

미소유체 이송용 압전펌프를 위한 시트형 체크밸브의 동특성에 관한 연구

함영복*, 노종호, 신동식, 박중호, 김한석(한국기계연구원)

A study on dynamic characteristics of sheet type check valves in PZT pump for small liquid delivery

Y. B. Ham*, J. H. Noh, D. S. Shin, J. -H. Park, H. S. Kim(KIMM)

ABSTRACT

In precision machinery systems for medical and chemical applications, micropumps with a low pulsation have been demanded and investigated for accurate delivery of a small amount of liquid. This study proposes sheet type check valves instead of ball type check valves for PZT pumps and performs some tests on dynamics characteristics of check valves having different design parameter with variable frequency.

The selected materials of check valves is NBR, PP film, Polyimide and Stainless steel(SUS304). In the experiment, dynamic characteristics of stainless steel thin plate have better performance than others.

Key Words : PZT pump (압전펌프), Check valve (체크밸브), Frequency response(주파수 응답)

1. 서 론

최근 의학, 고분자 화학 분야 등에서 미소유체 이송을 위해 기존의 다이아프램 펌프로부터 점점 소형화, 정밀화 하면서 고신뢰성을 확보할 수 있는 정량 토출 장치에 대한 연구가 진행되고 있다. 이들 중에서 특히 소형화가 쉽고 고신뢰성이 확인된 압전 소자를 이용한 압전펌프에 대한 연구는 더욱 활발히 진행중이다.^{1,2,3}

일본 동경공대 Yokota Lab.에서는 PZT 와 벨로우즈로 구성된 펌프실의 공진구동으로 토출유량을 증대 시키고, 이때 공진 주파수가 고주파이므로 수동형 체크밸브로서는 응답에 문제가 있어, PZT 를 이용한 능동형 체크밸브를 적용한 마이크로 펌프에 대하여 연구하였다.³

크기가 작은 압전펌프의 특성을 살리고 유체의 역류를 효과적으로 차단해주는 체크 밸브의 경우, 크기가 작으면서도 구조가 간단하고 제작이 용이하여야 한다. 이러한 체크밸브는 압전펌프의 성능을 최대로 발휘할 수 있도록 펌프실의 용량변화를 유발시키는 PZT 의 고속 왕복운동에 추종 가능한 빠

른 응답성을 가져야 한다.²

기존의 볼(ball)형 체크밸브는 부피가 클 뿐만 아니라, 소형화, 경량화, 저 소비전력화의 장점을 가진 압전펌프에 적용하기에는 부적합하다. 따라서 압전펌프를 소형화하기 위해서는 체크밸브를 소형화해야 하며, 펌프실의 고속운동에 추종할 수 있도록 응답성이 높은 시트형 체크밸브가 필요하다.

본 연구에서는 일반적으로 사용되는 볼형 체크밸브와 달리 압전펌프에서 사용될 수 있도록 얇은 시트형 체크밸브를 설계하고, 체크밸브 가동부에 대한 변위를 해석 하였다. 제작된 시트형 체크밸브는 적층형 PZT 를 이용하여 별도의 체크밸브 실험 장치를 제작하여 시트형 체크밸브의 동특성을 실험 하였다.

시트형 체크밸브의 실험은 적층형 PZT 에 일정한 전압을 인가하고 정현파 또는 구형파 주파수를 가변 입력하여 주파수 변화에 따른 시트형 체크밸브의 동작 특성을 실험하였고, 제작된 여러 종류의 시트형 체크밸브에 대해서 각각 최대유량을 토출하는 주파수를 찾을 수 있었다.

또한 체크밸브는 물과 직접 접촉하는 특성상

NBR, PP 필름, SUS304 등과 같은 내식성 재질을 택하여 제작하였고 시트형 체크밸브의 동작특성을 파악하기 위한 실험장치를 제작하여 실험하였다.

토출유량 특성이 다른 재질에 비교하여 양호하게 나타난 SUS304 박판 재료에 대해서는, 모양과 두께 등의 설계 파라미터를 변화시키면서 고주파에서도 동작특성이 좋은 모델을 찾아 내었다.

2. 시트형 체크밸브의 설계 및 제작

본 연구의 목적에 부합되는 소형의 시트형 체크밸브는 6 mm의 직경을 갖는 유로에 설치하기 위해 운동면(moving plane)의 직경을 6.2 mm로 제작하였으며, 고정면(fixed plane)과 운동면의 사이는 폭 1.0 mm로 공간을 두었다. Fig. 1에 두 종류의 시트형 체크밸브를 여러 가지 두께와 재질에 대하여 Table 1과 같은 사양으로 설계 및 제작하였다.

Table 1 Specification of fabricated sheet type check valves

Model name	Shape	Material	Thickness
A-SUS-0.03	Single neck	STS304	30 μm
A-PP-0.35	Single neck	PP	350 μm
A-NBR-0.6	Single neck	NBR	600 μm
B-SUS-0.03	Double neck	STS304	30 μm
B-PP-0.35	Double neck	PP	350 μm

Fig. 1의 (a) 형상은 고정면에서 운동면을 연결하는 목(neck)이 하나인 형상으로 제작되었으며, (b) 형상은 (a)형상에서 비대칭으로 동작하는 것을 보완하기 위해 체크밸브의 고정면과 운동면을 연결하는 목을 2 곳으로 제작하여 운동면의 동작이 체크밸브의 중심에 대해 대칭운동 하도록 제작되었다. (a)형상은 응답성이 다소 떨어지나 큰 변형량에 따른 토출유량의 증대가 기대되고, (b)형상은 변위는 (a)형상에 비해 작으나 응답성 향상에 의한 토출유량 특성을 실험에 의해 측정 하도록 한다.

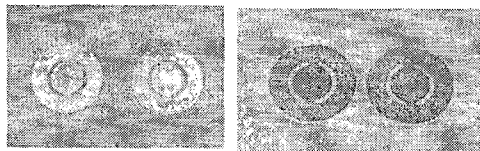


Fig. 1(a) Single necked Fig. 1(b) Double necked
Fig. 1 Fabricated sheet type check valves

Fig. 1 (a)의 형상에 대해서 SUS304 재질의 경우 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 운동면의 예상 변위를 해석하였으며, 해석 결과를 토대로 체크밸

브를 에칭 또는 방전가공으로 제작하였다.

Fig. 2와 Table 2는 목(neck) 하나인 SUS304 재질의 체크 밸브의 운동면에 압력을 0.1 kgf/cm²으로 일정하게 가한 상태에서 두께 변화에 따라 어느 정도의 변위가 발생하는지를 해석한 결과이다. 두께가 두꺼워지면 운동면의 변위가 작아진다는 것을 알 수 있다.

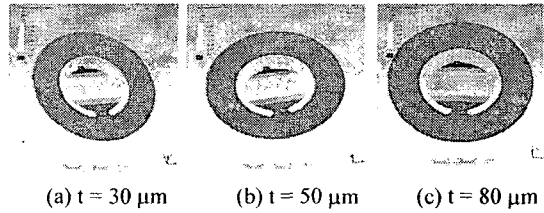


Fig. 2 FEM analysis of sheet type check valve

Table 2 Maximum displacement analysis result of moving plane of sheet type check valves

Thickness, $t[\mu\text{m}]$	Max. displacement, $h[\text{mm}]$
30	28.932
50	7.135
80	1.741

3. 시트형 체크밸브 동작특성 실험장치

시트형 체크밸브를 동작 시키기 위해서는 펌핑 작용이 되어야 하며 이 펌핑작용을 위해 사용된 액추에이터는 적층형 PZT이다. 본 연구에서 선정된 적층형 PZT는 일본의 NEC-TOKIN사의 제품(ASB680)이며 이에 대한 구조는 Fig. 3과 같다. 적층형 PZT 액추에이터는 압전 세라믹스와 절연체를 여러 장으로 겹쳐 쌓아 집합하고 각각의 세라믹스에 전극을 연결한 것이며, 인가되는 전압의 크기에 따라 길이방향으로 변위가 발생하게 된다.

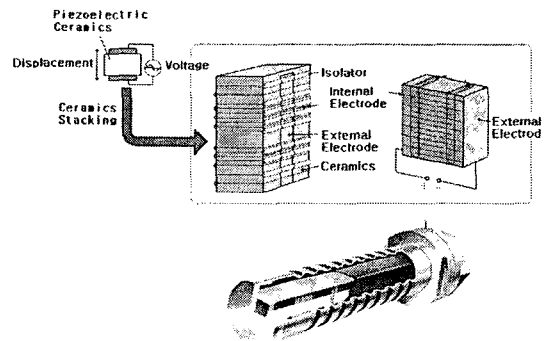


Fig. 3 Stack type PZT actuator (NEC-TOKIN, Japan)

이 적층형 PZT 의 구동전원 및 작동사양은 Table 3 과 같다. 이 적층형 PZT 액추에이터는 직경 11.5 mm 의 금속 케이스에 의해 밀봉되어 있으며, 길이는 92.4 mm 이다. 1,000 V 의 전압을 인가할 경우 68 μ m 의 변위와 800 N 의 힘을 발휘한다.

Table 3 Specifications of stack type PZT actuator

Model name(Maker)	ASB680C801*P0(NEC-Tokin)
Displacement	68.0 μ m @1000V
Force	800 N
Resonance Freq.	8 kHz
Capacitance	6.0 μ F

Fig. 4 는 시트형 체크밸브의 재질과 형상에 따른 실험을 수행하기 위하여 설계 및 제작된 시트형 체크밸브 실험장치 이다.

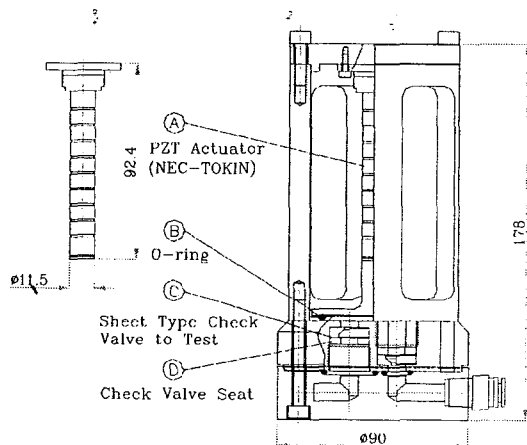


Fig. 4 Experimental setup for investigating of sheet type check valves

적층형 PZT 액추에이터는 상부가 고정된 상태로 설치되고 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 아래방향으로 늘어나고 수축하게 설계하였다. 펌프 실은 탄성을 갖는 오링(O-ring)을 설치하여 실링(sealing) 역할과 스프링 역할을 동시에 하도록 구성되었다. 펌프실 하부에는 실험 대상이 되는 시트형 체크밸브가 흡입과 토출을 단속 할 수 있도록 설치 되었다. 시트(sheet)형 체크밸브를 설치하기 위해서는 체크밸브 박판이 자리를 잡을 수 있도록 안착할 수 있는 밸브자리(valve seat)와 함께 설치되며, 이것을 용이하게 분해 조립할 수 있는 구조로 되어 있다. 그 아래부분에 흡입포트와 출구 포트를 설치할 수 있는 포트 블록이 있다. 따라서 전체적인 구조는 압전펌프의 구조를 갖는다. 체크밸브가 정상적으로 동작할 때 선정된 적층형 PZT 의 운동에 따른 펌핑 유

량은 이론적으로 예측 가능하다. 실험장치를 통해 토출되는 유량을 정량적으로 측정하여 설치된 시트형 체크밸브의 정상 작동을 측정할 수 있다.

4. 시트형 체크밸브 실험

4.1 체크밸브의 재질에 따른 응답성 실험

시트형 체크밸브의 동작속도를 높이고, 소형화 하기 위해 두 가지 형상에 대해 여러 가지의 재질로 제작하여 실험을 하였으며, 이들 체크 밸브의 동작 특성을 파악하기 위해 시트형 체크밸브 동작 특성 실험장치에 Fig. 1 (a), (b) 형상의 체크 밸브에 대해 NBR, PP 필름, SUS304 와 같은 세가지 재질로 제작하여 실험하였다.

실험 방법은 200V 의 정현파 전압을 적층형 PZT 에 인가하면 체크밸브의 동작에 의해 유량이 토출된다. 입력 주파수를 정지 상태에서부터 점점 높여가면서 그에 따른 펌프의 토출 유량을 측정하였다.

시트형 체크밸브 두가지 형상에 대한 각각의 재질을 바꾸어가면서 주파수 변화에 따른 토출 유량 측정 결과를 Fig. 5 에 나타내었다.

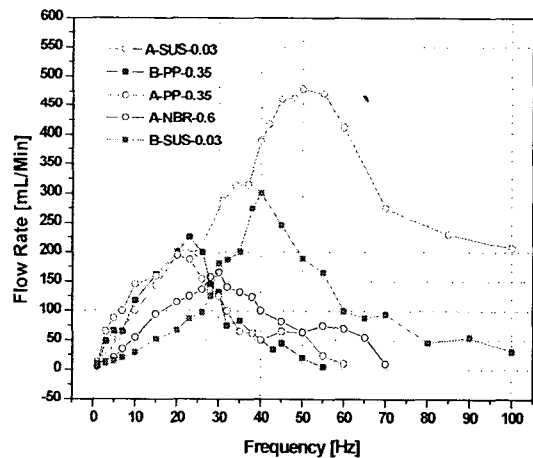


Fig. 5 Outlet flow rate test result on check valve material

NBR, PP 필름 같은 재질은 유연성과 내식성은 있으나 탄성력(복원력)이 부족하여 펌프의 토출량이 SUS304 재질에 비하여 최고 토출 유량이 적게 나타났으며, 이는 탄성력 뿐만 아니라 운동면이 요동함에 있어 가동부의 관성력이 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

SUS304 로 제작된 (a) 형상의 체크 밸브 30 μ m 두께를 사용할 경우, 약 50 Hz 에서 480 ml/min 으로 가장 많은 토출 유량이 발생 하였으나, 이 또한 더

욱더 높은 주파수에서 최고 토출 유량을 얻을 수 있는 두께, 재질 및 형상에 대한 디자인과 실험이 필요하다.

4.2 체크밸브의 두께에 따른 응답성 실험

다른 재질에 비해 많은 토출 유량을 갖는 SUS304 박판, Fig. 1 (a)형상의 체크밸브에 대해서 30 μm , 50 μm , 80 μm 두께로 제작하여 각각에 대해 주파수를 증가시키면서 토출유량을 측정한 결과는 Fig. 6 과 같다.

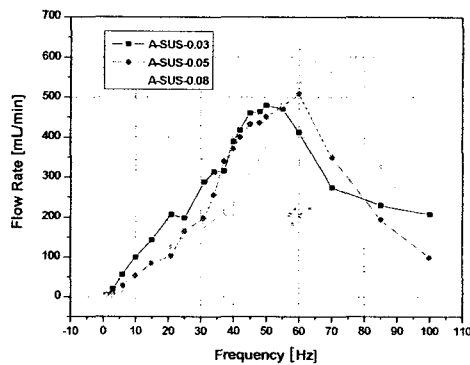


Fig. 6 Outlet flow rate test result on check valve thickness

Fig. 6 에 보는 바와 같이 80 μm 두께로 제작된 SUS304 박판 재질의 체크 밸브가 약 65 Hz 부근에서 최대 토출 유량 600 ml/min 까지 측정 되었다.

이 보다 두께가 작은 30 μm 와 50 μm 에 대해서는 50 Hz 부근에서 480 ml/min 를 토출하는 수준 이었다.

이것은 두께가 80 μm 로 두꺼워 짐에 따라 왕복 운동의 관성력이 증가하여 유체흐름을 단속하는데 오히려 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단되어 그 이상의 두께(100 μm , 150 μm , 200 μm)에 대해서도 실험 할 필요가 있으며 이 또한 더욱더 높은 주파수의 펌프실 운동에 대한 추종특성을 갖는 체크밸브를 개발해야 한다.

5. 결론

소형의 압전펌프 개발을 위해서 시트형 체크밸브가 고속동작 특성을 갖도록 설계하는 것은 중요하며, 이를 위해 체크밸브의 동작특성 측정용 실험 장치를 압전펌프의 구조로 제작 하였다. 펌프실을 구동 하는 데는 적층형 PZT 를 사용하였으며, 실험 대상 시트형 체크밸브는 형상을 두 종류로 하고, 재질과 두께를 달리하면서 실험하였다.

체크밸브의 재질의 경우 NBR 과 PP 필름은 탄

성이 약하고 운동 관성력이 작아 펌프실 주파수 변화에 따라 추종하지 못하는 결과를 보였다. 이를 개선하기 위해서는 탄성과 질량관성을 갖는 내화학성, 내부식성의 재료인 SUS304 를 이용하여 토출 유량 특성을 향상시킬 수 있었다.

시트형 체크밸브의 재질, 형상과 두께에 따른 토출 유량의 비교결과는 목이 하나인 SUS304 박판 재질, 80 μm 두께로 제작된 체크 밸브가 약 65 Hz 부근에서 최대 토출 유량 600 ml/min 까지 측정 되었다.

고 응답의 PZT 운동에 대응하여 유체의 흐름을 단속할 수 있는 시트 체크밸브의 응답성을 더욱더 향상 시키기 위하여 고주파영역(100Hz 이상)에서 원활하게 구동 되는 시트형 체크밸브의 형상, 재질 두께에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 기본연구사업 수행 내용의 일부이며, 실험용 시약 및 재료를 지원해 주신데 대해 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. J.-H. Park, S. Yokota and K. Yoshida "A Piezoelectric Micropump Using Resonance Drive with High Power Density", *JSME International Journal*, Vol.45, No.2, Series C, pp. 502-509, 2002.
2. E.Meng, et al, "A Check-valved Silicone Diaphragm Pump." *Proc. of the MEMS'00*, pp. 62-67, (Caltech, USA), 2000.
3. J.-H. Park, K. Yoshida, S. Yokota, T. Seto, K. Takagi, Y.B. Ham, S.N. Yun, "Resonantly-Driven Piezoelectric Micropumps Using Active Check Valves", *Proceedings of the ACTUATOR2004*, pp.557-560, June 2004.