

마이크로 금속 박판의 동적 물성치 측정을 위한 마이크로 동적 시험 장치 개발에 관한 연구

A Study on a micro dynamic tester development
for a micro property measurement of a micro metal specimen

이진표[†]·이혜진*·황재혁**·이낙규*·배재성**

Jin-Pyo Lee, Hye-Jin Lee, Jai-Hyuk Hwang, Nak-kyu Lee and jae-Sung Bae,

Key Words : Micro metal specimen(마이크로 금속 시편), Vibration(진동), Fatigue test(피로시험)

ABSTRACT

In a micro-unit of electronic-machine, vibration can be excited by a small impact, and this vibration acts as a fatigue load. To measure the vibration effect on the micro unit, a micro dynamic tester is needed to test a micro specimen. In this paper, it has confirmed a movement of the PZT(piezo actuator) to use a sine signal. And, it has confirmed a fracture of specimens by using a tension-tension input signal in PZT. A metal-material property in the micro scale has been tested to compare with the macro scale. A fatigue test has been conducted by using PZT actuator to give a bending-tension effect.

2. 실험 장치

1. 서론

점점 실생활에 유익하게 사용되어지고 있는 전자기기(핸드폰, PDA등)들이 작아지고 있는 추세이다. 이 전자기기는 내부에 미세한 부품들을 가지고 있다. 이 부품들은 전자기기에 작은 충격이 가해지면 진동이 일어나게 되며 이러한 진동은 부품들에게 피로하중으로 작용을 하게 된다.

피로하중이란 상온에서 그 재료의 강도나 탄성한도보다 작은 응력이 계속하여 가해지는 것을 말하며, 피로파괴란 오랫동안 하중이 작용하다가 파괴되는 것을 말한다.

실제 문제로서 재료를 사용하는 입장에서 볼 때, 무한 반복이라고 볼 수 있는 내구 한도를 결정하는 것이 필요하다. 만약 그와 같은 의미를 갖는 기준적 반복수에 대하여 파괴되지 않는다면 이것을 불파단으로 볼 수 있다.⁽¹⁾

이 논문에는 Piezo actuator의 특성을 알아 본 후, 마이크로단위의 평행부를 가지는 금속 시편에 인장과 피로하중을 줄 수 있는 시스템 개발에 관한 연구를 수행하였다.

2.1 마이크로 물성 측정 장치

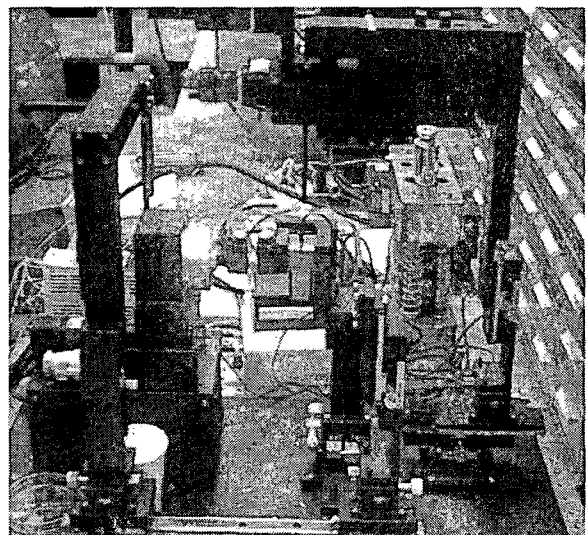


Fig.1 마이크로 물성 측정 장비

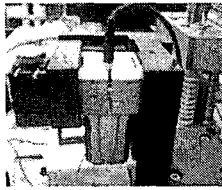
Fig.1은 마이크로 물성 측정 장비의 모습이다. Load Cell, Grip part, Piezo actuator로 구성되어

† 이진표, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
E-mail : janpil@hotmail.com
Tel: (02) 300-0114 Fax: (02) 3158-5769

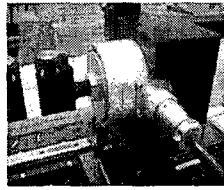
* 한국생산기술연구원

** 한국항공대학교

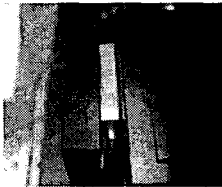
있다.



(a) Piezo actuator



(b) Load Cell



(c) Linear Scale

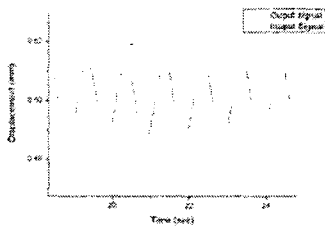
Fig. 2 마이크로 물성 측정 장비 구성요소

이 실험에서 사용된 actuator는 Piezo actuator이다. Piezo actuator는 전압에 따라 변위가 발생하는 actuator이며 이 실험에 사용되어진 Piezo actuator는 최대 스트로크 1mm, 최대하중 1kgf이다. 힘을 측정하기 위해서 최대하중 10kgf인 Load Cell을 사용하였다. 그리고 Piezo actuator의 변위를 측정하기 위해서 resolution 0.05 μ m인 Linear scale을 사용하였다.

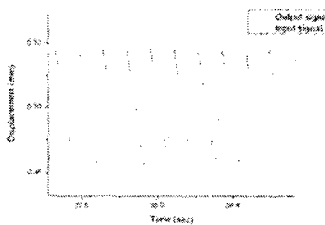
3. 실험

3.1 Piezo actuator

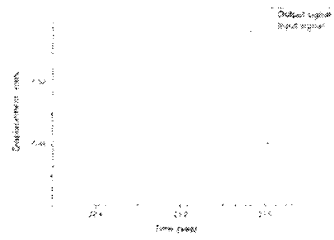
Piezo actuator의 특성을 알아보기 위하여 sine input 신호를 얼마나 잘 따라 가는지 확인하였다.



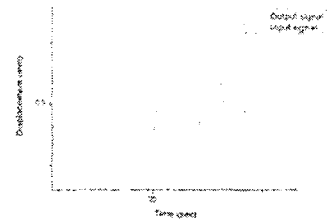
(a) Amplitude 0.2V, frequency 1Hz



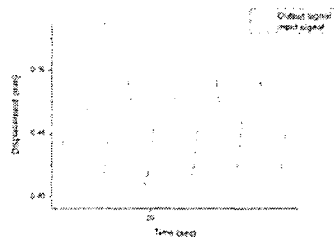
(b) Amplitude 0.2V, frequency 8Hz



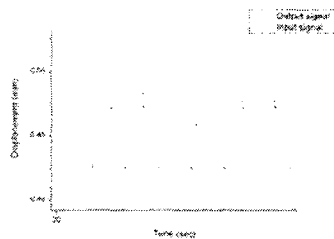
(c) Amplitude 0.5V, frequency 1Hz



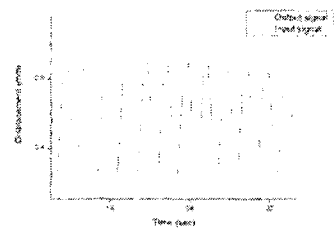
(d) Amplitude 0.5V, frequency 3Hz



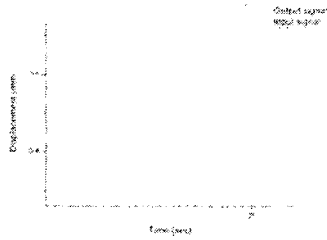
(e) Amplitude 1V, frequency 1Hz



(f) Amplitude 1V, frequency 2Hz



(g) Amplitude 2V, frequency 0.5Hz



(h)Amplitude 2V, frequency 1Hz
Fig.3 Input signal에 대한 piezo actuator의 응답

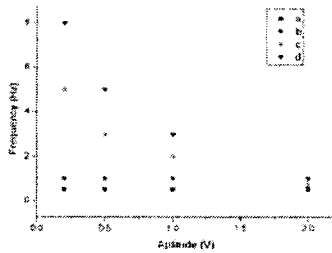
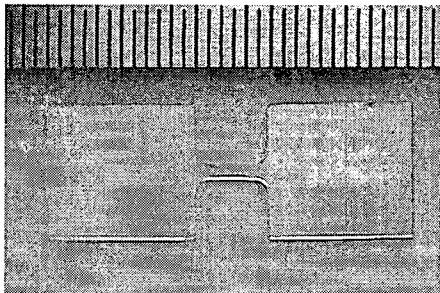


Fig.4 주파수와 진폭에 따른 Piezo actuator의 응답성

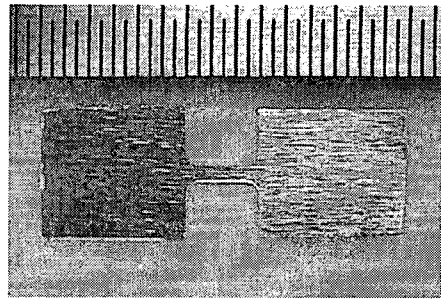
Fig.3 은 input값을 잘 따르는 주파수와 따르지 못하는 data를 비교해 놓은 모습이며, 주파수가 낮은 input 값은 대체로 잘 따라가는 모습을 보인다. 그러나 주파수가 어느 정도 높아지면 위상차가 생기면서 input 값을 따라가지 못하는 모습을 보인다. Fig.4는 진폭과 주파수를 같이 표현한 모습이다. a점들은 진폭에 관계없이 잘 따르는 점이고 d점들은 위상차가 서서히 발생하는 경계점이다. 따라서 진폭이 작고 주파수가 작을수록 Piezo actuator가 잘 따라가며, 진폭이 크고 주파수가 높을수록 잘 따라가지 못하는 것을 확인 할 수 있다.

3.2 시편

마이크로단위에서 실험을 수행하기 위해서 평행부의 길이 2mm, 두께 50µm, 폭 500µm의 시편을 가공하였다.



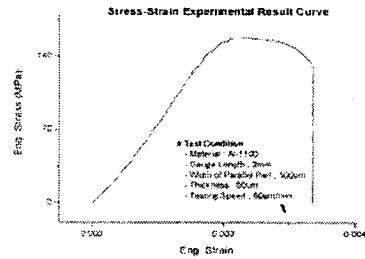
(a)Micro Al specimen



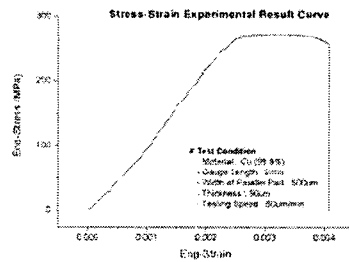
(b)micro Cu specimen
Fig.5 Micro specimen

3.3 인장실험

매크로 단위에서는 시편을 지그에 물려서 실험을 용이하게 수행할 수 있지만 마이크로 단위에서 시편을 잡는 부분도 작다. 이번 실험에서는 시편의 holding을 위해 시편의 넓은 부분을 기계적으로 잡고 평행부 부분을 인장 실험의 대상으로 하였다. 인장실험을 위해서 Piezo actuator를 60µm/min의 속도로 마이크로 시편들을 가지고 수행하였다.



(a)Al-1100



(b)Cu(99.9%)

Fig.6 Stress-Strain Experimental Result Curve

Fig.6 (a)는 마이크로 알루미늄 시편을 인장 실험을 수행하여 얻은 결과이다. 매크로 단위의 알루미늄은 70~80 GPa의 Elastic Modulus를 가지지만 이 실험의 결과 마이크로 단위에서는 88.4 GPa의 Elastic Modulus를 얻었으며 131 MPa의 fracture stress를 얻었다.

Fig.5 (b)는 마이크로 구리 시편을 인장 실험을

수행하여 얻은 결과이다. 매크로 단위의 구리는 100~110 GPa의 Elastic Modulus를 가지지만 마이크로 단위의 구리는 121.58 GPa의 Elastic modulus를 얻었으며 256 MPa의 Fracture stress가 얻었다.

Fig.5의 strain 값과 stress 값을 비교하면 구리가 알루미늄에 비해 높은 stress 값을 가졌으며, 더 높은 strain 값을 가졌다. 이는 구리가 더 강하고 인장 시에 약간 늘어났다는 것을 알 수 있다.

항복응력을 판단하는데 있어서 stress와 strain의 기울기인 Elastic modulus 보다 작은 값을 가지는 구간을 항복구간으로 잡아서 그 구간의 최초 값을 항복응력으로 계산하였다.

Table.3에서 확인 한 바와 같이 매크로 단위에서의 재료와 마이크로 단위에서의 물성치는 약간 차이가 났다. 이것은 마이크로 단위에서의 실험이 필요하다는 것을 증명해준다.

Table.1 Al, Cu test result

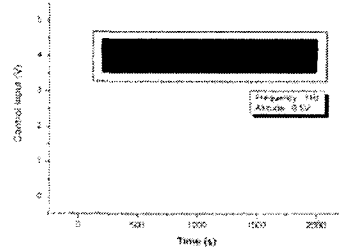
Property	Al	Cu
Fracture stress	131 MPa	256 MPa
Fracture strain	0.0033	0.00488
Tensile strength	156 MPa	272 MPa
Yield stress	141.51 MPa	242.47 MPa
Yield strain	0.0017	0.0022

Table.2 Compared macro(Al, Cu) with micro(Al, Cu)

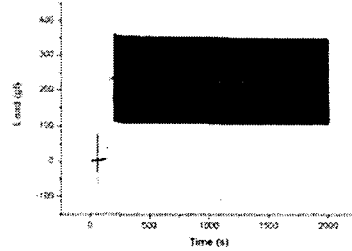
Property	Al (GPa)		Cu (GPa)	
	macro	micro	macro	micro
Elastic modulus	73.1	88.4	103	121.58
Yield stress	255	141.51	345	242.47

3.4 Tension-Tension 피로실험

다음으로는 Tension-tension 피로 실험을 수행하였다. Piezo actuator의 무부하 동특성을 파악하기 위해서 시행했던 실험과 같은 Input으로 같은 시편의 알루미늄과 구리를 사용하였다.



(a) Input signal

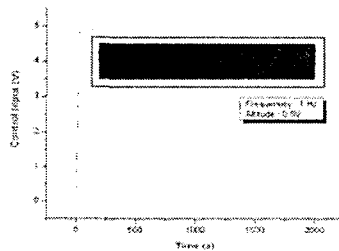


(b)load data

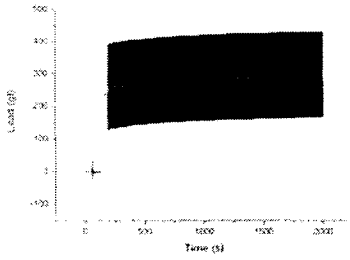
Fig.7 Al-1100 tension-tension test

Fig.7 (a)는 Piezo actuator Input 값이다. 총 실험 시간은 2000초이고 피로하중을 준 구간은 1800초이다. 초기 Piezo actuator에 5V까지 전압을 준 후 1V의 free loading을 가한 후 sine파 주파수 1Hz, 진폭 0.5V를 Input으로 하였다. 5V에서 4V로 1V의 하락의 이유는 free loading으로 시편이 실험 도중 접히지 않고 tension-tension 피로하중을 주기 위하여 이다.

Fig.6은 Load Cell에서 측정된 output 값이다. tension-tension 만으로 피로 하중을 주어서 인치 끊어지는 모습은 볼 수 없었다.



(a) Input signal



(b)load data

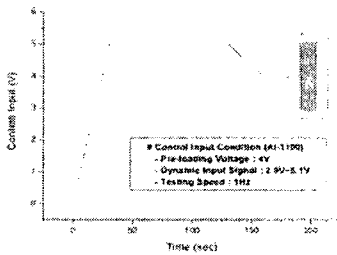
Fig.8 Cu(99.9%) tension-tension test

Fig.8은 알루미늄을 구리로 바꿔서 실험한 데이터이다. Fig.7 (b)와 Fig.8 (b)의 그래프 경향이 다른 이유는 재료의 연신율로 인해 tension-tension 하중을 받으면서 조금씩 늘어났기 때문이다. 구리가 tension-tension의 피로하중을 받는 동안 14.24gf/s씩 하중이 증가하였으며 13.65 μ m/s의 씩시편이 늘어났다

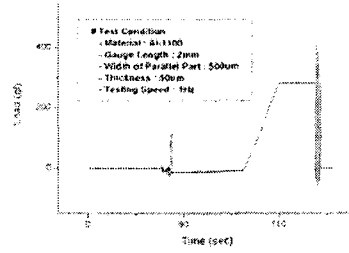
3.5 Bending-Tension 피로실험

Tension-Tension 피로 하중으로는 재료의 파단이 일어나지 않았다. 따라서 파단의 경향을 보기 위해 Bending-Tension을 주기로 하였다. Bending-Tension 피로 하중은 실제 전자기에 충격이 가해졌을 때 기기속의 부품들이 충격을 받을 시 겪게 되는 하중을 시뮬레이션 해 본 것이라 할 수 있다.

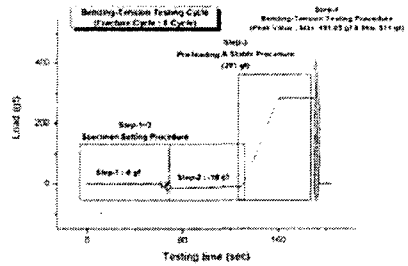
Fig.9 (d)는 알루미늄이 파단 될 시의 load 값을 확대한 모습이다. Sine input 값이 주어지고 알루미늄 시편은 sine input 5 cycle 만에 파단 되었다.



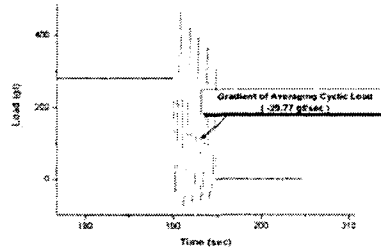
(a)bending-tension experimental input



(b)bending-tension experimental load



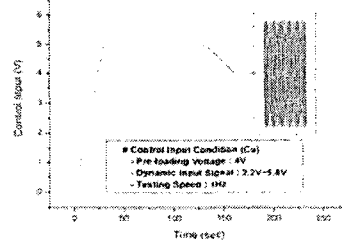
(c)test procedure



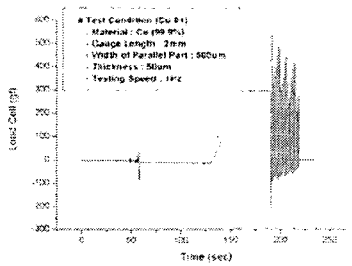
(d)Averaging Data of Cyclic Load

Fig.9 Al-1100 bending-tension test data

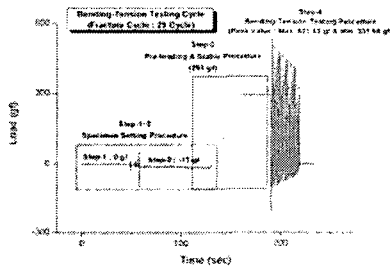
구리는 sine input 값이 주어지고 29 cycle 만에 파단 되었다. 두 시편의 cycle이 다른 이유는 재료의 강성차이 때문이다. 인장실험에서 확인 했듯이 구리의 maximum stress가 알루미늄 보다 높았기 때문에 bending-tension 피로 하중이 주어졌을 때 구리가 더 오래 견딜 수 있었다.



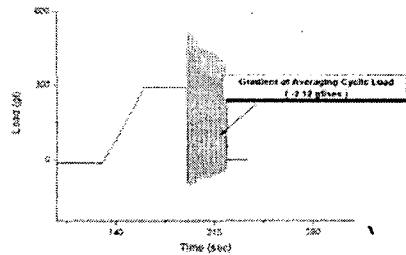
(a)bending-tension experimental input



(b)bending-tension experimental load



(c)test procedure



(d)Averaging Data of Cyclic Load

Fig.10 Cu(99.9%) bending-tension test data

구리와 알루미늄의 input 진폭이 다른 이유는 bending-tension 이 주어질 때 알루미늄은 진폭이 큰 경우 1 cycle 에 끊어지는 경우가 있었고, 구리의 경우 input 진폭이 작으면 평행부의 bending이 일어나지 않아서 bending의 효과를 보기 위하여 진폭의 크기를 다르게 실험하였다..

Table.3 Bending-Tension fatigue result

	Al	Cu
Cycle	5 cycle	29 cycle
Fracture loading	461 gf	529 gf
slope	-29.77 gf/s	-2.12 gf/s

4. 결론

본 연구에서는 전자기기의 미세한 부품에 충격이

가해져서 일어날 수 있는 재료의 진동 영향을 고려하기 위하여 system을 개발하였다. 우선 Piezo actuator의 특성을 알아보기 위해 무부하일 때의 거동을 살펴보았으며, Piezo actuator를 이용하여 임의로 가진력을 마이크로 단위의 시편에 주어서 매크로 단위의 알루미늄과 구리와 물성치를 비교해 보았다. 그리고 sine파 input을 이용하여 시편에 피로하중을 가하여서 과단 될 때의 힘과 cycle을 살펴 보았다. 나아가 전자기기에 직접 들어가는 재료를 사용하여 실제적인 활용이 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 표준화기술개발 사업 중 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 ‘나노 및 마이크로 막형 소재의 마이크로 인장 특성 표준 시험 평가 기술 개발’ 과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) 강영하, 2003, “최신 재료시험법”, 동명사.
- (2) R.C. Hibbeler, 2002, "Mechanics of materials" 4th ed.
- (3)W.N. Sharpe Jr., 2003, “Fatigue of polycrystalline silicon under long-term cyclic loading”, Sensors and Actuators A: Physical, Volume 103, Issues 1-2, 15 January.
- (4)W.N. Sharpe Jr., 2002, “Fatigue testing of polysilicon..a review”, Mechanics of Materials, Volume 36, Issues 1-2, January-February.