

압전 세라믹스를 이용한 풍차형 초음파모터의 제작과 유한요소해석

Fabrication and FEM Analysis of Wind-Mill Type Ultrasonic Motors using Piezoelectric Ceramics

김형우, 이상기, 박태곤
(Hyeoung-Woo Kim, Sang-Ki Lee, Tae-Gon Park)

Abstract

The modified Moonie(Cymbal) transducer has been investigated for an accelerometer application. This paper present a wind-mill type ultrasonic motors using ternary piezoelectric ceramics and aluminum endcaps applied by cymbal transducer. The maximum displacement was increased depend on applied voltage and layer number. The multi-layer was fabricated by tape casting using doctor-blade process. The maximum displacement of multi-layered ultrasonic motor was much higher than that of one-layered.

Key Words(중요용어) : Ultrasonic motor(초음파 모터), Wind-mill type(풍차형)

1. 서 론

1921년 프랑스의 P. Langevin이 수정진동자를 이용하여 수중음파 탐지용 압전 소자를 개발한 이래, PZT계를 이용한 압전 세라믹스는 의료 기기, 비파괴 검사, 소나(Sonar) 등의 초음파 응용에서 공장자동화, 로봇, 정밀 위치결정 등에 이용되는 액추에이터에 이르게 되었다.¹⁾²⁾

현재 산업용 액추에이터는 전자식 모터와 유공압 액추에이터가 주류를 이루나 대체로 소비전력이 크고 발열 및 전자적인 잡음이 있음은 물론 중량에 대한 파워비가 작다는 결점이 있다. 또한 전자식 모터는 그것을 구성하고 있는 자성 및 도전재료 등의

특성 제한으로 비약적인 진보는 기대할 수가 없어 새로운 원리와 방식이 도입된 액추에이터의 개발로 빠른 응답속도, 고성능, 그리고 경량화 등의 실현이 요청되고 있는 실정이다. 이러한 시기에 압전 및 전역 진동자에서 발생하는 초강력 초음파 진동에너지를 모터의 구동방식으로 채택하게 되었다.

압전체와 탄성체로 구성된 고정자와, 이동자로 되어 있는 초음파 모터는 압전체에 교류 전압이 인가되면 기계적 진동이 여진 된다. 이러한 압전체는 탄성체에 접촉되어 있어 이동자 간에 마찰력이 발생하며 이 마찰력이 충분히 크면 이동자는 이동하게 되는 것이다. 즉, 고주파 전력 공급기에서 인가된 전기적 입력이 고정자 표면에서의 질점이 타원 궤도 운동을 할 때 이에 접촉되어 있는 회전자가 회전하게 되어 기계적 출력으로 변환되는 것이다.¹⁾²⁾

이에 본 연구는 3성분계 압전 세라믹스를 이용하여 기존의 구조와는 다른 형태를 갖는 풍차형 초음파 모터를 설계·제작하고자 하며,³⁾ 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 공진 주파수에서의

* 국립창원대학교 전기공학과
(경남 창원시 사림동 9번지 창원대학교,
Fax: 0551-263-9956
E-mail:rlaguddn@hanmail.net)

전압에 따른 최대 변위의 변화와 세라믹 층수에 따른 최대 변위의 변화를 비교해 보았다.

2. 풍차형 초음파모터의 구조와 원리

2.1 풍차형 모터의 구조

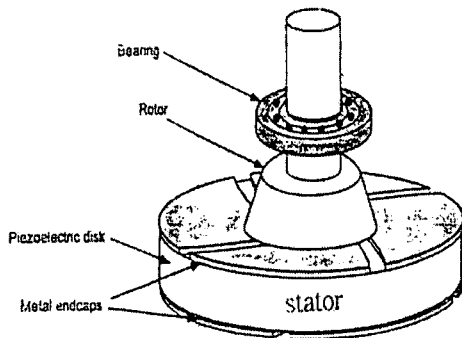


그림 1. 풍차형 초음파 모터의 구조

Fig. 1. structure of the ultrasonic motors of wind-mill type

초음파 모터에 사용한 3성분계 압전체의 직경은 12.7 mm이고 두께는 1.0mm의 원판형이며, 이 압전체는 소결 및 분극 과정을 마친 것이다. 그리고 알루미늄으로 4개의 슬롯을 갖도록 풍차형으로 적당하게 가공된 endcap의 직경은 압전체와 같은 12.7mm이며 두께는 0.3mm로 하였다. 그리고 완성된 초음파 전동기의 구조를 그림1에 나타내었다. 특히 회전자 구조는 다른 초음파 모터에 비하여 크기가 작기 때문에 제작이 간편하고 별도의 고분자 마찰체가 없어도 고속 회전이 가능하다.³⁾

2.2 풍차형 모터의 구동원리

세라믹스와 금속을 접착시켜서 매우 큰 변위를 얻을 수 있는 moonie형 액추에이터의 개발·발전으로 인해 풍차형 초음파 모터를 착안하게 되었다. 그림 2는 진동체의 변위를 두께방향으로 최대로 하기 위하여 PZT 압전체에 cymbals 형태인 알루미늄

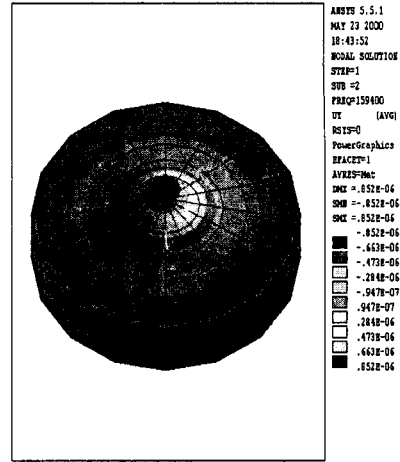


그림 2. Cymbals 형 액추에이터의 변위 방향

Fig. 2. Displacement direction of cymbals type actuator

늄 endcaps를 상하로 접착시킨 구조를 갖는 modified moonie형 액추에이터를 ANSYS를 이용하여 해석한 것이다.⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 이 modified moonie형 액추에이터의 공진 주파수는 159.4KHZ이며, 이때의 인가 전압은 50V이다.

풍차형 초음파 모터는 압전체 양면의 전극에 알루미늄 endcaps가 물리적으로 접촉되어 있는 고정자에 함수발생기와 고속 전력 증폭기를 통하여 경방향으로 초음파 진동을 발생한다. 이 때 압전체의 양면에 접착되어 있는 두 개의 상하 endcaps은 서로 45도 만큼 어긋나게 위치하고 있으므로, 압전체의 경방향 진동은 결국 longitudinal과 torsional 변위로 동시에 바뀌게 된다. 이들 longitudinal과 torsional 변위가 있는 endcaps의 내부원 주변에서 타원 운동이 발생된다. 또한 endcaps 위에 회전자가 접촉되어 있으므로, 고정자인 endcaps의 초음파 진동과 회전자 사이에 마찰의 상호 작용 때문에 회전자가 회전운동을 하게 되는 것이다.¹⁾²⁾³⁾

3. 풍차형 초음파 모터의 유한 요소 해석

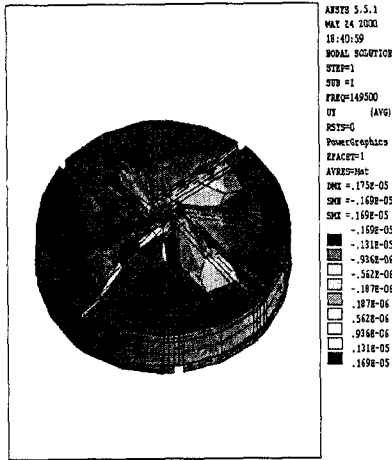


그림 3. 50V전압에서의 최대 변위
 Fig. 3. Maximum displacement when applied voltage is 50V

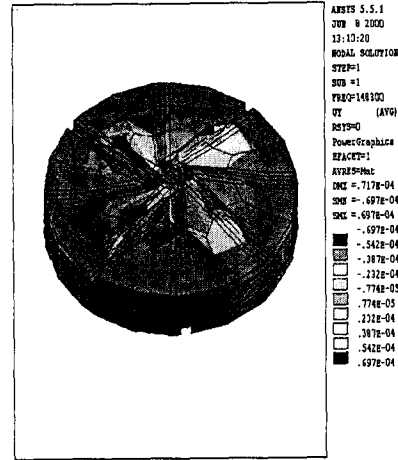


그림 5. 8 층으로 적층 되었을 때의 최대 변위
 Fig. 5. Maximum displacement of 8 layered ceramics

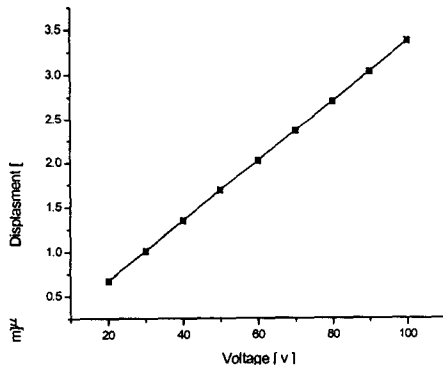


그림 4. 인가전압에 따른 최대 변위
 Fig. 4. Maximum displacement depend on applied voltage

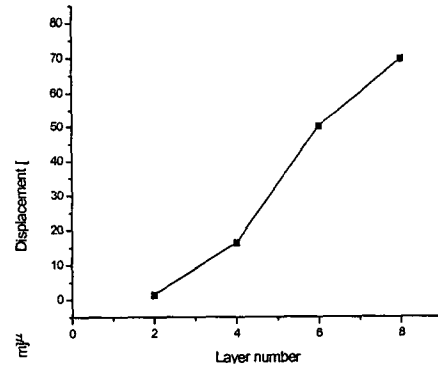


그림 6. 층수에 따른 최대 변위
 Fig. 6. Maximum displacement depend on layer number

3.1 고유 주파수 해석

그림 3은 ANSYS를 이용하여 풍차형 초음파 모터의 공진 주파수를 구하여 보면 공진 주파수는 149.5 KHZ이다. 임피던스 분석기로 측정한 3성분계의 PZT의 공진 주파수는 modified moonie형의 공진 주파수와 거의 일치한다. 그러나 풍차형의 초음파모터의 공진 주파수는 약간 다르게 나타남을 알 수 있다. 이는 단순한 경 방향 진동만이 아니고 2개

이상의 서로 다른 진동 모드가 중첩되어서 초음파 진동으로 나타나기 때문이다. 그림 4에서는 공진 주파수에서의 인가전압에 따라 비례적으로 최대 변위가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 다른 초음파모터의 변위 보다 훨씬 큰 변위가 생기는 것을 알 수 있다. 그러므로 고정자에 의한 회전자의 속도는 증가하게 된다.

3.2 적층형 초음파 모터의 설계

공진 주파수에서의 변위를 더욱더 증가시키기 위한 방법으로는 전압을 증가시키는 방법과 세라믹스를 적층하는 방법⁷⁾ 그리고 슬릿수를 증가시키는 방

표 1. 층수에 따른 공진 주파수와 최대 변위

	공진주파수[KHZ]	20V인가시 최대변위[μ m]
1	149.5	0.674
2	151	1.46
4	149	16.4
6	148.5	50.1
8	148.3	69.7

Table 1. Resonance frequency and maximum displacement depends on layer number

법 등 여러 가지가 있으나, 이 논문에서는 층수를 증가시키면서 초음파 모터를 설계하였다. 이때의 적층은 doctor blade법에 의한 tape casting⁷⁾ 공정을 이용하여 두께 1[mm]를 유지하면서 2, 4, 6, 8층의 세라믹을 제조하였다. 그림 5는 8층의 세라믹으로 설계된 풍차형 초음파 모터에 전압 20[V]를 인가하여 최대 변위와 공진 주파수를 ANSYS로 통해 계산하였다. 그림 6은 층수에 따른 최대 변위의 증가를 나타내며, 결과를 보면 전압증가에 의한 최대 변위의 증가보다 적층에 의한 변위의 증가가 확연히 크게 나타남을 알 수 있다. 표 1에서는 층수의 증가에 따른 공진 주파수의 변화와 그때의 최대 변위를 나타내었다.

4. 결 론

3성분계 압전체와 알루미늄 endcaps를 이용하여 매우 간단하고 소형화된 풍차형 초음파 모터를 설계하였다. ANSYS를 이용한 계산결과는 층수 증가에 의해 최대 변위를 증가시킴으로써 저전압으로 큰 최대 변위를 얻을 수 있으며, 층수에 따른 공진 주파수는 조금씩 변화하는 것을 알 수 있다. 그러므

로 적층형⁷⁾ 초음파 모터에 대한 연구가 계속해 나가야 할 것이며, 마모에 강하고 열화특성이 좋은 초음파 모터 재료의 개발이 우선되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1]. S.Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura, "Ultrasonic Motors Theory and Applications" OXFORD, 1993
- [2]. Kenji Uchino, "Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors", Harry L. Tuller
- [3]. 지승환, 이덕출, 김진수, "압전 세라믹스를 이용한 초음파 풍차형 초음파 전동기의 제작과 특성", 한국 전기 전자 재료 학회지, Vol. 10, No. 9, pp.889-894, 1997
- [4]. Burhanettin Koc, Aydin Dogan, Jose F. Fernandez, Robert E. Newnham and Kenji Uchino, "Accelerometer Application of the Modified Moonie (Cymbal) Transducer", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 pp.4547-4549, 1996
- [5]. Aydin Dogan, Kenji Uchino, "Composite Piezoelectric Transducer with Truncated Conical Endcaps Cymbal", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. Vol. 44, NO. 3, MAY 1997
- [6]. Frederic Lalande, Zaffir Chaudhry, and Craig A. Rogers, "A Simplified Geometrically Nonlinear Approach to the Analysis of the Moonie Actuator" IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. Vol. 42, No. 1, JAN. 1995
- [7]. J. C. Williams, "Doctor-Blade Process", pp. 173-198 in Treatise on Materials Science and Technology, vol. 9, Ceramic Fabrication Process, Edited by Franklin F .Y. Wang, Academic Press, New York, San Francisco, 1976