

유한요소해석 프로그램에 의한 리니어 초음파 모터의 변위량 해석

Analysis of Linear-type Ultrasonic Motor Using A Finite Element Method

이동준*, 임태빈*, 강성택*, 김영욱*, 임기조**

D. J. Lee*, T. B. Lim*, S. T. Kang*, Y. O. Kim*, K. J. Lim**

Abstract

This paper is a study on a linear ultrasonic motor with a first longitudinal(L_1) and fourth bending(B_4) double-mode rectangular plate. The stator vibrator is composed of an elastic material plate and of a piezo-ceramic element having a motion by electrical excitation. Each strain vector differs by 90° generate travelling wave with the elliptical displacement motion of a point on the surface. To magnify displacement of longitudinal direction in elliptical displacement motion, the motor has a mechanism of the displacement enlargement. In this paper, the vibration shape of the stator is simulated using the finite element method. A detailed model considered of the piezoelectric effect and of the exact geometry of the stator is used to calculate the displacement. The position of displacement mechanism is decided by the maximum displacement.

Key words(중요용어) : Travelling wave ultrasonic motor(진행파형 초음파모터), Displacement analysis(변위량 해석)

1. 서론

전자기식 모터에 비하여 초음파모터는 구조가 간단하고 소형, 경량, 박형화가 가능하며, 크기에 비해 고토크를 얻을 수 있고 마찰구동으로 응답성이 매우 높아 여러 분야에 많이 응용되고 있는 추세이다.

초음파모터의 연구는 주로 압전체, 탄성체, 마찰재 등의 재료와 모터의 구조, 그리고 구동회로에 대하여 진행되고 있지만, 아직 프로그램에 의한 진동자의 해석의 연구는 미흡한 실정이다.

유한요소법에 의한 초음파모터의 해석은 주로 공진주파수 해석과 공진 모드에 따른 변위량 해석 및 모델설계에 유용하게 사용이 되고 있다[1][2].

최근 리니어 초음파 모터의 해석에서 확대기구의 높이에 따라 회전수와 효율을 비교할 때, 높이가 4~8 mm범위 내에서 최대의 값을 얻을 수 있음을 해석하였으며 실험으로 확인하였다[3].

본 논문에서는 초음파모터의 기본적인 구동원리와 변위 확대기구의 효과를 간략히 설명하고 리니어 초음파모터의 구동원이 되는 고정진동자를 구체적으로 설계하였다. 공진모드로 구동되는 고정자에서 탄성체 표면의 변위량을 해석하여 최대의 변위점을 찾아 변위 확대기구의 위치를 결정하였다.

* : 전자부품종합기술연구소
(경기도 평택시 진위면 마산리 455-6)
e-mail : kangst@nuri.keti.re.kr

** : 충북대학교 전기공학과

2. 초음파 모터의 변위량 해석

1) 초음파 모터의 기본 작동원리

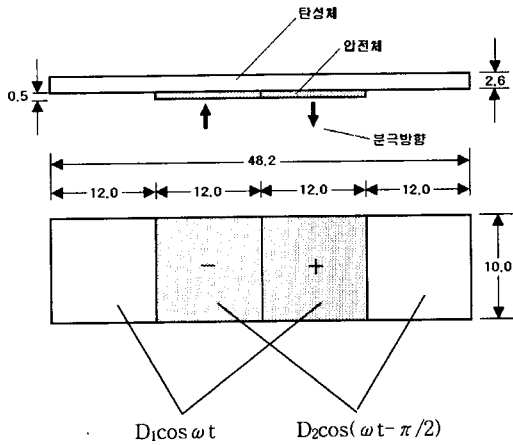


Fig. 1 Stator vibrator

그림 1 고정진동자

그림 1은 압전체와 탄성체로 구성된 고정진동자이다. 고정진동자의 압전체에 각각 90° 위상차를 가진 공진주파수의 신호를 입력하면 그림 2와 같이 고정자는 L_1B_4 공진모드로 진동하게 된다[4].

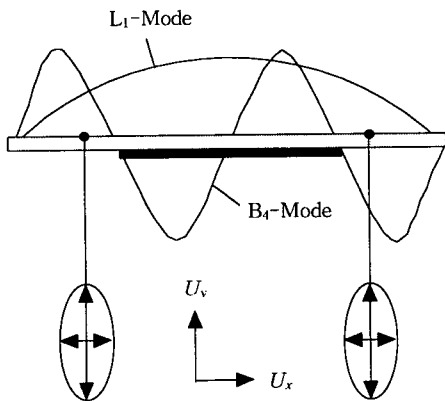


Fig. 2 L_1 and B_4 -mode stator vibrator and elliptical displacement motion

그림 2 L_1 - B_4 모드 고정진동자와 타원운동

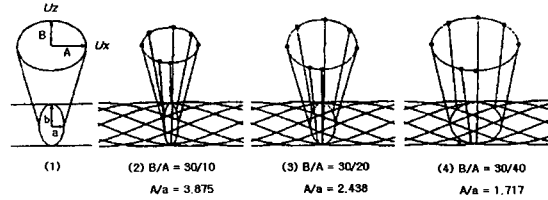


Fig. 3 Displacement enlargement and pattern of the elliptical motion

그림 3 변위 확대기구와 타원운동의 형태

탄성체 표면에서는 L mode(longitudinal mode)에 의하여 U_x 방향으로의 변위와 B mode(bending mode)에 의하여 U_z 방향으로의 변위를 갖게 되어 타원운동이 일어나게 된다. 이러한 타원운동의 힘이 회전자를 돌릴 수 있게된다.

그림 2와 같이 L-mode 보다 B-mode로 인한 변형이 더 크게 일어나는 탄성체 표면 즉, U_z 방향으로의 변위가 가장 큰 점에서는 U_z 축으로 긴 타원운동을 하게 된다. 이 최대점에서 효율이 가장 우수하게 되며 이 점에 변위 확대기구를 설치하면 U_x 방향으로의 변위량을 최대로 얻을 수 있게 되므로 극대의 효율을 얻게 된다.

그림 3은 굽곡 진동파에서 변위 확대기구의 효과를 보이고 있다. 여기에서 종길이(b/a)의 타원운동 크기에 대한만큼 U_x 방향으로의 변위(A/a)가 큰 것을 알 수 있다[5].

2) 고정자 설계 및 해석

고정자의 변위량 해석을 위해 S/W로서 유한요소 프로그램인 ATILA 5.1.1과 H/W로서 DELL 300MHz(PC Ver.)를 이용하였으며 해석모델은 그림 1과 같다.

그림 4는 유한요소해석을 위한 프로그램 순서를 나타내고 있다. 해석모델은 그림 5와 같으며 입력된 고정자의 공진주파수를 분석한 후, 진동차수의 공진주파수를 가진 교류전류를 인가하여 진동정상상태의 변위를 해석하였다.

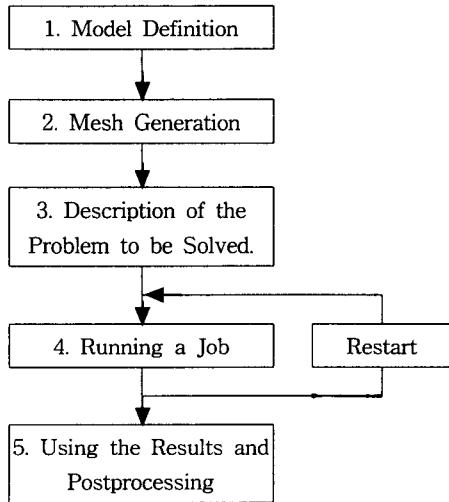


Fig. 4 Flow chart of finite-element analysis

그림 4 유한요소 해석의 순서도

탄성체와 압전체의 재료특성은 프로그램에서 제공된 재료정수를 사용하였으며, 표 1에 각각의 재료정수를 나타내었다.

Elastic material		
Young's modulus	0.7140E+11	N/m ²
Poisson's ratio	0.344	
Density	0.283E+04	kg/m ³
Piezoelectric material		
Density	0.775E+04	kg/m ³
S ₁₁ ^b	0.164E-10	N/m ²
S ₁₂ ^b	-0.574E-11	N/m ²
S ₁₃ ^b	-0.722E-11	N/m ²
S ₃₃ ^b	0.188E-10	N/m ²
S ₄₄ ^b	0.475E-10	N/m ²
S ₆₆ ^b	0.443E-10	N/m ²
d ₁₅	0.584E-09	C/N
d ₃₁	-0.171E-09	C/N
d ₃₃	0.374E-09	C/N
ε ₁₁ ^b	0.916E-08	F/m
ε ₃₃ ^b	0.830E-08	F/m

Table 1. Physical characteristics of the materials

표 1 재료의 물리적 특성

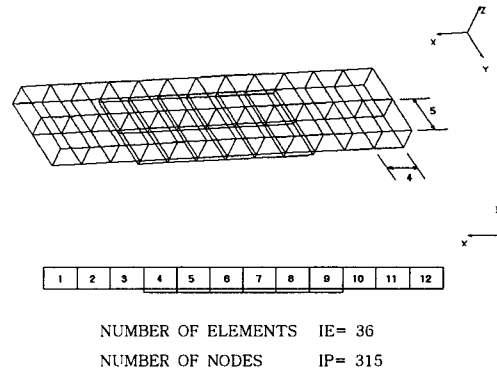


Fig. 5 Finite element model for analysis

그림 5 해석을 위한 유한요소 모델

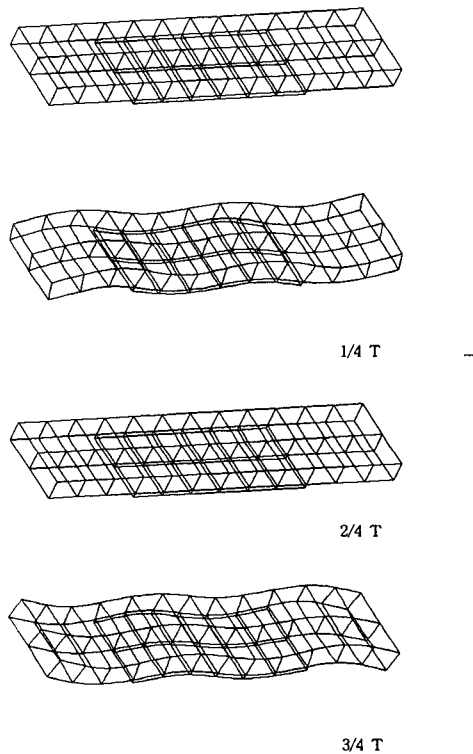


Fig. 6 Changes of displacement during a period

그림 6 한 주기동안의 변위량 변화

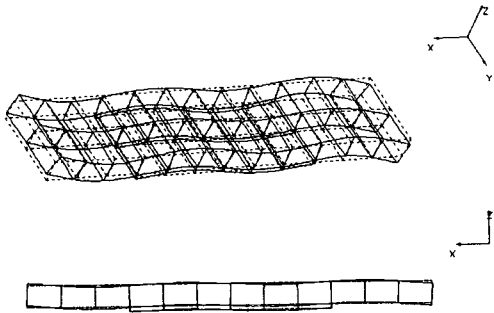


Fig. 7 Deformed structure
그림 7 변형된 모델

Fig. 8 Displacement amplitude presented color.

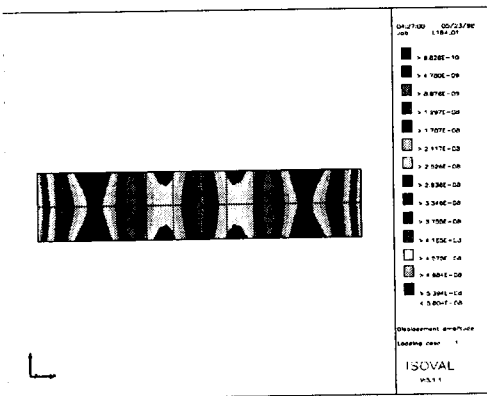


그림 8 변위량에 따른 색지수

그림 5는 해석에 적용된 모델로서 총 요소의 수를 36개를 사용하였다. 그림 6은 한 주기동안의 변위량 변화를 나타내었다. 그림 7은 공진모드에서의 변위량을 해석하여 나타내었다. 그림 8은 변위량의 크기에 따라 색으로 표현하였다. 색지수 표현에서 아래쪽으로 내려갈 수록 변위량 값이 크다.

3. 결론

해석결과 이 모델의 최대 변위점은 그림 5에서 표시한 탄성체요소 3과 4 그리고 10과 11사이에서 찾을 수 있었으며, 이 위치에 변위 확대기구를 설치하면 L_1B_4 모드에서 최대의 효율을 얻을 수 있을 것이다.

Reference

- [1] Wolfgang Seemann, "Ultrasonic traveling wave linear motor with improved efficiency", SPIE, Vol. 2717, pp. 554~564, 1996.
- [2] J. W. Krome, "Finite Element Models for The Piezoelectric Actuation in Ultrasonic Traveling Wave Motors", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 7, pp. 157~161, 1996. 3.
- [3] Zhigang YANG, "Ultrasonic Motor Using a Plate Vibrator with Projections", 日本機械學會論文集(C編), 62卷, 602号, 1996. 10.
- [4] S. Ueha, Ultrasonic Motors Theory and Applications, pp. 131~152, CLARENDON PRESS OXFORD, 1993.
- [5] T. Sashida, "Trial Construction and Operation of an Ultrasonic vibration Driven Motor", 應用物理, Vol. 51, No. 2, pp 121~126, 1993.