

## 교정용 브라켓과 교정선 사이의 마찰력

정 태 중<sup>1)</sup> · 최 목 균<sup>2)</sup>

교정용 브라켓과 교정선 사이의 마찰력에 관련된 요소들에는 브라켓의 종류, 교정선의 재질과 형태, 결찰방법의 차이, 건조환경과 타액환경의 차이, 브라켓간 offset의 차이, 브라켓간 거리, 이동속도 등이 있다. 이러한 요소들에 따른 마찰력의 변화를 비교, 분석하여 각 요소들 간의 관계를 알아보고자 본 연구를 하였다. 8종류의 0.018" x 0.025" 상악 견치와 상악 제2 소구치용 브라켓을 슬라이드 위에 부착시키고 0.016" 및 0.016" x 0.022" 스테인레스 스틸 교정선과 같은 크기의 NiTi 교정선 및 Cu-NiTi 교정선을 이용하여 서로 다른 조건에서 마찰력을 측정하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 브라켓의 종류에 따른 마찰력의 차이는 Polycrystalline 세라믹 브라켓인 Allure의 평균 마찰력이 가장 높게 나타났고, 세라믹과 합성된 플라스틱 브라켓인 Vogue, 금속 브라켓인 Mini-Twin, 금속 슬롯을 갖는 플라스틱 브라켓인 Elan, monocrystalline 세라믹 브라켓인 Starfire, single 브라켓인 Lewis/Lang, 자가결찰 브라켓인 SPEED의 순으로 감소하였으며, frictionless 브라켓인 Shoulder의 평균 마찰력이 가장 낮았다. 자가결찰 브라켓은 원형 교정선에서는 낮은 마찰력을 나타냈고, 사각형 교정선에서는 높은 마찰력을 나타냈다.
2. 교정선 재질에 따른 평균마찰력은 스테인레스 스틸 교정선이 다른 교정선들에 비해 통계학적으로 유의하게 낮았으며, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선 순으로 평균 마찰력이 높았다. 교정선의 형태에 따른 마찰력은 원형 교정선의 평균마찰력이 각형 교정선보다 낮았다.
3. 본 연구에서 스테인레스 강으로 결찰했을 때의 평균마찰력이 탄성모듈로 결찰했을 때에 비해 모든 조건에서 통계학적으로 유의하게 높았다.
4. 건조환경에서의 금속 브라켓에 스테인레스 스틸 교정선, NiTi 교정선 및 Cu-NiTi 교정선의 평균마찰력은 타액환경에서보다 유의하게 낮았다.
5. 브라켓간 offset이 증가함에 따라 평균마찰력은 유의하게 증가하였다.
6. 브라켓간 거리의 변화에 대한 마찰력의 차이는 교정선의 재질에 따라 차이가 나며, 스테인레스 스틸 교정선은 브라켓간 거리가 감소할 때 마찰력이 유의하게 변화하지 않았으나, NiTi 교정선의 경우는 유의하게 증가하였다.
7. 브라켓내의 교정선의 이동속도에 따라 마찰력은 유의하게 변화하지 않았다.

이상의 결과로 볼 때 교정 치료동안 적정 교정력을 유지하기 위해 자가결찰 브라켓, 스테인레스 스틸 교정선과 탄성 모듈결찰법을 사용하는 것이 유리하며, 치료시기에 따라서 요구하는 마찰력이 다르므로 상황에 따라 재료를 선택하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

( 주요단어 : 브라켓, 교정선, 평균마찰력 )

### I. 서 론

교정성 교정장치를 이용한 치아의 이동시 가해지

는 교정력은 치아와 그 주위 조직에 위해작용을 유발하지 않으면서 빠르고 정확하게 치아가 이동하도록 적절히 조절되어야 한다. 치아가 이동될 때의 마찰력은 브라켓과 교정선의 접촉면에 작용하는 힘으로부터 초래되어 항상 발생되며 이들 힘은 잘 배열되지 않은 브라켓에 교정선을 삽입하거나 슬롯의 기저면

<sup>1)</sup> 가톨릭 대학교 의과대학 치과교정학교실, 대학원생.

<sup>2)</sup> 가톨릭 대학교 의과대학 치과교정학교실, 교수.

Table 1. Types of brackets.

Bracket	Type	Manufacturer
Mini-Twin <sup>®</sup>	Twin bracket, Metal	A-Company, San Diego, CA
Allure <sup>®</sup>	Twin Polycrystalline ceramic	GAC, Central Islip, NY
Starfire <sup>®</sup>	Twin Monocrystalline ceramic	A-Company, San Diego, CA
Vogue <sup>®</sup>	Twin Ceramic reinforced plastic	GAC, Central Islip, NY
Elan <sup>®</sup>	Twin Plastic+Metal slot	GAC, Central Islip, NY
Lewis/Lang <sup>®</sup>	Single bracket, Metal	Ormco ,Glendora, CA
SPEED <sup>®</sup>	Self ligation, Metal	Strite Industries, Cambridge, ON
Shoulder <sup>®</sup>	Twin Friction free, Metal	GAC, Central Islip, NY

에 대해 교정선을 압박하는 결찰재 또는 각형 교정선의 토오크(torque), 치아의 경사이동 등에 의해 영향을 받는다.<sup>1)</sup> 과도한 마찰력은 브라켓의 걸림을 초래하여 원하는 치아의 이동을 거의 일으키지 않거나 교정원의 소실을 일으키게 된다.<sup>2)</sup>

마찰력의 발생에는 브라켓의 종류 및 브라켓간의 거리, 교정선의 종류, 결찰재의 재료, 타액같은 접촉면 사이에 개재된 생물학적 요인 등 많은 요소들이 관련되어 있다. 이와 같은 많은 요소들과 이들의 조합으로 인해 마찰력의 작용기전은 더욱 복잡해질 수 있다. 따라서 임상에 정확하게 적용시키는 것이 쉽지 않다.

최근 교정분야에는 심미성을 보완하여 금속 브라켓 이외에 세라믹, 플라스틱 등 다양한 소재의 브라켓이 개발되었는데, 세라믹 브라켓은 색상, 투명성, 내마모성에서는 장점이 있지만 대합치의 마모나 브라켓 제거시 치아의 파절, 마찰력이 매우 큰 것들이 단점이다.<sup>3)</sup> 플라스틱 브라켓은 변색과 착색, 형태의 변형, 파절 가능성, 큰 마찰력 등이 단점으로 지적되고 있다.<sup>4)</sup> 이러한 단점을 보완하기 위해 현재는 슬롯에 금속이 보강된 세라믹이나 플라스틱 브라켓, 세라믹과 플라스틱의 합성 브라켓들이 새롭게 개발되어 마찰력과 기계적 성질 등의 단점을 극복하고있다.

교정용 호선의 경우 최근에 Copper-NiTi(Cu-NiTi) 교정선이 소개되었는데 이전에 사용하던 스테인레스 스틸(SS) 교정선이나 니켈-타이타늄(NiTi) 교정선보다 일정한 힘을 가할 수 있으며, 변형에 대한 저항력과 마찰력을 줄여서 더 쉽게 활주이동을 할 수 있게 하였다.<sup>5,6)</sup>

지금까지 몇 가지의 브라켓, 교정선과 결찰방법 및

타액 등에 대한 연구들이 있었으나 현재 상용화되고 있는 재료들에 대한 포괄적인 연구는 없었으며 기왕에 보고된 연구결과들도 서로 상이하고 일정하지 않았다.

이 연구의 목적은 마찰력에 관련된 교정재료들과 관련요소들 중 브라켓의 종류, 교정선의 재질과 형태, 결찰방법의 차이, 건조환경과 타액환경의 차이, 브라켓간 offset의 차이, 브라켓간 거리, 이동속도 등에 따른 마찰력을 분석, 종합하여 이에 영향을 주는 요소들간의 상호관계를 알아보고자 하는데 있다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 재 료

본 연구에서 사용한 브라켓은 모두 8종으로 0.018" x 0.025" 슬롯의 상악 견치와 상악 제2 소구치용 Roth prescription straight 브라켓이었다. 그 종류는 금속 브라켓인 Mini-Twin<sup>®</sup>, polycrystalline 세라믹 브라켓인 Allure<sup>®</sup>, monocrystalline 세라믹 브라켓인 Starfire<sup>®</sup>, 세라믹과 합성된 플라스틱 브라켓인 Vogue<sup>®</sup>, 금속 슬롯을 갖는 플라스틱 브라켓인 Elan<sup>®</sup>, single 브라켓인 Lewis/Lang<sup>®</sup>, 자가결찰 브라켓인 SPEED<sup>®</sup>, frictionless 브라켓인 Shoulder<sup>®</sup> 등이다(Table 1).

교정용 호선은 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 사각형의 SS 교정선, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선(Ormco, USA)을 사용하였고 Cu-NiTi는 35℃의 교정선을 선택하였다. 결찰재는 탄성모듈(elastomeric module)(Unitek, USA)을 사용하였으며 결찰방법을

비교하기 위하여 0.009" 스테인레스 강 결찰선(Unitek, USA)을 사용하였다. 건조 환경과 타액환경의 비교를 위해 인공타액(Taliva<sup>®</sup>, Han Lim co., Korea)을 사용하였다.

## 2. 방 법

### 1. 시편 제작

실험 시편의 제작을 위해 브라켓 부착부위를 산화 알루미늄으로 표면처리한 후 오염을 제거하기 위해 알콜로 세척, 건조시킨 슬라이드들을 준비하였다.

브라켓과 교정선 종류에 따른 마찰력 비교를 위해 견치와 제2 소구치용 브라켓들을 슬라이드에 교정자(OIS Orthodontics part #003-067)를 이용하여 10 mm 간격으로 각각 위치시켰다. 10 mm 간격은 발치와의 거리를 가정한 것이다. 그 다음 0.018" x 0.025" 의 SS 교정용 호선을 브라켓 슬롯내에 삽입하여 브라켓들 간의 배열을 직선으로 만든 후 시아노아크릴레이트(AL-LOCK CN<sup>®</sup>, Japan)를 이용하여 슬라이드 표면에 부착하였다. 0.018" x 0.025" 교정용 호선을 제거한 후 브라켓 슬롯내에 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 사각형의 SS 교정선, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선을 각각 위치시키고 탄성모듈을 이용하여 결찰하였다. 탄성모듈을 결찰할 때 ligature gun(Straight Shooter<sup>®</sup>, TP, USA)을 이용하여 균일한 결찰이 되도록 하였다. 실험을 위하여 8종류의 브라켓, 재질에 따른 3종류의 교정선, 형태에 따른 2종류의 교정선 등에 의해 각각 조합된 시편 48개에 각각 40개씩 총 1920개의 시편들을 제작하였다.

결찰방법에 따른 마찰력을 비교하기 위해서 Mini-Twin 브라켓에 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 사각형 SS 교정선, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선을 0.009" 스테인레스 강 결찰선을 Mathieu plier로 7번 균일하게 회전, 결찰한후 마찰력을 측정하였으며, 탄성모듈로 결찰한 시편의 마찰력은 브라켓과 교정선 종류에 따른 마찰력 측정 실험에서 얻은 결과를 이용하였다. 7번 회전, 결찰한 이유는 교정선이 브라켓에 가장 강하게 결찰되어 절단되기 직전의 경우를 예비 실험을 통하여 확인된 것을 따른 것이다. 실험을 위하여 각각의 시편들에 대하여 40개씩 제작하여 총 240개의 시편들을 제작하였다.

건조환경과 타액환경에 따른 마찰력차이는 Mini-Twin 브라켓에 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 각형 SS 교정선, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선을 탄성모

듈로 결찰, 제작하여 마찰력을 측정할 때 인공타액을 떨어뜨려 습윤상태를 유지시키면서 측정하여 건조환경 실험에서 얻은 결과와 비교하였다. 각각의 시편들에 대하여 40개씩 제작하여 총 240개의 시편들을 제작하였다.

브라켓간 offset 차이에 의한 마찰력 비교를 위하여 슬라이드에 제2 소구치용 Mini-Twin 브라켓을 부착한 후 견치용 브라켓을 고정할 때 교정자를 이용하여 제2 소구치용 브라켓의 슬롯 연장선에서 견치의 슬롯이 0.5 mm, 1.0 mm 거리가 되게 부착하고 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 각형 NiTi 교정선과 Cu-NiTi 교정선을 탄성모듈로 결찰하여 마찰력을 측정하였다. Offset이 0.0 mm 인 경우의 마찰력은 기왕의 실험에서 얻은 결과를 이용하였다. 각각의 시편들에 대하여 40개씩 제작하여 총 320개의 시편들을 제작하였다.

브라켓간 거리에 따른 마찰력의 차이를 비교하기 위해 Mini-Twin 브라켓들을 7 mm, 5 mm 간격으로 부착하고 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 사각형 SS 교정선과 NiTi 교정선을 탄성모듈로 결찰하여 제작한 시편들의 마찰력을 측정하였고 10 mm간격의 마찰력은 기왕의 실험에서 얻은 결과를 이용하였다. 각각의 시편들에 대하여 40개씩 제작하여 총 320개의 시편들을 제작하였다.

치아들의 이동속도에 따른 마찰력의 비교를 위해서는 Mini-Twin 브라켓에 0.016" 원형 SS 교정선을 탄성모듈로 결찰하여 제작한 시편들에 Instron의 cross-head 속도를 10 mm/min, 5 mm/min, 2.5 mm/min으로 변화시키면서 마찰력을 측정하여 비교하였다.

본 실험을 위하여 총 3040개의 시편들을 제작하였다.

### 2. 마찰력의 측정

마찰력은 Instron universal testing machine (Model No. 4806, Instron Corporation, USA)을 이용하여 측정하였다. 브라켓이 부착된 슬라이드를 Instron의 하부에 고정시키고 cross-head 부위에 교정선을 위치시켰다. Instron은 2000g load cell로 맞추고 cross-head의 속도를 10 mm/min으로 3분간 이동시키면서 브라켓 슬롯, 교정선, load cell의 중심을 일치시킨 상태에서 인장력을 가하여 얻어지는 하중-변위곡선으로부터 관찰되는 하중의 최대점을 브라켓과 교정선 사이에서 발생하는 정지 마찰력으로 측정하였다(그림 1).

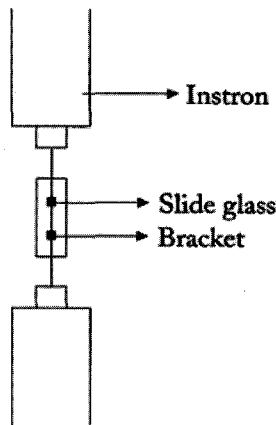


Fig. 1. Schematic drawing of test specimen set on Instron.

Table 3. Three-way analysis of variance of frictional forces.

Factors	F value	P value
Bracket	4273.84	0.0001
Wire	3059.61	0.0001
Wire Shape	11160.50	0.0001
Bracket x Wire	121.26	0.0001
Bracket x Wire Shape	897.82	0.0001
Wire x Wire Shape	221.92	0.0001
Bracket x Wire x Wire Shape	91.66	0.0001

Table 2. Frictional forces between brackets and wires(g, mean±SD).

Bracket	SS		NiTi		Cu-NiTi	
	0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"
Mini-twin	138.08±3.89	204.70±18.28	151.73±15.30	305.38±40.90	252.03±10.81	381.03±30.67
Allure	157.03±13.06	313.60±28.23	196.35±26.71	346.03±31.37	299.23±27.91	388.00±30.16
Starfire	149.08±10.38	165.50± 9.89	114.58± 9.29	278.87±15.22	293.53±40.77	312.13±36.65
Vogue	183.40±19.33	256.70±28.95	178.15±49.04	263.75±24.26	269.03±24.40	315.40±50.30
Elan	132.18±16.94	187.65±14.99	153.33±11.24	286.98±26.63	258.73±12.10	344.90±20.41
Lewis/Lang	116.43±11.66	157.05± 8.92	121.85± 7.83	269.25±29.77	204.08±31.03	275.70±17.86
SPEED	1.90± 1.77	259.75±32.21	1.38± 1.23	273.78±44.94	14.20± 6.79	447.30±39.65
Shoulder	1.63± 1.46	3.48± 2.53	2.88± 2.30	4.90± 2.18	1.93± 2.06	8.40± 4.62

SS:Stainless Steel, NiTi:Nickel Titanium, Cu-NiTi:Copper-Nickel Titanium

### 3. 통계처리

실험 계측치를 기록하고 각 조건의 항목별 평균치와 표준편차를 구한 후 각 항목간의 유의성 여부를 알아보고 비교하기 위하여 삼원 분산 분석(three-way analysis of variance)으로 검정한 후 Tukey's studentized range test와 Duncan's multiple range test로 유의수준 5%에서 사후 검정하였다. 또 브라켓간의 offset 변화, 브라켓간 거리 변화, 속도 변화에 따른 마찰력의 비교는 회귀 분석을 통하여 각 군의 유의성을 유의 수준 5%에서 검정하였다.

### III. 결 과

브라켓 종류와 교정선의 재질 그리고 교정선의 형태에 따른 마찰력의 측정결과는 표 II과 같다. 표 III은 마찰력의 측정치에 대한 분산분석을 실시한 결과이다.

분산분석의 결과는 세가지 독립적인 요소 즉 브라켓의 종류, 교정선의 재질 그리고 교정선의 형태에 따라 마찰력이 변화한다는 것을 보여준다. 또한 브라켓의 종류와 교정선의 재질사이의 상호작용, 교정선의 재질과 교정선의 형태사이의 상호작용, 브라켓의 종

**Table 4.** Frictional forces between elastomeric module and wire ligation in Mini-Twin brackets(g, mean±SD).

Ligation	SS		NiTi		Cu-NiTi	
	0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x 0.022"	0.016"	0.016"x0.022"
Elastomeric	138.08±3.89	204.70±18.28	151.73±15.30	305.38±40.90	252.03±10.81	381.03±30.67
Wire	218.63±20.1 *	425.35±14.25 *	358.75±36.56 *	494.15±20.05 *	400.61±25.72 *	524.00±25.95 *

\* indicates significantly different by Tukey's studentized range test and Duncan's multiple range test at the level 0.05

류와 교정선의 형태사이의 상호작용 그리고 세가지 독립적인 요소들 사이의 상호작용이 있다는 것을 알 수 있었다( $P<0.05$ ). 세가지 요소들 중 마찰력에 가장 크게 영향을 미치는 것은 교정선의 형태이며 브라켓의 종류, 교정선의 재질순이었다.

1. 브라켓 종류에 의한 마찰력의 비교

교정선의 재질이나 형태를 고려하지 않을 때 Allure의 평균 마찰력이 283.37g으로 가장 높게 나타났고, Vogue, Mini-Twin, Elan, Starfire, Lewis/Lang, SPEED의 순으로 감소하였으며, Shoulder의 마찰력이 3.87g으로 가장 낮았다. Vogue와 Mini-Twin의 평균 마찰력은 유사하여 두 군간에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 심미 브라켓들 중에서는 Starfire, Elan, Vogue, Allure순으로 마찰력이 높았다. 브라켓 형태에 따라서는 single 브라켓이 twin 브라켓인 Mini-Twin 브라켓보다 유의하게 낮았으며, frictionless 브라켓의 마찰력은 다른 브라켓들보다 현저하게 낮았다( $P<0.05$ ).

교정선의 재질이나 형태를 고려하였을 때 브라켓들의 순위 변동은 있었으나 SPEED브라켓을 제외하고는 교정선의 재질나 교정선의 형태를 고려하지 않았을 때의 평균 마찰력 범위를 크게 벗어나지는 않았다. SPEED브라켓의 경우 원형 교정선일 경우의 평균 마찰력은 5.83g으로 낮았으나, 각형 교정선에서의 평균 마찰력은 326.94g으로 twin 브라켓들의 마찰력과 유사하거나 높았다.

2. 교정선 재질에 의한 마찰력의 비교

교정선의 재질에 따른 평균마찰력은 브라켓 종류나 교정선의 형태를 고려하지 않았을 때 SS 교정선이 137.17g으로 167.43g의 NiTi 교정선이나 230.27g

의 Cu-NiTi 교정선 보다 유의하게 낮았다( $P<0.05$ ).

교정선의 형태에 따른 마찰력의 차이는 브라켓 종류나 교정선의 재질을 고려하지 않았을 때 원형 교정선의 평균마찰력이 125.92g으로 사각형 교정선의 230.65g보다 통계적으로 유의하게 낮았다( $P<0.05$ ).

3. 결찰방법에 의한 마찰력의 비교

결찰방법에 따른 마찰력(표 IV)은 모든 조건에서 스테인레스 강으로 결찰했을 때의 평균마찰력이 탄성모듈로 결찰했을 때에 비해 통계적으로 유의하게 높음을 알 수 있다( $P<0.05$ ).

4. 건조환경과 타액환경의 마찰력의 비교

건조환경과 타액환경에 따른 마찰력(표 V)에서 Mini-Twin 브라켓에서 평균마찰력이 각각 363.90g과 238.82g으로 타액환경에서 유의하게 높음을 알 수 있다( $P<0.05$ ).

5. 브라켓 간 offset의 차이에 따른 마찰력의 비교

브라켓 간 offset의 차이에 따른 마찰력(표 VI)은 Mini-Twin 브라켓에서 offset의 증가에 따라서 유의하게 증가하였다( $P<0.05$ ).

6. 브라켓간 거리에 따른 마찰력의 비교

브라켓간 거리의 변화에 대한 마찰력(표 VII)의 차이는 교정선의 재질에 따라 차이가 나서, SS 교정선에서는 브라켓간 거리가 감소하면서 마찰력이 유의하게 변화하지 않았으나, NiTi 교정선의 경우는 유의하게 증가하였다( $P<0.05$ ).

**Table 5.** Frictional forces between dry and wet environment in Mini-Twin brackets(g, mean±SD).

Environ.	Wire	SS		NiTi		Cu-NiTi	
		0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"
Dry		138.08±3.89	204.70±18.28	151.73±15.30	305.38±40.90	252.03±10.81	381.03±30.67
Wet		242.05±28.14 *	343.71±26.18 *	344.85±13.19 *	406.08±29.45 *	396.98±28.96 *	453.1±29.95 *

\* indicates significantly different by Tukey's studentized range test and Duncan's multiple range test at the level 0.05

**Table 6.** Frictional forces with offset (g, mean±SD).

Offset	Wire	NiTi		Cu-NiTi	
		0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"
0.0 mm		151.73±15.30	305.38±40.90	252.03±10.81	381.03±30.67
0.5 mm		218.55±22.07 *	354.78±14.83 *	413.33±19.64 *	643.45±27.04 *
1.0 mm		242.1±26.29 *	403.55±9.43 *	495.63±27.12 *	out of range *

\* indicates significantly different by Tukey's studentized range test and Duncan's multiple range test at the level 0.05

**Table 7.** Frictional forces with interbracket distances in Mini-Twin brackets(g, mean±SD).

Distance	Wire	SS		NiTi	
		0.016"	0.016"x0.022"	0.016"	0.016"x0.022"
10 mm		138.08 ±3.89	204.70±18.28	151.73±15.30	305.38±40.90
7 mm		138.75±5.22	208.68±11.19	158.5±18.37	302.6±35.12
5 mm		136.2±13.95	208.4±12.37	167.85±14.13 *	336.13±31.38 *

\* indicates significantly different by Tukey's studentized range test and Duncan's multiple range test at the level 0.05

**Table 8.** Frictional forces with velocity in Mini-Twin brackets(g, mean±SD).

Velocity	10 mm/min	5 mm/min	2.5 mm/min
Forces	138.08±3.89	138.73±13.10	145.23±17.82

7. 이동속도에 의한 마찰력의 비교

브라켓내의 교정선의 이동속도에 따른 마찰력(표 VIII)은 유의성있게 변화하지 않았다( $P>0.05$ ).

IV. 고 안

교정식 교정장치로 치료시 발생하는 마찰력은 교정선을 따라 치아가 이동할 때 치아에 부착된 브라켓과 교정선 사이의 활주이동으로 형성된다. 가장 바람직한 것은 브라켓과 교정선 사이에 마찰력이 없거나 거의 존재하지 않는 경우이나 실제 임상에서는 불가능하므로 적절한 치아의 이동을 위해 브라켓과 교정선 사이에서 발생하는 마찰력의 정도를 이해하는 것이 교정치료에서 중요하다. 그러나 지금까지의 연구들은 구강 내와 동일한 상태를 재현할 수 없기 때문에 연구결과가 조금씩 다르게 나타나므로 교정학에

서 마찰력의 평가는 그 산출한 절대량보다는 실험대상들의 상대적인 순위가 더 중요하다고 할 수 있다.

브라켓의 재질에 따른 마찰력의 차이에 대한 여러 연구에서<sup>7-10)</sup> 금속 브라켓 보다 세라믹 브라켓, 플라스틱 브라켓에서 더 큰 마찰력이 나타난다고 보고하였고, Downing 들<sup>11)</sup>은 상반된 결과를 보고하였다. 대부분의 연구에서 마찰력의 차이를 브라켓 표면 거칠기에서 찾지만 Angolkar 들<sup>2)</sup>은 브라켓 표면의 거칠기보다는 세라믹 브라켓의 내부 화학구조와 관련이 있다고 보고하였으며 Saunders 와 Kusy 등<sup>12)</sup>도 표면이 거친 polycrystalline 세라믹 브라켓의 마찰력이 monocrystalline 세라믹 브라켓의 마찰력과 비슷한 것도 동일한 이유라고 주장하였다. 본 실험에서도 금속 브라켓보다 세라믹 브라켓들과 플라스틱 브라켓에서 큰 마찰력이 발생하였고 monocrystalline 세라믹 브라켓보다 polycrystalline 세라믹 브라켓의 마찰력이 높게 나타났다. Bazakidou 들<sup>13)</sup>은 최근 소개된 금속 슬롯이 있는 플라스틱 브라켓이나 세라믹으로 보강된 플라스틱 브라켓의 마찰력이 금속 브라켓이나 세라믹 브라켓들 것보다 낮다고 하였으며, 또한 플라스틱 브라켓의 마찰력이 금속슬롯의 유무에 관계없이 유사한 것은 교정선이 금속슬롯보다 플라스틱 변연부에 밀착되기 때문이라고 주장하였다. 본 실험에서 금속 슬롯이 있는 플라스틱 브라켓의 마찰력이 다른 심미적인 브라켓의 마찰력보다 낮고 금속 브라켓과 유사하게 나타난 것으로 볼 때 마찰력은 브라켓 변연 부위보다 금속 슬롯 부위에 더 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. Shivapuja와 Berger<sup>14)</sup>는 일반 브라켓들에 비해 자가결찰 브라켓의 마찰력이 상당히 감소된다고 하였고, Berger<sup>15)</sup>는 SPEED 브라켓에서 12%에서 23%의 감소를 보고하였다. 본 실험에서도 자가결찰 브라켓의 마찰력은 원형 교정선에서 다른 브라켓들보다 통계학적으로 유의하게 낮았다. 브라켓 폭경이 작은 single 브라켓의 마찰력이 twin 브라켓들보다 낮았는데 브라켓의 폭경이 클 때 마찰력이 증가한 것은 동일한 굵기의 탄성 모듈을 폭경이 큰 브라켓에 결찰하기 위해서는 더 많이 당겨져야 하므로 브라켓에 가해지는 고정력 자체가 증가했기 때문으로 사료된다. 교정치료의 초기인 활주이동단계에서는 마찰력이 적을수록 유리하고 치료의 마지막 단계에서는 치아들을 조절하는 것이 중요하므로 교정초기에 사용하는 원형 교정선에서 낮은 마찰력을 나타내고 치료 마지막에 사용하는 각형 교정선에서는 높은 마찰력을 나타내는 자가결찰 브라켓이 유리할 것으

로 사료된다. 심미형의 브라켓에서는 polycrystalline 세라믹 브라켓이나 세라믹과 합성된 플라스틱 브라켓보다는 monocrystalline 세라믹 브라켓이나 금속 슬롯이 포함된 플라스틱 브라켓의 마찰력이 낮으므로 치아이동단계에서는 더 좋은 결과가 나타날 수 있으며 고정원의 소실을 원하지 않는다면 구치부위의 고정원을 보강하는 것이 유리할 것으로 사료된다.

여러 종류의 교정선의 마찰력에 관한 연구에서는 표면이 활택한 SS 교정선보다 표면이 거친 NiTi 교정선이나 Cu-NiTi 교정선이 더 큰 마찰력을 보이거나 교정선의 재질에 따른 마찰력의 차이는 표면 거칠기와는 무관하다고 보고하였다.<sup>16)</sup> Brady<sup>5)</sup>는 Cu-NiTi는 구리성분으로 인하여 다른 교정선보다 마찰력이 낮아서 브라켓내의 활주운동이 용이하다고 하였다. Garner 들<sup>17)</sup>은 실험을 통해 원형호선에서보다 각형호선에서 마찰력이 더 크다고 보고하였으며 이것은 사각형 교정선에서 실제 접촉 면적이 증가하기 때문이라고 설명했다. 본 실험에서는 SS 교정선이 NiTi 교정선이나 Cu-NiTi 교정선보다 마찰력이 적었으며 원형 교정선이 각형 교정선보다 적었다. 그러므로 마찰 역학으로 치아 이동시에는 주교정선으로 SS 교정선을 사용하여 브라켓과 교정선 사이의 마찰력에 의하여 고정력이 감소되는 것을 최소한으로 하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 최근 Cu-NiTi를 이용하여 leveling과 치아이동을 동시에 해결하려는 시도는 과도한 마찰력을 유발하여 오히려 고정원의 소실을 초래할 것으로 사료된다.

결찰재의 종류에 따른 마찰력의 비교연구에서 Thurow<sup>18)</sup>은 스테인레스 강 결찰선이 더 큰 강도를 가지므로 탄성모듈 결찰시보다 걸림 또는 정지운동이 빈발될 수 있어 스테인레스 강 결찰이 더 큰 마찰력을 나타낸다고 하였고, Riley 들<sup>19)</sup>도 단단하게 결찰한 금속 결찰이 구강 내에서 부식의 가능성이 있기 때문에 마찰력을 크게 형성한다고 하였다. 반면 Echols<sup>20)</sup>는 탄성모듈 결찰이 걸리는 힘을 발휘하므로 치아를 활주 이동시키기에는 불리하며 탄성모듈 결찰시 교정선이 굵을수록 더 큰 마찰력을 나타낸다고 하였으며, Omana 들<sup>21)</sup>도 스테인레스 강 결찰선이 더 낮은 마찰력을 나타낸다고 하였다. Edward 들<sup>22)</sup>은 탄성모듈 결찰과 스테인레스 강 결찰 사이에 유의한 차이가 없다고 발표하였다. 이처럼 연구결과가 일정하지 않은 것은 각 실험마다 실험재료, 실험방법 그리고 결찰방식에 따른 다양성 때문인 것으로 생각된다. Omana 들<sup>21)</sup>도 부드러운 금속 결찰선을 사용할 때 아무리 균일하

게 결찰하려는 노력을 하더라도 발생하는 마찰력은 다양하다고 하였다. 본 실험에서는 스테인레스 강 결찰의 마찰력이 탄성모듈에서 보다 높게 나타났다. 본 실험의 결과로 결찰방식을 적용할 때 활주이동을 할 부위는 마찰력이 작은 결찰법을, 다른 치아를 이동시키기 위한 고정원으로 사용되는 치아에서는 보다 큰 마찰력을 나타내는 결찰법을 이용함으로써 원하는 효과를 증대시키는 것이 바람직하다고 생각된다<sup>23)</sup>.

건조환경과 타액 환경에서의 마찰력의 차이에 대한 연구들에서도 다양한 결과가 발표되었다. Kusy 들<sup>24)</sup>은 브라켓과 교정선 사이의 결찰력의 크기에 따라 타액의 역할이 달라진다고 주장하였는데 결찰력이 약할 때에는 타액이 윤활제로 작용하는 반면 결찰력이 강할 때에는 브라켓과 교정선 사이의 미끄럼 운동에 대해 저항을 발생시켜 마찰력을 증가시킨다고 하였다. Pratten 들<sup>25)</sup>은 금속 브라켓에 SS 교정선인 경우 건조환경에 비해 타액환경에서 마찰력이 최대 35%증가를 보인다고 보고하였다. 본 실험에서는 타액이 마찰력을 증가시키는 것으로 나타나서, 교정치료를 환자들의 구강은 타액환경이므로 건조환경보다 마찰력이 증가한다는 것을 고려하여야 할 것으로 사료된다. 타액 환경에서 한가지 고려해야 할 요소는 타액에 의한 금속의 부식현상으로 시간이 경과함에 따라 브라켓과 교정선의 표면부식에 의해 마찰력이 증가할 것으로 사료된다.

브라켓 간의 offset을 부여하여 마찰력을 실험한 결과 마찰력이 크게 증가하였는데 이는 브라켓 슬롯간의 이동방향이 일치하지 않고 각도를 이루게 됨으로써 브라켓과 교정선 사이의 교정력이 증가하여 나타난 결과이다. Frank와 Nikolai<sup>26)</sup>는 브라켓간의 각도가 변함에 따라 마찰력이 비 직선적으로 증가한다고 하였고, Ogata 들<sup>27)</sup>은 0.75 mm에서 1.0 mm이하의 각도에서는 직선적으로 증가하나 그 이상일 경우에는 비 직선적으로 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 NiTi 교정선이나 Cu-NiTi 교정선에서 마찰력이 증가하였고 강도가 가장 강한 SS에서의 마찰력은 측정 범위를 벗어날 정도였다.

브라켓간 거리에 의한 마찰력의 차이에 대해서 Creekmore<sup>28)</sup>는 브라켓간 거리가 증가할수록 교정선의 탄성이 증가하며 치아이동의 양은 교정선의 크기보다 브라켓간 거리에 영향을 받는다고 하였고 Frank와 Nikolai<sup>26)</sup>는 브라켓간 거리는 마찰력에 큰 영향을 미치지 않는다고 주장하였다. 브라켓간 거리의 변화에 대한 마찰력의 차이는 교정선의 재질에 따라

차이가 나서 브라켓간 거리가 감소하면서 SS 교정선에서는 마찰력이 유의하게 변화하지 않았으나, NiTi 교정선의 경우는 유의하게 증가하였으므로 발치공간을 폐쇄하는 단계에서는 NiTi 교정선보다 SS 교정선의 사용이 바람직하다고 사료된다. 브라켓간의 거리가 짧아지는 경우 약간의 브라켓간의 배열의 차이가 나더라도 수직항력이 급격하게 증가하므로 NiTi의 마찰력증가는 브라켓을 부착할 때 나타난 오차일 수 있으며 좀더 연구가 필요하리라 사료된다.

교정선의 이동속도에 따른 마찰력의 차이에 대해서는 Kusy와 Whitley<sup>29)</sup>는 SS 교정선과 NiTi 교정선에서는 마찰력과 이동속도는 무관하다고 하였으며 Ireland 들<sup>30)</sup>도 이동 속도가 0.5, 1, 5 mm/min으로 변화해도 마찰력은 차이가 없다고 하였다. 본 실험에서는 이동속도에 따른 마찰력의 비교에서 차이가 없어 위 학자들의 연구 결과와 일치하였다.

교정치료는 장기간 치료를 요하며 치료시기에 따라서 요구하는 생체역학이 다르므로 상황에 따라 재료를 선택하는 것이 중요하며 새로운 재료들에 대해서는 향후 더욱 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

마찰력에 관련된 브라켓의 종류, 교정선의 재질과 형태, 결찰방법의 차이, 건조환경과 타액환경의 차이, 브라켓간 offset의 차이, 브라켓간의 거리, 이동속도 등에 따른 마찰력의 변화를 비교, 분석하여 각 요소들간의 관계를 알아보기 위해 0.018" x 0.025"인 8종류의 상악 견치와 상악 제2 소구치용 브라켓을 슬라이드 위에 부착시키고 0.016" 원형 및 0.016" x 0.022" 사각형 스테인레스 스틸 교정선과 같은 크기의 NiTi 교정선 및 Cu-NiTi 교정선을 이용하여 서로 다른 조건에서 Instron으로 마찰력을 측정된 후 다음의 결과를 얻었다.

1. 브라켓의 종류에 따른 마찰력의 차이는 Polycrystalline 세라믹 브라켓인 Allure의 평균 마찰력이 가장 높게 나타났고, 세라믹과 합성된 플라스틱 브라켓인 Vogue, 금속 브라켓인 Mini-Twin, 금속 슬롯을 갖는 플라스틱 브라켓인 Elan, monocrystalline 세라믹 브라켓인 Starfire, single 브라켓인 Lewis/Lang, 자가결찰 브라켓인 SPEED의 순으로 감소하였으며, frictionless 브라켓인 Shoulder의 평균 마찰력이 가장 낮았다. 자가결찰 브라켓은 원형 교



정선에서는 낮은 마찰력을 나타냈고, 사각형 교정선에서는 높은 마찰력을 나타냈다.

2. 교정선 재질에 따른 평균마찰력은 스테인레스 스틸 교정선이 다른 교정선들에 비해 통계학적으로 유의하게 낮았으며, NiTi 교정선, Cu-NiTi 교정선 순으로 평균 마찰력이 높았다. 교정선의 형태에 따른 마찰력은 원형 교정선의 평균마찰력이 각형 교정선보다 낮았다.
3. 본 연구에서 스테인레스 강으로 결찰했을 때의 평균마찰력이 탄성모듈로 결찰했을 때에 비해 모든 조건에서 통계학적으로 유의하게 높았다.
4. 건조환경에서의 금속 브라켓에 스테인레스 스틸 교정선, NiTi 교정선 및 Cu-NiTi 교정선의 평균마찰력은 타액환경에서보다 유의하게 낮았다.
5. 브라켓간 offset이 증가함에 따라 평균마찰력은 유의하게 증가하였다.
6. 브라켓간 거리의 변화에 대한 마찰력의 차이는 교정선의 재질에 따라 차이가 나며, 스테인레스 스틸 교정선은 브라켓간 거리가 감소할 때 마찰력이 유의하게 변화하지 않았으나, NiTi 교정선의 경우는 유의하게 증가하였다.
7. 브라켓내의 교정선의 이동속도에 따라 마찰력은 유의하게 변화하지 않았다.

이상의 결과로 볼 때 교정 치료동안 적정 교정력을 유지하기 위해 자가결찰 브라켓, 스테인레스 스틸 교정선과 탄성모듈결찰법을 사용하는 것이 유리하며, 치료시기에 따라서 요구하는 마찰력이 다르므로 상황에 따라 재료를 선택하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. Tidy DC. Frictional forces in fixed appliances, Am J Orthod 1989; 96(3) : 249-54
2. Angolkar PV, Kapila S, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys, Am J Orthod Dentofac Orthop 1990; 98(6) : 499-506
3. Karamouzou A, Athanasiou AE, Papadopoulos MA. Clinical characteristics and properties of ceramic brackets : A comprehensive review, Am J Orthod Dentofac Orthop 1997; 112(1) : 34-40
4. Hershey HG. The orthodontic appliance : Esthetic consideration, J Am Dent Asso 1987; 93 : 346-8
5. Brady PB. Clinical applications of copper NiTi, Clinical impressions Ormco Corp. 1994 : (3) : 8-9
6. Sachdeva RCL. Variable transformation temperature orthodontics, Clinical impressions Ormco Corp. 1995 : (4) : 8-9
7. Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction, Angle Orthod 1991; 61(4) : 285-90
8. Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires, Am J Orthod Dentofac Orthop 1991; 100(6) : 513-22
9. Keith O, Jones SP, Davies EH. The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets, Br J Orthod 1993; 20(2) : 109-15
10. Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and archwires, Am J Orthod Dentofac Orthop 1994; 106(2) : 131-8
11. Downing A, McCabe JF, Gordon PH. A study of frictional forces between orthodontic brackets and archwires, Br J Orthod 1994; 21(4) : 349-57
12. Saunders CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets, Am J Orthod Dentofac Orthop 1994; 106(1) : 76-87
13. Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets, Am J Orthod Dentofac Orthop 1997; 112(2) : 138-44
14. Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems, Am J Orthod Dentofac Orthop 1994; 106(5) : 472-80
15. Berger JL. The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement : a comparative in vitro study, Am J Orthod Dentofac Orthop 1990; 97(3) : 219-28
16. Kusy RP, Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems, J Biomech. 1990; 23(9) : 913-25
17. Garner LD, Allai WW, Moore BK. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise archwire, Am J Orthod 1986; 90(3) : 199-203
18. Thurow RC : Letter. Elastic ligatures, Am J Orthod 1975; 67(6) : 694
19. Riley JL, Garrett SG, Moon PC. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets, J Dent Res 1979; 58 : A21
20. Echols PM. Elastic ligatures : binding and anchorage taxation, Am J Orthod 1975; 67(2) : 212-20
21. Omana HM, Moore RN, Bagdy MD. Frictional properties of metal and ceramic brackets, J Clin Orthod 1992; 26 : 425-32
22. Edwards GD, Davies EH, Jones SP. The ex vivo effect of

- ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel brackets and archwires, *Br J Orthod* 1995 : 22(2) : 145-53
23. 신현정, 권오원, 김교한 : 결합양식이 교정용 브라켓과 교정선 사이의 마찰력에 미치는 영향, *대치교정지* 1998 : 28 : 813-23
24. Kusy RP, Whitley JQ, Prewitt MJ. Comparison of the frictional combinations for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states, *Angle Orthod* 1991 : Winter, 61(4) : 293-302
25. Pratten DH, Popli K, Germane N, Gunsolley JC. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990 : 98(5) : 398-403
26. Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and archwire, *Am J Orthod* 1980 : 78(6) : 593-609
27. Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha PK, Cirrrier GF. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections, *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1996 : 109(5) : 535-42
28. Creekmore TD. The importance of interbracket width in orthodontic tooth movement, *J Cl Orthod* 1976 : 10(7) : 530-4
29. Kusy RP, Whitley JQ. Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system, *Dent Mat* 1989 : 5(4) : 235-40
30. Ireland AJ, Sherriff M, McDonald F. Effect of bracket and wire composition on frictional forces, *Eu J Orthod* 1991 : 13(4) : 322-8

- ABSTRACT -

## Evaluation of frictional forces between orthodontic brackets and archwires

Tae-Jong Jeong, Mok-Kyun Choie

*Department of Orthodontics, College of Medicine, The Catholic University of Korea*

The purpose of this study was to amount of the frictional forces with the brackets and wires, ligation methods, dry/wet, offsets, interbracket distances, velocity and to compare them each other by different conditions.

This study tested 0.018"×0.025" slot sized 8 types of orthodontic bracket systems and 0.016", 0.016"×0.022" sized stainless steel, NiTi, Cu-NiTi orthodontic wires. One cuspid bracket were positioned on the slide glass and archwire was engaged into bracket and ligated with elastomeric modules. The values of frictional forces were measured with the Instron universal testing machine.

The results were as follows:

1. Polycrystalline ceramic bracket had the highest mean frictional forces and followed and by ceramic reinforced plastic bracket, metal bracket, plastic bracket with metal slot, monocrystalline ceramic bracket, single bracket, self-ligating bracket, friction free bracket in descending order. The self-ligating bracket showed low frictional forces in the round wires and high frictional forces in the rectangular wires.
2. Stainless steel wires had the least frictional forces and followed by NiTi, Cu-NiTi wires in descending order. Round wires had lower frictional forces than that of rectangular wires.
3. The stainless steel ligation method had significantly greater mean frictional forces than the elastomeric module ligation method.
4. Artificial saliva statistically increased the frictional forces in stainless steel wire, NiTi wire and Cu-NiTi wire.
5. There was a statistically significant difference with offset change.
6. There was no statistically significant difference with interbracket distance in stainless steel wires but a significant difference in NiTi wires as the interbracket was decreased.

7. There was no statistically significant difference with velocity change.

From the above findings, self-ligating bracket, stainless steel wires and the elastomeric module ligation method might be effective than any other materials to reduce the frictional forces in the orthodontic treatment and can be correlated to clinical situations seen in orthodontic patient care.

KOREA. J. ORTHOD. 2000 : 30(5) : 613-23

※ **Key words** : Frictional forces. Bracket. Archwire