

진행파를 이용한 소형 디스크타입 초음파 모터의 시작과 특성

박철현, 이종섭, 이강원, *정수현, **채홍인, 임기조

충북대학교 전기공학과, *대원공과대학 전기과, **주성대학 전기전자 소자

The Trial Fabrication and Properties of Small-size Disk-Type Ultrasonic Motor Using Travelling Wave

C. H. Park, J. S. Lee, K. W. Lee, *S. H. Jeong, **H. I. Chae, K. J. Lim

Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.

*Dept. of Electrical Engineering, Daewon College

**Dept. of Electronic Material and Device Eng., Juseong 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 모터는 압전 세라믹의 초음파 진동을 이용하여 회전자와 고정자의 마찰력을 매개로 기계적인 회전력을 얻는 압전 액츄에이터로 H. V. Barth가 최초로 제안하였고 1980년 T. Sashida의 썬기형 초음파 모터에 의해 비약적으로 발전하게 되었다. 구동 원리가 전자식 모터와는 크게 다르므로 초음파 모터는 다음과 같은 특징을 갖는다[1-3].

- ①저속에서 높은 토크 발생
- ②단위중량당 발생하는 기계적 출력이 높다 (전자식에 비해 약 5~10배 정도)
- ③기동 및 정지시 속응성 (전자식에 비해 약 1000배 정도)
- ④저속으로 감속장치가 불필요하다
- ⑤전원제거후 자기유지기능이 있기 때문에 전원 제거 즉시 그 위치에 정지함
- ⑥자계와 무관하기 때문에 전자유도장애가 없음
- ⑦구조가 간단하여 형상의 자유도가 상당히 좋다

위와 같이 전자식 모터에 비해 다양한 특성을 갖고 있으므로 최근에는 군사, 의료, 우주 항공 산업과 같은 정밀 위치 제어를 요하는 응용분야로의 응용이 시도되고 있다[4,5].

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

2. 동 작 원 리

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 마찰재를 매개로 회전하게 된다. 따라서, 초음파 모터의 구조는 고정자를 구성하는 압전 세라믹과 탄성체, 회전자, 가압기구등이 필요로 된다. 탄성체 표면에 수직 진동 성분과 수평 진동 성분을 발생하기 위해 압전 세라믹과 탄성체는 기계적으로 구속되어 있어야 한다[6].

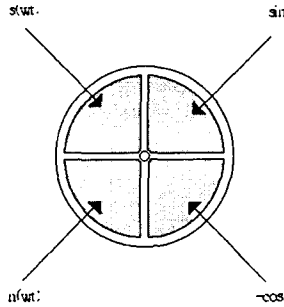


그림 1. 압전 세라믹의 전극분할

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 접착시킴으로 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 발생한다.

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

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.

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

3. 초음파 모터 제작 및 측정

3.1 초음파 모터의 제작

그림 2는 본 연구에서 시작한 초음파 모터의 단

면도이다. 초음파 모터의 구성부는 크게 고정자와 회전자로 나눌 수 있다.

고정자는 초음파 모터의 핵심부로 탄성체와 압전 세라믹으로 구성되었는데 압전 세라믹은 PZ-PT-PMN 조성, 탄성체는 stainless steel계 SKD 강을 사용하였다. 또한, 압전 세라믹과 탄성체의 결합은 epoxy계 접착제를 사용하여 100℃에서 20분 경화하였다.

표 1에 압전 세라믹과 탄성체의 재료 특성을 나타내었다.

표 1. 고정자 각 구성부의 재료 특성

압전 세라믹		탄성체	
k_p	50	Young modulus	$10.2 \times 10^{11} \text{N/m}^2$
Q_m	1500	density	8.5
$\tan \delta$	0.3	Poisson's ratio	0.3
d_{33}	310		
density	7.7		

또한 탄성체는 치를 2개 내어 압전세라믹에서 발생하는 진동 진폭의 변위를 확대시키고자 하였다.

마찰재로는 PPS(PolyPhenelen Sulfide)를 사용하였다. 스프링을 이용하여 수직·가압하였다.

그림 2는 제작된 모터의 단면도이다.

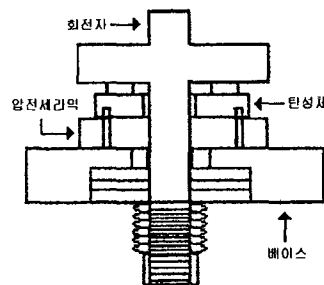


그림 2. 초음파 모터의 단면도

3.2 측정 시스템

그림 3은 초음파 모터의 특성을 측정하기 위한 시스템을 나타낸 블록도이다.

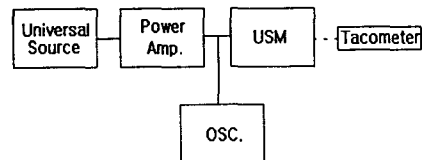


그림 3. 측정 시스템

초음파 모터는 시간적으로 90° 위상차를 가지는

전기적인 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 흐르는 전류는 전류 프로브를 이용하여 오실로스코프로 측정하였고 초음파 모터의 회전 속도는 타코메터를 이용하여 측정하였다. 또한, 초음파 모터의 입력과 주파수는 Universal Source로 가변하였다.

4. 실험결과 및 토의

초음파 모터의 구동 주파수를 찾기 위해 압전 세라믹 자체의 공진 주파수를 임피던스 어닐라이저(HP 4194A)로 측정하였다. 측정 결과 공진 주파수는 181 [kHz]이었으며 그 때 공진 저항이 1.8 [Ω] 정도이었다. 이와 같은 압전 세라믹에 고정자를 구성하기 위해 탄성체를 붙인 후 고정자의 주파수에 대한 임피던스 특성을 다시 측정하였다. 이 때 공진 주파수는 압전 세라믹 자체일 때 보다 낮은 주파수로 이동하여 161 [kHz]이었다. 이와 같이 공진 주파수가 변화하게 된 것은 탄성체를 압전 세라믹에 접착함으로써 무게의 변화에 기인한 것이다.

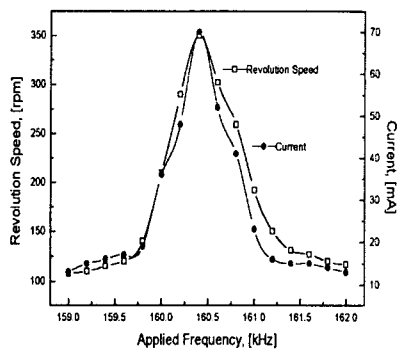


그림 5. 인가 주파수에 따른 회전 속도의 변화

초음파 모터는 공진 주파수일 때 최대 효율을 나타내므로 초음파 모터의 구동 주파수를 결정하기 위해 인가 전압을 50Vrms로 고정된 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. 또한, 임피던스 어닐라이저로 측정한 고정자의 공진 주파수와는 상당한 차이를 보이고 있다. 이와 같은 원인으로서는 이전 연구 결과로 설명할 수 있다. 압전 세라믹은 고진동 레벨로 천이

함에 따라 진동 손실 에너지의 증가에 따른 발열에 기인하여 변화하는 것이다[7].

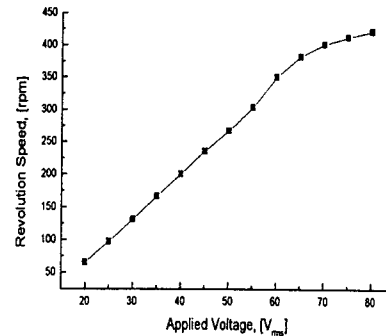


그림 6. 인가 전압에 따른 회전 속도의 변화

그림 6은 구동 주파수는 160.4 [kHz]로 고정하고 인가 전압을 변화시키면서 그 때의 회전 속도를 측정한 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 구동되지 못 하기 때문으로 생각된다.

또한, 소형 디스크형 초음파 모터의 고전계 구동시 고정자를 구성하는 압전 세라믹에 기계적 파괴가 발생하였다. 이와 같은 기계적 파괴는 고정자 제작시 고려해야 할 중요한 사항으로 압전 세라믹과 탄성체 사이의 접착면에 미소한 void가 존재하여 접착이 되지 않은 면에서 기계적 파괴를 보인 것이다. 접착면에 존재할 수 있는 void는 압전 세라믹과 탄성체 표면의 발수성에 의한 것이므로 초음파 모터의 제조 기술에 매우 중요한 요소 기술이다.

4. 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 있었다.

소형 디스크형 초음파 모터의 특성은 가압력을 회전자 자체의 무게로 고정하였을 때 입력 전압 55 [Vrms] 구동 주파수 160.4 [kHz]에서 350 [rpm]정

도의 안정적인 회전 속도를 얻을 수 있다.

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

참 고 문 헌

- [1]Zhigang Yang, Katsuyoki Suzuki et al., "Ultrasonic Motor Using a Plate Vibrator with Projections", 일본기계학회논문집, Vol. 62, No. 602, pp. 300-305, 1992.
- [2]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.
- [3]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
- [4]Hideaki Aburatani, Kenji Uchino et al., "A Study of Acoustic Emission in Piezoelectric Multilayer Ceramic Actuator", Jpn. J. Appl. of Phys., Vol. 37, No. 1, pp. 204-209, 1998.
- [5]Nicola Lamberi, Antonio Iula et al., "A Piezoelectric Motor Using Flexural Vibration of a Thin Piezoelectric Membrane", IEEE Trans on UFFC, Vol. 45, No. 1, pp. 23-29, 1998.
- [6]Chiharu Kusakabe, Yoshiro Tomikawa et al., " Effect of Pressing Force Applied to a Rotor on Disk-Type Ultrasonic Motor Driven by Self-Oscillation", Jpn. J. Appl. of Phys., Vol. 37, No. 5, pp. 2966-2969, 1998.
- [7]이강원, 임기조, "고출력 압전 소자로의 응용을 위한 고전계하에서의 압전 세라믹 특성 평가", '99 춘계전기학회논문집, 1999.