

## 벤더형 고응답 압전밸브의 주파수 특성에 관한 연구

### A Study on Frequency Characteristics of a Bender Type High-Speed Piezoelectric Pneumatic Valve

윤소남<sup>1\*</sup> · 함영복<sup>1</sup> · 박중호<sup>1</sup> · 이성수<sup>2</sup>

S. N. Yun, Y. B. Ham, J. H. Park and S. S. Lee

Received: 20 Aug. 2012, Revised: 07 Sep. 2012, Accepted: 10 Sep. 2012

**Key Words** : Piezoelectric Valve(압전 밸브), Pneumatic Valve(공기압 밸브), Solenoid Valve(솔레노이드 밸브), Grain Sorter(곡물 선별기), Color Sorter(색채 선별기)

**Abstract**: Two kinds of piezoelectric actuator are applied to the valve for controlling the direction, the flow and the pressure of the fluid. One is a stack type piezoelectric actuator which has very fast response characteristics but very tiny displacement. The other is a bender type piezoelectric actuator which has also fast response characteristics but lower than the stack type one, and has longer displacement than the stack type one. So, the bender type piezoelectric actuator has advantage to apply to the valve for controlling a large amount of flow and fast on-off operating.

In this study, the bender type piezoelectric pneumatic valve for color sorter is designed and fabricated. The new type high speed piezo valve with the both side supporting mechanism for high operating frequency and high reliability is discussed for separating the foreign body from the grains. Finally, the performance characteristics of a fabricated valve are analyzed and the frequency characteristics are also discussed for substituting the conventional type solenoid actuator.

## 1. 서 론

일반적으로 압전소자는 지능형 소자의 한 종류로 소자에 외력을 가하면 전기를 발생시키고, 소자에 전력을 공급하면 변위를 발생시키는 특성을 가진다. 따라서, 산업계에서는 전자의 특성을 이용하여 센서, 후자의 특성을 활용하여 액추에이터로 사용하고 있다. 압전 액추에이터는 일반 솔레노이드 액추에이터와 비교하여, 응답성, 저전력 구동, 온도 의존성에 비교적 우수한 특성을 가지고 있기 때문에 최근 여러

분야에서 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 유공압분야에서는 밸브 분야에 응용하려는 연구가 대분분이며, 가스 및 반도체 분야에 소형밸브로 적용이 이루어지고 있다. 압전소자의 단점인 히스테리시스 성능이 향상되면, 비례 및 서보밸브 분야에 지대한 공헌이 예상될 것으로 사료된다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 압전식 공압밸브가 곡물선별기용으로 사용이 가능한지를 예측하기 위한 고찰이 이루어졌다. 본 연구에서 제작된 벤더형 압전밸브에 대해서 압력 및 유량특성을 확인하였으며, 기존 방식 솔레노이드 액추에이터를 대신하여 산업화가 가능한지를 확인하기 위하여 주파수 응답 특성을 실험을 통하여 예측하였다. 실험을 통하여, 제작된 밸브는 일반적으로 사용되는 곡물선별기의 사용압력과 동일한 0.4MPa에서 충분히 사용할 수 있음이 확인되었다. 또한, 200[Hz] 이상으로 매우 고속 작동이 가능한 밸브임을 실험을 통하여 증명하였으며, 이 결과로 기존 방식 솔레노이드 액추에이터를 대체할 수 있는 밸브임을 확인하였다.

\* Corresponding author: ysn688@kimm.re.kr

1 Extreme Mechanical Engineering Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon 305-343, Korea

2 Energy Mechanical Engineering Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon 305-343, Korea

Copyright © 2012, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 2. 압전밸브 설계 및 제작

Fig. 1은 본 연구의 대상 밸브가 사용되어지는 색채선별기의 작동도를 보이는 것으로, 공기 이젝터에는 현재 고속 온-오프 솔레노이드 밸브가 장착되어 있다. 일반적으로 고속 온-오프솔레노이드 밸브라 할지라도 Fig. 2와 같이 입력전압에 따라서 출력되는 압력에 지연이 발생하기 때문에 이에 대한 대책들이 연구되어지고 있고<sup>3)</sup>, Fig. 3은 Z. Xiang 그룹에서 연구되고 있는 밸브로서 FESTO에서 생산되는 밸브 개방시의 솔레노이드 구동, 밸브 폐쇄시에 압력구동 방식과 동일한 모델이다<sup>4)</sup>.

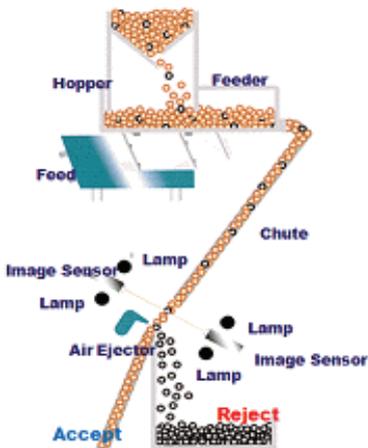


Fig. 1 Operating principal of a color sorter

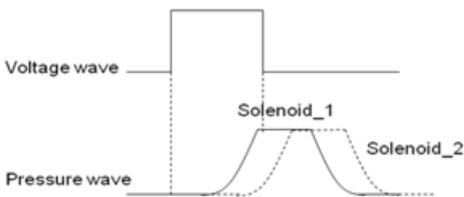


Fig. 2 Operating characteristics of solenoid operated pneumatic valve

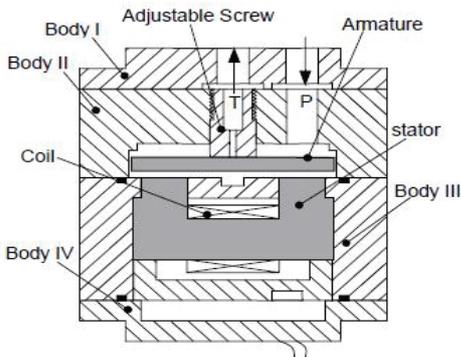
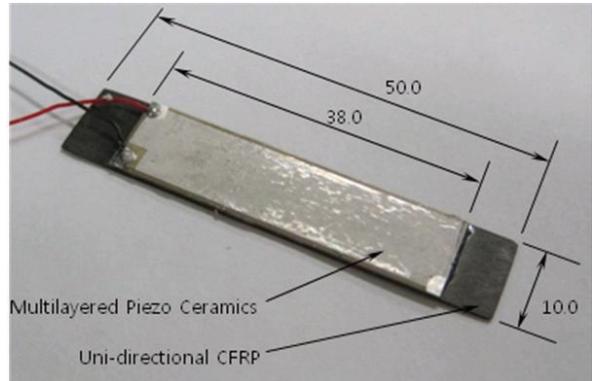


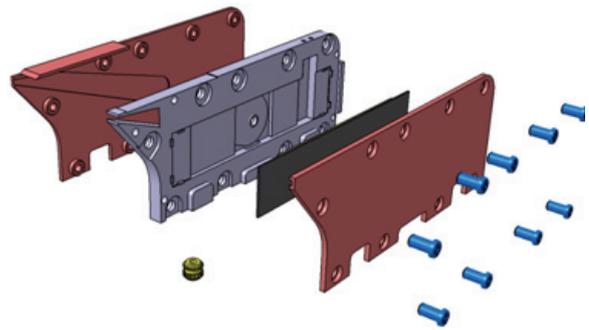
Fig. 3 Structure of solenoid operated pneumatic valve(from Z. Xiang<sup>1)</sup>)

### 2.1 압전밸브 설계 및 제작

이 연구에서는 기존의 솔레노이드 방식 대신에 벤더형 압전밸브를 이용하여 공기이젝터를 구현하는 연구를 수행하였으며, 50L\*10W\*0.8t(mm) 크기의 압전 액추에이터를 제작하여, 밸브를 구현하였다.



a) Fabricated piezoelectric actuator



b) Manufactured air ejector with a piezoelectric actuator  
Fig. 4 Piezoelectric actuator and an air ejector

### 2.2 압전밸브의 성능

제작된 압전 액추에이터는 정격 구동 전압이 80[VDC]이고, 밸브의 작동압력은 4[bar]이며, 정격유량은 50[lpm]이다.

Fig. 5는 제작된 압전 액추에이터의 변위 및 작동력을 나타내는 것으로, 구동전압 80[VDC]에서 약 300[ $\mu$ m]의 변위를 보이며, 작동력은 약 700[ $g_f$ ]임이 확인되었다.

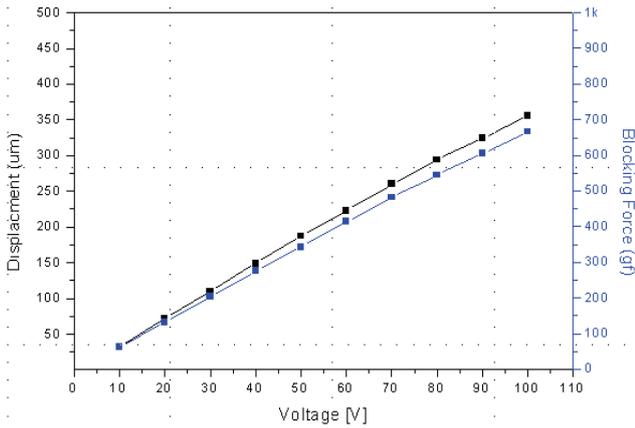
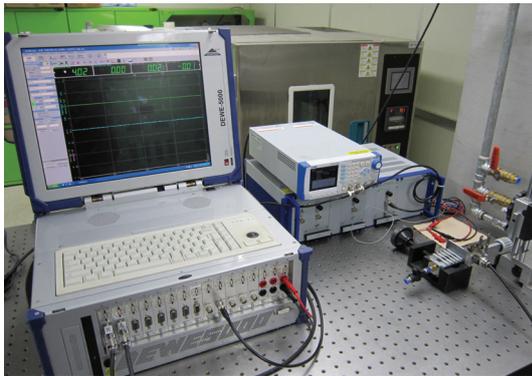


Fig. 5 Performance of fabricated piezoelectric actuator

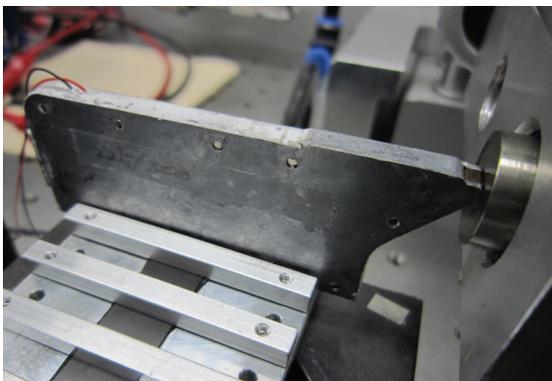
### 3. 응답 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험장치 및 방법

Fig. 6은 이 연구에서 제작된 압전밸브의 성능을 계측하기 위하여 구성된 실험장치를 보이는 것으로, Fig. 6 a)는 실험장치 전체 구성 사진, Fig. 6 b)는 압력센서에 접해있는 압전밸브를 보이는 것이다.



a) Photo view of experimental setup



b) Air ejector for measuring the pressure response characteristics

Fig. 6 Experimental setup for frequency response measuring of the manufactured PZT valve

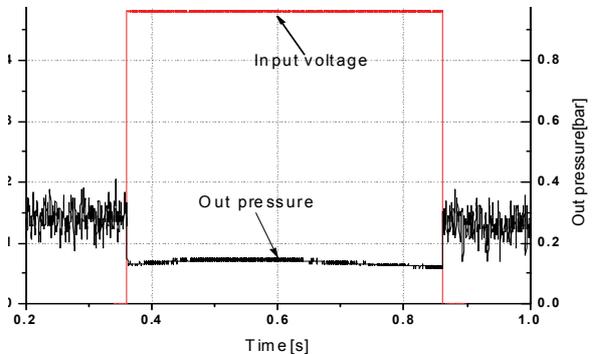
Fig. 6의 실험장치와 주파수 동특성 분석장치를 이용하여 쉽게 주파수 특성을 예측할 수 있으나, 압력 데이터 측정 결과 매우 심한 노플 발생으로 인하여 직접적인 방법으로 주파수 특성을 측정하는 데에 문제점이 발생하여 간접적인 방법으로 예측하는 방안을 도입하였다.

#### 3.2 실험 결과 및 고찰

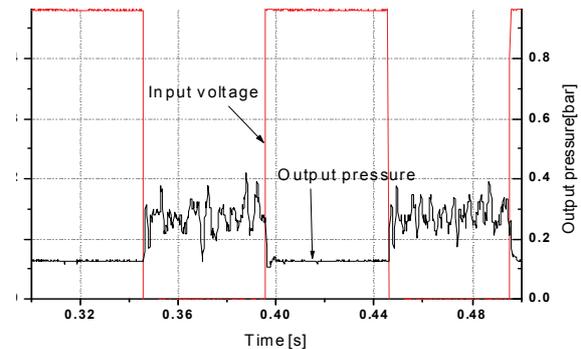
Fig. 7은 Fig. 6의 실험장치를 이용하여 스텝 주파수 밸브의 응답특성을 계측한 것으로, 밸브 출구부에 부착되어 있는 압력 센서를 이용하여 압력응답으로부터 밸브의 주파수 특성을 예측하였다. 따라서, 압력센서는 밸브 출구부에 거의 붙어 있으며, 압력센서의 응답은 수 kHz로 계측장비로 인한 지연 발생은 일어나지 않도록 하였다.

실험은 구형 주파수 1[Hz], 10[Hz], 50[Hz], 100[Hz], 200[Hz], 300[Hz], 400[Hz], 500[Hz]에서 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 a)에서 h)까지 나열하였다.

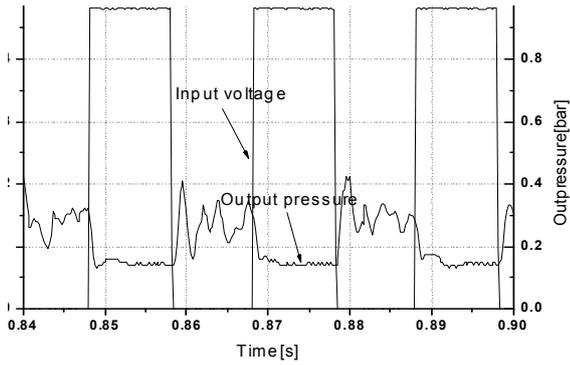
Fig. 7의 a)와 c)로부터 50[Hz]까지는 거의 지연이 없는 것으로 확인되었으며, d)에서 e)로부터 200[Hz]일 때에 약 45°의 지연, f)로부터 300[Hz]일 때에 약 90°의 위상지연이 발생하고 있음을 알 수 있다.



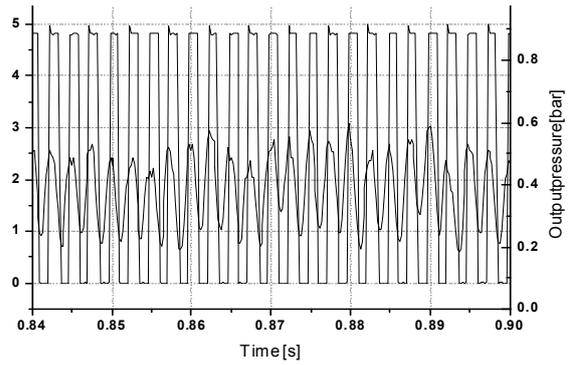
a) 1[Hz]



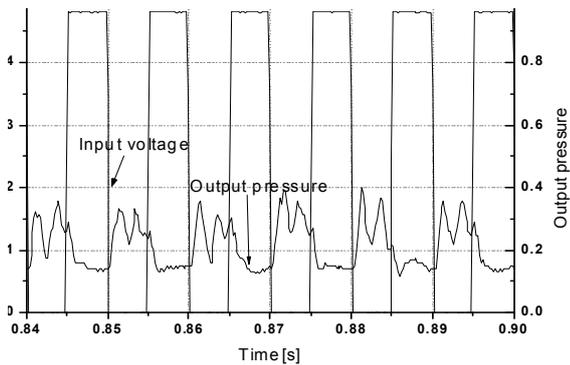
b) 10[Hz]



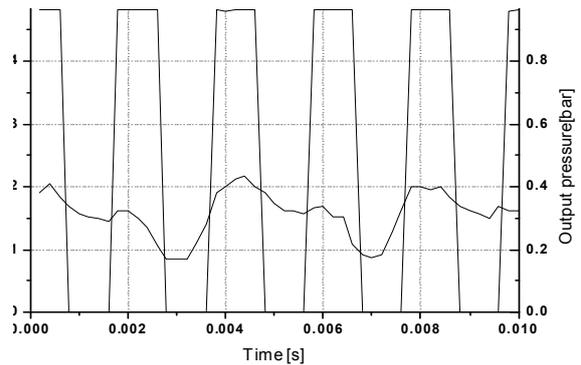
c) 50[Hz]



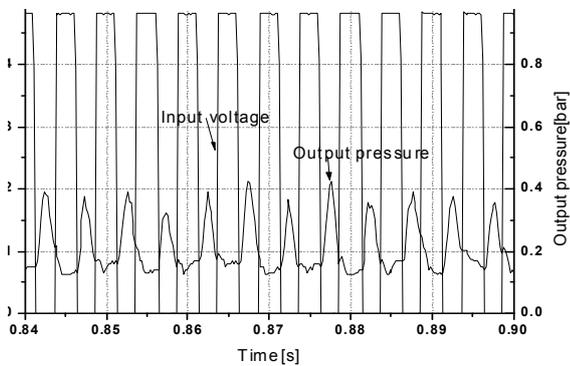
g) 400[Hz]



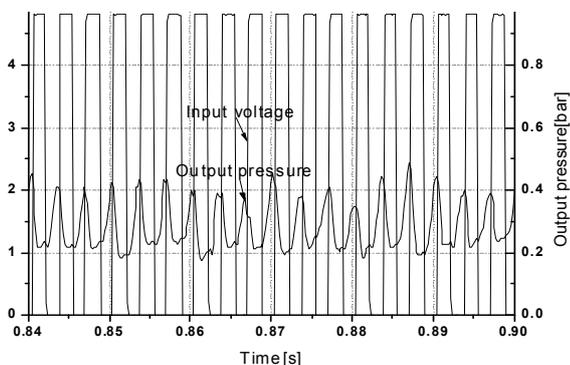
d) 100[Hz]



h) 500[Hz]



e) 200[Hz]



f) 300[Hz]

Fig. 7 Rectangle frequency characteristics of manufactured PZT valve

g)로부터 400[Hz]일 때에 180°의 위상지연이 일어나고 있으며, h)의 500[Hz]일 때에는 해석이 어려운 데이터가 얻어져 정확한 분석을 하는 데에 어려움이 있다.

Fig. 7의 결과만을 고려할 때, 위상지연 90°까지는 무난히 사용이 가능할 것으로 사료되어 300[Hz]의 응답특성을 가진다고 할 수 있으나, 제작된 압전밸브를 사용하여 실제 색채선별기 시스템에 적용하기 위해서는 프로그램적으로 진상 보상 형태의 제어 루프가 필요하게 된다. 또한, 400[Hz] 이상으로 동작시키기 위해서는 보다 더 우수하고, 정교한 진상 형태의 기술적인 전략이 필요하다고 할 수 있다. 또한, 작은 크기의 곡식 낱알들 중에서 이물질을 구별하는 과정에서는 이물질 위아래에 있는 낱알들도 섞여 이 물질과 함께 분류되는 경우가 있는데, 분류 능력이 우수한 곡물 선별기를 개발하기 위해서는 우수한 제어기와 더불어 응답이 매우 빠른 밸브 개발이 필요하다고 사료된다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 곡물선별기에 사용되는 솔레노이드 방식 밸브를 대신할 수 있는 압전방식 밸브를 개발하기 위하여, 압전액추에이터를 제작하고, 제작된 압전밸브를 사용하여 시제품 압전밸브를 제작하였다. 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 제작된 압전액추에이터는 구동전압 80[VDC]에서 약 300[ $\mu$ m]의 변위를 보이며, 작동력은 약 700[gf]로 공압구동밸브의 액추에이터로 사용할 수 있음이 확인되었다.

2) 제작된 압전밸브는 정격 구동 전압이 80[VDC]이고, 밸브의 작동압력은 4[bar]이며, 정격유량은 50[lpm]이다.

3) 제작된 밸브의 주파수 응답 특성은 위상지연 90°에 약 300[Hz]로 색채선별기로 사용하는데에 무리가 없음을 확인하였다.

#### 참고 문헌

1) M. Weinmann, A. J. Schmid, M. Fuss, "Piezoelectric

pneumatic valves", Actuator 2006-A5.2, pp.181~184, 2006.

2) M. Weinmann, M. Muth, M. Giousouf, C. Hanisch and P. Post, "State of the art in pneumatic microvalves", Actuator 2002-B 1.0, pp.217~222, 2002.

3) T. Katagiri, "High-speed strategy of solenoid valve", Fluid power system, Vol.41, No.5, pp.30~33, 2010.

4) Z. Xiang, H. Liu and G. Tao, "Development and investigation of high-speed pneumatic jet valves by lumped parameter modeling", 7th International Fluid Power Conference, pp.1~12, 2010.

5) S. N. Yun, K. W. Lee, H. H. Kim and H. J. So, "Development of the pneumatic valve with bimorph type piezoelectric actuator", Materials chemistry and physics, pp.1~4, 2006.

6) H. Murrenhoff, "Innovative designs and control circuits for proportional valves", NCFP 102-27.2/SAE OH 2002-01-1458, pp.691~701, 2002.

7) H. Ohuchi, "Piezoelectric actuator", JFPS, Vol. 23, No. 3, pp.237~242, 1992.