

풍차형 초음파 전동기에 대한 3차원 진동모드의 유한요소해석

FEM Analysis of 3-Dimensional Vibration Mode for Windmill type Ultrasonic Motors

김우태*, 우상호*, 신순인*, 김진수**, 사정우***, 김기수****

(Woo-Tae Kim, Sang-Ho U, Soon-In Shin, Jin-Soo Kim, Jeong-Woo Sa, Ki-Soo Kim)

Abstract

In this paper, vibration mode of Windmill type Ultrasonic Motors was analysed. We used the ANSYS program to analysis by FEM. Vibration Mode express 20 modes as each resonance frequency. We bind nearly same modes and compress 5 modes. Windmill type Ultrasonic Motor's rotation is generated the friction of rotor at top endcap. Thus, We will find the best driving frequency that generating large friction at top endcap.

Key Words : FEM, ANSYS program, Windmill type Ultrasonic Motors, Vibration mode, Piezoelectric ceramics

1. 서 론

초음파 전동기에 대한 연구는 그 역사는 짧지만 현재 전자식 전동기가 지니지 못하고 있는 많은 장점들 때문에 깊게 연구되어 오고 있다. 저속에서의 고투크와 효율이 높고 정밀한 위치 제어가 가능할 뿐만 아니라 온갖 주위에 산재되어 있는 자기장(magnetic field)에 영향을 받거나 미치지 않으며 감속장치나 토크확대기구가 필요 없기 때문에 구조가 간단한 모습을 갖게 된다[1]. 이러한 특징을 가지고 있는 초음파전동기는 미래의 소형화·정밀화의 요구에 적합하게 부합되어 가고 있으며 로봇용, 정밀위치용, DVD/CD 등에 응용되고 있다[2][3].

본 연구실에서도 이러한 추세에 맞추어 실험을 수년간 계속하였으나, 경제성과 고투크에 적합하지

않아서 실용화하기에는 성공하지 못하고 있다[4]. 지난번 연구에서는 심벌액츄에이터를 변형한 풍차형 초음파전동기를 제작하였다[5][6][7]. 하지만 엔드캡의 형태가 심벌형이어서 가압력이 일정하지 않고 마찰력이 제대로 전달되지 않아서 결국 토크가 작게 나타났었다[8]. 이러한 단점을 보완하고자, 즉 토크를 크게 하여 실용화하기에 접근하고자 고정자의 엔드캡 모양을 바꾸어서 설계하게 되었다[9].

초음파전동기를 만들기 전에 우리는 초음파전동기에 대한 유한요소해석(FEM, Finite Element Method) 프로그램인 ANSYS를 이용하여 공진주파수를 찾아보고 진동모드를 살펴보기로 한다.

2. 풍차형 초음파전동기의 설계

2.1 고정자

고정자는 지름이 14.4mm이고 두께가 0.5mm인 원판형 압전세라믹을 사용하였다. 여기에 top endcap과 bottom endcap을 오목하게 하여 설계하였다(그림 1). 기존의 심벌형(Cymbal type)에 비해 위에서 누르는 가압력을 최적화하여 마찰력을 크게 하기 위한 목적이다. 여기에 사용하는 엔드캡은 황동을 사용하였으며, 표 1과 표 2는 황동과 세라믹의 물성을 나

* 한국교원대학교 기술교육과 석사과정
** 한국교원대학교 기술교육과 교수
*** 기초과학지원연구소 연구원
**** 충남대학교 기술교육과 교수
(충북 청원군 강내면 다락리 산7
한국교원대학교 기술교육과
Fax: 043-230-3787
E-mail : <http://cc.knue.ac.kr/~jskim>)

타내고 있다. 이 물성은 FEM 해석시 필요한 데이터가 된다.

표 1. 탄성체의 물성

Table 1. Material properties of Elastic Body

상 수	값 / 단위
Young's modulus	11.0×10^{10} [N/m ²]
Poisson's ratio	0.35
Density	8.8 [g/Cm ³]

표 2. 압전세라믹스의 물성

Table 2. Material properties of Piezoelectric ceramics

상 수	기 호 [단 위]	값
Dielectric constant	E_{33}/E_0	1500
Loss factor	$\tan \delta$ (%)	0.3
Coupling factor	k_{31}	0.34
	k_{33}	0.72
Piezoelectricconstant	d_{31} (pC/N)	-150
	d_{33} (pC/N)	340
	g_{31} (mV/N)	-11
	g_{33} (mV/N)	22
Mechanical quality	Q_m	1700
Curie Tem	T_c (°C)	300

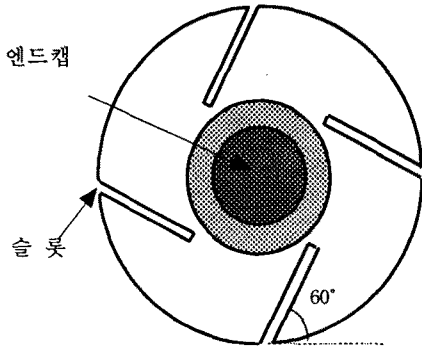
2.2 ANSYS 프로그램

초음파전동기에 대한 유한요소해석은 여러분야에서 많은 종류의 프로그램으로 사용되어 왔으며, 여기에서는 초음파 전동기의 3차원진동모드를 살펴보기 위해 ANSYS 프로그램을 사용하였다. 이 ANSYS 프로그램은 압전현상과 자기왜곡 물질을 갖는 2, 3차원 구조물들의 해석을 위하여 특별히 고안된 유한요소해석 프로그램이다. ANSYS는 모든 종류의 활성물질(액츄에이터, 변환기, 센서 등)에 대하여 매우 효과적인 설계도구이다. 이 해석에서 우리는 공진주파수별 진동모드를 해석하여 최적의 진동모드에 대한 공진주파수를 구하게 된다.

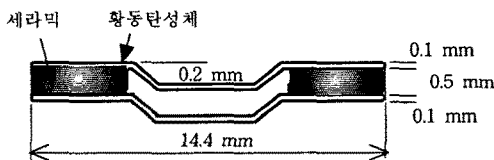
3. 유한요소법 해석 결과

각 공진주파수에 따르는 진동모드를 프로그램에 의해 20개의 모드를 구해보았다. 여기에서는 20개 모드를 전부 나타내지 않고 서로 비슷한 진동모드를 가지고 있는 것들을 5개로 묶었다. 각 공진주파수별 진동모드를 알아보면 다음과 같다.

1) 제 1모드(27087, 37769, 42507 Hz) - 중심원을 중심으로 하여 진동이 발생하나 엔드캡에서의 집중진동을 얻기는 어렵다(그림 2).



(a) 평면도



(b) 단면도

그림 1. 풍차형 초음파전동기의 구조

Fig. 1. Structure of Windmill type Ultrasonic motors

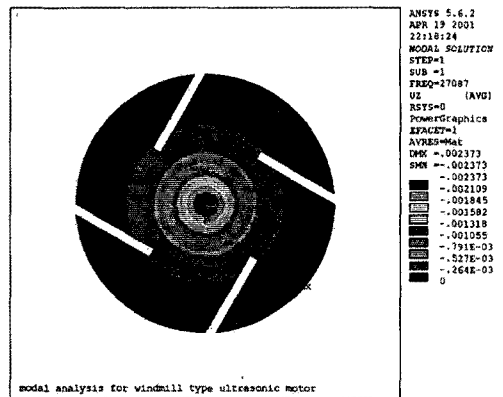


그림 2. 주파수에 따른 제 1진동 모드

Fig. 2. The 1st Vibration mode as frequency

2) 제 2모드(41415, 43389kHz) - 중심원에서부터 180도로 마주보는 2개의 큰 타원형태의 진동이 발생하나, 엔드캡에서의 집중적인 진동을 얻기는 어렵다(그림 3).

3) 제 3모드(67681, 67693, 69083, 69099 Hz) - 이것은

엔드캡에서 2개의 타원형태의 진동이 발생하여 비교적 엔드캡에서의 집중적인 진동을 얻을 수 있다(그림 4).

4) 제 4모드(67887, 68611 Hz)- 중심원을 중심으로 서로 90도를 이루며 타원형태의 진동이 발생하나 엔드캡에서의 집중적인 진동을 얻기에는 어렵다(그림 5).

5) 제 5모드(111925, 113012, 116993, 119578 Hz)- 엔드캡에서 서로 90도를 이루며 타원형태의 진동이 발생하여 엔드캡에서의 집중적인 진동을 얻기에 가장 적합하다(그림 6).

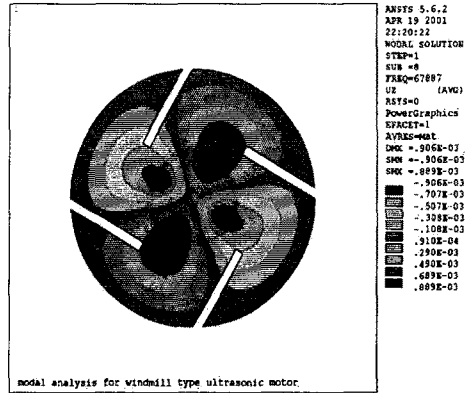


그림 5. 주파수에 따른 제 4진동 모드
Fig. 5. The 4th Vibration mode as frequency

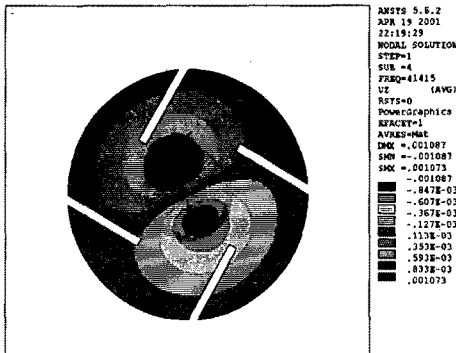


그림 3. 주파수에 따른 제 2진동 모드
Fig. 3. The 2nd Vibration mode as frequency

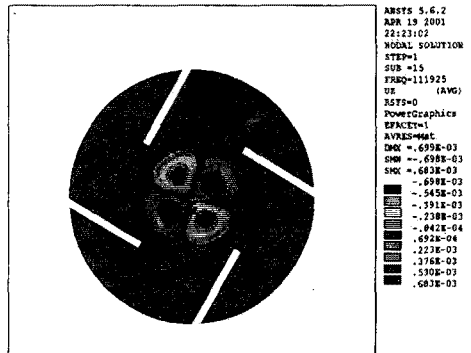


그림 6. 주파수에 따른 제 5진동 모드
Fig. 6. The 6th Vibration mode as frequency

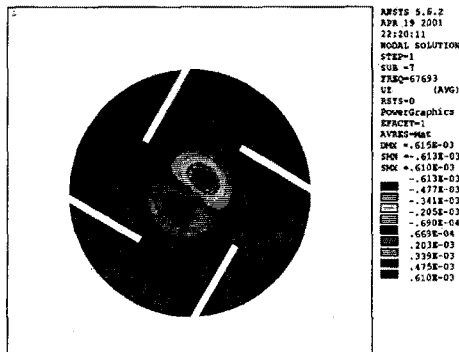


그림 4. 주파수에 따른 제 3진동 모드
Fig. 4. The 3rd Vibration mode as frequency

4. 결 론

이상과 같이 각 공진주파수별로 진동모드를 해석해 보았는데 풍차형에서는 고정자의 마찰력을 이용하여 회전하게 되는 회전자가 엔드캡에 위치해야 하기 때문에 엔드캡에서 집중적으로 진동이 발생되어야 한다. 위의 5가지 모드에서 가장 좋은 모드는 5 모드이며, 이 경우에 있어서 엔드캡에서 모든 진동이 발생됨을 알 수 있다. 이 때의 공진 주파수는 111925, 113012, 116993, 119578kHz가 되었고 후에 풍차형 초음파 전동기의 실험에 있어서의 공진주파수가 될 것이다.

참고 문헌

- [1]. 김진수, 이명훈, “초음파전동기의 이론과 응용”, 성안당, pp3-5, 2000.
- [2]. Naomasa TAKAHSHI, “Digital Video Disk/Compact Disk(DVD/CD)-Compatible pickup Head with Dual Lens Rotating Actuator, Jpn. J. Appl. Phys, Vol 36, pp467-473, 1997.
- [3]. In-Ho Choi, “Compact Disk/Digital Video Disk(CD/DVD)-Compatible Optical Pickup Actuator for High Density and High Speed” Jpn. J. Appl. Phys, Vol 37, pp2189-2196, 1998.
- [4]. B. Koc and K. Uchino, “Wind-Mill Ultrasonic Motor”, 17th ICAT Smart Actuator Symposium, The Pennsylvania State University, 1996.
- [5]. 박만주, 김진수, “단상 초음파 전동기의 공진 및 진동 속도 특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 12, No 4, pp312-318, 1999.
- [6]. 최성영, 김진수, “심벌 액츄에이터의 제작과 변위 특성의 분석”, 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 12, No 5, pp401-406, 1999.
- [7]. 김영균, 김진수, “풍차형 초음파 전동기의 회전자에 인가된 힘이 회전특성에 미치는 영향”, 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No 5, pp390-395, 2000.
- [8]. 김우태, 김진수, “고토크를 내는 풍차형 초음파 전동기의 새로운 설계”, 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집 Vol. 13, No 1, 한국전기연구소, pp181-183, 2000.
- [9]. Jin-Soo Kim, Man-Ju Park and KENJI UCHINO, “Composite Ultrasonic Motors using a Piezoelectric Disc and an Elastic Body of “Windmill” Type”, Ferroelectrics, Vol. 232, pp185-190, 1999.