

Atila를 이용한 원환형 초음파 모터의 설계

Modeling of Ring-type Ultrasonic Motor Using Atila

이동균^{*}, 조봉희^{**}, 김현재^{**}, 한득영^{*}, 윤석진^{**}
(D.K.Lee^{*}, B.H.Cho^{**}, H.J.Kim^{**}, D.Y.Han^{*}, S.J.Yoon^{**})

Abstract

In this paper, a ring-type ultrasonic motor divided into 12 sectors was modeled by Atila program using finite element method(FEM). The stator consists of a piezoelectric ceramic poled alternately in opposite directions and elastic material. And the stator dimension was $\phi 40$ (outer diameter), $\phi 30$ (inner diameter), 0.5mm(ceramic thickness) and 3mm(elastic material thickness). As a simulation result, 6λ displacement occurred at approximately 52kHz, and this resonance frequency is similar to calculated result 57kHz. The position of maximum displacement was at the edge of stator.

Key Words(중요용어) : Ring-type ultrasonic motor(원환형 초음파 모터), FEM(유한요소법), Stator(고정자), Displacement(변위)

1. 서 론

초음파 모터는 초음파 영역의 전기 입력 신호에 의해 압전세라믹에서 발생한 탄성진동을 고정자와 회전자사이의 마찰력에 통해 구동하는 마찰모터이다 [1]. 일반적인 모터에 비해 구조가 간단하고 저속, 고토오크 및 정밀제어가 가능하여 카메라, VTR의 자동 초점장치, 로봇의 관절 및 위치 제어에 필요한 각종 정밀기기등에 응용이 이루어지고 있다.

현재까지 초음파 모터에 대한 연구는 압전세라믹, 탄성체, 마찰재등의 재질, 접착방법, 모터의 형태, 전극의 패턴 그리고 구동회로에 대해서 이루어졌으며 시뮬레이션 프로그램에 의한 모터의 설계 및 공진주파수의 해석은 미비한 상태이다.

FEM(유한요소법) 원리를 이용한 시뮬레이션 프로그램은 초음파모터를 구성하는 요소, 특히 압전세라믹과 탄성체로 이뤄진 고정자의 재질과 크기, 전극의 패턴, 분극의 방향등을 변수로하여 공진주파수와

공진모드에 따른 변위량등을 미리 예측함으로써 초음파모터의 설계에 있어 매우 유용하게 사용되어질 수 있다[2][3].

따라서 본 연구에서는 FEM의 원리를 이용한 Atila 5.1.1 프로그램을 사용하여 6λ 의 전극 패턴을 갖는 원환형 초음파 모터를 설계하여 공진주파수를 해석하였으며 그때의 진동특성을 확인하였다.

2. 초음파모터의 기본원리

2.1 초음파모터의 동작원리

그림 1은 초음파 모터의 동작원리를 나타낸 것으로 탄성체의 표면을 횡파와 종파가 합성된 탄성진행파가 탄성체 표면상의 한 질점에서 타원궤도를 그리며 진동한다.

표면상 질점 A는 탄성진행파의 방향이 오른쪽인 경우 종진동과 횡진동은 반시계방향으로 타원운동을 하게되고 탄성체 표면에 이동자를 접촉시키면 이동자 표면은 각 질점에 접촉하기 때문에 상호 마찰력에 의해 왼쪽으로 움직인다[4].

* 건국대학교 전기공학과

** 한국과학기술연구원 박막기술연구센터

*** 수원대학교 전기공학과

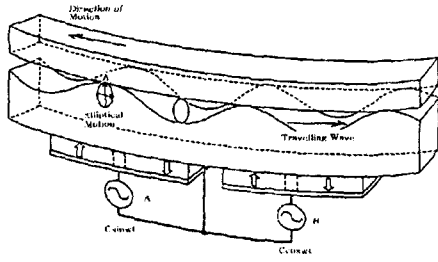


그림 1. 초음파 모터의 원리

2.2 고정자의 공진주파수

고정자의 공진주파수는 초음파모터의 크기를 결정하는 중요한 요소이다.

세라믹은 동일한 지름을 갖는 탄성체에 고착되어 일체로 진동하나 세라믹과 탄성체의 영률 차이 때문에 그림 2와 같이 등가변환하며 b_2 와 b_3 의 관계는 다음 식과 같다.

$$\frac{b_2}{b_3} = \frac{Y_{11}}{E_m} \quad (2.1)$$

여기서, Y_{11} 은 압전 세라믹의 1-1방향 영률이고 E_m 은 금속의 영률이다.

중심면의 위치 h_N 은 다음 식으로 주어진다.

$$h_N = \frac{b_1 h_1^2 + b_2 h_2^2}{2(b_1 h_1 + b_2 h_2)} \quad (2.2)$$

단면적 S 는

$$S = b_1 h_1 + b_2 h_2 \quad (2.3)$$

이고 단면 2차 모멘트는 다음 식과 같다. 단, $h_M = h_2 - h_N$ 이다.

$$I = \frac{1}{3} b_2 (h_N^3 + h_M^3) + b_1 h_1 \left(h_M - \frac{h_1}{2} \right)^2 + \frac{b_1 h_1^3}{12} \quad (2.4)$$

링의 둘레에 m 개 파장의 파동이 발생할 때 파장은

$$\lambda = \frac{\pi(D_o + D_i)}{2m} \quad (2.5)$$

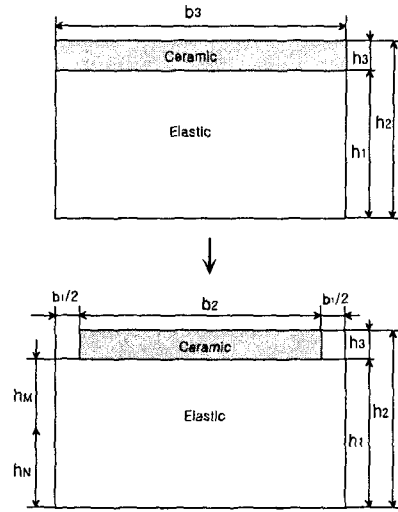


그림 2. 고정자의 등가변환

이고 이때 D_o 와 D_i 은 각각 링의 외경과 내경을 나타낸다.

위와 같은 식에 의해 고정자의 공진주파수는 다음과 같이 주어진다.

$$f = \frac{2\pi}{\lambda^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} \quad (2.6)$$

3. 고정자의 설계 및 해석

탄성체의 표면에 유기되는 변위의 분포에 따라 회전자의 형태가 변하기 때문에 초음파 모터를 제작하기 전에 압전세라믹의 진동특성을 해석하는 것은 중요하다.

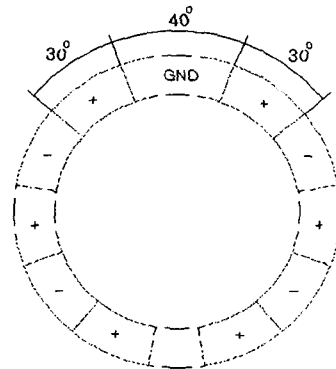


그림 3. 압전세라믹의 전극패턴

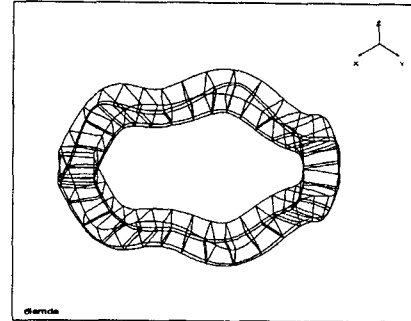
표 1. 고정자의 재료정수.

Elastic material		
Density	0.885E+04	kg/m ³
Poisson's ration	0.34	
Young's modulus	0.12E+11	N/m ²
Piezoelectric material		
Density	0.775E+04	kg/m ³
S_{11}^E	0.164E-10	m ² /N
S_{12}^E	-0.574E-11	m ² /N
S_{13}^E	-0.722E-11	m ² /N
S_{33}^E	0.188E-10	m ² /N
S_{44}^E	0.475E-10	m ² /N
S_{66}^E	0.443E-10	m ² /N
d_{15}	0.584E-09	C/N
d_{31}	-0.171E-09	C/N
d_{33}	0.374E-09	C/N
ϵ_{11}^S	0.916E-08	F/m
ϵ_{33}^S	0.830E-08	F/m

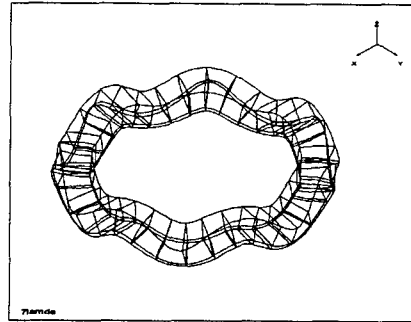
해석 프로그램을 이용하여 설계하기 위해서는 진동자의 정확한 형태와 경계조건등이 주어져야 하는데 본 연구에서는 그림 3과 같이 외경 $\phi 40$, 내경 $\phi 30$ 그리고 두께는 세라믹과 탄성체 각각 0.5, 3mm 이며 12분할의 전극형태를 갖는 원환형 초음파 모터를 Atila 5.1.1를 이용하여 설계하였다. 압전 세라믹과 탄성체의 재료특성은 프로그램에서 제공하는 라이브러리에서 선택하였으며 표 1은 각각의 재료정수를 나타낸다.

그림 4는 압전 세라믹과 탄성체가 결합된 고정자의 주파수에 따른 진동 특성을 나타낸다. 약 52kHz의 구동주파수에서 6 λ 의 진동을 발생하고 약 68kHz에서는 7 λ 의 진동이 발생하는 것을 알 수 있다. 6 λ 의 동작주파수는 식(2.6)에 설계에 사용된 세라믹과 탄성체의 재료정수를 대입하여 얻은 약 57kHz의 공진주파수와 유사하다. 이와 같이 구해진 공진주파수는 실제 제작된 초음파모터의 구동주파수와 차이를 나타낼 수 있는데 이는 세라믹과 탄성체의 결합에 사용되는 접착제가 압전 세라믹의 공진특성에 영향을 미치기 때문이다.

그림 5는 약 52kHz의 공진주파수를 갖는 전기신호를 인가했을 때 고정자에서 발생하는 변위량의 크기를 색으로 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 탄성의 끝부분에서 큰 변위가 발생하는 것을 알 수 있는데 이로부터 회전자의 크기를 결정할 수 있다.

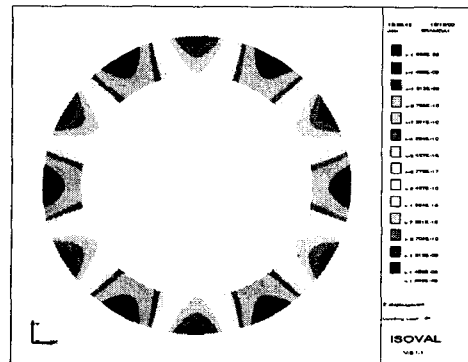


(a) 6 λ (52kHz)



(b) 7 λ (68kHz)

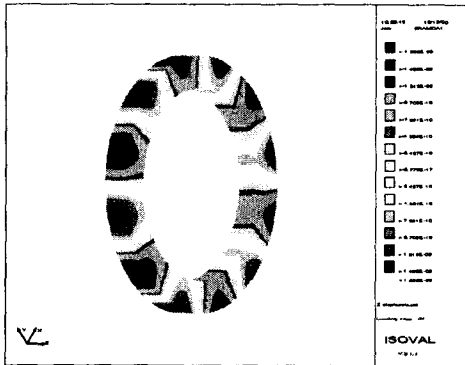
그림 4. 주파수에 따른 진동특성



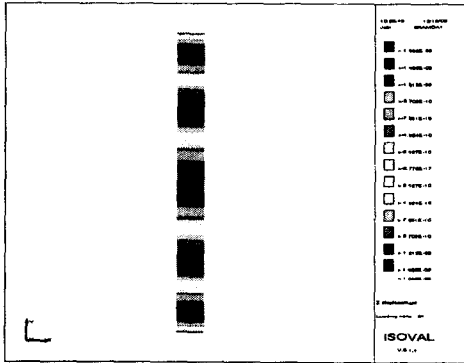
(a)

참고 문헌

- [1]. R. Inada, A.Tokushima, O.Kawasaki, Y.Ise and H.Yoneno, "Piezoelectric Ultrasonic Motor", Ultrasonic Symposium, pp747-755, 1987.
- [2]. Wolfgang Seemann, "Ultrasonic traveling wave linear motor with improved efficiency", SPIE, Vol.2717, pp554-564, 1996.
- [3]. J. W. Krome, "Finite Element Models for The Piezoelectric Actuation in Ultrasonic Traveling Wave Motors", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.7, pp157-161, 1996.
- [4]. K.Uchino, "Electrostrictive Actuator : Material and Application", Ceram. Bull., Vol.65, No.4, 1986.



(b)



(c)

그림 5. 변위량에 따른 색지수

4. 결 론

본 연구에서는 유한 요소법의 원리를 이용한 시뮬레이션 프로그램인 Atila 5.1.1를 이용하여 외경 ϕ 40, 내경 ϕ 30 그리고 두께는 세라믹과 탄성체 각각 0.5, 3mm이며 12분할의 전극형태를 갖는 원환형 초음파 모터를 설계하여 해석한 결과 고정자는 약 52kHz의 주파수에서 6λ 의 진동특성을 나타냈으며 이는 수식을 통해 얻어진 공진주파수 약 57kHz와 유사한 값을 갖는다. 또한 고정자의 가장자리에서 가장 큰 변위를 발생한다는 것을 확인하였다.