

모바일 연료전지 BOP를 위한 Synthetic-Jet 기반 마이크로 에어펌프 개발

김광수¹, 최종필¹, 구보성², 장재혁², 서영호³, 김병희^{#3}

Development of Synthetic-Jet based micro air pump for BOP system of mobile fuel cell

K. S. Kim, J. P. Choi, B. S. Koo, J. H. Jang, Y. H. Seo, B. H. Kim

Abstract

This paper presents a micro air pump actuated by PZT actuator (synthetic jet actuator) for air supply for micro fuel cells. The synthetic jet actuators are usually created by a traditional PZT-driven actuator, which consists of a small cylindrical cavity, in/outlet channel and PZT diaphragms. To design the micro air pump, a numerical analysis has been conducted for flow characteristics with respect to various geometries. A prototype of the micro air pump, with a size of mm × mm × mm, was fabricated by PDMS replication process and was conducted performance test. To control the PZT actuator, we used the SP4423 micro chips that can be amplified input voltage to reduce the controller size and the power consumption. With a voltage of 3V at 100Hz, the air pump's pumping pressure is 600pa and its power consumption is only 0.1mW.

Key Words : Fuel cell, Micro pump, PZT 박막, PDMS Replication

1. 서론

현재 노트북, 휴대폰, PDA, PMP 등의 모바일 디바이스들은 복수의 기능을 하나의 단말에서 구현하는 컨버전스 디바이스의 형태로 진화하고 있다. 디지털 카메라, 음악재생, 동영상재생 등은 아주 일반화 되어 있으며 DMB, 네비게이션, 무선인터넷 등 기능집적도는 빠르게 증가하고 있다. 이러한 다양한 기능을 갖춘 모바일 디바이스들은 그 기능에 비례하여 더욱 높은 에너지밀도를 갖는 전원장치를 필요로 하고 있고, 현재의 2차전지는 전원수요를 따라가지 못하고 있으며, 고용량화에 따른 여러 가지 부작용을 낳고 있다 [1-4]. 2차전지를 대체할 새로운 대안으로 가장 각광받고 있는 연료전지는 화학에너지를 전기에너지로 전환하는 에너지 전환장치로서 전환효율이 매우 높고 친환경적이며 다양한 연료의 사용이 가능하다

는 장점이 있다. 특히 고분자 전해질형 연료전지의 경우 작동온도가 낮고, 출력밀도가 높으며, 구조가 단순하여 소형 이동전원으로 제작이 가능하다는 특징을 가지고 있다 [5].

고분자 전해질형 연료전지는 환원제로 이용되는 산소 혹은 공기의 공급방식에 따라 Active type과 Passive type으로 나눌 수 있으며 대기중의 공기를 자연대류 방식으로 공급하는 Passive type의 경우 강제로 공기를 공급하는 Active type에 비하여 성능이 떨어진다. 반면 Active type의 경우 Passive type에 비해 성능이 우수하나 별도의 공기공급장치가 필요하며 이에 따른 전력손실이 발생할 수 있는 단점을 지니고 있다.

본 연구는 이동전원으로 사용될 소형 연료전지의 성능을 향상시키기 위한 Synthetic-Jet 기반의 마이크로 에어펌프 개발을 목표로, 액추에이터로 이용될 PZT 박막의 변위특성 분석 및 전산유체해

1. 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 대학원
2. (주)삼성전기 중앙연구소
3. 강원대학교 기계메카트로닉스공학부
교신저자: E-mail : kbh@kangwon.ac.kr

석을 이용한 유동특성 분석, PDMS 몰딩을 이용한 마이크로 에어펌프 제작을 수행하였다.

2. 전산 해석

2.1 PZT 박막의 변위 특성 분석

본 연구에서 제작할 마이크로 에어펌프의 액추에이터로 사용된 PZT 박막은 두께 $100\mu\text{m}$, 12mm 의 지름을 갖는 SUS 및 Brass 금속박판 위에 두께 $100\mu\text{m}$ 의 PZT 세라믹을 접합한 부저용 압전소자를 사용하였다. Fig.1 은 전산유체해석 시 경계조건으로 부여할 PZT 박막의 변위를 측정하기 위한 장치를 나타내고 있다.

함수발생기로 사인파 및 사각파의 두 가지 입력 신호를 만들고, 고전압 앰프를 이용하여 신호를 증폭하여 에 인가하였으며, 이에 따른 변위를 레이저간섭계를 이용하여 측정하였다.

측정 결과 Brass 금속박판을 갖는 PZT 박막의 중심부에서 $\pm 15\mu\text{m}$ 정도의 변형이 발생하며 입력주파수가 높을 수록, 입력전압이 낮을 수록 작은 변형이 발생함을 알 수 있었다. 또한 Piezo material 이 접합되어 있는 금속판의 경우 SUS와 황동 두 재질에 대해서 실험한 결과 황동재질이 변위확보에 유리한 것으로 보여주고 있다.

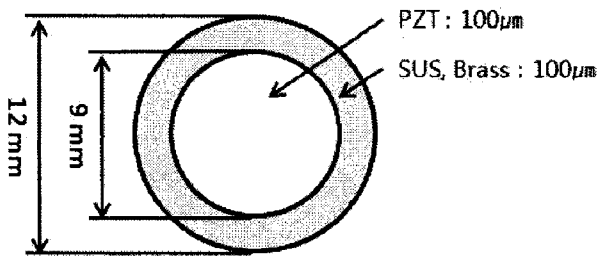


Fig. 1 Piezoelectric disk geometry

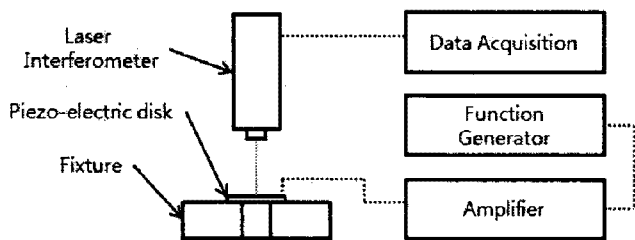


Fig. 2 Schematic of the testing apparatus for displacement measuring

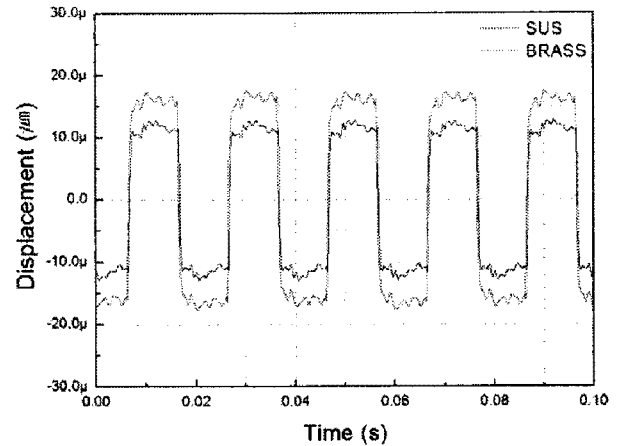


Fig. 3 Changes of displacement with

2.2 전산 유체 해석 (CFD)

Synthetic-Jet을 기반으로 한 마이크로 에어펌프를 모사하기 위해 상용 전산유체해석 프로그램인 CFD-ACE+(2007.2)를 이용하여 모델링하였다.

PZT 박막에 의한 박막의 변위발생을 시뮬레이션에 고려하기 위해 박막과 유동장과의 경계면에 실제 실험에서 사용한 구형과 대신 사인파 형태의 격자변형 조건을 주었다. 이는 격자변형 조건으로 구형과 조건을 부여할 경우 극히 짧은 시간 동안 큰 격자변형으로 인해 해의 수렴성에 영향을 끼치기 때문이다. 본 시뮬레이션에서는 유한체적법을 사용하여, 질량 및 운동량 보존식에 대한 비정상상태 수치해석을 수행하였고, 격자변형은 경계영역 노드의 움직임에 의해 내부 격자변형을 결정하는 Transfinite Interpolation Scheme 을 이용하였다. Fig. 4 는 해석에 사용한 마이크로 에어펌프 모델의 격자를 보여주고 있으며, Table 1, 2 는 해석조건과 형상변수의 수치를 보여주고 있다. 또한 계산에 사용한 지배방정식으로 연속방정식 및 Navier-stokes식 등을 사용하였다.

Table 1 Analysis conditions

Condition	Symbol	Value
Air density	ρ	1.1614 kg/m^3
Air viscosity	μ	$1.846\text{e-}5 \text{ kg/m-s}$
Inlet,outlet Pressure	P	100000N/m^2
Membrane Amplitude	A	$30\mu\text{m}$
Oscillation Freq.	f	100Hz

Table 2 Analysis conditions

Condition	Symbol	Value
PZT disk diameter	D	9
Chamber thickness	T	1, 2, 3
Diffuser length	dh	1
Diffuser Inlet width	d1	0.1, 0.2, 0.3
Diffuser Outlet width	d2	0.3, 0.4, 0.5
Inlet width	d3	0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4
Block width	d4	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
Outlet width	d5	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2

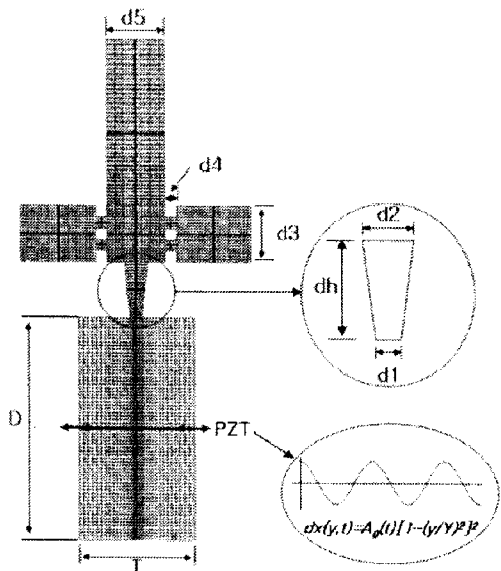


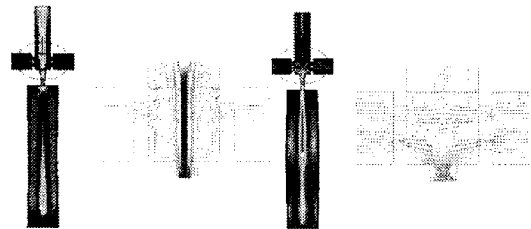
Fig. 4 2D-Computational domain

2.3 전산 해석 결과

Fig. 5 는 기준모델 (Table 2의 볼드체)의 공급 및 펌핑모드시 속도장의 벡터맵을 나타내고 있다. PZT 박막에 의해 압축된 공기는 디퓨저 입구를 통과하며 출구방향으로 속도가 급격히 증가하게 된다. 이러한 공기 유동의 관성으로 인하여 공급 모드시에는 출구로부터 역류되는 공기흐름이 차단되고, 대부분의 공기는 입구로 부터 공급된다. 따라서 에어펌프 내의 공기 유동은 PZT 박막의 구동에 의해 출구방향으로 순 공기의 유동을 발생하게 된다 [6].

Fig. 6 은 펌프모델의 형상치수를 매개변수로 해석한 결과를 보여주고 있다. 0~1초간 출구방향으로 토출된 공기의 총량을 나타내며, 기본모델과 비교 결과를 통하여 각 형상변수들이 펌프 특성

에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 에어 펌프 형상에 있어 디퓨저 부분의 d1, d2가 에어 펌프의 성능에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 입구 부분의 형상 변화에 의해 마이크로 에어펌프의 유량에 급격한 변화가 일어남을 확인할 수 있다.



(a) Pumping mode (b) Supply mode

Fig. 5 Velocity vector maps

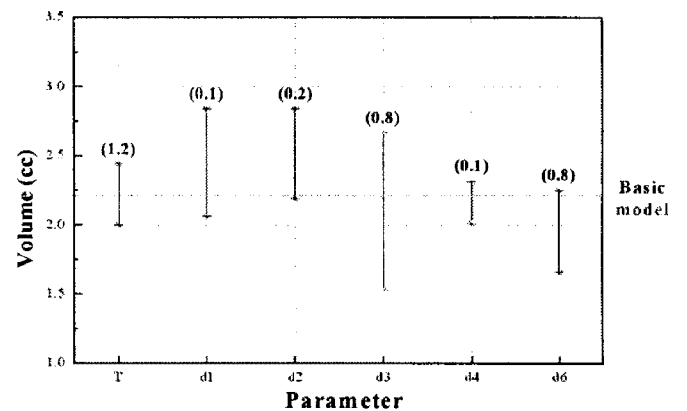


Fig.6 Pumping volume for different cases in 0 to 1 second

3. 마이크로 에어펌프 제작 및 실험

전산유체해석을 통해 얻은 데이터를 기반으로 마이크로 에어펌프를 제작하였다. 본 논문의 마이크로 에어펌프는 PDMS (Polydimethylsiloxane)를 이용하여 제작하였으며 Fig. 7은 PDMS를 이용한 마이크로 에어펌프의 제작 공정을 나타낸다.

우선 PDMS 중간판을 제작하기 위해 0.5mm 실리콘웨이퍼에 DRIE공정을 이용하여 Si 마스터를 제작하고, Si master는 PDMS와의 원활한 이형을 위해 실렌(Silane)처리를 하였다. PDMS 폴리머와 경화제의 비율을 10:1 로 혼합하여 준비된 Si 마스터 위에 도포한 후, 진공 챔버를 이용하여 혼합과

정에서 발생한 기포를 제거하고 80°C에서 3시간 가량 경화시켜 PDMS 마스터를 제작하였다. 이렇게 제작된 PDMS 마스터에 PDMS 패턴과의 원활한 이형을 위해 플라즈마 처리후, 혼합된 PDMS를 도포, 경화 시켜 PDMS 패턴을 완성하였다. 마지막으로 완성된 PDMS 패턴과 PZT 박막을 에폭시 및 접합제를 사용하여 본딩을 수행하였으며, PZT 박막을 챔버 양면에 접합한 듀얼타입과 하나의 PZT 박막만을 접합한 싱글타입의 두 가지 형태의 펌프를 제작하였다. Fig. 8은 완성된 마이크로 에어 펌프를 보여주고 있다.

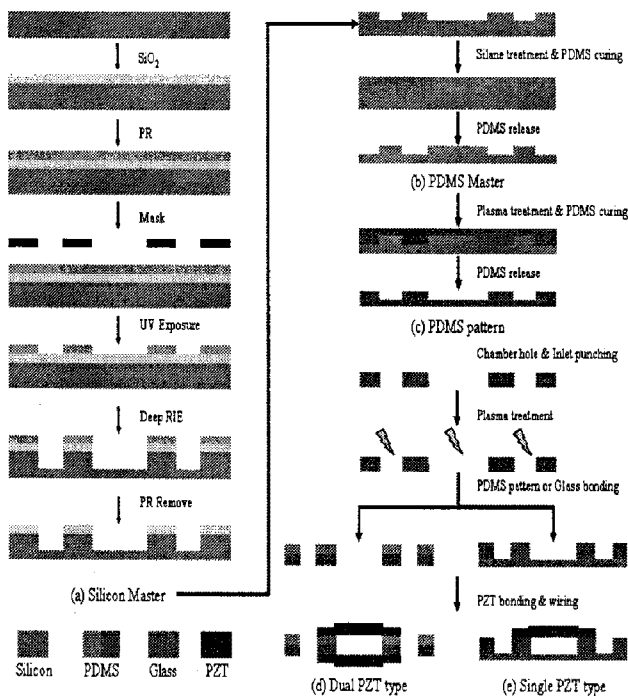
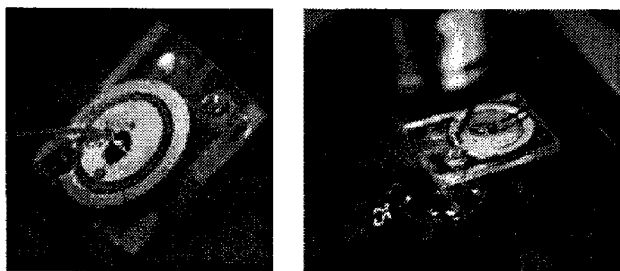
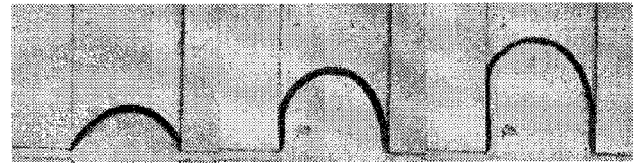


Fig. 7 Fabrication process of micro air pump



(a) Dual type (b) Single type

Fig. 8 Photograph of fabricated micro air pump



(a) 0 sec (b) 10 sec (c) 20 sec

Fig. 9 Pumping test of micro air pump

Fig. 9은 제작된 마이크로 에어펌프의 작동에 의한 유체의 유동을 보여주고 있다. 에어펌프의 펌핑압력을 측정하기 위해 출구 측 채널에 메탄올을 채우고 에어펌프 구동에 따른 유동특성을 관찰하였다. 에어펌프에 의해 1mm 채널내의 메탄올을 펌핑하기 위해서는 약 135Pa 이상의 펌핑압력이 요구된다. 실험에서는 작동유체가 물(435Pa)인 경우에도 유동이 발생함을 확인하였다. 이는 제작된 에어펌프의 경우 135Pa 이상의 배압하에서도 펌핑이 가능하다고 할 수 있다. 실험에 사용한 에어펌프는 SP4423 Electroluminescent Lamp Driver를 사용하여 3V입력, 100Hz로 구동시켰으며, PZT 박막의 최대변위는 약 10 μ m정도로 측정되었다. 특히 이번 실험에서 사용한 SP4423 EL Lamp Driver의 경우 저전압, 저전류 입력으로 고전압의 출력을 낼 수 있어 PZT 박막의 고전압 증폭기로 사용하였을 경우 소비전력을 대단히 낮출수 있는 장점을 가지고 있다.

4. 결론

본 연구를 통해 전산유체해석을 이용하여 소형 연료전지에 공기를 공급하는 Synthetic-Jet 기반의 마이크로 에어펌프에 대한 설계변수를 도출하였으며, 펌프의 성능에 가장 큰 영향을 주는 설계변수는 디퓨저 부분의 형상 및 입구 형상으로 확인하였다. 또한 PDMS를 이용하여 제작된 마이크로 에어펌프의 경우 3V, 100Hz 입력으로 약 400Pa 정도의 펌핑 압력이 발생함을 확인하였다. 그러나 PDMS를 이용할 경우 탄성에 의한 변형으로 인해 형상정밀도가 떨어짐을 확인하였다. 추후 다른 재질을 이용하여 펌핑압력, 유량 등에 관한 정확한 실험이 추가적으로 수행해야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 성장동력,중기거점/차세대 신기술개발사업중 “고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품사업”으로 수행된 “마이크로 모바일 발전장치 개발”의 세부과제로 수행중이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 “2단계 BK21사업”의 지원을 받습니다.

참고문헌

- [1] H. Voss, J. Huff, 1997, Portable fuel cell power generator, *Journal of power source*, Vol.65, pp. 155-158.
- [2] P.B. Koeneman, I.J. Busch-Vishniae, K.L. Wood, 1997 “Feasibility of micro power supplies for MEMS”, *J. Microelectromech. Syst.* vol.6 (4), pp.355-362.
- [3] S.C. Kelley, G.A. Deluga, W.H. Smyrl, 2000, “A miniature methanol/air polymer electrolyte fuel cell”, *Electrochem. Solid-State Lett.* vol.3, pp.407-409.
- [4] H.J. Maynard, J.P. Meyers, 2003, “Miniature fuel cells for portable power : design considerations and challenges”, *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol.20, pp.1287-1287.
- [5] L. Wang, A. Husar, T.Zhou, H. Liu, 2003, A parametric study of PEM fuel cell performance, *Int. Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 28, pp. 1263-1272.
- [6] X. Yang, Z. Zhou, H. Cho, X. Lou, 2006, Study on a PZT-actuated diaphragm pump for air supply for micro fuel cells, *Sensors and Actuators A*, Vol. 130-131, pp. 531-536.