

소형 원판형 초음파 모터의 제작 및 특성

박철현, 이종섭, 정수현*, 채충인**, 이강원, 김현후***, 임기조
 충북대학교 전기공학과, *대원공과대학 전기과, **주성대학 전기전자소자, ***두원공과대학 전자과

The Fabrication and Characteristics of Small Disk-Type Ultrasonic Motor

C. H. Park, J. S. Lee, S. H. Jeong*, H. J. Chai**, K. W. Lee, H. H. Kim***, K. J. Lim
 Chungbuk Nat'l Univ., *Daewon Tech. College, **Juseong College, and ***Doowon College

Abstract - In this paper, we studied the properties of small-size disk-type ultrasonic motor using travelling wave for the application to the precise control robotic joint motor and fabricated it.

The diameter of the ultrasonic motor fabricated was 13mm. Also, the piezoelectric vibrator was constructed by piezoelectric ceramic and elastic material. The piezoelectric ceramic was composed to PZ-PT-PMN which was shown the high electromechanical stability under high vibration level and stainless steel was used as the elastic material in which configuration was disk-type.

To conform the capability of application to robotic motor, we measured the change of rotational speed according to applied voltage and applied frequency.

As the results, the small-size disk-type ultrasonic motor was able to fabricate, and the revolution speed was 350 [rpm] when input voltage was 55 [Vrms] and applied frequency 160.4 [kHz] under pre-load.

1. 서 론

초음파 모터란 초음파 진동을 구동력으로 하는 모터이다. 압전 세라믹에 의하여 초음파 진동을 여기하는 압전 진동자와 압전 진동자에 가압 접촉한 회전자로 구성되어 압전 진동자와 회전자와의 사이에 작용하는 마찰력에 의하여 구동하는 모터이다[1,2].

초음파 모터는 코일이나 자석이 필요 없는 단순 구조이며 소형·경량으로 빠른 응답성을 가지고 있으며 감속기를 필요로 하지 않고 저속회전과 고토크가 가능하며 또한 유지 토크가 크다는 등의 특징이 있다.

이와 같은 특징을 이용하여 각종 오피스 오토메이션 기기, 카메라 렌즈 구동, 공업용 로봇이나 자동차 전장품, 시계, 카드 전송 장치등으로의 응용이 이루어지고 있다[3,4].

또한 최근에는 NASA에 의해 우주 항공산업이나 화성 탐사 로봇 관절등으로 연구분야가 확대되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 로봇 관절 모터로의 응용을 위해 진행파를 이용한 소형 디스크형의 초음파 모터를 설계 및 시작하였다.

2.1 동작원리

초음파 모터는 압전 세라믹의 초음파 진동에 의해 탄성체 표면에 시간적으로 공간적으로 90° 위상차를 갖는 수직 진동 성분과 수평 진동 성분의 중첩에 의해 탄성체 표면에 타원운동이 발생하고 마찰력을 매개로 회전하게 된다. 따라서, 초음파 모터의 구조는 고정자를 구성하는 압전 세라믹과 탄성체, 회전자, 가압기구등이 필

요로 된다. 탄성체 표면에 수직 진동 성분과 수평 진동 성분을 발생하기 위해 압전 세라믹과 탄성체는 기계적으로 구속되어 있어야 한다[4].

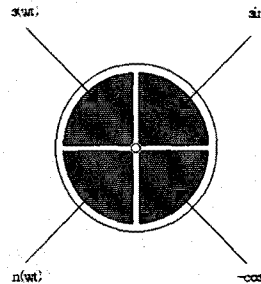


그림 1. 압전 세라믹의 전극분할

그림 1은 본 연구에서 시작한 압전 세라믹의 전극 분할 구조를 보인다. 압전 세라믹은 4극으로 분할되었고 2부분은 정으로, 나머지 2부분은 역으로 분극을 행하였다. 이와 같은 전극 구조에 전기적 입력을 가하면 압전 세라믹은 경방향으로 진동하게 된다. 그러나, 탄성체를 접촉시킴으로 접착면의 경방향 진동이 구속되어 탄성체 표면에는 공간적으로 90° 위상차를 갖는 굴곡진동이 발생하게 된다. 시간적으로 90° 위상차를 갖는 전기적 신호를 인가하게 되면 탄성체 표면에는 식 (1)과 같이 수직 방향 진동 성분과 접선 방향 진동 성분이 발생한 다.

$$\begin{aligned} \omega_s &= A_n(r, \theta) \sin(\omega t) \sin(n\theta) \\ u_s &= A_s(r, \theta) \sin(\omega t) \cos(n\theta + \phi(r, \theta)) \\ \omega_c &= A_n(r, \theta) \cos(\omega t) \cos(n\theta) \\ u_c &= -A_s(r, \theta) \cos(\omega t) \sin(n\theta + \phi(r, \theta)) \end{aligned} \quad \text{식(1)}$$

여기서,

- n : nodal diameter number
- ω : the exciting pulsation
- θ : angular coordinate
- r : radius
- ω_s 와 ω_c 는 sine 과 cosine 수직 변위
- u_s 와 u_c 는 sine 과 cosine 접선변위

이 수직 방향 진동 성분과 접선 방향 진동 성분의 중첩에 의해 식(2)와 같이 진행파가 탄성체 표면의 질점에 발생하게 된다.

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_s + \omega_c = A_n(r, \theta) \cos(\omega t - n\theta) \\ u &= u_s + u_c = A_s(r, \theta) \sin(\omega t - n\theta - \phi(r, \theta)) \end{aligned} \quad \text{식(2)}$$

2.2 압전 진동자의 제작

압전 진동자는 초음파 모터의 핵심부로 탄성체와 압전 세라믹으로 구성되었는데 압전 세라믹은 PZ-PT-PMN 조성, 탄성체는 stainless steel계 SKD강을 사용하였다. 또한, 압전 세라믹과 탄성체의 결합은 epoxy계 접착제를 사용하여 100°C에서 20분 경화하였다.

표 1에 압전 진동자의 제작 공정을 나타내었으며, 표 2에는 압전 세라믹과 탄성체의 재료 특성을 나타내었다.

표 1 압전 진동자의 제작 공정

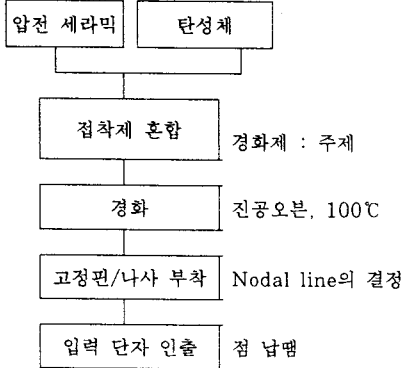


표 2. 압전 진동자 구성부의 재료 특성

압전 세라믹		탄성체	
k_p	50	Young modulus	$10.2 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
Q_m	1500	density	8.5
$\tan \delta$	0.3	Poisson's ratio	0.3
d_{33}	310		
density	7.7		

또한 그림 2에 보이듯이 탄성체에는 치를 4개 설치하여 압전 세라믹에 의해 여기되는 변위를 확대시키고자 하였다.

2.3 측정 방법

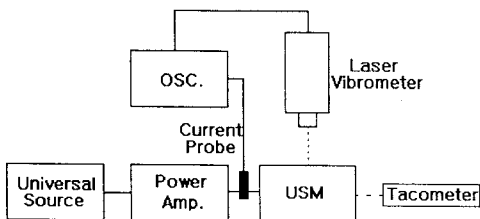


그림 2 측정 시스템

그림 2는 초음파 모터의 특성을 측정하기 위한 시스템을 나타낸 블록도이다.

초음파 모터는 시간적으로 90° 위상차를 가지는 전기적 입력을 필요로 하므로 2상 구동을 위해 Universal Source(HP 3245A)에서 미소한 두 전기적 신호를 발생시키고 각각의 신호를 전력 증폭기(NF 4001)를 이용하여 증폭하여 초음파 모터에 입력하였다.

이 때 입력 전류는 전류 프로브를 이용하여 오실로스코프로 측정하였고 초음파 모터의 회전 속도는 타코메터를 이용하여 측정하였다.

또한, 압전 진동자의 수직 방향의 변위를 측정하기 위해 레이저 진동계를 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

초음파 모터는 변위를 이용하므로 최대 변위점을 결정하여야 한다. 변위는 레이저 진동계를 이용하여 진동 속도를 측정하고 그 결과를 적분하여 얻을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 압전 진동자의 직경에 따라 레이저 진동계(OFV-3000)를 이용하여 오실로스코프로 측정하였다.

그림 3은 압전 진동자의 수직 방향의 변위를 측정된 결과이다.

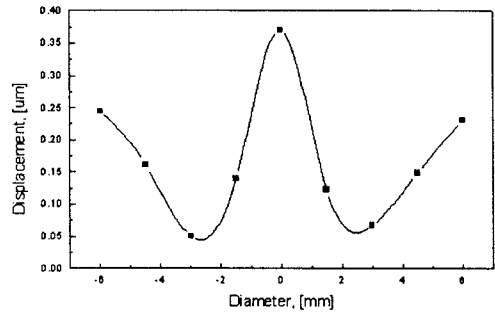


그림 3 압전 진동자의 직경에 따른 변위

그림에서 볼 수 있듯이, 압전 진동자의 중앙에서 외경으로 증가할수록 변위는 감소하다가 3 [mm]에서는 거의 변위가 없다. 즉, nodal line이다. 이와 같은 nodal line은 변위가 없기 때문에 변위 확대기구를 설치하여도 의미가 없다[5]. 이와 같은 측정 결과로 그림 4와 같이 4개의 변위 확대기구를 설치하였다.

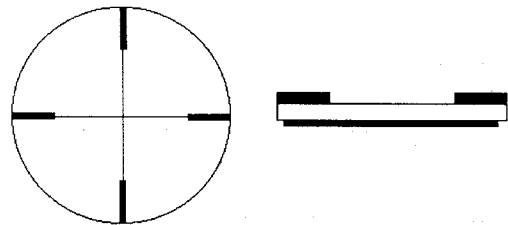


그림 4 초음파 모터의 압전 진동자 구조
(a)윗면도, (b)정면도

이와 같이 제작된 압전 진동자의 구동 주파수를 찾기 위해 압전 세라믹 자체의 공진 주파수를 임피던스 어널라이저(HP 4194A)로 측정하였다. 측정 결과 공진 주파수는 181 [kHz]이었으며 그 때 공진 저항이 1.8 [Ω] 정도이었다. 이와 같은 압전 세라믹에 압전 진동자를 구성하기 위해 탄성체를 붙인 후 고정자의 주파수에 대한 임피던스 특성을 다시 측정하였다. 이 때 공진 주파수는 압전 세라믹 자체일 때 보다 낮은 주파수로 이동

하여 161 [kHz]이었다. 이와 같이 공진 주파수가 변화하게 된 것은 탄성체를 압전 세라믹에 접착함으로써 무게의 변화에 기인한 것이다[6].

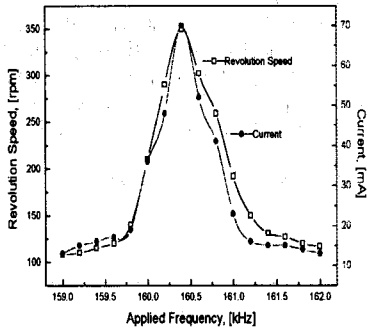


그림 5. 인가 주파수에 따른 회전 속도의 변화

초음파 모터는 공진 주파수일 때 최대 효율을 나타내므로 초음파 모터의 구동 주파수를 결정하기 위해 인가 전압을 40Vrms로 고정한 후 인가 주파수를 변화시키면서 전류와 회전 속도를 측정하였다. 그 결과를 그림 5에 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 인가 주파수를 증가시키에 따라 입력 전류와 회전 속도는 거의 선형적으로 증가하여 160.4 [kHz]에서 최대 피크를 보이다가 감소하는 공진 특성을 보이고 있다.

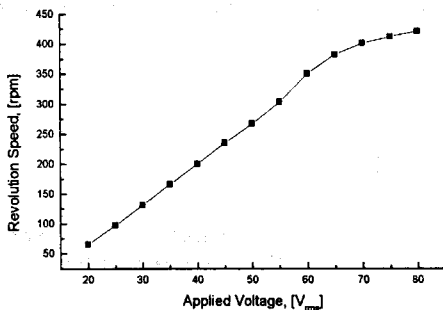


그림 6. 인가 전압에 따른 회전 속도의 변화

그림 6은 구동 주파수는 160.4 [kHz]로 고정하고 인가 전압을 변화시키면서 그 때의 회전 속도를 측정 한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이, 인가 전압을 증가시키에 따라 회전 속도는 거의 선형적으로 증가하여 55 [Vrms]일 때 회전 속도는 350 [rpm]이었다. 그러나, 거의 60 [Vrms]이상에서는 포화되는 경향을 보였다. 이와 같은 이유는 인가 전압이 증가함에 따라 기계적 품질 계수가 급격하게 저하하고 진동 손실 에너지가 급격하게 증가하여 상당량의 발열이 발생하므로 공진 주파수가 변화하기 때문에 초음파 모터는 공진 주파수에서 구

동되지 못 하기 때문에 생각된다[7].

3. 결 론

본 연구에서는 로봇 관절용 초음파 모터를 시작하기 위해 소형 초음파 모터의 동작 원리를 바탕으로 시작하였고 또한, 그 주파수 특성과 전압 특성을 측정하였다.

시제작된 초음파 모터의 외형은 디스크형으로 직경 13 [mm]의 소형 초음파 모터를 시제작 할 수 있었고 다.

소형 디스크형 초음파 모터의 특성은 가압력을 회전자 자체의 무게로 고정하였을 때 입력 전압 55 [Vrms] 구동 주파수 160.4 [kHz]에서 350 [rpm]정도의 안정적인 회전 속도를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 소형 디스크형 초음파 모터를 이용하여 로봇 관절용 모터로 응용 가능성을 제시하여지만 앞으로 초음파 모터의 제특성에 대한 연구를 더욱 진행하여야 할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Susumu Saitou, Chika Amemiya, Tsuyoshi Kiami, Yasuhiro Sasaki, Takayuki Inoi, Atsushi Ochi, "Development of Multilayer Piezoelectric Ceramic Transformer", NEC Technical Journal, Vol.49, No.10, 1996.
- [2] Fernandez JF, Moure C, Villegas M, Duran P, Kosec M, Drazic G, "COMPOSITIONAL FLUCTUATIONS AND PROPERTIES OF FINE-GRAINED ACCEPTOR-DOPED PZT CERAMICS", J. of the European Ceramic. Soc., Vol.18, No.12, pp.1695-1705, 1998.
- [3] Takaaki TSURUMI, Namiko IKEDA, Naoki OHASHI, "Non-180° Domain Contribution in Electricfield-Induced Strains of PZT Ceramics Measured by a Mach-Zehnder Interferometer", J. of the Ceram. Soc. of Japan, Vol.106, No.11, pp.1062-1066, 1998.
- [4] Sridhar S, Giannakopoulos AE, Suresh S, Ramamurty U, "Electrical response during indentation of piezoelectric materials: A new method for material characterization", Journal of Applied Physics, Vol.85 No.1, pp.380-387, 1999.
- [5] Zhiqiang Yang, Katsuyuki Suzuki et al., "Ultrasonic Motor Using a Plate Vibrator with Projections", 일본 기계학회논문집, Vol. 62, No. 602, pp. 300-305, 1992.
- [6] Kentaro Nakamura, Jacques Margairaz et al., "Ultrasonic Stepping Motor Using Spatially Shifted Standing Vibrations", IEEE Trans. on UFFC, Vol. 44, No. 4, pp. 823-828, 1997.
- [7] Burhanettin Koc, Aydin Dogan et al., "An Ultrasonic Motor Using a Metal-Ceramic Composite Actuator Generating Torsional Displacement", Jpn. J. Appl. of Phys., Vol. 37, No. 10, pp. 5659-5662, 1998.