

# 니티놀 i-Ti 와이어를 이용한 카테터의 열전효과 보강용 전자회로 개발 및 그의 특성 평가

## Development of Thermoelectric effect enhancement circuit Using i-Ti alloy wire and Their characteristic valuation

\*#김철웅<sup>1</sup>, 김홍겸<sup>2</sup>, 오동준<sup>3</sup>, 김기주<sup>4</sup>

\*#Cheol-Woong Kim(woong25@korea.ac.kr)<sup>1</sup>, Hong-Gyum Kim<sup>2</sup>, Dong-Joon Oh<sup>3</sup>, Kee-Joo Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 공학기술연구소 / Triple-C Medical Corp., <sup>2</sup>Triple-C Medical Corp., <sup>3</sup>안동대학교 기계교육과, <sup>4</sup>쌍용자동차 CAE Team

Key words : Shape Memory Alloy (SMA) Wire, J-tail, Thermoelectric Effect, Current Ampere

### 1. 서론

최근 Ni-Ti계 형상기억합금(이하 SMA)을 의료분야에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. SMA wire는 그 조합에 따라 3차원 방향 조종이 가능하고 생체적합성이 우수하므로 본 연구그룹에서는 인체 내에서 정확하게 방향 조종을 할 수 있는 인체삽입용 카테터를 개발 중에 있다. 현재 SMA 카테터의 개발에서 가장 시급히 해결할 과제는 1) 형상회복력 저하 극복, 2) 변위량 변화에 따른 피로특성의 급격한 저하를 극복하는 방안 연구, 3) SMA를 열적 전기적으로 정확히 컨트롤하는 기술이다. 인체삽입용 의료기기는 대부분 일회용(disposable)이므로 피로특성의 급격한 저하가 큰 문제점으로 대두되지는 않지만, 피로특성 또한 매우 우수한 SMA 의료기기를 개발하고자 다양한 연구를 진행 중이다. 현재, 국내외에서 추진중인 SMA를 이용한 액추에이터 개발 관련 핵심연구 또한 SMA의 비선형적인 동특성과 피로성능의 저하를 해결하기 위한 연구가 주를 이루고, 그 해결책으로 등장한 방법 중 하나가 열전소자를 이용한 SMA의 구간분할 제어법이다.<sup>(1,2)</sup> 따라서 본 연구그룹은 인체삽입용 카테터에 적합한 구간분할 제어방식의 SMA 열전소자 모듈을 개발하기 위해 그에 대한 기초연구의 일환으로 전류 및 전압의 변화에 따른 Ni-Ti계 SMA의 온도-시간 변화 평가 및 펄터 열전소자 및 전기회로 설계 등을 수행하였다.

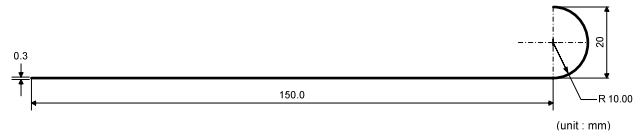


Fig. 1 Initial shape and geometries of Ni-Ti SMA wire

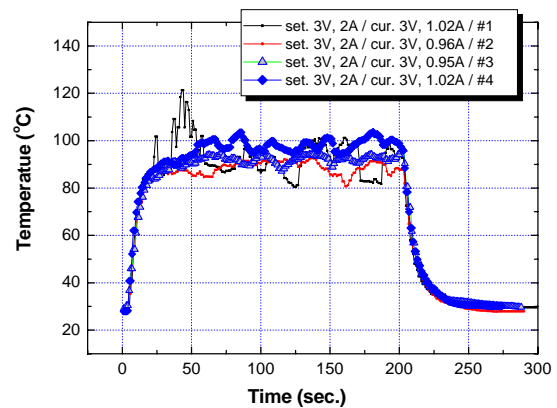


Fig. 2 Relationship between time and temperature in the case of pre-curved SMA wire, #1; 10 times used vs. #2, #3, #4; intact

### 2. SMA wire의 형상 및 실험방법

본 연구에서 사용된 SMA 와이어는 국내 B사에서 제조된 것으로 Fig. 1에 제시된 바와 같이 직경 0.3mm에 팁부분이 J-tail 타입으로 곡률 10.0mm를 형성하고 있다. 실험에 사용된 Programmable DC power supply는 ODA사의 OPE-505S, Thermometer datalogger는 EXTECH Instrument사의 EasyView™15, Oscilloscope는 Tektronix사의 TDS-2022B를 사용하였다. 온도변화는 전기에 비해 반응속도가 매우 느리므로 data sampling rate는 1/sec로 적용하였다.

### 3. J-tail SMA wire의 온도-시간 거동

본 절에서는 10회의 무작위 통전을 실시한 SMA와 최초 통전한 SMA의 온도-시간 거동의 차이를 관찰하였다. 그 결과는 Fig. 2와 같다. #1~#4 모두 3V, 2A 조건에서 실험이 수행되었다. #1은 10회의 무작위 통전이 실시된 시험편으로 20초가 경과된 안정구간내에서도 온도구배가 심하게 교란되는 것을 관찰할 수 있다. #2~#4는 최초 통전한 SMA로서 #1에 비해 비교적 안정적인 온도변화를 나타낸다. 그러나 일정한 전압 전류가 공급되고 있음에도 25초~200초 사이의 안정구간에서 온도의 구배가 발생한다. 그 이유는 SMA의 순간저항변화에 기인한다고 생각된다. 또한 본 실험에 사용된 SMA는 표면이 조악한 편이고, 그로 인한 미세한 직경의 변화가 저항값에 영향을 미친 것으로 생각된다. 한편, #1은 다수의 통전으로 인해 이미 인위적 상변태가 미약하게 진행이 되고, 안정구간에서의 온도구배는 차이가 크다. 일반적으로 SMA가 변태를 일으키기 위해서는 가열시 최고온도가 역변태 완료온도(Austenitic transformation finishing temp.,  $A_f$ ) 이상까지 가열되어야 하고, 냉각시 최저온도는 마르텐사이트 변태완료 온도(Martensitic transformation finishing temp.,  $M_f$ ) 이하가 되도록 통전

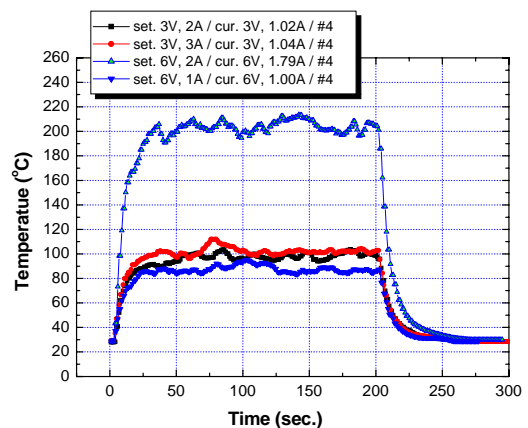


Fig. 3 Variation of temperature under current ampere at 1.02A, 1.04A, 1.79A and 1.00A respectively

이하가 되도록 통전전류와 통전시간, 냉각시간을 설정해야 한다. 따라서 이를 위해 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimeter, DSC)를 이용하여, SMA의 역변태점( $A_s$ )과 마르텐사이트 변태점( $M_f$ ,  $M_s$ )을 구해야 한다. 그러나 실온대기 중에서 부하와 무부하 조건에서의 상변태는 변태온도가 달라지고, 응력 레벨에 따라 변태온도가 변화하므로 부하 중에 DSC를 이용하여 변태온도를 측정할 수 없다. 이상의 이유로 본 연구에서는 아직  $M_s$ ,  $M_f$ ,  $A_s$ ,  $A_f$  등을 구하지 못하였기 때문에 임의로 가해진 전압 전류가 형상회복력을 조기에 저하시켰고, 그 결과로 안정구간에서의 온도구배 또한 커진 것으로 판단된다. Fig. 2에서 #3, #4는 10°C 정도의 온도차는 발생하지만 경향은 유사하다.

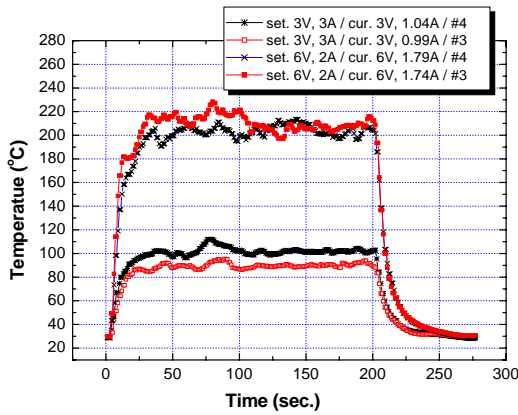


Fig. 4 Relationship between time and temperature on the case of 3V, 3A vs. 6V, 2A

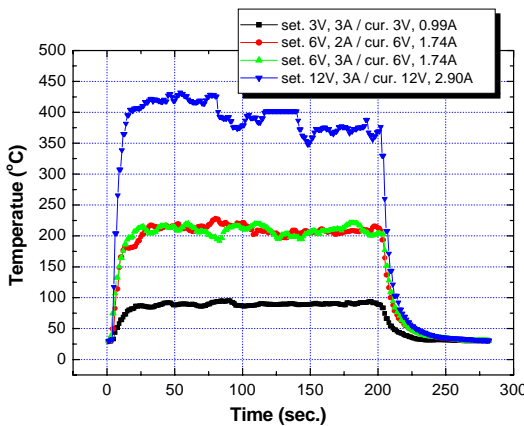


Fig. 5 Relationship between time and temperature on the case of 3V/3A, 6V/2A, 6V/3A and 12V/3A

안정구간(25s-200s)에서 상하 5도 내외의 구배를 보이는 규칙성에 대한 분석은 현재 연구가 진행되고 있다. 이에 대한 규명은 해외에서 제조된 동일 규격의 SMA를 동일조건에서 실험 중에 있다. 한편, Fig. 2에서 input=3V, 2A를 입력하였을 때, 실제 제공되는 Current Ampere는 SMA의 미세한 특성에 따라 약간의 오차가 발생한다. #1, #4와 #2, #3이 각각 유사한 전류값이 나타났다. #1, #4와 #2, #3은 약 0.5A 정도의 차이가 난다. Fig. 2에서 0.5A의 차가 실제로 SMA 상에 어느 정도의 온도구배를 형성하는지 파악할 수 있다. 만약, 해외에서 제공한 SMA에서도 수차례 반복 실험 후 Fig. 2와 유사한 경향을 보인다면, 안정화 구간에서의 SMA의 온도구배를 평균화 시키고 Normalize 한 후에 A의 차에 따른 ΔT의 관계를 구할 수 있다. 또한 이를 일정한 비례관계를 나타낸다면 SMA의 전류와 온도의 관계를 수식화할 수 있다. 비선형 동특성을 나타내는 SMA의 전기-온도-변위의 관계성을 이용하여 실험식을 유도할 수 있을 것으로 생각된다. 한편, Fig. 2의 #3에서 조금 불규칙적이지만 10~15도의 범위 내에서 정현파 형태의 사이클을 형성하고 있음을 관찰할 수 있다. 본 현상과 SMA의 전기적 특성은 추후 세부연구가 진행될 예정이다.

#### 4. 전압 전류에 따른 J-tail SMA wire의 온도변화

본 절에서는 전압 전류의 변화에 따른 J-tail SMA wire의 온도거동을 평가하였다. Fig. 3에서 3V에 2A와 3A를 각각 공급하였을 때 실제 전류값은 각각 1.02A와 1.04A가 나타났다. 0.02A 차이임에도 불구하고 ΔT는 예상보다 크게 나타났다. 안정화 구간 25초-200초까지의 상하 기복도 역시 불규칙적이고, 예측불허하다. 따라서 6V, 2A 조건을 추가실험하였다. 6V, 2A 일때 A는 0.75 정도 증가하지만, ΔT는 무려 100°C 이상 상승한다. 따라서 온도는 V 보다는 A에 직접적인 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 즉, 같은 6V이지만, input Ampere가 2A일때와 1A일때 current

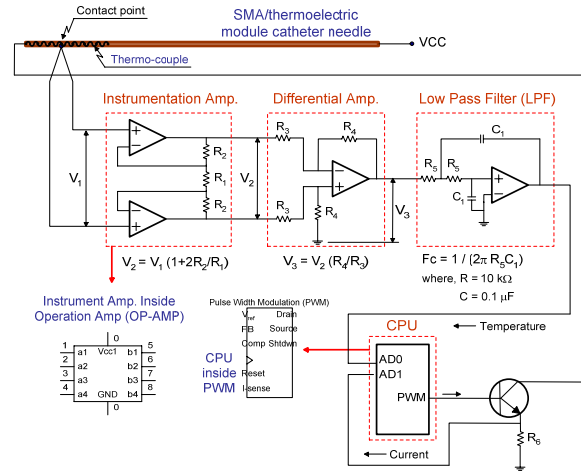


Fig. 6 Circuit diagram for automatic temperature control

current ampere는 각각 1.79A와 1.00A가 나타났고 온도 차이는 최대와 최소를 나타냈다. 0.79A 차이가 대략 120도 정도의 온도차이를 발생시켰다. Fig. 4는 일정 전압 전류 하에서 SMA 시험편 #3과 #4를 비교한 결과이다. 특이할 점은 6V, 2A 조건에서 1.74A(#3)가 1.79A(#4) 일때 보다 안정화 초기구간 온도가 더 높게 나왔다. 3V, 3A 조건에서는 1.04A(#4)가 0.99A(#3) 보다 높게 나와서 0.05A의 차로 인한 온도차이가 잘 나타난 것으로 보인다. Fig. 5는 동일 SMA에 각각 3V, 6V, 12V를 가해주고 2A, 3A를 통전했을 때의 결과이다. 그 결과를 정리하면 1) 6V 조건에서 2A로 하든, 3A로 하든 SMA는 1.74를 유지하고 있다. 2) 그러나 12V, 3A로 맞추면 SMA는 2.90A까지 증가한다. 이때는 400도가 넘는 엄청난 온도에 SMA 전체가 불게 달아오른다. 3) 12V, 3A 조건은 out of range로 판명된다. 즉, SMA가 공급전류에 의해 산화가 발생했고, 실험 종료 후 결국 약간의 외력에도 파단이 일어났다. 4) SMA가 200°C를 넘어가면 일단 변색이 일어난다. 이미 고유의 물성을 잃었다고 판단된다. 따라서 본 연구팀은 이상의 결과를 정리하여 SMA의 온도변화를 인위적으로 실시간 컨트롤하여 정확하고 일정한 ΔT를 구현할 수 있는 전자회로를 Fig. 6과 같이 설계하고 제작하였다. 향후에는 Fig. 6의 전자회로를 연결하여 SMA의 전압-전류-온도-시간의 관계를 명확히 규명하고 그 결과를 바탕으로 열전모듈을 보완해갈 예정이다.

#### 결론

(1)  $M_s, M_f, s, f$  값이 정확히 파악되지 않고 수차례 사용된 SMA wire는 초기사용 SMA wire에 비해 ΔT가 2배 이상 차이가 났고 형상기억회복력도 현저히 낮아졌다. 또한, 동일한 규격의 SMA wire에 다양한 조건의 전류와 전압을 공급했을 때 안정구간에서 일정한 정현파 패턴의 온도변화가 나타났다.

(2) 본 연구결과를 바탕으로 SMA의 온도변화를 인위적으로 실시간 컨트롤하고 보상하여 정확하고 일정한 ΔT를 구현할 수 있는 전자회로를 설계하고 제작하였다.

#### 후기

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-353-D00001)

#### 참고문헌

1. Yoon, T. B., Kim, N. J., Lee, J. Y. and Kim, C. B., "Development of a Waterless Container Utilizing Thermoelectric Modules for Live Fish Transportation," *ai a a f ME*, Vol. 12, No. 5, pp. 519-524, 2000.
2. Choi, H. S., Kim, Y. S., Jeon, C. H. and Yun, S. K., "Hot and Cool Temperature Control of the Car-Seat Utilizing the Thermoelectric Device," *T a s f ME*, Vol. 28, No. 5, pp. 518-525, 2004.