

2007년 2월

석사학위논문

석사학위논문

교정용 베타-티타늄 와이어의 하중/변위 특성

교정용 베타-티타늄 와이어의 하중/변위 특성

조선대학교 대학원

치의학과

이건웅

이건웅

교정용 베타-티타늄 와이어의
하중/변위 특성

*Load-deflection characteristics of
beta-titanium wires*

2007년 2 월 25 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 건 응

교정용 베타-티타늄 와이어의 하중/변위 특성

지도교수 임 성 훈

이 논문을 치의학 석사학위 신청논문으로 제출함.

2006년 10 월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 건 응

이건웅의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김 광 원 인

위 원 조선대학교 교수 이 난 영 인

위 원 조선대학교 교수 임 성 훈 인

2006년 11 월

조선대학교 대학원

표목차 -----	ii
도목차 -----	ii
영문초록(<i>ABSTRACT</i>) -----	iii
I. 서론 -----	1
II. 재료 및 방법 -----	2
1. 실험 재료 -----	2
2. 와이어 크기 측정 -----	2
3. 3점 굴곡 시험 -----	2
4. 통계 처리 -----	3
III. 연구결과 -----	4
1. 와이어 크기 측정 -----	4
2. 3점 굴곡 시험 -----	5
IV. 총괄 및 고안 -----	9
V. 결론 -----	13
참고문헌 -----	14

표 목 차

Table 1. Beta-titanium wires used in this study -----	2
Table 2. Thickness and Width of .016" x .022" beta-titanium wires -----	4
Table 3. Thickness and Width of .019" x .025" beta-titanium wires -----	4
Table 4. 3-point bending test results of .016" x .022" beta-titanium wires --	5
Table 5. 3-point bending test results of .019" x .025" beta-titanium wires --	6
Table 6. Stiffness of .016" x .022" and .019" x .025" beta-titanium wire ----	7
Table 7. Flexural Young's modulus of .016" x .022" and .019" x .025" beta-titanium wires -----	7
Table 8. Deflection at the maximum force limit -----	8

도 목 차

Figure 1. Upper and lower jigs used for 3-point bending test -----	3
--	---

ABSTRACT

Load-deflection characteristics of beta-titanium wires

Geon-Woong, Lee, D.D.S.

Advisor : Prof. Sung-Hoon, Lim,
D.D.S., M.S.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

Recently, many companies have started to sell various beta-titanium wires, but the physical properties were not properly compared. The purpose of this study was to compare the load deflection characteristics including size, stiffness, proportional limit, and permanent deformation. Six kinds of .016" x .022" and .019" x .025" wires were used and 10 samples were tested for each wires. 3-point bending test was done using universal testing machine. The results showed that there were very little size variation among wires. But in the load/deflection characteristics, there were many differences like follows;

1. TMA showed larger amount of permanent deformation.
2. Beta Blue wire showed different load/deflection characteristics between .016" x .022" wire and .019" x .025" wire.
3. Titanium Niobium wire showed stiffness and proportional limit similar to other beta-titanium wires, and relatively severe permanent deformation.
4. Beta-titanium wires with low stiffness and less permanent deformation are .016" x .022", and .019" x .025" Beta III-CNA, and .019" x .025" Beta Blue.

When selecting beta-titanium wires in the orthodontic offices, selecting beta-titanium wires based upon this study is recommended.

I. 서론

1979년 Burstone¹이 교정 영역에 베타-티타늄을 처음 소개하였는데, 이 베타-티타늄 와이어는 연하고 굴곡 부여가 어려운 니켈-티타늄 와이어와 단단하고 굴곡 부여가 용이한 스테인리스강 와이어 사이의 중간 단계의 와이어로서, variable modulus orthodontics²의 탄성 계수 진행 과정상에서 빠져있던 중간 단계의 탄성 계수를 제공한다³. 베타-티타늄의 장점으로 우수한 spring-back, 낮은 견성, 높은 성형성, 우수한 용접성이 보고된 바 있으며³⁻¹¹, 단점으로는 높은 마찰력이 보고된 바 있다^{3,12-18}.

몇 년 전까지는 Burstone의 특허로 인해 한 회사(Ormco, Glendora, CA, USA)에서 단지 2종의 베타-티타늄 와이어(TMA와 Titanium Niobium)만이 판매되어 왔으나, 몇 년 전 특허가 만료된 후부터 여러 회사에서 다양한 교정용 베타-티타늄 와이어들이 생산, 판매되고 있다^{3,19}. 이러한 다양한 베타-티타늄 와이어들의 물성은 두 개의 문헌^{3,19}에서 조사된 바 있으나, 견성만을 조사하거나³ 한 가지 와이어 크기에 대해서만 조사했다는¹⁹ 한계점이 있었다. Johnson³은 여러 제조회사의 다양한 크기의 베타-티타늄 와이어의 견성을 조사한 결과 와이어마다 견성이 크게 차이를 확인하였으며, 이에 따라 필요한 견성을 갖는 베타-티타늄 와이어를 선택하여 쓸 수 있게 되었다고 하였으며, 와이어 크기에 따라 상품들의 견성 크기에 따른 순위가 변화하여 특정 상품이 일관되게 견성이 현저히 크거나 작은 성질을 지녔다고 보기 어려움을 보여준 바 있다. Verstryngge 등¹⁹은 .017" x .025" 베타-티타늄 와이어들의 굽힘 탄성계수와 인장 탄성계수 및 항복강도, spring-back ratio(YS/E), 최대 인장 강도를 구하여 비교한 바 있으며, 굽힘 탄성계수의 상품에 따른 순위에 있어서 Johnson³의 연구 결과와 다소 다른 결과를 보고한 바 있다.

본 연구의 목적은 다양한 제조회사들의 .016" x .022" 크기 및 .019" x .025" 크기의 교정용 베타-티타늄 와이어의 견성과 비례한계, 영구변형량을 조사하여 임상에서 베타-티타늄 와이어를 선택할 때 이용할 수 있는 기초 자료를 제공하는 것이었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서는 5개 회사에서 판매되고 있는 6종의 베타-티타늄 와이어를 사용하였으며, Titanium Niobium 와이어를 제외하고는 각각 0.016" x 0.022" 및 0.019" x 0.025" 두 가지 크기의 와이어를 시험에 사용하였다(Table 1). 여섯 가지 상품명에 총 11종의 와이어 각각에서 동일 batch의 10개씩의 표본을 실험에 사용하였으며, 총 110개의 시편을 사용하였다. 각 호선 형태의 와이어 시편에서 최후방 직선부를 2cm 길이로 절단하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Beta-titanium wires used in this study

Manufacturer	Location	Product name	Size (mil)
Ormco	Glendora, CA, USA	TMA	16 x 22 / 19 x 25
		Titanium Niobium	19 x 25
G&H	Greenwood, IN, USA	Titan Moly	16 x 22 / 19 x 25
RMO	Denver, CO, USA	Bendaloy	16 x 22 / 19 x 25
Ultimate-Wireforms	Bristol, CT, USA	BetaIII-CNA	16 x 22 / 19 x 25
Highland Metals	San Hose, CA, USA	Beta Blue	16 x 22 / 19 x 25

2. 와이어 크기 측정

와이어 종류별로 모든 시편의 폭과 두께를 디지털 캘리퍼(Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 0.01mm 단위로 측정하였다.

3. 3점 굴곡 시험

베타-티타늄 와이어 시편의 하중 변위 곡선을 3점 굴곡 시험을 통해 구하였다. 3점 굴곡 시험은 만능물성시험기(Lloyd LF plus, Lloyd instruments, Fareham, UK)를 사용하여 시행하였으며, 20N 용량의 load cell을 사용하였다. 이때 실험실의 온도는 $23^{\circ} \pm 1^{\circ}$ 를 유지하였으며, crosshead 속도는 0.5 mm/min으로 하였다. 3점 굴곡 시험용 지그는 ANSI/ADA spec No. 32에 따라 하부 지그의 와이어 지지부 사이의 거리가 12mm가 되도록 지그를 제작

하였으며, 상부 지그에 부착된 plunger는 하부 지지부 사이의 중앙에 위치하도록 하였다. 또한 지그의 와이어 지지부 및 plunger 첨단부는 직경 0.1mm의 곡선이 되도록 하였다. .016" x .022" 베타-티타늄 와이어의 경우에는 하중이 7N이 될 때까지 변위시켰으며, .019" x .025" 베타-티타늄 와이어의 경우에는 하중이 13N이 될 때까지 변위시켰다. .019" x .025" Titanium Niobium 와이어의 경우에는 최대 굴곡 강도가 10N에 불과하여 9.5N까지 변위시켰다. 얻어진 각 시편의 하중 변위 곡선으로부터 건성, 비례한계, 영구변형량을 구하였다.

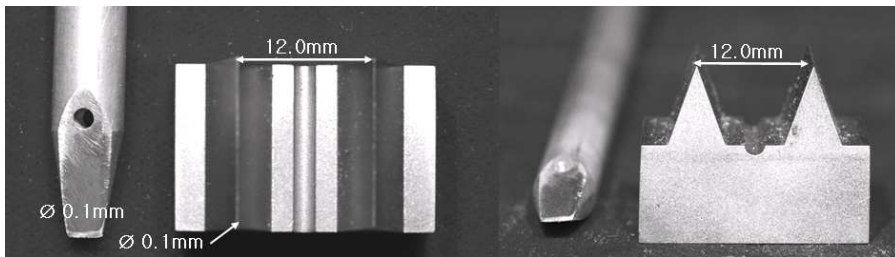


Fig 1. Upper & lower jigs for three point bending test.

4. 통계 처리

와이어 종류별로 폭과 두께의 평균과 표준편차를 구하였다. 와이어 종류에 따른 차이는 One-way ANOVA로 검정하였으며, Tukey로 사후 검정을 시행하여 homogeneous subset을 구분하였다. Titanium Niobium 와이어의 경우 실험 조건이 달랐으므로 ANOVA에는 포함시키지 않고 평균과 표준편차만 구하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 와이어 크기 측정

와이어 종류별 크기의 평균값과 표준편차는 다음과 같다 (Tables 2 and 3). .016" x .022" 베타-티타늄 와이어의 경우 모든 와이어들이 두께 16mil, 폭 22mil이라는 공칭 규격보다는 좀더 작은 값을 보였으며, TMA가 가장 공칭 규격과 유사한 수치를 보였고, Beta blue가 가장 작은 수치를 보였다(Table 2). .019" x .025" 베타-티타늄 와이어에서도 두께 19mil, 폭 25mil의 공칭 규격보다 좀더 작은 값을 보였으며, 두께보다는 폭에 있어서 조금 더 공칭 규격보다 작은 값을 나타냈다(Table 3). 그러나 제품들 사이의 현저한 차이는 없었다.

Table 2. Thickness and width of .016" x .022" beta-titanium wires

Product name	Thickness(S.D.)	Width(S.D.)
TMA	15.9(0.2)	22.0(0.8)
Titan-Moly	15.7(0.1)	21.5(0.2)
Bendalloy	15.7(0.0)	21.7(0.1)
βIII-CNA	15.6(0.2)	21.5(0.3)
Beta Blue	15.6(0.2)	21.2(0.2)

Unit: mil

Table 3. Thickness and width of .019" x .025" beta-titanium wires

Product name	Thickness(S.D.)	Width(S.D.)
TMA	18.9(0.1)	24.2(0.3)
Titan-Moly	18.9(0.0)	24.3(0.1)
Bendalloy	18.8(0.2)	24.9(0.3)
βIII-CNA	18.5(0.1)	25.1(0.1)
Beta Blue	18.7(0.2)	24.4(0.1)
Titanium-Niobium	18.8(0.2)	24.4(0.1)

Unit: mil

2. 3점 굴곡 시험

.016" x .022" 베타-티타늄 와이어의 3점 굴곡 시험 결과 견성에 있어서는 Beta III CNA가 524cN/mm로 가장 낮았으며, TMA는 중간 수준이었고, beta blue는 543cN/mm로 가장 높았다(Table 4). .016" x .022" 베타-티타늄 와이어의 영구 변형량은 Beta III CNA와 Bendalloy에서 가장 낮았으며, TMA와 Titan-Moly에서 가장 컸다. 비례한계는 견성에 비례하는 양상을 보였다.

Table 4. 3-point bending test results of .016" x .022" beta-titanium wires

Product	Properties <i>Stiffness</i> (S.D.) (cN/mm)	<i>Permanent Deformation</i> (S.D.) (μ m)		<i>Proportional Limit</i> (S.D.) (cN)		
		subset	subset	subset	subset	
TMA	561(4)	3	92(12)	3	341(53)	3, 4
Titan Moly	599(7)	4	82(10)	3	342(33)	3
Bendalloy	551(5)	2	26(5)	1, 2	252(11)	2
β III-CNA	524(6)	1	21(3)	1	214(6)	1
Beta Blue	643(9)	5	37(9)	2	394(37)	4
<i>p</i> -value	<0.001		<0.001		<0.001	

Means with same subset number indicate same Tukey group and no significant difference ($P > .05$)

.019" x .025" 베타-티타늄 와이어의 3점 굴곡 시험 결과 견성에 있어서는 .016" x .022" 와이어에서 가장 높은 견성을 보였던 Beta Blue 와이어가 914cN/mm의 가장 낮은 견성을 보였으며, 그 다음으로 TMA와 Beta III CNA가 낮은 견성을 보였고, Titan Moly가 1149cN/mm로 가장 높은 견성을 나타냈다(Table 5). 영구 변형량에 있어서는 .016" x .022" 와이어에서와 마찬가지로

가지로 Bendalloy, Beta III CNA 및 Titan Moly가 낮은 영구변형량을 나타냈으며, 가장 큰 영구변형량을 나타낸 것은 TMA였다. 비례한계는 .016" x .022" 와이어에서와 마찬가지로 견성에 비례하는 양상을 보였다(Table 5).

Table 5. 3-point bending test results of .019" x .025" beta-titanium wires

Product	Properties		<i>Permanent</i>		<i>Proportional</i>	
	<i>Stiffness</i> (S.D.) (cN/mm)	subset	<i>Deformation</i> (S.D.) (μ m)	subset	<i>Limit</i> (S.D.) (cN)	subset
TMA	948(22)	2	177(39)	3	385(80)	3
Titan Moly	1149(8)	3	40(11)	1, 2	816(135)	5
Bendalloy	1132(26)	3	25(5)	1	619(47)	4
β III-CNA	962(7)	2	37(7)	1, 2	276(63)	2
Beta Blue	914(8)	1	54(8)	2	251(48)	1
Titanium Niobium	987(20)		233(50)		369(54)	
<i>p</i> -value	<0.001		<0.001		<0.001	

Means with same subset number indicate same Tukey group and no significant difference ($P > .05$)

.016" x .022" 와이어와 019" x .025" 와이어의 견성과 굽힘 탄성 계수를 비교하면, 와이어의 크기 증가에 따라 견성은 증가하나 굽힘 탄성계수는 비슷한 결과를 얻을 수 있었으며 Beta Blue의 경우에는 오히려 굽힘 탄성계수가 .019" x .025" 와이어에서 현저히 작아졌다(Tables 6, 7).

Table 6. Stiffness of .016" x .022" and .019" x .025" beta-titanium wires

Product name	.016x.022"(S.D.)	.019x.025"(S.D.)	Difference
TMA	561(4)	948(22)	387
Titan-Moly	599(7)	1149(8)	550
Bendalloy	551(5)	1132(26)	580
βIII-CNA	524(6)	962(7)	438
Beta Blue	643(9)	914(8)	285
Titanium-Niobium		987(20)	

Unit: cN/mm

Table 7. Flexural Young's modulus of .016" x .022" and .019" x .025" beta-titanium wires

Product name	.016x.022"(S.D.)	.019x.025"(S.D.)
TMA	69.00(0.49)	61.94(1.44)
Titan-Moly	75.01(0.88)	73.87(0.51)
Bendalloy	69.00(0.63)	71.62(1.65)
βIII-CNA	65.62(0.75)	63.82(0.46)
Beta Blue	82.01(1.14)	62.59(0.55)
Titanium-Niobium		63.45(1.29)

Unit: GPa

3점 굴곡 시험 한계 지점에서의 변위량은 다음과 같았으며, 와이어의 견성이 낮은 Beta III CNA와 같은 와이어는 더 큰 변위량을 보였고, 견성이 높은 와이어는 더 낮은 변위량을 보였다(Table 8).

Table 8. Deflection at the maximum force limit*

Product name	.016x.022"(S.D.)	.019x.025"(S.D.)	Difference
TMA	1.47(0.02)	1.61(0.09)	0.14
Titan-Moly	1.34(0.02)	1.11(0.02)	-0.23
Bendalloy	1.51(0.03)	1.48(0.01)	-0.03
βIII-CNA	1.57(0.02)	1.62(0.04)	0.05
Beta Blue	1.16(0.02)	1.10(0.01)	-0.06
Titanium-Niobium	--	1.25(0.06)	--

Unit: mil

*: Maximum force limit: .016" x .022"; 7N, .019" x .025"; 12N,
.019" x .025" Titanium Niobium; 9.5N

IV. 총괄 및 고안

베타-티타늄 와이어 크기의 다양성에 대해서는 Cash 등¹⁴, Verstrynge 등¹⁹과 Kusy 등²⁰이 보고한 바 있다. 본 연구 결과 베타-티타늄 와이어의 두께보다는 폭에 있어서 조금 더 공칭 규격보다 작은 값이 나타났는데, 이러한 결과는 모든 와이어들이 두께는 공칭 규격보다 더 크고 폭은 더 작다고 보고한 Verstrynge 등¹⁹의 연구 결과와 유사하다. 각형 와이어의 제조방법은 두 개의 수직으로 배열된 롤러 사이로 원형의 와이어를 통과시키는 것이다¹⁹. 따라서 이렇게 두께에서 공칭 규격보다 더 크게 나타나는 현상은 아마도 큰 직경의 원형 와이어를 작은 크기의 각진 와이어로 성형하는 과정에서 폭보다는 더 얇은 크기인 두께를 맞추는 것이 더 어렵기 때문에 생기는 현상인 것으로 추측된다. Cash 등¹⁴은 베타-티타늄 와이어가 스테인리스강 와이어보다 수치가 더 부정확하다고 하였는데, 이러한 현상은 베타-티타늄 와이어의 우수한 spring-back ratio가 오히려 가공성을 떨어뜨리기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 낮은 가공성은 아마도 각형 베타-티타늄 와이어의 단면의 직사각형의 모서리 부분이 덜 직각을 이루도록 할 가능성이 있으며, 만약 모서리 부분이 둥글게 형성되어 있는 정도가 스테인리스강에 비해 더 심하다면, 브라켓 슬롯과 와이어 사이의 slot play가 커져서 결과적으로 유효 토크의 크기가 스테인리스강의 경우에 비해 더 감소될 것이다. 베타-티타늄 와이어의 크기가 공칭보다 다소 작은 경향을 보였지만 베타-티타늄 와이어 종류에 따른 크기의 편차는 매우 작았으므로 이러한 편차가 베타-티타늄 와이어의 물성 시험 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

베타-티타늄 와이어들의 상품 종류에 따른 견성 순서에 있어서 본 연구 결과는 기존의 연구들^{3,19}의 결과와 유사하면서도 완전히 일치되지는 않는 결과를 보였다. 기존의 연구들 자체도 서로 완전히 일치하지 않는 것으로 보아 이러한 차이는 아마도 베타-티타늄 와이어의 batch간 차이가 비교적 큰 때문이 아닌가 생각된다. 이러한 문제는 향후 연구에서 보다 깊이 있게 검토되어야 할 것이다.

Beta Blue 와이어의 경우 .016" x .022" 와이어는 견성이 컸는데, .019" x .025" 와이어는 견성이 작았다, 이것은 원선의 제조원이 와이어 크기별로 다르거나 열처리 방법 등이 달랐던 것 때문으로 추정된다. 베타-티타늄 와이어의 열처리 조건에 따라 베타 상의 결정 크기가 달라지고, 석출물이 생기는 현상에 따라 물성이 바뀔 수 있음이 Laheurte 등²¹에 의해 보고된 바 있다.

순수 티타늄은 상온에서 알파상의 결정 구조(hexagonal close packed lattice)를 보이며, 순수 티타늄을 883°C 이상으로 가열할 경우 베타상의 결정 구조(body-centered cubic lattice)가 나타나게 된다²². 순수한 티타늄에 베타-안정화 요소를 첨가할 경우 상온에서도 베타상의 결정 구조를 갖게 되는데, 이러한 베타-안정화 요소로는 몰리브덴(Mo), 바나듐(V), 니오비움(Nb), 망간(Mn), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 등이 있다.

Verstryngne 등¹⁹은 Beta Blue 와이어의 경우에는 합금의 분류상 Beta C형 티타늄 합금으로 분류되는 와이어로서 3% Al, 8% V, 6% Cr, 4% Mo, 4% Zr을 포함하는 티타늄 합금이라고 하였으며, Titanium Niobium 와이어는 45% Nb를 포함하는 티타늄 합금으로서 역시 베타-티타늄의 일종이라고 하였다. 이들에 따르면 본 실험에 사용한 와이어들 중 Beta Blue와 Titanium Niobium을 제외한 나머지 와이어들은 모두 11.5% Mo, 6% Zr, 4.5% Sn을 포함하는 Beta III형 티타늄 합금에 속한다. 이러한 성분 중 Mo는 베타-안정화 요소이며, Zr과 Sn은 강도를 증가시키기 위해 첨가된 성분이다²³. 본 연구에는 포함되지 않은 TiMolium(TP, LaPorte, USA)에 대해서 Kusy 등²² 및 Verstryngne 등¹⁹은 TiMolium은 6% Al, 4% V를 포함하는, alpha상과 beta상이 공존하는 α - β 합금에 해당하며, Beta III형이나 Beta C형 티타늄 합금에 비해 더 높은 견성을 나타낸다고 보고한 바 있다. 이 합금은 교정용 미니-임플란트 및 일부 보철용 임플란트에 흔히 사용되는 ASTM grade 5 티타늄 합금과 같은 합금으로서 베타-티타늄이 아니므로 본 연구에는 포함시키지 않았다.

총래의 베타-티타늄 와이어인 TMA는 다른 베타-티타늄 와이어들에 비해 가장 큰 영구변형량을 보였다. TMA의 견성 자체는 중간 정도라는 점을 감안하면 이는 TMA의 작동 범위(range) 및 spring-back ratio가 다른 베타-티

타늄 와이어에 비해 불량하다는 것을 암시하는 것이라고 할 수 있다.

영구변형량에 있어서 TMA, Beta III CNA, Beta Blue에서는 .016" x .022" 와이어에 비해 .019" x .025" 와이어에서 영구변형량이 더 증가하는 것으로 나타났으나, Titan Moly와 Bendalloy에서는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. Titan Moly와 Bendalloy의 경우에는 .016" x .022" 와이어에 비해 .019" x .025" 와이어에서는 견성이 커지므로(Table 6), .016" x .022" 와이어에서의 7N까지의 변위 시험에서의 변위량에 비해 .019" x .025" 와이어에서의 3점 굴곡시험에서의 12N까지의 변위 시험에서 상대적으로 변위량이 작아서(Table 8) .019" x .025" 와이어에서 오히려 영구변형량이 감소된 것으로 판단된다.

Titanium Niobium 와이어의 경우에는 견성은 다른 베타-티타늄 와이어와 유사하면서 영구변형량이 현저히 큰 특징을 보였는데, 이는 작동 범위(range)와 spring-back rate가 좋지 않다는 것을 뜻한다. 이 와이어는 교정치료 마무리 단계에서 multi-braided wire를 대체하여 사용하기 위한 용도로 소개되었는데, 제조사는 Titanium Niobium 와이어가 TMA 와이어의 80%의 견성을 지닌다고 주장하나 본 실험 결과에서는 오히려 견성이 TMA 와이어보다 39 cN/mm 더 높은 것으로 나타났다. Johnson³ 또한 .017" x .025" 와이어를 제외한 .016" x .022" 와이어와 .021" x .025" 와이어를 대상으로 한 실험에서 Titanium Niobium 와이어가 TMA 와이어보다 더 큰 견성을 나타낸다고 하였으며, Verstrynge 등¹⁹도 .017" x .025" 와이어를 대상으로 한 실험에서 Titanium Niobium 와이어가 TMA 와이어보다 더 큰 굴곡 탄성계수를 보였다고 보고한 바 있다. 이러한 일관된 실험 결과를 볼 때 Titanium Niobium 와이어는 제조사의 주장과는 달리 TMA보다 높은 견성을 가진 것으로 생각된다. 이러한 높은 견성과 큰 영구변형량을 고려할 때 Titanium Niobium 와이어에 굴곡을 부여하여 치아를 적극적으로 이동시키고자 하는 것은 바람직하지 않다고 생각된다. 다만 와이어를 브라켓에서 제거하지 않고 bendistal plier (Bendistal pliers, Chesterfield, Mo, USA) 등으로 굴곡을 부여하는 경우²⁴에는 적은 변위량에서 보다 쉽게 영구변형되는 특성으로 인해 좀 더 용이하게 굴곡을 부여할 수 있는 장점은 있을 수 있다.

.016" x .022" 와이어와 .019" x .025" 와이어의 견성을 비교할 때, .019" x .025" 와이어는 285cN/mm ~ 580cN/mm까지의 견성을 나타내는 .016" x .022" 와이어의 두 배 정도의 수치인 914cN/mm ~ 1149cN/mm로 견성이 증가하는 것을 볼 수 있다(Table 6). 이는 대단히 큰 힘으로서 .019" x .025" 베타 티타늄 와이어에서는 루프 형성 없이 와이어에 굴곡을 부여하여 치아를 이동시키고자 할 경우 한 번에 약 0.1mm 이하 수준의 굴곡을 부여하여야만 1N 전후의 교정력을 가할 수 있을 것으로 생각된다.

순수 티타늄의 탄성계수는 114GPa이고²⁵, 베타-티타늄의 탄성계수는 72.4GPa인데²⁰, 이러한 베타-티타늄의 탄성계수는 초탄성 오스테나이트 니켈-티타늄의 초기 직선 구간의 탄성계수에 비견되는 것이며, 고전적인 마르텐사이트 니켈-티타늄의 탄성계수의 두 배에 해당하고, 300계열 오스테나이트 스테인리스강의 탄성계수의 1/3에 해당하는 것이다²⁶. 그러나 이러한 낮은 탄성계수에도 불구하고 임상에서 1mm 변위량에 500gf 이상의 큰 힘이 가해질 수 있음에 유의해야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 굽힘 탄성계수가 62GPa에서 82GPa의 범위를 보였는데, Beta Blue의 경우에는 굽힘 탄성계수가 .019" x .025" 와이어에서 현저히 작아지는 특징을 보였다(Table 7).

본 연구 결과 베타-티타늄 와이어의 종류에 따라 견성, 영구변형량, 비례한계에 현저한 차이가 있었다. 종래의 베타-티타늄 와이어인 TMA는 큰 영구변형량을 보였다. 베타-티타늄 와이어의 경우 일반적으로 견성이 작으면서 동일 하중에서 영구변형이 덜 발생하는 것이 보다 바람직하므로^{4,11} 이러한 측면에서는 .016" x .022" 와이어의 경우에는 Beta III-CNA가, .019" x .025" 와이어의 경우에는 Beta Blue 또는 Beta III-CNA가 좋은 특성을 가졌다고 할 수 있다.

향후 연구에서는 베타-티타늄 와이어의 시간 경과에 따른 stress relaxation과 time-dependent deformation에 대해 조사하여, 임상에 적용 시 교정력을 지속적으로 발휘할 수 있는지를 조사하는 것이 바람직하다.

V. 결 론

베타-티타늄 와이어의 종류에 따른 견성, 영구변형량, 비례한계를 조사한 결과 와이어에 따라 현저한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TMA는 큰 영구변형량을 보였다
2. 베타-티타늄 와이어의 종류에 따른 하중/변위 특성은 와이어의 크기에 따라 달라지는 경향을 보였으며, 특히 Beta Blue 와이어의 경우에는 와이어의 크기에 따라 서로 상반된 성향을 나타냈다.
3. Titanium Niobium 와이어는 견성과 탄성한계는 다른 베타-티타늄 와이어와 유사하면서 영구변형량이 큰 특징을 보였다. .
4. 견성이 작으면서 영구변형이 적은 베타-티타늄 와이어로는 .016" x .022" 와이어의 경우에는 Beta III-CNA가, .019" x .025" 와이어의 경우에는 Beta Blue 또는 Beta III-CNA가 해당된다.

임상에서 베타-티타늄 와이어를 선택할 때는 와이어 크기별로 본 연구에서 밝혀진 견성과 영구변형량을 참고하여 적절한 와이어를 선택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Goldberg J, Burstone CJ. An evaluation of beta titanium alloys for use in orthodontic appliances. *J Dent Res* 1979;58:593-600.
2. Burstone CJ. Variable-modulus orthodontics. *Am J Orthod* 1981;80:811-6.
3. Johnson E. Relative Stiffness of Beta Titanium Archwire. *Angle Orthod* 2003;73:259-69.
4. Burstone CJ, Goldberg AJ. Beta titanium: a new orthodontic alloy. *Am J Orthod* 1980;77:121-32.
5. Kusy RP. Comparison of nickel-titanium and beta titanium wire sizes to conventional orthodontic arch wire materials. *Am J Orthod* 1981;79:625-9.
6. Kusy RP, Greenberg AR. Comparison of the elastic properties of nickel-titanium and beta titanium archwires. *Am J Orthod* 1982;82:199-205.
7. Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K. Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending and torsion. *Am J Orthod* 1982;82:206-10.
8. Goldberg AJ, Burstone CJ. Status report on beta-titanium orthodontic wires. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *J Am Dent Assoc* 1982;105:684-5.
9. Kusy RP. On the use of nomograms to determine the elastic property ratios of orthodontic archwires. *Am J Orthod* 1983;83:374-81.
10. Donovan MT, Jing-Jong Lin J, Brantley WA, Conover JP. Weldability of beta titanium archwires. *Am J Orthod* 1984;85:207-16.
11. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:100-9.
12. Mendes K, Rossouw PE. Friction: validation of manufacturer's claim. *Semin Orthod* 2003;9:236-50.
13. 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.
14. 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.
 15. Garner LD, Allai WW, Moore BK. A comparison of frictional force during simulated canine retraction of a continuous edgewise archwire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90:199-203.
 16. Tidy DC. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:249-54.
 17. Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:117-26.
 18. Vaughan JL, Duncanson MG Jr, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:20-7.
 19. Verstrynge A, Van Humbeeck J, Willems G. In-vitro evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:460-70.
 20. Kusy RP, Stush AM. Geometric and material parameters of a nickel-titanium and a beta titanium orthodontic archwire alloy. *Dent Mater* 1987;3:207-17.
 21. Laheurte P, Eberhardt A, Philippe MJ, Deblock L. Improvement of pseudoelasticity and ductility of Beta III titanium alloy-application to orthodontic wires. *Eur J Orthod* 2006;28:(Epub ahead of print).
 22. Kusy RP, Whitley JQ, de Araújo Gurgel J. Comparisons of surface

- roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:589-603.
23. Donachie MJ Jr. editor. *Titanium: a technical guide*. Metals Park (Ohio): ASM International; 1988.
24. Khouri SA. The bendistal pliers: a solution for distal end bending of superelastic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:675-6.
25. Luckey HA, Kubli F Jr. editors. *Titanium alloys in surgical implants*. ASTM special technical publication 796. Philadelphia: ASTM; 1983. p. 9.
26. Kusy RP. *Orthodontic biomaterials: from the past to the present*. *Angle Orthod* 2002;72:501-12.

(국문초록)

교정용 베타-티타늄 와이어의 하중/변위 특성

이 건 응

조선대학교 대학원 치의학과

(지도교수: 임 성 훈)

최근 여러 회사에서 다양한 교정용 베타-티타늄 와이어들이 생산, 판매되고 있으나, 이러한 다양한 베타-티타늄 와이어들의 물성은 아직 체계적으로 비교되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 다양한 교정용 베타-티타늄 와이어의 크기와 견성, 비례한계, 영구변형량과 같은 하중/변위 특성을 조사하여 임상에서 베타-티타늄 와이어를 선택하는 지침을 제공하고자 하였다. 5개 회사에서 판매되고 있는 6종의 베타-티타늄 와이어를 사용하였으며, 0.016" x 0.022" 및 0.019" x 0.025" 두 가지 크기의 와이어를 시험에 사용하였고, 와이어당 10개씩의 표본을 크기 계측 및 3점 굴곡시험에 사용하였다. 와이어의 크기에서는 제품들 간의 차이가 적었으나, 견성, 영구변형량, 비례한계에 있어서는 와이어에 따라 현저한 차이가 있었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 종래의 베타-티타늄 와이어인 TMA는 큰 영구변형량을 보였다
2. 베타-티타늄 와이어의 종류에 따른 하중/변위 특성은 와이어의 크기에 따라 달라지는 경향을 보였으며, 특히 Beta Blue 와이어의 경우에는 와이어의 크기에 따라 서로 상반된 성향을 나타냈다.
3. Titanium Niobium 와이어는 견성과 탄성한계는 다른 베타-티타늄 와이어와 유사하면서 영구변형량이 큰 특징을 보였다. .

4. 견성이 작으면서 영구변형량이 적은 베타-티타늄 와이어로는 .016" x .022" 와이어의 경우에는 Beta III-CNA가, .019" x .025" 와이어의 경우에는 Beta Blue 또는 Beta III-CNA가 해당된다.

임상에서 베타-티타늄 와이어를 선택할 때는 본 연구 결과를 참고하여 선택하는 것이 바람직하다.