

## 교정용 철사의 인장 특성에 관한 연구

연세대학교 치과대학 교정학교실

박 대 한 · 유 영 규

### I. 서 론

교정용 철사는 1940년대에 18%크롬-8%니켈의 조성을 가진 스테레스 철사가 개발되기 이전에는 약 60%금을 함유한 제 4 형 금합금 철사를 비롯한 귀금속 재료가 많이 사용되어졌으나 낮은 항복강도와 금의 가격 고가로 인해서 점차로 이에 대체될 수 있는 비귀금속계 합금의 개발이 요구되어져 왔으며, 이에 따라 오늘날에는 항복강도가 높고 내식성이 우수한 합금들이 개발되어 교정용 철사로서 사용되고 있다.

또한 이상적인 치궁 형태를 이루기 위해 사용되는 arch wire을 비롯하여 교정력의 형태와 강도를 조절하기 위해 각기 다른 굵기와 단면형태를 가진 교정용 철사들이 있다.

이들 교정용철사는 일반철사 및 공업용 철사와는 달리 우수한 내식성과 기계적 특성을 요구할 뿐만 아니라 구강내에서 기능적, 심미적, 화학적, 기계적 제특성을 요구하는 특수한 철사로서 특히 탄성 한도(elastic limit), 탄성율(modulus of elasticity) 및 최대휨성(maximum flexibility)이 요구조건에 적합하여야만 교정용 철사로 사용할 수 있다.<sup>1, 2</sup>

이와같은 교정용 철사는 재료의 화학 조성에도 관계가 있지만 각종 열처리 및 가공 방법에 따라서도 요구하는 기계적 특성을 얻을 수 있다. 최근 우리나라에서 많이 사용하고 있는 교정용 철사 재료는 전체 수요를 수입에 의존하는 실정이고 아울러 교정용 철사 재료에 대한 연구 보고도 거의 없

었다.

한편 외국의 경우는 각종 교정용 철사를 비롯한 기타의 교정용 재료를 전문적으로 생산해낼 뿐만아니라 이에 대한 많은 연구도 진행되고 있으며 오늘날까지 stainless steel이 개발된 이후 많은 연구가 진행되어 왔다.

1950년대 Funk<sup>3)</sup>는 stainless steel의 열처리에 관한 연구결과에서 stainless steel의 arch wire에 열처리는 매우 효과적이고 850°F가 가장 적절한 열처리 온도라고 보고하였으며 Backofen과 Gales<sup>4)</sup>는 열처리에 의해 응력제거에 대한 효과를 발표하였다.

1960년대에서 Kohl<sup>5)</sup>, Howe<sup>6)</sup>등은 stainless steel교정용철사의 기계적성질과 응력제거에는 열처리가 요구된다고 하였으며 특히 316 stainless steel wire는 302보다도 탄성특성이 보다 우수하고 302나 316철사는 응력제거의 풀림열처리가 필요하다고 하였다. 또한 Gardiner와 Aamodt<sup>7)</sup>는 교정용 철사의 최소한의 연화는 납착에 의해서도 효과적임을 입증하였다.

1970년대에서는 많은 신재료의 개발과 함께 연구가 진행되었으며 Fillmore와 Tomlinson<sup>8)</sup>은 Elgiloy라고 불리우는 Elgin회사의 특허품인 코발트-크롬계합금의 교정용 철사에 대한 열처리 특성을 보고하였으며 Mueller, Greener와 Marker<sup>9)</sup>는 몇몇 코발트계합금 및 크롬계합금의 교정용 철사의 납착시의 화학적 부식효과에 대해서 발표하였다.

또한 형상기억합금이라고 불리우는 니티놀(Nitinol)철사는 1960년대 William F. Buehler에 의해 개발된 이후 Andreasen과 Morrow<sup>10)</sup>, Lopez, Goldberg와 Burstone<sup>11)</sup>등은 Nitinol철사의 임상적인 평가

와 굽힘 특성을 비롯한 각종 기계적 성질에 대해 연구 보고하였으며 Ramos, Weimer와 Hanna<sup>25)</sup> 등은 각종 형태의 uprighting springs에 대한 힘의 분포에 대해 발표하였다.

1980년대에 접어들어서는 제특성이 보다 우수한 교정용 철사에 대한 연구가 활발하였으며 Kusy와 Greenberg<sup>26)</sup>, Kusy<sup>17)</sup>, Burstone과 Goldberg<sup>7)</sup> 등은 beta-titanium wire의 탄성적 성질과 기타 교정용 철사와의 특성을 비교하였으며 Andreasen, Montagano와 Krell<sup>27)</sup> 등은 Nitinol철사의 온도변화에 따른 선펡률계수를 각각 구하였다.

또한 Park과 Shearer<sup>28)</sup>, Kusy<sup>18)</sup> 등은 교정용 arch wire의 탄성변화율을 도식적으로 나타내었고 Drake, Wayne, Powers와 Asgar<sup>19)</sup> 및 Burstone과 Goldberg<sup>8)</sup> 등은 각종 교정용 철사에 있어서 인장, 굽힘 및 비틀림 특성등에 대해서 연구하였다.

그러나 이와같은 교정용 철사의 임상적 사용량의 증가에 따른 기본물성의 중요성은, 더욱 강조됨에도 불구하고 아직까지 국내에서 많이 사용되고 있는 교정용 철사에 대한 체계적인 연구가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 국내에서 널리 사용되고 있는 몇몇 외국산 교정용철사를 대상으로 인장시험에 따른 기계적 제특성을 구하고 또한 열처리시의 특성과 비교하므로 교정용철사의 정확한 특성을 파악하고자 인장 실험을 한 결과 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 가. 연구 대상

본 연구에서 사용한 재료는 국내에서 교정용 철사로 널리 사용되고 있는 3개 회사 제품을 Cr-Ni계합금철사와 Co-Cr계합금철사로 분류하여 사용하였으며 Table 1과 같다.

Table 1. Orthodontic wires for tension testing

	Experimental	Alloy
Company	Cr - Ni	Co - Cr
Rocky-Mountain	Tru-Chrome	Elgiloy
Dentaurum	Remanium	Remaloy
Unitek	Permachrome	x

### 나. 연구방법

Table 1과 같은 0.018" (0.46mm) 직경의 round wire를 Austenitic stainless steel인 크롬계합금철사 3종류와 코발트계합금철사 2종류를 각각 선택하여 길이 80mm로 절단하여 인장 시험용 시험편으로 제작하였으며 gauge length는 약 25mm가 되도록 하였다.

이와같이 준비된 시험편의 일부는 열처리에 의한 물성의 변화를 알아보기 위해서  $\pm 1^\circ\text{C}$  이하로 자동 제어되는 Photo 1과 같은 자동온도조절장치가 부착된 저항식 전기로에서  $600^\circ\text{C}$ 에서 3분간 열처리시킨 뒤  $0^\circ\text{C}$ 의 얼음물에 급냉한 것과  $25^\circ\text{C}$ 의 상온에서 공냉시킨것을 비교하였다.

인장시험은 Photo 2와 같은 Instron type tension testing machine(Tension, Toyo-Baldwin Co.,

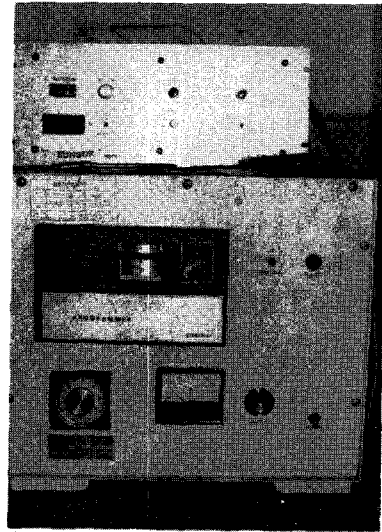


Photo. 1. Automatic temperature controller system for heat treatment



Photo. 2. Instron type tension testing machine

Japan)에 의해 cross head speed는 0.75mm/min, chart speed는 50mm/min, full scale load는 40kg으로 각각 시험하였으며 시험에서 얻어진 응력-변형곡선으로부터 항복강도, 최대인장강도 및 연신율을 구하였고 또한 열처리하지 않은 제조된 상태 그대로의 시험편과 열처리를 실시한 시험편을 구분하여 인장 시험 하였다.

### III. 연구 성적

Table 2는 열처리하지 않은 제조된 원상태의 교정용 철사를 인장 시험했을때 구한 최대인장강도, 항복강도 및 연신율을 나타낸 것으로 전반적으로 크롬합금철사가 코발트합금철사 보다도 최대인장강도 및 항복강도가 높게 나타났으나 연신율은 코발트합금철사가 보다 높게 나타났다.

Table 2. Mechanical properties of as-manufactured wires in tension

Alloy	Name	U.T.S. (Kg/mm <sup>2</sup> )	Y.S. (Kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Cr-Ni	Tru-Chrome	208.8 (0.5)	149.4 (4.2)	6.2 (0.8)
	Remanium	230.1 (3.2)	158.2 (6.6)	6.9 (1.1)
	Permachrome	227.3 (0.9)	144.5 (0.9)	5.4 (0.6)
Co-Cr	Elgiloy	184.9 (1.4)	131.3 (1.7)	8.6 (0.9)
	Remaloy	188.0 (2.0)	121.2 (3.3)	10.8 (1.9)

\* U.T.S. = Ultimate Tensile Strength

\* Y.S. = Yield Strength

\* Standard deviations in parentheses

Table 3. Mechanical properties of heat-treated wires in tension

Alloy	Name	Cooling	U.T.S. (Kg/mm <sup>2</sup> )	Y.S. (Kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Cr-Ni	Tru-Chrome	air	216.8 (0.8)	148.6 (0.3)	4.8 (0.3)
		water	210.7 (1.1)	136.5 (5.1)	4.7 (0.3)
	Remanium	air	240.1 (1.3)	157.7 (5.8)	5.9 (0.2)
		water	236.0 (2.1)	170.1 (6.9)	5.1 (0.4)
Co-Cr	Permachrome	air	220.1 (0.3)	150.5 (5.6)	4.7 (0.3)
		water	214.9 (0.7)	142.3 (5.4)	5.1 (0.4)
	Elgiloy	air	218.4 (3.9)	138.7 (6.2)	5.9 (0.6)
		water	217.6 (1.7)	142.8 (7.3)	5.4 (0.7)
Remaloy	air	223.1 (1.2)	149.4 (6.4)	5.6 (0.3)	
	water	223.9 (0.7)	141.6 (8.1)	5.0 (0.3)	

\* Standard deviations in parentheses

Table 4. Comparison of elastic limit of as-manufactured and heat-treated wires in tension

Alloy	Name	Yield Strength (Kg/mm <sup>2</sup> )		
		As-manufactured	Air-cooled	Water-cooled
Cr-Ni	Tru-Chrome	149.4 (4.2)	148.6 (0.3)	136.5 (5.1)
	Remanium	158.2 (6.6)	157.7 (5.8)	170.1 (6.9)
	Permachrome	144.5 (0.9)	150.0 (5.6)	142.3 (5.4)
Co-Cr	Elgiloy	131.3 (1.7)	138.7 (6.2)	142.8 (7.3)
	Remaloy	121.2 (3.3)	149.4 (6.4)	141.6 (8.1)

\* Standard deviations in parentheses

Table 3은 각종 교정용 철사를 소정의 열처리후 공냉에 의한 서냉의 경우와 수냉에 의한 급냉의 경우에 있어서 인장 시험시 구한 최대인장강도, 항복강도 및 연신율을 나타낸 것으로 크롬계합금철사는 강도에서 두드러진 변화를 나타내지 않고 다만 연신율의 감소가 나타났으며 코발트계합금철사는 열처리에 의해서 기계적 성질이 현저히 증가함을 나타 내 주고 있다.

Table 4는 교정 용철사의 탄성한도를 나타내 주는 항복강도를 열처리한 것과 제조된 원상태의 것과는 비교해서 나타낸 것으로 비열처리형합금인 크롬계 합금철사는 열처리에 따른 탄성한도의 현저한 증가를 기대할 수는 없으나 코발트계합금철사는 열처리에 의한 탄성한도의 증가가 매우 양호하여 열처리 후의 항복강도값이 크롬계합금철사의 기본물성에 유사한 특성을 나타내었다.

#### IV. 총괄 및 고찰

교정용 철사는 일반 공업용철사와는 달리구강내에서 우수한 내식성과 양호한 기계적 특성을 가져야 하며 특히 탄성한계와 최대굽힘모멘트등이 현저하게 우수하여야 한다.<sup>23)</sup> 이 중에서 하중을 제거했을 때 시험편이 원형으로 돌아가는 한계를 나타내는 탄성한도, 비례한도내에서는 응력-변형곡선은 직선이 되고 응력과 변형량의 크기가 서로 정비례하는 탄성을 및 탄성체가 외력에 의하여 취는 성질을 나타내는 최대휨성은 Fig. 1에서와 같이 교정용철사에 있어서 가장 기본이 되는 기계적 성질이다.<sup>24)</sup>

본 실험에서 구한 항복강도는 탄성한계에서 항복점에 해당하는 응력으로 탄성한도와 같은 의미가

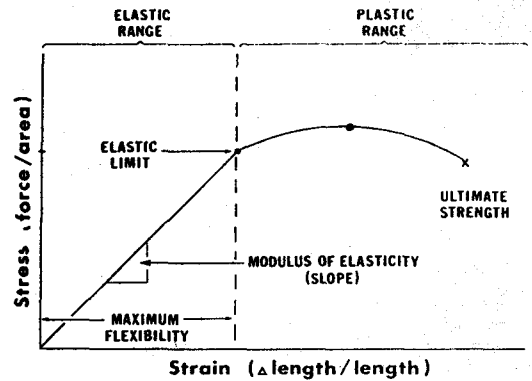


Fig. 1. Stress-strain curve showing basic mechanical properties of orthodontic interest.

며 최대인장강도는 재료가 견딜수 있는 최대응력의 점이고 연신율은 재료가 파단시까지의 변형량의 크기를 나타낸 것으로 최대휨성과 관련이 있다.

Table 2, 3에서와 같이 오스테나이트계 stainless steel의 일종인 크롬-니켈계합금철사의 항복강도는 코발트계합금철사 보다도 현저히 높게 나타나고 있으며 최대인장강도도 보다 우수하지만 상대적으로 연신율은 보다 낮게 나타나고 있다. 그러나 보다 낮은 코발트계합금철사는 소정의 경화 열처리에 의해서 강도의 증가를 Table 3과 같이 얻을 수 있었지만 Funk<sup>25)</sup>나 Howe<sup>26)</sup> 등의 연구 결과에 의하면 적합한 경화열처리온도와 시간을 선택을 하므로 보다 많은 기계적 성질의 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

또한 냉각효과에 따른 강도의 변화는 Table 5에서와 같이 크롬계합금철사에 있어서 열처리에 의한 강도의 증가가 현저하게 나타나지는 않지만 수냉

**Table 5. Comparison of ultimate tensile strength of as-manufactured and heat-treated wires in tension**

Alloy	Name	Ultimate Tensile Strength (Kg/mm <sup>2</sup> )		
		As-manufactured	Air-cooled	Water-cooled
Cr-Ni	Tru-Chrome	208.8 (0.5)	216.8 (0.8)	210.7 (1.1)
	Remanium	230.1 (3.2)	240.1 (1.3)	236.0 (2.1)
	Permachrome	227.3 (0.9)	220.1 (0.3)	214.9 (0.7)
Co-Cr	Elgiloy	184.9 (1.4)	218.4 (3.9)	217.6 (1.7)
	Remaloy	188.0 (2.0)	223.1 (1.2)	223.9 (0.7)

\* Standard deviations in parentheses

**Table 6. Comparison of elongation of as-manufactured and heat-treated wires in tension**

Alloy	Name	Elongation (%)		
		As-manufactured	Air-cooled	Water-cooled
Cr-Ni	Tru-Chrome	6.2 (0.8)	4.8 (0.3)	4.7 (0.3)
	Remanium	6.9 (1.1)	5.9 (0.2)	5.1 (0.4)
	Permachrome	5.4 (0.6)	4.7 (0.3)	5.1 (0.4)
Co-Cr	Elgiloy	8.6 (0.9)	5.9 (0.6)	5.4 (0.7)
	Remaloy	10.8 (1.9)	5.6 (0.3)	5.0 (0.3)

\* Standard deviations in parentheses

에 의한 급냉의 경우에는 오히려 강도가 감소하는 경향이 나타나므로 경화 열처리의 경우에는 수냉에 의한 급냉보다도 공냉에 의한 서냉이 보다 효과적이다.

그러나 코발트계 합금 철사의 경우에는 열처리에 의한 기계적 특성의 증가가 현저하게 나타났으며 경화율은 Elgiloy보다도 Remaloy에서 보다 높게 나타나고 냉각 방법에 따른 효과가 서로 틀리게 나타나고 있지만 Fillmore<sup>11)</sup> 등의 연구결과에 의하면 코발트계 합금 철사의 열처리 온도에 따른 경화 특성이 다르게 나타나므로 합금 조성에 따라서 정확한 열처리 온도를 선정하면 다소의 강도값의 변화를 가져올 것으로 예측된다.

또한 강도의 변화와 상반되게 나타나는 연신율은 Table 6에서와 같이 강도가 낮은 코발트계 합금 철사에서 높은 연신율을 나타내나 열처리에 의해 연신율의 현저한 감소를 볼 수 있고 열처리하지 않고 제조된 상태에서는 크롬계철사인 Remanium

과 코발트계철사인 Remaloy가 가장 높은 연신율을 나타내고 있었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 몇몇 외국산 교정용철사를 대상으로 인장시험에 따른 기계적특성을 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 크롬계합금철사가 코발트계합금철사 보다도 전반적으로 최대인장강도와 항복강도가 높게 나타났으나 연신율은 코발트계합금철사가 보다 높게 나타났다.
2. 열처리에 의한 강도의 증가는 크롬계합금 철사 보다도 코발트계합금철사가 보다 현저하게 나타났고 연신율은 열처리에 의해 전반적으로 감소 하였다.
3. 냉각방법에 따른 강도값의 변화는 전반적으로

현저하게 나타나지 않지만 크롬계철사는 공냉이 효과적이지만 코발트계철사는 냉각방법에 따른 효과가 거의 없었다.

### 참 고 문 헌

1. Andreasen, G.F.: A clinical trial of alignment of teeth using a 0.019 inch thermal nitinol wire with a transition temperature range between 31°C and 45°C, Am. J. Orthod., 78:528-537, 1980.
2. Andreasen, G.F., Montagano, L. and Krell, D.: An investigation of linear dimensional changes as a function of temperature in an 0.010 inch cobalt-substituted annealed nitinol alloy wire, Am. J. Orthod., 82:469-472, 1982.
3. Andreasen, G.F. and Morrow, R.E.: Laboratory and clinical analyses of nitinol wire, Am. J. Orthod., 73:142-151, 1978.
4. ASM: Metals handbook, American Society for Metals, 408-575, 1979.
5. Backofen, W.A. and Gales, G.F.: Heat treating stainless steel for orthodontics, Am. J. Orthod., 38:755-765, 1952.
6. Burstone C.J.: variable modulus orthodontics, Am. J. Orthod., 80:1-16, 1981.
7. , Goldberg, A.J.: Beta titanium, Am. J. Orthod. 77:121-132, 1980.
8. , Goldberg, A.J.: Maximum forces and deflections from orthodontic appliances, Am. J. Orthod., 84:95-103, 1983.
9. Craig, R.G.: dental materials, The Mosby, C.V. Co., 217-225, 1978.
10. Drake, S.R., et, al: Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending, and torsion, Am. J. Orthod., 82:206-210, 1982.
11. Fillmore, G.M. and Tomlinson, J.L.: Heat treatment of Cobalt-Chromium alloy wire, Angle Orthod., 46:187-195, 1976.
12. Funk, A.C.: The heat treatment of stainless steel, Angle Orthod., 21:129-138, 1951.
13. Gardiner, J.H. and Adamat, A.C.: Some aspects of soldering stainless steel, Dent. Practit., 20:65-76, 1969.
14. Hocevar, R.A.: A compendium of means to gentle resilient fixed appliances, Am. J. Orthod., 80:237-255, 1981.
15. Howe, G.L., Greener, E.H. and Crimmins, D.S.: Mechanical properties and stress relief of stainless steel orthodontic wire, Angle Orthod., 38:244-249, 1968.
16. Kohl, R.W.: Metallurgy in orthodontics, Angle Orthod., 34:37-52, 1964.
17. Kusy, R.P.: Comparison of nickel-titanium and beta titanium wire sizes to conventional orthodontic arch wire materials, Am. J. Orthod., 79:625-629, 1981.
18. : On the use of nomograms to determine the elastic property ratios of orthodontic arch wires, Am. J. Orthod., 83:374-381, 1983.
19. Kusy, R.P. and Greenberg, A.R.: Comparison of the elastic properties of nickel-titanium and beta titanium arch wires, Am. J. Orthod., 82:199-205, 1982.
20. Lopez, I., Goldberg, J. and Burstone, C.J.: Bending characteristics of nitinol wire, Am. J. Orthod., 75:569-575, 1979.
21. Mueller, H.J., Greener, E.H. and Marker, B.C.: Corrosion by external polarization of soldered orthodontic wires in cleanser solutions, Am. J. Orthod., 76:555-564, 1979.
22. O'Brien, W.J. and Ryge, G.: An outline of dental materials and their selection, Saunders, W.B. Co.:307-319, 1978.
23. Park, H.Y. and Shearer, T.R.: In vitro release of nickel and chromium from simul-

- ated orthodontic appliances, Am. J. Orthod., 84:156-159, 1983.
24. Phillips, R.W.: Science of dental materials, Saunders, W.B. Co.:653-654, 1973.
25. Ramos, D.F., Weimer, A.D. and Hanna, M.: A study of the forces produced by various preformed uprighting springs, Am. J. Orthod., 76:637-645, 1979.

**- ABSTRACT -**

**THE STUDY OF TENSION CHARACTERISTICS  
IN ORTHODONTIC WIRES**

Young Ju Choi, Young Chel Park

*Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University.*

The mechanical properties of Cr-Ni alloy of austenitic stainless steel and Co-Cr alloy orthodontic wires were studied in tension. The wires (0.018 inch) were tested in the as-manufactured and heat-treated conditions. Instron type tension testing machine was used for this study. Mean values and standard deviations were computed.

The results were as follows;

1. The Cr-Ni orthodontic wires of austenitic stainless steel are generally superior than the Co-Cr orthodontic wires in ultimate tensile strength, In the elongation, however, Co-Cr orthodontic wire are superior than Cr-Ni orthodontic wires.
2. Increase in the degree of strength by heat treatment are more clearly shown in Co-Cr orthodontic wires than Cr-Ni orthodontic wires. And the elongation is decreased by heat treatment in both case.
3. The changes of the degree of strength by cooling method are not clearly shown, but in Cr-Ni orthodontic wires, air cooling are more effective, in Co-Cr orthodontic wires, cooling effect are scarcely shown.