

소형 연료전지용 마이크로 에어펌프에 관한 연구

Study on the Micro Air Pump for Micro Fuel Cells

*김광수¹, 최종필¹, 정창렬², 장재혁², #김병희³, 전병희⁴

*K. S. Kim¹, J. P. Choi¹, C. R. Jung², J. H. Jang², #B. H. Kim(kbh@kangwon.ac.kr)³, B. H. Jeon⁴

¹강원대학교 기계메카트로닉스공학과, ²삼성전기(주) 중앙연구소

³강원대학교 기계메카트로닉스공학부, ⁴인덕대학교 컴퓨터응용설계전공

Key words : Fuel cell, Micro pump, Piezo actuator, Computational fluid dynamics

1. 서론

최근 들어 노트북, PDA, 휴대폰 등의 모바일 디바이스들의 디지털화를 기반으로 설치용에서 벗어나 휴대용으로써 점차적으로 생산과 수요가 증가되어 가고 있으며, 그 기능과 성능 또한 장시간을 요구되어지면서 현재 2차전지의 용량의 한계성을 드러내고 있다. 따라서 더 큰 에너지 밀도의 새로운 배터리가 필요하게 되었으며 그 대안으로써 소형 연료전지가 등장하게 되었다[1]. 연료전지는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 에너지 변환장치로 효율이 높고 친환경적이며, 소음이 적고, 다양한 연료를 사용할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

특히 PMFC의 경우 출력 밀도가 높고 작동온도가 낮으며, 단순한 구조를 지니기 때문에 소형으로 제작할 수 있다는 특징을 지니고 있다[2-3]. PEMFC는 연료극에 수소를 공급하고, 공기극에 공기를 공급함으로써 작동되어지며, 공기공급 방식에 따라 연료전지의 성능에 커다란 영향을 미치게 된다.

본 논문은 소형 연료전지에 강제 공기 공급 방식을 적용하기 위하여, synthetic jet 기반의 마이크로 에어펌프 개발을 목표로 연구를 수행하였다. 이를 위하여 전산유체해석을 사용하여 형상 변수에 따른 유동특성 분석을 수행하였으며, 전산해석 데이터를 기반으로 PDMS를 이용한 마이크로 에어펌프 제작을 수행하였다[4].

2. 모델링 및 해석

SJB 마이크로 에어펌프의 유동 특성 및 최적의 디자인 형상 데이터를 얻기 위하여 CFD 해석을 수행하였다. 유동해석은 유체 유동뿐만 아니라 PZT의 변위를 연동하여 수행하였으며, 에어펌프의 형상 변화에 따른 유동특성을 분석을 위하여, 연속방정식 및 Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며, PZT의 거동에 따른 유동특성 계산을 위하여 그리드변형을 사용하였다.

Fig. 1은 해석에 사용된 2D 해석 도메인 및 PZT 변형을 위한 경계조건을 보여주고 있다. 각각의 형상의 변화에 따른 에어펌프의 성능 특성을 비교/분석하였으며, 이를 에어펌프 설계에 활용하였다.

Table 1은 해석에 사용된 기본 모델(볼드체) 및 형상 변수들의 치수를 보여주고 있다.

Fig. 2는 기본모델의 공급모드 및 펌핑모드 시, 속도장의 벡터 맵을 보여주고 있다. PZT에 의해 압축된 공기는 디퓨저 입구를 통과하며 출구 방향으로 속도가 급격히 증가하게 된다. 이러한 공기 유동의 관성으로 인하여 공급모드 시에는 출구 쪽으로부터 역류되는 공기흐름이 차단되고, 대부분의 공기는 입구로 공급되어진다. 따라서 에어펌프 내의 공기 유동은 PZT의 구동에 의해 출구 방향으로 순 공기의 유동을 발생하게 된다[5].

Fig. 3은 펌프모델의 형상치수를 매개변수로 해석한 결과를 보여주고 있다. 0~1초간 출구방향으로 토출된 공기의 총량을 나타내며, 기본모델과 비교결과를 통하여 각 형상변수들이 펌프 특성에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 에어펌프 형상에 있어 디퓨저 부분의 d1, d2가 에어펌프의 성능에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 입구 부분의 형상 변화에 의해 마이크로 에어펌프의 유량에 급격한 변화가 일어남을 확인할 수 있다.

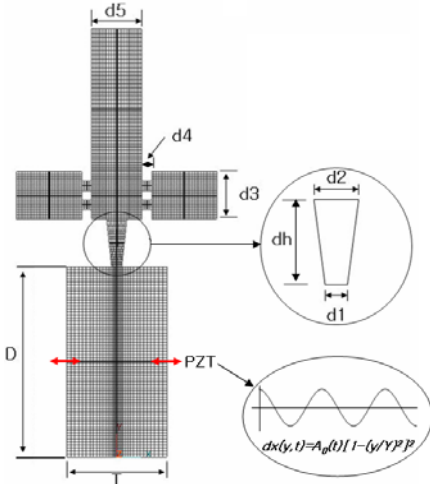


Fig. 1 Schematic diagram and 2D-domain of air pump.

Table 1 Geometrical parameters of 2-D domain

Parameter	Symbol	Value (mm)
Piezoelectric disc diameter	D	
Chamber thickness	T	1, 2, 3
Diffuser length	dh	1
Diffuser throat (in)width	d1	0.1, .2 , 0.3
Diffuser throat (out) width	d2	0.3, .4 , 0.5
Inlet width	d3	0.6, 0.8, 1 , 1.2, 1.4
Block width	d4	0.1, .2 , 0.3, 0.4, 0.5
Outlet width	d5	0.4, 0.6, 0.8, 1 , 1.2

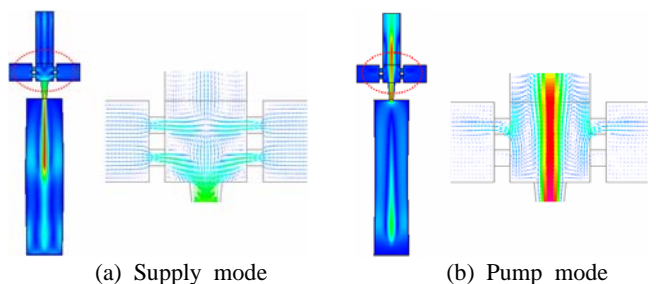


Fig. 2 Velocity vector maps of micro air pump at supply and pump mode.

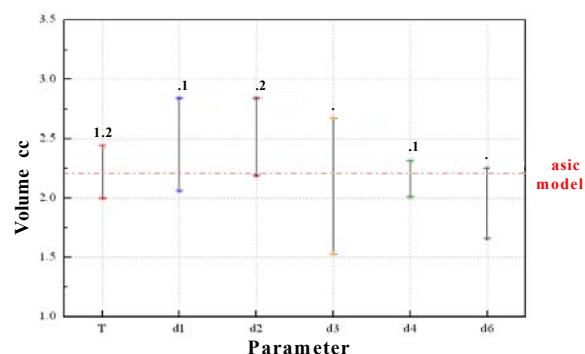


Fig. 3 Pumping volume for different cases in 0 to 1 second.

3. 마이크로 에어펌프 제작 및 실험

CFD 해석을 통해 얻은 설계 데이터를 바탕으로 마이크로 에어 펌프의 제작을 수행하였다. 본 논문의 마이크로 에어펌프는 제작 특성 및 시인성이 우수한 PDMS를 사용하여 제작하였다.

Fig. 4는 PDMS 기반의 마이크로 에어펌프 제작 공정을 보여주고 있다. 우선, PDMS 중간판을 제작하기 위하여 0.5mm 실리콘 웨이퍼에 DRIE 공정을 통하여 실리콘 마스터를 제작한다. 제작된 실리콘 마스터는 PDMS와의 원활한 이형을 위하여 실렌(silane) 처리를 거치게 되고, 진공챔버에서 기포가 완전히 제거된 PDMS를 실리콘 마스터에 부어 80°C에서 3시간 정도 경화를 수행한다. 이때 PDMS 폴리머와 경화제의 비율을 10:1로 조절하였다. 경화가 끝나 실리콘 마스터에서 분리된 PDMS는 패턴 제작을 위한 PDMS 마스터로 사용되어진다.

PDMS 마스터에 원활한 이형을 위하여 플라즈마 처리를 한 후, 준비된 PDMS를 부어 경화시킴으로써 패턴을 완성한다. 완성된 패턴은 펀치를 이용하여 중간챔버와 입구의 펀칭을 수행한 후 에어펌프 제작을 위한 본딩을 수행하게 된다. PDMS와 PDMS 혹은 PDMS와 유리와의 본딩을 위하여 플라즈마 처리가 선행되면, 85°C에서 2시간 유지함으로써 본딩을 수행하게 된다. 마지막으로 에폭시 및 접합제를 사용하여 패턴과 PZT를 접합하게 된다. 본 논문의 에어펌프는 PZT 하나를 사용한 싱글타입과 두 개를 사용한 듀얼 타입으로 제작을 수행하였다. Fig. 5에 제작된 마이크로 에어펌프의 형상을 보여주고 있다.

Fig. 6은 제작된 마이크로 에어펌프의 구동에 의한 유체의 유동을 보여주고 있다. 에어펌프의 펌핑 압력을 측정하기 위하여 출구 측 채널에 메탄올을 채우고 에어펌프 구동에 따른 유동 특성을 현미경으로 관찰하였다. 에어펌프에 의해 1mm 채널 내의 메탄올을 펌핑하기 위해서는 메탄올의 표면장력에 의해 발생된 채널 내의 내부압력인 135Pa를 극복하여야한다. 따라서 제작된 에어펌프의 경우 135Pa 이상의 펌핑 압력을 가지고 있으며, 메탄올 대신 물(438pa)을 사용하였을 경우도 유동이 발생함을 확인하였다. 본 실험은 SP4423칩을 사용하여 3V, 100Hz에서 수행되었으며, 이때 발생된 PZT의 최대변위는 대략 10 μ m였다.

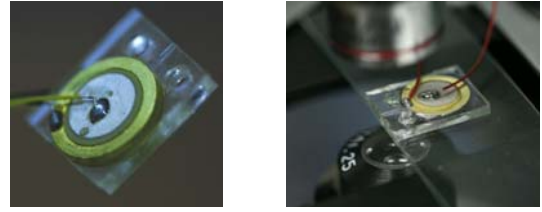


Fig. 5 Photograph of fabricated micro air pump.

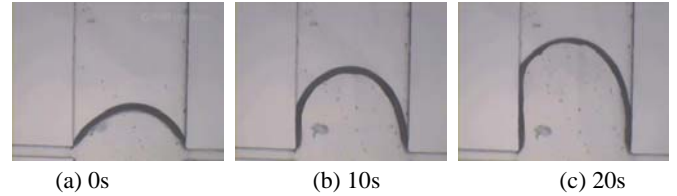


Fig. 4 Pumping test of micro air pump.

4. 결론

본 연구를 통하여 소형 연료전지에 공기를 공급하는 Synthetic jet 기반의 마이크로 공기펌프에 대한 설계변수를 도출하였고, 그에 따른 전산유체해석을 수행하였다. 펌프성능에 가장 큰 영향을 주는 형상변수는 디퓨저 부분의 형상 및 입구 형상으로 나타났으며, 각각의 형상들에 대한 최적형상을 도출하였다. 이러한 설계 데이터를 통하여 PDMS 기반의 마이크로 에어펌프의 제작 및 실험을 수행하여, 3V, 100Hz에서 400Pa 이상의 펌핑 압력이 발생함을 확인하였다. 그러나 PDMS의 경우 복제에 의한 형상 정밀도가 떨어지며, 뛰어난 탄성력 때문에 너무 쉽게 변형이 생겨 정확한 패턴이 구현에 어려움이 있음을 확인하였다.

추후 다른 재질에 의한 구현 및 펌핑 압력, 유량 등에 관한 정확한 실험이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료되어진다.

후기

본 연구는 산업자원부 성장동력, 중기거점/차세대신기술개발 사업중 “고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품사업”의 지원으로 수행된 “마이크로 모바일 발전 기계장치 개발”의 세부과제로 수행 중이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 “2단계 BK21사업”의 지원비를 받습니다.

참고문헌

1. H. Voss and J. Huff, "Portable fuel cell power generator", Journal of power source, Vol. 65, pp.155-158, 1997.
2. L.Wang, A. Husar, T.Zhou, H. Liu, "A parametric study of PEM fuel cell performance", Int. Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28, pp. 1263-1272, 2003.
3. P. T. Nguyen, T. Berning, N. Djilali, "Computational model of a PEM fuel cell with serpentine gas flow channels", Journal of power source, Vol. 130, pp. 149-157, 2004.
4. Z. Lou, Z. Xia, "A novel valve-less synthetic-jet-based micro-pump", Sensors and Actuators A, Vol. 122, pp. 131-140, 2005.
5. X. Yang, Z. Zhou, H. Cho, X. Lou, "Study on a PZT-actuated diaphragm pump for air supply for micro fuel cells.", Sensors and Actuators A, Vol. 130-131, pp. 531-536, 2006.

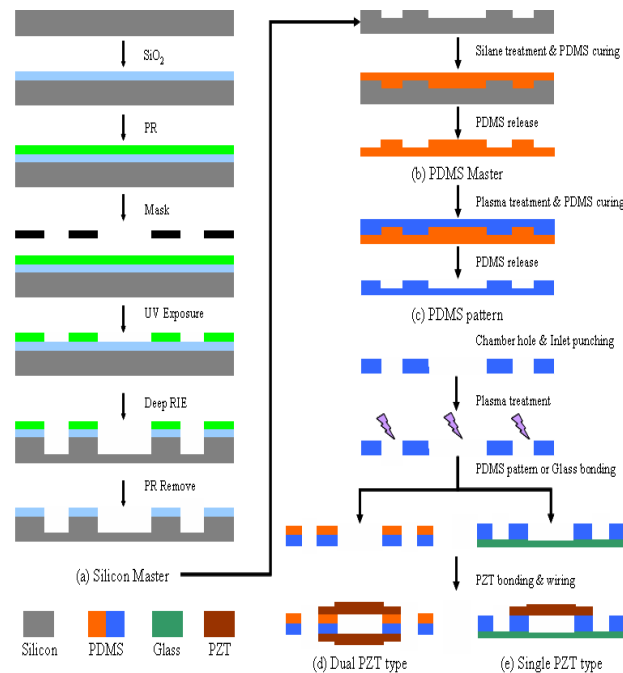


Fig. 4 Fabrication process of proposed micro air pump.