

적층형 초음파 모터의 유한요소해석

김성현, 박태곤

창원대학교

The FEA of the Multy-Layered ultrasonic motor

Sung-hyun Kim, Tae-gone Park

Changwon national university

Abstract

In this paper, stacked piezoelectric ceramics were used for obtaining a large vibration for a small ultrasonic motor which is useable for the both linear drive and rotational drive. We studied this motor through the finite element analysis method and the simulated driving characteristics were presented. As results, the displacement of the tip of the stator was increased when the layers of the ceramics were increased. Also, by inserting additional aluminum plates between the ceramics and the aluminum bar, the displacement were amplified. In this model, two voltages which have 90 degree phase difference were applied for the bi-directional movement.

Key Words : travelling wave, piezoelectric motor, Muly-Layer, Finite Element Analysis

1. 서 론

압전세라믹을 이용한 초음파 모터는 압전 재료의 발달에 따라 이용범위와 성능이 매우 빠른 속도로 발달되고 있다. 전자기 모터와 전혀 다른 원리를 이용하는 초음파 모터는 전자기 코일에 의한 자기장의 유도에 의한 동력원이 아닌 압전 세라믹의 진동을 이용하게 된다. 이러한 원리로 인해 소형경량이며, 구조가 간단하고 높은 효율을 가지며, 기어를 필요로 하지 않아 제어 특성이 뛰어나며, 전자기 노이즈가 매우 적으며, 저속에서 고 토크를 가지는 특성이 있다. 특히 소형모터의 필요성이 큰 의료분야나 로봇틱스분야에 사용하기위해 소형 고 토크의 초음파모터는 좋은 대안이며, 소형 모터를 위한 압전세라믹의 적층에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 동일한 크기의 소형 압전세라믹에서

더 큰 변위를 얻기 위해 압전세라믹의 Multylayer 와 진동을 Rotor나 슬라이드에 전달하는 stator의 특성이 큰 영향을 미치게 될 것이다. 본 논문에서는 이러한 변수를 이용해 적층의 수에 따른 변위의 크기, 탄성체와 압전세라믹의 접합방식에 따른 초음파 모터의 변위특성 등을 실제 제작에 앞서 유한요소해석으로 비교해 보았다. 해석에 있어서는 실제 제작할 형태와 다소 다르게 해석의 편의를 위해 설계하였으나 동작의 형태와 특성은 다르지 않다.

2. 본 론

2.1 구조와 동작원리

본 논문에서 해석하고자 하는 모델의 형태는 그림1과 같다. 그러나 그림1의 형태는 해석을 위한 형태일뿐 실제제작을 위한 모델은 아니다.

그림1의 형태가 해석을 위한 가장 기본적인 형태이며, 기본구조에서 1과 3은 다른 금속으로 구성되어 있으며, 본 논문에서는 1은 철, 3은 알루미늄으로 구성해서 해석하였다.

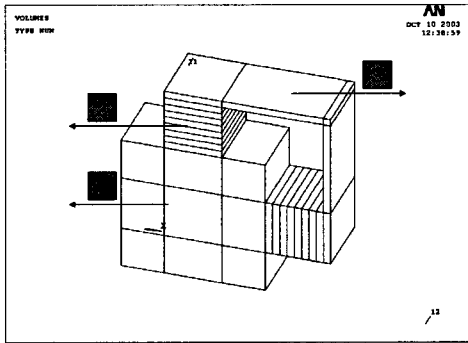


그림 1. 기본구조

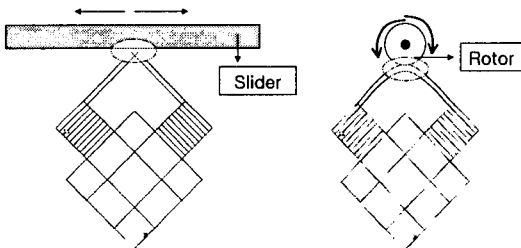


그림 2. 동작원리

그림2에서는 동작원리에 대해서 보여주고 있다. 본 논문에서는 선형모터 형태만을 해석하고 있으나 회전형과 구조가 똑같으며 stator의 진동접촉 부분이 조금 다른 특징을 가지고 있다.

2.2 유한요소해석

범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 설계를 위한 다양한 고려사항을 직접 시뮬레이션 해봄으로써 설계 시 시간을 줄일 수 있다.

2.2.1 요소유형과 물성치

해석시 요구되는 요소의 유형으로 세라믹 Solid5, 금속은 Solid45가 적용되었으며, 접촉제와 damping은 생략되었다.

표 1. 재료물성치

재료	밀도	유전율	탄성계수	포와송비
Piezoelectric ceramic	7730	8.7969 e+09	-	-
Aluminum	2690	-	7.03 e+10	0.345
Fe	7840	-	2.1e+11	0.29

2.3 해석 실험

2.3.1 적층수에 따른 변위비교

그림1에 2의 세라믹 전체의 두께는 같게 유지하고 각각 세라믹의 두께를 다르게 구성하여 비교하였다.

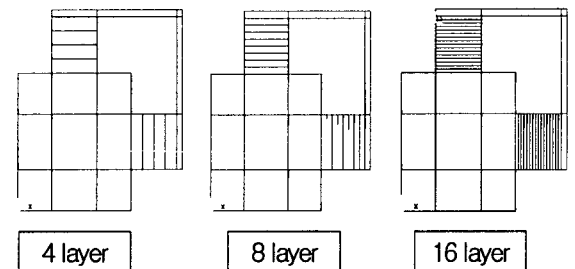


그림 3. 적층수가 다른 3가지 형태

변위에 대한 적층의 관계식은

$$D = VNd_{33} \quad (1)$$

과 같이 인가된 전압V와 적층된 층수N와 압전상수 d_{33} 에 비례하여 나타난다.

해석에서의 결과는 그림4와 같이 나타나며, 그림2에서처럼 rotor나 슬라이더의 이동, 회전에 영향을 미치는 성분은 두방향의 축성분이며, 본 논문에서는 X축, Y축이므로, Z축의 변위는 불필요해서 제외시켰다. 해석시 damping을 고려하지 않아서 수식적인 차이보다 더 큰 차이가 생긴 것으로 보인다. 변위에 관한 식이나 해석적인 결과를 보아 적층을 두껍지 않게 많이 하는 것이 많은 변위를 가져다 줄 것을 알 수 있다.

소형의 저전압, 고토크의 초음파 모터를 만들기 위해 적층은 큰 해법 중에 하나인 듯하다. 해석결과 그림4에서도 이러한 것을 말해주고 있다.

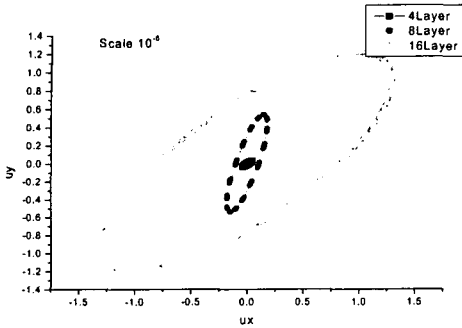


그림 4. 적층수에 따른 타원 변위

표 2. 적층에 따른 주파수 변화

적층 수	4Layer	8Layer	16Layer	32Layer
공진주파수 [Hz]	51536	62406	63745	64806

동일 크기의 초음파 모터의 세라믹 적층 수에 따라서 주파수가 달라질 수 있으므로, 모터의 크기를 변화시키지 않고 주파수를 조절할 수 있는 효과를 가지게 된다. 그러나 적층의 한계로 인해 큰 주파수 변화가 가능하지는 않으리라 생각된다.

2.3.2 tip이 있을 때와 없을 때의 변위비교

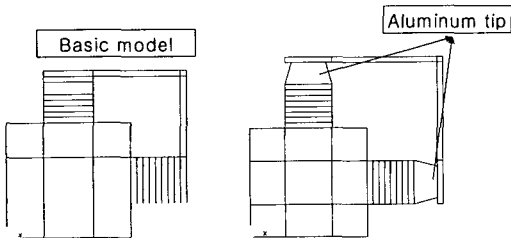


그림 5. stator가 다른 두 모터

tip이 없는 기본형태와 tip이 있는 형태의 변위는 차이는 tip이 진동을 확대시킬 것 인지 진동을 줄여 줄 것이지를 보여주게 된다. 그림5에서 기본모델과 세라믹층은 같고 진동판부분에 알루미늄 tip

이 삼각뿔모양으로 달려있다.

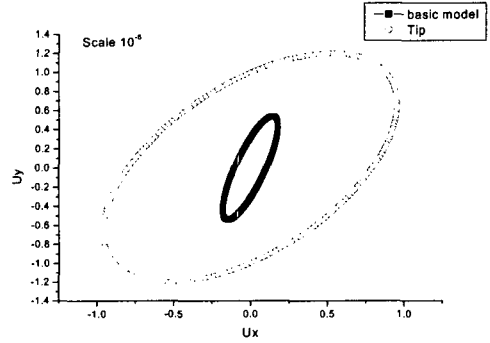


그림 6. stator가 다른 두 모터의 변위

그림6에서와 같이 Tip부분이 달려 있을 때, 변위가 조금 더 커지는 것을 알 수 있다. 진동의 증폭을 위한 많은 초음파 모터에서 진동의 증폭을 위한 진동증폭기구가 있는 것에서처럼 본 모델에서도 팁을 부착했을 때 진동이 더 증가함을 볼 수 있다.

2.3.3 압전세라믹과 stator의 접촉면적에 따른 변위비교

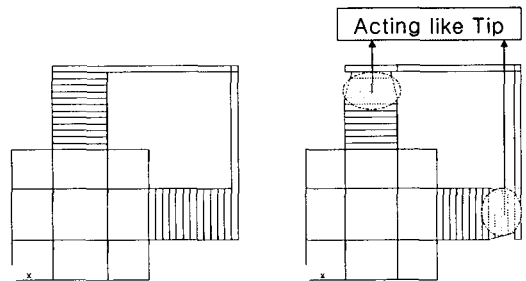


그림 7. 압전세라믹으로 된 Tip과의 비교

동일한 적층수를 한 압전세라믹의 끝부분을 삼각뿔모양으로 제작함으로써 진동확대의 효과를 보리라 생각했으나 결과는 그리 큰 차이가 나타나지 않았다. 그림8에서와 같이 조금의 차이만 나타날 뿐이며, 공진주파수의 차이 역시 그렇게 크지 않다. 그러나 Tip의 각도에 따라서 효과가 달라 질 수도 있을 것으로 의심되어지나 이점은 이번 논문에서는 고려하지 않도록 하겠다.

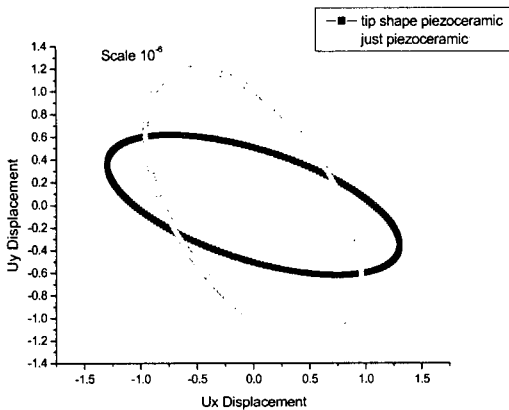


그림 8 세라믹Tip과 세라믹의 변위비교

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 선형, 회전형에 같이 사용하기 좋은 적층형 초음파 모터를 설계 시뮬레이션 하였다. 설계를 함에 있어서 소형, 저전압에 많은 중점을 두었으므로, 적층형으로 설계가 되었다.

그림3 에서와 같이 적층이 많이 될 수록 큰 변위의 초음파 모터를 제작할 수 있다는 것은 수식 1과 본 실험으로 알 수 있었으며, 진동의 효과적인 이용을 위해 Tip을 접합한 것이 그림6 에서와 같이 2배정도의 더 큰 변위를 얻을 수 있다는 것을 해석을 통해 볼 수 있다..

또한 본 모델의 전압은 cos, sine파를 각각 인가함으로써 정역회전에 적합하도록 설계하였으며, 유한요소 해석시에도 정역운전에 있어서 유사한 특성을 보여주었지만 본 논문에서는 언급하지 않았다.

4. 결론

결론적으로, 작은 전압에서 큰 변위를 내는 모터를 제작하기 위해서는 적층과 진동 증폭을 위한 Tip을 접합하는 것이 필요하며, 진동의 전달을 잘 해석해 압전세라믹과 탄성체를 적절하게 접합하는 것이 매우 중요한 것으로 생각되어진다.

참고 문헌

- [1] S.Ueha, Y.Tomikawa, M.Kurosawa, N.Nakamura, "Ultrasonic Motors", Clarendon press, p.231-252, 1993.
- [2] 박형진, "Ansys를 이용한 유한요소해석", 광문각, 2001.
- [3] J.W.Krome, "INFLUENCE OF THE PIEZOELECTRIC ACTUATOR ON THE VIBRATIONS OF THE STATOR OF A TRAVELLING WAVE MOTOR", Ieee ultrasonics symposium, p.413-416, 1995.
- [4] Takashi Maeno, "Finite-Element Analysis of the Rotor/Stator Contact in a Ring-Type Ultrasonic Motor", Ieee, p.668-674, 1992.
- [5] F.Claeyssen, R.Le Letty, "VERSATILE ULTRASONIC PIEZO DRIVE FOR DIRECT-DRIVE MOTORIZATION".
- [6] Rene Seiler, Marc Francois Six, Miguel Debarnot, Ronan Le Letty, Frank Claeysen, "The Ultrasonic Piezo Drive An Innovative Solution for High-Accuracy Positioning", 16th Annual/USU Conference on Small Satellites.