

Thin-Type 초음파모터의 설계 및 제작

김종욱^{1,a}, 박충효¹, 정현호¹, 정성수¹, 박태곤¹

¹ 창원대학교 전기공학과

Design and Fabrication of a Thin-Type Ultrasonic Motor

Jong-wook Kim^{1,a}, Choong-hyo Park¹, Hyon-ho Chong¹, Seong-su Jeong¹, and Tae-gone Park¹

¹ Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received May 16, 2010; Accepted June 15, 2010)

Abstract: In this paper, the characteristics of a thin-type ultrasonic motor generating elliptical displacements analyzed by FEM are presented, and then fabrication of the motor is then described. The structure of the motor consists of sixteen ceramic pieces attached to the upper and bottom surfaces of an elastic body. The principle of the motor is to apply alternating voltages which have a 90 phase difference to the attached ceramics, and then elliptical displacements are generated at four edges of the elastic body. Then the rotor is moved by the elliptical displacements. In the case of a ceramic thickness of 1.5, the highest speed was obtained at 79 kHz. In the case of a ceramic thickness of 2 mm, the highest speed was obtained at 77.5 kHz. Consequently, the speed and torque of the ultrasonic motor (USM) increased linearly with increasing applied voltage.

Keywords: Thin-type, ATILA, FEM, USM (ultrasonic motor)

1. 서론

초음파모터는 압전세라믹의 역효과를 이용하며, 가청주파수 이상의 주파수대역에서 동작한다. 또한 모터의 구조나, 세라믹의 진동형태에 따라 분류 가능하며 현재 디지털 카메라(DSLR) 내부의 자동 초점용으로 원환형 초음파 모터가 사용되고 있다.

초음파모터의 특징을 보면 세라믹의 진동자(vibrator)에 의해 구동되는 고정자(stator) 부분의 타원 변위를 이용하여 회전자(rotor)를 회전시키는 방식으로 기존의 전자기식 모터와는 차별화된 특성을 가진다. 이는 기존의 전자기식 모터(electric motor)에 비해 구조가 간단하며, 저속에서의 고 토크 및 정밀제어가 가능할 뿐만 아니라, 기존 모터처럼 코일이나 자성체를 사용하지 않아 전자파가 발생하지 않으므로 사용에 제한을 받지 않는다. 또한 마찰을 구동력으로 하여 유지토크(holding torque)가 크기 때문에, 응답 특성이 우수하고, 소형 경량화가 가능하여 저 가격이 기대되며 형

a. Corresponding author; kjharu@naver.com

상의 자유도가 커 장치의 최적 설계가 가능한 특징을 가지고 있다. 응용분야로는 로봇의 관절 구동, 카메라 렌즈의 구동, 광학 및 정밀 위치제어가 필요한 선반, home/office automation 구동 부문, 프린터 및 복사기 종이 feeding용 모터, 의료장비의 구동부문, 반도체 장비의 구동부문, 기타 군사무기추진 체계 구동용 모터 등과 같이 광범위한 분야에서 응용되고 있다.

본 논문에서는 유한요소해석을 사용하여 세라믹의 두께라는 변화에 따른 초음파모터의 구동특성을 해석하고 세라믹 두께 1.5 mm와 2 mm를 가지는 초음파 모터를 제작하였다. 제작된 초음파모터는 구동장비를 사용하여 특성실험을 하였고, 이를 측정장비를 이용하여 속도 및 토크 특성을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 구조 및 원리

그림 1은 GID 프로그램을 통하여 thin-type 초음파

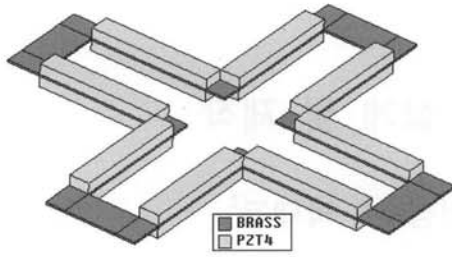


Fig. 1. Structure of thin-type ultrasonic motor.

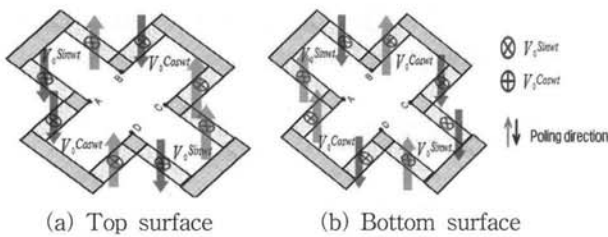


Fig. 2. Applied voltages and poling directions of ultrasonic motor.

모터를 모델링한 것이다. 크로스 형태의 얇은 탄성체에 위 아래로 각각 8개의 세라믹을 붙인 형태로, 탄성체의 물질은 brass, ceramic은 PZT4를 적용시킨 모습이다 [1]. 기본구조는 다음과 같으며 십자가 형태의 가운데 부분 총 4개의 tip에서 타원변위가 발생하게 된다.

그림 2는 타원 변위를 만들어내기 위해 가해지는 인가전압 및 분극방향을 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 탄성체 윗면을, 그림 2(b)는 세라믹의 아랫면에서의 인가전압 및 분극방향을 나타낸 것이다 [2].

압전 세라믹에 90도 위상차의 교류 전원을 인가 시 발생하는 타원변위는 그림 3과 같다. 그림에서 t_0 에서 t_3 까지의 한 주기 동안 타원변위를 확인할 수 있다. 총 4개의 타점 a, b, c, d에서의 순차적인 타원 변위는 회전자와의 마찰에 의해 회전력을 발생시킨다. 또한 sine 파와 cosine파를 반대로 인가 시 역회전이 된다 [3,4].

2.2 유한요소해석

설계를 위해 압전 유한요소해석 프로그램인 ATILA 1.4.5를 사용하였다. 해석에 앞서 탄성체와 결합하는 세라믹의 두께를 변수로 지정하였으며, 폭과 길이의 비는 1 : 6으로 3 mm × 18 mm로 고정하였다. 변수로는 두께 T를 0.5 mm에서 2 mm까지 0.5 mm의 두께 차이를 가지는 모델 4개를 기준으로 해석하였다.

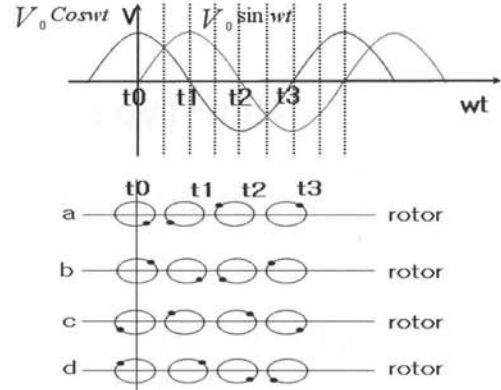
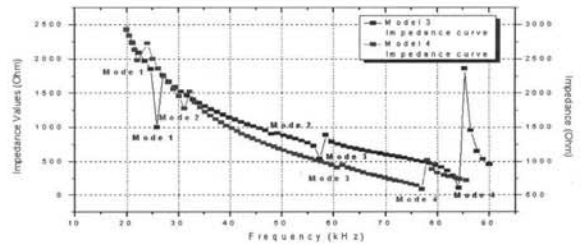
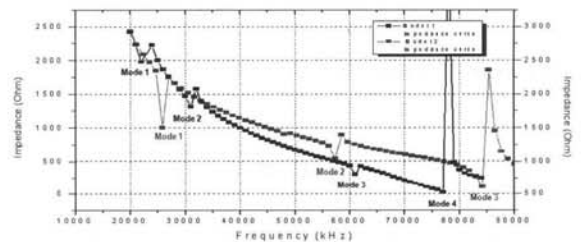


Fig. 3. Elliptical displacements during one cycle.



(a) 0.5 mm and 1 mm thickness of ceramics



(b) 1.5 mm and 2 mm thickness of ceramics

Fig. 4. Impedance curve depending on the thickness of ceramics.

그림 4는 ATILA를 이용하여 harmonic 해석을 통한 임피던스 특성곡선을 나타낸다. 공진모드의 경우 세라믹 두께가 다른 4개의 모델 모두 공통적으로 4개의 공진모드 특성을 나타내었다. 주파수 대역이 높은 Mode 4의 경우 낮은 주파수 대역을 가지는 다른 공진 모드에 가장 낮은 임피던스 값을 가짐을 확인하였다. 또한 세라믹 두께 0.5 mm를 가지는 model 1보다 세라믹 두께 2 mm를 가지는 model 4일 때 공진모드에서의 주파수 대역이 낮아짐을 확인하였다. 이는 세라믹 두께가 두꺼워 질수록 공진 주파수 대역이 낮아짐을

Table 1. Resonance frequency depending on the thickness of ceramics.

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Model 1	34 kHz	64 kHz	76 kHz	98 kHz
Model 2	28 kHz	54 kHz	64 kHz	88 kHz
Model 3	25 kHz	48 kHz	56 kHz	84 kHz
Model 4	22 kHz	31 kHz	49 kHz	77 kHz

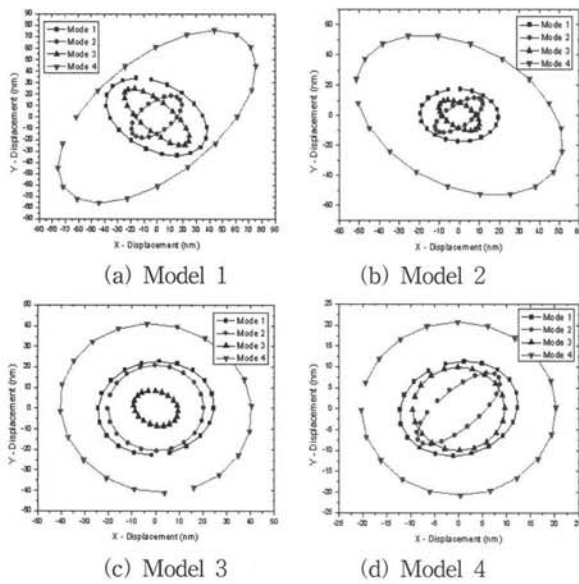


Fig. 5. Elliptical displacement according to resonance mode at each model.

보였다. 임피던스특성곡선을 토대로 표 1에서 세라믹 두께에 따른 모델별 4개의 공진 모드에서의 공진 주파수 값을 나타낸다 [5].

해석결과를 토대로 세라믹 두께별 model에 한하여 공진모드에 따른 타원변위 발생을 알아보았다. 해석 결과 세라믹 두께에 따른 4가지 모델 모두 공통적으로 임피던스 값이 가장 낮은 mode 4에서 가장 큰 타원 변위를 나타내었다. 해석 조건으로는 탄성체 두께 0.3 mm, 황동이 사용되었고, 인가전압은 10 V이다. 구동주파수는 공진주파수를 벗어나 최대변위를 가지는 주파수로 정의하였다.

2.3 실험

초음파모터의 제작 모델은 비교적 낮은 구동주파수를 가지고 원형에 가까운 타원변위를 가지는 세라믹 두께 1.5 mm와 2 mm를 제작하였다.

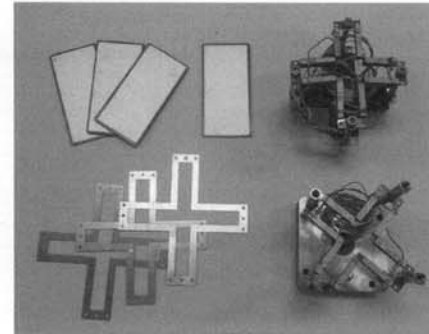


Fig. 6. Fabrication of the ultrasonic motor.

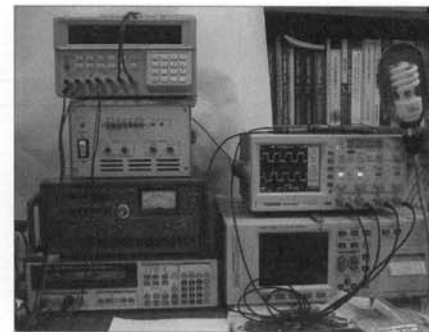
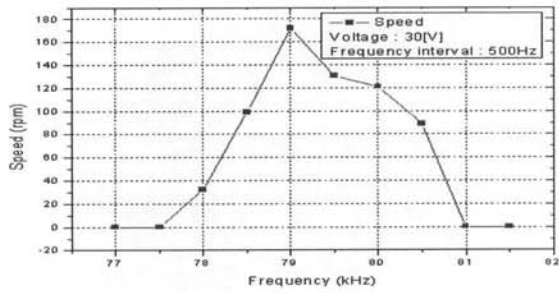


Fig. 7. Driving equipment of the ultrasonic motor.

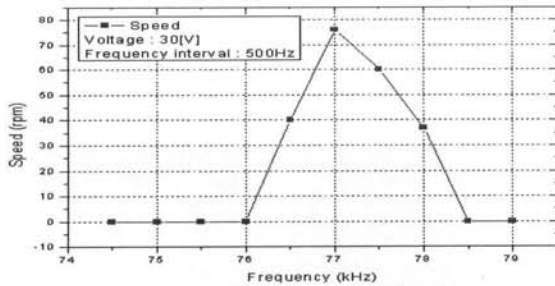
그림 6의 제작과정에서 탄성체의 두께는 0.3 mm이며, 사용된 세라믹의 두께는 1.5 mm와 2 mm이다. 폭 × 길이는 3 × 18 mm으로 정의한다. Brass로 제작된 탄성체를 와이어 커팅을 이용하여 크로스 형태로 만들고, 세라믹을 다이아몬드 커터를 이용하여 16EA의 세라믹을 제작 하였다. 세라믹과 탄성체의 접착을 위하여 에폭시가 사용되었고, 상온에서 접착력이 떨어지는 단점을 보완하기 위해 가열로에서 건조접합 하였다. 이후 90도 위상차의 전압을 인가하기 위해 전원선을 연결하고 탄성체의 끝부분을 고정시켜 제작하였다.

그림 7은 구동장비를 나타낸다. 90도 위상차를 가지는 교류 신호를 발생시키기 위해 함수발생기를 사용하고, 증폭기를 통해 증폭된 신호를 모터에 인가하였다. 측정항목으로는 인가전압의 변화에 따른 속도 및 토크 특성과 구동주파수의 변화에 따른 속도를 측정하였다. 오실로스코프로는 출력 전압을, 회전속도계 및 토크 게이지를 통해 속도 및 토크를 측정 하였다.

그림 8은 제작된 세라믹 두께 1.5 mm와 2 mm 초음파모터의 주파수 변화에 따른 속도특성을 나타낸



(a) 1.5 mm thickness of ceramics



(b) 2 mm thickness of ceramics

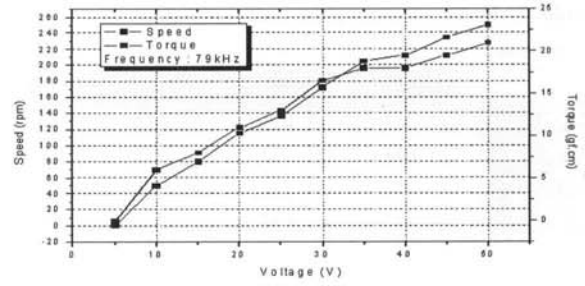
Fig. 8. Speed characteristics of depending on the frequencies of each model.

것이다. 그림 9에서는 그림 8에서의 가장 높은 속도를 갖는 구동주파수를 고정하고, 인가전압변화에 따른 속도 및 토크 특성을 나타내었다.

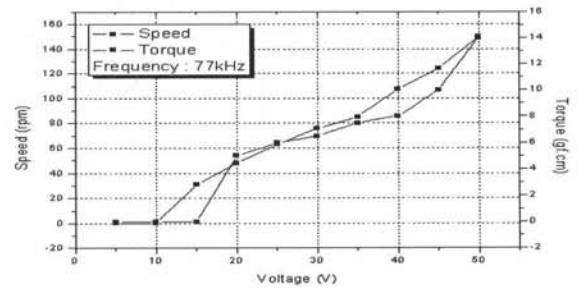
3. 결과 및 고찰

그림 10에서는 유한요소해석 결과를 토대로 세라믹 두께 1.5 mm와 2 mm를 가지는 두 개의 모터를 제작하였다. 그림 10은 인가전압 30 V 일 때 구동주파수의 변화에 따른 속도특성이며 model 3의 경우 79 kHz에서 최대속도 79 rpm이며, model 4일 때 77.5 kHz에서 최대속도 172 rpm으로 가장 높은 속도 값을 가졌다. 두 가지 모델은 공통적으로 특정주파수에서 가장 높은 속도 특성을 나타내었으며 구동주파수는 공진주파수 대역을 벗어난 영역에서 가장 큰 변위특성을 보였다. 또한 구동주파수 대역을 벗어나면 속도특성이 떨어짐을 확인하였다.

그림 11과 그림 12는 인가전압 변화에 따른 속도 및 토크 특성을 나타낸 것이다. 그림 10에서의 가장 높은 속도특성을 나타내는 구동 주파수를 고정값으로 두고 인가전압 5~50 V 까지 인가 시 속도 및 토크 특성을 나타내었다. 인가전압의 증가에 따라 속도 및 토크는 선형적인 증가특성을 나타내었다.



(a) 1.5 mm thickness of ceramics



(b) 2 mm thickness of ceramics

Fig. 9. Speed and torque characteristics depending on the frequencies of each model.

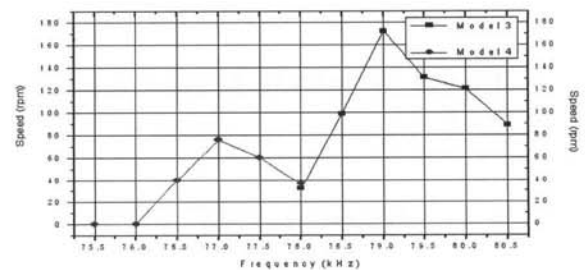


Fig. 10. Comparison of speed characteristics in model 3 and model 4 depending on the frequencies.

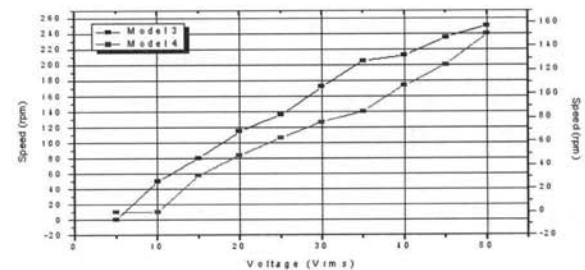


Fig. 11. Comparison of speed characteristics in model 3 and model 4 depending on the applied voltage.

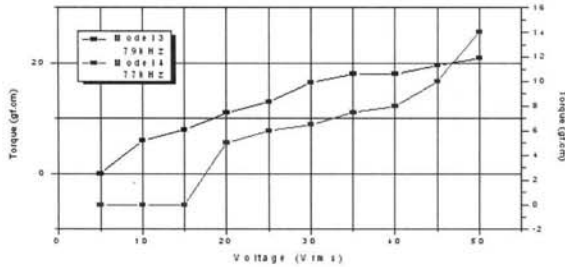


Fig. 12. Comparison of torque characteristics in model 3 and model 4 depending on the applied voltage.

4. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 토대로 thin-type 초음파모터를 설계하고 이를 실제로 제작하였다. 설계 시 세라믹의 두께에 대한 변수를 토대로 실제 실험에서의 특성과 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 유한요소해석 결과 공통적으로 4개의 공진 모드가 발생하였으며 주파수 대역이 높은 mode 4에서 가장 낮은 임피던스 값과 가장 큰 변위가 발생하였다.
2. 세라믹 두께가 두꺼워 질수록 공진 주파수 대역이 낮아지며, 변위 또한 줄어들음을 확인하였다.
3. 해석 결과와 실험 data를 비교할 시 인가전압에 따른 속도 및 토크 특성이 선형적인 증가를 확인하

였고, 이는 유한요소해석에서의 타원변위의 증가는 속도 및 토크에 비례함을 확인하였다.

본 연구를 통해, thin-type 초음파 모터의 특성을 확인하였고 향후 세라믹의 두께 외에 폭, 길이, 탄성체의 재질 및 사이즈의 변화에 따른 최적화된 초음파 모터의 개발이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었으며, 또한 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.

REFERENCES

- [1] S.-S. Jeong, H.-I. Jun, and T.-G. Park, *J. KIEEME* **21**, 335 (2008).
- [2] S.-J. Yoon and C. Y. Kang, *Ceramist* **8**, 19 (2005).
- [3] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, *Ultrasonic Motors Theory and Applications* (Clarendon press, Oxford, 1993) p. 4.
- [4] K. Uchino, *Ferroelectric Devices* (Marcel Dekker Inc., New York, 2007) p. 197.
- [5] K. Uchino, *FEM and Micromechatronics with ATILA Software* (CRC Press, Florida, 2008) p. 245.