세라믹 형상에 따른 풍차형 초음파 모터의 유한요소해석

Finite Element Analysis of Windmill Type Ultrasonic Motors Depend on the Shape of Ceramics

이재형, 박태곤, 김명호*
(Jae-Hyung Lee, Tae-Gone Park, Myung-Ho Kim*)

Abstract

In this paper, two kinds of windmill type motors which have a disk shape and a ring shape piezoelectric ceramics were studied. And characteristics of two models were compared with each others. A windmill type ultrasonic motor is composed of a stator, a rotor, and a ball bearing. The stator is made of a piezoelectric ceramics and two metals endcaps. When the piezoelectric ceramics vibrate, displacement of torsonal vibration appear at metal endcaps. The motor with 11.0[mm] diameter was studied by finite element analysis. The voltage of 100[V] was supplied at each model. Resonance frequency of 206.875[KHz] was obtained at the disk type, but ring type was 137.562[KHz]. The maximum torsonal displacement of 1.112[μm] was obtained at the disk type, but ring type was 1.698 [μm]

Key Words : Windmill Type Ultrasonic Motor, Metal Endcap, Disk Type, Ring Type, Finite Element Analysis

1. 서 론[1]

2001년 6월 KIST에서 개발된 압전 초음파모터가 국내 첫 상용화가 되면서 국내에서도 초음파모터란 용어가 일반인들에게도 전혀 생소하지 않게 되었다. 기존의 전계와 자계 사이에서 발생하는 에너지로 구동하는 전자기식 모터는 100년이 넘는 역사를 가지고 있으며 현재 산업의 전반적인 분야에서 그 자리를 굳건히 하고 있다. 하지만 산업기술의 발전이 가속되면서 전자기식 모터가 가지고 있는 여러 가지 단점들을 보완할 수 있는 새로운 액추에이터를 갈구하게 되었다. 이에 대두된 초음파 모터의 특성들은 전자기식 모터의 단점들을 보완하기에 충분하다.

전자기식 모터와 비교해 초음파 모터는 고주파 전원이 필요하고 마찰로 인한 내구성이 떨어진다는 단점이 있는 반면, 저속에서 고토크를 발생하고 응답속도가 빠르며 제동이 견고하고 소음이 전혀 없고 소형·경량·단순구조 및 전·자계로부터 영향을 받지 않으며 역으로 발생하지도 않는다는 장점을 보유하고 있다.

본 논문은 초음파 모터의 한 예로서 풍차형 초음파 모터를 연구하고자 한다. 특히 압전 세라믹의 형상을 원판형과 원환형으로 나누어 유한요소해석을 통해 두 모델을 특성을 비교하는 데 초점을 두었다. 풍차형 초음파 모터는 그 구조가 매우 단순하기에 일반적으로 초음파 모터를 대표하는 진행파 형식보다 소형화 분야에서 매우 강력한 자리를 확보하고 있다.

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

2. 구조와 동작 원리

그림 1은 풍차형 초음파 모터의 기본적인 구조를 보여주고 있다. 모터는 크게 세라믹과 금속이 부착된 고정자와 실제 고정자의 운동이 전해져서 회전하는 회전자 두 부분으로 나눌 수 있다. 베어링은 회전자를 지지하고 회전을 원활하게 하기위해 추가된다.

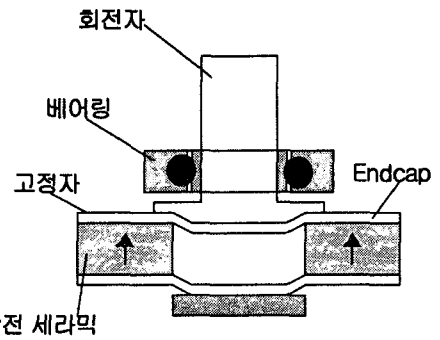

그림 1. 풍차형 초음파 모터의 구조.
Fig. 1. Structure of windmill type ultrasonic motor.

그림 2는 금속 endcap의 구조를 보여준다. 모터의 동작원리를 이해하기 위해선 endcap의 움직임을 자세히 관찰해야 한다. 우선 압전 세라믹에 교류전원이 인가되면 길이 방향과 반지름 방향의 진동이 동시에 발생한다. 이 두가지 진동의 형태는 세라믹에 접착된 endcap에 자연스럽게 전달된다. 마치 풍차의 모습을 가진 endcap은 원판에 슬롯을 판 형태로, 압전 세라믹의 반지름 방향의 진동이 leg로 표시된 부분을 비틀게 된다. 아울러 압전 세라믹의 길이방향 진동은 endcap을 회전자와 더욱 견고하게 접촉하도록 만든다. 결국 이 두 가지 조건에 의해 고정자에 접촉된 회전자가 마찰력에 의해 회전하게 된다. 실제 회전자의 움직임은 간헐적이나, 고정자를 공진시키기 위한 초음파 단위의 주파수를 갖는 교류전원이 인가되면 외부에서 관측된 모터의 움직임은 매우 부드럽게 회전한다. 압전 세라믹과 endcap은 엑폭시로 접착되며 이러한 접착층은 모터의 기계적인 특성에 많은 영향을 미치므로 주의가 요구된다.

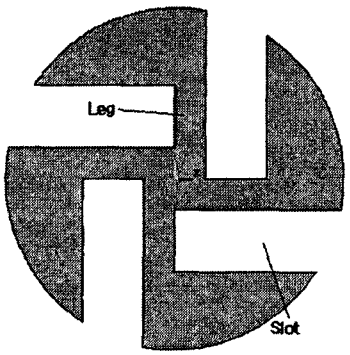

그림 2. 금속 endcap 의 구조.
Fig. 2. Structure of metal endcap.

3. 유한요소해석

유한요소해석은 ANSYS를 이용하여 이루어졌다. 풍차형 초음파 모터의 동작은 고정자에 의해서 결정되기 때문에 고정자만이 해석의 모델이 되었다. 아울러 접착층은 모터의 기계적인 특성의 변화요인이지만, 비교하려는 원판형과 원환형에 똑같이 주어지는 조건이므로 생략하여 전체적인 추이를 관찰하는 데 해석의 초점을 모았다.

3.1 요소유형과 재료물성치

ANSYS 에서는 해석하려는 목적에 따라 권장하는 요소의 유형이 있다. 3차원 압전해석시 압전세라믹은 solid5, 탄성체는 solid45가 권장되며 본 논문에서도 그대로 적용되었다.

표 1은 유한요소해석에 사용된 압전세라믹과 알루미늄 endcap의 재료물성치를 보여준다. 행렬의 형태로 입력되는 압전정수와 stiffness에 관한 데이터는 표기하지 않았다.

3.2 모델의 치수와 구속 및 하중조건

표 2에서는 해석에 사용된 압전세라믹과 endcap의 치수를 보여준다. 내경에 대한 데이터는 원환형의 경우에만 해당된다.

모터의 고정자를 해석하는 데 있어서 어떠한 구속 조건도 주지 않고 자유로운 상태로 배치하였다. 그리고 압전 세라믹의 양단에는 100[V]의 전압을 인가하였다. 즉 두 모델은 세라믹의 형상만이 차이가 있을 뿐 그 외 모든 조건을 같게 하였다.

표 1. 압전세라믹과 알루미늄 Endcap의 재료물성치.

Table 1. Material property of piezoelectric ceramics and aluminum.

재료	밀도 [kg/m^3]	유전율 [F/m]	탄성계수 [N/m^2]	포와송비
압전 세라믹	7730	8.7969 e+09	·	·
알루미늄	2690	·	7.03 e+10	0.345

표 2. 모델의 치수.

Table 2. Size of model.

재료	내경 (원환형) [m]	외경 [m]	두께 [m]	슬롯폭 [m]
압전 세라믹	3e-03	5.5e-03	0.5e-03	·
알루미늄 Endcap	·	5.5e-03	0.2e-03	1e-03

4. 결과 및 고찰

4.1 공진주파수

유한요소해석에서 모드해석의 결과로 각각의 고유진동모드에서의 고유진동수를 구할 수 있다. 고유모드란 구조물의 고유한 성질로서 우선 각각의 모드들은 독립적이며 다른 고유모드들의 합성으로 만들어질 수 없다. 반면, 구조물의 어떠한 진동형상도 고유모드의 합성으로 구해질 수 있다. 결국 모드해석에서 원하는 진동형상을 찾은 후, 그 때의 주파수를 해석하고자하는 구조물의 공진주파수로 선택하고, 이 주파수는 조화응답해석에 그대로 적용된다. 그림 3의 (a)와(b)는 각각 원판형과 원환형의 모드해석 결과이다. 원판형은 206.875[KHz], 원환형의 경우 137.562[KHz]의 공진주파수를 가짐을 알 수 있다.

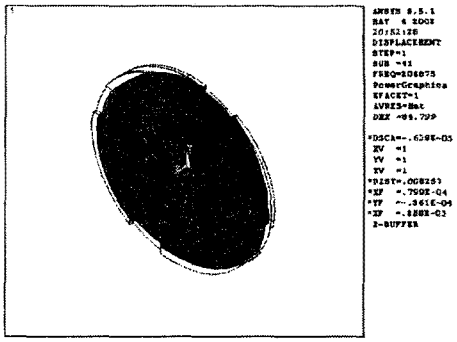

그림 3(a). 원판형의 모드해석(공진주파수).

Fig. 3(a). Modal solution of disk type.

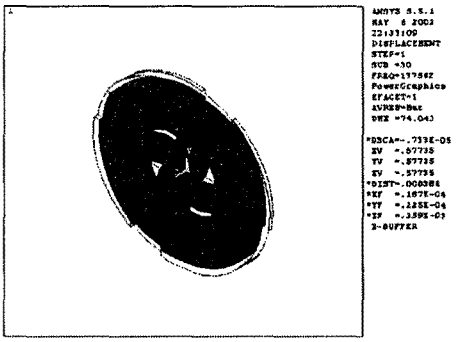

그림 3(b). 원환형의 모드해석(공진주파수).

Fig. 3(b). Modal solution of ring type.

4.2 비틀림 변위와 등가응력 분포

4.1절에서 구한 공진주파수에서 100[V]의 전압을 인가하여 모터의 비틀림 변위와 등가응력를 살펴보았다. 그림 4의 (a)와(b)는 각각 원판형과 원환형의 변형형상에 대한 비틀림 변위와 등가응력 분포를 보여주며, 점선으로 나타나는 부분은 변형되기 전의 위치를 나타내다. 두 모델 모두 endcap의 leg에서 비틀림을 확인할 수 있다. leg의 중앙에서 한 절점을 선택하여 비틀림과 관계되는 X축 변위를 살펴본 결과, 비틀림 변위는 원판형의 경우 1.112 [μm], 원환형의 경우 1.698[μm]로 원환형이 다소 크게 발생함을 확인할 수 있다.

아울러 두 모델 모두 비틀림이 발생하는 leg와 정사각형 형상의 endcap 중앙부분이 만나는 지점에서 가장 큰 응력을 확인할 수 있다. 그리고 세라믹의 경우 중앙에서 가장 크며, 외부로도 만연된 응력을 확인할 수 있다.

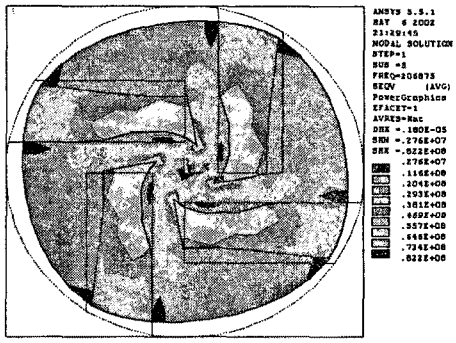

그림 4(a). 원판형의 변위와 등가응력분포.

Fig. 4(a). Displacement and equivalent stress distribution of disk type.

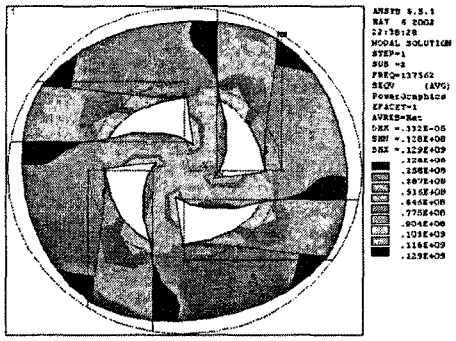

그림 4(b). 원환형의 변위와 등가응력분포.

Fig. 4(b). Displacement and equivalent stress distribution of ring type.

5. 결 론

본 논문은 유한요소해석을 통해 풍차형 초음파 모터의 특성을 연구해 보았다. 특히 압전 세라믹의 형상을 원판형과 원환형으로 나누어 두 모델의 특성을 비교하였다.

공진주파수의 경우 원판형은 206.875[KHz], 원환형은 137.562[KHz]로 원판형이 비교적 크다. 최대 비틀림 변위의 경우 원판형은 1.112[μm], 원환형은 1.698[μm]로 원환형이 크다. 응력의 경우 두 모델 모두 leg와 정사각형 형상의 endcap이 만나는 부분이 가장 크며 원환형이 비교적 크다.

풍차형 초음파 모터를 제작하는 데 있어서 압전 세라믹의 형태가 원판형과 원환형 중 어느 쪽이 이상적이라고 쉽게 판단할 수는 없다. 하지만 원환형의 경우 비교적 큰 변위를 얻을 수 있다. 더욱이 회전자와의 결합을 고려해 보았을 때, 원환형은 그림 1.에서와 같이 endcap이 세라믹 안쪽으로 굽은 형상으로 제작하여 회전자를 지지하는 방식을 채택할 수 있으나 원판형은 그렇지 못하다. 원판형의 경우 회전자 지지를 위해선 심벌과 같은 형태로 endcap이 제작되어야 한다.

이상의 결과로부터 저자는 원환형 압전 세라믹을 권장한다.

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