

압전소자 밸브 특성에 관한 실험적 연구

윤소남*, 함영복, 조정대, 유찬수(한국기계연구원 첨단산업기술연구부)

Experimental Study on the Characteristics of Pneumatic Valve with Piezoelectric Element

Sonam Yun, Youngbog Ham, Jeongdae Jo, Chansoo Ryu(Dept. of Advanced Industrial Technology, KIMM)

ABSTRACT

The benefits of the pneumatic valve with piezoelectric element are faster response times, low energy consumption, and the ability to be used in hazardous environments and field bus systems. In this paper, PZT actuator, 2 and 3 stages pneumatic valve were designed and manufactured. Also, characteristics of the pneumatic valve with piezoelectric element were tested with a testing system. It is confirmed that the PZT actuator is useful one for controlling the direction of pilot valve.

Key Words : Piezoelectric element (압전소자), Piezo ceramics(압전 세라믹스), Bimorph(바이모프), Pneumatic valve(공기압 밸브), PZT driving circuit(압전 구동 회로)

1. 서론

역압전효과를 이용하는 압전소자 응용기술은 나노기술 분야에 있어서 나노가공 및 나노위치제어에 매우 중요한 역할을 하는 것으로, 최근에는 정보저장기술, 나노인쇄기술 및 잉크젯 프린팅기술과 관련하여 많은 연구들이 수행되고 있다¹⁾²⁾. 또한, 압전 액츄에이터가 가지는 폭발 위험성이 없고, 응답이 빠르고, 고온에서도 사용이 가능하며, 저소비전력인 특성은 기존의 유체제어 분야에 사용되고 있는 솔레노이드를 대체하는 기술로서도 가치가 충분하다고 할 수 있다³⁾⁴⁾.

이러한 이유로 인하여, 압전 액츄에이터를 단순 온오프 노즐 플래퍼방식으로 밸브에 적용하는 연구⁵⁾ 및 비례밸브에 적용하기 위한 연구⁶⁾들이 이루어지고 있으며, 최근에는 초고속 서보밸브에 대한 연구⁷⁾도 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 압전 액츄에이터를 유체제어밸브에 적용하기 위한 기초 연구로서 압전 액츄에이터 및 2단, 3단 공압제어 밸브를 설계, 제작하였고, 실험장치를 통하여 압전소자 밸브 특성이 실험적으로 조사하였으며, 에너지 절약 및 속응성 향상을 꾀할 수 있는 피로트용으로 적용이 가능함을 확인하였다.

2. 압전소자밸브 설계

2.1 압전액츄에이터 설계

일반적으로 압전 액츄에이터는 금속 탄성판을 중심 전극으로 2 장의 압전 세라믹스의 얇은 판을 접착제로 접합시킨 구조로, 이 2 장의 압전 세라믹스에 한면은 늘어나는 쪽으로, 다른 한면은 수축하는 쪽으로 전압을 인가하게 되면 전압에 따라 굴곡 변위가 일어나며, 이 때의 특성은 다음과 같은 다음과 같은 수식에 의하여 예측 가능하다.

$$h = \frac{3}{2} d_{31} \times \frac{l^2}{l^2} V \dots\dots\dots(1)$$

$$F_b = \frac{2 \cdot w \cdot t \cdot d_{31}}{l \cdot S_{11}} V \dots\dots\dots(2)$$

$$f_r = 0.158 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{1}{\rho S_{11}}} \dots\dots\dots(3)$$

여기에서, h : No load maximum deflection for input voltage[m], d_{31} : Piezoelectric constant[m/V], l : Cantilever length[m], t : Cantilever thickness[m], V : Input voltage[V], F_b : Maximum force[N], w : Cantilever width[m], S_{11} : Elastic constant of piezo material[m²/N], f_r : Resonance frequency of cantilever[Hz] 이다.

Fig. 1 은 본 연구에서 설계·제작된 바이모프 형 압전액츄에이터의 부품들을 보이는 것으로 카본 심의 길이는 25.2mm, 폭은 7.2mm, 두께가 0.2mm 이며, 이 카본 심에 0.1mm 의 압전 세라믹층이 있는 구조이다.

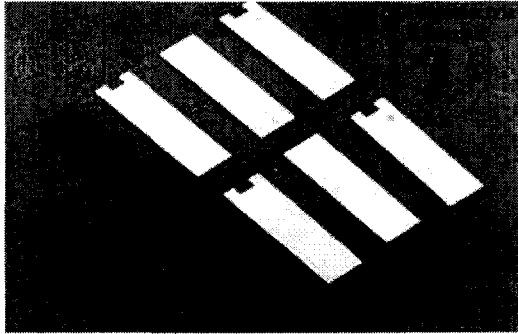


Fig. 1 Prototype piezo actuator

2.2 압전소자밸브 설계

Fig. 2 및 Fig.3 은 본 연구에서 설계·제작된 2 단 및 3 단 밸브의 내부 구조도 및 외관을 보이는 것으로, 최대 사용압력이 10 bar 가 되도록 압전 액츄에이터부 오리피스를 설계하였으며, 동적인 특성을 15Hz 까지 얻을 수 있도록 최대변위를 25 μ m 이내로 제한하였다. Fig. 2 에서는 압전 액츄에이터부에 안정된 압력을 공급하기 위하여 큐션기구를 설치하였으며, Fig. 3 에서는 5 개의 포트를 가지면서 양방향 동작이 가능하고, 유량이 500lpm, 유효단면적이 7 mm² 이 되도록 밸브를 설계·제작하였다.

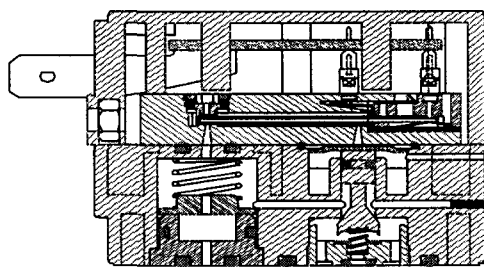


Fig. 2 Two-stage pneumatic valve assembly

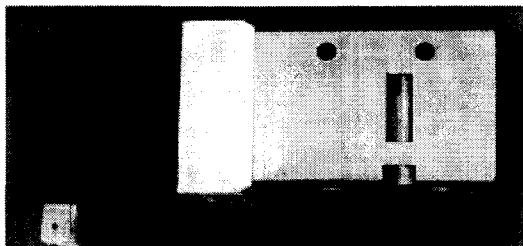


Fig. 3 Three-stage pneumatic valve assembly

2.3 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 설계·제작된 압전 액츄에이터 및 압전소자 밸브는 Fig. 4 및 Fig. 5 에 보이는 실험장치를 통하여 특성이 조사되었다. Fig. 4 에 보이는 압전 액츄에이터 특성 실험장치는 변위 및 힘 측정이 가능하며, 함수발생기와 컴퓨터 인터페이스를 통하여 액츄에이터의 계단응답 및 구형파 주파수 응답 측정이 가능한 장치이다. 또한, Fig. 5 에 보이는 공기압밸브 특성실험장치는 규격을 기준으로 제작되었으며, 밸브의 정적인 특성뿐만 아니라 동적인 특성도 모두 측정이 가능하도록 구성하였다.

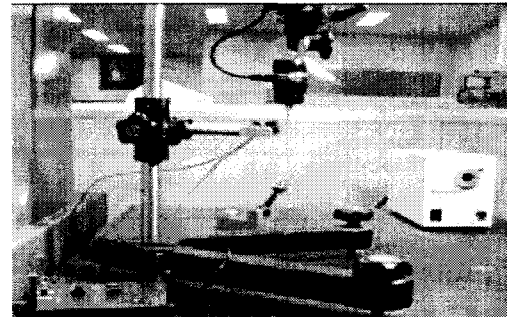


Fig. 4 Test equipment for piezoelectric actuator

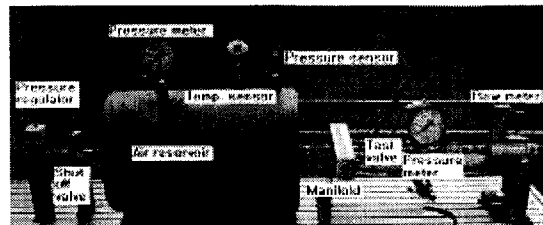


Fig. 5 Test equipment for pneumatic valve with piezoelectric element

3. 결과 및 고찰

3.1 압전액츄에이터 실험결과

Fig. 6 은 본 연구에서 설계·제작된 압전 액츄에이터의 변위특성을 보이는 것으로, 최대변위가 63 μ m 임이 확인되었으며, 변위의 최종점에서 약간의 채터링 현상이 발생하고 있음을 알 수 있다. 액츄에이터가 밸브로 사용되기 위해서는 댐핑 및 셸링 효과가 있는 고무의 사용이 불가피하다는 것을 예측할 수 있다.

Fig. 7 은 압전 액츄에이터의 힘 특성을 보이는 것으로, 환산한 결과 약 5.25gf 이 얻어짐이 확인되었으며, 이것은 10bar 의 공기압을 이기기 위해서는 0.2mm 의 정도의 오리피스가 필요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8 은 압전 액츄에이터의 구형파 주파수 특성을 보이는 것으로 -9dB 에서 15Hz 의 특성을 보이고 있음이 확인되었다. 이 결과는 기존의 솔레노이드 밸브에 비해 동등 이상의 특성을 보이는 것으로, 에너지절약 효과 등을 고려한다면, 기존의 액츄에이터를 대신할 수 있는 액츄에이터 임을 확인할 수 있다.

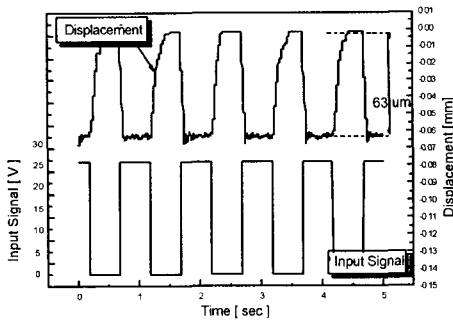


Fig. 6 Displacement characteristics of PZT actuator

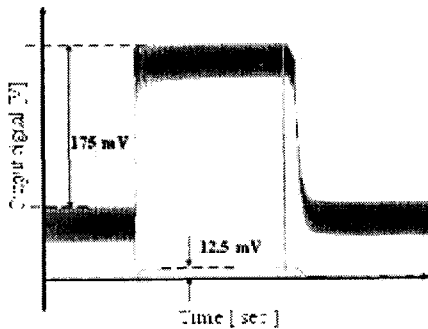


Fig. 7 Force characteristics of PZT actuator

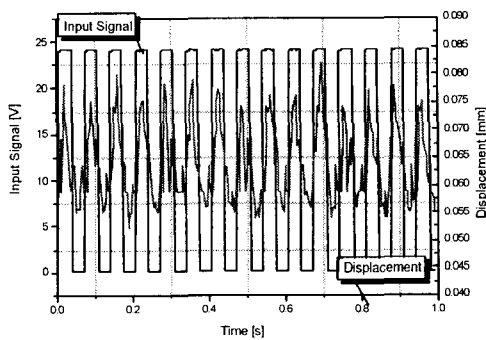


Fig. 8 Frequency characteristics of PZT actuator

3.2 압전소자밸브 실험결과

이 절에서는 압전액츄에이터를 내장한 공압식 2 단 밸브 및 3 단 밸브의 실험적 특성에 대해서 고찰 하기로 한다.

3.2.1.2 단 밸브 실험결과

2 단 밸브의 유량특성 실험결과, 밸브의 유효단면적은 2.0 mm²임이 확인되었다. 이 결과는 Fig. 5 의 장치로부터 얻어진 압력을 이용하여 다음의 식(4)로부터 얻어진 것으로, 규격⁸⁾에서 요구하는 유효단면적의 범위인 1.5 보다 크다는 것을 알 수 있다.

$$S = \left(12.9V \frac{1}{t} \log_{10} \frac{P_o + 1.03}{P + 1.03} \right) \sqrt{\frac{273}{T}} \dots\dots\dots(4)$$

Fig. 9 는 입구압력을 5bar 로 하고, 밸브 출구에 압력검출 장치를 부착한 상태에서 여자회로에 정격전압을 가하여 압력검출장치로 압력이 검출될때까지의 시간을 측정한 것으로, 압력 계단응답 시정수가 74ms 임이 확인되었다.

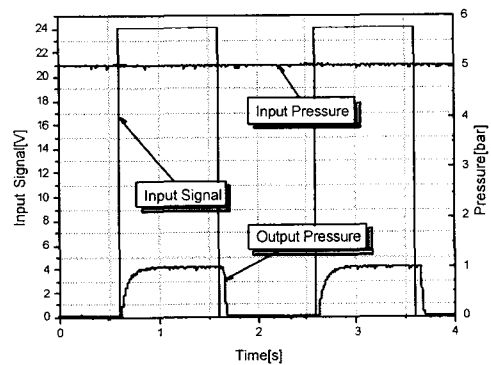


Fig. 9 Step response characteristics of two-stage valve

2 단 밸브의 주파수 특성 실험은 구형파를 입력하면서 출구측 압력을 계측하는 방식으로 측정하였으며, 측정결과 10Hz 에서도 충분히 동작하고 있음이 확인되었다.

3.2.2.3 단 밸브 실험결과

3 단 밸브의 유량특성 실험결과, 유효단면적은 6.89 mm²임이 확인되었다. 이 결과는 측정 오차 및 실험시의 온도 변화 등에 기인하는 것으로 예측되며, 쉽게 초기 설계시에 목표로 하는 유효단면적 7 mm²에 증가하는 결과를 얻을 수 있음이 확인되었다.

Fig.10 은 3.2.1 에서의 스텝응답실험과 동일한 방법으로 수행하여 얻어진 결과로서, 압력 계단응답 시정수가 85ms 임이 확인되었다.

3 단 밸브의 주파수 특성 실험 역시 2 단 밸브 실험과 동일한 방법으로 구형파를 입력하면서 출구측 압력을 계측하는 방식으로 측정하였으며, 측정결과 7Hz 에서도 충분히 동작하고 있음이 확인되었다.

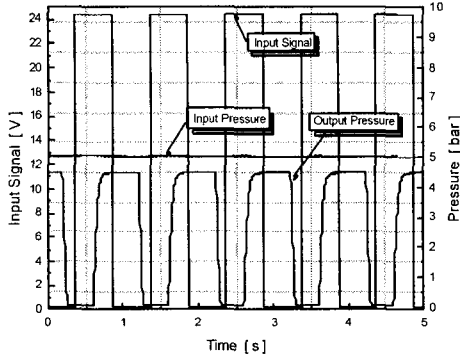


Fig. 10 Step response characteristics of two-stage valve

4. 결론

본 연구에서는 압전 액츄에이터를 유체제어 밸브에 제공하기 위한 기초연구로서 압전 액츄에이터를 제작하여 특성실험을 수행하였으며, 제작된 압전 액츄에이터는 3/2 방식 공압제어 밸브에 적용하여 실험적으로 특성이 조사되었다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 길이 25.2mm, 폭 7.2mm, 두께 0.2mm 인 카본 심에 두께 0.1mm 인 압전 세라믹으로 구성된 압전 액츄에이터는 변위가 63 μm , 힘이 5.25gf 가 얻어졌으며, 공기압 피로트용으로 사용될 수 있음이 확인되었다.
- 2) 주파수 실험결과, 본 연구에서 제작된 압전 액츄에이터는 -9dB 에서 15Hz 의 특성이 있음이 확인되었다.
- 3) 본 연구에서 실험된 압전 액츄에이터가 내장된 3/2 방식 공압제어밸브는 시정수가 85ms 이하임이 확인되었으며, 초기 조립조건이 밸브 성능에 민감하게 영향을 미치고 있음이 확인되었다.
- 4) 최근에는 출력밀도를 향상시키기 위하여 공기 사용압력을 높이고 있는데, 이와 대응하여 변위 및 힘 향상을 위한 압전재료 조성연구가 필요하며, 초기 압전소자 접속기술이 밸브의 성능향상을 위하여 매우 중요한 인자임이 실험을 통하여 확인되었다.

참고문헌

1. K. Yamaguchi, K. Sakai, T. Hirayama, T. Yamanaka, "Generation of three-dimensional structure using metal jet", JSPE, Vol. 64, No. 10, pp. 1497 - 1501, 1998.
2. K. Yamaguchi, K. Sakai, M. Yamasaki, "Generation of

three-dimensional micro-structures using metal jet - bonding strength metal drops-", JSPE, Vol. 65, No. 11, pp. 1639 - 1644, 1999.

3. Lou Nohos, "Piezo electronics and their use in pneumatic valves", Proceedings of the 49th national conference on fluid power, pp.179 - 181, 2002.
4. Hubertus Murrenhoff, "Innovative designs and control circuits for proportional valves", Proceeding of the 49th national conference on fluid power, pp.691-701, 2002.
5. H. Yamada, S. Tsuchiya, T. Muto, Y. Suematsu, "Development of a low cost high-speed on/off digital valve using a bimorph PZT actuator", Proceeding of the fourth JHPS international symposium on fluid power, pp.591-596, 1999.
6. C. K. Taft, B. M. Herrick, "A Proportional piezoelectric electro-fluidic pneumatic valve design", Transactions of ASME, Vol. 103, pp. 361-365, 1981.
7. S. Yokota, K. Hiramoto, "An ultra high-speed electrohydraulic servo valve by making use of a multilayered piezoelectric device(PZT)", JSME(B), Vol.57, No.533, pp.182~187, 1991.
8. JIS B 8373, 1993.