

압전 단결정 재료를 이용한 인공중이용 적층형 액츄에이터의 개발

선주현¹, 이수성¹, 노용래²

¹경북대학교 센서공학과

²경북대학교 기계공학부

Development of multilayer actuators with single crystals for implantable middle ears

J. H. Seon¹, S. S. Lee¹, and Y. R. Roh²

¹Department of Sensor Engineering, ²School of Mechanical Engineering,
Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

요 약

이식형 인공중이에 있어 그 특성은 트랜스듀서의 성능에 따라 크게 좌우된다. 따라서 성능이 우수한 인공중이 제작을 위해서는 트랜스듀서의 주파수 특성 및 구동 성능이 우수해야 하고 인체 내 이식을 위해서는 그 크기가 작아야 한다. 본 연구에서는 인공중이용 소형 트랜스듀서로서 단결정 압전 재료인 PMN-PT를 이용한 적층형 액츄에이터를 제안하였다. 또한 제안된 모델을 두께 0.2mm를 갖는 1mm×1mm 크기의 PMN-PT 시편을 14층으로 쌓아 2.8mm 두께로 제작하였고, 이때 절연층으로 P.R을 사용하였다. 제작된 트랜스듀서의 성능은 Impedance Spectrum, 구동변위 측정 및 구동력의 계산을 통해 평가하였다. 이를 통해 PMN-PT를 재료로 사용한 적층형 액츄에이터의 성능이 기존의 PZT를 재료로 사용한 Bimorph 액츄에이터보다 훨씬 뛰어날 뿐만 아니라 청각 장애가 심한 고도 난청자들에게 적용이 가능한 이식형 인공중이용 트랜스듀서로서 충분한 성능을 가지고 있음을 입증하였다.

1. 서 론

최근 의료기술의 발달로 인한 고령화 및 산업화의

영향으로 난청인구의 수가 급증하고 있으며 이들의 청력을 보조하기 위한 여러 가지 청각 보조장치들이 활발히 연구되고 있다. 이러한 청각 보조장치의 종류로는 귀 뒤 혹은 외이도에 착용하는 공기전도형 보청기와 골전도형 보청기, 인공와우 이식, 이식형 인공중이(Implantable middle ear) 등을 들 수 있다. 공기전도형 보청기는 일반적으로 가장 많이 사용되는 청각 보조장치로서 원리가 간단하고 착용이 매우 간편하다. 하지만 Acoustic feedback에 따른 howling 현상으로 인해 청각역치가 80dB를 넘는 중,고도 난청자 또는 감음신경성 난청자에게는 적용하기 어려운 문제점이 있다[1]. 골전도형 보청기는 귀 뒤 유양돌기 부분의 뼈를 진동하여 소리를 전달하는 방식으로 전력소모가 극심하여 휴대가 용이치 않고, 장시간 사용시 심한 두통과 메스꺼움을 유발하게 된다. 100dB 이상의 고도 난청자들에게는 달팽이관내의 청신경을 전기신호로 직접 자극하는 인공와우 이식이 가장 유용한 것으로 알려져 있지만, 제한된 수의 전극으로 음성을 재현하는 구조상의 특성 때문에 음성신호가 충실히 전달되지 않게 되며, 음성을 제대로 인식하기까지는 수술 후 수개월 이상의 적응훈련을 필요로 한다[2]. 따라서 중,고도 난청자 및 감음신경성 난청자를 위한 청각보조장치로서 이소골이나 내이 입구를 직접 구동하여 음성

신호를 전달하는 이식형 인공중이가 크게 주목받고 있는 추세이다[3]. 이식형 인공중이는 체외기, 체내기 및 진동 트랜스듀서로 구성된다. 체외기는 마이크로폰과 신호 처리부 및 송신코일로 이루어져 있고, 체내기는 주로 유양돌기에 설치되며 피부를 거쳐 수신코일에 유도된 신호를 복원하는 검파기와 이소골에 설치되는 진동 트랜스듀서로 구성되어있다. 진동 트랜스듀서는 최종적으로 음성신호를 진동신호로 바꾸어 내이에 전달하는 핵심적인 역할을 담당하며 트랜스듀서의 형태에 따라 Electromagnetic type과 Piezoelectric type으로 나뉠 수 있다. Electromagnetic type은 코일과 영구자석으로 된 간단한 구조를 가지며, 코일에 교류전류가 흐르게 되면 코일이 자장을 형성하고 자석이 이 자장에 의해서 힘을 받게 되어 진동하게 된다. 구조가 간단하고 주파수 특성 및 생체 적합성, 구동력 등이 우수하지만 외부 자장(magnetic field)에 의해 잡음이 발생하거나 동작에 문제가 생길 수 있으며 특히 고전류가 흐르는 모터나 송전선 부근, 자기공명 영상장치(MRI) 등에 의해 불쾌한 잡음을 발생시키거나 극단적인 경우에는 생체에 손상을 줄 수도 있다[4]. Piezoelectric type은 압전 효과를 가지는 Ceramic Bimorph 액추에이터의 끝을 이소골에 부착시키고 교류전압에 의한 Bimorph 액추에이터의 변위발생을 이용하여 진동을 발생하는 구조이다[5]. Bimorph 액추에이터는 내구성이 우수할 뿐 아니라 전압구동 방식이므로 검파 회로가 간단한 장점이 있지만 구동력이 약한 단점이 있다. 때문에 큰 구동력을 얻기 위해서는 액추에이터의 길이가 길어져야 하고 길어진 액추에이터를 인체 내부에 넣기 위해 이소골이 모두 제거되어야 한다. 따라서 수술이 힘들고 복잡해지게 되며, 장기간 사용시 생체 내 지지부분의 변형으로 신호전달 성능이 변화할 가능성 또한 지니고 있다. 따라서 기존의 PZT보다 압전 특성이 훨씬 우수한 단결정 재료인 PMN-PT를 사용하여 저전압에서도 충분한 구동력을 얻을 수 있는 소형 트랜스듀서를 제안하고자 하며, 그 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

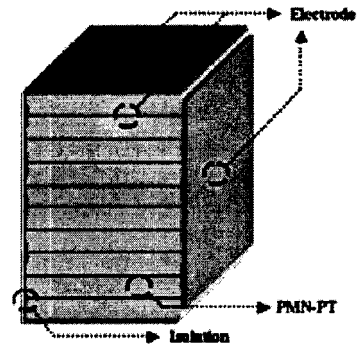


Fig. 1. Structure of PMN-PT multilayer actuator.

2. 적층형 PMN-PT 액추에이터의 제작

본 연구에서 사용된 PMN-PT 시편의 크기는 가로 세로의 길이가 1mm 인 정사각형 형태이고, 두께가 0.2mm인 시편 14층을 쌓아서 최종적으로 2.8mm 의 두께를 갖도록 제작되었다. 최종적으로 완성된 PMN-PT 적층 액추에이터의 형태를 Fig. 2, Fig 3에 나타내었다.



Fig. 2. Photograph of the PMN-PT multilayer actuator(thickness).

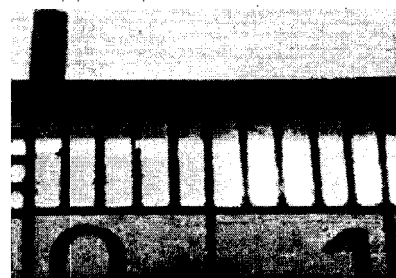


Fig. 3. Photograph of the PMN-PT multilayer actuator(width).

3. 측정 및 토론

액추에이터의 성능 평가에는 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 인공중이용 트랜스듀서로서의 적용을 고려하였기 때문에 주파수 변화에 따른 Impedance 변화와 구동변위를 측정하였다.

주파수 변화에 따른 Impedance 변화 측정에는 HP사의 Impedance Analyzer HP 4194A를 사용 하였고 100Hz 부터 1Mhz까지의 특성을 측정하여 Fig. 4에 나타내었다.

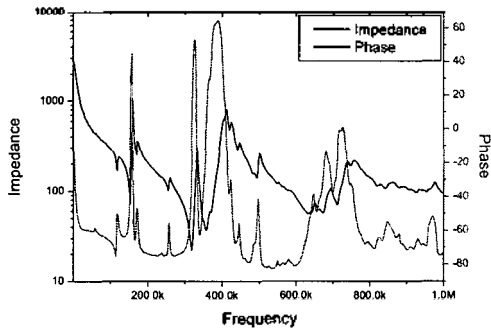


Fig. 4. Impedance spectrum of the PMN PT multilayer actuator

측정결과로부터 150Khz 와 160Khz에서 명확한 두께 모드의 공진 및 반공진 특성을 확인할 수 있으며, 이는 압전재료로 만들어진 액추에이터에서 흔히 볼 수 있는 Impedance 특성과 일치한다[6]. 따라서 본 연구에서 제작된 적층 액추에이터가 일반적인 압전 액추에이터와 같이 정상적인 동작을 하고 있음을 알 수 있다. 다음으로 액추에이터로서의 진동 특성을 평가하기 위해 Polytec 사의 Laser Interferometer OFV511, OFV5000을 이용하여 구동 변위를 측정하였다. 신뢰성 있는 측정을 위해 액추에이터를 방진 테이블에 고정하였고, Function Generator(HP, 3310B)를 이용하여 구동 신호를 인가 하였다. 측정결과 액추에이터는 가청 영역인 1.03KHz 에서 10V의 입력신호에 대해 35.9mV의 출력신호값을 보여 0.287 μ m의 구동 변위를 나타내었고, 400Hz에서 최대값인 0.342 μ m의 구동 변위를 보여주었다. 이때의 측정결과는 Fig. 5, Fig 6에 각각 나타내었다.

측정된 구동변위로부터 액추에이터의 구동력을 구하면, 가청영역인 400Hz에서 구동변위 0.342 μ m 이고 이때의 입력 전압이 10V이므로 1V당 변위는 0.034 μ m 이다. PMN-PT의 두께방향 Stiffness의 값이 $11.20 \times 10^{10} / \text{m}^2$ 이므로 $0.034 \mu\text{m} \times 11.20 \times 10^{10} / \text{m}^2 = 3,808 \text{ Nm}^{-2}$ 이 되고 단위 mm^2 당 $3,808 \times 10^{-3} \text{ N}$ 의 구동력이 발생함을 알 수 있다.

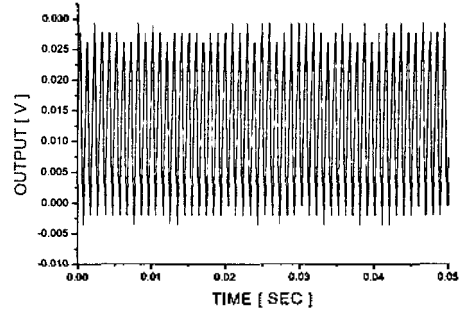


Fig. 5. Displacement of PMN PT multilayer actuator(1.03KHz).

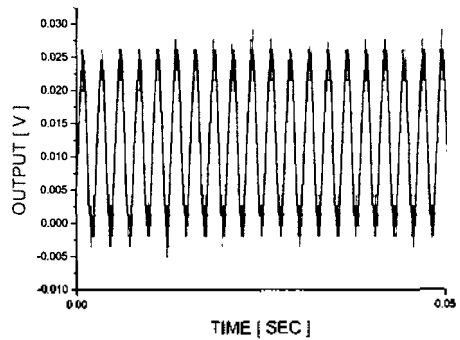


Fig. 6. Displacement of PMN PT multilayer actuator(400Hz).

이는 Yanagihara 등 연구에서 개발된 Bimorph 액추에이터의 $0.765 \times 10^{-3} \text{ N}$ 보다 큰 값이므로 제작된 액추에이터가 인공중이용 트랜스듀서로서 충분한 구동력을 가지고 있음을 의미한다 [2].

4. 결론

본 연구에서는 인공중이용 트랜스듀서로서 충분한 구동력을 갖춘 소형 적층 액추에이터의 개발을 위해 U.V Align기술을 이용한 제작 공정을 소개하였고, 이러한 공정기법을 이용하여 단결정 PMN-PT 적층 액추에이터를 제작하였다. 제작된 액추에이터는 Impedance Analyzer를 이용하여 공진, 반공진 특성 등 정상적인 압전 액추에이터로서의 특성을 확인하였고, Laser Interferometer를 이용하여 구동 변위를 측정하였다. 또한 측정된 구동변위를 이용하여 이론적인 구동력을 계산하였고, 이를 통해 PMN-PT를 이용한 적층 액추에이터의 구동 특성이 PZT Bimorph 액추에이터에 비해 우수하다는 것을 입증하였다. 따라서 인공중이용 트랜스듀서로서 PMN-PT 적층 액추에이터를 사용할 경우 기존의 Bimorph 액추에이터에 비해 수술 절차가 간편하고,

외부 환경에 의한 영향을 받지않는 우수한 성능의 청각 보조장치 개발이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] W. Ko, W. Zhu, and A. Maniglia. Engineering principles of mechanical stimulation of the middle ear, The Otolaryngologic Clinics of North America, vol.28, no 1, pp.29-41, Feb. 1995.

[2] J. Kartush and M. Tos, Electromagnetic ossicular augmentation device, The Otolaryngologic Clinics of North America, vol.28, no 1, pp.155-172, Feb. 1995.

[3] A. J. Maniglia and W. H. Ko, "Contactless semi-implantable electromagnetic middle ear device for treatment of sensorineural hearing loss." The Otolaryngologic Clinics of North America, vol.28, no 1, pp. 121- 140, 1995.

[4] Fredrickson JM, Coticchia JM, Khosla S, Ongoing investigations into an implantable electromagnetic hearing aid for moderate to severe sensorineural hearing loss. The Otolaryngologic Clinics of North America, vol.28, no 1, pp. 107-120, 1995.

[5] Yanagihara N, Hinohira Y, Gyo K, Surgical rehabilitation of deafness with partially implantable hearing aid using piezoelectric ceramic bimorph ossicular vibrator. Auris Nasus Larynx, vol.24, pp. 91-98, 1997.

[6] B. Jaffe, W. C. Cook and H. Jaffe, "Piezoelectric Ceramics," Academic: press London and New York. 1971