

세라믹 브라켓의 종류 및 브라켓 슬롯과 와이어 각도에 따른 마찰 저항 차이

최 윤 정^a · 박 영 철^b

사회 문화적 발달과 함께 심미적 요구가 증가되면서 교정 환자 수의 증가와 함께 교정 치료 중의 심미성에 대한 요구도 늘어나고 있다. 치료 중 심미성을 증진시키기 위한 목적으로 세라믹 브라켓이 개발되어 널리 사용되고 있으나 세라믹 자체의 취성(brittleness), 대합치의 마모뿐만 아니라, 임상적으로 높은 마찰 저항이 그 문제점으로 지적되고 있다. 본 연구는 세라믹 브라켓의 마찰 저항을 알아보고 그 개선방안을 찾는 데 지침이 되고자 하는 목적으로 시행하였다. 연구 재료로는 마찰 저항을 줄이기 위해 금속 슬롯이 삽입된 다결정 세라믹 브라켓과 금속 슬롯이 삽입되지 않은 단결정 세라믹 브라켓과 금속 브라켓을 이용하였으며, .019 × .025 스테인리스 와이어를 브라켓 슬롯에 대해 0°, 10°의 각도를 부여하여 만능시험기상에서 이동시켜 그때의 정적, 동적 마찰력을 측정하였다. 연구 결과, 전체적인 평균 마찰력은 금속 브라켓, 금속 슬롯이 삽입된 다결정 세라믹 브라켓, 단결정 세라믹 브라켓 순으로 증가하였다. 브라켓 슬롯과 와이어 사이의 각도가 0°일 때가 10°일 때에 비해서 낮은 마찰 저항을 보였으며, 브라켓 슬롯과 와이어 사이의 각도가 10°일 때 단결정 세라믹 브라켓의 동적, 정적 마찰 저항은 금속 브라켓이나 금속 슬롯이 삽입된 다결정 세라믹 브라켓에 비해 유의성 있게 크게 나타났다 ($p < 0.05$). 본 연구를 통해서 금속 브라켓에 비해 세라믹 브라켓, 특히 금속 슬롯이 삽입되지 않은 단결정 세라믹 브라켓의 마찰 저항이 높은 것을 확인할 수 있었으며, 브라켓 슬롯과 와이어 간의 각도가 증가하면 마찰 저항도 커지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 마찰력을 줄이기 위한 세라믹 브라켓의 개발과 함께 교정 치료 시 과도한 치관 경사를 막음으로써 마찰 저항을 줄이고 심미성을 유지하면서 치료의 효율을 높이도록 해야 할 것이다.

(주요 단어: 세라믹 브라켓, 마찰 저항, 단결정, 다결정)

서 론

교정치료의 중요한 목표 중 하나로 심미성의 증진을 들 수 있다. 그러나 역설적으로 이러한 목표를 달성하기 위한 교정 장치는 비심미적이어서 환자로 하여금 교정치료를 꺼리게 하는 한 원인이 될 수 있다. 이런 한계를 극복하기 위한 방법의 하나로 plastic, ceramic bracket 등의 심미적 장치들이 개발되어 사용되고 있다. Ceramic bracket은 plastic bracket의 단점으로 지적되어 온 staining이나 slot distortion 등의

^a 대학원생, 연세대학교 치과대학 교정학교실.

^b 교수, 연세대학교 치과대학 교정학교실, 두개안면기형연구소, 구강과학연구소.

교신저자: 박영철

서울시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 치과대학 교정학교실 / 02-2228-3000

ypark@yumc.yonsei.ac.kr

원고접수일: 2005년 10월 27일 / 원고최종수정일: 2006년 4월

25일 / 원고채택일: 2006년 4월 27일

* 본 연구는 2005년도 연세대학교 학술연구비 및 두개안면기형 연구소 연구비에 의해서 이루어짐.

문제점을 개선하였지만, 임상적 사용에 있어서 ceramic 자체의 brittleness, debonding시의 의원성 범랑질 손상, 대합치 범랑질의 마모, 활주 역학 시의 높은 마찰 저항 등이 여전히 해결되지 않은 문제로 남아있다.

마찰력은 접촉해 있는 두 물체가 움직일 때 그 이동에 저항하는 힘을 말한다. 마찰력은 정적 마찰력과 동적 마찰력으로 구분되는데, 정적 마찰력은 정지되어 있던 물체를 움직이게 하기 위해 요구되는 최소한의 힘이고, 동적 마찰력은 일정한 속도로 다른 물체 위를 활주하는 물체에서 발생하는 마찰력을 극복하고 그 움직임을 유지하기 위해 필요한 힘을 말한다.

일반적인 교정 치료에서 치아 이동은 bracket slot 안에 wire를 결찰함으로써 이루어지는데, 이때 bracket slot과 wire 사이에서 마찰력이 발생하게 된다. 치아의 이동은 wire를 통해 치아에 가해지는 교정력이 치아이동을 저지하는 마찰력보다 커질 때 일어날 수 있으므로, 마찰력은 교정영역에서 치아 이동을 방해하는 요소라 할 수 있다. 따라서 치아이동을 위한 최적의 힘을 얻기 위해서는 마찰력을 최소화하는 것은 물론이고 bracket과 wire 사이의 마찰력을 이해하는 것이 요구된다.

Ceramic bracket은 제작 방법에 따라 aluminium oxide particles를 융합시키거나 소결시켜서 만든 polycrystalline bracket과 single crystal aluminium oxide를 절단하여 만든 monocrystalline bracket으로 구분된다. Single crystal sapphire는 polycrystalline alumina에 비해서 투명도 면에서 훨씬 더 우수한 심미성을 보인다. 그러나 ceramic의 높은 파절을 및 치료 중 적절한 접착 강도를 유지하면서 debonding시에는 범랑질의 손상을 최소화할 수 있는 접착 강도를 얻는 문제가 제기되어왔다. 반대로 polycrystalline bracket은 monocrystalline bracket에 비해 scratching 후 강도가 급격히 감소하지 않기 때문에 교정치료에서 사용하기에 더 적당하지만, single crystal sapphire에 비해 투명도가 떨어지는 문제와 bracket slot의 거친 표면과 wire 사이에서 발생하는 높은 마찰력이 단점으로 지적되어 왔다. 이런 마찰력을 줄이기 위해서 bracket 내부에 metal slot을 삽입하였으나 이로 인해 심미성은 더욱 감소되었다.

Tanne 등,¹ Thorstenson과 Kusy,² Cacciafesta 등³의 기존 연구에서는 metal bracket, metal slot이 삽입된 ceramic bracket (polycrystalline alumina), ceramic bracket (monocrystalline alumina)의 slot에

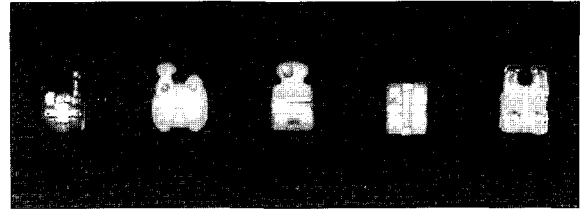


Fig 1. Tested brackets (from the left side): Metal, MSC1, MSC2, Ceramic1, Ceramic2 (Metal, Metal bracket (Kosaka); MSC, Metal slot inserted polycrystalline ceramic bracket (MSC1, Clarity; MSC2, Virage); Ceramic, Monocrystalline ceramic bracket (Ceramic1, Inspire Ice; Ceramic2, Miso).

평행하게 wire를 이동시켰을 때 발생하는 마찰력의 차이를 비교하였다. 그러나 실제 치아의 이동은 bracket slot 안에서 경사와 직립을 반복하면서 호선을 따라 이동하므로 bracket slot과 wire 간에 각도를 부여하였을 때의 마찰력을 알아보는 것이 더 큰 임상적 의의를 가진다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 교정 치료의 심미성을 증진시키기 위해서 개발된 여러 ceramic bracket에 일정 각도를 부여하여 치아의 견인 시 일반적으로 사용되는 stainless steel (SS) wire와 bracket slot 간의 마찰력을 측정함으로써, 교정적 치아이동을 위해 요구되는 최적의 힘을 예측하고 이를 치료에 효율적으로 이용하는 데 도움이 되고자 한다.

연구대상 및 방법

연구재료

두 종류의 metal slot이 삽입된 polycrystalline ceramic bracket과 두 종류의 monocrystalline ceramic bracket, 한 종류의 metal bracket이 사용되었다 (Fig 1). Metal slot이 삽입된 bracket으로 Clarity (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)와 Virage (American Orthodontics, Sheboygan, WI, USA)를 사용하였고, monocrystalline ceramic bracket으로 Inspire Ice (Ormco, Glendora, CA, USA)와 Miso (HT, Seoul, Korea)를, metal bracket으로 Kosaka (Tomy, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 각각의 bracket은 .022 × .028 slot의 상악 소구치용 bracket을 사용하였다. Wire로는 활주 역학에서 견인 시 사용되는 .019 × .025

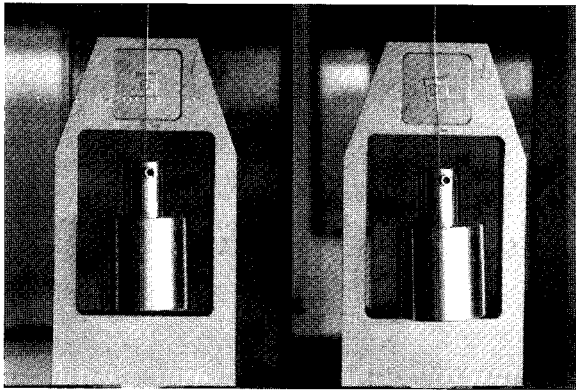


Fig 2. Tested bracket and wire assembly: Left, - 0° angulation between bracket slot and wire; Right, - 10° angulation between bracket slot and wire.

stainless steel wire (Ormco, Glendora, CA, USA)를 이용하였다. 결찰재로는 고무링 (Ormco, Glendora, CA, USA)을 사용하였다.

연구방법

시편 제작

각 군당 20개의 bracket을 특별히 제작된 알루미늄 블록에 접착하였다. 알루미늄 블록의 표면에 metal primer (Reliance, Reliance Orthodontic Products, Itasca, IL, USA)를 도포하고 1분간 기다린 뒤 bracket base와 알루미늄 블록에 Transbond XT primer (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 바르고 광중합기 (Flipo, Label France, Lyon Cedex, France)로 2초간 조사하였다. Bracket base에 Transbond XT paste를 바르고 알루미늄 블록에 접착시킨 뒤 4초간 bracket의 직상방에서 광중합기를 조사하여 광중합시켰다. 알루미늄 블록은 10 mm × 10 mm × 20 mm 크기의 사각기둥으로 bracket을 접착하는 면에는 중앙을 지나는 수평선과 수직선을 인기 하여 bracket 접착 시 slot과 블록의 수평선이 일치하도록 하였다.

시편 고정

Bracket이 접착된 알루미늄 블록은 더 큰 사각형의 블록(30 mm × 30 mm × 20 mm) 안에 양형블록으로 들어가서 나사에 의해 고정되도록 고안되었으며, 더 큰 블록은 중앙에 들어오는 양형블록과 이루는 각이

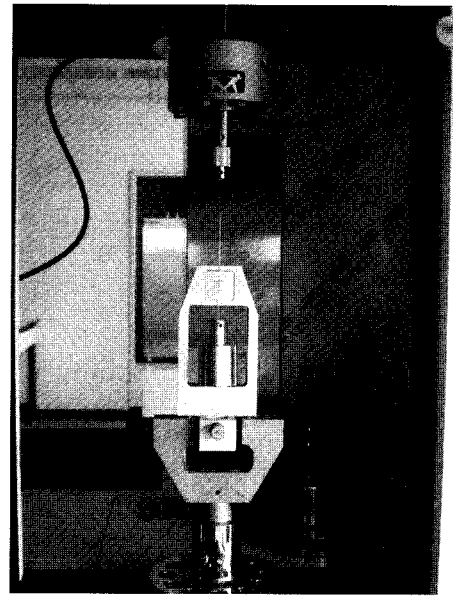


Fig 3. Universal testing machine to measure the frictional forces between the bracket slot and wire.

0°와 10°가 되도록 제작되었다. 이렇게 결합된 두 개의 block은 만능시험기 (Universal Testing Machine, Instron 3366, Instron, Norwood, MA, USA)에 고정된 이동식 고정틀에 나사에 의해 고정되도록 하였다 (Fig 2). 12 cm 길이의 .019 × .025 SS wire의 한쪽 끝부분을 만능시험기의 tension load cell에 삽입하고 반대편 끝은 150 gm의 추를 달고 나사로 고정시켰다 (Fig 3). Bracket slot이 양형블록의 수평선과 일치되도록 접착하였으므로 실험에서 의도한 bracket slot과 wire가 이루는 각도(0°, 10°)는 양형블록이 wire와 이루는 각도(0°, 10°)를 통해 재현될 수 있도록 하였다.

0° 조건의 실험에서 wire가 bracket slot안에 수동적으로 삽입되도록 하기 위하여, bracket이 접착된 알루미늄 블록은 이동식 고정틀 안에서 전후좌우로 움직일 수 있도록 제작되었다. 또한 만능시험기 상부의 wire가 삽입된 부위에는 회전될 수 있는 링을 추가하여 wire와 preadjusted prescription을 가진 bracket slot 사이에 발생할 수 있는 부가적인 torque의 발생을 배제하도록 하였다. Bracket slot안에 수동적으로 삽입되도록 위치를 조정된 wire는 bracket tie-wing에 고무링으로 결찰하였고, 매 실험 때마다 새 고무링으로 교체하였으며 동일인에 의해 실험이 진행되었다.

Table 1. Mean static friction (gm) and Tukey's studentized range test

	0°				10°			
	n	Mean	SD	Tukey's grouping*	n	Mean	SD	Tukey's grouping*
Metal	20	199.40	19.34	A	20	333.33	46.06	A
MSC1	20	242.18	53.83	B	20	374.79	75.51	A
MSC2	20	251.77	50.18	B	20	392.23	61.41	A
Ceramic1	20	256.88	39.53	B	20	583.07	128.82	B
Ceramic2	20	251.48	56.80	B	20	594.41	100.02	B
p-value	0.0008				< 0.0001			

n, Number of brackets; SD, Standard deviation; *, the same letter are not significantly different at p < 0.05. Same abbreviations as in Fig 1.

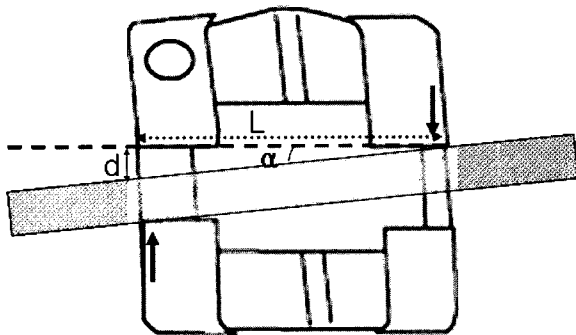


Fig 4. Vertical force can occur at the end of the bracket slot (2 vertical arrows) as the wire is inclined into the slot.

마찰력의 측정

각 군마다 20개, 총 100개의 bracket을 준비하여 0° 조건하에서 준비된 wire로 마찰력을 측정하였다. 매 실험마다 반복 사용에 의한 오차의 발생을 줄이기 위해 bracket과 wire는 새 것으로 교체하였다.

마찰력의 측정은 만능시험기를 이용하여 load cell 150 gm, cross head speed 10 mm/min로 10 mm, 즉 1분간 이동시켰다. 이동 초기의 최대힘을 측정하여 정적 마찰력으로 기록하였고, 6초 간격으로 10회 측정된 마찰력의 평균값으로 동적 마찰력을 계산하였다.

Bracket slot과 wire가 이루는 각도가 10°인 경우에도 각 군마다 20개, 총 100개의 bracket과 wire를 이용하여 0° 조건에서와 같은 방식으로 실험하여 정적

마찰력과 동적 마찰력을 측정하였다.

Bracket slot의 width 측정

Bracket slot width의 차이가 마찰력에 영향을 줄 수 있는지 알아보기 위해 vernier caliper (Absolute digimatic, Mitutoyo, Kanakawa, Japan)를 이용하여 각 bracket별로 slot의 근원심 폭경을 측정하였다.

Bracket slot wall과 wire 사이의 critical contact angle 측정

.022 × .028 slot에 .019 × .025 inch의 wire가 삽입 되었으므로 0.003 inch (0.0762 mm)의 유격이 존재하게 된다. 이때 wire를 bracket slot 안에서 경사지게 하여 wire의 추가적인 변형 없이 slot의 양끝에 접촉 하게 하였을 때의 bracket slot과 wire 사이의 critical contact angle α를 tangent 함수를 이용하여 계산하였다 (Fig 4).

통계 처리

각 집단별로 측정된 마찰력의 평균과 표준편차를 계산하였으며, metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket (Clarity, Virage), monocrystalline ceramic bracket (Inspire Ice, Miso) 다섯 군의 평균을 비교하기 위해 SAS ver 8.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 일원배치분산분석 (ANOVA)을 시행하였다. 다중 비교를 위해 Tukey's studentized range test로 사후 검정하였다.

Table 2. Mean kinetic friction (gm) and Tukey's studentized range test

	0°				10°			
	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Tukey's grouping*</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Tukey's grouping*</i>
Metal	20	150.71	28.16	A	20	301.09	52.93	A
MSC1	20	176.35	32.22	A B	20	313.00	61.79	A
MSC2	20	195.02	42.93	C B	20	319.29	81.00	A
Ceramic1	20	222.16	46.84	C D	20	514.51	90.93	B
Ceramic2	20	231.18	46.82	D	20	520.10	96.08	B
<i>p</i> -value	< 0.0001				< 0.0001			

Same abbreviations as in Fig 1.

연구성적

Bracket 별 평균 마찰력 차이

평균 정적 마찰력 차이

평균 정적 마찰력의 평균값과 통계 처리 결과는 Table 1과 같다. 일원배치분산분석(ANOVA)을 적용한 결과 bracket 별 평균 정적 마찰력은 0°, 10° 모두에서 유의성 있는 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$). Tukey's studentized range test를 이용한 다중 비교에서 0°에서의 정적 마찰력은 metal bracket 군이 다른 군에 비하여 통계적으로 유의하게 낮은 경향을 보였다 ($p < 0.05$), 다른 네 가지 ceramic bracket 군 간에는 유의한 차이를 발견할 수 없었다 ($p < 0.05$). 각도가 10°인 경우의 평균 정적 마찰력은 metal bracket과 metal slot이 삽입된 ceramic bracket 군이 monocrySTALLINE ceramic bracket에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 경향을 보였다 ($p < 0.05$).

평균 동적 마찰력 차이

평균 동적 마찰력의 평균값과 통계 처리 결과는 Table 2와 같다. 일원배치분산분석(ANOVA)을 적용한 결과 bracket별 평균 동적 마찰력은 0°, 10° 모두에서 유의성 있는 차이를 나타내었으며 ($p < 0.05$), metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket, monocrySTALLINE ceramic bracket 순의 마찰 저항을 보였다. 다중 비교 검정 결과 0°에서의 동적 마찰력은 metal bracket이 monocrySTALLINE ceramic bracket보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다 ($p < 0.05$).

Metal slot이 삽입된 ceramic bracket 중 한 군 (Clarity)은 metal bracket과는 명확한 차이를 보이지 않았으나 ($p < 0.05$), monocrySTALLINE ceramic bracket 군보다는 유의성 있게 낮은 마찰 저항을 보였다 ($p < 0.05$). Metal slot inserted ceramic bracket 중 다른 한 군 (Virage)은 metal bracket보다는 통계적으로 유의성 있게 높은 마찰 저항을 보였다 ($p < 0.05$), monocrySTALLINE ceramic bracket 중 한 군 (Inspire Ice)과는 통계적 차이를 발견할 수 없었지만 ($p < 0.05$), 다른 한 군 (Miso)보다는 뚜렷이 낮은 마찰 저항을 보였다 ($p < 0.05$).

Bracket slot과 wire 사이의 각도가 10°인 경우의 동적 마찰력은 정적 마찰력에서와 같이 metal bracket과 metal slot이 삽입된 ceramic bracket 군이 monocrySTALLINE ceramic bracket에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 마찰 저항을 보였다 ($p < 0.05$).

동적 마찰력과 정적 마찰력 간의 차이

0°, 10°에서 모든 bracket 군에 대해 동적 마찰력이 정적 마찰력보다 낮게 나타났다 (Fig 5).

Bracket slot과 교정용 wire 사이의 각도가 0°일 때와 10°일 때의 차이

Bracket slot과 교정용 wire 사이의 각도가 10°인 경우가 0°일 때보다 높은 마찰 저항을 보였다. 특히 monocrySTALLINE ceramic bracket은 10°에서의 마찰 저항 값이 0°에서의 마찰 저항보다 2배 이상 증가하여 metal bracket이나 metal slot inserted ceramic bracket에 비해 더욱 뚜렷한 증가 양상을 보였다 (Fig 5).

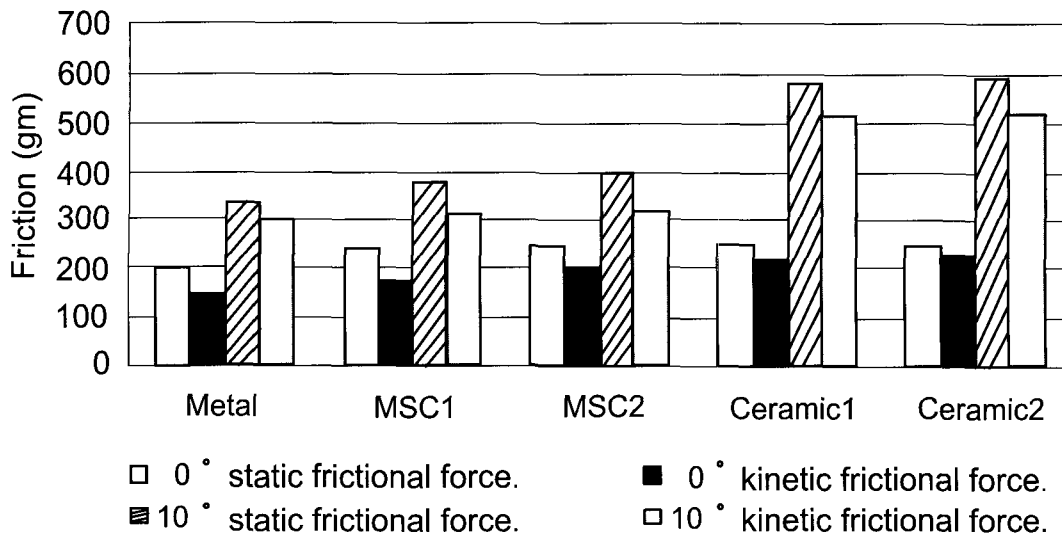


Fig 5. Comparison of the mean static and kinetic frictions (same abbreviations as in Fig 1).

Table 3. Bracket slot width and the critical contact angle between bracket slot wall and archwire

	Metal	MSC1	MSC2	Ceramic1	Ceramic2
Slot width (mm)	2.77	3.65	3.26	3.06	3.50
Angle α (°)	1.58	1.20	1.34	1.43	1.25

Same abbreviations as in Fig 1.

Bracket slot width 및 critical contact angle

Bracket slot width

5종류 bracket의 slot width는 metal bracket이 가장 작은 2.77 mm, metal slot inserted polycrystalline ceramic bracket 중 하나인 Clarity는 가장 큰 3.65 mm였으며, 나머지 bracket은 그 사이의 값으로 나타났다 (Table 3).

Bracket slot wall과 wire 사이의 critical contact angle

Bracket slot wall과 wire 사이의 각도는 1.20°에서 1.58° 사이의 값으로 계산되었다. Bracket slot width가 가장 작았던 metal bracket이 1.58°로 가장 큰 critical contact angle을 보였고, slot width가 가장 컸던 Clarity가 1.20°로 가장 작은 critical contact angle을 나타내었다 (Table 3).

총괄 및 고찰

교정치료 영역에서 1920년대 중반 Edward H. Angle에 의해 edgewise bracket system이 개발된 이래로 bracket의 크기나 모양, 재질 등은 많은 변화가 있었지만, 80여년이 지난 현재까지도 bracket slot에 wire를 삽입하여 치아를 이동시키는 원리는 크게 변하지 않고 있다. Wire로부터 치아에 가해지는 힘은 치아에 접촉되어 있는 bracket slot을 통해 전달되며, 이때 불가피하게 마찰력이 발생한다. 이러한 마찰력은 경미한 총생을 해소하기 위한 비발치 치료에서도 발생하지만, 발치를 동반한 치료에서 활주역학을 사용하는 경우 더욱 빈번히 발생한다. Kusy와 Whitley⁴⁵에 의하면 마찰력으로 인한 교정력의 손실은 12-60%에 이르며, 이는 원치 않는 고정원의 소실까지 초래할 수 있다고 하였다. 물론 Burstone⁶에 의해 소개된 segmented arch technique으로 마찰력 발

생을 최소로 하는 치료도 가능하지만, 장치의 복잡성이나 fail safe하지 못한 측면으로 인해 많이 사용되고 있지 않은 실정이다.

교정치료에서 적절한 힘은 빠른 치아 이동과 최적의 생물학적인 조직 반응을 얻을 수 있다. 일반적으로 치아에 가해지는 힘이 증가할수록 치아의 이동 속도도 빨라지지만, 어느 시점을 넘어서면 힘의 증가에도 치아 이동은 빨라지지 않고 오히려 해로운 조직 반응만 초래하게 된다. 따라서 최적의 힘을 얻는 것이 중요하며 이를 위해서는 마찰력을 파악하는 것이 선행 과제라 할 수 있다.

Cacciafesta 등³과 Nishio 등⁷에 의하면 마찰력에 영향을 주는 변수로는 archwire, bracket, ligation, 구강내 환경, orthodontic appliance 등을 들 수 있다고 한다. 첫 번째 변수인 archwire에는 archwire의 재료나 두께, 절단면의 형태, bracket slot 안에서 발생하는 active torque 등이 포함된다. 교정 영역에서 주로 사용되는 nickel-titanium (NiTi), beta-titanium (TMA), stainless steel (SS) wire 중에서 TMA가 가장 거친 표면을 가져 마찰 저항이 가장 높은 것으로 보고되고 있으며, 치열의 견인 시 일반적으로 사용되는 SS가 가장 낮은 마찰 저항을 갖는다고 한다. Wire가 두꺼울수록, 원형 wire보다는 각형 wire가 마찰 저항이 큰 것으로 보고되었다. 본 연구에서는 활주 역학에서 주로 사용되는 .019 × .025 SS wire를 bracket slot에서 일정한 속도로 이동시킴으로써 임상 상황을 유사하게 재현하고 그때의 마찰력을 측정하였다.

두 번째 변수인 bracket에 따른 마찰력의 차이를 알아보는 것이 본 연구의 주목적이다. 최근 심미적 목적으로 많이 사용되고 있는 네 종류의 ceramic bracket과 대조군으로 한 종류의 metal bracket을 실험에 이용하여 마찰력에 대한 영향을 파악하고자 하였다. Ceramic bracket 중 두 군(Clarity, Virage)은 polycrystalline alumina로 표면의 roughness와 porosity로 인한 높은 마찰 저항을 줄이기 위해 metal slot을 삽입한 것이었고, 나머지 두 군(Inspire Ice, Miso)은 single crystal sapphire로 만든 bracket이었다.

Metal slot이 삽입된 ceramic bracket 두 종류와 monocrystalline ceramic bracket 두 종류 각각은 0°에서의 동적 마찰력을 제외하고는 마찰 저항에 있어서 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. Cacciafesta 등³의 연구 결과에서처럼 전체적으로 metal bracket이 가장 낮은 마찰저항을 보였고,

monocrystalline ceramic bracket이 가장 높은 저항을 나타냈다. Metal slot이 삽입된 ceramic bracket은 metal bracket보다는 높은 수치를 보였으나, wire와 bracket slot 간의 각도가 10°인 경우 metal bracket의 마찰 저항 값과 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

0°에서의 정적 마찰력은 metal bracket이 가장 낮은 수치를 보였고 이를 제외한 나머지 4개의 ceramic bracket 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 같은 0°에서 동적 마찰력은 metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket, monocrystalline ceramic bracket 순의 마찰 저항을 보였다. 다중비교 검정 결과에서 보았듯이 metal bracket과 monocrystalline ceramic bracket 사이에 뚜렷한 차이가 있었으며, metal slot이 삽입된 ceramic bracket 중 한 군(Clarity)은 metal bracket과는 명확한 차이를 보이지 않았으나 monocrystalline ceramic bracket 군과는 유의성 있는 차이를 보였다. Metal slot inserted ceramic bracket 중 다른 한 군 (Virage)은 metal bracket과는 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였고, monocrystalline ceramic bracket 중 한 군(Inspire Ice)과는 통계적 차이를 발견할 수 없었지만, 다른 한 군(Miso)과는 뚜렷한 차이를 관찰할 수 있었다.

10°에서의 정적 마찰력과 동적 마찰력 모두 metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket, monocrystalline ceramic bracket 순의 마찰 저항을 보였으나, monocrystalline ceramic bracket이 다른 두 군에 비해 유의하게 높은 경향을 보였고 metal bracket과 metal slot inserted ceramic bracket 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

Kusy와 Whitley^{8,9}는 rough surface를 마찰 저항을 증가시키는 한 요인으로 지적하였다. 이 점은 본 연구에서 metal bracket이나 metal slot이 삽입된 ceramic bracket이, ceramic과 wire가 직접 접촉하는 ceramic bracket에 비해서 더 낮은 마찰 저항을 보인 결과와 일치한다. Metal은 polishing이 쉽고 smoother surface를 얻을 수 있는 반면, ceramic은 자체의 hardness와 stiffness로 인해 ceramic bracket의 제작 및 polishing이 어렵고 결과적으로 granular, pitted surface를 갖게 되기 때문이다.

Monocrystalline sapphire에 비해서 더 거친 표면을 가지는 polycrystalline bracket은 metal slot을 삽입함으로써 ceramic bracket의 심미성은 어느 정도

유지하면서 metal bracket과 비슷한 수준의 마찰저항을 얻을 수 있다. 또한 metal slot의 삽입은 치료 중 routine orthodontic torque force에 저항하도록 bracket을 강화하는데도 도움이 된다는 보고가 있다.

그러나 같은 metal slot상에서 wire를 이동시켰을 때, 0° 정적 마찰력과 0° 동적 마찰력 중 일부에서 metal bracket과 metal slot이 삽입된 ceramic bracket의 마찰 저항 사이에 통계적 유의차가 관찰되었다. Nishio 등⁷에 의하면 metal slot이 삽입된 ceramic bracket을 electronic micrograph scanning 하였을 때 ceramic과 metal slot 간에 gap이 관찰되었으며, 이것이 metal bracket과 metal slot inserted ceramic bracket 간에 마찰력의 차이를 가져오는 원인이라고 하였다. 이러한 gap이 생기는 이유로는 metal slot을 ceramic bracket에 삽입하는 제조 과정에서 metal을 ceramic에 adjust시키는 어려움과, 두 물체간에 expansion coefficient가 다른 점을 지적하였다. 또한 Smith 등¹⁰은 slot edge의 차이가 두 종류의 bracket 사이의 마찰저항 차이를 일으키는 원인이라고 하였다. 그 이유로 ceramic bracket에 삽입된 metal slot은 milling하여 제작하므로 표면이 거칠어져 slot edge가 날카롭지만, metal bracket은 injection 후 sintering하여 제작하므로 보다 부드러운 표면을 가지게 되고 결과적으로 slot edge는 둥글게 되어 더 낮은 마찰 저항을 나타내기 때문이다.

세 번째로 Ligature 방법의 차이도 마찰력에 영향을 끼칠 수 있다. 본 연구에서는 탄성 고무링을 이용하여 wire를 bracket에 결찰하였으며, 동일인에 의해서 진행하여 결찰력에 의한 오차를 줄이고자 하였다. Thorstenson과 Kusy²는 bracket과 wire가 수동적인 상태로 있을 때에만 결찰 방법의 차이가 마찰력에 영향을 줄 뿐, 치아가 움직이는 상태에서는 결찰 방법의 차이는 무관하다고 하였다. Thorstenson과 Kusy²는 고무링에 의한 결찰력은 1020 gm로 일정하게 나타나며, wire의 second order angulation이 critical contact angle을 넘어서면, bracket slot의 binding force로 인해서 결찰 방법에 따른 결찰력의 차이는 상쇄된다고 하였다.

네 번째로 타액, 치태, bone density, 치아의 수, 교합 등의 구강내 환경 역시 마찰력에 영향을 끼치는 변수들이다. 기존의 연구들과 마찬가지로 타액의 존재 하에서 장기간에 걸쳐 일어나는 치아의 이동을 그대로 재현하여 마찰력을 측정하기에는 한계가 있다. 물론 구강 내에서 실제로 발생하는 마찰력의 수치를

측정함으로써 치아에 적용하는 최적의 힘을 구하는데 도움이 될 수 있겠지만, 각 bracket별 마찰력의 차이나 동적 마찰력과 정적 마찰력의 차이, bracket slot과 wire 간의 각도가 0°, 10°일 때의 상대적인 차이를 보는 것만으로도 본 연구의 의미를 찾을 수 있다.

마지막으로 마찰력에 영향을 주는 변수로 bracket slot과 wire 사이의 각도, interbracket distance 등의 orthodontic appliance를 들 수 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 치아의 이동은 힘을 준 방향으로 치관이 경사된 후 치근의 직립을 반복함으로써 이루어진다. 따라서 bracket slot과 wire 사이에 인위적인 각도를 부여하는 것은 치아가 경사된 상태에서의 마찰력을 간접적으로 알기 위함이다.

결과에서 보듯이 0°에 비해서 10°의 각도가 생겼을 때 모든 bracket에서 마찰력이 증가하였다. 0°에서는 bracket별로 유의한 차이는 있었지만 어느 정도 비슷한 수치를 보였는데, 10°에서는 정적, 동적 마찰력 모두 0°에서의 정적, 동적 마찰력보다 1.5배 가량 증가하였다. 특히 metal slot이 포함된 bracket에서보다 ceramic과 wire가 직접 접촉한 monocrytalline ceramic bracket에서 마찰력의 증가가 훨씬 뚜렷이 관찰되었다.

Wire가 bracket slot 안에서 평행하게 이동할 때는 주로 slot base와 wire 사이에서 마찰이 발생하지만, wire의 2nd order angulation이 증가하면서 bracket slot의 양 끝단에서 2개의 수직력이 추가로 발생하게 된다 (Fig 4). 이런 수직력은 wire를 bracket slot에 binding하는 force를 유발시켜, 치관 경사 후 치근을 직립시키는 역할도 하지만, 한편으로는 archwire에 notching을 만들어 sliding을 중단시킬 수도 있다. 본 연구에서 monocrytalline ceramic bracket 군에서, wire는 metal slot보다 거친 표면을 가지는 ceramic slot의 끝부분과 접촉하는 것이므로 같은 조건에서의 metal slot과 wire간의 접촉으로 발생하는 수직력 보다 훨씬 더 큰 수직력이 발생하게 되고, 이로 인해 마찰 저항 값도 커진 것으로 판단된다.

실제 환자의 치료 과정에서 과도한 교정력의 적용은 치열의 vertical bowing을 초래한다. 치근이 직립되지 않은 상태에서 계속해서 가해지는 교정력은 치관의 경사를 점점 악화시키게 된다. 위에서 언급하였듯이 이때 bracket slot의 끝부분에서 수직력이 발생하게 되어 마찰저항은 더욱 커지고 치아의 이동은 점점 더 느려져 vertical bowing은 계속 심해지는 악순환이 발생한다. 따라서 교정력 적용의 완급 조절로 이

런 악순환의 고리가 시작되지 않도록 주의해야 하며, 발생하였다면 교정력을 제거함으로써 더 이상의 치관의 경사가 일어나지 않도록 해야 한다.

본 연구에서는 다섯 종류의 bracket이 사용되었다. 같은 크기 및 같은 prescription을 가지는 bracket을 사용하는 것이 연구결과의 오차를 줄이는 방법이지만, 현실적으로 각 bracket 별로 크기가 다르기 때문에 bracket slot width도 달라지고 이는 곧 마찰력에 영향을 주는 변수로 작용할 수 있다. 실제로 본 연구에서 사용된 bracket별로 측정된 bracket slot width는 2.77 mm에서 3.65 mm 사이였고 이때 계산된 critical contact angle은 1.20°에서 1.58°로, bracket slot width가 가장 넓은 것과 좁은 것 사이의 차이는 0.38°에 불과하였다. 따라서 본 연구에서 측정된 마찰력의 차이를 평가함에 있어서 bracket slot width 차이에 의한 영향을 배제하기로 하였다.

Peterson 등¹¹과 Mendes와 Rossouw¹², Rossouw¹³는 bracket slot width의 차이는 마찰력에 영향을 주지 않는다고 보고하였으며, Nishio 등⁷도 bracket slot width와 마찰력 간의 비례 관계를 단정지을 수 없다고 하였다. Slot width가 넓을 때는 결찰에 사용한 고무링이 상대적으로 많이 늘어나서 결찰력이 증가하게 되고 이로 인해 마찰력이 커질 수 있다. 반대로 slot width가 좁은 경우에는 bracket slot과 wire 사이의 critical contact angle이 증가하므로 slot의 끝부분에서 binding이 악화되어 역시 마찰력이 증가될 수 있기 때문이다.

치아의 이동은 경사와 직립의 계속적인 반복이기 때문에 동적 마찰 저항과 정적 마찰 저항은 계속해서 치아에 영향을 끼치게 된다. 실제로 정지해있는 물체를 움직이는 것이 물체의 이동을 계속 유지하는 것보다 좀 더 많은 힘을 요구한다는 원리처럼, 본 연구에서도 정적 마찰력은 동적 마찰력에 비해 모든 군에서 높게 측정되었다.

본 연구에서는 bracket slot과 wire 사이에 0°, 10°의 각도가 존재할 때 정적 마찰력과 동적 마찰력을 측정하였다. Bracket 별로 약간씩의 통계적 유의차를 보였으며, 특히 bracket slot과 wire 사이의 각도가 10°일 때 monocrytalline ceramic bracket의 마찰저항이 정적, 동적 모두 metal slot을 가진 bracket보다 높게 나타났다. 하지만 실제 임상에서 bracket slot과 wire 간에 10°의 각도 차이가 나는 일은 흔치 않을 것이다. 따라서 과도한 치관 경사를 초래하지 않을 정도의 적절한 교정력을 적용한다면 본 연구에서 사용되었던

세 종류의 bracket (metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket, monocrytalline ceramic bracket)을 임상적으로 사용하는데 무리가 없을 것으로 보인다. 그러나 ceramic bracket 자체의 단점으로 지적되어온 bulkness, brittleness로 인한 tie-wing의 파절, debonding시 의원성 범랑질 손상, 대합치의 범랑질 마모 등은 ceramic bracket을 안전하게 사용하기 위해 계속해서 개선되어야 할 과제이다.

최근 ceramic bracket의 마찰 저항을 줄이기 위한 방법으로 bracket slot에 silica liner를 삽입하거나 ceramic bracket의 slot border를 rounding 처리하는 방법이 소개되고 있다. 실제로 bracket slot의 거친 표면을 polishing하고 slot border를 부드럽게 형성시킨 zirconium oxide bracket¹⁴이나 silica liner를 삽입한 polycrytalline ceramic bracket이 개발되었다.

위와 같은 bracket 중에서 본 연구에서처럼 wire와 bracket slot 사이에 각도가 존재하는 경우 slot border를 rounding 처리하는 것은 마찰 저항을 줄이는 유용한 방법일 것이다. 그러나 위에서 언급되었던 방법들이 장기간에 걸친 치료 기간 동안 마찰 저항을 줄이는 효과가 유지될 수 있는지의 여부는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

본 연구는 건조 상태에서 10 mm/min의 속도로 wire를 bracket slot안에서 이동시켰다. 이미 언급하였듯이 본 실험은 구강내 환경을 그대로 재현하지 못하였으므로, 실험을 통해 얻은 각 bracket 별 마찰 저항 수치를 이용해 치아 이동에 요구되는 최적의 힘을 구하기에는 무리가 있는 것으로 보인다. 다만 상대적인 수치의 차이를 통해서 bracket 선택과 교정력의 적용에 있어서 도움이 되고자 하며, 심미성을 유지하면서 마찰 저항을 줄일 수 있는 bracket의 개발에 참고가 되고자 하였다.

결 론

Metal slot이 삽입된 polycrytalline ceramic bracket과 metal slot이 삽입되지 않은 monocrytalline ceramic bracket, metal bracket 간의 마찰력의 차이를 알아보기 위해 .019 × .025 stainless steel wire를 bracket slot과 0°, 10°의 각도를 부여하여 만능시험기를 이용해 이동시켰다. 각 실험에서 bracket 별로 정적 마찰력과 동적 마찰력을 측정 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 전체적인 평균 마찰력은 metal bracket, metal slot inserted ceramic bracket, monocrySTALLINE ceramic bracket 순으로 증가하였다.
2. Bracket slot과 wire 사이의 각도가 0°일 때가 10°일 때에 비해서 낮은 마찰 저항을 나타내었다.
3. Bracket slot과 wire 사이의 각도가 10°일 때 monocrySTALLINE ceramic bracket의 동적, 정적 마찰 저항은 metal bracket이나 metal slot inserted ceramic bracket에 비해 유의성 있게 크게 나타났 다 ($p < 0.05$).

본 연구를 통해서 ceramic bracket, 특히 metal slot 이 삽입되지 않은 ceramic bracket이 metal bracket 에 비해 큰 마찰 저항을 나타내는 것을 볼 수 있었으며, bracket slot과 wire 간의 각도가 증가하면 마찰 저항도 커지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 마찰력을 줄이기 위한 ceramic bracket의 개발과 함께 교정 치료시 과도한 치관 경사를 막음으로써 마찰 저항을 줄이고 치료의 효율성을 높이도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Semin Orthod* 1997;3:166-77.
5. Kusy RP, Whitley JQ. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. *Angle Orthod* 1999;69:71-80.
6. Burstone CJ. Rationale of the segmented arch. *Am J Orthod* 1962;48:805-22.
7. 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.
8. Kusy RP, Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech* 1990;23:913-25.
9. 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.
10. Smith DV, Rossouw PE, Watson P. Quantified simulation of canine retraction: evaluation of frictional resistance. *Semin Orthod* 2003;9:262-80.
11. 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.
12. Mendes K, Rossouw PE. Friction: validation of manufacturer's claim. *Semin Orthod* 2003;9:236-50.
13. Rossouw PE. Friction: an overview. *Semin Orthod* 2003;9:218-22.
14. Springate SD, Winchester LJ. An evaluation of zirconium oxide brackets: a preliminary laboratory and clinical report. *Br J Orthod* 1991;18:203-9.

- ORIGINAL ARTICLE -

Frictional resistance of different ceramic brackets and their relationship to the second order angulation between bracket slot and wire

Yoon-Jeong Choi, DDS, MSD,^a Young-Chel Park, DDS, MSD, PhD^b

Although ceramic brackets have been used widely for improved esthetics during treatment, ceramic brackets have some inherent problems; brittleness, attrition of the opposing teeth and high frictional resistance. This study was performed to understand the frictional resistance of the ceramic brackets, as well as to be a helpful reference for finding the solutions to the problem of frictional resistance. Three different kinds of brackets were used; metal bracket, polycrystalline ceramic brackets with a metal slot to reduce the high frictional resistance and monocrystalline ceramic brackets. The brackets were tested with a .019 × .025 stainless steel wire with a second order angulation of 0° and 10°, and the static and kinetic frictional forces were measured on the universal testing machine. The results of this study showed that the ceramic brackets, especially the monocrystalline ceramic bracket without a metal slot, generated higher frictional resistance than the metal bracket, and the frictional resistance was increased as the angulation between the bracket slot and the wire increased. Therefore, the development of the ceramic bracket with reduced frictional resistance and the prevention of excessive crown tipping during orthodontic treatment will lead to the simultaneous attainment of more efficient and improved esthetic treatment goals.

Korean J Orthod 2006;36(3):207-17

※ **Key words:** Ceramic bracket, Frictional resistance, Monocrystalline, Polycrystalline

^a Graduate student, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University

^b Professor, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Oral Science Research Center, Yonsei University

Corresponding author: **Young-Chel Park**

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, Sinchon-Dong 134, Seodaemun-Gu, Seoul 120-749, Korea

+82 2 2228 3000

ypark@yumc.yonsei.ac.kr

Received October 27, 2005; Last Revision April 25, 2006; Accepted April 27, 2006