

## 압전 초음파 전동기의 토크측정 시스템

김 영균, 김 진 수  
한국교원대학교 기술교육과

### Torque Measurement System of Piezoelectric Ultrasonic Motor

Young-Gyoon Kim, Jin-Soo Kim  
Dept. of Technology Education, Korea National University of Education

**Abstract** - The ultrasonic motor used here is the windmill type ultrasonic motor operated by single-phase AC source. A metal-ceramic composite component was used as the stator element to generate ultrasonic vibrations. The windmill type ultrasonic motors has only three components; a stator element of two wind-mill shape slotted metal endcaps, a rotor and a bearing. In this paper we proposed a system for torque measurement of piezoelectric ultrasonic motor.

**Key Words:** ultrasonic motor, piezoelectric, torsional vibration, endcap

#### 1. 서 론

급속한 산업기술의 발달로 최근의 생산 제품들은 소형화, 정밀도가 필수적이 되었다. 보통 소형의 전자식 전동기로는 에너지 효율이 높은 1cm 이하의 크기로 하기는 다소 어려운 게 사실이다[1,2]. 따라서 이에 적합한 동력원이 필요하게 되었다. 에너지 효율이 크기와 무관한 초음파 전동기는 소형화에 큰 가능성을 가지고 있다.

본 논문에서 다루는 초음파 전동기(ultrasonic motor)가 그 대안이 될 수 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 동력원인 전자식 전동기가 100여 년의 역사를 가지고 있는데 비해 초음파 전동기는 최근에야 활발한 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 일천한 연구기간에 비해 가까운 미래에 많은 분야에서 사용하게 될 것이다. 현재에도 초음파 전동기를 적용하는 부분이 있지만 그 분야는 극히 제한적이다. 그 이유는 최소한 90° 위상차를 갖는 두 개의 AC 전원이 필요하고, 압전 세라믹의 분극이 어렵다는 몇 가지 사실 때문이다[3].

우리는 이러한 단점을 보완한 초음파 전동기를 제안했다. 초음파 진동을 발생하는 고정자로 세라믹-금속 결합체를 사용했다. 고정자는 두께방향으로 일정하게 분극되므로 분극처리가 쉽다.

또한 위상차와 관계없이 단상 교류전원을 사용하므로 전원장치가 간단하다.

압전 세라믹 개선, 고정자의 진동 특성, 내마모성, 고정자와 회전자간의 마찰력, 효율, 토크 특성, 시장성 등의 구체적인 분석과 적용이 향후 뒤따라야 할 것으로 생각된다. 가장 중요하고 어려운 문제는 고정자 진동자와 회전자간의 메카니즘과 토크의 작용에 대한 상호 관련성 등이다. 이러한 몇 가지 문제점만 해결된다면 초음파 전동기는 매우 매력적인 저속에서의 고 토크, 간단한 설계와 제작, 우수한 제어력 같은 특징을 갖게 될 것이다[4].

초음파 전동기는 간단한 구조와 소형임에도 저속에서 큰 토크를 낼 수 있어, 단위 무게 당 출력 토크가 높다. 하지만 이 토크의 크기가 극히 적은 양이므로 측정에 세심한 배려가 필요하다. 산업부분이나 실제의 적용에서는 회전수도 중요하지만 이 토크의 값이 적용분야에 크게 좌우한다. 본 논문에서는 이런 미소한 토크를 측정하는 시스템을 구안하여 측정의 정확도를 높이고자 한다.

초음파 전동기의 회전특성은 고정자 진동자의 기계적 진동을 사용하여 회전자가 회전한다. 그래서 고정자와 회전자간의 마찰력을 이용하여 회전하는데, 이 때의 토크는 적은 양이므로 외부의 미소한 영향에도 그 값이 변할 수 있다. 주변 변인을 최대한 통제하여 측정하는 것이 정확도를 높이는 방법이 될 수 있다.

본 연구에서는 반경 진동 모드(radial mode)와 비틀림 진동 모드(torsional mode)의 결합에 의해 회전하게 되는 원판형(disk type) 초음파 전동기의 개량 형태인 풍차형 초음파전동기(windmill type ultrasonic motor)를 제작하여 정확한 토크를 측정하는 시스템을 제안 하고자 한다.

#### 2. 초음파전동기의 구조와 동작원리

##### 2.1 풍차형 초음파 전동기

###### 2.1.1 고정자 구조

고정자는 초음파 전동기에서 핵심 부분으로, 압전 세라믹과 탄성체로 이루어지며 접착력이 좋은 2 type 에폭시의 주재와 경화제의 비율을 50:50으로 하여 탄성체의 가장자리에 얇고 고르게 바른 후 압전체에 부착하여 제작한다. 그림 1은 슬롯이 6개인 고정자의 구조를 나타낸 것이다. 압전세라믹의 상하에 엇갈리게 부착된 탄성체에 낸 슬롯으로 인해 압전세라믹에서 발생한 반경 진동을 엔드캡에서 접선 진동(비틀림 진동)이 발생한다(그림 1. b). 이 비틀림 진동에 의하여 회전자가 회전하게 된다[5,6].

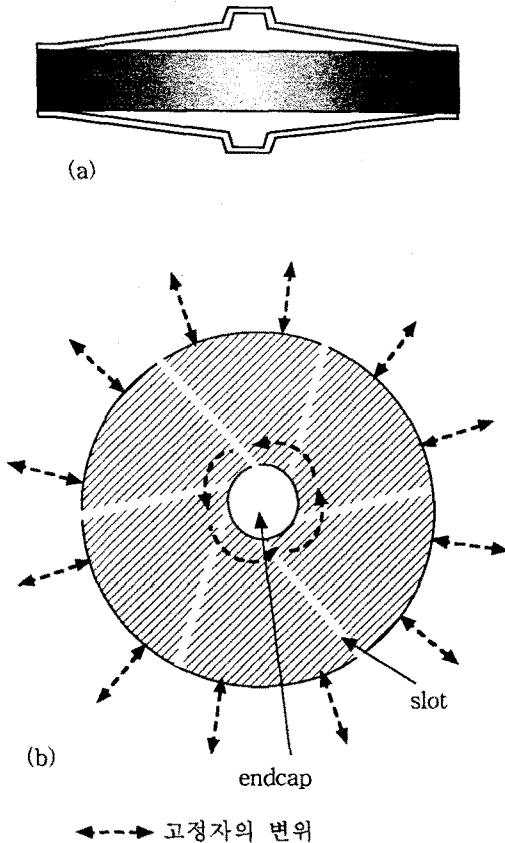


그림 1. 풍차형 초음파 전동기의 (a)고정자 단면도와 (b)고정자에서의 변위

여기서 PZT는 0.05PMN-0.95PZT계 압전 세라믹으로 재원신소재산업에서 시판된 것을 사용했다.

탄성체를 압전세라믹에 부착한 이유는 변위 크기 때문이다[7]. 그러나 이런 고정자의 변위는 수~수십  $\mu\text{m}$ 에 불과하기 때문에 제작과정이나 특

성 측정시 특히 유의해야 한다.

## 2.2 고정자와 회전자간의 최적의 마찰력

고정자에서 발생하는 접선운동(tangential motion)에 의한 회전력으로 회전자는 회전하는데 이 고정자와 회전자간의 최적의 마찰력은 중요한 부분이다[8].

최적의 마찰력을 갖는 조건에서 회전수와 토크와의 관계를 측정하는 것이 중요하다. 그림 2는 회전자가 고정자에 인가하는 힘의 크기를 측정하는 시스템이다.

아크릴 고정대로 force gauge를 그림2처럼 설치한다. 초음파 전동기의 축 중심에 tip을 올려놓고 윗쪽에 설치된 볼트로 압력을 가하여 tachometer로 회전수를 측정하는 시스템이다.

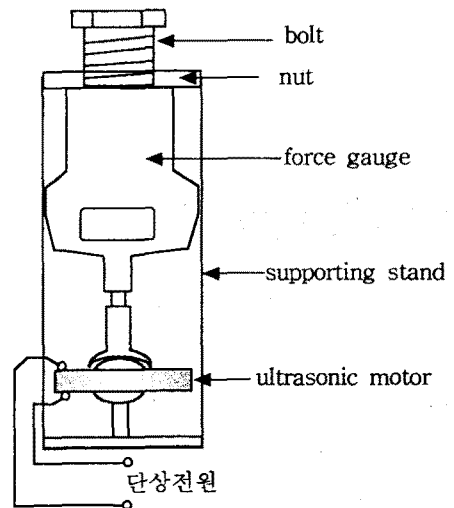


그림 2. 고정자와 회전자간의 최적 마찰력을 측정하는 시스템

그림 3에서처럼 풍차형 초음파 전동기의 회전자에 여러 가지 힘을 가할 때 회전수는 변화되었다. 1.25 gf를 중심으로 회전수가 그림3과 같이 분포되었다. 누르는 힘을 0.25 gf에서 1.25 gf까지 증가시키면 회전수는 증가되다가 1.25 gf를 넘어서면 차츰 회전수가 감소됨을 알 수 있다. 1.25 gf의 힘을 가하면, 인가 전압 100V<sub>p-p</sub>에서 183 rpm이었다. 즉, 누르는 힘이 1.25 gf 일 때 최적의 회전 상태를 유지했다. 그러나 풍차형 초음파 전동기에서 회전수에 비례하여 토크가 증가하는지는 앞으로 연구할 과제이다.

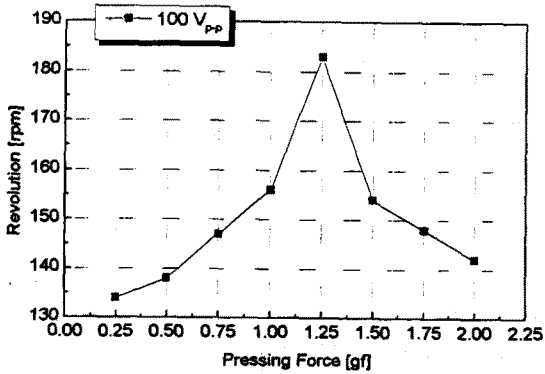


그림 3. 회전자에 가하는 힘과 회전수와의 관계

### 3 토크측정 시스템

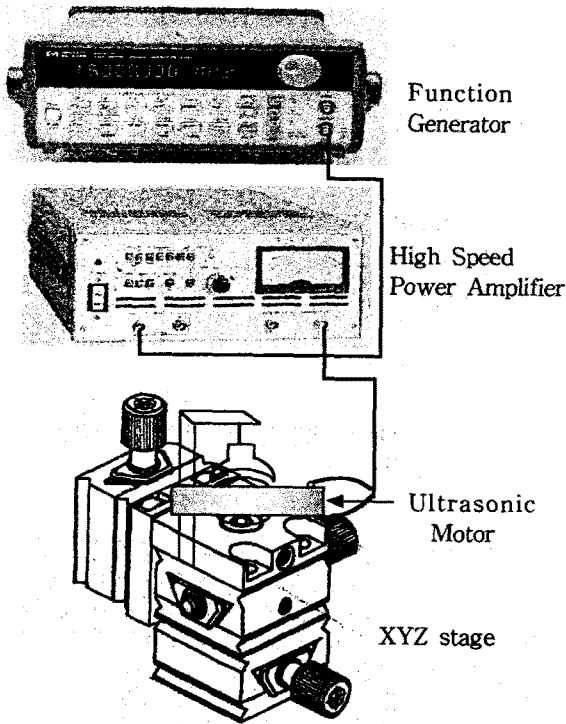


그림 4. 토크측정 시스템

그림4는 토크측정에 사용되는 시스템을 나타낸 것이다. 초음파 전동기의 고정자에 그림과 같은 장비를 설치한 전원을 가한다. 고정자와 회전자간의 정확한 위치를 맞추기 위해 XYZ stage를 사용했다. XYZ stage로 최적의 마찰력을 갖는 위치에 전동기를 고정하고 질량을 이용하여 토크를 측정한다. 토크를 측정하는 방법에는 센서를 이용하는 방법, 토크 게이지를 사용하는 방법, 스프링 저울(weight)을 이용하는 방법, 부하토크 측정해석 장치를 활용하는 방법 등이 있는데, 이러한 방법은 토크가 일정 값 이상을 가질 때 측정이 가능한 방법이다. 하지만 본 연구에서 다루는 초음파 전동기는 토크 값이 적기 때문에 그림4와 같은 시스템을 구안하여 미소 질량을 가해서 토크를 측정한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 박만주, 김진수, "압전 초음파 전동기의 고정자 구조에 따른 회전 특성", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 인하대, pp. 749~751, 1998. 11.
- [2] 김영균, 이명훈, 김진수, "스캐닝 진동계에 의한 심벌액추에이터와 초음파전동기의 3차원 변위특성", 대한전기학회 전기재료연구회 및 방전·고전압연구회 추계학술연구 발표회 논문집, LG산전 전력연구소, pp. 28~31, 1999. 5.
- [3] B. Koc, A. Dogan, Y. Xu, R. E. Newnham, K. Uchino, "An Ultrasonic Motor Using a Metal-Ceramic Composite Actuator Generating Torsional Displacement", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, pp. 5659~5662, 1998.
- [4] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura, Ultrasonic Motors Theory and Applications, Clarendon Press, Oxford, pp. 1~7, 1993.
- [5] 박만주, 김진수, "단상 초음파 전동기의 공진 및 진동속도 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 12, No. 4, pp. 312~318, 1999.
- [6] Jin-Soo Kim, Man-Ju Park and Kenji Uchino, "Composite ultrasonic motors using a piezoelectric disk and an elastic body of windmill type", Ferroelectrics(submitted.1998)
- [7] Q. C. Xu, S. Yoshikawa, J. R. Belsick, R. E. Newnham, "Piezoelectric Composites with High Sensitivity and High Capacitance for Use at High Pressures", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 38, No 6, pp. 634~638, 1991.
- [8] 김영균, 이명훈, 김진수, "초음파전동기의 회전자에 가하는 힘에 의한 회전특성 변화", 대한전기학회 충북지부 추계학술연구 발표회 논문집, 충청대학, pp. 109~111, 1999. 6.