

# Ni-Ti 형상기억합금의 전해가공과 형상복원 특성의 관계

최영수\*(울산대 대학원 기계.자동차 공학부), 박규열(울산대 기계.자동차 공학부)

## Relationship between Shape Recovery Characteristics & Electro Chemical Machining of Ni-Ti Shape Memory Alloy

Y. S. Choi\* (Grad. Sch. of Mech. & Auto. Eng., UOU), K. Y. Park ((Sch. of Mech. & Auto. Eng., UOU)

### ABSTRACT

In this paper, the electro-chemical-machining characteristics of Ni-Ti Shape Memory Alloy(SMA) was investigated. From the experimental results, the optimal electro chemical machining conditions for satisfying the machining quality(fine surface & high recovery stress) might be confirmed. And it was concluded that optimal electro chemical condition for Ni-Ti SMA could be obtained at approximately 100% current efficiency and high frequency pulse current

**Key Words :** Sharp Memory Alloy(형상기억합금), Electro Chemical Machining(전해가공), Current Efficiency (전류효율) Point Electrode(점 전극), Shape Recovery Characteristics(형상복원 특성)

### 1. 서론

최근 기계, 전자부품의 소형, 경량화 추세에 따라서 기능소자의 미세가공기술에 대한 관심이 높아지고 있다 또한 최근 광범위하게 연구개발이 진행 중인 MEMS(Micro Electronic Mechanical System)의 경우 종래의 거시적 기계와는 개념을 달리하는 마이크로(지능형) 기계의 실현을 위해서는 초 미세 기능부품 혹은 기능구조의 효과적인 제작기술 개발이 요구되고 있다. 현재는 위의 목적을 충족시키기 위한 방식으로 주로 반도체 제조과정에 사용되는 Lithography 기술을 이용하는 LIGA 법이 적용되고 있으나 3 차원 형상의 제작이 어렵다는 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 진기의 MEMS 와 관련하여 형상기억합금을 이용하여 메커니즘을 소형화하고자 하는 연구가 보고되어 있다. 형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA) 중에서도 Ni 과 Ti 의 조합으로 야금된 SMA 는 조작성 조작능 및 내구성의 측면에서 우수한 특성을 지니고 있는 반면, 그 특성이 주변환경(온력, 열 등)에 민감하게 변화하는 금속학적 특성 때문에 가공에 많은 어려움이 있는 것으로 알려져 있다

본 연구에서는 전기의 배경을 토대로, SMA 를 사용하는 삼차원 형상의 기능소자를 제작함에 있어서 전해가공(Electro Chemical Machining)의 적용가능성

을 조사하였다. 전해가공의 적용에 있어서는 한정된 영역에 전해현상을 집중시킴으로써 미세부품의 제작에 보다 효과적으로 판단되는 점 전극(Point Electrode)법을 이용하였다. 또한 전해가공 후 형상 기억 합금의 형상 회복특성이 어떻게 변화하는가를 알아보았다. [2][6]

### 2. Ni-Ti 형상기억합금의 마이크로 전해가공

#### 2.1 형상기억합금의 특징

형상기억합금은 일반적인 특징인 형상기억효과(Shape Memory Effect)와 초탄성(Super Elasticity)의 성질이 있으며 현재 의용공학이나 우주항공산업 같이 비교적 제한된 영역에 응용되고 있다

형상기억합금의 특징의 첫째는 아주 큰 형상복원력에 있다. 본 논문에서 사용한 Ni-Ti 합금에서는 응력이 50kgf/mm<sup>2</sup> 이상의 형상 회복력을 발생하며, 로봇이나 액츄에이터와 같이 많은 반복동작을 하는 경우에도 10kgf/mm<sup>2</sup> 정도의 회복력을 이용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 형상기억합금의 또 다른 특징은 반복동작에 있다 형상기억합금은 형상회복이 된 후에 다시 굽혀도 열을 가하면 몇 번이라도 앞서와 마찬가지로 원래의 형상으로 회복된다. Ni-Ti 합금은 100 만회의 반복동작에서도 형상회복 능력이 거의 변화되지 않아 많은 공업적 응용이 기대되



영향을 조사한 결과이다 Fig.4 의 결과에서 전류 효율이 95% 전후의 조건에서 표면 거칠기[ $R_a$ ]가 가장 양호한 것을 알 수 있으며, 전류효율이 100%에 근접 할수록 표면 거칠기의 향상효과가 큰 것으로 확인되었다 또한 전기의 형상복원능력을 조사한 결과와 비교하면 아세트산을 전해액으로 사용한 전해조건 3,4,5(Table.2)의 경우에 형상복원능력이 가공 후 증가하는 특성을 가지나, 질산나트륨 수용액을 이용한 전해조건이 설계된 형상복원능력을 거의 유지한다는 사실로부터 Ni-Ti 형상기억합금의 전해가공에는 전해액으로 질산나트륨 수용액이 보다 적합한 것으로 판단할 수 있다.

Fig 5 에서는 Fig 4 과 동일한 전해조건에서 펄스 전류 (Pulse Current)가 표면 거칠기[ $R_a$ ]에 미치는 영향을 조사한 결과이다 펄스전류가 표면 거칠기[ $R_a$ ]에 미치는 영향은 대체적으로 펄스의 주파수가 높을수록 크게 되지만 어느 정도의 이상의 주파수를 가진 펄스전류에서는 표면 거칠기[ $R_a$ ]가 더 이상 향상되지 않음을 확인하였다. 또한 전류효율이 높을수록 펄스전류에 따른 표면 거칠기[ $R_a$ ]의 향상효과가 거짐을 확인하였다

Table 1 Electric conditions and current efficiency

Case	Electrolyte	Voltage [V]	Current [mA]	Current Efficiency[%]
1	Sodium Nitrid	6.4	326	105.4
2		5.3	26	95.5
3	Acetic Acid	5.4	268	119.8
4		3	152	118.9
5		2.1	103	108.8

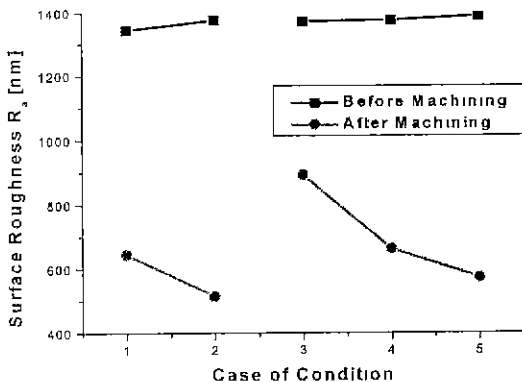


Fig 4 Relationship between surface roughness & current efficiency

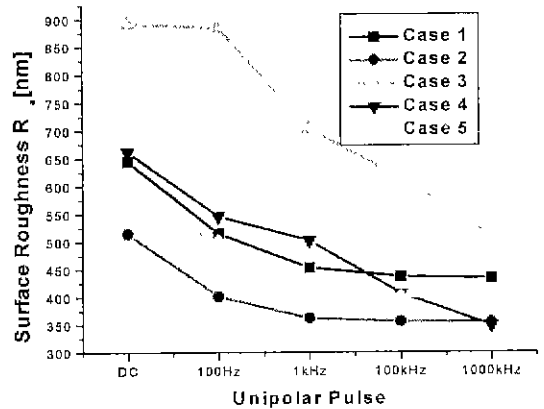


Fig.5 Relationship between various pulse current & surface roughness

#### 4.2 전해조건에 따른 형상복원특성

형상기억합금의 형상복원특성을 평가하는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중 재료학적으로 가장 흔히 변태점 표준측정법과 전기저항 측정에 의한 방법, AE 신호를 이용하는 방법 등이 있다. 위의 측정 방법들은 그러나 실용적으로 형상기억합금의 특성을 평가하는 방법으로는 정적특성시험과 동적특성 시험이 있다. 본 논문에서는 실험실에서 간단히 제작한 정적형상복원특성시험기를 이용해서 형상복원 특성을 관찰하였다 Fig.6 는 자체 제작한 정적형상 복원특성시험기의 개략도이다. 이를 이용해서 Table.2 에 나타낸 전해조건에 따라서 가공전과 가공 후의 형상복원능력을 비교하였으며, 이를 Fig.7 에 나타낸다. [3]

정적형상기억합금 특성시험기는 동일한 변형량을 형상기억합금에 가한 후 형상복원온도에서 복원하 증만을 측정 할 수 있으므로 전해가공 후 줄어든 단면적의 변화를 포함하는 응력으로 비교하였다

Table.2 Electro chemical machining conditions

Case	Electrolyte	Voltage [V]	Current [mA]	Current efficiency
1	15% Sodium Nitrid Solution	5.254	26	95.5
2		6.452	326	105.4
3		12	700	250
4		20	3200	300
5		30	4800	450
6	30% Acetic Acid Solution	2.125	103	108.8
7		3.046	152	118.9
8		5.357	268	119.9
9		10	900	250
10		20	3700	400

전해가공전후의 복원응력은 전반적으로 높은 전기적 조건에서 많이 감소 하였으며, 이는 전기적 조건이 높은 조건에서 청크 현상이 보다 크게 발생하여 가공표면이 악화되고 이로 인하여 실제 단면적이 감소한 결과로 생각되어 진다. 한편, 일부 낮은 전기적 조건에서는 복원응력이 증가한 것을 관찰 할 수 있으며, 이는 현재 인발 공정으로 생산되는 선재의 결함 및 표면의 기계적 응력이 전해가공으로 제거되는 효과, 전해가공에서 이온화 경향이 높은 티탄이 니켈보다 많은 양이 전해 용출된 결과로 추측 할 수 있다.

Table.2 의 조건 중에서 전해가공 후에 형상복원응력이 유지되는 조건과 형상복원응력이 현저하게 감소되는 조건에 대해서 DSC 를 이용하여 상 변태온도를 측정하였다.

Fig 8 의 결과에 나타난 바와 같이, 전류효율이 현저하게 높은 Case3 의 조건에서 상 변태온도가 크게 낮아지는 것으로 확인되었다. 이는 과도한 전기 조건에서 이온화 경향이 높은 티탄이 니켈보다

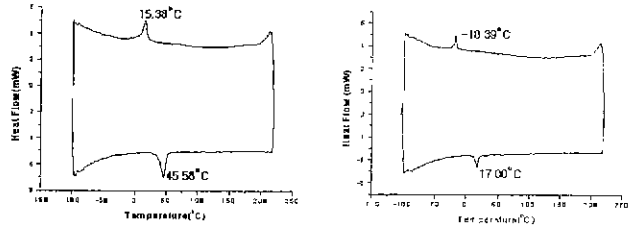


Fig.8 DSC result before & after machining [case(Table3)]

많은 양이 용출되어 일반적으로 니켈의 조성이 커질수록 변태온도가 떨어지는 Ti-Si SMA 의 소재 특성에 기인한 결과이다.

## 후기

본 연구는 과학 기술부 지원 국제공동연구(2000-IIC-01-C-095)의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 5. 결론

본 논문에서는 Ni-Ti 계열 형상기억합금의 전해가공 특성에 관하여 조사하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 형상복원응력은 전류효율이 100%에 근접한 전해조건에서는 설계된 값에 근사하게 된다..
- 2) Ni-Ti 형상기억합금 전해가공에 있어 전류효율이 100%에 근접할수록 표면 거칠기가 향상된다.
- 3) 높은 전류 값에서 형상기억합금의 복원응력이 작아지는 경향이 있다.
- 4) 펄스전류가 표면 거칠기에 미치는 영향은 전류효율이 높을수록 크다

## [참고문헌]

1. 佐藤敏一 著 “電解加工と化學加工.”
2. A.K.M. De Silva, J.A. McGeough “ Process monitoring of electrochemical micromachining’ Journal of Materials Processing Technology, Vol 76(1998) pp 165~169
3. 形状記憶合金 開發研究會 “형상기억합금과 그 사용 방법” 日本機械學會 編 “超精密加工技術”
4. 이승훈, 박규열 “점 전극을 이용한 전해연마법의 기초연구” 한국 정밀공학회지, 99 년도 춘계 학술대회 논문집 pp. 1032~1035
5. 木間大 “形状記憶合金を利用したマイクロメカニズム” 日本メカニクス學會誌 8 卷 4 號 1990 年 6 月 7 日 pp 483~485

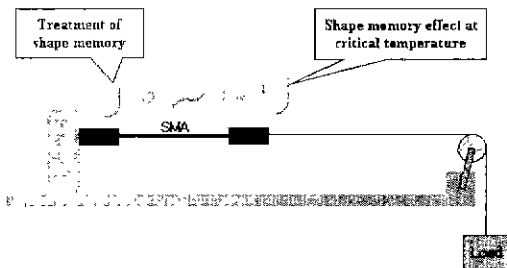


Fig 6 Schematic illustration of measuring SMA system

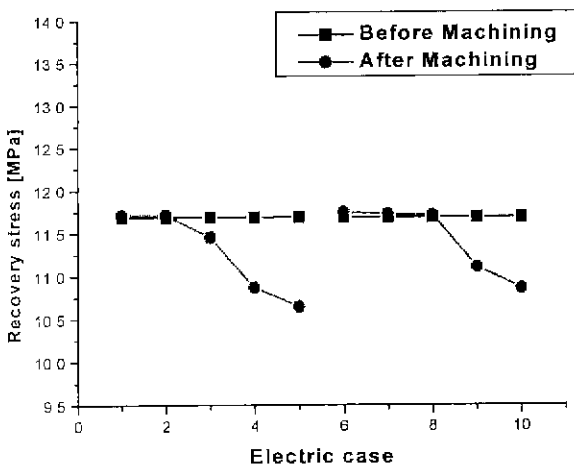


Fig 7 Relationship between recovery stress & current Efficiency