

# 압전소자로 구동되는 변위확대기구에 대한 기초실험

백창욱\*, 신종우, 김용권  
서울대학교 전기공학부

An Experiment of the Displacement Amplifying Units(DAUs)  
Driven by the Piezo Actuators

Chang-Wook Baek, Jong-Woo Shin, Yong-Kweon Kim  
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

## Abstract

The displacement amplifying units(DAUs) of the flexure hinge mechanism are used to amplify the displacements from the Piezo actuators using the principle of a lever. We fabricate for two step DAUs with the SUS304(stainless steel) and experiment them. The fabricated four DAUs have all the hinges aligned to a straight line, and differ in the first step ideal gain(4×10, 6×10, 8×10, 10×10). We measure the input and the output displacements to get the real amplifying gain. The resonant frequencies of these DAUs are also measured. The experimental results are compared with those of the theoretical formula and with those of the numerical analyses.

## 1. 서론

미소한 변위를 얻기 위한 구동기구로 고체 변위소자가 개발되었다. 고체 변위소자란 어떠한 외부의 요인에 의해 고체로 된 소자가 탄성 변형을 하여 그 출력으로 변위를 발생시키는 소자이다. 이러한 변형을 일으키는 외부 요인으로는 열, 자계, 전계 등을 들 수 있다[1,2]. 열적 변형을 이용한 소자로는 바이메탈(bi-metal)과 형상기억합금소자(Shape Memory Alloy)등이 있고, 자계에 의해 구동되는 소자로는 자계소자(magnetostrictive actuator)가, 전계에 의해 구동되는 소자로는 전계소자(electrostrictive actuator; 이하 압전소자라고 부르기로 함)가 있다.

시판되고 있는 압전소자의 경우 100V 인가 전압에 대한 출력 변위는 약 5-20 $\mu$ m 인데, 이로부터 1mm 정도의 변위를 얻고자 한다면 약 100배 이상의 변위확대가 필요하다.

여기서는 변위 확대방식으로 flexure hinge를 이용한 변위 확대방식을 채택하여 이 확대방식으로 변위를 확대하는 기구에 대한 기초실험을 행한다. Flexure hinge를 이용한 변위 확대방식은 지렛대의 원리를 이용하여 변위를 확대하는 것으로 구조가 간단하고 확대손실이 적은 장점이 있다.

이론적인 수식과 수치해석(ADINA, ABAQUS)을 사용하여 일체형 flexure hinge 변위 확대기구에 대해 기초적인 검토를 행한 결과 우리는 (1) 변위 확대기구의 재료는 탄성체로 간주하여야 하며, (2) 최종단의 실 확대율은 겹보기 확대율과 같고, 따라서 (3) 2단 확대기구의 경우 1단의 실 확대율을 높이는 것이 중요하고, (4) 모든 hinge는 일렬로 정렬되어야 변위 확대에 효율적이며, (5) 1단 또는 2단 확대가 적당하다는 것을 알았다[3]. 이러한 사실을 토대로 변위 확대에 가장 적당하다고 생각되는 모든 hinge가 일렬로 정렬된 2단 변위 확대기구를 SUS304(stainless steel)로 제작하여 실험하였으며, 그 결과를 이론적 수식 및 수치해석에서 얻어진 결과와 비교하였다.

## 2. 변위 확대기구에 대한 실험

SUS304(stainless steel)로 모든 hinge가 일렬로 정렬되어 있으며, 2단의 배율은 10으로 모두 같고 1단의 배율이 각각 4, 6, 8, 10으로 다른 4개의 2단 확대기구를 제작, 실험하였다. 실험한 변위 확대기구의 구조는 그림 1에 나타낸것과 같으며 그 구체적인 크기는 표 1에 정리된 바와 같다(두께는 2 mm, hinge의 깎아낸 받침은 1mm 로 모두 동일하다).

실험은 100V 인가시 압전소자에서 발생된 변위(입력변위)와 확대기구의 2단 끝의 변위(출력변위)를 측정하여 출력변위를 입력변위로 나누어 실 확대율을 구하였다. 또, 4개의 확대기구의 공진주파수 역시 실험으로 측정

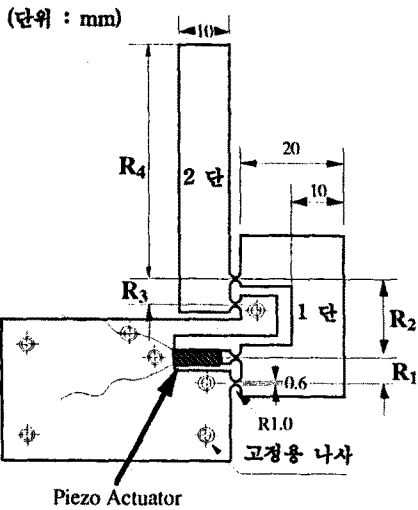


그림 1 2단 변위 확대기구(4x10)

표 1 실험에 사용된 변위 확대기구의 크기

	R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)	R <sub>4</sub> (mm)
4 × 10	5	15	5	45
6 × 10	5	25	5	45
8 × 10	5	35	5	45
10 × 10	5	45	5	45

하였다. 그 결과를 표 2에 정리하였으며, 이론적 수식 및 수치해석의 결과와 비교하여 그림 2에 나타내었다. 그림 2를 보면 수치해석과 실험의 실확대율이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 반면 이론적 수식에 의한 확대율은 기구의 크기가 커질수록 실험이나 수치해석의 결과로부터 멀어지고 있는데, 이것은 변위 확대기구의 재료를 강제로 가정하고 구한 결과이기 때문이다. 표 2에 나타난 결과를 보면, 8x10 기구가 가장 큰 실 확대율을 갖고 있으나 출력변위의 측면에서 보면 6x10 기구가 가장 큰 출력변위를 갖음을 알 수 있다. 이것은 비록 확대 효율은 8x10 기구가 가장 좋지만 입력변위가 6x10 기구보다 작기 때문에 이러한 입력변위의 감소에 대해서는 다음절에서 논의하기로 한다.

표 2 실험으로 측정된 2단 확대기구의 입력 및 출력 변위와 확대율, 공진 주파수

	4x10	6x10	8x10	10x10
입력변위 (μm)	4.9	5	4.4	4.5
출력변위 (μm)	149	190	165	141
실 확대율	30.6	38	38.9	31.3
공진 주파수(Hz)	240	230	220	210

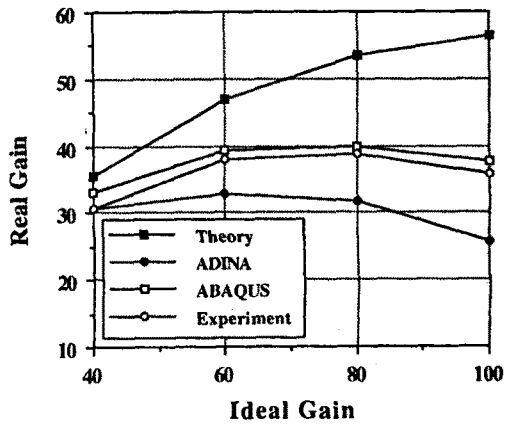


그림 2 이론적 수식, 수치해석 및 실험의 실 확대율

### 3. 논의

실험으로 부터 우리는 1단의 걸보기 확대율이 커질수록 입력변위가 감소함을 알았다. 여기서는 이러한 입력변위의 감소에 대해 논의한다.

Flexure hinge의 이론식에 따르면 변위 확대기구의 입력변위는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다[3].

$$(\text{입력 힘}) = (\text{크기에 관계되는 상수}) \times (\text{확대율}) \times (\text{입력변위})$$

4개의 변위확대기구에 대해 이 입력된 힘과 입력변위의 관계(부하곡선; loadline)를 그림 3에 나타내었다. (그림 3)에는 100V 인가시 2x3x9mm<sup>3</sup> 압전소자의 발생되는 힘과 발생되는 변위의 관계(소자의 특성곡선; characteristics line of the piezo actuator)가 함께 나타나 있다.

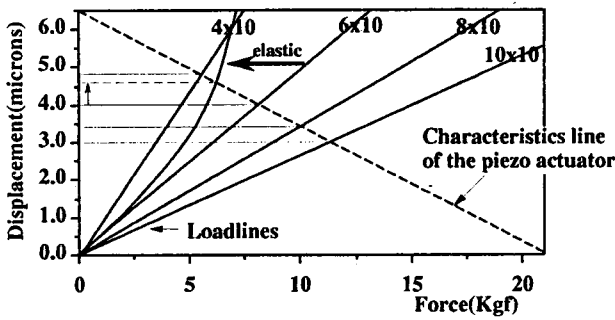


그림 3 압전소자의 특성곡선과  
변위 확대기구의 부하곡선

각 확대기구의 작용점은 이제 이 그림에서 부하곡선과 소자의 특성곡선이 만나는 점으로 결정됨을 알 수 있다. 그림으로부터 결정된 입력변위를 보면 4x10 기구의 경우는 4.8 $\mu$ m, 6x10 기구의 경우는 4 $\mu$ m, 8x10 기구의 경우는 3.4 $\mu$ m, 10x10 기구의 경우는 3 $\mu$ m 으로 기구의 크기가 커질수록 줄어들음을 알 수 있다. 즉 1단의 걸보기 확대율이 커질 수록 입력측에서 본 등가부하가 증가하여 입력변위의 감소가 발생하는 것이다. 따라서 우리가 변위 확대기구로부터 큰 출력변위를 얻고자 할 때는 확대기구의 실 확대율뿐만 아니라 압전소자로부터의 입력변위도 함께 고려해야함을 알 수 있다. 여기서 한가지 더 고려할 사항은 실험으로부터 측정된 입력변위는 그림 3에서 얻어진 입력변위보다는 기구의 크기 증가에 따른 감소가 덜하다는 것이다. 이것은 이론적 수식에서는 기구의 재료를 강체로 가정했기 때문으로 기구의 재료를 탄성체로 생각한다면, 기구의 부하곡선이 그림 3과 같이 직선이 되지 않고 곡선이 될것이기 때문이다. 이러한 곡선형태의 부하곡선을 그림 3의 6x10 기구에 대해 점선으로 나타내었다.

실험한 4개 확대기구의 출력변위를 그림 4에 나타내었다. 수치해석의 출력변위는 실험에서 측정된 입력변위를 사용하여 다시 수치해석을 하여 구하였다.

이와같이 하여 우리는 변위 확대기구를 사용하여 변위를 확대하고자 할때에는 확대기구의 실 확대율뿐만 아니라 압전소자로 입력되는 변위도 함께 고려해야 한다는 것을 알았다. 이 두가지를 모두 고려할때 6x10 기구가 큰 출력변위를 얻는데 가장 효과적이라는 것을 알 수 있다.

실험에서 우리는 압전소자를 확대기구에 에폭시(epoxy)를 사용하여 부착하였다. 이 에폭시도 압전소자로부터 발생하는 힘에 의해 탄성변형을 하여 입력변위에 손실을 초래할 것이다[4]. 또한 압전소자에 예압을 가하면

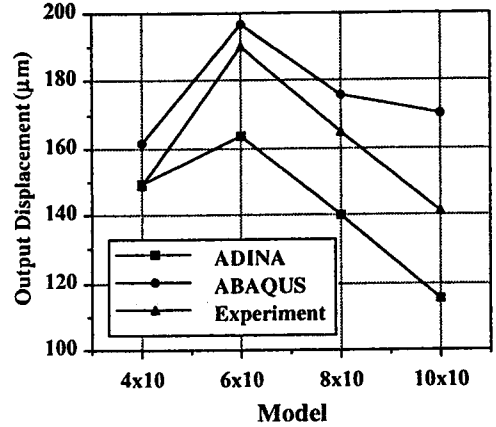


그림 4 수치해석 및 실험의 출력변위

그 특성이 향상되는 것으로 알려져있다. 따라서 이후의 실험에서는 이러한 사실을 고려하여야 할 것이다. 또한 압전소자의 히스테리시스(hysteresis)를 보상하는 제어방법에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

#### 4. 결론

압전소자로 구동되는 변위 확대기구에 대한 기초 실험을 행하였다. 실험의 결과를 이론적 수식이나 수치해석의 결과들과 비교하였다. 그 결과 그림 2에서 볼 수 있듯이 확대기구를 강체로 본 이론식의 결과는 실험결과와 다소 차이를 보이지만 수치해석이 실험결과와 비슷하였다. 출력변위의 측면에서 보아도 그림 4에서 볼 수 있듯이 수치해석이 실험의 출력변위를 잘 예측하고 있다는 것을 알 수 있었다. 수치해석과 실험의 결과로 변위 확대기구를 사용하여 큰 출력변위를 얻기 위해서는 기구의 실 확대율과 압전소자로부터의 입력변위를 모두 고려하여 확대기구를 설계해야 한다는 결론을 얻었다.

#### 참고문헌

- [1] Tim Stevens, "Structures get smart", *Materials Engineering*, Vol.108, pp.26-28, (1991)
- [2] M.Parameswaran, Lj.Ristic, K.Chau, A.M. Robinson and W.Allegreto, "CMOS electrothermal microactuators", *Proc. IEEE. Micro Electro Mechanical Systems*, pp.128-131, (1990)
- [3] 신중우, 김용권, "압전소자로 구동되는 변위 확대기구에 대한 기초검토", *대한전기학회 추계학술대회 논문집*, pp.136-138, 1992.
- [4] Shuo Hung Chang, Han Chung Wang, K.F. Etzold and Vijay D.Khanna, "Finite element analysis of a piezoelectrically actuated slider for magnetic recording", *IEEE, Transactions on magnetics*, Vol.27, No.1, pp.698-704, (1991)