

## รายการอ้างอิง

- ทัศนีย์ วัฒนทราภิวัฒน์. 2529. วิเคราะห์การกระจายของแรงเค้นจากการเคลื่อนฟันเขี้ยวโดยวิธีโฟโตอีลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทระดับบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Alexandridis, C., Thanos, C.E., and Caputo, A.A. 1981. Distribution of stress patterns in the human zygomatic arch and bone. J.Oral.Rehab. 8: 495-505.
- Barton, K.A. 1972. Overbite changes in the Beggs and Edgewise technique. Am.J.Orthod. 62: 48-55.
- Burstone, C.J. 1962. The rationale of segmented arch. Am.J.Orthod. 11: 805-822.
- \_\_\_\_\_. 1966. The mechanics of the segmented arch technique. Angle Orthod. 36: 99-120.
- \_\_\_\_\_. 1975. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In T.M.Grabner (ed.), Current orthodontic concept and technique. 2nd ed. pp. 230-258. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- \_\_\_\_\_. 1977. Deep overbite correction by intrusion. Am.J.Orthod. 72: 1-22.
- \_\_\_\_\_. and Hanley, K.J. 1985. Modern Edgewise mechanics Segmented arch technique. Famington: Ormco Corporation.
- Caputo, A.A. 1974. Photoelastic visualization of orthodontic force during canine retraction. Am.J.Orthod. 65: 250-259.

- \_\_\_\_\_. Chaconas, S.J., and Hayashi, R.K. 1974. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. Am.J.Orthod. 65: 250-259.
- \_\_\_\_\_. and Standlee, J.P. 1987. Biomechanics in Clinical Dentistry. pp. 20-28, 37-49, 72-78, 85-89, 110-112, 132-134, 192-200, 208-211. Illinois: Quintessence Publishing Co. Inc.
- Chaconas, S.J., Caputo, A.A., and Davis, J.C. 1976. The effects of orthopedics forces on the craniofacial complex utilizing cervical and head gear appliance. Am.J.Orthod. 69: 527-539.
- Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., and Farah, J.W. 1973. Stress distribution in photoelastic models of transverse sections of porcelain-fused-to-gold crowns and preparations. J.Dent.Res. 52: 1060-1064.
- De Alba y Levy, J.A., Chaconas, S.J., and Caputo, A.A. 1976. Orthopedic effect of the extraoral chin cup appliance on the mandible. Am.J.Orthod. 69: 29-41.
- Dellinger, E.L. 1967. A histologic and cephalometric investigation of premolar intrusion in *Macaca speciosa* monkey. Am.J.Orthod. 53: 325-355.
- Dermault, L.R., and Vanden Bulcke, M.M. 1986. Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on a macerated human skull using the laser reflection technique and halographic interferometry. Am.J.Orthod. 89: 51-263.
- Dixon, J.R. 1959. Photoelasticity can help the designer Eng Mater Design. 2: 12, 600-604. citing Ralph, J.P., and Caputo, A.A. J.Dent.Res. 54: 814-821. 1975.

- Eganhouse, G.R. 1976. Treatment of severe overbite malocclusion.  
Am.J.Orthod. 70: 428-434.
- Engel, G., Cornforth, G., Demerell, J.A., Gordon, J., Levy, P.,  
McAlpine, J., Otto, R., Walters, R., and Chaconas, S.J. 1980.  
Treatment of deepbite case. Am.J.Orthod. 77: 1-13.
- Gianelly, A.A., and Goodman, H.M. 1971. Biologic Basis of  
Orthodontics. pp. 117-202. Lea and Febiger Philadelphia.
- Greig, D.G.M. 1983. Bioprogressive therapy : Overbite reduction with  
the lower utility arch. Br.J.Orthod. 10: 214-215.
- Hayashi, R.K., Chaconas, S.J., and Caputo, A.A. 1975. Effects of  
force direction of supporting bone during tooth movement.  
J.Am.Dent.Assoc. 90: 1012-1017.
- Itoh, T., Chaconas, S.J., Caputo, A.A., and Matyas, J. 1985.  
Photoelastic effects of maxillary protraction on the  
craniofacial complex. Am.J.Orthod. 88: 117-124.
- McFadden, W.M., Engstrom, C., Enstrom, H., and Milford, J. 1989.  
A study of the relationship between incisor intrusion and root  
shortening. Am.J.Orthod. 96: 390-395.
- Melsen, B., Agerback, N., and Markenstam, G. 1989. Intrusion of  
incisors in adult patients with marginal bone loss.  
Am.J.Orthod. 96: 232-241.
- Mehta, N.R., Roeber, F.W., Glickman, I., and Goodman, J.B. 1976.  
Stresses created by occlusal prematurities in photoelastic  
model system. J.Am.Dent.Assoc. 93: 334-341.

- Otto, R.L., Anholm, J.M., and Engel, G.A. 1980. A comparative analysis of intrusion of incisor teeth achieved in adults and children according to facial type. Am.J.Orthod. 77: 437-446.
- Ralph, J.P., and Caputo, A.A. 1975. Analysis of stress patterns in the human mandible. J.Dent.Res. 54: 814-821.
- Reitan, K. 1975. Biomechanical principle and reaction. In T.M. Graber (ed.), Current orthodontic concepts and technique. 2nd ed. pp. 111-229. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Ricketts, R.M. 1976. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontics needs. Am.J.Orthod. 70: 241-268, 359-397.
- \_\_\_\_\_. Bench, R.W., Guigino, C.F., Hilgers, J.J., and Schuhof, R.J. 1979. Bioprogressive therapy. Book 1. pp. 15-34, 93-126, 223-234, 259-262, 293-295. Denver: Rocky mountain orthodontics.
- Romeo, D.A., and Burstone, C.J. 1977. Tip back mechanics. Am.J.Orthod. 72: 414-421.
- Schudy, F.F. 1968. The control of vertical overbite in clinical orthodontics. Angle Orthod. 38: 19-39.
- Storey, E. 1973. The nature of tooth movement. Am.J.Orthod. 94:292-314
- Standlee, J.P., Caputo, A.A., Collard, E.W., and Pollick, M.H. 1972. Analysis of stress distribution by endodontic posts. Oral.Surg. 33: 952-960.
- White, T.R., Caputo, A.A., and Chaconas, S.J. 1979. The measurement of utility archwire forces. Angle Orthod. 49: 272-281.

- Woods, M.G. 1988. The mechanic of lower incisor intrusion:  
Experiments in non growing baboons. Am.J.Orthod. 93: 186-195.
- Wylie, R., and Caputo, A.A. 1982. Force distribution to periodontally  
involved teeth by fixed splints. J.Dent.Res. 61(Spec.Issue A.)  
Abstr.no 1030.
- Zak, B. 1935. Photoelastische analyse in der orthodontischen mechanik  
Oesterreische Zeitschrift Stomatol. 33:22. citing Hayashi, R.K.,  
Chaconas, S.J., and Caputo, A.A. J.Am.Dent.Assoc. 90: 1012-1017,  
1975.

## ภาคผนวก ก

การทดสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้าเมื่อลักษณะของลวดกดพื้นแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงไป

๑ จากการสังเกตลักษณะของเบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ช ขนาดของแรงกดพื้นหน้า ควรเปลี่ยนแปลงได้จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์และขนาดมุมทึปแบค เบนด์ ดังนั้นจึง ทำการทดสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้าเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์ กล่าวคือ คัดลวดเบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ช จำนวน ๑๐ เส้น ( $N=๑๐$ ) ให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ อีลิคซ์เป็น ๓ มม. และค่ามุมทึปแบค เบนด์ เป็น  $๐^{\circ}$  นำไปทดสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้า โดย ใส่ลวดกดพื้นหน้าส่วนโมลาร์ เช็กชั้นในหลอดโลหะเสริมของหลอดโลหะด้านใกล้แก้มบนฟันกราม ล่างซี่ที่หนึ่งในแบบจำลองฟันซึ่งยึดในเครื่องมือเฉพาะกิจซึ่งสร้างขึ้น เพื่อทดสอบขนาดของแรง กดพื้น แล้วใช้สปริง เกจยกลวดกดพื้นส่วนหน้าขึ้นมาที่ระดับของแบรคเก็ต ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง ฟันหน้าซี่กลางทั้งสองอ่านค่าของแรงกดที่เกิดจากสปริงบันทึกขนาดของแรง ( $F$ ) ที่ได้ จากนั้น คัดลวดเบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ชอีกจำนวน ๑๐ เส้น โดยให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์ เท่ากับ ๔ มม. ค่ามุมทึปแบค เบนด์ เป็น  $๐^{\circ}$  นำไปทดสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้าในลักษณะ เดียวกัน ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ ๓

ตารางที่ ๓ แสดงขนาดของแรง ( $F$ ) ที่เกิดจากลวดเบอร์สโตน อินทรีฟ อาร์ช

เมื่อกำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิกซ์เป็น ๓ และ ๔ มม. ตามลำดับ  
ขนาดของสปริงยาว ๓๓-๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนด์ เป็น  $0^\circ$

$0^\circ$	ขนาดของแรง $F$ (กรัม)	
	N	$\phi$ ๓ มม.
๑	๖๒	๖๒
๒	๖๒	๖๓
๓	๖๔	๖๔
๔	๖๒	๖๒
๕	๖๒	๖๓
๖	๖๑	๖๔
๗	๖๓	๖๓
๘	๖๓	๖๑
๙	๖๒	๖๒
๑๐	๖๑	๖๒
$F$ เฉลี่ย $\pm$ SD	๖๒.๒ $\pm$ ๐.๕๑	๖๒.๖ $\pm$ ๐.๕๖

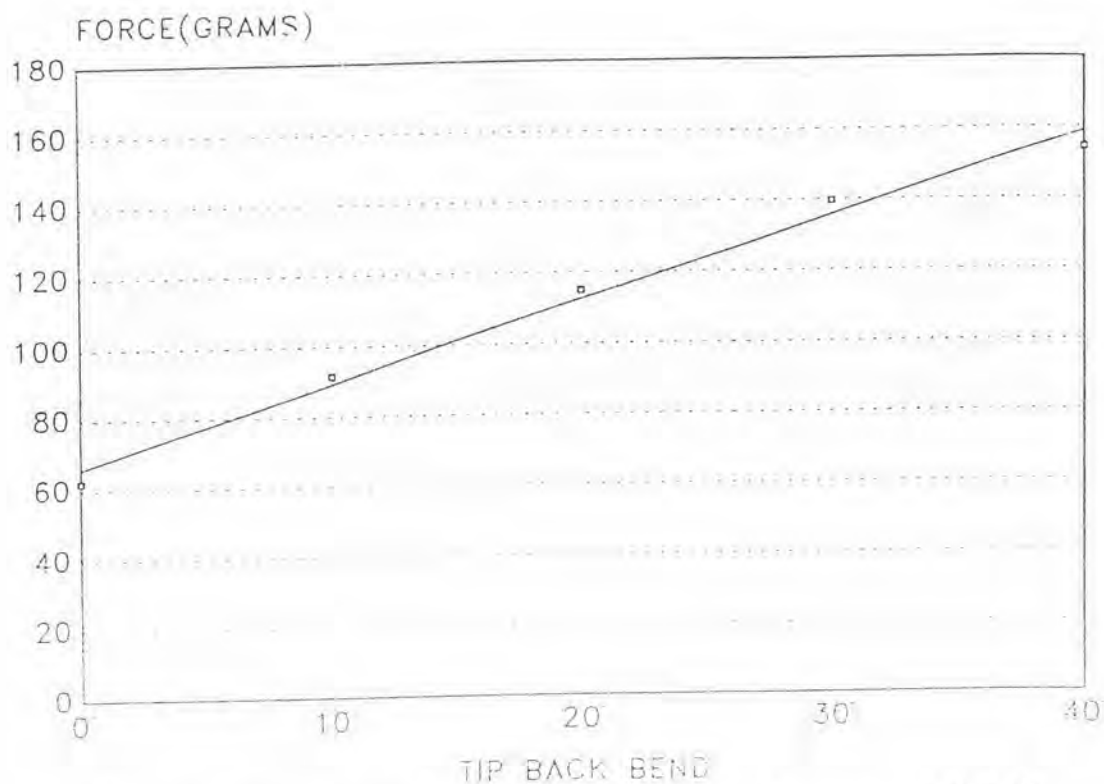
จากตารางที่ ๓ จะเห็นว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิกซ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ๒ มม.  
ไม่มีผลต่อขนาดของแรง ดังนั้นจึงทำการทดสอบต่อไปถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมทึบแบค เบนด์  
โดยนำลวดเบอร์สโตน อินทรีฟ อาร์ช ๑๐ เส้นเดิมซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิกซ์ ๓ มม.

มาทำการเพิ่มค่ามุมทึบแบค เบนด์เป็น ๑๐°, ๒๐°, ๓๐° และ ๔๐° ตามลำดับ บันทึกขนาดของแรงที่ลวดกดพื้นถูกปรับค่ามุม ดังตารางที่ ๔

ตารางที่ ๔ แสดงขนาดของแรง (F) ที่เกิดจากลวดเบอร์สี่โตน อินทรีซีฟ อาร์ช ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์เป็น ๓ มม. แขนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนด์ เป็น ๐°, ๑๐°, ๒๐°, ๓๐° และ ๔๐° ตามลำดับ

φ ๓ มม.	ขนาดของแรง F (กรัม)				
	มุม ๐°	มุม ๑๐°	มุม ๒๐°	มุม ๓๐°	มุม ๔๐°
๑	๖๒	๕๐	๑๑๔	๑๔๐	๑๔๖
๒	๖๒	๕๐	๑๑๔	๑๓๘	๑๔๓
๓	๖๔	๕๒	๑๑๖	๑๔๐	๑๔๓
๔	๖๒	๕๑	๑๑๔	๑๓๕	๑๔๔
๕	๖๒	๕๐	๑๑๔	๑๔๐	๑๔๔
๖	๖๑	๕๒	๑๑๔	๑๓๕	๑๔๓
๗	๖๓	๕๔	๑๑๓	๑๔๐	๑๔๔
๘	๖๓	๕๓	๑๑๔	๑๔๐	๑๔๖
๙	๖๒	๕๑	๑๑๖	๑๓๘	๑๔๔
๑๐	๖๑	๕๒	๑๑๔	๑๔๑	๑๔๓
F เฉลี่ย	๖๒.๒+๐.๕๑	๕๑.๔+๐.๓๔	๑๑๔.๘+๐.๕๑	๑๓๕.๔+๐.๕๗	๑๔๔.๓+๐.๑๔
+SD					



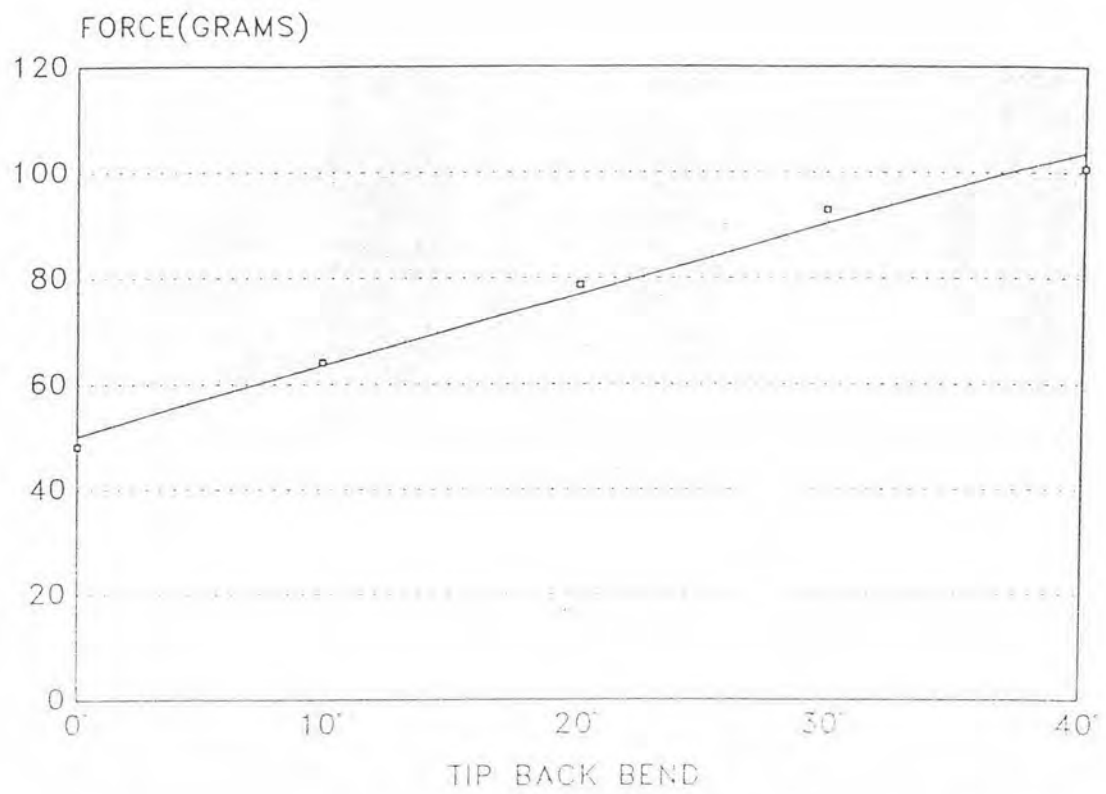


รูปที่ ๖๕ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมที่ปลาย แบนด์ และแรงกดฟันที่เกิดขึ้น จากเบอร์สโตน อินทรชิว อารีช

๒ การทดสอบลวดกดฟันหน้าของ Ricketts กระทำโดยการคัดลวดริกเก็ตส์ อูทิลิตี้ อารีช จำนวน ๑๐ เส้น ( $N=๑๐$ ) ให้ค่ามุมที่ปลาย แบนด์ เท่ากับ  $๐^{\circ}$  นำไปทดสอบขนาดของแรงกดฟันหน้า โดยใส่ลวดกดฟันหน้าส่วนโมลาร์ เช็ทขึ้นในหลอดโลหะเสริมของหลอดโลหะด้านใกล้เคียงกับบนฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งในแบบจำลองฟันซึ่งยึดในเครื่องมือเฉพาะกิจซึ่งสร้างขึ้นเพื่อทดสอบขนาดของแรงกดฟัน แล้วใช้สปริง เกจ สกกดฟันส่วนหน้าขึ้นมาที่ระดับของแบร็กเก็ต ณ จุดกึ่งกลางระหว่างฟันหน้าซี่กลางทั้งสองอ่านค่าของแรงกดที่เกิดจากสปริงบันทึกขนาดของแรง ( $F$ ) จากนั้นนำลวดกดฟันหน้า ๑๐ เส้นเดิมมาทำการเพิ่มมุมที่ปลาย แบนด์ เป็น  $๑๐^{\circ}$ ,  $๒๐^{\circ}$ ,  $๓๐^{\circ}$  และ  $๔๐^{\circ}$  ตามลำดับ บันทึกขนาดของแรงที่ลวดกดฟันหน้าถูกปรับค่ามุม ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ ๔

ตารางที่ ๔ แสดงขนาดของแรง (F) ที่เกิดจากลวดริกเก็ตส์ ยุกิลิตี้ อาร์ช ซึ่งมี  
 แขนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนด์ เป็น  $0^\circ$ ,  
 $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $40^\circ$  ตามลำดับ

N	ขนาดของแรง F (กรัม)				
	มุม $0^\circ$	มุม $10^\circ$	มุม $20^\circ$	มุม $30^\circ$	มุม $40^\circ$
๑	๔๕	๖๔	๗๘	๕๓	๑๑๓
๒	๔๓	๖๓	๗๕	๕๘	๑๐๒
๓	๔๖	๖๒	๘๐	๕๐	๕๓
๔	๔๕	๖๔	๗๕	๕๔	๑๐๖
๕	๔๐	๖๒	๘๐	๕๓	๑๐๐
๖	๔๘	๖๖	๗๖	๕๑	๕๕
๗	๔๕	๖๖	๘๐	๕๐	๑๐๔
๘	๔๘	๖๓	๗๘	๕๔	๕๖
๙	๔๔	๖๔	๗๕	๕๔	๑๐๓
๑๐	๔๔	๖๔	๗๘	๕๑	๕๑
F เฉลี่ย	๔๘.๒+๒.๔๔	๖๔.๑+๑.๔๒	๗๘.๗+๑.๒๔	๕๒.๕+๒.๔๑	๑๐๐.๗+๖.๑๓
+ SD					

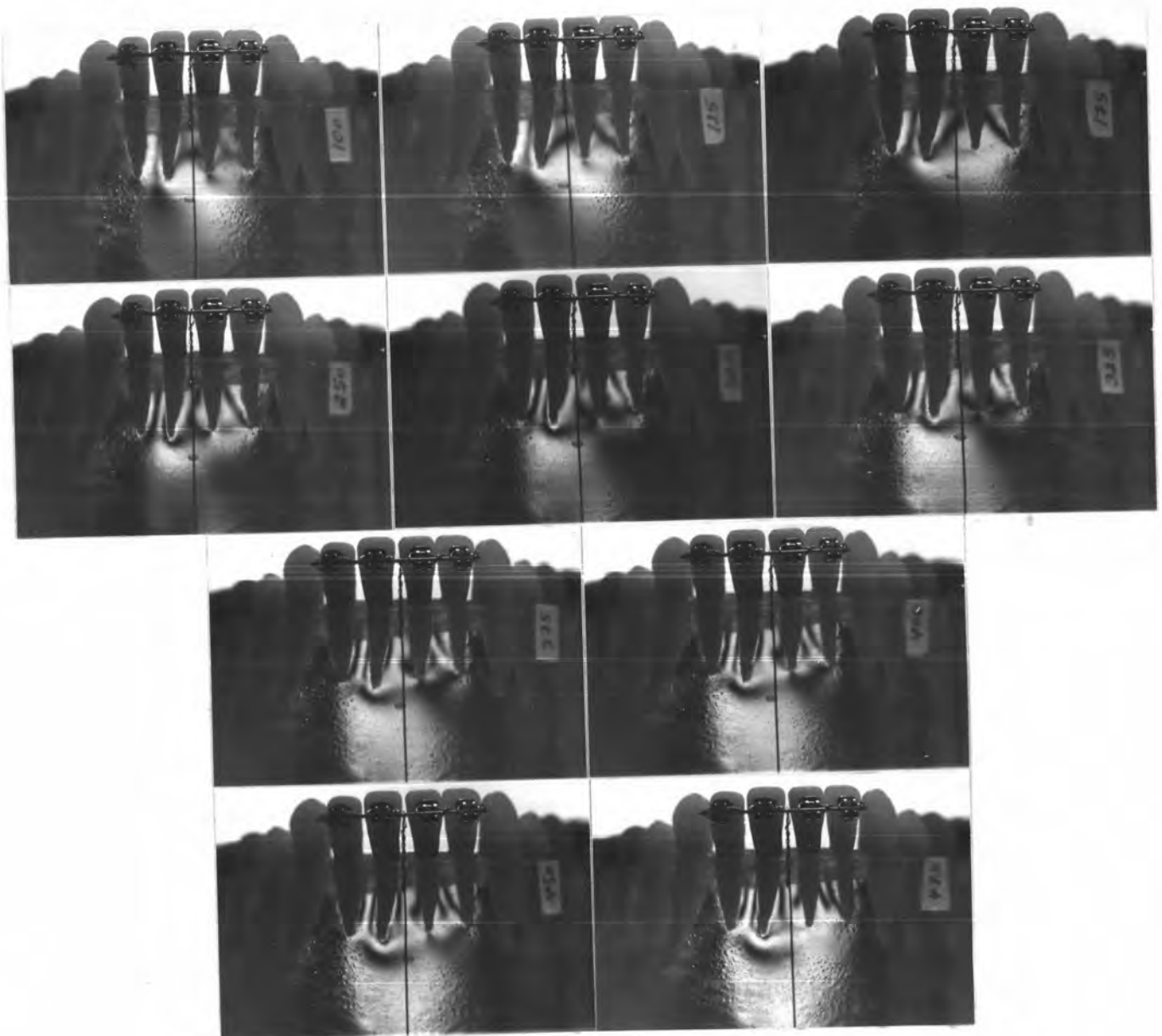


รูปที่ ๓๐ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมที่ปลายเบค เบนด์ และแรงกดฟันที่เกิดขึ้น  
จากริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช

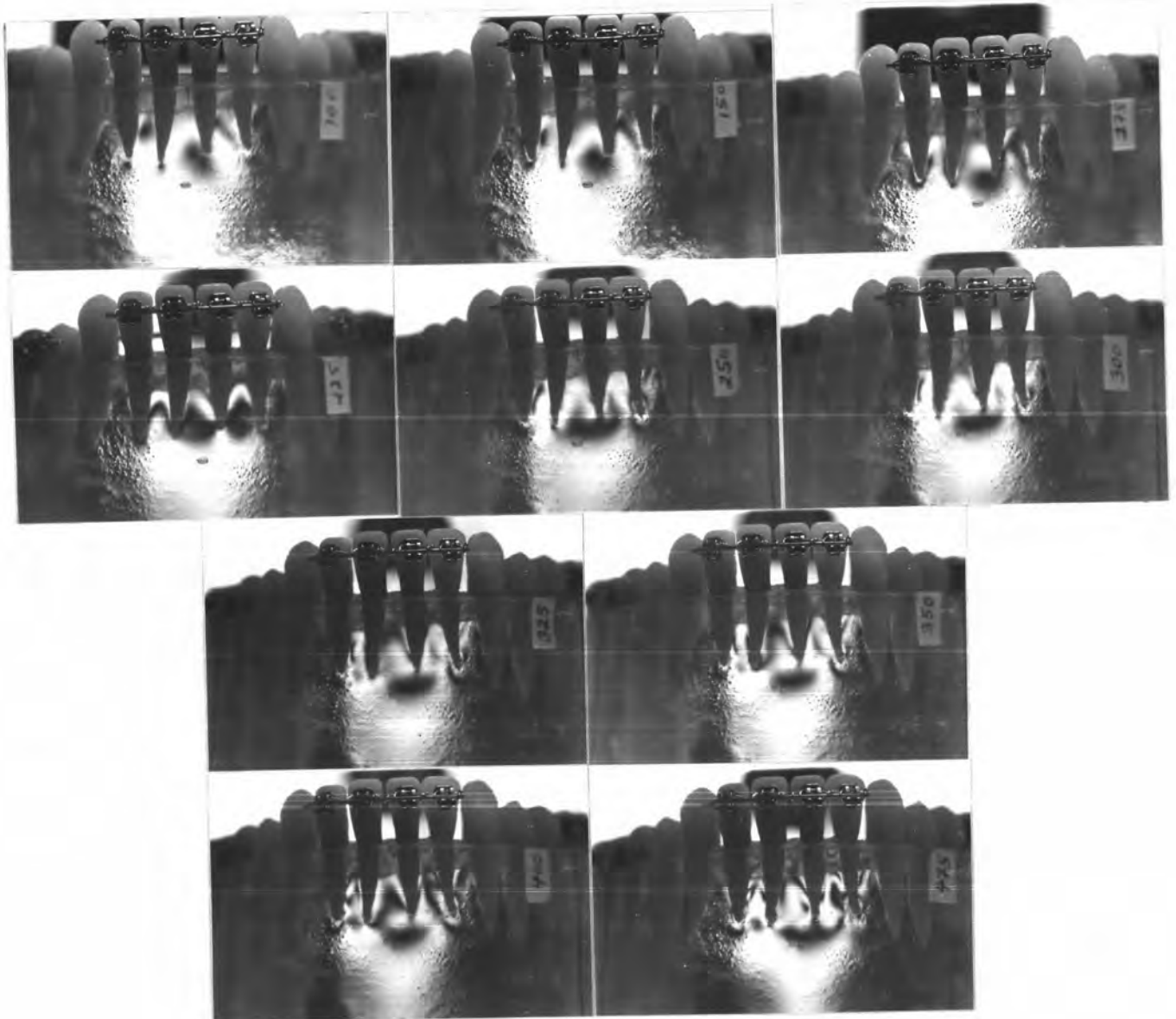
ภาคผนวก ข

ลักษณะแถบมิตอ้างอิงซึ่งเกิดจากแรงกดฟันและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ

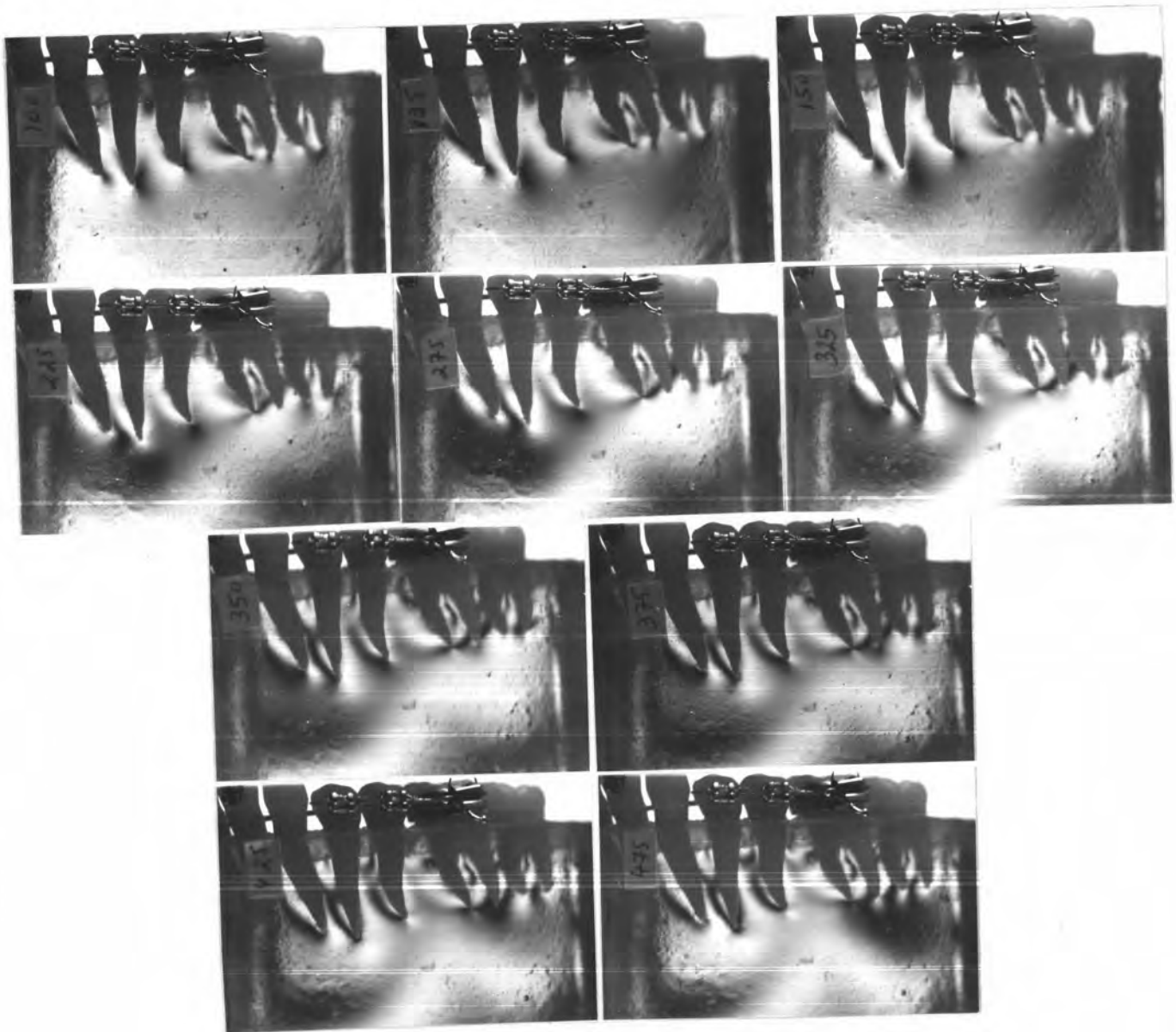
๑ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันหน้าล่างทั้งสี่ซี่ เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๓๕, ๒๔๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๓๕, ๔๐๐, ๔๔๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๔๑ (รูปที่ ๓๑)



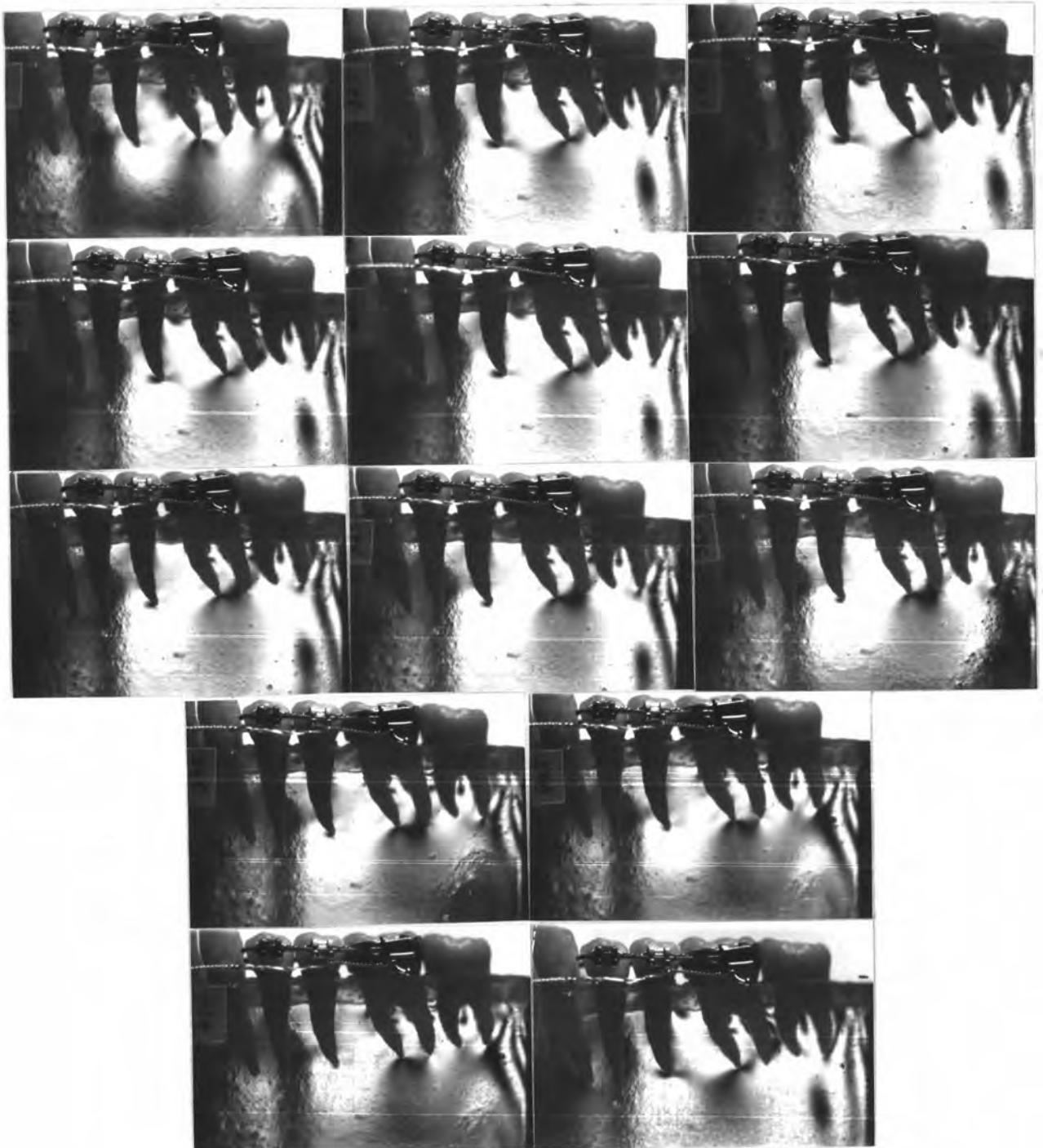
๒ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนหน้ากระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันล่างทั้งสี่ซี่มีทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๔๐๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๔๒ (รูปที่ ๗๒)



๓ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากแรงดิ่งขึ้นในแนวตั้งต่อฟันหลัง เลียนแบบ  
เทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕,  
๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๓ (รูปที่ ๓๓)

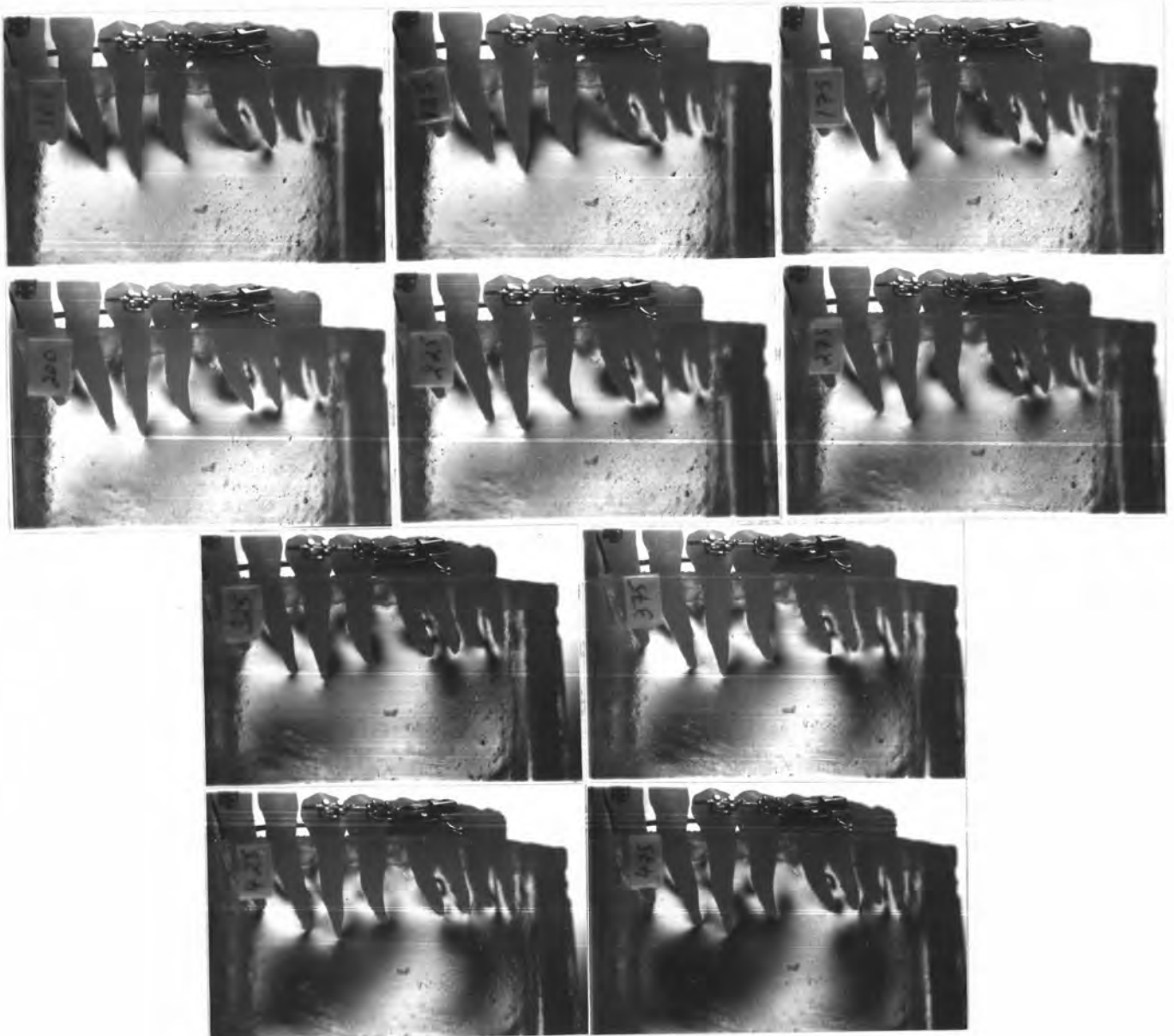


๔ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนฟันหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๒๕, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๕ (รูปที่ ๗๔)



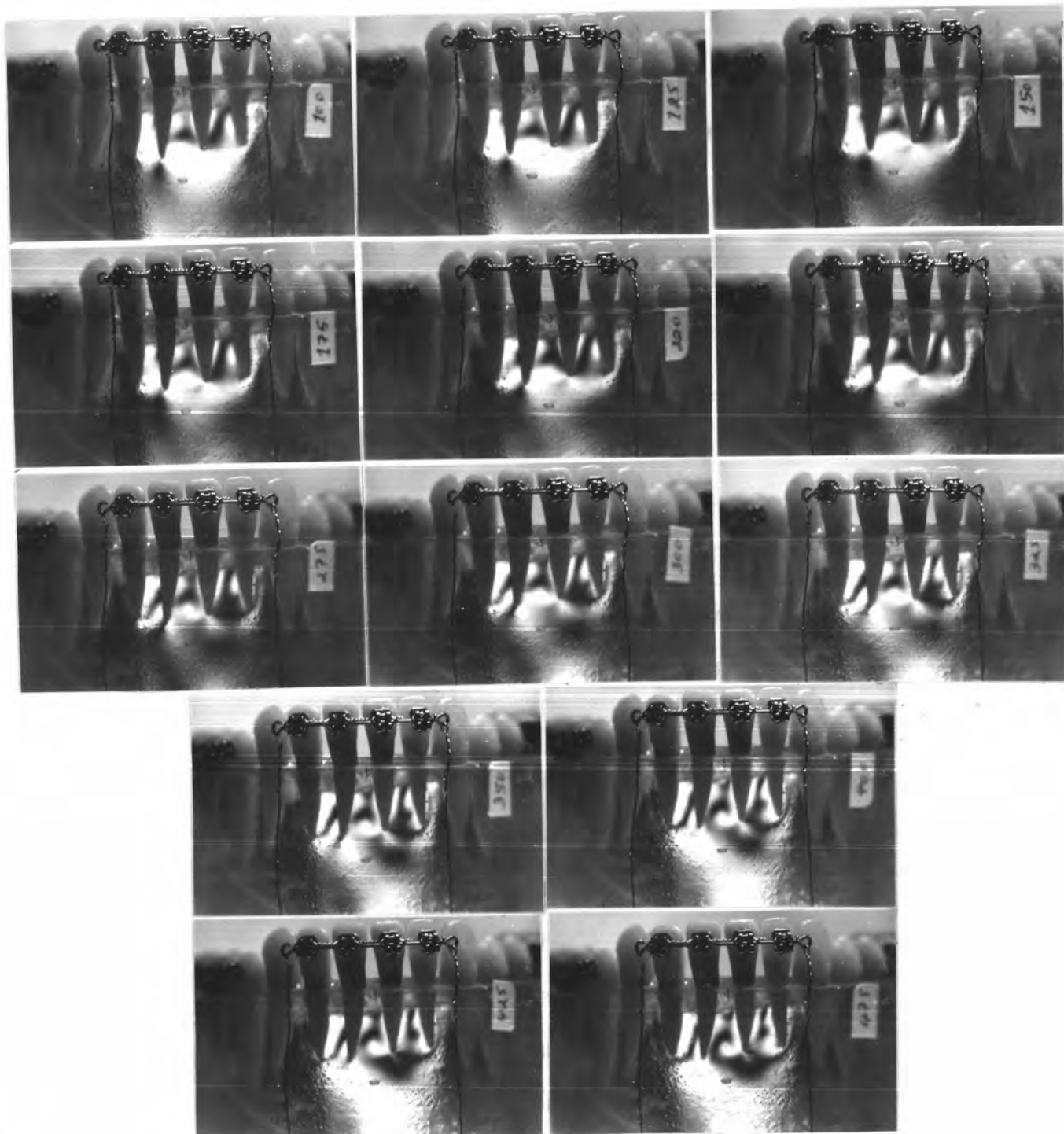


๔ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนฟันหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๔๔ (รูปที่ ๓๔)

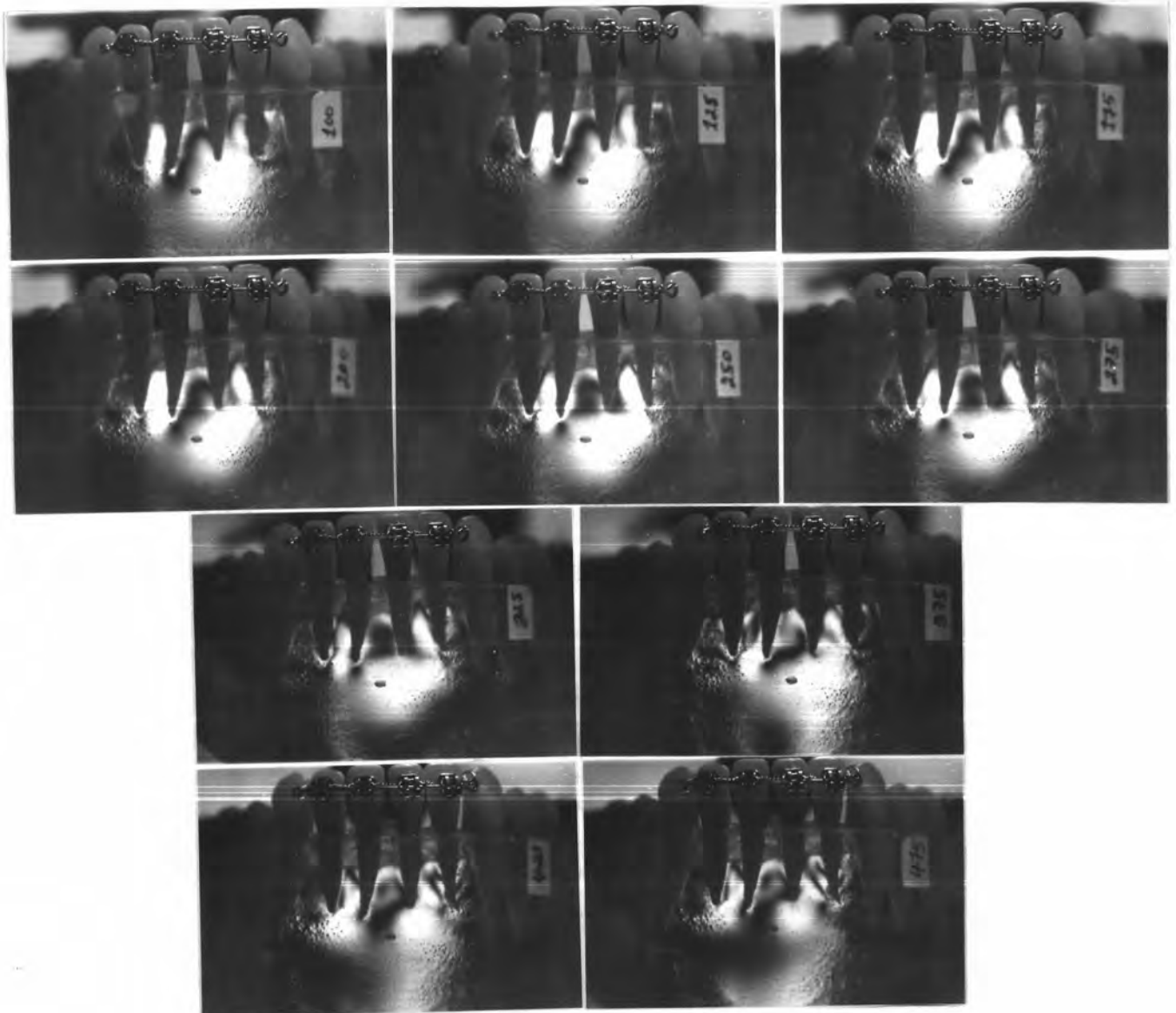




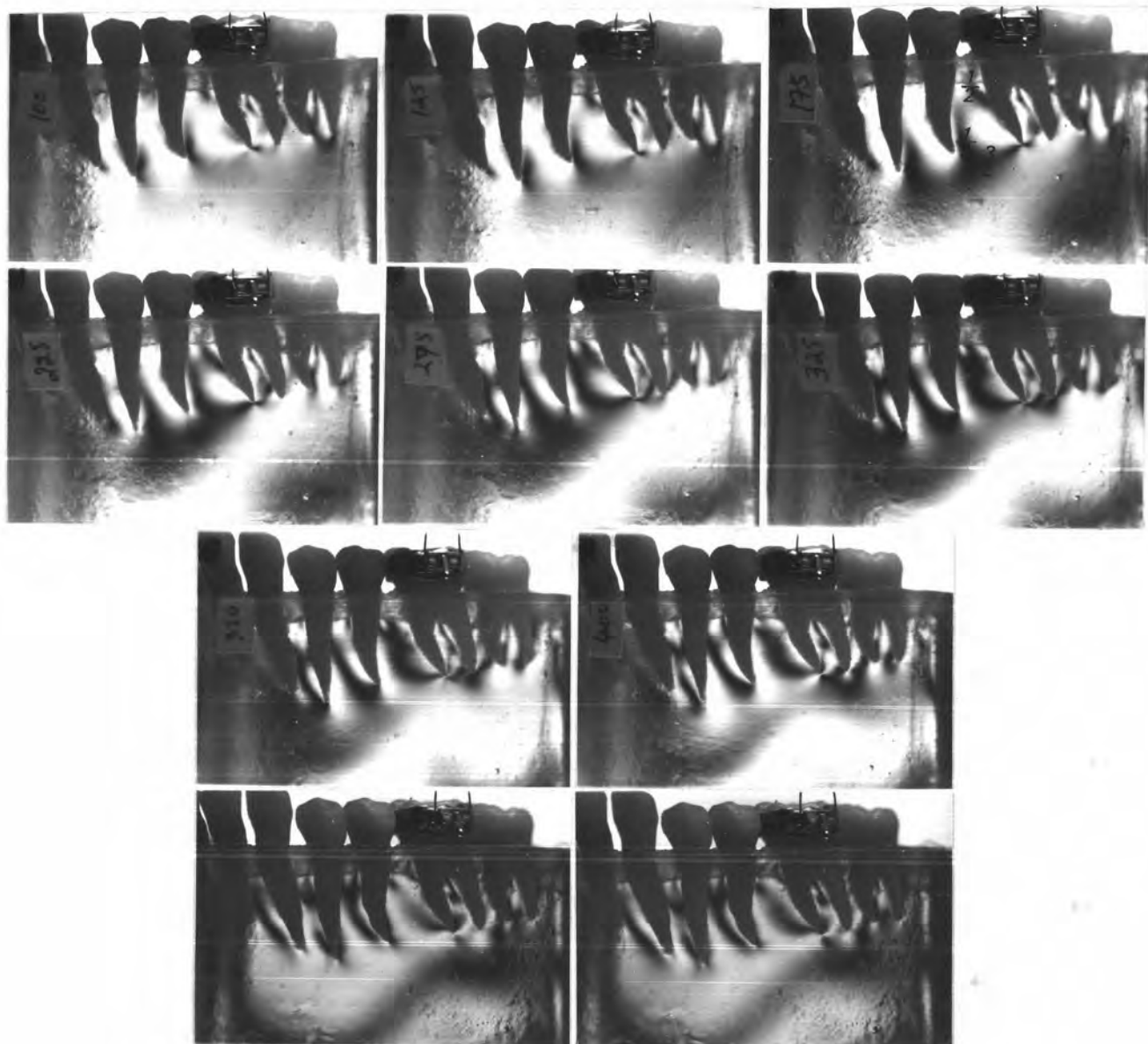
๖ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อด้านไกลกลางของลวดยึดฟันหน้าล่าง เลื่อนแบบเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๐๐ และ ๔๒๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๖ (รูปที่ ๖๖)



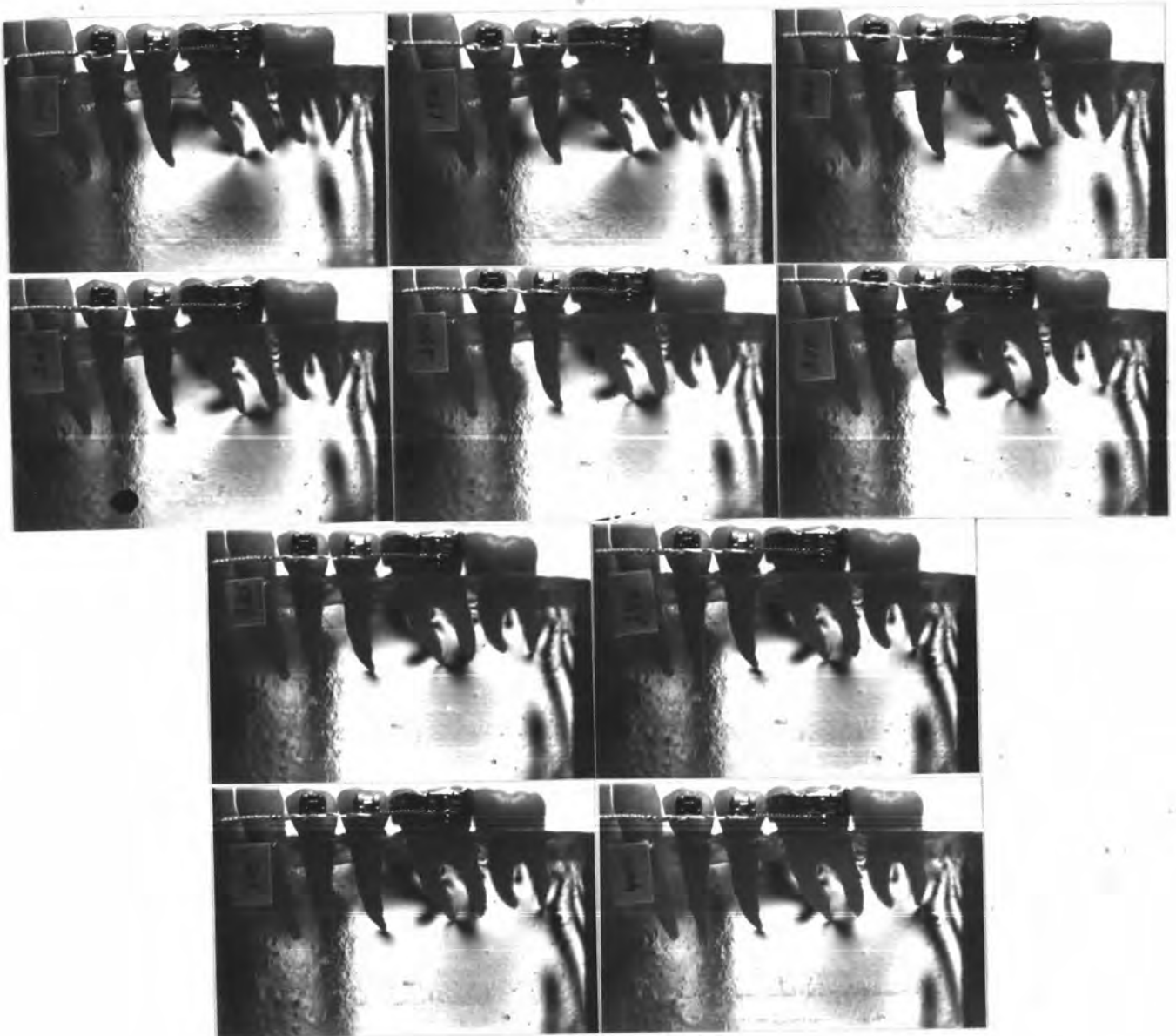
๓ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนพื้นที่ด้านไกลกลางของลวดยึดฟันหน้ามีทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น เลื่อนแบบเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๓ (รูปที่ ๓๓)



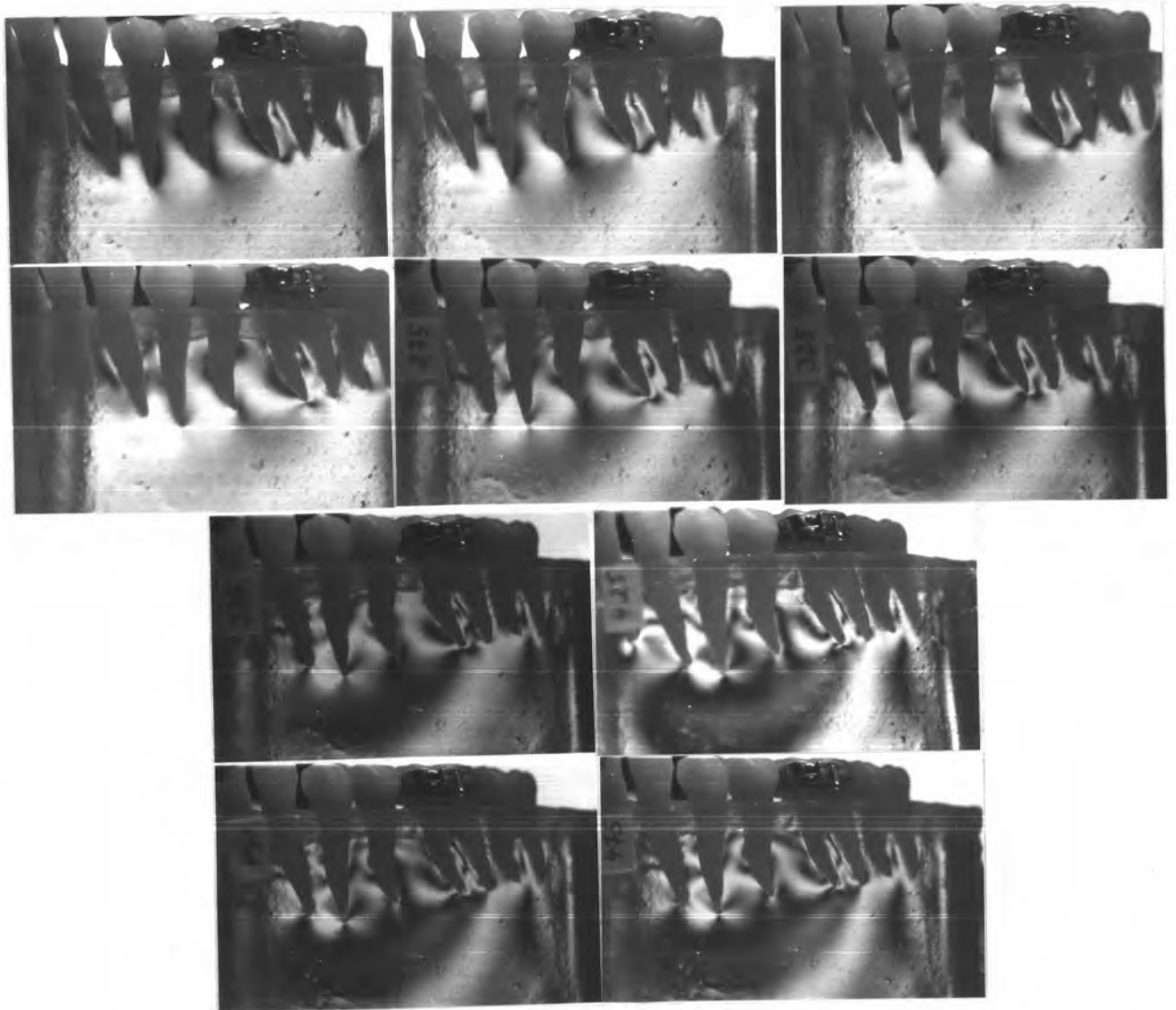
๘ การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการให้แรงดึงขึ้นในแนวตั้งต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่ง  
 เลียนแบบเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๕๐,  
 ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๘ (รูปที่ ๗๘)



๕ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบซึ่งตั้งฉากกับ  
แนวแกนฟันหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง เส้นแบบเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง  
๑๐๐, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕ และ ๔๐๐ กรัม  
โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๔๕ (รูปที่ ๓๕)



๑๐ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบซึ่งตั้งฉากกับ  
แนวแกนพื้นหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น เลียนแบบเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง ๑๐๐,  
๑๒๕, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม  
โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๖๐ (รูปที่ ๘๐)



## ภาคผนวก ค

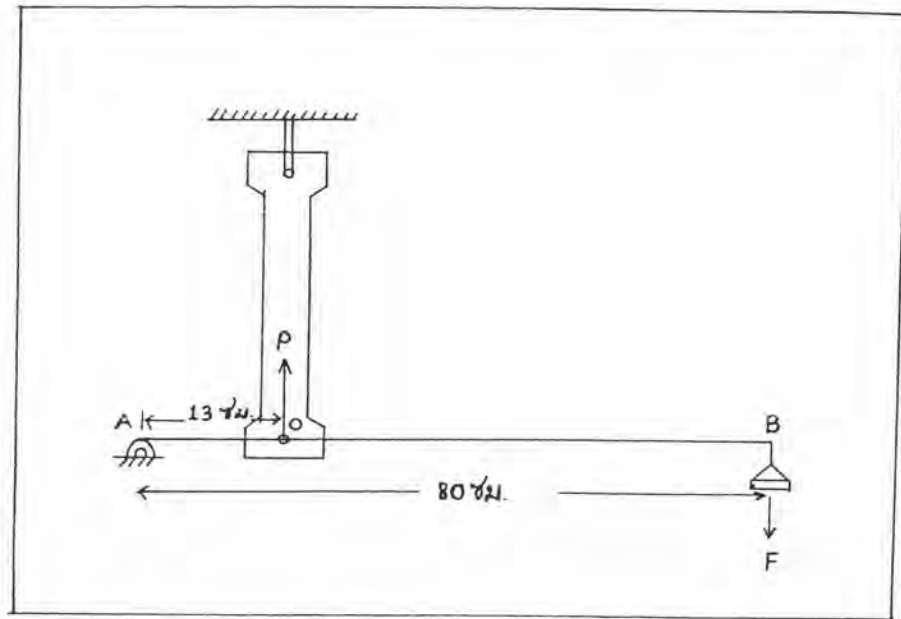
### การทดสอบคุณสมบัติของสารประกอบยูรีเทนที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนเริ่มทำการทดลองและหลังจากสิ้นสุดการทดลองแล้ว ต้องทำการทดสอบคุณสมบัติเพื่อหาค่าแอฟ แวลู ของสารประกอบยูรีเทน โดยทดสอบในสภาวะที่เป็นภาพมืดและสภาวะที่เป็นภาพสว่างในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป (รูปที่ ๘๑)

สำหรับการทดสอบแบบภาพมืดนั้นเมื่อวางแบบจำลองลงไป แต่ยังไม่ให้แรงกระทำต่อแบบจำลอง แบบจำลองเป็นภาพมืดหมดไม่มีแถบความเค้นปรากฏ เมื่อให้แรงกระทำต่อแบบจำลองที่ละน้อยจนแบบจำลองเริ่มมืดจนมืดสนิท นับเป็นลำดับที่ ๐ หรือ ซีโร ออร์เดอร์ และเมื่อให้แรงกระทำต่อไปจนแบบจำลองเริ่มสว่างจนถึงสว่างที่สุด ณ จุดนี้นับเป็นลำดับที่ ๑/๒ หรือ ฮาล์ฟ ออร์เดอร์ ให้แรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนแบบจำลองเริ่มมืดใหม่จนมืดสนิทอีกครั้ง ณ จุดที่มีตสนิทครั้งที่สองนี้นับเป็นลำดับที่ ๑ จากนั้นให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นต่อไปจนนับจำนวนลำดับที่ของแถบมืดได้เท่ากับ ๖ บันทึกขนาดของแรงกระทำ ณ ลำดับที่ต่าง ๆ ไว้เป็นค่า F

ทำนองเดียวกันการทดสอบในสภาวะที่เป็นภาพสว่างนั้น เมื่อยังไม่ให้แรงกระทำต่อแบบจำลองจะเป็นภาพสว่างหมดไม่มีแถบความเค้นปรากฏ เมื่อให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นที่ละน้อยต่อแบบจำลองจนแบบจำลองเริ่มสว่างจนสว่างที่สุด นับเป็นลำดับที่ ๐ จากนั้นให้แรงเพิ่มขึ้นอีกจนแบบจำลองเริ่มมืดและมืดสนิทนับเป็นลำดับที่ ๑/๒ ให้แรงเพิ่มมากขึ้นและบันทึกขนาดของแรงในแต่ละลำดับจนนับจำนวนแถบสว่างได้ถึงลำดับที่ ๖





รูปที่ ๘๑ แสดงแบบจำลองเมื่อได้รับแรงดิ่งในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป

แบบจำลองตั้งรูป มีความกว้าง ( $w$ ) = ๐.๐๑๘ เมตร (๑.๘ เซ็นติเมตร)  
 ความหนา ( $h$ ) = ๐.๐๐๔๔ เมตร (๐.๔๔ เซ็นติเมตร) ได้รับแรงดิ่ง ( $P$ ) ที่กระทำต่อ  
 แบบจำลอง จากน้ำหนักที่ให้แรงกระทำต่อจุด B ( $F$ ) ระยะทาง AO = ๐.๑๓ เมตร  
 (๑๓ เซ็นติเมตร) ระยะ AB = ๐.๘๐ เมตร (๘๐ เซ็นติเมตร)

หาค่าของแอฟ แวลยู หรือค่าคงที่ของแบบจำลอง ( $f$ ) จากการคำนวณตั้งนี้  
 โมเมนต์รอบจุด O

$$.๑๓ P = .๘๐ F$$

$$P = .๘๐ F / .๑๓ = ๖.๑๕๔ F$$

จากสมการความเค้น

$$\sigma_1 = P/wh \quad (๑)$$

$$\sigma_2 = 0 \quad (๒)$$

จากสมการผลต่างของความเค้น

$$\sigma_1 - \sigma_2 = Nf/h \quad (๓)$$

แทนที่สมการที่ (๑) และ (๒) ในสมการที่ (๓)

$$P = wfN \quad (\text{เมื่อ } N \text{ คือลำดับของแถบมืด หรือ แถบสว่าง})$$

$$f = P/wN$$

$$f = ๖.๑๔๔ F/wN$$

ตารางที่ ๖ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณก่อนเริ่มทำการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพมืด

N	F (กรัม)	F (นิวตัน)	P (นิวตัน)	f (นิวตัน/เมตร)	f/h (นิวตัน/เมตร <sup>๒</sup> )
๐.๕	๒๘.๖๐	๐.๒๘	๑.๗๓	๑.๕๒ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๘ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๑	๕๓.๑๕	๐.๕๖	๓.๔๕	๑.๕๒ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๘ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๑.๕	๘๕.๘๓	๐.๘๘	๕.๕๒	๒.๐๐ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๖๕ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๒	๑๑๒.๓๕	๑.๑๐	๖.๗๘	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๒ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๒.๕	๑๔๒.๕๘	๑.๔๐	๘.๖๓	๑.๕๒ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๘ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๓	๑๖๓.๔๕	๑.๖๔	๑๐.๑๐	๑.๘๗ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๐ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๓.๕	๑๘๖.๐๕	๑.๘๖	๑๑.๘๓	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๕๑ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๔	๒๒๐.๖๐	๒.๑๖	๑๓.๓๑	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๓๖ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๔.๕	๒๔๓.๑๕	๒.๔๓	๑๔.๕๑	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๓๕ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๕	๒๗๕.๓๕	๒.๗๕	๑๖.๖๕	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๓๖ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๕.๕	๓๐๐.๒๖	๒.๙๕	๑๘.๑๒	๑.๘๓ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๓๓ x ๑๐ <sup>๕</sup>
๖	๓๓๐.๕๐	๓.๓๐	๑๙.๕๖	๑.๘๘ x ๑๐ <sup>๓</sup>	๓.๓๖ x ๑๐ <sup>๕</sup>



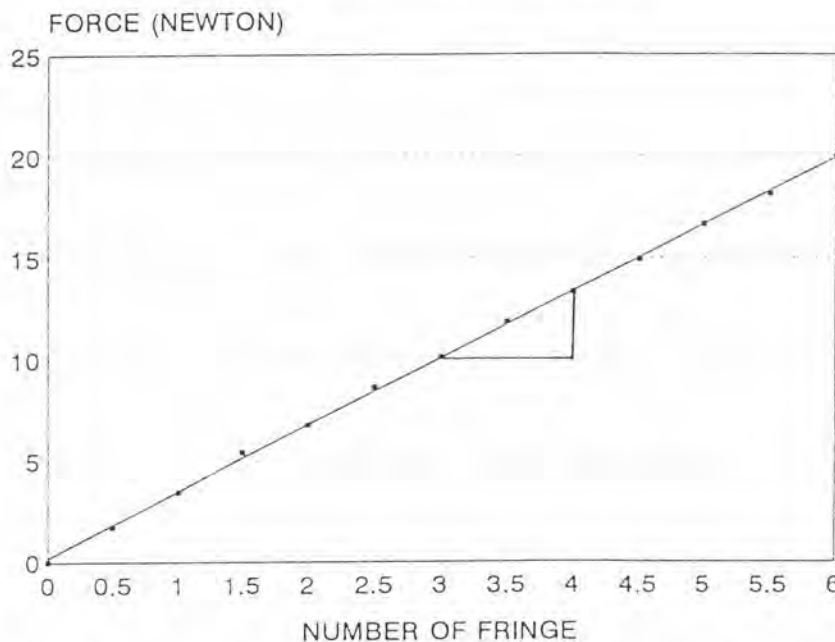
ตารางที่ ๓ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณก่อนเริ่มทำการทดลอง  
ในการจัดเครื่องมือแบบภาพสว่าง

N	F (กรัม)	F (นิวตัน)	P (นิวตัน)	f (นิวตัน/เมตร)	f/h (นิวตัน/เมตร <sup>2</sup> )
๐.๔	๒๘.๐๐	๐.๒๗	๑.๖๘	$๑.๘๘ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๑ \times ๑๐^๕$
๑	๔๖.๔๐	๐.๔๕	๓.๔๑	$๑.๘๘ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๔ \times ๑๐^๕$
๑.๔	๘๘.๘๓	๐.๘๖	๕.๓๐	$๑.๘๖ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๗ \times ๑๐^๕$
๒	๑๑๔.๓๘	๑.๑๒	๖.๘๐	$๑.๘๒ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๘ \times ๑๐^๕$
๒.๔	๑๔๒.๘๘	๑.๔๐	๘.๖๓	$๑.๘๒ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๘ \times ๑๐^๕$
๓	๑๖๘.๔๓	๑.๖๖	๑๐.๒๓	$๑.๘๘ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๔ \times ๑๐^๕$
๓.๔	๑๙๖.๐๘	๑.๙๒	๑๑.๘๓	$๑.๘๘ \times ๑๐^๓$	$๓.๔๑ \times ๑๐^๕$
๔	๒๒๒.๖๔	๒.๑๘	๑๓.๔๓	$๑.๘๗ \times ๑๐^๓$	$๓.๓๘ \times ๑๐^๕$
๔.๔	๒๔๘.๑๘	๒.๔๕	๑๕.๐๓	$๑.๘๖ \times ๑๐^๓$	$๓.๓๗ \times ๑๐^๕$
๔	๒๗๔.๗๔	๒.๗๐	๑๖.๖๔	$๑.๘๔ \times ๑๐^๓$	$๓.๓๖ \times ๑๐^๕$
๔.๔	๓๐๒.๓๐	๒.๙๖	๑๘.๒๔	$๑.๘๔ \times ๑๐^๓$	$๓.๓๕ \times ๑๐^๕$
๖	๓๒๘.๘๖	๓.๒๒	๑๙.๘๔	$๑.๘๔ \times ๑๐^๓$	$๓.๓๔ \times ๑๐^๕$

$$f_{เฉลี่ย} = ๑.๘๗ \times ๑๐^๓ \quad \text{นิวตัน/เมตร}$$

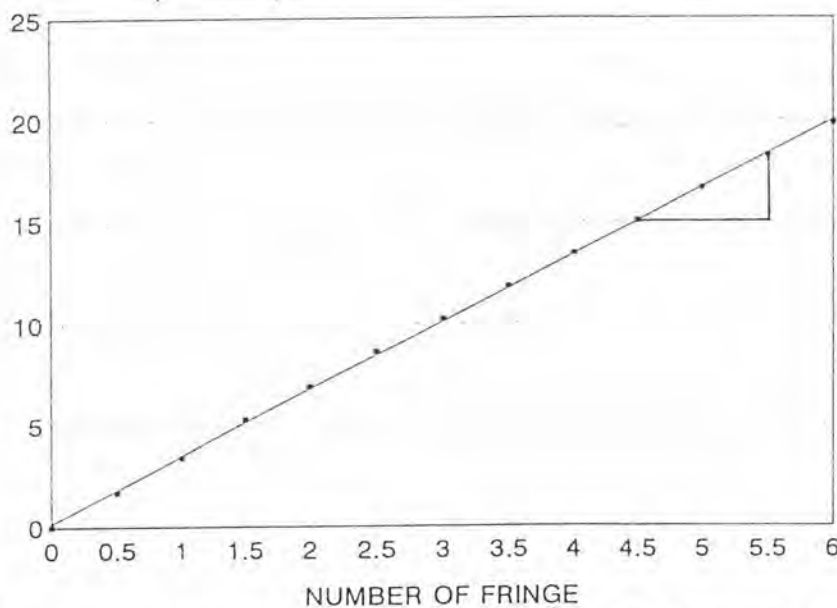
$$f/h_{เฉลี่ย} = ๓.๔๒ \times ๑๐^๕ \quad \text{นิวตัน/(เมตร)}^๒$$

หาค่าแอฟ แวลูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในการทดลองแบบภาพมืด (รูปที่ ๕๒) หรือในการทดลองแบบภาพสว่าง (รูปที่ ๕๓) กับแรงดึง P ได้ค่าของแอฟ แวลูจากค่าความลาดเอียง (slope) ของกราฟ



รูปที่ ๕๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพมืด

กับแรงดึง P ก่อนการทดลอง



รูปที่ ๕๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพสว่างกับแรงดึง P ก่อนการทดลอง

ความลาดเอียงของกราฟ =  $\tan \theta = P/N = wf$

$\tan \theta = ๓.๓๖/๑$  ,  $f = P/Nw$

$f = ๓.๓๖/(๑ \times 0.0๑๘)$

$f = ๑.๘๗ \times 10^๓$  นิวตัน/เมตร

ค่าแอฟ แวลูของแบบจำลองก่อนการทดลองทั้งจากการคำนวณและจากกราฟเท่ากัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการหาค่าแอฟ แวลู ซ้ำ เพื่อทดสอบว่าคุณสมบัติของสารไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง

ตารางที่ ๘ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณหลังการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพมิต

N	F (กรัม)	F (นิวตัน)	P (นิวตัน)	f (นิวตัน/เมตร)	f/h (นิวตัน/เมตร <sup>๒</sup> )
๐.๔	๒๘.๕๐	๐.๒๘	๑.๓๔	$๑.๕๓ \times 10^๓$	$๓.๔๒ \times 10^๕$
๑	๔๓.๑๐	๐.๔๖	๓.๔๔	$๑.๕๑ \times 10^๓$	$๓.๔๓ \times 10^๕$
๑.๕	๘๕.๘๔	๐.๘๘	๕.๕๑	$๒.๐๐ \times 10^๓$	$๓.๖๔ \times 10^๕$
๒	๑๑๒.๓๐	๑.๑๐	๖.๓๖	$๑.๘๘ \times 10^๓$	$๓.๔๒ \times 10^๕$
๒.๕	๑๔๓.๐๐	๑.๔๐	๘.๖๒	$๑.๕๒ \times 10^๓$	$๓.๔๘ \times 10^๕$
๓	๑๖๓.๐๕	๑.๖๔	๑๐.๐๖	$๑.๘๖ \times 10^๓$	$๓.๕๐ \times 10^๕$
๓.๕	๑๘๕.๘๖	๑.๘๖	๑๑.๘๐	$๑.๘๓ \times 10^๓$	$๓.๕๐ \times 10^๕$
๔	๒๒๑.๐๔	๒.๑๖	๑๓.๓๒	$๑.๘๕ \times 10^๓$	$๓.๓๖ \times 10^๕$
๔.๕	๒๔๖.๕๐	๒.๔๖	๑๔.๘๘	$๑.๘๔ \times 10^๓$	$๓.๓๔ \times 10^๕$
๕	๒๗๖.๐๑	๒.๗๐	๑๖.๖๓	$๑.๘๔ \times 10^๓$	$๓.๓๖ \times 10^๕$
๕.๕	๓๐๐.๑๔	๒.๙๔	๑๘.๐๘	$๑.๘๓ \times 10^๓$	$๓.๓๒ \times 10^๕$
๖	๓๓๑.๐๓	๓.๒๔	๑๙.๕๔	$๑.๘๔ \times 10^๓$	$๓.๓๖ \times 10^๕$

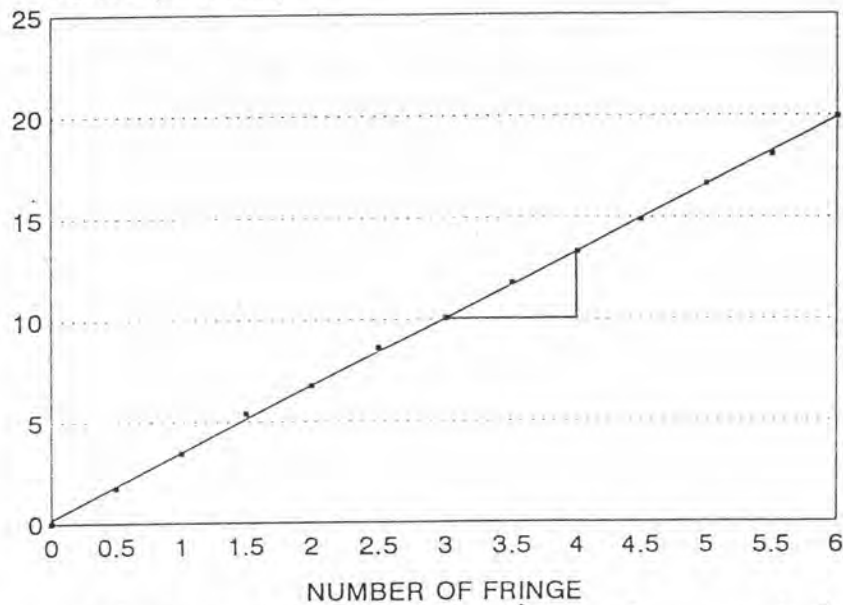
ตารางที่ ๕ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณหลังการทดลอง  
ในการจัดเครื่องมือแบบภาพสว่าง

N	F (กรัม)	F (นิวตัน)	P (นิวตัน)	f (นิวตัน/เมตร)	f/h (นิวตัน/เมตร <sup>๒</sup> )
๐.๕	๒๘.๕๕	๐.๒๘	๑.๗๕	$๑.๕๓ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๕๒ \times ๑๐^{-๕}$
๑	๕๗.๒๘	๐.๕๖	๓.๕๕	$๑.๕๑ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๕๕ \times ๑๐^{-๕}$
๑.๕	๘๕.๕๓	๐.๘๕	๕.๓๕	$๒.๐๐ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๖๓ \times ๑๐^{-๕}$
๒	๑๑๒.๘๕	๑.๑๒	๖.๗๕	$๑.๘๘ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๗๘ \times ๑๐^{-๕}$
๒.๕	๑๔๑.๐๕	๑.๔๑	๘.๖๒	$๑.๕๑ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๕๘ \times ๑๐^{-๕}$
๓	๑๖๗.๓๗	๑.๖๗	๑๐.๐๘	$๑.๘๗ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๕๐ \times ๑๐^{-๕}$
๓.๕	๑๙๕.๕๖	๑.๙๕	๑๑.๘๑	$๑.๘๗ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๕๑ \times ๑๐^{-๕}$
๔	๒๒๐.๐๕	๒.๒๐	๑๓.๒๕	$๑.๘๕ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๓๖ \times ๑๐^{-๕}$
๔.๕	๒๔๗.๓๖	๒.๔๗	๑๔.๕๐	$๑.๘๕ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๓๕ \times ๑๐^{-๕}$
๕	๒๗๖.๐๑	๒.๗๖	๑๖.๖๓	$๑.๘๕ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๓๖ \times ๑๐^{-๕}$
๕.๕	๓๐๑.๘๕	๒.๙๖	๑๘.๑๕	$๑.๘๕ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๓๕ \times ๑๐^{-๕}$
๖	๓๒๘.๓๒	๓.๒๘	๑๙.๘๐	$๑.๘๓ \times ๑๐^{-๓}$	$๓.๓๓ \times ๑๐^{-๕}$

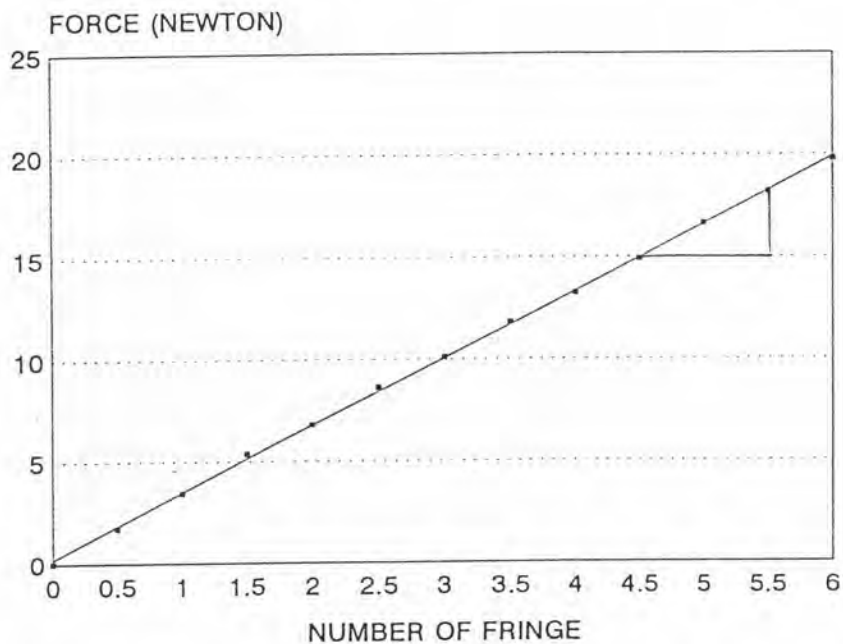
$$f_{เฉลี่ย} = ๑.๘๕ \times ๑๐^{-๓} \quad \text{นิวตัน/เมตร}$$

$$f/h_{เฉลี่ย} = ๓.๕๕ \times ๑๐^{-๕} \quad \text{นิวตัน/(เมตร)}^๒$$

ค่าแอฟ แวลูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในการทดลองแบบภาพมืด (รูปที่ ๘๔) หรือในภาพสว่าง (รูปที่ ๘๕) กับแรงดึง P ได้ค่าของแอฟ แวลู จากค่าความลาดเอียง (slope) ของกราฟ



รูปที่ ๘๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพมืด กับแรงดึง P หลังการทดลอง



รูปที่ ๘๕ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพสว่าง กับแรงดึง P หลังการทดลอง

$$\text{ความลาดเอียงของกราฟ} = \tan \theta = P/N = wf$$

$$\tan \theta = ๓.๔/๑, \quad f = P/Nw$$

$$f = ๓.๔/(๑ \times 0.0๑๘)$$

$$f = ๑.๘๘ \times ๑0^๓ \text{ นิวตัน/เมตร}$$

ค่าแอฟ แวลูของแบบจำลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้งจากการคำนวณและจากกราฟ

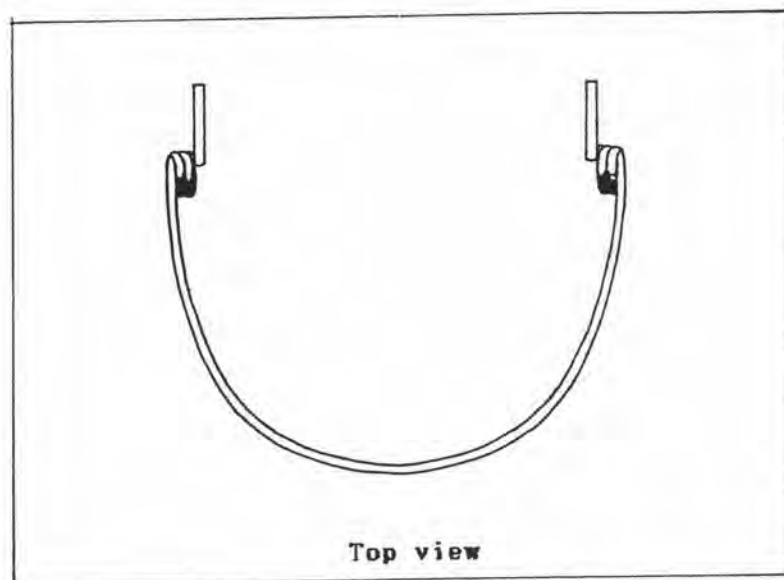
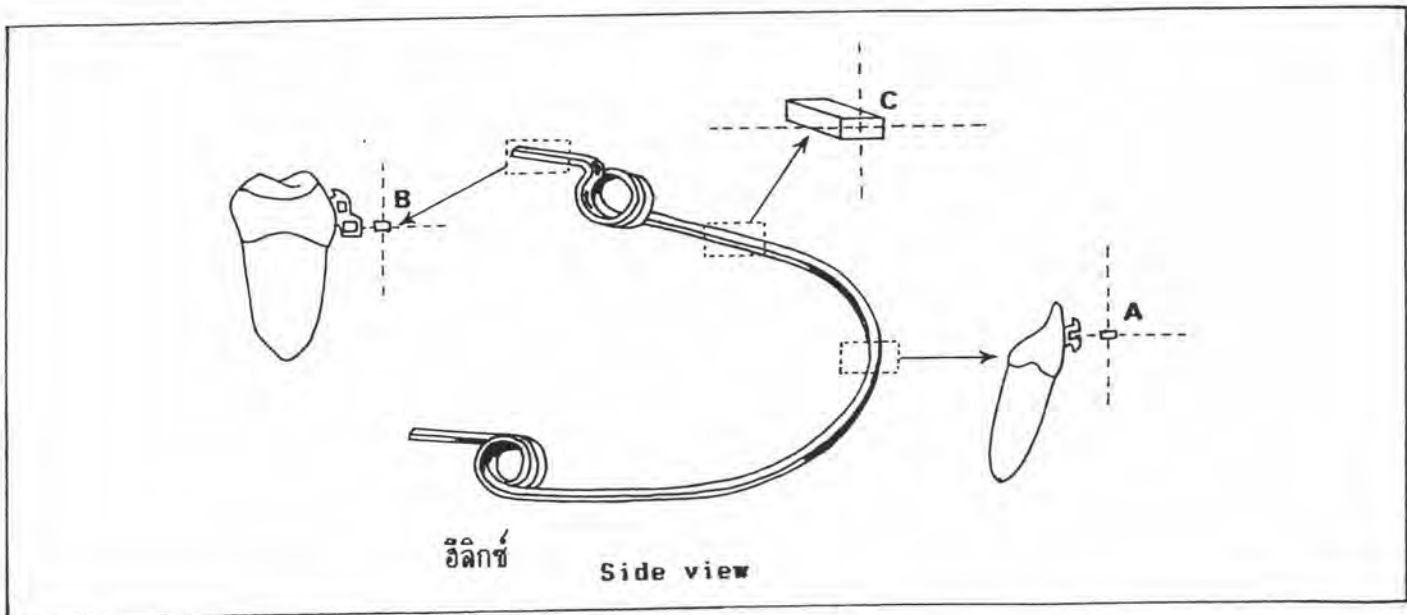
เท่ากัน

ตารางที่ ๑๐ แสดงค่าแอฟ แวลู ของสารก่อนและหลังการทดลอง

	f (นิวตัน/เมตร)	f/h (นิวตัน/เมตร <sup>๓</sup> )
ก่อนทำการทดลอง	$๑.๘๓ \times ๑0^๓$	$๓.๔๒ \times ๑0^๔$
หลังทำการทดลอง	$๑.๘๘ \times ๑0^๓$	$๓.๔๔ \times ๑0^๔$

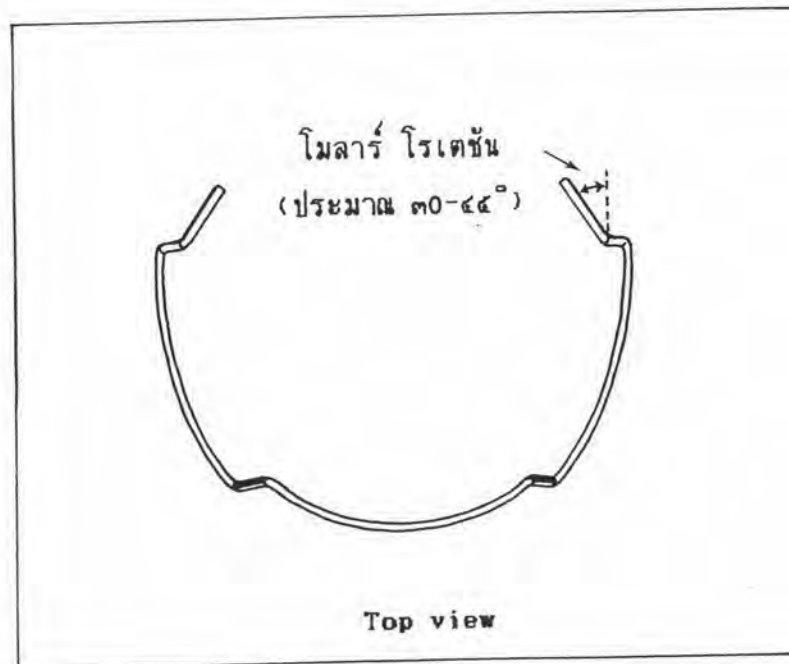
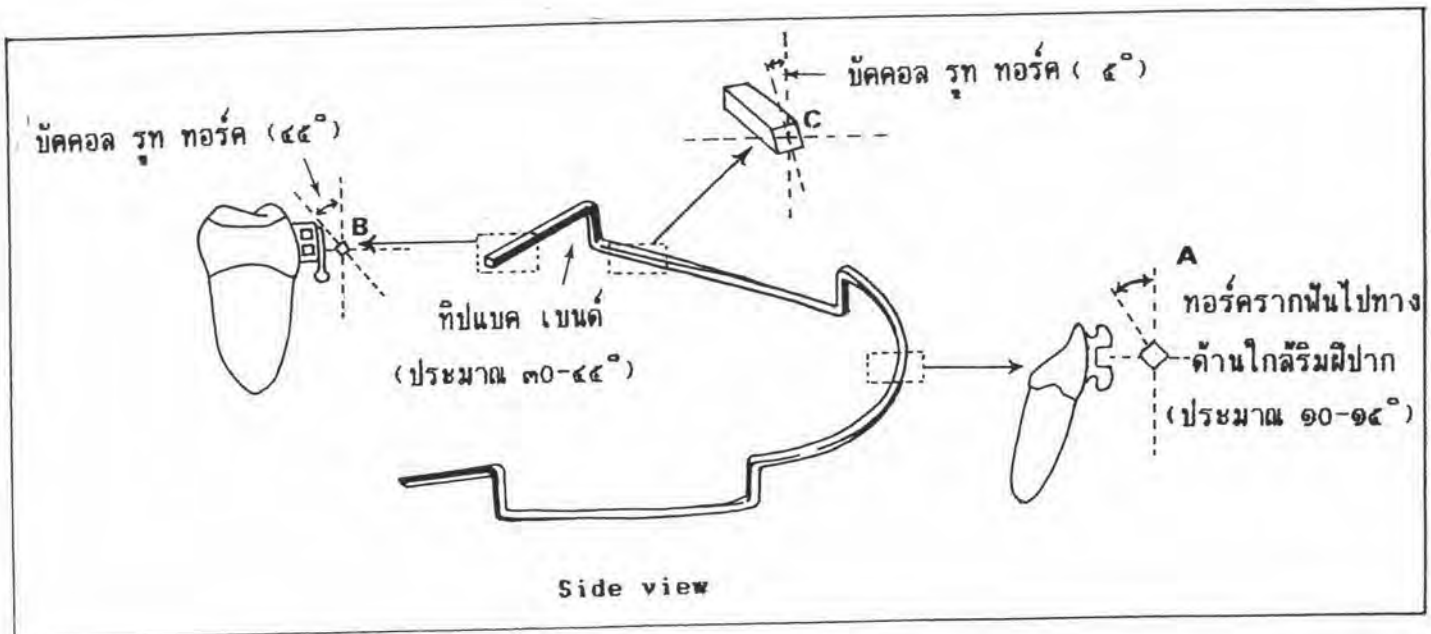
## ภาคผนวก ง

ลักษณะทางกายภาพและภาพตัดขวางในบริเวณต่าง ๆ ของลวดกดฟันทั้งสองเทคนิค



รูปที่ ๘๖ แสดงลักษณะของเบอร์สตีล อินทรูซีฟ อาร์ช

- A คือ ภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของลวดกดฟันส่วนหน้า
- B คือ ภาพตัดขวางบริเวณพื่นกรามของลวดกดฟันด้านซ้าย
- C คือ ภาพตัดขวางบริเวณด้านหน้าต่อฮิลิกซ์ของลวดกดฟันด้านซ้าย



รูปที่ ๘๓ แสดงลักษณะของวิกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช

- A คือ ภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของแอนทีเรีย เช็กชั้น
- B คือ ภาพตัดขวางบริเวณโมลาร์ เช็กชั้น ของลวดคดพื้นด้านซ้าย
- C คือ ภาพตัดขวางบริเวณบักคอลล บริดจ์ ของลวดคดพื้นด้านซ้าย





### ประวัติผู้เขียน

นางสาวรัชดาภรณ์ ศรีमानนท์ เกิดเมื่อวันที่ ๒๐ สิงหาคม ๒๕๐๔ ที่กรุงเทพมหานคร  
สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง จากคณะทันตแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา ๒๕๒๘ เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ระดับ ๔  
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ๓ ปี จึงเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน  
ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา ๒๕๓๒