

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเส้นใยด้วยวิธีการและขนาดของแรงต่างกัน ผู้วิจัยได้หล่อแบบจำลองหินประกอบด้วย ฝินเขียว ฝินกรามน้อยซี่ที่ 2 และฝินกรามซี่ที่ 1 ฝังตัวอยู่ในสารเรซินเหนียว 113 เรซิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารบริพรินเจน เครื่องมือเคลื่อนที่เส้นใยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฮิลเจอร์ สปริง ขนาด 0.016×0.016 นิ้ว เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา, ไรลสซิง ลูบ ขนาด 0.016×0.016 นิ้ว เกเบอร์ แองเกิล 22.5 องศา ฆทอิน 15 องศา, สปริงชนิดเกลียวบิด ขนาด 0.009×0.030 นิ้ว, ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์, ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ ร่วมกับเคไนน์ แคบ

การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมองผ่านเครื่องมือพลาสิคอบันทิกด้วยการถ่ายภาพขาวดำ ไรคย์ก่อนถ่ายรูปผลที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือแต่ละชนิดได้ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของแถบมืด พร้อมทั้งสังเกตภาพของแถบมืดเพื่อประกอบการจัดลำดับของแถบมืด ไรคย์แถบมืดซึ่งปรากฏที่ปลายราก และเคลื่อนตัวขึ้นบนเป็นแถบแรกในคาร์ก ฟิล จะเป็นลำดับที่ 0 และในไลท์ ฟิล จะเป็นลำดับที่ $1/2$ ส่วนแถบมืดที่เริ่มปรากฏบริเวณอะวีโวลาร์ เครส และเคลื่อนตัวลงล่างเป็นแถบแรกในไลท์ ฟิล จะเป็นลำดับที่ $1/2$ และในคาร์ก ฟิล จะเป็นลำดับที่ 1 ตามลำดับ

การทดลองแต่ละครั้งใช้สปริงหรือยางขึ้นใหม่ทุกครั้ง เพื่อไม่ให้คุณสมบัติของ เครื่องมือ เปลี่ยนแปลง

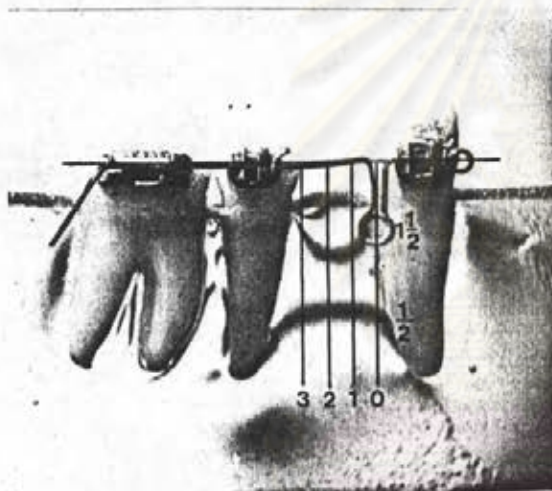
วัดความลึกของแถบมึดแต่ละลำดับจากรูปภาพ ในตำแหน่งที่ 0 1 2 3 (ดังรูปที่ 69) ๖๕

ตำแหน่งที่ 0 เป็นตำแหน่งที่แถบมึดชิดกับฟัน เขี้ยว

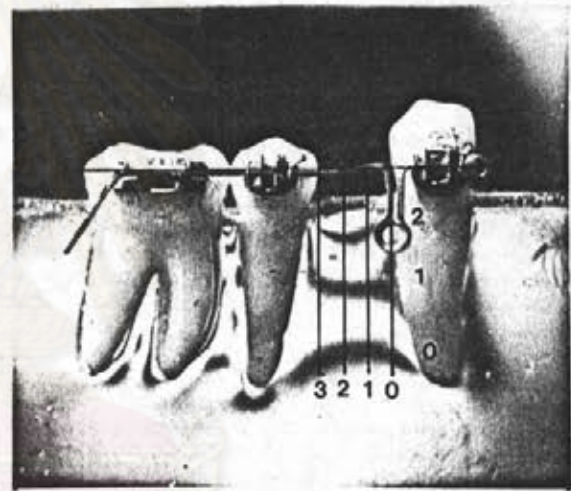
ตำแหน่งที่ 1, 2 เป็นตำแหน่งที่แถบมึดอยู่ระหว่างฟัน เขี้ยวและ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง

ตำแหน่งที่ 3 เป็นตำแหน่งที่แถบมึดอยู่ชิดกับฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง

สร้างกราฟระหว่างจำนวนแถบมึด (N) กับความลึกของแถบมึด (d)



ก



ข

รูปที่ 69 แสดงลำดับของแถบมึดและตำแหน่งที่ใช้วัดความลึกของ แถบมึด

ก. ในโลห์ ฟิล

ข. ในคาร์ก ฟิล

อนึ่งในการเคลื่อนฟันเขี้ยวด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบผลการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่มัดฟันหลัก (Non-enmassed) กับกรณีมัดฟันหลัก (Enmassed)

การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือแต่ละชนิด แสดงตามรูปที่ 70-76 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ฮิลเจอร์ สปริง เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา (ดังรูปที่ 70) แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยว ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะทางที่กระตุ้นสปริงกับขนาดของแรงที่เกิดขึ้นจากสปริง (รายละเอียดศึกษาในภาคผนวก)

แรงที่ใช้กระตุ้น (กรัม)	ระยะทางที่ใช้กระตุ้น (มม.)
0	0
100	1.48
150	2.06
200	2.59
250	3.22
300	3.76

1.1.1 ในกรณีที่ไม่มีการมัดฟันหลัก (รูปที่ 70)

แรง 0 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 0 มม. (รูปที่ 70ก)

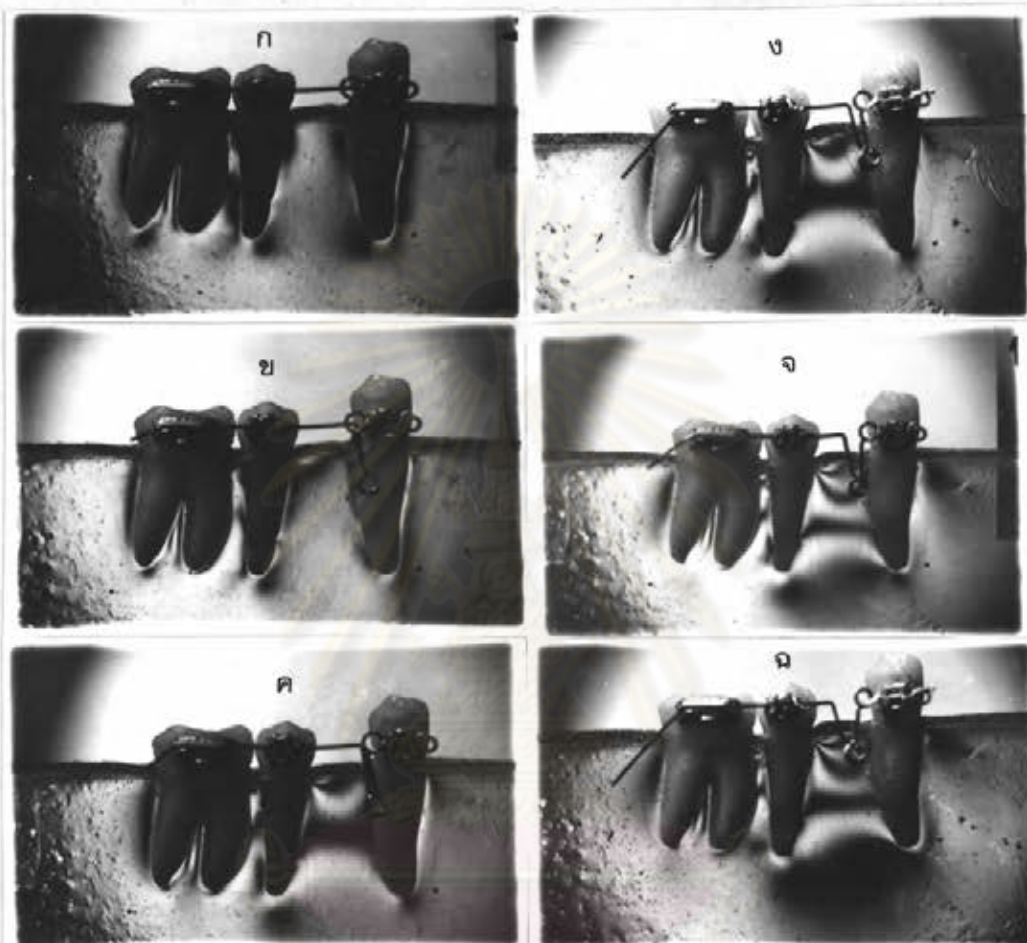
บริเวณฟันเขี้ยว :

ด้านใกล้กลาง ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

ด้านไกลกลาง มีแรงอัดที่ปลายรากฟัน และแรงดึงที่อะริโวลาร์

เครส แต่ยังไม่ปรากฏเป็นแถบมืดชัดเจน แสดงว่าเกิดโคมเมนต์ที่รากฟันเขี้ยว เป็นลักษณะของการเตรียมรากฟันโบทางด้านไกลกลาง ก่อนทำการเคลื่อนฟันทั้งซี่

บริเวณฟันกรามน้อยและฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 70 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในต้นเขียวขจร
ซิลเจอร์ สปริง เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา ในเวลา 1 ชั่วโมง แรงที่ใช้กระตุ้นดังนี้

ก.	0 กรัม	ง.	200 กรัม
ข.	100 กรัม	จ.	250 กรัม
ค.	150 กรัม	ฉ.	300 กรัม

แรง 100 กรัม ระยะทางของการกระตุ่น 1.48 มม. (รูปที่ 70ข)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านใกล้กลาง เริ่มปรากฏแรงอัดที่ปลายรากฟันเล็กน้อย

ด้านไกลกลาง ความเข้มของแรงอัดบริเวณปลายรากลดลง และเริ่มปรากฏเป็นแรงอัดที่อะวีโวลาร์ เครส ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อพื้นเขียวเริ่มได้รับแรง จะมีรีมเมนต์เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงข้ามกับรีมเมนต์เริ่มต้น ความเข้มของแรงอัดที่ปลายรากจึงลดลง

บริเวณพื้นกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะวีโวลาร์ เครส แสดงให้เห็นว่าแรงที่ใช้กระตุ้นมีผลต่อฟันหลัก

ระหว่างพื้นกรามน้อย และพื้นกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

บริเวณพื้นกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 150 กรัม ระยะทางของการกระตุ่น 2.06 มม. (รูปที่ 70ค)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านใกล้กลาง เริ่มปรากฏแรงดึงที่อะวีโวลาร์ เครส และแรงอัดที่ปลายรากฟัน ลักษณะเช่นนี้แสดงว่า พื้นเขียวเริ่มเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงที่เกิดจากสปริง

ด้านไกลกลาง ความเข้มของแรงอัดที่ปลายรากหายไป ปรากฏแรงอัดเกิดขึ้นที่อะวีโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึงประมาณ $2/3$ ของความยาวรากฟัน (จำนวนแถบมืด $3/2$ ในไลท์ฟิล)

บริเวณพื้นกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบการกระจายของแรงดึงเกิดขึ้นที่อะวีโวลาร์ เครส ลงมาถึงประมาณ $2/3$ ของความยาวรากฟัน จำนวนแถบมืดเท่ากับ $3/2$ ในไลท์ฟิล ซึ่งเท่ากับการกระจายของแรงอัดที่ปรากฏทางด้านใกล้กลางของ

ฟันเขี้ยวและเริ่มปรากฏแรงอัดที่ปลายรากฟัน ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้แรง เคลื่อนฟันมากขึ้น แรงดังก้าวจะมีผลต่อฟันหลักมากขึ้น

ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม : ขณะเดียวกันพบการกระจายของความเค้นมากขึ้น เมื่อเทียบกับแรง 0-100 กรัม

บริเวณฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 200 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 2.59 มม. (รูปที่ 70ง)

บริเวณฟันเขี้ยว :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะริโวลาร์ เครส และแรงอัดที่บริเวณปลายรากฟันเพิ่มขึ้น

ด้านไกลกลาง ปรากฏความเข้มของแรงดึง เป็นเงาเข้มขึ้นที่ปลายรากฟันและแรงอัดที่อะริโวลาร์ เครส ลึกลงมามากกว่า $\frac{2}{3}$ ของความยาวรากฟัน แสดงว่าฟันเขี้ยวเริ่มเกิดการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟัน

บริเวณฟันกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบการกระจายของแรงดึงคล้ายคลึงกับเมื่อใช้แรง 150 กรัม แต่แรงอัดที่ปลายรากฟันมีความเข้มมากขึ้น และเริ่มก่อตัวเป็นแถบมืด ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าฟันหลักเริ่มเคลื่อนที่มาจากด้านหน้าเฉพาะส่วนตัวฟัน

ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม : พบการกระจายของความเค้นเท่าเดิม แต่ความเข้มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดแรง 150 กรัม

บริเวณฟันกราม : ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 250 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 3.22 มม. (รูปที่ 70จ)

บริเวณฟันเขี้ยว : การกระจายของความเค้นทางด้านใกล้กลาง และไกลกลางคล้ายคลึงกับเมื่อได้รับแรง 200 กรัม แต่ความเข้มของแถบมืดมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้น

บริเวณพืชรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบลักษณะการเคลื่อนที่ของพืชรามนี้เคลื่อนมาทางด้านหน้าเฉพาะส่วนตัวพืชมากขึ้นกว่าใช้แรงกระตุ้น 200 กรัม โดยสังเกตจากการกระจายของแรงอัดทางด้านใกล้กลาง จำนวนแถบมีค้ำเท่ากับ $7/2$ ซึ่งมากกว่าแรง 200 กรัม อยู่ $3/2$ ลำดับ และแรงค้ำที่ปลายรากมีความเข้มมากขึ้น

ระหว่างพืชรามน้อยและพืชราม : พบการกระจายของความเค้นมากขึ้นกว่าแรงที่ใช้กระตุ้น 200 กรัม

บริเวณพืชราม :

ด้านใกล้กลาง ปรากฏแรงค้ำบริเวณอะริโอลาร์ เครส ลึกลงมาถึง $1/2$ ของความยาวรากพืชมตามแนวรากทางด้านใกล้กลาง แสดงว่าเริ่มมีการเคลื่อนที่ของพืชรามมาทางด้านหน้า

แรง 300 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 3.76 มม. (รูปที่ 70ฉ)

ลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพืชมที่พืชมเชื่อมมากขึ้น รวมทั้งการเคลื่อนที่ของพืชรามทั้ง 2 ซี่มากขึ้นและชัดเจนกว่าแรง 250 กรัม

1.1.2 ในกรณีที่มีการมัดพืชราม

การกระจายของความเค้นในพืชมเชื่อม มีลักษณะไม่แตกต่างกับกรณีไม่มัดพืชราม เมื่อใช้แรงขนาดเดียวกัน (พิจารณาจากลำดับของแถบค้ำที่ปรากฏทางด้านใกล้กลางของพืชมเชื่อม) ดังรูปที่ 71

สำหรับพืชรามน้อยและพืชราม พบว่า กรณีที่มัดพืชรามทั้งสองไว้ด้วยกัน การกระจายของความเค้นน้อยกว่ากรณีไม่มัดพืชราม พิจารณาจากลำดับของแถบค้ำที่ปรากฏทางด้านใกล้กลางของพืชรามน้อย และด้านใกล้กลางของพืชราม ดังรูปที่ 71



ก

ข

รูปที่ 71 แสดงการกระจายของความเค้น เปรียบเทียบกรณีไม่มีมัดฟันหลัก(ก) กับกรณีมีมัดฟันหลัก(ข)

1.1.3 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้น กรณีไม่มีมัดฟันหลัก และมัดฟันหลักจากกราฟ

โดยพิจารณาจากรูปที่ 72 ในตำแหน่งที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ชิดกับฟันกรามน้อยซึ่งเป็นฟันหลัก ได้ผลการกระจายของแรงอัดและแรงดึง ดังนี้

การกระจายของแรงอัด : เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งทั้ง 4 คือ ตำแหน่งที่ 0 1 2 3 เมื่อแรงที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 100 150 200 250 300 กรัม รูปแบบการกระจายของความเค้นมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือ มีค่าความลาดเอียง (slope) ที่ได้จากการวัดค่าของระยะทางความลึกของรูปแบบแถบมืดจากจุดอ้างอิงต่อลำดับแถบมืดซึ่งแทนความเค้นที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าลดลงเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่าการกระจายของแรงอัดมีค่าลดลง เมื่อเข้าใกล้จุดศูนย์กลางของการหมุนและมีค่าเป็นศูนย์ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของการหมุน

เมื่อใช้แรง 250 และ 300 กรัม ทั้งกรณีไม่มีมัดฟันหลักและมัดฟันหลัก มีค่าความลาดเอียงแบ่งเป็น 2 ช่วง ในตำแหน่งที่ 3 กล่าวคือ ในช่วงแรก ค่า

ความลาดเอียงยังมีความชันอยู่ในช่วงของลำดับแถบมืดที่ 0-2 แต่เมื่อลำดับแถบมืด มากกว่า 2 ขึ้นไป ให้ค่าความเข้มของแรงหักเหเกือบเท่ากัน

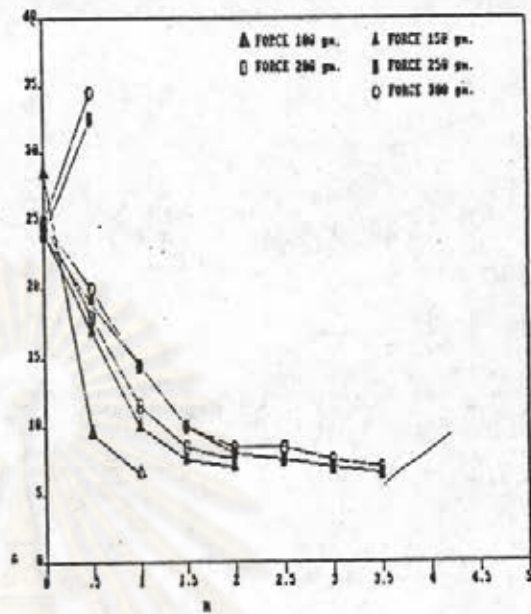
การกระจายของแรงดึง : มีค่าความลาดเอียงเพิ่มขึ้น เมื่อออกแรงกระตุ้นมากขึ้น แสดงว่าค่าของแรงดึงจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อห่างออกจากจุดศูนย์กลางของการหมุน

อนึ่ง เมื่อพิจารณาถึงลำดับของแถบมืดจะเห็นได้ชัดว่ากรณีที่มีคัพหลัก การกระจายของความเค้นในตำแหน่งที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งของพินกรามน้อยจะลดลง เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มียุคหลัก การเพิ่มของจำนวนแถบมืดในกรณีทั้ง 2 เป็นไปตามขนาดของแรงที่ใช้กระตุ้น ความลาด

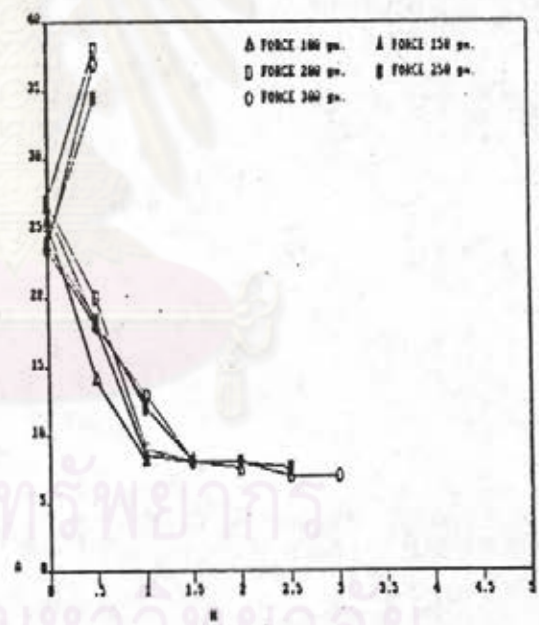


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีไม้มัดพื้นหลัก



กรณีไม้ค้ำพื้นหลัก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของความเค้น กรณีที่ไม้มัดพื้นหลัก และไม้ค้ำพื้นหลักของฮิลเจอร์ สปริง ที่ตำแหน่ง 3

1.2 วัสดุซึ่ง ลูบ เกเบอร์ แองเกิล 15 องศา รหอื่น 22.5 องศา (คังรูปที่ 73) แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะทางที่กระตุ้นสปริงกับขนาดของแรงที่เกิดขึ้นจากสปริง (รายละเอียดศึกษาในภาคผนวก)

แรงที่ใช้กระตุ้น (กรัม)	ระยะทางที่ใช้กระตุ้น (มม.)
0	0 (ชาสปริงชิดกัน)
200	1.34
300	1.79
400	2.68
500	3.76

1.2.1 ในกรณีที่ไม่มีการมัดฟันหลัก (รูปที่ 73)

แรง 0 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 0 มม. (รูปที่ 73ก)

บริเวณฟันเขี้ยว :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะริโอลาร์ เครส

ด้านไกลกลาง พบแรงอัดที่อะริโอลาร์ เครส ลึกลงมาถึง 2/3

ของรากฟัน และแรงดึงเป็นเงาจางที่ปลายรากฟัน ลักษณะนี้แสดงให้เห็นถึงเริ่มมีการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันของฟันเขี้ยว ณ จุดเริ่มต้นก่อนมีการกระตุ้น

บริเวณฟันกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง เกิดแรงดึงที่อะริโอลาร์ เครส ลึกลงมาถึง 2/3

ของรากฟัน และแรงอัดเป็นเงาจางที่ปลายรากฟัน แสดงว่า สปริงชนิดนี้มีผลต่อฟันหลักแม้ยังมีไค้กระตุ้นให้เกิดแรง

ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม : พบการกระจายของความเค้นปรากฏเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

บริเวณฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 200 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 1.34 มม. (73ข)

การกระจายของความเค้นไม่แตกต่างจากลักษณะข้างต้น

แรง 300 400 500 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 1.79

2.68 3.76 มม. ตามลำดับ (รูปที่ 73ค-ง)

บริเวณพื้นเขียว :

ความเค้นทั้งทางด้านใกล้กลาง และไกลกลางของพื้นเขียวมากขึ้นตามลำดับ แสดงถึงลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพื้นมากยิ่งขึ้นตามขนาดของแรงที่ใช้กระตุ้น

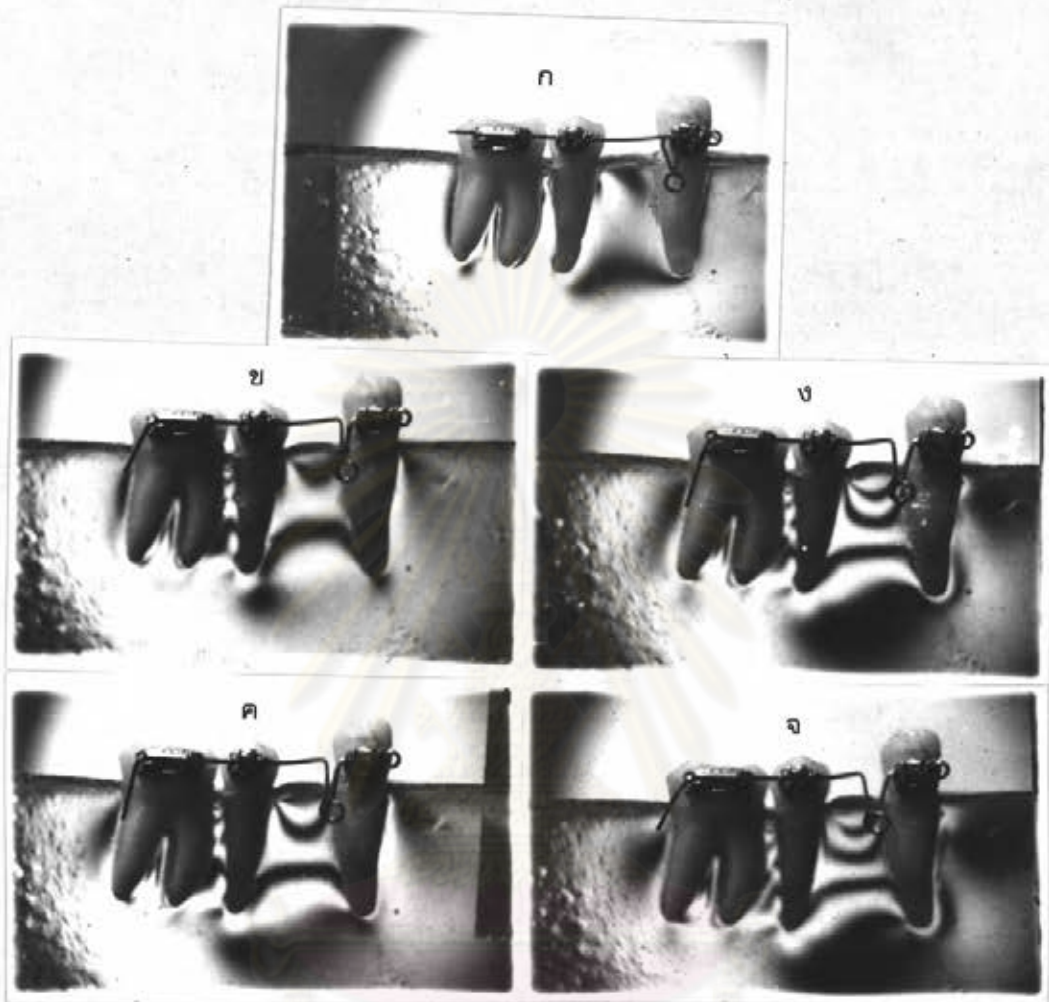
บริเวณพื้นกรามน้อย :

ทางด้านใกล้กลาง การกระจายของแรงดึงเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของแรงที่ใช้กระตุ้นเช่นเดียวกัน เมื่อนับจากลำดับของแถบมืด พบว่ามีจำนวนแถบมืดมากกว่าทางด้านใกล้กลางของพื้นเขียวอยู่ 1/2 ลำดับ ในทุกขนาดของแรงที่กระตุ้น ส่วนแรงดึงปรากฏเป็นแถบมืดชัดเจนแสดงถึงการเคลื่อนมาทางด้านหน้าของพื้นหลักในลักษณะเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพื้นอย่างชัดเจน

ระหว่างพื้นกรามน้อยและพื้นกราม : การกระจายของความเค้นเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงที่ใช้กระตุ้น

บริเวณพื้นกราม :

ทางด้านไกลกลาง ปรากฏแรงดึงบริเวณอะวีโรลาร์ เครส ลงมาถึง 1/2 ของความยาวรากฟัน และเมื่อใช้แรง 400 500 กรัม ตามลำดับ ความเข้มของแรงดึงบริเวณนี้มากขึ้น



รูปที่ 73 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันเขี้ยว โดย
เครื่องมือชนิดโคลสซิง ลูบ เกเบอร์ แองเกิล 22.5 องศา ทอน 15 องศา
ในลวด ฟิล แรงที่ใช้กระตุ้นดังนี้

ก.	0	กรัม	ง.	400	กรัม
ข.	200	กรัม	จ.	500	กรัม
ค.	300	กรัม			

1.2.2 ในกรณีที่มีคัพพื้นหลัก

การกระจายของความเค้นที่พื้นเขียว มีลักษณะไม่แตกต่างจากกรณีไม่มีคัพพื้นหลัก เมื่อใช้แรงในการกระตุ้นขนาดเดียวกัน

ขณะเดียวกันที่พื้นกรามน้อย และพื้นกราม ให้ผลหาค่าเองเดียวกับกรณีมีคัพพื้นหลักในการเคลื่อนพื้นเขียวด้วย ฮิวเจอร์ สปริง กล่าวคือ การสูญเสียหลักยึดเกิดขึ้นน้อยกว่าไม่มีการมีคัพพื้นหลัก เมื่อแรงที่ใช้ในการกระตุ้นขนาดเดียวกัน

1.2.3 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้น กรณีไม่มีคัพพื้นหลัก และคัพพื้นหลักจากกราฟ

ให้ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงดึงคล้ายกับฮิวเจอร์ สปริง

1.3 สปริงชนิดเกลียวปิดขนาด 0.009×0.030 นิ้ว แรงที่ใช้ในการเคลื่อนพื้นเขียว ได้จากการยึดสปริงเป็นระยะทางที่ได้จากตารางประเมินค่า (ศึกษารายละเอียดในภาคผนวก) ดังนี้

แรงที่ใช้กระตุ้น (กรัม)	ระยะทางที่ใช้กระตุ้น (มม.)
0	0
100	1.31
150	2.50
200	3.21
250	5.03
300	7.50
350	8.46

1.3.1 ในกรณีที่ไม่มีการมีคัพพื้นหลัก (รูปที่ 74)

แรง 0 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 0 มม. (รูปที่ 74ก)

บริเวณพื้นเขียว : ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านใกล้กลางและไกลกลาง รวมทั้งไม่ปรากฏอิมเมนต์ที่จะมีผลต่อรากพื้นเขียวก่อนการใช้แรงกระตุ้น ซึ่งแตกต่างจากการใช้ ฮิวเจอร์ สปริง และ โคลสซิง ลูบ

บริเวณพืกรามน้อยและพืกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน

แรง 100 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 1.31 มม. (รูปที่ 74ข)

บริเวณพืช็ิ้วว :

ด้านไกลกลาง พบแรงคั้งที่อะวีโวลาร์ เครส และแรงอ็คที่ปลายรากพืช็ิ้วว

ด้านไกลกลาง ปรากฏเฉพาะแรงอ็ค คั้งแต่อะวีโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึง $2/3$ ของความยาวรากพืช็ิ้วว แสดงถึงลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะตัวพืช็ิ้วว
บริเวณพืกรามน้อย :

ด้านไกลกลาง พบแรงคั้งที่อะวีโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึง $2/3$ ของความยาวรากพืช็ิ้วว จำนวนแถบมืดเท่ากับ $3/2$ ในคาร์ค ฟิล มากกว่าการกระจายของแรงอ็คที่ปรากฏทางด้านไกลกลางของพืช็ิ้ววอยู่ $1/2$ ความลาคับ และเริ่มปรากฏแรงอ็คที่ปลายรากพืช็ิ้วว แต่ยังไม่ปรากฏเป็นแถบมืด ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่พืช็ิ้ววหลัก คือพืกรามน้อยมีลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพืช็ิ้วว

ระหว่างพืกรามน้อยและพืกราม : พบการกระจายของความเค้นมากขึ้น เมื่อเทียบกับแรง 0 กรัม

บริเวณพืกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 150 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 2.50 มม. (รูปที่ 74ค)

บริเวณพืช็ิ้วว :

ด้านไกลกลาง ลักษณะการกระจายของความเค้นคล้ายกับเมื่อกระตุ้นด้วยแรง 100 กรัม แต่ความเข้มของแถบมืดมากกว่า

ด้านไกลกลาง เริ่มปรากฏแรงคั้ง เป็นเงาจางที่ปลายรากพืช็ิ้วว แสดงถึงการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพืช็ิ้ววมากขึ้นตามขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้น

บริเวณพินกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง แรงดึงที่อะโรลาร์ เครส ลึกลงมามากขึ้นกว่า 100 กรัม และเมื่อนับจำนวนแถบมืดเท่ากับ 2 ในคาร์ด พิล มากกว่าการกระจายของแรงอัดที่ปรากฏทางด้านใกล้กลางของฟันเขี้ยวอยู่ 1/2 ลำดับเช่นกัน ส่วนแรงอัดที่ปลายรากฟันมีความเข้มมากขึ้นแต่ยังไม่ปรากฏแถบมืด แสดงถึงการเคลื่อนที่ของฟันหลักมาทางด้านหน้าในลักษณะ เคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้น ระหว่างพินกรามน้อยและพินกราม รวมทั้งบริเวณพินกรามทางด้านใกล้กลาง : มีลักษณะ เช่นเดียวกับเมื่อใช้แรง 100 กรัม

แรง 200 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 3.21 มม. (รูปที่ 74ง)

บริเวณฟันเขี้ยว :

ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงดึง ทั้งทางด้านใกล้กลางและใกล้กลาง มีรูปแบบของแถบมืดทานองเดียวกับแรง 150 กรัม แต่แรงดึงที่ปลายรากฟันปรากฏเป็นแถบมืด ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันชัดเจนมากขึ้น

บริเวณพินกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง การกระจายของความเค้น มีรูปแบบแถบมืดทานองเดียวกับแรง 150 กรัม แต่แรงดึงที่ปรากฏมีลำดับแถบมืดเท่ากับ 5/2 ซึ่งมากขึ้นตามขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งแรงอัดที่ปลายรากฟันปรากฏเป็นแถบมืด แสดงถึงการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมีมากขึ้น

ระหว่างพินกรามน้อยและพินกราม รวมทั้งบริเวณพินกรามทางด้านใกล้กลาง : มีลักษณะ เช่นเดียวกับเมื่อใช้แรง 100 กรัม

แรง 250 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 5.03 มม. (รูปที่ 74จ)

บริเวณฟันเขี้ยว และบริเวณพินกรามน้อย : มีลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้น

ระหว่างพืกรามน้อยและพืกราม : พบลักษณะการกระจายของความเค็มมากขึ้น

บริเวณพืกราม :

ทางด้านไกลกลาง ปรากฏแรงดึงตลอดแนวรากพืกราม แสดงให้เห็นว่าพืกรามเริ่มเคลื่อนที่มาทางด้านหน้า

แรง 300 350 กรัม ระยะทางของการกระตุ้น 7.50 มม. และ 8.46 มม. ตามลำดับ (รูปที่ 74ฉ-ข)

บริเวณพืกรามเขียว : พบการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวพืกรามมีมากขึ้นกว่าแรง 250 กรัม บริเวณพืกรามน้อย และพืกราม : ลักษณะของการสูญเสียหลักยึดมีมากขึ้นโดยพิจารณาจากลำดับแถบมืดทางด้านไกลกลางของพืกรามน้อยและแรงดึงทางด้านไกลกลางของรากพืกรามกระจายออกมากขึ้น

1.3.2 ในกรณีที่มีการมัดพืกรามหลัก

ให้ข้อสรุปของการกระจายของความเค็มในพืกรามเขียว พืกรามน้อย และพืกราม ทานองเดียวกับฮิลเจอร์ สปริง และโคลสซิง รูป สปริง

1.3.3 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค็ม กรณีไม่มีมัดพืกรามหลักและมัดพืกรามหลักจากกราฟ

ให้ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงดึง คล้ายกับฮิลเจอร์ สปริง และ โคลสซิง รูป สปริง



รูปที่ 74 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันเขี้ยว ภาย
เครื่องมือชนิดสปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009 x 0.030 นิ้ว วัตต์ ฟิล
แรงที่น้ำหนักกระตุ่น ดังนี้

ก.	0	กรัม	ค.	150	กรัม	จ.	250	กรัม
ข.	100	กรัม	ง.	200	กรัม	ฉ.	300	กรัม
						ช.	350	กรัม

1.4 ยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์

จากการประเมินค่าแรงของยาง จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการกระตุ้น กับระยะทางที่ยางยืดออกมา จากตารางที่ 10 และรูปที่ 92 พบว่า ยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ เมื่อยืดออกทำให้ได้ระยะทางเท่ากับ ระยะจากโมลาร์ ฮุก (Molar hook) มายังแบรคเกตของฟันซี่ยาว จะเกิดแรง ขนาดต่างวกัน ดังนี้ (รายละเอียดศึกษาในภาคผนวก)

แรงที่ใส่ (กรัม)	จำนวนยางที่ใช้ (เส้น)
110.43	1
220.86	2
331.29	3
441.72	4

1.4.1 ในกรณีที่ไม่มัดฟันหลัก (รูปที่ 75)

แรง 110.43 กรัม จำนวนยาง 1 เส้น (รูปที่ 75ก)

บริเวณฟันซี่ยาว :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะวีโวลาร์ เครส และแรงอัดที่ปลาย ราก

ด้านไกลกลาง ปรากฏแรงอัดตั้งแต่อะวีโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึง 2/3 ของความยาวรากฟัน

ลักษณะการกระจายของความเค้นคล้ายคลึงกับที่พบเมื่อใช้สปริง เกลีสวปิด ขนาด แรง 100 กรัม

บริเวณฟันกรามน้อย ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม พบการเปลี่ยนแปลง คล้ายกับสปริงชนิด เกลีสวปิด

บริเวณฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 220.86 กรัม จำนวนยาง 2 เส้น (รูปที่ 75ข)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะริออลาร์ เครส และแรงอัดที่ปลายรากฟันมีความเข้มมากขึ้น

ด้านไกลกลาง ปรากฏแรงอัดที่อะริออลาร์ เครส ลึกลงมาถึง $\frac{2}{3}$ ของความยาวรากฟัน และเริ่มปรากฏแรงดึง เป็นเงาจางที่ปลายรากฟัน แต่ยังไม่ปรากฏเป็นแถบมืดแสดงว่า ฟันเขียวเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้น

บริเวณฟันกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบแรงดึงที่อะริออลาร์ เครส ลึกลงมามากกว่า เมื่อใช้แรง 110.43 กรัม จำนวนแถบมืดเท่ากับ $\frac{5}{2}$ ในไลท์ฟิล ซึ่งมากกว่าการกระจายของแรงอัดที่ปรากฏทางด้านไกลกลางของฟันเขียวอยู่ $\frac{1}{2}$ ลำดับ ส่วนแรงอัดที่ปลายรากฟันมีความเข้มมากขึ้น แต่ยังไม่ปรากฏแถบมืดแสดงว่า ฟันหลักเคลื่อนที่มาจากด้านหน้าในลักษณะตีบปึง มากขึ้น

ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม :

พบการกระจายของความเค้นมากขึ้น เมื่อเทียบกับแรง 110.43 กรัม

บริเวณฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 331.29 กรัม จำนวนยาง 3 เส้น (รูปที่ 75ค)

บริเวณพื้นเขียว :

พบลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้น

บริเวณฟันกรามน้อย ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม :

พบลักษณะการกระจายของความเค้น ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียหลักยึดของฟันกรามน้อยมาจากด้านหน้า ในลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมากขึ้นเช่นกัน

บริเวณพันกราม :

ด้านไกลกลาง บรากฎแรงตั้งบริเวณอะวีโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึง 1/2 ของความยาวรากฟัน แสดงว่าพันกรามเริ่มเคลื่อนที่มาทางด้านหน้า

แรง 441.72 กรัม จำนวนยาง 4 เส้น (รูปที่ 75ง)

ลักษณะของการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนคิ้วฟันที่ฟันเขี้ยวมีมากขึ้น ตามขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการเคลื่อนที่ของฟันหลักทั้ง 2 ซี่มีมากขึ้น สังเกตได้ชัดเจนกว่าเมื่อใช้แรง 331.29 กรัม

1.4.2 ในกรณีที่มีการมัดฟันหลัก

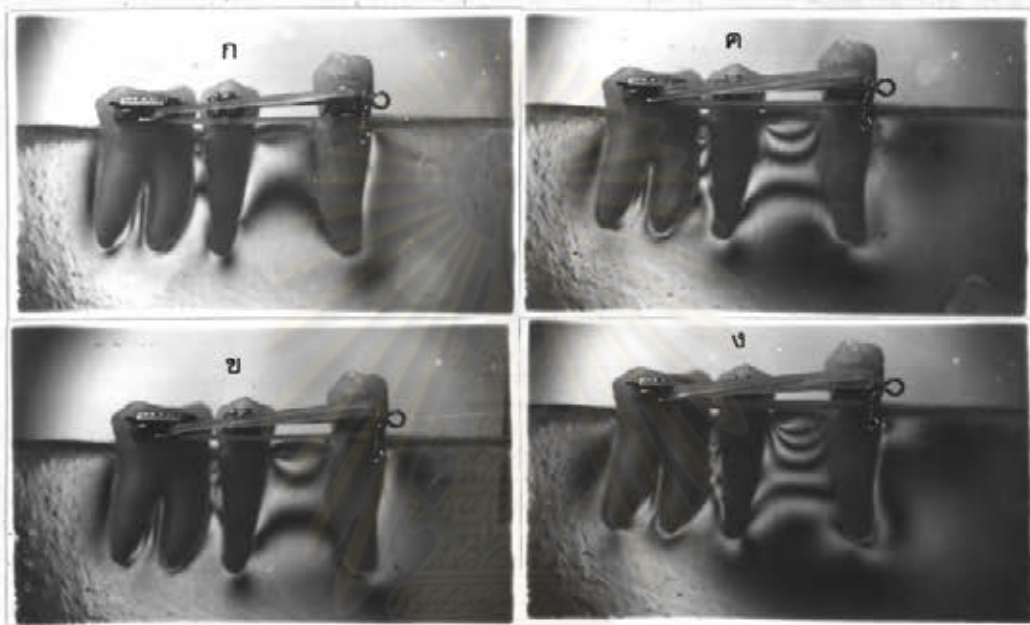
การกระจายของความเค้นที่ฟันเขี้ยว มีลักษณะไม่แตกต่างจากกรณีไม่มัดฟันหลัก เมื่อใช้แรงในการกระตุ้นขนาดเดียวกัน

สำหรับพันกรามน้อยและพันกราม พบว่า ให้ผล ثانองเดียวกับสปริงทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ ถ้ามัดหลักมัดไว้ด้วยกัน จะทำให้ฟันหลักเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นไปไ้ยากกว่ากรณีไม่มัดฟันหลักทั้งสองไว้ด้วยกัน

1.4.3 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้น กรณีไม่มัดฟันหลักและมัดฟันหลัก จากกราฟ

ให้ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงดึง คล้ายกับสปริงทั้ง 3 ชนิด

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 75 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันเขียว โดย
เครื่องมือชนิด ขางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ วนเลห์ พิล แรงที่ใช้
กระตุ้นมีดังนี้

- ก. 110.43 กรัม จากขาง 1 เส้น
- ข. 220.86 กรัม จากขาง 2 เส้น
- ค. 331.29 กรัม จากขาง 3 เส้น
- ง. 441.72 กรัม จากขาง 4 เส้น

1.5 ยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ ร่วมกับเคาน์เตอร์ แคม จากการประเมินค่าแรงของยางที่ชำรุดพื้นเขียวในลักษณะนี้ แรงที่ชำรุดพื้นเขียว ความแนวระนาบอ้างอิง หาได้จากการแตกแรงตามทิศทางที่คล้อยยางจากริมลาร์ ชูค มายังเคาน์เตอร์ แคม ได้แรงมีค่า $F \cos$ (ศึกษารายละเอียดในภาคผนวก) ดังนี้

แรงที่ชำ (กรัม)	จำนวนยางที่ชำ (เส้น)
112.06	1
224.12	2
336.18	3
448.24	4

1.5.1 กรณีที่ชำรุดพื้นหลัก (รูปที่ 76)

แรง 112.06 กรัม จำนวนยาง 1 เส้น (รูปที่ 76ก)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านใกล้กลาง พบแรงอัดก่อนชำรุดสม่ำเสมอบริเวณส่วนกึ่งกลาง 1/3 (Middle 1/3) ลึกลงมาถึงปลายราก

ด้านไกลกลาง แรงอัดปรากฏก่อนชำรุดสม่ำเสมอ ตั้งแต่อะวีโวลาร์ เครส จนถึงปลายรากโดยยังไม่ปรากฏแรงดึงที่ปลายรากพื้น

บริเวณพื้นกรามน้อย :

ด้านใกล้กลาง พบความเข้มของแรงดึงตลอดแนวรากพื้นตั้งแต่ อะวีโวลาร์ เครส จนถึงปลายรากพื้น แต่ไม่ปรากฏเป็นแถบมืด

ระหว่างพื้นกรามน้อยและพื้นกราม บริเวณพื้นกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 224.12 กรัม จำนวนยาง 2 เส้น (รูปที่ 76ข)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านในกลาง พบแรงดึงที่บริเวณอะวิโวลาร์ เครส และแรงอัดตามแนวรากฟันตั้งแต่ส่วนกึ่งกลาง 1/3 จนถึงปลายราก

ด้านนอกกลาง พบเฉพาะแรงอัดบริเวณอะวิโวลาร์ เครส ลึกลงมาถึงปลายรากฟัน

บริเวณฟันกรามน้อย :

ด้านในกลาง แรงดึงปรากฏตั้งแต่อะวิโวลาร์ เครส ลึกลงมา 2/3 ของความยาวรากฟัน ส่วนแรงอัดปรากฏอยู่ที่ปลายราก แต่ยังไม่ปรากฏเป็นแถบมืด แสดงถึงการเคลื่อนที่ของฟันหลักในลักษณะเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันมาทางข้างหน้า

บริเวณฟันกรามน้อยและฟันกราม : ปรากฏการกระจายของความเค้นมากขึ้น

บริเวณฟันกราม : ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

แรง 336.18 กรัม จำนวนยางที่ใช้ 3 เส้น (รูปที่ 76ค)

บริเวณพื้นเขียว :

ด้านในกลาง พบแรงดึงที่อะวิโวลาร์ เครส มีความเข้มเพิ่มมากขึ้น ส่วนแรงอัดปรากฏตามแนวรากฟันตั้งแต่ ส่วนกึ่งกลาง 1/3 จนถึงปลายรากและความเข้มแผ่ขยายกว้างขึ้น

ด้านนอกกลาง แรงอัดยังคงมีการกระจายตั้งแต่อะวิโวลาร์ เครส ลงมาถึงปลายรากฟัน และเริ่มปรากฏมีแรงดึงที่ปลายรากเป็นเงาจาง ใดยังไม่เกิดเป็นแถบมืด แสดงถึงการเคลื่อนที่ของฟันเขียวเฉพาะส่วนตัวฟัน

บริเวณฟันกรามน้อย :

ลักษณะการกระจายของแรงอัด และแรงดึง เป็นไปทวนองเดียวกับแรง 224.12 กรัม จำนวนยาง 2 เส้น แต่ลำดับของแถบมืดซึ่งแสดงถึงขนาดของแรงที่ปรากฏมีจำนวนลำดับมากขึ้น

ระหว่างฟันกรามน้อยและฟันกราม :

การกระจายของความเค้นเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

บริเวณฟันกราม :

ด้านไกลกลาง พบแรงค้ำ เริ่มปรากฏความเค้นมากขึ้นบริเวณอะวิโวลาร์ เครส ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนที่ของฟันกรามมาทางด้านหน้า

แรง 448.24 กรัม จำนวนยางที่ใช้ 4 เส้น (รูปที่ 76ง)

บริเวณฟันเขี้ยว :

ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงค้ำ แสดงถึงการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนตัวฟันอย่างชัดเจน

บริเวณฟันกรามน้อยและฟันกราม :

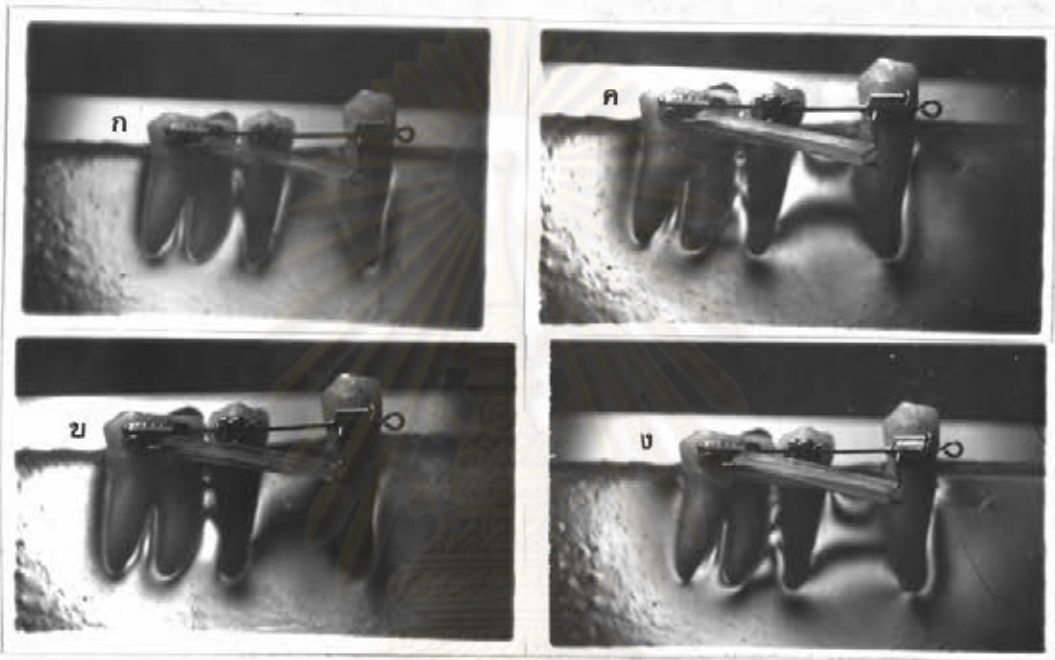
ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงค้ำ แสดงถึงการเคลื่อนที่ของฟันหลักทั้ง 2 ซี่มาทางข้างหน้ามากขึ้น

1.5.2 ในกรณีที่มีการมัดฟันหลัก

ลักษณะการกระจายของความเค้นที่ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อย และฟันกราม หานองเดียวกับเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่นกัน

1.5.3 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้น กรณีไม่มัดฟันหลักและมัดฟันหลักจากกราฟ

ให้ลักษณะการกระจายของแรงอัดและแรงค้ำ คล้ายกับเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 76 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันเขี้ยว โดย เครื่องมือชนิดขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ ร่วมกับเคาน์เตอร์ แคลบ ในไนท์ พิล แรงที่เข้ากระดูกมีดังนี้

- | | | |
|----|-------------|---------------|
| ก. | 112.06 กรัม | จากยาง 1 เส้น |
| ข. | 224.12 กรัม | จากยาง 2 เส้น |
| ค. | 336.18 กรัม | จากยาง 3 เส้น |
| ง. | 448.24 กรัม | จากยาง 4 เส้น |

2. เพื่อศึกษาเครื่องมือที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันเขี้ยวทั้งซี่ฟัน ผู้วิจัยได้หาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว และจุดศูนย์กลางความค้ำทานของฟันเขี้ยว เพื่อเป็นหลักในการตัดสินใจเคลื่อนที่ทั้งซี่ฟัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การหาจุดศูนย์กลางการหมุน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับแถบมืด (N) กับระยะความลึกแถบมืด (d) ณ แรงขนาดต่างๆ เช่น 100 150 200 250 300 กรัม เป็นต้น ค่าแห่งของจุดศูนย์กลางการหมุน ได้แก่ ระยะทางซึ่งวัดจากระนาบอ้างอิงมายังแถบมืดลำดับที่ 0 ณ ค่าแห่งนี้การกระจายของแรงมีค่าเป็นศูนย์ การเปลี่ยนแปลงจากแรงอัดไปเป็นแรงดึงเกิดขึ้นได้ง่าย เมื่อแรงของการกระตุ้นเปลี่ยนแปลงไป

อนึ่ง เนื่องจากแถบมืดมีลักษณะเป็นรูปโค้ง ดังนั้นการหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางของการหมุน จึงหาได้จากค่าเฉลี่ยของช่วงระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าแห่งที่ 0 1 2 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากกราฟระหว่างลำดับแถบมืด กับระยะความลึกของแถบมืดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือแต่ละชนิดที่ขนาดแรงค้ำต่างกัน พบว่า การกระจายของแรงมีลักษณะเป็นใบในทานองเดียวกัน กล่าวคือ การกระจายของแรงอัดให้ค่าความลาดเอียง มีค่าลดลงเหมือนกัน เมื่อเข้าใกล้จุดศูนย์กลางการหมุน ดังนั้นจึงแสดงกราฟเฉพาะช่วงแรงวหนึ่ง ที่ให้รูปแบบของการกระจายของแรงที่มีลำดับแถบมืดหลายลำดับและชัดเจนในเครื่องมือแต่ละชนิดเพียงกราฟเดียว ดังรูปที่ 77-81 และแสดงค่าช่วงระยะที่เปลี่ยนแปลงของแรงอัดไปเป็นแรงดึง ณ แถบสีลำดับที่ 0 ทั้งกรณีมีค้ำฟันหลักและไม่ค้ำฟันหลักที่ขนาดแรงค้ำต่างกัน ดังตารางที่ 4-6

2.1.1 เมื่อใช้ซิลิเจอร์ สบริง (ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 77) พบว่าจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว เมื่อขนาดแรงอยู่ในช่วง 100-300 กรัม

กรณีไม่มีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 26.5 ± 1.5 ถึง 24.75 ± 0.75 มม.

กรณีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 26.75 ± 1.75 ถึง 23.5 ± 1 มม.

2.1.2 เมื่อใช้โคลสซิง ลูบ สปริง (ตั้งตารางที่ 4 และรูปที่ 78) พบว่าจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว เมื่อขนาดของแรงอยู่ในช่วง 200-300 กรัม

กรณีไม่มีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 25 ± 1.5 ถึง 23.5 ± 1.5 มม.

กรณีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 25.5 ± 1.0 ถึง 23 ± 1.0 มม.

2.1.3 เมื่อใช้สปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009×0.030 นิ้ว (ตั้งตารางที่ 5 และรูปที่ 79) พบว่า จุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว เมื่อขนาดแรงอยู่ในช่วง 100-350 กรัม

กรณีไม่มีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 26.75 ± 1.75 ถึง 22.5 ± 0.5 มม.

กรณีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 25.5 ± 1.0 ถึง 21.25 ± 0.75 มม.

2.1.4 เมื่อใช้ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ (ตั้งตารางที่ 5 และรูปที่ 80) พบว่า จุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว เมื่อขนาดของแรงอยู่ในช่วง 110.43-441.72 กรัม

กรณีไม่มีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 26.25 ± 0.75 ถึง 22 ± 0.5 มม.

กรณีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 26.75 ± 1.25 ถึง 22.5 ± 0.5 มม.

2.1.5 เมื่อใช้ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ ร่วมกับเคาน์เตอร์ แคลป (ตั้งตารางที่ 6 และรูปที่ 81) พบว่าจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว เมื่อขนาดของแรงอยู่ในช่วง 112.06-448.24 กรัม

กรณีไม่มีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 28.5 ถึง 26 ± 1.0 มม.

กรณีมัดพันหลัก อยู่ระยะประมาณ 28.5 ถึง 25.75 ± 1.25 มม.

อนึ่ง จากการทดลองหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุน ค่าต่างๆที่ได้ จากการทดลองได้จากการวัดระยะทางจากภาพถ่ายที่มีขนาดกำลังขยายประมาณ

1.6 เท่าของของจริง

ชนิดของ เครื่องมือ	ขนาด ของ แรง	กรณีไม่มีคัพพื้นหลัก		กรณีมีคัพพื้นหลัก	
		ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)
สปริงชนิด อีลเจอร် สปริง 0.016 x 0.016 นิ้ว เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา	100	25-28	26.5 \pm 1.5	25-28.5	26.75 \pm 1.75
	150	23.5-27	25.25 \pm 2	25-28	26.5 \pm 1.5
	200	23-27	25 \pm 2	25.5-27.5	26.5 \pm 1
	250	23.5-26	24.75 \pm 1.25	22.5-25	23.75 \pm 1.25
	300	23.5-25	24.75 \pm 0.75	22.5-24.5	23.5 \pm 1
สปริงชนิด อีลเจอร် สปริง 0.016 x 0.016 นิ้ว โกลน 15 องศา	200	23.5-26.5	25 \pm 1.5	24.5-26.5	25.5 \pm 1.0
	300	23-24	23.5 \pm 0.5	23.5-26	24.75 \pm 1.25
	400	22.5-25.5	24 \pm 1.5	22-24	23 \pm 1.0
	500	22-25	23.5 \pm 1.5	22-24	23 \pm 1.0

ตารางที่ 4 แสดงการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว
ของสปริงชนิด อีลเจอร် สปริง เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา และโกลนสปริง โกลน
เกเบอร์ แองเกิล 22.5 องศา โกลน 15 องศา

ชนิด ของ เครื่อง มือ	ขนาด ของ แรง	กรณีไม่มีคัพพื้นหลัก		กรณีมีคัพพื้นหลัก	
		ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)
สปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009 x 0.030 นิ้ว	100	25-28.5	26.75±1.75	24.5-26.5	25.5±1.0
	150	24-27.5	25.75±1.75	22-24.5	22.25±2.25
	200	23.5-25	24.25±0.75	21.5-23	22.25±0.75
	250	22-23.5	22.75±0.75	22-23	22.5±0.5
	300	21.5-23.5	22.5±1.0	20-22	21±1.0
	350	22-23	22.5±0.5	20.5-22	21.25±0.75
ยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์	110.43 (1เส้น)	25.5-27	26.25±0.75	25.5-28	26.75±1.25
	220.86 (2เส้น)	25.5-26.5	26±0.5	24-26	25±1.0
	331.29 (3เส้น)	23-24.5	23.75±0.75	22.5-24	23.25±0.75
	441.72 (4เส้น)	21.5-22.5	22±0.5	22-23	22.5±0.5

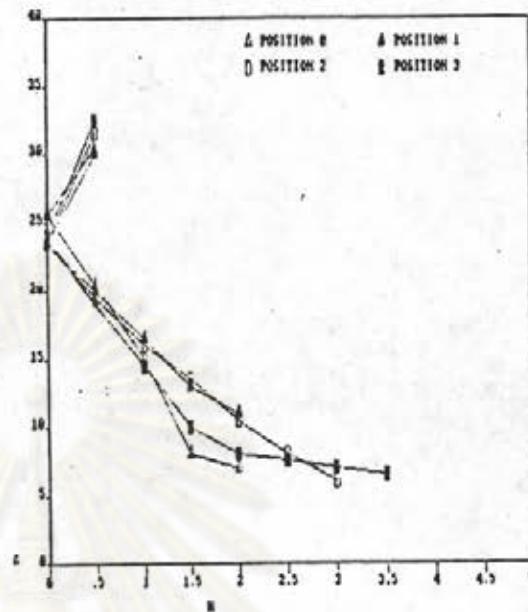
ตารางที่ 5 แสดงการหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุนของพื้นเขียว
ของสปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009 x 0.030 นิ้ว และยางขนาด 1/4 นิ้ว
3(1/2) ออนซ์

ชนิด ของ เครื่อง มือ	ขนาด ของ แรง	กรณีไม่มีคัพพื้นหลัก		กรณีมีคัพพื้นหลัก	
		ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ช่วงระยะที่ เปลี่ยนแปลง (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)
ขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ ร่วมกับเคาน์ แคม	112.06 (1 เส้น)	28.5	28.5	28.5	28.5
	224.12 (2 เส้น)	28.5	28.5	26.5-28.5	27.5 \pm 1.0
	336.18 (3 เส้น)	26-28	27 \pm 1.0	25-28	26.5 \pm 1.5
	448.24 (4 เส้น)	25-27	26 \pm 1.0	24.5-27	25.75 \pm 1.25

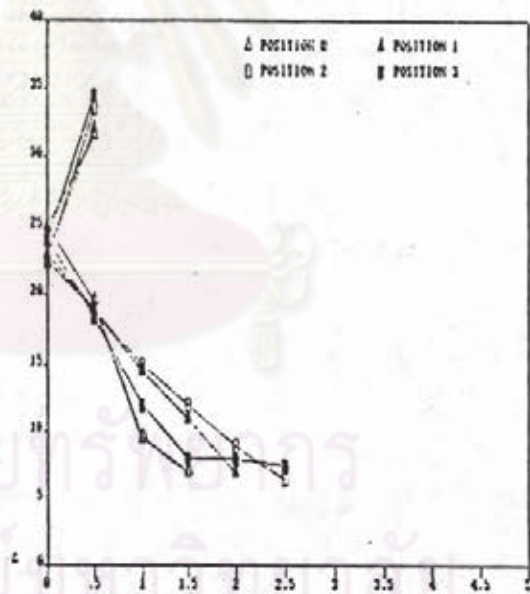
ตารางที่ 6 แสดงการหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุนของฟันเขี้ยว
ของขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ ร่วมกับเคาน์ แคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีไม่มีคัพพื้นหลัก

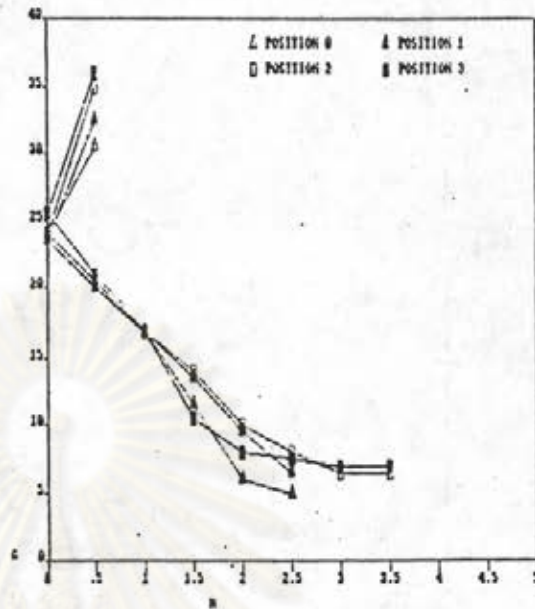


กรณีมีคัพพื้นหลัก

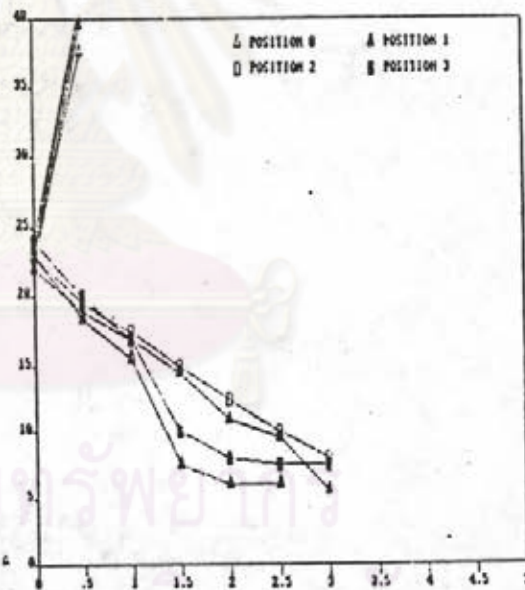


รูปที่ 77 กราฟแสดงการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนของพื้น
 เชื้อขาว ของฮิลเจอร์ สปริง เกเบอร์ แองเกิล 45 องศา ขนาดของแรงที่ใช้ใน
 การกระตุ้น 250 กรัม ณ ตำแหน่ง 0 1 2 3

กรณีไม่มีมัดพันหลัก

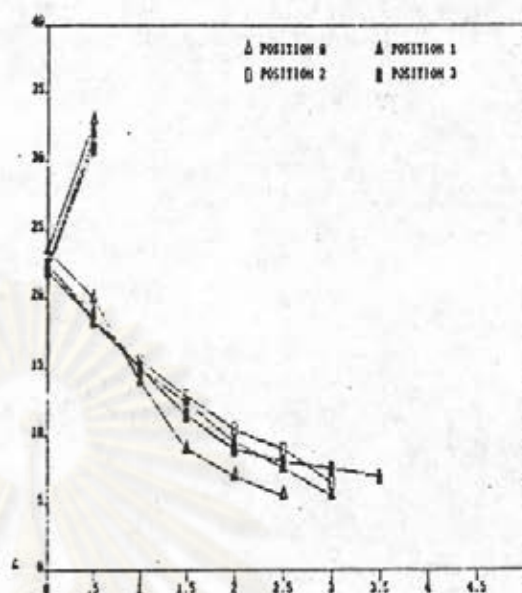


กรณีมัดพันหลัก

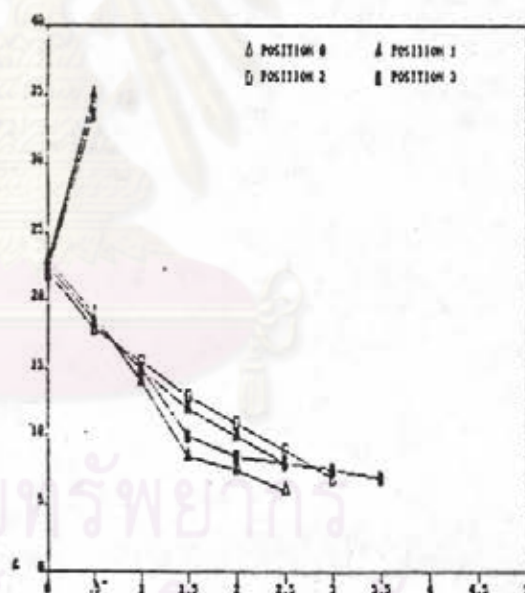


รูปที่ 78 กราฟแสดงการหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุนของ
 ฟันเขี้ยวของโรตอลสิง ลูบ สปริง เกเบอร์ แองเกิล 22.5 องศา รทอิน 15
 องศา ขนาดแรงที่ใช้ในการกระตุ้น 400 กรัม ณ ตำแหน่ง 0 1 2 3

กรณีไม่มีคัพพินหลัก

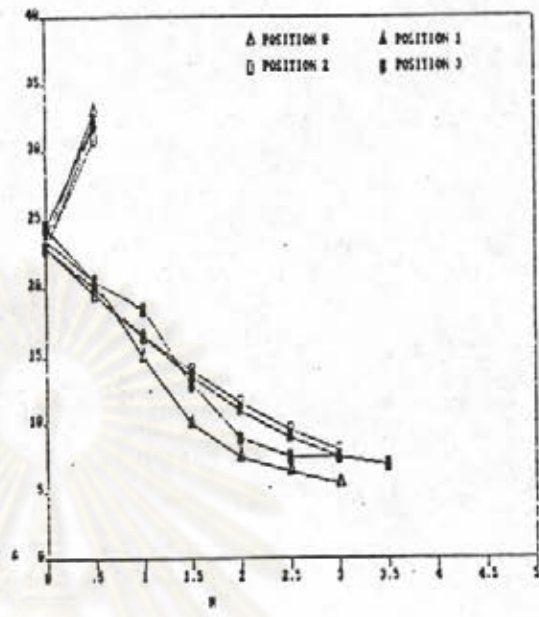


กรณีมีคัพพินหลัก

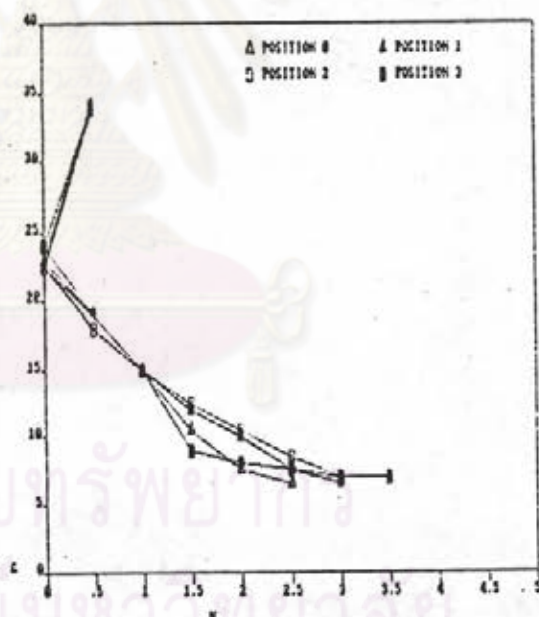


รูปที่ 79 กราฟแสดงการหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางการหมุนของฟัน
เขี้ยวของสปริงชนิดเกลียวบิดขนาด 0.009×0.030 นิ้ว ขนาดแรงที่ใช้เข้า
การกระตุ้น 250 กรัม ณ ตำแหน่ง 0 1 2 3

กราฟไฟว์มัดพินหลัก

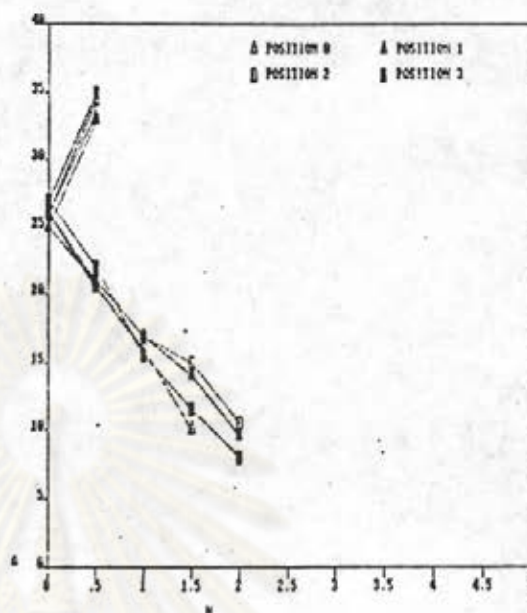


กราฟไฟว์มัดพินหลัก

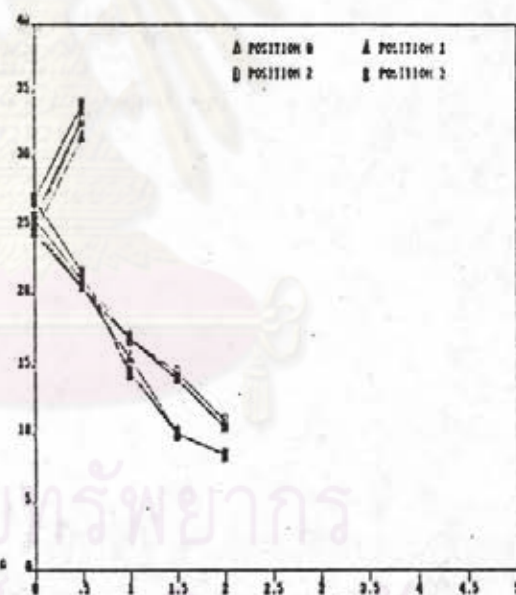


รูปที่ 80 กราฟแสดงการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนของ
 พินเขียวของขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ 3 เส้น ขนาดของแรงที่ใช้ใน
 การกระตุ้น 331.29 กรัม ณ ตำแหน่ง 0 1 2 3

กรณีไม่มีมัดพื้นหลัก



กรณีมัดพื้นหลัก



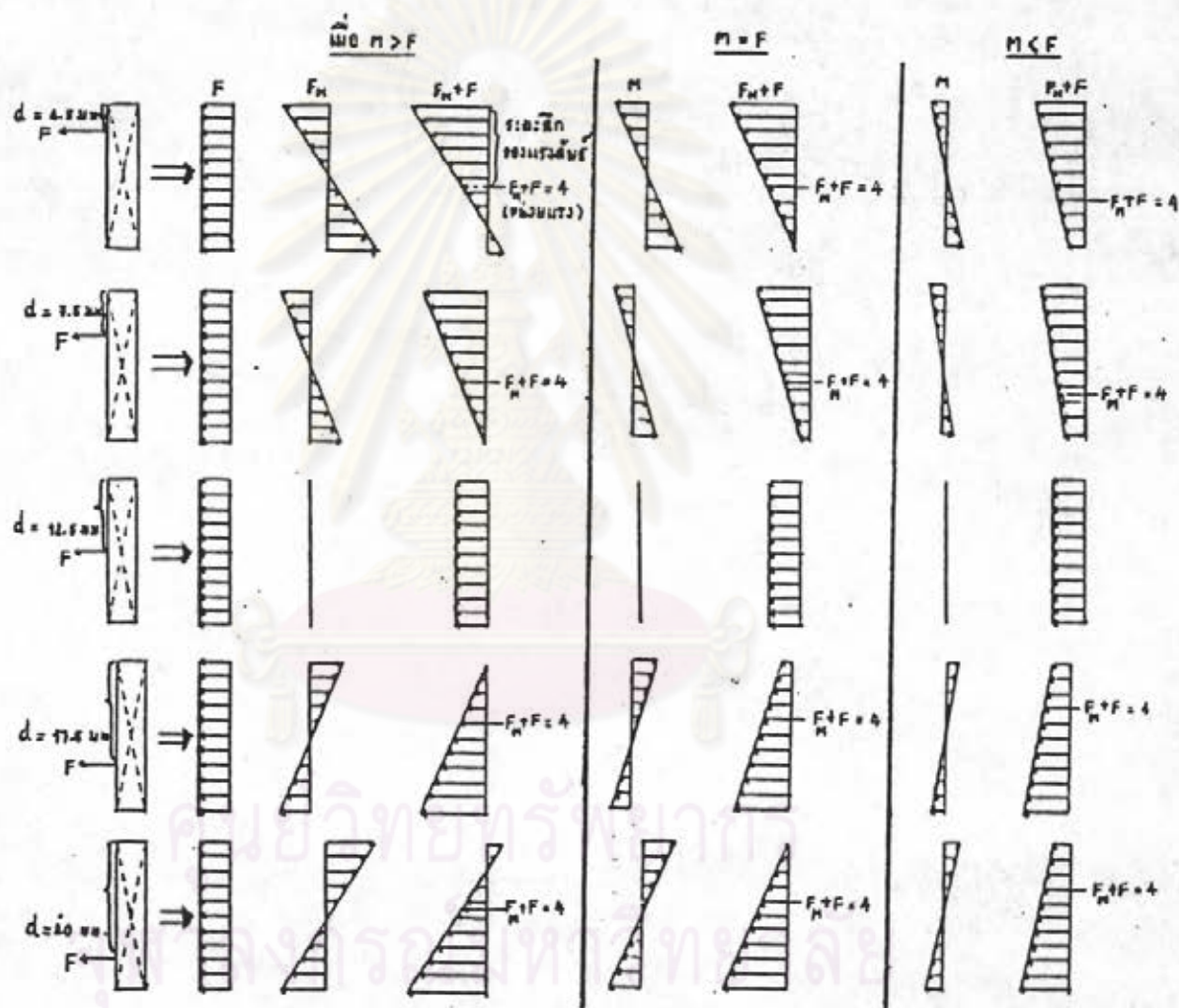
รูปที่ 81 กราฟแสดงการหาค่าแรงจุดศูนย์กลางการหมุนของ
 พื้นเขียวของยางขนาด 1/4 นิ้ว 3(1/2) ออนซ์ ร่วมกับเคาน์เตอร์ แคลบ 4 เส้น
 ขนาดของแรงที่ใช้งานการกระตุ่น 448.24 กรัม ณ ตำแหน่ง 0 1 2 3

2.2 การหาจุดศูนย์กลางความต้านทาน

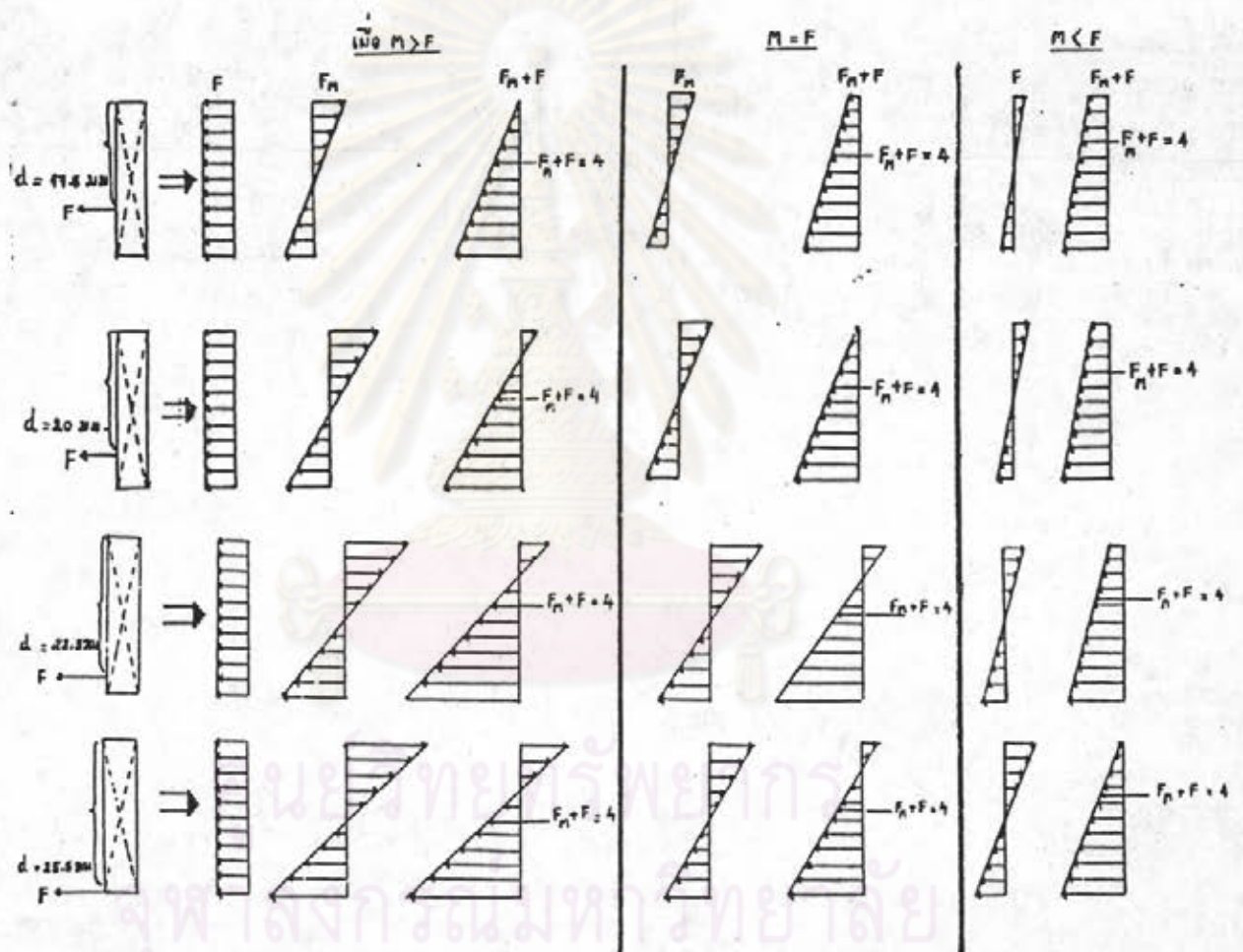
การศึกษาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความต้านทาน ได้จากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของระยะที่ให้แรงกระทำต่อวัตถุที่มีรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งสามารถหาจุดศูนย์กลางความต้านทานได้ กล่าวคือ เป็นจุดตัดของเส้นทแยงมุม ระยะที่ให้แรงกระทำต่อวัตถุแบ่ง เป็นระยะที่อยู่เหนือจุดศูนย์กลางความต้านทาน ระยะต่ำกว่าจุดศูนย์กลางความต้านทาน และผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทาน โดยวัดระยะทางจากขอบบนสุดของแท่งสี่เหลี่ยมมายังจุดที่ออกแรงกระทำ (d) ขนาดของแรงมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่ากับ F และโมเมนต์ที่เกิดจากแรง F โดยคิดเสมือนแรง F กระทำที่จุดศูนย์กลางความต้านทาน มี 3 ลักษณะ คือ

- ก. โมเมนต์ซึ่งมีขนาดมากกว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุ ($M > F$) ที่ระยะ $d=0$
- ข. โมเมนต์ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงที่กระทำต่อวัตถุ ($M = F$) ที่ระยะ $d=0$
- ค. โมเมนต์ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุ ($M < F$) ที่ระยะ $d=0$

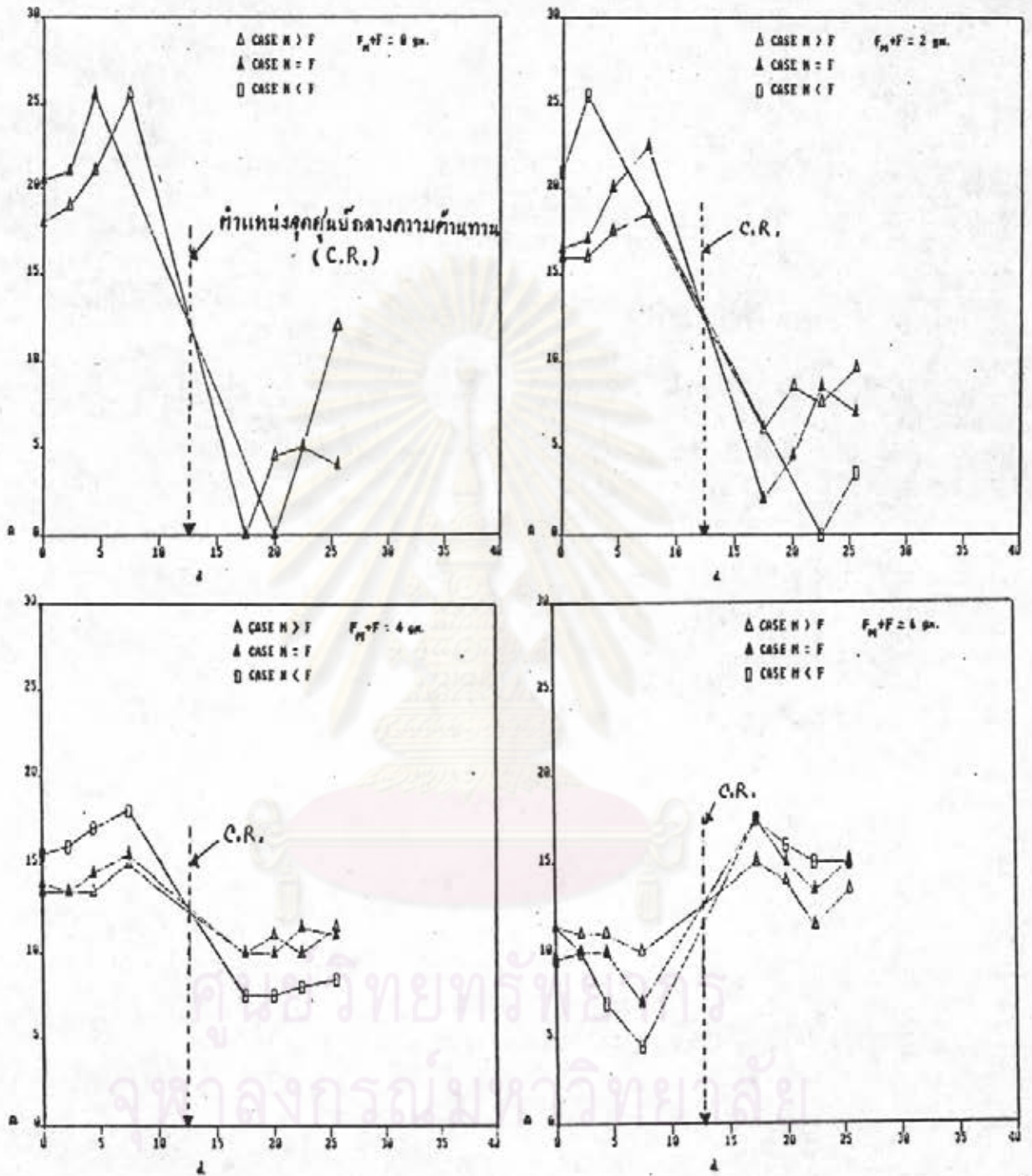
แรงลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลรวมของแรงที่เกิดจากโมเมนต์และแรง F คือ $(F_M + F)$ ซึ่งจะแทนความเค้นหรือแทนลำดับของแถบมีด ณ ตำแหน่งนั้นวัดระยะลึกของแรงลัพธ์ที่มีค่าเทียบเท่ากับหน่วยแรงค้ำจุนวัดจากขอบบนสุดของแท่งสี่เหลี่ยมมายังตำแหน่งของแรงลัพธ์นั้นๆ จากนั้นนำค่าความลึกของแรงลัพธ์ที่วัดได้และระยะที่ออกแรงกระทำมาสร้างกราฟ โดยกำหนดระยะที่ออกแรงกระทำตามลำดับคือ 0 2.25 4.5 7.5 12.5 17.5 20 22.5 25.5 มม. ตามลำดับ กราฟนี้จะใช้ เป็นกราฟอ้างอิง เปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะลึกของแถบมีดลำดับที่ $1/2$ กับระยะที่ดึงตามแนวรากฟันตั้งแต่ระดับขอบล่างของแบรคเกดอันบนถึงขอบล่างของแบรคเกดอันล่างทุกๆ 1 มม. ดังรูปที่ 82ก 82 ข



รูปที่ 82ก แสดงแบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงความสัมพันธ์ของระยะที่ดึง (d) แรงที่ใช้ดึง (F) แรงที่เกิดจากรวมเมนต์ (F_M) แรงลัพธ์ที่เกิดจาก $M+F$

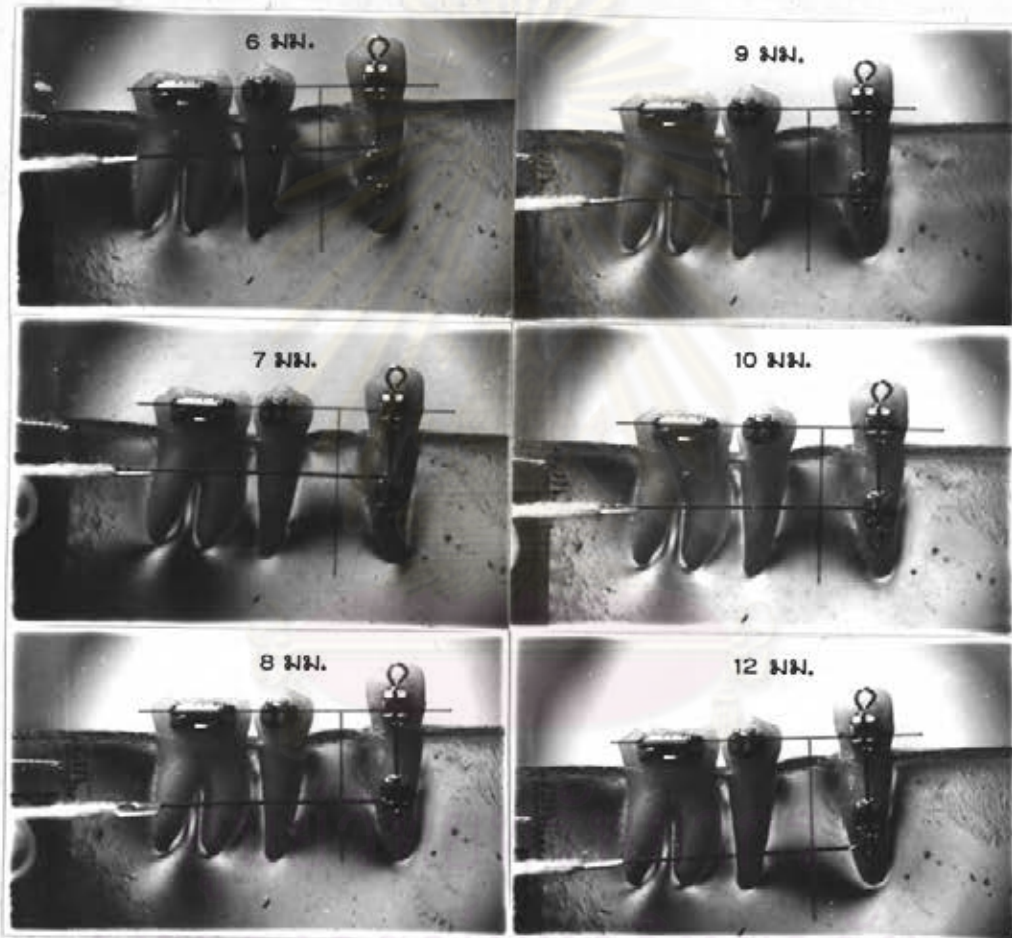


รูปที่ 82 ข แสดงแบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ต่อ)

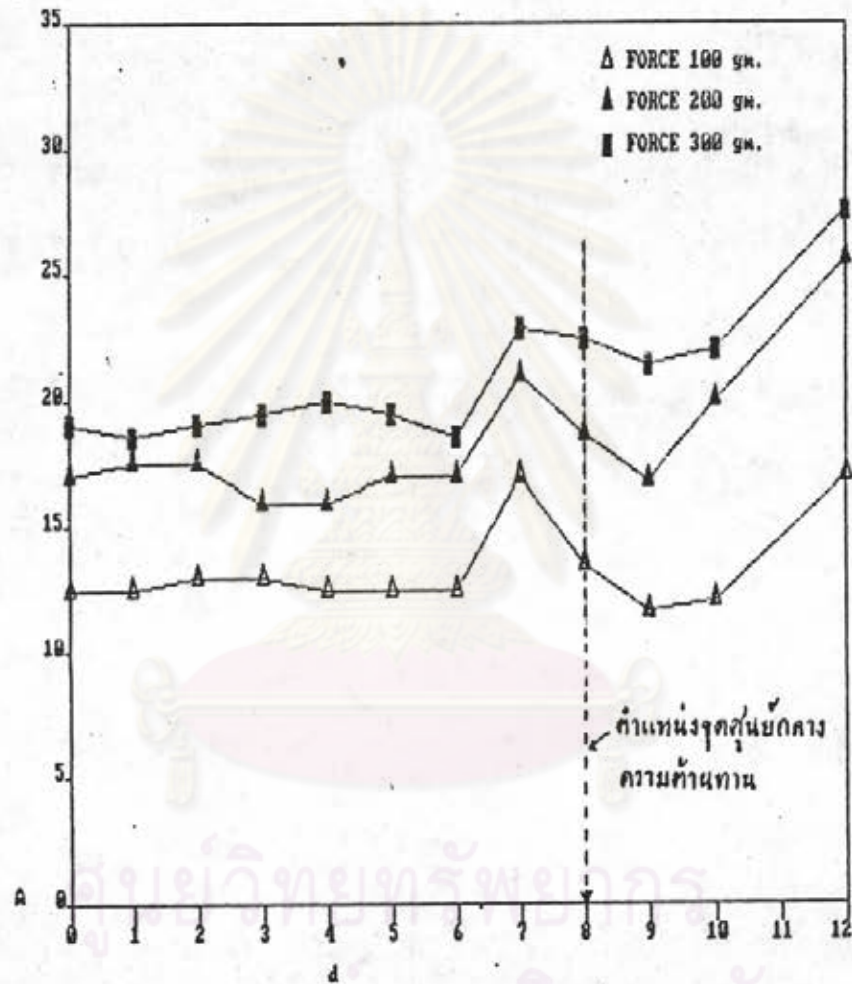


รูปที่ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่ดึง (d) กับระยะลึกของแรงลัพท์ $F_M + F$ (D) 0 2 4 6 หน่วยแรงเมื่อแรงที่ใช้ในการดึง F

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของรูปที่ 83 นำมาเปรียบเทียบกับ
 กราฟที่สร้างได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่ออกแรงคึงกับระยะของแถบมิด
 ลำดับที่ 1/2 ซึ่งได้จากภาพถ่ายของแบบจำลองฟันคยวิธีหาคะยี่ล่ำสติก คึงรูป
 ที่ 84 เมื่อใช้น้ำหนักในการคึง 200 กรัมและรูปที่ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์
 ระหว่างระยะที่คึงกับระยะลึกของแถบมิดที่ลำดับของแถบมิดที่ 1/2 เมื่อใช้
 น้ำหนักหรือแรงคึงที่ 100, 200 และ 300 กรัม



รูปที่ 84 แสดงวิธีหาจุดศูนย์กลางความต้านทาน เมื่อใช้น้ำหนักใน
 การคึง 200 กรัม ที่ระยะ 6 7 8 9 10 12 มม. ตามลำดับ เมื่อวัด
 จากระนาบอ้างอิง



รูปที่ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่ดึง (d) กับระยะลึกของแถบมิตที่ลำดับของแถบมิตที่ 1/2 (D) เมื่อใช้น้ำหนักหรือแรงดึงที่ 100 200 300 กรัม

ผลจากการเปรียบเทียบกราฟจากการสร้างแบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กับกราฟที่ได้จากการทดลอง สรุปได้ว่า ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันเขี้ยว อยู่ห่างจากอะวีโวลาร์ เครส ลงมาทางปลายรากฟันประมาณ 8 มม. หรือประมาณ $1/2$ ของระยะระหว่างอะวีโวลาร์ เครสและปลายรากฟัน คือระยะประมาณกึ่งกลางของรากฟัน ดังนั้นถ้าถ่ายแรง F จากจุดที่กระทำที่แบรคเกิดมายังจุดศูนย์กลางความต้านทานนี้ จะได้ค่าโมเมนต์เท่ากับ $8F$ หรือได้ M/F เท่ากับ 8

อนึ่ง ในการเปรียบเทียบเครื่องมือแต่ละชนิดเพื่อหาว่า เครื่องมือชนิดไหนให้การเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน หารได้ค่านำค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต่อแรงที่ใช้ในการกระตุ้น ที่หาได้จากตาราง (ศึกษารายละเอียดในภาคผนวก) คือ ค่า M/F มาเปรียบเทียบกับ M/F เท่ากับ 8 ผลการเปรียบเทียบได้ว่า

ก. ฮิลเจอร์ สปริง ขนาด 0.016×0.016 นิ้ว ให้การเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน ขนาดแรงที่ใช้กระตุ้นในช่วง 50-100 กรัม

ข. ไรคลสซิง ลูบ สปริง ขนาด 0.016×0.016 นิ้ว ให้การเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน ขนาดแรงที่ใช้กระตุ้นในช่วง 250-300 กรัม

ค. สปริงชนิดเกลียวปิด ขนาด 0.009×0.030 นิ้ว ไม่ปรากฏผลการเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน เมื่อใช้แรงในการกระตุ้นในช่วง 0-350 กรัม

ง. ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ ไม่ปรากฏผลการเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน เมื่อใช้แรงกระตุ้นในช่วง 0-350 กรัม

จ. ยางขนาด $1/4$ นิ้ว $3(1/2)$ ออนซ์ ร่วมกับเคาเน็ท แคลบ ให้การเคลื่อนที่หิ้งซี่ฟัน ขนาดแรงที่ใช้ในการกระตุ้นในช่วง 50-100 กรัม