

치아의 활주 이동시 교정용 brackets와 arch wire사이에서 발생하는 마찰 저항력에 관한 비교 연구

서울대학교 치과대학 교정학교실

민정미 · 서정훈

- 목 차 -

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

치아 이동을 꾀하기 위해 치아에 가하는 교정력은 치아 및 그 주변 조직에 양호한 조직 반응을 나타내면서 환자에 불편감 없이 빠르고 정확하게 치아가 이동될 수 있도록 적절히 조절, 구성되어야 한다.^{8, 15, 17, 23, 27, 27)} 이를 근거로 하여 설계된 장치라 할지라도 적용된 힘의 일부는 마찰력으로 소실되어 치아 이동을 저해하는 요인이 되며 저항원에는 부가적 부담을 초래한다.¹⁷⁾

마찰력이란 접촉하고 있는 두 물체가 상대적 운동 중이거나 상대적 운동을 할 가능성이 있을 때 접촉면 사이에서 운동의 반대 방향으로 작용하여 이 운동을 저지하려는 힘을 말하며 ①접촉 면적과는 무관하며, ②법선력에 비례하고, ③서로 움직이는 상대 속도에 영향받지 않는다는 경험법칙을 따른다. 즉, 접촉하고 있는 물체의 표면 상태 및 법선력에 의해

서 마찰력의 크기가 결정되는데 ($f = \mu N$), 이때 마찰계수 μ 는 재료의 성질 뿐 만 아니라 표면처리, 표면막 상태, 온도, 오염의 정도에 따라서도 변화한다.³²⁾

제1소구치의 발치를 수반하는 증례를 비롯하여 많은 교정치료 증례에서 치아는 arch wire를 따라 활주 이동이 되어야 한다. 치아가 arch wire를 따라 활주 이동될때 arch wire와 bracket사이에서 발생하는 마찰력은 접촉면을 이루는 재료의 성질, 결찰력, arch wire의 크기와 형태 및 구강내 조건에 따라 변화한다.

교정 치료중의 마찰력에 대해 Stoner²⁷⁾, Gottlieb 등¹⁴⁾, Schudy²⁵⁾, Parkhouse²¹⁾, Creekmore¹⁰⁾가 임상 경험을 토대로 이를 언급하였고 Andeasen과 Quevedo³⁾, Kamiyama와 Sasaki¹⁸⁾, Riley 등²⁴⁾, Greenberg와 Kusy¹⁶⁾, Frank와 Nikolai¹²⁾, Echols¹¹⁾, Peterson 등²²⁾, Garner 등¹³⁾, Nicolls²⁰⁾ 등은 여러가지 종류의 arch wires, brackets, ligatures를 조합하여 최대 정마찰력 혹은 동마찰력을 측정하여 비교하였고 Thurow^{28,29)}, Stannard 등²⁶⁾, Baker 등⁸⁾은 구강내 환경, 즉 타액의 존재 및 조성에 따라서도 마찰력이 변화한다고 보고하였으며 마찰력에 관한 국내에서의 연구는 미미한 실정이다.

본 연구는 치아가 arch wire를 따라 활주 이동할 때 고정식 교정 장치를 구성하는 bracket과 arch wire의 여러가지 조합을 통해 어느 요소가 어느 정도로 마찰력에 영향을 미치는가를 밝히기 위해 행해졌다. 이 실험 결과로써 실제적인 마찰력의 크기를

단언할 수는 없으나 마찰력에 영향을 미치는 요소 및 그 수준을 파악할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1) 실험 재료

brackets : wide & junior edgewise twin brackets (0.018 inch occlusogingival slot width)*

교정용 탄선 : stainless steel wire (0.014", 0.016", 0.018", 0.016"×0.022", 0.018"×0.022")**
β-titanium wire(0.016"×0.022")***

ligature : polyurethane ligature****

2) 실험 방법

wide 및 junior edgewise twin bracket의 slot를 stainless steel wire(0.014", 0.016", 0.018", 0.016"×0.022", 0.018"×0.022")와 β-titanium wire(0.016"×0.022")가 활주할 때의 동마찰력을 인장 시험 계측기***** 를 사용하여 계측하였다. 계측기의 full scale load를 200g으로, crosshead speed를 5 cm/min, chart speed는 20cm/min로 고정하여 동마찰력을 기록하였다.

bracket은 직경 9mm의 stainless steel wire에 용접(welding)하여 고정하였고 용접시 bracket slot과 wire사이에 0°, 3°, 6°, 9°의 각도를 부여하여 결과적으로 활주할 arch wire와 bracket slot 사이에 0°, 3°, 6°, 9°의 second order bend를 부여한 것과 같은 효과를 꾀하였다. 시편 arch wire는 6.5cm길이를 절단하여 사용하였으며 polyurethane ligature로 bracket과 arch wire를 결찰하였다.^{1,2,5} 즉 2가지 폭경의 brackets, 크기, 형태 및 재료가 다른 6가지의 wires, 4가지의 second order bend를 각각 독립된 변수로 조합하여 마찰력을 측정하였다. 각각의 조합에 대해 30번씩 반복 실험하였고 반복 실험에 의한 시편의 변형과 마모를 고려하여 0°, 3° 각도에서는 6번마다, 6°와 9° 각도에서는 5번마다 새로운 장치로 교체하여 마찰력을 측정하였다.^{19,30,31}

평균 마찰력과 표준 편차를 계산하고 유의 수준 0.01로 평균값을 비교하였으며 bracket slot과 arch wire사이에 binding효과가 나타나지 않는 0°각도와 binding효과가 나타나는 3°, 6°, 9°각도에서 각각 다

중 회귀 분석을 시행하였다.

* Unitek corporation, Monrovia, Calif

** Tru-chrome, Rocky Mountain orthodontics, Denver, Colo

*** TMA, American Ormco Corporation, Glendora, Calif

**** Alastik A-1, Unitek Corporation, Monrovia, Calif

***** Instron Corp., Canton, Mass. (Model No. 1130)

III. 실험 성적

junior bracket사용시의 평균 마찰력 및 표준 편차는 Table 1, wide bracket사용시의 평균 마찰력 및 표준 편차는 Table 2에서 grams의 단위로 나타내었고 다중 회귀 분석 결과를 Table 3로 정리하였다.

1) wire의 재료에 의한 영향

0.016"×0.022" β-titanium wire는 동일한 굵기의 stainless steel wire에 비해 훨씬 큰 마찰력 소실을 나타내었다(Fig. 1).

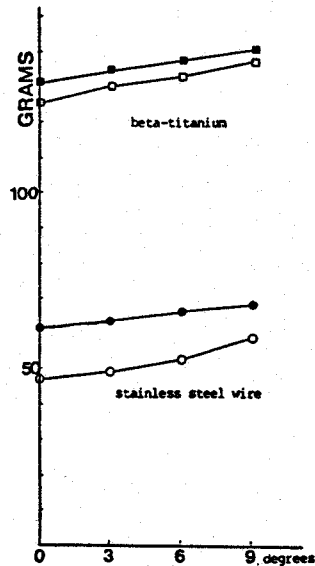


Fig. 1. Frictional forces of stainless steel wire (0.016" x 0.022") and β-titanium wire (0.016" x 0.022") on a wide bracket (■, ●) and a junior bracket (□, ○)

Table 1. Frictional force on a junior bracket (Mean/S.D. in grams)

	Stainless steel wire					beta-titanium
	.014"	.016"	.018"	.016"x.022"	.018"x.022"	.016"x.022"
0d.	15.7/4.7	20.9/6.3	38.7/6.5	46.9/7.8	45.4/10.8	126.5/17.0
3d.	16.8/4.0	25.3/6.5	44.7/8.2	49.0/9.1	48.9/10.6	129.9/20.1
6d.	22.3/3.5	26.7/6.0	46.2/9.8	52.5/11.5	54.0/9.3	132.1/26.4
9d.	27.3/4.6	30.0/6.7	49.2/9.2	59.0/9.3	66.4/11.8	138.1/22.3

Table 2. Frictional force on a wide bracket (Mean/S.D. in grams)

	Stainless steel wire					beta-titanium
	.014"	.016"	.018"	.016"x.022"	.018"x.022"	.016"x.022"
0d.	34.9/4.5	43.7/6.2	43.9/7.1	60.7/6.9	57.2/9.0	131.0/19.8
3d.	36.1/5.2	45.9/6.2	47.4/6.0	62.7/10.5	63.9/11.7	133.8/22.6
6d.	38.8/5.3	46.8/4.8	49.3/6.1	64.0/9.2	67.3/12.7	138.0/18.3
9d.	39.6/4.9	47.4/6.8	52.0/8.4	66.8/10.2	70.5/10.5	140.8/25.0

Table 3. Multiple regression analysis of friction

Independent variable	R squared = 0.66		R squared = 0.71	
	Angulation			
	0 d.	3 d.	6 d.	9 d.
Bracket				
junior – twin	0.000	0.000		
wide – twin	1.081	0.710		
Wire dimension & material				
.014" (s.s.)	-0.100	-0.077		
.016" (s.s.)	0.000	0.000		
.018" (s.s.)	0.208	0.180		
.016"x.022" (s.s.)	0.344	0.395		
.018"x.022" (s.s.)	0.301	0.409		
.016"x.022" (TMA)	1.593	1.613		
Bracket / Wire angulation				
0 d.	0.000			
3 d.		0.000		
6 d.			0.212	
9 d.				0.358

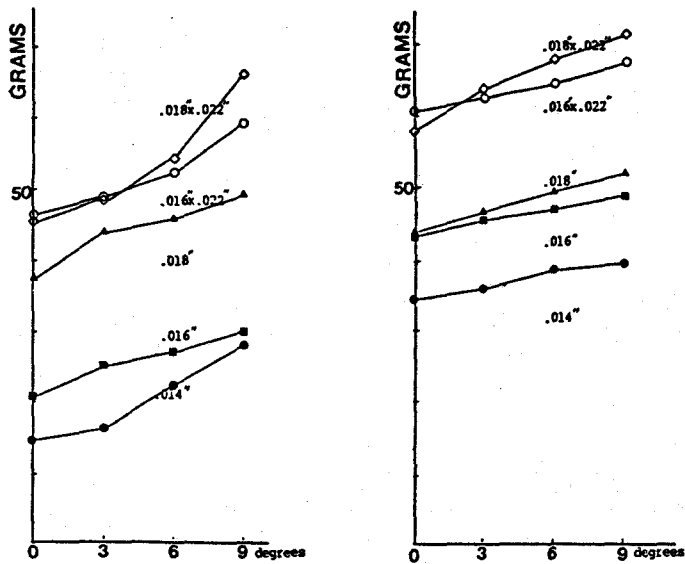


Fig. 2. Frictional forces of stainless steel wires (\bullet is 0.014", \blacksquare is 0.016", \blacktriangle is 0.018", \circ is 0.016" x 0.022", and \diamond is 0.018" x 0.022") on a junior bracket (a) and a wide bracket (b)

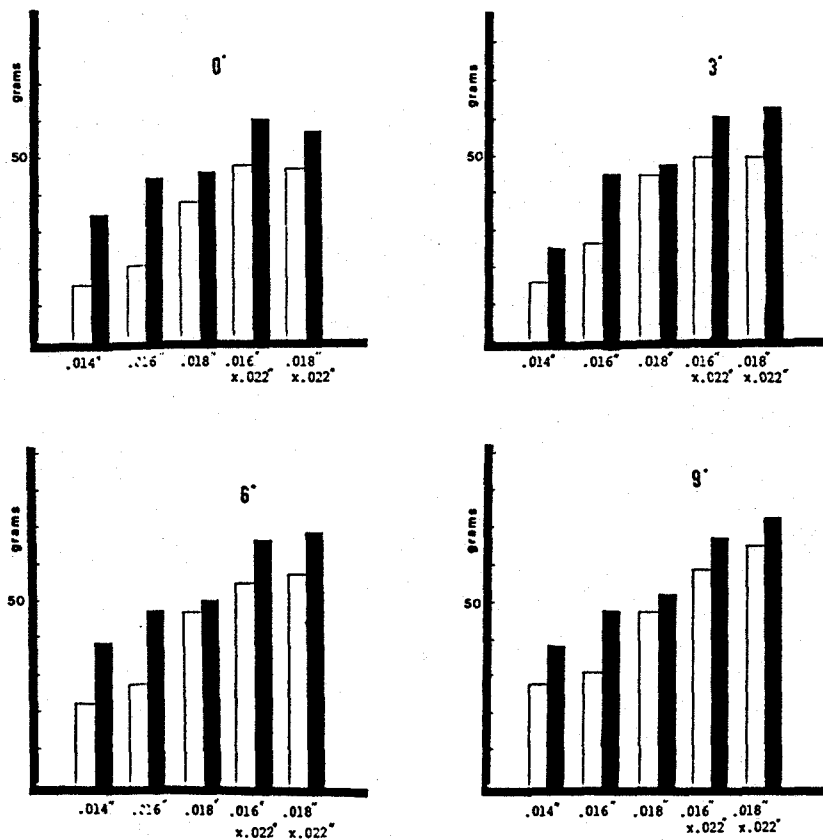


Fig. 3. Frictional forces of stainless steel wires on a wide bracket (\blacksquare) and a junior bracket (\square) when 0°, 3°, 6°, or 9° second order angulation was given.

2) wire의 굵기 및 형태에 의한 영향

round wire보다 rectangular wire에서 더 큰 마찰력을 나타내었고 대체로 직경이 굵은 wire일수록 마찰력이 증가하나 0°각도에서는 0.016"×0.022" wire의 마찰력이 0.018"×0.022" wire의 마찰력보다 더 크게 나타났다(Fig. 2).

3) second order angulation에 의한 영향

bracket slot과 wire사이의 각도가 증가할수록 마찰력이 증가하였고, 이는 wire의 stiffness가 클수록 각도에 의한 영향력이 큰 경향을 나타내었다(Fig. 3).

4) bracket 폭경에 의한 영향

junior bracket에서 wide bracket에서보다 큰 마찰력을 나타내었고, wire와 slot사이의 binding이 일어나는 각도에서보다 0°각도에서 bracket폭경에 의한 영향이 더 크게 작용하는 경향을 보였다(Fig. 3).

IV. 총괄 및 고안

마찰력은 접촉하는 두 표면에 대해 수직으로 작용하는 법선력 N 및 접촉하는 두 표면의 성질에 의해서 결정된다. ($f=\mu N$) 이같은 물리학적 법칙을 염두

에 두고 치아의 활주 이동시 발생한 마찰력을 고찰하고자 한다.

1) wire의 재료에 의한 영향

최근 수십년간, 재료학 분야에서의 부단한 발전으로 새로운 합금의 교정용 wire가 개발되었다. Burstone^{6,7,9)}에 의해 소개된 β -titanium 교정용 wire는 stainless steel wire에 비해 L/D rate가 낮아 비교적 치료 초기부터 rectangular wire를 사용하여 세평면상으로 치축 조절이 가능하며 술자가 적절히 조작할 수 있고 탄력성이 우수한 장점이 있으나 본 실험 결과에서 나타내듯 마찰력으로 소실되는 힘의 양이 매우 커서 β -titanium wire를 따라 치아를 활주 이동시키기에는 적절하지 않다고 할 수 있으며 이는 Garner등¹³⁾의 실험 결과와도 일치한다. 반면 저항원이 되는 치아에서는 이 성질을 유효하게 이용할 수도 있으며, 치아의 활주 이동이 요구되는 continuous arch로써보다는 segmented 혹은 sectional arch wire로써의 사용을 고려해 볼 만 하다.

본 실험에 사용된 stainless steel wire와 β -titanium wire를 주사전자현미경으로 표면 상태를 관찰하였다. β -titanium wire의 표면상태가 stainless steel wire의 표면보다 훨씬 거칠게 관찰되었고, 이러한 표면의 거친 정도의 차이가 stainless steel wire와 β -titanium wire의 마찰력 차이를 유발시켰다고 사료된다(Fig. 4).

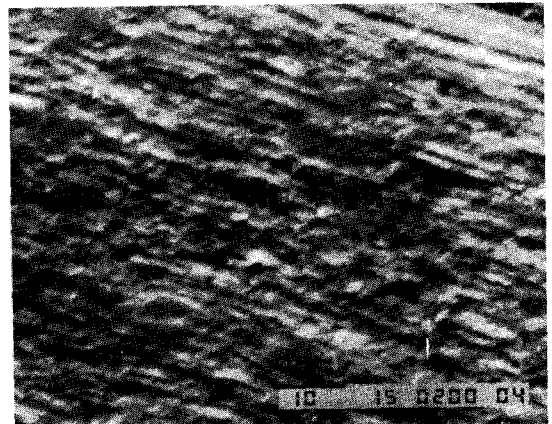
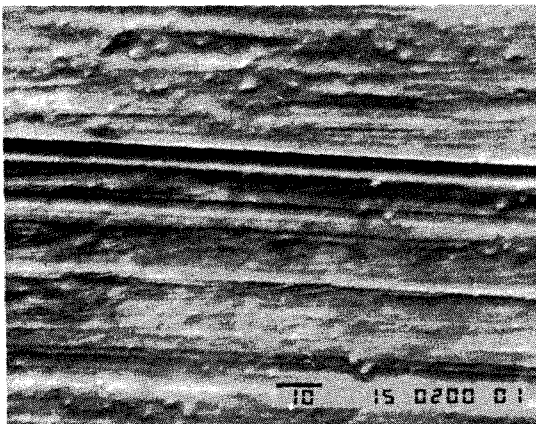


Fig. 4. Scanning electron micrographs of 0.016 x 0.022 inch stainless steel wire (a) and 0.016 x 0.022 inch β -titanium wire (b) used this study.

2) Wire 단면 형태 및 굵기에 의한 영향

동종의 교정용 wire라도 단면의 크기와 형태에 따라 마찰력에 차이가 있다. Garner, Allai와 Moore¹³⁾, Frank와 Nikolai¹²⁾, Echols¹¹⁾, Peterson, Spencer와 Andreassen²²⁾, Riley등²⁴⁾은 실험을 통해 round wire에서보다 rectangular wire에서 마찰력이 더 크다고 보고하였으며, 이는 같은 법선력이 작용했을 때 굵은 wire 및 rectangular wire에서 실제 접촉 면적이 증가하기 때문이라고 설명했다. 그러나, 이는 절대적인 기준은 아니며 실험 형태 및 상황에 따라 굵은 wire라도 가는 wire보다 마찰력이 작을 수도 있다. Baker등⁴⁾은 0.022" slot의 bracket에서 0.020" round wire가 0.018" round wire보다 마찰력이 작았다고 보고하였고, 이는 wire 굵기가 slot 크기와 근접할수록 wire와 slot 사이의 play가 감소하며 wire의 변형이 적게되어 나타난 결과라고 하였다. Frank와 Nikolai¹²⁾의 실험에서도 second order 각이 클때 rectangular wire의 마찰력이 round wire의 마찰력보다 작을 수 있음을 보고하였다.

Thurrow는 slot과 wire 사이에 극히 작은 양의 공간만 존재해도 활주 이동이 일어날 수 있다고 했으며, slot과 wire 사이의 공간의 많고 적음이 직접적으로 마찰력에 영향을 미치지 않는 것 같다^{28,29)}

본 실험 결과에서는 round wire에서 굵기가 증가할수록 마찰력이 증가했으나 rectangular wire는 second order 각이 0도 일때 0.016"×0.022" wire가 0.018"×0.022" wire보다 마찰력이 더 큰 결과를 나타냈는데, Baker등⁴⁾이 주장한 바대로 0.018"×0.022" wire에서 0.016"×0.022" wire보다 play가 적었을 것이나 round wire에서는 0.014", 0.016" wire가 0.018" wire보다 마찰력이 적게 나타난 것으로 보아 좀더 복합적인 요소가 작용할 것 같다. 즉, wire의 stiffness 정도에 따라 가해진 법선력을 수용하는 능력이 다를 것으로 사료되며 이에 대해서는 앞으로 더 많은 연구가 진행되어야 할 것 같다.^{1,31)}

3) second order angulation에 의한 영향

Frant와 Nikolai¹²⁾는 second order 각이 증가함에 따라 법선력에 의한 영향은 감소하고 wire의 stiffness에 따른 영향이 증가한다고 하였으며 이는

본 실험 결과와도 일치하는 것으로 round wire보다 rectangular wire에서, 직경이 굵은 wire일수록 각도 증가에 따라 마찰력 증가가 현저했다.

4) bracket 폭경에 의한 영향

Andreassen과 Quevedo³⁾, Peterson, Spencer와 Andreassen²²⁾은 bracket 폭경은 마찰력에 영향을 미치지 않는다고 보고했으며 Frank와 Nikolai¹²⁾는 bracket 폭경이 증가하면 마찰력도 증가한다고 보고한 반면 Kamiyama와 Sasaki¹⁸⁾, Thurrow²⁸⁾는 narrow bracket 사용시에는 치아가 tipping되기 쉬우므로 마찰력이 오히려 증가하는 요인이 된다고 주장했다.

본 실험에서는 bracket 폭경에 클 때, 폭경이 작을 때보다 더 큰 마찰력을 나타냈고 이는 순수하게 거시적 접촉 면적의 차이 이외에도 동일한 굵기의 Alastik A-1 ligature를 폭경이 큰 bracket에 결찰하기 위해서는 더 많이 당겨져야 하므로 법선력 자체가 증가했기 때문이라고 해석된다. second order 각이 증가하여 bracket slot과 wire 사이에 binding 효과가 커질수록 bracket 폭경에 의한 영향력은 다소 감소하는 경향을 보였다.

V. 결 론

교정식 교정 장치를 구성하는 여러 종류의 arch wire와 bracket을 조합하여 어느 요소가 어느 정도로 마찰력에 영향을 미치는가를 조사하였다. 0.014", 0.016", 0.018", 0.016"×0.022" 0.018"×0.022"의 stainless steel wire 및 0.016"×0.022"의 β -titanium wire를 mesio-distal 폭경이 다른 wide 및 junior edgewise twin bracket에 대해 0도, 3도, 6도, 9도의 각도를 유지한 채로 Instron에서 잡아 당겨 동마찰력을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. β -titanium wire는 stainless steel wire에 비하여 큰 마찰력이 요구되었다.
2. 일반적으로 wire의 직경이 클수록 마찰력이 커지었다.
3. rectangular wire는 stainless steel wire에 비하여 큰 마찰력을 나타내었다.
4. second order bend 각이 증가하면 마찰력도 증가하였다.
5. ligature force가 큰 wide bracket에서의 마찰

력이 ligature force가 작게 작용하는 narrow bracket에서보다 크게 나타났다.

REFERENCES

1. Adams, D.M., Powers, J.M., and Asgar, K.: Effects of brackets and ties on stiffness of an arch wire, *Am. J. Orthod.* 91:131-136, 1987.
2. Andreasen, G.F., and Bishara, S.E.: Comparison of Alastik chain with elastics involved with intraoral molar to molar forces. *Angle Orthod.* 40:151-158, 1970.
3. Andreasen, G.F., and Quevedo, F.R.: Evaluation of frictional forces in the 0.022" x 0.028" edgewise bracket in vitro, *J. Biochem.* 3:151-160, 1970.
4. Baker, K.L., Nieberg, L.G., Weimer, A.D., and Hanna, M.: Frictional changes in force values caused by saliva substitution, *Am. J. Orthod.* 91:316-320, 1987.
5. Bishara, S.E., and Andreasen, G.F.: A comparison of time related forces between plastic Alastiks and latex elastics, *Angle Orthod.* 40:319-328, 1970.
6. Burstone, C.J.: Variable-modulus orthodontics, *Am. J. Orthod.* 80:1-16, 1981.
7. Burstone, C.J.: The rationale of the segmented arch, *Am. J. Orthod.* 11:805-821, 1962.
8. Burstone, C.J.: The application of continuous forces to orthodontics, *Angle Orthod.* 31:1-14, 1961.
9. Burstone, C.J., and Goldberg, A.J.: Beta titanium: A new orthodontic alloy, *Am. J. Orthod.* 77:121-132, 1980.
10. Creekmore, T.D.: The importance of inter-bracket width in orthodontic tooth movement, *J. Clin. Orthod.* 10:530-534, 1976.
11. Echols, M.: Elastic ligatures, binding forces, and anchorage taxation, *Am. J. Orthod.* 67:219, 1975.
12. Frank, C.A., and Nikolai, R.J.: A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire, *Am. J. Orthod.* 78:593-609, 1980.
13. Garner, L.D., Allai, W.W., and Moore, B.K.: A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire, *Am. J. Orthod.* 90:199-203, 1986.
14. Gottlieb, E.L., Wildman, A.J., Hice, T.L., Lang, M., Lee, I.F., and Strauch, E.C.: The Edgelok bracket, *J. Clin. Orthod.* 6:613-623, 1972.
15. Graber, T.M., and Swain, B.F.: *Current orthodontic concepts and techniques*, 1975, W.B. Saunders Co., pp. 193-227.
16. Greenberg, A.R., and Kusy, R.P.: A survey of specialty coatings for orthodontic wires (abst.). *J. Dent. Res.* 58: (special Issue A) 98, 1979.
17. Jarabak, J.R., and Fizzel, J.A.: *Technique and treatment with light wire appliance*, 1963, The C.V. Mosby Company, pp. 48-91.
18. Kamiyama, T., and Sasaki, T.: Friction and width of brackets, *J. Jpn. Orthod. Soc.* 32:286-289, 1973.
19. Koran, A., Craig, R.G., and Tillitson, E.W.: Coefficient of friction of prosthetic tooth materials, *J. Prosthet. Dent.* 27:269-274, 1972.
20. Nicolls, J.: Frictional forces in fixed orthodontic appliances. *Dent. Prac. Dent. Rec.* 18:362-366, 1967-1968.
21. Parkhouse, R.C.: Interchange of brackets in the treatment of root transposition, *Br. J. Orthod.* 2:103-104, 1975.
22. Peterson, L., Spencer, R., and Andreasen,

- G.: A comparison of friction resistance for nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets, *Quintessence International*. 5: 565-571, 1982.
23. Proffit, W.R., Fields, H.W., Ackerman, J.L., Thomas, P.M., and Camilla Tulloch, J.F.: *Contemporary orthodontics*, 1986, The C.V. Mosby Company, pp. 246-269.
 24. Riley, J.L., Garrett, S.G., and Moon, P.C.: Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets, *J. Dent. Res.* 58:A21, 1979.
 25. Schudy, F.F.: The bimetric system, *Am. J. Orthod.* 67:57-91, 1975.
 26. Stannard, J.G., Gau, J.M., and Hanna, M.A.: Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions, *Am. J. Orthod.* 89:485-491, 1986.
 27. Stoner, M.M.: Force control in clinical practice, *Am. J. Orthod.* 46:163-168, 1960.
 28. Thurow, R.C.: *Edgewise orthodontics*, 1982, The C.V. Mosby Company, pp. 1-72, 131-233.
 29. Thurow, R.C.: Elastic ligature, binding forces, and anchorage taxation, *Am. J. Orthod.* 67:694, 1975.
 30. Tillitson, E.W., Crag, R.G., and Peyton, F.A.: Friction and wear of restorative dental materials, *J. Dent. Res.* 50:149-154, 1971.
 31. Whitehead, J.: Surface deformation and friction of metals at light loads, *Proc. R. Soc. Lond.* A201:109-124, 1950.
 32. 成百能：基礎物理學，1981，二友出版社，pp.60~63.

A COMPARATIVE STUDY OF FRICTIONAL RESISTANCES BETWEEN ORTHODONTIC BRACKETS AND ARCH WIRE DURING SLIDING MOVEMENT OF TEETH

Jung-Mi Min, Cheong-Hoon Suhr

Department of Orthodontics College of Dentistry, Seoul National University.

– Abstract –

The purpose of this study was to evaluate and compare frictional forces generated between orthodontic brackets and arch wires. Independent variables were chosen for study: arch wire size and shape, arch wire material, bracket width, and second-order angulation between bracket and arch wire. Kinetic frictional forces of stainless steel (0.014", 0.016", 0.018", 0.016" x 0.022", 0.018" x 0.022"), β -titanium (0.016" x 0.022") arch wires were measured on wide and junior edgewise twin brackets (0.018" x 0.022" slot). Instron was used to pull arch wires while 0°, 3°, 6, or 9° angulation between and wire and bracket was given.

The results were as follows:

1. The frictional force of β -titanium wire was larger than that of stainless steel wire.
2. The frictional force was generally increased as the size of wire is increased.
3. The frictional force of rectangular wire was larger than that of round wire.
4. As second order angulation was increased, the frictional force was also increased.
5. The frictional force was larger on a wide bracket than on a junior bracket.