

## TiN 피막처리된 Co-Cr계 교정용 선재의 마찰저항력

이 호 규<sup>1)</sup> · 권 오 원<sup>2)</sup> · 김 교 헌<sup>3)</sup>

TiN ion-plating된 Co-Cr 선재(.016", .016"×.022")와 ion-plating되지 않은 선재(.016", .016"×.022")를 이용하고, 3가지 종류의 브라켓(TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓)을 대상으로 마찰실험을 행하고, 거기에서 얻어진 마찰 특성곡선과 곡선으로부터 구한 최대 정지마찰력, 그리고 선재와 브라켓의 표면양상을 주사전자현미경으로 관찰하여 TiN ion-plating의 효과를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 3가지 종류의 브라켓에 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우의 마찰력은 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우의 마찰력보다 각각 통계학적으로 유의성있게 낮았다( $P<0.05$ ).
- 3가지 종류의 브라켓에 원형 선재를 사용한 경우의 마찰력은 각형 선재를 사용한 경우의 마찰력보다 각각 통계학적으로 유의성있게 낮았다( $P<0.05$ ).
- 원형 선재를 사용한 경우 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우가 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우보다 선재 및 브라켓 슬롯의 표면이 더욱 거친 양상을 나타내었다.
- 각형 선재를 사용한 경우 전반적으로 원형 선재를 사용한 경우보다 선재 및 브라켓 슬롯의 표면이 더욱 거친 양상을 나타내었다.
- TiN ion-plating된 원형 선재를 사용한 경우 정지마찰력과 운동마찰력의 차는 별로 없었으나 TiN ion-plating된 각형 선재를 사용한 경우 정지마찰력은 운동마찰력보다 다소 높았다.
- TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우가 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우에 비해 정지마찰력이 운동마찰력보다 훨씬 높았다.

( 주요단어 : TiN 피막처리, Co-Cr계 교정용선재, 마찰저항력 )

### I. 서 론

브라켓 장치를 이용하는 교정치료는 브라켓과 선재사이의 상대적인 움직임에 의해서 이루어지고, 이러한 움직임은 필연적으로 브라켓과 선재사이의 마찰력을 발생시키게 된다. 가장 이상적이고 바람직한 것은 브라켓과 선재사이의 마찰력이 없거나 거의 존재하지 않는 경우이나, 실제 임상적용에 있어서는 불가능하므로 적절한 치아의 이동을 위해 브라켓과 선

재사이에서 발생하는 마찰력의 정도를 이해하는 것이 교정치료에 있어서 중요하다. 브라켓과 선재사이에서 나타나는 마찰력에 영향을 미치는 인자로는 브라켓의 재료<sup>1-5)</sup>, 표면거칠기의 상태<sup>6,7)</sup>, 선재의 재료<sup>8-11)</sup>, 교정선의 굵기와 단면의 형태<sup>12,13)</sup>, 결찰재의 종류 및 결찰력<sup>14-17)</sup>, 브라켓 슬롯의 크기와 직경<sup>18)</sup>, 교정력의 방향<sup>19)</sup> 등의 재료학적이거나 형태학적인 요소와 타액의 유무<sup>20,21)</sup>, 치태, 부식<sup>22,23)</sup> 등의 환경적인 요소들이 있는 것으로 알려져 있다.

최근에는 교정치료시 심미성의 요구가 증가함에 따라 세라믹 브라켓, 플라스틱 브라켓 등의 심미적인 교정용 장치들이 개발되어 사용되고 있다. 한편 표면에 특수한 처리를 행하므로써 심미성을 증가시키고

<sup>1)</sup> 경북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생

<sup>2)</sup> 경북대학교 치과대학 교정학교실, 교수

<sup>3)</sup> 경북대학교 치과대학 치과재료학교실, 부교수

동시에 브라켓과 선재사이에 마찰력을 감소시키는 방법도 고안되었다. Greenberg와 Kusy<sup>24)</sup>는 브라켓과 선재사이에 마찰력을 감소시키기 위한 방법으로 교정용 선재에 특수한 처리를 한 것에 대하여 보고하였고, Zuiki 등<sup>25)</sup>도 마찰력을 감소시키기 위해서 Co-Cr 선재에 비정질의 금속을 코팅시키므로써 마찰력이 감소됨을 보고하였다.

1963년 Mattox<sup>26)</sup>에 의해 ion-plating법이 개발된 이래 공업적으로 내마모성의 향상<sup>27)</sup>, 뛰어난 색깔에 의한 장식용품의 사용<sup>28)</sup> 등에 사용되어져 왔다. 치과영역에서는 Yoshinari<sup>29-31)</sup>와 Yoshinari 등<sup>32)</sup>은 치과용 수복물에 TiN ion-plating 처리 후 내마모성, 내변색성이 향상되었다고 보고하였고, Burstone과 Farzin-ia<sup>11)</sup>는 TMA 선재에 ion-plating하므로써 마찰력의 감소 및 심미성을 부여하였다고 보고하였다. 또 국내의 권과 김<sup>33)</sup>은 스테인레스강의 선재와 roll band에 TiN ion-plating을 행하고 그 심미적 성질 및 기계적 성질이 향상되었다고 보고하였고, 장 등<sup>34)</sup>은 TiN을 Ni-Cr 선재에 ion-plating시키므로써 심미성을 증가시키고 동시에 낮은 마찰 계수를 나타내었다고 보고하였다.

오늘날 심미적으로 뛰어난 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓의 사용이 증가하고 있고, 또 TiN ion-plating된 선재나 브라켓의 사용도 향후 가능할 것으로 기대된다. 따라서 이러한 심미적 장치물을 이용하였을 때의 브라켓과 선재사이의 마찰력의 평가가 매우 중요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 교정용 선재로 TiN ion-plating된 Co-Cr 선재와 ion-plating되지 않은 Co-Cr 선재를 이용하고, 브라켓으로는 TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓을 대상으로 하여 마찰력을 상호 비교 측정하여 마찰특성에 미치는 TiN ion-plating 효과를 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재 료

본 실험에서 교정용 선재로는 Co-Cr계(Elgiloy, Rocky mountain Co., USA)의 각형 선재(.016"×.022")와 원형 선재(.016")를 사용하였고, 모두 yellow temper을 사용하였다. 브라켓은 .018"×.025" standard edgewise 금속 브라켓(Tomy Co., Japan), .018" standard edgewise 세라믹 브라켓(Denturum Co.,

Table 1. The composition of artificial saliva (pH : 5.1)

NaCl	0.40gm
KCl	0.80gm
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.80gm
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.80gm
Na <sub>2</sub> S·5H <sub>2</sub> O	0.01gm
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	1.00gm
distilled water	1000ml

Germany)과 .018" standard edgewise 플라스틱 브라켓(Tomy Co., Japan)을 사용하였고, 금속 브라켓은 모두 TiN ion-plating 처리된 것을, 세라믹 브라켓과 플라스틱 브라켓은 제품상태 그대로 사용하였다. 교정용 선재는 TiN ion-plating처리된 것과 처리되지 않은 것을 사용하였다.

마찰력 실험에서 브라켓을 고정시키기 위해 아크릴 블록을 준비하였고 선재의 결합은 elastomeric module(TP Orthodontics Inc., USA)을 이용하였다. 1주일간의 침적에는 Table 1과 같은 조성의 인공타액을 사용하였다.

### 2. 방 법

#### 1) TiN ion-plating

TiN ion-plating처리할 금속 브라켓 및 교정용 선재는 trichloroethane, NaOH, distilled water, isopropyl alcohol 등에 차례로 초음파세척하여 탈지를 행하였다. 처리된 시편에 TiN 피막의 밀착력을 높이기 위해 진공조 내에서 10<sup>-5</sup>torr정도로 배기하고, 4×10<sup>-2</sup> torr의 Ar 가스를 주입한 후 200volt의 전압으로 10분간 Ar gas bombardment의 전처리과정을 실시하였다.

본 실험에서 TiN 처리는 ARC 방전형 고진공 ion-plating 장치(PG-SY, Ion-plating system, Shinko Co., Japan)를 사용하였고, 증발원으로 순도 99% 이상의 titanium, 반응성 가스로는 질소(N<sub>2</sub>)를 사용하여 TiN 피막을 얻었다. TiN ion-plating 처리과정은 진공조 내에 증발물(Ti)과 반응성 가스(N<sub>2</sub>)를 두고, 진공조 내부를 고진공(10<sup>-5</sup>~10<sup>-7</sup>torr)으로 유지하면서, 증발물에 정전압을 걸어 주면, 증발원에서 방출된 열전자가 장치내부의 이온화 전극에 의해 이온화된다. 이온화된 증발입자는 다른 이온 또는 증발입자와 충돌하여 + 이온과 - 이온(전자)을 만들어 내고, 이 이

Table 2. Classifications of each experimental group

Group	A	B
1	TiN ion-plated round wire(.016") + TiN ion-plated metal bracket	Non ion-plated round wire(.016") + TiN ion-plated metal bracket
2	TiN ion-plated round wire(.016") + Ceramic bracket	Non ion-plated round wire(.016") + Ceramic bracket
3	TiN ion-plated round wire(.016") + Plastic bracket	Non ion-plated round wire(.016") + Plastic bracket
4	TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + TiN ion-plated metal bracket	Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + TiN ion-plated metal bracket
5	TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Ceramic bracket	Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Ceramic bracket
6	TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Plastic bracket	Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Plastic bracket

은들은 증발원 주위의 강한 전기에 의해 가속화되어 높은 에너지를 가지면서 반응성 기체와 반응하여 피막처리재의 표면에 TiN의 형태로 증착된다. 이때 얻어진 증착물은 약 1~2 $\mu$ m의 두께가 된다.

2) 시편 제작

마찰력 측정용 시편을 만들기 위해 5×70×8mm의 아크릴 블록을 준비하고 브라켓 기저면과 아크릴 블록의 상단이 평행하고, 또 브라켓 슬롯과 아크릴 블록의 장축이 평행하도록 cyanoacrylate계 접착제(Sky-Loc<sup>TM</sup>, Sunkyung Co., Korea)로 브라켓을 부착시켰다. 브라켓을 아크릴 블록에 접착시킨 후 선재를 Ligature gun(Straight Shooter, TP Orthodontics Inc., USA)을 이용하여 elastomeric module로 가능한 균일한 힘이 가해지도록 결찰하였다. 선재는 길이를 5cm로 하고 한쪽 끝에는 고리를 형성하여 인장시험기의 jig에 연결되도록 하여 인장력을 작용시켰다.

본 실험에서는 Table 2와 같이 A1...A6, B1...B6 총 12개군으로 분류하고 각군당 5개씩 총 60개의 시편을 준비하였다. 제작이 완성된 시편은 가해진 힘의 균일한 분포를 위해 인공타액이 든 밀폐된 용기에 침적시켜 37℃로 유지된 항온조에 1주일간 보관한 후 마찰력을 측정하였다.

3) 마찰력 실험

마찰력 측정실험은 만능시험기(Instron 4202, Instron Co., USA)상에서 브라켓 슬롯, 교정용선재 및 jig

의 중심이 일치되도록 하여 실시하였으며, 5kgf의 인장 load cell을 이용하여 crosshead speed 0.5mm/min 조건하에서 선재 이동에 따른 마찰력을 측정하였다. 이때 얻어진 하중-변위곡선을 저장한 후 재출력하여 마찰실험 특성 곡선을 구하였고, 곡선중 하중의 최대 점으로부터 브라켓과 선재사이에 발생하는 최대 정지마찰력을 구하였다.

4) 시편 표면양상 관찰

교정용 선재와 브라켓의 표면양상과 마찰력과의 상관관계를 알아보기 위하여 마찰력실험 전후의 선재와 브라켓 슬롯 내면의 표면양상을 주사전자현미경(S-2300, SEM, Hitachi Ltd., Japan)으로 관찰하였다. 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓은 gold coating한 후 관찰하였다.

5) 통계처리

TiN ion-plating 및 교정용 선재 형태에 따른 영향을 평가하기 위하여 5% 유의수준에서 t-test를 시행하였다.

III. 성 적

1. 마찰력 실험

· 각 조건에서 브라켓과 선재간의 마찰력을 Table 3,

**Table 3.** Mean static friction force and standard deviation of each group  
(Unit : gm)

Group	A	B
1	104.2±4.3	133.5±6.4
2	92.3±7.2	127.6±3.5
3	107.2±4.9	138.9±5.5
4	120.8±2.3	151.5±12.2
5	128.9±4.0	153.9±8.0
6	131.8±7.3	160.7±12.6

A1: TiN ion-plated round wire(.016") + TiN ion-plated metal bracket

A2: TiN ion-plated round wire(.016") + Ceramic bracket

A3: TiN ion-plated round wire(.016") + Plastic bracket

A4: TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + TiN ion-plated metal bracket

A5: TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Ceramic bracket

A6: TiN ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Plastic bracket

B1: Non ion-plated round wire(.016") + TiN ion-plated metal bracket

B2: Non ion-plated round wire(.016") + Ceramic bracket

B3: Non ion-plated round wire(.016") + Plastic bracket

B4: Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + TiN ion-plated metal bracket

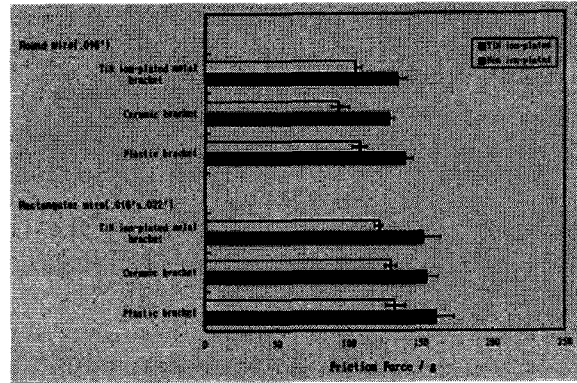
B5: Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Ceramic bracket

B6: Non ion-plated rectangular wire(.016"×.022") + Plastic bracket

Fig. 1에 나타내었다.

TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓과 플라스틱 브라켓에 TiN ion-plating된 선재를 사용한 군의 마찰력이 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 군의 마찰력보다 각각 통계학적으로 유의성 있게 낮았다(A1:B1...A6:B6)(P<0.05)(Table 4).

TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓과 플라스틱 브라켓에 원형 선재(.016")를 사용한 군의 마찰력이 각형 선재(.016"×.022")를 사용한 군의 마



**Fig 1.** Mean Static Friction force and standard deviation of each group.

찰력보다 각각 통계학적으로 유의성있게 낮았다 (A1:A4, A2:A5, A3:A6, B1:B4, B2:B5, B3:B6)(P<0.05)(Table 5).

**2. 표면양상 관찰**

Fig. 2에 교정용 선재의 TiN ion-plating하기 전과 한 후의 주사전자현미경 관찰 양상을 나타내고 있다. 전체적으로 선재의 일반가공시 생긴 표면 scratch나 pit 등이 다수 관찰되었다. 또, TiN ion-plating되지 않은 선재에서는 제조후의 오염물질로 생각되는 찌꺼기들이 있었고, TiN ion-plating된 선재에서는 TiN ion-plating 처리전의 전처리에 의해 매우 깨끗한 표면 양상을 나타내었다.

TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓의 슬롯 내면의 표면관찰 양상을 Fig. 3에 나타내었다. TiN ion-plating된 금속 브라켓은 매우 깨끗하고 평활한 표면 양상을 나타내었다. 세라믹 브라켓에서는 결정입계가 분명히 보이고 각 결정입의 형상에 따라 미세하지만 요철부가 보인다. 플라스틱 브라켓의 경우 다소 특이한 양상을 나타내었다. 슬롯 내면에는 원형으로 흠이 파여져있고, 브라켓 내부에는 전체적으로 플라스틱에 봉상의 강화재가 포함되어 있고, 고배율로 관찰하였을 때 강화재와 플라스틱 기질사이의 계면부분이 날카롭게 형성되어 있음이 보인다.

Fig. 4-7까지 마찰력 실험후의 선재와 브라켓 슬롯의 주사전자현미경관찰 양상을 나타내고 있다. 원형 선재를 사용한 경우(A1...A3, B1...B3), B군의 선재 및 브라켓의 표면이 A군 보다 거친 양상을 나타내었

Table 4. Test of significance of TiN ion-plating effect

Group	Significance
A1 : B1	S
A2 : B2	S
A3 : B3	S
A4 : B4	S
A5 : B5	S
A6 : B6	S

S : Significant difference at P<0.05

Table 5. Test of significance of wire shape effect

Group	Significance
A1 : A4	S
A2 : A5	S
A3 : A6	S
B1 : B4	S
B2 : B5	S
B3 : B6	S

S : Significant difference at P<0.05

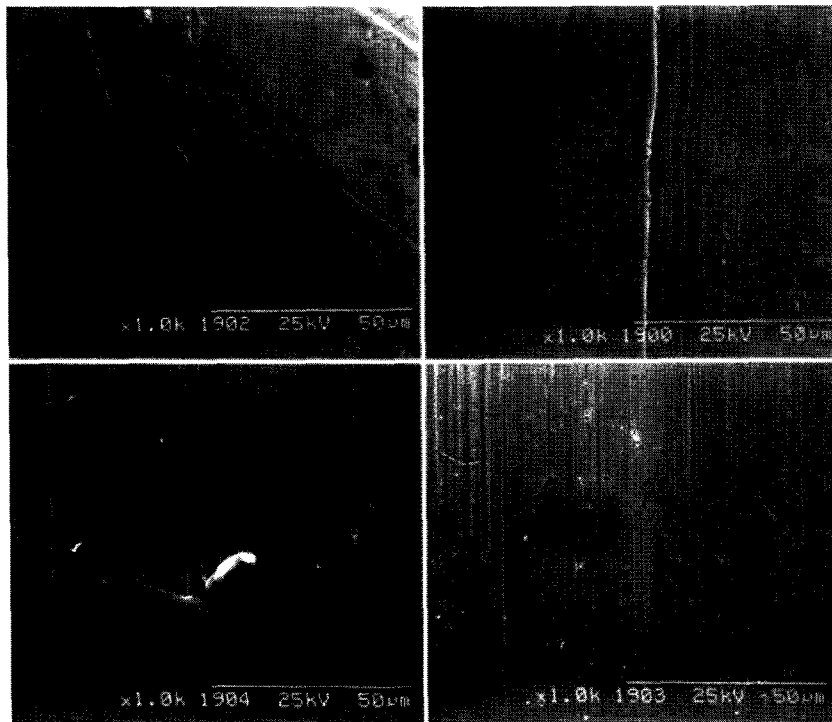


Fig. 2. Scanning electron micrographs of TiN ion-plated and non ion-plated .016" round wire and .016"×.022" rectangular wire surface.

다. 금속 브라켓과 세라믹 브라켓을 사용한 경우에는 선재 쪽이 더 거칠었고, 플라스틱 브라켓을 사용한 경우에는 플라스틱 브라켓 쪽이 더욱 거친 양상을 나타내었다.

각형 선재를 사용한 경우(A4...A6, B4...B6)에는 전반적으로 원형 선재를 사용한 경우보다 선재 및 브라켓의 표면 양상이 더욱 거칠었다. B5군의 경우 세

라믹 입계에서의 파절, 또 B6군에서는 강화재와 플라스틱 계면 사이에 플라스틱이 부분적으로 떨어져 나간 양상을 보였다.

전체적으로 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우가 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우보다 선재 쪽에 더 많은 활주 scratch가 형성되어 있음을 알 수 있었다.

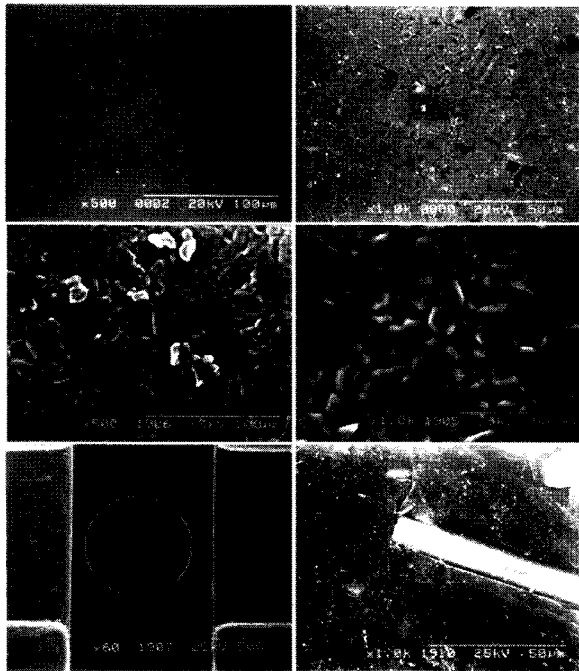


Fig. 3. Scanning electron micrographs of slot base surface of three different types of bracket.

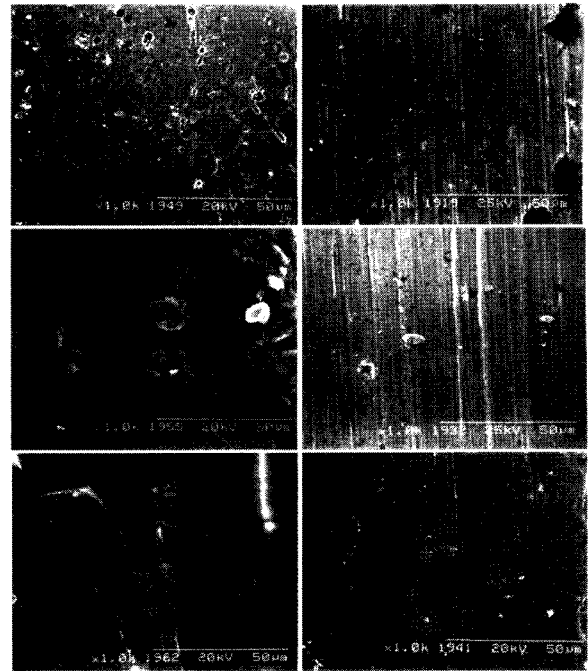


Fig. 5. Scanning electron micrographs of wire and bracket surface of A4, A5 and A6 group after experiment.

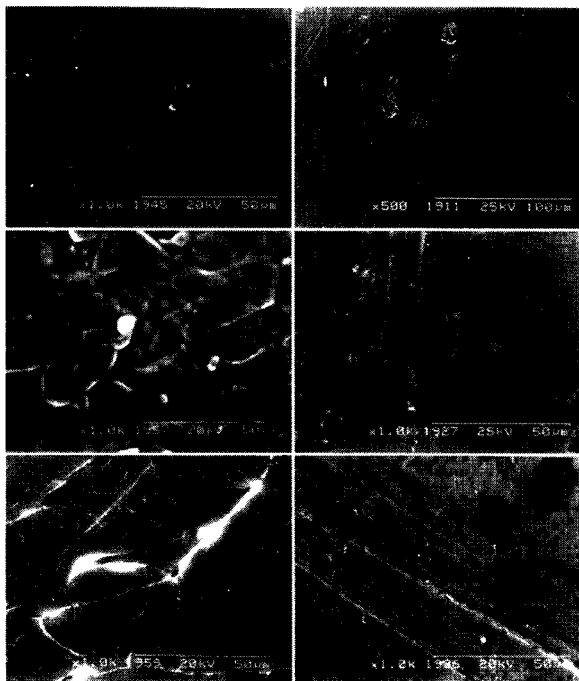


Fig. 4. Scanning electron micrographs of wire and bracket surface of A1, A2 and A3 group after experiment.

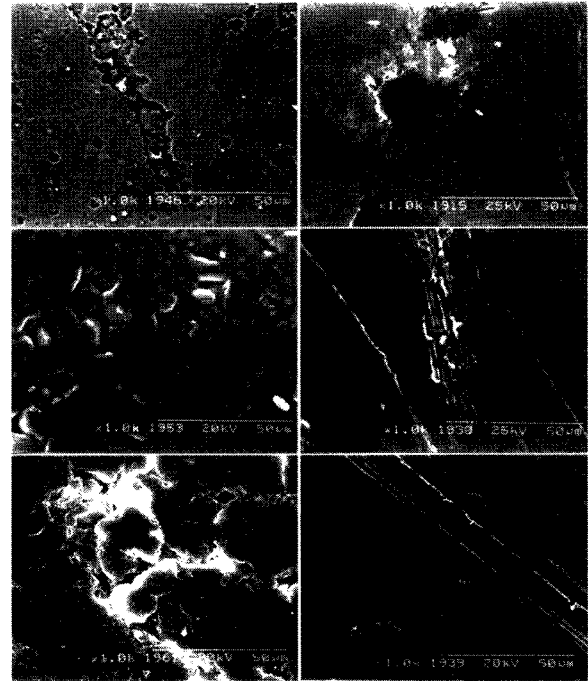


Fig. 6. Scanning electron micrographs of wire and bracket surface of B1, B2 and B3 group after experiment.

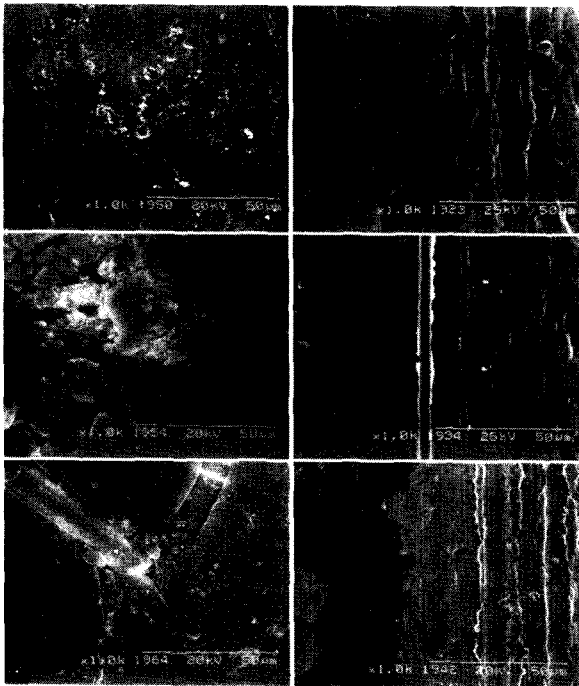


Fig. 7. Scanning electron micrographs of wire and bracket surface of B4, B5 and B6 group after experiment.

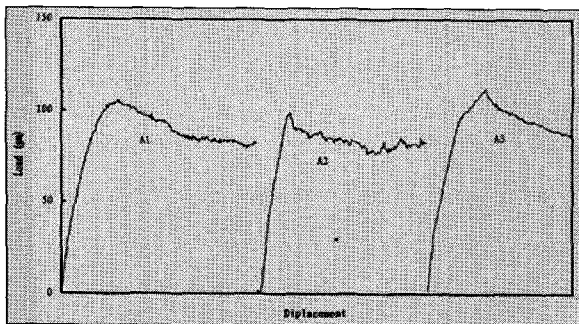


Fig. 8. Force-displacement traces of TiN ion-plated round wire on three different types of bracket.

Fig. 8-11에는 마찰력 측정 실험에서 얻어진 전형적인 파형을 나타내고 있다. TiN ion-plating된 원형 선재를 사용한 A1, A2, A3군에서는 정지마찰력과 운동마찰력의 차이가 별로 없었고, 각형 선재를 사용한 A4, A5, A6군에서는 정지마찰력이 운동마찰력이 운동력보다 다소 높았다.

TiN Ion-plating되지 않은 선재를 사용한 B군이 A군에 비해 정지마찰력이 운동마찰력보다 훨씬 높은 값을 나타냄을 알 수 있었다. A2, A5, B2, B5군 즉, 원

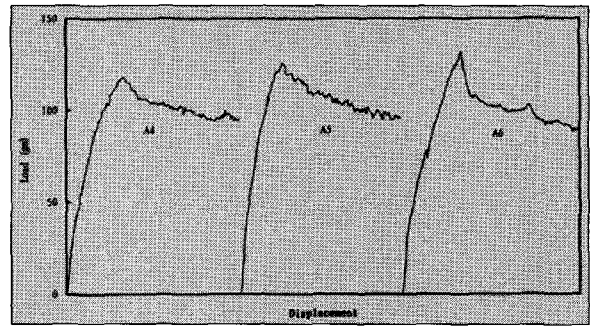


Fig. 9. Force-displacement traces of TiN ion-plated rectangular wire on three different types of bracket.

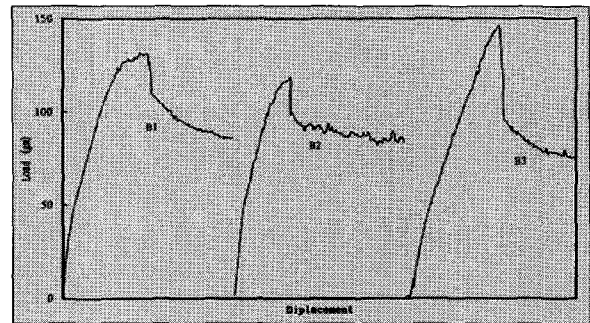


Fig. 10. Force-displacement traces of non ion-plated round wire on three different types of bracket.

형 선재를 사용하거나 각형 선재를 사용하고 세라믹 브라켓을 사용한 군에서는 운동마찰력의 파형이 매우 불규칙하였다. A군과 B군에서 운동마찰력은 거의 비슷한 값을 나타내었다.

#### IV. 고 찰

접촉해 있는 두 물체 사이에서 상대적인 움직임이 있을 때 마찰력이 생기게 된다. 마찰력은 일반적으로 접촉면의 크기와는 관계가 없고 접촉하고 있는 물체 사이에 작용하는 법선력의 크기에 비례하는 것으로 알려져 있다<sup>35)</sup>. 교정치료에 있어서 브라켓과 선재 사이에서는 치아의 이동에 따라 마찰력이 발생하게 되고, 이러한 마찰력에 의해 치아의 이동에 필요한 힘이 감소하게 되므로 교정용 장치물에서 나타나는 마찰력의 평가에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다.

교정장치물에서의 마찰력은 선재가 브라켓 슬롯내를 움직이기 시작할 때 나타나는 정지 마찰력(static

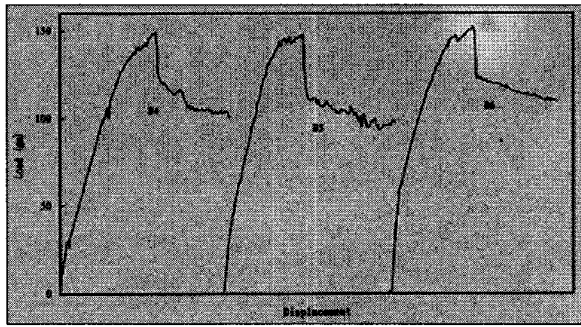


Fig 11. Force-displacement traces of non ion-plated rectangular wire on three different types of bracket.

friction force)과 치아가 움직이는 동안 나타나는 운동 마찰력(kinetic friction force)으로 구분되고, 일반적으로 정지 마찰력은 크고 물체가 이동함에 따라 마찰력은 감소하여 운동 마찰력은 정지 마찰력보다 적다<sup>18)</sup>. 선재와 브라켓 사이의 마찰력은 재료의 성질<sup>1-5)</sup>, 표면처리상태<sup>6,7)</sup>, 결찰력 및 결찰재의 종류<sup>14-17)</sup>, 교정선의 굵기와 형태<sup>12,13)</sup>, 브라켓 슬롯의 크기<sup>18)</sup>, 교정력의 방향<sup>19)</sup>과 브라켓이나 선재의 부식상태나 주위 환경<sup>22)</sup>에 의해 영향을 받는다.

실험 재료로서 선재는 Co-Cr 교정용 선재중 yellow temper의 .016"의 원형 선재와 .016"×.022"의 각형 선재를, 브라켓은 .018"의 슬롯 폭경을 가지는 것을 사용하였고, 결찰상태를 일정하게 하기 위하여 1주일간 37℃의 타액에 침적한 후 실험을 행하였다. 또 습윤 상태도 마찰력에 영향을 미치므로, 본 연구에서는 1주일 침적 후 마찰력 측정시에도 습윤상태를 유지하기 위해서 주사기로 인공 타액을 적시어 주면서 실험을 하였다.

본 실험에서는 TiN 피막이 피복되므로써 심미적 향상뿐 아니라 선재나 브라켓의 마찰력에 어떠한 영향을 미치는가를 비교, 검토하였다. 원형 선재, 각형 선재에 관계없이 TiN ion-plating한 군(A)이 TiN ion-plating하지 않은 군(B)에 비해서 금속 브라켓, 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓 모두에서 낮은 마찰력을 나타내었고(P<0.05)(Table 4), Fig. 2에서 보는 바와 같이 TiN ion-plating된 선재의 경우 TiN ion-plating되지 않은 선재에 비해 상대적으로 표면이 깨끗함을 알 수 있었다. Kusy 등<sup>6)</sup>, Garner 등<sup>8)</sup> 그리고 민과 서<sup>9)</sup>는 여러 종류의 교정용 선재에 관한 마찰력 연구에서 재료에 따라 표면 거칠기가 다르므로 표면이 거친 경우가 마찰력이 컸다고 보고하였다. 본

실험에서는 Co-Cr 선재에 TiN 피막을 피복시켰고, 이 피막의 두께는 2 $\mu$ m 정도로 재료 표면의 거시적인 거칠기에는 직접적인 영향은 주지 않으나, TiN ion-plating 과정동안 선재 표면이 상대적으로 깨끗하게 되어 미시적인 표면 거칠기의 변화에 의해 마찰력이 낮아진 것으로 생각된다. 마찰력은 선재의 종류, 브라켓의 종류와 관계없이 B군에 비해 A군에서 25.0~35.3gm의 감소를 나타내어 TiN ion-plating에 의해 선재와 브라켓 사이의 마찰력이 유의성 있게 감소함을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 Fig. 4-7의 마찰력 실험 후의 선재와 브라켓의 주사전자현미경 관찰에서 알 수 있는 것과 같이 TiN ion-plating하지 않은 B군이 TiN ion-plating한 A군 보다 선재 및 브라켓에 있어서 더욱 거친 양상을 보여 마찰력이 컸다는 것을 알 수 있었다.

교정용 선재의 단면형태의 영향에 대해서는 3가지 종류의 브라켓에 원형 선재를 사용한 경우의 마찰력은 각형 선재를 사용한 경우의 마찰력보다 모두 유의성 있게 낮게 나타났다(P<0.05)(Table 4). 마찰력은 Fig. 4, 5에서 알 수 있는 것과 같이 A1군과 A4군, A2군과 A5군, A3군과 A6군을 비교해 보면 각형 선재를 사용한 A4, A5, A6군이 원형 선재를 사용한 A1, A2, A3군보다 각각 선재의 표면이 더욱 거칠게 되어 있음을 알 수 있었다. TiN ion-plating되지 않은 선재를 이용한 B군에서도 B1군과 B4군, B2군과 B5군, B3군과 B6군을 비교해 볼 때 각형 선재를 사용한 B4, B5, B6군이 원형 선재를 사용한 B1, B2, B3군보다 각각 선재의 표면이 더욱 거칠게 되어있음을 알 수 있었다(Fig. 6, 7). Frank와 Nikolai<sup>18)</sup>는 접촉면의 차이에 의해 원형 선재보다 각형 선재에서 마찰력이 더 크다고 보고하였고, Riley 등<sup>36)</sup>, Echols<sup>14)</sup>도 브라켓과 접촉면적이 큰 각형 선재가 원형 선재에 비해 큰 마찰력을 보인다고 하였는데 본 연구에서도 각형 선재가 원형 선재보다 16.6~36.6gm의 높은 마찰력을 나타내었다. 본 실험에서는 선재가 브라켓 슬롯을 움직이기 시작할 때의 마찰력 즉, 최대 정지마찰력을 측정하여 비교하였지만 Riley 등<sup>36)</sup>, Frank와 Nikolai<sup>18)</sup>, Stannard 등<sup>20)</sup>, Garner 등<sup>8)</sup>, Kapila 등<sup>12)</sup>은 운동마찰력 즉, 선재가 브라켓 내에서 이동할 때의 마찰력에 대하여 연구를 행하였다. Endo 등<sup>39)</sup>은 교정치료시 브라켓과 선재사이에서 나타나는 운동마찰력은 치아의 이동에 중대한 영향을 나타내고, 치료 초기 단계에서 필요한 활주기전(sliding mechanics)에 과도한 운동마찰력이 생기면 전치군의 효율적인 치아이동을 저지하여 대구



치군의 고정 상실을 초래하기 때문에 운동마찰력의 측정이 매우 중요하다고 하였다.

본 실험에서 얻어진 마찰력 특성 실험곡선을 비교한 결과 몇가지 중요한 사항을 발견할 수 있었다. TiN ion-plating하지 않은 군의 마찰력 특성 곡선(Fig. 10, 11)을 보면 브라켓 슬롯내에서 선재가 움직이기 시작하는 지점에서 마찰력이 매우 크며, 일단 움직이면 운동마찰력은 정지마찰력에 비해 30gm 이상의 낮은 값을 나타내고 있었다. 그러나 TiN ion-plating한 군의 마찰력 특성 곡선(Fig. 8, 9)에서는 TiN ion-plating에 의해 최대 정지마찰력과 운동마찰력의 차이가 TiN ion-plating하지 않은 군에 비해 작음을 알 수 있다. 즉 TiN ion-plating 처리에 의해 미세적으로 평탄해진 선재의 표면상태에 의해 최대 정지마찰력을 크게 감소시켰을 것으로 생각된다.

A2, A5, B2, B5군에서의 운동마찰력 특성곡선 부분이 다른 군에 비해 매우 불규칙하여 운동시의 마찰저항이 균일하지 않을것으로 예상된다. 이것은 Fig. 3에서 관찰된 것과 같이 세라믹 브라켓 슬롯 내면의 조직에서 결정입계의 돌출부가 존재하기 때문인 것으로 추측된다. 또 플라스틱 브라켓을 사용한 A3, A6, B3, B6군에서도 다른 군에 비해 최대 정지마찰에서 운동마찰 영역으로의 변환이 매우 급격히 일어났는데, 이는 Fig. 3에서 관찰된 것과 같이 플라스틱 브라켓 내면에 존재하는 강화선재에 의한 저항에 기인된 것으로 추측된다.

한편, 운동마찰력은 TiN ion-plating한 군과 ion-plating하지 않은 군에서 최대 정지마찰력만큼의 차이를 보이지 않고 거의 비슷한 값을 보이므로 최대 정지마찰력 상태의 활주기전과 일단 선재 운동이 시작한 후의 활주기전이 서로 다름을 의미하고, 운동마찰력에서는 선재의 표면상태가 크게 영향을 미치지 않음을 간접적으로 시사하고 있으나 이 점에 대해서는 향후 더욱 연구가 필요한 것으로 생각된다.

## V. 요약

TiN ion-plating된 Co-Cr 선재(.016", .016"×.022")와 ion-plating되지 않은 선재(.016", .016"×.022")를 이용하고, 3가지 종류의 브라켓(TiN ion-plating된 금속 브라켓, 세라믹 브라켓 및 플라스틱 브라켓)을 대상으로 마찰실험을 행하고, 거기에서 얻어진 마찰 특성곡선과 곡선으로부터 구한 최대 정지마찰력, 그리고 선재와 브라켓의 표면양상을 주사전자현미경으로

관찰하여 TiN ion-plating의 효과를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 3가지 종류의 브라켓에 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우의 마찰력은 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우의 마찰력보다 각각 통계학적으로 유의성있게 낮았다(P<0.05).
- 3가지 종류의 브라켓에 원형 선재를 사용한 경우의 마찰력은 각형 선재를 사용한 경우의 마찰력보다 각각 통계학적으로 유의성있게 낮았다(P<0.05).
- 원형 선재를 사용한 경우 TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우가 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우보다 선재 및 브라켓 슬롯의 표면이 더욱 거친 양상을 나타내었다.
- 각형 선재를 사용한 경우 전반적으로 원형 선재를 사용한 경우보다 선재 및 브라켓 슬롯의 표면이 더욱 거친 양상을 나타내었다.
- TiN ion-plating된 원형 선재를 사용한 경우 정지마찰력과 운동마찰력의 차는 별로 없었으나 TiN ion-plating된 각형 선재를 사용한 경우 정지마찰력은 운동마찰력보다 다소 높았다.
- TiN ion-plating되지 않은 선재를 사용한 경우가 TiN ion-plating된 선재를 사용한 경우에 비해 정지마찰력이 운동마찰력보다 훨씬 높았다.

## 참고문헌

1. Pratten, D. H., Popli, K., Germane, N., and Gunsolly, J. C. : Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic bracket, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 98 :398-403, 1990.
2. Bender, J. R., Grundeman, G. W., and Sandrik, J. L., : A comparative study of frictional forces between orthodontic bracket and arch wires, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100 : 513-522,1991.
3. Saunder, C. R. : Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 106 : 76-87, 1994.
4. Keith, O., Kusy, R. P., and Whitley, J. Q. : Zircornia brackets: An evaluation of morphology and coefficients of friction, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 106 : 605-14, 1994.
5. Tselepis, M. T., Brockhurst, P. B., and West, V. C. : The dynamic frictional resistance between orthodontic bracket and arch wires, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 106 : 131-8, 1994.
6. Kusy, R. P., Whitley, J. Q., Mayhew, M. J., Buckthal, J. E. : Surface roughness of orthodontic archwires, Angle Orthod.,

- 58 : 33-45, 1988.
7. Kusy, R. P., Whitley, J. Q., : Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slot, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 98 : 300-312, 1990.
  8. 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. Dentofac. Orthop.*, 90 : 199-203, 1986.
  9. 민정미, 서정훈 : 치아의 활주이동시 교정용 brackets과 arch wire사이에서 발생하는 마찰저항력에 관한 비교연구, *대치교정지*, 18(1) : 155-162, 1988.
  10. Vaughan, J. L., Duncanson. M. G., Nanda, R. S., and Currier, G. F. : Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 107 : 20-27, 1995.
  11. Burstone, C. J. and Farzin-nia, F. : Production of low-friction and colored TMA by ion implantation, *J. Clin. Orthod.*, 29 : 453-461, 1995.
  12. Kapila, A., Angolkar, P. V., Duncanson, M. G., and Nanda, R. S. : Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 98 : 117-126, 1990.
  13. Angolkar, P. V., Kapilla, S., Duncanson, M. G., and Nanda, R. S. : Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wire of four alloys, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 98 : 499-506, 1990.
  14. Echols, P. M. : Elastic ligatures : Binding forces and anchorage taxation, *Am. J. Orthod.*, 67 : 219-220, 1975.
  15. Berger, J. L. : The influence of the speed bracket's self ligating design on force levels in tooth movement, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 97 : 219-228, 1990.
  16. Berger, J. L. : The SPEED appliance : A 14-year update on this unique self-ligating orthodontic mechanism, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 105 : 217-23, 1994.
  17. Shivapuja, P. K. and Berger, J. : A comparative study of conventional, ligation and self-ligation bracket systems, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 106 : 472-80, 1994.
  18. 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.
  19. Drescher, D., Bouraucl, and Schmacher, H. A. : friction forces between bracket and arch wire, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 96 : 397-404, 1989.
  20. 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.
  21. Baker, K. L., Nieberg, L. G., Weimer, A. D., and Hanna, M. : Frictional changes in force values caused by saliva substitution, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 91 : 316-320, 1987.
  22. 고정석 : 인공타액하에서 교정선과 bracket간의 마찰력에 대한 연구 : *대치교정지*, 18 : 55-63, 1988.
  23. Edie, J. W., Andreasen, G. F., and Zaytoun, M. P. : Surface corrosion of Nitinol and stainless steel under clinical conditions, *Angle Orthod.*, 51 : 319-324, 1981.
  24. Greenberg, A. R. and Kusy, R. P. : A survey of specialty coatings for orthodontic wires, *J. Dent. Res.* 58 : A23, 1979.
  25. Zuiki Y., Tenshin S., Masayama K., Watanabe S., Matumoto F., and Kawata T. : An experimental study on the frictional resistance of arch wire coated with amorphous metal, *J. Jpn. Orthod. Soc.*, 55 : 1-7, 1996.
  26. Mattox, D. M. : Film deposition using Accelerated Ion, *Electrochem. Technol.*, 2 : 295, 1963.
  27. Pivin, J. C. : Structure and wear resistance of Ti and TiAl surfaces implanted with B, C, N, O., *J. Materials Science*, 25 : 2743-2753, 1990.
  28. 清水昭,南二浪:裝飾目的 技術, 金屬 臨時 増刊號, 3 : 48-52, 1982.
  29. Yoshinari, M. : Studies on the application of ion-plating to dental restorations (Part 1) TiN ion-plating, *J. Japanese Society for Dental Materials and Devices*, 3 : 71-78, 1984.
  30. Yoshinari, M. : Studies on the application of ion-plating to dental restoration type IV gold alloy ion-plating, *J. Japanese Society for Dental Materials and Devices*, 4 : 97-105, 1985.
  31. Yoshinari, M. : Studies on the application of ion-plating to dental restoration to aluminum alloys, *J. Japanese Society for Dental Materials and Devices*, 5 : 17-25, 1986.
  32. Yoshinari, H., Kiuchi, M., Aoki, T., and Umemura, S. : Some propertis of ion-plated silver films, *일본 금속학회지*, 41 : 999-1006, 1977.
  33. 권오원, 김교한 : 교정용 장치물에 대한 TiN ion-plating의 응용, *대치교정지*, 21 : 7-16, 1991.
  34. 장시호, 권오원, 김교한 : TiN 피막 처리된 교정장치물의 마찰 저항력에 관한 비교연구, *대치교정지* 23 : 671-691, 1993.
  35. 김규용 등 : Tiper 물리학, 2판, 청문각(1990), pp. 66-78.
  36. Riley, J. L., Garrette, S. G., and Moon, P. C. : Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets, *J. Dent. Res.*, 58 : A21, 1979.
  37. Ireland, J. R., Sherriff, M., and McDonald, F. : Effect of bracket and wire composition on frictional forces, *Europ. J. Orthod.*, 13 : 322-328, 1991.
  38. 조명숙, 김종철 : 교정성 교정장치틀 이용한 치아이동시 발생하는 마찰력, *대치교정지*, 20 : 409-416, 1980.
  39. Endo, T., Horii, K., Yasuda, K., and Kameda, A. : A study on the frictional properties of low friction bracket, *J. Jpn. Orthod. Soc.*, 53 : 515-521, 1994.
  40. Kashiwagi, K. : Ion plating, *Metal Surface Technology*, 30 : 18-26, 1979.
  41. Peebles, D. E. and Pope, L. E. : Reactive evaporation of thin titanium nitride films in ultra-high vacuum and their friction and wear behavior as a function of contact stress, *Thin solid films*, 173 : 19-37, 1989.
  42. Habig, K. H. : Friction and wear of sliding couples coated with TiC, TiN or TiB<sub>2</sub>, *Surface and Coatings Technology*, 42 : 133-147, 1990.

- ABSTRACT -

## The Frictional Resistance Of Tin Ion-Plated Co-Cr Orthodontic Wire

Ho-Kyu Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Oh-Won Kwon, D.D.S., M.S.D., Ph.D, Kyo-Han Kim, Ph.D.\*

*Department of Orthodontics, College of Dentistry, Kyungpook National University*

*\*Department of Dental Materials, College of Dentistry, Kyungpook National University*

The effectiveness of TiN ion-plating was examined with TiN ion-plated Co-Cr wires(.016", .016"×.022") on three different types of bracket(TiN ion-plated metal bracket, ceramic bracket and plastic bracket).

Maximum static frictional forces and characteristic curves obtained from the frictional characteristic graph, were compared and surface roughness of wires and bracket slots before and after friction experiment was observed by SEM.

The obtained results were as follows :

- The frictional forces of TiN ion-plated wires were significantly lower than those of non ion-plated wires( $P<0.05$ ).
- On the effect of wire shape, the frictional forces of round wires were significantly lower than those of rectangular wires( $P<0.05$ ).
- As the result of the SEM observation on the wires and bracket slots after the friction experiment, the surface of non ion-plated wires was rougher than that of TiN ion-plated ones.
- The difference between the static frictional forces and the kinetic frictional forces was not significant in case of the TiN ion-plated round wires, but the static frictional forces were a little higher than the kinetic frictional forces in the TiN ion-plated rectangular wires.
- The static frictional forces were much higher than the kinetic frictional forces in the case of non ion-plated wires.

KOREA. J. ORTHOD. 1998 ; 28 : 123-133

※ **Key words** : TiN ion-plating, Co-Cr orthodontic wire, frictional resistance