

미소유체 밸브리스 압전펌프의 설계 및 특성

임종남, 오진현, 임기조, 김현후**
충북대학교*, 두원공과대학**

Design and Characteristics of valveless micro-pump for small liquid delivery

Jong-Nam Lim, Jin-Heon Oh, Kee-Joe Lim*, Hyun-Hoo Kim**
ChungBuk Univ*, DooWon Technical College**

Abstract - Micropump is very useful component in micro/nano fluidics and bioMEMS applications. Using the flexural vibration mode of PZT bar, a piezopump is successfully made. The PZT bar is polarized with thickness direction. The proposed structure for the piezo-pump consists of an input and an output port, piezoelectric ceramic actuator, actuator support, diaphragm. The traveling flexural wave along the bar is obtained by dividing two standing waves which are temporally and spatially phase shifted by 90 degrees from each other. Fluid is drawn into a forming chamber, eventually the forming chamber closes trapping the fluid therein.

1. 서 론

압전 펌프의 기능은 압전 액추에이터의 아주 작은 변위를 유용한 작업이다. 펌프의 대부분은 액추에이터 구동을 위한 챔버 및 입출력의 on/off 역할을 맡는 체크밸브를 이용하여 구동된다. 그러나 체크밸브는 마모나 피로와 같은 몇몇 문제를 가지고 있으며, 또한 유량의 흐름 방향을 단순한 기구로 자유롭게 제어할 수 있는 밸브는 찾아보기 어렵다. 최근 이러한 valveless 펌프와 마이크로 가공기술이 발전함에 따라 여러 종류의 valveless 펌프 및 마이크로 시스템들이 연구 및 개발되고 있다. 이 중에서 미소량의 유체를 제어하기 위한 valveless 마이크로 펌프는 초음파 혈류계 등의 의료기기, 초정밀 액추에이터, 초음파 모터, 트랜듀서, 각종 센서와 측정·계측기기, 생물 및 화학 분야 등에서 폭 넓게 응용될 수 있기 때문에 많은 관심과 더불어 활발한 연구가 이루어지고 있다. 펌프의 동작주파수에 대한 전계의존성을 밝히고, 압전 소자의 진동 주기를 달리하였을 경우 특정한 진동 주파수에서 최대 순유량이 관찰되었다. 여기에는 유한요소해석프로그램 Atila-GID로 펌프의 중앙 챔버의 형상과 진동 주기의 변화에 따른 최적의 순유량을 갖는 유동조건 및 펌프 내부의 진동 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 구조 및 동작원리

탄성체의 제질은 인칭동으로 서로 밀착되도록 배치된 두 개의 탄성평판에 밀착된 두 개의 탄성평판들의 외면에 각각 배치되는 압전체들, 서로 반파장의 위상 차이가 나도록 배치되어 같은 방향으로 진행하는 진행파들이 탄성평판들 사이에 일정 공간이 형성되어 진행방향으로 연동 운동이 일어나 공간에 유체가 채워져서 진행방향으로 이송한다. 탄성평판에 부착되는 압전체는, 내부가 인접한 부분이 두께 방향으로 상반되는 극성을 갖도록 분극처리하여 구분하고, 전원부에서 발생하는 일정 주파수의 사인파와 코사인파 전압을 각각 인가하면, 탄성평판에는 압전평판에서 발생한 정재파(standing wave)가 발생한다. 각 압전평판에서 발생한 정재파는 각 압전평판의 간격에 의해 동시에 소정의 위상이 어긋나게 합쳐져 진행파(traveling wave)가 생성된다.

$$Z_1 = a \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t)$$

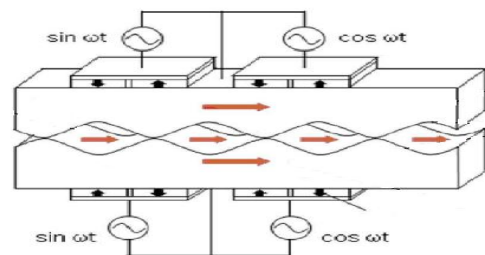
$$Z_2 = -a \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t)$$

$$Z = z_1 + z_2 = a \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) - a \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t)$$

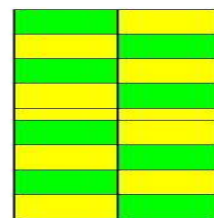
$$Z = a \sin\left[\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) - \omega t\right]$$

Z_1, a, x, λ 그리고 ω 는 각각 진동파, 진폭 최대치, 파의 진행 방향 임의의 위치, 파장 그리고 공진 주파수를 나타낸다. 첫 번째 항(Sin)은 특별한 진동이고 두 번째 항(cos)은 시간적인 함수의 진동이다. 수학적 1로부터 공간적으로 다른 위상에서 1/4의 파장을 가진 정재파가 sin항에서 cos항으로 교체됨으로써 얻어지고, 동시에 비슷한 이동이 두 번째 cos 항이 sin항으로 교체됨으로써 영향을 받는다. 진행파는 탄성평판을 통해 움직이기 때문에 상기 탄성평판의 한 점은 타원형의 궤적으로 이동하게 된다. 이러한 진행파의 생성은, 압전체의 구성을 변경하여 한 층의 압전평판으로도 가능하다. 진행파가 탄성평판에 진행하는 공간을 생성하고, 필요에 따라 탄성평판 위에는 두 개 또는 그 이상의 압전평판이 소정의 간격을 두고 사인파와 코사인파를 번갈아서 인가되는 순서로 부착될 수 있다. 각 압전체는 정재파의 1/2 파장 간격으로 분극되고, 탄성진동판 위에서 1/4 파장의 간격으로 배치된다. 그림1에서 보여진 것처럼 진행파 생성을 나타낸다. 압전평판의 하나가 사인파로 인가되는 동안 다른 평판을 코사인파로 구동하면 1/2 구간의 오프셋은 다른 정재파에서 다른 위상의 1/4의 파장이 변형되는 한 요소의 정재파를 일으킨다. 따라서 동시에 위상에서 벗어나는 1/4의 파장을 일으킨다.

그림1. 분극 구간



압전소자는 PZT-PMNS세라믹을 사용하였다. 탄성체의 면에 부착하였고, 6파장과 4파장의 진행파를 얻을수 있도록 세그먼트를 1/2 파장마다 방향을 반전시켜 하였으며, 그림2에서 보여진 것처럼 압전 설계된 액추에이터이다. 압전 세라믹을 반을 중심으로 기준하여 좌우 반대 방향의 분극을 설정정하였다.



■ CARTESIAN down
■ CARTESIAN Up

그림2 진동자 설계

2.2 진동자 수치적 해석 과정

동작특성을 Modal Analysis와 Harmonic Analysis를 이용하여 수치적으로 해석하였다. 여기에는 유한요소해석프로그램 Atila-GID가 사용되었다. Harmonic analysis를 수행하여 변위 분포를 그래픽으로 구현하였다. 압전체의 변위 계산 방법에 따른 차이를 확인하기 위하여 압전체 인가 전압과 동일한 형태인

Sine파 형태로 직접주고 계산한 경우와 압전효과를 계산하여 변위를 계산한 경우에 대하여 압전체의 거동특성 및 유동 특성을 비교하였다. 해석순서는 그림 3에 나타내었다.

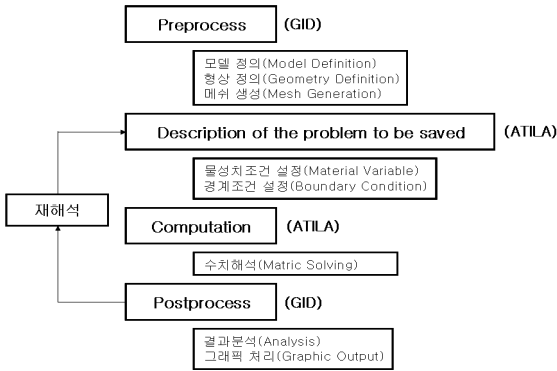


그림3 모델 해석 순서

3. 결 론

Modal Analysis에 의한 해석결과 B16 공진모드에서 76.9kHz의 공진주파수가 계산되었으며 이 동작주파수에서 Harmonic Analysis를 실행한 결과 고정자의 변위분포가 그림 4와 같은 형태로 나타났다.

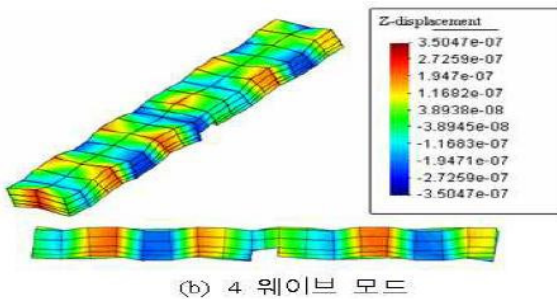
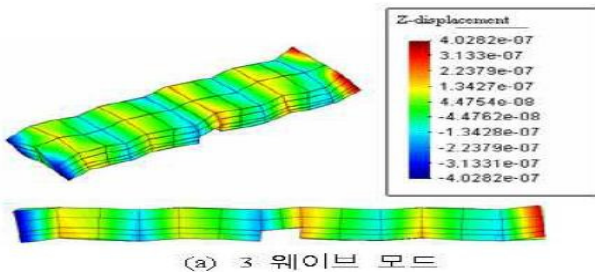
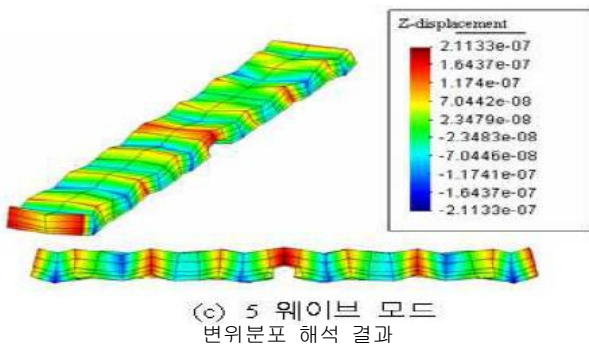


그림4. 유한요소 해석프로그램(ATILA-GID)에 의한 진동자의



변위의 두 가지 패턴사이의 공간적 상 180° 차이로 각각 공급된다. 압전체 부근의 변위를 살펴보면 전체에 나타나는 것이 아니라 일부분에서만 변위가 집중되고 바깥으로 갈수록 진폭이 뚜렷하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

미소유체 마이크로 압전펌프의 고정자의 형상을 설계하고, 이를 유한요소법에 의하여 해석하여 진동시 공진 주파수 계산 및 변위 분포의 구현을 수행하였다. 일정한 진동 주파수에 대해 진폭을 증가시키면 일정한 진폭 이상에서는 더 이상 증가하지 않으며, 변위 분포가 다른 곳에 집중되거나 분포를 찾아보지 못하였다. 압전 세라믹 표면을 따라 탄성 진동파가 유도되도록 평판 표면에 집착되었다. 연동을 옮기는 활동은 어떤 실제적으로 이동 부분도와 연관되지 않으며, 양수한 액체 또는 가스는 진행 방향으로 흐르고 있다. 이 압전 펌프는 미소유체를 마이크로 단위까지 제어 가능한 펌프로서 혈류계등의 의료기에서 세밀한 분야에 많은 활용할 것으로 기대한다.

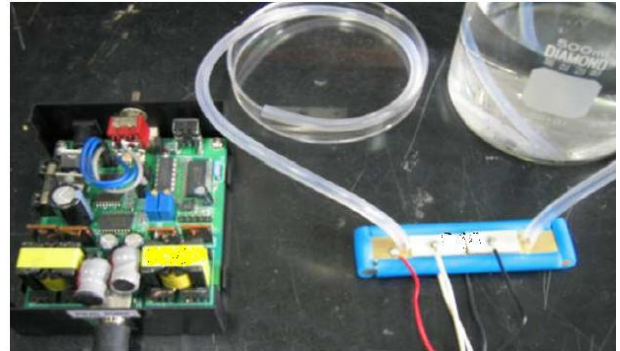


그림 5 압전펌프의 시연장면

압전 펌프의 성능은 시간당 펌핑 율(pumping rate)과 최고 배압(back pressure)로 측정하였다. 펌핑 율은 10분 동안 펌핑한 유체의 양을 측정하여 단위시간당의 양으로 환산하였다. 압전 펌프의 최고 배압은 출구 튜브를 수직으로 세워 도달하는 펌핑레벨에 의해 평가한다. 설계된 펌프로 얻은 결과, 펌핑 율의 최고값은 약118ul/min이고, 최고 배압은 물의 수위 최고치가 94mm에 도달한 것과 같은 940pa이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Yasuaki Kawai et al. "High Power Travelling Wave Type Ultrasonic Motor ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, No 5B, p. 2711-2714, May 1995.
- [2] Timothy. S. Glenn and Nesbitt. W. Haghlood "Development of a two sided piezoelectric rotary ultrasonic motor for high torque", SPIE Vol. 3041, p. 326-338, 1997.
- [3] K. Uchino, Ferroelectric Devices, New York, Marcel Dekker ; 2000 : 197
- [4] Peter Woias, Micropumps-past, progress and future prospects. Sensor and Actuators B 105:2005:28-38
- [5] S. Ueha , Y. Tomikawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, Ultrasonic Motors-Theory and Applications: Oxford, Clarendon 1993: 100
- [6] Y.Chen, Q.L.Liu, and T. Y. Zhou, Ultrasonics, 45, 120 (2006)
- [7] G. H. Haertling, J. Am. Ceram. Soc., 4(82), 797 - 818(1999)