การเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมในแบรกเกต 3 ชนิด

นาย สุชน พูลทอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-653-2

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARATIVE STUDY OF STATIC FRICTION BETWEEN STAINLESS STEEL WIRE AND THREE TYPES OF BRACKET

Mr. Suchon Poolthong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Orthodontics

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-653-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมใน แบรกเกต 3 ชนิด
โดย	นาย สุชน พูลทอง
ภาควิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัฒนะ มธุราสัย

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

................................คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์)

....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัฒนะ มธุราสัย)

....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์)

....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อำรุง จันทวานิช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุชน พูลทอง : การเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมในแบรกเกต 3 ชนิด (A COMPARATIVE STUDY OF STATIC FRICTION BETWEEN STAINLESS STEEL WIRE AND THREE TYPES OF BRACKET) อ. ที่ปรึกษา : ศ. ทพ. วัฒนะ มธุราสัย ; 90 หน้า.
ISBN 974-333-653-2

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว ความรู้ที่ได้เป็นแนวทางสำหรับทันตแพทย์ในการพิจารณาเลือกใช้แบรกเกต ชนิดและขนาดของลวดที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันให้มีประสิทธิภาพ

กลุ่มตัวอย่างเป็นแบรกเกต 3 ชนิด ชนิดละ 80 ตัวอย่าง และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด ขนาดละ 60 ตัวอย่าง แบ่งแบรกเกตและลวดเป็น 12 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง คัดเลือกโดยวิธีการสุ่ม นำแบรกเกตและลวด ยึดติดกับเครื่องมือจับแบรกเกต และเครื่องมือจับลวด ซึ่งยึดติดกับครอสเฮด และฟิกส์เฮดของเครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน ตามลำดับ ใช้ยางมัดลวดติดกับแบรกเกตในแนงดิ่งขนานกับร่องของแบรกเกต ทำการดึงแบรกเกตผ่านลวดในสภาพแห้ง ด้วยอัตราเร็วคงที่ 1 ม.ม. ต่อนาที การแปลผลแรงเสียดทานสถิต พิจารณาในขณะที่แบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งตรงกับจุดสูงสุดตำแหน่งแรกของเส้นกราฟระหว่างแรงดึง (แกน Y) และระยะทางที่แบรกเกตเคลื่อนที่ (แกน X) และทดสอบความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างชนิดของแบรกเกตและขนาดของลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (Two way ANOVA ที่ $p < 0.05$) ถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วย Scheffe' test

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ในแบรกเกต 3 ชนิด เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเดียวกัน โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่แบรกเกตเซรามิกมีแรงเสียดทานสถิตสูงกว่าแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ขนาดลวด 0.016 x 0.022 นิ้ว ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกต 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน ขนาดของลวดมีผลต่อแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น กล่าวคือ แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลวดมีขนาดใหญ่ขึ้น

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่อนิสิต...............................
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...............................
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม...............................

4076116932 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: STATIC FRICTION / STAINLESS STEEL WIRE / STAINLESS STEEL BRACKET / CERAMIC BRACKET / METAL REINFORCED CERAMIC BRACKET

SUCHON POOLTHONG : A COMPARATIVE STUDY OF STATIC FRICTION BETWEEN STAINLESS STEEL WIRE AND THREE TYPES OF BRACKET. THESIS ADVISOR : PROF. WATANA MATHURASAI, 90 pp. ISBN 974-333-653-2

The purposes of this study were to compare the static friction offered by stainless steel brackets, ceramic brackets and metal reinforced ceramic brackets, all with 0.018 x 0.025 inch slot, used in combination with 0.016 inch, 0.018 inch, 0.016 x 0.016 inch and 0.016 x 0.022 inch stainless steel wires. The knowledge from this study would be beneficial for selection of an appropriate bracket-wire combination with the most efficiency.

Three types of bracket and four sizes of stainless steel wire were randomly sampling so that eighty brackets and sixty wire specimens of each type had been selected and divided into 12 groups (20 specimen each). The bracket and wire specimens were mounted on the mounting jigs connected to the crosshead and fixed head of Lloyd Universal Testing Machine, respectively. The wire was ligated into the bracket vertically with elastomeric ligature. The bracket was activated at the rate of 1 mm. per minute in the dry state until it started to move along the wire. The static frictional force was recorded on the x-y recorder that reflected the force necessary to initiate the bracket movement. Mean for the frictional forces generated by each bracket-wire subsample was determined. Two way analysis of variance and Scheffé test were used to determine the combination effects of bracket type and wire size.

The result indicated that there was significant difference ($p<0.05$) of the static frictional forces between three types of bracket and each wire size. In general, stainless steel brackets produced the lowest frictional force at the .05 level of significance. Although ceramic brackets produced higher frictional forces than metal reinforced ceramic brackets, but they were not statistically significant. In 0.016 x 0.022 inch arch wire, the static frictional forces were similar regardless of the bracket type. The influence of wire sizes on the frictional force could be found only in the stainless steel brackets. These seemed to be increased with wire sizes.

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน	ลายมือชื่อนิสิต..................................
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..................
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..................

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัฒนะ มธุราสัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ในภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัท ทันต-สยาม วิสาหกิจ จำกัด สำหรับแบรกเกตที่ใช้ในงานวิจัย 3 ชนิด คือ Miniature twin, Transcend 6000 และ Clarity และ บริษัท แอคคอร์ดคอร์ปอเรชั่น จำกัด สำหรับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และยางมัดแบรกเกต (POWER “ O “ 120)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ , บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งให้การสนับสนุนด้านทุนอุดหนุนการวิจัย , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ กนก สรเทศน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำด้านคอมพิวเตอร์และการถ่ายภาพ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำการใช้เครื่อง Lloyd Universal Testing Machine

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คุณความดีจากงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ พ.ญ. ปราณี พูลทอง และผู้มีพระคุณต่อผู้วิจัยทุกท่าน

สุชน พูลทอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..................................	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..	4
สมมุติฐานของการวิจัย...	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..................................	4
ขอบเขตของการวิจัย..	5
ข้อตกลงเบื้องต้น...	5
ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย..	6
คำจำกัดความ..	7
2. วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง	
กฎของความเสียดทาน...	8
ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น..........................	10
บทบาทของแรงเสียดทานในการเคลื่อนฟัน.............................	11
ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น..........................	12
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทาน......................................	17
วัสดุที่ใช้ทำแบรกเกตและรูปแบบของแบรกเกต..........................	20
- แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม..	22
- แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง.....................	25
- แบรกเกตเซรามิก...	26
- แบรกเกตเซอโคเนีย..	27
- แบรกเกตพลาสติก...	27

สารบัญ (ต่อ)

ความกว้างของแบรกเกต.. 31

ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน.. 32

- วัสดุที่ใช้ทำลวด.. 32

- ขนาดของลวด.. 35

- ความแข็งตึงของลวด... 35

การทำมุม-ออร์เดอร์ที่สอง.. 37

แรงจากการมัดลวดโค้งเข้ากับร่องแบรกเกต................................... 41

- ยางมัดแบรกเกตและลวดมัดแบรกเกต................................ 41

- แบรกเกตชนิดจำกัดแรงจากการมัดลวด............................... 42

- แบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง.. 42

ผลของน้ำลายต่อแรงเสียดทานจลน์.. 43

ความสำคัญของแรงเสียดทานทางคลินิก...................................... 44

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากร.. 46

กลุ่มตัวอย่าง.. 46

การรวบรวมข้อมูล... 46

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย... 47

ตัวแปรของการวิจัย.. 55

การจัดกระทำ.. 56

การวิเคราะห์ข้อมูล... 59

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.. 60

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.................................... 65

รายการอ้างอิง.. 74

ภาคผนวก... 78

ประวัติผู้เขียน.. 90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน โดยวิธีการ Sliding mechanics.. 19
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของลวด 4 ชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน ในแบรกเกตขนาดร่อง 0.018 นิ้ว 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ ชนิดซินเทอร์ริง และแบรกเกตเซรามิก... 23
ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของลวด 4 ชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน ในแบรกเกตขนาดร่อง 0.022 นิ้ว 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ ชนิดซินเทอร์ริง และแบรกเกตเซรามิก... 24
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่เกิดจาก แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (SS-1, Unitek Miniature Twin) , แบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน (PC-1, RMO Signature)และ แบรกเกตพลาสติก 4 ชนิด (SP-1, Ormco Spirit; EL-1, GAC Elan; IM-1, GAC Image; SI-1, American Silcon) ซึ่งแบรกเกตทั้งหมดมีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว...................................... 29
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่เกิดจาก แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (SS-2, Unitek Miniature Twin) , แบรกเกตเซรามิกชนิดโมโนคริสทัลลีน (MC-2, A-Company Starfire) , แบรกเกตเซรามิกชนิด โพลีคริสทัลลีน (PC-2, RMO Signature) และแบรกเกตพลาสติก 3 ชนิด (SP-2, Ormco Spirit; IM-2, GAC Image; SI-2, American Silcon)ซึ่งแบรกเกตทั้งหมดมีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว.. 30
ตารางที่ 6 การศึกษาแรงเสียดทาน และชนิดของโลหะผสมที่ใช้ทำลวด จากตารางจะมีค่าตั้งแต่ 1-4 , โดย 1 หมายถึง มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นน้อยที่สุด และ 4 หมายถึง มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นมากที่สุด.................................... 33
ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลการเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่ 2 ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของค่าแรงเสียดทานที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของลวดตั้งแต่ 0 ม.ม.-1ม.ม. ในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดหล่อแบบ 3 ชนิด (A-018, American Friction Free ; G-018, GAC Shoulder; O-018, Ormco Mini Diamond) และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง 3 ชนิด (R-S-018, RMO Mini-Taurus;

สารบัญตาราง (ต่อ)

RS-S-018, RMO Mini Taurus Synergy; U-S-018, Unitek Mini Twin) ทั้งหมดเป็นแบรกเกตที่มีขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว............................ 39

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่ 2 ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของค่าแรงเสียดทานที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของลวดตั้งแต่ 0 ม.ม.-1ม.ม. ในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดหล่อแบบ 3 ชนิด (A-022, American Friction Free ; G-022, GAC Shoulder; O-022, Ormco Mini Diamond) และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง 3 ชนิด (R-S-022, RMO Mini-Taurus; RS-S-022, RMO Mini Taurus Synergy; U-S-022, Unitek Mini Twin) และ Combination Bracket with a Modified Edgewise Slot (TP-022) TP Tip-Edge ทั้งหมดเป็นแบรกเกตที่มีขนาด 0.022 x 0.028 นิ้ว................. 40

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ 0.016 x0.022 นิ้ว............ 61

ตารางที่ 10 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง.. 79

ตารางที่ 11 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิก ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง... 80

ตารางที่ 12 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง.............. 81

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05... 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 นิ้ว........ 83

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.018 นิ้ว........ 84

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 x0.016 นิ้ว........ 85

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว........ 86

ตารางที่ 18 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม........ 87

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเซรามิก........ 88

ตารางที่ 20 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม........ 89

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรกเกต ฟันเขี้ยวล่างซ้ายซึ่งไม่ได้แสดงการมัดลวดเข้ากับร่องแบรกเกตเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น........ 13
รูปที่ 2 แรงที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรกเกตในลักษณะต่างๆซึ่งเมื่อแตกแรงแล้ว ในแนวดิ่งจะเป็นแรงปฏิกิริยาตั้งฉากส่วนในแนวระดับจะเป็นแรงเสียดทาน ในแต่ละภาพแสดงให้เห็นว่าแบรกเกตเอียงไปทางด้านซ้ายเมื่อเทียบกับลวด... 14
รูปที่ 3 แสดงการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันทั้งสามระยะ......... 16
รูปที่ 4 เครื่อง อินสตรอน ยูนิเวอร์เซล เทสติง มะชีน........ 22
รูปที่ 5 แสดงผลอันไม่พึงประสงค์จากวิธี Sliding mechanics คือ ฟันหน้ายื่นยาว และ ฟันเขี้ยวล้มไปทางด้านไกลกลาง จากการใช้ลวดที่มีความแข็งตึงน้อย ในการดึงฟันเขี้ยว........ 37
รูปที่ 6 คีมแนนซ์ โคลสซิง ลูป และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด........ 47
รูปที่ 7 แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา........ 48
รูปที่ 8 ยางโพลียูเรเธนรุ่น POWER “ O “ และสเตรท ชูท เตอร์ (Straight shooter)...... 49
รูปที่ 9 เครื่องมือจับยึดแบรกเกต........ 50
รูปที่ 10 เครื่องมือจับยึดลวด........ 51
รูปที่ 11 เครื่องยูนิเวอร์เซล เทสติง มะชีน (Lloyd Universal Testing Machine, Model LR 10 K)........ 52
รูปที่ 12 ฟิกส์ เฮด และนิวเมติค กริป (สำหรับยึดเครื่องมือจับยึดลวด)........ 53
รูปที่ 13 ครอส เฮด และนิวเมติค กริป (สำหรับยึดเครื่องมือจับยึดแบรกเกต)........ 53
รูปที่ 14 ตุ้มน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 100 นิวตัน........ 54
รูปที่ 15 การปรับเครื่องมือจับยึดแบรกเกต และเครื่องมือจับยึดลวดจนกระทั่งลวดอยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางแรงดึงของเครื่องยูนิเวอร์เซล เทสติง มะชีน และยึดลวดด้วยยางมัดแบรกเกต........ 58

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 16 กราฟแสดงแรงเสียดทานสถิต โดยวัดจากจุดสูงสุดของเส้นกราฟจุดแรก ก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง.. 58

รูปที่ 17 ฮิสโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ 0.016 x0.022 นิ้ว.. 62

รูปที่ 18 ฮิสโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ 0.016 x0.022 นิ้ว.. 62

รูปที่ 19 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน กำลังขยาย 100 เท่า... 68

รูปที่ 20 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน กำลังขยาย 500 เท่า... 68

รูปที่ 21 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิก จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน กำลังขยาย 100 เท่า... 69

รูปที่ 22 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิก จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน กำลังขยาย 500 เท่า... 69

รูปที่ 23 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนกำลังขยาย 100 เท่า.............................. 70

รูปที่ 24 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนกำลังขยาย 500 เท่า.............................. 70

รูปที่ 25 แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อยึดติดกับลวดด้วยยางมัดแบรกเกต............. 72

บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การให้แรงทางทันตกรรมจัดฟันนั้นเป็นสิ่งจำเป็นต้องให้แรงที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อให้ฟันเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แรงที่เหมาะสม คือ แรงที่น้อยที่สุดซึ่งฟันเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์ ซึ่งปกติไม่ควรเกินแรงดันของหลอดเลือดฝอย (Schwartz, 1932) การให้แรงที่มีขนาดน้อยเกินไป จะทำให้ฟันเคลื่อนที่ช้าหรือไม่เคลื่อนที่ ในขณะที่ถ้าให้แรงมากเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์ และไม่ทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น แต่กลับจะมีผลข้างเคียง คือมีการละลายตัวของรากฟันที่ถูกแรงกระทำได้ (Quinn และ Yoshikawa, 1985)

<u>กลวิธีการเคลื่อนฟัน</u> (Mechanics of Tooth Movement) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. Segmented mechanics คือ กลวิธีเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันโดย แบ่งการเคลื่อนฟันเป็นส่วนๆ และลวดจะเป็นตัวพาฟันไปตามทิศทางของแรง และโมเมนต์ที่ให้กับฟัน

ข้อดีของ Segmented mechanics เป็นกลวิธีที่สามารถทดสอบขนาดแรงสุทธิได้แน่นอน สามารถกำหนดทิศทาง และขนาดของโมเมนต์ ให้ฟันเคลื่อนที่ไปในแนวทางที่ต้องการ ในรูปแบบต่างๆกันได้ และขจัดปัญหาแรงเสียดทานของลวดที่มีต่อแบรกเกต

ข้อด้อยของ Segmented mechanics เป็นกลวิธีที่ผู้ใช้จะต้องเข้าใจถึงวิธีการเคลื่อนฟัน (Biomechanics) เป็นอย่างดี เช่น การกำหนดขนาดของแรง และทิศทางของโมเมนต์ นอกจากนั้นการดัดลวดอาจจะยุ่งยาก ควบคุมการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวได้ยาก เนื่องจากปราศจากลวดโค้งซึ่งจะทำหน้าที่ชักนำ ให้ฟันเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด

2. Sliding mechanics คือ กลวิธีเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน โดยฟันจะเคลื่อนไปตามลวดโค้งผ่านทางร่องของแบรกเกตเมื่อฟันได้รับแรงกระทำที่มีขนาดเหมาะสม

ข้อดีของ Sliding mechanics เป็นกลวิธีที่สะดวกในการใช้อุปกรณ์เคลื่อนฟัน การดัดลวดไม่ยุ่งยาก และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวได้ดี โดยฟันจะเคลื่อนที่ไปตามลวดโค้งซึ่งจะควบคุมการเคลื่อนที่ของฟันได้ดีในระยะทางสั้นๆ

ข้อด้อยของ Sliding mechanics เป็นกลวิธีที่ไม่สามารถกำหนดขนาดของแรงในการเคลื่อนฟันได้ถูกต้องแน่นอน แรงส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานระหว่างลวดกับร่อง

แบรกเกต และถ้าลวดโค้งมีความแข็งตึงไม่เพียงพอ ฟันจะเคลื่อนที่ในลักษณะทิปปิง (Crown tipping) มากกว่าการเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์ (Bodily movement) ทั้งนี้เพราะ ไม่สามารถกำหนดแรงที่จะไปมีผลต่อจุดศูนย์กลางของการหมุน (Center of Rotation) และจุดศูนย์กลางของความต้านทาน (Center of Resistance) ของรากฟันได้

ปัจจุบันการเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics เป็นที่นิยมใช้กันมากในทางทันตกรรมจัดฟัน การเคลื่อนฟันโดยวิธีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อให้แรงที่มีขนาดมากเพียงพอไปยังแบรกเกตซึ่งยึดติดกับตัวฟัน ทำให้เกิดการเคลื่อนไถลของแบรกเกตผ่านลวดโค้ง ดังนั้น การเคลื่อนฟันโดยวิธีนี้ จะเกิดแรงเสียดทานขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของแบรกเกต และลวดโค้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันส่วนหนึ่ง จะใช้ในการเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น Tanne และคณะ (1994) พบว่ามีแรงเสียดทานเกิดขึ้นร้อยละ 40 ของแรงที่ใช้ในการดึงฟัน ดังนั้น แรงสุทธิที่เหลืออยู่จะไปกระทำต่ออวัยวะปริทันต์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟัน การตอบสนองของเนื้อเยื่อปริทันต์ที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับขนาดของแรงสุทธิที่เหมาะสม

แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะเคลื่อนฟันโดย Sliding mechanics แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แรงเสียดทานสถิต (Static Friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่แบรกเกตหยุดนิ่ง โดยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะต้านไม่ให้แบรกเกตเคลื่อนที่ผ่านลวดโค้ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับแรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้แบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่
2. แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่แบรกเกต กำลังไถลผ่านลวดโค้ง ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตเสมอ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นที่สำคัญ คือ วัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต ชนิดและขนาดของลวด ในทางคลินิกซึ่งมักจะใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมในการเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics เพราะลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับลวดชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นผิวที่เรียบที่สุด (Garner และ Moore, 1986; Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989; Tidy, 1989; Angolkar และคณะ, 1990; Kapila และคณะ, 1990; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991) ลักษณะและขนาดของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยปกติการเพิ่มขนาดของลวดจะทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย (Frank และ Nikolai, 1980; Garner และ Moore, 1986; Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989 ; Angolkar และคณะ, 1990 ; Kapila และคณะ, 1990) และลวดเหลี่ยมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม (Frank และ Nikolai, 1980; Angolkar และคณะ, 1990)

แบรกเกตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากมีความแข็งแรง ยึดติดกับฟันได้ดี และให้แรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบรกเกตชนิดอื่น ต่อมาได้มีการผลิตแบรกเกตเซรามิกซึ่งมีสีคล้ายสีของฟันเพื่อความสวยงาม แต่แบรกเกตเซรามิกจะมีแรงเสียดทานสูงกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากมีพื้นผิวที่หยาบกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Angolkar และคณะ, 1990; Pratten และคณะ, 1990; Tanne และคณะ, 1991; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Bednar, Gruendeman และ Sandrik, 1991) แต่จากการศึกษาของ Kusy และ Whitley (1990); Downing, McCabe และGordon (1994); Bazakidou และคณะ (1997) พบว่าแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ไม่แตกต่างกัน

ในทางคลินิกขณะที่ใช้วิธี Sliding mechanics เมื่อมีการใช้แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในฟันหลัง และแบรกเกตเซรามิกในฟันหน้า ถ้าแบรกเกตเซรามิกทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ฟันหน้าก็อาจจะมีความต้านทานต่อการเคลื่อนที่มากกว่าฟันหลัง ซึ่งจะยังผลให้เกิดการสูญเสียหลักยึดมากกว่าที่คาดไว้ได้ ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาแบรกเกตเซรามิกโดยเสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อต้องการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากแบรกเกตชนิดนี้ถูกผลิตออกมาได้ไม่นาน จึงมีรายงานการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของแบรกเกตชนิดนี้น้อยมาก ดังนั้น ถ้าแรงเสียดทานของแบรกเกตชนิดนี้มีค่าน้อย หรือไม่แตกต่างจากแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ก็จะทำให้ฟันหน้าเคลื่อนที่ได้ง่ายและเร็วขึ้น โดยไม่เกิดการสูญเสียฟันหลักยึดมากกว่าที่ควรจะเป็น หากทราบขนาดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะทำการเคลื่อนฟัน จะทำให้ผู้ใช้สามารถประเมิน และคำนวณแรงที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเคลื่อนฟันได้โดยวิธี Sliding mechanics และสามารถเตรียมหลักยึดได้เพียงพอ ในขณะทำการเคลื่อนฟัน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดฟัน

เพื่อต้องการที่จะทราบปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเปรียบเทียบกับแบรกเกตเซรามิก และ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะและขนาดแตกต่างกัน ซึ่งขนาดของลวดที่นำมาทดสอบเป็นขนาดที่นิยมใช้กันในทางคลินิก เพื่อให้งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ในทางคลินิก และเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแบรกเกตที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดร่อง 0.018 X 0.025 นิ้ว เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเท่ากัน
2. เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ0.016 X 0.022 นิ้ว

สมมุติฐานของการวิจัย

1. มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม
2. มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาดที่นิยมใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวในแบรกเกตแต่ละชนิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการเลือกใช้แบรกเกตชนิดต่างๆ ให้เหมาะสมกับการเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics
2. เป็นแนวทางในการกำหนดขนาดของแรงที่เหมาะสม ในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันให้มีประสิทธิภาพ โดยวิธี Sliding mechanics
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำแบรกเกตและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตในแบรกเกต 3 ชนิด คือ ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม เซรามิก และเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งแบรกเกตที่นำมาใช้วิจัยเป็นแบรกเกตฟันเขี้ยวบนด้านซ้าย ที่มีขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว มีมุมทอร์ก 0 องศา มุมแอ็งกิวเลชัน 11 องศา และความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง 3.5 ม.ม.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทดสอบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ตัดให้ยาว 90 ม.ม. ดัดปลายลวดด้านหนึ่งให้เป็นมุมฉาก นำมายึดติดกับแบรกเกตด้วยยางพอลิยูเรเทน ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ขณะที่แบรกเกตเริ่มไถลผ่านลวดแต่ละขนาดด้วยความเร็วคงที่ 1 ม.ม. ต่อนาที ทำการวัดแรงเสียดทานที่มีค่าสูงสุดเมื่อแบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่

2. การศึกษานี้จะให้แรงดึงแบรกเกตผ่านลวดตรง โดยไม่มีการทำมุมระหว่างลวดกับแบรกเกต และเป็นการศึกษาในสภาวะแห้ง
3. การศึกษานี้ไม่ได้ครอบคลุมคุณสมบัติบางประการของลวด เช่น การกัดกร่อน ความขรุขระของผิวลวด เป็นต้น

<u>ข้อตกลงเบื้องต้น</u>

1. ชนิด ขนาด ตลอดจนส่วนประกอบของลวด กำหนดตามที่ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต ซึ่งลวดทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Ormco Corporation
2. ลวดที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีใช้ในคลินิก ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. แบรกเกตที่ใช้ในการศึกษา เป็นแบรกเกตฟันเขี้ยวบนด้านซ้าย ที่มีขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว มุมทอร์ก 0 องศา มุมแองกิวเลชัน 11 องศา และความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง 3.5 ม.ม.

    ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม มีชื่อทางการค้า คือ Miniature Twin Bracket

    ชนิดเซรามิก มีชื่อทางการค้า คือ Transcend Series 6000 Ceramic Bracket

    ชนิดเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม มีชื่อทางการค้า คือ Clarity Metal Reinforced Ceramic Bracket

    ซึ่งแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท 3M Unitek Corporation
4. ยางพอลิยูเรเทนที่ใช้มัดลวดเข้ากับแบรกเกต เป็นยางโอริงรุ่น POWER “ O “ 120 ของบริษัท Ormco Corporation ซึ่งเป็นวิธีการมัดลวดที่นิยมใช้กันในคลินิก
5. ค่าแรงเสียดทานสถิตมีหน่วยเป็น กรัม ศึกษาโดยเครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน (Lloyd Universal Testing Machine, Model LR 10 K) โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 100 นิวตัน และ ทำการทดสอบแรงดึงที่ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที การแปลผลแรงเสียดทานสถิต โดยดูจากกราฟที่เกิดขึ้น เมื่อเส้นกราฟที่เกิดจากแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดจุดแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของเส้นกราฟ จุดสูงสุดของเส้นกราฟจุด

แรกก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง คือขนาดของแรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้แบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งจะเท่ากับขนาดของแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตที่ทำการทดลองนั้น

6. ในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ที่ไม่ครอบคลุมถึงปัจจัยทางชีวภาพ (Biological response) เช่น น้ำลาย แผ่นคราบจุลินทรีย์ และแผ่นฟิล์มน้ำลาย เป็นต้น

<u>ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย</u>

1. ลวดขนาดเดียวกันแต่ผลิตจากบริษัทต่างกัน อาจจะมีส่วนประกอบแตกต่างกัน ผลของการวิจัยจึงเป็นความรู้พื้นฐาน ไม่สามารถครอบคลุมถึงลวดที่ผลิตจากบริษัทอื่นที่ไม่ได้นำมาใช้ในการทดลอง
2. แบรกเกตชนิดเดียวกันแต่ผลิตจากบริษัทต่างกัน ก็อาจมีส่วนประกอบ และรูปร่างแตกต่างกันบ้าง ผลของการวิจัยจึงเป็นความรู้พื้นฐาน ไม่สามารถครอบคลุมถึงแบรกเกตที่ผลิตจากบริษัทอื่นที่ไม่ได้นำมาใช้ในการทดลอง
3. การศึกษาเรื่องความเสียดทานในงานวิจัยนี้ ให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นระหว่างการดึงฟันเขี้ยวซึ่งเป็นช่วงหนึ่งของการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันที่มีผลต่อการควบคุมหลักยึด ซึ่งการวิจัยนี้กระทำเพียงระนาบเดียวเท่านั้น
4. องค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจมีผลต่อแรงเสียดทานในลวด เช่น น้ำลาย ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวโค้งของฟันที่เรียงตัวอยู่ในขากรรไกร แรงจากการบดเคี้ยว การกัดกร่อนของลวดในระหว่างการใช้งาน และการลดลงของแรงจากยางพอลิยูเรเทนเมื่อระยะเวลาผ่านไป ไม่สามารถทำการศึกษาได้ในสภาพการณ์ของการทดลอง
5. การศึกษานี้กระทำในขณะที่ลวดเคลื่อนที่ผ่านแบรกเกตด้วยความเร็วคงที่ 1 ม.ม.ต่อนาที แต่ในขณะเคลื่อนฟันเขี้ยวในผู้ป่วย ฟันเขี้ยวจะเคลื่อนที่ช้ามาก (ประมาณ 1 ม.ม. ต่อ 3 สัปดาห์) การวิจัยนี้จึงไม่สามารถอธิบายความเสียดทานระหว่างดึงฟันเขี้ยวได้ทั้งหมด
6. แบรกเกตที่ทำการทดลองทั้ง 3 ชนิดนี้ จะมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีขนาดเล็กที่สุด แต่แบรกเกตทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็นแบรกเกตฟันเขี้ยวบนด้านซ้ายมาตราฐาน ที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวทั่วไป จึงนำมาศึกษาเปรียบเทียบกัน

คำจำกัดความ

1. แรงเสียดทาน (Friction) หมายถึง แรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เสมอ
2. แรงเสียดทานสถิต (Static friction) หมายถึง แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในขณะที่ต่างฝ่ายต่างหยุดนิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอีกฝ่ายหนึ่ง โดยจะมีขนาดแรงเท่ากับแรงที่น้อยที่สุดที่พอดีทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้
3. Sliding mechanics หมายถึง กลวิธีเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันโดยฟันจะเคลื่อนไปตามลวดโค้งผ่านทางร่องของแบรกเกตเมื่อฟันได้รับแรงที่มีขนาดเหมาะสม
4. Segmented mechanics หมายถึง กลวิธีเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันโดยจะแบ่งการเคลื่อนฟันเป็นส่วนๆ และลวดจะเป็นตัวพาฟันไปตามทิศทางของแรง และโมเมนต์ที่ให้กับฟัน
5. จุดศูนย์กลางของการหมุน (Center of rotation) หมายถึง จุดศูนย์กลางของการหมุนของฟันเมื่อแรงที่ให้กับฟันไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของฟัน
6. จุดศูนย์กลางของความต้านทาน (Center of resistance) หมายถึง จุดศูนย์กลางมวลของฟันมักจะอยู่บริเวณ 2/3 จากปลายรากฟัน
7. การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง (Crown tipping) หมายถึง การเคลื่อนฟันที่ตัวฟันเคลื่อนที่ไปในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่รากฟันจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่มีระยะทางน้อยกว่า โดยมีจุดหมุนอยู่ที่รากฟันในแนวแกนฟัน
8. การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์ (Bodily movement) หมายถึง การเคลื่อนฟันที่ตัวฟันและรากฟันเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากัน และปราศจากการหมุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

เมื่อวัตถุคู่ใดคู่หนึ่งสัมผัสกัน จะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในทิศทางที่ขนานกับพื้นผิวสัมผัสของวัตถุนั้น แรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงที่ให้กับวัตถุ หรือทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปเสมอ แรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น คือ แรงเสียดทาน (Besancon, 1985)

<u>กฎของความเสียดทาน</u>

จะพิจารณาในกรณีที่วัตถุเป็นของแข็งเคลื่อนไถลผ่านกัน โดยที่ผิวสัมผัสแห้งไม่มีการหล่อลื่นหรือการกลิ้งเกิดขึ้น (ชาญ ถนัดงาน , 2523)

1. แรงเสียดทานจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่
2. แรงเสียดทานจะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของเนื้อวัสดุที่สัมผัสกัน
3. แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งขนาด และรูปร่างของผิวสัมผัส
4. ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าคงที่
5. ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ขนาดของแรงเสียดทานจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่ผิวสัมผัส
6. ความเสียดทานอันเกิดจากวัตถุที่มีน้ำหนักเท่ากัน จะมีขนาดเท่ากัน ไม่ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสจะเท่ากันหรือ ไม่ก็ตาม
7. แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถ้าน้ำหนักของวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า
8. ที่ความเร็วต่ำแรงเสียดทานไม่ขึ้นกับความเร็ว ที่ความเร็วสูงแรงเสียดทานมีค่าลดลง
9. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่ขึ้นกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก และไม่ขึ้นกับพื้นที่ของผิวสัมผัส แต่จะขึ้นกับชนิดของเนื้อวัตถุ
10. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ จะมีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิความเสียดทานสถิตเสมอ

แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในขณะที่ต่างฝ่ายต่างหยุดนิ่งเมื่อเทียบกับอีกฝ่ายหนึ่ง เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต ซึ่งจะมีค่าเท่ากับแรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ หลังจากวัตถุเริ่มเคลื่อนที่แล้ว แรงเสียดทานของวัตถุก็ยังคงมีอยู่ แต่จะลดลงบ้าง เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์

อัตราส่วนของแรงเสียดทานที่มากที่สุดที่ต้านไม่ให้วัตถุเคลื่อนที่กับขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่พื้นที่ผิวสัมผัสของวัตถุ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิตใช้สัญลักษณ์ว่า μ_s และถ้าให้ F_s แทนขนาดแรงเสียดทานสถิต และ N เป็นแรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัส ก็จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\mu_s = F_s / N$$

สำหรับอัตราส่วนระหว่างขนาดแรงเสียดทานจลน์ กับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่พื้นที่ผิวสัมผัส เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ให้สัญลักษณ์ว่า μ_k ถ้าให้ F_k แทนแรงเสียดทานจลน์ ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\mu_k = F_k / N$$

เมื่อวัตถุคู่ใดก็ตามสัมผัสกัน ในขณะที่ดูด้วยตาเปล่าอาจจะเห็นว่าแนบสนิทกันดี แต่เมื่อมองขยายไปแล้วจะพบว่า พื้นที่ผิวสัมผัสกันนั้นมีเพียงเล็กน้อย เพราะพื้นผิวมีแต่ความขรุขระ ไม่มีทางทำให้พื้นผิวของวัตถุราบเรียบอย่างสมบูรณ์ได้ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของผิวสัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของเนื้อวัสดุ ความหยาบและความแข็งของพื้นผิวสัมผัส แผ่นฟิล์มที่อาจจับคลุมอยู่บนผิวหน้าของวัตถุ อุณหภูมิ และระดับความสกปรก เช่น ถ้าประกบผิวหน้าของโลหะคู่หนึ่งที่ทำความสะอาดมาเป็นอย่างดี โดยวางอยู่ในห้องสูญญากาศ จะพบว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นกว่าปกติ ทั้งนี้เพราะไม่เกิดฟิล์มออกไซด์ระหว่างผิวสัมผัส แต่ถ้าประกบกันในบรรยากาศธรรมดา ก๊าซออกซิเจนในอากาศจะออกซิไดส์โลหะ เกิดเป็นโลหะออกไซด์กันไม่ให้โมเลกุลของโลหะทั้งสองอยู่ชิดกัน จึงทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในบรรยากาศน้อยกว่าในสูญญากาศ

การลดความเสียดทาน

การลดความเสียดทานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารหล่อลื่น การใส่ลูกปืนเข้าไปในเครื่องจักร เป็นต้น แรงเสียดทานของวัตถุที่กลิ้งจะน้อยกว่าเมื่อวัตถุที่มีการไถล ทั้งนี้เป็นเพราะในการกลิ้ง จุดสัมผัสจริง ๆ จะถูกทำให้ขาดด้วยแรงดึง ไม่ใช่แรงเฉือนเหมือนการไถลของวัตถุ

<u>ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น</u>

Nanda และ Ghosh (1997) กล่าวว่า การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อปิดช่องว่างระหว่างฟันโดยใช้เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น มี 2 วิธี คือ

1. Segmental mechanics โดยการใช้โคลสซิงลูป (Closing loop) ฟันจะเคลื่อนที่ได้โดยการได้รับแรงจากการปรับลูป ซึ่งออกแบบให้มี load deflection rate ต่ำ และสามารถควบคุมอัตราส่วนของแรงคู่ควบต่อแรงได้ (Moment force ratio)

2. Sliding mechanics โดยการเคลื่อนที่ของแบรกเกตไปตามลวดโค้ง (archwire) หรือการเคลื่อนของลวดโค้งผ่านแบรกเกต และบัคคัลทิวป์

ปัจจัยที่แตกต่างกันที่สำคัญของการเคลื่อนฟันทั้ง 2 วิธีดังกล่าว คือ แรงเสียดทาน โดยวิธี Segmented mechanics จะไม่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน จัดเป็นวิธีการเคลื่อนฟันโดยปราศจากแรงเสียดทาน ในขณะที่แรงเสียดทานจะมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนฟันเพื่อปิดช่องว่าง โดยวิธี Sliding mechanics ซึ่งจะเกิดแรงคู่ควบ และแรงที่เกี่ยวข้องในการปิดช่องว่างระหว่างฟันโดยวิธีดึงรั้งแบรกเกตผ่านไปตามลวด

<u>ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนฟันที่สำคัญ 2 ประการ คือ</u>

1. ชนิดของแรงที่ให้ ซึ่งจะทำให้เกิดจุดศูนย์กลางของการหมุน (Center of rotation)
2. ขนาดของแรงที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนฟัน (Optimum force)

ในการศึกษาถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของความต้านทาน (Center of resistance) พบว่าขึ้นอยู่กับ เนื้อเยื่อที่รองรับฟัน เช่น กระดูกรองรับฟัน เนื้อเยื่อปริทันต์ และเหงือก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะ และรูปร่างของรากฟัน ความยาว และจำนวนของรากฟัน (Nanda และ Ghosh, 1997)

Burstone และ Pryputniewicz (1980) ได้ศึกษาถึง จุดศูนย์กลางของความต้านทานโดยการใช้เลเซอร์โฮโลกราฟฟี (Laser Holography) พบว่า จุดศูนย์กลางของความต้านทานของฟันหน้าอยู่บริเวณ 1/3 ของระยะทางจาก alveolar crest ไปยังปลายรากฟัน

Pederson และคณะ (1990) ได้ศึกษาถึงจุดศูนย์กลางของความต้านทานบนแบบทดลอง พบว่าอยู่ที่ตำแหน่ง 6.4 ม.ม. (38.6%) และ 3.6 ม.ม. (28.6%) ต่ำจากเส้นคอฟันของฟันกรามล่างซี่ที่ 1 และในฟันกรามน้อยตามลำดับ

Yamaguchi และ Nanda (1993) ได้ศึกษาจุดศูนย์กลางของความต้านทานของฟันเขี้ยวบน และฟันกรามล่างซี่ที่ 1 พบว่าอยู่บริเวณ 35% และ 32% ของความยาวราก โดยวัดจากคอฟันไปยังปลายรากฟัน ตามลำดับ ตำแหน่งที่ให้แรงและขนาดของลวดโค้ง มีผลต่อตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการหมุนของฟัน

การที่จะทำให้ฟันเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์ (Bodily movement) จำเป็นต้องให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางของความต้านทานของฟัน แต่ไม่สามารถทำได้จริงในทางคลินิก การที่จะทำให้ฟันเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์ในทางคลินิกนั้นทำได้โดย การให้แรงผ่านไปบนตัวฟันโดยถ่ายทอดจากแบรกเกต จะทำให้เกิดแรงคู่ควบที่ตัวฟัน ซึ่งต้องมีค่าเท่ากับแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นระหว่างแบรกเกตและลวดโค้ง แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเพื่อต้านการล้มเอียงของฟัน ขนาดของแรงคู่ควบถูกกำหนดโดยความกว้างของแบรกเกต และลักษณะของลวด เช่น ชนิดของโลหะผสม ขนาดและรูปร่างของลวด ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งฟันเคลื่อนมาชิดกัน (Nanda และ Ghosh, 1997)

<u>บทบาทของแรงเสียดทานในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน</u>

มีหลายทฤษฎีที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงทางทันตกรรมจัดฟันและการเคลื่อนของฟัน Schwartz (1932) กล่าวว่า แรงทางทันตกรรมจัดฟันไม่ควรเกินแรงดันของหลอดเลือดฝอยในเนื้อเยื่อปริทันต์ Storey และ Smith (1952) ให้ความเห็นว่า แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน คือ แรงที่น้อยที่สุด ซึ่งก่อให้เกิดอัตราการเคลื่อนของฟันมากที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์

Quinn และ Yoshikawa (1985) สรุปว่า อัตราการเคลื่อนฟันจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง หลังจากนั้นการเพิ่มของแรงจะไม่ทำให้อัตราการเคลื่อนฟันมากขึ้น ดังนั้นแรง ณ ตำแหน่งที่ทำให้อัตราการเคลื่อนฟันมากที่สุด คือ แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน

การเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics แรงเสียดทานจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดสัมผัสของแบรกเกตและลวดโค้ง แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันส่วนหนึ่ง จะใช้ในการเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ดังนั้นแรงสุทธิที่เหลืออยู่จะไปกระทำต่ออวัยวะรองรับฟันทำให้เกิดการเคลื่อนของฟัน การตอบสนองของเนื้อเยื่อที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันได้ดี ขึ้นกับขนาดของแรงสุทธิที่เหมาะสม

ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น

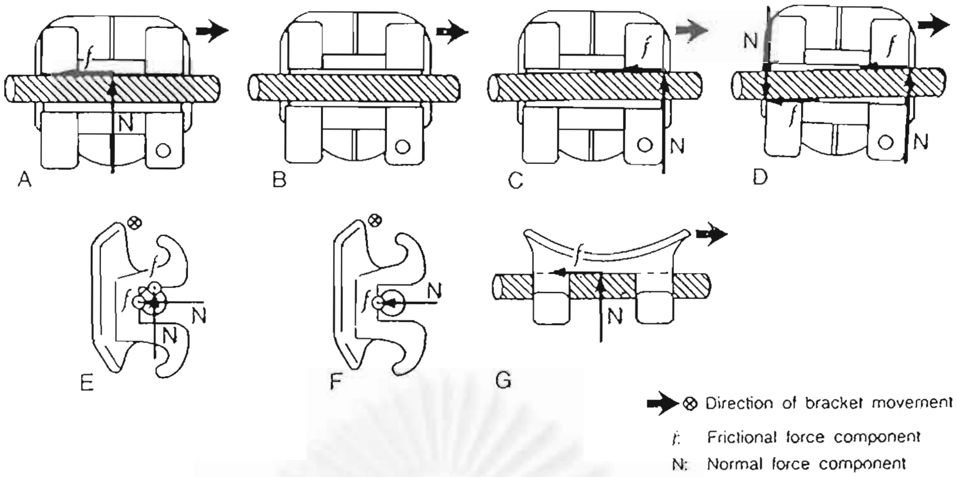
Proffit และ Fields (1986) คิดว่าความเสียดทานในเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นขึ้นอยู่กับ

- ลักษณะพื้นผิวสัมผัสของแบรกเกตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน
- แรงที่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันถูกกดเข้ากับร่องแบรกเกต ซึ่งหมายถึง สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และแรงที่ใช้ระหว่างผิวสัมผัสของแบรกเกตกับลวด โดยพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแบรกเกตกับลวดไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานเลย เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สร้างความเสียดทานในอัตราเดียวกันกับการลดแรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นผลต่างจะสมดุลย์ซึ่งกันและกัน ส่วน Tidy (1989) มีความเชื่อตามกฎของความเสียดทานที่ว่า "ความเสียดทานใดๆจะเป็นปฏิภาคกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก" ซึ่งในกรณีที่แบรกเกตเกิดการไถลไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน แรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของแบรกเกตกับลวดโค้ง ทางทันตกรรมจัดฟัน จะเกิดขึ้นจาก

1. การมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับแบรกเกตซึ่งอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟัน
2. แรงจากการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับฐานของร่องแบรกเกต
3. ทอร์กซึ่งมีผลในลวดเหลี่ยม
4. ความต้านทานที่จุดสัมผัส 2 จุด ระหว่างแบรกเกต และ ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันในขณะที่ฟันมีการเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์ และมีแนวโน้มที่จะเกิดการล้มเอียงของฟัน

ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น จะมีทั้งความเสียดทานสถิต และความเสียดทานจลน์ ในขณะที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลวดผ่านแบรกเกต หรือทำให้แบรกเกตเคลื่อนที่ไปตามลวด จะเกิดแรงอยู่ 2 ชนิด (Kapila และคณะ, 1990) คือแรงเสียดทานซึ่งจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของผิวสัมผัส และแรงปฏิกิริยาตั้งฉากซึ่งจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส และตั้งฉากกับแรงเสียดทานด้วย

ในขณะที่ฟันกำลังเคลื่อน ความสัมพันธ์ระหว่างแบรกเกต และลวดอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 1 ดังนั้นขนาดและทิศทางของแรงเสียดทานตลอดจนแรงปฏิกิริยาตั้งฉากจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ



รูปที่ 1 แรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรกเกตฟันเขี้ยวล่างซ้ายซึ่งไม่ได้แสดงการมัดลวดเข้ากับร่องแบรกเกตเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น (Kapilla และคณะ, 1990)

รูป A ถึง D เป็นรูปทางด้านหน้าของแบรกเกตแสดงความสัมพันธ์ของลวดกับแบรกเกตในลักษณะต่างๆ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ระหว่างการเคลื่อนฟันด้วย

รูป E และ F เป็นรูปทางด้านใกล้กลางของแบรกเกต แทนการเคลื่อนที่ของแบรกเกตในแนวตั้งฉากเข้าไปในกระดาษ

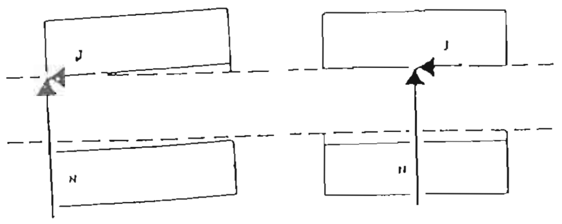
รูป G เป็นรูปทางด้านบดเคี้ยวของแบรกเกตและลวด

Frank และ Nikolai (1980) ได้อธิบายลักษณะของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นเอาไว้ว่า เมื่อพิจารณาแรงทางด้านหน้าแล้ว จะพบแรงปฏิกิริยาตั้งฉากอยู่ 3 ลักษณะ คือ

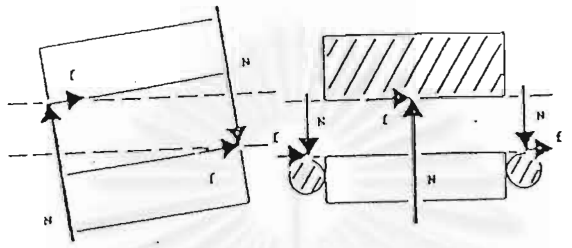
1. ในขณะที่แบรกเกตยังไม่เคลื่อนไปตามลวด แรงปฏิกิริยาตั้งฉากของลวดที่กระทำต่อแบรกเกตจะกระจายเหนือด้านบดเคี้ยว หรือด้านใกล้เหงือกของร่องแบรกเกต หรือกระจายเหนือขอบด้านใกล้กลาง และขอบด้านไกลกลางบนด้านเดียวกันของแบรกเกต (รูปที่ 2A)

2. เมื่อแบรกเกตเริ่มมีการล้มเอียง (Tip) ในแนวไกลกลางแต่ยังมีช่องว่าง ระหว่างลวดกับร่องแบรกเกต ลวดจะสัมผัสขอบของร่องแบรกเกตทางด้านใกล้กลาง หรือด้านไกลกลาง (รูปที่ 2B)

3. เมื่อแบรกเกตมีการเอียงมากขึ้นจนไม่มีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรกเกต แรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับลวดจะมี 2 แห่งคือ ที่ขอบของร่องแบรกเกตในแนวทะแยงมุม (รูปที่ 2C)



A. Zero Angulation B. Non-zero , Non-binding Angulation



C. Binding Angulation D. Bracket and Ligature Sectioned Horizontally (Occlusal View)

f = frictional force component

N = normal force component

รูปที่ 2 แรงที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรกเกตในลักษณะต่างๆซึ่งเมื่อแตกแรงแล้ว ในแนวดิ่งจะเป็นแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ส่วนในแนวระดับจะเป็นแรงเสียดทาน ในแต่ละภาพแสดงให้เห็นว่าแบรกเกตเอียงไปทางด้านซ้ายเมื่อเทียบกับลวด (Frank และ Nikolai , 1980)

แรงปฏิกิริยาทั้ง 3 ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเป็นประจำระหว่างการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน แรงปฏิกิริยาทั้ง 3 ลักษณะ อาจมีความแตกต่างกันบ้างระหว่างลวดกลม และลวดเหลี่ยม ซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อความเสียดทานด้วยเมื่อพิจารณาทางด้านบดเคี้ยว เมื่อพิจารณาทางด้านบดเคี้ยว จะพบว่าแรงปฏิกิริยาตั้งฉากเกิดจากการสัมผัสระหว่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับร่องแบรกเกตทางด้านใกล้ลิ้น ซึ่งเกิดจากการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบรกเกตด้วยลวดมัดแบรกเกต ยางมัดแบรกเกต หรือ โฮลดิงพิน (รูปที่ 2D) ในการวิเคราะห์แผนผังของแรงทางด้านบดเคี้ยว ต้องพิจารณาด้วยว่า การมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบรกเกตนั้น มัดเฉพาะขอบด้านใกล้กลาง หรือขอบด้านไกลกลางของแบรกเกต เช่น ในกรณีฟันหมุน หรือมัดที่ขอบแบรกเกตทั้ง 2 ด้าน

การดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันในทางคลินิกนั้น Frank และ Nikolai (1980) แยกแยะออกเป็น 3 ระยะด้วยกัน คือ

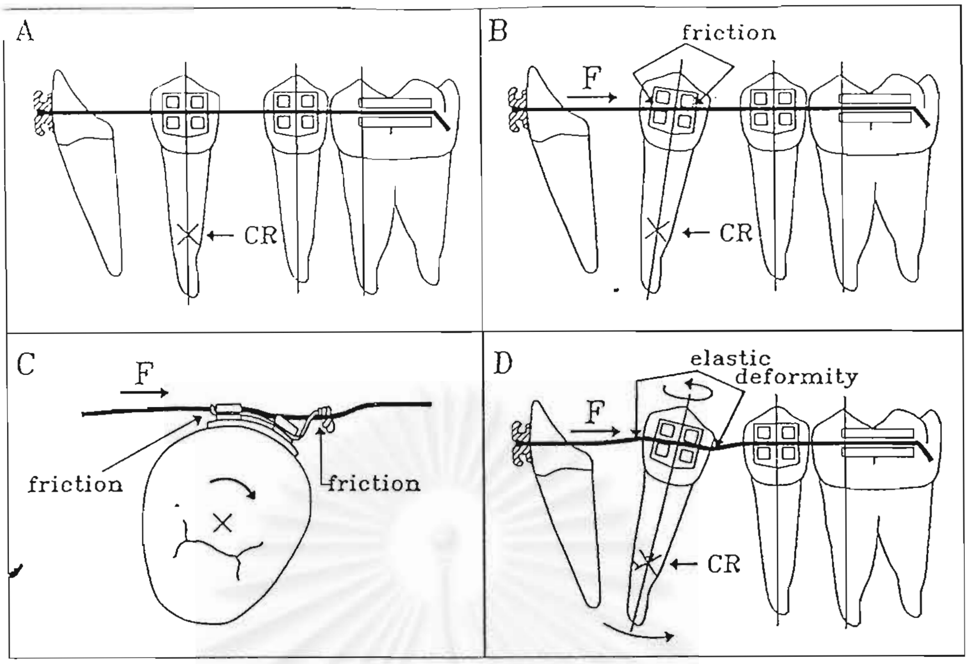
ระยะแรก จะเกิดการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงไปทางด้านไกลกลาง โดยแรงจากแหล่งกำเนิดมีมากกว่าความต้านทานของเนื้อเยื่อปริทันต์ และความเสียดทานระหว่างแบรกเกตกับลวด การเคลื่อนฟันแบบทิปปิงไปทางด้านไกลกลางนี้จะเกิดต่อไปเรื่อยๆ เกิดการทำมุมของร่องแบรกเกตเมื่อเทียบกับลวด จนกระทั่งช่องว่างระหว่างลวดกับแบรกเกตหมดไป ฟันเขี้ยวจึงเริ่มเกิดการยึดเหนี่ยวขึ้น

ระยะที่สอง ฟันเขี้ยวยังคงเคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางต่อไปเรื่อยๆ แต่ขณะนี้จะมีแรงคู่ควบที่เกิดจากการที่ลวดแตะกับขอบของร่องแบรกเกตในแนวทะแยงมุม แรงคู่ควบนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่ทำให้ตัวฟันล้มลง ฟันเขี้ยวจึงเริ่มเปลี่ยนจากการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง กลายเป็นการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์

ระยะที่สาม ระยะนี้แรงจากแหล่งกำเนิดแรงจะค่อยๆ ลดลง ในขณะเดียวกันแรงคู่ควบก็จะลดลงด้วย ฟันเขี้ยวในระยะนี้จึงเกิดการเคลื่อนรากฟัน เกิดการตั้งฟัน และเมื่อแรงจากแหล่งกำเนิดแรงลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ การทำมุมของร่องแบรกเกตก็จะกลับสู่ช่วงท้ายของระยะที่หนึ่ง ปริมาณการเกิดการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงในระยะแรกนั้น Frank และ Nikolai (1980) คิดว่าขึ้นอยู่กับ

- การทำมุมของร่องแบรกเกตตั้งแต่เริ่มแรก
- ลักษณะการดัดลวดแบบเกเบิล (Gable)
- ความกว้างของแบรกเกต
- ขนาดร่องแบรกเกต
- ขนาดของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

ส่วนการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงที่เพิ่มขึ้นในระยะที่สองนั้น ขึ้นอยู่กับการหมดแรงของแหล่งกำเนิด และความแข็งตึงของลวดในการดัดแบบออร์เดอร์ที่สอง ซึ่งความแข็งตึงของลวดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวด วัสดุที่ใช้ทำลวด และระยะห่างระหว่างแบรกเกต



รูปที่ 3 แสดงการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันทั้งสามระยะ (Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989)

ระยะแรก เป็นระยะที่ฟันมีการปรับระดับดีแล้ว ก่อนการให้แรงแก่ฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (รูปที่ 3A)

ระยะที่สอง เมื่อฟันได้รับแรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ฟันจะล้มเอียง (รูปที่ 3B) และหมุน (รูปที่ 3C) ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่าง แบรกเกตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน และ เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับลวดมัดแบรกเกตด้วย

ระยะที่สาม เมื่อลวดได้รับแรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางอย่างต่อเนื่องจะทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเกิดการผิดรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น แรงเสียดทานที่จุดสัมผัสจึงค่อยๆ สูงขึ้น เกิดการต้านทานการล้มเอียง และต้านการหมุนของฟัน (รูปที่ 3D)

Drescher, Bourauel และ Schumacher (1989) แบ่งแยกการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันออกเป็น 4 ระยะด้วยกัน คือ

ระยะแรก เป็นระยะที่มีการปรับฟันให้อยู่ในระดับที่ดีแล้ว และยังไม่มีการให้แรงแก่ฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ระยะนี้ลวดและร่องแบรกเกตจะอยู่ในระดับเดียวกัน (รูปที่ 3A)

ระยะที่สอง เมื่อมีการให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ฟันจะเริ่มล้มเอียงและหมุน เนื่องจากจุดที่แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมากระทำอยู่เหนือจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน (รูปที่ 3B, 3C)

ระยะที่สาม การให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางอย่างต่อเนื่องจะทำให้ลวดเกิดการผิดรูปในช่วงยืดหยุ่น ในขณะเดียวกันแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างลวดกับแบรกเกตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางหายไป การผิดรูปในช่วงยืดหยุ่นของลวดจะทำให้เกิดการต้านทานในการล้มเอียง และต้านทานการหมุนของฟัน (รูปที่ 3D) การเคลื่อนฟันไปตามลวดจะเกิดการเคลื่อนที่ของฟันตั้งแต่ระยะที่หนึ่งถึงระยะที่สามซ้ำๆกันหลายหน อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยหลายประการที่มาเกี่ยวข้อง เช่น แรงจากการบดเคี้ยว ที่อาจมีผลต่อการเคลื่อนที่ของฟันทั้งสามระยะเสียไป โดยทำให้ลวดเกิดการผิดรูปอย่างถาวรได้

ระยะที่สี่ เป็นระยะที่ลวดเกิดการผิดรูปอย่างถาวรจากปัจจัยอื่นๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ระยะนี้เป็นระยะที่ต้องพยายามหลีกเลี่ยง

<u>ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น</u>

มีปัจจัยมากมายที่เกิดขึ้นทั้งทางตรง และทางอ้อม ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบรกเกต และลวด (Nanda และ Ghosh, 1997)

1. **<u>ปัจจัยทางกายภาพ (Physical)</u>**

1.1 ลวดโค้ง (Arch wire)
- วัสดุที่ใช้ทำลวด (Material)
- ขนาดและลักษณะพื้นที่หน้าตัดของลวด (Cross-sectional shape/size)
- ลักษณะพื้นผิวสัมผัสของลวด (Surface texture)
- ความแข็งตึงของลวด (Stiffness)

1.2 การมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบรกเกต
- ลวดมัดแบรกเกต (Ligature wire)
- ยางมัดแบรกเกต (Elastomerics)
- วิธีการมัดลวดเข้ากับแบรกเกต (Method of Ligation) เช่น แบรกเกตที่ออกแบบเพื่อจำกัดแรงจากการผูก หรือเรียกว่า Self - ligating brackets

1.3 แบรกเกต
- วัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต (Material)
- กระบวนการผลิตแบรกเกต เช่น วิธีการหล่อแบบแบรกเกต (Cast) หรือ วิธีการซินเทอร์ริง (sintered stainless steel)

- ขนาดของร่องแบรกเกต คือความกว้างและความลึกของร่องแบรกเกต (Slot width and depth)
- ความกว้างของแบรกเกต (Bracket width)
- ลักษณะของแบรกเกต (Design of bracket : Single or twin)
- การทำมุม - ออร์เดอร์ที่หนึ่ง (First order bend : in-out)
- การทำมุม - ออร์เดอร์ที่สอง (Second order bend : angulation)
- การทำมุม - ออร์เดอร์ที่สาม (Third order bend : torque)

1.4 ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน (Orthodontic Appliance)

- ระยะห่างระหว่างแบรกเกตที่อยู่ติดกัน (Interbracket distance)
- ระดับของร่องแบรกเกตระหว่างฟันที่อยู่ติดกัน (Level of bracket slots between adjacent teeth)
- ขนาดแรงที่ใช้ในการดึงฟัน (Forces applied for retraction)

2. **<u>ปัจจัยทางชีวภาพ (Biological)</u>**

2.1 น้ำลาย (Saliva)

2.2 แผ่นคราบจุลินทรีย์ (Plaque)

2.3 แผ่นฟิล์มน้ำลาย (Acquired pellicle)

2.4 การกัดกร่อนของลวดหรือแบรกเกต (Corrosion)

เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานมากมายดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นการยากที่จะวัดแรงเสียดทานให้ถูกต้องในสภาวะที่เกิดขึ้นจริงทางคลินิก ยังไม่มีการศึกษาใดที่สามารถศึกษาปัจจัยทุกอย่างพร้อมกันได้ ตารางที่ 1 จะบอกรายละเอียดของปัจจัยต่าง ๆ ที่เคยมีการศึกษากันมาที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานทางทันตกรรมจัดฟัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน โดยวิธีการ Sliding mechanics (Nanda และ Ghosh, 1997)

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[31]		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[59]	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					

<u>วิธีการทดลองที่นำมาใช้ศึกษาแรงเสียดทาน มี 4 วิธีการ</u>

1. การจำลองการเคลื่อนของฟัน (Simulated tooth movement) : โดยการศึกษาจะพยายามจำลองการเคลื่อนของฟันให้ใกล้เคียงกับการเคลื่อนฟันจริงทางคลินิก โดยจะจัดสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่างแบรกเกตและลวดโค้ง เพื่อที่จะวัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น
2. การศึกษาความหยาบของพื้นผิวแบรกเกตและลวด (Surface roughness) : การศึกษาโดยใช้ Specular reflectance ดูปริมาณของแสงที่สะท้อนกลับมาจากพื้นผิววัตถุ พื้นผิววัตถุที่เรียบจะมีแสงสะท้อนกลับมามากในช่วงสีที่แคบ ในขณะที่พื้นผิวที่หยาบจะมีแสงสะท้อนออกมากระจัดกระจายไม่มีรูปแบบที่แน่นอน
3. การศึกษาแรงเสียดทานโดยใช้วัตถุที่เป็นแผ่นเรียบ (Contact flat) : สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถหาได้จากการใช้ลวดทางทันตกรรมจัดฟันยึดติดกับแผ่นโลหะที่ขนานกันสองแผ่น ซึ่งแผ่นโลหะจะทำมาจากวัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม โพลีคริสทัลลีน อะลูมินา หรือเทฟลอน และใช้แรงดึงลวดผ่านแผ่นโลหะในระดับแรงที่แตกต่างกันเพื่อวัดขนาดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น
4. การศึกษาเชิงพรรณา (Descriptive study) : ศึกษาถึงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่าง แบรกเกตและลวดโค้ง โดยเอาพื้นฐานจากประสบการณ์ทางคลินิก และข้อมูลที่ได้จากการบันทึกเกี่ยวกับแรงเสียดทานที่มีการศึกษามาก่อน

1. <u>วัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต และรูปแบบของแบรกเกต</u>

ปัจจุบันมีแบรกเกตให้เลือกใช้มากมาย โดยเฉพาะลักษณะแบรกเกตแบบเอดจ์ไวส์ มีให้เลือกทั้งขนาดของร่องแบรกเกต ความกว้างของแบรกเกต จำนวนปีกของแบรกเกต ลักษณะของแบรกเกตชนิดพรีแอดจัสท์ (Preadjusted) ความสามารถในการผูกมัดลวดโค้งกับแบรกเกต (ligation capability) และวัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต

แบรกเกตที่ได้รับความนิยมสูง คือ แบรกเกตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งในปัจจุบันแบ่งเป็นชนิดซินเทอร์ริง (Sintering) และชนิดหล่อแบบ (Casting) โดยกระบวนการผลิตชนิดซินเทอร์ริงเป็นการหลอมรวมอนุภาคของโลหะเข้าด้วยกัน จากการบีบอัดภายใต้ความร้อนและความกดดัน ทำให้แบรกเกตได้รับการขึ้นรูปตามรูปร่างที่กำหนด มีความกลมมน และมีผิวเรียบ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับกรรมวิธีหล่อแบบ จะใช้ขบวนการตัดชิ้นโลหะ ทำให้เกิดขอบและมุมที่คมของแบรกเกต

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

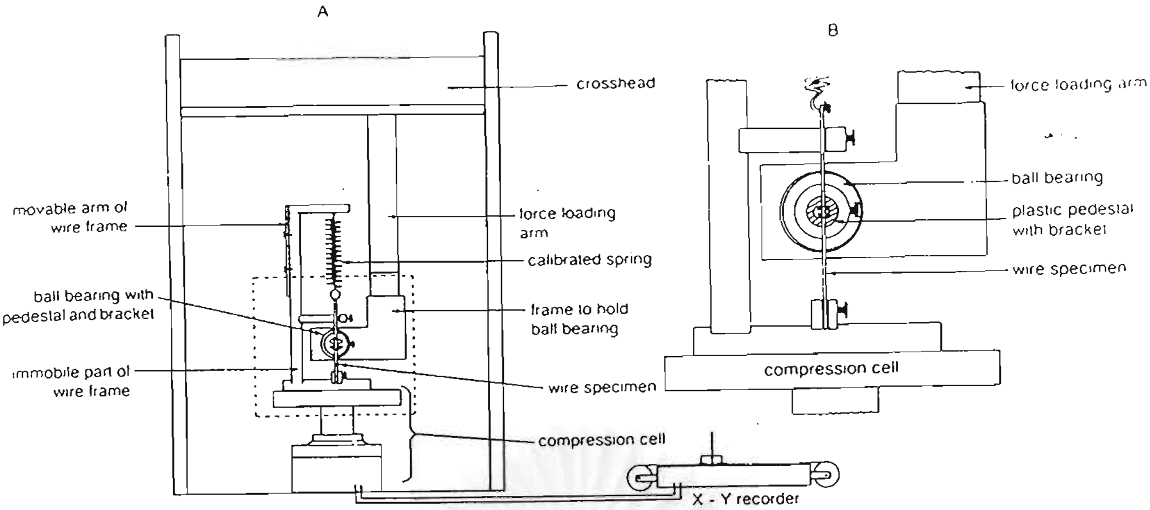
โลหะผสมชนิดใหม่ เช่น ไททาเนียม (Titanium) ได้รับการทดสอบ เพื่อที่จะหาวัสดุที่มีแรงเสียดทานน้อย และ มีความทนทานต่อการแตกหักสูง นอกจากนี้แบรกเกตเซรามิก ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านความสวยงาม ในปัจจุบันแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ ชนิดโมโนคริสทัลลีน (Monocrystalline) และโพลีคริสทัลลีน (Polycrystalline)

แบรกเกตที่ให้ความสวยงามอีกชนิดหนึ่ง คือ แบรกเกตพลาสติก ในปัจจุบันได้มีการเสริมเซรามิกเข้าไปในแบรกเกตพลาสติก เพื่อเพิ่มความแข็งแรง นอกจากนั้นยังมีการเสริมร่องของแบรกเกตโดยใช้โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลดแรงเสียดทาน

มีการศึกษาต่อเนื่องกันมาถึงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแบรกเกต คือ แบรกเกตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ ชนิดซินเทอร์ริง แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตพลาสติก กับลวดชนิดต่าง ๆ คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโคบอลท์-โครเมียม ลวดนิเกิล-ไททาเนียม และลวดบีตา-ไททาเนียม ในขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวดที่แตกต่างกัน (Angolkar และคณะ, 1990; Kapila และคณะ, 1990; Vaughan และคณะ, 1995; Ogata และคณะ, 1996; Bazakidou และคณะ, 1997)

แบรกเกตชนิดเดี่ยวแคบ (Narrow single bracket) ชนิดแฝดสยามขนาดกลาง (Medium twin bracket) และชนิดแฝดสยามแบบกว้าง (Wide twin bracket) มีมุม และความชันเป็นศูนย์องศา ทั้งชนิดที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว และ 0.022 นิ้ว ได้รับการทดสอบโดยนำลวดมาดึง ในขนาดแรงที่เท่าๆกัน และศึกษาดูการเคลื่อนที่ของแบรกเกตไปตามลวด โดยใช้เครื่องอินสตรอนยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน (รูปที่ 4) ค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานซึ่งได้จากแบรกเกตชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว (ตารางที่ 2) และแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว (ตารางที่ 3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Testing machine, bracket-wire assembly and force measuring equipment. B, Greater detail of the area enclosed by the dashed line in A.

รูปที่ 4 เครื่องอินสตรอน ยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน (Angolkar และคณะ, 1990)

<u>แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Brackets)</u>

ในขณะที่แบรกเกตเคลื่อนที่ไปตามความยาวของลวด ขนาดของแรงที่ใช้ในการเอาชนะแรงเสียดทานได้ถูกบันทึกไว้ ขนาดแรงที่วัดได้จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง อาจเกิดเนื่องจากการทำมุมออร์เดอร์ที่สองของแบรกเกตที่สัมพันธ์กับลวด ซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมตัวแปร และ การออกแบบการทดลอง ในการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติจะมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น แรงจากการสบฟัน แรงจากการบดเคี้ยว ความยืดหยุ่นของลวด และในขณะที่ฟันเคลื่อนที่ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของแบรกเกต และลวดเสมอ

แรงเสียดทานที่เกิดจากแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40 กรัม ถึง 336 กรัม และ แรงเสียดทานที่เกิดจาก แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40 กรัม ถึง 222 กรัม จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้แบรกเกตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะให้แรงเสียดทานต่ำ โดยจะมีค่าไม่เกิน 110 กรัม

Ogata และคณะ (1996) ได้ศึกษาแรงเสียดทานของแบรกเกตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีการออกแบบเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้ลดแรงเสียดทาน เช่น ออกแบบให้มีกันชนบนผนัง และพื้นของร่องแบรกเกต ทำให้ลดพื้นที่ผิวสัมผัส นอกจากนี้ยังมีการออกแบบเป็นลักษณะ Tip edge brackets (TP orthodontics, LaPorte, IN) โดยออกแบบให้บริเวณร่องทำมุมเอียง 20 องศาในแนวทะแยงมุม

กับด้านตรงกันข้าม โดยแบรกเกตชนิดนี้ออกแบบให้เหมาะสมกับวิธีรักษาแบบเบกก์เทคนิค (Begg technique) โดยที่เริ่มแรกฟันจะถูกดึงให้ล้มเอียง หลังจากนั้นจะทำการตั้งฟัน โดยใช้สปริงตั้งฟัน (Auxiliary springs) จากการออกแบบดังกล่าวนี้ การยึดเหนี่ยวกันของแบรกเกต และลวดโค้งจะลดลงทำให้ลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ ไม่สามารถเปรียบเทียบในระนาบการเคลื่อนที่เดียวกันกับแบรกเกตเอดจ์ไวส์แบบดั้งเดิม ซึ่งได้รับการออกแบบให้ฟันมีการเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของลวด 4 ชนิด ที่มีขนาดแตกต่างกันในแบรกเกต ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง และแบรกเกตเซรามิก (Angolkar และคณะ, 1990; Kapilla และคณะ, 1990 ; Vaughan และคณะ, 1995)

Wire Size (inch)	Wire Alloy	Frictional Force							
		Kapila et al.		Vaughan et al.				Angolkar et al.	
		Stainless Steel		Sintered Mini-Taurus		Sintered Miniature Twin		Ceramic	
		Mean g	(SD)	Mean g	(SD)	Mean g	(SD)	Mean g	(SD)
0.016	SS	88.8	(33.8)	81.4	(25.0)	60.3	(25.9)	123.0	(32.7)
	Co-Cr	66.4	(27.4)	54.8	(24.0)	45.8	(25.7)	88.4	(12.0)
	B-Ti	176.9	(34.0)	87.5	(24.6)	110.6	(42.8)	217.9	(21.2)
	Ni-Ti	159.0	(19.4)	82.5	(21.5)	74.3	(38.8)	221.9	(29.8)
0.016 × 0.016	Co-Cr	99.1	(14.5)	63.1	(23.7)	79.0	(26.8)	163.1	(22.7)
	Ni-Ti	109.2	(23.7)	90.5	(28.0)	156.6	(51.6)	237.7	(29.4)
0.016 × 0.022	SS	163.0	(35.7)	76.7	(26.0)	74.2	(25.7)	150.0	(20.4)
	Co-Cr	141.4	(27.6)	102.4	(42.2)	83.0	(27.4)	159.3	(21.3)
	B-Ti	234.9	(68.0)	138.1	(36.1)	116.6	(52.6)	240.9	(35.9)
	Ni-Ti	192.1	(42.3)	84.7	(29.2)	82.3	(46.5)	228.8	(23.8)
0.017 × 0.017	SS	163.4	(34.1)	104.8	(20.8)	50.9	(26.4)	148.0	(20.2)
	B-Ti	179.3	(38.3)	141.2	(56.0)	117.1	(29.0)	217.9	(38.4)
0.017 × 0.025	SS	175.4	(38.3)	110.4	(29.4)	82.1	(35.0)	250.3	(50.6)
	Co-Cr	165.1	(24.8)	123.8	(33.1)	93.0	(40.0)	267.0	(17.5)
	B-Ti	274.5	(49.7)	133.5	(41.6)	144.9	(41.0)	405.1	(101.1)
	Ni-Ti	225.2	(41.3)	55.9	(15.1)	57.9	(27.7)	182.1	(19.2)

From Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98:117–126, 1990. Vaughan JL, Duncanson MG Jr, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 107:20–27, 1995. Angolkar PV, Kapila S, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98:499–506, 1990.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของลวด 4 ชนิด ที่มีขนาดแตกต่างกันในแบรกเกต ขนาดร่อง 0.022 นิ้ว 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง และแบรกเกตเซรามิก (Angolkar และคณะ, 1990; Kapilla และคณะ, 1990 ; Vaughan และคณะ, 1995)

Wire Size (inch)	Wire Alloy	Frictional Force							
		Kapila et al.		Vaughan et al.				Angolkar et al.	
		Stainless Steel		Sintered Mini-Taurus		Sintered Miniature Twin		Ceramic	
		Mean g	(SD)	Mean g	(SD)	Mean g	(SD)	Mean g	(SD)
0.016	SS	100.6	(20.1)	54.4	(17.6)	58.5	(33.5)	119.0	(34.4)
	Co-Cr	93.8	(26.8)	36.0	(27.9)	38.0	(19.6)	136.1	(40.8)
	B-Ti	117.7	(21.0)	78.7	(29.8)	80.4	(25.1)	169.6	(31.5)
	Ni-Ti	126.8	(16.7)	61.6	(26.5)	73.1	(17.0)	160.2	(23.4)
0.016 × 0.016	Co-Cr	120.5	(19.4)	58.3	(24.6)	104.3	(38.5)	163.9	(58.2)
	Ni-Ti	100.7	(13.7)	96.0	(26.5)	40.8	(12.7)	207.0	(27.7)
0.016 × 0.022	SS	129.8	(20.6)	94.2	(39.3)	51.5	(18.2)	202.6	(30.3)
	Co-Cr	146.8	(15.8)	75.7	(23.2)	68.2	(26.0)	212.4	(64.4)
	B-Ti	165.8	(19.2)	108.8	(31.4)	114.0	(44.6)	308.4	(58.0)
	Ni-Ti	153.2	(17.8)	68.7	(26.0)	74.3	(25.0)	226.4	(25.8)
0.017 × 0.017	SS	99.2	(19.2)	49.2	(7.5)	54.1	(37.6)	170.3	(25.3)
	B-Ti	136.5	(34.9)	75.5	(28.5)	95.1	(32.8)	251.0	(49.8)
0.017 × 0.025	SS	115.4	(18.7)	68.8	(28.5)	63.6	(18.1)	237.6	(55.5)
	Co-Cr	176.3	(23.5)	79.6	(34.7)	57.1	(39.0)	231.9	(42.3)
	B-Ti	215.3	(24.2)	112.1	(55.6)	168.3	(44.3)	364.1	(58.3)
	Ni-Ti	177.7	(31.7)	85.5	(27.8)	102.3	(43.1)	282.4	(40.0)
0.018	SS	84.9	(13.9)	64.4	(36.0)	30.1	(9.4)	135.6	(33.0)
	Co-Cr	101.3	(27.0)	55.4	(20.5)	44.1	(17.0)	159.0	(39.6)
	B-Ti	112.9	(19.8)	133.5	(38.6)	139.0	(28.8)	206.9	(22.5)
	Ni-Ti	162.1	(29.5)	113.7	(33.5)	132.1	(26.7)	204.9	(27.9)
0.018 × 0.025	SS	150.1	(35.0)	60.1	(20.2)	64.5	(37.5)	240.5	(51.7)
	Co-Cr	194.5	(36.4)	50.4	(16.8)	45.8	(21.9)	220.3	(40.5)
	Ni-Ti	138.8	(27.1)	68.1	(27.5)	66.3	(38.3)	227.3	(63.7)
0.019 × 0.025	SS	193.3	(28.9)	61.6	(28.1)	71.1	(21.2)	265.2	(40.9)
	Co-Cr	192.2	(21.1)	81.1	(36.0)	62.0	(36.8)	253.5	(88.8)
	B-Ti	154.8	(33.2)	98.9	(58.9)	95.4	(51.1)	399.4	(69.7)
	Ni-Ti	155.7	(18.0)	59.2	(20.2)	117.1	(35.3)	283.1	(93.7)

From Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98:117–126, 1990. Vaughan JL, Duncanson MG Jr, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 107:20–27, 1995. Angolkar PV, Kapila S, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98:499–506, 1990.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง (Sintered Stainless Steel Brackets)

Vaughan และคณะ, (1995) ทำการศึกษาแรงเสียดทานจลน์ ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง 2 ชนิด พบว่า แรงเสียดทานจลน์ของ แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว กับลวดโคบอลท์-โครเมียม ขนาด 0.016 นิ้ว มีค่าเพียง 45.8 กรัม ในขณะที่เมื่อทดสอบกับลวดไน-ไท ขนาด 0.016x0.016 นิ้ว จะมีแรงเสียดทานจลน์เกิดขึ้นถึง 156.6 กรัม (จากตารางที่ 2 และ 3)

อย่างไรก็ตามในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว ค่าแรงเสียดทานจลน์จะอยู่ระหว่าง 30.1 กรัม เมื่อทดสอบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.018 นิ้ว ถึง 168.3 กรัม เมื่อทดสอบกับลวดบีตา-ไททาเนียม ขนาด 0.017x0.025 นิ้ว

แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง จะให้แรงเสียดทานที่มีค่าน้อยกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ ในลวดที่มีขนาดต่าง ๆ กัน เป็นส่วนใหญ่

แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์มินิทอรัส (Sintered Mini-Taurus stainless steel bracket) จะให้แรงเสียดทานน้อยกว่า หรือเพียง 38 เปอร์เซ็นต์ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว ในขณะที่แบรกเกตชนิดซินเทอร์มินิทวิน (Sintered Mini-Twin bracket) จะให้แรงเสียดทานน้อยกว่าถึง 41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ

สำหรับแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริงจะให้แรงเสียดทานที่น้อยกว่าประมาณ 44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดหล่อแบบ

ความแตกต่างระหว่างแรงเสียดทานของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดหล่อแบบ อาจเนื่องจาก ลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง จากการทดลองเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดซินเทอร์ริง 2 ชนิด พบว่ามีเพียงตัวอย่างเดียวที่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงเสียดทาน คือ ในลวดขนาด 0.017x0.017 นิ้วในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว

แบรกเกตเซรามิก (Ceramic Brackets)

จากการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) พบวา แบรกเกตเซรามิกที่มีขนาดของร่อง 0.018 นิ้ว และ 0.022 นิ้ว จะมีแรงเสียดทานมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในลวดชนิด และขนาดต่าง ๆ กันดังตารางที่ 2 และ 3

แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว แรงเสียดทานจะมีค่าตั้งแต่ 88.4 กรัม เมื่อทดสอบในลวดโคบอลท์-โครเมียม ขนาด 0.016 นิ้ว ถึง 405.1 กรัม เมื่อทดสอบในลวดบีตา-ไททาเนียมขนาด 0.017x0.025 นิ้ว อย่างไรก็ตาม แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว แรงเสียดทานจะอยู่ระหว่าง 119 กรัม เมื่อทดสอบในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 นิ้ว และ 399.4 กรัม เมื่อทดสอบในลวดบีตา-ไททาเนียม ขนาด 0.019x0.025 นิ้ว

ความแตกต่างระหว่าง แรงเสียดทานของแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม อาจเนื่องจาก ลักษณะของเนื้อวัสดุที่แตกต่างกัน หรือลักษณะพื้นผิวของร่องแบรกเกต เมื่อนำภาพขยายของร่องแบรกเกตมาเปรียบเทียบกัน พบว่าในแบรกเกตเซรามิกจะพบว่ามีลักษณะเป็นรอยเว้ารอยแหว่งเล็ก ๆ จำนวนมากมาย ในขณะที่พื้นผิวของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมจะเรียบกว่า

จากการศึกษาของ Swartz (1988) แบรกเกตเซรามิกชนิดซิงเกิลคริสทัล (Single crystal ceramic bracket) ทำมาจากผลึกชิ้นเดี่ยวของอะลูมินา โดยจะนำมาตัดให้มีรูปร่าง และมิติที่ต้องการด้วยวิธี Ultrasonic Cutting หรือ Dimond Cutting หรือร่วมกันทั้ง 2 วิธี ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการทำที่ยุ่งยาก อาจจะทำให้เกิดเป็นลักษณะพื้นผิวที่เป็นหลุมเล็ก ๆ หรือเป็นเม็ดเล็ก ๆ จากการมองผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาของ Omana และคณะ (1992) พบว่า แบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน (Polycrystalline ceramic bracket) เมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบมาก ซึ่งทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนลวดโค้งได้

จากการศึกษาของ Saunders และ Kusy (1994) โดยตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแบรกเกตโดยใช้วิธี Laser specular reflectance และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด พบว่าแบรกเกตเซรามิกชนิดซิงเกิลคริสทัลลีน หรือ โมโนคริสทัลลีน อะลูมินา จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าแบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน แต่ขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน

การใช้ลวดโค้งเหล็กกล้าไร้สนิม ร่วมกับแบรกเกตเซรามิก จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมาก ดังนั้นในการเคลื่อนฟัน จำเป็นต้องใช้แรงดึงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากทันตแพทย์มักจะใช้ แบรกเกตเซรามิกในฟันหน้า ร่วมกับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในฟันหลัง ซึ่งเมื่อทำการดึงฟันเขี้ยว โดยวิธี Sliding mechanics อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึด เพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแบรกเกตเซรามิกมีมากกว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และบัคเคิล ทิว ดังนั้นจึงควรมีการเตรียมหลักยึดให้เพียงพอ หรือหลีกเลี่ยงการติดแบรกเกตเซรามิกในฟันหน้า

<u>แบรกเกตเซอโคเนีย (Zirconia brackets)</u>

แบรกเกตเซรามิก นอกจากจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นมากแล้ว ยังมีความต้านทานต่อการแตกหักต่ำอีกด้วย เนื่องจากโดยเนื้อวัสดุของเซรามิกเองจะมีความเปราะ ดังนั้นถ้าลักษณะพื้นผิวของเซรามิกมีรอยแตกหรือตำหนิแม้แต่เพียงเล็กน้อย ก็จะมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของเซรามิก

แบรกเกตเซอโคเนีย คือแบรกเกตเซรามิกที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมส่วนประกอบของเซอโคเนียมออกไซด์ ทำให้พื้นผิวมีคุณสมบัติที่แข็งขึ้น และทำให้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Keith และคณะ (1994) พบว่า แบรกเกตเซอโคเนียจะมีแรงเสียดทานที่เท่ากับ หรือสูงกว่าแบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน อะลูมินา ทั้งในสภาพแห้ง และเปียก และ เมื่อนำแบรกเกตเซอโคเนียมาใช้ในวิธี Sliding mechanics ความแข็งของแบรกเกตจะทำให้ลวดถูกขีดข่วน เกิดเป็นเศษโลหะชิ้นเล็ก ๆ กระจัดกระจาย (debris) และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะพื้นผิวของแบรกเกตเซอโคเนียด้วย

<u>แบรกเกตพลาสติก (Plastic brackets)</u>

แบรกเกตพลาสติกได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านความสวยงาม เพื่อให้มีความเสียดทานต่ำ และง่ายต่อการถอดแบรกเกต เมื่อเปรียบเทียบกับ แบรกเกตเซรามิก

แบรกเกตพลาสติกได้รับการพัฒนาให้มีความแข็ง มีความต้านทานต่อการบิดเบี้ยวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยการเติมส่วนประกอบของเซรามิกเข้าไป นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโดยการเสริมร่องโดยใช้โลหะเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าไปเพื่อช่วยลดความเสียดทาน และเสริมความแข็งแรงของแบรกเกตพลาสติก

Bazakidou และคณะ (1997) ได้ศึกษาแรงเสียดทานของ แบรกเกตพลาสติก 4 ชนิด แบรกเกตเซรามิกชนิดโมโนคริสทัลลีน ชนิดโพลีคริสทัลลีน และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม การทดสอบทำโดยใช้ลวดที่มีชนิดและขนาดแตกต่างกัน และใช้แบรกเกต ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว และ 0.022 นิ้ว แสดงรายละเอียดของผลการศึกษาดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว จะมีค่าอยู่ตั้งแต่ 49.87 กรัม เมื่อทดสอบแบรกเกตพลาสติกสปิริต (Spirit bracket) กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 นิ้ว โดยใช้ยางมัดแบรกเกต ถึง 222.31 กรัม เมื่อทดสอบแบรกเกตพลาสติกสปิริตกับลวดบีตา-ไททาเนียมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว โดยใช้ลวดมัดแบรกเกต

แรงเสียดทานที่เกิดจากแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว มีค่าใกล้เคียงกันกับขนาดร่อง 0.018 นิ้ว คือ ค่าแรงเสียดทานจะอยู่ระหว่าง 31.35 กรัม เมื่อทดสอบแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.017x0.025 นิ้ว โดยใช้ลวดมัดแบรกเกต ถึง 270.6 กรัม เมื่อทดสอบแบรกเกตเซรามิก ชนิดโพลีคริสทัลลีน กับลวดไน-ไท ขนาด 0.018 นิ้ว โดยใช้ลวดมัดแบรกเกต

จากการศึกษา พบว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานจลน์ อย่างมีนัยสำคัญที่เกิดจากแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตพลาสติกชนิดต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานของ แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว พบว่าเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน แบรกเกตพลาสติกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตพลาสติก ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบในแบรกเกต ที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ แบรกเกตเซรามิกชนิดโพลีคริสทัลลีน แบรกเกตเซรามิกชนิดโมโนคริสทัลลีน แบรกเกตพลาสติก แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และ แบรกเกตพลาสติกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า การเสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เข้าในร่องของแบรกเกตพลาสติก ไม่ได้ช่วยลดแรงเสียดทานได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับแบรกเกตพลาสติกที่ไม่ได้เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

จากการศึกษาต่อเนื่องหลายการศึกษา พบว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม มีแรงเสียดทานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตพลาสติก (Pratten และคณะ, 1990; Riley, Garrett และ Moon, 1979; Kusy และ Whitley, 1990; Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Tanne และคณะ, 1991; Omana, Moore และ Bagby, 1992 ; Tselepis, Brockhurst และ West, 1994)

Riley และคณะ, (1979) ได้ศึกษาแรงเสียดทานของแบรกเกตพลาสติก พบว่าเมื่อมีการใช้ลวดมัดแบรกเกตที่ผูกแน่นเกินไป อาจจะทำให้แบรกเกตพลาสติกเกิดการบิดเบี้ยวหรือบีบตัวเข้ามาในร่องทำให้เพิ่มแรงเสียดทานขึ้นได้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (SS-1, Unitek Miniature Twin) , แบรกเกตเซรามิก ชนิดโพลีคริสทัลลีน (PC-1, RMO Signature) และแบรกเกตพลาสติก 4 ชนิด (SP-1, Ormco Spirit; EL-1, GAC Elan; IM-1, GAC Image; SI-1, American Silcon) ซึ่งแบรกเกตทั้งหมดมีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว (Bazakidou และคณะ, 1997)

Bracket	Wire																	
	Stainless Steel Alloy						β-Titanium Alloy						Nickel-Titanium Alloy					
	0.016 inch			0.016 × 0.022 inch			0.016 inch			0.016 × 0.022 inch			0.016 inch			0.016 × 0.022 inch		
	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD
A. Elastomeric Ligation																		
SS-1	B	74.17	17.61	B	95.17	28.4	A	152.21	47.77	C	136.43	33.53	B	137.85	26.75	A	151	27.9
PC-1	A	75.78	13.32	A	100.9	31.9	B	112.34	19.59	B	149.19	28.51	D	89.96	13.49	B	143.4	23.5
SP-1	F	49.87	10.18	E	73.85	15	C	107.98	16.52	D	129.44	16.46	B	138.62	41.57	C	131.5	17.7
EL-1	C	65.53	14.17	D	83.06	14.9	BC	110.93	20.37	E	98.86	15.28	A	151.09	29.09	E	114.1	11
IM-1	E	55.14	10.43	B	97.86	30.9	E	82.25	25.81	F	82.36	17.34	C	132.54	26.91	F	109.6	14.4
SI-1	D	58.63	10.84	C	87.64	18.5	D	90.02	21.34	A	163.59	66.45	C	132.18	45.52	D	127.2	15.6
B. Steel Ligation																		
SS-1	A	90.8	42.38	B	104.6	46.2	D	100.44	64.08	E	84.52	37.47	B	136.47	88.63	B	175.8	142
PC-1	B	78.03	33.65	C	97.28	70.3	B	185.85	121.1	C	139.37	80.29	B	141.1	107.2	E	87.69	34.5
SP-1	D	51.3	15.82	D	59.17	31.3	A	199.21	58.76	A	222.31	108.5	A	207.82	73.11	A	186.6	76.8
EL-1	D	48.81	19.08	D	59.15	26.6	C	138.14	50.1	B	171.56	77.42	D	88.82	58.04	C	129.7	43
IM-1	D	48.81	22.1	D	58.87	24.2	C	133.03	33.87	D	106.72	50.6	C	104.04	42.2	D	109.5	26.2
SI-1	C	60.23	25.38	A	136.8	71	E	90.3	19.73	C	142.42	46.96	C	108.17	35.22	E	93.68	61.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (SS-2, Unitek Miniature twin) , แบรกเกตเซรามิก ชนิด โมโนคริสทัลลีน (MC-2, A-Company Starfire) , แบรกเกตเซรามิก ชนิดโพลีคริสทัลลีน (PC-2, RMO Signature) และแบรกเกตพลาสติก 3 ชนิด (SP-2, Ormco Spirit; IM-2, GAC Image; SI-2, American Silcon) แบรกเกตทั้งหมดมีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว (Bazakidou และคณะ, 1997)

Bracket	Wire																										
	Stainless Steel Alloy									β-Titanium Alloy									Nickel-Titanium Alloy								
	0.018 inch			0.017 x 0.025 inch			0.019 x 0.025 inch			0.018 inch			0.017 x 0.025 inch			0.019 x 0.025 inch			0.018 inch			0.017 x 0.025 inch			0.019 x 0.025 inch		
	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD	SNK	Mean	SD
A. Elastomeric Ligation																											
SS-2	B	90.85	11.5	D	83.67	17.8	D	97.75	18.5	C	102.12	23	D	102.1	19.2	C	118.2	14.2	F	101.29	19.4	A	148.91	23.5	B	172.1	23.2
MC-2	B	92.24	16.2	B	101	16.8	A	121.3	30	B	109.7	16	B	130.7	24	B	147.5	32.2	C	144.59	22.4	AB	147.11	38.9	C	166.6	23.5
PC-2	A	114.8	24.8	A	143.6	51.9	B	114.1	22.8	A	147.02	30.1	A	147.4	31.9	A	160.1	27.5	D	130.44	35.4	B	144.26	21.3	A	200	29.7
SP-2	D	66.07	14	E	78.37	12.2	F	83.51	11.2	D	90.68	14.8	E	85.79	15.8	C	118.2	26	A	158.43	36.4	C	121.33	18.7	C	166.1	26.3
IM-2	E	52.38	16.2	E	78.49	24.3	E	93.81	24.7	E	71.1	14	E	82.99	19.9	D	99.94	14.1	E	108.45	17.1	E	102.98	13.4	E	144.3	20.8
SI-2	C	78.77	15.7	C	91.82	21.8	C	110.1	27.3	D	92.5	14	C	127.2	33.2	C	118.3	10.9	B	148.06	28.3	D	117.8	21.8	D	161.4	30.4
B. Steel Ligation																											
SS-2	C	42.01	18.2	F	31.35	20.4	F	38.75	31.5	C	139.42	60.1	C	124.5	82.6	C	144.2	85.8	C	127.75	38.1	B	131.67	85.4	D	136.2	123
MC-2	A	71.13	41	A	139.8	94.7	C	121	61.5	A	187.58	103	B	141.6	117	D	96.39	70.2	D	129.12	65.5	A	166.42	93	BC	149.2	91
PC-2	B	64.46	35.5	C	102.2	43.9	A	138.7	72.8	B	167.55	100	A	165.4	125	A	207.1	159	A	270.62	149	A	166.66	120	A	201.8	129
SP-2	C	42.14	9.75	D	74.47	39.7	E	44.53	22.4	D	94.08	43.7	C	123.1	60.9	B	159.8	44.2	B	91.08	55.1	C	114.04	58.5	B	157.5	52
IM-2	A	70.88	26.2	E	51.72	26.7	D	60.43	29.4	E	77.7	41.6	B	146.5	110	D	100.6	75.2	D	107.69	45.2	A	157.13	45.2	E	114.5	41.5
SI-2	A	73.03	25.4	B	108.2	22.3	B	132.3	41	C	144.46	77.6	A	165.3	85.6	C	137.9	92.5	C	105.26	35.9	B	137.46	35.9	CD	141.9	38.2

2. ความกว้างของแบรกเกต (Bracket Width)

ปัจจัยด้านความกว้างของแบรกเกตที่มีผลต่อแรงเสียดทานยังเป็นที่โต้แย้งกันอยู่ เนื่องจากการศึกษาของ Peterson และคณะ (1982) และ Andreasen และ Quevedo (1970) พบว่า ความกว้างหรือความแคบของแบรกเกตไม่มีผลต่อแรงเสียดทาน ในขณะที่การศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) ; Kapila และคณะ (1990) และ Ogata และคณะ (1996) พบว่า แรงเสียดทานจะเกิดมากขึ้นเมื่อความกว้างของแบรกเกตเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามจากการศึกษาของ Tidy (1989); Drescher และคณะ (1989); Bednar และคณะ (1991) และ Omana และคณะ (1992) พบว่าแรงเสียดทานจะลดลงเมื่อความกว้างของแบรกเกตเพิ่มขึ้น

Frank และ Nikolai (1980) ศึกษาพบว่า ในแบรกเกตที่กว้างจะทำให้ แรงเสียดทานมากขึ้น เนื่องจากจะเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองของลวด และแบรกเกต ได้บ่อยกว่าในแบรกเกตที่แคบ เนื่องจาก การยึดเหนี่ยวจะเกิดขึ้นในมุมที่แคบ แต่เกิดขึ้นได้บ่อย ในทางตรงกันข้าม Drescher และคณะ (1989); Bednar และคณะ (1991) และ Omana และคณะ (1992) ได้กล่าวว่า ในแบรกเกตที่แคบ ฟันจะเกิดการล้มเอียงในมุมที่มากกว่า ซึ่งเมื่อเกิดการล้มเอียงเข้น จนกระทั่งเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สอง ก็จะทำให้เกิดแรงเสียดทานต้านทานการเคลื่อนที่อย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองในมุมที่แคบ

Kapila และคณะ (1990) ได้รายงานว่า แบรกเกตแฝดสยามขนาดกลาง ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว จะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น มากกว่าแบรกเกตเดี่ยวขนาดแคบประมาณ 1 ถึง 1 เท่าครึ่ง และแบรกเกตขนาดกว้าง จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่า แบรกเกตเดี่ยวขนาดแคบถึง 2 เท่า แต่เมื่อศึกษาในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างของความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแบรกเกตแฝดสยามขนาดกลาง และแบรกเกตขนาดกว้าง อย่างไรก็ตาม แบรกเกตดังกล่าว ยังมีแรงเสียดทานมากกว่าแบรกเกตเดียวขนาดแคบอย่างมีนัยสำคัญ

ความกว้างของแบรกเกต มีผลทางอ้อมต่อการเกิดแรงเสียดทาน เนื่องจากความกว้างของแบรกเกต มีความเกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างแบรกเกตที่อยู่ติดกัน แบรกเกตที่แคบ จะทำให้ระยะห่างระหว่างแบรกเกตมีมาก ดังนั้น ลวดจะมีช่วงที่ยาวขึ้น มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้เพิ่มแรงเสียดทาน นอกจากนั้นแบรกเกตที่แคบจะแก้ไขฟันหมุน หรือฟันล้มเอียงได้น้อยกว่าแบรกเกตที่กว้าง เนื่องจากการที่มีช่วงความยาวของลวดที่สั้นในร่องของแบรกเกต

3. ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน (Orthodontic Archwires)

3.1 วัสดุที่ใช้ทำลวด (Wire Alloy)

การศึกษาแรงเสียดทาน จากโลหะผสมชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ทำลวด โดยวิธีการเคลื่อนฟัน Sliding mechanics จากตารางที่ 6 แสดงถึงชนิดของโลหะผสม และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น พบว่า ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุด และลวดบีตา-ไททาเนียมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุด

Kapila และคณะ (1990) พบว่า ลวดไน-ไท และลวดบีตา-ไททาเนียมมักจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม หรือลวดโคบอลท์-โครเมียม

Frank และ Nikolai (1980) พบว่า ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดไน-ไท เมื่อไม่มีการทำมุมระหว่างแบรกเกตกับลวด แต่ถ้ามีการทำมุมเกิดขึ้น จะทำให้ลวดขัดกับร่องแบรกเกต ซึ่งพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม จะมากกว่าลวดไน-ไท เนื่องจาก ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีความแข็งตึง (Stiffness) มากกว่าลวดไน-ไท ดังนั้น เมื่อเกิดการทำมุมระหว่างลวดกับร่องแบรกเกต จะทำให้แรงปฏิกิริยาตั้งฉากของ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมากกว่าลวดไน-ไท

Kusy และคณะ (1988) ได้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของลวดโดยใช้ Specular reflectance พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีลักษณะพื้นผิวเรียบที่สุด รองลงมาคือ ลวดโคบอลท์-โครเมียม และลวดบีตา-ไททาเนียม ในขณะที่ลวดไน-ไท จะมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบที่สุด นอกจากแรงเสียดทานจะเกี่ยวข้องกับความหยาบของพื้นผิวของลวดแล้ว พบว่าลวดบีตา-ไททาเนียม จะเกิดการยึดเหนี่ยวจุดเล็กๆ (Microwelds) กับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในสภาพที่แห้ง ทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้น

Kusy และ Whitley (1990) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบของพื้นผิวของลวด และลักษณะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับลวดชนิดต่าง ๆ กัน พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีพื้นผิวที่เรียบที่สุด และมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยที่สุด ในขณะที่ลวดนิเกิล-ไททาเนียมและลวดบีตา-ไททาเนียม พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างความหยาบของพื้นผิวและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เพราะว่าลวดบีตา-ไททาเนียม จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุด แต่ไม่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่หยาบที่สุด Kusy และ Whitley จึงสรุปว่าความหยาบของพื้นผิวของลวดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ถึงลักษณะของ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในวิธี Sliding mechanics

ตารางที่ 6 การศึกษาแรงเสียดทาน และชนิดของโลหะผสมที่ใช้ทำลวด จากตารางจะมีค่าตั้งแต่ 1-4 , โดย 1 หมายถึง มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นน้อยที่สุด และ 4 หมายถึง มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นมากที่สุด (Nanda และ Ghosh, 1997)

Author/Year	Wire Alloy			
	Stainless Steel	Cobalt-Chromium	Nickel-Titanium	β-Titanium
Frank and Nikolai 1980[24]	1 if nonbinding 2 if binding	3	2 if nonbinding 1 if binding	None
Peterson et al. 1982[27]	Equal if nonbinding 2 if binding	None	Equal if nonbinding 1 if binding	None
Stannard et al. 1986[29]	2	4	3	1
Garrner et al. 1986[25]	1	None	2	3
Kusy et al. 1988[34]	1	2 Yellow = blue Elgiloy	Titanal 4 Nitinol 5	3
Kusy and Whitley 1989[51]	1	3	2	4
Tidy 1989[30]	1	None	2	3
Drescher et al. 1989[33]	1	2	3	4
Kapila et al. 1990[26]	1	2	3	4
Kusy and Whitley 1990[52]	1	2	3	4
Pratten et al. 1990[28]	1	None	2	None
Angolkar et al. 1990[23]	1	2	3	4
Kusy et al. 1991[56]	1	2	3	4
Ireland et al. 1991[54]	1	None	2	None
Omana et al. 1992[59]	Equal	None	Equal	None
Vaughan et al. 1995[42]	2	1	3	4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Prososki และคณะ (1991) ได้ศึกษาความหยาบของพื้นผิวลวด โดยใช้ Profilometer พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง ความหยาบของพื้นผิวและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน แม้ว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีพื้นผิวที่เรียบที่สุด แต่ก็อาจจะมีแรงเสียดทานที่สูงกว่าลวดโคบอลท์-โครเมียมได้

วิธีการหนึ่งที่จะทำให้ลดสัมประสิทธ์ความเสียดทานของลวดนิเกิล-ไททาเนียม และลวดบีตา-ไททาเนียม คือการทำให้เกิด Ion implantation จากการศึกษาบริเวณพื้นผิวจะพบว่า ประจุของก๊าซไนโตรเจน และ ออกซิเจน ถูกฝังยึดติดกับพื้นผิวของลวดก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นผิวลวด โดยจะทำให้เพิ่มความแข็งบริเวณพื้นผิวลวด และจะไม่เกิดพื้นผิวร่วมระหว่างลวดและส่วนที่ทำการเคลือบผิว ทำให้มีลักษณะเหมือนแยกออกเป็นชั้นๆ โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติของลวด

Burstone และ Farzin-nia (1995) ได้ศึกษาถึงการเกิด Ion implantation ในลวดบีตา-ไททาเนียม พบว่าจะทำให้เกิดแรงเสียดทานในระดับเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

Berger (1990) ศึกษาแรงเสียดทาน ในลวด Braided archwire (Wirecat) ซึ่งเป็นลวดที่เกิดจากการบิดเป็นเกลียวของลวดเส้นเล็กๆหลายๆเส้น การศึกษาแรงเสียดทาน ในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว พบว่า มีค่าสูงมาก ประมาณ 1.8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 นิ้ว ที่ยึดด้วยยางมัดแบรกเกต และจะมีแรงเสียดทานสูงมากถึง 5 เท่า เมื่อยึดด้วยลวดมัดแบรกเกต นอกจากนั้น ลวด Braided archwire จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มีค่าไม่แน่นอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ขนาดของลวด (Wire Size)

การเพิ่มขนาดของลวดมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทาน (Angolkar และคณะ, 1990 ; Frank และ Nikolai, 1980; Garner และคณะ, 1986; Kapila และคณะ, 1990 ; Peterson และคณะ, 1982 ; Andreasen และ Quevedo, 1970; Pratten และคณะ, 1990; Riley, Garrett และ Moon, 1979; Berger, 1990; Ogata และคณะ, 1996; Vaughan และคณะ, 1995; Bednar และคณะ, 1991; Ireland และคณะ, 1991; Tanne และคณะ, 1991) โดยปกติลวดเหลี่ยมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม (ตารางที่ 2 และ 3)

อย่างไรก็ตาม Frank และ Nikolai (1980) ได้ศึกษาในสภาวะที่เกิดมุมระหว่าง ลวดกับแบรกเกต ซึ่งจะเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองขึ้น ลวดเหลี่ยมอาจจะไม่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม โดยให้เหตุผลคือ ในสภาพที่ไม่มีการยึดเหนี่ยว หรือแบรกเกตกับลวดเป็นอิสระไม่ทำมุมซึ่งกันและกัน พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแบรกเกตและลวดโค้ง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดแรงเสียดทาน ดังนั้น จึงสามารถคาดคะเนได้ว่าแรงเสียดทานจะเกิดมากในลวดเหลี่ยม ในขณะที่เมื่อแบรกเกต และลวดทำมุมกัน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน คือ จุดที่ลวดสัมผัสกับขอบของแบรกเกตทั้ง 2 ด้าน ซึ่งขอบของแบรกเกต จะทำให้เกิดรอยขีดข่วนขึ้นกับลวดกลมได้ อย่างไรก็ตาม ในลวดเหลี่ยมแรงจะกระจายไปยังบริเวณที่กว้างกว่า เช่น บริเวณพื้นผิวทั้งหมดของลวด ทางด้านแก้ม และทางด้านลิ้น ทำให้เกิดแรงกดที่น้อย ดังนั้น แรงเสียดทานจึงน้อยตามไปด้วย ปัจจัยดังกล่าวอาจอธิบายการค้นพบของ Frank และ Nikolai (1980) ที่กล่าวว่า ลวดกลมขนาด 0.020 นิ้ว จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดเหลี่ยมขนาด 0.017x0.025 นิ้ว

3.3 ความแข็งตึงของลวด (Role of Wire Stiffness and Clearance)

ลวดที่ใช้ในทันตกรรมจัดฟัน จะมีลักษณะยืดหยุ่น สามารถโค้งงอได้เมื่อได้รับแรง และจะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ถ้าปราศจากแรง ถ้าแรงที่กระทำนั้นไม่เกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น ของวัสดุที่ใช้ทำลวด

ลวดที่มีความแข็งตึง (stiffness) มากจะมีความยืดหยุ่นน้อย จะโค้งงอได้น้อยเมื่อได้รับแรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือพื้นที่หน้าตัดมีผลต่อความแข็งตึงของลวด โดยถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อปลายลวดข้างหนึ่งเป็นอิสระ ความแข็งตึงจะเพิ่มขึ้น 8 เท่า ถ้าลวดโค้งที่อยู่ระหว่างแบรกเกต 2 ตัว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ความแข็งตึงของลวดเพิ่มขึ้นยกกำลัง 4

ความยาวของลวดมีผลต่อความแข็งตึง กล่าวคือ เมื่อความยาวเพิ่มขึ้น ความแข็งตึงของลวดจะลดลง ในระหว่างการดึงฟันเขี้ยวเข้ามาในช่องว่างที่เกิดจากการถอนฟันนั้น ระยะห่างระหว่างแบรกเกตจะมาก ลวดจะมีความแข็งตึงลดลง เกิดการโค้งงอง่ายขึ้น การยึดเหนี่ยว หรือการขัดของลวดกับร่องแบรกเกต จะมีผลต่อการเพิ่มขนาดของแรงเสียดทาน ดังนั้น การป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว จำเป็นต้องใช้ลวดที่มีขนาดใหญ่เพียงพอในการดึงฟันเขี้ยว เพื่อต้านทานไม่ให้ลวดเกิดการโค้งงอ การที่ใช้ลวดขนาดเล็กในการดึงฟันเขี้ยว จะทำให้ฟันเขี้ยวล้ม ไปทางด้านไกลกลาง ฟันหน้าเกิดการยื่นยาว ซึ่งเป็นผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการ ผลข้างเคียงดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน เมื่อใช้แบรกเกตฟันเขี้ยวชนิดที่มีทอร์ก เพื่อให้รากฟันไปทางด้านไกลกลาง (รูปที่ 5)

สำหรับลวดเหลี่ยม ความแข็งตึงจะขึ้นอยู่กับ พื้นที่หน้าตัดลวด ด้านที่ใส่เข้าไปในร่องแบรกเกต ยกตัวอย่างเช่น ลวดขนาด 0.017x0.022 นิ้ว ถ้าใส่ด้าน 0.017 นิ้ว เข้าไปในร่องแบรกเกตก็จะทำให้มีความแข็งตึงน้อยกว่าถ้าใส่ด้าน 0.022 นิ้วเข้าไปในร่องแบรกเกต

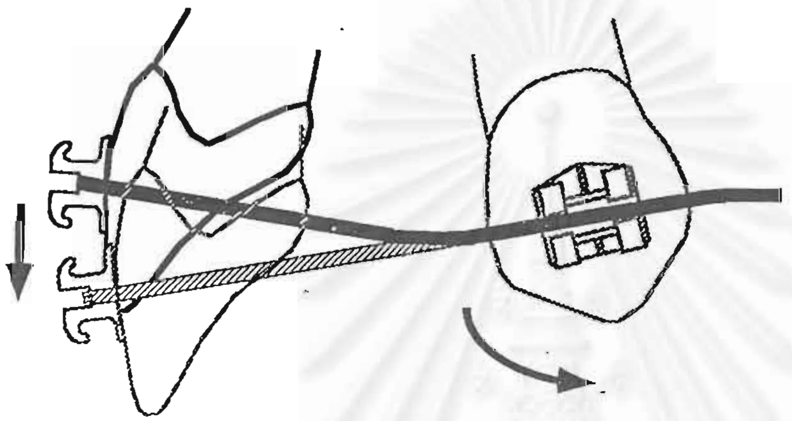
Drescher และคณะ (1989) กล่าวว่า ลวดทางด้านมิติในแนวดิ่ง หรือในด้านแคบเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน เมื่อฟันมีการล้มในระหว่างดึงฟันเขี้ยว ขอบของแบรกเกตจะกดลวด และทำให้ลวดเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ทิศทางของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลวด ขนาด 0.016x0.022 นิ้ว คือในทิศทางด้าน 0.016 นิ้ว ดังนั้น จึงพบว่า ลวดขนาด 0.016 นิ้ว และ0.016x0.022 นิ้ว จะมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าลวดขนาด 0.018x0.025 นิ้ว

ความแข็งตึงของลวด ยังขึ้นอยู่กับปลายลวดที่มีสิ่งรองรับหรือไม่มีสิ่งรองรับด้วย เช่น ในลวดที่มีปลายลวดเป็นอิสระ จะมีความแข็งตึงน้อยกว่า ลวดที่มีสิ่งรองรับทั้ง 2 ปลาย ถึง 4 เท่า ดังนั้นในระหว่างดึงฟันเขี้ยว แบรกเกตที่ติดอยู่กับฟันกรามน้อย และฟันตัดซี่ข้าง ควรผูกให้แน่นกับลวดโค้งเพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งตึงให้กับลวดโค้ง นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มความเสียดทานให้กับแบรกเกตของฟันกรามน้อย ทำให้ป้องกันการสูญเสียหลักยึด

นอกจากนี้ การที่มีช่องว่างที่พอเหมาะระหว่างลวดกับร่องของแบรกเกต เป็นการป้องกันการเกิดการยึดเหนี่ยวของลวดกับแบรกเกตขึ้น ช่องว่างนี้มีบทบาทในการเกิดมุมออร์เดอร์ที่ 2 เช่น ฟันล้มเอียง ขึ้นอยู่กับขนาดของร่อง ความกว้างของแบรกเกต และขนาดของลวดโค้ง ในขณะที่การทำมุมออร์เดอร์ที่ 3 จะเกี่ยวข้องกับลวดเหลี่ยมคือ ในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว ถ้าใช้ลวดเหลี่ยม ขนาด 0.016x0.016 นิ้ว จะมีช่องว่างให้ทำมุมได้ถึง 16.7 องศา ในขณะที่ลวดเหลี่ยมขนาด 0.017x0.025 นิ้ว จะมีช่องว่างให้ทำมุมได้เพียง 4.5 องศา สำหรับแบรกเกตที่มีขนาดร่อง

0.022 นิ้ว การทำมุมออร์เดอร์ที่ 3 ในลวดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว จะเท่ากับ 27.4 องศา ในขณะที่ลวดเหลี่ยมขนาด 0.0215x0.028 นิ้ว จะเท่ากับ 2 องศา

เนื่องจากลวดเหลี่ยมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม จึงแนะนำให้ใช้ลวดขนาด 0.018 นิ้ว ในแบรกเกตขนาด 0.022 นิ้ว ระหว่างการดึงฟันเขี้ยวเพื่อปิดช่องว่าง เพราะว่าลวดกลมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อย และลวดขนาด 0.018 นิ้ว จะให้ความแข็งตึงที่เพียงพอ (Nanda และ Ghosh, 1997)



รูปที่ 5 แสดงผลอันไม่พึงประสงค์จากวิธี Sliding mechanics คือ ฟันหน้ายื่นยาว และฟันเขี้ยวล้มไปทางด้านไกลกลาง จากการใช้ลวดที่มีความแข็งตึงน้อยในการดึงฟันเขี้ยว (Nanda และ Ghosh, 1997)

4. <u>การทำมุม-ออร์เดอร์ที่สอง (Second - Order Deflection)</u>

มีการศึกษาหาแรงเสียดทานในห้องทดลอง โดยปรับมุมระหว่างแบรกเกต และลวดให้ทำมุมออร์เดอร์ที่สอง ซึ่งการทดลองดังกล่าวอาจจะไม่เหมือนกับสภาพจริงที่อยู่ในช่องปาก เนื่องจากขั้นตอนแรกของการรักษา คือ การปรับระดับฟัน (Levelling Stage) ฟันจะมีการเคลื่อนอยู่ตลอดเวลา จากการเปลี่ยนลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจากการเปลี่ยนลวดกลมเป็นลวดเหลี่ยมตามลำดับ นอกจากนั้น จากการทดลองมักจะศึกษาค่ามุมของแบรกเกตเพียงค่าเดียวกับลวด ซึ่งแตกต่างจากในช่องปาก เพราะว่ามีระดับของแบรกเกตที่ทำมุมต่าง ๆ กันทำให้ค่าแรงเสียดทานที่วัดได้อาจจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของมุมระหว่างแบรกเกตและลวดโค้งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น (Frank และ Nikolai, 1980; Peterson และคณะ, 1982; Tidy, 1989;

Andreasen และ Quevedo, 1970; Ogata และคณะ, 1996; Bednar และคณะ, 1991; Tselepis และคณะ, 1994)

Frank และ Nikolai (1980) พบว่า การเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของมุมที่แบรกเกตทำกับลวด

Ogata และคณะ (1996) ได้ใช้เครื่องมือยึดแบรกเกต 4 ตัว ตามลำดับ และทดสอบแรงเสียดทานกับแบรกเกต 7 ชนิด ซึ่งมี 3 ชนิด ที่ได้รับการออกแบบให้จำกัดแรงจากการมัดลวด โดยปรับแบรกเกตชดเชยเพื่อทำให้ลวดมีการเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นทุก ๆ 0.25 มิลลิเมตร และหาค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานจลน์จากแรงที่มากระทำต่อแบรกเกต แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018x0.025 นิ้ว จะมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานจลน์ ดังแสดงในตารางที่ 7 และ แบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022x0.028 นิ้ว ในตารางที่ 8 จากการทดลอง พบว่า เมื่อมีการเบี่ยงเบนของลวดทำให้เกิดมุมออร์เดอร์ที่สองเพิ่มขึ้น แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นทุก ๆ กลุ่มตัวอย่าง แรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นจะแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกจะมีการเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อย แรงเสียดทานจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นแนวตรง แบรกเกตจะเคลื่อนไปอย่างช้า ๆ แต่เมื่อมีการเบี่ยงเบนของลวดมากขึ้นจนกระทั่งถึงระยะที่ 2 คือ ระยะที่เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่าง แบรกเกตกับลวดขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่เป็นแนวตรง การเกิดการยึดเหนี่ยวนี้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแบรกเกต และลวดของแต่ละกลุ่มที่นำมาทดสอบ แต่พบว่ามักจะเกิดขึ้น เมื่อการทำมุมออร์เดอร์ที่สองที่ทำให้ลวดเบี่ยงเบนไประหว่าง 0.75 และ 1 มิลลิเมตร ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิก จำเป็นต้องเตรียมหลักยึดให้มีความต้านทานมากที่สุด และมีการปรับระดับฟันอย่างสมบูรณ์ก่อนใช้วิธี Sliding mechanicsในการเคลื่อนฟัน การปรับระดับฟันที่สมบูรณ์จะช่วยลดแรงในการดึงฟันให้เข้าสู่ช่องว่างได้ง่ายขึ้น เพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย อย่างไรก็ตาม การปรับระดับฟันต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดฟันหน้ายื่นยาวออก ซึ่งเป็นผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการ และจะเกิดขึ้นบ่อยเมื่อใช้แบรกเกตชนิดมีทอร์ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลการเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่ 2 ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของแรงเสียดทาน ที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของลวด ตั้งแต่ 0 ม.ม. ถึง 1 ม.ม. ในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดหล่อแบบ 3 ชนิด (A-018, American Friction Free; G-018, GAC Shoulder; O-018, Ormco Mini Diamond) และ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง 3 ชนิด (R-S-018, RMO Mini-Taurus; RS-S-018, RMO Mini-Taurus Synergy; U-S-018, Unitek Mini Twin) ทั้งหมดเป็นแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018x0.025 นิ้ว (Ogata และคณะ, 1996)

Deflection	Wire Shape and Size	0.018 × 0.025 Inch Brackets Means and Standard Deviations (g)											
		Cast Edgewise						Sintered Edgewise					
		A-018		G-018		O-018		R-S-018		RS-S-018		U-S-018	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0.00 mm	0.016	2.6	5.0	67.5	29.2	397.5	30.1	389.2*	36.6	1.2	3.2	530.0	58.9
	16 × 22	142.5	44.6	271.0	20.5	707.0	25.3	636.5	84.9	0.0	0.0	689.5	101.7
	17 × 25	188.5	33.7	622.5	184.5	928.0	49.5	610.5	75.9	68.7	58.1	746.5	49.0
0.25 mm	0.016	151.6	26.0	237.0	41.4	432.0	24.2	469.6*	57.1	55.3	19.0	592.0	57.6
	16 × 22	559.5	29.8	754.0	31.9	925.0	49.9	965.0	55.4	39.5	20.6	835.0	103.8
	17 × 25	766.5	45.0	1,238.5	117.6	1,237.0	102.1	762.5	83.5	215.0	108.7	1,174.5	70.3
0.50 mm	0.016	361.4	40.0	480.5	50.2	648.5	35.7	678.2	74.6	222.8	36.7	753.0	69.3
	16 × 22	1,220.0	60.3	1,583.5	73.1	1,490.5	91.8	1,578.5	115.3	637.0	68.9	1,193.0	127.0
	17 × 25	1,530.5	38.4	2,323.5	98.1	1,821.0	142.7	1,586.5	174.9	920.3	204.2	1,881.0	130.4
0.75 mm	0.016	558.6	56.5	767.5	55.3	854.0	36.0	874.6	95.1	407.0	53.2	934.0	69.0
	16 × 22	1,976.5	74.0	2,430.0	77.0	2,001.0	107.5	2,223.0	156.0	1,497.0	186.6	1,624.0	154.0
	17 × 25	2,451.0	293.3	4,441.5	66.0	2,386.0	137.0	2,486.0	283.7	1,744.5	328.6	2,512.0	161.8
1.00 mm	0.016	789.6	83.5	1,153.0	95.5	1,074.0	64.1	1,077.6	104.7	596.8	60.4	1,115.0	74.9
	16 × 22	3,463.5	94.7	3,272.0	57.1	2,583.5	115.8	2,710.0	147.6	2,283.5	213.9	2,088.0	174.7
	17 × 25	6,685.0	422.1	6,774.0	54.2	3,534.5	233.8	3,415.5	462.0	2,431.0	477.6	3,354.5	215.3

*Indicates that there was not a significant difference ($p < 0.05$) between the means of this specific bracket-wire combination across 0.00 and 0.25 mm of second-order deflection. All other interactions were significant at $p < 0.05$.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่ 2 ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของแรงเสียดทาน ที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของลวดตั้งแต่ 0 ม.ม. ถึง 1 ม.ม. ในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดหล่อแบบ 3 ชนิด (A-022, American Friction Free ; G-022, GAC Shoulder ; O-022, Ormco Mini Diamond) และ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดซินเทอร์ริง 3 ชนิด (R-S-022, RMO Mini-Taurus; RS-S-022, RMO Mini-Taurus Synergy; U-S-022, Unitek Mini Twin) และ Combination Bracket with a Modified Edgewise Slot (TP-022) TP Tip- Edge ทั้งหมดเป็นแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022x0.028 นิ้ว (Ogata และคณะ, 1996)

Deflection	Wire Shape and Size	0.022 × 0.028 Inch Brackets Means and Standard Deviations (g)													
		Cast Edgewise						Sintered Edgewise						Combination	
		A-022		G-022		O-022		R-S-022		RS-S-022		U-S-022		TP-022	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0.00 mm	0.016	89.0*	8.1	95.0	13.9	481.0	44.2	463.5	53.5	0.0*	0.0	384.5	29.9	292.5	19.2
	16 × 22	174.5	13.2	188.0	16.4	732.5	25.6	680.0	51.3	0.0	0.0	646.5	87.5	574.5	29.0
	17 × 25	192.5	12.3	205.0	15.8	747.5	25.6	645.0	30.4	0.0	0.0	705.5	20.5	732.0	58.9
	0.018	106.5	9.1	132.0	25.8	549.0	51.3	361.5	42.4	0.0*	0.0	436.5	16.2	362.0	37.3
	18 × 25	246.0	28.2	233.0	13.6	821.0	30.0	700.0	76.6	0.0	0.0	803.0	49.1	612.5	24.5
	19 × 26	257.5	37.2	246.0	16.0	1,060.0	80.3	848.5	40.6	0.0	0.0	908.5	95.0	737.5	35.1
0.25 mm	0.016	91.0*	7.7	117.5	17.4	529.0	46.9	487.0	58.7	0.0*	0.0	430.0	31.6	326.5	26.5
	16 × 22	195.0	13.1	282.5	10.1	842.0	35.3	734.0	48.9	6.5	4.1	714.5	57.6	607.0	18.0
	17 × 25	213.0	7.5	441.5	27.6	868.0	31.7	733.0	40.6	11.0	5.7	808.0	39.2	761.5	49.4
	0.018	117.5	9.2	177.5	28.5	605.0	49.6	408.5	40.6	1.5*	3.4	498.5	17.8	442.0	69.8
	18 × 25	266.5	28.2	515.0	10.0	1,131.0	94.4	852.0	122.7	12.0	5.9	895.0	69.5	814.5	24.9
	19 × 26	356.0	58.6	592.5	25.0	1,830.0	36.1	1,044.0	55.6	30.5	18.2	993.5	97.3	799.5	29.9
0.50 mm	0.016	113.5	6.7	247.5	14.2	665.0	52.3	550.0	64.8	29.0	12.4	384.5	27.8	383.0	25.4
	16 × 22	291.0	23.5	653.0	22.0	1,355.0	45.3	905.0	44.0	151.5	24.8	1,061.5	99.4	657.0	23.6
	17 × 25	409.0	11.0	1,017.5	55.8	1,468.0	45.0	1,032.0	68.2	254.5	28.9	1,063.0	75.2	806.5	21.2
	0.018	185.0	9.1	403.0	23.9	830.5	64.4	596.5	23.7	97.5	8.2	620.5	33.0	480.5	54.7
	18 × 25	589.0	56.4	1,221.5	32.1	1,616.0	121.3	1,621.5	272.1	234.0	21.1	1,136.5	80.4	1,009.5	73.4
	19 × 26	997.0	183.8	1,380.5	73.2	2,499.5	54.4	1,889.0	136.0	373.0	62.7	1,432.0	104.2	1,055.0	59.1
0.75 mm	0.016	236.5	14.2	398.5	18.3	824.5	58.0	713.5	79.1	110.5	23.7	734.0	36.5	450.0	34.8
	16 × 22	786.0	86.0	1,190.0	48.0	1,934.0	74.1	1,336.0	87.5	459.0	41.6	1,280.0	78.3	857.5	29.8
	17 × 25	1,067.5	54.0	1,929.0	60.7	1,990.5	89.2	1,609.0	98.3	755.5	32.3	1,546.0	160.2	962.0	43.1
	0.018	475.0	16.3	710.5	29.4	1,081.5	87.2	873.0	58.9	313.5	53.8	787.0	35.3	527.0	45.8
	18 × 25	1,383.0	50.5	2,224.5	75.9	2,741.0	182.6	2,532.4	468.9	866.0	51.2	1,815.5	190.9	1,276.0	77.3
	19 × 26	1,600.5	117.5	3,051.5	64.9	3,468.5	61.7	2,680.0	224.0	1,217.5	146.9	2,247.0	171.3	1,514.0	138.3
1.00 mm	0.016	442.0	10.3	590.5	18.9	975.5	67.9	869.0	85.2	241.5	24.3	858.0	40.9	471.5	31.2
	16 × 22	1,534.0	117.9	1,728.0	69.3	2,524.5	69.5	1,854.0	120.9	1,027.0	116.7	1,973.5	72.5	1,031.5	50.1
	17 × 25	1,831.5	94.8	2,629.0	74.8	2,797.5	185.7	2,229.5	128.4	1,486.0	109.5	2,295.0	196.8	1,104.0	64.5
	0.018	776.5	23.6	972.5	36.2	1,299.0	89.1	1,091.5	38.0	632.5	74.5	1,060.5	36.5	584.0	48.2
	18 × 25	2,065.0	82.9	4,377.0	59.0	3,668.5	125.5	3,249.5	679.7	1,658.5	175.3	2,587.0	262.6	1,434.0	69.4
	19 × 26	2,694.0	192.6	5,488.5	50.3	5,907.5	56.1	3,408.0	263.7	2,171.5	259.3	3,107.5	193.9	1,981.5	53.4

*Indicates that there was not a significant difference ($p < 0.05$) between the means of this specific bracket-wire combination across 0.00 and 0.25 mm of second-order deflection. All other interactions were significant at $p < 0.05$.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. แรงจากการมัดลวดโค้งเข้ากับร่องแบรกเกต (Ligation Technique)

5.1 ยางมัดแบรกเกต และลวดมัดแบรกเกต (Elastomeric Modules Versus Stainless Steel Ligatures)

แรงจากการมัดลวดโค้งจะเกิดจากยางมัดแบรกเกต (Elastomeric Modules) และลวดมัดแบรกเกต (Stainless Steel Ligatures) แรงที่เกิดจากการมัดลวดโค้งจะมีอิทธิพลสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 50 และ 300 กรัม (Frank และ Nikolai, 1980; Andreasen และ Quevedo, 1970; Drescher และคณะ, 1989) หรืออาจสูงถึง 735 กรัม (Edward และคณะ, 1995)

สภาพแวดล้อมในช่องปากมีผลโดยตรงต่อแรงที่เกิดจากยางมัดแบรกเกต โดยยางมัดแบรกเกตจะมีคุณสมบัติยืดคลายตัวออก ทำให้แรงลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (Brantley และคณะ, 1979) นอกจากนั้น ยางมัดแบรกเกตยังมีคุณสมบัติไม่แน่นอนแรงจะไม่คงที่สม่ำเสมอ (Wong, 1976) ในขณะที่ลวดมัดฟันสามารถจะมัดให้แน่นหรือให้หลวมขึ้นอยู่กับวิธีการ หรือวัตถุประสงค์ของทันตแพทย์

Edwards และคณะ (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบ ผลของวิธีการมัดลวดโค้งกับแบรกเกต 4 วิธี คือ ยางมัดแบรกเกตมัดปกติ ยางมัดแบรกเกตมัดเป็นรูปเลขแปด ลวดมัดแบรกเกต และ ลวดมัดแบรกเกตที่เคลือบเทฟลอน โดยศึกษาหาค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และลวดโค้ง จากการศึกษา พบว่า ยางมัดแบรกเกตมัดเป็นรูปเลขแปด จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าวิธีอื่น และพบว่าไม่มีความแตกต่างของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างยางมัดแบรกเกตมัดปกติกับลวดมัดแบรกเกต ในขณะที่ลวดมัดแบรกเกตที่เคลือบเทปลอน จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Spiller และคณะ (1993) และ จากการศึกษาของ Bazakidou (1997) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของแรงเสียดทานระหว่างการใช้ยางมัดแบรกเกต และลวดมัดแบรกเกต

5.2 แบรกเกตชนิดจำกัดแรงจากการมัดลวด (Bracket Designs Limiting the Force of Ligation)

มีการแนะนำแบรกเกต 3 ชนิดที่จำกัดแรงจากการมัดลวด คือ American Friction Free bracket, GAC Shoulder bracket และ RMO Synergy bracket จากการศึกษาของ Ogata และคณะ (1996) พบว่าแบรกเกตเหล่านี้จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการมัดลวดแบบดั้งเดิมโดยมีการเบี่ยงเบนออร์เดอร์ที่สองไป 0.00 และ 0.025 มิลลิเมตร

การออกแบบของ Synergy bracket คือ จะมีปีกของแบรกเกตทั้งหมด 6 ปี โดยแบ่งเป็นข้างละ 3 ปีก ปีกที่อยู่ด้านนอกสุดจะมัดเพื่อการแก้ไขฟันหมุน ในขณะที่จะมัดเฉพาะปีกกลางเมื่อใช้วิธี Sliding mechanics เพื่อเป็นการลดแรงจากการมัดลวด นอกจากนั้น การออกแบบอื่น ๆ เช่น การออกแบบกันชน (Bump) ที่บริเวณผนังของร่องแบรกเกต จะเป็นการลดพื้นที่ผิวสัมผัสกับลวด ร่วมกับมีการผายออกของร่องทางด้านใกล้กลาง และไกลกลาง ทำให้ลดแรงเสียดทานและลดการยึดเหนี่ยวระหว่างแบรกเกตและลวด

5.3 แบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง (Self-Ligaitng Brackets)

การใช้งานของแบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง ทำได้โดยการใส่ลวดลงในร่องของแบรกเกต และทำการยึดลวดโดยใช้ฝาปิดที่เป็นสปริงแทนการใช้ยางมัดแบรกเกต หรือ ลวดมัดแบรกเกต โดยแบรกเกตชนิดนี้จะมีศักยภาพในการลดแรงเสียดทาน และลดระยะเวลาที่ใช้กับคนไข้ในคลินิกซึ่งเป็นข้อเด่นของแบรกเกตชนิดนี้

Berger (1990) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง (Speed bracket) และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่า แรงเสียดทานที่เกิดจากแบรกเกตชนิดเซลไลเกตติงจะมีเพียง 12 ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม โดยไม่ขึ้นกับลักษณะของลวด และวิธีการมัดลวดโค้ง ทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่า การรักษาโดยใช้แบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง จะทำให้ลดระยะเวลาการรักษาลงไปได้

Shivapuja และ Berger (1994) พบว่าแบรกเกตชนิดเซลไลเกตติง 3 ชนิด (Edge lock, Ormco Corp., Glendora, CA; Speed, Indurtries Ltd., Cambridge, Ontario, Canada; Activa, "A" Co., San Diego,, CA) จะให้แรงเสียดทานที่ต่ำกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิกโดยใช้วิธีการมัดด้วยยางมัดแบรกเกต และลวดมัดแบรกเกต

6. ผลของน้ำลายต่อแรงเสียดทานจลน์ (Effect of Saliva on Kinetic Friction)

ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำลาย และน้ำลายเทียม ในด้านการหล่อลื่นระหว่างการใช้วิธี Sliding mechanicsในการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้ง โดย Baker และคณะ (1987) ได้ทดสอบน้ำลายเทียมพบว่าสามารถลดแรงเสียดทานลงได้ถึง 15-19 เปอร์เซนต์ แต่ Kusy และคณะ (1991) พบว่าน้ำลายสามารถช่วยในการหล่อลื่น หรืออาจจะทำให้เกิดการยึดเหนี่ยว โดยขึ้นอยู่กับชนิดของแบรกเกต และลวดโค้ง จากการศึกษา พบว่า น้ำลายจะแสดงคุณสมบัติในการเพิ่มการยึดเหนี่ยวเมื่อใช้กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้เพิ่มสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพเปียก ในทางตรงกันข้าม ลวดบีตา-ไททาเนียม เมื่อนำทดสอบในสภาพเปียก พบว่า แรงเสียดทานจลน์จะลดลงถึง 50 เปอร์เซนต์ เนื่องจาก เมื่อลวดบีตา-ไททาเนียมเคลื่อนผ่านแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม จะทำให้ชั้นของไททาเนียมริชออกไซด์ ในลวดบีตา-ไททาเนียมเกิดการแตกตัวออก ทำให้เกิดปฏิกิริยาการยึดติด และแตกตัวสลับกันไป ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Stick-Slip และ เมื่อศึกษาในแบรกเกตเซรามิก พบว่าความหยาบของร่องแบรกเกตจะขูดพื้นผิวของลวดให้หลุดออกไป จึงตั้งสมมุติฐานว่า น้ำลายน่าจะทำหน้าที่ในการเป็นสิ่งป้องกันการสัมผัสกันอย่างแนบแน่นของพื้นผิวของแบรกเกตเซรามิก และลวด

ในผู้ป่วยที่มีอายุมาก และมีประวัติเป็น Xerostomia คือ ภาวะที่มีการหลั่งน้ำลายออกมาน้อยหรือ ผู้ป่วยที่ได้รับการฉายรังสี หรือการใช้ยา Anticholinergic ควรจะบันทึกไว้ในประวัติผู้ป่วยเสมอ เพื่อให้รู้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะพิจารณาให้แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสำคัญของแรงเสียดทานทางคลินิก

การศึกษาขนาดของแรงเสียดทานเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับทันตแพทย์จัดฟัน ซึ่งใช้วิธี Sliding mechanics ในการเคลื่อนฟัน การใช้แบรกเกต และลวดโค้ง ที่ให้แรงเสียดทานตั้งแต่ 40 กรัมขึ้นไป ต้องพิจารณาถึงแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนฟัน ขนาดของแรงเสียดทานระหว่างแบรกเกต และลวดโค้งที่เพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวของแบรกเกตและลวดโค้ง ทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ระยะทางน้อย หรือไม่เคลื่อนที่เลย ยิ่งไปกว่านั้นการเกิดการยึดเหนี่ยวบริเวณฟันหน้าในระหว่างการดึงฟันเขี้ยว อาจจะนำไปสู่ "Tent-pegging effect" ซึ่งแรงที่ให้จะไปเหมาะสมต่อฟันหลักยึด ทำให้เกิดการสูญเสียฟันหลักยึดขึ้น

สภาพการณ์ในอุดมคติของการเคลื่อนฟันคือ สภาพการณ์ที่ปราศจากแรงเสียดทาน ซึ่งไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยวิธี Sliding mechanics ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปริมาณของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ แรงเสียดทานจะไม่มีผลต่อการเคลื่อนฟันทั้งระบบถ้าใช้แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาแรงเสียดทาน มีสิ่งสำคัญหลายประการที่ต้องคำนึงถึง เช่น การออกแบบแบรกเกตชนิดใหม่ๆ กระบวนการผลิตแบรกเกต ที่สามารถลดขนาดของแรงเสียดทานได้ และการออกแบบแบรกเกตซึ่งจำกัดแรงจากการมัดลวดก็สามารถลดแรงเสียดทานได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ แบรกเกตชนิดซินเทอริงสามารถลดแรงเสียดทานได้ถึง 41 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นการพัฒนากระบวนการผลิตที่ทำให้พื้นผิวของแบรกเกตเรียบขึ้น สำหรับการใช้แบรกเกตพลาสติก หรือแบรกเกตเซรามิกจำเป็นต้องทราบ ปริมาณแรงเสียดทานที่อาจจะเกิดขึ้นมาก ในขณะแบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่ หรือในขณะกำลังเคลื่อนไถลไป

การเลือกลักษณะและขนาดของลวดที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถควบคุมขนาดของแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นได้ จากการศึกษาพบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 นิ้ว จะให้แรงเสียดทานที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการที่จะปรับระดับฟันและเริ่มให้แรงเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics

การควบคุมฟันโดยวิธีทอร์ก จำเป็นในขณะทำการเคลื่อนฟัน อย่างไรก็ตาม ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.018 นิ้ว หรือ ลวดเหลี่ยมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว ในแบรกเกตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว จะเป็นทางเลือกที่ดีในทางคลินิกได้ และการเพิ่มทอร์กในฟันหลังจะช่วยให้ป้องกันการสูญเสียฟันหลักยึดได้อีกด้วย

การปรับระดับฟันให้อยู่ในระดับที่ถูกต้องสมบูรณ์ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการลดขนาดของแรงเสียดทาน เนื่องจาก มีการศึกษาพบว่า ถ้ามีการทำมุมออร์เดอร์ที่สองในระหว่างการเคลื่อนฟันที่ทำให้ลวดเบี่ยงเบนจากแบรกเกตไปเพียง 0.5 มิลลิเมตร จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การใช้ลวดเหลี่ยมในการดึงฟัน จะต้องพิจารณาถึงการควบคุมทอร์ก หรือการทำมุมออร์เดอร์ที่สาม โดยต้องควบคุมทอร์กตั้งแต่เริ่มแรก หลังจากนั้น อาจจะกลับมาใส่ลวดเหลี่ยมที่มีขนาดเล็กลงในการใช้วิธี Sliding mechanics และต้องป้องกันไม่ให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันระหว่างร่องของแบรกเกต กับลวดโค้ง ซึ่งจะทำให้ไปยับยั้งการเคลื่อนที่ของฟันได้

โลหะผสมชนิดใหม่ที่ใช้ทำลวด เช่น ไน-ไท หรือ บีตา-ไททาเนียม จะให้แรงเสียดทานที่มากกว่า ลวดเหล็กไร้สนิม หรือลวดโคบอล์ท-โครเมียม โดยลวดบีตา-ไททาเนียม อาจจะเกิดการยึดเหนี่ยว (microweld) กับร่องแบรกเกต

ความก้าวหน้าทางโลหะวิทยาในอนาคต อาจจะมีการพัฒนาการออกแบบ หรือปรับปรุงวิธีการผลิตแบรกเกต และลวดโค้งให้มีคุณสมบัติ และมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics ทำให้ทันตแพทย์สามารถควบคุมแรงที่ให้กับฟันได้ดียิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากร

การศึกษานี้กระทำกับแบรกเกต 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ที่นิยมใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยว ในภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างลวดเป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ขนาดละ 60 ตัวอย่าง รวมเป็น 240 ตัวอย่าง ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นของบริษัท Ormco Corporation

ตัวอย่างแบรกเกตมี 3 ชนิด คือ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature Twin Bracket) แบรกเกตเซรามิก (Transcend Series 6000 Ceramic Bracket) และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity Metal Reinforced Ceramic Bracket) ชนิดละ 80 ตัวอย่าง รวมเป็น 240 ตัวอย่าง แบรกเกตที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบรกเกตฟันเขี้ยวบนด้านซ้าย ที่มีขนาดร่องแบรกเกต 0.018 x 0.025 นิ้ว ของบริษัท 3M Unitek Corporation (Batch No. 475797)

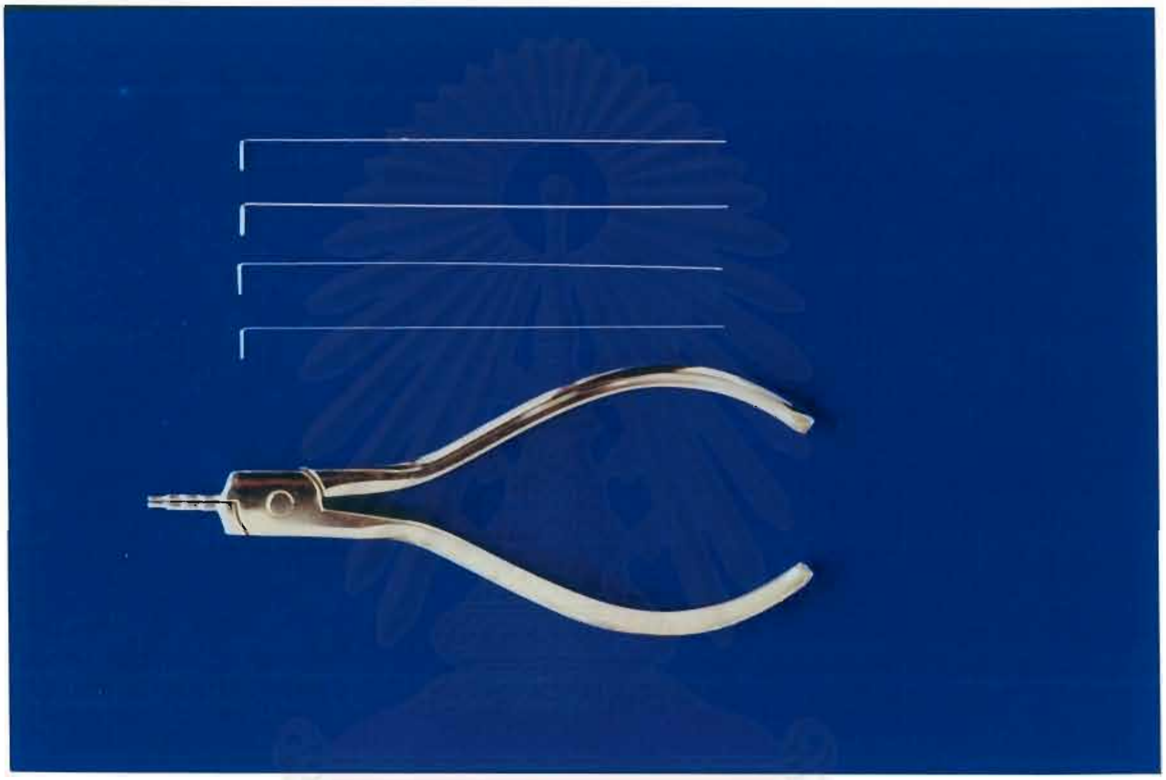
การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นลวด และแบรกเกต คัดเลือกโดยวิธีการสุ่ม

การรวบรวมข้อมูล

หาค่าแรงเสียดทานสถิตโดยใช้เครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย</u>

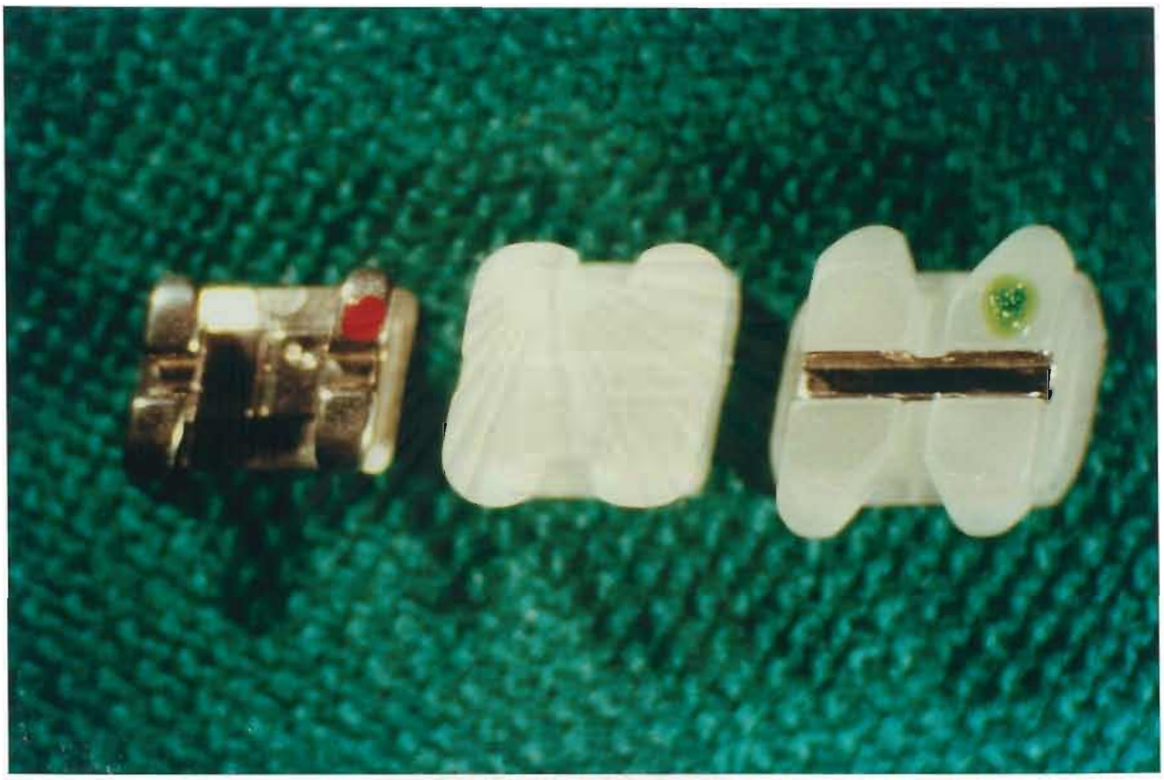
1. คีมแนนซ์โคลสซิงลูป (Nance closing loop plier) เป็นคีมที่ใช้สำหรับดัดปลายลวด ที่ทำการศึกษา ให้งอเป็นมุมฉาก เพื่อให้เครื่องมือจับยึดลวดสามารถยึดลวดได้แน่นและคงที่
2. ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ศึกษา 4 ขนาด คือ ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ขนาดละ 60 ตัวอย่าง



รูปที่ 6 คีมแนนซ์โคลสซิงลูป และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

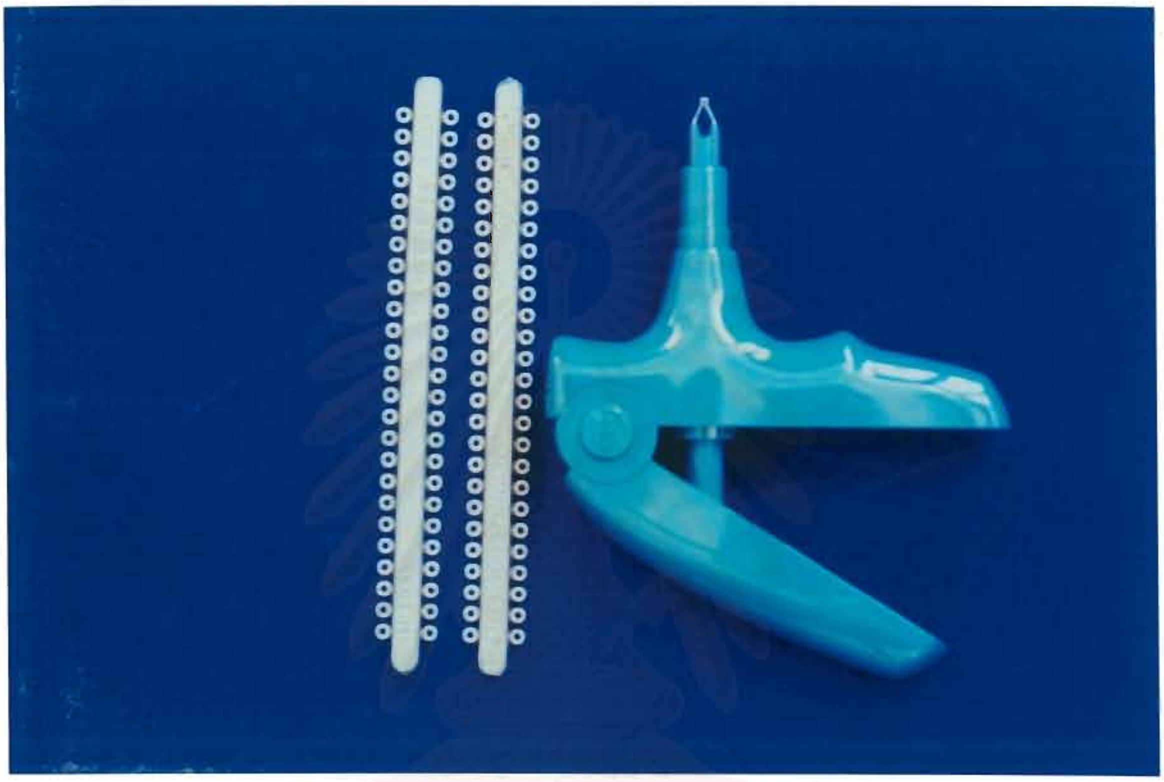
4. แบรกเกตฟันเขี้ยวบน ด้านซ้าย มีขนาดร่องแบรกเกต 0.018 x 0.025 นิ้ว มีมุมทอร์ก 0 องศา มุมแอ็งกิวเลชัน 11 องศา และความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง 3.5 ม.ม. แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม เซรามิก และเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดละ 80 ตัว



รูปที่ 7 แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

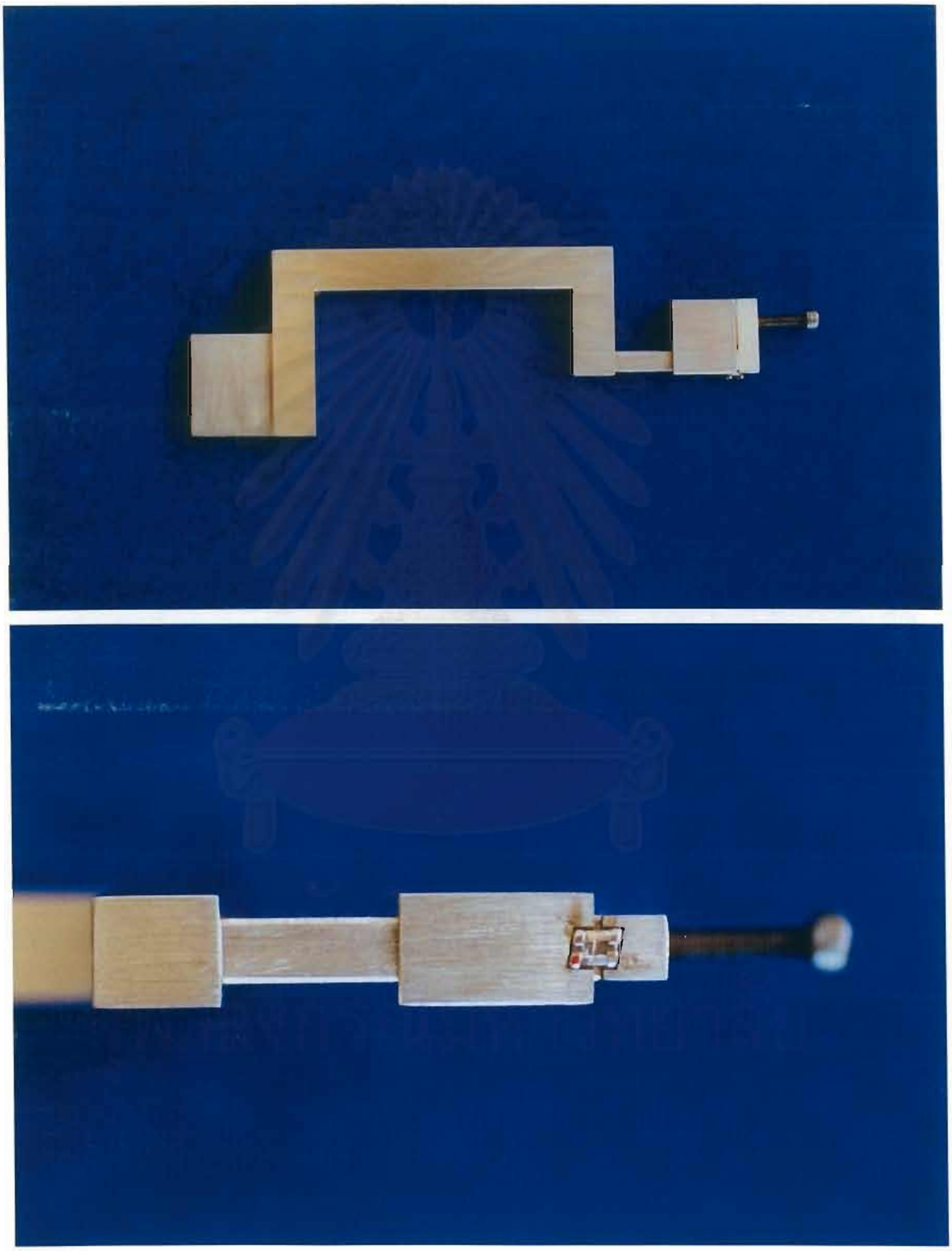
4. ยางพอลิยูเรเทน ใช้สำหรับมัดลวดเข้ากับแบรกเกต เป็นยางโอริงรุ่น POWER " O " 120 จำนวน 240 วง
5. สเตรทชูทเตอร์ (Straight shooter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับจับยางพอลิยูเรเทน ในการมัดลวดตัวอย่าง เข้ากับแบรกเกต



รูปที่ 8 ยางพอลิยูเรเทนรุ่น POWER " O " และ สเตรทชูทเตอร์

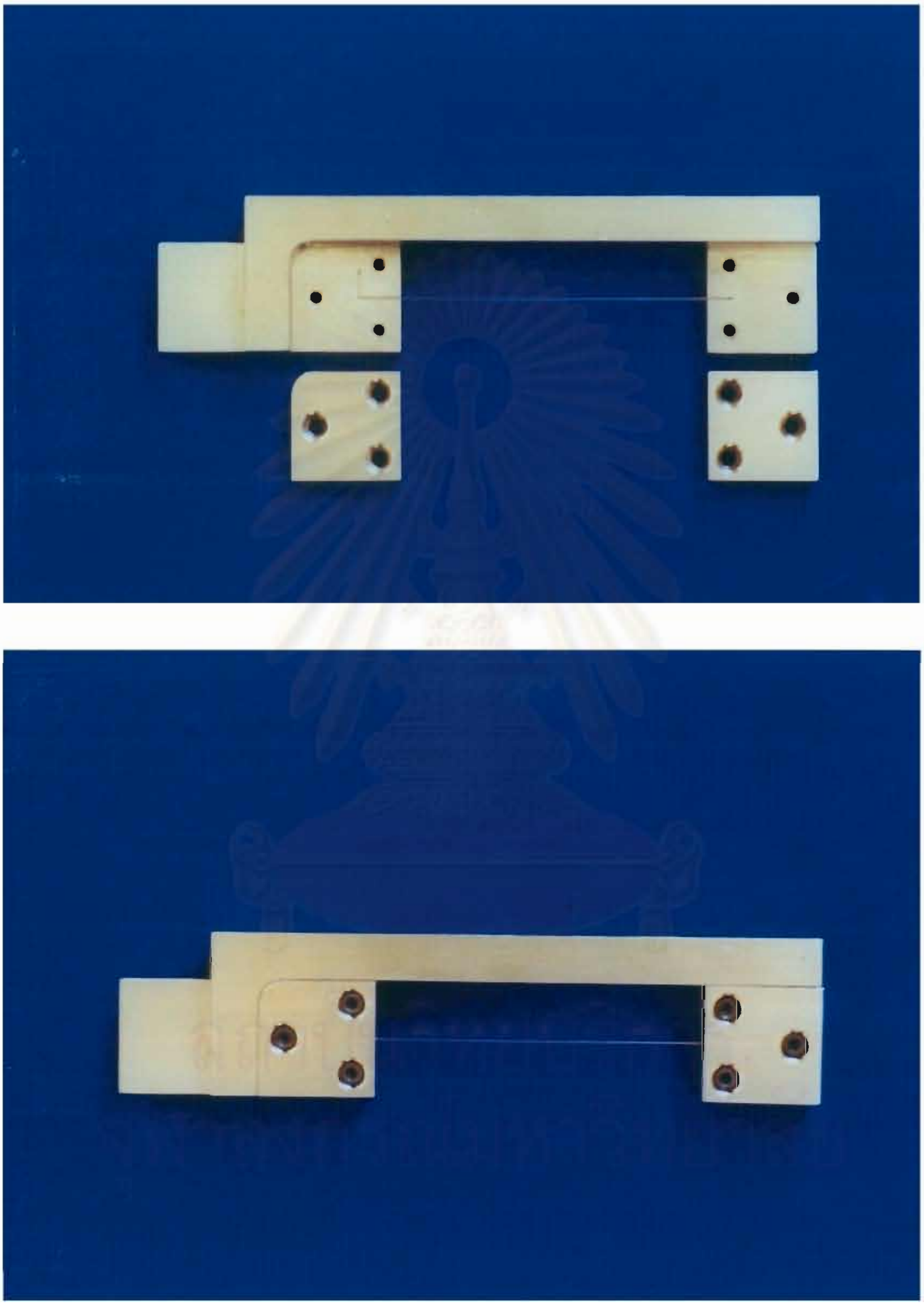
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้สำหรับทำความสะอาดลวด และแบรกเกต ก่อนทำการทดลองดึงแบรกเกตผ่านลวด
7. เครื่องมือจับยึดแบรกเกตใช้สำหรับยึดแบรกเกตให้อยู่กับที่ในขณะทำการทดลอง ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เครื่องมือจับยึดแบรกเกต

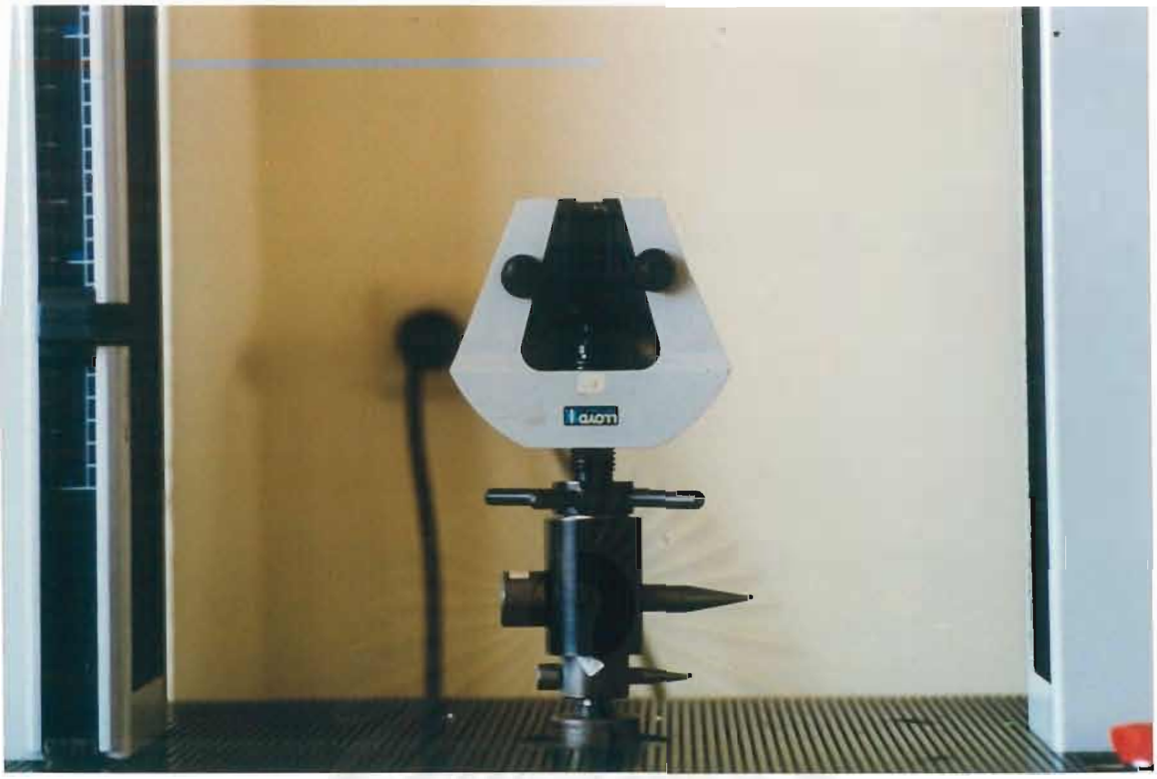
8. เครื่องมือจับยึดลวดให้อยู่ตรงกับร่องแบรกเกตในขณะทำการทดลอง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เครื่องมือจับยึดลวด

9. ยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน เป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาแรงเสียดทานสถิต ส่วนประกอบของเครื่องมีดังนี้
   - ฟิกส์เฮด (fixed head) คือ ส่วนหนึ่งของเครื่องมือซึ่งอยู่กับที่ ในการทดลองนี้จะทำหน้าที่ยึดเครื่องมือจับยึดลวด ดังรูปที่ 12
   - ครอสเฮด (cross head) คือ ส่วนของเครื่องมือซึ่งเคลื่อนที่ และทำให้เกิดแรงดึงต่อวัสดุ ในการทดลองนี้ จะทำหน้าที่ยึดเครื่องมือจับยึดแบรกเกต และเลือกใช้ความเร็ว 1 ม.ม.ต่อนาที ดังรูปที่ 13
   - นิวเมติค กริป (pneumatic grip) คือ ส่วนของเครื่องมือที่ทำหน้าที่ในการจับชิ้นงานของ ฟิกส์เฮด และ ครอสเฮด สำหรับชิ้นงานในการทดลองนี้ คือ เครื่องมือจับยึดลวด และเครื่องมือจับยึดแบรกเกต ดังรูปที่ 12 และ 13
   - ตุ้มน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 100 นิวตัน ดังรูปที่ 14

รูปที่ 11 เครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน (Lloyd Universal Testing Machine, Model LR 10 K)



รูปที่ 12 ฟิกส์เฮด และนิวเมติคกริป (สำหรับยึดเครื่องมือจับยึดลวด)

รูปที่ 13 ครอสเฮด และนิวเมติคกริป (สำหรับยึดเครื่องมือจับยึดแบรกเกต)

รูปที่ 14 ตุ้มน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 100 นิวตัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตัวแปรของการวิจัย</u>

1. ตัวแปรอิสระ

1.1 ขนาดของลวด

1.1.1 ลวดกลม

- ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว
- ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว

1.1.2 ลวดเหลี่ยม

- ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว
- ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

1.2 ชนิดของแบรกเกต ที่มีขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว

1.2.1 แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม

1.2.2 แบรกเกตเซรามิก

1.2.3 แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

2. ตัวแปรตาม

2.1 แรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้น ในขณะที่แบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่ผ่านลวดตรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การจัดกระทำ</u>

1. คัดเลือกแบรกเกต ลวด และยางพอลิยูเรเทน ดังกล่าวข้างต้น โดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง
2. แบ่งลวดที่จะทำการศึกษาทั้งหมด 240 ตัวอย่างเป็น 3 การทดลอง แต่ละการทดลองจะใช้ตัวอย่างลวดจำนวน 80 ตัวอย่าง เป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ ลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ขนาดละ 20 ตัวอย่าง ในแต่ละการทดลอง ลวดทั้งหมดจะตัดให้ยาว 90 ม.ม. และใช้คีมแนนซ์โคลสซิงลูป ดัดลวดด้านหนึ่งให้งอเป็นมุมฉาก เพื่อให้สามารถใส่ลงในร่องของเครื่องมือจับยึดลวด ซึ่งจะต่อกับฟิกส์เฮดของยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน
3. แบ่งแบรกเกตที่จะทำการศึกษาทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีจำนวน 80 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ตัว
4. ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม โดย
   - 4.1 วัดแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว
     - 4.1.1 นำเครื่องมือจับยึดแบรกเกต มายึดติดกับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ปรับเครื่องมือจับยึดแบรกเกตจนกระทั่ง แบรกเกตอยู่กับที่ไม่มีการขยับไปมา จากนั้นจึงนำลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว ที่ด้านหนึ่งเป็นมุมฉาก ใส่ลงในร่องของเครื่องมือจับยึดลวด และทำการยึดลวดให้ปลายลวดทั้ง 2 ข้างยึดติดแน่นกับเครื่องมือจับยึดลวดในแนวดิ่ง
     - 4.1.2 นำเครื่องมือจับยึดแบรกเกต และ เครื่องมือจับยึดลวด ใส่ลงในที่จับนิวเมติกกริป ของยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน ปรับจนกระทั่งลวดอยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของแรงดึง จากเครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน การปรับเครื่องมือดังกล่าวจะทำครั้งแรกเพียงครั้งเดียว ในกลุ่มตัวอย่างชิ้นต่อไปจะทำการใส่ลวด และแบรกเกตในขณะที่เครื่องมือจับยึดลวดและแบรกเกต ยังยึดติดกับนิวเมติกกริป เพื่อให้ลวดและแบรกเกตอยู่ในตำแหน่งเดิม หลังจากนั้น เช็ดทำความสะอาดลวด และแบรกเกตด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ และใช้สเตรทซูทเตอร์ จับยางพอลิยูเรเทนยืดออกเพื่อกดลงบนลวด และยิงยางพอลิยูเรเทนให้เข้าไปอยู่ใต้ปีกของแบรกเกต ซึ่งเป็นการมัดลวดกับแบรกเกตให้แน่น ทำการ

ทดสอบแรงดึงโดยให้หัวตามขวาง เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 ม.ม.ต่อนาที ดังรูปที่ 15

4.1.3 ทำการวัดค่าแรงเสียดทานสถิต โดยเลือกค่าแรงเสียดทานสูงสุดในขณะที่ลวดเริ่มไถลผ่านแบรกเกต ด้วยอัตราเร็วคงที่ 1 ม.ม.ต่อนาที การแปลผลแรงเสียดทานสถิต โดยดูจากกราฟที่เกิดขึ้น เมื่อเส้นกราฟที่เกิดจากแรงดึงเพิ่มขึ้น จนถึงจุดสูงสุดจุดแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของเส้นกราฟ จุดสูงสุดของเส้นกราฟจุดแรก ก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง คือขนาดแรงน้อยที่สุด ที่ทำให้แบรกเกตเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งจะเท่ากับขนาดของแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกต ดังรูปที่ 16

4.1.4 ทดลองซ้ำตามข้อ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 เพื่อวัดแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว ทั้ง 20 ตัวอย่าง

4.1.5 หาค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว

4.2 วัดค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว ตามวิธีการเหมือนข้อ 4.1

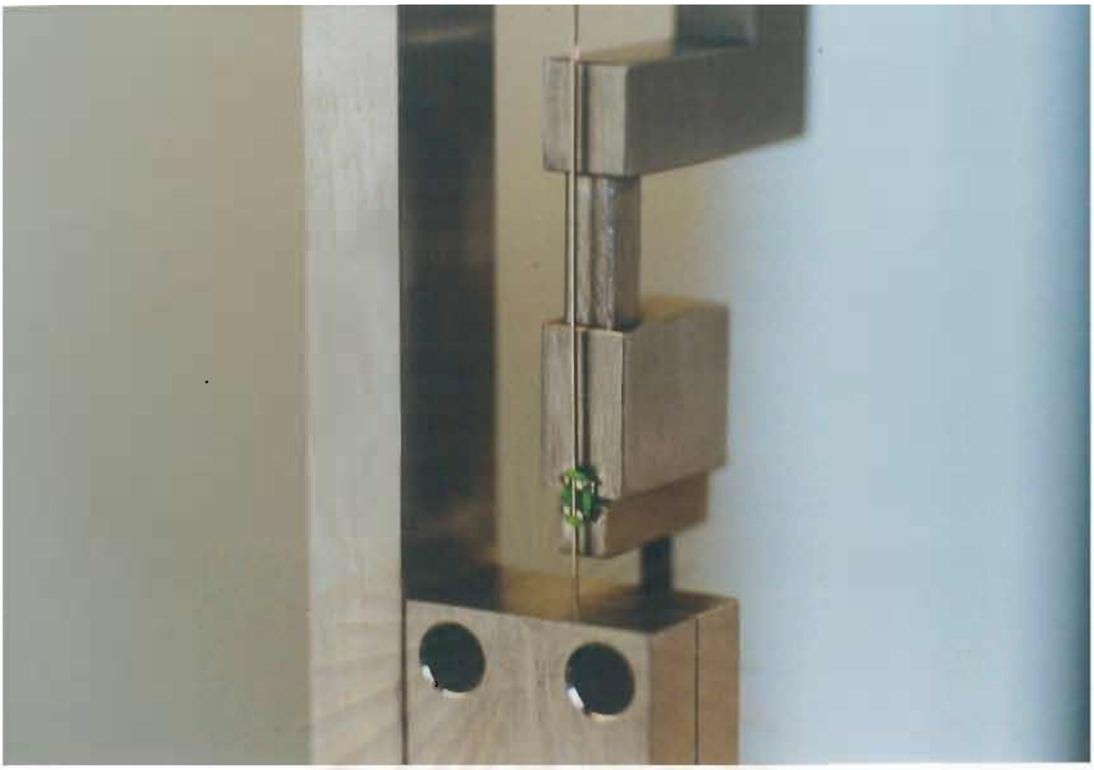
4.3 วัดค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ตามวิธีการเหมือนข้อ 4.1

4.4 วัดค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ตามวิธีการเหมือนข้อ 4.1

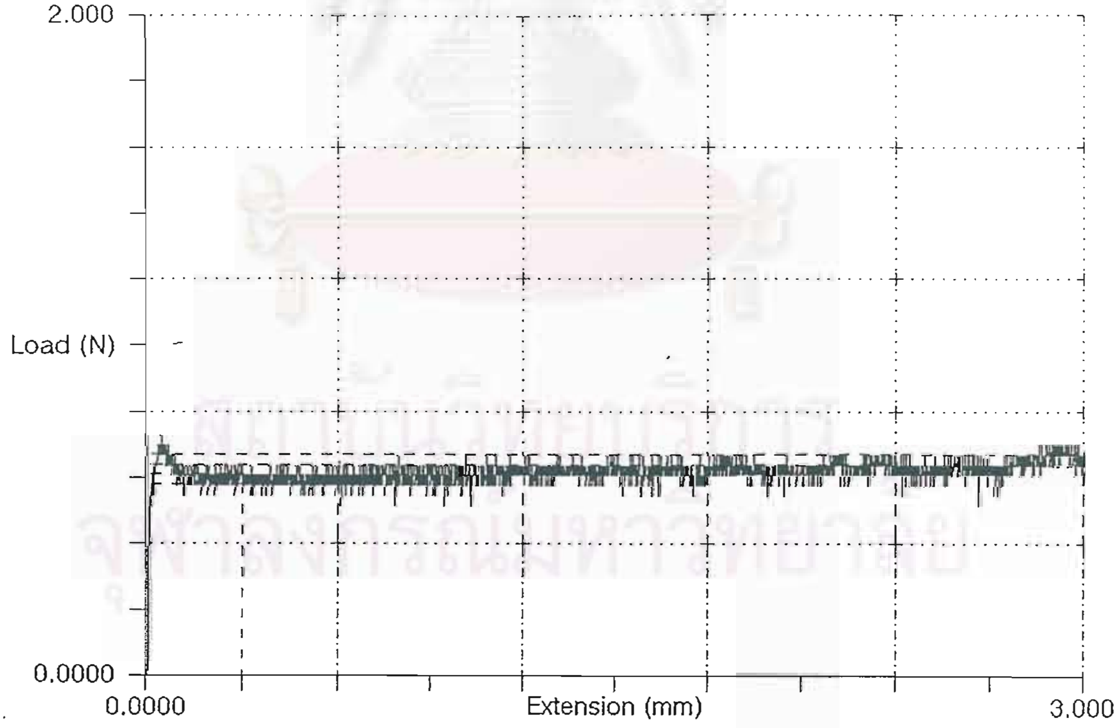
4.5 วัดค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิก กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว, 0.018 นิ้ว และ 0.016 x 0.016 นิ้ว, 0.016 x 0.022 นิ้ว ตามวิธีการเหมือนข้อ 4.1

4.6 วัดค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และ 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว ตามวิธีการเหมือนข้อ 4.1

5. ศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกต 3 ชนิด และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด



รูปที่ 15 การปรับเครื่องมือจับยึดแบรกเกต และเครื่องมือจับยึดลวดจนกระทั่งลวดอยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางแรงดึงของเครื่องยูนิเวอร์เซลเทสติงมะชีน และยึดลวดด้วยยางมัดแบรกเกต



รูปที่ 16 กราฟแสดงแรงเสียดทานสถิต โดยวัดจากจุดสูงสุดของเส้นกราฟจุดแรกก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง

<u>การวิเคราะห์ข้อมูล</u>

ทดสอบความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว และ 0.016 x 0.016 นิ้ว , 0.016 x 0.022 นิ้ว โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วย Scheffe' Test การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows เวอร์ชั่น 9.0 (SPSS 9.0 for Windows)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ในการศึกษาความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ 0.016 x0.022 นิ้ว ได้ทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) ของแรงเสียดทานสถิต ขณะที่ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 4 ขนาด เริ่มไถลผ่านแบรกเกต ด้วยความเร็วคงที่ 1 ม.ม. ต่อนาที ดังรายละเอียดในตารางที่ 9 และรูปที่ 17 และ 18 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของขนาดแรงเสียดทานสถิต ของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด ดังตารางที่ 10-12 (ภาคผนวก)

1.1. ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

1.1.1. ขนาด 0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 46.99 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.05

1.1.2. ขนาด 0.018 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 67.70 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.33

1.1.3. ขนาด 0.016x0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 57.86 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.81

1.1.4. ขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 67.50 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20.18

1.2. ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิก กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

1.2.1. ขนาด 0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 83.21 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 19.85

1.2.2. ขนาด 0.018 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 87.55 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.09

1.2.3. ขนาด 0.016x0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 82.75 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.67

1.2.4. ขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 77.55 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 17.81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3. ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

1.3.1. ขนาด 0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 72.70 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.27

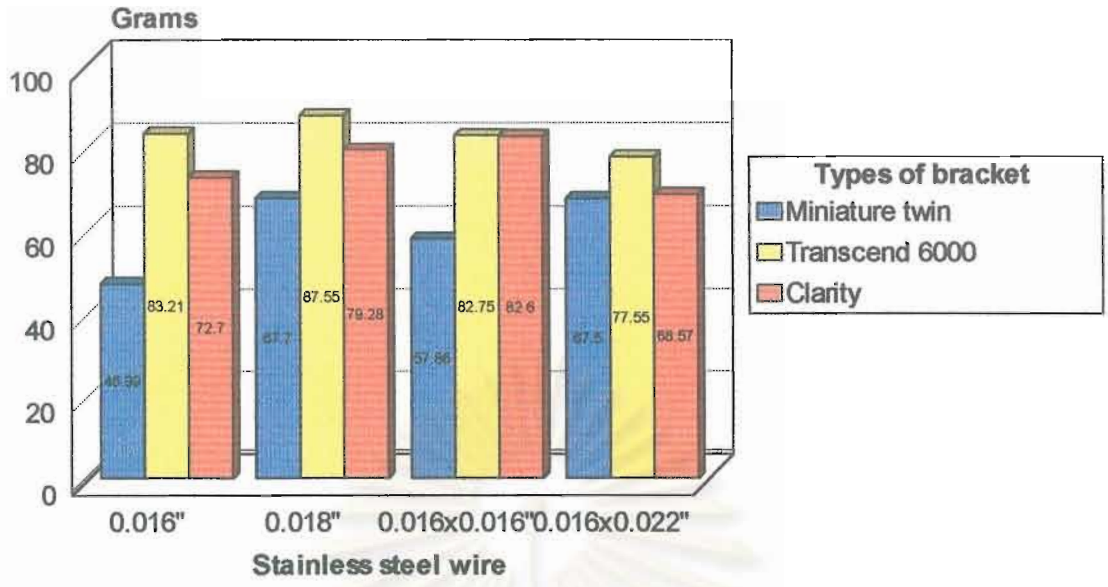
1.3.2. ขนาด 0.018 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 79.28 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.64

1.3.3. ขนาด 0.016x0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 82.60 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 11.98

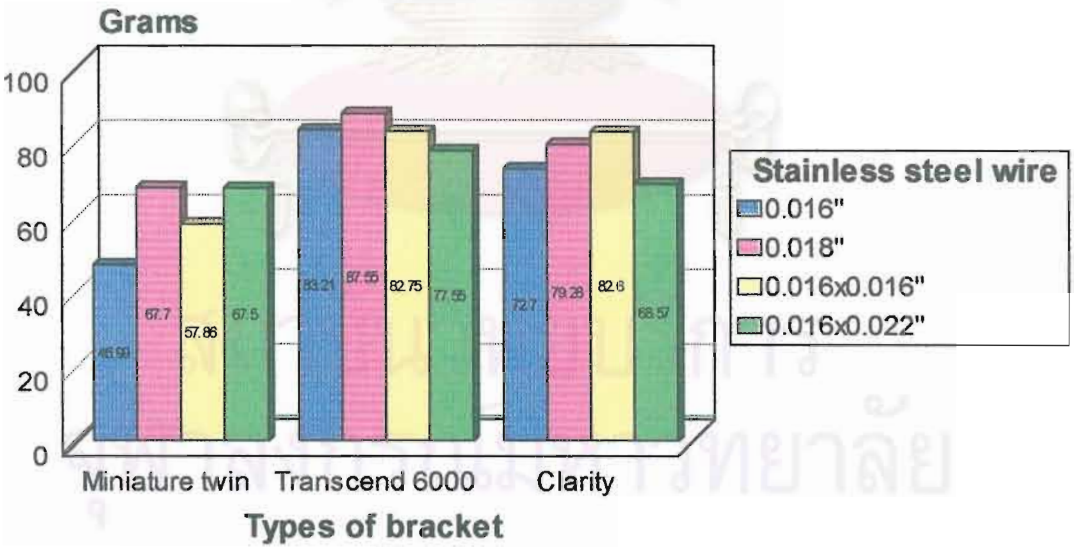
1.3.4. ขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต 68.57 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.48

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม(Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ 0.016 x0.022 นิ้ว

Types of bracket	Stainless steel wire (inches)	Static friction	
		Mean (Grams)	S.D.
Stainless steel bracket (Miniature twin)	0.016	46.99	13.05
	0.018	67.70	13.33
	0.016x0.016	57.86	12.81
	0.016x0.022	67.50	20.18
Ceramic bracket (Transcend 6000)	0.016	83.21	19.85
	0.018	87.55	16.09
	0.016x0.016	82.75	12.67
	0.016x0.022	77.55	17.81
Metal reinforced Ceramic bracket (Clarity)	0.016	72.70	16.27
	0.018	79.28	23.64
	0.016x0.016	82.60	11.98
	0.016x0.022	68.57	13.48



รูปที่ 17 ฮิสโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว



รูปที่ 18 ฮิสโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม (Miniature twin) แบรกเกตเซรามิก (Transcend 6000) และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Clarity) เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว

2. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต ใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง พบว่าชนิดของแบรกเกต ขนาดของลวด และปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแบรกเกต และขนาดของลวด มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ดังตารางที่ 13 (ภาคผนวก) จึงทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วย Scheffe´ Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ดังนี้

2.1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเท่ากัน ดังนี้

2.1.1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกต 3 ชนิด กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว พบว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม มีแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าแบรกเกตเซรามิก และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 14 (ภาคผนวก)

2.1.2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกต 3 ชนิด กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.018 นิ้ว พบว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม มีแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าแบรกเกตเซรามิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 15 (ภาคผนวก)

2.1.3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกต 3 ชนิด กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว พบว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม มีแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าแบรกเกตเซรามิก และ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 16 (ภาคผนวก)

2.1.4. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกต 3 ชนิด กับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 x0.022 นิ้ว พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 17 (ภาคผนวก)

2.2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตชนิดเดียวกัน ดังนี้

2.2.1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่า ลวดขนาด 0.016 นิ้ว จะทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดขนาด 0.018 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 18 (ภาคผนวก)

2.2.2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิก พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 19 (ภาคผนวก)

2.2.3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 20 (ภาคผนวก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเท่ากัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบอิทธิพลของขนาดลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด ที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตที่เกิดจากแบรกเกต และลวดทดสอบโดยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วย Scheffé Test

สรุปผลการวิจัย

1. แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเดียวกัน ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่ขนาดลวด 0.016 x 0.022 นิ้ว ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกัน

2. ขนาดของลวดที่ใหญ่ขึ้น มีผลต่อแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ แรงเสียดทานสถิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลวดมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่พบใน แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมุติฐานการวิจัยข้อแรกซึ่งกล่าวว่า มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ผลการวิจัยพบว่าโดยทั่วไป แบรกเกตเซรามิกทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตมากที่สุด รองลงมาคือ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) ; Pratten และคณะ (1990) ; Keith, Jones และDavies (1993) กล่าวคือ แบรกเกตเซรามิกจะมีแรงเสียดทานมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของ Kusy และ Whitley (1990); Downing, McCabe และ

Gordon (1994); Bazakidou และคณะ (1997) ซึ่งพบว่า แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมีแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของลวดแต่ละขนาด พบว่าแรงเสียดทานสถิตมีความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยเฉพาะลวดกลมขนาดเล็ก (0.016 นิ้ว) และลวดเหลี่ยม (0.016 x 0.016 นิ้ว) โดยแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมมีแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) เมื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิดในลวดใหญ่ คือ ขนาด 0.018 นิ้ว พบว่าแบรกเกตเซรามิกจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Keith, Jones และDavies (1993) ซึ่งวัดขนาดแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว กับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิกที่มีขนาดร่อง 0.018 x 0.025 นิ้ว การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่า แรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเซรามิกมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระของแบรกเกตเซรามิก

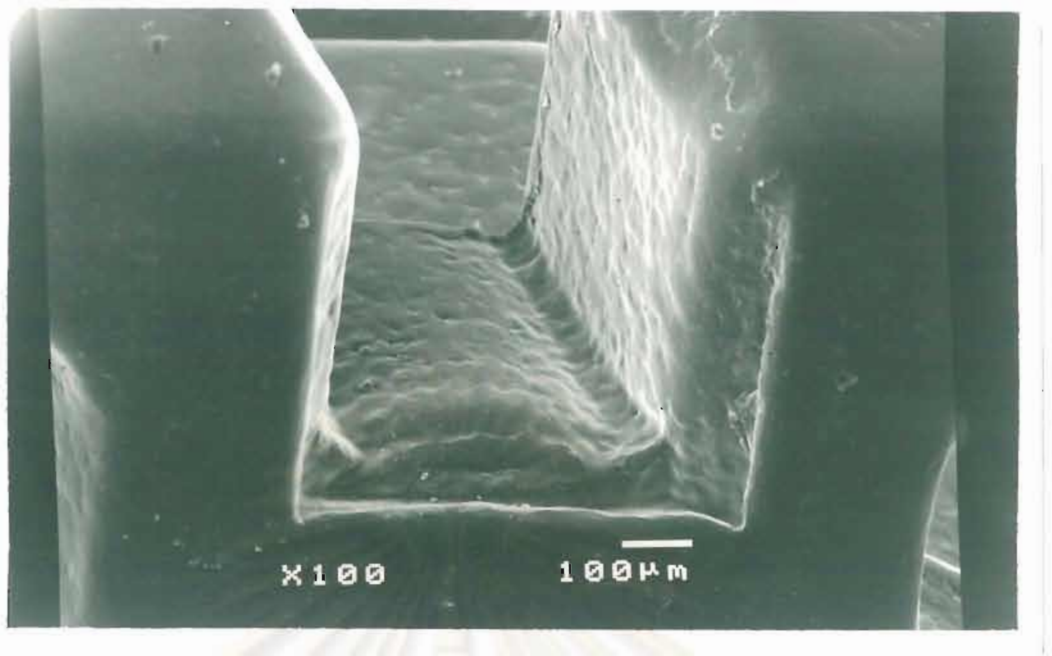
อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิดในลวดใหญ่ คือ ขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว พบว่าแบรกเกตเซรามิกมีแรงเสียดทานสถิตมากกว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สาเหตุดังกล่าวอาจเนื่องมาจาก ลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว มีจุดสัมผัสกับร่องแบรกเกต 2 ตำแหน่ง ในขณะที่ลวดขนาด 0.018 นิ้ว จะมีขนาดเต็มร่องของแบรกเกต โดยมีจุดสัมผัสกับร่องแบรกเกต 3 ตำแหน่ง และไม่มีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรกเกต เหมือนในลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ดังนั้น ลักษณะพื้นผิวของแบรกเกตเซรามิก จึงมีอิทธิพลต่อลวดขนาด 0.018 นิ้ว อย่างชัดเจนกว่าในลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990)

แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม มีแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าแบรกเกตเซรามิกแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกขนาดของลวด อย่างไรก็ตามในลวดขนาดใหญ่ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ก็ไม่ได้ทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตมากกว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจกล่าวได้ว่าในลวดขนาดต่างๆกัน แบรกเกตทั้ง 3 ชนิด จะแสดงพฤติกรรมในการทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตที่แตกต่างกันไป

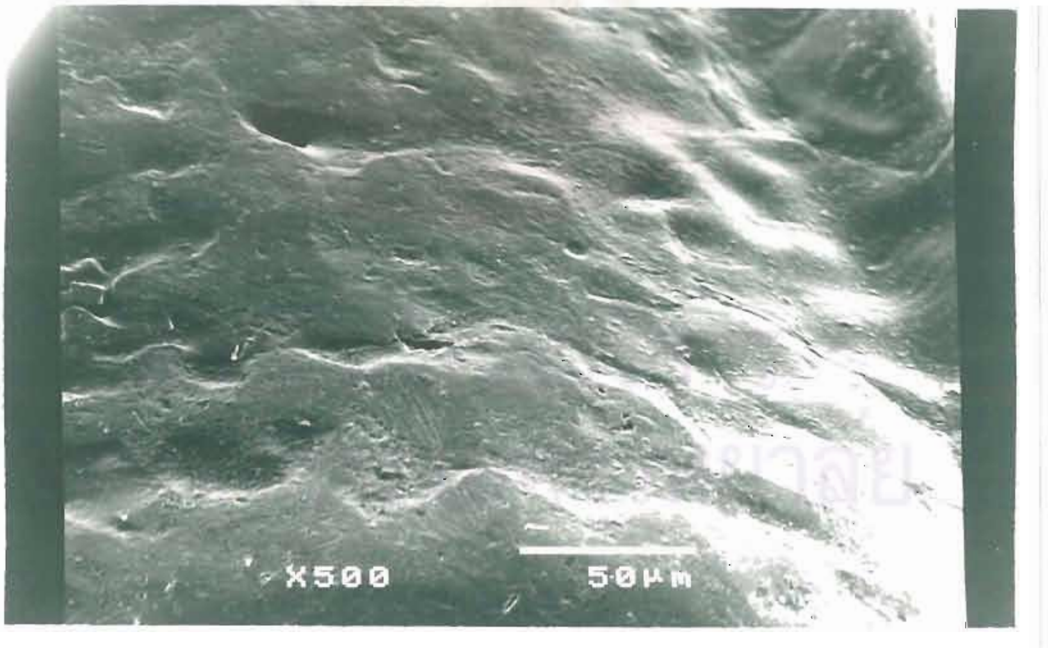
จากสมมุติฐานการวิจัยข้อที่สองซึ่งกล่าวว่า มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตแต่ละชนิดที่ใช้กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด จากการศึกษานี้พบว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้กับลวดกลมขนาดเล็ก คือ ขนาด 0.016 นิ้ว ทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิต

น้อยกว่าลวดขนาดใหญ่ คือ ขนาด 0.018 นิ้ว และ 0.016 X 0.022 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากแนวโน้มของข้อมูล (ตารางที่ 9) พบว่า ลวดขนาดเล็ก จะทำให้เกิดแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดขนาดใหญ่ ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980); Garner และ Moore (1986); Drescher, Bourauel และ Schumacher (1989) ; Angolkar และคณะ (1990) ; Kapila และคณะ (1990) แต่เมื่อพิจารณาในแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าลวดทั้ง 4 ขนาด ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุดังกล่าวอาจเนื่องมาจาก ขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากจากยางมัดแบรกเกต จะมีผลต่อขนาดของลวดที่แตกต่างกัน เช่น ในลวดขนาดเล็ก จะมีความแข็งตึง (Stiffness) ต่ำ ทำให้ลวดเกิดการโค้งงอผิดรูปได้ง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ ดังนั้น จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ขนาดลวดไม่มีผลต่อแรงเสียดทานสถิตในแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากยางมัดแบรกเกตอาจจะมากจนกระทั่งทำให้เกิดการโค้งงอ หรือการผิดรูปของลวดขนาดเล็กซึ่งจะมีผลทำให้แรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้น จนกระทั่งไม่แตกต่างจากลวดขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) โดยออกแบบการทดลองให้ใช้ยางมัดแบรกเกตในการมัดลวดเข้ากับแบรกเกตเซรามิกเช่นเดียวกัน พบว่าลวดขนาด 0.016 นิ้ว และ ขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การศึกษาของ Downing, McCabe และGordon (1994) มีการออกแบบการศึกษาเช่นเดียวกัน แต่มีการควบคุมขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่กดลวดเข้ากับร่องแบรกเกตเซรามิกให้เท่ากันทุกกลุ่ม พบว่า ขนาดลวดมีผลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยลวดขนาดใหญ่จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่า ลวดขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ

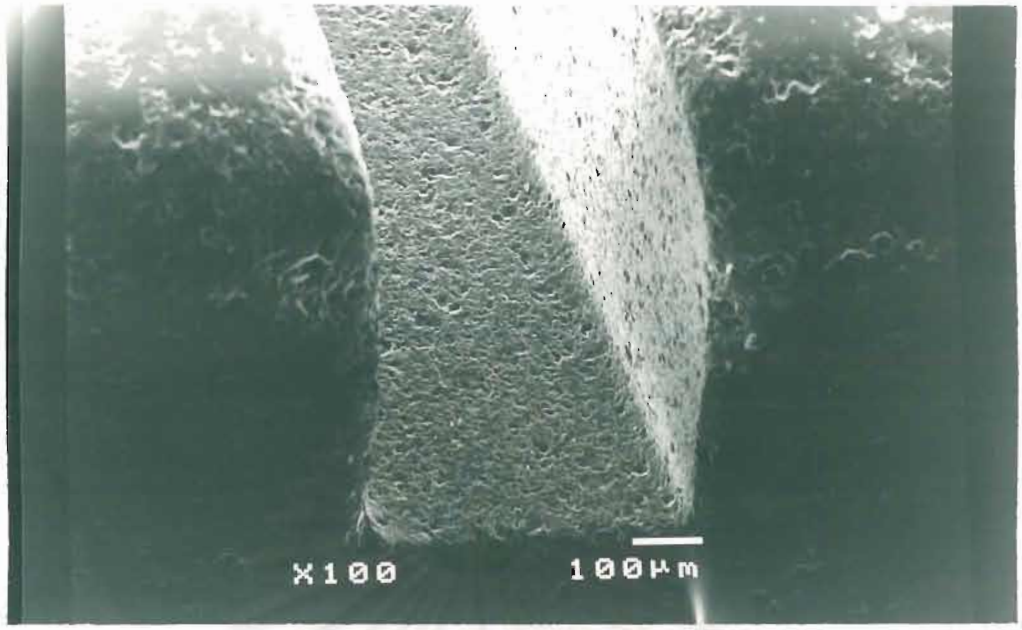
ดังนั้นการพิจารณาแรงเสียดทานสถิต ต้องคำนึงถึงชนิดของแบรกเกต ชนิดและขนาดของลวดด้วย จากการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) ; Pratten และคณะ (1990); Tanne และคณะ (1991); Kusy, Whitley และ Prewitt (1991); Bednar, Gruendeman และ Sandrik (1991) พบว่าแบรกเกตเซรามิกจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงกว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากแบรกเกตเซรามิกมีพื้นผิวที่หยาบกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงออกแบบแบรกเกตเซรามิกโดยการเสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อต้องการทำให้มีพื้นผิวสัมผัสที่เรียบ โดยเชื่อว่าจะสามารถลดแรงเสียดทานลงได้โดยไปลดที่สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน จากรูปที่ 19-24 แสดงลักษณะพื้นผิวของร่องแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JSM-5410LV Scanning Microscope) พบว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีพื้นผิวที่เรียบกว่าแบรกเกตเซรามิก



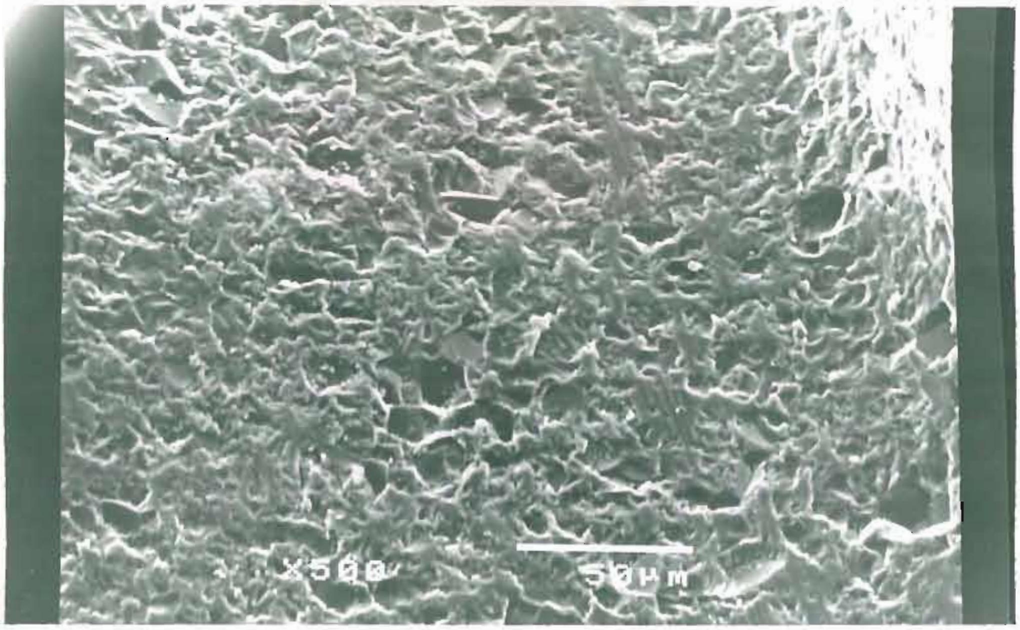
รูปที่ 19 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 100 เท่า



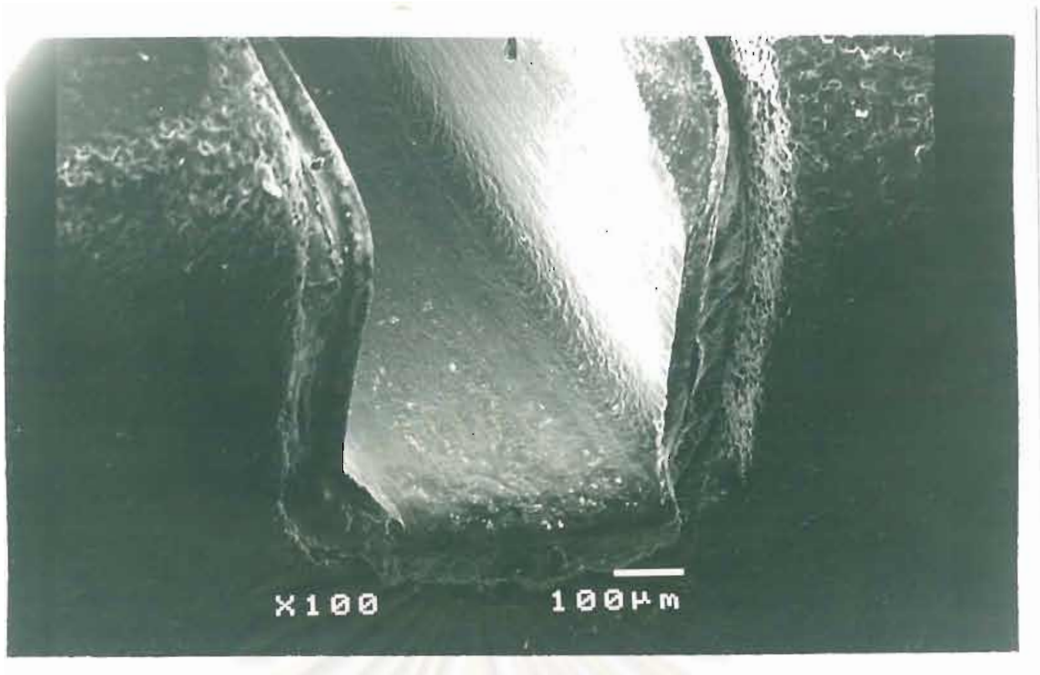
รูปที่ 20 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 21 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิก จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 22 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิก จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า



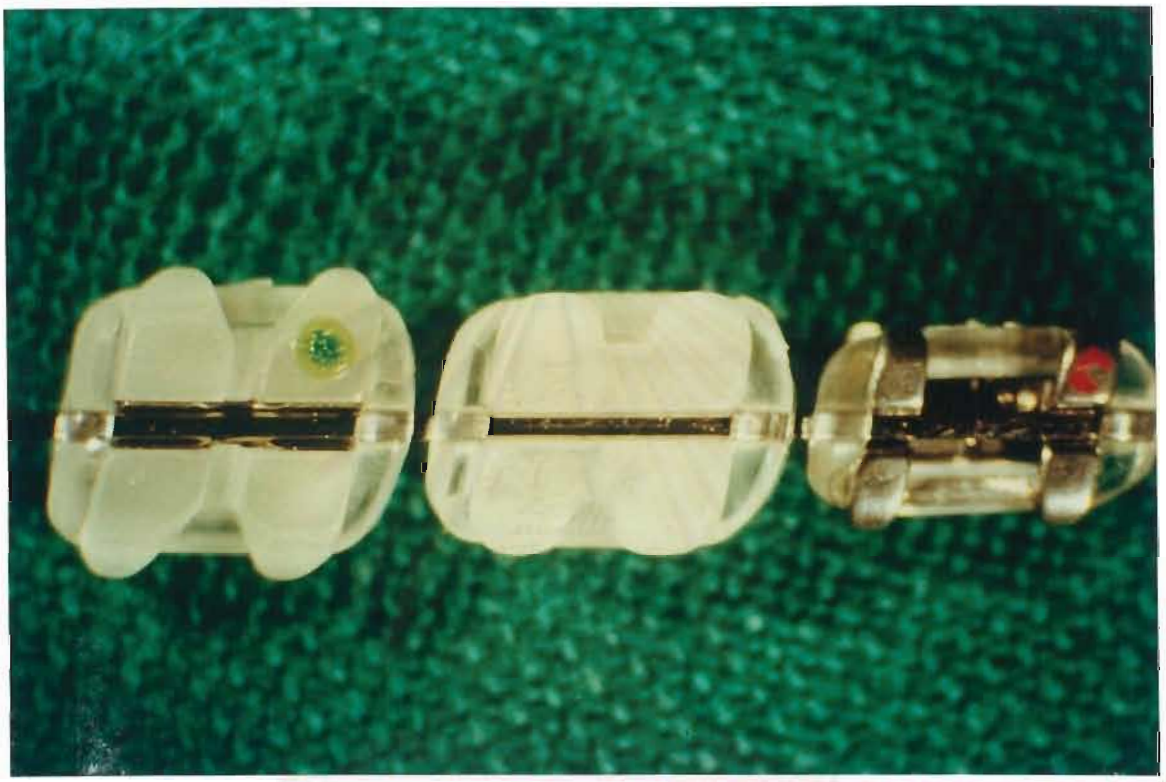
รูปที่ 23 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม จาก กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 24 ภาพขยายภายในของร่องแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม จาก กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษานี้พบว่าในลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว แบรกเกตทั้งสามชนิด มีแรงเสียดทานสถิตที่ไม่แตกต่างกัน สาเหตุหนึ่งที่อาจเป็นไปได้ คือในการศึกษานี้ได้ออกแบบการทดลองดึงแบรกเกตผ่านลวดในแนวดิ่ง โดยเครื่องมือจับแบรกเกตจะยึดแบรกเกตให้อยู่ในตำแหน่งที่คงที่ และขนานกับลวดตลอดการทดลอง เพื่อควบคุมการทิปปิง หรือการหมุนของแบรกเกต ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Loftus และคณะ (1999) ที่ออกแบบการทดลองให้ใกล้เคียงกับการเคลื่อนฟันในคลินิก คือ ทำให้เกิดการทิปปิง และการหมุนของแบรกเกตในขณะเคลื่อนฟัน และมีการควบคุมขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่กดลวดเข้ากับร่องแบรกเกตให้เท่ากัน โดยใช้ลวดมัดแบรกเกตในทุกกลุ่ม ผลการศึกษาพบว่า แบรกเกตเซรามิกมีแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ดังนั้น การออกแบบการเคลื่อนฟันโดยไม่เกิดการทำมุมระหว่างแบรกเกต และลวด อาจจะทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่าง แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมได้อย่างชัดเจน ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Angolkar และคณะ (1990) ที่พบว่า แบรกเกตเซรามิกไม่ได้ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ในทุกขนาดของลวดที่ทำการศึกษา

จากการศึกษานี้พบว่า แรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมจะมากกว่า แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญในลวดขนาดเล็ก คือ ลวดกลมขนาด 0.016 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ซึ่งต่างจากลวดเหลี่ยมขนาดใหญ่ คือ 0.016 x 0.022 นิ้ว สาเหตุดังกล่าวอาจอธิบายได้ คือ นอกจากสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่มีผลต่อแรงเสียดทานแล้ว ยังมีแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดจากยางมัดแบรกเกตที่มีผลต่อแรงเสียดทานด้วย และเนื่องจากความหนาของแบรกเกตทั้ง 3 ชนิดไม่เท่ากัน จึงมีผลทำให้ยางมัดแบรกเกตถูกยืดออกเพื่อโอบรอบแบรกเกตแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (จากรูปที่ 25) พบว่า แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีขนาดเล็กที่สุด ทำให้ยางมัดแบรกเกตถูกยืดออกไม่เท่ากัน แรงปฏิกิริยาตั้งฉากจึงอาจจะไม่เท่ากันในแบรกเกตทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของลวดที่แตกต่างกัน เช่น ในลวดขนาดเล็ก จะมีความแข็งตึง (Stiffness) ต่ำ ทำให้ลวดเกิดการโค้งงอผิดรูปได้ง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ ดังนั้น แรงปฏิกิริยาที่เกิดจากยางมัดแบรกเกตของแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมอาจจะมากจนกระทั่งทำให้เกิดการโค้งงอ หรือการผิดรูปของลวดขนาดเล็กซึ่งจะมีผลทำให้แรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแตกต่างจาก แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kapila และคณะ (1990) โดยศึกษาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของแบรกเกตขนาดเล็ก แบรกเกตขนาดกลาง และแบรกเกตขนาดใหญ่

กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดต่างๆกัน โดยใช้ยางมัดแบรกเกตในการมัดลวดติดกับแบรกเกต ผลการศึกษาพบว่า ในแบรกเกตขนาดเล็ก ขนาดลวดแปรผันตรงต่อขนาดแรงเสียดทาน กล่าวคือ ขนาดลวดที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ขนาดแรงเสียดทานมากขึ้นด้วย ในขณะที่แบรกเกตขนาดกลาง และขนาดใหญ่ผลที่เกิดขึ้นไม่ชัดเจน สาเหตุดังกล่าวอาจเนื่องมาจากแรงจากการมัดลวดของแบรกเกตทั้ง 3 กลุ่มไม่เท่ากัน และแรงดังกล่าวมีผลต่อลวดขนาดต่างๆกันในแบรกเกตแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน



รูปที่ 25 แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อยึดติดกับลวดด้วยยางมัดแบรกเกต

จากการศึกษาของ Kusy, Whitley และPrewitt (1991); Downing, McCabe และGordon (1994); Bazakidou และคณะ (1997) พบว่าแบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การที่จะสรุปว่าแบรกเกตเซรามิก จะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่า หรือไม่แตกต่างกับแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิมนั้น จึงขึ้นกับการออกแบบการทดลอง และการควบคุมตัวแปรของแต่ละการศึกษา ซึ่งไม่สามารถนำไปอ้างอิงถึงการนำไปใช้จริงในทางคลินิกได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับการศึกษานี้ การที่ไม่ได้ควบคุมตัวแปรที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาตั้งฉากของยางมัดแบรกเกตที่ถูกยืดออกไม่เท่ากัน เพื่อต้องการเลียนแบบการนำไปใช้จริงในคลินิก ดังนั้น ผลการศึกษาดังกล่าวจึงไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิติที่

เกิดขึ้นของชนิดของแบรกเกต และขนาดลวดนั้น มาจากสาเหตุของลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน หรือ ขนาดแรงปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน และขนาดแรงปฏิกิริยาที่แตกต่างกันอาจจะมีผลต่อลวดขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ที่แตกต่างกันด้วย

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่า แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเกตเซรามิก มีค่าแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของแรงเสียดทานต่อการสูญเสียหลักยึด

2 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกต 3 ชนิด โดยใช้ยางยึดลวดติดกับแบรกเกต ซึ่งแรงปฏิกิริยาตั้งฉากจากแรงยึดอาจจะไม่เท่ากันในแบรกเกตแต่ละชนิด เนื่องจากขนาดของแบรกเกตที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรศึกษาต่อโดยควบคุมแรงยึดลวดกับร่องแบรกเกตให้เท่ากันทุกกลุ่ม

3. การวิจัยนี้จะวัดแรงเสียดทานสถิตในทันทีหลังจากการใช้ยางยึดลวดกับแบรกเกต ในกรณีที่พบว่าแรงยึดลวดกับแบรกเกตเป็นปัจจัยหนึ่งของแรงเสียดทาน ควรศึกษาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาต่างๆกัน เนื่องจาก แรงจากยางยึดแบรกเกตจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป อนึ่งการทำวิจัยนี้ได้ทำในสภาพแห้ง ซึ่งในสภาวะในช่องปากจะมีน้ำลายเข้ามาเกี่ยวข้อง และน้ำลายจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยางยึดแบรกเกต ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงปัจจัยทั้ง 2 ประการนี้ควบคู่กันไปด้วย จะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับแรงเสียดทานที่ใกล้เคียงกับการใช้งานทางคลินิกมากยิ่งขึ้น

4. การเคลื่อนฟันโดยวิธี Sliding mechanics มีทั้งแรงเสียดทานสถิต และแรงเสียดทานจลน์ของแบรกเกต และลวด เกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อถึงแรงเสียดทานจลน์ ที่เกิดขึ้นกับแบรกเกตทั้ง 3-ชนิดนี้ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

5. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกต และลวดเพียงระนาบเดียว ซึ่งในการเคลื่อนฟันทางคลินิก โดยวิธี Sliding mechanics ฟันจะมีการเคลื่อนที่แบบทิปปิง (Tipping) บอดิลีย์ (Bodily) และการตั้งรากฟัน (Root movement) เกิดขึ้นในขณะเคลื่อนฟัน และจะทำให้เกิดการทำมุมระหว่างลวดกับร่องของแบรกเกตซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชาญ ถนัดงาน. สถิติศาสตร์. 2523, อ้างถึงใน กาลัญ กลั่นกลิ่น. การเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นระหว่าง ลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันขนาดต่างๆ และแบรกเกตฟันเขี้ยวแบบมาตรฐาน ในสภาพการเลียนแบบการดึงฟันเขี้ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2533

ภาษาอังกฤษ

Andreasen, G. F. , and Quevedo, F. R. 1970. Evaluation of frictional forces in the 0.022 x 0.028 edgewise bracket in vitro. J Biomech 3: 151-160.

Angolkar, P. V. , Kapila, S. , Duncanson, M. G. , and Nanda, R. S. 1990. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 499-506.

Baker, K. L. , Nieberg, L. G. , Weimer, A. D. , and Hanna, M. 1987. Frictional changes in force values caused by saliva institution. Am J Orthod Dentofac Orthop 91: 316-320.

Bazakidou, E. , Nanda, R. S. , Duncanson, M. G. , Jr. , and Sinha, P. 1997. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 112: 499-506.

Bednar, J. R. , Gruendeman, G. W. , and Sandrik, J. L. 1991. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 100: 513-522.

Berger, J. L. 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 Dentofac Orthop 97: 219-228.

Besancon, R. M. 1985. The encyclopedia of physics, 3rd edition, pp.497-499. New York : Van Nostrand Reinhold Company.

Brantley, W. A. , Salander, S. , Myers, C. L. , and Winders, R. V. 1979. Effect of pre-stretching on force degradation characteristics of plastic modules. Angle Orthod 49: 37-43.

Burstone, C. J. , and Farzin-nia, F. 1995. Production of low-friction and colored TMA by ion implantation. J Clin Orthod 29: 453-461.

Burstone, C. J. , Pryputniewicz, R. J. 1980. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. Am J Orthod Dentofac Orthop 77: 396-409.

Downing, A. , McCabe, J. F. , and Gordon, P. H. 1994. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. Br J Orthod 21: 349-357.

Drescher, D. , Bourauel, C. , and Schumacher, H. 1989. Frictional forces between bracket and archwire. Am J Orthod Dentofac Orthop 96: 397-404.

Edwards, G. D. , Davies, E. H. , and Jones, S. P. 1995. The ex vivo effect of ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel brackets and archwires. Br J Orthod 22: 145-153.

Frank, C. A. , and Nikolai, R. J. 1980. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofac Orthop 78: 593-609.

Garner, L. D. , and Moore, B. K. 1986. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. Am J Orthod Dentofac Orthop 90: 199-203.

Ireland, A. J. , Sherriff, M. , and McDonald, F. 1991. Effect of bracket and wire composition on frictional forces. Eur J Orthod 13: 322-328.

Kapila, S. , Angolkar, P. J. , Duncanson, M. G. , and Nanda, R. S. 1990. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 117-126.

Keith, O. , and Jones, S. P. 1993. The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets. Br J Orthod 20: 109-115.

Keith, O. , Kusy, R. P. , and Whitley, J. Q. 1994. Zirconia brackets: An evaluation of morphology and coefficients of friction. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 605-614.

Kusy, R. P. , Whitley, J. Q. , Mayhew, M. J. , and Buckthal, J. E. 1988. Surface roughness of orthodontic archwires. Angle Orthod 58: 33-45.

Kusy, R. P. , Whitley, J. Q. 1990. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 300-312.

Kusy, R. P. , Whitley, J. Q. , and Prewitt, M. J. 1991. Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. Angle Orthod 61: 293-302.

Loftus, B. P. , Artun, J. , Nicholls, J. I. , Alonzo, T. A. , and Stoner, J. A. 1999. Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. Am J Orthod Dentofac Orthop 116: 336-345.

Nanda, R. S. , Ghosh, J. 1997. Biomechanical considerations in sliding mechanics. In R. Nanda (ed.), Biomechanics in clinical orthodontics, pp. 188-217. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Omana, H. M. , Moore, R. N. , and Bagby, M. D. 1992. Frictional properties of metal and ceramic brackets. J Clin Orthod 26: 425-432.

Ogata, R. H. , Duncanson, M. G. , Nanda, R. S. , Currier, G. F. , and Sinha, P. K. 1996. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects vertical deflections. Am J Orthod Dentofac Orthop 109: 535-542.

Pederson, E. , Anderson, K. , and Gjessing, P. E. 1990. Electronic determination of center of resistance produced by orthodontic force system. Euro Orthod Soc 12: 272-280.

Peterson, L. , Spencer, R. , and Andreasen, G. F. 1982. Comparison of frictional resistance of nitinol and stainless steel wires in Edgewise brackets. Quint Inter Digest 13: 563-571

Pratten, D. H. , Popli, K. , Germane, N. , and Gunsolley, J. C. 1990. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackéts. Am J Orthod Dentofac Orthop 98: 398-403.

Proffit, W. R. , and Fields, H. W. 1986. Contemporary orthodontics, pp. 228-245 , 256-266. St. louis: C. V. Mosby.

Prososki, R. P. , Bagby, M. D. , and Erickson, L. C. 1991. Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 100: 341-348.

Quinn, R. B. , and Yoshikawa, D. K. 1985. A reassessment of force magnitude in orthodontics. Am J Orthod Dentofac Orthop 88: 252-260.

Riley, J. L. , Garrett, S. G. , and Moon, P. C. 1979. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. J Dent Res 58: A21

Saunders, C. R. , and Kusy, R. P. 1994. Surface topography and fritional characteristics of ceramic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 76-87.

Schwartz, A. M. 1932. Tissue changes incident to orthodontic tooth movement. Int J Orthod 18: 331-352.

Shivapuja, P. K. , and Berger, J. 1994. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 472-480.

Spiller, R. E. , Waters, N. E. , Birnie, D. J. , and Pethybridge, R. J. 1993. A comparason of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and a pre-adjusted bracket employing two types of ligation. Eur J Orthod 15: 377-385.

Storey, E. , and Smith, R. 1952. Force in orthodontics and its relation to tooth movement. Aust Dent J 56: 11-18.

Swartz, M. L. 1988. Ceramic brackets. J Clin Orthod 22: 82-88.

Tanne, K. , Matsubara, S. , Shibaguchi, T. , and Sakuda, M. 1991. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. Angle Orthod 61: 285-290.

Tanne, K. , Matsubara, S. , Tanne, K. , Matsubara, S. , Hotei, Y. , Sakuda, M. , and Yoshida, M. 1994. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 273-278.

Tidy, D. C. 1989. Frictional forces in fixed appliances. Am J Orthod Dentofac Orthop 96: 249-254.

Tselepis, M. , Brockhurst, P. , and West, V. C. 1994. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 106: 131-138.

Vaughan, J. L. , Duncanson, M. G. , Nanda, R. S. , and Currier, G. F. 1995. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. Am J Orthod Dentofac Orthop 107: 20-27.

Wong, A. K. 1976. Orthodontic elastic materials. 1976. Angle Orthod 46: 196-205.

Yamaguchi, K. , and Nanda, R. S. 1993. Considerations in sliding tooth movement along an archwire. I. Typodont work. Ind Orthod Jnl .

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 10 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	แบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม/ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (กรัม)			
	0.016 นิ้ว	0.018 นิ้ว	0.016 x 0.016 นิ้ว	0.016 x 0.022 นิ้ว
1	40.82	68.37	43.88	53.06
2	46.94	46.94	62.24	100.00
3	77.55	62.24	62.24	43.88
4	53.06	62.24	77.55	59.18
5	37.76	53.06	93.88	83.67
6	27.55	53.06	40.82	90.82
7	53.06	62.24	46.94	77.55
8	43.88	65.31	53.06	106.12
9	34.69	59.18	65.31	50.00
10	65.31	65.31	53.06	100.00
11	46.94	59.18	46.94	56.12
12	68.37	59.18	56.12	53.06
13	46.94	68.37	53.06	53.06
14	34.69	65.31	46.94	77.55
15	53.06	74.49	62.24	65.31
16	40.82	77.55	59.18	71.43
17	27.55	90.82	46.94	34.69
18	46.94	80.61	56.12	53.06
19	56.12	77.55	74.49	65.31
20	37.76	103.06	56.12	56.12

ตารางที่ 11 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิก ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	แบรกเกตเซรามิก/ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (กรัม)			
	0.016 นิ้ว	0.018 นิ้ว	0.016 x 0.016 นิ้ว	0.016 x 0.022 นิ้ว
1	53.06	65.31	71.43	103.06
2	96.94	83.67	77.55	68.37
3	77.55	77.55	77.55	62.24
4	103.06	93.88	86.73	56.12
5	83.67	86.73	86.73	93.88
6	133.67	65.31	80.61	77.55
7	86.73	103.06	62.24	83.67
8	65.31	90.82	68.37	112.24
9	74.49	74.49	71.43	62.24
10	71.43	86.73	71.43	62.24
11	90.82	93.88	93.88	71.43
12	83.67	93.88	100.00	68.37
13	62.24	74.49	80.61	68.37
14	77.55	62.24	109.18	93.88
15	65.31	71.43	93.88	77.55
16	71.43	112.24	96.94	106.12
17	115.31	121.43	74.49	53.06
18	106.12	106.12	100.00	56.12
19	80.61	96.94	80.61	93.88
20	65.31	90.82	71.43	80.61

ตารางที่ 12 แสดงค่าแรงเสียดทานสถิตของ แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x 0.016 นิ้ว และ 0.016 x 0.022 นิ้ว กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	แบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม /ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (กรัม)			
	0.016 นิ้ว	0.018 นิ้ว	0.016 x 0.016 นิ้ว	0.016 x 0.022 นิ้ว
1	53.06	136.73	74.49	56.12
2	68.37	46.94	71.43	62.24
3	86.73	80.61	65.31	50.00
4	65.31	56.12	93.88	50.00
5	62.24	43.88	96.94	62.24
6	43.88	62.24	90.82	65.31
7	65.31	77.55	83.67	62.24
8	65.31	112.24	96.94	65.31
9	74.49	118.37	74.49	83.67
10	71.43	77.55	74.49	77.55
11	86.73	62.24	90.82	56.12
12	83.67	74.49	112.24	53.06
13	118.37	83.67	77.55	65.31
14	74.49	80.61	80.61	103.06
15	83.67	77.55	86.73	71.43
16	46.94	83.67	83.67	80.61
17	71.43	59.18	65.31	68.37
18	74.49	74.49	86.73	80.61
19	74.49	71.43	71.43	83.67
20	83.67	106.12	74.49	74.49

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิก และแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทิศทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BRACKET	21743.995	2	10871.997	40.784	.000*
WIRE	3642.237	3	1214.079	4.554	.004*
BRACKET*WIRE	5557.506	6	926.251	3.475	.003*
Error	60779.603	228	266.577		
Corrected Total	91723.340	239			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 นิ้ว

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (0.016")
Scheffe

(I) Types of bracket	(J) Types of bracket	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Stainless steel bracket	Ceramic bracket	-36.2235*	5.257	.000
	Metal reinforced ceramic bracket	-25.7135*	5.257	.000
Ceramic bracket	Stainless steel bracket	36.2235*	5.257	.000
	Metal reinforced ceramic bracket	10.5100	5.257	.145
Metal reinforced ceramic bracket	Stainless steel bracket	25.7135*	5.257	.000
	Ceramic bracket	-10.5100	5.257	.145

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

Homogeneous Subsets

Static friction (0.016")

Scheffe[a]

Types of bracket	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Stainless steel bracket	20	46.9905	
Metal reinforced ceramic bracket	20		72.7040
Ceramic bracket	20		83.2140
Sig.		1.000	.145

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.018 นิ้ว

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (0.018 ")
Scheffe

(I) Types of bracket	(J) Types of bracket	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Stainless steel bracket	Ceramic bracket	-19.8475*	5.760	.005
	Metal reinforced ceramic bracket	-11.5805	5.760	.142
Ceramic bracket	Stainless steel bracket	19.8475*	5.760	.005
	Metal reinforced ceramic bracket	8.2670	5.760	.364
Metal reinforced ceramic bracket	Stainless steel bracket	11.5805	5.760	.142
	Ceramic bracket	-8.2670	5.760	.364

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

Homogeneous Subsets

Static friction (0.018 ")

Scheffe[a]

Types of bracket	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Stainless steel bracket	20	67.7035	
Metal reinforced ceramic bracket	20	79.2840	79.2840
Ceramic bracket	20		87.5510
Sig.		.142	.364

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (0.016 x 0.016 ")

Scheffe

(I) Types of bracket	(J) Types of bracket	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Stainless steel bracket	Ceramic bracket	-24.8980*	3.951	.000
	Metal reinforced ceramic bracket	-24.7455*	3.951	.000
Ceramic bracket	Stainless steel bracket	24.8980*	3.951	.000
	Metal reinforced ceramic bracket	.1525	3.951	.999
Metal reinforced ceramic bracket	Stainless steel bracket	24.7455*	3.951	.000
	Ceramic bracket	-.1525	3.951	.999

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

Homogeneous Subsets

Static friction (0.016 x 0.016 ")

Scheffe[a]

Types of bracket	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Stainless steel bracket	20	57.8565	
Metal reinforced ceramic bracket	20		82.6020
Ceramic bracket	20		82.7545
Sig.		1.000	.999

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบรกเกตเซรามิกและแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (0.016 x 0.022 ")
Scheffe

(I) Types of bracket	(J) Types of bracket	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Stainless steel bracket	Ceramic bracket	-10.0505	5.496	.197
	Metal reinforced ceramic bracket	-1.0710	5.496	.981
Ceramic bracket	Stainless steel bracket	10.0505	5.496	.197
	Metal reinforced ceramic bracket	8.9795	5.496	.271
Metal reinforced ceramic bracket	Stainless steel bracket	1.0710	5.496	.981
	Ceramic bracket	-8.9795	5.496	.271

Homogeneous Subsets

Static friction (0.016 x 0.022 ")

Scheffe[a]

Types of bracket	N	Subset for alpha = .05
		1
Stainless steel bracket	20	67.4995
Metal reinforced ceramic bracket	20	68.5705
Ceramic bracket	20	77.5500
Sig.		.197

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ตารางที่ 18 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเหล็กกล้าไร้สนิม

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (Stainless steel bracket)
Scheffe

(I) Wire size (inches)	(J) Wire size (inches)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
0.016 "	0.018 "	-20.7130*	4.794	.001
	0.016 x 0.016 "	-10.8660	4.794	.172
	0.016 x 0.022 "	-20.5090*	4.794	.001
0.018 "	0.016 "	20.7130*	4.794	.001
	0.016 x 0.016 "	9.8470	4.794	.248
	0.016 x 0.022 "	.2040	4.794	1.000
0.016 x 0.016 "	0.016 "	10.8660	4.794	.172
	0.018 "	-9.8470	4.794	.248
	0.016 x 0.022 "	-9.6430	4.794	.265
0.016 x 0.022 "	0.016 "	20.5090*	4.794	.001
	0.018 "	-.2040	4.794	1.000
	0.016 x 0.016 "	9.6430	4.794	.265

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

Homogeneous Subsets

Static friction (Stainless steel bracket)

Scheffe[a]

Wire size (inches)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
0.016 "	20	46.9905	
0.016 x 0.016 "	20	57.8565	57.8565
0.016 x 0.022 "	20		67.4995
0.018 "	20		67.7035
Sig.		.172	.248

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเซรามิก

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (Ceramic bracket)
Scheffe

(I) Wire size (inches)	(J) Wire size (inches)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
0.016 "	0.018 "	-4.3370	5.317	.881
	0.016 x 0.016 "	.4595	5.317	1.000
	0.016 x 0.022 "	5.6640	5.317	.769
0.018 "	0.016 "	4.3370	5.317	.881
	0.016 x 0.016 "	4.7965	5.317	.846
	0.016 x 0.022 "	10.0010	5.317	.323
0.016 x 0.016 "	0.016 "	-.4595	5.317	1.000
	0.018 "	-4.7965	5.317	.846
	0.016 x 0.022 "	5.2045	5.317	.811
0.016 x 0.022 "	0.016 "	-5.6640	5.317	.769
	0.018 "	-10.0010	5.317	.323
	0.016 x 0.016 "	-5.2045	5.317	.811

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

Static friction (Ceramic bracket)

Scheffe [a,b]

Wire size (inches)	N	Subset 1
0.016 x 0.022 "	20	77.5500
0.016 x 0.016 "	20	82.7545
0.016 "	20	83.2140
0.018 "	20	87.5510
Sig.		.323

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 282.743.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

b. Alpha = .05.

ตารางที่ 20 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิต เมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 4 ขนาด คือ 0.016 นิ้ว , 0.018 นิ้ว , 0.016 x0.016 นิ้ว และ0.016 x0.022 นิ้ว โดยเปรียบเทียบในแบรกเกตเซรามิกที่เสริมร่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Static friction (Metal reinforced ceramic bracket)
Scheffe

(I) Wire size (inches)	(J) Wire size (inches)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
0.016 "	0.018 "	-6.5800	5.359	.682
	0.016 x 0.016 "	-9.8980	5.359	.339
	0.016 x 0.022 "	4.1335	5.359	.897
0.018 "	0.016 "	6.5800	5.359	.682
	0.016 x 0.016 "	-3.3180	5.359	.943
	0.016 x 0.022 "	10.7135	5.359	.270
0.016 x 0.016 "	0.016 "	9.8980	5.359	.339
	0.018 "	3.3180	5.359	.943
	0.016 x 0.022 "	14.0315	5.359	.086
0.016 x 0.022 "	0.016 "	-4.1335	5.359	.897
	0.018 "	-10.7135	5.359	.270
	0.016 x 0.016 "	-14.0315	5.359	.086

Homogeneous Subsets

Static friction (Metal reinforced ceramic bracket)

Scheffe [a]

Wire size (inches)	N	Subset for alpha = .05
		1
0.016 x 0.022 "	20	68.5705
0.016 "	20	72.7040
0.018 "	20	79.2840
0.016 x 0.016 "	20	82.6020
Sig.		.086

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ประวัติผู้เขียน

นายสุชน พูลทอง เกิดวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเทพศิรินทร์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2536 รับราชการที่โรงพยาบาลโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง เป็นเวลา 3 ปี และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 ปัจจุบันรับราชการที่โรงพยาบาลอ่างทอง อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย