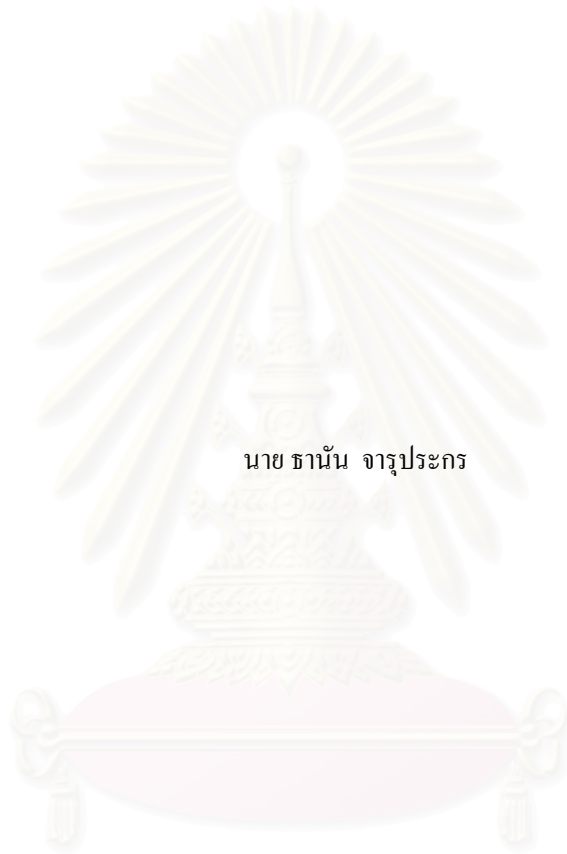


การศึกษาแรงกดดันหน้าล่างของลวดโค้งรูปโค้งสปริงกลับทางต่างชนิด



นาย ชานัน จารุประกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

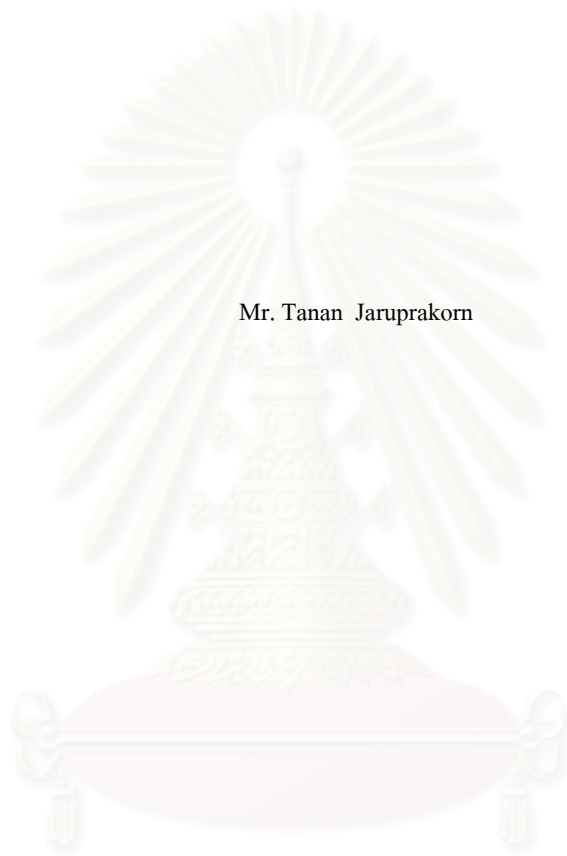
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0368-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF INTRUSIVE FORCE ON LOWER ANTERIOR TEETH PRODUCED BY  
VARIOUS TYPES OF REVERSE CURVE ARCHWIRE



Mr. Tanan Jaruprakorn

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Orthodontics

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0368-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาแรงกดดันหน้าล่างของลวดโค้งรูปโค้งสปริงกลับทางต่างชนิด

โดย นาย ธานี จารุประกร

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กนก สรเทศน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ชาตรี แก้วสุริยธำรง)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง จินตนา ศิริชุมพันธ์)

ชานัน จารุประกร : การศึกษาแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งรูปโค้งสปีกกลับทางต่างชนิด

(A STUDY OF INTRUSIVE FORCE ON LOWER ANTERIOR TEETH PRODUCED BY VARIOUS TYPES OF REVERSE CURVE ARCHWIRE) อ.ที่ปรึกษา ศศ.ทพ.วัชร เพชรคุปต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม อ.ทพ.ดร.ชาติ แก้วสุริยธำรง ; 73 หน้า. ISBN 974-17-0368-6

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดขนาดแรงกดฟันหน้าล่าง และเปรียบเทียบแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง (Ormco) และลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง (Ormco) โดยมีสมมุติฐานของการวิจัยว่าลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางและลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง มีขนาดแรงกดฟันหน้าล่างแตกต่างกัน

กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มแบบไม่เฉพาะเจาะจงแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ลวดในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง (Ormco) ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง (Ormco) ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว กลุ่มละ 30 เส้น รวมทั้งหมด 120 เส้น นำมาวัดค่าแรงกดฟันหน้าล่างใช้เครื่องลดยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาซิน รุ่น LR 10K โดยจำลองลักษณะการใช้งานจริงในขากรรไกรล่างด้วยแบบจำลองขากรรไกรล่างที่ทำจากเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนและฟันปลอมที่ทำจากยางอีพอกซีหือ Major Dent ซึ่ฟันตัดล่างซี่กลางและฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวา การให้แรงกดฟันหน้าล่างใช้กลไก “2 by 4” วัดแรงกดฟันหน้าล่างและแปลผลเป็นกราฟโหลด-ดีเฟล็กชัน จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งในไทและลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางที่มีขนาดและลักษณะหน้าตัดต่างกัน ทำการวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance : ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และถ้าผลวิเคราะห์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงทดสอบเป็นรายคู่ด้วยวิธีการของ Tukey test ที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0.7

ผลการวิจัยสรุปว่าค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว วัดที่ระนาบอ้างอิงและที่ความสูง 2, 4, 6 มม.เหนือระนาบอ้างอิงมีค่าเป็นช่วงดังนี้ 0.21-0.25, 0.29-0.35, 0.56-0.69 และ 0.40-0.65 นิวตัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางแต่ละชนิดและค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยค่าแรงกดฟันหน้าล่างมากที่สุดที่ทุกระดับความสูงที่ศึกษารองลงมาได้แก่ ลวดโค้งที่เอมเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 และ 0.016 นิ้วตามลำดับ และค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างที่วัดได้ในลวดชนิดเดียวกัน ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม.เหนือระนาบอ้างอิง และที่ระนาบอ้างอิงมีค่าลดลงตามลำดับและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นในลวดโค้งในไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างที่วัดได้ที่ระดับ 2 มม.เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง

ภาควิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา...2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 427 61102 32 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD : INTRUSIVE FORCE / REVERSE CURVE / ARCHWIRE

TANAN JARUPRAKORN : A STUDY OF INTRUSIVE FORCES ON THE LOWER ANTERIOR TEETH PRODUCED BY VARIOUS TYPES OF REVERSE CURVE ARCHWIRE. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. VACHARA PHETCHARAKUPT , THESIS COADVISOR : CHATRI KAEWSURIYATHUMRONG,Ph.D. 73 pp. ISBN 974-17-0368-6

The purpose of the present study was to measure the intrusive forces on the lower anterior teeth exerted by the reverse curve Ni-Ti (Ormco) and the reverse curve TMA (Ormco) on an in vitro model.

Three different types of the reverse curve Ni-Ti, 0.016 inch, 0.018 inch and 0.016x0.022 inch, and 0.016x0.022 inch reverse curve TMA were tested. By non-purposive sampling, thirty of each groups were placed in the acrylic resin model. Intrusive force, from “2 by 4” mechanics, was measured by the Lloyd universal testing machine at the reference plane and at 2, 4, 6 mm. above the reference plane. Reported data was recorded during the unloading process to simulate the intrusive force on the lower incisors. A one way ANOVA and Tukey's test were used to evaluate the mean intrusive force differences.

Intrusive forces of 0.016 inch, 0.018 inch, and 0.016x0.022 inch reverse curve NiTi and 0.016x0.022 inch reverse curve TMA ranged 0.21-0.25, 0.29-0.35, 0.56-0.69 and 0.40-0.65 N respectively. Results showed significant difference ( $p<0.05$ ) in mean intrusive force among 0.016 inch, 0.018 inch, 0.016x0.022 inch reverse curve Ni-Ti and 0.016x0.022 inch reverse curve TMA. The 0.016x0.022 inch reverse curve Ni-Ti produced the greatest intrusive force at every level measured ( $p<0.05$ ), followed by 0.016x0.022 inch reverse curve TMA, 0.018 inch and 0.016 inch reverse curve Ni-Ti respectively. Only 0.016 inch and 0.018 inch reverse curve Ni-Ti gave relatively constant intrusive force when measured between 2 mm. above the reference plane and at the reference plane.

Department/Program..Orthodontics.....Student's signature.....

Field of study.....Orthodontics.....Advisor's signature.....

Academic year.....2001.....Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ทางด้านวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทนตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, อาจารย์ทนตแพทย์ ดร.ชาตรี แก้วสุริยธำรง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และอาจารย์ในภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์, ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมูลนิธิทันตกรรมจัดฟันแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนด้านเงินอุดหนุนการวิจัย, รองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องลอยคีย์นิเวอร์แซลเทสตั้งมาชิน, อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำด้านการวิเคราะห์ทางสถิติ และ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทนตแพทย์หญิง จินตนา สิริชุมพันธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ Mr.Collins Matheson บริษัทออร์มโก้ คอร์ปอเรชั่น สหรัฐอเมริกา และบริษัทแอกคอร์ดคอร์ปอเรชั่น สำหรับวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณคุณณัฐวุฒิ ธรรมศิริ สำหรับความช่วยเหลือในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ การทำสไลด์และความช่วยเหลือในทุกด้านตลอดการทำวิทยานิพนธ์ และ ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คุณความดีจากงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชานัน จารุประกร

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.7 ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย.....	5
1.8 คำจำกัดความ.....	6
2. วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 โคลงสี่.....	8
2.2 โคลงสี่ลิลิต.....	10
2.3 การแก้ไขโคลงสี่.....	10
- ไบท์เพลง.....	10
- คอนทินิวอัสอาร์ชไวร์.....	11
- แองเคอร์เบน.....	13
- ยูทิลิตี้อาร์ช.....	13
- อินทรีฟีพาร์ช.....	16
2.4 ผลกระทบจากการแก้ไขโคลงสี่.....	18
2.5 โลหะไทเทเนียม.....	22

บทที่	
2.6 การดลุมแร่ไทเทเนียม.....	23
2.7 โลหะนิกเกิล.....	23
2.8 การดลุมแร่ นิกเกิล.....	24
2.9 ลวดนิกเกิลไทเทเนียม.....	25
2.10 คุณสมบัติจำรูป.....	26
2.11 คุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด.....	27
2.12 การแก้ไขโค้งสปีด้วยลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียม.....	29
2.13 เบตาไทเทเนียม.....	30
2.14 การเชื่อมลวดเบตาไทเทเนียม.....	32
2.15 ความเสียดทานระหว่างลวดจัดฟันและแบรคเก็ต.....	35
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	38
3.1 ประชากร.....	38
3.2 กลุ่มตัวอย่าง.....	38
3.3 การรวบรวมข้อมูล.....	38
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	39
3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	41
3.6 ตัวแปรของการวิจัย.....	46
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	56
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับลวดขนาดต่างๆ เมื่อใช้กับเครื่อง welder ของบริษัท Rocky Mountain รุ่น 506A	34
ตารางที่ 2	ค่าความเสียดทานเฉลี่ยระหว่างลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวด โคบอลต์โครเมียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียม กับแบร็กเก็ต 3 ชนิด	36
ตารางที่ 3	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวด ไค้งไนไทและลวด ไค้งทีเอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูป ไค้งสปีกกลับทางชนิดต่างๆ (หน่วยเป็นนิวตัน)	48
ตารางที่ 4	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA) ของแรง กดพื้นหน้าล่างระหว่างลวด ไค้งไนไทและลวด ไค้งทีเอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูป ไค้งสปีกกลับทางชนิดต่างๆ	50
ตารางที่ 5	แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของแรงกดพื้นหน้าล่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการของ Tukey ระหว่างลวด ไค้งไนไทและลวด ไค้งทีเอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูป ไค้งสปีกกลับทางชนิดต่างๆ ที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 6, 4, 2 มม. เหนือ ระบายอ้างอิงและที่ระบายอ้างอิง	51
ตารางที่ 6	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA) ของแรง กดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูงต่างๆ ตามชนิดลวด	52
ตารางที่ 7	แสดงเปรียบเทียบความแตกต่างของแรงกดพื้นหน้าล่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการ ของ Tukey ระหว่างแรงกดพื้นหน้าที่ระดับความสูงต่างๆ 6, 4, 2 มม.เหนือ ระบายอ้างอิงและที่ระบายอ้างอิงของลวดแต่ละชนิด	53
ตารางที่ 8	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวด ไค้งไนไทและลวด ไค้งทีเอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูป ไค้งสปีกกลับทางชนิดต่างๆ (หน่วยเป็นกรัม)	56
ตารางที่ 9	แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวด ไค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูป ไค้งสปีกกลับ ทางหน้าตัดกลมขนาด 0.016 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ (หน่วยเป็นนิวตัน)	69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 10	แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนโทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับ ทางหน้าตัดกลมขนาด 0.018 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ (หน่วยเป็นนิวตัน)	70
ตารางที่ 11	แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนโทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับ ทางหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ (หน่วยเป็นนิวตัน)	71
ตารางที่ 12	แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง หน้าตัดเหลี่ยมขนาด .016x0.022 นิ้วที่ระดับความสูงต่างๆ (หน่วยเป็นนิวตัน)	72



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่	1	โค้งสี่ปี.....	8
รูปที่	2	แนวแกนของฟันในส่วนโค้งของขากรรไกรล่าง.....	9
รูปที่	3	ผลของคอนทินิวอัสอาร์ชไวร์.....	11
รูปที่	4	แองเคอร์เบนในเทคนิคเบกค์.....	13
รูปที่	5	ลักษณะและส่วนประกอบของยูทิลิตี้อาร์ช.....	14
รูปที่	6	ยูทิลิตี้อาร์ชในขากรรไกรล่าง.....	14
รูปที่	7	การตัดแปลงยูทิลิตี้อาร์ช.....	15
รูปที่	8	จุดออกแรงที่แบรกเก็ที่อยู่ด้านริมฝีปากต่อจุดศูนย์กลางความต้านทาน.....	15
รูปที่	9	อินทรีชีฟอาร์ช.....	17
รูปที่	10	ส่วนโค้งแบบ Cantenary.....	19
รูปที่	11	ส่วนโค้งแบบ Bonwill-Hawley.....	19
รูปที่	12	ส่วนโค้งสี่ปีมีลักษณะคล้ายริบบิ้น.....	19
รูปที่	13	โค้งสี่ปีเมื่อคลี่ออก.....	20
รูปที่	14	ความยาวส่วนโค้งแนวฟันที่เพิ่มขึ้นจากการตั้งฟันกราม.....	20
รูปที่	15	การปรับระดับฟันเมื่อฟันกรามตั้งตรง.....	21
รูปที่	16	ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เปลี่ยนแปลงจากการแก้ไขโค้งสี่ปี.....	21
รูปที่	17	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเครียดและหน่วยแรงเค้น.....	27
รูปที่	18	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์จากการตัดและการเปลี่ยน.....	28
		รูปร่าง	
รูปที่	19	การเชื่อมแบบเป็นจุด.....	33
รูปที่	20	การฝังตัวเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงกด.....	33
รูปที่	21	การฝังตัวของตะขอลงในลวด.....	33
รูปที่	22	จุดเชื่อมที่สมบูรณ์.....	35
รูปที่	23	ลวดโค้งในไทและลวดโค้งที่เอื้ออำนวยขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสี่ปีกลับทาง.....	39
รูปที่	24	ลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน.....	40
รูปที่	25	ค้อนน้ำหนักขนาด 5 นิวตัน.....	40
รูปที่	26	ฟันปลอมและซี่ฟันจำลองขากรรไกรล่าง.....	41
รูปที่	27	ระนาบอ้างอิง.....	42
รูปที่	28	ปลายลวดด้านไกลกลางชิ้นเลขขอบหลังของบัคคัลทิวปี.....	43

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่	29	ส่วนหน้าของหลอดโคมที่ตั้งอยู่ในตะขอที่ระนาบอ้างอิง.....	43
รูปที่	30	ก่อนเริ่มเคลื่อนตุ้มน้ำหนักในแนวตั้ง.....	44
รูปที่	31	เมื่อตุ้มน้ำหนักและตะขออยู่ที่ระดับ 6 มม.เหนือระนาบอ้างอิง.....	45
รูปที่	32	ตุ้มน้ำหนักและตะขอที่ระนาบอ้างอิง.....	45
รูปที่	33	แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่าง.....	49
รูปที่	34	ลักษณะความโค้งของโค้งสปริงกลับทางที่ต่างกัน.....	58
รูปที่	35	ปริมาณพื้นที่ผิวรากฟันภาคตัดขวาง.....	59



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน การปรับลดระดับฟันหน้าล่าง หรือการปรับลดระดับโค้งสปี (curve of Spee) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการแก้ไขภาวะสบลึก (deep overbite) ซึ่งพบได้ในผู้ป่วยที่มีการสบฟันผิดปกติทั้งประเภท Angle classification I, II หรือ III<sup>1</sup> โดยมีสาเหตุจากความไม่สมดุลของแรงในบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง<sup>2</sup> และมีความจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขตั้งแต่ขั้นตอนแรกๆของการรักษา เพื่อให้สามารถดำเนินการรักษาขั้นต่อไปได้อย่างสะดวก

ได้มีการพยายามพัฒนาเทคนิค อุปกรณ์ รวมถึงลักษณะการให้แรงกระทำในรูปแบบต่างๆ กันเพื่อปรับลดระดับหรือกดฟันหน้าล่าง (intrusion) ตัวอย่างเช่น การใช้เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดถอดได้ (removable appliance) ซึ่งมีแอนทีเรียไบท์เพลน (anterior bite plane) ในขากรรไกรบน เมื่อสบฟันจะมีเพียงปลายฟันหน้าล่างเท่านั้นที่สัมผัสกับแอนทีเรียไบท์เพลน ทำให้เกิดแรงกดต่อฟันหน้าล่างและเกิดการงอกของฟันหลังล่าง (extrusion) ร่วมกับการสร้างตัวของส่วนยื่นเข้าฟัน (alveolar process)

นอกจากนี้ยังมีการใช้เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่น (fixed appliance) ร่วมกับการใช้ลวดโค้ง (archwire) ลักษณะต่างๆ เช่น การดัดโค้งสวீฟ (sweep curve) หรือโค้งสปีกลับทาง (reverse curve of Spee) ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรือ ลวดเบตาไทเทเนียม (beta-titanium) ในเทคนิคเอชไวส์ (Edgewise technic) การดัดยูทิลิตี้อาร์ช (Utility arch) ด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหรือลวดเบตาไทเทเนียม ในเทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟ (Bioprogressive technic) หรือ การดัดแองเคอร์เบน (Anchor bend) ในเทคนิคเบกก์ (Begg technic) เป็นต้น ตลอดจนการทำเทคนิคเซ็กเมนต์เด็คเคอร์ช (Segmented arch technic) โดยใช้ลวดโค้งเพียงช่วงสั้นๆ เช่น อินทรูซีฟอาร์ช (Intrusive Arch) เพื่อกดเฉพาะฟันหน้า 4 หรือ 6 ซี่ โดยจำกัดผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ต่อฟันซี่อื่นในขากรรไกรให้น้อยที่สุด

การพัฒนาทางทันตวัสดุศาสตร์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลิตวัสดุใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติดียิ่งขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานแก่ทันตแพทย์ โดยในปีค.ศ. 1971 Andreasen และ Hillman<sup>3</sup> เป็นคนกลุ่มแรกที่นำลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน ด้วยคุณสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น (elasticity) และความทนทานต่อการกัดกร่อน (corrosion resistance) แนวคิดของ Andreasen และ Hillman นับเป็นแรงผลักดันให้มีการวิจัยและพัฒนา

ลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กันออกมาใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน ใน ปี ค.ศ.1986 Miura และคณะ<sup>4</sup> ได้นำเสนอลวดไนไทของญี่ปุ่น (Japanese Ni-Ti) ซึ่งมีความสามารถในการคืนกลับสูง (high springback) มีคุณสมบัติจำรูป (shape memory) และมีความยืดหยุ่นยิ่งยวด (superelasticity)

ลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมแม้จะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปก็สามารถคืนตัวสู่รูปร่างเดิมได้เมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม เนื่องจากมีคุณสมบัติจำรูปที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพันธะระหว่างอะตอม (atomic bond) ระหว่างวัฏภาคมาร์เทนไซต์ (martensitic phase) กับวัฏภาคออสเทนไนต์ (austenitic phase) ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค (transition temperature)<sup>5</sup>

ส่วนความยืดหยุ่นยิ่งยวดเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อลวดถูกทำให้เปลี่ยนรูปร่างเกิดความเค้นในเส้นลวด ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีระดับค่อนข้างที่ ในทำนองเดียวกันเมื่อปล่อยให้ลวดคืนตัว ก็จะทำให้แรงที่มีระดับค่อนข้างคงที่ด้วยเช่นกัน เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและหน่วยแรงเครียด (stress-strain curve) จะสังเกตเห็นช่วงกราฟที่เป็นแนวราบสม่ำเสมอ หรือ พลาโต (plateau) ลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมจึงสามารถให้แรงกระทำขนาดต่ำๆอย่างต่อเนื่อง (light continuous force) ได้เป็นระยะเวลายาวนาน โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนลวดโค้งเส้นใหม่บ่อยๆ จึงเหมาะสมต่อการเคลื่อนฟันในทุกลักษณะรวมถึงการลดระดับหรือกดฟันหน้าล่าง (intrusion) ด้วย

เนื่องจากการดัดลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมให้เป็นรูปร่างทำได้ในช่วงอุณหภูมิเฉพาะ ดังนั้นในทางปฏิบัติลวดชนิดนี้จึงมักขายในลักษณะลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ (preformed archwire) ซึ่งมีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดของส่วนโค้งแนวฟัน (dental arch) ด้วยคุณสมบัติเด่นข้างต้น ลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมจึงเป็นที่นิยมในหมู่ทันตแพทย์จัดฟันแม้จะมีราคาสูงกว่าลวดชนิดเดิมๆที่เคยใช้อยู่ก่อน

คุณสมบัติที่ต้องการของลวดทางทันตกรรมจัดฟันมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานะการณ์ของการนำไปประยุกต์ใช้ Burstone<sup>6</sup> กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วต้องมียังน้อยสามประการที่สำคัญคือ มีความสามารถในการคืนกลับสูง (large springback) ความแข็งดิ่งต่ำ (low stiffness) และมีความสามารถในการขึ้นรูป (formability) ดี แม้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการดังกล่าว แต่มีความสามารถในการขึ้นรูปที่ไม่ดีนัก

เบตาไทเทเนียม (Beta titanium)<sup>7</sup> เป็นโลหะผสมไทเทเนียมอีกชนิดที่ถูกพัฒนาขึ้นจากไทเทเนียมบริสุทธิ์โดยมีระบบผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยมชนิดอัดแน่น (hexagonal close-packed) ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ทางทันตกรรมจัดฟันได้ เนื่องจากมีความสามารถในการคืนกลับ (elastic

deflection or springback) ต่ำ จนเมื่อมีการคิดค้นโลหะไทเทเนียมรูปแบบอุณหภูมิสูง (High-temperature form titanium) ขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,625 องศาฟาเรนไฮต์ ไทเทเนียมบริสุทธิ์จะมีการจัดเรียงอนุภาคใหม่ มีระบบผลึกเป็นรูปลูกบาศก์ชนิดมีหน่วยอนุภาคที่ศูนย์กลาง (body-centered cubic, BCC) หรือ วัฏภาคเบตา (beta phase) ลวดเบตาไทเทเนียมจึงมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี เหมาะแก่การนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน

Burstone และ Goldberg<sup>7,8</sup> แนะนำให้ใช้โลหะเบตาไทเทเนียมมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันโดยเขากล่าวว่า โลหะผสมชนิดนี้มีความสมดุลระหว่างคุณสมบัติที่ดีหลายประการที่ลวดทางทันตกรรมจัดฟันควรมี นอกจากความแข็งดึงต่ำ และความสามารถในการคืนกลับสูงแล้ว เบตาไทเทเนียม ยังมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี และยังเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีความสามารถในการเชื่อม (weldability) อย่างแท้จริง<sup>5</sup> เนื่องจากสามารถเชื่อม (weld) กับโลหะชนิดเดียวกันหรือเชื่อมกับโลหะอื่นได้ง่าย ทำให้นำมาใช้ในงานในทางคลินิกได้อย่างหลากหลาย

เมื่อไม่นานมานี้บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง (reverse curve of Spee arch wires) ชนิดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมและโลหะเบตาไทเทเนียม โดยมีลักษณะเป็นส่วนโค้งคว่ำเพื่อใช้ในการกดฟันหน้าล่างและยกระดับฟันหลังล่าง เพื่อแก้ไขระดับโค้งสปีกซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาขนาดแรงกดฟันหน้าล่างของลวดดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้สำหรับการรักษาผู้ป่วยต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทราบขนาดแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง
2. เพื่อเปรียบเทียบแรงกดฟันหน้าล่างของลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง

### สมมุติฐานของการวิจัย

ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง และ ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีขนาดแรงกดฟันหน้าล่างแตกต่างกัน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการเลือกใช้ลวดที่เหมาะสมในการลดระดับฟันหน้าล่างที่มีความชันของโค้งสปีต่างๆกัน
2. เป็นข้อพิจารณาในการเลือกซื้อ โดยดูจากคุณสมบัติในการให้แรงกดฟันหน้าล่างที่เหมือนหรือต่างกัน
3. เพื่อเป็นแนวทางและข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยหรือการพัฒนาคุณสมบัติของลวดต่อไป

### ขอบเขตของการวิจัย

1. การเปรียบเทียบแรงกดฟันหน้าล่างของ ลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทาง 3 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทาง 1 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ชนิดละ 30 เส้น รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 120 เส้น โดยจำลองลักษณะการใช้งานจริงในขากรรไกรล่างด้วยแบบจำลองขากรรไกรล่างที่ทำจากเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (heat curing acrylic resin) และฟันปลอมที่ทำจากยางอีพอกซี (epoxy resin) ยี่ห้อ Major Dent ที่ฟันกรามล่างซึ่งที่หนึ่งซ้ายและขวา ฟันตัดล่างซึ่งกลางซ้ายและขวา รวมเป็น 4 ซี่ มีปลอกโลหะรัดฟันกรามล่างซึ่งที่หนึ่งซ้ายและขวา พร้อมบัคคัลทิวป์ (buccal tube) ชนิด standard single tube เชื่อมติดกึ่งกลางของด้านแก้ม (buccal) ของปลอกโลหะรัดฟัน ที่ระดับความสูง 3.5 มิลลิเมตร จากด้านสบฟัน (occlusal surface) เมื่อนำลวดชนิดต่างๆที่ทำการศึกษาใส่เข้าไปในบัคคัลทิวป์แล้ว ลวดจะถูกตะขอรั้งให้สูงกว่าระนาบอ้างอิง (reference หรือ flat plane) เพื่อให้เกิดแรงกดบริเวณฟันตัดล่างซึ่งกลางด้านซ้ายและขวา จากนั้นตุ้มน้ำหนัก (load cell) และตะขอจะเคลื่อนที่ลงช้าๆ ทำการวัดระดับแรงดังกล่าวด้วยล้อยด्यूนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน (LLOYD Universal Testing Machine) รุ่น LR 10K

2. การวัดแรงกดฟันหน้าล่างในการวิจัยนี้ ใช้ล้อยด्यूนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน (LLOYD Universal Testing Machine) รุ่น LR 10K ของหน่วยวิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วัดและแปลผลเป็นกราฟโหลด-ดีฟเลกชัน(load-deflection) โดย การวิจัยใช้เวลาประมาณ 12 เดือน



### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ระนาบอ้างอิง (reference หรือ flat plane) ให้ถือเอาระดับของบุคคลทวิบาทที่ฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวาเป็นหลัก โดยจะขนานกับระนาบนอน (horizontal plane) และระนาบสบฟัน (occlusal plane)
2. ในการวัดโพลด-ดีเฟล็กชันให้เปลี่ยนลวดเส้นใหม่ทุกครั้งเพื่อป้องกันผลของการเปลี่ยนรูปถาวร (permanent deformation) ที่อาจมีผลต่อการศึกษา
3. การศึกษาทำในห้องปฏิบัติการซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้
4. การวัดแรงกดบริเวณพื้นหน้าด้วยเครื่องลอยดียูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีนจะวัดแรงกดเมื่อเส้นลวดถูกทำให้เปลี่ยนมิติในแนวตั้ง โดยไม่คำนึงถึงชนิดและขนาดหน้าตัดของลวด รวมทั้งปริมาณทอร์ค (torque) ของลวดหน้าตัดเหลี่ยม การเคลื่อนที่ของตุ้มน้ำหนักจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวตั้งเท่านั้นและให้ถือว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของลวดเป็นเส้นตรงในแนวตั้งด้วย
5. การออกแบบการวิจัยศึกษาแรงกดบริเวณพื้นหน้าล่างนี้ อาศัยระบบแรง "2 by 4" ซึ่งใช้ฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวาเป็นหลักยึด โดยให้แรงกระทำต่อพื้นหน้าล่างทั้ง 4 ซี่ ได้แก่ ฟันตัดล่างซี่กลางซ้ายและขวา และฟันตัดล่างซี่ข้างซ้ายและขวา จึงไม่ต้องคำนึงถึง ฟันเขี้ยวล่างตลอดจนฟันกรามน้อยล่างซี่ที่หนึ่งและสอง

### ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย

1. ตัวอย่างลวดชนิดเดียวกันอาจมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิจัย ดังนั้นผลของการวิจัยจึงเป็นความรู้พื้นฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานเท่านั้น
2. การศึกษากระทำในห้องทดลองซึ่งไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งอาจมีผลต่อคุณสมบัติของลวด เนื่องจากลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน
3. การวัดผลไม่ครอบคลุมถึงคุณสมบัติบางประการของลวด เช่น การกัดกร่อนของผิวโลหะของลวด ความขรุขระของผิวลวด เป็นต้น
4. การวัดผลไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างลวดชนิดหน้าตัดกลม และ ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมเนื่องจากวัดเฉพาะแรงกดพื้นหน้าล่างที่เกิดจากการเปลี่ยนมิติในแนวตั้งเท่านั้น
5. การวัดแรงกดพื้นหน้าล่าง ส่วนของตุ้มน้ำหนักสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ในแนวตั้งเป็นเส้นตรงเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงลวดเมื่อถูกทำให้เปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งจะเคลื่อนที่เป็นส่วน

โค้งของวงกลม เนื่องจากการวิจัยนี้ศึกษาการเคลื่อนที่ในระยะทางสั้นๆ จึงถือว่าเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งเป็นเส้นตรง

6. ผลของการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงถึงลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางอื่นๆ นอกเหนือจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้

7. การวัดแรงกดพื้นหน้าล่างจะวัดที่ตำแหน่งหน้าสุดของส่วนโค้งของลวดเท่านั้น เนื่องจากเครื่องลดยืดยูนิเวอร์แซลทดสอบมาซึน ( LLOYD Universal Testing Machine ) รุ่น LR 10K ของหน่วยวิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใส่ตุ้มน้ำหนักได้เพียงตำแหน่งเดียว

8. ลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีปริมาณโค้งสปีกกลับทางต่างกันเล็กน้อยโดยลวดโค้งที่เอ็มเอจะมีความโค้งน้อยกว่าเล็กน้อย แต่เป็นรูปร่างที่ขึ้นรูปสำเร็จมาจากบริษัทผู้ผลิตโดยมิได้มีการดัดแปลงรูปร่างใดๆ (as received condition)

9. การใช้งานทางคลินิกนิยมใช้ลวดโค้งรูปโค้งสปีกกลับทางในลักษณะคอนทินิวอัสอาร์ชไวร์ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ออกแบบการทดลองโดยใช้ระบบแรง “2 by 4” ผลการวิจัยจึงไม่ครอบคลุมการใช้งานในลักษณะคอนทินิวอัสอาร์ชไวร์

### คำจำกัดความ

1. โค้งสปีก (curve of Spee) คือส่วนโค้งของระนาบสบฟันลากจากปลายฟันหน้าไปตามยอดของปุ่มฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยและฟันกราม เมื่อมองในแนวหน้า-หลังจะเห็นเป็นส่วนโค้งเว้า (concavity) ในขากรรไกรล่าง และ ส่วนโค้งนูน (convexity) ในขากรรไกรบน ตั้งชื่อตาม Graf Spee (1890) ซึ่งเป็นบุคคลแรกที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างส่วนโค้งระนาบสบฟัน แนวการเคลื่อนที่ของหัวคอนดอยล์ (condylar head) และความชันของปุ่มหน้าแอ่งข้อต่อขากรรไกร (articular eminence)

2. โค้งสปีกกลับทาง (reverse curve of Spee) คือส่วนโค้งระนาบสบฟันที่มีลักษณะตรงข้ามกับโค้งสปีก คือมีลักษณะโค้งนูนในขากรรไกรล่างและโค้งเว้าในขากรรไกรบน

3. ลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ (preformed archwire) คือลวดที่ถูกเตรียมให้มีลักษณะเป็นส่วนโค้งแนวฟัน (dental arch) แล้วจากโรงงานผู้ผลิตโดยจะมีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

4. การกดฟัน (intrusion) คือการเคลื่อนที่ของฟันในแนวตั้งเข้าสู่เบ้าฟัน (tooth socket) ตามทิศทางของแนวแกนฟันเมื่อได้รับแรงกดฟัน (intrusive force)

5. แรงกดฟัน (intrusive force) คือแรงกระทำต่อฟันในทิศทางของแนวแกนฟันอันมีผลทำให้ฟันเคลื่อนเข้าสู่เบ้าฟัน

6. ความสูงของส่วนโค้งแนวฟัน (arch height) ในขากรรไกรบนคือระยะทางเมื่อวัดบนเส้นแบ่งกึ่งกลางขากรรไกรจากจุดประชิดของฟันตัดซี่กลาง (central incisor) ซ้ายและขวา ถึงเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างปุ่มฟันมีซิโอบัคคัล (mesio-buccal cusp) ของฟันกรามบนซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวา ในขากรรไกรล่างคือระยะทางเมื่อวัดบนเส้นแบ่งกึ่งกลางขากรรไกรจากจุดประชิดของฟันตัดซี่กลาง (central incisor) ซ้ายและขวา ถึงเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างร่องด้านแก้ม (buccal groove) ของฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวา

7. ความกว้างของส่วนโค้งแนวฟันบริเวณฟันหลัง (posterior arch width) คือผลรวมของระยะจากปุ่มฟันมีซิโอบัคคัลของฟันกรามบนซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวา เมื่อลากตั้งฉากกับแนวกลาง (midline หรือ median line) ของขากรรไกรบน หรือผลรวมของระยะจากจุดริมสุดทางด้านแก้มของร่องด้านแก้มของฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวาเมื่อลากตั้งฉากกับแนวกลางของขากรรไกรล่าง

8. โหลด (load) คือ แรงกระทำ

9. ดีฟเลกชัน (deflection) คือ มิติหรือระยะทางที่เปลี่ยนไปจากเดิม เช่น การกดลวดโค้งลงในแนวตั้ง เป็นต้น

10. อัตราโหลด-ดีฟเลกชัน (load-deflection rate) คืออัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยระยะทางที่ลวดจัดฟันเปลี่ยนมิติ โดยมีทั้งขณะที่ให้แรง (load) และขณะหยุดการให้แรงเพื่อให้กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น (unload) จากการทำให้เปลี่ยนมิติไป มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความสัมพันธ์ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่เปลี่ยนไป

11. การผิดรูปอย่างถาวร (permanent deformation) คือการที่ลวดจัดฟันถูกกระทำทำให้เปลี่ยนมิติไปจากเดิมจนเกินขีดยืดหยุ่น (elastic limit) และไม่สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อเอาแรงกระทำออกไป

12. การเหลื่อมแนวตั้ง (over bite) คือระยะในแนวตั้งระหว่างปลายฟันหน้าบนและปลายฟันหน้าล่างขณะสบฟันในศูนย์กลาง (centric occlusion)

13. ภาวะสบลึก (deep bite) คือภาวะที่มีค่าการเหลื่อมแนวตั้งมากกว่า 2 มิลลิเมตรเมื่อสบฟันในศูนย์กลาง

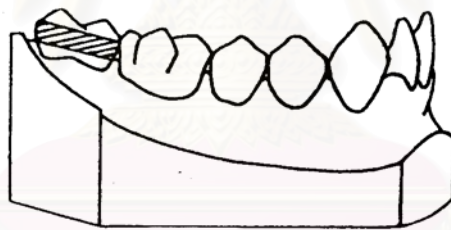
14. นิวตัน (Newton) เป็นหน่วยของแรงในมาตรา S.I. (System International D'Unite's) มีค่าเท่ากับ 102 กรัมแรงในมาตราเมตริก และ 0.225 ปอนด์แรงในมาตราอังกฤษ

## บทที่ 2

### วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

#### โค้งสปี (Curve of Spee)

ในปี ค.ศ. 1890 Graf Spee<sup>9</sup> เป็นคนแรกที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนโค้งของระนาบสบฟัน (occlusal plane) วิถีคอนดอยล์ (condylar path) และความชันของปุ่มแอ่งหน้าข้อต่อขากรรไกร (articular eminence)<sup>10</sup> เขาอธิบายว่าการเคลื่อนที่ของคอนดอยล์ไปบนปุ่มแอ่งหน้าข้อต่อขากรรไกร มีลักษณะเป็นส่วนโค้งสัมพันธ์กับส่วนโค้งของระนาบสบฟัน เมื่อมองในแนวหน้าหลัง จะสังเกตเห็นลักษณะของส่วนโค้งเว้า (concavity) ที่บริเวณฟันหลังล่าง และส่วนโค้งนูน (convexity) ที่สัมพันธ์กับบริเวณฟันหลังบน<sup>11</sup> Spee เสนอว่าถ้าลากส่วนโค้งของการสบฟันต่อขึ้นไป จะสัมผัสพอดีที่ผิวด้านหน้าของหัวคอนดอยล์ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของขากรรไกรล่างจึงมีลักษณะคล้ายลูกตุ้ม (pendulum) ที่แกว่งเป็นแนวโค้ง คอนดอยล์เคลื่อนบนส่วนโค้งของวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางไปยังระนาบสบฟัน และเนื่องจาก Spee เป็นผู้อธิบาย ส่วนโค้งของระนาบสบฟันนี้ จึงเรียกระนาบนี้ว่าโค้งสปี (Curve of Spee)

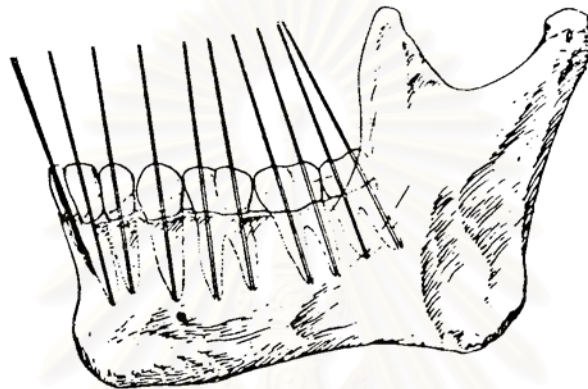


รูปที่ 1 โค้งสปี (Curve of Spee)

ทันตแพทย์สาขาทันตกรรมประดิษฐ์เป็นกลุ่มแรกที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับโค้งสปี ทั้งนี้เพื่อนำความรู้ไปใช้ในการประดิษฐ์เครื่องมือกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลอง (Articulator) ซึ่งมีความสำคัญในการทำฟันปลอม ทำให้เกิดกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลองหลายชนิด เช่น Bonwill's articulator, Walker physiologic articulator, Hanau's articulator, Hall's articulator และ Monson's articulator เป็นต้น ซึ่งแต่ละชิ้นสร้างบนหลักการที่แตกต่างกันไป

นักกายวิภาคศาสตร์และทันตแพทย์จัดฟันก็ให้ความสนใจเกี่ยวกับลักษณะการสบฟันและโค้งสปีเช่นกัน Sicher<sup>12</sup> หนึ่งในนักกายวิภาคศาสตร์ที่มีชื่อเสียงได้อธิบายว่าโค้งสปีเกิดจากการเรียงตัวของฟันแต่ละซี่บนส่วนโค้งของขากรรไกร โดยที่แนวแกนฟัน (long axis) มีทิศทางขนานกับแรงบดเคี้ยว (masticatory force) ที่ส่งผ่านไปยังกระดูกขากรรไกร ณ ตำแหน่งนั้นๆ ฟันจะอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวโดยมีความต้านทานพอเหมาะกับความดันของกล้ามเนื้อสำหรับยกขากรรไกร

ได้แก่ กล้ามเนื้อแมสเซเตอร์ (masseter muscle) กล้ามเนื้อเทมเพอรัลลิส (temporalis muscle) และกล้ามเนื้อมีเดียลเทอริกออย (medial pterygoid muscle) ในบริเวณที่แรงบดเคี้ยวมีลักษณะเฉียง จะส่งผลให้ฟันที่อยู่ในบริเวณเดียวกันนั้นมีแนวแกนที่เฉียงไปด้วย เช่นบริเวณฟันกรามจึงทำให้เกิดเป็นโค้งสบ



รูปที่ 2 แนวแกนของฟันบนส่วนโค้งของขากรรไกร<sup>11</sup>

Hemley<sup>13</sup> สนับสนุนแนวความคิดของ Sicher และยังสรุปด้วยว่าโค้งสบเกิดจากพัฒนาการอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งเป็นผลจากการทำหน้าที่หรือการเคลื่อนไหวของขากรรไกรลงนั่นเอง Wheeler<sup>14</sup> กล่าวถึงความสัมพันธ์ของรูปร่างของฟันแต่ละซี่ และแรงบดเคี้ยวว่าความยาวและรูปร่างของฟันรวมถึงมุมที่รากฟันทำกับด้านบดเคี้ยวหรือปลายฟันตัดในฟันแต่ละซี่จะมีแบบแผนเฉพาะและให้ความแข็งแรงที่พอเหมาะสามารถต้านทานแรงที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน ดังนั้นฟันทุกซี่จึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของส่วนโค้งแนวฟัน (dental arch)

นักกายวิภาคศาสตร์อย่าง Diamond<sup>15</sup> กลับมิได้ให้ความสำคัญต่อโค้งสบมากนัก เขาให้ความเห็นว่าลักษณะการสบฟันปกติไม่ได้ขึ้นอยู่กับการมีโค้งสบแบบใดแบบหนึ่ง เพราะในบางคนมีระนาบสบฟันที่แบนราบ หรือมีโค้งสบที่ชันมากกว่าปกติ ก็อาจสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

Strang<sup>2</sup> สรุปว่าโค้งสบทำให้เกิดการเหลื่อมแนวตั้ง (overbite) ของปลายฟันหน้าที่เหมาะสมเมื่อฟันหลังสบกันในศูนย์ และระนาบสบฟันที่เป็นส่วนโค้งยังเป็นแนวทางให้ขากรรไกรล่างเคลื่อนที่กลับมาสบฟันในตำแหน่งเดิมได้อย่างถูกต้องขณะเคี้ยวอาหาร รวมทั้งยังช่วยให้อาณาเขตเคี้ยวของฟันในขากรรไกรทั้งสองสัมผัสกันขณะยื่นขากรรไกรล่างออกมาทางด้านหน้า

### โค้งสปีลิก (Deep curve of Spee)

Strang<sup>2</sup> อธิบายสาเหตุของการมีโค้งสปีลิกมากกว่าปกติว่า เกิดจากความไม่สมดุลของแรงในบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง จึงเกิดแรงดันมากกว่าปกติโดยเฉพาะเมื่อฟันทุกซี่ยังมีจุดสัมผัส (contact point) กับฟันข้างเคียงที่อยู่ แรงดันนี้จะส่งผลให้ฟันหน้ายกตัวสูงขึ้น ฟันกรามน้อยโดนกดต่ำลงและฟันกรามล้มเอียงมาทางด้านใกล้กลาง Gresham<sup>16</sup> เสริมว่าโค้งสปีลิกมักพบร่วมกับฟันหน้าที่มีแนวแกนบานออกคล้ายพัด (fan-shaped incisors) ภาวะสบลึกและมีปุ่มกระดูกงอกออกมาทาง ด้านลิ้นและด้านแก้มของกระดูกเบ้าฟันของฟันหลัง

จากผลการศึกษาของ Braun และ Schmidt<sup>1</sup> ในปีค.ศ. 1956 ได้แสดงให้เห็นว่าลักษณะการมีโค้งสปีลิกไม่จำเป็นต้องเกิดร่วมกับลักษณะการสบฟันที่ผิดปกติแบบ Angle Classification II อาจพบได้ทั้งใน Class I หรือ Class III ในลักษณะเดียวกัน

### การแก้ไขโค้งสปีลิก (Deep curve of Spee correction)

การแก้ไขโค้งสปีลิกนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกดฟันหน้าเพียงอย่างเดียว (genuine intrusion) การกระตุ้นการงอกของฟันหลัง (molar extrusion) หรือการกดฟันหน้าร่วมกับ การกระตุ้นการงอกของฟันหลัง (relative intrusion) ซึ่งเป็นผลจากกลไกการให้แรงที่ต่างกัน ทันตแพทย์จัดฟันตระหนักถึงความสำคัญในการแก้ไขลักษณะโค้งสปีลิกซึ่งมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

### ไบท์เพลต (Bite plate)

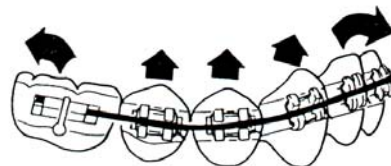
ไบท์เพลตเป็นเครื่องมือชิ้นแรกๆ ที่ Anderson<sup>17</sup> ใช้ในการแก้ไขโค้งสปีลิก เขาเชื่อว่าการมีโค้งสปีลิกและภาวะสบลึกจำเป็นต้องแก้ไขในทุกๆ กรณี ไบท์เพลตเป็นเครื่องมือจัดฟันแบบถอดได้ที่ มีระนาบอะคริลิกทางด้านเพดานต่อฟันหน้าบน เมื่อสบฟันในศูนย์จะมีเฉพาะปลายฟันหน้าล่างเท่านั้นที่สัมผัสกับระนาบนี้ ฟันหลังล่างทั้งสองข้างจะแยกห่างจากฟันบน เปิดโอกาสให้มีการงอกของฟันหลัง Oliver, Irish และ Wood<sup>18</sup> ใช้เครื่องมือลักษณะคล้ายกันรักษาผู้ป่วยที่มีลักษณะ "Closed bite" เพื่อเปิดโอกาสให้มีการเจริญในแนวตั้งของฟันหลัง Bahador และ Higley<sup>19</sup> ใช้ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง (lateral cephalograph) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ไบท์เพลต พบว่าบริเวณฟันหลังมีการเจริญและเพิ่มความสูงในแนวตั้ง โดยพบการเปลี่ยนแปลงในขากรรไกรบนมากกว่าขากรรไกรล่าง ส่วนการเปลี่ยนแปลงด้านความสูงของฟันหน้าล่างมีน้อยมาก

Moyers<sup>20</sup> สรุปว่าไบท์เพลตมิได้กดฟันหน้าให้ต่ำลง ทำได้เพียงยับยั้งการเจริญในแนวตั้งของฟันหน้าล่างและเปิดโอกาสให้ฟันหลังมีการงอกขึ้น ดังนั้นไบท์เพลตจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในผู้ป่วยที่ต้องการการกดฟันหน้าล่างเพียงอย่างเดียว Moyers และ Higley<sup>21</sup> ได้ดัดแปลงไบท์เพลตเพื่อทำให้เกิดการล้มตัวไปทางด้านไกลกลาง (distal tipping) ของฟันกรามล่างที่ล้มมาทางด้านใกล้กลาง เนื่องจากการสูญเสียฟันกรามน้ำนมก่อนเวลาอันควร Carey ใช้ไบท์เพลตในลักษณะเดียวกันผลึก (tip) ฟันกรามไปทางด้านไกลกลาง เพื่อให้เกิดลักษณะ “toe hold anchorage”

การใช้เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นเพื่อแก้ไขโค้งสปีและภาวะสบลึกเป็นที่นิยมปฏิบัติกันมานานแล้ว ในปี ค.ศ. 1941 McCoy<sup>22</sup> ได้อธิบายการใช้ลวดโค้ง (arch wire) ในการแก้ไขโค้งสปีและภาวะสบลึกโดยเมื่อนำลวดโค้งมาใส่ในบัพคัลทิวิบของฟันกรามแล้วปล่อยให้อยู่ในลักษณะไม่มีแรงกระทำ ส่วนหน้าของลวดโค้งจะอยู่ต่ำกว่าระดับขอบเหงือกของฟันหน้า ดังนั้นเมื่อรั้งลวดโค้งขึ้นมาสู่ระดับแบรกก์ฟันหน้าจะถูกกดลง ขณะเดียวกันจะมีแรงปฏิกิริยาผลึกฟันกรามล่างไปทางด้านไกลกลาง ได้ผลเป็นการตั้งฟันกรามซึ่งเดิมล้มมาทางด้านใกล้กลางด้วย Johnson<sup>23</sup> ใช้ลวดโค้ง 2 เส้น (twin wire mechanics) รักษาผู้ป่วยที่มีลักษณะ Class II, div 2. Salzmann<sup>24</sup> อธิบายถึงการ twin wire mechanics ว่าเป็นการใช้ลวดโค้ง 2 เส้น ใส่ในบัพคัลทิวิบของฟันกราม ในขณะที่ไม่มีแรงกระทำลวดโค้งทั้งสองจะอยู่ทางด้านเหงือก (gingival) ต่อฟันและเมื่อใช้งานให้นำมาคล้องตัวลอคที่ติดไว้กับปลอกโลหะรัดฟันของฟันหน้า ผลก็คือฟันหน้าจะถูกกดลง และฟันกรามที่ล้มทางด้านใกล้กลางจะถูกตั้งขึ้น

#### คอนทิวนิวอัสอาร์ชไวร์(Continuous Arch Wire)

เทคนิคเอชไวส์ใช้คอนทิวนิวอัสอาร์ชไวร์ที่เป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหน้าตัดกลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว ถึง 0.022 นิ้ว ในการปรับระดับฟันในส่วนโค้งแนวฟัน ดังเช่น Strang<sup>2</sup> เขียนไว้ใน A Textbook of Orthodontia และใน Clinical Orthodontics ของ Fracher<sup>25</sup> Strang กล่าวว่าเทคนิคเอชไวส์เหมาะกับการแก้ไขโค้งสปีที่มีลักษณะของฟันหน้าสูงร่วมกับฟันหลังที่อยู่ต่ำกว่าระนาบปกติ เพราะจะเกิดการล้มตัวไปทางด้านไกลกลางของฟันกราม ฟันกรามน้อยยกตัวสูงขึ้น และ ฟันหน้าลดระดับลงสู่ระนาบเดียวกัน เป็นลักษณะที่เรียกว่า “relative intrusion”



รูปที่ 3 ผลของคอนทิวนิวอัสอาร์ชไวร์ในการแก้ไขโค้งสปีลึก<sup>24</sup>

Strang ยังเชื่อกับว่า ฟันกรามล่างซี่ที่สอง มีความสำคัญมากในการแก้ไขโค้งสบที่ลึกมาก ผิดปกติ เพราะฟันกรามล่างซี่ที่สองอยู่ในระดับที่สูงกว่าฟันกรามล่างซี่แรก การผลัดฟันกรามล่างซี่ที่สองไปทางด้านไกลกลางทำให้เกิดแรงมหาศาลที่ฟันกรามน้อยหรือแม้แต่ที่ฟันกรามซี่แรก การผลัดฟันกรามไปทางด้านไกลกลางเป็นการเตรียมฟันหลัก (anchorage) ให้แก่การรักษาในขั้นต่อไปเพื่อต้านทานแรงจากฟันหน้า Tweed<sup>25,26</sup> แนะนำให้เตรียมฟันกรามเพื่อเป็นฟันหลักด้วยวิธีการปรับระดับฟัน (leveling) ดังกล่าว ซึ่งจะมีผลพลอยได้ในกาแก้ไขโค้งสบด้วย

ในผู้ป่วยที่มีโค้งสบที่ลึกมาก อาจเพิ่มประสิทธิภาพของลวดโค้งโดยการทำโค้งสบในลวดโค้งของขากรรไกรบนและทำโค้งสบกลับทางในลวดโค้งของขากรรไกรล่าง และเปลี่ยนขนาดของลวดโค้งให้ใหญ่ขึ้น Proffit<sup>27</sup> แนะนำว่าในระบบแบรคเก็ตที่มีขนาดร่องกว้าง 0.018 นิ้ว ใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว ร่วมกับการทำโค้งสบในขากรรไกรบน และโค้งสบกลับทางในขากรรไกรล่างในการแก้ไขโค้งสบ สำหรับผู้ป่วยที่หมดการเจริญเติบโตแล้วอาจต้องใช้ลวดขนาดใหญ่กว่า 0.016 นิ้ว และควรใส่ auxillary leveling arch ที่ทำจากลวดลวดเหล็กกล้าไร้สนิม หรือลวดเบตาไทเทเนียมหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.017 \times 0.025$  นิ้วด้วย เพื่อผลการรักษาที่รวดเร็ว โดยนำ auxillary arch ใส่ใน auxillary tube ที่ฟันกราม และผูกส่วนหน้าของลวดโค้งไว้ใต้ลวดโค้งเส้นหลัก (main arch) ซึ่งจะช่วยกดบริเวณฟันหน้าได้มากขึ้น เพราะผลของการใช้คอนทินิวอัสอาร์ชไว้จะยกระดับฟันกรามน้อยขึ้นสู่ระนาบสบฟัน ไม่กดฟันหน้าลงเท่าใดนัก

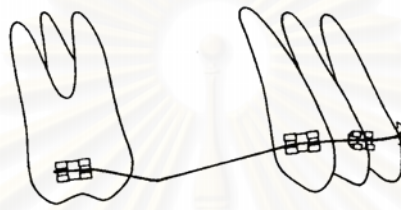
ในกรณีของโค้งสบที่จำเป็นต้องแก้ไขโดยการกดฟันหน้าล่างแต่เพียงอย่างเดียว คงไม่สามารถทำได้ด้วยการใช้คอนทินิวอัสอาร์ชไว้ด้วยเหตุผลข้างต้น ญุณแจสำคัญในการกดฟันหน้าล่างคือ การออกแรงเบาๆ ในขนาดที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง (light continuous force) โดยให้แรงผ่านตามแนวแกนฟันลงมาสู่ปลายราก ซึ่งทำได้ 2 วิธี<sup>27</sup> คือ (1) การใช้คอนทินิวอัสอาร์ชไว้ที่ทอดข้าม (bypass) ฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยว เช่น การดัดเองเคอร์เบน (Anchor Bend) ในเทคนิคเบกก์ (Begg Technic) หรือยูทิลิตี้อาร์ช (Utility Arch) ในเทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟ (Bioprogressive Technic) และ (2) การใช้เทคนิคเซ็กเมนต์ดีดอาร์ช (Segmented Arch Technic)<sup>28</sup> ลวดโค้งของฟันหน้าและฟันหลังถูกแยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิงและใช้ร่วมกับอินทิวซีฟอาร์ช (Intrusive Arch)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### แองเคอร์เบน (Anchor Bend)

ในเทคนิค เบกก์ ใช้ลวดโค้งเหล็กกล้าชนิดยืดหยุ่น เช่น ลวดออสเตรเลียเนียน (Australian wire) หน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้วใส่ในบัคคัลทิวป์ของฟันกรามและแบรคเก็ตของฟันหน้า โดยไม่ได้ยึดติดกับแบรคเก็ตของกรามน้อยเพียงคล้องไว้หลวมๆและทำแองเคอร์เบนหน้าต่อฟันกรามเล็กน้อย ทำให้เกิดแรงเบาๆกดลงที่ฟันหน้า ในขณะที่แรงปฏิกิริยาจะดึงฟันกรามขึ้นและผลักฟันกรามไปทางด้านใกล้กลางเล็กน้อย ในกรณีที่ไม่ต้องการให้ฟันกรามล้มไปมากนัก อาจใช้ยางดึงระหว่างขากรรไกร (intermaxillary elastic) ร่วมด้วย

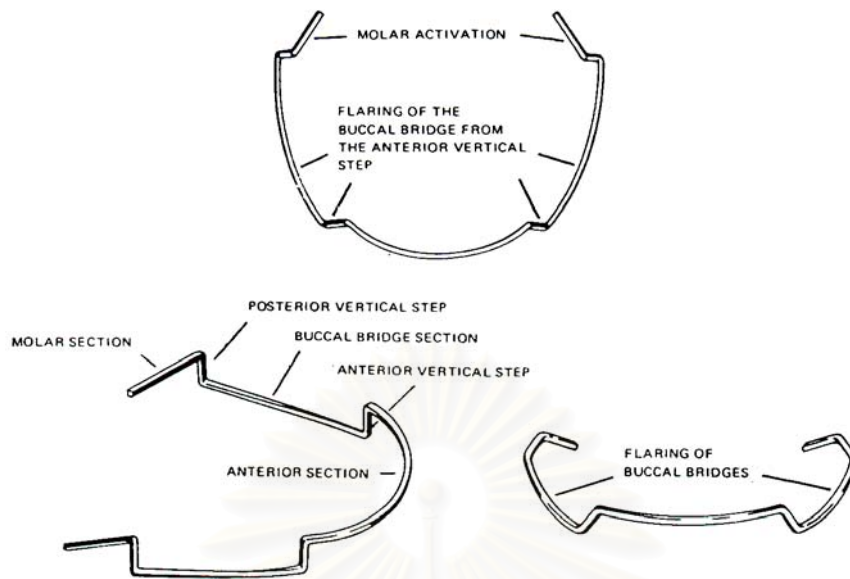


รูปที่ 4 แองเคอร์เบน (Anchor Bend) ในเทคนิค เบกก์<sup>27</sup>

### ยูทิลิตี้อาร์ช (Utility Arch)

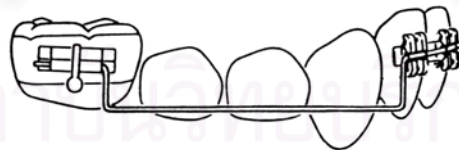
Ricketts และคณะใช้ลวดหน้าตัดกลมใส่ในบัคคัลทิวป์ของฟันกรามและในแบรคเก็ตของฟันกรามน้อย และเข้ามายันไว้กับฟันหน้าล่างขณะดึงฟันเขี้ยว เพื่อป้องกันการล้มลงของฟันกรามมาทางด้านใกล้กลางขณะดึงฟันเขี้ยวให้เคลื่อนมาทางด้านหลัง ผลที่ได้ไม่เพียงแต่ฟันกรามจะไม่ล้มแล้ว ฟันหน้ายังโดนถูกกดลงด้วย เขาจึงประยุกต์ใช้ลวดโค้งลักษณะนี้ในการกดฟันหน้าล่าง และให้ชื่อว่า "Ricketts' lower utility arch" หรือที่รู้จักกันดีว่า ยูทิลิตี้อาร์ช (Utility Arch)<sup>24</sup>

ยูทิลิตี้อาร์ช ของ Ricketts มีรูปร่างเฉพาะ ปลายทั้งสองข้างมีระดับพอดีกับบัคคัลทิวป์ของฟันกราม จากนั้นมีการลดระดับ (stepdown) ผ่านบริเวณฟันกรามน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงการกดจากแรงบิดเคี้ยวที่อาจทำให้เกิดเบี้ยวเสียรูปร่าง เรียกบริเวณนี้ว่าบัคคัลบริดจ์ (buccal bridge) ซึ่งมักผายออกทางด้านแก้มเล็กน้อยตามลักษณะกายวิภาค แล้วจึงยกระดับ (step up) อีกทีที่บริเวณฟันหน้าสู่ระดับแบรคเก็ต โดยทั่วไปยูทิลิตี้อาร์ชทำจากลวด Blue Elgiloy หน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.016 \times 0.016$  นิ้วซึ่งจะทำให้แรงกดประมาณ 50-75 กรัม<sup>24</sup> พอเหมาะในการกดฟันหน้าล่าง



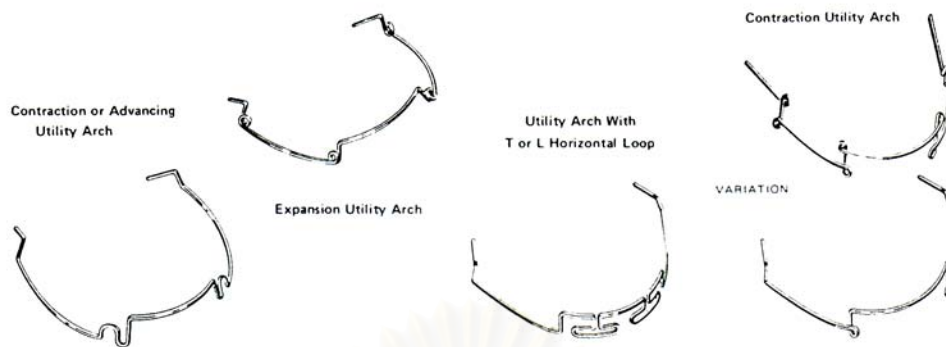
รูปที่ 5 ลักษณะและส่วนประกอบของยูทิลิตี้อาร์ช (Utility Arch)<sup>24</sup>

ยูทิลิตี้อาร์ชช่วยในการเตรียมฟันกรามเพื่อเป็นฟันหลัก โดยการปรับให้มุมเอาด้านไกลกลางเข้าไปทางด้านลึกลงเล็กน้อย และบิดรากฟันไปทางด้านแก้มเพื่อตะแคงไว้กับกระดูกทึบ (cortical bone) ของ external oblique ridge สำหรับฟันหน้ายูทิลิตี้อาร์ชสามารถกด (intrude) ยก (extrude) ดันไปทางด้านหน้า (advance) ดึงให้ถอยหลัง (retract) หรือบิดรากฟัน (torque) ได้พร้อมๆ กับการปรับระดับและแก้ไขการหมุนตัวของฟันหน้าด้วย



รูปที่ 6 ยูทิลิตี้อาร์ช (Utility Arch) ในขากรรไกรกลาง<sup>24</sup>

ยูทิลิตี้อาร์ชยังช่วยรวมฟันซี่ต่างๆ ในส่วนโค้งของขากรรไกรให้เป็นหลักยึดขณะดึงฟันเขี้ยวหรือ แก้ไขการเรียงตัวของฟันกรามน้อยได้อีกด้วย จึงสามารถใช้ร่วมกับ segmented arch mechanics นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ในช่วงฟันผสมโดยไม่ขัดขวางการขึ้นของฟันและช่วยกันเนื้อที่ไว้สำหรับฟันแท้ ยูทิลิตี้อาร์ชสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ ได้ เช่น ใช้ดึงฟันหน้าในระยะ contraction phase ใช้ขยายส่วนโค้งแนวฟัน ใช้แก้ไขการเรียงตัวของฟันหน้า เป็นต้น

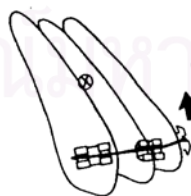


รูปที่ 7 การดัดแปลงยูทิลิตี้อาร์ชเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ<sup>24</sup>

การใช้ bypass arch system ทั้งแองเคอร์เบน และยูทิลิตี้อาร์ชมีข้อดีอยู่ 2 ประการ<sup>27</sup> คือ

1. การกดฟันหน้าใช้ฟันกรามเพียงซี่เดียวเป็นฟันหลักจึงอาจพบผลข้างเคียงคือ การยกตัวของฟันกราม ซึ่งป้องกันได้โดยการใช้ High pull headgear มาช่วยสำหรับฟันกรามบน หรือทำ stabilizing sectional arch จากฟันกรามซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่สองมาเสริมความแข็งแรงของฟันกรามล่าง

2. แรงที่ใช้กดฟันหน้ากระทำกับแบรคเก็ตที่ติดอยู่หน้าต่อจุดศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance) ของฟันทำให้แนวแกนฟันผายออกทางด้านริมฝีปาก แม้การทำแองเคอร์เบนหน้าต่อฟันกรามมีผลในการดึงฟันหน้าและฟันหลังเข้าหากัน ช่วยต้านทานการเคลื่อนตัวของฟันหน้าออกไปทางด้านริมฝีปากได้ แต่อาจพบการดึงฟันหลังให้เคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าเกิดการสูญเสียหลักยึดในฟันหลัง สำหรับยูทิลิตี้อาร์ชการใช้ลวดเหล็กช่วยบังคับแนวแกนของฟันหน้าได้ แต่อย่างไรก็ดียังคงมีแรงปฏิกิริยากระทำที่ฟันกรามเช่นกัน



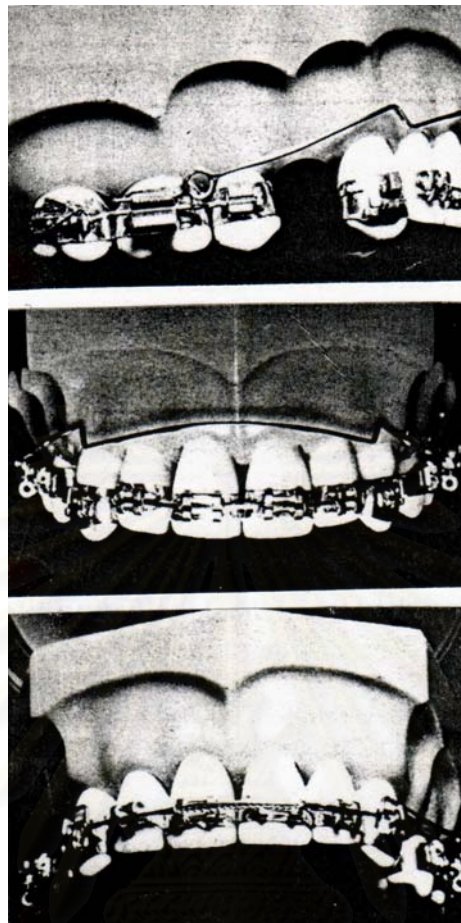
รูปที่ 8 จุดออกแรงที่แบรคเก็ตอยู่ด้านริมฝีปากต่อจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน<sup>27</sup>

### อินทรีฟีพาร์ช (Intrusive arch)

Burstone พัฒนาเทคนิคเช็กเมนต์เต็ดอาร์ช ขึ้นในปีค.ศ. 1958 โดยใช้ลวดโค้งขนาดสั้นๆ แยกแต่ละส่วนออกจากกันอย่างเด็ดขาดและบางครั้งยังใช้ลวดโค้งขนาดต่างๆกันในขากรรไกรเดียว เขาพบว่าด้วยวิธีนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ในการดึงฟันเพื่อปิดช่องว่างหรือเรียงฟันบนส่วนโค้ง แนวฟันจะส่งผลข้างเคียงต่อฟันซี่อื่นๆน้อยที่สุด ที่สำคัญคือยังสามารถกดฟันหน้าในลักษณะ genuine intrusion ได้

Burstone ให้คำจำกัดความของคำว่า intrusion<sup>29</sup> ว่าเป็นการเคลื่อนของฟันไปในทิศปลายรากฟัน ตามแนวแกนของฟัน และผ่านจุดศูนย์กลางของราก ดังนั้นการกดฟันที่มีการผายออกของแนวแกนฟันทางด้านริมฝีปากจึงไม่ใช่ genuine intrusion เขาเรียกการกดฟันลักษณะนี้ว่า pseudo-intrusion กลไกพื้นฐานในการกดฟัน<sup>29</sup> ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1. ฟันหลักที่ฟันหลัง (posterior anchorage unit) 2. ฟันหน้า (anterior segment) และ 3. อินทรีฟีพาร์ช (intrusive arch) หลังจากเรียงฟันหลังแล้ว ใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.018×0.018 นิ้ว ทำลวดยึดฟันหลัง (buccal stabilizing segment) บางกรณีอาจใช้ขนาดหน้าตัด 0.018×0.025 นิ้ว หรือ 0.021×0.025 นิ้ว ให้เต็มร่องของแบร็กเก็ตเมื่อต้องการความมั่นคงมากขึ้น ทั้งนี้ขนาดของลวดจะขึ้นอยู่กับขนาดของระบบของแบร็กเก็ตที่ใช้ว่ามีมิติเท่าใด เชื่อมฟันกรามซ้ายและขวาด้วย transpalatal arch ในขากรรไกรบน หรือ lingual arch ในขากรรไกรล่าง ที่ทำจากลวดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.036 นิ้ว หรือลวดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.032×0.032 นิ้ว เพื่อช่วยต้านทานการเคลื่อนที่ที่ไม่พึงประสงค์ของฟันหลังที่ทำหน้าที่เป็นฟันหลัก สำหรับบดคัลทิวป์ใช้แบบ 3 ช่อง (triple tube) มีช่องกลมขนาดใหญ่สำหรับใส่ headgear 2 ช่องเล็กที่เหลือคือช่องสำหรับลวดโค้งเส้นหลักและ auxillary arch หรือ auxillary spring

อินทรีฟีพาร์ช<sup>29</sup> ทำจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.018×0.025 นิ้ว โดยมีเฮลิคซ์ (helix) สองรอบครึ่ง ที่ตำแหน่งหน้าต่อบดคัลทิวป์พอดิ หรือใช้ลวดที่เอ็มเอหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.019×0.025 นิ้ว โดยไม่จำเป็นต้องทำเฮลิคซ์ เมื่อนำปลายทั้งสองข้างของอินทรีฟีพาร์ชใส่ในบดคัลทิวป์ ส่วนหน้าของอินทรีฟีพาร์ชจะอยู่ต่ำลงมาทางด้านเหงือกของฟันหน้า และเมื่อรั้งขึ้นมาที่ระดับของแบร็กเก็ตจะให้แรงกดประมาณ 15 กรัมต่อฟัน 1 ซี่



รูปที่ 9 อินทรูซีฟอาร์ช ขณะไม่มีแรงกระทำและเมื่อรั้งมาที่ระดับของแบรคเก็ต<sup>29</sup>

อินทรูซีฟอาร์ช ไม่ได้มัดเข้ากับแบรคเก็ตโดยตรง แต่จะผูกทางด้านหน้า ด้านบน หรือใต้ต่อลวดโค้งส่วนหน้าแล้วแต่การออกแบบ การป้องกันการผายออกไปทางด้านริมฝีปากของฟันหน้า ขณะที่โดนกด<sup>27</sup> ทำได้โดย 1. การมัดด้านท้ายของอินทรูซีฟอาร์ชเพื่อจำกัดระยะทาง ซึ่งอาจเกิดแรงปฏิกิริยาที่ฟันหลังได้บ้าง 2. การกำหนดจุดออกแรง (point of force application) โดยให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance) ของฟันส่วนหน้า (anterior segment) โดยกำหนดตำแหน่งที่ผูกอินทรูซีฟอาร์ชให้อยู่ระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้าง จึงจะทำให้เกิดการกดฟันในลักษณะ genuine intrusion

## ผลกระทบจากการแก้ไขโค้งสปี

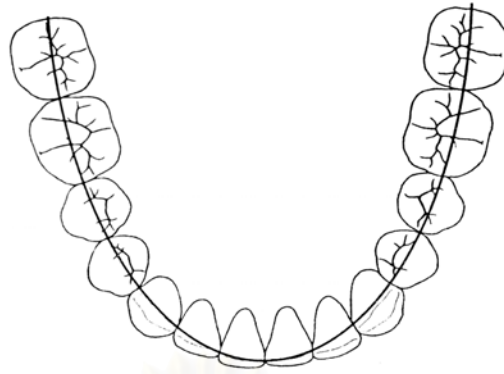
โดยทั่วไปการแก้ไขโค้งสปีและภาวะสบลึก ด้วยการปรับระดับฟัน (leveling) ด้วยคอนทินิวอัสอาร์ชไวร์หรือยูทิลิตี้อาร์ช มีจุดออกแรงจะอยู่ที่แบรกเก็ตของฟันหน้า ซึ่งอยู่หน้าต่อแนวแกนของฟัน ดังนั้นจึงมักพบการผายของแนวแกนฟันหน้าออกไปทางด้านริมฝีปากทำให้เกิดลักษณะฟันหน้ายื่น ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนโค้งแนวฟัน (arch length) โดยเฉพาะในกรณีของการจัดฟันที่ไม่มีการถอนฟัน (non-extraction case) ทันตแพทย์จัดฟันตระหนักดีถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นและได้ศึกษาถึงปริมาณของความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการแก้ไขโค้งสปีซึ่งก็คือปริมาณฟันที่ในส่วนโค้งแนวฟันที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ไขโค้งสปีนั้น การคำนวณฟันที่ดังกล่าวมีส่วนสำคัญต่อการตัดสินใจว่า ควรเคลื่อนฟันกรามถอยหลัง ควรขยายความกว้างของส่วนโค้งแนวฟัน ควรผลัดฟันหน้าหรือควรถอนฟันหรือไม่ การขาดฟันที่เพียง 2 หรือ 3 มิลลิเมตร อาจทำให้แผนการรักษาเปลี่ยนแปลงได้<sup>10</sup>

Baldrige<sup>10</sup> วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความยาวของส่วนโค้งแนวฟันในขากรรไกรล่างที่เป็นผลจากการแก้ไขโค้งสปีจาก 30 ตัวอย่างพบว่าความยาวของส่วนโค้งแนวฟันเพิ่มขึ้นตามสูตรดังนี้

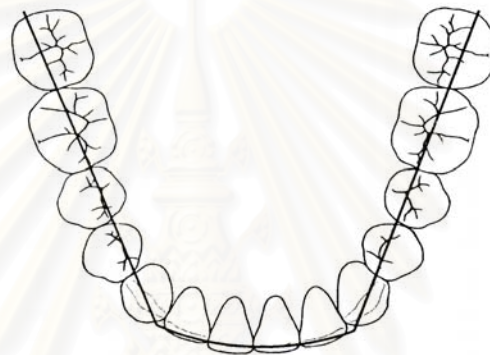
สูตรที่ 1. ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $0.1055 + 0.106705x$  โดยที่  $x$  คือผลรวมของระยะห่างระหว่างปลายฟันหรือปุ่มฟัน (cusp) ของฟันแต่ละซี่กับระนาบสบฟัน

สูตรที่ 2. ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $(-0.51) + 0.488x$  โดยที่  $x$  คือผลรวมของระยะห่างจากจากปลายฟันถึงระนาบสบฟัน ณ ตำแหน่งที่ลึกที่สุดทางซ้ายและทางขวา ซึ่งมักจะเป็นปุ่มฟันบัคคัล (buccal cusp) ของฟันกรามน้อยล่างซี่ที่สอง หรือปุ่มฟันมีซีโอบัคคัล (mesiobuccal) ของฟันกรามล่างซี่แรก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

Germane, Staggers, Rubinstein และ Revere<sup>30</sup> ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของโค้งสปีและความยาวของส่วนโค้งแนวฟัน ในรูปร่างส่วนโค้ง (arch form) 2 แบบ คือ Catenary และ Bonwill-Hawley เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความยาวของส่วนโค้งแนวฟันและความลึกของโค้งสปีมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงและมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน 1:1 ซึ่งต่างจากของ Baldrige ที่พบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และพบความชันของกราฟ (slope of linear regression line) มีค่าเท่ากับ 0.488 ซึ่งเป็นที่มาของสมการข้างต้น เขาจึงสรุปว่า หลักการที่ว่า การลดโค้งสปีหรือการกดฟันหน้าลง 1 มิลลิเมตร ต้องการฟันที่ในส่วนโค้งแนวฟัน 1 มิลลิเมตร เป็นการประมาณที่เกินจริง

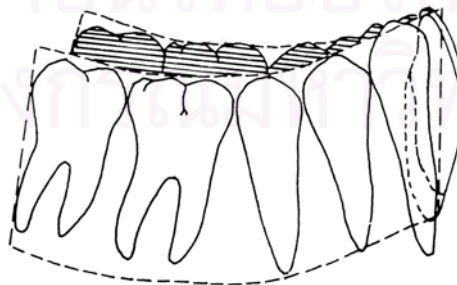


รูปที่ 10 รูปร่างส่วนโค้ง (arch form) แบบ Cantenary<sup>30</sup>

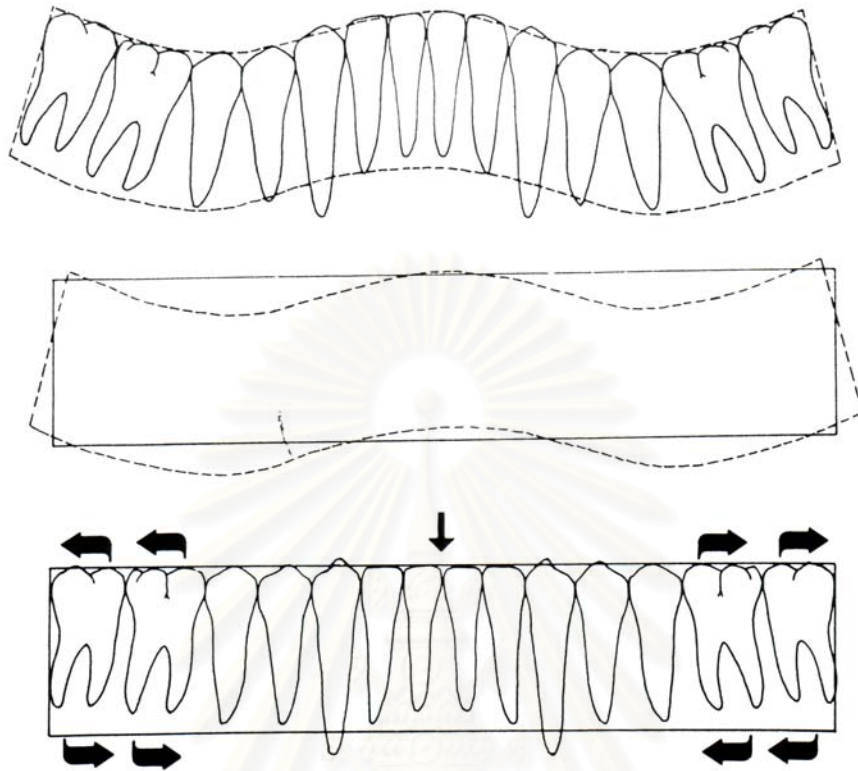


รูปที่ 11 รูปร่างส่วนโค้ง (arch form) แบบ Bonwill-Hawley<sup>30</sup>

Woods(1986)<sup>31</sup> เสนอแนวคิดที่แตกต่างออกไป เขากล่าวว่า ที่ผ่านมากการพิจารณาส่วนโค้งของขากรรไกรเป็นภาพ 2 มิติ ซึ่งถ้าพิจารณาใน 3 มิติ จะพบว่าโค้งสปีมีลักษณะคล้ายริบบิ้น (ribbon) ที่โค้งไว้ เมื่อยืดออกจะได้ลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าใน 2 มิติ และเมื่อพิจารณาพื้นหน้าและพื้นหลังแยกจากกันพบว่าการกดพื้นหน้าลงไม่ต้องการพื้นที่ของส่วนโค้งแนวพื้นเลย



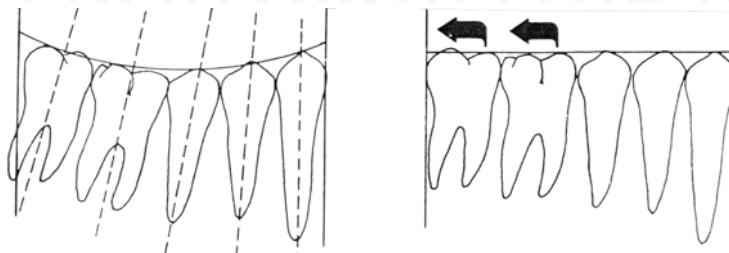
รูปที่ 12 โค้งสปีมีลักษณะคล้ายริบบิ้น<sup>31</sup>



รูปที่ 3 เมื่อคลีออกมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า<sup>31</sup>

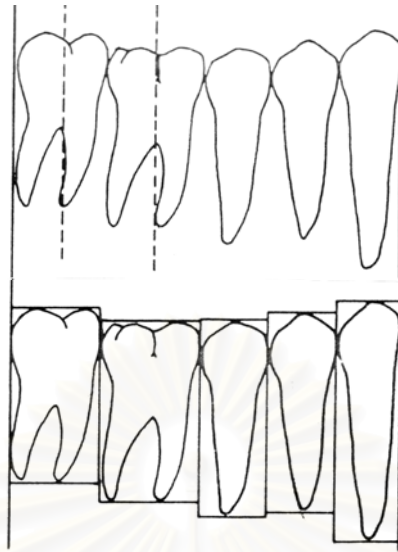
กรณีที่ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันเพิ่มขึ้นเป็นเพราะฟันกรามซึ่งเดิมมีแนวแกนเอียงมาทางด้านใกล้กลาง ตั้งขึ้นจากการปรับระดับฟัน (leveling) แต่ถ้าฟันกรามมีแนวแกนที่ตั้งตรงอยู่ก่อนการแก้ไขโค้งสปีก็เหมือนกับการเคลื่อนฟันขึ้นลงตรงๆ ในแนวตั้ง ไม่ต้องการฟันที่เพิ่มเติมอีก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14 ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตั้งฟันกราม<sup>31</sup>

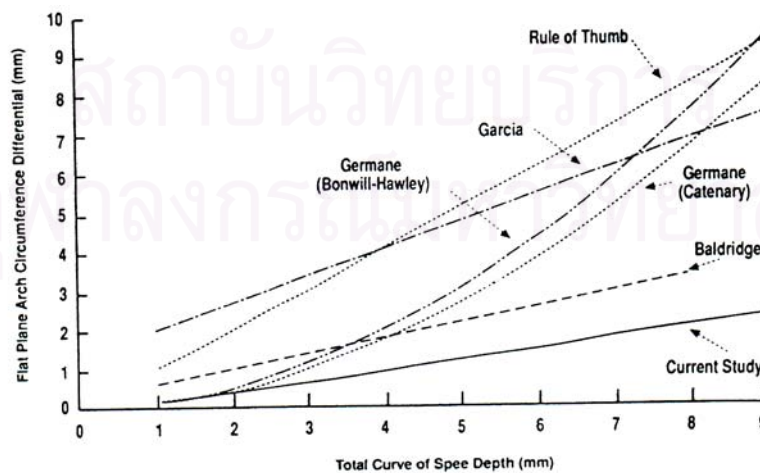




รูปที่ 15 การปรับระดับฟัน (leveling) เมื่อฟันกรามมีแนวแกนตั้งตรง<sup>31</sup>

Woods<sup>31</sup> ยังสรุปอีกว่า ในการแก้ไขโค้งสปีนั้นต้องการเนื้อที่เพิ่มเติมในส่วนโค้งแนวฟันหรือไม่ ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ การแก้ไขโค้งสปีด้วยคอนทินิวอัลสตาร์ชไวร์ที่มีลักษณะแบนราบหรือโค้งสปีกลับทางจะเกิดผลข้างเคียงดังกล่าว การใช้เทคนิคเช็กเมนต์เต็ดตออาร์ชช่วยลดผลข้างเคียงนี้ได้

Braun, Hnat และ Johnson<sup>32</sup> ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงเชิงเส้น (linear accuracy) ถึง 0.006 มิลลิเมตร ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Woods กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนโค้งแนวฟันพบได้บ้าง แต่มีค่าน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าการผายออกของแนวแกนฟันหน้าจากการแก้ไขโค้งสปีไม่ได้เกิดจากความแตกต่างของความยาวของส่วนโค้งแนวฟัน แต่น่าจะเป็นผลมาจากวิธีการที่ใช้มากกว่า



รูปที่ 16 ความยาวของส่วนโค้งแนวฟันที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการแก้ไขโค้งสปี<sup>32</sup>

ดังนั้น การกดพื้นหน้าโดยการกำหนดจุดออกแรง ให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance) ของฟันจึงจะสามารถป้องกันการผายออกของแนวแกนพื้นหน้าและขนาดแรงที่แนะนำคือประมาณ 15-25 กรัมต่อฟัน 1 ซี่<sup>27</sup>

Dellinger<sup>33</sup> กล่าวว่าในการปฏิบัติงานทางคลินิกพบได้เสมอว่าทันตแพทย์จัดฟันมักใช้ลวดที่มีขนาดหน้าตัดเล็กเกินไปจึงไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของฟันได้อย่างเต็มที่ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่ในทิศทางด้านริมฝีปากและลิ้น (labio-lingual movement) ดังนั้นในการแก้ไขโค้ง สปีที่มีพื้นที่ของส่วนโค้งแนวฟันที่ไม่เพียงพอ หากใช้ลวดจัดฟันที่มีขนาดเล็กย่อมทำให้เกิดการผายออกของแนวแกนพื้นหน้าได้ ในกรณีที่โค้งสปีมีความลึกมากผิดปกติทันตแพทย์อาจเลือกใช้ลวดโค้งที่มีลักษณะเป็นโค้งสปีกลับทางซึ่งเชื่อกันว่า จะมีผลของการผายออกของแนวแกนพื้นหน้ามากขึ้น จนทันตแพทย์หลายท่านแนะนำให้ทำ lingual crown torque ในส่วนพื้นหน้าเมื่อต้องการกดฟัน จากการศึกษาของ Ferguson<sup>34</sup> พบว่าการใช้ลวดโค้งหน้าตัดเหลี่ยมที่มีลักษณะโค้งสปีกลับทาง ไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงของการผายออกของแนวแกนพื้นหน้าล่างหากใช้อย่างถูกวิธี นั่นคือต้องถอดลวดโค้งออกเมื่อกดพื้นหน้าลงได้ระดับแล้ว

### โลหะไทเทเนียม (Titanium)<sup>35</sup>

ไทเทเนียมเป็นโลหะอีกชนิดที่พบบนผิวโลก รองจากอะลูมิเนียม เหล็กและแมกนีเซียม ในประเทศไทยแหล่งแร่ไทเทเนียมที่เป็นสายแร่ขนาดใหญ่ไม่มี แต่จะพบกระจัดกระจายปนอยู่กับแร่ชนิดอื่น เช่น ดีบุก ทังสแตน นอกจากนี้อาจปนอยู่กับทรายตามชายฝั่งทะเล หรือปนอยู่กับแร่เหล็ก (magnetite และ hematite) แร่ไทเทเนียมที่สำคัญและพบบทได้แก่ แร่อิลเมไนต์ (ilmenite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีสีดำปนอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็ก มีออกไซด์ของไทเทเนียมประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ ในบางแหล่งอาจมีแมงกานีสรวมอยู่ด้วย แร่ไทเทเนียมอีกชนิดหนึ่งที่พบแต่มีปริมาณน้อยได้แก่ แร่รูทไทล์ (rutile) ซึ่งเป็นออกไซด์ของไทเทเนียม (TiO<sub>2</sub>) มีสีขาว นอกจากนั้นแล้วยังมีแร่ไทเทเนียมที่อยู่ในรูปของออกไซด์อีกเช่น บรูคไคต์ (brookite) และ อะนาเทส (anatase) ซึ่งพบปริมาณน้อย

กล่าวกันว่าออกไซด์ของไทเทเนียมมี 3 รูปแบบที่เปลี่ยนแปลงได้ (allotropic forms) คือ รูทไทล์ บรูคไคต์ และอะนาเทส ออกไซด์ที่พบบทมากจะอยู่ในรูปแบบของรูทไทล์ ประเทศผู้ผลิตแร่ไทเทเนียมมีหลายประเทศ ที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา เซเนกัล อินเดีย นอร์เวย์ บราซิล รัสเซีย และแคนาดา สำหรับในประเทศไทยพบแร่ไทเทเนียมในปริมาณไม่มากนัก

### การถลุงแร่ไทเทเนียม<sup>35</sup>

การสกัดไทเทเนียมทำได้ยาก เนื่องจากแร่ไทเทเนียมอยู่ในรูปสารประกอบออกซิเจนที่มีเสถียรภาพสูง นอกจากนี้ไทเทเนียมยังสามารถรวมตัวกับคาร์บอนเป็นสารประกอบไทเทเนียมคาร์ไบด์ กับไนโตรเจนได้ไทเทเนียมไนไตรด์ และ กับซิลิกอนให้ไทเทเนียมซิลิไซด์ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการสกัดมีความยากลำบากจนบางครั้งกล่าวได้ว่าไทเทเนียมน่าจะจัดอยู่ในประเภทแร่หายาก (rare earth) และเพราะความยากและความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการสกัดโลหะไทเทเนียม จึงทำให้ไทเทเนียมมีราคาแพง ทั้งๆที่ปริมาณแร่มีพบบ่อยไม่น้อย

การสกัดไทเทเนียมจากไทเทเนียมออกไซด์ที่ประสพผลดีที่สุดในเชิงพาณิชย์ใช้หลักการเปลี่ยนรูปออกไซด์ให้มาอยู่ในรูปคลอไรด์ก่อนเรียกกรรมวิธีนี้ว่า คลอรีเนชัน (Chlorination) โดยการผสมผงไทเทเนียมออกไซด์กับผงถ่านโค้กอัดให้เป็นก้อน (briquettes) นำไปเผาในเตาที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส ภายในบรรยากาศของแก๊สคลอรีนจะได้ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ที่อยู่ในสภาพเป็นแก๊ส แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์จะถูกนำออกจากเตา ผ่านไปยังรีแอกเตอร์เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะแมกนีเซียม เกิดการแยกตัวของโลหะไทเทเนียมที่เป็นของแข็งกับแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยโลหะไทเทเนียมมีลักษณะเป็นก้อนฟรูน (sponge) และมีแมกนีเซียมคลอไรด์แทรกอยู่ตามรูฟรูน ต้องนำไปล้างเอาแมกนีเซียมคลอไรด์และโลหะแมกนีเซียมส่วนเกินจากปฏิกิริยาแยกโลหะไทเทเนียมออกด้วยการล้างด้วยน้ำผสมกรดเกลือเจือจาง (HCl) จากนั้นจึงนำเอาโลหะไทเทเนียมไปอัดให้เป็นแท่งเพื่อการหลอมให้บริสุทธิ์ต่อไป กรรมวิธีการถลุงโลหะไทเทเนียมที่กล่าวถึงนี้เหมาะสำหรับการถลุงจากไทเทเนียมออกไซด์ ถ้าเป็นการถลุงจากอิลเมนไนต์จะต้องเพิ่มกรรมวิธีการแยกเอาเหล็กคลอไรด์ออก เพราะหลังจากผ่านกรรมวิธีคลอรีเนชัน จะได้เหล็กออกไซด์ในลักษณะเป็นไอผสมรวมกับไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ออกมาด้วย

### โลหะนิกเกิล (Nickel)<sup>35</sup>

นิกเกิลเป็นธาตุที่เชื่อกันว่าพบบ่อยมากบริเวณใจกลางโลก บริเวณผิวโลกพบแหล่งแร่ นิกเกิลจำนวนน้อย มีไม่กี่แห่งในโลกที่พบแหล่งแร่ นิกเกิลที่มีปริมาณสูงพอใช้ในเชิงพาณิชย์ ประเทศที่พบแหล่งแร่ นิกเกิลที่สำคัญได้แก่ประเทศคานาดา และแถบภาคกลางของประเทศรัสเซีย ในประเทศไทยยังไม่ปรากฏพบแร่ชนิดนี้ที่ใด แร่ นิกเกิลที่พบจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งจะปนอยู่กับแร่ทองแดง โคบอลต์ และแร่โลหะที่อยู่ในกลุ่มของแพลทินัม เช่น แพลเลเดียมหรือ ออสเนียม เป็นต้น แร่ นิกเกิลที่พบจะมีนิกเกิลอยู่ระหว่าง 0.8-5.5 เปอร์เซ็นต์

## การถลุงแร่ निकเกิล<sup>35</sup>

กรรมวิธีถลุงแร่ निकเกิลจะมีหลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของแร่ โดยเฉพาะขั้นตอนในการทำให้มีความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยหลักการทางเหมืองแร่ เช่นการแยกโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็ก (magnetic separation) และการลอยแร่ (floatation) สุดท้ายจะได้แร่ที่มีความเข้มข้น ซึ่งจะยังคงเป็นแร่ผสมระหว่างทองแดงกับนิกเกิลเป็นหลัก ที่เหลือเป็นโคบอลต์ ทั้งนิกเกิลและทองแดงจะอยู่ในฟอร์มของซัลไฟด์ ที่ต้องนำไปผ่านกรรมวิธีย่าง (roasting) เพื่อลดปริมาณกำมะถัน ในกรณีที่แร่เป็นก้อนจะถูกนำไปหลอมด้วยเตาสูง (blast furnace) ถ้าหากแร่อยู่ในสภาพเป็นผงจะนำไปหลอมภายในเตากระทะ เมื่อแร่อยู่ในสภาพหลอมเหลวแล้วจึงส่งต่อไปเตาพ่นลม (converter) เพื่อหลอมต่อและเป็นการกำจัดเหล็กออกไปจาก matte ของนิกเกิล-ทองแดง เหล็กจะถูกเปลี่ยนเป็นเหล็กออกไซด์ซึ่งจะเบากว่าไปรวมตัวกับซิลิกาซึ่งทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ กลายเป็นสแลกแยกตัวทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่าย

สิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจที่นี้คือเรื่องของ affinity ของออกซิเจนที่มีต่อเหล็ก ทองแดง และนิกเกิล ออกซิเจนมีแรงดึงดูดสัมพันธ์กับเหล็กสูงสุด รองลงไปที่ทองแดงและนิกเกิลเป็นอันดับสุดท้าย ดังนั้นการหลอมภายในเตาพ่นลม เมื่ออากาศหรือออกซิเจนถูกเป่าลงไปสัมผัสกับ matte ออกซิเจนจะรวมกับเหล็กก่อนเปลี่ยนเป็นเหล็กออกไซด์จนหมดแล้วจึงจะทำปฏิกิริยากับทองแดง สำหรับกำมะถัน จะมี affinity กับนิกเกิลสูงสุด อันดับถัดไปคือทองแดงและเหล็ก เมื่อได้ matte ภายหลังจากการหลอมภายในเตาพ่นลม จะนำเอา matte ที่ผสมกันระหว่างนิกเกิล-ทองแดงซัลไฟด์ไปถลุงเพื่อแยกเอานิกเกิลออกต่อไป

การแยกนิกเกิลออกจาก matte มีวิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโลหะนิกเกิลอยู่สองขบวนการคือ ขบวนการที่ใช้ในโรงงานของ International Nickel เรียกกรรมวิธี Orford กับขบวนการที่ใช้ในโรงงานของ British Nickel เรียกกรรมวิธี Mond

ขบวนการแยกนิกเกิลโดยกรรมวิธี Orford อาศัยหลักการที่ทองแดง นิกเกิลและโซเดียมซัลไฟด์สามารถละลายซึ่งกันและกันได้ดีที่อุณหภูมิสูง และนิกเกิลซัลไฟด์จะไม่สามารถละลายในโซเดียม-ทองแดงซัลไฟด์ที่อุณหภูมิต่ำได้ การแยกเอานิกเกิลซัลไฟด์ออกจากทองแดงซัลไฟด์จะทำได้โดยนำเอา matte ทองแดง-นิกเกิลซัลไฟด์ มาหลอมโดยใช้เตาสูง เตากระทะหรือเตาไฟฟ้า ร่วมกับการเติมโซเดียมซัลเฟตซึ่งจะสลายตัวกลายเป็นโซเดียมซัลไฟด์ในสภาพหลอมเหลวที่อุณหภูมิเหนือ 700 องศาเซลเซียส ทั้งนิกเกิลซัลไฟด์ ทองแดงซัลไฟด์และโซเดียมซัลไฟด์ จะละลายเข้ากันได้ดี นำเอา matte ที่หลอมละลายออกจากเตา ปล่อยให้เย็นช้าๆ จะพบว่านิกเกิลซัลไฟด์แยกตัวอยู่บนเบ้า จึงนำไปบดให้ละเอียดก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีการย่าง เปลี่ยนนิกเกิลซัลไฟด์เป็นนิกเกิล

ออกไซด์ และนำไปแยกเอาโลหะ निकเกิลโดยใช้แก๊สไฮโดรเจนผสมกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นตัวรีดิวเซอร์กระทำในรีแอกเตอร์ที่เป็นแบบ Fluidize bed หรือภายในเตาอย่าง (Hearth roaster) ที่อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส โลหะ निकเกิลที่ได้จะเป็นของแข็งซึ่งจะต้องนำไปหลอมละลายและหล่อเป็นแท่งอีกทีหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม निकเกิลที่ได้จากกรรมวิธีนี้ยังไม่บริสุทธิ์จำเป็นต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าอีกชั้นหนึ่ง

### **ลวด निकเกิลไทเทเนียม (Nickel-Titanium Wire)**

นิกเกิลไทเทเนียมเป็นโลหะผสมของโลหะ निकเกิลและโลหะไทเทเนียม ได้รับความนิยมนำมาใช้ในทันตแพทย์จัดฟัน ตั้งแต่ Andreasen และ Hillman ได้นำเสนอใน Journal of American Dental Association ปี 1971<sup>3</sup> Buehler เป็นผู้คิดค้นลวด निकเกิลไทเทเนียมชนิดแรกซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อไนตินอล "Nitinol" โดย "Ni" มาจาก "nickel" "ti" มาจาก "Titanium" และ "noi" มาจาก Naval Ordnance Laboratory หรือ ห้องทดลองสรรพาวุธของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาที่ Silver Springs, Maryland ซึ่งนับเป็นจุดกำเนิดของลวดไนตินอล

ลวดไนตินอลมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่โดดเด่นแตกต่างจากวัสดุชนิดอื่นคือมีคุณสมบัติจำรูป (shape memory) แม้ว่า Andreasen จะกล่าวถึงคุณสมบัติจำรูปของลวดไนตินอลว่าน่าจะมีประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งาน และพยายามทำการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ดังกล่าว แต่ในช่วงแรกลวดไนตินอลกลับได้รับความนิยมเพราะ มีความสามารถในการคืนกลับสู่ความแข็งแรงดั้งเดิมและทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม หรือ ลวดเบตาไทเทเนียม

Tien Hua Cheng และคณะ แห่ง General Research Institute for Non-ferrous Metals ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนได้พัฒนาลวด निकเกิลไทเทเนียมชนิดใหม่ เรียกว่า "Chinese NiTi" ซึ่งมีคุณสมบัติของการเปลี่ยนรูปร่างต่ำกว่าลวดไนตินอลมาก Burstone และ Morton<sup>36</sup> ได้ศึกษา Chinese NiTi โดยการทดสอบการดัด (bending test) เพื่อศึกษาความสามารถในการคืนกลับความแข็งแรงดั้งเดิมและโมเมนต์สูงสุดจากการดัด (maximum bending moment) เขาพบว่า Chinese NiTi มี deactivation curve แตกต่างจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหรือลวดไนตินอล คือจะให้แรงค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลานานและยังมีความแข็งแรงดั้งเดิม ความสามารถในการคืนกลับสูงมาก เหมาะจะนำไปใช้ในคลินิก<sup>36</sup> ในปีต่อมา Miura, Mogi, Ohura และ Hamanaka นำเสนอคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด (Superelasticity) ของ Japanese NiTi alloy<sup>4</sup> แม้ว่าคำว่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด ไม่ได้ถูกใช้เมื่อมีการนำเสนอ Chinese NiTi แต่

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและหน่วยแรงเครียด (stress-strain curve) ของลวดทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงน่าถือว่ามีคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดเช่นกัน คุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดและคุณสมบัติจำรูปเป็น 2 คุณสมบัติเด่นของลวดนิกเกิลไทเทเนียมจึงเป็นที่สนใจและนิยมนำมาใช้ในงานทางคลินิก

### คุณสมบัติจำรูป (Shape Memory)

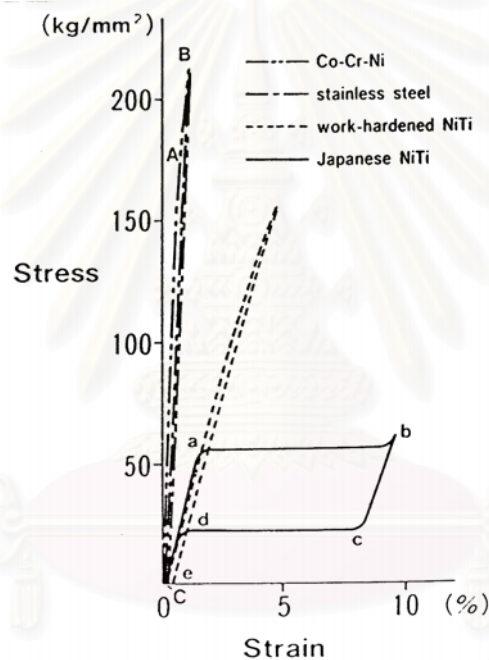
Buehler และ Cross<sup>37</sup> อธิบายคุณสมบัติจำรูปว่าเกิดจากความสามารถของโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมในการเปลี่ยนแปลงพันธะระหว่างอะตอม (atomic bonding) ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะอ่อนตัว และถูกทำให้เปลี่ยนรูปได้ง่าย แต่เมื่อให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค ลวดจะกลับคืนสู่รูปร่างเดิม อุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของโลหะผสมและกรรมวิธีการผลิต เช่น เมื่อนำโคบอลต์ไปแทนที่นิกเกิลในโลหะผสม จะทำให้อัตราส่วนของนิกเกิลต่อไทเทเนียมเปลี่ยนไป เป็นผลให้อุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคเปลี่ยนแปลงด้วย

Andreasen และคณะ<sup>38</sup> อธิบายว่า การทำให้โลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีความจำรูปร่างทำได้โดยจัดลวดให้อยู่ในรูปร่างที่ต้องการขณะที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450-500 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 10 นาที (heat treatment) เมื่อลวดถูกทำให้จำรูปร่างใดรูปร่างหนึ่งแล้วในภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคลวดจะสามารถดัดได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคลวดจะกลับสู่รูปร่างที่ถูกกำหนดไว้ สอดคล้องกับที่ Andreasen และ Morrow<sup>39</sup> ได้กล่าวไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงจากรูปร่างที่บิดเบี้ยวกลับสู่รูปร่างเดิม เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวัฏภาค (phase) ของโลหะผสมจากวัฏภาคมาร์เทนไซต์ (Martensitic phase) ไปสู่วัฏภาคออสเทนไนต์ (Austenitic phase) โดยในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค โลหะจะอยู่ในวัฏภาคมาร์เทนไซต์ มีผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยมชนิดอัดแน่น (close-packed hexagonal) และเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคโลหะจะมีผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดมีหน่วยอนุภาคที่ศูนย์กลาง (body-centered cubic)

การเปลี่ยนวัฏภาคนอกจากเกิดได้โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผ่านช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคแล้ว อาจเกิดจากการให้ความเค้นเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงสู่วัฏภาคมาร์เทนไซต์โดยอาศัยความเค้น (stress induced martensitic transformation) ก็ได้ โดยทั่วไประดับความเค้นที่เปลี่ยนวัฏภาคออสเทนไนต์เป็นวัฏภาคมาร์เทนไซต์จะมีค่าสูงกว่าระดับความเค้นที่เปลี่ยนวัฏภาคมาร์เทนไซต์เป็นวัฏภาคออสเทนไนต์<sup>40,41</sup> Miura และคณะ<sup>4</sup> อธิบายว่า เมื่อให้แรงกระทำต่อโลหะโลหะทั่วไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากเกิดการเลื่อน (slip) ของชั้นผลึก (lattice) แต่

สำหรับโลหะนิกเกิลไทเทเนียมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสู่วัฏภาคมาร์เทนไซต์ (Martensitic transformation) แทน ซึ่งสามารถทำให้กลับไปสู่วัฏภาคออสเทนไนต์ได้โดยการลดแรงและ/หรือการให้ความร้อน

คุณสมบัติจำรูปในลวดนิกเกิลไทเทเนียมต่างชนิด จะมีความสามารถแตกต่างกัน พิจารณาได้จาก เปอร์เซ็นต์ ของการคืนรูป (shape recovery)<sup>42</sup> ซึ่งขึ้นกับช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาคที่เหมาะสม Miura และคณะ<sup>43</sup> ได้แนะนำการประยุกต์ใช้คุณสมบัติจำรูปทางคลินิกในกรณีการจัดฟันที่มีความยุ่งยาก เช่น การจัดฟันร่วมกับการผ่าตัดขากรรไกรได้ โดยเรียงฟันซึ่งมีแบรคเก็ตติดอยู่แล้วในแบบจำลองฟัน (set up model) จากนั้นนำลวดนิกเกิลไทเทเนียมมาใส่ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 510 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3-5 นาทีเพื่อให้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมจำรูปร่างใหม่ จากนั้นจึงนำกลับไปใช้กับผู้ป่วย ลวดโค้งจะเคลื่อนฟันในส่วนโค้งแนวฟันไปได้ใน 3 ทิศทางพร้อมๆกัน



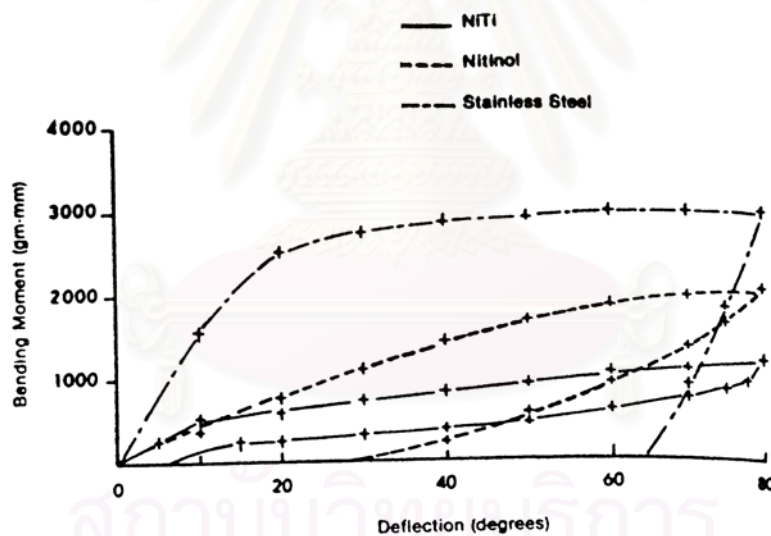
รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและหน่วยแรงเครียด (stress-strain curve) ของลวดชนิดต่างๆที่มีหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว

#### คุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด (Superelasticity)

ความสามารถในการคืนกลับสูง ทำให้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (permanent deformation) Miura และคณะ<sup>4</sup> อธิบายถึงคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้ลวดเปลี่ยนแปลงรูปร่างเกิดความเครียดในเส้นลวดซึ่งจะมีระดับค่อนข้างคงที่ และในทำนองเดียวกันเมื่อปล่อย

ให้ลวดคืนตัวก็ยังคงจะมีระดับความเครียดที่ค่อนข้างคงที่เช่นกัน หมายความว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะให้แรงในระดับหนึ่งอย่างสม่ำเสมอไม่ว่าจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเท่าใด<sup>43</sup> ดังนั้นจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและหน่วยแรงเครียด (stress-strain curve) ของลวดนิกเกิลไทเทเนียมจะพบช่วงที่เป็น พลาโตที่แบนราบ (flat plateau) ซึ่งแสดงถึงระดับความเครียดที่คงที่แม้หน่วยแรงเค้นจะเปลี่ยนไป ระดับของแรงที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของแรงในช่วงพลาโตไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ลวดถูกทำให้เปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งแตกต่างจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดโคบอลต์โครเมียมที่ไม่คงที่ โดยจะเพิ่มตามปริมาณของ activation

ปี ค.ศ.1985 Burstone<sup>36</sup> ได้แสดงให้เห็นคุณสมบัติคล้ายๆกันนี้ของ Chinese NiTi แต่ขณะนั้นยังไม่มีการบัญญัติคำว่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวด เขาอธิบายไว้ว่าลวด Chinese NiTi มีความสามารถในการคืนกลับคุณสมบัติดีมาก ค่าความแข็งดิ่งต่ำ และให้แรงคงที่ในช่วงกลางของ deactivation Chen และคณะ<sup>44</sup> แนะนำ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว จึงสามารถลดระยะเวลาในระยะแรกของการรักษา คือ ช่วงปรับระดับและเรียงฟันในส่วนโค้งแนวฟันทั้งในผู้ป่วยเด็กและผู้ใหญ่นอกจากนั้นยังไม่ก่อให้เกิดอาการเจ็บปวดอีกด้วย



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของโมเมนต์จากการดัด (Bending moment) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deflection) ของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดไนตินอล และ ลวดนิกเกิลไทเทเนียม

อย่างไรก็ตาม Khier และคณะ<sup>40</sup> แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดของ superelastic wire ถูกทำให้เสื่อมได้ ถ้าให้ความร้อนสูงเกิน 600 องศาเซลเซียส



## การแก้ไขโค้งสปริงด้วยลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียม

คุณสมบัติจำรูปและคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดของลวดนิกเกิลไทเทเนียมถูกนำมาใช้ในการจัดฟันตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการรักษา คือการปรับระดับฟันและการเรียงฟันในส่วนโค้งแนวฟันซึ่งหมายความรวมถึงการแก้ไขโค้งสปริงและภาวะสบลิ้นด้วย ลวดนิกเกิลไทเทเนียมสามารถให้แรงขนาดต่ำๆอย่างต่อเนื่อง (light continuous force) ซึ่งเหมาะสำหรับการกดฟันหน้า<sup>27</sup> แม้ในรายงานของ Tipton และคณะ<sup>45</sup> พบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมให้แรงเพียงเล็กน้อย แต่จากการสังเกตทางคลินิกพบว่า แรงดังกล่าวเพียงพอต่อการกดฟันหน้าโดยเฉพาะการใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผลิตในลักษณะโค้งสปริงกลับทาง

โดยทั่วไปลวดนิกเกิลไทเทเนียมนิยมใช้ในลักษณะเป็น continuous arch ซึ่งมีผลข้างเคียงคือการผายของฟันหน้าทำให้แนวแกนฟันเอียงออกทางริมฝีปากในลักษณะ uncontrolled tipping และการเพิ่มขึ้นของความยาวของส่วนโค้งแนวฟันเกิดร่วมด้วยเสมอ แม้มีความเชื่อว่าการใช้ลวดหน้าตัดเหลี่ยมจะช่วยควบคุมทอร์ก (torque) ของฟันหน้าได้ขณะถูกกดลง แต่การศึกษาของ AlQabandi, Sadowsky และ BeGole<sup>46</sup> ที่เปรียบเทียบแนวแกนของฟันหน้าเมื่อถูกกดด้วยลวดนิกเกิลไทเทเนียมหน้าตัดเหลี่ยมและหน้าตัดกลม กลับไม่พบความแตกต่างของแนวแกนฟันหน้า ดังนั้น พวกเขาจึงสรุปว่า การใช้ลวดนิกเกิลไทเทเนียมหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ตามด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมรูปโค้งสปริงกลับทางไม่สามารถป้องกันการผายของฟันหน้าได้เมื่อใช้เทคนิคคอนทินิวอัสอาร์ชไวร์

Tipton และคณะ<sup>45</sup> เปรียบเทียบประสิทธิภาพของลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่บรรจุม้วน (spooled) เปรียบเทียบกับชนิดขึ้นรูปสำเร็จ (performed) ในการเรียงฟันในส่วนโค้งแนวฟันและแก้ไขโค้งสปริง พวกเขาพบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมทั้งสองรูปแบบมีประสิทธิภาพพอๆกัน Tipton จึงแนะนำว่าไม่มีความจำเป็นต้องซื้อแบบขึ้นรูปสำเร็จที่มีราคาแพงกว่า ในปีถัดมา West, Jones และ Newcombe<sup>47</sup> ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลวดนิกเกิลไทเทเนียมเมื่อใช้เป็นลวดเส้นแรกในการเรียงฟันในส่วนโค้งแนวฟัน (initial alignment) กับ ลวด multi-stranded ที่เป็นที่ยอมรับกันแต่เดิม พบว่า โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพพอๆกัน ยกเว้นในบริเวณฟันหน้าล่างที่พบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีประสิทธิภาพสูงกว่านั้นย่อมหมายถึงรวมถึงสามารถแก้ไขโค้งสปริงได้ดีด้วย

Nokano และคณะ<sup>48</sup> ทดสอบคุณสมบัติของลวดนิกเกิลไทเทเนียม 42 ยี่ห้อ จาก 9 บริษัทผู้ผลิตพบว่า ปริมาณของแรงที่ได้จากลวดแต่ละยี่ห้อแตกต่างกัน การเลือกใช้จึงต้องคำนึงถึงสภาพฟันในช่องปากและขั้นตอนการรักษา เพื่อสามารถเลือกใช้ลวดชนิดต่างๆได้อย่างเหมาะสม

## เบตาไทเทเนียม (Beta Titanium)

วิวัฒนาการของโลหะชนิดต่างๆที่ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ครั้งหนึ่งทองเคยเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมอย่างมาก แต่เนื่องจากราคาที่สูงมาก เหล็กกล้าไร้สนิม จึงเข้ามาแทนที่อย่างง่ายดาย มีการนำโลหะผสมของ โคบอลต์ โครเมียมและนิกเกิล มาใช้ทำลวดจัดฟันแต่คุณสมบัติทางกลก็ไม่ได้แตกต่างจากเหล็กกล้าไร้สนิมเท่าไรนัก โลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมเข้ามา มีบทบาทอย่างมากในทางทันตกรรมจัดฟัน ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นคือความสามารถในการคืนกลับสูง ความแข็งดิ่งต่ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรได้ยากและคุณสมบัติจำรูปได้ แต่กระนั้นลวดนิกเกิลไทเทเนียมยังมีข้อด้อยในแง่ความสามารถในการขึ้นรูปที่ไม่ดี จึงทำให้การใช้งานในทางคลินิกบางอย่างอาจไม่สามารถอำนวยความสะดวกได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้แล้วลวดนิกเกิลไทเทเนียมยังไม่สามารถเชื่อม (weld) ได้<sup>49</sup>

เบตาไทเทเนียมเป็นโลหะผสมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของคุณสมบัติระหว่างคุณสมบัติที่ดีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการคืนกลับสูง ความแข็งดิ่งต่ำและที่สำคัญคือ ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดีและยังสามารถเชื่อมกับโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดได้<sup>7,49</sup>

ในยุคแรกๆ โลหะผสมเบตาไทเทเนียมได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมอวกาศมานานมาก่อน ด้วยเทคโนโลยีที่จำกัดยังไม่สามารถนำโลหะชนิดนี้มาผลิตลวดจัดฟันที่มีขนาดหน้าตัดเล็กพอเหมาะกับการใช้ทางคลินิกได้ นอกจากนี้ในทางอุตสาหกรรม การพัฒนาคุณสมบัติของโลหะก็มุ่งเน้นแต่จะเพิ่มความแข็งแรงของโลหะผสมชนิดนี้โดยไม่ได้คำนึงถึงคุณสมบัติของคุณสมบัติทางกลที่ดี อันจะมีประโยชน์หากนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน ก่อนนั้นการนำไทเทเนียมมาใช้ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ไทเทเนียมที่มีความบริสุทธิ์ 99.2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,625 องศาฟาเรนไฮต์ โลหะชนิดนี้จะมีผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยมชนิดอัดแน่น (hexagonal close-packed, HCP) ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าโมดูลัส (modulus) และกำลังคลาด (yield strength) เท่ากับ  $15.5 \times 10^6$  psi และ  $55 \times 10^3$  psi ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาหาอัตราส่วนจากสองค่านี้ได้เพียง  $3.5 \times 10^{-3}$  ดังนั้นหากนำมาใช้ในทางทันตกรรมจะมีค่าความสามารถในการคืนกลับอย่างมากเพียง 1 ใน 3 ของเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น<sup>7</sup> มีการพัฒนาในช่วงเวลาต่อมาแต่เนื่องจากยังคงมีรูปแบบผลึกรูปหกเหลี่ยมชนิดอัดแน่น จึงได้อัตราส่วนของกำลังคลาดต่อโมดูลัสเพียง  $8.7 \times 10^{-3}$  ซึ่งก็ยังต่ำกว่าของเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ดี จนกระทั่งประมาณปีค.ศ. 1960 จึงได้มีการคิดค้นโลหะไทเทเนียมรูปแบบอุณหภูมิสูง (High-temperature form titanium) ขึ้น ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,625 องศาฟาเรนไฮต์ ไทเทเนียมบริสุทธิ์จะมีการจัดเรียงอนุภาคใหม่เป็นผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดมีหน่วยอนุภาคที่ศูนย์กลาง (body-centered cubic, BCC) หรือเรียกว่า วัฏภาคเบตา (beta phase) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไป<sup>7</sup>

เบตาไทเทเนียมที่ใช้ทางทันตกรรม หรือ TMA (Ormco/Sybron) ซึ่งเรียกย่อตามที่มาของโลหะผสมไทเทเนียมโมลิบดีนัม (titanium-molybdenum alloy) ประกอบด้วย โมลิบดีนัม 11.3 เปอร์เซ็นต์, เซอร์โคเนียม (zirconium) 6.6 เปอร์เซ็นต์, ดีบุก (tin) 4.3 เปอร์เซ็นต์ และ ไทเทเนียมในปริมาณที่เหมาะสมคือประมาณ 77.8 เปอร์เซ็นต์ และด้วยการเติมส่วนผสมอย่าง โมลิบดีนัม (molybdenum) หรือ โคลัมเบียม (columbium) จะช่วยให้โลหะนี้สามารถคงสภาพโครงสร้างดั่งกล่าวแม้ในอุณหภูมิห้อง จนอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า beta-stabilized titanium<sup>7</sup> และด้วยโครงสร้างดั่งกล่าวจึงทำให้เบตาไทเทเนียมมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดีมาก จนได้ผลทดสอบการดัด (cold bend test) ใกล้เคียงกับเหล็กกล้าไร้สนิม<sup>8</sup>

Goldberg และ Burstone<sup>8</sup> เป็นผู้นำโลหะผสมชนิดนี้ มาประเมินถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเบตาไทเทเนียมมาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น ความเค้นดึง ความเค้นดัด ความสามารถในการคืนกลับและความสามารถในการขึ้นรูป เขาพบว่าเมื่อนำโลหะนี้ผ่านกระบวนการที่เหมาะสม สามารถทำให้มีค่าโมดูลัสถึง  $9.4 \times 10^6$  psi และค่ากำลังคลาด (yield strength) 170,000 psi ได้ ทำให้ได้อัตราส่วนของกำลังคลาดต่อโมดูลัส  $1.81 \times 10^{-2}$  ซึ่งสูงกว่าของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีค่า  $1.1 \times 10^{-2}$  แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคืนกลับที่เหนือกว่า เบตาไทเทเนียมจึงถูกทำให้เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปได้มากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกือบ 2 เท่าตัวโดยที่ไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร<sup>7,8</sup> และนอกจากนั้นยังให้แรง (elastic force per unit) ไม่ถึงครึ่งหนึ่งของเหล็กกล้าไร้สนิม เบตาไทเทเนียมจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการแรงน้อยกว่าเหล็กกล้าแต่มากกว่าลวดที่มีโมดูลัสต่ำๆอย่างไนทินอล<sup>7</sup> ดังนั้นหากใช้ลวดเบตาไทเทเนียมแทนลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเดียวกัน ความจำเป็นสำหรับหลักยึดนอกช่องปาก (extraoral anchorage) ย่อมน้อยลงไป<sup>49</sup> นอกจากนั้นยังพบอีกว่า การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการให้ความร้อนที่เหมาะสม ได้แก่ การทำอบชุบโลหะด้วยความร้อน (solution heat treatment) ที่อุณหภูมิ 704-732 องศาเซลเซียส ตามด้วยแช่น้ำ (water quenching) และ aging ที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ถึง 6 ชั่วโมง ทำให้ลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าอัตราส่วนของกำลังคลาดต่อโมดูลัสสูงสุด เหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน<sup>7,8</sup>

เมื่อเปรียบเทียบกับ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมลวดเบตาไทเทเนียมสามารถถูกทำให้เปลี่ยนรูปร่างได้มากกว่าถึง 2 เท่าโดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรจึงทำให้มีระยะออกแรงของลวดได้กว้างกว่าเหมาะกับการเรียงฟันในระยะแรกของการรักษา การเคลื่อนฟันหน้าหรือแม้แต่การปรับการสบฟันในขั้นตอนสุดท้ายของการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เพราะสามารถนำลวดเข้าไปในร่องของแบร็กเก็ตได้ง่ายและเต็มที่ เมื่อทำการปรับรากฟันหรือทอร์คจึงให้ผลดี ลวดเบตาไทเทเนียมมีความอ่อนสูง จึงสามารถดัดเป็นรูปร่างที่ซับซ้อนได้โดยไม่ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการคืนตัว แม้จะมีข้อ

ด้อยที่ไม่สามารถตัดให้เป็นมุมแคบได้ (sharp bending)<sup>7</sup> เป็นที่ทราบกันดีว่าการดัดลวดเป็นรูปร่างของ loop แบบต่างๆ ในลวดโค้งนั้น นอกจากจะเป็นการเพิ่มความยาวของลวดแล้ว ในขณะที่ใช้งานจะทำให้เกิดผลข้างเคียงต่อฟันซี่อื่นน้อยกว่าการใช้ลวดตรง (straight wire) ดังนั้นหากใช้ลวดเบตาไทเทเนียมที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่ร่วมกับการทำ loop ก็ย่อมควบคุมการเคลื่อนฟันได้ดียิ่งขึ้นทั้งที่ออกแรงกระทำต่อฟันไม่มากนัก

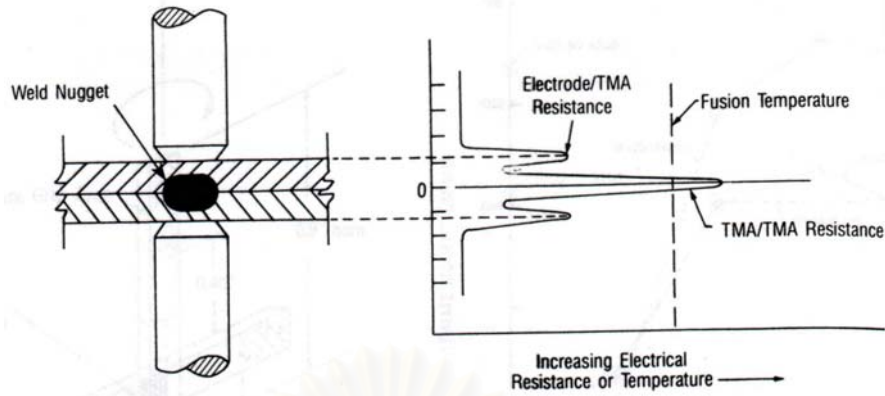
ด้วยคุณสมบัติ large elastic deflection และ low deflection rate ของลวดชนิดนี้ ในการเลือกใช้ลวดที่ต้องการให้แรงขนาดเท่ากับลวดชนิดอื่น คงจะพิจารณาแต่เพียงขนาดและลักษณะหน้าตัดไม่ได้ ควรพิจารณาคงสมบัติทางกลของมันด้วย<sup>8,49,50,51</sup> จึงน่าจะเป็นการดีที่บริษัทผู้ผลิตลวดทางทันตกรรมจัดฟันจะได้พิมพ์รายละเอียดเหล่านั้นไว้บนบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดอย่างที่ Burstone ได้เคยแนะนำไว้<sup>41</sup>

เบตาไทเทเนียมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนพอๆกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดโคบอลต์โครเมียม แต่มีแรงเสียดทานระหว่างลวดและแบร็กเก็ตมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม และลวดนิกเกิลไทเทเนียม<sup>52,53,54,55</sup> ซึ่งแสดงว่าอัตราของการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งน่าจะช้ากว่าในระยะเคลื่อนฟันเขี้ยวหรือการเคลื่อนฟันหน้า มีความพยายามหาวิธีลดความเสียหายที่เกิดขึ้นเช่น ion-implanted beta-titanium alloy<sup>55</sup> เป็นต้น

### การเชื่อมลวดเบตาไทเทเนียม

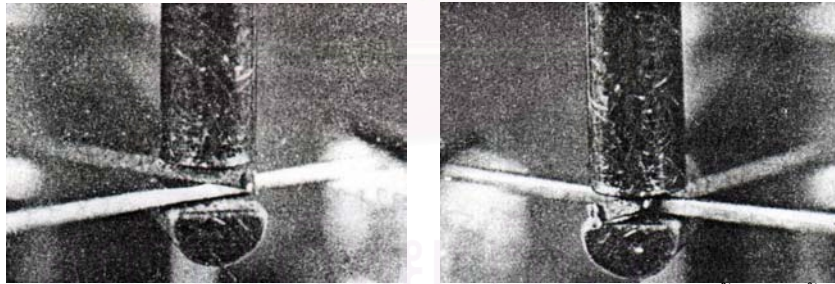
คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของลวดเบตาไทเทเนียมคือ เป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่มีความสามารถในการเชื่อม (weldability) อย่างแท้จริง โดยไม่ต้องอาศัยโลหะบัดกรี (solder material) เหมือนกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมหรือโลหะผสมโคบอลต์โครเมียมนิกเกิล จึงทำให้การใช้งานในทางคลินิกมีได้หลากหลาย เช่น การนำตะขอ (hook) หรือสปริง (spring) มาเชื่อมหรือแม้แต่การเชื่อมลวดโค้งที่มีหน้าตัดขนาดต่างๆกัน

การเชื่อมแบบเป็นจุด (resistance spot welding, RSW)<sup>56</sup> คือ กระบวนการที่นำผิวสัมผัสของโลหะ 2 ชิ้นหรือมากกว่า มาเชื่อมกันโดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการไหลของกระแสไฟที่มีความต่างศักย์ต่ำๆผ่านชิ้นโลหะตรงจุดสัมผัสที่ยึดไว้ด้วยขั้วไฟฟ้า (electrode) เป็นระยะเวลาสั้นๆ แรงกดของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำให้ชิ้นโลหะมีการฝังตัว (set down) ลงในอีกชิ้นหนึ่ง ทำให้ความหนาโดยรวมลดลง เมื่อหยุดให้กระแสไฟ จุดเชื่อมจะเย็นตัวและแข็งตัว (solidify) อย่างรวดเร็ว คุณสมบัติของจุดเชื่อมที่ดีขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดหน้าตัดของลวดที่นำมาเชื่อม รูปแบบของจุดเชื่อม แนวการวางลวด แรงกดของขั้วไฟฟ้า และการกระจายความร้อน เป็นต้น

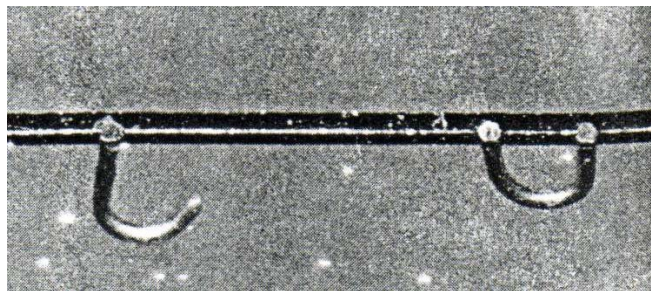


รูปที่ 19 การเชื่อมแบบเป็นจุด (resistance spot welding)<sup>56</sup>

Burstone ได้สรุปหลักการเชื่อมลวดเบตาไทเทเนียมไว้ 5 ประการ<sup>57</sup> คือ 1. การวางตำแหน่งของลวดต้องมั่นคง ควรใช้ electrode ที่มีขนาดใหญ่ Donovan และคณะ<sup>58</sup> แนะนำให้ใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีหน้าตัดเรียบและกว้าง 2 ชั้นประกบกัน เพื่อจุดสัมผัสที่มั่นคงลดอัตราการบิดเบี้ยวขณะเชื่อม 2. ใช้กระแสไฟที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลวดเชื่อมกันแน่นพอที่จะไม่หลุดออกจากกันเมื่อทดสอบโดยการบิด (twist) การใช้กระแสไฟมากเกินไปอาจทำให้ลวดหลอมได้ 3. จุดสัมผัสของลวดกับลวดต้องเล็กที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดผลของกระแสไฟในลวดส่วนอื่นๆ 4. จังหวะในการปล่อยกระแสไฟ (pulse) ควรสั้นและมีครั้งเดียว 5. แรงกด ที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไป เครื่อง welder ที่มีขายอยู่ไม่สามารถควบคุมได้ การเชื่อมที่ดีควรพบลักษณะของลวดเส้นหนึ่งฝังตัว (set down) ลงในลวดอีกเส้น ประมาณ 25-60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 20 การไหลของกระแสไฟที่มีความต่างศักย์ต่ำๆและจากแรงกดของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำให้ชิ้นโลหะมีการฝังตัว<sup>57</sup>



รูปที่ 21 การฝังตัวของตะขอลงในลวดประมาณ 25-60 เปอร์เซ็นต์ของความหนา<sup>57</sup>

Nelson, Burstone และ Goldberg<sup>56</sup> ทดสอบจุดเชื่อม (weld joint) โดยการจำลอง ลักษณะการให้แรงตามอย่างการใช้งานในคลินิกจนเกิดการแตกหัก โดยเปรียบเทียบผลของปัจจัย ต่างๆ เช่น ขนาดของลวด แนวการวางตัวของลวด หรือปริมาณกระแสไฟที่ใช้เชื่อม เพื่อสามารถเอา ผลการศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติที่เหมาะสม เขาแสดงให้เห็นว่า ภายใต้การจัดกระทำที่ เหมาะสม (optimal welding) จุดเชื่อมที่ได้จะมีความเหนียว (ductility) และ ความแข็งแรง (strength) อย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ของลวดธรรมดา การตั้งค่ากระแสไฟที่ต่ำเกินไปทำให้จุด เชื่อมมีความแข็งแรงต่ำ การเชื่อมเกิดได้อย่างไม่สมบูรณ์และลวดจะหลุดแยกออกจากกันขณะใช้งาน ในทางตรงกันข้ามกระแสไฟที่มากเกินไปแม้จะให้ความแข็งแรงมากแต่มีความเหนียวน้อย และมีความเปราะมากขึ้นแทน และถ้าให้กระแสไฟเกินไปมากๆลวดก็จะไหม้และเสียหาย การตั้งค่า กระแสไฟที่เหมาะสมขึ้นกับขนาดของลวดที่นำมาเชื่อม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับลวดขนาดต่างๆ เมื่อใช้กับเครื่อง welder ของบริษัท Rocky Mountain รุ่น 506A<sup>56</sup>  
( E = edgewise หรือด้านแคบ และ R = ribbonwise หรือด้านกว้าง )

Wire combination	Wire orientation	Optimal voltage setting
0.019x0.025inch / 0.019x0.025inch	R/R	9.5
	E/R	9.5
	E/E	8.5
0.017x0.025inch / 0.019x0.025inch	R/R	9.5
	E/R	8.5
	E/E	8.0
0.017x0.025inch / 0.017x0.025inch	R/R	9.0
	E/R	9.5-10.0
	E/E	7.0-8.0
0.018inch / 0.017x0.025inch	R	7.0-8.0
	E	6.0
0.018inch / 0.019x0.025inch	R	8.0
	E	6.0
0.018inch / 0.018inch	-	5.5-6.0

Nelson, Burstone และ Goldberg<sup>56</sup> กล่าวว่าคุณลักษณะของจุดเชื่อมที่เหมาะสมควรมี การเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย ขณะเชื่อมเกิดประกายไฟเพียงเล็กน้อย (little weld flash) และปริมาณ การฝังตัวประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์และไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์เพราะจะทำให้จุดเชื่อมนั้นเปราะ ซึ่งมี ค่าน้อยกว่าที่ Burstone<sup>57</sup> เคยแนะนำไว้ เมื่อตรวจดูด้วยภาพขยายพบการเชื่อมอย่างกลมกลืนโดย ไม่มีรอยแยก ฟองอากาศหรือรูพรุน



รูปที่ 22 จุดเชื่อมที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแยก ฟองอากาศหรือรูพรุน<sup>56</sup>

### ความเสียดทานระหว่างลวดจัดฟันและแบรคเก็ต

ความเสียดทาน (friction) เป็นผลจากความขรุขระ (roughness) ของสองผิวสัมผัสที่มาสัมผัสกันและจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเริ่มจะมีการเคลื่อนหรือระหว่างที่มีการเคลื่อนที่แล้วระหว่างสองผิวสัมผัสนั้น<sup>57</sup> ในการที่จะทำให้ฟันเคลื่อนที่ไปตามลวดโค้งได้นั้น แรงที่ใช้จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานสถิตย์ (static frictional force) เสียก่อน จากนั้นเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อไป แรงที่ใช้จะต้องมากพอที่จะเอาชนะผลรวมของแรงเสียดทานจลน์ (kinetic frictional force) ระหว่างลวดโค้งและแบรคเก็ตและแรงต้านจากอวัยวะปริทันต์ (periodontal resistance) ที่ล้อมรอบตัวฟันนั้นๆ<sup>59</sup>

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อระดับของแรงเสียดทานซึ่งมีทั้งปัจจัยทางกลและทางชีวภาพ ยกตัวอย่างปัจจัยทางกล เช่น วัสดุที่ใช้ทำแบรคเก็ต<sup>60,61</sup> ขนาดของร่องของแบรคเก็ต<sup>59</sup> ความกว้างของแบรคเก็ต<sup>59,62</sup> มุมของแบรคเก็ต<sup>59</sup> ขนาดและหน้าตัดของลวด<sup>59,61</sup> วัสดุที่ใช้ทำลวด<sup>52,59,60</sup> วัสดุที่ใช้มัดและแรงที่ใช้มัดด้วย<sup>59</sup> ส่วนปัจจัยทางชีวภาพได้แก่ น้ำลาย คราบจุลินทรีย์ การกร่อน (corrosion)<sup>61,63</sup> เป็นต้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าส่วนประกอบของลวดโค้งแต่ละชนิดมีผลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น เป็นที่สังเกตว่าลวดที่มีส่วนประกอบหลากหลายชนิดส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น<sup>64</sup> ซึ่งจะส่งผลถึงอัตราเร็วของการเคลื่อนฟัน ดังนั้นในการเลือกลวดโค้งเพื่อการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันให้มีประสิทธิภาพ จึงควรทราบถึงส่วนประกอบที่อาจมีผลถึงอัตราเร็วของการเคลื่อนฟันด้วย

ตารางที่ 2 ค่าความเสียหายตามเฉลี่ยระหว่างลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียม กับแบร็กเก็ต 3 ชนิด<sup>53</sup>

Wire alloys	Normal single		Medium twin		Wide twin	
	wire size (inch)	Force (gm)	wire size (inch)	Force (gm)	wire size (inch)	Force (gm)
SS	0.018	40	0.018	85	0.016	95
	0.016	75	0.017x0.017	99	0.017x0.017	104
	0.017x0.017	99	0.016	100	0.018	110
	0.016x0.022	120	0.017x0.025	115	0.016x0.022	150
	0.019x0.025	128	0.016x0.022	130	0.018x0.025	158
	0.018x0.025	149	0.018x0.025	150	0.017x0.025	166
	0.017x0.025	150	0.019x0.025	193	0.019x0.025	191
Co-Cr	0.018	68	0.016	94	0.018	80
	0.016x0.016	79	0.018	101	0.016	82
	0.016	97	0.016x0.016	120	0.016x0.022	102
	0.016x0.022	130	0.012x0.022	147	0.016x0.016	107
	0.019x0.025	131	0.017x0.025	176	0.019x0.025	122
	0.017x0.025	136	0.019x0.025	192	0.018x0.025	143
	0.018x0.025	153	0.018x0.025	194	0.017x0.025	147
NiTi	0.016x0.016	83	0.016x0.016	101	0.016	149
	0.016	83	0.016	127	0.016x0.016	150
	0.018	109	0.018x0.025	139	0.017x0.025	151
	0.017x0.025	114	0.016x0.022	153	0.018x0.025	174
	0.016x0.022	135	0.019x0.025	156	0.016x0.022	193
	0.018x0.025	170	0.018	162	0.018	199
	0.019x0.025	179	0.017x0.025	178	0.019x0.025	222
□-Ti	0.016	81	0.018	113	0.016	110
	0.017x0.017	83	0.016	118	0.018	136
	0.018	83	0.017x0.017	136	0.016x0.022	178
	0.016x0.022	127	0.019x0.025	155	0.017x0.017	184
	0.017x0.025	131	0.016x0.022	166	0.019x0.025	199
	0.019x0.025	133	0.017x0.025	215	0.017x0.025	212

หลายการศึกษาที่ทดสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างแบร็กเก็ตและลวดโค้งต่างชนิดที่ ให้ผลสอดคล้องกันว่า ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีความเสียหายน้อยที่สุดในการเคลื่อนฟัน ตามมาด้วย ลวดโคบอลต์โครเมียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียม ทั้งกับแบร็กเก็ตที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม<sup>52,53</sup> แบร็กเก็ตที่ทำจาก พลาสติก<sup>61</sup> หรือแบร็กเก็ตที่ทำจากเซรามิก<sup>65</sup> เป็นเพราะพื้นผิวที่หยาบกว่าของลวดนิกเกิลไทเทเนียมและลวดเบตาไทเทเนียม<sup>52</sup> จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงลวดสองชนิดนี้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนฟันได้ดีขึ้น



กระบวนการ ion-implantation เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบนพื้นผิวของโลหะ ในทางทันตกรรมจัดฟันได้นำมาประยุกต์ใช้กับลวดโค้งเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะทำการเคลื่อนฟัน การทำ ion implantation โดยใช้ไนโตรเจนจะทำให้โลหะมีความแข็งผิว (surface hardness) และความต้านทานต่อการสึก (wear) มากขึ้นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะ และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีความสัมพันธ์ผกผันกับความแข็ง ดังนั้นหากสามารถเพิ่มความแข็งผิวให้แก่ลวดโค้งได้ ก็ย่อมทำให้มีความเสียดทานลดลงด้วย จากการศึกษาของ Ryan และคณะในปี 1997<sup>55</sup> เปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนของฟันในแบบจำลองที่ทำจากซี่ผึ้ง โดยเคลื่อนฟันบนลวดโค้ง 5 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการทำ ion implantation ลวดที่เอ็มเอ ลวดที่เอ็มเอที่ผ่านการทำ ion implantation ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ion implantation สามารถลดความเสียดทานของลวดและแบร็กเก็ตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีอัตราการเคลื่อนที่เร็วที่สุด ตามมาด้วยลวดนิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการทำ ion implantation ลวดที่เอ็มเอที่ผ่านการทำ ion implantation ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และลวดที่เอ็มเอเป็นอันดับสุดท้าย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

##### ประชากร

ลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 3 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว

##### กลุ่มตัวอย่าง

- ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 3 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ของบริษัท Ormco Corporation ชนิดละ 30 เส้น รวม 90 เส้น
- ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้วของบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 เส้น

การเลือกกลุ่มตัวอย่างทั้งลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ทำโดยการสุ่มแบบไม่เฉพาะเจาะจง (non-purposive sampling)

##### การรวบรวมข้อมูล

ทำการวัดค่าแรงกด (intrusive force) มีหน่วยเป็นนิวตันและ ดีเฟล็กชันมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ด้วยเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน รุ่น LR 10K

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ลวดโค้งไนไทด์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 3 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ของบริษัท Ormco Corporation ชนิดละ 30 เส้น รวม 90 เส้น
2. ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้วของบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 เส้น
3. แบบจำลองฟันและขากรรไกรล่าง ประกอบด้วยฟันที่ทำจากยางอีพอกซี (epoxy resin) ยี่ห้อ Major Dent ซีฟันทึกรามล่างซีฟหนึ่งซี่และขา ฟันตัดล่างซี่กลางซี่ซ้ายและขวา รวมเป็น 4 ซี เรียงอยู่บนสันเหงือกปลอมซึ่งทำจากเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน



รูปที่ 23 ลวดโค้งไนไทด์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 3 ชนิด และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 1 ชนิด

4. ปลอกโลหะรัดฟัน (metal band) ของบริษัท 3M Unitek ซีฟันทึกรามล่างซีฟหนึ่ง ซี่และขา ฟพร้อมบัคคัลทีวบี ชนิด standard single tube เชื่อมติดกึ่งกลางของด้านแก้มของปลอกโลหะรัด ฟันที่ระดับความสูง 3.5 มิลลิเมตรจากด้านสบฟัน
5. ลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน รุ่น LR 10K ใช้วัดขนาดแรงกดฟันหน้าล่างที่เกิดขึ้นจาก ลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง



รูปที่ 24 ลอยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบดึงมาขึ้น

- ต้มน้ำหนัก (load cell) ขนาด 5 นิวตัน



รูปที่ 25 ต้มน้ำหนักขนาด 5 นิวตัน

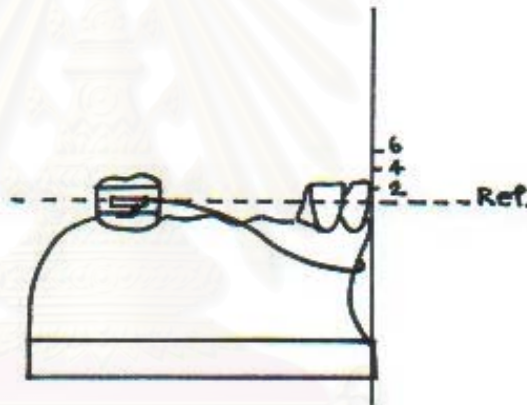
### ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมแบบจำลองฟันและขากรรไกรล่าง
  - เตรียมแบบขี้ผึ้งรูปโค้งตามลักษณะสันเหงือกในขากรรไกรล่างจากขี้ผึ้งแผ่นสีชมพู (pink base plate wax) โดยให้มีความหนาของฐานพอสมควร
  - นำฟันที่ทำจากยางอีพอกซี (epoxy resin) ยี่ห้อ Major Dent ซีฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่ง ซ้ายและขวา ฟันตัดล่างซี่กลางซ้ายและขวา เรียงบนสันเหงือกตามลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกรอย่างถูกต้อง โดยกำหนดความสูงของแนวโค้งของฟันและความกว้างของส่วนโค้งแนวฟันตามค่าเฉลี่ยความสูงและความกว้างของขากรรไกรในคนไทย<sup>66</sup>
    - ความสูงของส่วนโค้งแนวฟันในคนไทย มีค่า 27.7 มิลลิเมตร
    - ความกว้างของส่วนโค้งแนวฟันในคนไทย มีค่า 54.9 มิลลิเมตร



รูปที่26 ฟันปลอมและขี้ผึ้งจำลองขากรรไกรล่าง

- แต่งรูปร่างของซี่ฝังให้เรียบร้อย นำไปลงภาชนะหล่อแบบฟัน (flask) เพื่อเตรียมแบบหล่อปูนพลาสติก
- นำแบบหล่อที่ได้มาทำแบบจำลองฟันและขากรรไกรด้วยเรซินอะคริลิกชนิดปมตัวด้วยความร้อน
- นำปลอกโลหะวัดฟันของซี่ฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวา พร้อมบัคคัลทิวบ์ชนิด standard single tube ที่เชื่อมติดกึ่งกลางของด้านแก้มของปลอกโลหะวัดฟัน ที่ระดับความสูง 3.5 มิลลิเมตรจากด้านสบฟัน แล้วยึดติดกับฟันกรามซี่ที่หนึ่งด้วยซีเมนต์ซิงค์ฟอสเฟต (Zinc phosphate cement) โดยจัดระดับของบัคคัลทิวบ์ให้ถูกต้องและให้ถือระดับบัคคัลทิวบ์เป็นระนาบอ้างอิง
- ชีดเส้นบนด้านริมฝีปาก (labial) ของฟันหน้าทุกซี่ตามระดับของบัคคัลทิวบ์ หรือระนาบอ้างอิง



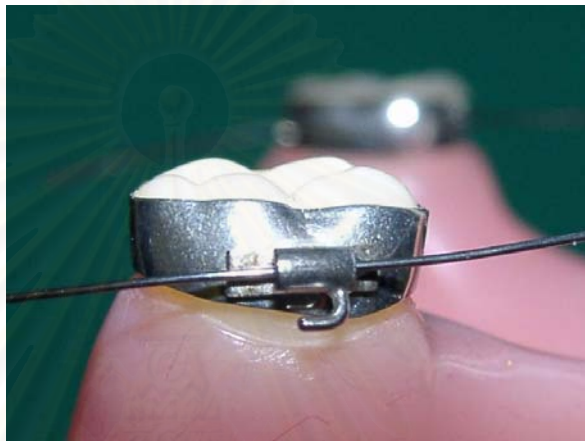
รูปที่ 27 ระนาบอ้างอิง

2. แบ่งลวดโค้งที่ทำการศึกษาทั้งหมดออกเป็น 4 กลุ่มตามชนิดและขนาดหน้าตัด ดังนี้

- ลวดโค้งไนไทซินรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว จำนวน 30 เส้น
  - ลวดโค้งไนไทซินรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว จำนวน 30 เส้น
  - ลวดโค้งไนไทซินรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ของบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 เส้น
  - ลวดโค้งทีเอ็มเอซินรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ของบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 เส้น
- รวมเป็นลวดโค้งทั้งหมด 120 เส้น

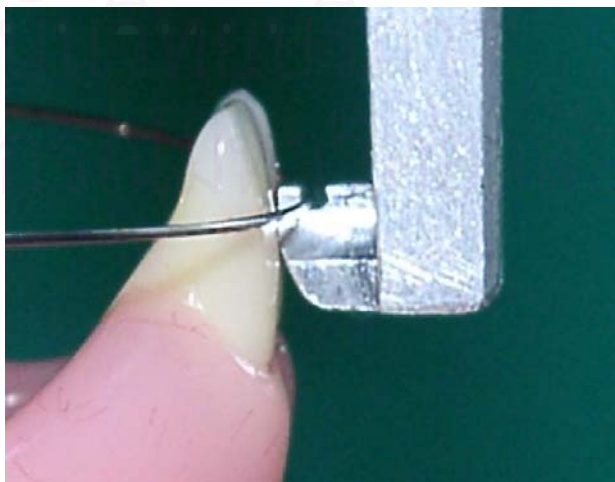
### 3. ศึกษาแรงกดพื้นหน้าล่างโดย

- 3.1 จัดวางและยึดแบบจำลองขากรรไกรล่างกับฐาน ให้ระดับของระนาบอ้างอิงขนานกับระนาบนอน
- 3.2 นำลวดโค้งใส่ในบักคัลทิวป์ทั้ง 2 ข้าง จนได้ระยะที่ส่วนหน้าของลวดโค้งสัมผัสผิวพื้นหน้าทางด้านริมฝีปากพอดี ปลายลวดทางด้านไกลกลาง (distal) จะยื่นเลยขอบทางด้านหลังของบักคัลทิวป์อย่างน้อย 2 มิลลิเมตร



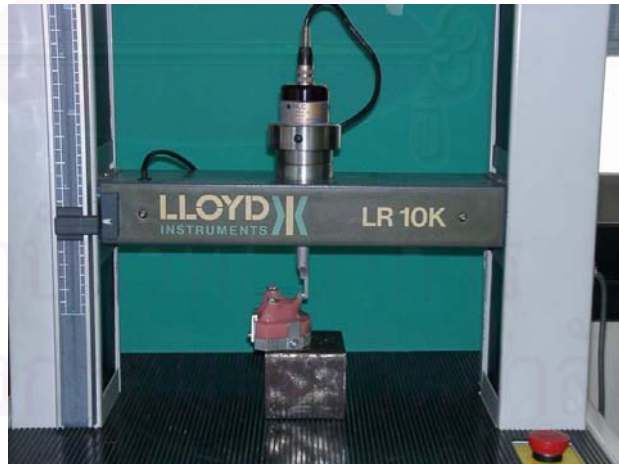
รูปที่ 28 ปลายลวดทางด้านไกลกลางยื่นเลยขอบทางด้านหลังของบักคัลทิวป์อย่างน้อย 2 มิลลิเมตร

- 3.3 ปลดลวดโค้งส่วนหน้าให้อยู่ในลักษณะไม่มีแรงกระทำ (passive)
- 3.4 นำตะขอที่ต่อมาจากคีมน้ำหนักคล้องเข้ากับส่วนหน้าของลวดตรงตำแหน่งจุดประชิดของฟันตัดล่างซี่กลางซ้ายและขวา จัดระดับของลวดโค้งที่อยู่ในตะขอให้อยู่ที่ระนาบอ้างอิง และตะขอสามารถเคลื่อนขึ้น-ลงได้ในแนวตั้งได้อย่างอิสระ



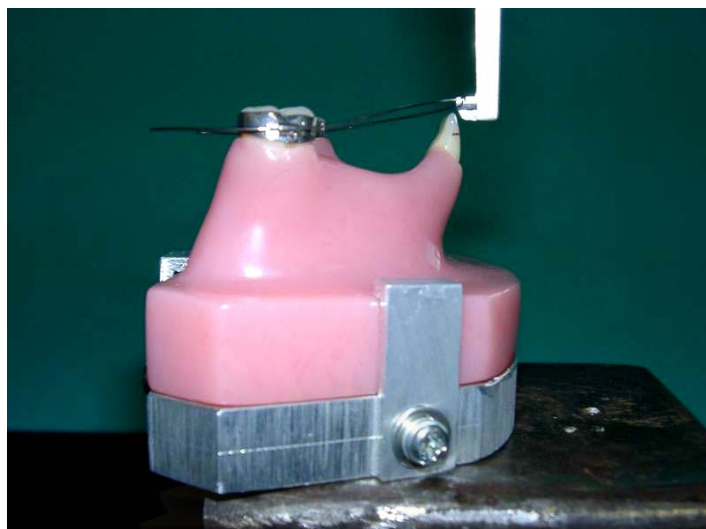
รูปที่ 29 ส่วนหน้าของลวดโค้งคล้องอยู่ในตะขอที่ระนาบอ้างอิง

- 3.5 หาขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างโดยเคลื่อนตุ้มน้ำหนักขึ้นในแนวตั้งจนส่วนหน้าของหลอดอยู่สูงกว่าระนาบอ้างอิง 6.0 มิลลิเมตร วัดแรงกด ณ ตำแหน่งดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้น ปล่อยตุ้มน้ำหนักให้เคลื่อนลงอย่างช้าๆ ด้วยอัตราเร็ว 10 มิลลิเมตร/นาที และวัดแรงกดทุกๆ 2 มิลลิเมตรของการเคลื่อนที่ คือ 6 มม.เหนือระนาบอ้างอิง 4 มม.เหนือระนาบอ้างอิง 2 มม.เหนือระนาบอ้างอิง และที่ระนาบอ้างอิง
- 3.6 เปลี่ยนหลอดไส้ใหม่ทุกครั้งที่ทำกรวัด จนวัดแรงกดครบทั้งหลอดไส้ निकิลไทเทเนียม และ หลอดไส้ที่เติมเอซีนรูปสำเร็จรูปไส้สปีกกลับทาง
- 3.7 ผลการวัดจะแสดงในรูปแบบของกราฟ โดยที่แกนตั้งเป็นแรงกด และ แกนนอนเป็นระยะทางที่เปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง
4. วัดขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างของหลอดไส้ निकิลไทเทเนียมและหลอดไส้ที่เติมเอซีนรูปสำเร็จรูปไส้สปีกกลับทาง เมื่อหลอดไส้อยู่สูงกว่าระนาบอ้างอิง 6 มม. 4 มม. 2 มม. และที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ
5. เปรียบเทียบขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างของหลอดไส้ निकิลไทเทเนียมและหลอดไส้ที่เติมเอซีนรูปสำเร็จรูปไส้สปีกกลับทาง เมื่อหลอดไส้อยู่สูงกว่าระนาบอ้างอิง 6 มม. 4 มม. 2 มม. และที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ

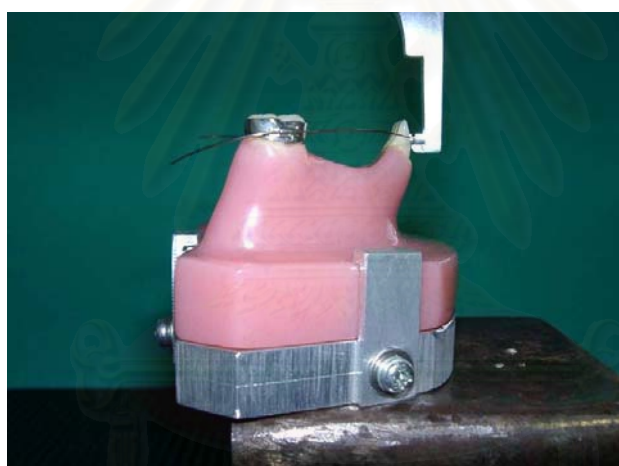


รูปที่30 ก่อนเริ่มเคลื่อนตุ้มน้ำหนักขึ้นในแนวตั้ง





รูปที่31 เมื่อตุ้มน้ำหนักและตะขออยู่ที่ระดับ 6 มม.เหนือระนาบอ้างอิง



รูปที่32 ตุ้มน้ำหนักและตะขอที่ระดับระนาบอ้างอิง

## ตัวแปรของการวิจัย

### 1. ตัวแปรอิสระ

#### 1.1 ชนิดลวดและลักษณะหน้าตัด

- 1.1.1 ลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว
- 1.1.2 ลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว
- 1.1.3 ลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.016 \times 0.022$  นิ้ว
- 1.1.4 ลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.016 \times 0.022$  นิ้ว

#### 1.2 ระยะทางในแนวตั้งที่ลวดถูกทำให้เปลี่ยนมิติไปจากเดิม ( deflection )

### 2. ตัวแปรตาม

- 2.1 ขนาดของแรงกดที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนหน้าสุดของลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้ง สปีกกลับทาง

## การวิเคราะห์ข้อมูล

- หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ที่มีขนาดและ ลักษณะหน้าตัดต่างๆกันโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0.7

- ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ที่มีขนาดและลักษณะหน้าตัดต่างๆกัน โดยการวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance : ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และถ้าผลวิเคราะห์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงทดสอบเป็นรายคู่ด้วยวิธีการของ Tukey test ที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0.7

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ถูกจัดกระทำเพื่อ วัดและเปรียบเทียบขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างที่เกิดขึ้นจากลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ซึ่งถูกตั้งให้อยู่สูงกว่าระนาบอ้างอิงที่ระดับความสูงต่างๆกัน โดยมีสมมุติฐานของการวิจัยว่า ลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ให้แรงที่มีขนาดและลักษณะการออกแรงกดพื้นหน้าล่างแตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างลวดแต่ละชนิดเป็นจำนวน 30 เส้น ผลการวัดด้วยลloydนิวเวอร์แซลเทสติงมาชีนได้ขนาดแรงซึ่งมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สี่ รายละเอียดของผลการทดลองดังตารางที่ 10, 11, 12 และ 13 (ภาคผนวก) จากการวิเคราะห์ห้ด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov test พบว่าค่าที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างมีการกระจายเป็นปกติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4 และแสดงเป็นแผนภูมิแท่งดังรูปที่ 33 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

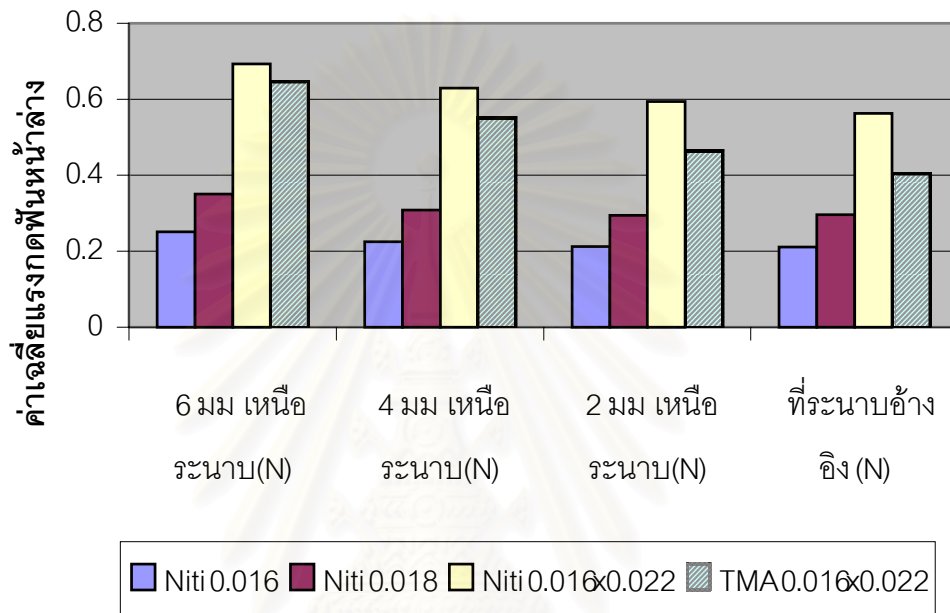
1. ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง เท่ากับ  $0.2518 \pm 0.0134$  นิวตัน  $0.2247 \pm 0.0113$  นิวตัน  $0.2131 \pm 0.0091$  นิวตัน และ  $0.2113 \pm 0.0093$  นิวตัน ตามลำดับ
2. ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง เท่ากับ  $0.3510 \pm 0.0122$  นิวตัน  $0.3089 \pm 0.0082$  นิวตัน  $0.2943 \pm 0.0059$  นิวตัน และ  $0.2963 \pm 0.0064$  นิวตัน ตามลำดับ
3. ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.016 \times 0.022$  นิ้ว มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง เท่ากับ  $0.6938 \pm 0.0448$  นิวตัน  $0.6298 \pm 0.0270$  นิวตัน  $0.5943 \pm 0.0233$  นิวตัน และ  $0.5636 \pm 0.0223$  นิวตัน ตามลำดับ
4. ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.016 \times 0.022$  นิ้ว มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง เท่ากับ  $0.6465 \pm 0.0433$  นิวตัน  $0.5519 \pm 0.0396$  นิวตัน  $0.4646 \pm 0.0293$  นิวตัน และ  $0.4042 \pm 0.0264$  นิวตัน ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6 4 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิง และที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

ชนิดและขนาดลวด	แรงกดที่ 6 มม (N) เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ 4 มม (N) เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ 2 มม (N) เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ระนาบอ้างอิง (N)	
	X	S.D.	X	S.D.	X	S.D.	X	S.D.
Niti 0.016	0.2518	0.0134	0.2247	0.0113	0.2131	0.0091	0.2113	0.0093
Niti 0.018	0.3510	0.0122	0.3089	0.0082	0.2943	0.0059	0.2963	0.0064
Niti 0.016x0.022	0.6938	0.0448	0.6298	0.0270	0.5943	0.0233	0.5636	0.0223
TMA 0.016x0.022	0.6465	0.0433	0.5519	0.0396	0.4646	0.0293	0.4042	0.0264

ค่าเฉลี่ยของแรงกดพื้นหน้าล่าง ในกลุ่มลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีค่าแตกต่างกัน โดยลวดไนไทซ์ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยของแรงกดพื้นหน้าล่างสูงที่สุด รองลงมาคือลวดไนไทซ์ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 และ 0.016 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในลวดหน้าตัดเหลี่ยมพบว่าลวดโค้งไนไทซ์ในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างมากกว่าลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปแบบสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ในทุกระดับความสูงจากระนาบอ้างอิง ดังตารางที่ 3



รูปที่ 33 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของแรงกดฟันหน้าล่างจากลวดโค้งไนไทซ์ในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และ ลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม.เหนือระนาบอ้างอิง และที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อดูความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างจากลวดโค้งไนไทซ์ในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอชในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ คือ ที่ 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแรงกดฟันหน้าล่างของลวดแต่ละชนิดที่แต่ละระดับความสูงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance : ANOVA) ของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างระหว่างลวดโค้งไนไทซ์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
<u>ที่ 6 มม เหนือระนาบอ้างอิง</u>					
ระหว่างกลุ่ม	4.261	3	1.420		
				1350.913	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.122	116	0.001051		
รวม	4.383	119			
<u>ที่ 4 มม เหนือระนาบอ้างอิง</u>					
ระหว่างกลุ่ม	3.347	3	1.116		
				1785.900	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.07250	116	0.0006262		
รวม	3.418	119			
<u>ที่ 2 มม เหนือระนาบอ้างอิง</u>					
ระหว่างกลุ่ม	2.632	3	0.877		
				2309.606	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.04406	116	0.0003798		
รวม	2.676	119			
<u>ที่ระนาบอ้างอิง</u>					
ระหว่างกลุ่ม	2.077	3	0.692		
				2104.433	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.03817	116	0.0003291		
รวม	2.116	119			

\* $P < .05$  ( $F_{3,116} = 2.76$ )

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างจากลวดต่างๆกันและที่ระดับความสูงต่างๆ คือ ที่ 6 4 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง พบว่ามีอย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงทดสอบความแตกต่างของ

ค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าจากลวดแต่ละชนิดเป็นรายคู่ ที่แต่ละระดับความสูงจากระนาบอ้างอิงด้วยวิธีการของ Tukey test ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการของ Tukey ระหว่าง ลวดโค้งไนไทซ์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง

วิธีการทดลอง		Niti	Niti	Niti	TMA
		0.016	0.018	0.016x0.022	0.016x0.022
<b>ที่ 6 มม เหนือระนาบอ้างอิง</b>					
	แรงกด	0.251760	0.350953	0.693773	0.646460
	Niti 0.016	0.251760	-	0.442013*	0.394700*
	Niti 0.018	0.350953	-	0.342820*	0.295507*
	Niti 0.016x0.022	0.693773	-	-	0.04731*
	TMA 0.016x0.022	0.646460	-	-	-
<b>ที่ 4 มม เหนือระนาบอ้างอิง</b>					
	แรงกด	0.224710	0.308940	0.629670	0.551860
	Niti 0.016	0.224710	-	0.08423*	0.327150*
	Niti 0.018	0.308940	-	0.320850*	0.242920*
	Niti 0.016x0.022	0.629670	-	-	0.07793*
	TMA 0.016x0.022	0.551860	-	-	-
<b>ที่ 2 มม เหนือระนาบอ้างอิง</b>					
	แรงกด	0.213127	0.294293	0.594287	0.464583
	Niti 0.016	0.213127	-	0.08117*	0.251457*
	Niti 0.018	0.294293	-	0.299993*	0.170290*
	Niti 0.016x0.022	0.594287	-	-	0.129703*
	TMA 0.016x0.022	0.464583	-	-	-
<b>ที่ระนาบอ้างอิง</b>					
	แรงกด	0.211290	0.296323	0.563557	0.404247
	Niti 0.016	0.211290	-	0.08503*	0.192957*
	Niti 0.018	0.296323	-	0.267233*	0.107923*
	Niti 0.016x0.022	0.563557	-	-	0.159310*
	TMA 0.016x0.022	0.404247	-	-	-

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างจากลวดแต่ละชนิดในทุกคู่ ที่แต่ละระดับคือที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง

ตารางที่ 6 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance : ANOVA) ของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิง และที่ระนาบอ้างอิง ตามชนิดลวดคือลวดโค้งไนไทซ์ในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอซีในรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
<b><u>Niti 0.016</u></b>					
ระหว่างกลุ่ม	0.03135	3	0.01045	88.053	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.01377	116	0.000187		
รวม	0.04511	119			
<b><u>Niti 0.018</u></b>					
ระหว่างกลุ่ม	0.06253	3	0.02084	285.700	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.08463	116	0.000073		
รวม	0.07100	119			
<b><u>Niti 0.016x0.022</u></b>					
ระหว่างกลุ่ม	0.281	3	0.09383	99.326	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.110	116	0.000945		
รวม	0.391	119			
<b><u>TMA 0.016x0.022</u></b>					
ระหว่างกลุ่ม	1.003	3	0.334	267.455	0.000*
ภายในกลุ่ม	0.145	116	0.00125		
รวม	1.148	119			

\*P<.05 (F<sub>3,116</sub> = 2.76)



จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบมีค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างอย่างน้อยที่ระดับความสูงใดความสูงหนึ่ง ที่มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างแรงกดพื้นหน้าล่างที่วัดได้ที่ระดับความสูงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 6

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการของ Tukey ตามชนิดของลวดดังตารางที่ 7 พบว่า

สำหรับลวดโค้งไนไทซ์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x 0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x 0.022 นิ้วนั้น ค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่สำหรับลวดโค้งไนไทซ์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้วนั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับ 6, 4 และ 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงเท่านั้น สำหรับค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงนั้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการของ Tukey ระหว่างค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม.เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงของลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ตามลำดับ

วิธีการทดลอง		6 มม เหนือ ระนาบ	4 มม เหนือ ระนาบ	2 มม เหนือ ระนาบ	ที่ระนาบอ้างอิง
Niti 0.016	แรงกด	0.25176	0.22471	0.21313	0.21129
6 มม เหนือระนาบ	0.25176	-	0.02705*	0.03863*	0.04047*
4 มม เหนือระนาบ	0.22471	-	-	0.01158*	0.01342*
2 มม เหนือระนาบ	0.21313	-	-	-	0.00184
ระนาบอ้างอิง	0.21129	-	-	-	-
Niti 0.018	แรงกด	0.350953	0.308940	0.294293	0.296323
6 มม เหนือระนาบ	0.350953	-	0.04201*	0.05666*	0.05463*
4 มม เหนือระนาบ	0.308940	-	-	0.01465*	0.01262*
2 มม เหนือระนาบ	0.294293	-	-	-	0.00203
ระนาบอ้างอิง	0.296323	-	-	-	-
Niti 0.016x0.022	แรงกด	0.693773	0.629670	0.594287	0.563557
6 มม เหนือระนาบ	0.693773	-	0.06410*	0.09949*	0.130217*
4 มม เหนือระนาบ	0.629670	-	-	0.03538*	0.06611*
2 มม เหนือระนาบ	0.594287	-	-	-	0.03073*
ระนาบอ้างอิง	0.563557	-	-	-	-
TMA 0.016x0.022	แรงกด	0.646460	0.551860	0.464583	0.404247
6 มม เหนือระนาบ	0.646460	-	0.09460*	0.181877*	0.242213*
4 มม เหนือระนาบ	0.551860	-	-	0.08728*	0.147613*
2 มม เหนือระนาบ	0.464583	-	-	-	0.06034*
ระนาบอ้างอิง	0.404247	-	-	-	-

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบขนาดแรงกดพื้นหน้าล่าง และ เปรียบเทียบแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 3 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง 1 ชนิด คือ ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว โดยมีสมมุติฐานของการวิจัยว่าลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางและลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีขนาดแรงกดพื้นหน้าล่างแตกต่างกัน การวัดค่าแรงกดพื้นหน้าล่างใช้เครื่องลดยด์ยูนิเวอร์แซลทดสอบมาซัน รุ่น LR 10K ของหน่วยวิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแสดงผลเป็นกราฟโหลด-ดีเฟล็กชันระหว่างค่าแรงกดพื้นหน้าล่าง หน่วยเป็นนิวตัน ที่มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 กับการเปลี่ยนมิติในแนวตั้งการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่วัดได้ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance : ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และถ้าผลการวิเคราะห์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงทดสอบเป็นรายคู่ด้วยวิธีการของ Tukey test ที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0.7

### สรุปผลการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยของแรงกดพื้นหน้าล่างจากลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และ ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว วัดที่ระนาบอ้างอิงและที่ความสูง 2, 4, 6 มม. เหนือระนาบอ้างอิง มีค่าเป็นช่วงดังนี้ 0.21-0.25 นิวตัน 0.29-0.35 นิวตัน 0.56-0.69 นิวตัน และ 0.40-0.65 นิวตัน ตามลำดับ
2. ค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่วัดได้ที่ระดับความสูงเดียวกันในลวดแต่ละชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
3. ลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยค่าแรงกดพื้นหน้าล่างมากที่สุดที่ทุกระดับความสูงที่ศึกษา คือที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง รองลงมาได้แก่ ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้ง สปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ลวดนิกเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้ง สปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 และ 0.016 นิ้ว ตามลำดับ

4. ค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่วัดได้ในหลอดชนิดเดียวกัน ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง มีค่าลดลงตามลำดับและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นในหลอดโค้งไนโทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ซึ่งค่าเฉลี่ยแรงกดพื้นหน้าล่างที่วัดได้ที่ระดับ 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## อภิปรายผลการวิจัย

วิวัฒนาการของทันตวัสดุศาสตร์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบันหลอดจัดฟันมีมากมายหลายชนิด มีความแตกต่างกันไปในด้านส่วนประกอบ ลักษณะและขนาดหน้าตัด ตลอดจนรูปร่าง ซึ่งย่อมมีผลต่อคุณสมบัติของหลอดจัดฟันแต่ละชนิด ด้วยคุณสมบัติความแข็งตึงต่ำ และความสามารถในการคืนกลับสูงที่พบได้ในหลอดจัดฟันนิเกิลไทเทเนียมและเบตาไทเทเนียม ทำให้การเลือกใช้หลอดจัดฟันที่ต้องการให้แรงขนาดเท่ากันไม่สามารถพิจารณาแต่เพียงขนาดและลักษณะหน้าตัดได้<sup>67</sup> การศึกษาและทราบถึงกลสมบัติ<sup>8,49</sup> เป็นสิ่งจำเป็นที่ช่วยให้ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้หลอดจัดฟันได้อย่างถูกต้อง หลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางและหลอดโค้งเบตาไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง เป็นหลอดชนิดใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการปรับระดับโค้งสปีก แก้ไขภาวะสบลึกโดยการกดพื้นหน้าล่าง และช่วยยกกระดบบริเวณฟันกรามน้อย จึงเป็นที่สนใจในหมู่ทันตแพทย์จัดฟัน

หลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมและหลอดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางที่ผลิตออกจำหน่ายมีเฉพาะบางขนาดเท่านั้น โดยหลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีจำหน่ายทั้งชนิดหน้าตัดกลมและหน้าตัดเหลี่ยม แต่สำหรับหลอดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีจำหน่ายเฉพาะหน้าตัดเหลี่ยม การเลือกกลุ่มตัวอย่างหลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีทั้งขนาดที่ต่างกันและหน้าตัดทั้ง 2 ลักษณะเพื่อเปรียบเทียบการให้แรงกดพื้นหน้าล่างระหว่างหลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางที่มีขนาดและชนิดหน้าตัดต่างกัน ส่วนหลอดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางผู้วิจัยเลือกศึกษา ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมที่มีขนาดเดียวกับหลอดโค้งนิเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมที่ศึกษาคือขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดที่ได้รับความนิยมทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของชนิดหลอดต่อการให้แรงกดพื้นหน้าล่าง แม้รูปร่างของหลอดโค้งขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางของหลอด 2 ชนิดนี้ จะมีความแตกต่างกันบ้าง แต่เป็นรูปร่างที่ขึ้นรูปสำเร็จมาจากบริษัทผู้ผลิตเลย มิได้มีการดัดแปลงรูปร่างใดๆ

Hamdan และ Rock<sup>68</sup> ศึกษาผลของลวดโค้งชนิดต่างๆที่มีต่อการกดฟันหน้าล่าง โดยศึกษาในลวดโค้งเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีการทำแองเคอร์เบน และลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทั้งเทคนิคเบกท์ และเทคนิค สเตรตไวร์ (straight-wire technic) โดยวัดเฉพาะแรงกดฟันหน้าล่างที่ระดับแบรกก์เกิดเพียงตำแหน่งเดียว ในการปฏิบัติงานทางคลินิกการกดฟันหน้าล่างมีความจำเป็นต่อเมื่อผู้ป่วยมีปลายฟันหน้าล่างสูงกว่าระนาบนอนหรือมีโค้งสปีกที่ชันกว่าปกติ เมื่อระดับฟันหน้าล่างได้รับการแก้ไขให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้วจึงทำการถอดลวดโค้งออก ผลการศึกษาซึ่งวัดที่ระดับระนาบอ้างอิงตำแหน่งเดียว จึงนำมาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานทางคลินิกได้ไม่ตึงนัก การศึกษาค้นคว้ารูปแบบให้ลวดแรงกดฟันหน้าล่างที่ระดับสูงกว่าระนาบอ้างอิงหรือระนาบนอน 6, 4, 2 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับของความผิดปกติที่พบได้เสมอในการบำบัดรักษาผู้ป่วย รวมทั้งยังวัดแรงกดฟันหน้าล่างที่ระดับอ้างอิงด้วย เมื่อนำค่าแรงกดฟันหน้าล่างที่ระดับความสูงต่างๆมาพิจารณาว่าร่วมกันยังสามารถแสดงถึงลักษณะการลดขนาดของแรงเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่อง

Hamdan และ Rock<sup>68</sup> เตรียมรูปร่างของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการดัดตามแบบ (template) ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย แม้ว่าลวดที่เอ็มเอจจะมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี แต่ในการศึกษาค้นคว้านี้ใช้ลวดโค้งที่เอ็มเอจขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการดัดลวดรวมถึงความเครียดและความล้า (fatigue) ในลวดที่เกิดขึ้นขณะถูกดัด การศึกษาค้นคว้านี้ใช้กลไก “2 by 4” ซึ่งใช้ฟันกรามล่างซึ่งที่หนึ่งซ้ายและขวาเป็นหลักยึดออกแรงกระทำต่อฟันหน้าล่างทำนองเดียวกับการศึกษาของ Hamdan และ Rock เนื่องจากกลไกนี้สามารถศึกษาแรงกดบริเวณฟันหน้าล่างได้โดยไม่มีผลของแรงบริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยเข้ามาเกี่ยวข้อง คล้ายการใช้ยูทิลิตี้อาร์ชในเทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างในการศึกษาค้นคว้านี้ ระหว่างลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางขนาดและชนิดหน้าตัดต่างๆ ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamdan และ Rock<sup>68</sup> และการศึกษาในลวดตรงอื่นๆ เช่น การศึกษาคุณสมบัติของลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียม 42 ยี่ห้อโดยการทดสอบการดัดแบบ 3 จุด (three-point bending test) โดย Nakano และคณะ<sup>48</sup> การศึกษาคุณสมบัติการดัดของลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมโดย Khier และคณะ<sup>40</sup> การศึกษาความแข็งตึงและความสามารถในการคืนกลับของลวดจัดฟันหลายชนิดโดย Oltjen และคณะในปี 1997<sup>51</sup> ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีความแข็งตึงมากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมหน้าตัดกลมขนาด 0.018 นิ้วและ 0.016 นิ้วตามลำดับ จึงให้แรงมากกว่าเมื่อถูก activate ในระยะทางที่เท่ากัน

จากการศึกษาคุณสมบัติของลวดนิกเกิลไทเทเนียมเปรียบเทียบกับลวดเบตาไทเทเนียมในปี 1981 และ 1982 โดย Kusy<sup>69,70,71</sup> พบว่าลวดโค้งเบตาไทเทเนียมชนิดหน้าตัดเหลี่ยมมีค่าความแข็งตึงมากกว่าลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหน้าตัดเหลี่ยมที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากันถึง 2 เท่า การศึกษาของ Nakano และคณะ<sup>48</sup> พบว่าลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมให้แรงน้อยกว่าลวดโคบอลต์โครเมียม และลวดที่เอ็มเออย่างมีนัยสำคัญเมื่อทดสอบการดัดแบบ 3 จุด Burstone<sup>7</sup> กล่าวว่าลวดเบตาไทเทเนียมมีค่าโมดูลัสประมาณสองเท่าของลวดไนตินอล นั่นคือความแข็งตึงของลวดเบตาไทเทเนียมย่อมสูงกว่ามาก เขาจึงแนะนำให้ใช้เบตาไทเทเนียมในกรณีที่ต้องการลวดที่มีความแข็งตึงมากกว่าไนตินอลแต่น้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ให้แรงกดพื้นหน้าล่างน้อยกว่าลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมซึ่งมีขนาดเดียวกันเมื่อถูกรั้งให้อยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความโค้งของโค้งสปีกกลับทางที่ไม่เท่ากันของลวดทั้งสองชนิดแม้จะเป็นลวดจัดพื้นจากบริษัทเดียวกันและมีรหัสเรียก curve II เหมือนกัน โดยลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางมีความโค้งของโค้งสปีกกลับทางน้อยกว่าลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางอยู่เล็กน้อย



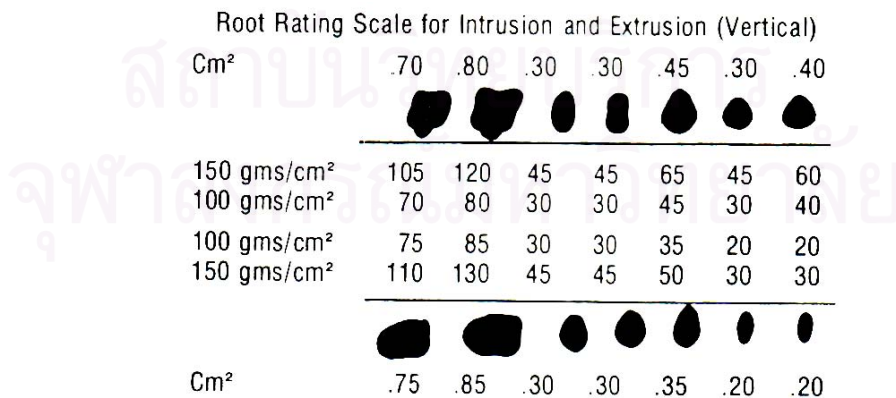
รูปที่ 34 ลักษณะความโค้งของโค้งสปีกกลับทางในลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียม (ซ้าย) และลวดโค้งที่เอ็มเอ (ขวา) ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง

ในทางคลินิกแรงที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันหรือแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน มักใช้หน่วยเป็นกรัมแรง แต่ในการศึกษาครั้งนี้ ผลจากการทดลองมีหน่วยเป็นนิวตันซึ่งสามารถแปลงหน่วยให้เป็นกรัมแรงได้โดยคูณกับค่าคงที่ 102<sup>72</sup> ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยของแรงกดพื้นหน้าล่างจากลวดโค้งไนไทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และ ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว วัดที่ระนาบอ้างอิงและที่ความสูง 2, 4, 6 มม. เหนือระนาบอ้างอิงมีค่าประมาณเป็นช่วงดังนี้ 21.55-25.68 กรัม, 30.23-35.80 กรัม, 57.48-70.76 กรัม และ 41.23-65.94 กรัมตามลำดับ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทด์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และ ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ (หน่วยเป็นกรัม)

ชนิดและขนาดลวด	แรงกดที่ 6 มม เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ 4 มม เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ 2 มม เหนือระนาบอ้างอิง		แรงกดที่ระนาบอ้างอิง	
	X	S.D.	X	S.D.	X	S.D.	X	S.D.
Niti 0.016	25.68	1.37	22.92	1.15	21.74	0.92	21.55	0.95
Niti 0.018	35.80	1.24	31.51	0.84	30.02	0.61	30.23	0.65
Niti 0.016x0.022	70.76	4.57	64.24	2.76	60.62	2.38	57.48	2.26
TMA 0.016x0.022	65.94	4.41	56.29	4.04	47.39	2.99	41.23	2.70

ตามหลักเทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันที่เหมาะสมมีค่า 100 กรัมต่อพื้นที่ผิวรากฟัน 1 ตารางเซนติเมตร<sup>24</sup> เมื่อพิจารณาในแนวหน้าตัดของฟัน รากฟันหน้าล่าง 1 ซี่มีพื้นที่ผิวประมาณ 0.20 ตารางเซนติเมตร ดังนั้นแรงที่เหมาะสมในการกดพื้นหน้าล่างจึงมีค่าประมาณ 20 กรัมต่อ 1 ซี่หรือ 80 กรัมต่อ 4 ซี่ เทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟโดยการใช้ลวดโค้งยูทิลิตี้จึงแนะนำให้ใช้แรงกดพื้นหน้าล่าง 4 ซี่ประมาณ 60-80 กรัม<sup>24</sup>



รูปที่ 35 ปริมาณพื้นที่ผิวของรากฟันภาคตัดขวาง (cross section) และปริมาณแรงที่ใช้ในการกดฟัน<sup>24</sup>

Burstone<sup>73</sup> แนะนำให้ใช้แรงกดฟันหน้าล่าง 4 ซีประมาณ 25 กรัมต่อข้าง นั่นคือควรให้แรงกดฟันหน้าล่าง 50 กรัมเมื่อแรงกดกระทำต่อจุดกึ่งกลาง ซึ่งปริมาณแรงกดฟันหน้าล่างดังกล่าวเหมาะสมกับการใช้อินทรูซีฟอรัซ ตามวิธีการของเทคนิคเช็กเมนต์เด็คอรัซที่เขาเป็นผู้พัฒนาขึ้น

เนื่องจากการศึกษานี้มีลักษณะการให้แรงโดยใช้กลไก “2 by 4” เหมือนกับการใช้ลวดโค้งยูทิลิตี้ ค่าแรงกดฟันหน้าที่เหมาะสมจึงควรมีค่าประมาณ 60-80 กรัม จากผลการศึกษาพบว่า ลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว มีค่าเฉลี่ยของแรงกดฟันหน้าล่างที่ระดับระนาบอ้างอิงและที่ความสูง 6 มม. เหนือระนาบอ้างอิงอยู่ระหว่าง 57.48-70.76 กรัม ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว น่าจะเป็นลวดจัดฟันที่ให้แรงกดฟันหน้าล่างในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อใช้ร่วมกับกลไก “2 by 4” ลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว และลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ให้แรงกดฟันหน้าล่างที่น้อยเกินไป แต่อย่างไรก็ดีเนื่องจากลวดที่เอ็มเอมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี ในการใช้งานจึงสามารถดัดให้มีความโค้งมากขึ้น หรือเลือกซื้อยี่ห้ออื่นที่มีความโค้งมากกว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษา เพื่อให้ได้แรงกดฟันหน้าล่างที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยแรงกดฟันหน้าล่างที่วัดได้ในลวดชนิดเดียวกัน ที่ระดับความสูงต่างๆ คือที่ 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง พบว่าแรงกดฟันหน้าล่างมีค่าลดลงตามลำดับซึ่งเป็นไปตามลักษณะ load-deflection<sup>51</sup> นอกจากนั้นยังพบว่าค่าแรงกดฟันหน้าล่างที่ลดลงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกกลุ่มตัวอย่างยกเว้นลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว ที่ระดับ 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงเท่านั้นที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหมายความว่าเมื่อลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดกลมเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้วเท่านั้น ที่สามารถถือได้ว่าให้แรงกดฟันหน้าในระดับคงที่และสม่ำเสมอเมื่อถูกดึงให้สูง 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและปล่อยให้เคลื่อนที่ลงมายังระนาบอ้างอิง อย่างไรก็ตามแม้ว่าส่วนใหญ่ปริมาณแรงกดฟันหน้าล่างที่วัดได้จากลวดเส้นเดียวกันจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกตัวอย่างเช่น ในลวดโค้งไนไทน์รูปสำเร็จรูปโค้ง สปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ให้แรงกดฟันหน้าล่างประมาณ 64 กรัมเมื่อถูกดึงให้อยู่สูงกว่าระนาบอ้างอิง 4 มม. และลดลงเป็น 60 และ 57 กรัม ที่ 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ แต่ในทางคลินิกแล้วปริมาณแรงกดฟันหน้าล่างที่ลดลงนั้น ถือเป็นปริมาณเล็กน้อยคือประมาณ 3-4 กรัม ซึ่งอาจไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลการรักษาเท่าไรนัก



## ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่าง 4 ชนิด คือ ลวดโค้งไนไทด์ขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทาง ชนิดหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 และ 0.018 นิ้ว และชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ลวดโค้งที่เอ็มเอขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางชนิดหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว จากบริษัทผู้ผลิตเดียวคือ บริษัท Ormco Corporation เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากส่วนประกอบของลวดโค้ง ปัจจุบันในท้องตลาดมีลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมและลวดโค้งเบตาไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางหลายชนิด จากหลายบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งขนาดหน้าตัด ปริมาณความโค้งของโค้งสปีกกลับทางรวมถึงส่วนประกอบ ซึ่งส่งผลให้มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป จึงควรนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับ
2. คุณภูมิของการเปลี่ยนวัสดุภาคมีผลต่อคุณสมบัติของลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียม การศึกษาในครั้งนี้ทำในห้องทดลองที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จึงเป็นการดีหากสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้
3. ในการใช้งานทางคลินิก ผลจากการใช้ลวดโค้งรูปโค้งสปีกกลับทางไม่ได้เกิดแต่เฉพาะการกดฟันหน้าล่าง ยังมีผลต่อแนวแกนของฟันหน้าล่าง รวมถึงฟันกรามล่างที่เป็นฟันหลักตลอดจนการยกตัวของฟันกรามน้อยด้วย การศึกษาในห้องปฏิบัติการไม่สามารถเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในผู้ป่วยได้ทั้งหมด จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติมในคลินิกต่อไป
4. ในการกดฟันหน้าล่างหรือการแก้ไขโค้งสปีกที่มีความชันมากกว่าปกติ การกดฟันหน้านอกจากจะใช้ลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางแล้ว การใช้ยูลิตีอาร์ชของเทคนิคไบโอโพรเกรสซีฟ หรือการทำแองเคอร์เบนของเทคนิคเบกก์ ก็ได้รับความนิยม เพื่อประโยชน์ในการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิก จึงควรเปรียบเทียบลวดโค้งนิกเกิลไทเทเนียมและลวดโค้งเบตาไทเทเนียมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกกลับทางกับยูลิตีอาร์ชและลวดโค้งที่ตัดแองเคอร์เบนด้วย โดยมีวิธีการที่รัดกุมในการเตรียมรูปร่างของลวดโค้งทั้งสอง รวมถึงการอบชุบ (heat treatment) เพื่อคลายความเครียดให้กับลวดโค้งที่ผ่านการตัดด้วย

## รายการอ้างอิง

1. Braun, M.L., Schmidt, W.G. 1956. A cephalometric appraisal of the curve of Spee in Class I and Class II, division 1 occlusion for males and females. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 42 : 255-278.
2. Strang, R.H.W. 1950. A textbook of orthodontia. 3<sup>rd</sup> edition. Philadelphia : Lea and Febiger. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
3. Andreasen, G.F., Hillman, T.B. 1971. An evaluation of 55 cobalt substituted nitinol wire for use in orthodontics. J.Am.Dent.Assoc. 82 : 1373-1375.
4. Miura, F., Mogi, M., Ohura, Y., Hamanaka, H. 1986. The super-elastic property of the Japanese NiTi Alloy wire for use in orthodontics. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 90 : 1-10.
5. Phillips, R.W. 1991. Wrought base metal alloys. Wrought gold alloys. In Skinner's Science of Dental Materials. 9<sup>th</sup> edition, Philadelphia, W.B. Saunders Company.
6. Burstone, C.J. 1975. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In Graber TM. (editor) : Current orthodontic concepts and techniques. I, 2<sup>nd</sup> edition , Philadelphia, W.B. Saunders Company.
7. Burstone, C.J., Goldberg, A.J. 1980. Beta titanium: A new orthodontic alloy. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 77 : 121-132.
8. Goldberg, A.J., Burstone, C.J. 1979. An evaluation of Beta Titanium Alloys for Use in Orthodontic Appliances. J.Dent.Res. 58 : 593-600.
9. Spee, F.G. 1890. Die Verschiebungsbahn der Unterkiefers am Schadel. Archives fur Anatomy and Physiology. Jahrgang : 285-293. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
10. Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
11. Okeson, J.P. 1998. Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion. 4<sup>th</sup> edition, Mosby.
12. Sicher, H. 1949. Oral Anatomy. St.Louis : The C.V. Mosby Company. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
13. Hemley, S. 1953. Orthodontic theory and practice. 2<sup>nd</sup> edition. New York : Grune and Stratton. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.

14. Wheeler, R.C. 1940. Textbook of dental anatomy and physiology. Philadelphia : W.B. Saunders Company. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
15. Diamond, M. 1952. Dental anatomy. 3<sup>rd</sup> edition New York : The Macmillan Company. Cite in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
16. Gresham, H. 1957. A manual of orthodontics. Christ Church, New Zealand : N.M. Peryer, Limited.
17. Anderson, G.M. 1955. Practical orthodontics. 8<sup>th</sup> edition. St.Louis : The C.V. Mosby Company. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
18. Oliver, O.A., Irish, R.E., Wood, C.R. 1940. Labio-lingual technique. St.Louis : The C.V. Mosby. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
19. Bahador, M.A., Higley, L.B. 1944. Bite opening : A cephalometric analysis. J.Am.Dent.Assoc. 31 : 343-352.
20. Moyers, RE. 1958. Handbook of Orthodontics. Chicago : The Yearbook Publishers, Inc.
21. Moyers, R.E., Higley, B. 1949. The stabilizing plate, an adjunct to orthodontic therapy. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 35 : 54-60.
22. McCoy, J.D. 1941. Applied orthodontics. 5<sup>th</sup> edition. Philadelphia : Lea and Febiger. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
23. Johnson, J.E. 1950. The use of the twin-wire mechanism in treating Class II, division 2 cases of malocclusion. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 36 : 245-264.
24. Salzmann, J.A. 1957. Orthodontics : practice and techniques. Philadelphia : J.B. Lippincott Company. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
25. Fracher, B. 1957. Clinical orthodontics. Philadelphia : W.B. Saunders Company. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.
24. Ricketts, R.M., Bench, R.W., Gugino, C.F., Hilgers, J.J., Schulhof, R.J. 1979. Bioprogressive Therapy Book 1 Denver, Rocky mountain/orthodontics.
25. Tweed, C.H. 1936. The application of the principles of the edgewise arch in the treatment of Class. II, div 1 malocclusion. Angle Orthod. 6 : 198-208. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 26-41.

26. Tweed, C.H. 1936. The application of the principles of the edgewise arch in the treatment of Class. II, div 1 malocclusion. Angle Orthod. 6 : 198-208. Cited in Baldrige, D.W. 1969. Leveling the curve of Spee. J.Prac.Orthod. 3 : 255-257.
27. Proffit, W.R., Fields, H.W. 1993. Contemporary Orthodontics, 2<sup>nd</sup> edition, Mosby.
28. Burstone, C.J. 1962. The rationale for the segmented arch.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 11 : 805-822.
29. Burstone, C.J. 1977. Deep overbite correction by intrusion.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 72 : 1-22.
30. Germane, N., Staggers, J.A., Rubinstein, L., Revere, J.T. 1992. Arch length considerations due to the curve of Spee : a mathematical model.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 102 : 251-255.
31. Woods, M. 1986. A reassessment of space requirements for lower arch leveling.  
J.Clin.Orthod. 20 : 770-778.
32. Braun, S., Hnat, W.P., Johnson, B.E. 1996. The curve of Spee revisited.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 110 : 206-210.
33. Dellinger, E.L. 1978. A scientific assessment of the straight-wire appliance.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 73 : 290-299.
34. Ferguson, J.W. 1990. Lower incisor torque : The effects of rectangular archwires with a reverse curve of Spee. Br.J.Orthod. 17 : 311-315.
35. มนต์ สติระจินดา. 2536. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
36. Burstone, C.J., Morton, J.Y. 1985. Chinese NiTi wire - A new orthodontic alloy.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 87 : 445-452.
37. Buehler, W.J., Cross, W.B. 1969. 55-Nitinol unique wire alloy with a memory.  
Wire J. 2 : 41-49. Cited in Hurst, C.L., Dancanson, M.G., Nanda, R.S., Angolkar, P.V. 1990. An evaluation of the shape-memory phenomenon of nickel-titanium orthodontic wires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 98 : 72-76.
38. Andreasen, G.F., Wass, K., Chan, K.C. 1985. A review of super-elastic and thermodynamic nitinol wire. Quintessence Int. 9 : 623-626.
39. Andreasen, G.F., Morrow, R.E. 1978. Laboratory and clinical analyses of nitinol wire. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 73 : 142-151.
40. Khier, S.E., Brantley, W.A., Fournelle, R.A. 1991. Bending properties of superelastic and non-superelastic nickel-titanium orthodontic wires.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 99 : 310-318.
41. Burstone, C.J. 1981. Variable-modulus orthodontics.  
Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 80 : 1-60.

42. Hurst, C.L., Duncanson, M.G., Nanda, R.S., Angolkar, P.V. 1990. An evaluation of the shape-memory phenomenon of nickel-titanium orthodontic wires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 98 : 72-76.
43. Miura, F., Imogi, M., Okamoto, Y. 1990. New application of superelastic NiTi rectangular wire. J.Clin.Orthod. 24 : 544-548.
44. Chen, R., Zhi, Y.F., Arvystas, M.G. 1992. Advanced Chinese NiTi alloy wire and clinical observation. Angle Orthod. 62 : 59-65.
45. Tipton, D.F., Loos, J., Highland, K., Zernik, J.H. 1994. Use of spooled nickel-titanium wires as initial arch wires. J.Clin.Orthod. 28 : 718-721.
46. Alqabandi, A.K., Sadowsky, C., BeGole, EA. 1999. A comparison of the effects of rectangular and round arch wires in leveling the curve of Spee. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 116 : 522-529.
47. West, A.E., Jones, M.L., Newcombe, R.G. 1995. Multiflex versus superelastic : randomized clinical trial of the tooth alignment ability of initial arch wire. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 108 : 464-471.
48. Nakano, H., Satoh, K., Norris, R., Jin, T., Kamegai, T., Ishikawa, F., Katsura, H. 1999. Mechanical properties of several nickel-titanium alloy wires in three-point bending tests. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 115 : 390-395.
49. Kapila, S., Sachdeva, R. 1989. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 96 : 100-109.
50. Barrowes, K.J. 1982. Archwire flexibility and deflection. J.Clin.Orthod. 16 : 803-811.
51. Oltjen, J.M., Duncanson, M.G.Jr., Ghosh, J., Nanda, R.S., Currier, G.F. 1997. Stiffness-deflection behavior of selected orthodontic wires. Angle Orthod. 67 : 209-218.
52. Garner, L.D., Allai, W.W., Moore, B.K. 1986. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 90:199-203.
53. Kapila, S., Angolkar, P.V., Duncanson, M.G., Nanda, R.S. 1990. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 98 : 117-126.
54. Saunders, C.R., Kusy, R.P. 1994. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 106 : 76-87.
55. Ryan, R., Walker, G., Freeman, K., Cisneros, G.J. 1997. The effects of ion implantation on rate of tooth movement: An in vitro model. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 112 : 64-68.

56. Nelson, K.R., Burstone, C.J., Goldberg, A.J. 1987. Optimal welding of beta titanium orthodontic wires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 92 : 213-219.
57. Burstone, C.J. 1987. Welding of TMA wire : clinical applications. J.Clin.Orthod. 21 : 609-615.
58. Donovan, M.T., Lin, J.J.-J, Brantley, W.A., Conover, J.P. 1984. Weldability of beta-titanium arch wires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 86 : 177-188.
59. Frank, C.A., Nikolai, R.J. 1980. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and archwire. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 78 : 593-609.
60. Stannard, J.G., Gau, J.M., Hanna, M. 1986. Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 89 : 485-491.
61. Riley, J.L., Garrett, S.G., Moon, P.C. 1979. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. J.Dent. Res. 58 : A21.
62. Feeney, F., Morton, J., Burstone, C.J. 1988. The effect of bracket width on bracket-wire friction. J.Dent.Res. 67 : A1969.
63. Baker, K.L., Nieberg, L.G., Weimer, A.D., Hanna, M. 1987. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 91 : 316-320.
64. Smith, R., Burstone, C.J. 1984. Mechanics of tooth movement. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 85 : 294-307.
65. Angolkar, P.V., Kapila, S., Duncanson, M.G., Nanda, R.S. 1990. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 98 : 499-506.
66. ปิยรัตน์ อภิวัฒน์กุล. 2526 ลักษณะการเรียงตัวของฟันบนขากรรไกรของคนไทย วิทยานิพนธ์ ปริญญาทันตแพทยศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
67. Waters, N.E. 1992. Orthodontic product update superelastic nickel-titanium wire. Br.J.Orthod. 19 : 319-322.
68. Hamdan, A.M., Rock, W.P. 1995. The effects of archwire forces on incisor intrusion. Br.J.Orthod. 22 : 155-160.
69. Kusy, R.P. 1981. Comparison of nickel-titanium and beta titanium wire sizes to conventional orthodontic arch wire materials. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 79 : 625-629.
70. Kusy, R.P., Greenberg, A.R. 1981. Effects of composition and cross section on the elastic properties of orthodontic wires. Angle Orthod. 51 : 325-341.

71. Kusy, R.P., Greenberg, A.R. 1982. Comparison of the elastic properties of nickel-titanium and beta titanium archwires. Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop. 82 : 199-205.
72. เจน รัตน์ไพศาล. 2533 ทันตวัสดุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช
73. Burstone, C.J., Hanley, K.J. 1985. Modern edgewise mechanics. Segmented arch technique. Famington : Ormco corporation.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 9 แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนโทขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางหน้าตัดกลม ขนาด 0.016 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

ตัวอย่าง	แรงกดที่ 6 มม (N)	แรงกดที่ 4 มม (N)	แรงกดที่ 2 มม (N)	แรงกดที่ระนาบอ้างอิง (N)
1	0.2502	0.2228	0.2197	0.2167
2	0.2502	0.2258	0.2167	0.2167
3	0.2533	0.2258	0.2167	0.2167
4	0.2533	0.2289	0.2228	0.2167
5	0.2533	0.2228	0.2167	0.2136
6	0.2594	0.2289	0.2167	0.2167
7	0.2686	0.2533	0.2258	0.2258
8	0.2533	0.2167	0.2106	0.2075
9	0.2655	0.2350	0.2228	0.2228
10	0.2502	0.2167	0.2106	0.2075
11	0.2258	0.2075	0.1984	0.1984
12	0.2319	0.2106	0.2045	0.2014
13	0.2655	0.2319	0.2167	0.2106
14	0.2441	0.2197	0.2106	0.2106
15	0.2716	0.2319	0.2197	0.2167
16	0.2441	0.2167	0.2075	0.2075
17	0.2380	0.2258	0.2167	0.2167
18	0.2502	0.2228	0.2136	0.2136
19	0.2747	0.2350	0.2228	0.2136
20	0.2472	0.2167	0.2045	0.2106
21	0.2380	0.2167	0.2045	0.2014
22	0.2411	0.2167	0.2045	0.2045
23	0.2319	0.2075	0.1984	0.1923
24	0.2472	0.2197	0.2045	0.2014
25	0.2716	0.2441	0.2258	0.2258
26	0.2472	0.2350	0.2014	0.2014
27	0.2411	0.2197	0.2045	0.2014
28	0.2716	0.2441	0.2289	0.2289
29	0.2716	0.235	0.2258	0.2228
30	0.2411	0.2075	0.2014	0.1984

ตารางที่10 แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทเซ็นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางหน้าตัดกลมขนาด 0.018 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิงตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

ตัวอย่าง	แรงกดที่ 6 มม (N)	แรงกดที่ 4 มม (N)	แรงกดที่ 2 มม (N)	แรงกดที่ระนาบอ้างอิง (N)
1	0.3418	0.2960	0.2899	0.2899
2	0.3510	0.2991	0.2960	0.2960
3	0.3662	0.3113	0.2930	0.2930
4	0.3448	0.3052	0.2899	0.2869
5	0.3632	0.3113	0.2899	0.2960
6	0.3448	0.3021	0.2899	0.2899
7	0.3357	0.3021	0.2869	0.2899
8	0.3387	0.2991	0.2838	0.2869
9	0.3601	0.3174	0.3021	0.3082
10	0.3601	0.3174	0.2991	0.3021
11	0.3479	0.3021	0.2930	0.2930
12	0.3387	0.3021	0.2991	0.3021
13	0.3387	0.3082	0.2960	0.3021
14	0.3540	0.3174	0.2991	0.2991
15	0.3387	0.2991	0.2899	0.2899
16	0.3296	0.3082	0.2960	0.2991
17	0.3418	0.3052	0.2869	0.2930
18	0.3479	0.3082	0.2960	0.2930
19	0.3693	0.3235	0.3021	0.3021
20	0.3510	0.3113	0.2960	0.2930
21	0.3632	0.3143	0.2960	0.2899
22	0.3479	0.3052	0.2960	0.2960
23	0.3571	0.3174	0.3052	0.3052
24	0.3754	0.3235	0.3052	0.3082
25	0.3418	0.3021	0.2930	0.2899
26	0.3418	0.3021	0.2838	0.2899
27	0.3662	0.3174	0.2991	0.3021
28	0.3632	0.3204	0.2991	0.3021
29	0.3387	0.2991	0.2838	0.2960
30	0.3693	0.3204	0.2930	0.3052

ตารางที่ 11 แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดโค้งไนไทซีนรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางหน้าตัด  
 เหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง  
 ตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

ตัวอย่าง	แรงกดที่ 6 มม (N)	แรงกดที่ 4 มม (N)	แรงกดที่ 2 มม (N)	แรงกดที่ระนาบอ้างอิง (N)
1	0.6531	0.6042	0.5829	0.5615
2	0.6866	0.6287	0.6104	0.5585
3	0.6531	0.6073	0.5890	0.5707
4	0.6622	0.6165	0.6012	0.5859
5	0.7019	0.6287	0.5798	0.5554
6	0.7019	0.6317	0.6134	0.5920
7	0.5798	0.5676	0.5524	0.5219
8	0.5646	0.5737	0.5707	0.5615
9	0.7080	0.6378	0.5920	0.5676
10	0.6714	0.6104	0.5768	0.5371
11	0.7019	0.6287	0.5829	0.5493
12	0.6927	0.6165	0.5768	0.5402
13	0.7202	0.6317	0.6042	0.5646
14	0.7355	0.6378	0.5859	0.5524
15	0.7202	0.6409	0.5859	0.5585
16	0.6989	0.6287	0.5859	0.5463
17	0.7050	0.6317	0.5585	0.5554
18	0.6775	0.6104	0.5676	0.5310
19	0.7172	0.6348	0.5951	0.5646
20	0.7721	0.6592	0.6104	0.5707
21	0.7172	0.6622	0.6195	0.5798
22	0.7782	0.6897	0.6470	0.6073
23	0.7080	0.6500	0.6165	0.5798
24	0.6958	0.6409	0.6012	0.5646
25	0.7294	0.6714	0.6287	0.5859
26	0.6531	0.5798	0.5463	0.5127
27	0.7172	0.6531	0.6165	0.5798
28	0.7294	0.6592	0.6195	0.5798
29	0.6775	0.6287	0.6165	0.6073
30	0.6836	0.6317	0.5951	0.5646

ตารางที่12 แสดงค่าแรงกดพื้นหน้าล่างของลวดที่เื่อมขึ้นรูปสำเร็จรูปโค้งสปีกลับทางหน้าตัด  
 เหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว ที่ระดับความสูง 6, 4, 2 มม. เหนือระนาบอ้างอิงและที่ระนาบอ้างอิง  
 ตามลำดับ (หน่วยเป็นนิวตัน)

ตัวอย่าง	แรงกดที่ 6 มม (N)	แรงกดที่ 4 มม (N)	แรงกดที่ 2 มม (N)	แรงกดที่ระนาบอ้างอิง (N)
1	0.6744	0.5554	0.4517	0.3967
2	0.6836	0.5737	0.4395	0.3815
3	0.6866	0.5768	0.4883	0.4333
4	0.6531	0.5341	0.4578	0.3998
5	0.6897	0.5493	0.4669	0.4089
6	0.5829	0.4913	0.4272	0.3723
7	0.6775	0.5463	0.4547	0.3937
8	0.6592	0.5585	0.4852	0.4242
9	0.6561	0.5371	0.4364	0.3754
10	0.7111	0.5615	0.4700	0.4028
11	0.5585	0.4669	0.4181	0.3693
12	0.7202	0.6104	0.4913	0.4333
13	0.6714	0.5432	0.4761	0.4059
14	0.6683	0.5615	0.4883	0.4211
15	0.5859	0.4974	0.4089	0.3448
16	0.6622	0.6256	0.5249	0.4364
17	0.5798	0.5005	0.4242	0.3693
18	0.6409	0.5615	0.4852	0.4181
19	0.6317	0.5524	0.4669	0.4150
20	0.5737	0.4944	0.4181	0.3601
21	0.7111	0.6348	0.5005	0.4242
22	0.6287	0.5615	0.4822	0.4333
23	0.5798	0.5157	0.4425	0.3876
24	0.6378	0.5524	0.4822	0.4333
25	0.6561	0.5646	0.4944	0.4395
26	0.6195	0.5127	0.4425	0.3845
27	0.6683	0.5798	0.4974	0.4303
28	0.6622	0.6104	0.4944	0.4333
29	0.6348	0.5493	0.4456	0.3845
30	0.6287	0.5768	0.4761	0.4150

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธำมรงค์ จารุประกร เกิดวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2515 ที่โรงพยาบาลรามาริบัติ จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2538 รับราชการตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตรเป็นเวลา 1 ปี และทำงานตำแหน่งทันตแพทย์ประจำแผนกทันตกรรม โรงพยาบาลพญาไท 1 เป็นเวลา 3 ปี เข้าศึกษาต่อ ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย