

금속-세라믹 복합구조 선형 초음파 모터의 특성 연구

A Study on the Characteristics of Linear Ultrasonic Motor

Using Metal-Ceramics Composite Structure

이재형, 최명일, 정동석, 박태곤

Jae-Hyung Lee, Myeong-Il Choi, Dong-Seok Jeong, Tae-Gone Park

Abstract

In this study, a single phase driven piezoelectric motor design is presented for linear motion - metal/ ceramics composite structure. Using ANSYS finite element analysis software, mode shape of free motor was obtained to clarify the working principle of this motor. And characteristics of the motor was measured. The motor is composed of a piezoelectric ceramic, a metal ring which has 4 arms, and a guider. The motor with 25.0[mm] diameter was studied by finite element analysis and experimentation too. As a result, the motor was expressed the best speed in resonance frequency. And according as voltage of the motor increase, the speed increased by ratio.

Key Words : Piezoelectric Motor, Piezoelectric Ceramics, Metal/ceramics Composite Structure, Finite Element Analysis, Resonance Frequency

1. 서 론

산업 기술이 발달함에 따라 의료나 로봇틱스 등의 분야에서 초소형 모터에 대한 필요성이 증대되었다. 기존의 전자기식 모터는 100년의 역사를 가지고 산업의 전반적인 분야에 유용하게 이용되고 있으나, 1[cm] 보다 작은 크기로 제작되었을 때 좋은 효율을 기대하기 힘들며 제작 또한 쉽지 않다. 이에 반해 세라믹의 압전 현상을 이용한 압전 초음파 모터는 크기에 상관없는 높은 효율과 단순한 구조로부터의 용이한 제작 과정으로 인해, 기존의 전자기식 모터와 비교해 소형화 분야에서 유리

한 유치를 차지하고 있다.

초음파 모터는 구동 방식에 따라 크게 진행파형과 정재파형으로 분류된다. 현재 진행파형 초음파 모터가 소형모터로 많이 이용되고 있다. 하지만

진행파형 초음파 모터는 고리형태의 압전 세라믹에 교대로 분극 방향이 상반되게 나타나야 하므로 분극 과정이 어렵다. 더욱이 시·공간적으로 90° 위상차를 가지는 두 개의 교류 전원이 인가되어야 하므로 구동회로와 결선이 복잡해지는 단점을 가지고 있다.

그리하여 Burhanettin Koc, Aydin Dogan, Yuan Xu, Robert E. Newnham, Kenji Uchino 에 의해 정재파 형식을 이용한 '풍차형 초음파 모터'가 제안되었다. 본 모델은 계속적으로 수정·보완되어 '금속-세라믹 복합구조의 초음파 모터'란 이름으로 개발되었고, 회전형과 선형으로 동시에 동작할 수

: 창원대학교 전기공학과
(창원시 사림동 9번지,
Fax: 055-263-9956
E-mail:hyung220@hanmail.net)

있으며, 직경이 3[mm]이내 까지 모터의 소형화를 실현하였다.

본 논문은 앞에서 언급한 모터를 오로지 선형으로만 동작하도록 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 아울러 유한요소해석을 통해 고정자의 변형 형상과 변위 등을 예측할 수 있었다.

2. 구조와 동작 원리

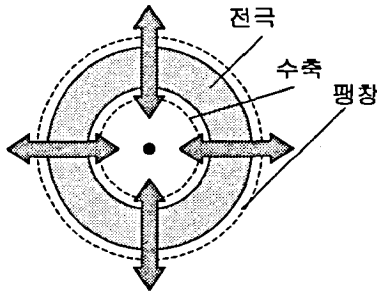


그림 1. 링형 압전 세라믹의 경방향 진동.

Fig. 1. Radial mode vibration of ring type piezoelectric ceramics.

그림 1.은 링형 압전 세라믹의 경방향 진동의 모습을 보여준다. 압전 세라믹은 두께 방향으로 분극되어 있으며, 양단에 교류전원이 인가되었을 때 수축과 팽창을 반복하여 진동하게 된다. 이 때 원주상의 모든 점들은 원의 중심을 향해 변위한다. 아울러 세라믹의 고유 주파수와 인가전원의 주파수가 일치하면 공진을 일으켜 가장 크게 진동한다.

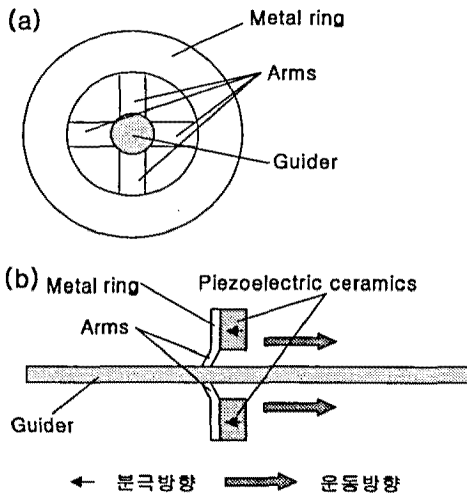


그림 2. 모터의 구조 (a)정면도 (b)측단면도.

Fig. 2. Structure of motor

(a)Front view (b)Side-sectional view.

모터의 구조는 그림 1.에서 설명된 링형 압전 세라믹의 한 쪽 면에 4개의 팔을 가진 금속링을 접착하여 완성된다. 그림 2.(a)와(b)는 각각 정면과 측면에서 본 모터의 구조이다. 가이드는 긴 원기둥 막대의 형상을 가지고 있다.

링형 압전 세라믹의 경방향 진동에 의한 힘은 금속 링에 그대로 전달된다. 이 힘은 원의 중심을 향하고 있으며 4개의 팔로 전달되고, 약간 구부러진 팔이 변위하여 가이드를 밀게된다. 결국 가이드 표면과 팔 끝의 마찰에 의해 모터 자체가 한쪽 방향으로 이동하게 된다.

단, 모터의 양방향 운동을 위해서는 서로 다른 방향으로 가려고 하는 두 개의 모터가 필요하나 본 논문에서는 단방향으로만 제작되었다.

3. 유한요소해석

ANSYS 소프트웨어를 사용하여 유한요소해석을 실시하였다. 모드 해석을 통해 경방향 진동 모드의 공진 주파수를 찾을 수 있었고, 본 공진 주파수를 이용한 하모닉 해석에서 변위와 응력 등을 예측할 수 있었다. 단, 실제 모터에 고려되는 접촉층은 해석 시 생략되었다.

3.1 모델링

ANSYS 에서는 해석하려는 목적에 따라 권장하는 요소의 유형이 있다. 3차원 압전 해석 시 압전 세라믹은 Solid5, 금속 탄성체는 Solid45가 권장되면 본 논문에서도 그대로 적용되었다. 그림 3.은 모델의 3차원 요소망을 나타낸다. 표1.과 표2.는 각각 모델의 재료물성치와 치수를 나타낸다.

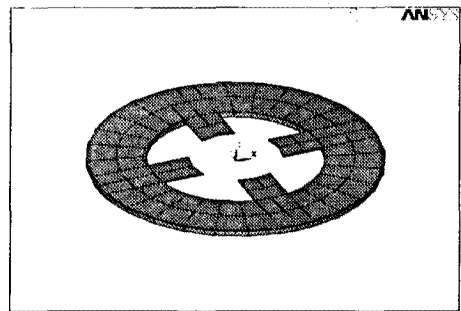


그림 3. 모델의 3차원 요소망.

Fig. 3. 3D mesh of the model.

표 1. 압전 세라믹과 인칭동의 재료물성치.

Table 1. Material property of piezoelectric ceramics and phosphor copper.

재료	밀도 [kg/m ³]	유전율 [F/m]	탄성 계수 [Pa]	포와송비
압전 세라믹	7730	8.7969 e+09		
인청동	8860		11e+10	0.3

표 2. 모델의 치수.

Table 2. Size of model.

재료	내경 [mm]	외경 [mm]	두께 [mm]	팔폭 [mm]
압전 세라믹	15	25	0.5	
금속링	15	25	0.15	3

3.2 모드 해석

모드 해석을 통해 모델의 경방향 진동 모드의 공진 주파수를 찾았다. 그림 4.는 해석 결과를 보여주고 있으며, 공진 주파수는 51.551[kHz] 이다.

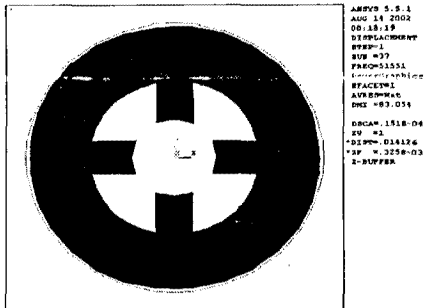


그림 4. 경방향 진동의 모드 형상.

Fig. 4. Mode shape of radial vibration.

3.3 하모닉 해석

모드 해석에서 구한 공진 주파수에서 100[V]의 전압을 인가하여 하모닉 해석을 실시하였다. 그림 5.는 해석 결과로 변위와 등가 응력을 보여준다. 가이드와 접촉을 이루는 팔 끝의 한 node를 선택하여 변위를 살펴 본 결과, 5.5805[μ m]로 나타났다. 응력의 경우 링의 내경 주위에 집중하며 외부로도 만연된 분포를 확인할 수 있다.

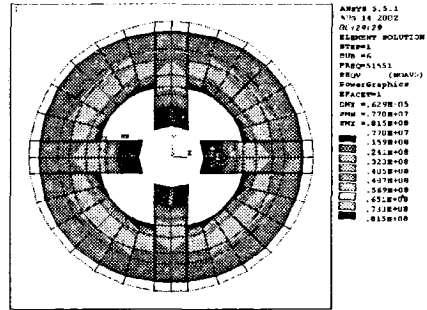


그림 5. 모델의 변위와 등가 응력 분포.

Fig. 5. Displacement and equivalent stress distribution of model.

3. 제작 및 실험

유한요소해석을 근거로 하여 해석 모델과 똑같은 형태의 모터를 제작하였다. 금속링과 압전 세라믹은 엑복시로 접착되었고 제작의 모든 과정이 수작업으로 이루어졌다. 팔을 약간 구부림으로 인해 가이드와의 적절한 접촉을 이루었다. 모터는 함수 발생기와 고속파워증폭기를 이용하여 구동되었다.

그림 6.은 주파수에 따른 모터의 속도를 나타낸다. 전압은 30[Vrms]로 고정하였다. 주파수를 47[kHz]에서 56[kHz]로 1[kHz]씩 증가하였을 때, 가장 빠른 속도를 보이는 54[kHz]의 주파수가 공진 주파수로 확인된다. 모터의 속도는 주파수에 따라 공진점 까지 증가하다가 공진점 이후로 다시 감소하는 추이를 보인다.

그림 7.은 전압에 따른 모터의 속도를 나타낸다. 주파수는 측정의 용이함과 안정성을 고려해 공진 주파수 54[kHz]에 맞추지 않고 다소 낮은 52[kHz]로 고정하였다. 전압을 15[Vrms]에서 45[Vrms]로 5[Vrms]씩 증가하였다. 이 때 모터의 속도는 전압에 비례하여 점차적으로 증가하다가 35[Vrms]부터 급속히 증가하였다.

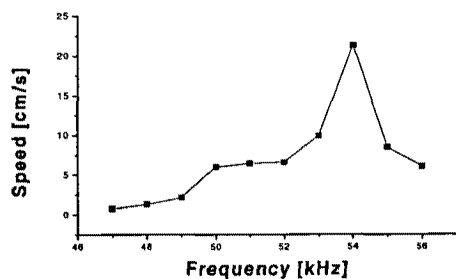


그림 6. 주파수에 따른 속도.

Fig. 6. Speed as a function of frequency

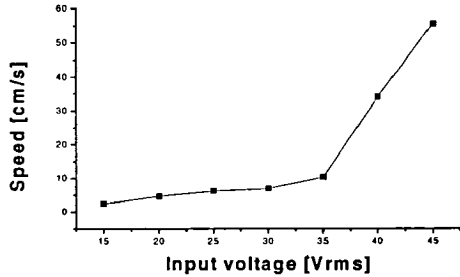


그림 7. 입력 전압에 따른 속도.

Fig. 6. Speed as a function of input voltage.

4. 결론

본 논문은 압전 초음파 모터의 한 예로 초기의 종차형 초음파 모터를 개선한 금속-세라믹 복합구조 선형 초음파에 관해 연구하였다.

ANSYS를 이용한 유한요소해석을 통해 모터의 변형 형상과 공진주파수 그리고 변위와 응력 분포 등의 예상할 수 있었다. 해석의 결과로 모델의 경방향 진동 모드의 공진 주파수가 51.551[kHz]로 나타났다. 그리고 100[V]의 전압을 인가 하였을 때, 가이더와 접촉을 이루는 팔의 끝 변위는 5.5805 [μm]로 나타났다. 엑폭시 접착층과 뎀핑을 고려하지 않은 해석 결과는 실제 값과 차이를 보인다.

유한요소해석을 근거로 하여 실제 모터를 제작 하였으며 주파수와 전압에 따른 속도 특성을 측정 하였다. 속도는 공진 주파수에서 피크를 나타내었고 전압에 비례하는 특성을 보였다.

본 모터는 자동식 카메라의 자동초점조절장치에 응용이 가능하다. 중앙에 구멍이 난 형상임으로 렌즈를 삽입 하여 빛을 통과시킬 수 있고, 선형으로 운동하기 때문이다. 현재 진행과형 초음파 모터가 카메라의 auto zoom에 이용되고 있으나, 구조가 복잡하고, 회전형이기 때문에 카메라 내부에 나사산의 가공이 필요하다. 그리하여 단순한 구조와 직접적으로 선형운동을 발생하는 본 모터를 이용하면 제작가를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] 손창현, "유한요소해석 입문과 선형해석", (주)태성에스엔이, pp.424-438, 1999.

[2]Kenji Uchino, "Ferroelectric Devices", Marcel

Dekker, pp.207, 2000

[3]Burhanettin Koc, Aydin Dogan, Yuan Xu, RobertE.Newnham, Kenji Uchino, "An Ultrasonic Motor Using a Metal-Ceramic Composite Actuator Generating Torsional Displacement", JJAP, Vol.37, No.10, pp.5659-5662, 1998.

[4]Aydin Dogan, Kenji Uchino, RobertE. Newnham, "Composite Piezoelectric Transducer with Truncated Conical Endcaps "Cymbal" ", IEEE, Vol.44, No.3, pp.597-605, 1997

[5]Burhanettin Koc, Aydin Dogan, Jose F. Fernandez ,RobertE.Newnham, Kenji Uchino, "Accelerometer Application of the Modified Moonie (Cymbal) Transducer", JJAP, Vol.35, No.8, pp.4547-4549, 1996