

# NiTi 형상기억합금의 실험적 연구

## Experimental study of NiTi shape memory alloy

양승용\*, 구병춘\*, 김형진\*\*, 남태현\*\*\*  
Seung-Yong Yang, Byeong-Choon Goo, Hyung-Jin Kim, and Tae-Hyun Nam

### ABSTRACT

To obtain material properties of NiTi shape memory alloy showing pseudoelastic or shape memory effect, tensile test was conducted for various temperatures. Transformation temperature also was measured by using DSC(Differential Scanning Calorimeter), and crystallographic feature of transformation was observed by XRD(X-ray Diffraction).

Key words: NiTi (니켈티타늄), Pseudoelasticity (초탄성), Shape memory effect (형상기억효과), Transformation temperature (변태온도)

### 1. 서론

형상기억합금은 온도변화에 따른 변형을 회복능력 및 초탄성 효과로 인하여 액추에이터(actuator)와 센서로 사용가능성이 활발히 연구되고있다. Oishi 등<sup>(1)</sup>은 탄소강화복합재료(CFRP)에 형상기억합금을 삽입하여 복합재료의 손상을 감지하기위한 변형을 센서에 대하여 연구하였다. 한편 Novak 등<sup>(2)</sup>은 형상기억합금의 상변화 및 리오리엔테이션(reorientation) 용력을 측정하였다. 본 논문에서는 형상기억합금의 센서 및 액추에이터 기능을 연구하기 위한 기초 연구로서 NiTi 형상기억합금의 오스테나이트-마르텐사이트 상변화 온도를 측정하였으며, 온도를 변화시켜가며 합금의 초탄성 거동 및 형상기억효과를 조사하였다.

### 2. NiTi 형상기억합금의 특성 분석

NiTi 형상기억합금을 제조하기 위하여 Ni과 Ti을 50대 50 (atomic %)으로 혼합하여 진공고주파유도용해법을 이용하여 잉고트를 생산하였다. 섭씨 850℃에서 용재 및 판재 형태로 열간압연 한 후 냉간인발과 냉간압연을 이용하여 지름 0.6 mm와 1.0 mm의 선재와 1mm 두께의 판재로 가공하였다. 최종적으로 850℃에서 1시간 동안 열처리하였다. 제조한 50Ti-50Ni 합금의 변태온도를 측정하기 위하여 DSC(Differential scanning calorimeter)를 이용하여 변태온도를 측정하였다. 시험은 가열 및 냉각속도를 10℃/min으로 하고 영상 150℃부터 영하 120℃의 온도범위에 걸쳐 수행하였다.

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\* 경상대학교 재료공학부 교수, 비회원

관계를 850°C x 1hr 열처리 후 시행하였고, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 가열 및 냉각 시 각각 1개씩의 명료한 흡열 및 발열 피크가 관찰되었고, 이러한 피크는 후술하는 X선 회절시험 결과로부터 B2-B19' (cubic-monoclinic) 변태에 기인하는 것으로 관망되었다. 변태온도는 DSC 피크의 접선과 기준선의 교점온도를 이용하여 측정하였으며 다음과 같이 측정되었다.

- Ms (B2-B19' 마르텐사이트변태 개시온도): 35°C
- Mf (B2-B19' 마르텐사이트변태 개시온도): 21°C
- As (B19'-B2 역변태 개시온도): 50°C
- Af (B19'-B2 역변태 종료온도): 68°C

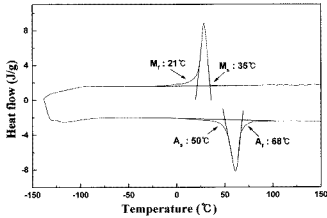


Fig. 1. Heat flow from differential scanning calorimeter.

제조한 50Ti-50Ni 합금의 변태거동을 조사하기 위하여 X 선 회절시험기를 이용하여 회절시험을 하였다. 시험은 scan 속도를 2°C/min 으로 하고 CuK $\alpha$  를 이용하여 수행하였다. 관제를 850°C x 1hr 열처리 후 시행하였고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. B2 모상의 회절피크와 B19' 마르텐사이트의 피크가 동시에 관찰됨을 알 수 있다. 따라서 Fig. 1의 냉각 시 발생한 발열피크는 B2-B19' 변태에 기인하는 것이고, 가열 시 발생한 흡열 피크는 B19'-B2 역변태에 기인하는 것임을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 제조된 50Ti-50Ni 합금은 B2-B19' 변태거동을 나타냄을 알 수 있다.

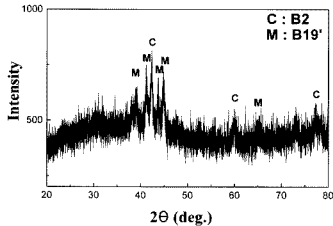


Fig. 2. Result of X ray diffraction.

제조한 50Ti-50Ni 합금의 형상기억효과 및 초탄성 거동을 조사하기 위하여 인장시험을 하였다. 인장시험은 온도조절을 위하여 실리콘 용액을 이용하였으며, 16°C부터 77°C의 온도범위에 걸쳐 수행하였다. 시편의 길이는 50mm, 초점거리는 30mm 이었다.

Fig. 3 은 얻어진 응력-변형을 곡선을 나타낸다. Ms 이하의 온도인 16°C, 29°C, 35°C에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 0.5% 내외의 탄성변형이 회복되지만 2.5% 이상의 변형이 잔류함을 알 수 있다. 이러한 잔류변형은 Af 이상의 온도인 100°C로 가열하면 완전히 회복되었다. 따라서 본 연구에서 제조한 50Ti-50Ni 합금은 완전한 형상기억효과를 나타냄을 알 수 있다. Ms 이상, Af 이하의 온도인 50°C에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 회복되는 변형량이 증가하여, 약 1.8%의 변형이 회복된다. 이는 1.2% 이상의 변형이 하중을 제거하여도 잔류함을 의미하고, 잔류된 변형은 100°C까지 가열하면 모두 회복되었다. 즉 Ms 이상, Af 이하의 온도에서는 부분적인 초탄성과 형상기억효과가 관찰되었다. Af 이상의 온도인 68°C, 77°C에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 변형의 일부가 초탄성 효과에 의해 회복되고 잔류되는 변형은 100°C로 가열함에 의해 회복되는 부분적인 형상기억효과가 발현되었다. 그러나 시험온도가 77°C가 되면 응력제거 후 잔류한 변형의 일부(0.28%)가 100°C로 가열하여도 회복되지 않았다. 이러한 불완전한 회복은 변형 중에 발생한 소성변형에 기인한다. 따라서 본 합금의 슬랩 임계응력은 약 300 MPa로 평가된다.

Fig. 4 는 형상기억합금의 인장강도 시험결과를 나타낸 그림이다. 시험 결과로부터 인장강도는 대략 600~800 MPa 구간에 있음을 볼 수 있다.

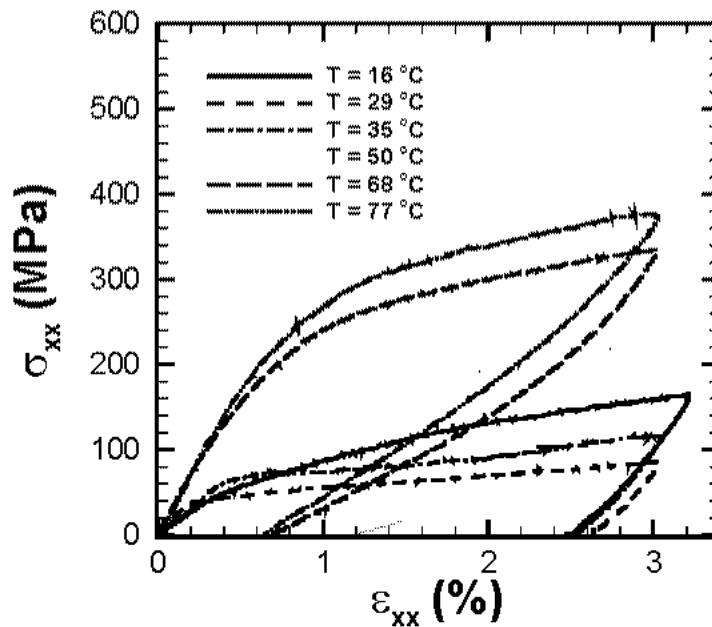


Fig. 3. Tensile behavior of NiTi shape memory alloy at several temperatures.

제조한 50Ti-50Ni 합금의 형상회복 응력을 측정하기 위하여 인장시험을 수행 하였다. 인장시험은 16°C부터 77°C의 온도범위에 걸쳐 수행하였고, 시편의 길이는 50mm, 초점거리는 30mm 이었다. 형상회복응력은 3%의 변형을 가한 후 응력을 제거하고 잔류변형이 존재하는 상태에서 Af 이상의 온도인 100°C로 가열하였을 때 발생하는 응력을 측정하여 조사하였다. Fig. 5 는 얻어진 응력-변형을 곡선 및 형상회복 응력을 나타낸다.

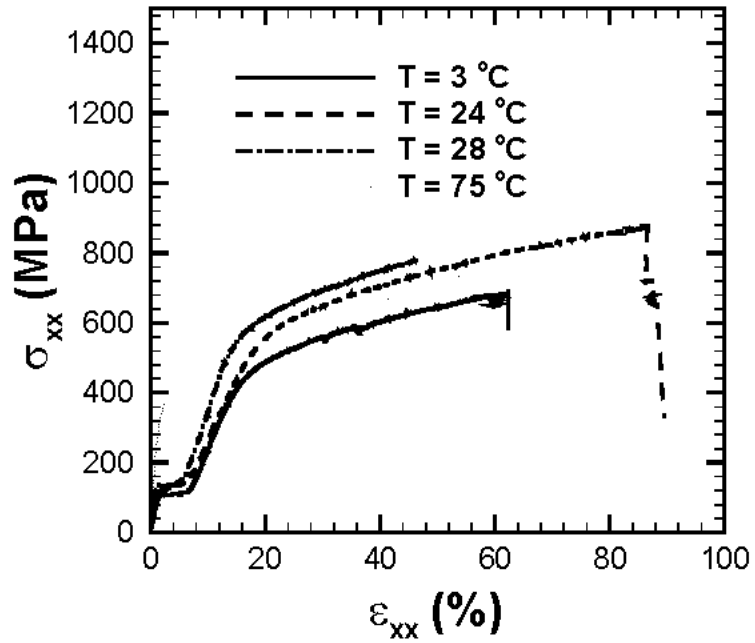


Fig. 4. Tensile strength of NiTi shape memory alloy at several temperatures.

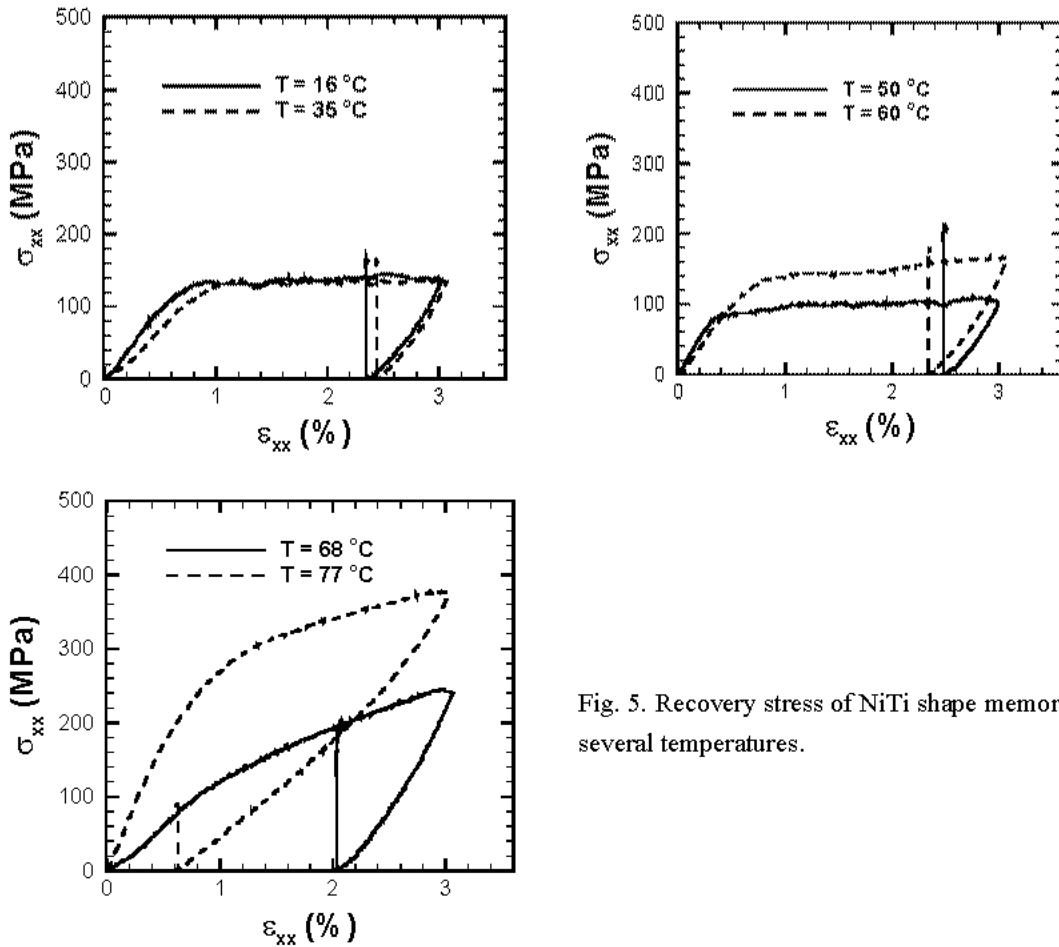


Fig. 5. Recovery stress of NiTi shape memory alloy at several temperatures.

Ms 이하의 온도인 16℃, 35℃에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 0.5% 내외의 탄성변형이 회복되지만 2.5% 이상의 변형이 잔류함을 알 수 있다. 이러한 잔류변형을 갖는 상태에서 Af 이상의 온도인 100℃로 가열하면 140 - 170 MPa 의 회복응력이 발생함을 볼 수 있다. Ms 이상, Af 이하의 온도인 50℃, 60℃에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 온도가 상승함에 따라 회복되는 변형량이 증가함을 알 수 있다. 잔류변형이 존재하는 상태에서 Af 이상의 온도인 100℃로 가열하면 140 - 240 MPa 의 회복응력이 발생함을 알 수 있다. 이상으로부터 Af 이하의 온도에서는 140 MPa - 240 MPa 범위의 회복력이 발생함을 알 수 있다. Af 이상의 온도인 68℃, 77℃에서는 3%의 변형 후 하중을 제거하면 변형의 일부가 초탄성 효과에 의해 회복되고 일부의 잔류되는 변형이 존재하는 상태에서 100℃로 가열하면 대략 100 MPa 의 회복응력이 발생하여 Af 이하의 온도에서 측정된 회복력보다 매우 작음을 알 수 있다. 이는 하중제거 시 초탄성 효과에 의해 역변태가 이미 발생하기 때문에 회복력에 기여할 수 있는 마르텐사이트의 양이 감소하기 때문이다. Fig. 6 은 측정된 회복응력을 시험온도에 대해 정리한 결과이다.

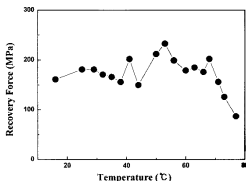


Fig. 6. Recovery stress with test temperature.

### 3. 결론

본 논문에서는 NiTi 형상기억합금의 상변화 온도를 DSC를 이용하여 측정하였다. 마르텐사이트 변태계시 온도(Ms)는 35℃ 이었고, 오스테나이트 변태종료 온도(As)는 68℃ 로 측정되었다. 한편 온도별 인장거동으로부터 형상기억합금의 초탄성 거동, 변태 변형률(transformation strain), 복원응력 등을 측정할 수 있었다.

#### [참고문헌]

- (1) R. Oishi, H. Nagai, Y. Xu, and H. Yoshida, 2002, Smart composite materials by using SMA(Shape Memory Alloy) strain sensor. MRS 2002.
- (2) V. Novak, M. Landa, and P. Sittner, 1999, Acoustic recognition of stress induced martensitic transformations in CuAlNi. SMST99.