บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลไกเลื่อนไถล (sliding mechanics) ของฟันผ่านเส้นลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเป็นวิธีเคลื่อนที่ที่พบได้ในทุกระยะของการเคลื่อนฟันในเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น ได้แก่ การปรับระดับของฟัน (leveling) เรียงฟัน (aligning) ให้อยู่ในส่วนโค้งของขากรรไกรรวมทั้งแก้ไขการหมุน (rotation) ของฟันและเปลี่ยนแปลงรูปร่างของส่วนโค้งแนวฟันของขากรรไกร (changing arch form) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการเคลื่อนฟันปิดช่องว่างจากการถอนฟัน เป็นตัวอย่างของการเคลื่อนฟันที่ใช้กลไกเลื่อนไถล กล่าวคือ เมื่อมีการเลื่อนไถลของวัตถุ 2 ชิ้นผ่านกันย่อมที่มีแรงเสียดทานเกิดขึ้น โดยแรงเสียดทานนี้จะเป็นแรงที่ต้านต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุและมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่เสมอ แรงเสียดทานเป็นแรงที่เกิดจากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานกับแรงปกติซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับแรงเสียดทาน จากสมการ $F= \mu N$ ซึ่งค่า μ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่มีค่าคงที่ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุทั้ง 2 ทำให้แรงเสียดทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปกติ
แรงเสียดทานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

- แรงเสียดทานสถิต (Static fircton) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในสภาวะก่อนที่วัตถุจะเคลื่อนที่
- แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่

โดยแรงเสียดทานสถิตจะมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานจลน์เสมอ ในทางทันตกรรมจัดฟันเมื่อมีการให้แรงเพื่อเคลื่อนฟัน แรงนั้นจะต้องมากกว่าแรงเสียดทาน แรงเสียดทานจะเกิดขึ้นตรงบริเวณระหว่างแบร็กเกตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันที่สัมผัสกัน

แรงที่ต้านต่อการเลื่อนไถล (resistance to sliding:RS) เป็นผลรวมของ **แรงเสียดทาน** (classical friction:FR) กับ **แรงยึดติด** (elastic binding:BI) และ **รอยบากที่เกิดบนลวด** (physical notching:NO) (Articolo และคณะ, 2000; Kusy และ Whitley, 1997, 1999b; Thorstenson และ Kusy, 2001)

$$RS = FR + BI + NO$$

โดยแรงเสียดทาน (FR) เกิดบริเวณที่มีการสัมผัสกันระหว่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับพื้นร่องแบร็กเกตและ/หรือผนังของแบร็กเกตในระหว่างที่มีการเลื่อนไถล และเมื่อลวดโค้งสัมผัสกับมุมของผนังแบร็กเกตในระหว่างที่แบร็กเกตเอียงทำมุมเกินกว่าค่ามุมวิกฤตก็จะเกิดแรงยึดติด(BI)เพิ่มขึ้นอีกแรงหนึ่งที่ต้านต่อการเลื่อนไถล และเมื่อแบร็กเกตเอียงมากขึ้นจนทำให้ลวดผิดรูปจะเกิดรอยบาก (NO) ขึ้นบนลวดโค้งทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น

การพยายามลดแรงเสียดทานวิธีหนึ่งคือการลดแรงที่ใช้ในการมัดลวดโค้งให้อยู่ในร่องของแบร็กเกต โดยการผลิตแบร็กเกตที่ไม่ต้องอาศัยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหรือวงอีลาสโทเมอร์ในการมัดลวดโค้งดังกล่าว หรือที่เรียกว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต เป็นแบร็กเกตที่ต้องอาศัยบานเลื่อนหรือคลิปในการบังคับให้ลวดโค้งอยู่ภายในร่องแบร็กเกต(Thorstenson และ Kusy, 2001) อย่างไรก็ตาม มีปัจจัยอื่นๆอีกมากมายที่มีผลต่อแรงเสียดทาน ดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน(Loftus และ Artum, 2001; Miles, 2005; Redlich และคณะ, 2003; Southard, Marshall และ Grosland, 2007; Tecco และคณะ, 2005)

I. **แบร็กเกต**
   1. วัสดุและลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกต (bracket materials and surface condition)
   2. ความกว้างของร่องแบร็กเกต (bracket slot width)
   3. ชนิดของแบร็กเกต (bracket type)
   4. ระยะระหว่างแบร็กเกต (interbracket distance)
   5. การใช้แบร็กเกตซ้ำ (repeated use of bracket)

II. **ลวด**
   1. วัสดุ และ ลักษณะของพื้นผิวของลวด (wire materials and surface condition)
   2. ขนาดและรูปร่างของลวด (Archwire size and shape)
   3. ความแข็งตึงของลวด (stiffness)

III. **วิธีการและวัสดุที่ใช้ยึดลวดกับแบร็กเกต**
   1. มุมที่กระทำระหว่างลวดและแบร็กเกต (angulation and torque of bracket and wire)
   2. ระยะปลอดระหว่างแบร็กเกตกับลวด (bracket-wire clearance)
   3. ชนิดและแรงที่ใช้ในการมัด (type and magnitude of force)

IV. **สภาวะอื่น ๆ**
   1. สภาวะเปียกและแห้ง (dry and wet situation)
   2. ผลจากการทำงานของช่องปาก เช่น แรงบดเคี้ยว
   3. ความกว้างของช่องปริทันต์ (periodontal space)

I. แบร็กเกต

1. วัสดุและลักษณะพื้นผิวของแบร็กเกต (bracket materials and surface condition)

โลหะที่นิยมใช้ใช้ในการผลิตแบร็กเกต คือ โลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่ำ (low-friction-coefficient alloy) เพื่อให้สามารถลดแรงเสียดทานได้อย่างมีนัยสำคัญ (Redlich และคณะ, 2003) ในปัจจุบันแบร็กเกตที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบร็กเกตเซรามิก แบร็กเกตคอมโพสิทและแบร็กเกตไทเทเนียม ซึ่งแบร็กเกตแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่แตกต่างกัน

Kusy และ Whitley ในปี 1990 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและแบร็กเกตเซรามิกด้วยลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิดพบว่า แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต่ำกว่าแบร็กเกตเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kusy และ Whitley, 1990b)

Kusy และคณะในปี 1998 ได้ทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดนิกเกิลไทเทเนียม ลวดเบต้าไทเทเนียมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในลวดทุกชนิดดังกล่าว (Kusy และคณะ, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kapur และคณะในปี 1999 ที่ได้ทดสอบแบร็กเกตไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดต่างๆกัน ก็ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Kapur และคณะ, 1999a)

Loftus และคณะในปี 1999 ได้ศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แบร็กเกตเซรามิก แบร็กเกตเซรามิกที่มีร่องแบร็กเกตเป็นโลหะและเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต พบว่า แบร็กเกตเซรามิกจะมีแรงเสียดทานที่มากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยมากกว่าอีก 3 ชนิดที่เหลือ (Loftus และคณะ, 1999) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Downing และคณะในปี 1995 ที่พบว่าแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและแบร็กเกตเซรามิกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Downing, McCabe และ Gordon, 1995)

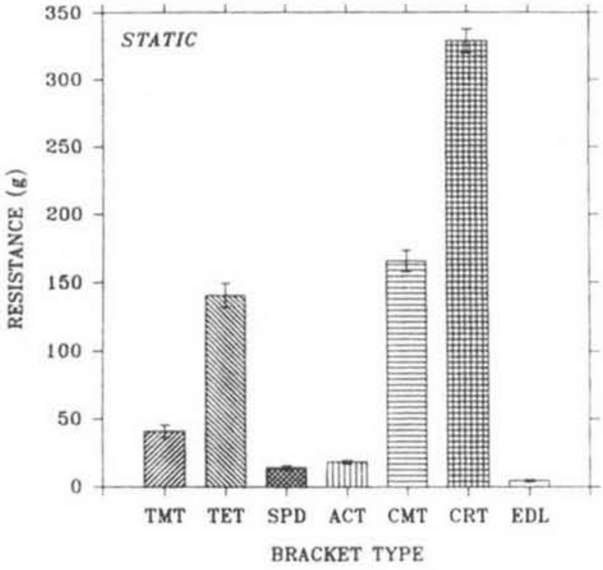
2. ความกว้างของร่องแบร็กเกต (width of bracket slot)

ความกว้างของร่องแบร็กเกตเป็นความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับมุมวิกฤต กล่าวคือเมื่อความกว้างลดลงมุมวิกฤตจะมีค่ามากขึ้น ดังนั้นเมื่อแบร็กเกตที่มีร่องแบร็กเกตที่แคบเอียงทำมุมเท่ากับแบร็กเกตที่มีร่องแบร็กเกตที่กว้าง จะทำให้แบร็กเกตที่กว้างเกิดการสัมผัสกับลวดก่อนทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่า นั่นก็คือความกว้างของร่องแบร็กเกตมีความสัมพันธ์แบบตามกันกับแรงเสียดทาน รวมทั้งแบร็กเกตที่มีความกว้างของร่องแบร็กเกตที่

มากกว่าทำให้เวลามัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์จะต้องยืดยางออกมากกว่าเป็นผลให้ความตึงของยางเกิดแรงกดต่อลวดมากขึ้น ทำให้แรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Bednar, Gruendeman และ Sandrik, 1991; Drescher, Bourauel และ Schumacher, 1989; Frank และ Nikolai, 1980; Kusy และ Whitley, 1999b)นอกจากนี้ความกว้างของร่องแบร็กเกตยังมีผลต่อความแข็งตึงของลวดซึ่งจะส่งผลต่อแรงเสียดทานในทางอ้อมด้วย

3. **ชนิดของแบร็กเกต (bracket type)**

Shivapuja และ Berger ได้ทำการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานในแบร็กเกตต่างๆ 6 ชนิด ทั้งแบร็กเกตธรรมดาที่ทำด้วยโลหะ (standard metal twin bracket) แบร็กเกตเซรามิกธรรมดา (Standard ceramic bracket) เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง และ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรง พบว่ามีความแตกต่างในแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแบร็กเกตแต่ละแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบร็กเกตเซรามิกจะมีแรงเสียดทานที่มากที่สุด ถัดมาเป็นแบร็กเกตโลหะทั่วไป ถัดมาเป็นเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรง และ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงจะมีแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด (Shivapuja และ Berger, 1994)



รูปที่ 7 แรงเสียดทานที่เกิดในแบร็กเกตและลวดชนิดต่างๆ(Shivapuja และ Berger, 1994)

TMT : แบร็กเกตธรรมดาที่มัดด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

TET : แบร็กเกตธรรมดาที่มัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์

SPD : เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตสปีด

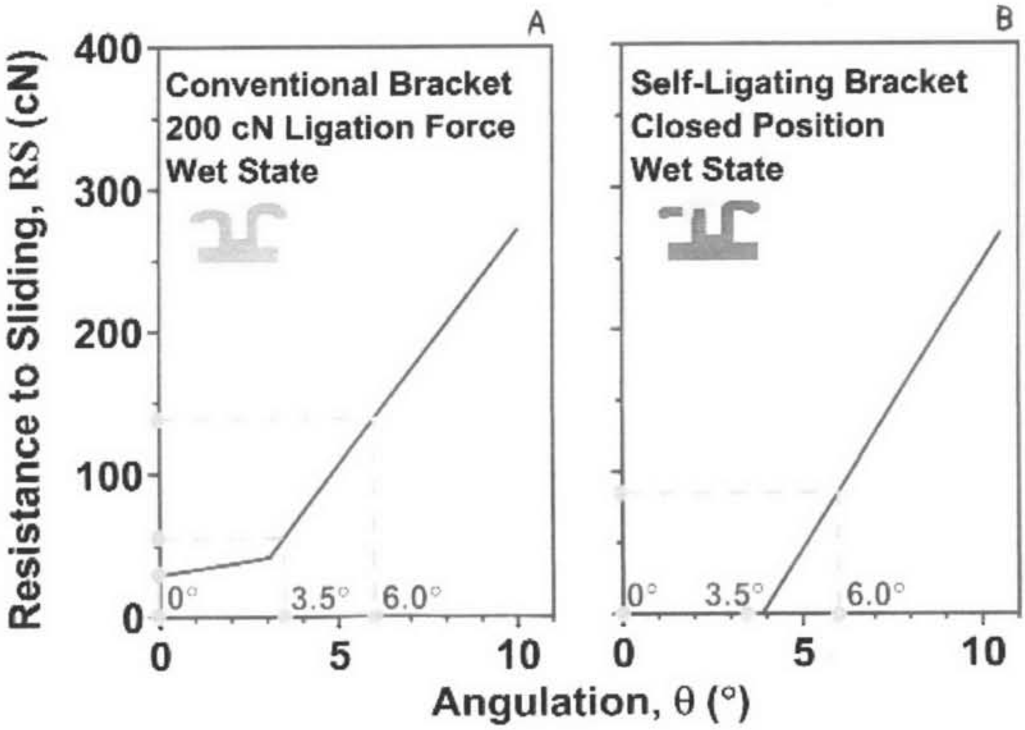
ACT : เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแอคติวา

CMT : แบร็กเกตเซรามิกมัดด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

CRT : แบร็กเกตเซรามิกมัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์

EDL : เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตเอ็จล็อค

มีการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตกับแบร็กเกตธรรมดาที่ให้ผลในทำนองเดียวกันว่าเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดา (Bednar และคณะ, 1991; Berger, 1990; Harradine, 2001; Shivapuja และ Berger, 1994; Sims และคณะ, 1993; Tecco และคณะ, 2005; Thomas, Sherriff และ Birnie, 1998; Thorstenson และ Kusy, 2002b, 2001) โดย Shivapuja และ Berger ได้ให้เหตุผลของการที่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่า ว่ามาจากการที่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต ปราศจากแรงที่มัดลวดให้อยู่ภายในร่องแบร็กเกตและมีการสร้างผนังด้านที่สี่ที่ทำให้เกิดเป็นท่อหรืออุโมงค์เพื่อให้เป็นที่อยู่ของลวด (Shivapuja และ Berger, 1994)



รูปที่ 8 : แสดงการเปรียบเทียบกราฟแรงเสียดทานและมุมร่องแบร็กเกตใน A แบร็กเกตแบบทั่วไป, B เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต (Thorstenson และ Kusy, 2001)

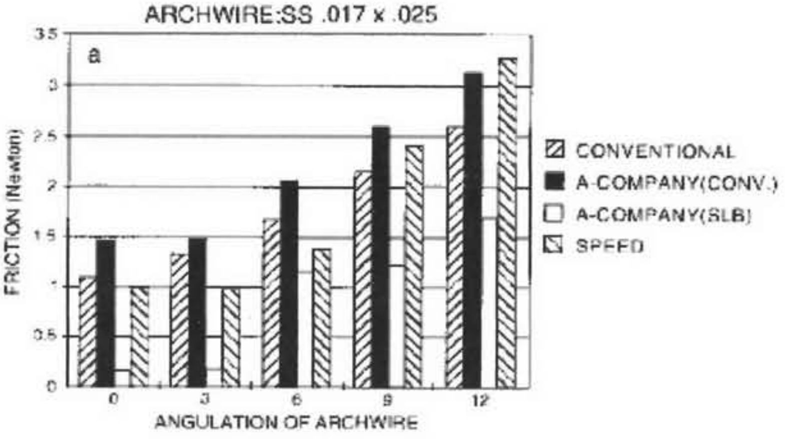
จากการศึกษาของ Thorstenson เมื่อปี 2001 ได้เปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในการใช้แบร็กเกต 3 ลักษณะได้แก่ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตที่มัดด้วยลวดผูกชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตและแบร็กเกตธรรมดาที่ผูกด้วยวงอีลาสโทเมอร์ หรือที่ผูกด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตที่มัดด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีแรงเสียดทานที่เท่ากับแบร็กเกตธรรมดา ในขณะที่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (Thorstenson และ Kusy, 2001)

Sims และคณะในปี 1993 ได้ทำการทดสอบแรงที่ใช้ในการทำให้ฟันเคลื่อนที่จากเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต แบบไร้แรง คือ แอคติวา กับแบบมีแรงคือ สปีดแบร็กเกตและแบร็กเกตแบบธรรมดา โดยใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดต่างๆกันผ่านร่องแบร็กเกต พบว่าแรงเสียดทานที่เกิดกับแอคติวาที่เป็นเซลฟ์ไลเกตติ้งแบบไร้แรง มีขนาดที่ต่ำกว่าสปีดแบร็กเกตถึง 15 เท่า และต่ำกว่าแบร็กเกตแบบธรรมดาที่มัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์ถึง 40 เท่า โดยผู้ทำการศึกษาได้ให้คำวิจารณ์ว่า เป็นผลจากการออกแบบระบบของการมัดที่เป็นท่อแข็ง (rigid tube) ทำให้ไม่เกิดแรงกระทำโดยตรงในการกดลงที่ลวด (Sims และคณะ, 1993)

Vourdouris ในปี 1997 ได้ทดสอบเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดจากเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงเทียบกับแบบมีแรง และแบร็กเกตแบบธรรมดา กับลวดโค้งเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว พบว่าเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงมีแรงเสียดทาน 0.25 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรงมีแรงเสียดทาน 54.12 กรัมต่อตารางเซนติเมตร (Voudouris, 1997)

Pizzoni และคณะในปี 1998 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงชนิด ดามอนเอสแอล เทียบกับแบบมีแรงชนิด สปีดแบร็กเกตโดยให้มีมุมกระทำต่างๆกัน พบว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงชนิดดามอนเอสแอลมีแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าสปีดแบร็กเกตที่เป็นเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรงในทุกๆมุมกระทำที่ต่างกัน

นอกจากนั้นได้มีผู้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงเทียบกับแบบมีแรงจะให้ผลไปในลักษณะเดียวกัน คือ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงจะมีแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรงในทุกๆมุมที่กระทำ (Henao และ Kusy, 2004; Pizzoni และคณะ, 1998; Shivapuja และ Berger, 1994; Sims และคณะ, 1993)



รูปที่ 9 แสดงค่าแรงเสียดทานที่มุมกระทำของลวดทำกับร่องแบร็กเกตต่างๆกัน (Pizzoni และคณะ, 1998)

เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตจะมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดาเพราะฝาที่ปิดทางด้านหน้าจะไม่สัมผัสหรือให้แรงกดลงไปที่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันทำให้กำจัดแรงที่เกิดจากการมัดแบร็กเก็ตกับลวดโค้งได้จึงทำให้แรงเสียดทานน้อยลง (Berger, 1990; Pizzoni และคณะ, 1998; Sims และคณะ, 1993)

4. **<u>ระยะระหว่างแบร็กเกต (interbracket distance)</u>**

จากการศึกษาของ Kusy และ Whitley ในปี 2000 พบความสัมพันธ์ของระยะระหว่างแบร็กเกตกับแรงเสียดทานที่ต้านต่อการเลื่อนไถล (resistance to sliding) โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อระยะระหว่างแบร็กเกตลดลงจะทำให้มีผลต่อความแข็งตึงของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นได้ (Henao และ Kusy, 2005; Kusy และ Whitley, 2000) แต่ก็มีบางการศึกษาที่กล่าวว่า เมื่อระยะระหว่างแบร็กเกตที่เปลี่ยนแปลง ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน (Frank และ Nikolai, 1980)

5. **<u>การใช้แบร็กเกตซ้ำ (repeated use of bracket)</u>**

จากการศึกษาของ Kapur ในปี 1999 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ระหว่างแบร็กเกตที่ผ่านการใช้งานมาแล้วกับแบร็กเกตใหม่ พบว่าทั้งแบร็กเกตขนาด 0.018 และ 0.022 นิ้วที่ผ่านการใช้งานแล้วมีแรงเสียดทานที่มากกว่าแบร็กเกตใหม่ และเมื่อตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron micrograph) พบว่าเกิดการสึกที่ผิวของแบร็กเกตที่ผ่านการใช้งานมาแล้วในร่องแบร็กเกต ซึ่งการสึกนี้ส่งผลให้เกิดการยึดติดเชิงกล (mechanical interlocking) แล้วทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น (Kapur, Sinha และ Nanda, 1999b)

II. **<u>ลวด</u>**

1. **<u>วัสดุและลักษณะพื้นผิวของลวด (bracket materials and surface condition)</u>**

โดยทั่วไปลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันมักทำมาจากโลหะชนิดลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (SS) ลวดโคบอลต์-นิกเกิล-โครเมียม (Co-Cr) ลวดเบต้าไทเทเนียม (B-Ti) และลวดนิกเกิลไทเทเนียม (Ni-Ti) ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาทดสอบเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างโลหะทั้ง 4 ชนิดนี้ได้ผลว่า ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด ในขณะที่ลวดเบต้าไทเทเนียมมีแรงเสียดทานมากที่สุด (Angolkar และคณะ, 1990; Drescher และคณะ, 1989; Kapila และคณะ, 1990; Kusy และ Whitley, 1990b; Tecco และคณะ, 2005) แต่บางการศึกษาให้ผลที่แตกต่างกันเช่นจากการศึกษาของ Loftus และคณะในปี 1999 พบว่าลวดเบต้าไทเทเนียมมีแรงเสียดทานที่มากที่สุด รองลงมาเป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด และซึ่งพบว่าให้ผลแตกต่างจากการศึกษาอื่น กล่าวคือ การศึกษาส่วนใหญ่มีการออกแบบให้ฟันอยู่ในสภาวะติดแน่น (fix medium) ซึ่ง

แตกต่างจากสภาวะฟันจริงที่ยึดอยู่แบบหลวมๆภายในกระดูกเบ้าฟันด้วยเอ็นยึดปริทันต์ แต่การทดลองของ Loftus และคณะในปี 1999 ออกแบบให้ฟันไม่อยู่ในสภาวะติดแน่น ผลการทดลองที่ได้จึงแตกต่างจากการศึกษาอื่น (Loftus และคณะ, 1999)

จากการศึกษาของ Kusy และคณะในปี 1988 เพื่อหาความหยาบของพื้นผิวลวด 4 ชนิดโดยการใช้เครื่อง laser spectroscopy พบว่าลวดที่มีผิวเรียบที่สุดไปหยาบที่สุดคือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม, ลวดโคบอลท์โครเมียม, ลวดเบต้าไทเทเนียม, ลวดนิกเกิลไทเทเนียม และจากการทดลองนี้ Kusy และคณะพบว่า ไม่ว่าจะวัตถุจะเคลื่อนแบบเลื่อนไถลด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อนาที หรือ 0.5 มิลลิเมตร ต่อนาที ก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวเหล็กกล้าไร้สนิมไม่แตกต่างกัน (Kusy และคณะ, 1988) ต่อมาในปี 1990 Kusy และคณะ ได้ศึกษาผลของพื้นผิวที่หยาบต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในแบบจำลองฟันทางทันตกรรมจัดฟันในสภาวะแห้ง พบว่าลวดเบต้าไทเทเนียมมีค่าแรงเสียดทานที่มากที่สุด ถัดมาเป็นลวดนิกเกิลไทเทนียมและลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด และ จากการทดลองนี้ทำให้ Kusy สรุปว่าในการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล ค่าความหยาบของพื้นผิวไม่ได้เป็นสิ่งที่บ่งบอกได้เสมอไปว่าจะมีค่าแรงเสียดทานที่มากที่สุด (Kusy และ Whitley, 1990a)

2. <u>**ขนาดและรูปร่างของลวด (size and shape of archwire)**</u>

ขนาดของลวดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้นในทุกๆชนิดของวัสดุที่ใช้ทำลวด (Andreasen และ Quevedo, 1970; Braun และคณะ, 1999; Kapila และคณะ, 1990; Tecco และคณะ, 2005)แต่ที่มุมกระทำที่ศูนย์องศา ขนาดของลวดที่เพิ่มขึ้นจะไม่สัมพันธ์กับแรงเสียดทานเนื่องจากไม่เกิดการยึดติดที่มุมของแบร็กเกตและลวด (Redlich และคณะ, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thorstenson และ Kusy ในปี 2002 ที่พบว่าเมื่ออยู่ในสภาวะพาสสีฟ (passive configuration) ขนาดของลวดจะไม่มีผลต่อแรงเสียดทานในเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต แต่เมื่อเกิดการสัมผัสกันระหว่างลวดและแบร็กเกตแล้ว ขนาดลวดจะมีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบตามกัน โดยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว จะมีแรงเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 75 – 84 เซนตินิวตันต่อ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น (Thorstenson และ Kusy, 2002a)

Pizzoni และคณะในปี 1998 ได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างลวดกลมและลวดเหลี่ยม พบว่าในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเบต้าไทเทเนียม ลวดกลมจะมีแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าลวดเหลี่ยมในทุกๆมุมที่กระทำ (Pizzoni และคณะ, 1998)

3. <u>**ความแข็งตึงของลวด (stiffness)**</u>

ความแข็งตึงจะสามารถหาได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะโก่ง (load-deflection curve) โดยความแข็งตึงคือความชันของเส้นกราฟ นอกจากนี้ความแข็งตึงยังมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของลวดด้วย คือเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเป็น 2 เท่า ความแข็งตึงของลวดนั้นจะเพิ่มเป็นสัดส่วน 16 เท่า และเมื่อเพิ่มความยาวของลวด

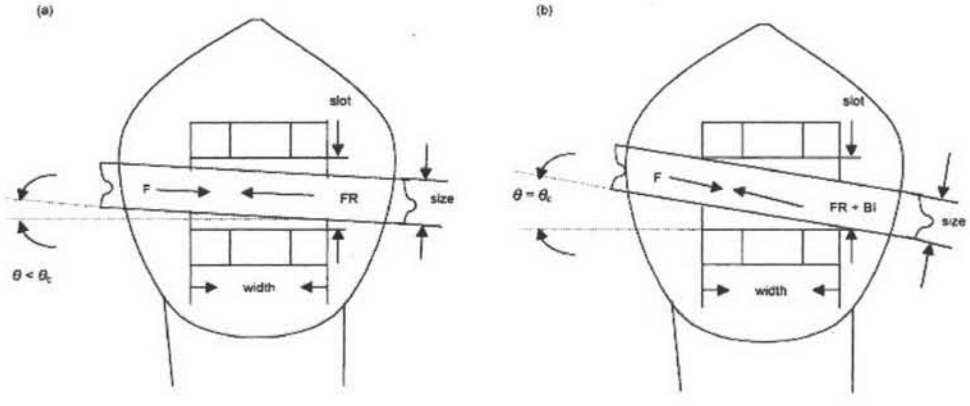
เป็น 2 เท่า ความแข็งตึงจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน 8 เท่า เมื่อเรามาพิจารณาถึงแรงเสียดทานที่มีส่วนสัมพันธ์กับความแข็งตึงของลวดจะพบว่า เมื่อลวดมีความแข็งตึงน้อย จะเกิดการผิดรูป (twist) ทำให้เกิดการยึดติดที่มุมของแบร็กเกตกับลวดได้ง่ายกว่าลวดที่มีความแข็งตึงที่สูงกว่า ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่า (Nanda, 1997)

III. **วิธีการและวัสดุที่ใช้ยึดลวดกับแบร็กเกต**

1.**มุมที่กระทำระหว่างลวดกับแบร็กเกต (angulation and torque of bracket and wire)**

ในการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของลวดผ่านร่องแบร็กเกต จะแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงขึ้นอยู่กับว่ามุมที่กระทำในขณะนั้นเกินมุมวิกฤตหรือไม่(Kang และคณะ, 2003; Kusy และ Whitley, 1999a; Thorstenson และ Kusy, 2002b, 2001; Whitley และ Kusy, 2007) ได้แก่

- สภาวะพาสสีฟ (passive configuration) เกิดเมื่อมุมที่กระทำมีค่าน้อยกว่าค่ามุมวิกฤต ดังนั้นค่าแรงเสียดทานที่ต้านต่อการเลื่อนไถลจะเท่ากับค่าแรงเสียดทานที่เกิดจากการเลื่อนไถลของลวดผ่านร่องแบร็กเกต ซึ่งค่าแรงเสียดทานที่ต้านต่อการเลื่อนไถลจะเป็นสัดส่วนตามกับแรงที่ใช้ในการมัด (ligation force) แต่ในสภาวะที่เป็นเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงจะมีแรงเสียดทานที่น้อยมากจนถึงไม่มีแรงเสียดทานเลย
- สภาวะแอคตีฟ (active configuration) ค่าแรงเสียดทานที่ต้านต่อการเลื่อนไถลจะเท่ากับผลรวมที่เกิดจากค่าแรงเสียดทานที่เกิดจากการเลื่อนไถลของลวดผ่านร่องแบร็กเกตรวมกับค่าแรงยึดติดที่เกิดบริเวณมุมของปีกแบร็กเกต โดยค่าแรงยึดติดจะสัมพันธ์กับมุมที่ลวดกระทำในขณะนั้นในลักษณะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 10 : แสดงมุมที่ลวดกระทำต่อร่องแบร็กเกตใน (A) สภาวะพาสสีฟ,
(B) สภาวะแอคตีฟ (Kang และคณะ, 2003)

ในขณะที่มีการเพิ่มมุมที่กระทำระหว่างลวดกับแบร็กเกตให้มากขึ้นจะส่งผลให้ไปเพิ่มแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่ง (vertical reactive force) ทำให้มุมที่มีการสัมผัสกันเกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น (Braun และคณะ, 1999; Redlich และคณะ, 2003) ภายใต้สภาวะแอคตีฟ ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่กระทำกับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นสัดส่วนเชิงเส้นตรงในทั้งแบร็กเกตธรรมดาและเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต (Ogata และคณะ, 1996; Thorstenson และ Kusy, 2002b, 2001)

จากการศึกษาของ Articolo และ Kusy ในปี 1999 พบว่าเมื่อมุมกระทำน้อยระหว่างลวดและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ถัดมาคือลวดนิกเกิลไทเทเนียมมีแรงเสียดทานมากกว่าและสุดท้ายคือลวดเบต้าไทเทเนียมมีแรงเสียดทานมากที่สุด แต่เมื่อมุมกระทำเพิ่มมากขึ้นพบว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียมเกิดแรงเสียดทานที่น้อยที่สุดถัดมาคือลวดเบต้าไทเทเนียมมีแรงเสียดทานมากกว่าและลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดแรงเสียดทานที่มากที่สุด (Articolo และ Kusy, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Peterson และคณะ ในปี 1982 ที่พบว่าเมื่อมุมกระทำมากขึ้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีแรงเสียดทานที่มากกว่าลวดนิกเกิลไทเทเนียม (Peterson, Spencer และ Andreasen, 1982)

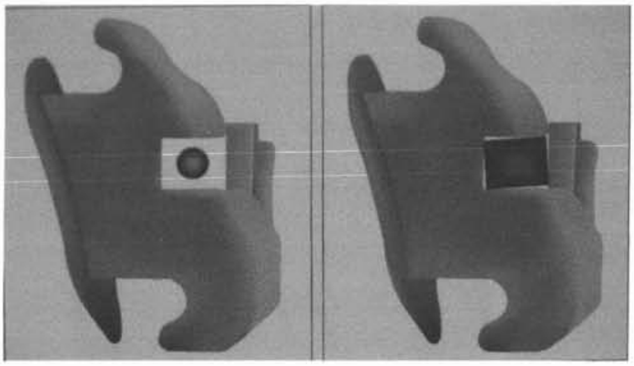
จากการศึกษาของ Read-Ward และคณะ ในปี 1997 ได้เปรียบเทียบเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต 3 ชนิดกับแบร็กเกตธรรมดา 1 ชนิด กระทำที่มุม 0, 5, 10 องศาพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของมุมที่กระทำให้มากขึ้นค่าแรงเสียดทานก็มีค่ามากขึ้นในแบร็กเกตทุกชนิด แต่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตจะมีแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าแบร็กเกตธรรมดาเสมอในทุกมุมกระทำที่เปลี่ยนไป (Read-Ward และคณะ, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pizzoni ในปี 1998 ที่ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง แบบมีแรงและแบร็กเกตธรรมดา พบว่าเมื่อเพิ่มมุมกระทำมากขึ้น (ที่ 0, 3, 6, 9, และ 12 องศา) แรงเสียดทานจะมากขึ้นในทุกๆชนิดของลวดและแบร็กเกตที่นำมาทดสอบและก็พบเช่นเดียวกันว่าเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตจะมีแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าแบร็กเกตธรรมดาเสมอในทุกมุมที่กระทำ (Pizzoni และคณะ, 1998)

จากการศึกษาของ Thorstenson และ Kusy ในปี 2002 ที่ใช้เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต 4 ชนิดมาทำมุมต่างๆกัน 14 มุมในช่วง -9 ถึง 9 องศา พบว่าเมื่อมุมที่กระทำระหว่างลวดกับแบร็กเกตมากเกินมุมวิกฤต จะเกิดแรงยึดติด (binding force) ที่เพิ่มขึ้นในแบร็กเกตทุกๆชนิด นั่นคือ การออกแบบแบร็กเกต (bracket design) ไม่มีผลต่อแรงเสียดทานเมื่อลวดทำมุมกับแบร็กเกตเกินกว่ามุมวิกฤต (Thorstenson และ Kusy, 2002b)

2. <u>ระยะปลอดระหว่างแบร็กเกตกับลวด (wire-bracket clearance)</u>

เป็นช่องว่างที่อยู่ระหว่าง ร่องแบร็กเกตกับลวดในมุมล้มเอียง (second order) แรงเสียดทานจะมีค่ามากขึ้นเมื่อลดช่องว่างระหว่างลวดและร่องแบร็กเกต(Loftus และคณะ, 1999)

จากการศึกษาของ Read-Ward และคณะในปี 1997 ที่เปรียบเทียบเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต 3 ชนิดกับแบร็กเกตธรรมดา 1 ชนิด เมื่อลดขนาดของช่องว่างระหว่างลวดกับแบร็กเกตลงโดยการเพิ่มขนาดของลวดให้ใหญ่ขึ้นพบว่าค่าแรงเสียดทานก็มีค่ามากขึ้นในแบร็กเกตทุกชนิด(Read-Ward และคณะ, 1997)



รูปที่ 11 ระยะปลอดของลวดลักษณะต่างๆ (Baek และคณะ 2007)

3. **ชนิดและแรงที่ใช้ในการมัด (type and force of ligation)**

จากการศึกษาของ Schumacher, Bourauel และ Drescher ในปี 1990 พบว่าส่วนใหญ่ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างเคลื่อนฟันมาจากแรงกดของการมัดและวิธีการมัดมากกว่าขนาดและรูปร่างของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน (Schumacher, Bourauel และ Drescher, 1990) สอดคล้องกับการศึกษาของ Thorstenson และ Kusy ในปี 2003 ที่พบว่าแรงจากการมัดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อแรงเสียดทานในสภาวะพาสสีฟที่ลวดเคลื่อนผ่านร่องแบร็กเกตโดยที่ยังไม่เกิดการยึดติดที่มุมแบร็กเกตเท่านั้น แต่ในสภาวะแอคตีฟวิธีการมัดที่ต่างกันจะไม่ส่งผลต่อแรงเสียดทานเนื่องจากแรงยึดติดที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงที่เกิดจากการมัด แต่แรงจากการมัดจะมีผลต่อแรงเสียดทานคลาสสิค (classical friction) (Thorstenson และ Kusy, 2003b) ดังนั้นการลดแรงเสียดทานสามารถทำได้โดยการลดแรงกดที่กระทำบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันลง (Kapur และคณะ, 1999a; Thorstenson และ Kusy, 2001) นอกจากนี้ลักษณะแรงที่แบร็กเกตกระทำต่อลวด (mode of action) ในเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตระหว่างแบบมีแรงและแบบไร้แรงก็มีผลต่อแรงเสียดทานเช่นกัน

จากการศึกษาของ Sims และคณะในปี 1993 พบว่าเมื่อมัดแบร็กเกตด้วยยางวงอีลาสโทเมอร์แบบเลขศูนย์และแบบเลขแปด (figure-of eight) แรงเสียดทานที่เกิดจากการมัดแบบเลขแปดจะมีแรงเสียดทานที่มากกว่าการมัดแบบเลขศูนย์ถึง 70-220 % (Sims และคณะ, 1993)

จากการศึกษาของ Shivapuja และ Berger พบว่าในแบร็กเกตที่มัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์จะมี

แรงเสียดทานที่มากกว่าแบร็กเกตที่มัดด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องมาจากการที่มีการเสื่อมอย่างรวดเร็วของแรงและการมีคราบจุลินทรีย์สะสม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Shivapuja และ Berger, 1994)

IV. **สภาวะอื่นๆ**

1. **สภาวะแห้งหรือชื้น (dry and wet situation)**

สภาวะภายในช่องปากที่มีน้ำลายเป็นปัจจัยอีกชนิดหนึ่งในการพิจารณาถึงแรงเสียดทานที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการเคลื่อนฟัน ได้มีการศึกษามากมายถึงผลกระทบของน้ำลายที่มีต่อแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตชนิดต่างๆกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน Kusy และคณะในปี 1991 กล่าวว่าการใช้น้ำลายเทียมไม่เหมาะสมที่จะมาใช้แทนน้ำลายคนจริงๆในการทดลองเนื่องจากผลที่ได้จะไม่มีความแม่นยำ (invalid) (Kusy, Whitley และ Prewitt, 1991)

ในบางการศึกษาพบว่าน้ำลายมีส่วนช่วยในการหล่อลื่นทำให้แรงเสียดทานลดลงร้อยละ15-19 (Baker และคณะ, 1987) บางการศึกษาก็ให้ผลตรงข้ามกันคือทำให้แรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Downing และคณะ, 1995; Kusy และ Whitley, 2000; Kusy และคณะ, 1991; Pratten และคณะ, 1990; Thorstenson และ Kusy, 2001) และบางการศึกษาก็ไม่สามารถบอกผลที่แน่ชัดได้ เช่น มีทั้งเพิ่มและลดแรงเสียดทาน ได้แก่การศึกษาของ Read-Ward และคณะในปี 1997 ที่เปรียบเทียบเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต 3 ชนิดกับแบร็กเกตธรรมดา 1 ชนิดในน้ำลายคน พบว่าในการใช้ขนาดลวดที่เท่ากันคือ 0.019 x 0.025 นิ้ว ในแบร็กเกตธรรมดากับสปีดแบร็กเกตในสภาวะเปียกมีค่าแรงเสียดทานที่สูงกว่าในสภาวะแห้ง ในขณะที่แบร็กเกตชนิดแอคติวาและโมบิลล็อคในสภาวะเปียกมีค่าแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าในสภาวะแห้ง (Read-Ward และคณะ, 1997)

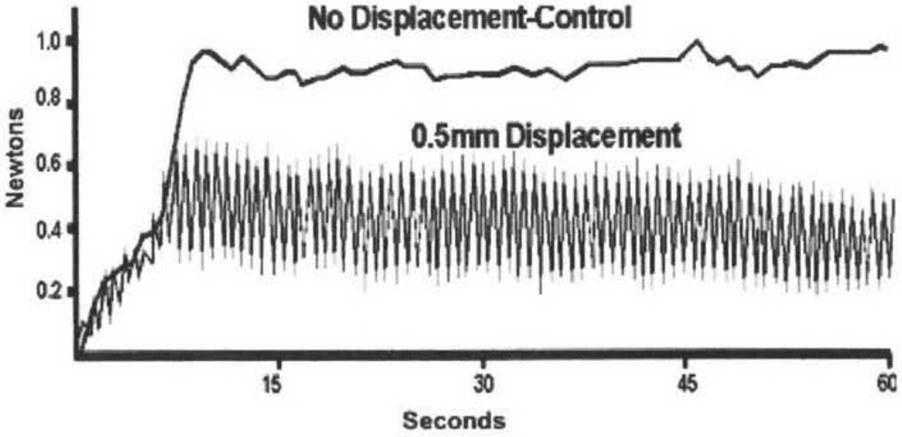
Shivapuja และ Berger ได้กล่าวว่า การใช้น้ำลายเทียมจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้นเพราะเซลลูโลส (cellulose) ที่เป็นส่วนประกอบในน้ำลายเทียมจะไปทำให้ลวดเกิดการยึดติดที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น (Shivapuja และ Berger, 1994)

ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำลายคนในเรื่องการหล่อลื่นยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่ อาจเนื่องจากการออกแบบการทดลองที่ใช้สภาวะเปียกที่แตกต่างกัน เช่น การใช้น้ำลายเทียม น้ำลายคน หรือแม้แต่น้ำเปล่า จึงให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน แต่จากหลายๆการศึกษาที่ใช้น้ำลายคนในการทดสอบแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสระหว่างแบร็กเกตธรรมดาเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าน้ำลายมีแนวโน้มทำให้แรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น (Kusy และ Whitley, 2000; Thorstenson และ Kusy, 2003a; Thorstenson และ Kusy, 2001, 2002b, 2003b)

2. **ผลจากการทำงานของอวัยวะในช่องปาก (oral function)**

แรงจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่สัมผัสกับแบร็กเกตและลวด เช่น การบดเคี้ยว การพูด การ

กลีนจะมีการสัมผัสจำนวน 32-80 ครั้งต่อนาที(Picton, 1964) จะทำให้แบร็กเกตซึ่งติดอยู่กับผิวฟันที่มีการขยับตัวแบบกลับไปกลับมาหรือแกว่งตัว (oscillating displacement) ขณะทำงานของกล้ามเนื้อ การขยับตัวของฟันจึงมีผลในการลดแรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญที่เกิดระหว่างลวดและแบร็กเกต ขณะเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถลลง (Braun และคณะ, 1999; O'Reilly และคณะ, 1999) จากการศึกษาของ Braunและคณะได้ทำการทดลองโดยใช้ลวดและแบร็กเกตธรรมดาเหล็กกล้าไร้สนิมที่มุมต่างๆกันตั้งแต่ 0 องศาจนถึง 25.5 องศา พบว่าเมื่อให้แรงไปกระทำต่อลวดหรือแบร็กเกตทำให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งเสมือนว่าแบร็กเกตหรือลวดนั้นได้รับแรงจากการทำงานของอวัยวะในช่องปาก จะทำให้แรงเสียดทานที่มีอยู่ระหว่างลวดและแบร็กเกตลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ได้ และแรงเสียดทานที่ลดลงมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงที่กระทำต่อแบร็กเกต (Braun และคณะ, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ O'Reilly และคณะในปี 1999 ที่พบว่าเมื่อแบร็กเกตมีการขยับตัวมากขึ้นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะลดลงเรื่อยๆในลวดทุกขนาดเช่นกัน นอกจากนี้ ขนาดของลวดมีผลต่อการลดลงของแรงเสียดทานที่ต้านการเลื่อนไถล กล่าวคือ เมื่อลวดมีขนาดใหญ่จะมีการลดลงของแรงเสียดทานขณะที่แบร็กเกตมีการขยับตัว ในการศึกษานี้พบว่าลวดขนาด 0.021 x 0.025 นิ้ว และ ลวดขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว และลวดกลมขนาด 0.016 นิ้ว มีแรงเสียดทานที่ลดลงร้อยละ 85 ร้อยละ 80 และร้อยละ 19 ตามลำดับ (O'Reilly และคณะ, 1999)



รูปที่ 22 แรงเสียดทานที่เกิดในแบร็กเกตที่มีการขยับตัวและไม่ขยับตัว(Braun และคณะ, 1999)

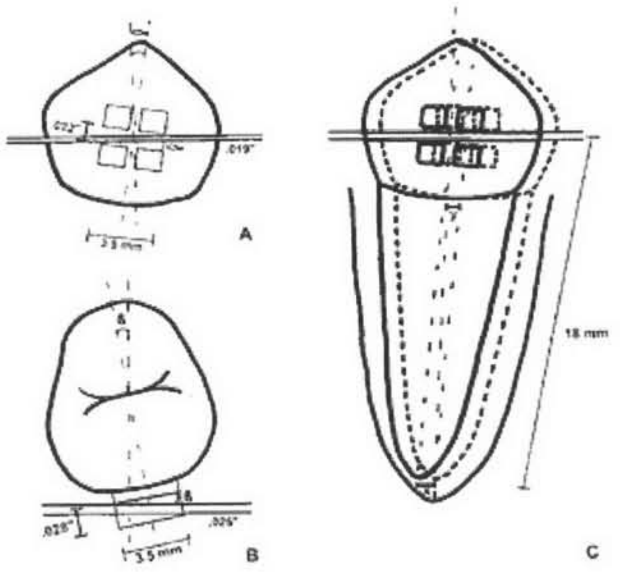
3. <u>ความกว้างของช่องปริทันต์ (periodontal space)</u>

ช่องปริทันต์ของฟันถาวรในคนปกติกว้างประมาณ 0.1-0.25 มิลลิเมตร (ชนินทร์, 2544) และแคบที่สุดบริเวณช่วงกลางของรากฟัน ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันจะมีแนวโน้มที่ช่องปริทันต์จะกว้างกว่าปกติโดยเฉพาะบริเวณ คอฟันและปลายรากฟัน 2-3 เท่า(Svanberg, 1974) มีขนาดจากการศึกษาของ Loftus และ Artun ในปี 2001 ได้ทำการทดลองโดยใช้โมเดลที่ได้มีการจำลองเอาส่วนของช่องปริทันต์ที่ความกว้าง 0.00, 0.33, 0.67 และ 1.00 มิลลิเมตรมาเพื่อทดสอบหา

ค่าของแรงเสียดทานเมื่อมีการเคลื่อนที่ของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันผ่านไปในร่องแบร็กเกต พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดความกว้างของร่องปริทันต์ ขนาดของแรงเสียดทานมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้น (Loftus และ Artum, 2001)

การเคลื่อนที่ของฟันเมื่อได้รับแรงทางทันตกรรมจัดฟัน (Orthodontic tooth movement)

เมื่อฟันได้รับแรงที่กระทำผ่านทางแบร็กเกต แรงดังกล่าวนี้จะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของฟัน ทำให้เกิดโมเมนต์ ฟันจะมีการล้มเอียง (tipping) จนกระทั่งมุมของแบร็กเกตสัมผัสกับลวดทั้ง 2 ข้างในเวลาเดียวกันนั้นฟันจะมีการหมุนตัว (rotation) เล็กน้อยจนกระทั่งลวดสัมผัสกับฐานของร่องแบร็กเกตและลวดมัดหรือฝาปิดทางด้านหน้าของแบร็กเกต การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยทันทีที่มีแรงและเกิดก่อนที่จะมีการเลื่อนไถลของฟันเนื่องจากฟันอยู่ในกระดูกเบ้าฟัน (alveolar bone) ที่ยึดอยู่ด้วยเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) ที่ยืดหยุ่นได้ เมื่อฟันเริ่มเลื่อนไถลไปบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ถ้าลวดโค้งนี้มีความแข็งตึงเพียงพอก็จะไม่เกิดการผิดรูป (deform) ทำให้ฟันจะยังคงรักษาสภาพการล้มเอียงและหมุนตัวเล็กน้อยในขณะที่มีการเลื่อนไถลอย่างต่อเนื่องไปบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน (Loftus และคณะ, 1999) ตามปกติฟันเมื่อให้แรงที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนฟัน ฟันจะเคลื่อนเป็นระยะทางประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อเดือนนั่นคือ 0.23×10^{-4} มิลลิเมตรต่อนาที ดังนั้นจากการเคลื่อนที่ที่ช้ามากในลักษณะดังกล่าวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์มีความใกล้เคียงหรือเหมือนกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (Braun และคณะ, 1999)



รูปที่ 13 การเคลื่อนที่ของฟันในขณะที่ได้รับแรง (Braun และคณะ, 1999)