนั้นการนำผลการวิจัยนี้ไปใช้กับผู้ป่วยจริงจึงอาจไม่ได้ผลเป็นไปตามการ

ทดลองทั้งหมด จึงควรที่จะมีการศึกษาต่อไปในสภาวะที่มีน้ำลายร่วมอยู่ด้วย หรือ ทำการศึกษาจากหลอดที่ผ่านการใช้งานจริงจากช่องปากของผู้ป่วย

2. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการดึงแบคทีเรียให้เคลื่อนผ่านหลอดตรง ซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริง ที่เป็นการเคลื่อนฟันไปตามหลอดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน แต่ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแรงเสียดทานสถิตที่สามารถดึงแบคทีเรียได้เฉพาะในแนวเส้นตรงเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรที่จะศึกษาในเครื่องมือที่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของฟันให้เหมือนกับการเคลื่อนที่จริงในช่องปากให้มากที่สุด
3. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวัดขนาดแรงเสียดทานสถิตในทันทีที่ใช้ยางมัดหลอดเข้ากับแบคทีเรีย ซึ่งโดยปกติแล้ววงอีลาสโตเมอร์จะมีการสูญเสียแรงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชม. แรก ภายหลังจากการมัดหลอดเข้ากับแบคทีเรียในช่องปาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรที่จะมัดหลอดเข้ากับแบคทีเรียและปล่อยให้อยู่ในสภาวะจำลองของช่องปากอย่างน้อย 24 ชม. เพื่อให้วงอีลาสโตเมอร์มีการสูญเสียแรงการวัดขนาดแรงเสียดทานเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการนำไปใช้ในทางคลินิกมากที่สุด
4. จากประสบการณ์การทำงานทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำให้ทราบว่าควรจะทำการศึกษาทดลองอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีการตั้งค่าเครื่องลดยดัญนิเวอซัลเทสติงแมชชีนเพียงครั้งเดียวตอนเริ่มต้นการทดลอง เนื่องจากการตั้งค่าหลายครั้งอาจจะส่งผลกระทบต่อค่าแรงเสียดทานสถิตในแต่ละครั้งได้
5. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านไฟฟ้าเคมี หรือการวัดปริมาณไอออนของโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สารละลายเนื่องจากการกัดกร่อนโดยผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ เพื่อศึกษาถึงกลไกการกัดกร่อน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของผู้ป่วย
6. ในอนาคตควรมีการศึกษาค้นคว้าหาผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ป้องกันฟันผุ แต่ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟัน เพื่อใช้ทดแทนฟลูออไรด์ต่อไป

รายการอ้างอิง

ชาญ ญัตถาน (2523). *สถิติศาสตร์* กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม-
ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ.

วัชระ เพชรคุปต์, ปิยรัตน์ อภิวัฒนกุล (2542). การทำนายผลรวมของความกว้างฟันเขี้ยว ฟันกราม
น้อยและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ในเด็กอายุ 13-15 ปี *ว ทนต จุฬา* 22:167-175.

ศิริพร มุ่งถิ่น, จีระศักดิ์ ถาวรทนต์, ศานตี โปชะกฤษณะ, ม.ร.ว. อี๊ด กฤดากร (2518). ผลการทดลองใช้
น้ำยาฟลูออไรด์ 0.2% อมบ้วนปากทุก 2 สัปดาห์ในนักเรียน. *ว ทนต จุฬา* 6:259-265.

เศวต ทศนบรรจง (2529). *ฟลูออไรด์กับฟัน* กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

สมศักดิ์ คำปลิว (2526). *กลศาสตร์วิศวกรรม* ภาควิชาสถิติศาสตร์ กรุงเทพมหานคร: เทพรัตน์การพิมพ์.

Ammari AB, Bloch-Zupan A, Ashley PF (2003). Systematic review of studies comparing the
anti-caries efficacy of children's toothpaste containing 600 ppm of fluoride or less
with high fluoride toothpastes of 1,000 ppm or above. *Caries Res* 37(2):85-92.

Andreasen GF, Quevedo FR (1970). Evaluation of friction forces in the 0.022 x 0.028
edgewise bracket in vitro. *J Biomech* 3(2):151-60.

Angolkar PV, Kapila S, Duncanson MG, Jr., Nanda RS (1990). Evaluation of friction between
ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial
Orthop* 98(6):499-506.

Articolo LC, Kusy RP (1999). Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed
appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115(1):39-51.

- Ash JL, Nikolai RJ (1978). Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. *J Dent Res* 57(5-6):685-90.
- Baccetti T, Franchi L (2006). Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. *Angle Orthod* 76(2):211-6.
- Baker KL, Nieberg LG, Weimer AD, Hanna M (1987). Frictional changes in force values caused by saliva substitution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91(4):316-20.
- Baysan A, Lynch E, Ellwood R, Davies R, Petersson L (2001). Reversal of primary root caries using dentifrices containing 5,000 and 1,100 ppm fluoride. *Caries Res* 35:41-46.
- Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG, Jr., Sinha P (1997). Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112(2):138-44.
- Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL (1991). A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 100(6):513-22.
- Berger JL (1990). The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: a comparative in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97(3):219-28.
- Besancon RM (1985). *The encyclopedia of physics*. 3rd edition ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Biesbrock AR, Bartizek RD, Gerlach RW, Jacobs SA, Archila L (2003). Effect of three concentrations of sodium fluoride dentifrices on clinical caries. *Am J Dent* 16(2):99-104.

- Birkeland JM, Torell P (1978). Caries-preventive fluoride mouthrinses. *Caries Res* 12 Suppl 1:38-51.
- Bossert WA, Dunning JM (1945). Salivary dilution of 1:1000 sodium fluoride used as a mouthwash. *J Dent Res* 24:311-314.
- Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G (1999). Friction in perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115(6):619-27.
- Buckthal JE, Kusy RP (1988). Effects of cold disinfectants on the mechanical properties and the surface topography of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94(2):117-22.
- Chaconas SJ, Caputo AA, Harvey K (1984). Orthodontic force characteristics of open coil springs. *Am J Orthod* 85(6):494-7.
- Clinard K, von Fraunhofer JA, Kuftinec MM (1980). The corrosion susceptibility of modern orthodontic spring wires. *J Dent Res* 60:628.
- Cotton JB, Hayfield PC (1967). Decorative finishes on titanium. *Trans Inst Met Finish* 45:48-52.
- Dawes C (2004). How much saliva is enough for avoidance of xerostomia? *Caries Res* 38(3):236-40.
- De Franco DJ, Spiller RE, von Fraunhofer JA (1994). Frictional resistances using Teflon-coated ligatures with various bracket-archwire combinations. *Angle Orthod* 65:63-74.

- Dickson JA, Jones SP, Davies EH (1994). A comparison of the frictional characteristics of five initial alignment wires and stainless steel brackets at three bracket to wire angulations--an in vitro study. *Br J Orthod* 21(1):15-22.
- Downing A, McCabe J, Gordon P (1994). A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. *Br J Orthod* 21(4):349-57.
- Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA (1989). Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96(5):397-404.
- Echols PM (1975). Elastic ligatures: Binding forces and anchorage laxation. *Am J Orthod* 67:219-220.
- Edgar WM, o'Mullane DM (1996). *Saliva and oral health*. 2nd ed. London: British Dental Association.
- Edie JW, Andreasen GF, Zaytoun MP (1981). Surface corrosion of nitinol and stainless steel under clinical conditions. *Angle Orthod* 51(4):319-24.
- Edwards GD, Davies EH, Jones SP (1995). The ex vivo effect of ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel brackets and archwires. *Br J Orthod* 22(2):145-53.
- Ericsson Y (1983). Monofluorophosphate physiology: general considerations. *Caries Res* 17 Suppl 1:46-55.
- Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA (1996). *Fluoride in dentistry*. 2nd ed. Copenhagen: Munksgaard.

Fortin JM (1971). Translation of premolars in the dog by controlling the moment-to-force ratio on the crown. *Am J Orthod* 59(6):541-51.

Frank CA, Nikolai RJ (1980). A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod* 78(6):593-609.

Garner LD, Allai WW, Moore BK (1986). A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90(3):199-203.

Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Benson BJ (1992). Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101(5):403-7.

Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ (1982). Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 81(2):93-8.

Grimsdottir MR, Hensten-Pettersen A (1997). Surface analysis of nickel-titanium archwire used in vivo. *Dent Mater* 13(3):163-7.

Hill JW, Petrucci RH (2004). *General chemistry: An Integrated Approach*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.

Holt RD, Murray JJ (1997). Developments in fluoride toothpastes-an overview. *Community Dent Health* 14(1):4-10.

Huang HH (2003). Corrosion resistance of stressed NiTi and stainless steel orthodontic wires in acid artificial saliva. *J Biomed Mater Res A* 66(4):829-39.

- Huang HH (2007). Variation in surface topography of different NiTi orthodontic archwires in various commercial fluoride-containing environments. *Dent Mater* 23(1):24-33.
- Hwang CJ, Shin JS, Cha JY (2001). Metal release from simulated fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(4):383-91.
- Ingram GS, Nash PF (1980). A mechanism for the anticaries action of fluoride. *Caries Res* 14(5):298-303.
- Ireland AJ, Sherriff M, McDonald F (1991). Effect of bracket and wire composition of frictional forces. *Eur J Orthod* 13:322-328.
- Jang HS, Son WS, Park SB, Kim HI, Yong HK (2006). Effect of acetic NaF solution on the corrosion behavior of stainless steel orthodontic brackets. *Dent Mater J* 25(2):339-44.
- Jeansonne BG, Feagin FF (1974). Enamel dissolution in a weak acid containing 0.05, 0.5, or 5.0 mM sodium fluoride. *J Dent Res* 53(2):414-7.
- Jenkins GN, Edgar WM (1969). The distribution and metabolic effects of human plaque fluorine. *Arch Oral Biol* 14(1):105-19.
- Kang BS, Baek SH, Mah J, Yang WS (2003). Three-dimensional relationship between the critical contact angle and the torque angle. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 123(1):64-73.
- Kao CT, Ding SJ, Wang CK, He H, Chou MY, Huang TH (2006). Comparison of frictional resistance after immersion of metal brackets and orthodontic wires in a fluoride-containing prophylactic agent. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130(5):568 e1-9.

- Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG, Jr., Nanda RS (1990). Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98(2):117-26.
- Khambay B, Millett D, McHugh S (2005). Archwire seating forces produced by different ligation methods and their effect on frictional resistance. *Eur J Orthod* 27(3):302-8.
- Klock B, Serling J, Kinder S, Manwell MA, Tinanoff N (1985). Comparison of effect of SnF₂ and NaF mouthrinses on caries incidence, salivary *S. mutans* and gingivitis in high caries prevalent adults. *Scand J Dent Res* 93(3):213-7.
- Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckthal JE (1988). Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. *Angle Orthod* 58(1):33-45.
- Kusy RP, Whitley JQ (1989). Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system. *Dent Mater* 5(4):235-40.
- Kusy RP, Whitley JQ (1990). Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech* 23(9):913-25.
- Kusy RP (1991). Materials and appliances in orthodontics: brackets, arch wires, and friction. *Curr Opin Dent* 1(5):634-44.
- Kusy RP, Whitley JQ, Prewitt MJ (1991). Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. *Angle Orthod* 61(4):293-302.
- Kusy RP (2000). Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. *Angle Orthod* 70(5):366-76.

- Kusy RP (2000). Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. *Angle Orthod* 70(5):366-76.
- Kusy RP, O'Grady P W (2000). Evaluation of titanium brackets for orthodontic treatment: Part II--The active configuration. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118(6):675-84.
- Kusy RP, Whitley JQ (2000). Resistance to sliding of orthodontic appliances in the dry and wet states: influence of archwire alloy, interbracket distance, and bracket engagement. *J Biomed Mater Res* 52(4):797-811.
- Kusy RP, Whitley JQ (2003). Influence of fluid media on the frictional coefficients in orthodontic sliding. *Semin Orthod* 9:281-289.
- Kusy RP, Whitley JQ, de Araujo Gurgel J (2004). Comparisons of surface roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126(5):589-603.
- Kusy RP (2005). Influence of force systems on archwire-bracket combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127(3):333-42.
- Kwon YH, Cho HS, Noh DJ, Kim HI, Kim KH (2005). Evaluation of the effect of fluoride-containing acetic acid on NiTi wires. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 72(1):102-8.
- Levine RS (1976). The action of fluoride in caries prevention. A review of current concepts. *Br Dent J* 140(1):9-14.

- Lin MC, Lin SC, Lee TH, Huang HH (2006). Surface analysis and corrosion resistance of different stainless steel orthodontic brackets in artificial saliva. *Angle Orthod* 76(2):322-9.
- Loesche WJ, Murray RJ, Mellberg JR (1973). The effect of topical acidulated fluoride on percentage of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguis* in interproximal plaque samples. *Caries Res* 7(4):283-96.
- Loesche WJ, Syed SA, Murray RJ, Mellberg JR (1975). Effect of topical acidulated phosphate fluoride on percentage of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguis* in plaque. II. Pooled occlusal and pooled approximal samples. *Caries Res* 9(2):139-55.
- Loftus BP, Artun J, Nicholls JI, Alonzo TA, Stoner JA (1999). Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116(3):336-45.
- Mayhew MJ, Kusy RP (1988). Effects of sterilization on the mechanical properties and the surface topography of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 93(3):232-6.
- McDonald RE, R. AD, Dean JA (2004). *Dentistry for the child and adolescent*. 8th ed. St. Louis: Mosby.
- Michelberger DJ, Eadie RL, Faulkner MG, Glover KE, Prasad NG, Major PW (2000). The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118(6):662-74.

Moore JC, Waters NE (1993). Factors affecting tooth movement in sliding mechanics. *Eur J Orthod* 15(3):235-41.

Nakagawa M, Matsuya S, Shiraishi T, Ohta M (1999). Effect of fluoride concentration and pH on corrosion behavior of titanium for dental use. *J Dent Res* 78(9):1568-72.

Nanda RS, Ghosh J (1997). *Biomechanics in clinical orthodontics*. Philadelphia: W.B. Saunders.

Nishio C, da Motta AF, Elias CN, Mucha JN (2004). In vitro evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(1):56-64.

Ogaard B, Rolla G, Arends J, ten Cate JM (1988). Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 2. Prevention and treatment of lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94(2):123-8.

Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG, Jr., Sinha PK, Currier GF (1996). Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109(5):535-42.

Omana HM, Moore RN, Bagby MD (1992). Frictional properties of metal and ceramic brackets. *J Clin Orthod* 26(7):425-32.

Organization WH (1994). *Fluoride and oral health*. WHO technical report series 846. Geneva.

Pan J, Thierry D, Leygraf C (1996). Hydrogen peroxide toward enhanced oxide growth on titanium in PBS solution: blue coloration and clinical relevance. *J Biomed Mater Res* 30(3):393-402.

Peterson L, Spencer R, Andreasen G (1982). A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. *Quintessence Int Dent Dig* 13(5):563-71.

Pratten DH, Popli K, Germane N, Gunsolley JC (1990). Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98(5):398-403.

Proffit WR, Fields HW (2006). *Contemporary orthodontics*. St. Louis: Mosby Co.

Reclaru L, Meyer JM (1998). Effects of fluorides on titanium and other dental alloys in dentistry. *Biomaterials* 19(1-3):85-92.

Riley MA, Garrett JD, Moon PC (1979). Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J Dent Res* 58:A21.

Rock WP, Wilson HJ (1989). The effect of bracket type and ligation method upon forces exerted by orthodontic archwires. *Br J Orthod* 16(3):213-7.

Rossouw PE, Kamelchuk LS, Kusy RP (2003). A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Semin Orthod* 9:223-235.

Rossy R, Tinanoff N (1985). Topical fluoride therapy. *J Clin Orthod* 19(7):524-6.

- Sarkar NK, Fuys RA, Jr., Stanford JW (1979). The chloride corrosion behavior of silver-base casting alloys. *J Dent Res* 58(6):1572-7.
- Saunders CR, Kusy RP (1994). Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 106(1):76-87.
- Schiff N, Grosogeat B, Lissac M, Dalard F (2002). Influence of fluoride content and pH on the corrosion resistance of titanium and its alloys. *Biomaterials* 23(9):1995-2002.
- Schiff N, Grosogeat B, Lissac M, Dalard F (2004). Influence of fluoridated mouthwashes on corrosion resistance of orthodontics wires. *Biomaterials* 25(19):4535-42.
- Schiff N, Dalard F, Lissac M, Morgon L, Grosogeat B (2005). Corrosion resistance of three orthodontic brackets: a comparative study of three fluoride mouthwashes. *Eur J Orthod* 27(6):541-9.
- Schiff N, Boinet M, Morgon L, Lissac M, Dalard F, Grosogeat B (2006). Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes. *Eur J Orthod* 28(3):298-304.
- Schwaninger B, Sarkar NK, Foster BE (1982). Effect of long-term immersion corrosion on the flexural properties of nitinol. *Am J Orthod* 82(1):45-9.
- Schwaninger B, Sarkar NK, Foster BE (1982). Effect of long-term immersion corrosion on the flexural properties of nitinol. *Am J Orthod* 82(1):45-9.
- Sims AP, Waters NE, Birnie DJ (1994). A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. *Br J Orthod* 21(4):367-73.

- Staffolani N, Damiani F, Lilli C, Guerra M, Staffolani NJ, Belcastro S, Locci P (1999). Ion release from orthodontic appliances. *J Dent* 27(6):449-54.
- Stannard JG, Gau JM, Hanna MA (1986). Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. *Am J Orthod* 89(6):485-91.
- Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M (1991). Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *Angle Orthod* 61(4):285-90; discussion 291-2.
- Tenovuo JO (1989). *Human Saliva : clinical chemistry and microbiology*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Thorstenson GA, Kusy RP (2001). Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(4):361-70.
- Thorstenson GA, Kusy RP (2002). Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121(5):472-82.
- Thurrow RC (1982). *Edgewise Orthodontics*. 4th ed. St. Louis: C.V. Mosby Co.
- Tidy DC (1989). Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96(3):249-54.
- Torell P, Ericsson Y (1965). Two years clinical test with different methods of local caries preventive fluorine application in Swedish school children. *Odont Scand* 23:278-322.

- Tselepis M, Brockhurst P, West VC (1994). The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 106(2):131-8.
- Vaughan JL, Duncanson MG, Jr., Nanda RS, Currier GF (1995). Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107(1):20-7.
- Von der Fehr FR, Loe H, Theilade E (1970). Experimental caries in man. *Caries Res* 4(2):131-48.
- von Fraunhofer JA (1997). Corrosion of orthodontic devices. *Semin Orthod* 3(3):198-205.
- Voudouris JC (1997). Interactive edgewise mechanisms: form and function comparison with conventional edgewise brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111(2):119-40.
- Voudouris JC (1997). Seven clinical principles of interactive twin mechanisms. *J Clin Orthod* 31(1):55-65.
- Walker MP, White RJ, Kula KS (2005). Effect of fluoride prophylactic agents on the mechanical properties of nickel-titanium-based orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127(6):662-9.
- Walker MP, Ries D, Kula K, Ellis M, Fricke B (2007). Mechanical properties and surface characterization of beta titanium and stainless steel orthodontic wire following topical fluoride treatment. *Angle Orthod* 77(2):342-8.

- Watanabe I, Watanabe E (2003). Surface changes induced by fluoride prophylactic agents on titanium-based orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 123(6):653-6.
- Webb RI, Caputo AA, Chaconas SJ (1978). Orthodontic force production by closed coil springs. *Am J Orthod* 74(4):405-9.
- Weiss S, King WJ, Kestenbaum RC, Donohue JJ (1965). Influence of various factors on polysaccharide synthesis in *S. mitis*. *Ann N Y Acad Sci* 131(2):839-50.
- Wellock WD, Brudevold F (1963). A study of acidulated fluoride solutions. II. The caries inhibiting effect of single annual topical applications of an acidic fluoride and phosphate solution. A two year experience. *Arch Oral Biol* 8:179-82.
- Willems G, Clocheret K, Celis JP, Verbeke G, Chatzicharalampous E, Carels C (2001). Frictional behavior of stainless steel bracket-wire combinations subjected to small oscillating displacements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(4):371-7.
- Wisth J (1972). The ability of zinc phosphate and hydro phosphate cements to seal band spaces. *Angle Orthod* 42(4):395-8.
- Yamaguchi K, Nanda RS, Morimoto N, Oda Y (1996). A study of force application, amount of retarding force, and bracket width in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109(1):50-6.
- Yoshiki O, Sellers CB, Mirza K, Farrokh F (2005). Corrosion of dental metallic materials by dental treatment agents. *Mat Sci Eng* 25(3):343-348.

Zachrisson BU (1975). Fluoride application procedures in orthodontic practice, current concepts. *Angle Orthod* 45(1):72-81.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

1. ความเข้มข้นของสารละลายจากยาสีฟันผสมฟลูออไรด์

วิธีที่ 1 การเทียบบัญญัติไตรยางค์

สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออน 1 พีพีเอ็ม หมายถึง มีความเข้มข้นของไอออน 1 มก./ลิตร

ดังนั้น ยาสีฟันที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 1,000 พีพีเอ็ม หมายถึง มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 1,000 มก./ลิตร หรือ 1,000 มก./ 1,000 มล.

อัตราส่วนในการผสมยาสีฟันกับน้ำลายเทียมคือ 1 ต่อ 4

ในสารละลายตั้งต้น (ยาสีฟัน) 1,000 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 1,000 มก.
ดังนั้น ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์ 1,000 + 4 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน

$$\frac{1,000 \times 1,000}{1,004} = 996.02 \text{ มก.}$$

หรือ มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 996.02 พีพีเอ็ม

วิธีที่ 2 การคำนวณจากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายใหม่

V_2 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

เมื่อ $C_1 = 1000$ พีพีเอ็ม

$V_1 = 1000$ มล.

$V_2 = 1000 + 4$ มล.

$$\text{ดังนั้น} \quad C_2 = \frac{1,000 \times 1,000}{1,004} = 996.02 \text{ พีพีเอ็ม}$$

2. ความเข้มข้นของสารละลายจากน้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์

วิธีที่ 1 การเทียบบัญญัติไตรยางค์

สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออน 1 พีพีเอ็ม หมายถึง มีความเข้มข้นของไอออน 1 มก./ลิตร

ดังนั้น น้ำยาบ้วนปากที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 226 พีพีเอ็ม หมายถึง มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 226 มก./ลิตร หรือ 226 มก./ 1,000 มล.

อัตราส่วนในการผสมยาสี่ฟันกับน้ำลายเทียมคือ 1 ต่อ 0.118

ในสารละลายตั้งต้น (น้ำยาบ้วนปาก) 1,000 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 226 มก. ดังนั้น ในสารละลายจากยาสี่ฟันฟลูออไรด์ 1,000 + 0.118 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน

$$\frac{226 \times 1,000}{1,000.118} = 225.97 \text{ มก.}$$

หรือ มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 225.97 พีพีเอ็ม

วิธีที่ 2 การคำนวณจากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายใหม่

V_2 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

เมื่อ $C_1 = 226$ พีพีเอ็ม

$V_1 = 1,000$ มล.

$V_2 = 1,000 + 0.118$ มล.

$$\text{ดังนั้น} \quad C_2 = \frac{226 \times 1,000}{1,000.118} = 225.97 \text{ พีพีเอ็ม}$$

3. ความเข้มข้นของสารละลายจากเจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ

วิธีที่ 1 การเทียบบัญญัติไตรยางค์

สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออน 1 พีพีเอ็ม หมายถึง มีความเข้มข้นของไอออน 1 มก./ลิตร

ดังนั้น น้ำยาบ้วนปากที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 12,300 พีพีเอ็ม หมายถึง มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน 12,300 มก./ลิตร หรือ 12,300 มก./ 1,000 มล.

อัตราส่วนในการผสมยาสีฟันกับน้ำลายเทียมคือ 1 ต่อ 1.4

ในสารละลายตั้งต้น (เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ) 1,000 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน

12,300 มก.

ดังนั้น ในสารละลายจากยาสีฟันฟลูออไรด์ 1,000 + 1.4 มล. มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออน

$$\frac{12,300 \times 1,000}{1,001.4} = 12,282.80 \text{ มก.}$$

หรือ มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 12,282.80 พีพีเอ็ม

วิธีที่ 2 การคำนวณจากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายใหม่

V_2 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

เมื่อ $C_1 = 12,300$ พีพีเอ็ม

$V_1 = 1,000$ มล.

$$V_2 = 1,000 + 1.4 \text{ มล.}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad C_2 = \frac{12,300 \times 1,000}{1,001.4} = 12,282.80 \text{ พีพีเอ็ม}$$

ตารางที่ 21 ตำรับน้ำลายเทียมจากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ส่วนผสม	จำนวน	หน่วย
1	Potassium chloride	0.75	gm.
2	Magnesium chloride	0.07	gm.
3	Calcium chloride	0.199	gm.
4	Dipotassium hydrogen phosphate	0.965	gm.
5	Potassium dihydrogen phosphate	0.439	gm.
6	Sodium caboxymethylcellulose	6	gm.
7	Sodium Benzoate	2.4	gm.
8	Deionize water	1200	ml.

ตารางที่ 22 ผลการวัดค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ และน้ำลายเทียมที่ใช้ในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์	วัดครั้งที่	ค่าพีเอช	ค่าเฉลี่ยของค่าพีเอช
ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ยี่ห้อคอลเกต รสยอदनนิยม	1	7.00	7.00
	2	7.00	
	3	7.00	
น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ ยี่ห้อออร์ล-บี ทูธแอนด์แกมแคร์ ไม่ผสมแอลกอฮอล์	1	5.03	5.05
	2	5.02	
	3	5.11	

ตารางที่ 22 (ต่อ) ผลการวัดค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ และน้ำลายเทียมที่ใช้ในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์	วัดครั้งที่	ค่าพีเอช	ค่าเฉลี่ยของค่าพีเอช
เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ ยี่ห้อซิกตี้ เซกเคิลเทสต์	1	3.5	3.50
	2	3.5	
	3	3.5	
น้ำลายเทียมจากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1	6.99	7.00
	2	7.01	
	3	7.00	

ตารางที่ 23 ผลการวัดค่าพีเอชของสารละลายจากผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์

ชนิดของสารละลาย	วัดครั้งที่	ค่าพีเอชก่อนแช่		ค่าพีเอชหลังแช่	
		กลุ่มตัวอย่าง		กลุ่มตัวอย่าง	
		SS	TMA	SS	TMA
สารละลายจาก ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	1	6.98	6.99	7.01	7.02
	2	7.00	7.01	7.03	7.04
	3	7.02	7.00	7.00	6.98
	เฉลี่ย	7.00	7.00	7.01	7.01
สารละลายจาก น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์	1	6.08	6.12	6.10	6.04
	2	6.13	6.06	6.12	6.13
	3	6.07	6.09	6.15	6.15
	เฉลี่ย	6.09	6.09	6.12	6.11
สารละลายจาก เจลฟลูออไรด์ชนิดเคลือบ	1	5.14	5.17	5.28	5.29
	2	5.18	5.20	5.30	5.24
	3	5.21	5.18	5.30	5.27
	เฉลี่ย	5.18	5.18	5.29	5.27

ตารางที่ 24 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิล โคลโมโกรอฟสเมอรันอฟ

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Type of wire	Type of Solution			Static Friction	
SS	Control	N		25	
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.452648	
			Std. Deviation	.1979233	
		Most Extreme Differences	Absolute	.208	
			Positive	.208	
			Negative	-.123	
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.038		
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.231		
	Toothpaste	Toothpaste	N		25
			Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.471220
Std. Deviation				.1547709	
Most Extreme Differences			Absolute	.122	
			Positive	.122	
			Negative	-.071	
Kolmogorov-Smirnov Z			.610		
Asymp. Sig. (2-tailed)			.851		
Mouthwash		Mouthwash	N		25
			Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.590612
	Std. Deviation			.2208868	
	Most Extreme Differences		Absolute	.135	
			Positive	.135	
			Negative	-.095	
	Kolmogorov-Smirnov Z		.674		
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.753		
	Fluoride Gel	Fluoride Gel	N		25
			Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.634808
Std. Deviation				.2370541	
Most Extreme Differences			Absolute	.113	
			Positive	.093	
			Negative	-.113	
Kolmogorov-Smirnov Z			.563		
Asymp. Sig. (2-tailed)			.909		

ตารางที่ 24 (ต่อ) ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยการใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิล
โคโลมิโกรอฟสเมอ์นอฟ

Type of wire	Type of Solution			Static Friction
TMA	Control	N		25
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.548344
			Std. Deviation	.1476290
		Most Extreme Differences	Absolute Positive	.109
			Negative	-.105
			Kolmogorov-Smirnov Z	.546
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.927	
	Toothpaste	N		25
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.613948
			Std. Deviation	.1719277
		Most Extreme Differences	Absolute Positive	.144
			Negative	-.090
			Kolmogorov-Smirnov Z	.719
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.679	
	Mouthwash	N		25
Normal Parameters ^{a,b}		Mean	.629008	
		Std. Deviation	.2176594	
Most Extreme Differences		Absolute Positive	.169	
		Negative	-.096	
		Kolmogorov-Smirnov Z	.844	
Asymp. Sig. (2-tailed)		.475		
Fluoride Gel	N		25	
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.849240	
		Std. Deviation	.2666645	
	Most Extreme Differences	Absolute Positive	.099	
		Negative	-.099	
		Kolmogorov-Smirnov Z	.495	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.967		

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พินทุอร จันทรวราพิศย์ เกิดวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545 จากนั้นเข้าทำงานเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาล สังกัดโรงพยาบาล ธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ เป็นเวลา 3 เดือน และได้โอนย้ายมาทำงานในตำแหน่งอาจารย์ ที่คณะ ทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2546 เป็นเวลา 2 ปี 2 เดือน จากนั้นได้ลาออกจากราชการเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 และทำงานเป็นทันตแพทย์เอกชนเป็น เวลา 6 เดือน และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย