

카테터 가이드 와이어의 전기저항 특성에 관한 연구

조현설, 박주환*, 정용권*, 김영곤

인제대학교 의용공학과

* 고려상사 주식회사 연구개발부

The Study of the Electrical Resistivity Characteristics of Catheter Guide Wire

Hyeon Seol Cho, Joo Hwan Park*, Yong Kwon Jeong* and Young Kon Kim

Dept. of Biomedical Engineering, INJE University

*R & D Department, KOREA SANGSA Co. LTD.

1. 서론

허혈성 심근경색 또는 협심증의 주요원인이 되는 관상동맥질환의 진단을 위하여 심전도 측정 및 관상동맥조형술등이 이용되고 있으며 치료방법으로는 약물치료법, 혈관재생법등이 이용되고 있다.^(1,2) 특히 1979년 Gruentzig에 의해 도입된 혈관 성형술 (PTCA) (Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty)은 개심수술 방법으로 실시하던 관상동맥 바이패스시술의 어려움을 대폭 개선하였다.⁽³⁻⁶⁾ 이러한 PTCA 방법은 가이 드와이어를 관상동맥의 병변부위까지 삽입한 후 혈관 팽창용 풍선, 고속회전 모터, 레이저 빔등을 안내선을 따라서 목표지점까지 이동시켜 혈관성형을 실시하는 치료법이다.⁽²⁾

초기 혈관성형술의 성공율은 약 90%이었으며 실패의 주된 원인은 balloon catheter의 손상이나, 혈관 확장시 발생하는 혈전에 의하여 혈관이 폐쇄되거나 협착 되는 현상으로 알려졌다. 또한 환자의 25~30%는 혈관 성형술 후 6개월 이내에 동맥이 재협착증을 나타내고 있음도 보고되었다.⁽¹⁾ 이러한 혈관성형술의 부작용을 최소화하기 위하여서는 카테터 가이드와이어가 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.^(2,6) 첫째, 가이드 와이어는 혈관 내부의 목표지점까지 정확히 도달될 수 있도록 주어진 힘을 충분히 잘 전달하여야 한다. 둘째, 가이드 와이어 몸체부분의 기계적 성질이 혈관 내벽에 상처를 줄 정도로 강하여서는 안된다. 셋째, 가이드 와이어의 머리부분은 혈관의 형태를 따라서 부드럽게 변형될 수 있어야 한다. 넷째, 가이드 와이어의 머리부분은 혈관 내벽의 반력이 없는 자유로운 지점에서는 삽입전에 유지하였던 본래의 형태로 복원되어야 방향전환이 용이하다. 다섯째, 굴곡형태의 혈관으로 가이드 와이어를 삽입할 경우 몸체부분이 소성변형되지 않고 단지 탄성에 의해서만 변형되어야 계속하여 삽입이 가능하다.

이러한 여러가지 조건을 만족하는 가이드 와이어는 기존의 스테인레스선 보다는 초탄성(고무줄과 같이 잘 변형되고 원형을 되찾아 오는 성질)을 지니는 니켈-

타이타늄(Ni-Ti)계 형상기억합금이 적합하다.⁽²⁾ Ni-Ti 가이드 와이어가 임상적으로 적용되기 위하여서는 형상기억 또는 초탄성 현상이 체온영역과 같이 좁은 온도 범위에서 빠르고 정확하게 나타나야 한다.

Ni-Ti 합금의 초탄성 현상은 온도가 변화될 때에 유발되는 원자배열상태의 변화(마르텐사이트 상변태와 형상기억 상변태)에 기인하며 초탄성 유발온도는 열처리 조건과 기계적인 가공량을 변화하므로 조절이 가능하다.^(7,8)

Ni-Ti 합금의 상변태온도는 Differential Scanning Calorimeter, 정하중 길이 측정, 전기저항 측정등의 방법으로 열분석을 실시할 수 있다.

본 연구에서는 Ni-Ti 합금 카테터 가이드 와이어를 임상적으로 사용이 가능하도록 초탄성효과를 부여하기 위한 기초연구로서 전기저항측정법으로 초탄성 상변태 온도와 기계적인 가공량 및 열처리 온도와의 관계를 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 연구에 사용된 재료는 시중에서 구입이 가능한 직경이 2.16 mm 이고 형상기억상변태 시작온도(As)가 섭씨 15 도인 완전소둔상태의 Ni-Ti 합금선을 사용하였다. Ni-Ti 합금선은 6 단계의 Drawing 과정을 거쳐 직경이 1.4 mm 인 선재로 인발(Drawing)작업을 실시하였다. 다음으로 섭씨 900도에서 30분간 풀림 진공열처리를 실시한후 다시 6단계와 7단계의 인발 작업을 실시하여 최종직경이 0.89 mm 와 0.80 mm 가 되도록 하였다.

각 Drawing 단계별 Ni-Ti 합금선의 외경과 냉간 가공율은 식 (1) 과 같은 방법으로 계산하여 Table 1. 에 나타내었다.

$$\text{Cold working (\%)} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

A_0 : original cross sectional area

A_f : final cross sectional area

Table 1. The outer diameter of drawn Ni-Ti wires and degree of cold working.

Outer Diameter(mm)	Cold Working (%)	Outer Diameter(mm)	Cold Working (%)
2.16	0	1.31	14.9
2.00	14.3	1.23	11.8
1.85	14.4	1.13	15.6
1.68	17.5	1.03	16.9
1.60	9.3	0.96	13.1
1.51	12.1	0.89	14.1
1.42	11.6	0.80	19.2

Drawing 가공된 각 단계별 Ni-Ti 합금선은 Tube Type Electric Furnace 에서 섭씨 400도, 450도, 500도, 550도 및 600도에서 각 각 30분간 소둔열처리를 실시하였다. 열처리된 시편은 길이를 약 40mm로 절단하여 전기저항 측정시편을 만들었다.

2.2 전기저항 측정

초탄성 상변태 온도를 측정하기 위하여 Fig. 1. 과 같은 열분석 비저항 측정장치를 구성하였다. 열분석 비저항 측정장치는 항온조, 가열 및 냉각장치, 시편 고정장치, 열전대, 저항측정장치, 전환장치 및 컴퓨터로 구성하였다. 시편의 전기저항은 4 terminal type probe와 Hioki 3220 Hi tester를 사용하여 자체 제작한 interface board를 이용하여 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 측정된 전기저항 값은 시편의 길이와 단면적의 크기를 사용하여 비저항으로 환산되었다. 시편의 온도 측정은 K type thermocouple과 AX5232 A/D board를 이용하여 컴퓨터에 입력하였다.

상변태 온도를 조사하기 위하여 항온조의 온도를 -70°C 에서 70°C 까지 주기적으로 가열과 냉각을 반복하여 전기저항을 측정하였다. 이때 가열속도와 냉각속도는 분당 2°C 로 하였으며 저열원으로는 드라이아이스와 알코올 혼합용액을 사용하였으며 고열원으로는 발열량 조절이 가능한 Hot plate를 사용하였다.

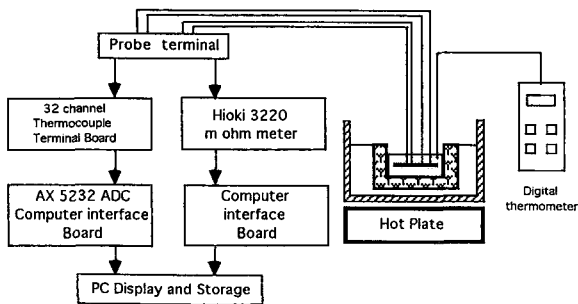


Figure 1. The schematic diagram of the thermal scanning apparatus of electrical resistivity.

3. 결과 및 고찰

Ni-Ti 합금의 열분석 결과 온도와 비저항과의 관계는 Fig. 2. 와 Fig. 3. 과 같이 크게 2가지 형태로 나타났다. Fig. 2. 는 풀림열처리를 실시하여 기계적인 가공이 모두 회복된 직경이 1.40 mm 인 Ni-Ti 합금선을 섭씨 500 도에서 30 분간 소둔 열처리한 시편의 열분석 곡선으로 실선은 가열곡선을 나타내며 점선은 냉각곡선을 나타낸다.

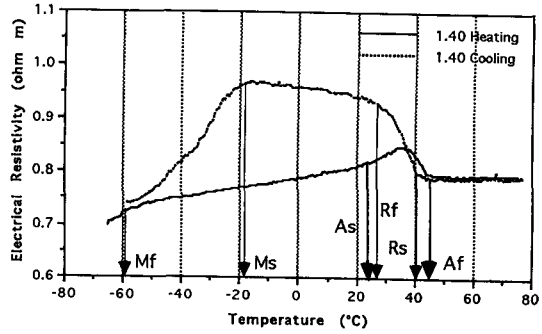


Figure 2. The Diagram of electrical resistivity of the 500°C 30min annealed NiTi wire(1.40 mm diameter)

가열곡선의 경우 약 25도 부근(As온도)에서 갑자기 비저항값이 증가하다 감소함을 나타내고 있다. 이와 같이 비저항값이 변화되는 이유는 온도상승에 따라 원자배열이 변화되는 형상기억 상변태가 진행되기 때문이다.^(8,9,10) 즉 As점에서 형상기억 상변태가 시작되며 Af 온도에서 형상기억 상변태가 완료됨을 의미한다. 냉각곡선의 경우 상변태는 2단계에 걸쳐 일어난다. 첫째로 냉각이 진행되면 40도 부근에서 비저항값이 증가하기 시작하여 25도 부근에서 증가율이 둔화된다. 즉 중간상 상변태 개시온도(Rs)에서 중간상(R phase) 으로 상변태가 시작되어 Rf 온도에서 중간상의 상변태가 완료됨을 보여준다. 둘째로 온도가 더 내려가면 마르텐사이트 상변태가 Ms 온도에서 시작되고 Mf 온도에서 마르텐사이트 상변태가 완료되고 있음을 나타낸다.^(7,8)

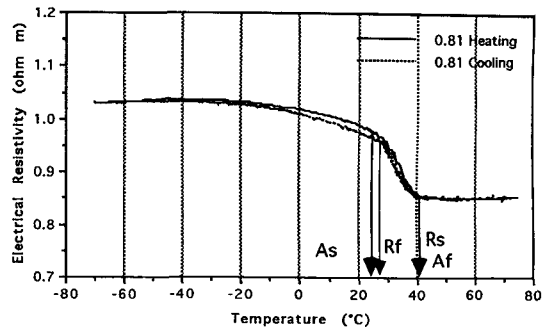


Figure 3. The Diagram of electrical resistivity of the 500°C 30min annealed NiTi wire(0.81 mm diameter)

Fig. 3. 은 누적 가공량이 68%인 직경이 0.81mm 인 Ni-Ti 합금선을 섭씨 500도에서 30분간 열처리한 시편의 열분석 곡선으로 Fig. 2 와는 달리 단순한 S자 형태를 나타내고 있다. 가열곡선의 경우 25도 부근에서 형상기억 상변태가 시작(As)되며 약 40도 부근에서 형상기억 상변태가 완료(Af)되고 있음을 보여준다.

냉각곡선의 경우 Fig. 2. 와는 달리 R phase만 관찰되며 마르텐사이트 상변태는 관찰되지 않고 있다. 그 이유는 본 열분석시험에 저열원으로 드라이 아이스를 사용하였으므로 최저 냉각온도가 -70도이므로 마르텐사이트 상변태 개시온도(Ms)가 -70도 이하인 시편은 마르텐사이트 조직이 형성되어 있지 않은 상태에서 재가열이 되기 때문에 단순히 R phase 만이 모상(Parent Phase)으로 상변태되어 S자형 곡선으로 나타나고 있다. 두 그림을 비교하면 가공량이 많은 시편은 마르텐사이트 상변태가 나타나지 않는 S자형의 열분석곡선이 얻어짐을 알 수 있다. 이 경우 Ms, Mf 온도를 측정하기 위해서는 -70도 이하의 추가 냉각장치를 사용하여야만 측정이 가능하다.

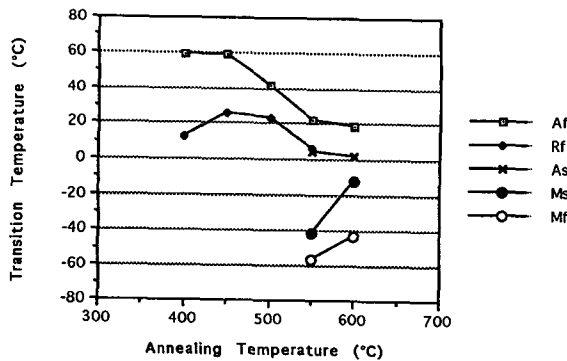


Figure 4. The diagram of the transition temperature change of annealed NiTi wire (0.81 mm)

Fig. 4. 는 외경의 크기가 0.81 mm 인 Ni-Ti 합금의 열처리 온도와 상변태 온도와의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 열처리 온도가 550도 이상으로 높아지면 Ms, Mf 온도는 상승하고 반대로 Rf, Af 온도는 감소한다. 다시 말하자면 열처리온도가 높아질 수록 상변태 진행구간의 온도범위가 감소되고 있음을 의미한다. 500도 이하의 온도에서 열처리한 시편들의 Ms, Mf 온도가 -70도 이하에 위치하므로 본 열분석장치로는 상변태 온도가 검출되지 않고 있다. 550도 이상에서 열처리한 시편들은 As, Rf, Af 상변태 온도들이 모두 상온인 20도 이하에 위치하므로 초탄성 효과를 나타내고 있으며 500도 이하에서 열처리한 시편들의 상변태 온도들은 20도 이상이므로 상온에서 형상기억 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

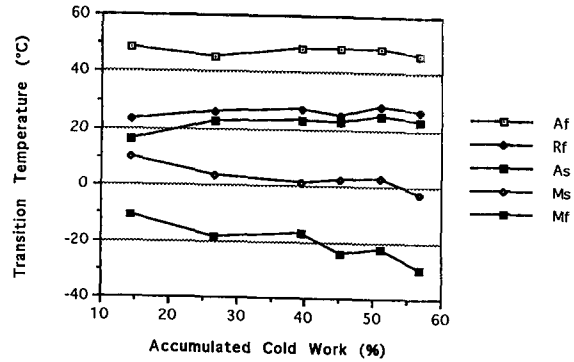


Figure 5. The diagram of the transition temperature vs. accumulated cold work % of 550°C 30min. annealed NiTi wire.

Fig. 5. 는 550도로 30분간 열처리한 Ni-Ti 합금선에 대하여 상변태온도들의 변화를 누적가공량에 따라서 도식화한 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 가공량이 증가함에 따라서 Ms, Mf 상변태온도는 감소함을 보여 주지만 As, Af, Rf 상변태 온도는 비교적 변화가 적음을 나타낸다.

Fig. 4. 와 Fig. 5. 를 비교하면 Ms, Mf 상변태 온도는 기계적인 가공량과 열처리온도가 변화됨에 따라서 모두 변화되고 있음을 알 수 있다. 그러나 As, Af, Rf 상변태온도는 기계적인 가공의 영향보다는 열처리 온도에 의하여 영향을 더 많이 받고 있음을 알 수 있다.

그러므로 가이드와이어에 초탄성을 부여하려면 Af 온도가 상온이하에 위치하도록 열처리 온도를 500도 이상에서 실시하여야 하며, R phase 만 관여하는 상변태를 유지하기 위해서는 기계적인 가공량을 높여서 Ms, Mf 상변태 온도를 -40도 이하의 저온 상태로 낮추는 작업을 실시하여야 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

이상의 실험결과를 종합하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 열분석 비저항 측정장치를 이용하여 카테터 가이드 와이어의 상변태온도를 측정할 수 있다.

둘째, 초탄성에 관여하는 형상기억 상변태온도는 열처리 온도가 높아질 수록 낮아지며, 마르텐사이트 상변태온도는 기계적인 가공량이 증가할 수록 낮아지며 열처리온도가 높아질 수록 상승함을 알 수 있다.

셋째, 카테터 가이드 와이어에 초탄성현상을 추가하기 위하여 형상기억 상변태온도를 상온 이하로 조절하여야 하며, 이 경우 본 기기에 의하여 측정된 비저항 열분석곡선은 S자 형태를 나타낸다.

5. 감사의 글

본 연구는 고려상사 주식회사로부터 연구비를 지원받아 수행되었음을 지면을 통하여 감사드립니다. 또한 실험장치의 제작과 전기저항 측정 실험을 도와준 의용재료연구실의 이경선님께도 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. Wyngaarden J. B., Smith L. H. and Bennett J. C. "Cecil textbook of medicine 19th ed." W. B. Saunders Co.198-304 1992
2. Kim Y. K. "The development of super elastic catheter guide wire for percutaneous transluminal angioplasty" Research proposal Korea sangsa 1994.
3. El-Tamimi H., Davis G. J., Hackett D., Sritara. P., Betrand O., Crea F. and Maseri A. "Abnormal vasomotor changes early after coronary angioplasty", Circulation vol. 84, No 3, Sep. 1198-1202, 1991
4. Meyerovitz M. F., Friedman P. L., Ganz P., Selwyn A. P. and Levin D. "Acute occlusion developing during or immediately after percutaneous transluminal coronary angioplasty: Nonsurgical treatment", Radiology vol. 169 No 2 Nov. 491-494 1988
5. Barnhart W., Snidow J. J., Smith T. P., Castaneda E., Nakagawa N. and Cragg A. H., " New guide wire for high-flow infusion" Radiology vol. 174 No 3 1058-1059 1990
6. Judkins M. P., Kidd H. J. Frische L. H. and Dotter C. T. "Lumen-following safety J-guide for catheterization of tortuous vessels" Radiology vol. 88 1127-1130 Jun. 1967
7. Kim Y. K. "The grain size distribution study of heat treated Ni-Ti ally", Inje Journal vol. 9, No 2. 857-868, 1993
8. Kim Y. K. "The study of the shape recovery temperature change of cold-worked nickel-titanium alloys", Inje Journal vol. 10, No 1. 341-351 1994
9. Kim Y. K. and Doo J. K. "The development of shape memory abdominal laparoscopic suture needles" Proceeding of KSMBE vol. 16 No 2 104-106 1994
- 10 Kim Y. K. Doo J. K. and Park J. B. " The application of shape memory alloy to abdominoscopic suture needles" Advanced Materials and Processing vol. 2. ed. Shin K. S, Yoon J. K. and Kim S. J. Korean Institute of Metals and Materials 1691-1696 1995