

## 적층 벤더형 압전 액추에이터 마이크로 밸브

윤소남\*(한국기계연구원), 이경우(경원웨어라이트공업), 윤석진(한국과학기술연구원),  
박종호(한국기계연구원)

### Microvalve with multilayer Bender Type PZT Actuator

S. Yun(KIMM), K. W. Lee(Kyungwon Ferrite Ind. Co.), S. J. Yoon(KIST), J. H. Park(KIMM)

#### ABSTRACT

This study deals with the microvalve, which is composed of the multilayer bender type PZT actuator, actuator controller and microvalve body. The object of this study is to develop the microvalve with multilayer bender type PZT actuator. In order to achieve this object, prototype PZT actuator and microvalve were suggested and manufactured. Also, the performance of this model was evaluated through the experiments.

**Key Words** : Multilayer bender type (적층 벤더형), PZT bimorph (압전 바이모프), PZT actuator (압전 액추에이터), Microvalve (마이크로 밸브), Effective area (유효 단면적)

#### 1. 서론

MEMS 및 Nano기술, 프린팅 기술에까지 폭넓게 응용되고 있는 압전소자의 역압전 효과는 유체제어를 하기 위한 구동기로서도 그 역할이 매우 중요하다. 특히, 압전 액추에이터가 가지는 폭발 위험성이 없고, 응답이 빠르고, 고온에서도 사용이 가능하며, 저소비전력인 특성은 기존의 유체 제어 분야에 사용되고 있는 솔레노이드를 대체하는 기술로서도 가치가 충분하고, 최근에는 PWM 제어방식 혹은 압전소자 자체의 히스테리시스 성능향상 연구를 통하여 비례 및 서보 마이크로 밸브를 개발하려는 연구들이 이루어지고 있다. 본 연구에서 제작된 적층 벤더형 압전 액추에이터와 액추에이터 제어기, 마이크로 밸브 몸체로 이루어져 있으며, 밸브 몸체 내부에는 유체 누설 방지를 위한 고무셀 및 응답성 향상을 위해 탄성특성을 이용하는 구조를 갖추고 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 마이크로밸브는  $27L \times 9.0W \times 0.8H$  의 크기와 압전상수( $d_{31}$ )가  $220 \times 10^{-12} [m/V]$  인 적층 벤더형 압전 액추에이터의 정상상태 특성은 DC 24V 입력일때 최대변위 80 $\mu m$ , 최대 유지력이 30gf가 얻어짐이 확인되었다. 마이크로 밸브 실험결과 유효단면적이 0.16mm<sup>2</sup>의 특성을 내는 밸브임이 확

인되었으며, 이 실험 결과로부터 1단으로 사용되는 마이크로 밸브의 유용성이 확인되었다.

#### 2. 이론해석

Fig. 1에 본 연구에서 대상으로 하는 압전 액추에이터의 외관을 보인다. 본 연구에서는 제작된 압전 액추에이터의 역압전 효과를 이용하여 최종적으로 공기압의 방향을 제어하는 마이크로 밸브의 개발을 목적으로 하고 있다.

##### 2.1 압전 액추에이터 제작

Fig. 1의 액추에이터는 금속 탄성판을 중심전극으로 2장의 압전 세라믹스의 얇은 판을 접착제로 접합시킨 구조로, 이 2장의 압전 세라믹스에 한면은 늘어나는 쪽으로, 다른 한면은 수축하는 쪽으로 전압을 인가하게 되면 인가전압에 비례하는 굴곡변위  $f$  를 일으키게 된다. Wang(1999)등의 연구결과로부터 압전 액추에이터의 변위, 힘, 공진주파수 관계식은 다음과 같다.

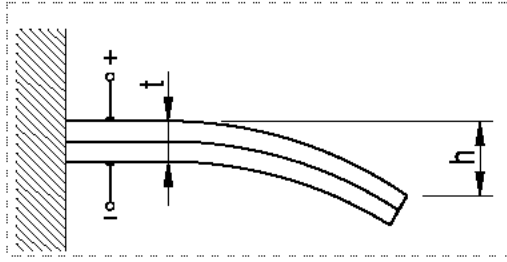


Fig. 1 Structure of PZT bimorph actuator

$$l_b = \frac{3L^2}{2t} \cdot \frac{(1+B)(2B+1)}{AB^3+3B^2+3B+1} \cdot d_{31}E_3 \quad (1)$$

$$F_b = \frac{3wt^2E_3}{8L} \cdot \frac{2B+1}{(B+1)^2} \cdot d_{31}E_3 \quad (2)$$

$$f_v = \frac{(A)t}{4\pi L^2} \sqrt{\frac{E_3}{3\rho_p}} \cdot \left[ \frac{1+3(1+2B)^2+4AB^3}{4(1+B)^2(BC+1)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

여기에서,

$l_b$  : no load maximum deflection for input V[m]

$F_b$  : maximum force [N]

$f_v$  : resonance frequency of cantilever [Hz]

$L$  : length of cantilever [m]

$A$  :  $E_m / E_p = S_{11}^E / S_{11}^m$ , young's modulus ratio of elastic metal layer and ceramic layer

$B$  :  $t_m/2t_p$ , thickness ratio

$d_{31}$  : piezoelectric constant [m/V or C/N]

$C$  :  $\rho_m/\rho_p$ , density ratio

$t$  : thickness of cantilever [m]

$V$  : input supply voltage [V]

$w$  : width of cantilever [m]

$S_{11}$  : elastic constant of piezo material [m<sup>3</sup>/N]

$\rho$  : Density of Piezo [kg/m<sup>3</sup>]

$E_3$  :  $V/t$  를 의미한다.

식(1), (2), (3)에서 에폭시 접합층의 두께는 5 ~ 15 $\mu$ m 정도로 아주 얇기 때문에 접합층이 액추에이터의 성능에 미치는 영향은 무시할 수 있으므로,  $t_m+2t_p-t$  와 같이 쓸 수 있다.

또한, 탄성층을 사용하지 않았을 경우  $t_m=0$ ,  $B=0$  이고,  $t-2t_p$ 이므로 식(1) ~ 식(3)은 다음과 같이 단순화 시킬 수 있다.

$$l_b = \frac{3L^2}{2t^2} \cdot d_{31}V \quad (4)$$

$$F_b = \frac{2 \cdot w \cdot t \cdot d_{31}}{L \cdot S_{11}} V \quad (5)$$

$$f_v = 0.158 \frac{t}{L^2} \sqrt{\frac{1}{\rho S_{11}}} \quad (6)$$

Fig. 2에 제작된 적층벤더형 압전 액추에이터를 보인다. 제작된 액추에이터는 압전상수( $d_{31}$ )가  $220 \times 10^{-12}$  [m/V]이고,  $27L \times 9.0W \times 0.8H$ 의 크기를 가지며, 식(1), (2), (3)을 근거로 제작되었다. 특히 고압력의 공기압에서 사용이 가능하도록 12층으로 적층하였다.

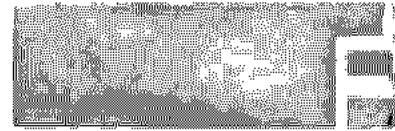


Fig. 2 Manufactured multilayer type PZT actuator

## 2.2 마이크로 밸브 제작

Fig. 3 및 Fig. 4에 본 연구에서 개발하려는 3/2 방식 마이크로 밸브의 회로도 및 3차원 설계도면을 보인다. 마이크로 밸브에 있어서 압전 액추에이터의 힘은 공기압이 작동하는 오리피스부의 힘보다 커야 공기압의 방향을 안정하게 제어할 수 있기 때문에 다음 식으로부터 오리피스의 단면적을 구할 수 있다.

$$F_{air} = P \cdot A_e < F_{act} \quad (7)$$

$$D_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{act}}{\pi \cdot P}} \quad (8)$$

여기에서,

$F_{air}$  : Orifice force by input pressure [N]

$F_{act}$  : PZT actuator force [N]

$P$  : Input pressure [Pa]

$A_e$  : Cross sectional area of inlet orifice [m<sup>2</sup>]

$D_{max}$  : Maximum diameter of inlet orifice

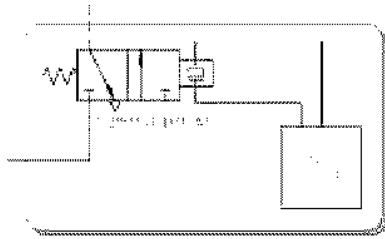


Fig. 3 Pneumatic circuit of 3/2 type microvalve

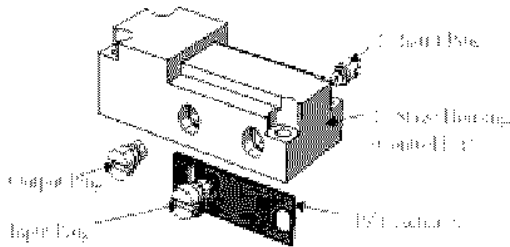
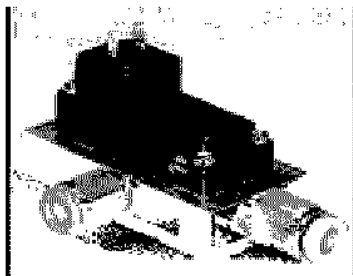
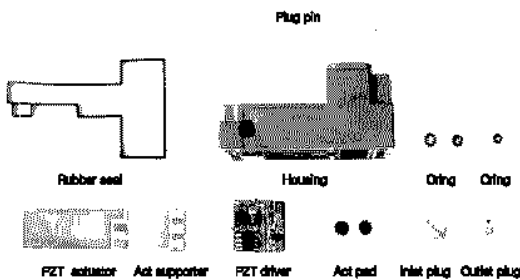


Fig. 4 3D model of 3/2 type microvalve

Fig. 5에 본 연구에서 제작된 적층 벤더형 3/2방식 마이크로 밸브를 보인다. 본 연구에서는 0.5[MPa]에서도 원활히 동작할 수 있도록 입구측 오리피스스의 직경을 설정하였다.



a) Assembled microvalve



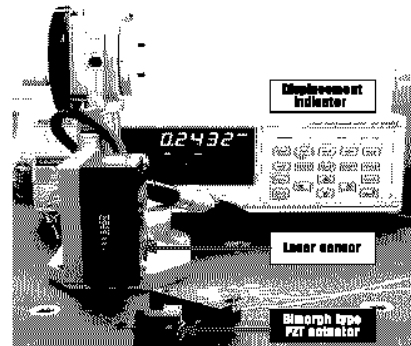
b) Components of manufactured microvalve

Fig. 5 Manufactured microvalve

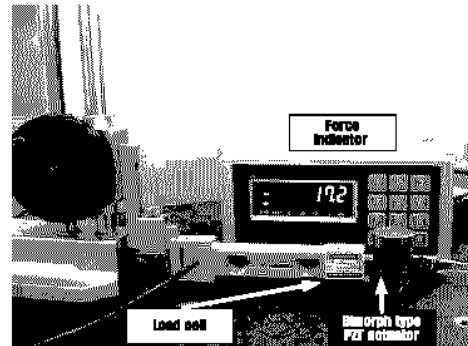
### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 PZT 액추에이터 실험 결과

Fig. 6에 PZT 액추에이터 실험장치를 보인다. 제작된 벤더형 압전 액추에이터의 변위와 힘을 측정할 수 있도록 로드셀 및 변위센서를 장착하였다. Fig. 7은 PZT 액추에이터의 정적상태에서의 실험 결과를 보이는 것으로 24V 입력시에 변위 80[ $\mu$ m], 힘 30[ $gf$ ]가 출력됨을 확인할 수 있었다. 이 결과는 0.5[MPa]의 압력에서도 충분히 동작시킬 수 있다는 것을 예측할 수 있다.



a) Experimental equipment for displacement



b) Experimental equipment for force

Fig. 6 Experimental equipment of PZT actuator

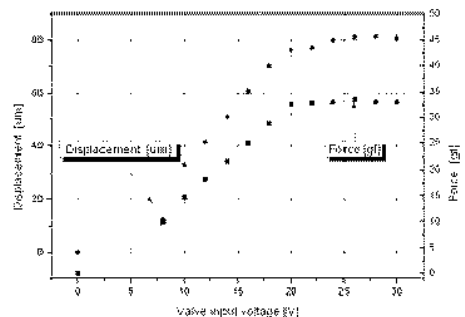


Fig. 7 Steady state characteristics of PZT actuator

