

การศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
และลวดทางทันตกรรมจัดฟันต่างชนิดที่มุมกระทำต่างกันในสภาวะเปียก



ร้อยโทหญิง พรเพชร หรุจิตรวัฒนา

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF THE STATIC FRICTIONAL FORCES BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS
AND VARIOUS TYPES OF ORTHODONTIC WIRES AT DIFFERENT ANGULATIONS
IN THE WET STATE



Lieutenant Pornpetch Rujitwattana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกต
เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟันต่าง
ชนิดที่มุมกระทำต่างกันในสภาวะเปียก

โดย

ร้อยโทหญิง พรเพชร หรุจิตรวัดณา

สาขาวิชา

ทันตกรรมจัดฟัน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์

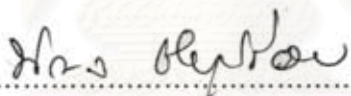
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ร่วม


รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยารัตน์ อภิวัฒน์กุล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ชูติมา กุศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง นิรมล ชำนาญนิธอรต)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยารัตน์ อภิวัฒน์กุล)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ นิวัต อนุวงศ์นุเคราะห์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริมา เพ็ชรดาชัย)

พรเพชร หงุจิตรวัฒนา : การศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟันต่างชนิดที่มุมกระทำต่างกันในสภาวะเปียก. (A COMPARISON OF THE STATIC FRICTIONAL FORCES BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS AND VARIOUS TYPES OF ORTHODONTIC WIRES AT DIFFERENT ANGULATIONS IN THE WET STATE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ทพ. วัชร เพ็ชรคุปต์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ. ทญ. ปิยารัตน์ อภิวัฒนกุล, 78 หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบขนาดของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดในทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิด ในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อมุมกระทำระหว่างแปรงเกดและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา

วัสดุและวิธีการ นำแปรงเกดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอดจ์ไวส์มาตรฐานสำหรับฟันเขี้ยวที่มีร่องแปรงเกดขนาด 0.018×0.025 นิ้ว และลวด 4 ชนิดที่มีหน้าตัดขนาด 0.016×0.022 นิ้ว เท่ากัน ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสอีเอ็นดีวี มาทดสอบหาขนาดแรงเสียดทานสถิต ขณะที่มีมุมกระทำระหว่างแปรงเกดและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา โดยใช้เครื่องล้อยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบมาซิน การทดสอบนี้กระทำในน้ำลายเทียมที่มีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37 ± 1 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกดและลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับนัยสำคัญ .05

ผลการวิจัย จากการทดสอบความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแปรงเกดและลวดทั้ง 4 ชนิด พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมุมกระทำระหว่างแปรงเกดและลวดมีค่าเท่ากัน แต่จากการวิเคราะห์ลวดแต่ละชนิดเมื่อมุมกระทำแตกต่างกัน พบแรงเสียดทานสถิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระทำเพิ่มขึ้นในลวดทุกชนิด แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงเสียดทานสถิตเฉพาะเมื่อมุมกระทำเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2 องศา (ค่าที = .004, .028, .002 ตามลำดับ) ยกเว้นในลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของขนาดแรงเสียดทานสถิตไม่ว่ามุมกระทำมีค่าเท่าใด

ภาควิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่อนิสิต.....ร.ท. พญ. พรเพชร หงุจิตรวัฒนา.....
 สาขาวิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....อ.ท. ทพ. วัชร เพ็ชรคุปต์.....
 ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....รศ. ทญ. ปิยารัตน์ อภิวัฒนกุล.....

497 61310 32 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: BETA-TITANIUM WIRE / NICKEL-TITANIUM WIRE / SECOND-ORDER ANGULATIONS / STAINLESS STEEL BRACKET / STAINLESS STEEL WIRE / STATIC FRICTIONAL FORCE

PORNPETCH RUJITWATTANA : A COMPARISON OF THE STATIC FRICTIONAL FORCES BETWEEN STAINLESS STEEL BRACKETS AND VARIOUS TYPES OF ORTHODONTIC WIRES AT DIFFERENT ANGULATIONS IN THE WET STATE. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC. PROF. VACHARA PHETCHARAKUPT, THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. PIYARAT APIVATANAGUL, 78 pp.

Objective To compare the static frictional forces measured in 37 ± 1 °C artificial saliva between stainless steel brackets and 4 types of orthodontic wires when the angulations between the brackets and the wires were 0, 1 and 2 degrees, respectively.

Materials and Methods The static frictional forces of the 0.018 inch slot canine standard edgewise brackets and 4 types of 0.016 x 0.022 inch wires which were stainless steel, Sentalloy® medium, Sentalloy® heavy and TMA® COLOR™ (honeydew) were measured by using the Lloyd Universal Testing Machine at the second-order angulations of 0, 1 and 2 degrees. The measurements were made in the artificial saliva at 37 ± 1 °C. Two-way ANOVA was used to test for significant differences of the static frictional forces among the groups of specimens at the significant level of .05.

Result There was no difference in the static frictional forces between the brackets and the 4 wire groups when the second-order angulation was equal. However, the static frictional forces were increased when the second-order angulation increased but a significant increase was found when the angulation rose from 0 to 2 degrees only (p-value = .004, .028 and .002, respectively) except for the stainless steel wire group.

Department.....Orthodontics....	Student's signature..... <i>Pornpetch Rujitwattana</i>
Field of study....Orthodontics....	Principal advisor's signature..... <i>Vachara Phetcharakupt</i>
Academic year.....2007.....	Co-advisor's signature..... <i>Piyarat Apivotanagul</i>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยารัตน์ อภิวฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ กำลังใจ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง นิรมล ชำนาญนิธิอรุณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ นิวัต อนุวงศ์นุเคราะห์ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริมา เพ็ชรดาชัย ที่ให้ความกรุณาในการแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำด้านสถิติที่ใช้วิจัย

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา คุณสมพงษ์ ชุตติกุลสวัสดิ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์ ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องลดยดึยนิเวอร์แซลเทสติงมาขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความห่วงใยและการสนับสนุนเสมอมา

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับ “ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 1 ประจำปีงบประมาณ 2551” ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัทโทมี จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) สำหรับลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย

ขอขอบคุณบริษัททันต-สยาม วิสาหกิจ จำกัด สำหรับแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมราคาพิเศษ

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้คอยดูแลห่วงใย ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	6
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
วิธีดำเนินการวิจัย.....	9
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
แรงเสียดทาน.....	10
ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในการเคลื่อนพันทาง ทันตกรรมจัดฟัน.....	11
ปัจจัยทางกายภาพ.....	13
ลวดโค้ง.....	13
การมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์ริกเกต.....	16
แบร์ริกเกต.....	18
ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน.....	21

ปัจจัยทางชีวภาพ.....	23
น้ำลาย.....	23
สภาพช่องปาก.....	24
การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในช่องปาก.....	24
การลดขนาดแรงเสียดทาน.....	24
การลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน.....	25
การลดค่าแรงกระทำ.....	25
ลวดนิกเกิลไทเทเนียม.....	26
ลวดเบตาไทเทเนียม.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
ประชากร.....	30
กลุ่มตัวอย่าง.....	30
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	31
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	37
ตัวแปรของการวิจัย.....	37
วิธีการทดลอง.....	38
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิต.....	44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
การทดสอบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด.....	45
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	53
อภิปรายผลการวิจัย.....	53
สรุปผลการวิจัย.....	57
ข้อเสนอแนะ.....	57
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก การหาค่ามุมวิกฤต.....	65
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูล.....	67

ภาคผนวก ค ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของ
ลวดที่นำมาทดสอบ 77

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 78



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ญ

หน้า

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างแบ่งตามกลุ่มทดลอง.....	31
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ามากที่สุดของขนาดแรงเสียดทาน สถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวด 4 ชนิด เมื่อมุมกระทำระหว่าง แบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา.....	46
ตารางที่ 3 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 เมื่อทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบ สถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟสมอ์นอฟ.....	49
ตารางที่ 4 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อขนาด แรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน สองทาง	50
ตารางที่ 5 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยแยกตาม ชนิดลวด	50
ตารางที่ 6 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรง เสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนต์ลลอยแรงมาก เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง- ไกลกลางมีค่าเป็น 0 1 และ 2 องศา โดยใช้สถิติบอนเพอร์โรนี.....	51
ตารางที่ 7 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดแรง เสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็น สนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสี่อันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 1 และ 2 องศา โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบรวาน์ฟอร์ดซิท	52
ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม โดยใช้การทดสอบ สถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟสมอ์นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05.....	67
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรง ปานกลาง โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟสมอ์นอฟที่ระดับ นัยสำคัญ .05	68

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟสเมอร်นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05	69
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีว โดยใช้การทดสอบสถิติ วันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟสเมอร်นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05.....	70
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่าง แบร์ริกเกตและลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับ นัยสำคัญ .05.....	71
ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างโดยแยกตามชนิดลวด	71
ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็น สนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ บราวน์ฟอร์ซิทที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง	72
ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็น สนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิทที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความ แปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง	73
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรง ปานกลางเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการ เปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทูที่ระดับนัยสำคัญ .05	73
ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็น สนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความ แปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมทริกที่ระดับนัยสำคัญ .05.....	74
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่าง แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบ เชิงซ้อนบอนเฟอร์โรนีที่ระดับนัยสำคัญ .05.....	74

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสี่อันนี้ดิว โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ชิตที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง.....	75
ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสี่อันนี้ดิวเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ที่ทุที่ระดับนัยสำคัญ .05	75
ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของการบันทึกข้อมูลขนาดแรงเสียดทานสถิตครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งห่างกัน 1 สัปดาห์	76
ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตเมื่อทำการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 โดยการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่สัมพันธ์กัน.....	76

สารบัญภาพ

๗

หน้า

รูปที่ 1	ภาพประกอบการหามุมวิกฤต.....	8
รูปที่ 2	แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ของวัตถุ	11
รูปที่ 3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะเบน.....	15
รูปที่ 4	การสัมผัสกันระหว่างแบร์ริกเกตและลวด	15
รูปที่ 5	การมัดวงอีลาสโทเมอร์แบบต่าง ๆ	17
รูปที่ 6	การมัดลวดกับแบร์ริกเกตด้วยวงอีลาสโทเมอร์ชนิดใหม่และวงอีลาสโทเมอร์ชนิด ดั้งเดิม	17
รูปที่ 7	แบร์ริกเกตรูปร่างต่าง ๆ	19
รูปที่ 8	แบร์ริกเกตชนิดมัดเอง	20
รูปที่ 9	การเปรียบเทียบค่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นในแบร์ริกเกตที่กว้างและในแบร์ริกเกตที่แคบ.....	21
รูปที่ 10	กราฟแสดงแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะกลุ่มยึดหยุ่นเลียนแบบ	28
รูปที่ 11	วงอีลาสโทเมอร์สี่เหลี่ยม	31
รูปที่ 12	น้ำลายเทียม	32
รูปที่ 13	คีมแมททิว	32
รูปที่ 14	เอกซ์พลอเรอร์.....	33
รูปที่ 15	แท่งพลาสติกสำหรับยึดแบร์ริกเกต	33
รูปที่ 16	เครื่องมือสำหรับกำหนดการยึดแบร์ริกเกตบนแท่งพลาสติก	33
รูปที่ 17	เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่กับที่.....	34
รูปที่ 18	ตัวอย่างลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย	34
รูปที่ 19	ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงในส่วนที่ถูกยึดอยู่ ระหว่างแท่งโลหะรูปตัวซี	34
รูปที่ 20	เครื่องมือยึดแท่งพลาสติกและกลไกสำหรับกำหนดการยึดแบร์ริกเกต.....	35
รูปที่ 21	ลักษณะของแบร์ริกเกตบนแท่งพลาสติกที่ทำมุม 0 องศากับแนวตั้ง	35
รูปที่ 22	กล่องควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองสภาวะเปียก	36
รูปที่ 23	วงจรรควบคุมอุณหภูมิที่มีหน้าจอบ่งชี้อุณหภูมิขณะทำการทดลอง	36
รูปที่ 24	เครื่องลดยืดยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน รุ่นแอลเอฟพลัสขณะทำการทดลอง	37
รูปที่ 25	ลักษณะแบร์ริกเกตบนแท่งพลาสติกที่ยาวประมาณ 15 มิลลิเมตร	38
รูปที่ 26	การกำหนดตำแหน่งบนปลายลวดที่จะทำการยึดกับแท่งโลหะรูปตัวซี.....	39

รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ของแบร์ริกเกตและลวดที่ถูกมัดด้วยวงสี่เหลี่ยมเมอร์ก่อนทำการ ทดลอง.....	40
รูปที่ 28 กราฟแห่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิมและลวด 4 ชนิด เมื่อพิจารณาตามชนิดลวด.....	47
รูปที่ 29 กราฟแห่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิมและลวด 4 ชนิด เมื่อพิจารณาตามมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและ ลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง.....	48
รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลวด ร่องแบร์ริกเกต ความกว้างของแบร์ริกเกตในแนว ใกล้กลาง-ไกลกลาง และมุมวิกฤต.....	65
รูปที่ 31 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของลวดที่ นำมาทดสอบ.....	77

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเคลื่อนที่ของฟันทางทันตกรรมจัดฟันเกิดเนื่องจากการให้แรงกระทำที่ฟัน ซึ่งวิธีหนึ่งที่นิยมใช้วิธี คือ การเคลื่อนฟันให้เลื่อนไกลไปตามลวดโค้งจัดฟัน (sliding mechanics) โดยการให้แรงที่แบร็กเกต (bracket) จนกระทั่งแบร็กเกตสามารถเคลื่อนผ่านไปตามลวดโค้งจัดฟัน (orthodontic archwire) ในทิศทางที่ต้องการ ซึ่งหากพิจารณาในขณะที่มีการเคลื่อนฟัน ฟันจะมีการล้มเอียงและตั้งตรงสลับกันไป (Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989; Frank และ Nikolai, 1980) และเมื่อใดก็ตามที่มีการสัมผัสกันระหว่างลวดโค้งจัดฟันและแบร็กเกต ย่อมมีแรงเสียดทาน (friction) เข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ

เนื่องจากแรงเสียดทานเป็นแรงที่เกิดจากการต้านพื้นผิวหนึ่งไม่ให้เคลื่อนไปบนอีกพื้นผิวหนึ่ง และมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ ดังนั้นเมื่อมีพื้นผิวสองพื้นผิวสัมผัสกันย่อมต้องมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น และแรงใด ๆ ที่ทำให้แบร็กเกตเคลื่อนผ่านลวดได้ ย่อมต้องมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนี้ และแรงเสียดทานนี้จะยังคงมีอยู่ตลอดเวลาที่การสัมผัสกันและเคลื่อนผ่านกันของแบร็กเกตและลวด

จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและหน้าตัดของลวดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงเสียดทาน โดยลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีแรงเสียดทานมากกว่าลวดชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า (Downing, McCabe และ Gordon, 1994; Vaughan และคณะ, 1995) เนื่องจากเมื่อขนาดร่องแบร็กเกตเท่ากัน ลวดขนาดใหญ่ย่อมมีโอกาสสัมผัสกับร่องแบร็กเกตมากกว่า ส่วนในเรื่องหน้าตัดของลวดได้มีการศึกษาหลายเรื่องพบว่าลวดที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีแรงเสียดทานมากกว่าลวดหน้าตัดกลม (Frank และ Nikolai, 1980; Ogata และคณะ, 1996) และเมื่อความแข็งตึง (stiffness) ของลวดเพิ่มขึ้น ลวดที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจะมีแรงเสียดทานมากกว่าลวดหน้าตัดกลมที่มีขนาดเท่ากัน (Michelberger และคณะ, 2000; Vaughan และคณะ, 1995) และเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมีค่าเพิ่มขึ้น ก็พบว่าขนาดแรงเสียดทานมีค่ามากขึ้น เนื่องมาจากเกิดการยึดเหนี่ยว (binding) ระหว่างแบร็กเกตและลวด (Tselepis, Brockhurst และ West, 1994)

นอกจากนี้ชนิดลวดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อแรงเสียดทาน (Dickson, Jones และ Davies, 1994) กล่าวคือลวดต่างชนิดกันย่อมมีแรงเสียดทานต่างกัน อันเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของลวดที่ต่างกัน เช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel wire) มีแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม (Nickel-Titanium wire) และลวดเบตาไทเทเนียม (Beta-Titanium wire) (Drescher และคณะ, 1989; Frank และ Nikolai, 1980) แม้แต่ในลวดชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกัน แต่มีการให้แรงต่างกันก็มีผลต่อคุณสมบัติทางกลที่ต่างกันด้วย (Miura และคณะ, 1986)

ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเป็นลวดที่นิยมใช้มากในทางทันตกรรมจัดฟันด้วยเหตุผลที่สำคัญ คือ มีแรงเสียดทานต่ำ การดัดเป็นรูปร่าง (formability) ดี แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ เช่น ความแข็งตึงของลวดสูง และการคืนตัวกลับ (springback) ต่ำ (Kapila และ Sachdeva, 1989) ดังนั้นหากลวดมีการบิดไปจากรูปร่างเดิมมาก ฟันก็จะได้รับแรงมาก หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) ของลวด ด้วยเหตุนี้ในทางทันตกรรมจัดฟันจึงมีลวดหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม และจากข้อดีของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่มีการให้แรง (force delivery) ที่เบา การคืนตัวกลับสูง และลวดเบตาไทเทเนียมที่มีการดัดเป็นรูปร่างได้ดี ดังนั้นจึงมีผู้นิยมใช้ลวดทั้งสองชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น แต่ลวดทั้งสองชนิดก็มีข้อเสียที่เด่นชัดอย่างหนึ่งคือการก่อให้เกิดขนาดแรงเสียดทานมากเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวอื่น ดังนั้นจึงมีหลายผู้ผลิตพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของลวดโดยวิธีการปรับปรุงลักษณะผิวหน้าของลวดด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ตัวอย่างเช่น การขัดตกแต่งผิวหน้าในลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย การฝังไอออนในลวดที่เอ็มเอ สียันนีดีว

ลักษณะและวัสดุที่ใช้ในการมัดแบร็กเกตกับลวดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน โดยการศึกษาส่วนมากพบว่าการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์ (elastomeric ring) เกิดแรงเสียดทานมากกว่าการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel ligature wire) ในลวดทุกขนาด (Bednar, Gruendeman และ Sandrik, 1991; Shivapuja และ Berger, 1994) แต่เนื่องจากวงอีลาสโตเมอร์ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น การใส่และถอดจากแบร็กเกตได้ง่าย ไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ มีสีอันสวยงาม ดังนั้นทันตแพทย์จัดฟันจำนวนมากก็ยังคงนิยมใช้วงอีลาสโตเมอร์ในการมัดแบร็กเกตกับลวด (Garner, Allai และ Moore, 1986)

นอกจากนี้ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น น้ำลาย สภาวะในช่องปาก ก็มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดเช่นกัน จากการศึกษาของ Kusy และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวด 4 ชนิด พบว่าน้ำลายของผู้วิจัยมีผลทำ

ให้ขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของขนาดแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในสภาวะมีน้ำลายและไม่มีน้ำลาย

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาครั้งนี้ที่มีความพยายามในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องแรงเสียดทานระหว่างลวดทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่มีการให้แรงต่างกัน และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมีค่าต่าง ๆ กัน ในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อเลียนแบบสภาพช่องปาก เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทันตแพทย์จัดฟันในการเลือกใช้ชนิดลวดจัดฟันให้เหมาะกับฟันที่มุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมีค่าต่างกัน คือ 0 1 และ 2 องศา ในกรณีที่ต้องการให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างการเคลื่อนฟันน้อยที่สุด

คำถามการวิจัย

1. ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง (medium force) และแรงมาก (heavy force) และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกันมีค่าต่างกันหรือไม่
2. ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต มีค่าต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดต่างชนิดกัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทัลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกันในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดต่างชนิดกัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทัลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมต่าง ๆ กัน ได้แก่ 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤตในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส

สมมติฐานการวิจัย

1. ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทัลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกันมีค่าต่างกัน
2. ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทัลลอยที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤตมีค่าต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิต โดยศึกษาจากแบร์ริเกตต์ เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดและขนาดเดียวกันแต่มีการให้แรงต่างกัน
2. เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิต โดยศึกษาจากแบร์ริเกตต์ เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดต่างชนิดกัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว
3. มุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตต์และลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางที่ใช้ในการศึกษา คือ มุม 0 องศา มุมวิกฤตและมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต
4. การศึกษากระทำในสภาวะเปียกโดยใช้น้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส
5. ลวดที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย แรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว โดยลวดทุกชนิดมีหน้าตัดเท่ากัน คือ ขนาด 0.016×0.022 นิ้ว
6. แบร์ริเกตต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบร์ริเกตต์เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอดจ์ไวส์มาตรฐาน (standard edgewise bracket) สำหรับฟันเขี้ยว ขนาด 0.018×0.025 นิ้ว

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. แบร์ริเกตต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบร์ริเกตต์เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอดจ์ไวส์มาตรฐาน สำหรับฟันเขี้ยว ขนาดร่องแบร์ริเกตต์ 0.018×0.025 นิ้ว กว้าง 3.5 มิลลิเมตร โดยมีขนาดและรูปร่างเหมือนกันทั้งหมดตามมาตรฐานของผู้ผลิต
2. ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ใช้ในการศึกษาเป็นลวดที่มีขนาดและส่วนประกอบตามมาตรฐานของผู้ผลิต และนำมาจากผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว
3. ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่ใช้ในการศึกษาเป็นนิกเกิลไทเทเนียมที่มีขนาดแรงเสียดทานต่ำ โดยมีขนาดและส่วนประกอบตามมาตรฐานของผู้ผลิต และนำมาจากผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว

4. ลวดที่เอ็มเอสอีสันนี่ตีวที่ใช้ในการศึกษาเป็นลวดเบตาไทเทเนียมที่มีขนาดแรงเสียดทานต่ำ โดยมีขนาดและส่วนประกอบตามมาตรฐานของผู้ผลิต และนำมาจากผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว
5. วงอีลาสโทเมอร์ที่ใช้สำหรับมัดลวดเข้ากับแบร์ริกเกตเป็นยางชนิด สี และผลิตในรุ่นเดียวกันจากผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว
6. มุมที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ มุม 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต โดยใช้มุม 1 และ 2 องศาเป็นตัวแทนของมุมของมุมวิกฤตและมุมที่มากกว่ามุมวิกฤตตามลำดับ
7. ขนาดแรงเสียดทานสถิตได้จากการวัดด้วยเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน รุ่น แอลเอฟพลัส (Lloyd Universal Testing Machine, model LF plus, Lloyd Instruments, UK) โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (load cell) ขนาด 50 นิวตัน และทำการทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที การแปลผลแรงเสียดทานสถิตประเมินจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงกับระยะทางที่แบร์ริกเกตเคลื่อนที่ไป โดยขนาดแรงเสียดทานสถิต คือ จุดสูงสุดตำแหน่งแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของเส้นกราฟ
8. ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาในแบบจำลองในสภาวะเปียกโดยใช้น้ำลายเทียมที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 37 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อพยายามเลียนแบบสภาพช่องปาก แต่ก็ยังมีความแตกต่างจากสภาพในช่องปากจริง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงเสียดทานสถิต ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองอาจต่างจากผลที่เกิดขึ้นในทางคลินิก
2. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มนำมาจากผู้ผลิตเพียงบริษัทเดียว ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงอาจไม่ครอบคลุมถึงลวดหรือแบร์ริกเกตชนิดเดียวกันแต่ผลิตโดยผู้ผลิตอื่น เนื่องจากส่วนประกอบย่อยของวัสดุจากแต่ละบริษัทอาจมีความแตกต่างกัน
3. การศึกษานี้มีการวัดขนาดแรงเสียดทานสถิตในระนาบเดียวเท่านั้น ซึ่งต่างจากสภาพการเคลื่อนที่ในช่องปากจริง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของฟันในช่องปากมักเกิดในหลายระนาบ

4. การศึกษานี้มีการกำหนดให้มุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง เป็นศูนย์กลาง มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต แต่ในความเป็นจริง เมื่อมีการเคลื่อนของฟัน จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของมุมระหว่างแบร็กเกตและลวดตลอดเวลา ดังนั้นขนาดแรงเสียดทานสถิตที่วัดได้จึงเป็นตัวแทนของขนาดแรงเสียดทานที่เกิดจากการเคลื่อนของฟันในช่วงสั้น ๆ

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (stainless steel bracket) เป็นอุปกรณ์ในทางทันตกรรม จัดฟันที่ใช้ยึดติดบนตัวฟัน เพื่อช่วยกำหนดตำแหน่งในการปรับระดับและเคลื่อนฟัน
2. แรงเสียดทานสถิต (static friction) เป็นแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทั้งสองของวัตถุที่สัมผัสกัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุหนึ่งแต่ยังไม่เคลื่อนที่ แรงเสียดทานสถิตมีค่าสูงสุดเมื่อวัตถุกำลังจะเคลื่อนที่บนอีกพื้นผิวหนึ่ง ในงานวิจัยนี้หมายถึง แรงสูงสุดที่ทำให้แบร็กเกตเริ่มเคลื่อนที่ผ่านลวด โดยบันทึก ณ ตำแหน่งสูงสุดตำแหน่งแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่แบร็กเกตเคลื่อนที่ผ่านลวดไป
3. มุมวิกฤต (critical contact angle, θ_c) (Kang และคณะ, 2003) หมายถึง มุมที่ทำให้ช่องว่างระหว่างแบร็กเกตและลวดไม่ปรากฏขึ้นเป็นครั้งแรก หรือเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตและลวดที่มุมทแยง

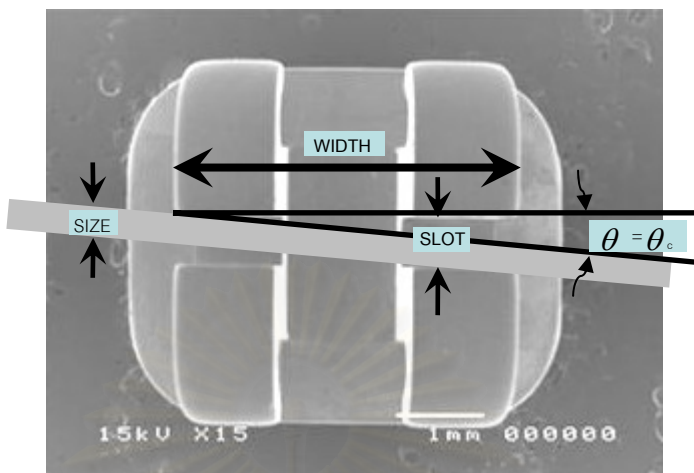
สามารถคำนวณมุมวิกฤตจากสูตร (Kusy, 2000) (รูปที่ 1)

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

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

โดยที่ ENGAGEMENT INDEX = size / slot

BRACKET INDEX = width / slot



รูปที่ 1 แสดงภาพประกอบการหามุมวิกฤต

เนื่องจากแบร์ริเกตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาด 3.5 มิลลิเมตร

กำหนดให้ 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร; ดังนั้น 3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 0.137 นิ้ว

แทนค่าในสูตร

$$\theta_c = \frac{57.3 [1 - (0.016/0.018)]}{(0.137/0.018)}$$

ดังนั้น $\theta_c = 0.837$ องศา

มุมวิกฤตในการศึกษาครั้งนี้คือ 0.837 องศา ดังนั้นจึงให้มุม 1 องศาเป็นตัวแทนของมุมวิกฤต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษามาประกอบการตัดสินใจเลือกชนิดลวดที่เหมาะสมในการเคลื่อนพันทางคลินิก โดยทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริเกตและลวดน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดแรงที่มากเกินไปในการเคลื่อนพัน เนื่องจากหากเกิดแรงที่มากเกินไปกับพื้นที่ต้องการให้เคลื่อน (moving unit) อาจกลายเป็นแรงที่เหมาะสม (optimal force) สำหรับพื้นที่ใช้เป็นตัวยึด (anchor unit) ทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึด (anchorage loss) ได้
2. เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของพื้นที่ต้องการเคลื่อนมีค่าต่างกัน ควรใช้ลวดชนิดใดในการเคลื่อนพัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แรงเสียดทาน

ลวดนิกเกิลไทเทเนียม

ลวดเบตาไทเทเนียม

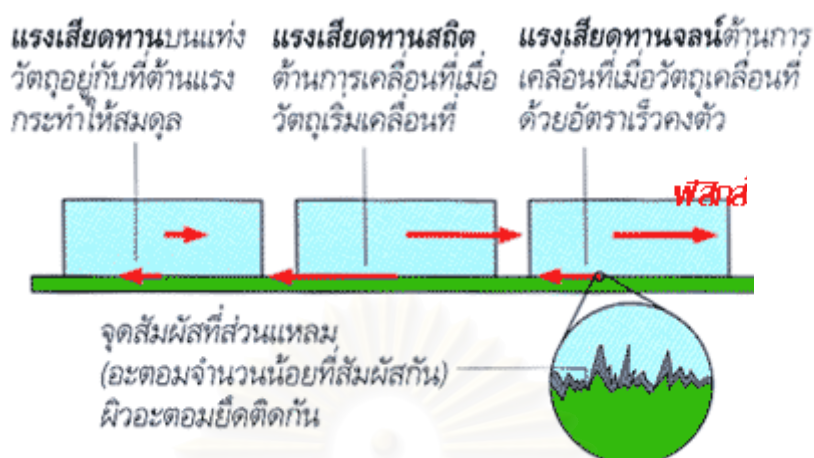
แรงเสียดทาน

แรงเสียดทานเป็นแรงต้านที่เกิดขึ้นเมื่อมีความสัมผัสของพื้นผิวสองพื้นผิวซึ่งสัมผัสกัน แรงเสียดทานจะกระทำในทิศตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ถ้าไม่มีแรงเสียดทาน วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ตลอดไป แต่เมื่อมีแรงเสียดทานคอยต้านการเคลื่อนที่ จะมีผลให้วัตถุนั้นหยุดการเคลื่อนที่ในที่สุด (Rossouw, 2003)

แรงเสียดทานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสองปัจจัย คือ ชนิดของพื้นผิวที่สัมผัส และความรุนแรงของการสัมผัสกันของพื้นผิวทั้งสอง พื้นผิวที่ขรุขระมักก่อให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าพื้นผิวที่เรียบ ตัวอย่างเช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีพื้นผิวที่เรียบกว่าจะมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมซึ่งมีพื้นผิวที่หยาบกว่า แต่มีการศึกษาพบว่า ถึงแม้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีความหยาบของพื้นผิวมากกว่าแต่กลับมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นน้อยกว่าลวดเบตาไทเทเนียมซึ่งมีพื้นผิวที่เรียบกว่า (Kusy และ Whitley, 1990)

แรงเสียดทานสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท (Stockley, Oclade และ Vertim, 1997) (รูปที่ 2)

1. แรงเสียดทานสถิต เป็นแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทั้งสองของวัตถุที่สัมผัสกัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุหนึ่งแต่ยังไม่เคลื่อนที่ แรงเสียดทานสถิตมีค่าสูงสุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่บนอีกพื้นผิวหนึ่ง
2. แรงเสียดทานจลน์ (dynamic or kinetic friction) เป็นแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทั้งสองของวัตถุที่พื้นผิวหนึ่งมีการเคลื่อนที่บนอีกพื้นผิวหนึ่งด้วยอัตราเร็วคงตัว



รูปที่ 2 แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ของวัตถุ (Stockley และคณะ, 1997)

ในทางทันตกรรมจัดฟัน แรงเสียดทานมีบทบาทมากต่อการเคลื่อนของฟัน เนื่องจากแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันต้องมีค่ามากกว่าแรงเสียดทาน แต่ก็ต้องอยู่ในขนาดที่เหมาะสม เพื่อให้มีการเคลื่อนของฟันได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวฟัน เนื้อเยื่อ และกระดูกรอบรากฟัน

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเก็ตและลวดในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน

ปัจจัยทางกายภาพ (physical factors)

1. ลวดโค้ง (archwire)
 - 1.1 วัสดุ (material)
 - 1.2 ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด (cross-sectional size and shape of archwire)
 - 1.3 ลักษณะพื้นผิว (surface texture)
 - 1.4 ความแข็งตึงของลวด (stiffness)
 - 1.5 การสึกกร่อนของลวด (corrosion)

2. การมัดลวดโค้งเข้ากับแบร็กเกต (ligation method of archwire to bracket)
 - 2.1 การใช้วัสดุมัดลวดโค้งเข้ากับแบร็กเกต เช่น ลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาดเล็ก วงอีลาสโตเมอร์
 - 2.2 การใช้แบร็กเกตชนิดมัดเอง โดยอาจอยู่ในลักษณะบานเลื่อน หรือตัวรัด (clip)
 - 2.3 วิธีการมัดลวดโค้งเข้ากับแบร็กเกต
3. แบร็กเกต
 - 3.1 ชนิด (วัสดุ) และกระบวนการผลิตแบร็กเกต (bracket material and manufacture process)
 - 3.2 รูปแบบของแบร็กเกต (bracket design)
 - 3.3 ขนาดของร่องแบร็กเกต (size of bracket slot)
 - 3.4 ลักษณะของแบร็กเกต (bracket prescription)
4. ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน
 - 4.1 ระยะระหว่างแบร็กเกต (interbracket distance)
 - 4.2 มุมกระทำหรือมุมระหว่างแบร็กเกตและลวดโค้งที่เกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ เมื่อมีการเคลื่อนฟันไปตามลวด
 - 4.3 ระดับของแบร็กเกตระหว่างฟันข้างเคียง
 - 4.4 วิธีและแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน

ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factors)

1. น้ำลาย (saliva)
2. สภาพช่องปาก (intraoral environment)

3. การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในช่องปาก เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อบดเคี้ยว

ปัจจัยทางกายภาพ

1. ลวดโค้ง

1.1 วัสดุ

ชนิดลวด คือ วัสดุที่ใช้ทำเป็นลวดโค้ง

ในปัจจุบันมีลวดหลายชนิดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน เช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดเบตาไทเทเนียม ลวดพลาสติก ซึ่งลวดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้นจึงต้องเลือกให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ในช่วงต้นของการรักษาซึ่งเป็นระยะการปรับระดับฟัน ลวดที่นำมาใช้ควรให้แรงเบาและมีช่วงระยะการใช้งาน (working range) กว้าง ส่วนในระยะเคลื่อนฟันเขี้ยว (canine retraction phase) หรือการเคลื่อนฟันหน้าทั้งหมดเพื่อปิดช่องว่าง (enmass retraction) ก็ควรพิจารณาใช้ลวดที่มีแรงเสียดทานต่ำ (Kusy, 1997)

มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม พบว่าแรงเสียดทานของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีค่าน้อยที่สุด และลวดเบตาไทเทเนียมมีค่ามากที่สุด (Drescher และคณะ, 1989; Frank และ Nikolai, 1980)

ถึงแม้ว่าเป็นลวดชนิดเดียวกันแต่หากอยู่ในสถานะต่างกันก็มีผลต่อแรงเสียดทานต่างกัน เช่น ลวดนิกเกิลไทเทเนียมในวัฏภาคออสเทนไนต์ (austenitic phase) จะมีแรงเสียดทานมากกว่าวัฏภาคมาร์เทนไซต์ (martensitic phase) (Thorstenson และ Kusy, 2002)

1.2 ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด

จากหลายการศึกษา พบว่าเมื่อใช้แบร็กเกตชนิดและขนาดเดียวกัน การเพิ่มขนาดลวดจะมีผลให้แรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น (Bednar และคณะ, 1991; Frank และ Nikolai, 1980; Ogata และคณะ, 1996; Thorstenson และ Kusy, 2002)

ส่วนรูปร่างหน้าตัดของลวด เมื่อมุงกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนว
โกล์กลาง-โกล์กลางเป็น 0 องศาพบว่าลวดที่มีหน้าตัดเป็นรูปกลมจะมีแรงเสียดทานน้อย
กว่าลวดที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Frank และ Nikolai, 1980; Ogata และคณะ, 1996)

อย่างไรก็ตามการพิจารณาขนาดของลวดที่มีผลต่อแรงเสียดทานจะพิจารณาจาก
หน้าตัดด้านแคบหรือตามแนวความสูงของพื้นเป็นหลัก จากการศึกษาของ Drescher
และคณะ (1989) ที่ศึกษาขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกตและลวดเหล็กกล้าไม่เป็น
สนิม พบว่าเมื่อใช้ลวดขนาด 0.016 นิ้ว และ 0.016×0.022 นิ้ว เกิดแรงเสียดทานน้อย
กว่าลวดขนาด 0.018 นิ้วที่มีหน้าตัดเป็นรูปกลม

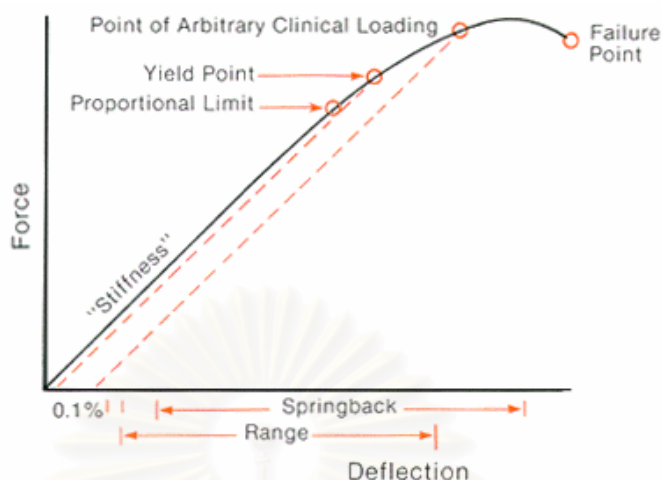
1.3 ลักษณะพื้นผิว

ลวดแต่ละชนิดมีลักษณะพื้นผิวต่างกัน ตัวอย่างเช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมี
ความเรียบที่สุด ส่วนลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีพื้นผิวหยาบที่สุด แต่มีการศึกษาพบว่าไม่มี
ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของลวดกับขนาดแรงเสียดทาน โดยมีการเปรียบเทียบ
ระหว่างลวด 4 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดเบตาไทเทเนียม ลวดโคบอลต์
โครเมียม และลวดนิกเกิลไทเทเนียม พบว่าลวดที่มีลักษณะพื้นผิวหยาบที่สุด คือ ลวด
นิกเกิลไทเทเนียม แต่ลวดที่มีขนาดแรงเสียดทานมากที่สุดกลับเป็นลวดเบตาไทเทเนียม
(Prososki, Bagby และ Erickson, 1991)

1.4 ความแข็งตัวของลวด

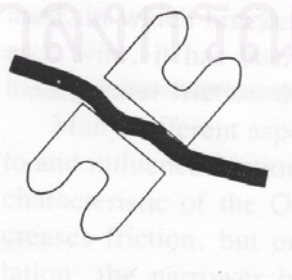
ในแง่กลศาสตร์ ความสัมพันธ์ระหว่างลวดและเครื่องมือติดแน่นทางทันตกรรม
จัดฟันเปรียบเสมือนคานที่มีความยืดหยุ่น โดยมีจุดรองรับหลายแบบ ทั้งแบบด้านเดียว
และแบบสองด้าน เมื่อมีการให้แรงบนคานที่มีความยืดหยุ่นนี้จะทำให้เกิดการโค้งของ
คาน และคานนี้จะสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้หากอยู่ในขีดจำกัดของความยืดหยุ่น
(elastic limit)

ความแข็งตัวของลวดสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
แรงและระยะเบน (force-deflection curve) (รูปที่ 3) โดยความแข็งตึงคำนวณได้จาก
ความชันของเส้นกราฟระหว่างแรงและระยะเบน ลวดที่มีความแข็งตึงสูงหมายถึงลวดที่
ต้องใช้แรงมากในการทำให้เกิดระยะเบนเพียงเล็กน้อย

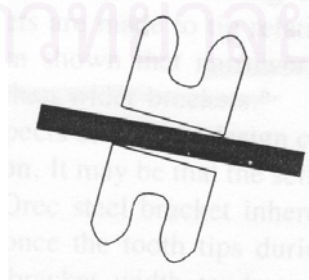


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะเบน (force-deflection curve)

จากการศึกษาของ Articulo และ Kusy (1999), Thorstenson และ Kusy (2002) พบว่าเมื่อเกิดการยืดเหนียวระหว่างแบร็กเกตและลวดที่มีความแข็งตึงมาก เช่น ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม จะเกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดที่มีความแข็งตึงน้อยกว่า เช่น ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Bednar (1991) ที่พบว่าขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเซรามิกและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 0.014 นิ้ว มากกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว เนื่องจากลวด 0.016 x 0.022 นิ้ว มีความแข็งตึงมากกว่า เมื่อแบร็กเกตเคลื่อนผ่านลวดที่มีความแข็งตึงมาก ลวดจะมีความคงตัวสูงทำให้เกิดจุดสัมผัสระหว่างแบร็กเกตและลวดเพียง 2 จุด ส่วนในลวดที่มีความแข็งตึงน้อยกว่า คือ 0.014 นิ้ว ลวดอาจเกิดการเสียรูปร่าง (deformation) ทำให้เกิดจุดสัมผัสระหว่างแบร็กเกตและลวดหลายจุด (รูปที่ 4) เปรียบเสมือนการเพิ่มพื้นผิวสัมผัส ขนาดแรงเสียดทานจึงเพิ่มขึ้นด้วย



ลวดขนาด 0.014 นิ้ว



ลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

รูปที่ 4 การสัมผัสกันระหว่างแบร็กเกตและลวด

1.5 การสีกกร่อนของลวด

เนื่องจากสภาพช่องปากมีผลต่อการสีกกร่อนของลวด และเมื่อการสีกกร่อนเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ขนาดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น (Oh และคณะ, 2005)

2. การมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกต

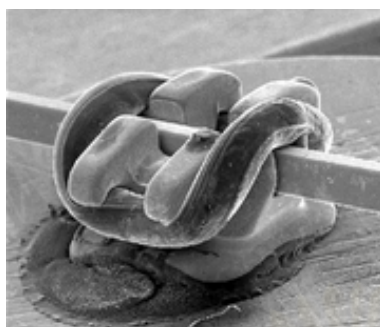
2.1 วัสดุที่ใช้มัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกต

ในทางทันตกรรมจัดฟันมีการใช้วัสดุที่ใช้มัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกตหลายชนิด ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดก็มีข้อดีข้อเสียต่างกัน แต่ที่นิยมใช้ที่สุด คือ วงอีลาสโตเมอร์ และลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม จากการศึกษาหลายเรื่องโดยการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกตและวัสดุที่นิยมใช้ในการมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกตซึ่งได้แก่ วงอีลาสโตเมอร์ และลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม พบว่าการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์จะเกิดแรงเสียดทานมากกว่าการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในลวดทุกขนาด (Bednar และคณะ, 1991; Shivapuja และ Berger, 1994) แต่จากการศึกษาของ Edwards, Davies และ Jones (1995) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของขนาดแรงเสียดทานที่เกิดจากการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์และการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการศึกษานี้ได้มีการปล่อยให้เกิดการคลายความเครียดของวงอีลาสโตเมอร์ก่อน (stress relaxation)

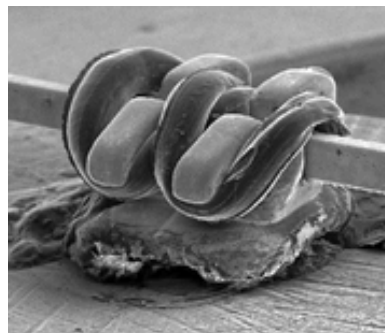
2.2 การใช้แบร์กเกตชนิดมัดเอง ทำให้สามารถมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกตได้โดยไม่ต้องใช้วัสดุอื่น ลักษณะการมัดของแบร์กเกตอาจอยู่ในรูปบานเลื่อน หรือตัวรัด

2.3 วิธีการมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกต

Edwards และคณะ (1995) ทำการศึกษาพบว่า การมัดลวดโค้งเข้ากับแบร์กเกตด้วยวงอีลาสโตเมอร์แบบเลขแปด (รูปที่ 5) จะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกตและลวดมากกว่าการมัดแบบธรรมดา



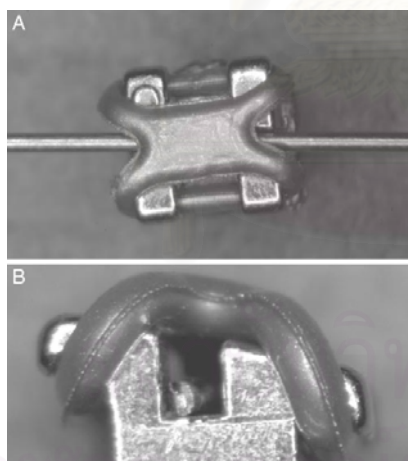
การมัดแบบธรรมดา



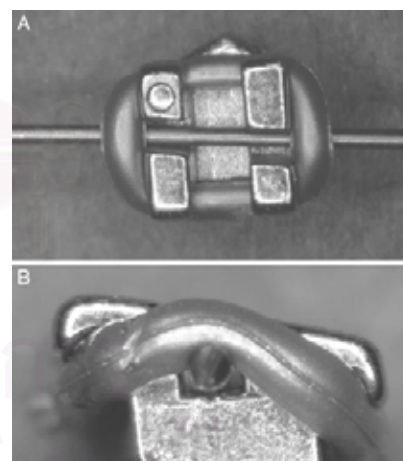
การมัดแบบเลขแปด

รูปที่ 5 การมัดวงอีลาสโตเมอร์แบบต่าง ๆ

นอกจากนี้วงอีลาสโตเมอร์ยังมีหลายรูปร่าง โดย Baccetti และ Franchi, 2006 ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวงอีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่ (Slide[®], Leone Orthodontic Products, Sesto Fiorentino, Firenze, Italy) และวงอีลาสโตเมอร์ชนิดดั้งเดิม (รูปที่ 6) พบว่าขนาดแรงเสียดทานจากการมัดด้วยวงอีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่น้อยกว่าวงอีลาสโตเมอร์ชนิดดั้งเดิม



วงอีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่



วงอีลาสโตเมอร์ชนิดดั้งเดิม

รูปที่ 6 การมัดลวดกับแบร็กเกตด้วยวงอีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่และวงอีลาสโตเมอร์ชนิดดั้งเดิม

3. แบริกเกต

3.1 ชนิด (วัสดุ) และกระบวนการผลิตแบริกเกต

ในปัจจุบันนอกจากแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมแล้วยังมีการผลิตแบริกเกตจากวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น ในผู้ป่วยที่แพ้เหล็กอาจใช้แบริกเกตไทเทเนียม ผู้ป่วยที่ต้องการความสวยงามอาจใช้แบริกเกตเซรามิกหรือพลาสติก หรืออาจเปลี่ยนแผนการรักษาโดยใช้การจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้น (Lingual Orthodontics) แต่โดยรวมแล้วแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมยังเป็นแบริกเกตชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด

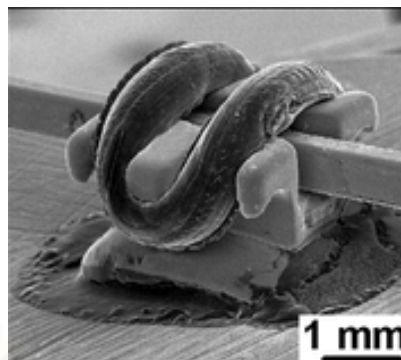
จากการศึกษาหลายเรื่องพบว่าแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าแบริกเกตเซรามิกและแบริกเกตพลาสติก (Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991; Pratten และคณะ, 1990) หรือแม้แต่ในแบริกเกตชนิดเดียวกันแต่มีกระบวนการผลิตต่างกันก็ส่งผลต่อขนาดแรงเสียดทาน จากการศึกษาของ Vaughan และคณะ (1995) พบว่าขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบริกเกตและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบซินเทอร์ (sintered stainless steel bracket) มีค่าน้อยกว่าในแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเหวี่ยง (conventional cast stainless steel bracket) ประมาณร้อยละ 38-44 เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kapila และคณะ (1990) โดยเป็นผลจากลักษณะพื้นผิวของแบริกเกตที่ไม่เหมือนกัน

3.2 รูปแบบของแบริกเกต

ในปัจจุบันมีแบริกเกตหลายรูปแบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์และประโยชน์ในการใช้งานต่าง ๆ กัน โดยส่วนใหญ่มักถูกออกแบบมาเพื่อการลดแรงเสียดทาน เช่น แบริกเกตซินเนอร์ยี (Synergy) ที่ถูกออกแบบมาให้มี 6 ปี เพื่อให้มัดเฉพาะปีกกลาง แบริกเกตไวเอซิส (Viazis) ที่ออกแบบให้มีปีกแบริกเกตเพียง 3 ปี เพื่อลดพื้นผิวสัมผัสกับลวด (รูปที่ 7)



แบร็กเกตซินเนอริยี



การมัดแบร็กเกตเฉพาะปีกกลางของแบร็กเกต 6 ปีค



แบร็กเกตชนิดไวเอซิส

รูปที่ 7 แบร็กเกตรูปร่างต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตอีกหลายบริษัทได้ทำการผลิตแบร็กเกตชนิดมัดเอง (self-ligating bracket) (รูปที่ 8) เพื่อประโยชน์ในการลดแรงเสียดทาน โดยการศึกษาลงใหญ่พบว่าขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดในแบร็กเกตชนิดมัดเองน้อยกว่าการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและวงซีลาสโทเมอร์ (Berger, 1990; Shivapuja และ Berger, 1994; Sims และคณะ, 1993)



แบร็กเกตชนิดมัดเองรุ่นสมาร์ทคลิป
(SmartClip, 3M Umitek)

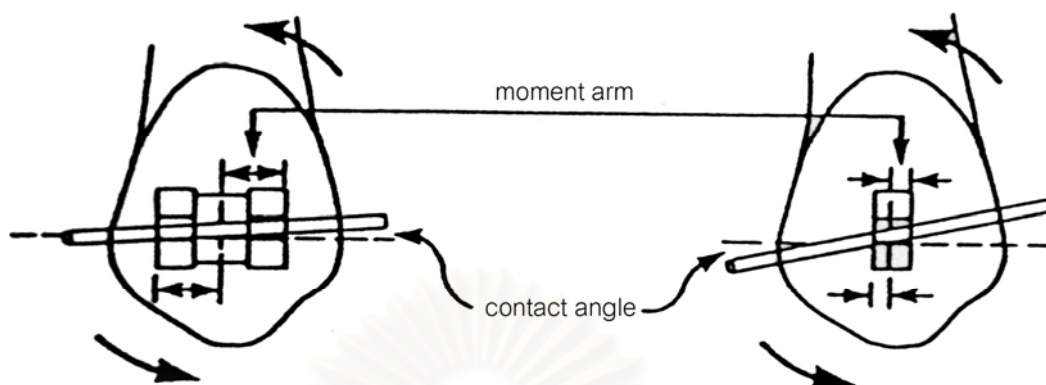


แบร็กเกตชนิดมัดเองรุ่นดามอนทรี
(Damon 3, Ormco)

รูปที่ 8 แบร็กเกตชนิดมัดเอง

3.3 ขนาดของร่องแบร็กเกต

จากการศึกษาหลายเรื่องพบว่าความกว้างของร่องแบร็กเกตในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางไม่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน (Andreasen และ Quevedo, 1970; Peterson, Spencer และ Andreasen, 1982; Tidy, 1989) แต่การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าความกว้างของแบร็กเกตมีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน โดยแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อแบร็กเกตกว้างขึ้น และจะลดลงเมื่อแบร็กเกตแคบลง (Bednar และคณะ, 1991; Drescher และคณะ, 1989; Frank และ Nikolai, 1980; Kapila และคณะ, 1990; Omana, Moore และ Bagby, 1992; Tidy, 1989) สาเหตุที่ขนาดแรงเสียดทานที่เกิดในแบร็กเกตกว้างมากกว่าแบร็กเกตแคบ เนื่องจากค่าของมุมวิกฤตจะลดลงเมื่อแบร็กเกตมีความกว้างมากขึ้น เมื่อมุมวิกฤตมีค่าน้อยลงในแบร็กเกตที่กว้าง โอกาสที่แบร็กเกตกว้างและลวดจะสัมผัสกันจึงเป็นไปได้ง่ายกว่าในแบร็กเกตที่แคบ (รูปที่ 9) นอกจากนี้สำหรับการมัดลวดเข้ากับแบร็กเกตด้วยวงอีลาสโตเมอร์ที่มีขนาดเท่ากัน ในแบร็กเกตที่กว้างวงอีลาสโตเมอร์จะต้องถูกยืดออกมากกว่าเพื่อให้สามารถมัดลวดไว้ได้ ดังนั้นแรงที่วงแหวนยางกดลงบนลวดเพื่อให้ลวดแนบอยู่ในร่องแบร็กเกตจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ขนาดแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Kapila และคณะ, 1990; Ogata และคณะ, 1996) แต่การใช้แบร็กเกตที่แคบก็มีข้อเสีย คือ ฟันมีโอกาสเกิดการล้มเอียงและบิดหมุนได้ง่ายกว่าแบร็กเกตที่กว้าง ทำให้ยากต่อการควบคุมการเคลื่อนของฟัน ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกใช้แบร็กเกตให้เหมาะสม



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นในเบร็กเกตที่กว้าง (ซ้าย)
และในเบร็กเกตที่แคบ (ขวา)

ส่วนในเรื่องขนาด พบว่าขนาดแรงเสียดทานระหว่างเบร็กเกตและลวดลดลงเมื่อขนาดร่องเบร็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 0.018×0.025 นิ้ว เป็น 0.022×0.028 นิ้ว เมื่อใช้ลวดขนาดเดียวกันคือลวดขนาด 0.016×0.022 นิ้ว เนื่องจากเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างเบร็กเกตและลวดลดลง (Kusy, 2000)

3.4 ลักษณะของเบร็กเกต

ลักษณะของเบร็กเกตที่ต่างกัน เช่น การมีมุมเอียงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (tip) และ/หรือมุมเอียงในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (torque) ก็มีผลต่อแรงเสียดทานที่ต่างกัน มีการศึกษาถึงแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันโดยลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 0.018×0.025 นิ้ว ในเบร็กเกตขนาด 0.022×0.028 นิ้ว พบว่าขนาดแรงเสียดทานมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง และมุมเอียงในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (Sims, Waters และ Birnie, 1994)

4. ลักษณะเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน

4.1 ระยะระหว่างเบร็กเกต

ระยะระหว่างเบร็กเกตมีผลต่อความแข็งตึงของลวด โดยเมื่อระยะระหว่างเบร็กเกตมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ลวดมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อลวดได้รับแรงจากภายนอกทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงเพิ่มโอกาสการเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างเบร็กเกตและลวด ซึ่ง

จะส่งผลให้ขนาดแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่จากการศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) ที่จำลองการเคลื่อนที่ของพื้นเขี้ยวโดยการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างแบร์ริเกต พบว่ามีผลกระทบต่อขนาดแรงเสียดทานน้อย อาจเนื่องมาจากจำลองการเคลื่อนที่เพียง 6 มิลลิเมตร

4.2 มุมกระทำหรือมุมระหว่างแบร์ริเกตและลวดโค้งที่เกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปตามลวด

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ ความแข็งตึง รูปร่างหน้าตัด และพื้นที่สัมผัสระหว่างแบร์ริเกตและลวด

จากการศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) พบว่า เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย พื้นที่สัมผัสระหว่างแบร์ริเกตและลวดก็ยังคงมีขนาดใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 องศา แต่เมื่อเพิ่มมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมากขึ้นอีก ความแข็งตึงกลับกลายเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายการศึกษาสรุปได้ว่า ไม่ว่าจะลวดชนิดใดเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดมีค่าเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ขนาดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น (Articolo และ Kusy, 1999; Frank และ Nikolai, 1980; Kusy และ Whitley, 1999; Peterson และคณะ, 1982; Thorstenson และ Kusy, 2002; Tselepis และคณะ, 1994)

4.3 ระดับของแบร์ริเกตระหว่างพื้นข้างเคียง

ในการปรับระดับพื้นและการเคลื่อนที่อาจพบว่ามีผลที่แตกต่างกันของระดับแบร์ริเกตระหว่างพื้นข้างเคียง ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวของแบร์ริเกตและลวด ซึ่งก็เปรียบเสมือนการเพิ่มมุมกระทำระหว่างแบร์ริเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ดังนั้นจึงส่งผลให้ขนาดแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น (Ogata และคณะ, 1996)

4.4 วิธีและแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน

ลักษณะการเคลื่อนฟันสามารถกำหนดได้จากตำแหน่งของการให้แรงในการเคลื่อนฟันโดยเทียบกับตำแหน่งศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance)

หากแรงที่ให้ในการเคลื่อนฟันไม่ผ่านศูนย์กลางความต้านทานของฟันจะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบล้มเอียง (tipping movement) แต่ถ้าให้แรงที่ใกล้หรือตรงกับตำแหน่งศูนย์กลางความต้านทานของฟันก็จะเกิดการเคลื่อนฟันทั้งซี่ (bodily movement) ซึ่งการเคลื่อนฟันแบบล้มเอียงจะทำให้มุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมากกว่าการเคลื่อนฟันทั้งซี่ ซึ่งส่งผลให้ขนาดแรงเสียดทานมีค่ามากกว่า (Fortin, 1971) ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดมากจึงควรให้แรงในตำแหน่งที่ตรงหรือใกล้กับตำแหน่งศูนย์กลางความต้านทานของฟันมากที่สุดเพื่อให้เกิดการเคลื่อนฟันทั้งซี่

ปัจจัยทางชีวภาพ

1. น้ำลาย

มีผู้ทำการศึกษาถึงผลของน้ำลายที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน ซึ่งแต่ละเรื่องก็มีการสรุปผลที่ต่างกันไป โดย Kusy และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกต 2 ชนิดและลวด 4 ชนิด พบว่าเมื่อมีน้ำลายเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีผลให้ขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แรงเสียดทานที่เกิดระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกลับมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในสภาวะมีน้ำลายและไม่มีน้ำลาย

Shin, Oh และ Hwang (2003) ทำการศึกษาเปรียบเทียบดูการสึกกร่อนระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดนิกเกิลไทเทเนียมในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีความทนต่อการสึกกร่อนมากกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม

Baker และคณะ (1987) พบว่าขนาดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำลายเทียม

Kusy (2003) ศึกษาผลของตัวกลางของเหลว (fluid media) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในการเคลื่อนที่ของฟันระหว่างลวดเบตาไทเทเนียมและแบร็กเกตเซรามิก พบว่าน้ำลายของมนุษย์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยกว่าในสภาวะแห้ง ส่วนน้ำลายเทียมแต่ละชนิดก็มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบย่อยของน้ำลายเทียมแต่ละชนิดต่างกัน

จากการศึกษาที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่าน้ำลายมีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการใช้แรงที่เหมาะสมในผู้ป่วยที่มีปริมาณและคุณภาพของน้ำลายที่แตกต่างกัน เช่น ในกรณีที่ผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัวบางชนิด ผู้ป่วยที่ได้รับการฉายรังสี ซึ่งมีผลทำให้อัตราการหลั่งน้ำลายลดลง และ/หรือต้องใช้ น้ำลายเทียม

2. สภาพช่องปาก

Eliades และคณะ (2000) พบว่าสภาพต่าง ๆ ในช่องปากส่งผลกระทบต่อการสึกกร่อนของลวดนิกเกิลไทเทเนียม เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของเกลือแร่ต่าง ๆ ประกอบกับมีการเกาะของคราบจุลินทรีย์และแผ่นฟิล์มน้ำลาย (plaque and acquired pellicle) ทำให้พื้นผิวของลวดเกิดการสึกกร่อน และเมื่อพื้นผิวมีความขรุขระขึ้นก็จะส่งผลให้ขนาดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย

3. การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในช่องปาก เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อบดเคี้ยว

Braun และคณะ (1999) ศึกษาจากการจำลองสถานการณ์โดยให้แรงภายนอกไปกระทำขณะที่มีการเคลื่อนที่ของแบร็กเกต พบว่ามีผลทำให้ขนาดแรงเสียดทานลดลงเหลือศูนย์ได้ จึงนำไปเปรียบเทียบกับแรงบดเคี้ยวซึ่งน่าจะสามารถช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดได้เช่นเดียวกัน

การลดขนาดแรงเสียดทาน

เมื่อพิจารณาสมการของแรงเสียดทาน

$$f = \mu N$$

- เมื่อ f หมายถึง แรงเสียดทาน
 μ หมายถึง สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction)
 N หมายถึง แรงกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัส

ดังนั้นหากต้องการลดแรงเสียดทานโดยการใช้วัสดุเดิมก็สามารถกระทำได้โดย (Kusy, 2000)

1. การลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สำหรับกรณีที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดมีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต พื้นผิวของลวดที่สัมผัสถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน ดังนั้นหากต้องการลดแรงเสียดทานของลวด สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงผิวหน้า ซึ่งสามารถกระทำได้ที่บนผิว และในผิวของลวด และ/หรือ แบร์ริกเกต ซึ่งจะมีหลักการใหญ่อยู่ 3 วิธี คือ

1.1 การเคลือบผิว (coating) (Nanda, 1997) การเคลือบผิวสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การชุบโลหะ (metal plating) การตกตะกอนของไอระเหยของสารเคมี (chemical vapor deposition) การพ่น (spray) กระบวนการพลาสมา (plasma deposition, PD) การเคลือบด้วยสารดีแอลซี (diamond-like carbon coatings, DLC)

1.2 การฝังสาร (implanting) เช่น การฝังด้วยไอออน (ion implantation) การฝังไนไตรด์ (Nitriding)

1.3 การขัดผิว อาจกระทำโดยการใช้ลูกกลิ้งพิเศษ

2. การลดค่าแรงกระทำ (N) โดยการใช้ระบบการมัดด้วยตัวเอง (self-ligating system) การมัดด้วยวัสดุที่มีการผ่อนคลายความเค้น (stress-relaxed ligature)

ลวดนิกเกิลไทเทเนียม

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเป็นลวดโลหะผสมชนิดหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้มากทางทันตกรรมจัดฟัน โดยเริ่มใช้ตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 1970 Dr. George Andreason ได้ตระหนักถึงคุณสมบัติพิเศษของโลหะผสมของนิกเกิลและไทเทเนียม จึงได้พัฒนาร่วมกับบริษัทยูนิเทค (Unitek) ผลิตรวดที่ทำจากโลหะผสมชนิดนี้ขึ้นมา ตั้งชื่อว่า “ไนตินอล” (Nitinol)

Andreasen และ Hilleman (1971) นำลวดมาใช้งานทางทันตกรรมจัดฟันเป็นครั้งแรกในรูปแบบของลวดโค้ง ด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวที่โดดเด่นแตกต่างจากวัสดุชนิดอื่น คือ คุณสมบัติจำรูป (shape memory effect) และพัฒนาจนได้คุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด (superelasticity) ในเวลาต่อมา

คุณสมบัติทางกล

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจากแต่ละบริษัทผู้ผลิตมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับส่วนประกอบย่อยของโลหะผสม แต่คุณสมบัติสำคัญที่มีเหมือนกัน คือ การคืนตัวกลับสูง ความยืดหยุ่น (flexibility) มาก มอดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ต่ำ และมีช่วงระยะเวลาใช้งานกว้าง

การเปลี่ยนแปลงวัฏภาค

จากการศึกษาทางโลหะวิทยาของโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียม พบว่าสามารถแบ่งได้ 2 วัฏภาคตามลักษณะโครงสร้างโมเลกุล คือ วัฏภาคดั้งเดิม (parent phase) หรือวัฏภาคออสเทนไนต์ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นคิวบิกบอดีเซนเตอร์ (cubic-body center) หรือเตตระโกนอล (tetragonal) และวัฏภาคมาร์เทนไซต์ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นเฮกซะโกนอลโคลสแพกเฟซเซนเตอร์ (hexagonal closed pack face center)

โลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียม ในแต่ละวัฏภาคจะแสดงคุณสมบัติที่ต่างกันดังนี้

1. วัฏภาคออสเทนไนต์มีความแข็งแรง สามารถคงรูปได้ดี มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูง
2. วัฏภาคมาร์เทนไซต์มีลักษณะอ่อนนุ่ม เปลี่ยนรูปได้ง่าย มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิต่ำ

โลหะผสมในวัฏภาคออสเทนไนต์สามารถเปลี่ยนแปลงสู่วัฏภาคมาร์เทนไซต์ได้ 2 วิธี คือ การลดอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค (transformation temperature

range, TTR) และการให้ความเค้นหรือแรงกระทำสูงถึงระดับที่เหมาะสม (stress-induced phase transformation) จนทำให้โลหะผสมสามารถเปลี่ยนแปลงสู่วัฏภาคมาร์เทนไซต์ จากคุณสมบัตินี้ ทำให้โลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมสามารถแสดงคุณสมบัติจำรูป และคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด

การจำแนกลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันในปัจจุบันตามคุณสมบัติเชิงกล แบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. ลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดดั้งเดิม (conventional Nickel-Titanium)

เป็นลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหนึ่งซึ่งแสดงวัฏภาคมาร์เทนไซต์เสถียรที่อุณหภูมิห้อง (martensitic stabilized) ข้อดีของลวดกลุ่มนี้ คือ มีความแข็งดึงต่ำ และมีความสามารถในการคืนกลับสูง แต่ขาดคุณสมบัติการเปลี่ยนวัฏภาค คุณสมบัติจำรูป และคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตเป็นแบบโคลด์เวิร์ก (cold work) นอกจากนี้ขนาดแรงที่เกิดจากลวดชนิดนี้มีค่าไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถคาดคะเนแรงที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีการดัดลวดให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ดังนั้นอาจต้องใช้แรงมากในการดัด ซึ่งก็อาจทำให้แรงคืนกลับของลวดมากตามไปด้วย

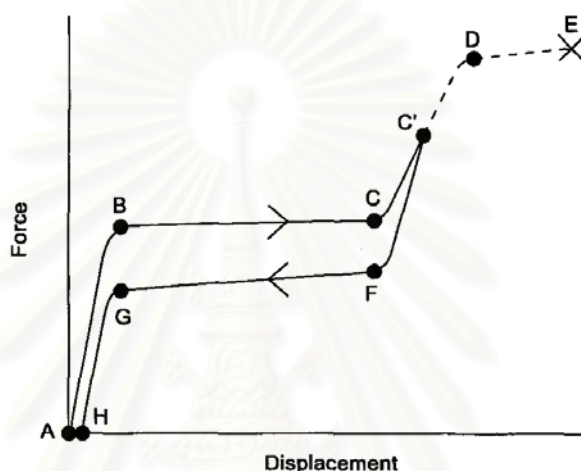
2. ลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดยืดหยุ่นตามอุณหภูมิจาก (thermodynamic or thermoelastic Nickel-Titanium)

เป็นลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหนึ่งซึ่งแสดงวัฏภาคมาร์เทนไซต์กัมมันต์ที่อุณหภูมิห้อง (martensitic active) และสามารถเปลี่ยนแปลงสู่วัฏภาคออสเทนไนต์ได้เมื่อได้รับความร้อนสูงถึงช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค ซึ่งมักถูกกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิในช่องปาก (Santoro และ Beshers, 2000; Santoro, Nicolay และ Cangialosi, 2001a, b) โดยทางบริษัทผู้ผลิตมักบอกช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคมาที่ผลิตภัณฑ์

ลวดชนิดนี้จะมีลักษณะอ่อนนุ่มและถูกเปลี่ยนรูปได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง ทำให้สะดวกต่อการใส่ในแปรงเกิดแม้ในรายที่มีฟันซ้อนเกค่อนข้างมาก และเมื่อลวดอยู่ในช่องปากซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า เป็นผลให้อยู่ในช่วงที่พอดีหรือสูงกว่าช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค ลวดจะคืนกลับสู่รูปร่างเดิมตามแนวโค้งขึ้นรูปสำเร็จที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ ทำให้เกิดการเคลื่อนของฟันไปสู่ตำแหน่งใหม่ตามรูปร่างแนวโค้งของลวดดังกล่าว

3. ลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดยืดหยุ่นแบบ (pseudoelastic Nickel-Titanium)

เป็นลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหนึ่ง que แสดงคุณสมบัติเลียนแบบลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดยืดหยุ่นตามอุณหภูมิ แต่ต่างกันว่าลวดชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงวัฏภาคโดยการให้แรงเข้าไป จนถึงช่วงเปลี่ยนวัฏภาค (stress-induced phase transformation)



รูปที่ 10 กราฟแสดงแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (วัฏภาค) ของโลหะกลุ่มยืดหยุ่นแบบ

เมื่อพิจารณากราฟแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (force-displacement) (รูปที่ 10) พบว่าขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของโลหะ ถ้าหากโลหะนี้สามารถรักษาระดับแรงให้คงที่เป็นเส้นตรง ก็จะสามารถถึงการเป็นโลหะยืดหยุ่น (elastic alloy) แต่เนื่องด้วยลวดในกลุ่มนี้ไม่สามารถแสดงคุณสมบัติดังกล่าวได้ทั้งหมด กล่าวคือ ระดับแรงขณะที่มีการเปลี่ยนวัฏภาคไม่เป็นเส้นตรงในแนวระดับเสียทีเดียว ลวดกลุ่มนี้จึงได้ชื่อว่ามีคุณสมบัติยืดหยุ่นแบบ (pseudoelasticity)

โดยปกติแล้วสามารถพบโลหะชนิดนี้ได้ทั้งวัฏภาคออสเทนไนต์กัมมันต์ (austenitic active alloy) และมาร์เทนไซต์กัมมันต์ (martensitic active alloy) โดยทั้งวัฏภาคมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์นี้ต่างก็มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลดังที่อ้างถึงข้างต้น

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น ถือได้ว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมก็มีคุณสมบัติบางประการที่ถือเป็นคุณสมบัติของลวดในอุดมคติ เช่น การมีช่วงระยะการทำงานกว้าง ความแข็งตึงน้อย การให้แรงที่เบา ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ในช่วงปรับระดับฟัน นอกจากนี้ยังสามารถนำลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่มีขนาดใหญ่มาใช้ในระยะอื่น ๆ ของการรักษาได้ (Kusy, 1997)

อย่างไรก็ตามข้อเสียที่สำคัญของลวดนิกเกิลไทเทเนียม คือ การก่อให้เกิดแรงเสียดทานค่อนข้างมากเมื่อสัมผัสกับแบร็กเกต ซึ่งอาจส่งผลต่อการเคลื่อนฟันหากเลือกใช้ลวดนี้ในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยเป็นตัวอย่างของลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดยืดหยุ่นเลียนแบบชนิดหนึ่งที่มีแรงเสียดทานต่ำ ซึ่งจากข้อมูลของบริษัทได้อ้างว่า มีการปรับปรุงผิวหน้าของลวดโดยการขัดผิวโดยลูกกลิ้งพิเศษ (tumbling barrel)

ลวดเบตาไทเทเนียม

ลวดเบตาไทเทเนียมเป็นลวดโลหะผสมชนิดหนึ่งซึ่ง Dr. Burstone ได้นำมาใช้ทางทันตกรรมจัดฟันในปี 1980 (Burstone และ Goldberg, 1980) โดยพยายามพัฒนาคุณสมบัติดีดของลวดนิกเกิลไทเทเนียมซึ่งมีข้อจำกัดในการดัดเป็นรูปร่าง ความต้านทานต่อการสึกกร่อนน้อยและไม่สามารถเชื่อมได้ จึงได้พัฒนากลายเป็นลวดเบตาไทเทเนียมซึ่งมีการคืนกลับที่เพียงพอ ความแข็งแรงดีปานกลาง แต่ดัดเป็นรูปร่างได้ดี และเชื่อมด้วยไฟฟ้าได้ และสิ่งสำคัญที่ต่างจากลวดชนิดอื่น คือ ลวดเบตาไทเทเนียมเป็นลวดโลหะผสมที่ปราศจากนิกเกิล ทำให้สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยที่มีประวัติแพ้ นิกเกิล

อย่างไรก็ตามลวดเบตาไทเทเนียมยังมีข้อเสียที่สำคัญ คือ การมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่มากกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (Kusy และ Whitley, 1990) ดังนั้นจึงมีผู้พยายามลดแรงเสียดทานโดยการฝังไอออน ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและความหนาของสารที่ใช้ฝัง ก็จะมีผลต่อสีและขนาดแรงเสียดทานของลวด เช่น สีม่วง (purple) สียาเส้นผสมน้ำตาลหรือฮันนี่ดีว (honeydew)

Burstone และ Farzin-Nia (1995) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของลวดเบตาไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำซึ่งมีสีต่าง ๆ กัน พบว่าลวดเบตาไทเทเนียมที่ถูกปรับปรุงโดยการฝังไอออนมีแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตและลวดน้อยกว่าลวดเบตาไทเทเนียมดั้งเดิม ในขณะที่ Kusy, Whitley และ de Araujo Gurgel (2004) ทำการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของขนาดแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ระหว่างแบร็กเกตและลวดเบตาไทเทเนียมที่ได้รับการปรับปรุงผิวหน้าด้วยวิธีต่าง ๆ กัน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอดจ์ไวส์มาตรฐานสำหรับฟันซี่ยาวขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว

ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyแรงปานกลางหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyแรงมากหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

ลวดทีเอ็มเอสฮันนี่ดีวหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว

กลุ่มตัวอย่าง (ตารางที่ 1)

แบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอดจ์ไวส์มาตรฐานสำหรับฟันซี่ยาวรุ่นไดนาล็อก (Dyna-lock™ Brackets, 3M Unitek, USA) ขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว จำนวน 120 ตัว

ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (Stainless steel straight wire, G&H, USA) หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว จำนวน 30 เส้น

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyแรงปานกลาง (medium force SENTALLOY®, TOMY, Japan) หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว จำนวน 30 เส้น

ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyแรงมาก (heavy force SENTALLOY®, TOMY, Japan) หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว จำนวน 30 เส้น

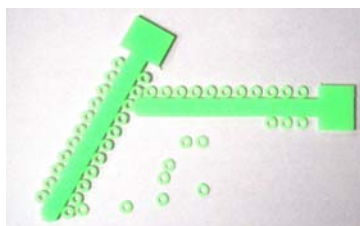
ลวดทีเอ็มเอสฮันนี่ดีว (honeydew TMA® COLORS™, Ormco, Mexico) หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว จำนวน 30 เส้น

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างแบ่งตามกลุ่มทดลอง

ชนิดลวด	มุม (องศา)			
	0	1	2	รวม
ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	10	10	10	30
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง	10	10	10	30
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก	10	10	10	30
ลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดีว	10	10	10	30
รวม	40	40	40	120

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

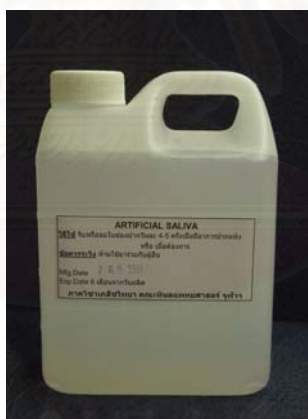
1. ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว กลุ่มละ 10 เส้น 3 กลุ่ม เป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 เส้น
2. ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว ที่มีการให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก ขนาดแรงละ 3 กลุ่ม รวม 6 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่ม ใช้ลวดกลุ่มละ 10 เส้น เป็นจำนวนทั้งสิ้น 60 เส้น
3. ลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดีวหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.016×0.022 นิ้ว กลุ่มละ 10 เส้น 3 กลุ่ม เป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 เส้น
4. แบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดเอตจิวส์มาตรฐานสำหรับพื้นเขียวขนาด 0.018×0.025 นิ้ว จำนวน 120 ตัว
5. วงอีลาสโทเมอร์สีเขียврุ่นทัฟ (Tuff, Clenroe, USA) จำนวน 120 วง (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 วงอีลาสโทเมอร์สีเขียврุ่นทัฟ

6. น้ำลายเทียม ผลิตโดยภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูปที่ 12) มีส่วนประกอบดังนี้

-	โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride)	0.75	กรัม
-	แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride)	0.07	กรัม
-	แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)	0.199	กรัม
-	ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (dipotassium hydrogen phosphate)	0.965	กรัม
-	โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate)	0.439	กรัม
-	โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium caboxymethyl cellulose)	6	กรัม
-	โซเดียมเบนโซเอต (Sodium benzoate)	2.4	กรัม
-	น้ำปราศจากไอออน (deionize water)	1200	มิลลิลิตร



รูปที่ 12 น้ำลายเทียม

7. คีมแมททิว (Mathew plier) (รูปที่ 13) สำหรับมัดวงอีลาสโตเมอร์เข้ากับแบร์กเกต



รูปที่ 13 คีมแมททิว

8. เอกซ์พลอเรอร์ (explorer) (รูปที่ 14) สำหรับבודวงอีลาสโตเมอร์ออกจากแบร็กเกต



รูปที่ 14 เอกซ์พลอเรอร์

9. แท่งพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร (รูปที่ 15) เพื่อใช้สำหรับยึดแบร็กเกตจำนวน 120 แท่ง



รูปที่ 15 แท่งพลาสติกสำหรับยึดแบร็กเกต

10. กาวไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate glue) สำหรับยึดแบร็กเกตกับแท่งพลาสติก

11. เครื่องมือสำหรับกำหนดการยึดแบร็กเกตบนแท่งพลาสติกให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง (รูปที่ 16)



รูปที่ 16 เครื่องมือสำหรับกำหนดการยึดแบร็กเกตบน
แท่งพลาสติกให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง

12. เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่กับที่ (รูปที่ 17) บนฐานของกล่องควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำให้ลวดที่มีความโค้งตอนเริ่มต้น (รูปที่ 18) อยู่ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงที่ขนานกับระนาบในแนวตั้ง (รูปที่ 19)



รูปที่ 17 เครื่องมือสำหรับยึดลวดให้อยู่กับที่



รูปที่ 18 ตัวอย่างลวดนิกลีไทเทเนียมเซนต์ลลอย
ซึ่งเป็นลวดที่มีความโค้งก่อนทำการทดลอง



รูปที่ 19 ลวดนิกลีไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง
ในส่วนที่ถูกยึดอยู่ระหว่างแท่งโลหะรูปตัวซี

13. เครื่องมือยึดแท่งพลาสติกที่มีกลไกสำหรับกำหนดการยึดแบร์กเกตให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง พร้อมทั้งสามารถปรับตั้งมุมของแบร์กเกตให้เอียงในขนาดที่ต้องการคือ 0, 1 และ 2 องศา (รูปที่ 20 และ 21)

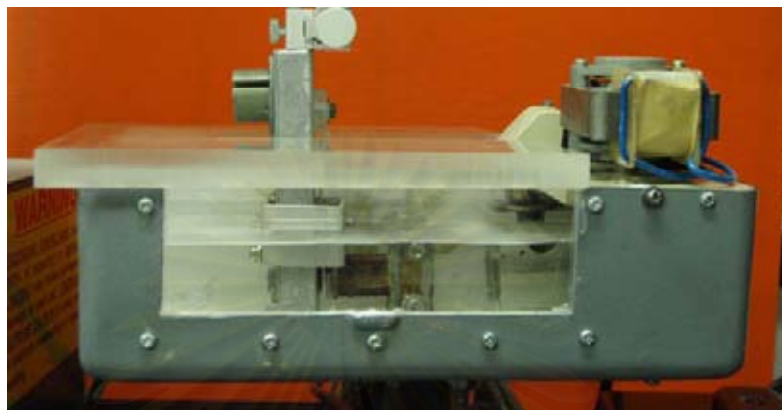


รูปที่ 20 เครื่องมือยึดแท่งพลาสติกและกลไกสำหรับกำหนดการยืดแบร็กเกต
ให้ได้ตำแหน่งเดิมพร้อมทั้งปรับตั้งมุมของแบร็กเกต



รูปที่ 21 ลักษณะของแบร็กเกตบนแท่งพลาสติกที่ทำมุม 0 องศา กับแนวตั้ง โดยใช้
เครื่องกำหนดการยืดแบร็กเกตและปรับตั้งมุม

14. กล่องควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองสภาวะเปียก ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมีหน้าจอบ่งแสดงอุณหภูมิขณะทำการทดลอง (รูปที่ 22 และ 23)



รูปที่ 22 กล่องควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองสภาวะเปียก

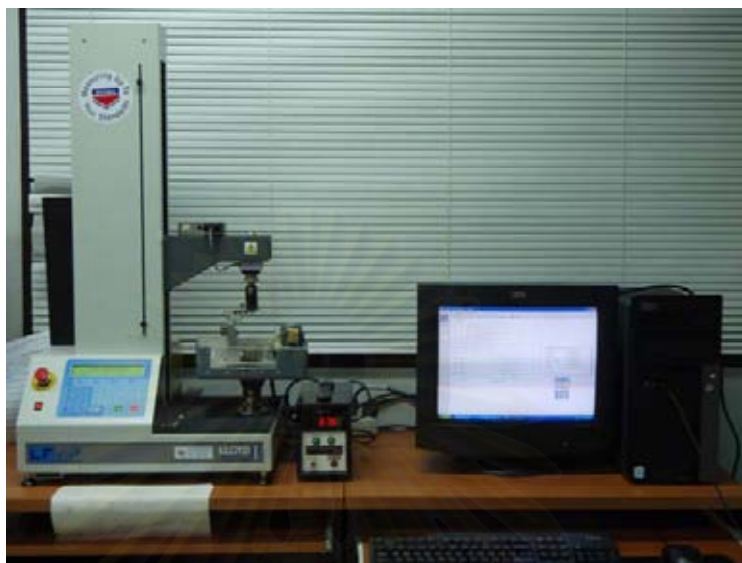


รูปที่ 23 วงจรควบคุมอุณหภูมิที่มีหน้าจอบ่งแสดงอุณหภูมิขณะทำการทดลอง

15. เครื่องล้อยัตถุนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน รุ่นแอลเอฟพลัส (รูปที่ 24) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดแรงที่ใช้ในการดึงแบร์กเกตผ่านลวด โดยมีส่วนประกอบของเครื่องมือดังนี้

- ฟิกซ์เฮด (fixed head) คือ ส่วนของเครื่องมือที่ใช้ยึดชิ้นงานหรือเครื่องมือให้อยู่กับที่
- ครอสเฮด (cross head) คือ ส่วนของเครื่องมือที่เคลื่อนที่ โดยแรงดึงที่เกิดขึ้นจะแปลออกมาเป็นกราฟบนหน้าจอบ่งแสดงผล ทำให้สามารถอ่านขนาดแรงเสียคทานที่เกิดขึ้นได้ ในการทดลองนี้ครอสเฮดจะทำหน้าที่ยึดเครื่องมือที่ยึดแบร์กเกต โดยให้เคลื่อนด้วยความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้ระยะทาง 0.5 มิลลิเมตร

- ต้มน้ำหนักขนาด 50 นิวตัน



รูปที่ 24 เครื่องล้อยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึงมาขึ้น รุ่นแอลเอฟพลัส
ขณะทำการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวดแต่ละชนิด โดยใช้เครื่องล้อยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึงมาขึ้น รุ่นแอลเอฟพลัส

ตัวแปรของการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ

- ชนิดลวด ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyd แรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลloyd แรงมาก และลวดที่เอ็มเอสอีฮันนี่ดีว
- มุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ซึ่งได้แก่ 0, 1 และ 2 องศา

2. ตัวแปรตาม

- แรงเสียดทานสถิต

วิธีการทดลอง

- ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน
- ขั้นตอนการทดลอง

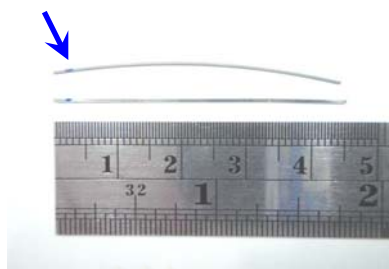
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ประกอบด้วย การเตรียมแบร์ริกเกต และการเตรียมลวดเพื่อใช้ในการทดลอง

การเตรียมแบร์ริกเกต เตรียมโดยการนำแบร์ริกเกตมายึดเข้ากับแท่งพลาสติกยาว 50 มิลลิเมตร ด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต โดยใช้เครื่องมือสำหรับยึดแบร์ริกเกต เพื่อให้แบร์ริกเกตอยู่ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง จากนั้นทำการตัดแท่งพลาสติกที่ยึดแบร์ริกเกตเรียบร้อยแล้วให้มีความยาวประมาณ 15 มิลลิเมตร (รูปที่ 25) เพื่อให้มีความยาวเหมาะสมกับเครื่องมือยึดแท่งพลาสติก โดยกระทำตามขั้นตอนเดียวกัน จนกระทั่งครบ 120 ชิ้น



รูปที่ 25 ลักษณะแบร์ริกเกตบนแท่งพลาสติกที่ยาวประมาณ 15 มิลลิเมตร

การเตรียมลวด เตรียมโดยการตัดลวดให้มีความยาวประมาณ 45 มิลลิเมตร จากนั้นทำเครื่องหมายบนลวดที่ระยะ 3 มิลลิเมตรจากปลายลวด (รูปที่ 26) เพื่อกำหนดตำแหน่งปลายของลวดที่จะทำการยึดกับด้านล่างแท่งโลหะรูปตัวซี เพื่อให้ได้ส่วนที่ตรงที่สุดของลวดทุกชนิด โดยตัดลวดแต่ละชนิดเป็นจำนวน 30 เส้น รวมทั้งสิ้น 120 เส้น



รูปที่ 26 การกำหนดตำแหน่งบนปลายลวดที่จะทำการยึดกับแท่งโลหะรูปตัวซี

ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มการทดลองโดยการวางกล่องควบคุมอุณหภูมิบนแท่นด้านล่างและยึดกับฟิสิกส์เฮดของเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชิ่ง จากนั้นใส่น้ำลายเทียมลงไปในกลุ่มควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เมื่อน้ำลายเทียมมีอุณหภูมิตามที่กำหนด คือ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ให้เริ่มทำการศึกษาแรงเสียดทานสถิต ดังนี้

1. ศึกษาแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดในขณะที่มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 องศา ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศา โดย

1.1 ใส่วางพลาสติกลงในช่องยึด ปรับมุมของแบร์ริกเกตให้เป็น 0 องศาที่ระนาบในแนวตั้ง จากนั้นยึดแท่งพลาสติกให้แน่นกับส่วนเครื่องมือที่จะนำไปต่อกับส่วนโครสเฮด

1.2 ยึดลวดโดยให้เครื่องหมายที่ทำไว้อยู่พอดีกับขอบบนของฐานล่างของแท่งโลหะรูปตัวซี หลังจากทำการยึดแล้วลวดจะอยู่ในลักษณะที่ขนานกับระนาบในแนวตั้ง

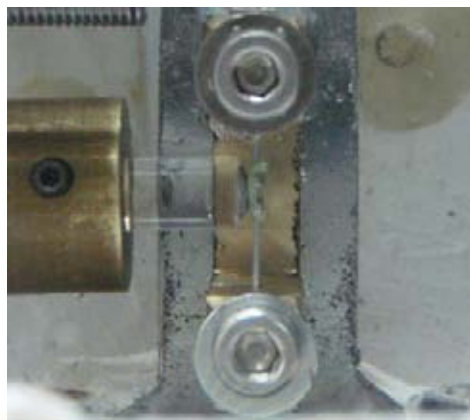
1.3 ต่อเครื่องมือที่มีแท่งพลาสติกพร้อมแบร์ริกเกตกับโครสเฮด

1.4 กำหนดระยะเริ่มต้นของการดึงให้เป็นตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง กดตั้งค่าให้เครื่องนับศูนย์ใหม่

1.5 มัดลวดเข้ากับแบร์ริกเกตด้วยวงอีลาสโทเมอร์ (รูปที่ 27)

1.6 ทดสอบแรงเสียดทานสถิตโดยกำหนดให้โครสเฮดเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

1.7 บันทึกค่าแรงเสียดทานสถิตโดยดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงกับระยะทางที่แบร์ริกเกตเคลื่อนผ่านลวดไป โดยเลือกจุดสูงสุดตำแหน่งแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ของเส้นกราฟ โดยบันทึกค่าเป็นหน่วยนิวตัน



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ของแบร์ริกเกตที่ยึดกับลวดโดยใช้วงอีลาสโทเมอร์ก่อนทำการทดลอง

- 1.8 ทำซ้ำขั้นตอน 1.1 -1.7 จนครบ 10 ครั้งสำหรับลวดแต่ละกลุ่ม ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสอีอันนิคิว โดยในแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนแบร์ริกเกตและลวดใหม่ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของลวด และ/หรือ แบร์ริกเกต ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้
- 1.9 บันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตซ้ำหลังจากการบันทึกครั้งแรก 1 สัปดาห์ เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงในการอ่านผลของวิจัย
2. ศึกษาแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดในขณะที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 1 องศา ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศา โดย
 - 2.1 ใส่แท่งพลาสติกลงในช่องยึด ปรับมุมของร่องแบร์ริกเกตให้เป็นค่า 0 องศากับระนาบในแนวตั้ง เพื่อกำหนดให้แบร์ริกเกตอยู่ในตำแหน่งเดียวกับการทดลองหาขนาดแรงเสียดทานในขณะที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดเป็น 0 องศา จากนั้นยึดแท่งพลาสติกให้แน่นกับส่วนเครื่องมือที่จะนำไปต่อกับส่วนครอสเฮด
 - 2.2 ปรับมุมของแบร์ริกเกตให้เป็น 1 องศาที่ระนาบในแนวตั้ง โดยหมุนเครื่องมือมาทางซ้ายจนอ่านค่าได้ 1 องศา
 - 2.3 ทำซ้ำขั้นตอน 1.2-1.9
3. ศึกษาแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดในขณะที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 2 องศา ในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศา โดย

- 3.1 ใส่แท่งพลาสติกลงไปในช่วงยืด ปรับมุมของแบร์กเกตให้เป็น 0 องศาที่ระนาบในแนวตั้ง เพื่อกำหนดให้แบร์กเกตอยู่ในตำแหน่งเดียวกับการทดลองหาแรงเสียดทานในขณะที่ยืดแท่งพลาสติกให้แน่นกับส่วนเครื่องมือที่จะนำไปต่อกับส่วนครอสเฮด
- 3.2 ปรับมุมของแบร์กเกตให้เป็น 2 องศาที่ระนาบในแนวตั้ง โดยหมุนเครื่องมือมาทางซ้ายจนอ่านค่าได้ 2 องศา
- 3.3 ทำซ้ำขั้นตอน 1.2-1.9
4. ศึกษาเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟันที่ต้องการศึกษา ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมากและลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิตในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีกรให้แรงต่างกัน ได้แก่ แรงปานกลาง และแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกัน และมุมต่าง ๆ กัน ได้แก่ 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต ดังนั้นจึงมีตัวแปรต้น 2 ตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรที่ 1 คือ ชนิดลวด 4 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดีว

ตัวแปรที่ 2 คือ มุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง 3 มุม ได้แก่ 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต โดยใช้มุม 0 1 และ 2 องศาเป็นตัวแทนมุมดังกล่าวข้างต้น

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($\alpha = .05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถเป็นไปได้อีก 4 กรณี ดังนี้

1. ตัวแปรที่ 1 เท่านั้นที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด
2. ตัวแปรที่ 2 เท่านั้นที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด
3. ทั้งตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด แต่ไม่มีอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกัน
4. ทั้งตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด และมีอันตรกิริยาระหว่างกัน

จากนั้นทำการทดสอบหาความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดแต่ละชนิดโดยเลือกใช้สถิติพาราเมตริก หรือนอนพาราเมตริกตามผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติ (normal distribution) โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรอฟสมอร์นอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov test) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ซึ่งต้องพิจารณาคู่กับผลการทดสอบจากผลการวิเคราะห์สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง ดังนี้

1. ในกรณีที่ผลการศึกษามีการกระจายแบบปกติ
 - 1.1. ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางสรุปได้ว่าทั้ง 2 ตัวแปร ซึ่งได้แก่ ชนิดลวด และมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง มีผลต่อแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด ประกอบกับทั้ง 2 ตัวแปร มีอันตรกิริยาต่อกัน

ให้ทำการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นตัวแปรร่วม (combination) ของตัวแปรทั้งสอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

- 1.1.1 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวน (variance) เท่ากัน

ถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้วิเคราะห์ต่อโดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparison) เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

1.1.2 ในกรณีที่ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์-ฟอร์ซิท (Brown-Forsyth)

ถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้วิเคราะห์ต่อโดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู (Tamhane's T2) เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

1.2 ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางสรุปได้ว่า มีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งหรือทั้ง 2 ตัวแปร ซึ่งได้แก่ ชนิดลวด และมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด แต่ตัวแปรทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน

ให้นำตัวแปรที่พบว่า มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก

1.2.1 กรณีที่พบว่าชนิดลวดมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด แต่มุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางไม่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิต

ทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวดทั้ง 4 ชนิด เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกัน โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริกที่ระดับนัยสำคัญ .05 เพื่อทดสอบว่าลวดชนิดใดมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด

1.2.2 กรณีที่พบว่ามุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด แต่ชนิดลวดไม่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิต

ทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิต โดยแยกวิเคราะห์ลวดแต่ละชนิดเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมต่าง ๆ กัน โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก ที่ระดับนัยสำคัญ .05 เพื่อทดสอบว่าการเปลี่ยนแปลงมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวดอย่างไร

โดยในกรณี 1.2.1 และ 1.2.2 จะใช้สถิติวิเคราะห์ไปในทางเดียวกัน คือ ถ้าทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน จะทำการวิเคราะห์ต่อโดยการวิเคราะห์การเปรียบเทียบเชิงซ้อน เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติบอแนฟโรนี แต่หากพบว่าค่าความแปรปรวนของกลุ่มการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน ให้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิท และถ้าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้ทำการวิเคราะห์ต่อโดยการวิเคราะห์การเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทู

1.2.3 กรณีที่พบว่าทั้งชนิดลวดและมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดมีผลต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวด

ทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตของลวดทั้ง 4 ชนิด โดยแยกวิเคราะห์ตามชนิดลวดและมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางตามกรณี 1.2.1 และ 1.2.2 ตามลำดับ

2. ในกรณีที่ผลการศึกษามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ

ทำการทดสอบข้อมูลโดยใช้การทดสอบแบบครัสคาลวัลลิส (Kruskal Wallis test) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิต

ทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตเพื่อดูความเที่ยงตรงในการอ่านผลของผู้วิจัยโดยใช้สถิติวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) และการทดสอบที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่สัมพันธ์กัน (paired-t test) โดยเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตที่บันทึกในครั้งแรกและครั้งที่ 2 ซึ่งห่างกัน 1 สัปดาห์ หากพบว่าการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตจากการบันทึกผล 2 ครั้ง ไม่มีความเที่ยงตรงพอ ให้บันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตใหม่อีก 2 ครั้ง แล้วทำการเปรียบเทียบเช่นเดิมจนกว่าจะได้รับความเที่ยงตรงพอ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด

จากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตของผู้วิจัยโดยใช้สถิติวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และการทดสอบที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่สัมพันธ์กัน พบว่าขนาดแรงเสียดทานสถิตจากการบันทึกครั้งแรกและครั้งที่ 2 มีความสัมพันธ์กันสูง (ค่าอาร์=.997) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ค่าพี=.557) จึงเลือกใช้นิยามขนาดแรงเสียดทานสถิตที่บันทึกในครั้งแรกมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์

เมื่อศึกษาขนาดของแรงเสียดทานสถิตในสภาวะเปียก (น้ำลายเทียม) ระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดต่างชนิดกัน ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทัลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนทัลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่อันนี้ดิว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกัน และเป็นมุมต่างกัน คือ มุม 0 1 และ 2 องศา โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าน้อยที่สุด (minimum, min) และค่ามากที่สุด (maximum, max) ดังตารางที่ 2

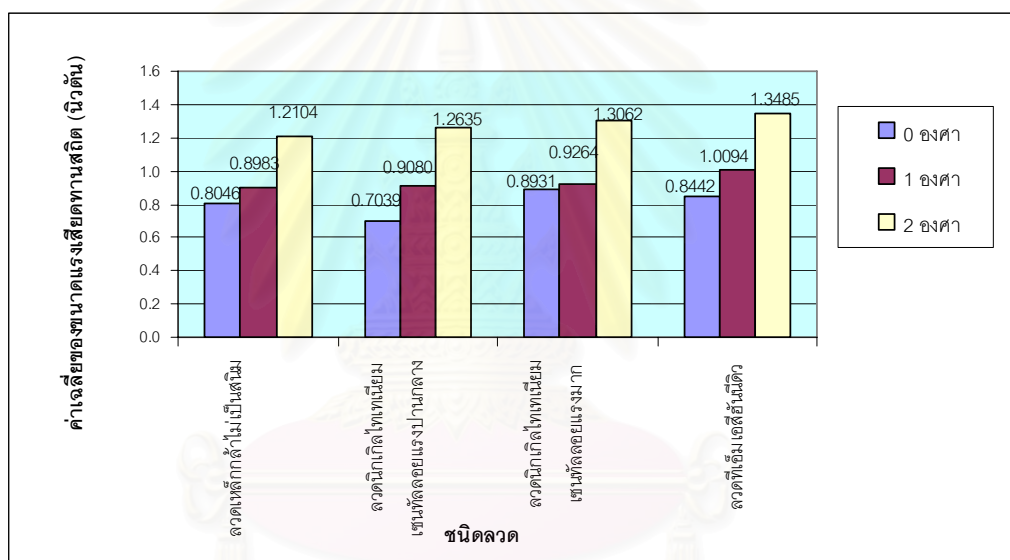
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ามากที่สุดของขนาดแรงเสียดทานสถิต ระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวด 4 ชนิด เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวด ในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา

ชนิดลวด	องศา	ค่าเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด
ลวดเหล็กกล้า ไม่เป็นสนิม	0	0.8046	0.1806	0.5817	1.0620
	1	0.8983	0.2239	0.6455	1.3005
	2	1.2104	0.6564	0.7890	2.8430
ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนต์ลลอย แรงปานกลาง	0	0.7039	0.1544	0.5180	0.9940
	1	0.9080	0.1978	0.6682	1.2660
	2	1.2635	0.4744	0.6560	2.1820
ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนต์ลลอยแรงมาก	0	0.8931	0.1125	0.7020	1.0380
	1	0.9264	0.2542	0.6150	1.4390
	2	1.3062	0.5562	0.8440	2.6997
ลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดิว	0	0.8442	0.1816	0.5650	1.1250
	1	1.0094	0.1845	0.6669	1.1810
	2	1.3485	0.3835	0.8910	2.0739

จากผลการทดลอง เมื่อแยกพิจารณาตามตัวแปรคือ ชนิดลวด และมุมกระทำระหว่าง แบริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางได้ผลดังนี้

เมื่อพิจารณาตามชนิดลวด โดยดูจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ลวดชนิดเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของลวดทุกชนิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อมุมกระทำระหว่าง แบริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยเรียงลำดับมุมกระทำระหว่างแบริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตมีค่าจากน้อยไปมาก ดังนี้ คือ 0 1 และ 2 องศา ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 28

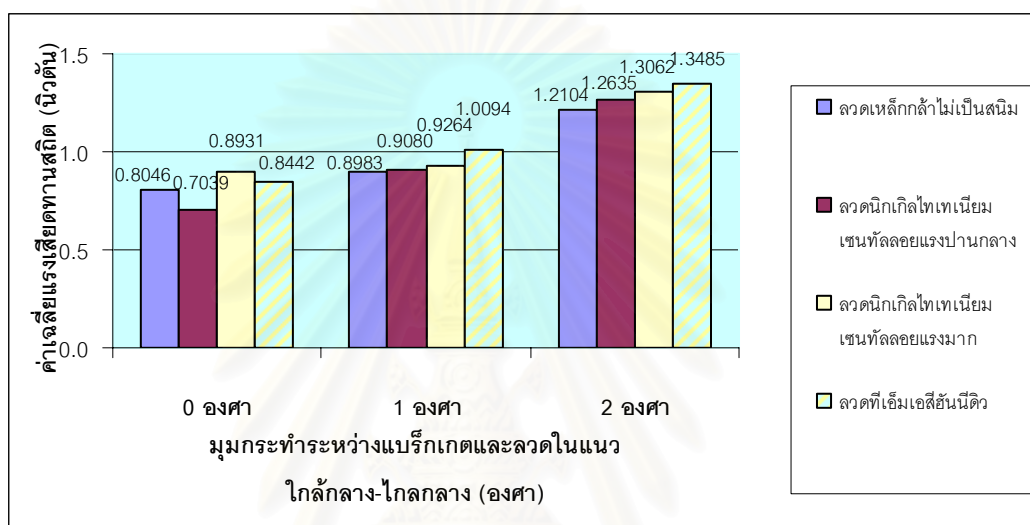


รูปที่ 28 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวด 4 ชนิด เมื่อพิจารณาตามชนิดลวด

เมื่อพิจารณาตามมุมกระทำระหว่างแบริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง พบว่า

- เมื่อมุมกระทำระหว่างแบริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 องศา พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนทรัลลอยแรงปานกลาง ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดทีเอ็มเอชเอ็นดีวี และลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนทรัลลอยแรงมาก ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 29

- เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 1 และ 2 องศา พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างมีค่าไปในทางเดียวกัน โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนทรัลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนทรัลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดีว ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวด 4 ชนิด เมื่อพิจารณาตามมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง

เมื่อทำการทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows พบว่าข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังตารางที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ค่าพี (p-value) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 เมื่อทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยใช้การทดสอบสถิติวันแชมเปิลโคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟ

ชนิดลวด	มุม (องศา)		
	0	1	2
ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	.943	.676	.395
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง	.840	.757	.364
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก	.934	.680	.407
ลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดีว	.986	.653	.946

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

เมื่อทราบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการกระจายแบบปกติแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับนัยสำคัญ .05 เพื่อต้องการทราบว่ามีความแปรปรวนใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าเฉพาะตัวแปรที่ 2 คือ มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเท่านั้นที่มีผลกระทบต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4 ประกอบกับผลของการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริกเพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดต่างชนิด ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกัน และเป็นมุมต่างกัน คือ มุม 0 1 และ 2 องศา โดยทำการวิเคราะห์แยกตามชนิดลวด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

ตัวแปร	ค่าพี
ชนิดลวด	.539
มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง	.000*
ชนิดลวด*มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง	.984

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่าเฉพาะกลุ่มลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมากเท่านั้นที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ในขณะที่ลวดกลุ่มที่เหลือ ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดิว มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 5 ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตในกลุ่มลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมากโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก ในขณะที่กลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดิว จำเป็นต้องใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ชิตเพื่อเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างกลุ่มตัวอย่างแทนสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริก

ตารางที่ 5 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยแยกตามชนิดลวด

ชนิดลวด	ค่าพี
ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	.028*
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง	.015*
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก	.051
ลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดิว	.011*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและกลุ่มลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 1 และ 2 องศาโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริกที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่ามีกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตและลวดที่มุมกระทำต่างกันแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ (ค่าพี = .028) จึงทำการวิเคราะห์ต่อโดยการใช้อยู่สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีขนาดแรงเสียดทานสถิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยสถิติบอนเฟอร์โรนี ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 1 และ 2 องศาโดยใช้สถิติบอนเฟอร์โรนี

ลวดนิกเกิลไทเทเนียม เซนต์ลลอยแรงมาก	0 องศา	1 องศา	2 องศา
0 องศา	-	1.000	.048*
1 องศา	1.000	-	.076
2 องศา	.048*	.076	-

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศาพบว่า เฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดเป็น 2 องศาเท่านั้นที่มีขนาดแรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นจากกลุ่ม 0 องศาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่เหลือ ซึ่งได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดิว มีค่าความแปรปรวนภายในในกลุ่มไม่เท่ากัน จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิทที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยวิเคราะห์แยกตามชนิดลวด

ผลการวิเคราะห์ขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวด 3 ชนิดที่เหลือ พบว่ามีเพียงกลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่ขนาดแรงเสียดทานสถิตของกลุ่มตัวอย่างที่แบ่งตามมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่าพีที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีว เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 1 และ 2 โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ดซิท

ชนิดลวด	ค่าพี
ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	.150
ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง	.002*
ลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีว	.001*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 7 ไม่พบความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมไม่ว่ามุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดมีค่าเป็น 0 1 หรือ 2 องศา แต่พบความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดอย่างน้อย 1 คู่ในลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีวเมื่อมุมกระทำมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ต่อโดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ที่ทุที่ระดับนัยสำคัญ .05 เฉพาะกลุ่มลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีว เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดทั้งกลุ่มลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนี่ดีวมีผลการวิเคราะห์เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ เฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มีมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 2 องศาเท่านั้นที่มีขนาดแรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นจากกลุ่ม 0 องศาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่นิยมใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน ในน้ำลายเทียมที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 37 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อพยายามเลียนแบบสภาพช่องปาก โดยลวดที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดเบตาไทเทเนียม เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็นมุมเดียวกัน และมุมต่าง ๆ กัน คือ 0 1 และ 2 องศา

การที่เลือกศึกษาแรงเสียดทานสถิตเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา เนื่องจากต้องการให้มุมดังกล่าวเป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ของมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดขณะที่มีค่าเป็น 0 องศา มุมวิกฤต และมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต เนื่องจากมุม 0 องศาควรจะเป็นมุมที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านระยะปรับระดับฟัน (leveling phase) แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม แผนการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันไม่ได้จบลงที่ระยะปรับระดับฟันเพียงเท่านั้น แต่ยังต้องผ่านขั้นตอนการรักษาอีกหลายระยะ เช่น ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยว่าต้องมีการถอนฟันกรามน้อยร่วมกับการรักษา ก็จะต้องมีระยะดึงฟันเขี้ยว (canine retraction phase) ดังนั้นถึงแม้ว่าฟันได้รับการปรับระดับเรียบร้อยแล้ว แต่หากว่ามีการให้แรงในการเคลื่อนฟัน จะพบว่าฟันจะมีการล้มเอียงและตั้งตรงสลับกันไป (Drescher และคณะ, 1989; Frank และ Nikolai, 1980) ดังนั้นมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางก็จะเปลี่ยนแปลงไประหว่างการเคลื่อนของฟัน ส่วนมุม 1 องศาถือเป็นตัวแทนของมุมวิกฤตที่ได้จากการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของร่องแบร็กเกต และขนาดลวด (Kusy, 2000) โดยมุมนี้ควรเป็นมุมที่มีค่ามากที่สุดที่จะเกิดขึ้นเมื่อฟันมีการล้มเอียงในระหว่างการเคลื่อนของฟัน เนื่องจากมุมวิกฤตเป็นมุมที่ทำให้ช่องว่างระหว่างแบร็กเกตและลวดไม่ปรากฏขึ้นเป็นครั้งแรกที่มุมทแยง แต่ในบางครั้งหากมีแรงในการเคลื่อนฟันที่มากเกินไปซึ่งอาจเป็นผลตามจากการใช้ยางดึงทั้งในขากรรไกรเดียวกันหรือระหว่างขากรรไกร (intramaxillary and intermaxillary elastic traction) (Charles และ Jones, 1982) ประกอบกับความกว้างของช่องเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal space) ในผู้ป่วยจัดฟันมีความกว้างมากกว่าคนปกติ ทำให้ฟันเขี้ยวมีการล้มเอียงไปอย่างรวดเร็ว

จากการล้มเอียงของฟันอย่างรวดเร็วนี้หากเกิดขึ้นในลวดที่มีความแข็งตั้งต่ำโดยคุณสมบัติของลวดชนิดนั้น ๆ เอง หรือเกิดในกรณีที่มีระยะระหว่างแบร็กเกต (interbracket span) มาก อาจทำให้ลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) จนทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างแบร็กเกตและลวดที่มุมทแยงหรือที่เรียกว่ามุมที่มากกว่ามุมวิกฤต ดังนั้นจึงเลือกใช้มุม 2 องศาเป็นตัวแทนของมุมที่มากกว่ามุมวิกฤตนี้

ส่วนชนิดลวด เนื่องจากคุณสมบัติของลวดแต่ละชนิดแตกต่างกันไป (Kusy, 1997) โดยลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเป็นลวดที่นิยมใช้มากในทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากราคาค่อนข้างถูก สามารถดัดเป็นรูปร่างได้ดี แรงเสียดทานต่ำ แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ มีมอดูลัสของความยืดหยุ่นสูง คือ จะเกิดแรงมากขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลวดเพียงเล็กน้อย ทำให้ผู้ป่วยได้รับแรงและรู้สึกเจ็บปวดมากแม้จะมีการฝืนใส่ลวดลงบนฟันที่มีการล้มเอียงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมก็มักถูกใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพกับลวดชนิดอื่น ส่วนลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียมก็เป็นลวดอีก 2 ชนิดที่ได้รับความนิยมในการใช้งานทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากข้อดีของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ให้แรงน้อยและค่อนข้างคงที่ และลวดเบตาไทเทเนียมที่สามารถดัดเป็นรูปร่างได้ดี เข้ากับเนื้อเยื่อในช่องปากดี ไม่มีส่วนประกอบของนิกเกิลซึ่งเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่แพ้เหล็ก แต่ลวด 2 ชนิดหลังมีข้อด้อยที่สำคัญคือ เกิดแรงเสียดทานมากขณะที่สัมผัสกับแบร็กเกต ดังนั้นจึงมีผู้พยายามลดข้อด้อยของลวดดังกล่าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดิวซึ่งเป็นลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียมที่ได้รับการพัฒนาเพื่อลดแรงเสียดทานมาเป็นตัวแทนของลวดดังกล่าว

นอกจากนี้การที่เลือกลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยที่มีขนาดแรงต่างกันในลวดที่มีหน้าตัดเท่ากันมาศึกษาก็เนื่องจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของลวดชนิดเดียวกันแต่มีขนาดแรงต่างกันว่ามีผลต่อแรงเสียดทานหรือไม่

เมื่อทำการศึกษาถึงผิวหน้าของลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย และลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดิวซึ่งเป็นลวดที่ได้รับการปรับปรุงผิวหน้า ก็ยังพบว่าพื้นผิวยังมีความหยابกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ถึงแม้ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตและลวดทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Prososki และคณะ, 1991) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความหยابของพื้นผิวลวดและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาของ Drescher และคณะ (1989) และ Tidy (1989) พบว่าแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในลวดเหล็กกล้าที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนฟัน มีค่าไม่แตกต่างกับลวดกลม แต่สามารถควบคุมตำแหน่งของตัวฟันและรากฟันได้ดีกว่าทั้งในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง และแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น แต่ลวดกลมให้แรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าในกรณีที่แบร์ริกเกตเพียงอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟันเท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่เลือกใช้ลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ในการวิจัยครั้งนี้

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาตามชนิดลวด เมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเท่ากัน พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดทั้ง 4 ชนิด มีค่าต่างกันเล็กน้อย โดยมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่ อันนีดีวี ยกเว้นในกลุ่มที่มุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 องศา ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลางมีค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตต่ำกว่าลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเล็กน้อย แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์ริกเกตและลวดทั้ง 4 ชนิด และเมื่อพิจารณาตามมุมกระทำระหว่างแบร์ริกเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง พบว่าแรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระทำเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Articolo และ Kusy (1999) Frank และ Nikolai (1980) Kusy และ Whitley (1999) Peterson และคณะ (1982) Thorstenson และ Kusy (2002) Tselepis และคณะ (1994)

จากการศึกษาของ Kusy และคณะ (1991) ที่ทำการศึกษเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกต 2 ชนิด คือ แบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม แบร์ริกเกตโพลีคริสตัลไลน์ อะลูมินา และลวด 4 ชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดเบตาไทเทเนียม ในสภาวะแห้งและสภาวะเปียกโดยใช้น้ำลายของผู้วิจัยที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออยู่ในน้ำลาย ลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลง ในขณะที่ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกลับมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สาเหตุที่ในสภาวะแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกับแบร์ริกเกตมีค่าน้อย เนื่องจากชั้นโครเมียมออกไซด์มีคุณสมบัติทางเคมีซึ่งส่งเสริมให้เกิดความลื่นของพื้นผิว แต่ในสภาวะที่มีน้ำลายค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากน้ำลายไปทำลายคุณสมบัติทางเคมีของส่วนประกอบของลวด หรือทำตัว

เสมือนสารยึดติด (adhesive) ระหว่างแบร็กเกตและลวด ในทางกลับกัน ในสภาวะแห้งลวดเบตาไทเทเนียมจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากเนื่องจากการยึดติดและการสึกกร่อนในชั้นที่มีไทเทเนียมออกไซด์ในปริมาณสูงขณะที่มีการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถล แต่เมื่อน้ำลายกลับพบว่า น้ำลายนี้เองที่เป็นตัวช่วยในการหล่อลื่นระหว่างแบร็กเกตและลวด และลดการสึกกร่อนของชั้นไทเทเนียมออกไซด์ ทำให้ลดโอกาสการเกิดปรากฏการณ์ยึดติดและเลื่อนไถล (stick-slip phenomenon) หรือก็คือป้องกันการสัมผัสกันระหว่างของแข็งกับของแข็ง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของลวดเบตาไทเทเนียมลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าสภาวะที่ใช้ทดสอบมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าสภาพช่องปากเอื้ออำนวยต่อการใช้ลวดเบตาไทเทเนียม และเป็นไปได้ว่านอกจากผลของการปรับปรุงผิวหน้าเพื่อลดแรงเสียดทานของลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย และลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดีวแล้ว อีกสาเหตุหนึ่งที่แรงเสียดทานของลวดดังกล่าวไม่แตกต่างจากลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมนั้น อาจเป็นผลมาจากการทดลองในสภาวะเปียกโดยใช้ น้ำลายเทียมดังเช่นในการวิจัยครั้งนี้

ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างแบร็กเกตมาก จะทำให้ลวดมีโอกาสเกิดการโค้งงอได้มาก และเมื่อลวดเกิดการโค้งงอก็จะมีโอกาสสัมผัสกับร่องแบร็กเกตได้ง่ายกว่า และจากคุณสมบัติของลวดที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น เนื่องจากลวดที่มีโมดูลัสของความยืดหยุ่นสูงจะมีลักษณะคงตัวมากกว่าลวดที่มีโมดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำ ดังนั้นหากใช้ลวดที่มีโมดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำในผู้ป่วยรายที่มีระยะห่างระหว่างแบร็กเกตมาก ย่อมทำให้โอกาสที่จะเกิดมุมวิกฤตระหว่างแบร็กเกตและลวดมาก ซึ่งจะส่งผลต่อแรงเสียดทาน แต่เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้จำลองการศึกษาในกรณีที่ลวดทุกชนิดมีลักษณะเป็นเส้นตรง และลวดทั้ง 2 ปลายถูกตรึงแน่น ประกอบกับมีการกำหนดระยะระหว่างจุดยึดของปลายลวดเป็นระยะที่แน่นอน ทำให้แตกต่างจากสภาพช่องปากจริงที่อาจมีการขยับของปลายลวดได้บ้าง

เมื่อไม่พบความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิติระหว่างแบร็กเกตและลวดทั้ง 4 ชนิด ทำให้สรุปได้ว่า ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยไม่ว่าจะเป็นขนาดแรงปานกลางหรือแรงมาก หรือลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดีว ก็เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจในการเลือกใช้ลวดนี้ เพราะนอกจากคุณสมบัติที่ดีของลวดที่มีอยู่เดิมแล้วร่วมกับการที่ลวดได้รับการพัฒนาลดแรงเสียดทานอีก ทำให้สามารถใช้ในกรณีที่ต้องการให้ฟันเคลื่อนได้ดี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีขึ้นของลวด ย่อมทำให้ราคาสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาการใช้ให้เหมาะสมเป็นราย ๆ ไป เช่น ผู้ป่วยที่มีความอดทนต่อการเจ็บปวดน้อย ก็อาจเลือกใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอย หรือลวดที่เอ็มเอสอีฮันนีดีว

เนื่องจากมีการให้แรงที่เบา หรือกรณีที่ลักษณะฟันก่อนการเคลื่อนฟัน หากยังมีการซ่อนเกเหลืออยู่เล็กน้อยก่อนการดึงฟันเขี้ยวหรือการดึงฟันหน้าเพื่อปิดช่องว่างก็อาจใช้ลวดที่เอ็มเอสี่อันนี้ดีช่วยปรับระดับความแตกต่างที่เหลืออยู่เพียงเล็กน้อย จากนั้นก็ใช้เคลื่อนฟันต่อ ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนลวดบ่อย อย่างไรก็ตามในผู้ป่วยทั่วไปที่หลังจากได้รับการปรับระดับฟันแล้วมีการเรียงตัวของฟันค่อนข้างดี ก็ควรใช้ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมในการเคลื่อนฟันเพื่อปิดช่องว่างเนื่องจากมีคุณสมบัติพื้นฐานดีและราคาถูก

สรุปผลการวิจัย

1. เมื่อพิจารณาตามมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง คือ 0 1 และ 2 องศา โดยพิจารณาแยกทีละมุม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงเสียดทานสถิตของลวดทั้ง 4 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก และลวดที่เอ็มเอสี่อันนี้ดี
2. เมื่อพิจารณาตามชนิดลวด โดยมีมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 0 1 และ 2 องศา พบว่าแรงเสียดทานสถิตเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ คือ เมื่อมุมกระทำมีค่าเป็น 0 1 และ 2 องศา ตามลำดับ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงเสียดทานสถิตเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีค่าเป็น 0 และ 2 องศาเท่านั้น ยกเว้นในกลุ่มลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไม่พบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแรงเสียดทานสถิตในสภาวะเปียก โดยการใช้น้ำลายเทียมซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองให้อยู่ในช่วง 37 ± 1 องศาเซลเซียส เพื่อเลียนแบบสภาพช่องปาก แต่ก็ยังมีความแตกต่างในหลาย ๆ ด้าน เช่น อุณหภูมิของช่องปากที่อาจเปลี่ยนแปลงไปจากอาหารหรือเครื่องดื่มที่รับประทาน องค์ประกอบของน้ำลายเทียมและน้ำลายจริง การทำงานของกล้ามเนื้อบดเคี้ยว ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจมีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน ดังนั้นการนำผลการวิจัยนี้ไปใช้

กับผู้ป่วยจริงจึงอาจไม่ได้ผลเป็นไปตามการทดลองทั้งหมด จึงควรที่จะมีการศึกษาต่อไปในสถานะที่มีน้ำลายจริง หรือทำการศึกษาจากหลอดที่ใช้งานจริงจากช่องปากของผู้ป่วย

2. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการดึงแบร็กเกตให้เคลื่อนผ่านหลอดตรง ซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริงที่เป็นการเคลื่อนฟันไปตามหลอดโค้งจัดฟัน ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงของการสัมผัสกันของแบร็กเกตและหลอดในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรที่จะศึกษาในเครื่องมือที่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของฟันให้เหมือนกับการเคลื่อนที่จริงในช่องปากให้มากที่สุด

3. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวัดแรงเสียดทานสถิตในทันทีที่ใช้วงอีลาสโตเมอร์มัดหลอดเข้ากับแบร็กเกต ซึ่งโดยปกติแล้ววงอีลาสโตเมอร์จะมีการสูญเสียแรงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมงแรก ภายหลังจากการมัดหลอดเข้ากับแบร็กเกตในช่องปาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรที่จะมัดหลอดเข้ากับแบร็กเกตและปล่อยให้อยู่ในสถานะจำลองของช่องปากอย่างน้อย 24 ชม. เพื่อให้วงแหวนยางมีการสูญเสียแรง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้อาจจากการวัดแรงเสียดทานมีความใกล้เคียงกับการใช้งานในทางคลินิกมากที่สุด

4. การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะมุมกระทำระหว่างแบร็กเกตและหลอดซึ่งเป็นมุมเอียงในแนวใกล้กลาง-ใกล้กลาง แต่ในทางคลินิกทันตแพทย์จัดฟันอาจมีการเพิ่มการบิดหมุนในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นขึ้นในหลอด ไม่ว่าจะเป็นแบร็กเกตชนิดมาตรฐานหรือชนิดสำเร็จรูป (pre-adjusted) ก็ตาม ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาโดยมีเงื่อนไขให้หลอดมีการบิดหมุนตามองศาที่กำหนดด้วย

รายการอ้างอิง

- Andreasen, G. F. and Hilleman, T. B. 1971. An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. J Am Dent Assoc 82(6): 1373-1375.
- Andreasen, G. F., and Quevedo, F. R. 1970. Evaluation of friction forces in the 0.022 x 0.028 edgewise bracket in vitro. J Biomech 3(2): 151-160.
- Articolo, L. C., and Kusy, R. P. 1999. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop 115(1): 39-51.
- Baccetti, T. and Franchi, L. 2006. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. Angle Orthod 76(2): 211-216.
- Baker, K. L.; Nieberg, L. G.; Weimer, A. D., and Hanna, M. 1987. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. Am J Orthod Dentofacial Orthop 91(4): 316-320.
- 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 Dentofacial Orthop 100(6): 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 Dentofacial Orthop 97(3): 219-228.
- Braun, S.; Bluestein, M.; Moore, B. K., and Benson, G. 1999. Friction in perspective. Am J Orthod Dentofacial Orthop 115(6): 619-627.
- Burstone, C. J., and Farzin-Nia, F. 1995. Production of low-friction and colored TMA by ion implantation. J Clin Orthod 29(7): 453-461.
- Burstone, C. J., and Goldberg, A. J. 1980. Beta titanium: a new orthodontic alloy. Am J Orthod 77(2): 121-132.
- Charles, C. R., and Jones, M. L. 1982. Canine retraction with the edgewise appliance- some problems and solutions. Br J Orthod 9(4): 194-202.

- Dickson, J. A.; Jones, S. P., and Davies, E. H. 1994. A comparison of the frictional characteristics of five initial alignment wires and stainless steel brackets at three bracket to wire angulations-an in vitro study. Br J Orthod 21(1): 15-22.
- Downing, A.; McCabe, J., and Gordon, P. 1994. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires. Br J Orthod 21(4): 349-357.
- Drescher, D.; Bourauel, C., and Schumacher, H. A. 1989. Frictional forces between bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 96(5): 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(2): 145-153.
- Eliades, T.; Eliades, G.; Athanasiou, A. E., and Bradley, T. G. 2000. Surface characterization of retrieved NiTi orthodontic archwires. Eur J Orthod 22(3): 317-326.
- Fortin, J. M. 1971. Translation of premolars in the dog by controlling the moment-to-force ratio on the crown. Am J Orthod 59(6): 541-551.
- Frank, C. A., and Nikolai, R. J. 1980. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. Am J Orthod 78(6): 593-609.
- Garner, L. D.; Allai, W. W., and Moore, B. K. 1986. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 90(3): 199-203.
- Kang, B. S.; Baek, S. H.; Mah, J., and Yang, W. S. 2003. Three-dimensional relationship between the critical contact angle and the torque angle. Am J Orthod Dentofacial Orthop 123(1): 64-73.
- Kapila, S.; Angolkar, P. V.; Duncanson, M. G., Jr., and Nanda, R. S. 1990. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(2): 117-126.
- Kapila, S., and Sachdeva, R. 1989. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 96(2): 100-109.

- Kusy, R. P. 1997. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. Angle Orthod 67(3): 197-207.
- Kusy, R. P. 2000. Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. Angle Orthod 70(5): 366-376.
- Kusy, R. P., and Whitley, J. Q. 1990. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. J Biomech 23(9): 913-925.
- Kusy, R. P., and Whitley, J. Q. 1999. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. Angle Orthod 69(1): 71-80.
- Kusy, R. P., and Whitley, J. Q. 2003. Influence of Fluid Media on the Frictional Coefficients in Orthodontic Sliding. Seminars in Orthodontics 9(4): 281-289.
- Kusy, R. P.; Whitley, J. Q., and de Araujo Gurgel, J. 2004. Comparisons of surface roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 126(5): 589-603.
- Kusy, 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(4): 293-302.
- Michelberger, D. J.; Eadie, R. L.; Faulkner, M. G.; Glover, K. E.; Prasad, N. G., and Major, P. W. 2000. The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. Am J Orthod Dentofacial Orthop 118(6): 662-674.
- Miura, F.; Mogi, M.; Ohura, Y., and Hamanaka, H. 1986. The super-elastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 90(1): 1-10.
- Nanda R, G. J. 1997. Biomechanics in clinical orthodontics. Philadelphia: WB Saunders, pp. 188-217.
- Ogata, R. H.; Nanda, R. S.; Duncanson, M. G., Jr.; Sinha, P. K., and Currier, G. F. 1996. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. Am J Orthod Dentofacial Orthop 109(5): 535-542.

- Oh, K. T.; Choo, S. U.; Kim, K. M., and Kim, K. N. 2005. A stainless steel bracket for orthodontic application. Eur J Orthod 27(3): 237-244.
- Omana, H. M.; Moore, R. N., and Bagby, M. D. 1992. Frictional properties of metal and ceramic brackets. J Clin Orthod 26(7): 425-432.
- Peterson, L.; Spencer, R., and Andreasen, G. 1982. A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. Quintessence Int Dent Dig 13(5): 563-571.
- Pratten, D. H.; Popli, K.; Germane, N., and Gunsolley, J. C. 1990. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(5): 398-403.
- Prososki, R. R.; Bagby, M. D., and Erickson, L. C. 1991. Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 100(4): 341-348.
- Rossouw, P. E. 2003. Friction: An Overview. Seminars in Orthodontics, 9(4): 218-222.
- Santoro, M., and Beshers, D. N. 2000. Nickel-titanium alloys: stress-related temperature transitional range. Am J Orthod Dentofacial Orthop 118(6): 685-692.
- Santoro, M.; Nicolay, O. F., and Cangialosi, T. J. 2001a. Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: a clinically oriented review. Part I: Temperature transitional ranges. Am J Orthod Dentofacial Orthop 119(6): 587-593.
- Santoro, M.; Nicolay, O. F., and Cangialosi, T. J. 2001b. Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: a clinically oriented review. Part II: Deactivation forces. Am J Orthod Dentofacial Orthop 119(6): 594-603.
- Shin, J. S.; Oh, K. T., and Hwang, C. J. 2003. In vitro surface corrosion of stainless steel and NiTi orthodontic appliances. Aust Orthod J 19(1): 13-18.
- Shivapuja, P. K., and Berger, J. 1994. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. Am J Orthod Dentofacial Orthop 106(5): 472-480.

- Sims, A. P.; Waters, N. E., and Birnie, D. J. 1994. A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. Br J Orthod 21(4): 367-373.
- Sims, A. P.; Waters, N. E.; Birnie, D. J., and Pethybridge, R. J. 1993. A comparison 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(5): 377-385.
- Stockley, C.; Oclade, C., and Vertim, J. (1997). Friction. Sciences Dictionary. Bangkok: Thai teacher of sciences association, p. 7.
- Thorstenson, G. A., and Kusy, R. P. 2002. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. Am J Orthod Dentofacial Orthop 122(3): 295-305.
- Tidy, D. C. 1989. Frictional forces in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop 96(3): 249-254.
- Tselepis, M.; Brockhurst, P., and West, V. C. 1994. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 106(2): 131-138.
- Vaughan, J. L.; Duncanson, M. G., Jr.; Nanda, R. S., and Currier, G. F. 1995. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 107(1): 20-27.

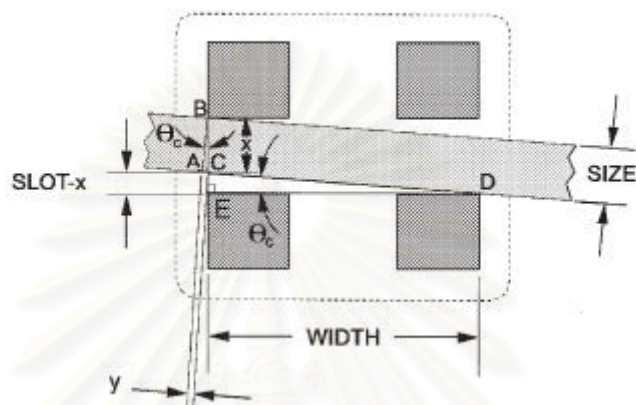


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาค่ามุมวิกฤต



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลวด ร่องแบร์ริเกต ความกว้างของ
แบร์ริเกตในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง และมุมวิกฤต (θ_c)

การหามุมวิกฤตสามารถหาได้จากสมการดังนี้ โดยดูจากรูปที่ 30

$$\tan \theta_c = \sin \theta_c / \cos \theta_c = \text{ด้านตรงข้ามมุม } \theta_c / \text{ด้านประชิดมุม } \theta_c$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม EDC มุม θ_c คือ มุม EDC

$$\tan \theta_c = \overline{EC} / \overline{ED} = (\text{slot-x}) / \text{width} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม ABC มุม θ_c คือ มุม ABC เนื่องจากเป็นสามเหลี่ยมคล้ายกับ
สามเหลี่ยม EDC

$$\begin{aligned} \cos \theta_c &= \text{size} / x \\ x &= \text{size} / \cos \theta_c \end{aligned} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อนำสมการที่ 2 มาแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้

$$\tan \theta_c = [\text{slot} - (\text{size} / \cos \theta_c)] / \text{width}$$

คูณด้วย $\cos \theta_c$ ตลอด จะได้

$$\sin \theta_c = [(\text{slot}) (\cos \theta_c) - \text{size}] / \text{width}$$

คูณด้วย width ตลอด จะได้

$$(\sin \theta_c) (\text{width}) = [(\text{slot}) (\cos \theta_c)] - \text{size}$$

$$\text{size} = [(\text{slot}) (\cos \theta_c)] - [(\text{width}) (\sin \theta_c)]$$

หารด้วย slot ตลอด จะได้

$$\text{size} / \text{slot} = \cos \theta_c - [(\text{width} / \text{slot}) (\sin \theta_c)] \quad \text{สมการที่ 3}$$

กรณีที่มุม θ_c น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 องศา $\sin \theta_c \approx \pi \theta_c / 180$ และ $\cos \theta_c \approx 1$ เมื่อ

นำมาแทนค่าในสมการที่ 3 จะได้

$$\text{size} / \text{slot} = 1 - [(\text{width} / \text{slot}) (\pi \theta_c / 180)]$$

คูณด้วย slot / width โดยตลอด จะได้

$$(\text{size} / \text{slot}) (\text{slot} / \text{width}) = (\text{slot} / \text{width}) - (\pi \theta_c / 180)$$

$$[(\text{size} / \text{slot}) (\text{slot} / \text{width})] - (\text{slot} / \text{width}) = -\pi \theta_c / 180$$

$$\theta_c = (180 / \pi) [-(\text{size} / \text{slot}) (\text{slot} / \text{width}) + (\text{slot} / \text{width})]$$

$$\theta_c = (180 / \pi) (\text{slot} / \text{width}) [-(\text{size} / \text{slot}) + 1]$$

$$\theta_c = \frac{(180 / \pi) [1 - (\text{size} / \text{slot})]}{(\text{width} / \text{slot})}$$

$$\theta_c = \frac{57.3 [1 - (\text{size} / \text{slot})]}{(\text{width} / \text{slot})}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์ริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรอฟสเมอร်นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Degree			friction
0	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.8046290
		Std. Deviation	.18055209
	Most Extreme Differences	Absolute	.167
		Positive	.167
		Negative	-.157
	Kolmogorov-Smirnov Z		.528
Asymp. Sig. (2-tailed)		.943	
1	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.8982820
		Std. Deviation	.22389631
	Most Extreme Differences	Absolute	.228
		Positive	.228
		Negative	-.129
	Kolmogorov-Smirnov Z		.721
Asymp. Sig. (2-tailed)		.676	
2	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1.2104200
		Std. Deviation	.65643856
	Most Extreme Differences	Absolute	.294
		Positive	.294
		Negative	-.260
	Kolmogorov-Smirnov Z		.930
Asymp. Sig. (2-tailed)		.352	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลอลอยแรงปานกลาง โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรอฟสมอร์นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Degree		friction	
0	N	10	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.7039000
		Std. Deviation	.15444341
	Most Extreme Differences	Absolute	.195
		Positive	.195
		Negative	-.114
	Kolmogorov-Smirnov Z		.618
Asymp. Sig. (2-tailed)		.840	
1	N	10	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.9079500
		Std. Deviation	.19784475
	Most Extreme Differences	Absolute	.213
		Positive	.213
		Negative	-.113
	Kolmogorov-Smirnov Z		.672
Asymp. Sig. (2-tailed)		.757	
2	N	10	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1.2634800
		Std. Deviation	.47439060
	Most Extreme Differences	Absolute	.291
		Positive	.291
		Negative	-.145
	Kolmogorov-Smirnov Z		.922
Asymp. Sig. (2-tailed)		.364	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก โดยใช้การทดสอบสถิติวันแชมเปิลโคลโมโกรอฟสมอร์นอฟที่ระดับนัยสำคัญ .05

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Degree			friction	
1	N		10	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.8931000	
		Std. Deviation	.11251316	
	Most Extreme Differences	Absolute	.170	
		Positive	.099	
		Negative	-.170	
	Kolmogorov-Smirnov Z		.538	
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.934	
	2	N		10
		Normal Parameters(a,b)	Mean	.9264000
Std. Deviation			.25420691	
Most Extreme Differences		Absolute	.227	
		Positive	.227	
		Negative	-.110	
Kolmogorov-Smirnov Z			.719	
Asymp. Sig. (2-tailed)			.680	
		N		10
		Normal Parameters(a,b)	Mean	1.3061700
	Std. Deviation		.55620143	
	Most Extreme Differences	Absolute	.281	
		Positive	.281	
		Negative	-.203	
	Kolmogorov-Smirnov Z		.890	
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.407	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานระหว่างแบร์กเกต เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสอีอันนีดีว โดยใช้การทดสอบสถิติวันแซมเปิลโคโลโมโกรอฟ สเมอ์รโนฟ ที่ระดับนัยสำคัญ .05

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Degree		friction	
0	N	10	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	.8442000
		Std. Deviation	.18155917
	Most Extreme Differences	Absolute	.144
		Positive	.137
		Negative	-.144
	Kolmogorov-Smirnov Z	.454	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.986	
	1	N	10
Normal Parameters(a,b)		Mean	1.0094200
		Std. Deviation	.18448190
Most Extreme Differences		Absolute	.232
		Positive	.176
		Negative	-.232
Kolmogorov-Smirnov Z		.735	
Asymp. Sig. (2-tailed)		.653	
2		N	10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1.3484660
		Std. Deviation	.38353805
	Most Extreme Differences	Absolute	.166
		Positive	.166
		Negative	-.138
	Kolmogorov-Smirnov Z	.524	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.946	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกต และลวด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางที่ระดับนัยสำคัญ .05

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: friction

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.136(a)	11	.467	3.995	.000
Intercept	122.340	1	122.340	1046.815	.000
DEGREE	4.761	2	2.380	20.369	.000
WIRE	.254	3	.085	.725	.539
DEGREE* WIRE	.121	6	.020	.172	.984
Error	12.622	108	.117		
Total	140.098	120			
Corrected Total	17.758	119			

a. R Squared = .289 (Adjusted R Squared = .217)

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างโดยแยกตามชนิดลวด

Test of Homogeneity of Variances

friction

Type of wire	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
SS	3.945	2	27	.031
mediumNiTi	4.963	2	27	.015
heavyNiTi	3.332	2	27	.051
TMA	5.407	2	27	.011

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิชที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง

Robust Tests of Equality of Means

friction

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	2.637	2	12.546	.111

a Asymptotically F distributed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลรอยแรงปานกลาง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิทที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง

Robust Tests of Equality of Means

friction				
	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	8.352	2	14.156	.004

a Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลรอยแรงปานกลางเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ที่ทุที่ระดับนัยสำคัญ .05

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: friction

Tamhane

(I) Degree	(J) Degree	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	-.2040500	.07936959	.058	-.4141285	.0060285
	2	-.5595800(*)	.15776540	.014	-1.0037887	-.1153713
1	0	.2040500	.07936959	.058	-.0060285	.4141285
	2	-.3555300	.16253891	.140	-.8055828	.0945228
2	0	.5595800(*)	.15776540	.014	.1153713	1.0037887
	1	.3555300	.16253891	.140	-.0945228	.8055828

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

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบพาราเมตริกที่ระดับนัยสำคัญ .05

ANOVA

friction

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.053	2	.527	4.086	.028
Within Groups	3.480	27	.129		
Total	4.533	29			

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมากเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนบนเฟอร์โรนีที่ระดับนัยสำคัญ .05

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: friction

Bonferroni

(I) Degree	(J) Degree	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	-.0333000	.16054914	1.000	-.4430951	.3764951
	2	-.4130700(*)	.16054914	.048	-.8228651	-.0032749
1	0	.0333000	.16054914	1.000	-.3764951	.4430951
	2	-.3797700	.16054914	.076	-.7895651	.0300251
2	0	.4130700(*)	.16054914	.048	.0032749	.8228651
	1	.3797700	.16054914	.076	-.0300251	.7895651

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

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสอีอันนีดิว โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบบราวน์ฟอร์ซิชที่ระดับนัยสำคัญ .05 เนื่องจากมีความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง

Robust Tests of Equality of Means

friction

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	9.261	2	17.273	.002

a Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร์กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและลวดที่เอ็มเอสอีอันนีดิวเมื่อมุมกระทำระหว่างแบร์กเกตและลวดต่างกัน โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮนส์ทีทูที่ระดับนัยสำคัญ .05

Multiple Comparisons

Dependent Variable: friction

Tamhane

(I) Degree	(J) Degree	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	-.1652200	.08185188	.166	-.3805851	.0501451
	2	-.5042660(*)	.13418836	.007	-.8722031	-.1363289
1	0	.1652200	.08185188	.166	-.0501451	.3805851
	2	-.3390460	.13458640	.075	-.7076075	.0295155
2	0	.5042660(*)	.13418836	.007	.1363289	.8722031
	1	.3390460	.13458640	.075	-.0295155	.7076075

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

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของการบันทึกข้อมูลของขนาดแรงเสียดทานสถิตครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งห่างกัน 1 สัปดาห์

Correlations

		friction	friction1wk after
friction	Pearson Correlation	1	.997(**)
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	120	120
Friction after1wk	Pearson Correlation	.997(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	120	120

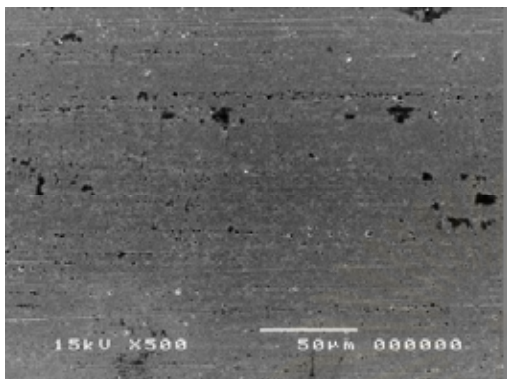
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของขนาดแรงเสียดทานสถิตเมื่อทำการบันทึกขนาดแรงเสียดทานสถิตครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 โดยการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่สัมพันธ์กัน

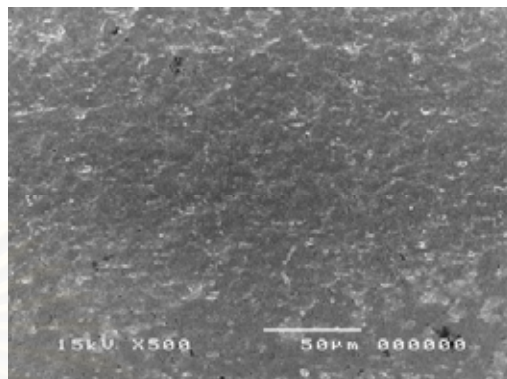
Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	friction – friction1wk after	-.00152	.029850	.002725	-.00692	.00387	-.559	119	.577

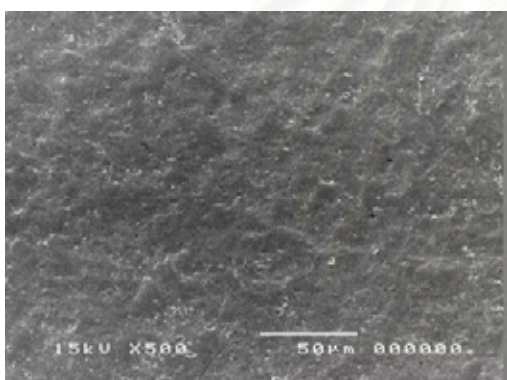
ภาคผนวก ค



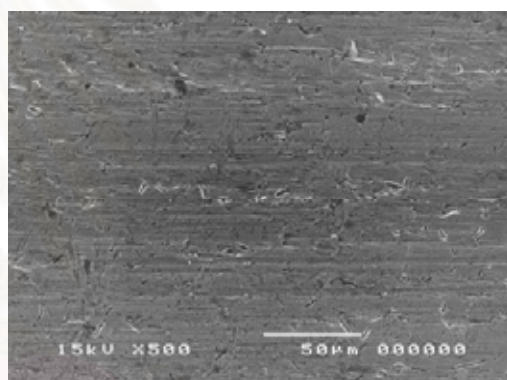
ลวดเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม



ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงปานกลาง



ลวดนิกเกิลไทเทเนียมเซนต์ลลอยแรงมาก



ลวดทีเอ็มเอสอีฮันนีดีว

รูปที่ 31 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของลวดที่นำมาทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ร้อยโทหญิง พรเพชร หรุจิตรวัฒนา เกิดวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2547 จากนั้นเข้ารับราชการเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลค่ายศรีสองรัก จังหวัดเลย เป็นเวลา 2 ปี และย้ายไปประจำที่โรงพยาบาลค่ายภานุรังษี จังหวัดราชบุรี จนกระทั่งเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย