한국기계가공학회지, 제5권, 제1호, pp.45～50 (2006. 3)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 5 No. 1, pp.45～50 (2006. 3)

바이몰프형 PZT를 이용한 소형만능재료시험기용 정밀 구동 액추에이터의 개발

권현규#, 최성대*, 정선환*

Development of a New Precision Actuator by Bi-morph Type PZT to Realize Nano/Micro Mechanical Testing in MUTM

Hyun-Kyu Kweon#, Seong-Dae Choi*, Seon-Hwan Cheong*

ABSTRACT

This paper shows a new precision actuator of MUTM(miniature universal testing machine) for the testing of compression and tensile load on the MEMS materials and structures. The MUTM consists of a sample holder, an ultraprecision precision actuator(tranlation stage) and load sensor. The precision actuator has been developed for generating displacements with nanometer accuracy and a dynamic range of 1mm simultaneously. In this paper, it can be made by using the displacement property of bi-morph type PZT, which is able to extend the long range(stroke) according to cantilever size. However, it is not enough to be generated for compression and tensile load in miniature universal testing machine. Therefore, three dozen bi-morph type PZTs are used for generating the load. The load and displacement of the precision actuator are 35g and 0.4㎜ respectively.

Key Words : Bi-morph type PZT(바이몰프형 압전소자), MUTM(소형만능시험기), In-process Measurement(인프로세스측정), AFM(원자현미경)

1. 서 론

최근 MEMS와 NANO 기술은 기초적인 연구 단계를 지나 실질적인 응용분야로 그 연구가 확대되고 있다. 그러나, MEMS 구조물 제작시 기계적인 물성에 따른 변형이나 구조의 손상 등이 문제가 되어 센서나 액츄에이터 같은 실질적인 소자의 제작이나 성능에 많은 결점을 초래하고 있다. 이와 같이, MEMS나 NANO 재료의 기계적 특성을 분석하는 것은 핵심 부품에 대한 고정도성, 내구성 등을 포함한 부품의 신뢰성 평가와 수명평가, 부품의 내충격도, 부품 제조시에 발생하는 잔류 응력의 영향 평가 등에 필수적이며, 이러한 것들은 마이크로시험장치 자체와 거의 같은 크기이고 같은 방법으로 만들어진 시험편으로 측정되어져야만 한다[1~6].

한편, 만능재료시험기는 소재의 기계적 특성을 분석하는 장치로서, SEM(Scanning Electron Microscope)이나 AFM(Atomic Force Microscope) 등과 같은 미세조직 분석장치와 연계하여 사용하게 되면 고정도의

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : hkkweon@kumoh.ac.kr
* 금오공과대학교 기계공학부

재료성질을 분석할 수 있다[7, 8]. 그러나, 현재 인장시험장치의 크기 및 용량으로는 다른 분석장치에 연계하여 사용하는 것은 거의 무리라고 사료된다. 이러한 문제점을 해결하고 또한 하나의 시험기를 여러 분석장치에 다목적으로 연계하여 사용할 수 있는 초소형 만능재료시험기가 필수적이며, 초소형화와 초경량화를 위해서는 우선적으로 힘과 변형을 부가하는 근원인 액츄에이터의 개발이 선행되어야 한다. 그러나, 기존에는 전기 모터, 유공압 장치 및 전자석을 이용하였으며, 이것들은 크기나 용량이 대형이므로 초소형 장치에는 부적합하다. 본 연구에서는 마이크로/나노변위 특성을 가진 압전세라믹[9]를 이용한 정밀구동액츄에이터를 개발하여, 이를 정밀구동요소로 사용한 소형만능재료시험기를 설계·제작하였다. 또한, 미세시험편을 실시간 하중하에서 AFM(Atomic Force Microscope) 내부에 장착하여 시험편의 미세조직을 관찰하면서 동시에 재료시험을 통해 재료의 기계적 거동상태를 살펴보았다.

2. 정밀 구동 액추에이터의 설계

Fig. 1은 본 연구에서 개발한 바이몰프형 PZT액추에이터를 소형만능시험기에 장착한 개략도를 나타낸 것이다. 시험기는 대변위이동을 위해 정밀스탭모터를 사용하였고, 하중의 측정에는 시료지그부분에 PZT센서를 사용하였다. Fig. 2과 Fig. 3은 마이크로/나노 단위의 변위발생 및 하중발생을 위한바이몰프형 PZT를 이용한 정밀 구동액추에이터의 기본원리를 나타낸 것이다. Fig. 2에서와 같이 심(Shim)을 중심으로 상하에 PZT를 붙여서 전압을 가하면, 심의 길이에 따라 mm단위의 변위(d)가 발생하여, 나노단위의 제어가 이루어지면 상당히 유용한 목적으로 사용될 수 있다. 그러나, 소형만능시험기와 같은 마이크로/나노 변위발생과 더불어 수 십 mN의 힘의 발생이 필요한 곳에는 다소 그 사용이 제한되어진다. 따라서, Fig. 3과 같이 다수개의 바이몰프형 PZT를 사용함으로서 다음 식과 같이 증가된 힘P 와 그 때의 변위δ 를 얻을 수 있다.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + \cdots\cdots + P_N \quad (1)$$

$$\delta_{total} = \delta_1 = \delta_2 = \cdots\cdots = \delta_N \quad (2)$$

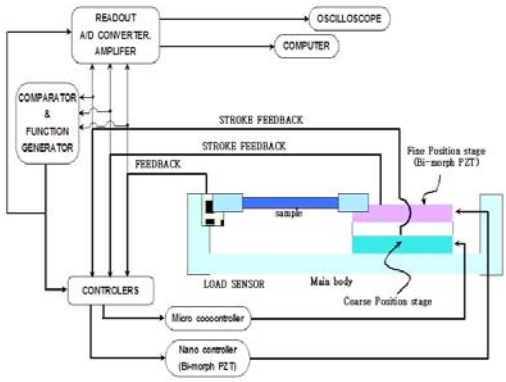


Fig. 1 System diagram of the MUTM

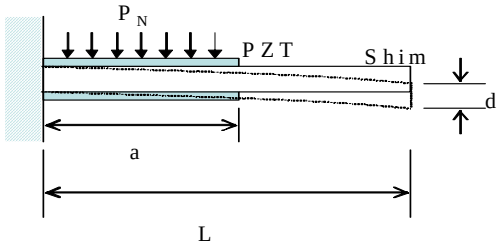


Fig. 2 Principle of load generation in bi-morph type PZT actuator

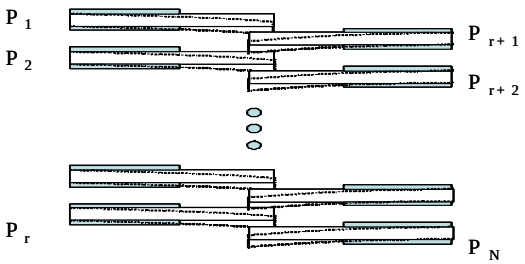


Fig. 3 Principle of load generation in combined bi-morph type PZT actuator

Fig. 4는 바이몰프형 PZT를 조합하여 제작한 정밀구동액추에이터를 나타낸 것이다. 심(Shim)은 두께 0.2㎜의 36개의 Filler gage를 사용하여 제작하였고, 작동봉을 사용하여 36개의 바이몰프형 PZT가 동시에 움직일 수 있도록 제작하였다.

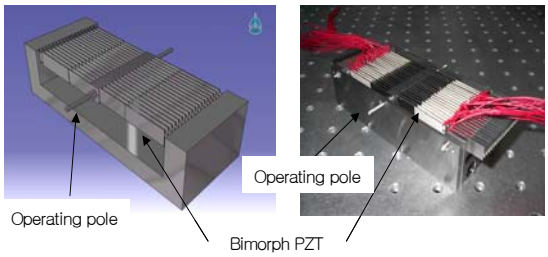


Fig. 4 Precision Actuator by the combined bi-morph type PZT Actuator

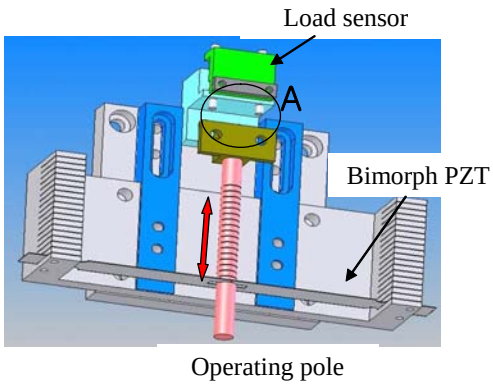


Fig. 5 MUTM setup

Fig. 5는 Fig.4의 정밀구동액추에이터를 시료지그 A와 하중센서 등과 결합한 그림이다. 하중센서는 Fig. 6과 같이 압전세라믹의 특징중에 하나인 기계적인 신호를 주었을 때 전기적 신호가 발생하는 압전 직접 효과를 응용한 PZT센서를 사용하였다.

3. 정밀 구동 액추에이터의 기본 특성

3.1 바이몰프형 PZT액추에이터의 특성

Fig. 7는 1개의 바이몰프형 PZT 액추에이터의 변위 출력특성을 나타낸 결과이다. 바이몰프 PZT는 4×25 ×2mm를 심에 접착하여 사용하였다. 변위측정은 레이저변위센서를 이용하여 임의의 액추에이터 3개를 측정하였다. 출력특성은 360㎛정도로 각각 일정한 값을 나타내었다. Fig. 8은 결합한 바이몰프형 PZT 액추에이터의 변위출력특성을 나타내고 있다. 이 값과 앞의 개개의 변위출력값과 비교해보면, 앞의 경우가 변위가 좀 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 36개로 구성된 개개의 PZT가 서로 다른 변위를 발생시켜 간섭을 받은 결과라고 생각된다.

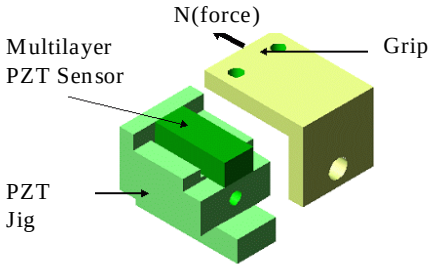


Fig. 6 Load sensor

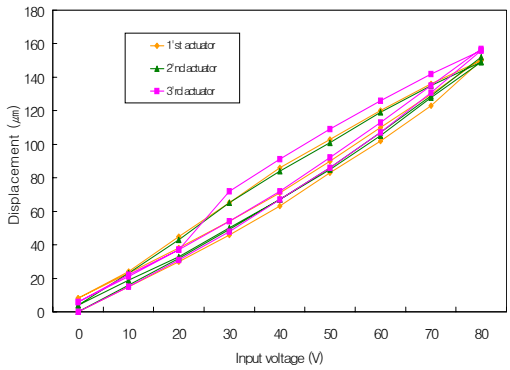


Fig. 7 Displacement output results by bi-morph type PZT actuator

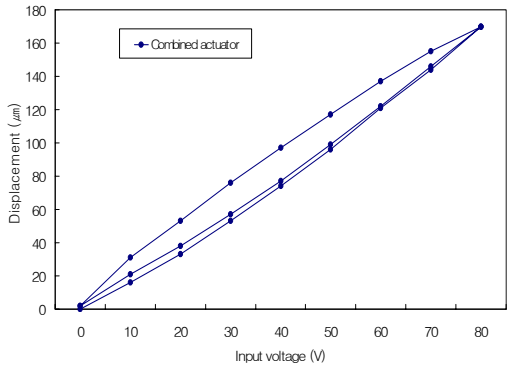


Fig. 8 Displacement Output of combined bi-morph actuator

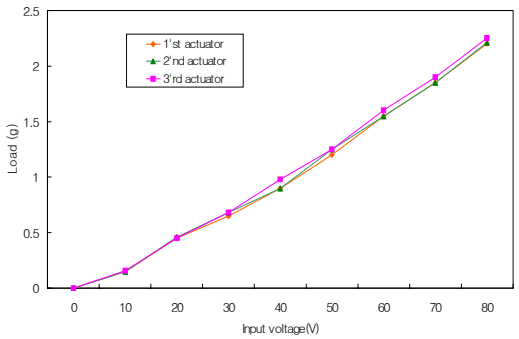


Fig. 9 Load Output of bi-morph PZT

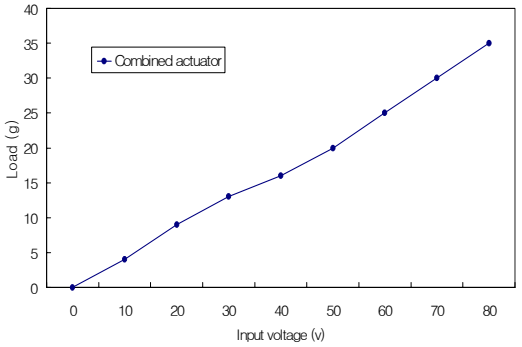


Fig. 10 Load output of combined bi-morph actuator

Fig. 9는 바이몰프형 PZT액추에이터의 발생 하중 특성을 측정한 결과이다. 하중 측정은 1kgf 용량의 로드셀을 사용하였다. 80V의 인가전압에 대해 하중은 2.2~2.25g의 값을 얻었고, 3개의 액츄에이터가 거의 비슷한 값을 가짐을 알 수 있었다. Fig. 10은 결합한 바이몰프형 PZT 액츄에이터의 하중 출력 특성을 나타낸 결과이다. 개 개의 바이몰프형 PZT 액츄에이터는 80V에서 PZT액츄에이터는 약 35g의 하중을 얻었다. 여기서 결합한 액츄에이터의 수는 36개이고 개당 약 2.2g의 힘이 작용하면 결합한 액츄에이터에서는 약 79g 정도의 출력 값이 나와야 하는데 약 35g 정도의 하중이 출력되어 약 절반정도의 하중 손실이 있음을 알 수 있다. 이로써 하중 손실을 최대한 줄이는 설계 개선이 필요하다고 생각된다.

3.2 하중센서의 특성

Fig. 11은 로드셀(용량 1kgf, 정격출력0.7700mV/V)과 적층형 PZTsensor에 동시에 하중을 주었을 때의 출력 결과를 비교한 결과이다. 이 결과로부터, 로드셀과 PZTsensor의 출력 결과가 직선적으로 비례함을 알 수 있다. 따라서, 적층형 압전액츄에이터를 이용한 하중 측정이 가능하였고, 출력전압의 비는 0.19 이다.

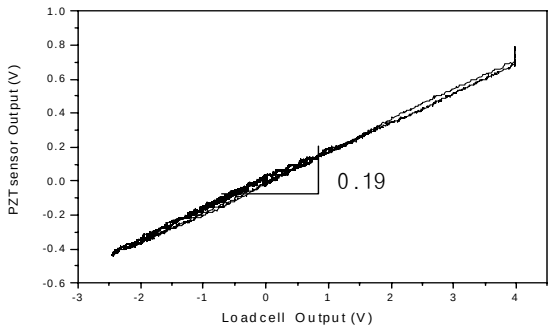


Fig. 11 Output results between load cell and PZT sensor

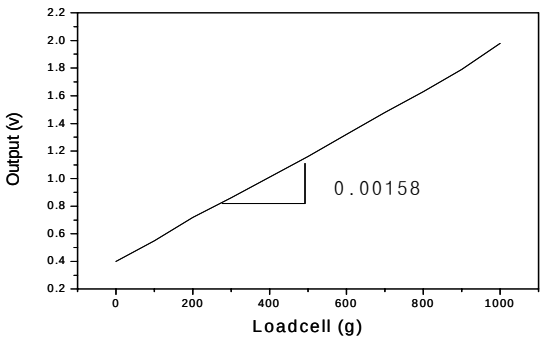


Fig. 12 Output Voltage of Loadcell

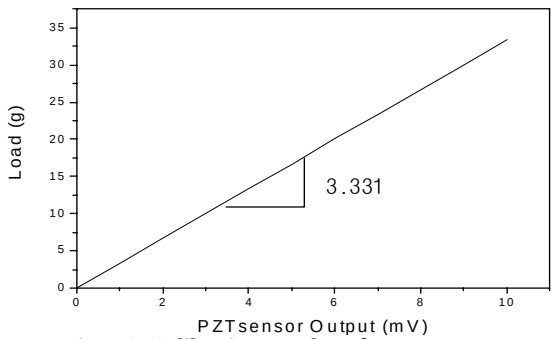
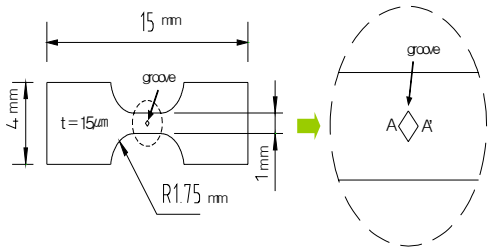


Fig. 13 Calibration results of PZT sensor

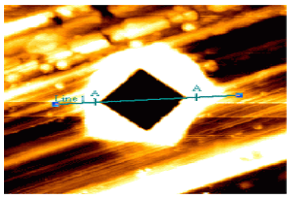
Fig. 12는 로드셀의 하중에 따른 출력 전압을 나타낸 결과이다. 여기서, 하중과 출력전압과의 비는 0.00158 이다. 따라서, PZTsensor의 전압(mV)에 따른 하중변환을 Fig. 13과 같은 그래프로 나타낼 수 있다. PZTsensor의 출력 전압(mV) 당 3.331g의 하중으로 변환됨을 확인할 수 있었다.

4. AFM내부에서의 재료시험에 의한 평가

소형만능재료시험기의 성능 평가를 위해 AFM (AutoProbe M5, PSIA) 내부에 정밀구동액추에이터를 장착한 MUTM을 설치하여 실험을 하였다. 인장시험 후 변형량을 알아보기 위해 시험편 표면에 마이크로 비커스 경도계를 이용하여 다이아몬드 형태의 홈을 두었고, Fig. 14는 그 시험편을 나타낸 것이다. 폭은 1㎜이고 두께는 15㎛이며 재질은 알루미늄이다. Fig. 15는 AFM 내부에서 인장시험 한 결과를 출력한 것인데, 시험 전 홈 대각의 크기(A와 A'의 거리)가 213.4㎚에서 시험 후에는 264.2㎚로 변형되었다. 즉, 시험기의 발생하중 35g으로 50㎚ 정도의 변위가 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 바이몰프형 만능재료시험기의 현재의 실험조건에서는 시험편의 변형이 발생하지만 파단에는 이르지 않음을 확인할 수 있었고, 이에 따라 보다 큰 발생하중을 갖는 시험기를 위해 액추에이터의 설계 개선이 필요함을 알 수 있었다.

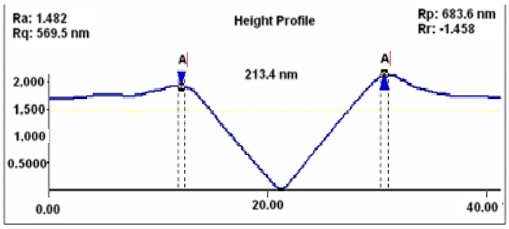


(a) Specimen

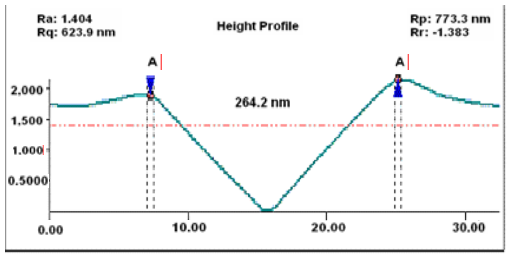


(B) Section of Diamond Mark

Fig. 14 Specimen and Mark in AFM



(a) Before



(b) After

Fig. 15 Results measured before and after measurement in AFM

5. 결 론

바이몰프형 PZT(압전소자)를 사용한 정밀 구동액추에이터를 설계·제작하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 바이몰프형 압전소자를 사용하여 정밀 구동액추에이터(109× 60× 22㎜)를 제작하였고, 하중출력 약35g과 변위출력 약 0.4mm의 기본 특성을 얻을 수 있었다.

(2) 개발된 정밀구동액추에이터를 이용하여 MUTM을 제작하였고, 이를 AFM 내부에 장착하여 재료시험을 하였다. 그 결과 미소변위량의 인프로세스 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

(3) 압전액추에이터를 이용하여 하중센서로서의 응용이 가능함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 금오공과대학교 학술연구비에 의해 정리된 논문입니다.

참고문헌

[1] Greek, S. and Johansson, S., “Tensile Testing of Thin Film Microstructures,” Proc. SPIE, Vol. 3224, pp. 344-351, 1997.

[2] Tsuchiya, T., Tabata, T., Sakata, S., and Tagi, Y., “Specimen Size Effect on Tensile Strength of Surface Micromachined Polycrystalline Silicon Thin Films,” Proceedings of the Tenth IEEE International Workshop on Microelectromechanical Systems, Nagoya, Japan, pp. 529-534, 1997.

[3] Sharpe Jr., W. N., “An Interferometric Strain/ Displacement Measurement System,” NASA Technical Memorandum 101638, August, 1989.

[4] Sharpe Jr., W. N., Yuan, B. and Edwards, R. L., “A New Technique for Measuring the Mechanical Properties of Thin Films,” J. Microelectromech. Syst., Vol. 6, pp. 193-199, 1997.

[5] Ogawa, H., Susuki, K., Kaneko, S., Nakano, Y., Ishikawa, Y. and Kitahara, T., “Measurement of Mechanical Properties of Microfabricated Thin Film,” Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, pp. 430-435, Nagoya, January, 1997.

[6] Sharpe Jr., W. N., LaVan, D. A. and Edwards, R. L., “Mechanical Properties of LIGA-Deposited Nickel for MEMS Transducers,” Proc. Int. Conf. Solid-State sensors and Actuators, pp. 607-610, Chicago, IL, June, 1997.

[7] Yi, T. and Kim, C. J., “Microscale Material Testing: Etchant Effect on the Tensile Strength,” Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators, pp. 518-521, Sendai, June, 1999.

[8] 최현석, 한창수, 최태훈, 이낙규, 임성주, 박재, 김승수, 나경환. “고기능성 소재용 마이크로 인장시험기 개발,” 한국소성가공학회지, 제11권 제7호, pp. 561-568, 2002.

[9] 김도현, 한민구, 이능헌, 김진수, 이덕출, “압전 액츄에이터의 제작 및 그 특성에 관한 연구,” 전자공학회논문집, 제31권, 제3호, pp. 247-254, 1994.