

## 브라켓 각도 변화에 따른 세라믹 브라켓의 마찰력 측정

차정열<sup>a</sup> · 김경석<sup>b</sup> · 김동춘<sup>c</sup> · 황충주<sup>d</sup>

최근 사용되고 있는 세라믹 브라켓의 마찰력을 측정하고 비교하고자 실험군으로 3종의 세라믹 브라켓(Crystalline V<sup>®</sup>, Tomy, Tokyo, Japan; Clarity<sup>®</sup>, 3M Unitek, CA; Inspire<sup>®</sup>, Ormco, CA)을 사용하였으며 대조군으로 컴퍼짓 레진 브라켓(Spirit<sup>®</sup>, Ormco, CA)과 메탈브라켓(Kosaka<sup>®</sup>, Tomy, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 활주 시 마찰력은 4개의 브라켓-교정선 경사(0°, 5°, 10°, 15°)에서 각각 측정되었으며 두 종의 교정선 [1. 스테인레스 스틸(Stainless Steel, SDS Ormco, Glendora, CA), 2. 베타-타이타늄(TMA, SDS Ormco, Glendora, CA)]이 사용되었다. 22 mil 브라켓을 만능시험기에 부착한 후 .021 × .025 크기의 교정선에 고무결찰한 후 34°C의 건조상태에서 5 mm/min 속도로 교정선을 활주시켰다. TMA 교정선은 스테인레스 스틸 교정선보다 높은 마찰력을 발생시켰으며 모든 브라켓 호선과의 조합에서 브라켓-교정선의 각도가 증가함에 따라 정적, 동적 마찰력이 증가하였다. 0° ~ 5° 구간에서 마찰력의 크기는 스테인레스 스틸 교정선과 레진 브라켓 조합이 가장 낮게 측정되었으며 다음으로 Crystalline V, 금속 브라켓, Clarity, Inspire의 순으로 나타났다. TMA 교정선에서는 Crystalline V와의 조합이 가장 낮은 마찰력을, 다음으로 컴퍼짓 브라켓, Clarity, 금속 브라켓, Inspire 순으로 나타났다. 5° 이상에서 마찰력이 급격하게 증가하였으며 스테인레스 스틸 교정선에서 레진 브라켓, Clarity, Crystalline V, 금속 브라켓, Inspire 순으로 나타났다. TMA 교정선에서는 레진 브라켓, Crystalline V, Clarity, Inspire, 금속 브라켓 순으로 나타났다. 이때 호선 브라켓 조합에 대한 마찰력은 일반적으로 증가하였으나 마찰력 증가율의 차이로 인해 그룹간 마찰력의 순위가 서로 뒤바뀌는 경우가 관찰되었다. 실리카-삽입 세라믹 브라켓은 기존의 세라믹 브라켓보다 낮은 마찰력을 보여줄 뿐 아니라 브라켓-교정선의 경사도의 증가에서도 비교적 낮은 마찰력 증가율을 나타내어 세라믹 브라켓의 높은 마찰력을 감소시키는데 큰 역할을 할 수 있다고 생각된다.

( 주요 단어: 마찰력, 세라믹 브라켓, 브라켓 경사도 )

## 서 론

<sup>a</sup> 연구강사, <sup>b</sup> 수련의, <sup>c</sup> 대학원생, 연세대학교 치과대학 교정학교실.

<sup>d</sup> 교수, 연세대학교 치과대학 교정학교실, 두개안면기형 연구소 연구원, 구강과학 연구소 연구원.

교신저자: 황충주

서울특별시 서대문구 신촌동 134번지

연세대학교 치과대학 교정학교실 / 02-2228-3106

hwang@yumc.yonsei.ac.kr

원고접수일: 2005년 7월 4일 / 원고최종수정일: 2005년 12월 9일

/ 원고채택일: 2005년 12월 11일

"본 논문은 2004년 연세대학교 학술연구비에 의해 수행되었음"

환자의 심미적인 요구도가 증가하면서 교정영역에서도 세라믹 브라켓이나 레진 브라켓의 사용이 증가되고 있다. 그러나 세라믹 브라켓의 높은 저항계수 때문에 임상가들은 브라켓 사용을 고민해온 것이 현실이었다.<sup>1-6</sup> 세라믹 브라켓의 거친 표면양상 뿐 아니라 세라믹 슬롯상의 알루미늄이 교정선의 표면에 쉽게 달라붙는 화학적 특징이 보고된 바 있기 때문이다.<sup>7</sup> 높은 마찰력은 브라켓의 탈락을 일으킬 수 있으며 교

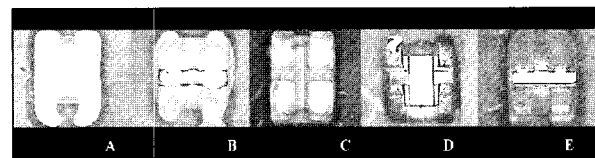
**Table 1.** Prescription of tested bracket (unit; inch)

Appliance	Material	Slot type	Bracket width	Slot width
Crystalline V	Polycrystalline ceramic	Silica inserted	0.1209	0.0244
Clarity	Polycrystalline ceramic	Metal inserted	0.1185	0.0243
Inspire	Monocrystalline ceramic	Ceramic	0.0975	0.0245
Kosaka	Metal	Metal	0.0956	0.0252
Spirit	Composite resin	Metal inserted	0.1021	0.0228

정 시 가해지는 힘을 12%-60%까지 상쇄시킬 수 있기 때문에 교정치료 시 최적의 힘을 부여하는데 어려움을 줄 수 있다.<sup>8-9</sup>

이런 마찰력에 대한 문제점을 개선하고자 세라믹 브라켓에 금속 슬롯을 삽입하여 세라믹 브라켓의 심미성과 메탈 브라켓의 낮은 마찰력의 특징을 조합한 브라켓이 개발되었으며, 또한 물리적으로 슬롯의 표면을 광택시키고 슬롯의 날을 부드럽게 형성시켜줌으로써 마찰력을 감소시킨 산화 지르코늄 브라켓이 개발되었다.<sup>10-12</sup> 최근에는 세라믹 브라켓의 슬롯을 실리카로 코팅하여 마찰력을 감소시킨 제품이 소개되었다.

브라켓의 마찰력의 측정실험에 있어 치아가 호선 상에서 이동되는 것을 실험실 상에서 기계적으로 재현하는 데는 여러 어려움이 있으며 서로 다른 실험 조건들 때문에 세라믹 브라켓의 마찰력 측정에 대한 다양한 결과들이 보고되었다. 이전의 세라믹 브라켓에 대한 마찰력 연구에서는 브라켓 슬롯상에 평행하게 호선을 이동시켰을 때 발생하는 마찰력을 측정하였으나 실제로 치아는 슬롯에 평행하게 이동하기보다는 경사와 직립을 반복하며 이동하게 된다.<sup>13-14</sup> 이미 Peterson과 그의 동료들<sup>15</sup>은 브라켓과 교정선간에 경사(0° ~ 10°)를 부여하여 금속브라켓과 NiTi와 스테인레스 스틸 교정선간의 마찰력의 변화 추이를 관찰한 바 있으며, 최근 Redlich 등<sup>16</sup>은 자가결찰브라켓 등 마찰력을 감소시키고자 개발된 금속브라켓에서 Nishio와 그의 동료들<sup>17</sup>은 세라믹 브라켓에서 각각 다양한 크기와 종류의 교정선에 경사도(0° ~ 10°)를 부여하여 마찰력의 변화추이를 보고하였다. 그러나 이전의 연구들은 제한적인 경사도 범위와 간격 등에 의해 마찰력과 경사도간에 구체적인 관계를 설명하지 못하였으며 다만 경사도의 증가와 함께 마찰력도 증가한다는 사실에 의견의 일치를 보았다.<sup>15-17</sup>



**Fig 1.** Tested brackets. A, Crystalline V; B, Clarity; C, Inspire; D, metal; E, resin composite.

반면 Thorstenson과 Kusy<sup>18-21</sup> 및 Kusy와 Whitley<sup>22</sup>는 브라켓과 호선 사이의 여유공간이 없어지고 마찰력이 증가하는 임계경사도를 계측하여 마찰력과의 상호관계를 구체적으로 설명하였다.<sup>18-22</sup> 그의 가상적인 측정시험에 의하면 브라켓과 호선상의 결속(binding)이 일어나는 임계경사도는 호선과 브라켓의 서로 다른 조합들을 고려할 때 3.7° 이내에 일어나며 그 이상의 경사에서는 결속(binding)과 홈(notch)이 발생하면서 마찰력이 급격하게 증가한다고 보고하였다.<sup>22</sup> 또한 임계경사도 이후의 마찰력의 증가 추이는 재료의 물리적 특성(roughness, hardness, yield strength, and modulus)에 영향을 받는다는 사실을 지적하였다.<sup>23-24</sup> 따라서 다양한 종류의 브라켓과 교정선과의 조합은 마찰력의 크기 뿐 아니라 브라켓 경사도의 증가에 따른 마찰력의 증가속도에도 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 최근 개발된 수종의 세라믹 브라켓의 마찰력을 측정하고자 브라켓-교정선간에 여러 단계의 각도들을 부여하여 제품간의 마찰력을 비교하였다.

### 연구재료 및 방법

본 실험에 사용된 브라켓은 5종으로써 실험군으로

Clarity (3M unitek, Monrovia, CA, USA), Inspire (Ormco, Orange, CA, USA)와 Crystalline V (Tomy International Inc., Tokyo, Japan)을, 대조군으로 메탈 브라켓(Kosaka, Tomy International Inc., Tokyo, Japan)과 컴퍼짓 레진 브라켓(Spirit, Ormco, Orange, CA, USA)을 이용하였으며 각각의 제품은 다음과 같이 그룹화하였다 (Fig 1, Table 1).

브라켓을 교정선에 대하여 일정 각도로 정확히 위치시키기 위해 특별히 제작된 알루미늄 블록기둥에 Transbond (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 사용하여 브라켓을 부착하였다. 알루미늄 기둥상에는 브라켓을 정확하게 위치시키기 위한 기준수평선과 수직선이 인기되어 있으며 블록은 특별히 제작된 음형 블록으로 들어가서 나사에 의해 고정될 수 있게 제작되었다. 이렇게 결합된 두 블록은 다시 만능시험기 (Universal Testing Machine, Instron 6002, Instron, High Wycombe, UK)에 고정된 이동블록에 부착되도록 하였다. 브라켓에 2차 경사(second-order angulations)를 부여하기 위해서 0°, 5°, 10°, 15°에 대한 각각의 음형블록을 제작하였으며 브라켓이 부착된 알루미늄 기둥이 일정각도로 삽입될 수 있도록 제작하였다. 10 cm의 교정선의 정중앙에 고무링 (Ormco, Orange, CA, USA)으로 결찰하여 브라켓에 고정시켰다. 실험용 교정선의 상부 절단부는 만능시험기의 tension load cell에 삽입시켰고 하단 절단부에는 150 g의 추를 스크루를 통해 고정시켰다 (Fig 2). 스테인레스 스틸 교정선은 .019 × .025 (Ormco, Orange, CA, USA)을 사용하였으며 TMA 교정선은 .019 × .025 (Ormco, Orange, CA, USA)을 사용하였다. 실험용 교정선이 브라켓 슬롯내에 수동적으로 삽입될 수 있도록 만능시험기에 부착된 이동블록이 좌후, 전후로 이동되도록 설계하였으며 만능시험기의 상단부의 교정선 부착부위에 회전용 링을 부착하여 교정선이 자연스럽게 회전하여 브라켓 슬롯내에서 토오크가 발생되지 않도록 고안하였다.

마찰력의 측정은 만능시험기를 이용하여 load cell 500 N, cross head speed 5 mm/min으로 10 mm씩 연장하였으며 연장 시 최대마찰력을 측정하여 정적마찰력으로 기록하였으며 동적마찰력은 1초 간격으로 20회 측정한 마찰력을 측정횟수로 나눈 평균값으로 계산하였다.

실험에 사용된 각각의 그룹에 대해 120개의 브라켓이 사용되었으며 .022 × .028 슬롯의 Roth prescription의 상악 소구치 브라켓을 선택하였다. 2중

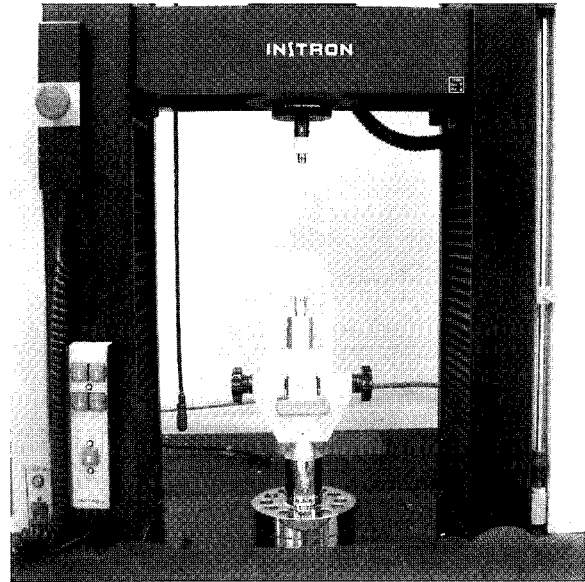


Fig 2. Testing machine, bracket-wire assembly, and force measuring equipment.

류의 철사에 대해 각각 20개씩 0°, 5°, 10°, 15°의 각도에서 마찰력을 측정하여 전체 800개의 브라켓이 이번 실험에 사용되었다. 매번 측정 시 브라켓과 호선의 마모효과를 배제하기 위해 호선 및 브라켓을 교체하면서 실험을 진행하였다. 모든 탄성 결찰은 동일인에 의해 이루어졌다.

#### 통계 처리

마찰력의 평균과 표준편차를 계산하였으며 교정선 재의 종류, 브라켓의 종류, 브라켓 경사도간의 교호관계를 분석하고자 3-way ANOVA로 검정한 후 각각의 브라켓-교정선 경사도 및 브라켓의 종류 별로 Tukey's studentized range test와 Duncan's multiple range test를 이용하여 마찰력의 순위를 분석하였으며 유의수준 5%에서 사후 검정하였다. 또한 동적, 정적마찰력간의 차이에 대해 independent t 검정을 시행하였다.

#### 연구결과

브라켓-교정선 경사도가 없는 경우 동적, 정적마찰력 비교

.019 × .025 스테인레스 스틸 교정선과의 평균마찰

**Table 2.** Kinetic and static friction force in grams for the 0.022-inch bracket (mean ± SD)

Wire	Type	Bracket	Degrees				SNK
			0°	5°	10°	15°	
SS							
	Kinetic						
		Crystalline (V)	120.2 ± 16.5	162.4 ± 27.5	215.6 ± 28.9	311.7 ± 34.4	0<5<10<15
		Clarity (C)	179.2 ± 30.3	233.0 ± 39.7	315.9 ± 51.6	382.1 ± 54.1	0<5<10<15
		Inspire (I)	199.7 ± 43.9	243.5 ± 60.2	513.0 ± 100.3	739.8 ± 111.9	0,5<10<15
		Metal (M)	149.5 ± 29.8	168.0 ± 31.5	304.8 ± 57.9	494.1 ± 54.2	0,5<10<15
		Resin (R)	103.3 ± 14.7	138.6 ± 49.1	210.9 ± 41.8	248.7 ± 58.4	0,5<10,15
		Tukey	R,V<M<C,I	M,R,V<C,I	R,V<C,M<I	R,V<C,V<M<I	
	Static						
		Crystalline (V)	159.5 ± 46.1	187.8 ± 57.0	269.1 ± 41.2	361.8 ± 47.7	0,5<10<15
		Clarity (C)	239.6 ± 49.4	304.2 ± 49.4	401.9 ± 57.4	441.2 ± 51.8	0<5<10,15
		Inspire (I)	248.8 ± 42.3	272.4 ± 47.3	559.6 ± 155.6	835.0 ± 281.1	0,5<10<15
		Metal (M)	176.8 ± 71.3	200.2 ± 35.5	330.0 ± 58.8	458.7 ± 174.9	0,5<10<15
		Resin (R)	133.5 ± 18.4	190.8 ± 70.4	205.2 ± 64.0	261.6 ± 98.3	0<5,10<15
		Tukey	R,V<C,M<I,C	V,M,R<C,I	R,V<V,M<M,C<I	R,V,C<C,M<I	kinetic>static
TMA							
	Kinetic						
		Crystalline (V)	189.7 ± 45.0	169.1 ± 33.5	273.7 ± 54.7	536.3 ± 63.0	0,5,10<15
		Clarity (C)	247.0 ± 53.3	280.5 ± 63.0	612.4 ± 67.3	660.1 ± 63.5	0,5<10,15
		Inspire (I)	371.0 ± 75.8	245.9 ± 74.6	588.2 ± 74.9	867.6 ± 108.8	0<5<10<15
		Metal (M)	568.2 ± 67.7	285.5 ± 48.9	568.2 ± 67.7	1028.3 ± 177.4	0,5<10<15
		Resin (R)	246.8 ± 52.3	213.3 ± 43.9	246.8 ± 52.3	327.0 ± 63.9	0,5,10<15
		Tukey	V,M,R<M,R,C<I	V,R<R,I<I,C,M	V,R<C,I,M	R<V<C<I<M	
	Static						
		Crystalline (V)	237.1 ± 57.9	209.8 ± 42.7	404.5 ± 56.5	693.2 ± 104.6	0,5<10<15
		Clarity (C)	281.4 ± 56.3	320.4 ± 54.4	701.1 ± 75.4	764.6 ± 87.6	0,5<10,15
		Inspire (I)	481.9 ± 57.1	294.2 ± 94.0	708.8 ± 113.2	1036.6 ± 169.4	0<5<10<15
		Metal (M)	293.4 ± 61.8	369.6 ± 81.9	698.9 ± 85.6	1187.9 ± 168.6	0,5<10<15
		Resin (R)	272.6 ± 56.2	313.8 ± 68.2	401.2 ± 78.2	622.6 ± 105.0	0,5<10<15
		Tukey	V,C,R<C,R,M<I	V<C,I,R<C,M,R	V,R<C,I,M	V,C,R<I,M	kinetic>static

Significance;  $p < 0.05$ . The SNK (Student-Newman-Keuls) rankings of the five brackets are also shown.

력 측정에서는 브라켓-교정선과의 경사가 0°인 경우 동적, 정적마찰력은 Inspire, Clarity, 금속 브라켓, Crystalline V, 레진 브라켓 순으로 크게 측정되었다. .019 × .025 TMA 교정선과의 평균마찰력 측정에서 정적마찰력은 Inspire, 금속 브라켓, Clarity, 레진 브라켓, Crystalline V 순으로 크게 측정되었으며 동적마찰력은 Inspire, Clarity, 금속 브라켓, 레진 브라켓,

Crystalline V 순으로 크게 측정되었고 금속과 레진 브라켓 간에 통계적인 유의성은 없었다 ( $p < 0.05$ ) (Table 2).

브라켓-교정선 경사도에 따른 동적마찰력 비교

스테인레스 스틸 교정선과 브라켓의 조합에서 브

라켓-교정선 경사도 0°와 5°를 제외하고 경사가 증가할수록 평균마찰력도 함께 증가하였으며 실험군 중에서 Inspire 브라켓의 증가도가 3.7배로(0°에서 199.7 gm, 15°에서 739.8 gm) 가장 높았다. 반면 Crystalline V 브라켓에서 2.6배로 가장 낮은 증가율(0°에서 120.24 gm, 15°에서 311.68 gm)을 보여주었다. 15°에서 평균마찰력은 레진 브라켓이  $248.7 \pm 58.4$  gm로 가장 낮았으며 세라믹 브라켓 그룹 중에서 Crystalline V이  $311.7 \pm 34.4$  gm로 가장 낮게, Inspire가  $739.8 \pm 111.9$  gm로 가장 높게 측정되었다 (Table 2).

TMA 교정선과 브라켓과의 조합에서는 Inspire와 Crystalline V을 제외한 다른 조합에서 브라켓과 교정선과의 경사가 증가할수록 평균마찰력의 증가를 관찰할 수 있었으며 Inspire와 Crystalline V에서는 브라켓-교정선 경사가 0°에서 5°로 증가하면서 평균마찰력이 반대로 감소하다가 증가하였으며 Inspire에서 같은 범위 내에서 통계적으로 유의한 감소가 일어났다 ( $p < 0.05$ ). 그룹 중에서 금속 브라켓의 증가도가 4.5배로(0°에서 568.2 gm, 15°에서 1028.3 gm) 가장 높았으며 레진 브라켓이 1.6배로(0°에서 246.8 gm, 15°에서 327.0 gm) 가장 낮게 나타났다. 세라믹 브라켓 그룹 중에서 Inspire가 2.3배로(0°에서 371.0 gm, 15°에서 867.6 gm) 가장 낮은 증가율을 보여주었으나 브라켓 경사도 15°에서 절대적인 마찰력은  $867.6 \pm 108.8$  gm로 세라믹 그룹 중 가장 높게 나타났고 Crystalline V이  $536.3 \pm 63.0$  gm로 가장 낮게 나타났다.

#### 브라켓-교정선 경사도에 따른 정적마찰력 비교

스테인레스 스틸 교정선과 브라켓 조합에서는 모든 그룹에서 브라켓-교정선과의 경사가 증가할수록 정적마찰력도 함께 증가하였다. 경사도 0° ~ 15° 사이에서 Inspire 브라켓의 마찰력 증가도가 3.3배로 (0°에서 248.8 gm, 15°에서 835.0 gm) 가장 높았으며 Clarity 브라켓은 1.8배로(0°에서 239.6 gm, 15°에서 441.2 gm) 가장 낮은 증가율이 관찰되었다. 브라켓-교정선 경사 15°에서 세라믹 브라켓 그룹 중 마찰력의 크기는 Crystalline V가  $361.8 \pm 47.7$  gm로 가장 낮게 측정되었으나 Clarity와의 마찰력의 크기에 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

TMA 교정선과 브라켓의 조합에서는 Inspire와 Crystalline V을 제외한 다른 그룹에서 브라켓-교정선 경사가 증가할수록 마찰력의 증가를 관찰할 수 있었

으나 Inspire와 Crystalline에서는 경사가 0°에서 5°로 증가하면서 평균마찰력이 감소하다가 증가하는 것이 관찰되었다. 경사도 0° ~ 15° 사이에서 메탈 브라켓의 마찰력 증가도가 4.1배(0°에서 293.4 gm, 15°에서 1187.9 gm)로 가장 높았으며 Inspire가 2.2배로(0°에서 481.86 gm, 15°에서 1036.6 gm) 가장 낮게 나타났다. 그러나 경사도 15°에서 평균마찰력의 크기는 레진 브라켓이  $622.6 \pm 105.0$  gm로 가장 낮게 측정되었으며 Clarity와 통계적으로 유의한 마찰력의 차이는 관찰되지 않았다.

## 고 찰

임상적으로 치아의 이동은 연속적인 치체이동보다는 정지와 이동을 반복하는 간헐적인 경사이동과 직립의 과정이므로 마찰력 측정 시 정적마찰력과 동적마찰력을 함께 측정하였다. 실험의 재현성을 높이기 위해 특별히 고안된 이중 블록을 제작하였으며 브라켓에 호선을 수동적으로 삽입시키기 위해 수동 호선 고정장치를 고안하였다. 또한 브라켓-교정선 경사를 부여할 때 교정선의 하부 절단부가 휘는 것을 감안하여 150 mg의 추를 달아 브라켓의 상부와 하부에 유사한 마찰력을 부여하고자 하였다. 이전의 마찰력 측정 실험에서는 주로 실험용 교정선의 한쪽 끝부분이 자유롭게 움직일 수 있는 cantilever 형태의 모델이 사용되었다. 그러나 치아가 교정력을 받아 이동할 때 호선은 전방부치아와 후방부치아에 의해 고정된 양상을 보여주므로 cantilever와 다른 기계적인 부하가 브라켓에 적용된다. 실제로, 실험용 교정선의 절단부에서의 거리에 따라 변형율에 변화가 일어났으며 중심부위에서는 양쪽이 고정된 실험모델에서 cantilever의 형태에 비해 8배정도 높은 힘이 발생된다고 보고된 바 있다.<sup>23</sup> 한편 브라켓 간격이 3-7 mm 정도라는 점을 감안할 때 이번 실험에서 사용된 10 cm 길이의 교정선은 현실과 먼 실험적인 조건이라고 볼 수 있다. 그러나 브라켓과 교정선간에 경사를 부여할 때 브라켓의 전방부와 후방부에 발생하는 수직력의 편차는 교정선의 이동에 따라 크게 증가할 수 있으며 이 때 브라켓에 삽입된 교정선에 미약한 토오크가 발생되더라도 마찰력이 크게 증가될 수 있다. 따라서 이번 실험조건은 이러한 변수를 용이하게 조절할 수 있도록 고안되었다. 따라서 현실적인 경우에는 더 큰 마찰력이 발생될 수 있다는 점을 감안해야 할 것이다. 또한 실험용 철사의 절단부를 고정시키지는 못하였지

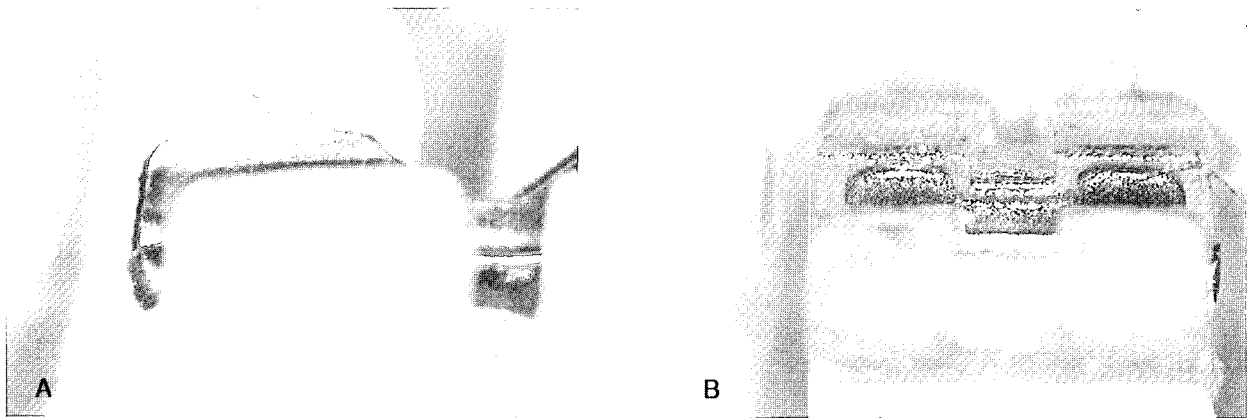


Fig 3. Magnified slot edge of metal inserted brackets. A, Clarity; B, Spirit.

만 일정무게의 추를 달아서 절단부 호선의 변형을 감소시켜서 실제로 양측 절단부를 고정시켰을 때의 효과를 보고자 하였다.

흥미롭게도 이전의 연구결과와 달리 다결정 세라믹 브라켓인 Crystalline V가 메탈 브라켓보다 낮은 마찰력을 보여주었으며 단결정 세라믹 브라켓인 Inspire에서 가장 높은 마찰력이 측정되었다. 호선과 브라켓들의 서로 다른 조합에 대한 마찰력의 연구에서 단결정, 다결정 브라켓은 화학적 활성도와 표면거칠기 때문에 금속 브라켓보다 높은 마찰력이 보고되어 왔다.<sup>2-6</sup> 이러한 문제점을 극복하고자 메탈 슬롯을 삽입한 세라믹 브라켓의 등장은 기존의 세라믹 브라켓의 마찰력을 감소시켰으나 여전히 금속 브라켓보다는 높은 마찰력을 나타내었다.<sup>11</sup> 이번 실험에서 다결정 세라믹 브라켓 슬롯내의 실리카 층과 둥글게 다듬어진 슬롯의 경계부위는 세라믹 브라켓의 마찰력을 크게 감소시키는데 도움을 주었다고 본다.

컴퍼짓 레진 브라켓은 브라켓과 교정선에 경사가 없을 시에 가장 낮은 마찰저항 값을 나타냈다. 컴퍼짓 레진 브라켓을 이용한 이전의 연구에서 결찰 방법에 따른 서로 다른 결과들이 보고되었다. Riley<sup>26</sup>는 강선 결찰의 힘으로 인하여 레진 브라켓의 변형이 일어날 수 있다고 언급하면서 탄성결찰보다는 강선결찰에서 높은 마찰력이 발생하였다고 보고한바 있다. 반면 Bazakidou 등<sup>25</sup>과 Kemp<sup>29</sup>는 결찰방법에 불구하고 컴퍼짓 레진 브라켓에서 금속 브라켓보다 낮은 마찰력을 보고한바 있으며 Weiss<sup>28</sup>는 컴퍼짓 레진 브라켓이 세라믹 브라켓에 비해 낮은 마찰력을 보고한 바 있다. 이처럼 레진 브라켓에 금속슬롯이 있더라도 금속 브

라켓과 다른 마찰력의 크기를 나타내는 이유는 삼입된 금속슬롯의 표면거칠기의 양상이 주조형으로 제작된 금속 브라켓과 다르며, 슬롯내에 차지하고 있는 금속모형의 디자인에 기인한다.<sup>27</sup> 이번 실험에서 사용된 레진 브라켓에서도 슬롯내의 금속 부분이 세라믹 브라켓과 같이 슬롯의 경계부위까지 연장되어있지 않고 양끝부위는 레진으로 구성되어 있다는 사실이 밝혀졌다 (Fig 3). 브라켓-교정선간에 경사가 일어날 경우 실제로 레진부위가 교정선에 접촉하게 되며 금속보다는 레진의 물리적 성질이 마찰력에 영향을 주게 된다. 실제로 실험에 사용된 브라켓 중 레진 브라켓이 가장 작은 브라켓 슬롯 크기를 나타내었음에도 불구하고 금속 브라켓보다 낮은 마찰력이 관찰되었다.<sup>24-26</sup>

이전의 연구에서처럼 마찰저항은 브라켓-호선 경사도의 증가와 함께 증가하였다. 모든 그룹에 대해서 마찰력은 5° 경사도까지는 천천히 증가하다가 5°를 초과 시에는 급격하게 증가하였다. 이러한 양상은 TMA 교정선/브라켓 조합에서 더욱 잘 나타났다. 특히하게 평균마찰력의 증가율은 그룹에 따라 다르게 나타났으며 0°의 브라켓 경사도에서의 초기 마찰력의 크기에 영향을 받지 않았다. 예를 들어 Inspire/TMA 조합에서 0°의 브라켓 경사도에서 371.0 ± 75.8 gm으로 가장 높은 마찰저항을 발생한 반면 0° ~ 15°의 경사변화 시 2.3배로 가장 낮은 증가율(0°에서 370.9 gm, 15°에서 867.6 gm)이 측정되었다. 이와 일치하여 그룹간의 초기 마찰력간의 차이는 서로 다른 마찰력 증가율에 의해 줄어들어 결국에는 마찰력의 순위가 바뀌는 경우도 관찰되었다. 예를 들어 Clarity는 SS와

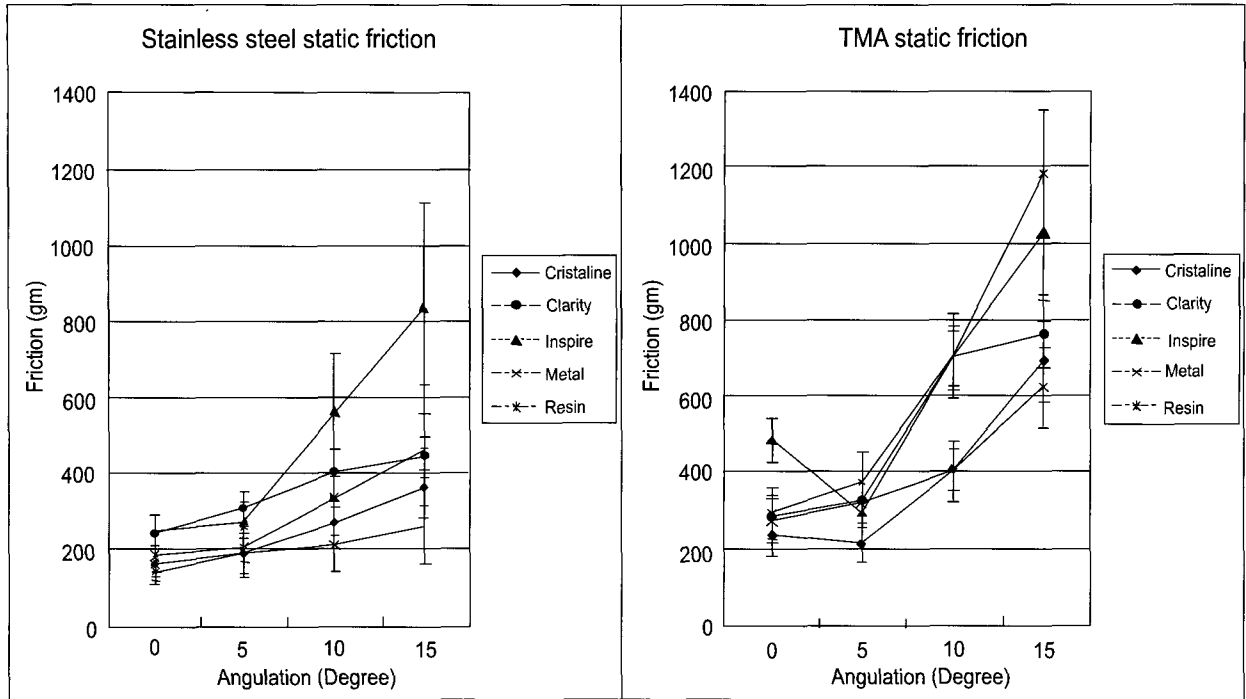


Fig 4. Static mean friction at 4 different angles (0°, 5°, 10°, 15°). Note graph showing the increase in friction with increased tipping angle. A, Static mean friction between stainless steel wire/bracket combinations; B, static mean friction between TMA wire/bracket combinations.

의 조합에서 5°의 경사도에서  $233.0 \pm 39.7$  gm 으로 금속 브라켓( $168.0 \pm 31.5$  gm)보다 높은 동적마찰력을 발생시켰으나, 15°의 경사도에서  $382.1 \pm 54.0$  gm 으로 금속 브라켓( $494.1 \pm 54.2$  gm)보다 낮은 동적 저항을 보여주었다. 브라켓-호선 경사도가 증가하면서 교정선 브라켓 간의 수직력이 발생하기 시작한다. 이 시기에 브라켓의 표면거칠기 뿐 아니라 결속(binding)이 마찰력에 영향을 주기 시작한다. Thorstenson과 Kusy<sup>21</sup>는 3°의 경사도를 초과하였을 때 브라켓-교정선간의 능동적인 배치(configuration)가 일어나기 시작하여 결속이 급격하게 일어나며 결국에는 마찰력이 100배가 넘게 증가하였다고 보고하였다. 서두에서 언급하였듯이 능동적인 배치 시의 마찰력 증가율은 브라켓과 교정선의 물리적 특징에 의해 영향을 받는다고 보고된 바 있다.

특별히 0° ~ 5°의 브라켓 경사도 구간의 TMA 교정선과 세라믹이나 컴퍼짓 레진 브라켓과의 조합에서 마찰력의 증가율은 스테인레스 스틸 교정선과의 조합에 비해 낮았다. 이런 양상은 Inspire/TMA 조합에서 전형적으로 나타났다 (Figs 4 and 5). 이러한 결

과는 Inspire/TMA 조합이 최소한의 경사가 일어나는 교정적 치아이동의 초기 단계에서 다른 세라믹 브라켓보다 낮은 마찰력의 증가도를 보여주지만 임계 경사도를 초과 시에는 바람직하지 않은 마찰력의 급격한 증가가 일어날 수 있다는 점에서 임상적으로 의미가 있다. 이러한 결과는 Thorstenson과 Kusy<sup>19</sup>의 연구와 유사하였다.

경사도의 변화에 대한 교정선 조합들간의 결속 감수성(Binding susceptibility)은 임상적용 시에 효율적인 치아이동 방법에 대한 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어 Inspire/SS 조합의 마찰력 증가율은 3.7배(0°에서 199.7 gm, 15°에서 739.8 gm)로 Inspire/TMA 조합의 2.7배(0°에서 371.0 gm, 15°에서 867.6 gm) 보다 높게 나타내었다. 이는 다른 세라믹 브라켓이 TMA 교정선과의 조합에서 높은 마찰력의 증가율을 보여주는 것과는 대조적인 결과였다. Articolo와 Kusy<sup>24</sup> 또한 브라켓 경사도의 증가에 따른 단결정 세라믹 브라켓이 TMA 교정선과의 조합에서 스테인레스 스틸 교정선과의 조합보다 낮은 마찰력의 증가율을 보고한 바 있다.

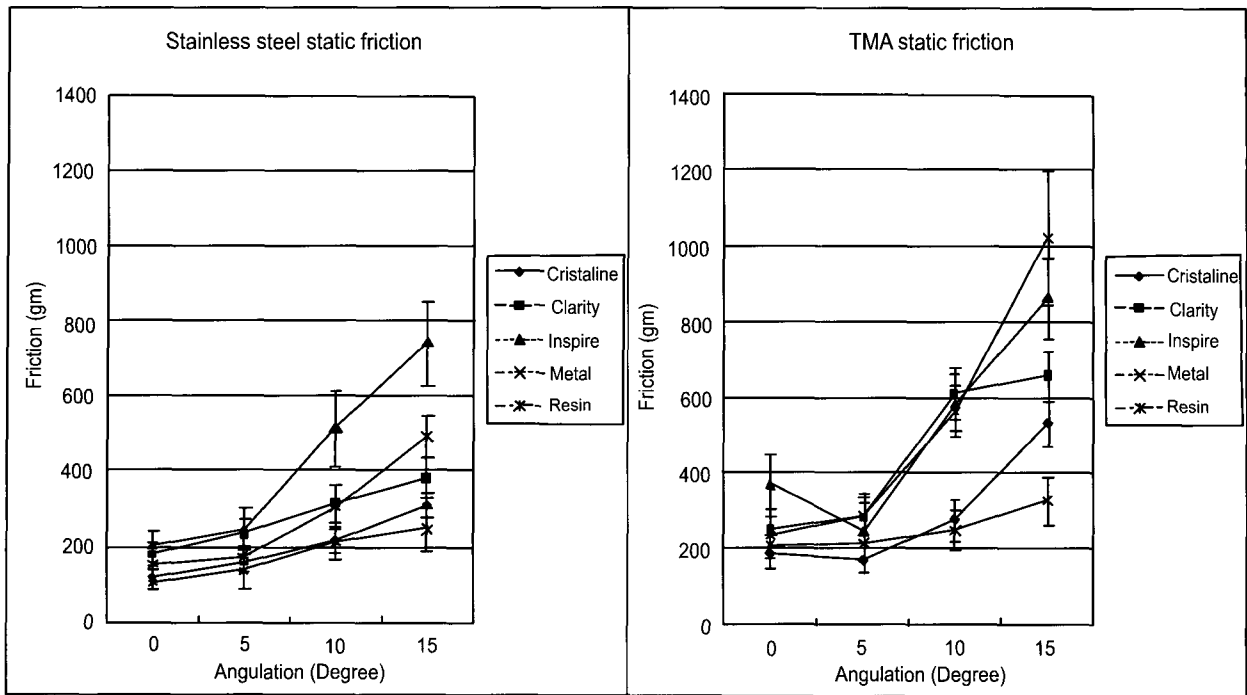


Fig 5. Kinetic mean friction at 4 different angles (0°, 5°, 10°, 15°). Note graph showing the increase in friction with increased tipping angle. A, Kinetic mean friction between stainless steel wire/bracket combinations; B, kinetic mean friction between TMA wire/bracket combinations.

이전의 연구에서 보고한 바와 같이 모든 브라켓 조합에서 정적마찰력은 동적마찰력보다 높게 측정되었다.<sup>31,32</sup> 그러나 두 마찰력간의 차이는 교정선의 종류에 따라 다르게 관찰되었다. TMA 교정선과 브라켓 조합에서 통계적인 유의성이 나타났던 반면, 스테인레스 스틸 교정선에서는 동적, 정적마찰력간의 차이가 줄어들었으며 몇몇의 브라켓 교정선과의 조합에서만 유의한 차이를 나타내었다. 이러한 양상은 측정시 다양한 범위의 편차범위에서 기인할 수 있지만, 실제로 정적 동적 마찰력의 차이가 스테인레스 스틸 교정선과 브라켓의 조합에서 적다고 판단할 수 있다. 그러므로 정적 또는 동적마찰력간의 유의한 차이가 치아의 이동에 임상적으로 어떤 영향을 미치는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

이번 실험은 연속적인 브라켓-교정선의 경사도를 응용하지 않았으므로 브라켓-교정선간의 임계각( $\theta$ )을 구하기보다는 임계각 주변에서의 브라켓의 마찰력의 변화를 제품별로 비교하고자 하였다. 임상적으로 3° ~ 5°에서의 영역에서 임계각( $\theta$ )이 존재하며 10°를 초과하는 브라켓-교정선 경사도에서는 이미 발

생된 홈에 의해 치아의 이동이 정지될 가능성이 있으므로 임상에 적용하기 힘든 조건이라고 볼 수 있다. 또한 세라믹 브라켓에 대한 마찰력 비교실험은 건조 환경인 실험실상에서 한 종류의 호선의 크기만으로 행해졌으므로 다양한 두께의 호선과 인공타액과 같은 계면제를 이용한 추가적인 실험이 요구된다.

### 결 론

실험군으로 3종의 세라믹 브라켓(1. Crystalline V<sup>®</sup>, Tomy International Inc., Tokyo, Japan, 2. Clarity<sup>®</sup>, 3M Unitek, Monrovia, CA, USA, 3. Inspire<sup>®</sup>, Ormco, Orange, CA, USA)을, 대조군으로 컴퍼짓 레진 브라켓(Spirit<sup>®</sup>, Ormco, Orange, CA, USA)과 금속 브라켓(Kosaka<sup>®</sup>, Tomy International Inc., Tokyo, Japan)을 사용하여 활주 시 4개의 브라켓-교정선 경사(0°, 5°, 10°, 15°)를 부여하여 마찰력을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 브라켓은 브라켓-교정선 경사도의 증가에



따라 유의성 있는 마찰력의 차이를 보여주었고 0°에서 5° 구간에서 마찰력의 크기는 스테인레스 스틸 교정선과 레진 브라켓 조합이 가장 낮게 측정되었으며 다음으로 Crystalline V, 금속 브라켓, Clarity, Inspire의 순으로 나타났다. TMA 교정선에서는 Crystalline V와의 조합이 가장 낮은 마찰력을 다음으로 컴퍼짓 브라켓, Clarity, 금속 브라켓, Inspire 순으로 나타났다.

2. 스테인레스 스틸 교정선에서 각각의 브라켓의 경사도가 증가할수록 마찰력도 함께 증가하였으며 5° 이후로 마찰력 증가도는 컴퍼짓 레진 브라켓, Clarity, Crystalline V, 금속 브라켓, Inspire 순으로 나타났다.
3. TMA 교정선에서 브라켓의 경사도 5°를 제외한 모든 경우에 마찰력이 함께 증가하였으며 5° 이후로 마찰력의 증가도는 컴퍼짓 레진 브라켓, Crystalline V, Clarity, Inspire, 금속 브라켓 순으로 나타났다.

새롭게 소개된 실리카 층이 포함된 세라믹 브라켓은 다른 세라믹 브라켓보다 교정선과의 마찰력이 낮았으며 금속 브라켓과 비슷한 정도의 마찰력을 발생하였다. 브라켓-호선 경사도의 증가에 따른 반응성에 있어서 금속 브라켓은 TMA 교정선에서 높은 반면 세라믹 브라켓에서는 종류마다 다른 반응성을 보여 주었다. 단결정인 Inspire 브라켓은 TMA 교정선에서, Clarity는 스테인레스 스틸 교정선에서 낮은 반응성을 보였으며 Crystalline V에서는 두 호선간에 유사한 마찰력의 증가도가 관찰되었다. 따라서 교정용 호선 적용 시 브라켓-교정선의 증가와 함께 결속에 대한 브라켓의 특성에 대한 인식이 요구된다. 이번 세라믹 브라켓에 대한 마찰력 비교실험은 건조환경인 실험실상에서 한 종류의 호선의 크기만으로 행해졌으므로 다양한 두께의 호선과 인공타액과 같은 계면제를 이용한 추가적인 실험이 요구된다.

#### 참 고 문 헌

1. Pratten DH, Popli K, Germane N, Gunsolley JC. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:398-403.
2. Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:513-22.
3. Ireland AJ, Sherriff M, McDonald F. Effect of bracket and wire composition on frictional forces. *Eur J of Orthod* 1991;13:322-8.
4. Kusy RP, Whitley JQ. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots, I: the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:300-12.
5. Springate SD, Winchester LJ. An evaluation of zirconium oxide brackets: a preliminary laboratory and clinical report. *Br J Orthod* 1991;18:203-9.
6. Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *Angle Orthod* 1991;61:285-90.
7. Saunders CR, Kusy RP. Surface modification methodologies for polycrystalline alumina: effects on morphology and frictional coefficients. *J Mater Sci: Mater in Med* 1993;4:422-30.
8. Kusy RP, Keith O, Whitley JQ, Saunders CR. Coefficient of friction characterization of surface-modified polycrystalline alumina. *J Am Ceram Soc* 1993;76:336-42.
9. Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Semin Orthod* 1997;3:166-77.
10. Dickson J, Jones S. Frictional characteristics of a modified ceramic bracket. *J Clin Orthod* 1996;30:516-8.
11. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:403-9.
12. Tanne K, Matsubara S, Hotei Y, Sakuda M, Yoshida M. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:273-8.
13. Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *Angle Orthod* 1991;61:285-90; discussion 291-2.
14. Yamaguchi K, Nanda RS, Morimoto N, Oda Y. A study of force application, amount of retarding force, and bracket width in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:50-6.
15. Peterson L, Spencer R, Andreasen G. A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. *Quintessence Int* 1982;13:563-71.
16. Redlich M, Mayer Y, Harari D, Lewinstein I. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:69-73.
17. Nishio C, da Motta AF, Elias CN, Mucha JN. In vitro evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:56-64.
18. Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:472-82.
19. Thorstenson GA, Kusy RP. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:361-70.
20. Thorstenson GA, Kusy RP. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod* 2003;73:418-30.
21. Thorstenson GA, Kusy RP. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:295-305.
22. Kusy RP, Whitley JQ. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. *Eur J Orthod* 1999;21:199-208.
23. Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G. Friction in perspective.

- Am J Orthod Dentofacial Orthop 1999;115:619-27.
24. Articulo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:39-51.
  25. Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:138-44.
  26. Riley JL. Evaluation of frictional forces with plastic and metal 0.022 × 0.028 edgewise brackets ligate with stainless steel ties and plastic modules. [Thesis] Richmond: Virginia Commonwealth University, School of Dentistry; 1977.
  27. 이원유, 임경수. 교정용 Resin bracket의 마찰 저항력에 관한 연구. *대치교정지* 1999;29:107-12.
  28. Weiss L. Frictional characteristics of esthetic bracket in sliding mechanics. [Thesis.] Toronto: Department of Orthodontics, University of Toronto; 1993.
  29. Kemp DW. A comparative analysis of frictional forces between self-ligating and conventional edgewise orthodontic brackets. [Thesis.] Toronto: Department of Orthodontics, University of Toronto; 1992.
  30. Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *Eur J Orthod* 2004;26:105-11.
  31. Kapur R, Sinha PK, Nanda RS. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:271-4.

- ORIGINAL ARTICLE -

## Evaluation of friction of ceramic brackets in various bracket-wire combinations

Jung-Yul Cha, DDS, MSD,<sup>a</sup> Kyung-Suk Kim, DDS, MSD,<sup>b</sup>  
Dong-Choon Kim, DDS,<sup>c</sup> Chung-Ju Hwang, DDS, MSD, PhD<sup>d</sup>

The purpose of this study was to measure and compare the level of frictional resistance generated from three currently used ceramic brackets; 1, Crystalline V<sup>®</sup>, Tomy International Inc., Tokyo, Japan; 2, Clarity<sup>®</sup>, 3M Unitek, Monrovia, CA, USA; 3, Inspire<sup>®</sup>, Ormco, Orange, CA, USA; with composite resin brackets, Spirit<sup>®</sup>, Ormco, Orange, CA, USA; and conventional stainless steel brackets, Kosaka<sup>®</sup>, Tomy International Inc., Tokyo, Japan used as controls. In this experiment, the resistance to sliding was studied as a function of four angulations (0°, 5°, 10°, and 15°) using 2 different orthodontic wire alloys: stainless steel (stainless steel, SDS Ormco, Orange, CA, USA), and beta-titanium (TMA, SDS Ormco, Orange, CA, USA). After mounting the 22 mil brackets to the fixture and .019 × .025 wires ligated with elastic ligatures, the arch wires were slid through the brackets at 5 mm/min in the dry state at 34°C. Silica-insert ceramic brackets generated a significantly lower frictional force than did other ceramic brackets, similar to that of stainless steel brackets. Beta-titanium archwires had higher frictional resistance than did stainless steel, and all the brackets showed higher static and kinetic frictional force as the angulations increased. When the angulation exceeded 5°, the active configuration emerged and frictional force quickly increased by 2.5 to 4.5-fold. The order of frictional force of the different wire-bracket couples transposed as the angle increased. The silica-insert ceramic bracket is a valuable alternative to conventional stainless steel brackets for patients with esthetic demands.

Korean J Orthod 2006;36(2):125-35

※ **Key words:** Friction, Ceramic bracket, Bracket angulation

<sup>a</sup> Fellow, <sup>b</sup> Resident, <sup>c</sup> Graduate Student, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University

<sup>d</sup> Professor, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, The Institute of Cranio-Facial Deformity, Oral Science Research Center, Yonsei University

Corresponding author: Chung-Ju Hwang

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, Shinchon-Dong 134, Seodaemun-Gu, Seoul 120-752, Korea

+82 2 2228 3106

hwang@yumc.yonsei.ac.kr

Received July 4, 2005; Last Revision December 9, 2005; Accepted December 11, 2005