

막대형 밸브리스 압전펌프의 변위 분포 해석

임종남, 오진현, 임기조, 김현후*

충북대학교, 두원공과대학*

Vibration analysis of valveless Type Piezoelectric micro-pump

Jong-Nam Lim, Jin-Heon Oh, Kee-Joe Lim, Hyun-Hoo Kim*

ChungBuk Univ, DooWon Technical College*

Abstract - Using the extensional vibration mode of PZT bar, a piezopump is successfully made. The traveling extensional wave along the circumference of the bar is obtained by dividing standing waves which are temporally and spatially phase shifted by 90 degrees from each other. The proposed piezopump is consisted of coaxial cylindrical shells that are bonded piezoelectric ceramic bar.

1. 서 론

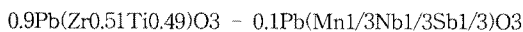
압전 펌프는 몇몇 다양한 적용을 위해 연구되어져왔다. 압전 펌프 체계는 전기를 입력 에너지로 하여 변위 또는 발생력을 출력하는 전기식 펌프이다. 즉, 압전 액츄에이터를 구성하는 압전 세라믹스에 전계를 인가하면 늘어나거나 수축하는 성질을 이용하는 것을 액츄에이터라고 한다. 압전 액츄에이터의 특징으로는 미소 변위의 고 정밀 제어가 가능하고, 발생력이 크며, 응답성이 빠르다. 그리고 에너지 효율이 높고 전자적인 간섭이 없으며, 형태의 영양이 적다. 펌프의 대부분은 액츄에이터 구동을 위한 입출력의 On/Off 역할을 맡는 체크밸브를 이용하여 구동된다. 그러나 밸브는 마모나 파괴와 같은 몇몇 문제를 가지고 있으며, 또한 유량의 흐름 방향을 단순한 기구로 자유롭게 제어할 수 있는 밸브는 찾아보기 어렵다. 이러한 중요한 문제들을 제거하기 위하여, valveless 펌프를 위한 다수의 고려사항이다. valveless 펌프의 한 종류는 직렬의 액츄에이터로서 다이어프램을 가진 2개의 펌프 챔버를 이용하는 연동 펌프이다. 이 연동 펌프는 빠르기도 하고 느린 작동 메카니즘을 적용하였고, 압전, 압축 공기를 넣은, 열 압축 공기를 넣은 등의 다른 구동 효과들도 사용된다. 정현파 또는 사각파형을 이용한 압전세라믹스 액츄에이터 구동부를 제작하고, 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

마이크로 펌프는 그 유동 형태에 따라 크게 맥동식 유동과 연속식 유동으로 나뉠 수 있고, 구동 형태에 따라서는 박막 구동식, 압전소자에 전기를 직접 공급하여 움직임을 얻어내는 압전식 등으로 다시 분류될 수 있다. 본 실험에서는 빠른 응답성과 높은 구동력을 얻을 수 있는 압전 세라믹을 이용하여 압전식을 구동하는 방식을 택하였다.

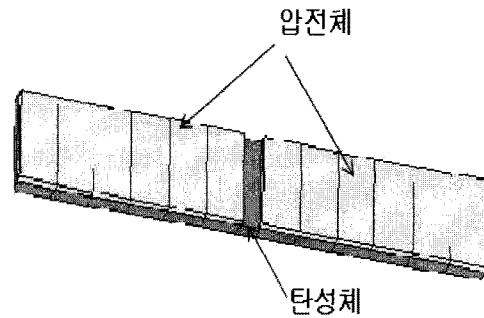
설계된 압전 펌프의 형상이 그림 1에 나타나 있다. 탄성체의 재료는 인첸동을 직사각형으로 설계하고, 압전소자는 PZT-PMNS 세라믹을 사용하였다. 압전세라믹의 조성비는 다음과 같으며, 재료정수를 <표 1>에 나타내었다.



압전소자는 작은 직사각형 모양으로 펌프의 입,출구가 있는 옆부분에 각각 1개씩 부착되는데 6파장의 진행파를 얻을 수 있도록 12개의 세그먼트로 나누어 1/2파장마다 방향을 반전시켜 분극 하였으며, 압전소자는 1/4파장의 공간적 위상차를 두고 탄성체에 부착되어 있다.

<표 1> PZT-PMNS 세라믹의 압전 및 유전특성

Characteristics	Units	Value
Electro-Mechanical coupling factor, k_p	%	58
Mechanical quality factor, Q_m		1500
Piezoelectric constant d_{31} d_{33}	pC/N	340
	pC/N	-120
Frequency constant N_p	Hz · m	2100
Relative dielectric constant		1300



<그림 1> 진동자 설계

그림 1에서 보여진 것처럼 압전 액츄에이터에다 압전 판을 2장 붙여 압전 횡 효과를 이용해, 한 장은 신장되고, 또 다른 한 장은 압축되어 굴곡 변위를 얻는 방법이다. 하나의 탄성체에 두 개의 압전소자를 공간적 위상차를 두고 붙여본 결과 하나의 압전 소자를 사용할 때보다 진동의 전달효율이 개선되어 여진되는 진동의 진폭을 증가시킬 수 있다. 좌우의 압전 소자 중 한 쪽 면에는 $\sin \omega t$, 다른 한 쪽 면에는 $\cos \omega t$ 의 교류신호를 인가하면 각각의 압전소자는 정재파를 발생하게 되고 양면의 시간적, 공간적으로 직교관계를 가지는 두 정재파가 합성되어 탄성체에는 진행파가 형성된다.

2.2 진동자 진동의 수치적 해석 과정

고정자의 동작특성을 공진주파수 분석과정(Modal Analysis)과 진동 정상상태 해석(Harmonic Analysis)을 이용하여 수치적으로 해석하였다. 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. 그리고 주파수에 대한 영향은 더 많은 연구가 이루어져야 되겠지만, 주파수가 증가할수록 관성의 효과가 증가하여 최대 유량이 증가한다고 할 수 있다.

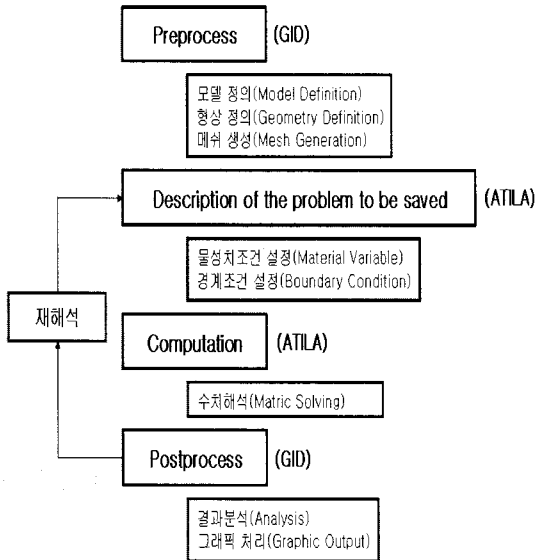
여기에는 유한요소해석 프로그램 ATILA-GID를 사용하였다. 해석하고자 하는 고정자의 형상에 있어서 Modal Analysis를 통하여 6차의 진동 차수의 공진주파수를 구한 후 그 주파수의 교류전압을 인가하고 Harmonic Analysis를 수행하여 고정자의 변위분포를 그래프로 구현하였다.

3. 결 론

막대형 valveless 펌프의 고정자의 형상을 설계하고 이를 유한요소법에 의하여 해석하여 진동시의 공진 주파수 계산 및 변위 분포의 구현을 수행하였다. 일정한 진동 주파수에 대해 진폭을 증가시키면 일정한 진폭 이상에서는 더 이상 유량이 증가하지 않는 것을 확인 하였다. 압전 세라믹을 진동자 표면을 따라 탄성 진행파가 유도되도록 탄성체 표면에 접착되었다. 연동을 옮기는 활동은 어떤 실제적으로 이동 부분도와 연관되지 않으며 양수한 액체 또는 가스는 진행 파동 방향으로 흐르고 있다. 이 압전 펌프의 가장 중대한 특징은 밸브를 필요로 하지 않는다는 것인데 그 이유는 짜내기 효과로서 중요한 역할을 할 수 있는 공간에 대해 이 압전 펌프의 연동 활동이 공급되기 때문이다.

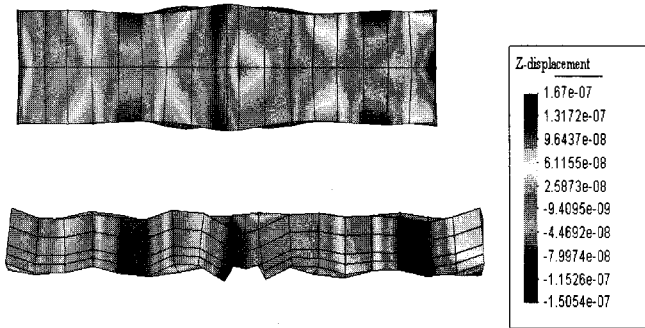
[참 고 문 헌]

- [1] Timothy. S. Glenn and Nesbitt. W. Haghood "Development of a two sided piezoelectric rotary ultrasonic motor for high torque", SPIE Vol. 3041, p. 326-338, 1997.
- [2] R. Inaba et al. "Piezoelectric ultrasonic motor", IEEE Ultrasonic Symposium, p. 747-756, 1987
- [3] R. Inaba et al. "Piezoelectric ultrasonic motor", IEEE Ultrasonic Symposium, p. 747-756, 1987
- [4] A Frangi et al. "Finite element modelling of a rotating piezoelectirc ultrasonic motor", Ultrasonics, vol. 43, Issue 9, p. 747-755, 2005
- [5] Y. Chen et al. "A traveling wave ultrasonic motor of high torque", Ultrasonics, vol. 44 Supplement 1, p. e581-e584, 2006

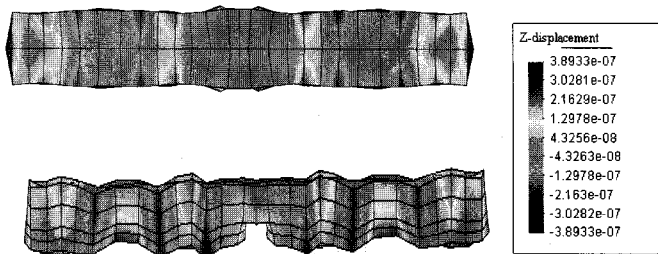


<그림 2> 모델 해석 순서

Modal Analysis에 의한 해석결과 B16 공진모드에서 72.4kHz의 공진주파수가 계산되었으며 이 동작주파수에서 Harmonic Analysis를 실행한 결과 고정자의 변위분포가 그림 3과 같은 형태로 나타났다. 압전체 경계방향으로 6차의 진동모드에 의한 변위가 나타나고 있음을 확인하였다.



(a) 4mode, 100V



(b) 6mode, 200V

<그림 3> 유한요소해석 프로그램(ATILA-GID)에 의해 해석된 변위분포

안쪽에서 나타나는 변위분포는 압전소자의 진동에 의한 변위이고 가장자리 부분의 변위분포가 된다. 그림에서 보는 바와 같이 압전소자와 탄성체의 간에 발생하는 진동의 위상차는 180도가 된다. 압전체 와 압전체 사이 부근의 변위를 살펴보면 내경과 외경방향으로 전체에 나타나는 것이 아니라 외곽 부근의 일부에서만 변위가 집중되고 바깥쪽으로 갈수록 진폭이 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.