# บทที่ 3

## ระเบียบวิธีวิจัย

I กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. แบบจำลองฟัน
2. เครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว (Canine Retractor)

1. แบบจำลองฟัน จำลองลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกรล่าง เมื่อถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไปเพื่อการจัดฟัน ประกอบด้วย ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฝังอยู่ในสารไบรีฟรินเจน แบบจำลองดังกล่าวนำมาใช้ตลอดการทดลอง โดยก่อนทำการทดลองทุกครั้ง แบบจำลองต้องไม่มีความเค้นหลงเหลืออยู่ ทดสอบโดยเครื่องมือโพลาริสโคป

บริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ติดแบรกเกตห่างจากระนาบบดเคี้ยว (Occlusal Plane) ลงมา 4.5 มม. และ 3.5 มม. ตามลำดับ บริเวณฟันกรามติดบัคเคิล หิว (Buccal Tube) ห่างจากระดับระนาบบดเคี้ยวลงมา 3.5 มม. ดังรูปที่ 65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 65 แสดงแบบจำลองฟัน ซึ่งหล่อด้วยสารไบรีฟรันเจน

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมแบบจำลองฟัน

1. ฟันพลาสติก ประกอบด้วย ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ยึดฟันทั้งสามซี่ด้วยสโตน (Stone).

2. แบรกเกตของฟันเขี้ยว และฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ขนาดสลอต (Slot) 0.018 x 0.022 นิ้ว และบัคเคิล ทิว ชนิดทิวเดี่ยว (Single tube) ขนาดสลอต 0.018 x 0.022 นิ้ว และเรซินทางทันตกรรมจัดฟัน (Orthodontic Resin) เพื่อยึดแบรกเกตและบัคเคิล ทิว ติดกับฟัน.

3. กระจกขนาดความหนา 1/4 นิ้ว และกรอบอลูมิเนียม (Aluminium Frame) เพื่อประกอบเป็นแบบหล่อ (Mold) รองรับโซลิเทน 113 เรซิน (Solithane 113 Resin) ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8.1 x 4.8 x 0.25 นิ้ว.

4. โซลิเทน 113 เรซิน เป็นของเหลวพวกยูริเทน พรีโพลิเมอร์ (Urethane Prepolymer).

5. เคียวริง เอเจน (Curing Agent) ชนิด $C_{113-300}$ เป็นของเหลวใสพวกโพลิออ (Polyol) ช่วยทำให้โซลิเทน 113 เรซิน แข็งตัวเร็วขึ้น

6. CR-7 รีลีสชิงเอเจน (CR-7 Releasing Agent) เป็นสารที่ใช้หล่อลื่นเพื่อไม่ให้แบบจำลองติดกับแบบหล่อ สารที่ใช้ได้แก่ สารโดว์ คอนนิง -7 ซิลิโคน รีลีสชิงเอเจน (Dow corning-7 silicone releasing agent)

7. เครื่องมือไล่ฟองอากาศโดยใช้ระบบสูญญากาศต่ำกว่า 10 มม. ปรอท.

8. เตาอบชนิด เซอร์คูเลติง ฮอท แอร์ (Circulating hot air oven).

ขั้นตอนในการหล่อแบบจำลองฟัน

1. นำโซลิเทน 113 เรซิน 150 ซีซี มาอุ่นในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาฟาเรนไฮต์ (27 องศาเซนติเกรด) นาน 30 นาที.

2. นำไปกำจัดฟองอากาศในเครื่องมือไล่ฟองอากาศนาน 30 นาที

3. อุ่นโซลิเทน 113 เรซิน ในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาฟาเรนไฮต์ และอุ่น $C_{113-300}$ ที่อุณหภูมิเดียวกันนาน 15 นาที

4. ผสมโซลิเทน 113 เรซิน กับ $C_{113-300}$ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปกำจัดฟองอากาศในเครื่องมือไล่ฟองอากาศนาน 1 ชั่วโมง

5. ทา CR-7 รีลีสชิงเอเจน บนกระจก กรอบอลูมิเนียมและส่วนของสโตนที่ใช้ยึดฟัน ซึ่งใช้เป็นแบบหล่อ อบในเตาอบอุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60 องศาเซนติเกรด) นาน 15 นาที จากนั้นเทของเหลวที่ผสมไว้ตาม ข้อ 4.

6. นำแบบจำลองฟันเข้าเตาอบ อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ ประมาณ 1(1/2) ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้แบบจำลองฟันแข็งตัว ในอุณหภูมิ

ห้องจึงแกะกระจก กรอบอลูมิเนียมและสกัดนออก และตัดแต่งให้ผิวเรียบ.

7. นำแบบจำลองฟันที่ได้ มาตัดแบ่งให้ได้แบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมขนาด 2.1 x 1.8 x 0.25 นิ้ว เพื่อนำมาใช้ในการหา เอฟ แวลยู (f value) ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสาร และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เพื่อใช้ประเมินค่าความเสื่อมของสารที่ใช้หล่อแบบจำลองฟันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของเรซิน อุณหภูมิ และอายุการใช้งาน. (รายละเอียดศึกษาภาคผนวก)

8. แบบจำลองฟันที่ตัดแต่งเรียบร้อยแล้วบริเวณฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ติดแบรกเกตห่างจากระดับระนาบบดเคี้ยว ลงมา 4.5 มม. และ 3.5 มม. ตามลำดับ บริเวณฟันกรามติดบัคเคิล ทิว ห่างจากระดับระนาบบดเคี้ยวลงมา 3.5 มม. ด้วยเรซินทางทันตกรรมจัดฟัน.

2. เครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว ได้แก่

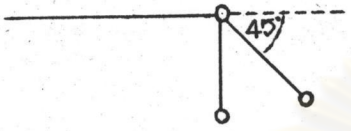
2.1 ฮิลเจอร์ สปริง ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา ความยาวของลูป 4.31 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ 1.52 มม.

2.2 ริคสชิง ลูป ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว เกเบอร์ แองเกิล 22.5 องศา ริทอิน 15 องศา ความยาวของลูป 4.31 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ 1.52 มม.

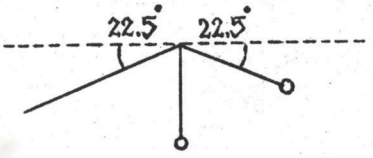
2.3 สปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009 x 0.030 นิ้ว

2.4 ยาง ขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2)ออนซ์

2.5 ยางร่วมกับเคไนน์ แคป ขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2)ออนซ์ ดังรูปที่ 66



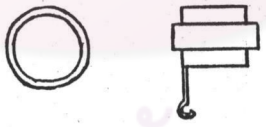

ฮิลเจอร์ สปริง




โคลสชิง ลูป สปริง

สปริงชนิดเกลียวปิด

ยาง ขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์



ยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ ร่วมกับเคไนน์ แคป

รูปที่ 66 แสดงเครื่องมือเคลื่อนฟันเฉียวแบบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

II การรวบรวมข้อมูล

1. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1.1 อุปกรณ์ของวิธีโพโตอีลาสติกทั้งหมด ประกอบด้วย

ก. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

ข. โพลาไรเซอร์ (Polarizer)

ค. ควอเตอร์ เวบ เพลต(Quarter wave plate) 2 แผ่น

ง. อะนาไลเซอร์ (Analyzer)(ข้อ ก-ง รูปที่ 10ข ดังกล่าวแล้วในบทที่ 2)

จ. กล้องถ่ายรูปขนาด 35 มม. ชนิดที่ใช้คือ ระบบของโอลิมบุส โอ เอม (Olympus OM System) ซึ่งใช้ออโตมาโคล เลนซ์ (Automacro Len) 1:35 ความยาวโฟกัส (f) เท่ากับ 50 มม. จัดให้หน้ากล้อง (f Number) = 3.5 และความเร็วชัตเตอร์ (Speed shutter) เท่ากับ 4 ตลอดการทดลอง ส่วนฟิลม์ที่ใช้คือ ฟูจิ นีโอแพน ดี เอกซ์ 135-36 (Fuji Neopan Dx 135-36) ให้ภาพขาว-ดำ.

1.2 แบบจำลองฟัน พร้อมเครื่องมือเคลื่อนฟันเชี้ยว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อนนำเครื่องมือเคลื่อนฟันเชี้ยวแต่ละชนิดมาใช้ทดลองกับแบบจำลองฟัน เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นด้วยเครื่องมือโฟลาริสโคป ผู้วิจัยได้ตรวจสอบ (Calibration) ขนาดของแรงและระยะทางที่ใช้ในการกระตุ้นเครื่องมือด้วยเครื่องมือเฉพาะกิจที่สร้างขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางในการนำเครื่องมือเคลื่อนฟันเชี้ยวแต่ละชนิดไปใช้งานโดยไม่ทำให้เครื่องมือเสียรูปถาวร

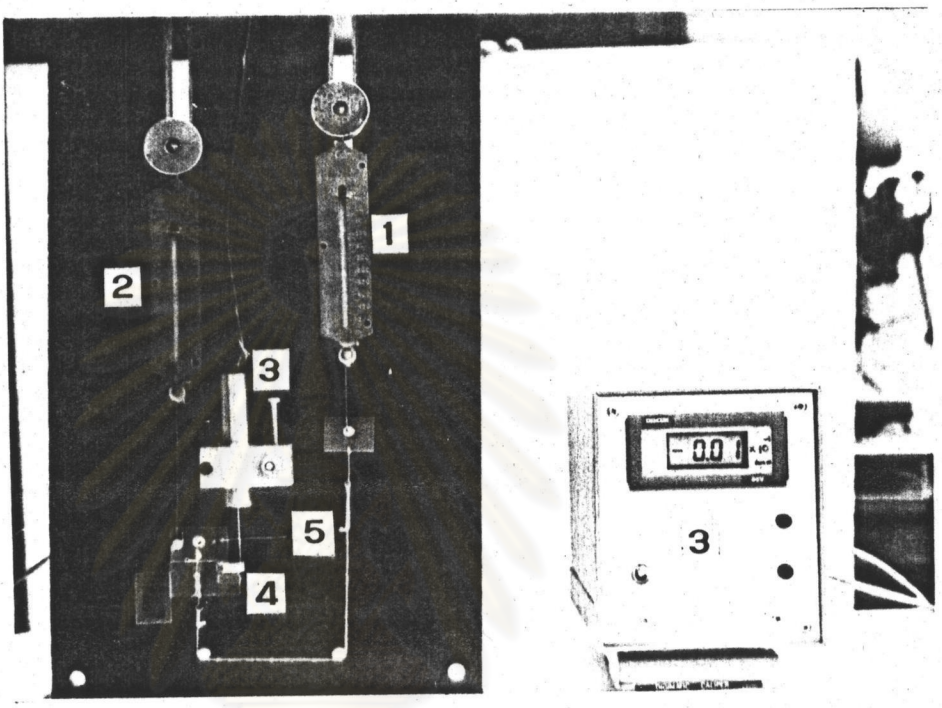
การตรวจสอบ ขนาดของแรงและระยะทางที่ใช้ในการกระตุ้นเครื่องมือแต่ละชนิด เครื่องมือที่ใช้ในการนี้คือ

1. เครื่องมือที่ใช้เฉพาะกิจในการตรวจสอบค่าระยะทางและแรงที่ใช้กระตุ้นเครื่องมือเคลื่อนฟันเชี้ยว และแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ ดังรูปที่ 67 ประกอบด้วย

1.1 สปริง เกจ (Spring Guage) เป็นเครื่องมือที่ใช้อ่านค่าของแรงที่ใช้กระตุ้น และแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ มีหน่วยเป็นกรัม.

1.2 เครื่องวัดระยะทางแบบ LVDT เป็นเครื่องมือที่ใช้อ่านค่าระยะทางที่เครื่องมือเคลื่อนฟันเชี้ยวแต่ละชนิดถูกกระตุ้น มีหน่วยเป็นนิ้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 67 แสดงเครื่องมือเฉพาะกิจที่ใช้ในการตรวจสอบค่าระยะทางที่ถูกกระตุ้น แรงที่ใช้กระตุ้น แรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ของเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว

1. สปริง เกจ I ใช้อ่านค่าของแรงที่ใช้กระตุ้น

2. สปริง เกจ II ใช้อ่านค่าของแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์

3. เครื่องมือวัดระยะทางแบบ LVDT ใช้อ่านค่าระยะที่เครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวถูกกระตุ้น

4. เครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว ยึดติดกับแบรกเกต และบัคเคิล ทิวในตำแหน่งซึ่งเหมือนกับบนแบบจำลองฟัน

5. เข็มชี้ (Indicator)

ตัวอย่าง ตารางที่ 3 แสดงการตรวจสอบค่าต่างๆของเครื่องมือที่ใช้ในการดึงฟันเขี้ยว

| F=แรงที่ใช้ในการกระตุ้น (กรัม) | | | D=ระยะทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่ (มม.) | | | f=แรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ (กรัม) | | | M=โมเมนต์ (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F1 | F2 | Fเฉลี่ย | D1 | D2 | Dเฉลี่ย | f1 | f2 | fเฉลี่ย | M=f x d |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 30 | 30 | 309.90 |
| 50 | 50 | 50 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 56 | 55 | 55.5 | 573.32 |
| 100 | 100 | 100 | 0.32 | 0.35 | 0.335 | 76 | 75 | 75.5 | 779.92 |
| 150 | 150 | 150 | 0.45 | 0.48 | 0.465 | 106 | 100 | 103 | 1063.99 |
| 200 | 200 | 200 | 0.59 | 0.60 | 0.595 | 140 | 138 | 139 | 1435.87 |
| 250 | 250 | 250 | 0.73 | 0.74 | 0.735 | 154 | 152 | 153 | 1580.49 |
| 300 | 300 | 300 | 0.85 | 0.87 | 0.86 | 172 | 171 | 171.5 | 1771.60 |
| 350 | 350 | 350 | 1.09 | 1.12 | 1.105 | 182 | 180 | 181 | 1869.73 |

ระยะทางในการกระตุ้นเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวอ่านจากเครื่องวัดระยะทางแบบ LVDT เมื่อให้แรงจากสปริง เกจ I ตั้งแต่ 50 100 150 200 250 300 และ 350 กรัม ที่มากระทำต่อเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว ระยะทางมีหน่วยเป็นนิ้ว แล้วเปลี่ยนค่าเป็น มม.

การวัดค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ทำได้โดยการอ่านค่าแรงจากสปริง เกจ II โดยสังเกตเข็มชี้ (5) จะกระดกขึ้น ถ้าเครื่องมือมีโมเมนต์ทำการปรับให้เข็มอยู่ในแนวระนาบที่ขีดเอาไว้ โดยปรับสปริง เกจ II จะสามารถอ่านค่าแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ได้ นำมาคูณกับระยะจากจุดหมุนที่กำหนดไว้มายังแนวแรงจะได้ค่าโมเมนต์ที่ต้องการ ดังตารางที่ 3

การวัดแรงที่เกิดขึ้นในยาง 1/4 นิ้ว 3(1/2)ออนซ์ และ 3/16 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ กระทำโดยหาค่า K ซึ่งเป็นค่าคงที่ของยาง ในที่นี้คือค่าลาดเอียงของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างแรงที่ใช้ในการกระตุ้น กับระยะทางที่ยางยืดออกมา ค่า K ที่ได้นำมาหาค่าแรง ที่เกิดขึ้นในยางเมื่อคล้องยางจากโมลาร์ ฮุค (Molar Hook) มายังตำแหน่งแบรกเกตของฟันเขี้ยวทั้งชนิดที่มีเคไนน์ แคป และไม่มีเคไนน์ แคป จากสมการ

$$F = Kx \qquad \text{(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก)}$$

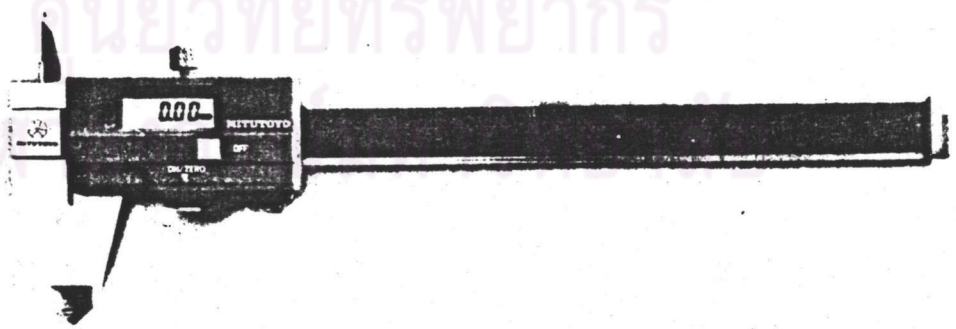
เมื่อ F คือ แรงที่เกิดขึ้นในยางขณะยืด

K คือ ค่าคงที่ของยาง

x คือ ระยะทางที่ยางถูกยืด

อนึ่ง ระยะทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่ตามตารางที่ 3 นำมาใช้เป็นระยะทางอ้างอิงในขณะทดลอง โดยวัดด้วยเครื่องมือ ดิจิมาติก แคลลิเปอร์ (Digimatic caliper) ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 มม.

2. ดิจิมาติก แคลลิเปอร์ ใช้วัดระยะเมื่อดัดเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวแบบต่างๆในแบบจำลองฟันให้ได้ระยะทางที่ต้องการ ในหน่วยของ มม. ดังรูปที่ 68




รูปที่ 68 แสดงเครื่องมือดิจิมาติก แคลลิเปอร์ อ่านได้ละเอียดถึง 0.01 มม.

2. วิธีการรวบรวมข้อมูล

ได้จากวิธีการนับจำนวนแถบมืด และความลึกของแถบมืด ดังนี้

2.1 ในการศึกษาการกระจายของแรงเค้นในแบบจำลอง ด้วยวิธีการและขนาดของแรงต่างๆกัน จะทำการนับจำนวนแถบมืด ทั้งในไลท์ ฟิล และดาร์ค ฟิล โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คือ ครั้งแรกสังเกตการเคลื่อนที่ของรูปแบบแถบมืด (Fringe Pattern) ว่ามีลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง โดยแถบมืดจะเคลื่อนที่เข้าหาจุดที่ไม่มีความเค้นหรือตำแหน่งที่ลำดับของแถบมืดเป็นศูนย์ ครั้งที่สองทำการทดลองซ้ำแล้วสเกตภาพของแถบมืดและนับลำดับของแถบมืดบันทึกไว้ ครั้งสุดท้ายทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วถ่ายรูปลำดับของแถบมืดที่ปรากฏภาพถ่ายที่ได้ในไลท์ ฟิล จะให้การกระจายของความเค้นที่นับลำดับของแถบมืดเป็น [n+(1/2)] (เมื่อ n = 0 1 2 3 )และในดาร์ค ฟิล ให้ลำดับของแถบมืดเป็นลำดับ n ( เมื่อ n= 0 1 2 3 ) จากนั้นวัดความลึกของแถบมืดจากรูปภาพแต่ละลำดับ โดยมีระนาบอ้างอิงอยู่ที่ระดับแบรก เกตของฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อย กับปัดเคิล หิวของฟันกราม มายังกึ่งกลางของแถบมืดลำดับนั้นๆ เนื่องจากแถบมืดไม่สามารถบอกลักษณะของความเค้นอัดหรือความเค้นดึงได้ จึงต้องใช้หลักการทางกลศาสตร์ร่วมกับการกระจายของลำดับแถบมืด ในการบอกว่าตำแหน่งไหนเป็นความเค้นอัดหรือความเค้นดึง

2.2 ศึกษาขนาดของแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันเขี้ยวทั้งซี่ฟัน โดยติดแบรก เกตที่ฟันเขี้ยวใหม่ สอดลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว พับปลายลวดทั้งสอง กำหนดระยะทางความลึกที่ลวดตั้งแต่ระดับขอบล่างของแบรก เกตอันบนถึงขอบล่างของแบรก เกตอันล่างทุกๆ 1 มม. ทำการถ่วงน้ำหนักโดยผ่านรอกทุกๆ 1 มม. จากนั้นทำการวัดความลึกของแถบสีลำดับที่ 1/2 ที่ระดับของแรงที่ใช้ตั้งแต่ 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 กรัม ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทำนองเดียวกับ 2.1 ภาพถ่ายที่ได้นำมาวัดความลึกของลำดับสี โดยมีระดับอ้างอิงเดียวกับข้อที่ 2.1 สร้างกราฟหาความสัมพันธ์

ระหว่างระยะลึกของแถบสีกับระยะที่ดึง นำกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ทั้งซี่ฟันที่ได้จากการสร้างทิศทางและขนาดของแรงกับแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์บนวัตถุแห่งสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถหาจุดศูนย์กลางของความต้านทานได้แน่นอนบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะลึกของแถบสีกับระยะที่ดึงเช่นกัน ส่วนของเส้นกราฟที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลง ณ จุดศูนย์กลางของความต้านทาน เป็นไปลักษณะเดียวกันจะสามารถบอกตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของความต้านทานได้ ค่าของอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต่อแรงที่กระตุ้นของเครื่องมือที่ใช้ดึงฟันเขี้ยวมีค่าที่ผ่านจุดศูนย์กลางของความต้านทาน แสดงถึงการเคลื่อนที่ทั้งซี่ฟัน.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย