

적층 벤더형 압전식 공압밸브의 내구 특성 Endurance of Pneumatic Valve with a Multi-bender PZT Actuator

윤소남*† · 박인섭**

So-Nam Yun*†, In-Sub Park**

(접수일 : 2012년 12월 26일, 수정일 : 2014년 02월 26일, 채택확정 : 2014년 03월 04일)

Abstract: In this paper, pneumatic valve which consists of valve body, valve controller, nozzle and a multi-bender PZT actuator was suggested and fabricated. The fabricated pneumatic valve was experimented for performance evaluation. From the experimental results, we know that the flow rate of the suggested valve is 23 lpm at the pressure difference of 1bar and the maximum flow rate is 30 lpm at the pressure difference of 4 bar. The flow rates after endurance test of 9.8 million were 22.57 lpm and 28.62 lpm at the pressure difference of 1bar and 4bar, respectively.

Finally, it was verified that the B_{10} life of the suggested pneumatic valve is over 50 million.

Key Words : Multi-bender PZT Actuator, Pneumatic Valve, Pneumatic Valve Endurance, Flow Capability, Pressure Difference

1. 서 론

기능성 재료 혹은 스마트 재료를 응용한 액추에이터 연구는 최근 산업계의 화두라 할 수 있다. 전술한 재료들은 액추에이터의 기능뿐만 아니라 센서의 기능을 동시에 가지고 있기 때문에 산업계에 응용이 타 액추에이터에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 최근에는 그린환경을 목표로 하여, 오염물질 및 온실가스를 규제하는 방안들이 더욱 심해지고 있고, 더 나아가서는 폐에너지 재활용 및 파도, 진동, 바람과 같은 자연에너지를 수확하는 연구에까지 이르고 있어, 스마트 재료를 이용한 액추에이터 개발은 차세대 기술이라 할 수 있다.¹⁻³⁾ 압전 재료의 역압전 효과를 이용한 액추에

이터는 카메라의 줌 기능에 매우 획기적인 요소로 자리 매김을 했으며, 진동 시스템의 진동 억제 분야에서는 제어속도 면에서 뛰어난 성능을 발휘하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 압전 액추에이터의 유체분야 응용은 최근의 마이크로/나노 산업의 발전과 더불어 초정밀 디스펜싱 시스템 및 초소형밸브 분야에 많은 연구들이 이루어지고 있다. 특히, 밸브 분야의 응용에 있어서는, 압전 액추에이터의 고유 특성인 미소변위를 적절하게 이용한 초소형 파일럿밸브들이 출시되고 있는 실정이며, 단순한 방향제어방식에서 유량제어 및 압력제어에 이르기까지 다방면으로 응용이 이루어지고 있는 실정이다.^{4,6)}

압전 액추에이터의 대변위화 연구는 압전 액추

*† 윤소남(교신저자) : 한국기계연구원 극한에너지기술연구실

E-mail : ysn688@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7155

**박인섭 : 한국기계연구원 열공정극한기술연구실

* So-Nam Yun(corresponding author) : Department of Extreme Energy Systems, Korea Institute of Machinery & Materials
E-mail : ysn688@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7155

**In-Sub Park : Department of advanced thermal system.

에이터를 보다 더 많은 분야에 적용시키는데 있어 매우 필요한 과제중의 하나라 할 수 있다. 그러나 아직까지도 수요자의 요구에 적절히 대응하지 못하고 있으며, 때문에 응답이 빠르고, 저소비 전력 특성이 있음에도 불구하고, 대유량을 요구하는데, 직접구동방식으로 사용하고 있지 못하고, 파일릿 방식으로 적용하고 있어, 응답성을 저하시키는 동시에 부품수를 늘려서 가격적으로 불리한 단점을 가지고 있다.⁷⁻⁸⁾

본 연구에서는 압전 재료의 성능 향상 및 압전 액추에이터의 구조 변경을 통하여 변위를 확대시키는 방안을 제안하고, 본 연구에서 제안한 밸브의 내구성능시험을 통하여 밸브의 수명을 예측하기로 한다. 이를 위하여, 밸브의 성능 및 내구성을 시험할 수 있는 장치를 제작하고, 제작된 밸브를 시험하기로 한다.⁹⁾

2. 압전액추에이터의 특성

2.1 적층 벤더형 압전 액추에이터 제작

Fig. 1에 본 연구에서 제작된 압전 액추에이터의 개략도를 보인다. 최종 제작된 적층형 액추에이터의 크기는 25 L × 3 W × 0.3 t이며, 압전 세라믹 두께는 31 μm, 전극의 두께는 2.5 μm, 압전 세라믹 적층 수는 9개이다.

본 연구에서는 압전 액추에이터의 내구성과 탄성을 확보하기 위하여, 한쪽에는 유리 섬유 강화 플라스틱(GFRP: Glass-Fiber-Reinforced -Plastics), 다른 한쪽에는 탄소 섬유 강화 플라스틱(CFRP: Carbone-Fiber-Reinforced Plastics)를 각각 0.3 mm 두께로 접착하여, 액추에이터를 완성하였다. 실험 결과, 입력전압 80 V에서 변위는 419 mm, 최대구동력은 71.5 gf가 발생하는 것이 확인되었다.

2.2 적층 벤더형 압전 액추에이터 실험

Fig. 2는 본 연구에서 제작된 적층 벤더형 압전 액추에이터의 실험을 위하여 제작된 지그 및 변위 센서 설치 형상을 보이는 것이다. 실험은 정격 전압을 기준으로 정현파의 입력을 압전 액추에이터에 인가하면서 출력되는 압전 액추에이터의 변

위를 이용하여, 최종적으로 설계/제작된 압전 액추에이터의 성능을 분석하였다.

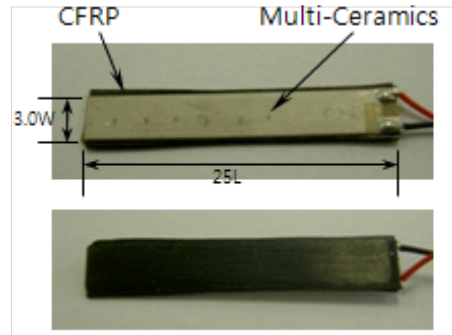


Fig. 1 View of fabricated multilayered PZT actuator(25L×3W×0.3t)

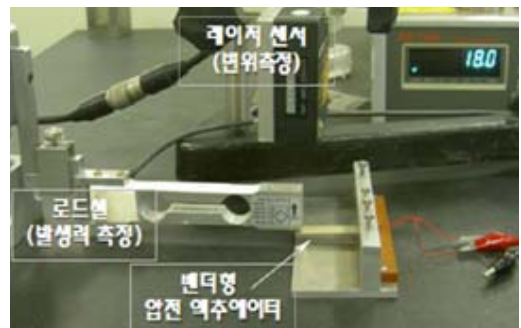


Fig. 2 Experimental setup for performance evaluation of fabricated PZT actuator

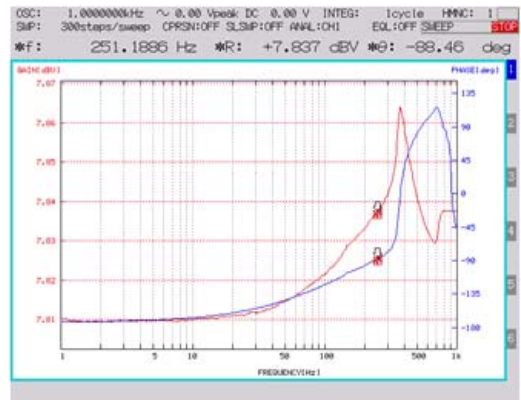
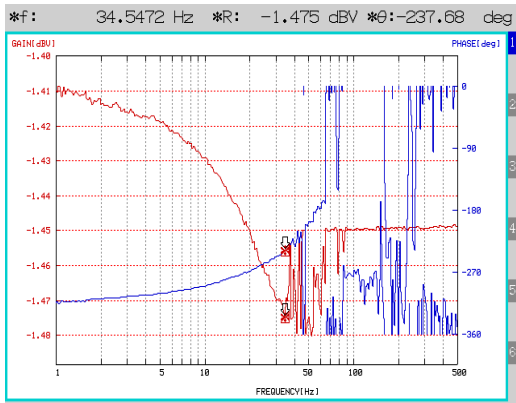


Fig. 3 Frequency characteristics of fabricated PZT actuator

3. 압전식 공압밸브의 특성



a) Experimental setup for performance evaluation of solenoid actuator



b) Frequency characteristic of general solenoid actuator

Fig. 4 Experimental setup & results of solenoid actuator

Fig. 3은 제작된 압전 액추에이터의 주파수 특성 그래프를 보이는 것으로, 90° 위상지연에서 약 250 Hz가 넘는 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 압전 액추에이터의 성능을 상대 비교할 목적으로 제작된 솔레노이드의 실험장치 및 실험 결과를 보이는 것으로, 90° 위상 지연에서 약 34 Hz의 주파수 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 이 실험 결과를 통하여, 본 연구에서 제작된 압전 액추에이터는 일반 산업용 솔레노이드 액추에이터에 비하여 약 8배 이상의 효과가 있음이 확인되었다.

3.1 압전식 공압밸브 제작

Fig. 5는 제작된 압전밸브를 보이는 것으로 Fig. 5 a)는 설계되고 조립되는 밸브를 3차원으로 보인 것이며, Fig. 5 b)는 최종 장착된 외관을 보인다. 제작된 압전 액추에이터의 동작 전압은 2.58 V/μm 이고 압전 액추에이터의 자유 길이는 19.7 mm로 구속하여 조립하였다.

Fig. 6은 본 연구에서 제작된 압전식 공압밸브의 특성을 검사할 목적으로 설계/제작된 실험장치를 보이는 것이다. 이 실험장치는 제작된 밸브의 유량 및 압력특성, 스텝응답특성 및 주파수 응답 특성, 그리고 누설특성 뿐만 아니라 내구 성능까지 실험 및 분석이 가능한 장비이다. 제작된 밸브의 개폐 동작 제어 및 데이터 계측은 전용장비를 통하여 이루어졌으며, 데이터 손실을 최소화하기 위하여, 100 kHz의 샘플링 속도를 유지하였다.

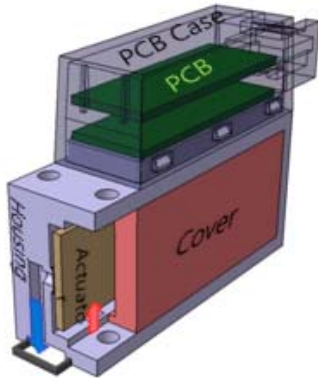
본 연구에서는 본 연구에서 제작된 밸브의 내구성능의 한계를 구하는데 목적이 있기 때문에, 내구성 실험 후의 결과로 일정 차압에서의 유량 특성만을 이용하여 밸브의 내구성능을 분석하기로 한다. 결론적으로 초기 성능 평가를 수행하고 난 뒤에 이 데이터를 기준으로 일정 시간 내구성 시험후의 데이터를 비교하는 방식으로 하여, 계측되는 데이터의 성능 저하를 예측하는 방법을 채택하였다. 따라서, 성능 저하의 기술품을 이용하면, 이론적으로 수천만회 후에 발생하는 성능을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

내구성 관련 규격은 KS, JIS 및 ISO에 규정되어 있는데, 일반적으로 정격 조건에서 1 Hz의 정현파 입력으로 실험을 하도록 규정하고 있으며, 결과는 보드(Bode) 선도를 그리고, 성능을 분석하도록 권장하고 있다.

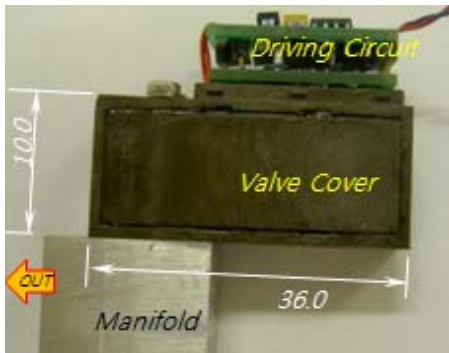
3.2 내구성능 실험 결과

Fig. 7은 내구성 실험을 위하여 장착된 압전식 공압밸브 사진을 보이는 것으로, 실험은 전술한 바와 같이 1 Hz의 정현파를 입력으로 하여 수행하였다. 또한, 정밀한 데이터 계측을 위하여 압력

센서 및 유량센서는 밸브 입.출구에서 가장 가까운 곳을 선택하였다.



a) Inside view of designed pneumatic valve



b) Fabricated pneumatic PZT valve

Fig. 5 Fabricated pneumatic valve with a multilayer PZT actuator

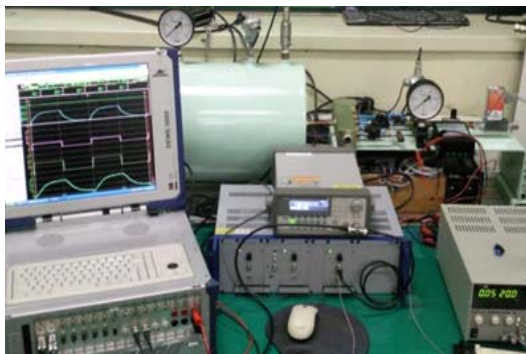
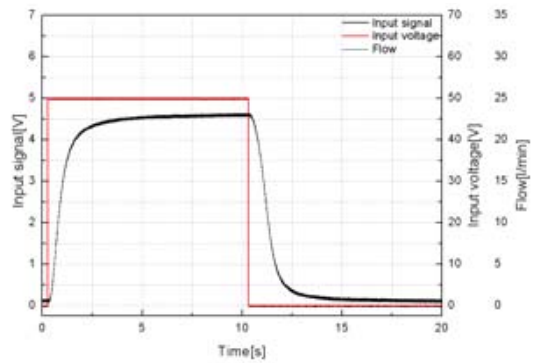


Fig. 6 Experimental setup for performance inspection of fabricated PZT type pneumatic valve

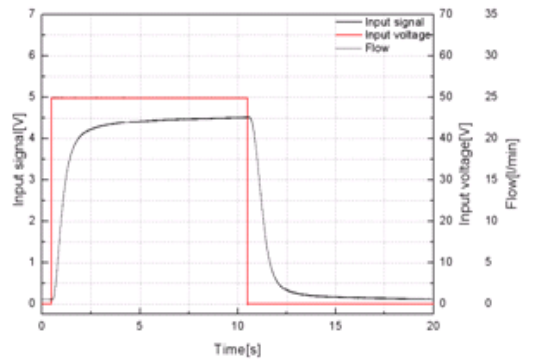


Fig. 7 Fabricated valve for endurance test

Fig. 8은 각각 내구실험 2백만 및 981만 사이클 후에 유량을 측정된 것으로, 유량측정은 차압을 1 bar로 한 후에 이루어졌다. 실험 결과, 22.97 lpm에서 22.57 lpm으로 약 2%의 성능 저하가 있음을 보여주고 있다.



a) Results after 2,000,000 cycles

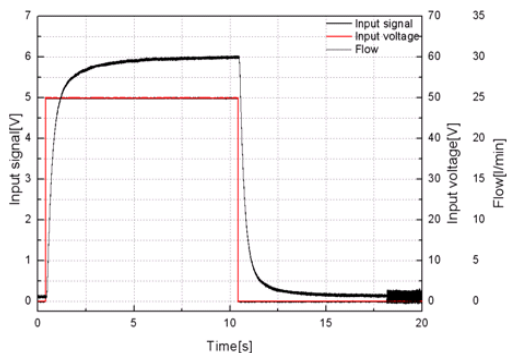


a) Results after 9,810,000 cycles

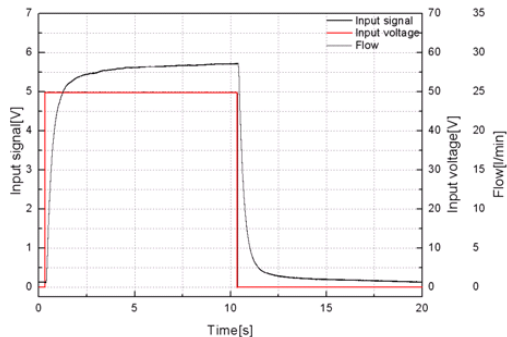
Fig. 8 Endurance test results (pressure difference of 1 bar)

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 실험 후의 결과를 보여주는 것으로, 입력되는 전압에 변화에 따라서, 매우 빠르게 응답하고 있음을 알 수 있다. 또한, 밸브가 정상상태에 있을 때에도 유량이 매우 안정적인 결과를 보이고 있어, 제작된 밸브는 전체적으로 빠른 응답성과 안정성을 동시에 확보하고 있다는 것도 예측할 수 있다. 차압을 4 bar로 하여 유량을 측정된 결과, 22.97 lpm에서 22.57 lpm으로 약 4.4%의 성능 저하가 있음이 확인되었다.

이 결과는 차압을 1 bar로 했을 경우에 비하여, 2배의 차이를 보이는데, 이것은 저압보다는 고압에서의 계측 유량값이 보다 더 정확할 것으로 사료되며, 미세한 오차는 실험시의 주변 환경 변화 및 유량측정 오차로 인하여 발생할 것으로 사료된다.



a) Results after 2,000,000 cycles



a) Results after 9,810,000 cycles

Fig. 9 Endurance test results (pressure difference of 4 bar)

Fig. 9의 실험 결과를 통하여, 개발된 밸브의 내구성을 예측하면, B10 내구수명을 기준으로 할 때, 약 5천만회 이상의 성능을 가지는 매우 우수한 밸브라는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 일반 산업용으로 적용이 가능한 압전식 공압밸브를 대상으로, 보다 변위특성이 우수하고, 구동력이 크며, 빠른 응답성을 가지는 밸브를 제안하였으며, 내구성능 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 제작된 밸브의 1000만회 내구특성 결과, 약 4%의 성능 저하가 계측되었다.
- 2) 1000만회 내구성능 결과를 분석한 결과, B10 내구수명이 약 5000만회 이상일 것으로 분석되었다.
- 3) 본 연구의 결과, 본 연구에서 제안하는 압전 액추에이터 및 압전액추에이터 제조방법이 일반 산업으로 사용되는 압전식 밸브의 성능 향상 및 내구성 향상을 꾀할 수 있을 것으로 사료된다.
- 4) 마지막으로, 본 연구의 결과는 기초 단계에 있는 국내 압전밸브 분야에 매우 유용한 정보를 제공할 것으로 사료된다.

Reference

1. M. Weinmann, P. Post, H. Vollmer and S. Kluge, 2000, "Pneumatic silicon microvalves with piezoelectric actuation", Actuator 2000, pp. B1.4.
2. Ki Hara, 2006, "Development of high pressure control relief valve", 2006 JFPS Autumn Conference, pp. 73-75.
3. Ouchi, 2006, "Step motion mechanism driven by impulsive force of a multi-layer PZT actuator", 2006 JFPS Autumn Conference, pp. 46-48.
4. Karl Spanner, 2000, "Breakthrough in Piezo actuator applications", Actuator 2000, pp. B2.0.
5. S. C. Hwang and S. U. Kim, 2001, "Piezoelectric

- actuator for precision displacement control", RIST research thesis, Vol. 15, No. 2, pp. 158-162
6. F. Boeking and B. sugg, 2006, "Piezo actuators: a technology prevails with injection valves for combustion engines", Actuator 2006, pp. A5.0.
 7. M. Weinmann, M. Mailchl and G. Munz, 2002, "A 3/2 normally closed polymer piezoelectric microvalve with integrated mid electronics for industrial automation", Actuator 2002, pp. 533-536.
 8. M. Weinmann, M. Muth, M. Giousouf and C. Hanisch, 2002, "State of the art in pneumatic microvalves", Actuator 2002, pp. 217-222.
 9. S. N. Yun, Y. B. Ham, C. Y. Kim, P. W. Park and J. H. Kang, 2005, "Characteristics improvement of a PZT actuator for metal printing", Journal of the Korean Society for Power System Engineering", Vol. 9, No. 4, pp. 162-167.