

풍차형 초음파 전동기의 고정자 슬롯이 토크에 미치는 영향

The Effect of Stator's Slot on the Torque in the Windmill Type Ultrasonic Motor

김 영 균 한국교원대학교 기술교육과
김 진 수 한국교원대학교 기술교육과

Young-Gyoon Kim, Dept. of Technology Ed., Korea Nat'l Univ. of Ed.
Jin-Soo Kim, Dept. of Technology Ed., Korea Nat'l Univ. of Ed.

Abstract

In this paper, a windmill type ultrasonic motor operated by single-phase AC electric field was fabricated, and then torque characteristics were investigated. A metal-ceramic composite component was used as the stator's vibrator to generate ultrasonic vibrations. The windmill type ultrasonic motors has only three components; a stator element with two wind-mill shape slotted metal endcaps, a rotor and a bearing. In this paper we measured torque, when stator's slot was changed from 4, 6, 8. Brass metal was pressed with umbrella-type using metal mold, then slot of 3 kind was manufactured. The maximum revolution speed was 388[rpm] in the case of a small ultrasonic motor of 11.35 mm diameter, 8 slot and 1.01 mm thickness. The maximum torque of 0.17 mNm was obtained at a speed of 131 rpm.

Key Words(중요용어): windmill type ultrasonic motor(풍차형 초음파전동기), slot(슬롯), elastic body(탄성체), stator(고정자), endcap(엔드캡),

1. 서론

산업기술이 날로 발전함에 따라 소형화, 정밀도를 필요로 하는 분야가 증가하고 있다. 하지만 현재 가장 많이 사용되고 있는 동력원인 전자식 전동기를 고려해보면, 공장 자동화 등 정밀 산업분야에는 직경 1 cm 크기 이하의 소형 전동기가 요구되고 있으나 전자식 전동기로는 충분한 에너지 효율을 얻기가 어렵다^{1,2,3)}. 따라서 이에 적합한 동력원이 필요하게 되었다.

본 연구에서 다루는 초음파 전동기(ultrasonic motor)가 그 대안이 될 수 있다. 초음파 전동기는 1973년에 최초로 Barth⁴⁾에 의하여 제안되었지만 여러 가지 문제점이 많아 실용화에 이르지 못했다. 그러던 중 1980년에 일본의 Sashida에 개발된 압전 진동자의 진동에 의한 진행파가 진동편을 전파할

때, 그 표면 질점에서의 타원 운동을 이용한 진동편형(wedge-type)초음파 전동기가 실용화에 가까운 동작을 했지만 이 전동기도 고정자와 회전자간의 심한 마찰로 인한 마모로 수명이 짧았다.

1982년에 Sashida⁵⁾가 개발한 진행파형 초음파전동기는 진동편형에 비해 효율은 다소 떨어지지만 내마모성, 정역회전 등의 장점이 있어 현재 실용화되고 있는 대부분의 초음파전동기는 이 진행파형을 기본원리로 하고 있다.

본 연구에서는 반경 진동 모드(radial mode)와 비틀림 진동 모드(torsional mode)가 엔드캡 내부에서 결합되어 타원운동에 의해 회전하게 되는 원판형(disk type) 초음파 전동기의 개량 형태인 단상 교류(single-phase AC)를 전원으로 사용하는 풍차형(windmill type) 초음파 전동기를 3종류의 슬롯으로 가공된 고정자로 된 풍차형 초음파전동기를 제작하고,

회전수와 토크를 측정·분석하여 초소형 초음파 전동기의 성능을 향상시키는데 있다.

2. 실험

2.1 풍차형 초음파전동기 제작

실험에서 사용한 풍차형 초음파 전동기는 크게 고정자와 회전자로 구성되어 있다. 고정자(stator)는 원판형의 PZT압전 세라믹 상하에 3종류의 슬롯으로 가공된 금속 탄성체를 에폭시 수지로 접착하여 진동자로 사용되었다. 회전자(rotor)는 알루미늄을 사용하여 우산 형태로 제작했다.

사용된 압전 세라믹스는 0.05PMN-0.95PZT계이다. 이러한 조성은 유전손(dielectric loss), 전기기계결합계수(electromechanical coupling factor), 기계적 품질계수(mechanical quality factor)가 양호하여 선택했다.

특히 고정자는 초음파전동기의 핵심부분으로 초음파 진동을 향상시키려면 압전 세라믹 자체의 성능도 중요하지만 가공과정에 따라서 특성에 차이가 생기므로 정확한 제작이 되어야 한다. 고정자는 두께 0.2 mm의 황동 탄성체를 4, 6, 8개의 슬롯으로 각각 가공하여 2 type 에폭시로 직경 11.35 mm, 두께 1.01 mm 압전 세라믹에 접착하여 제작했다. 그림 1은 초음파 전동기 고정자의 제작 과정을 나타낸 것이다.

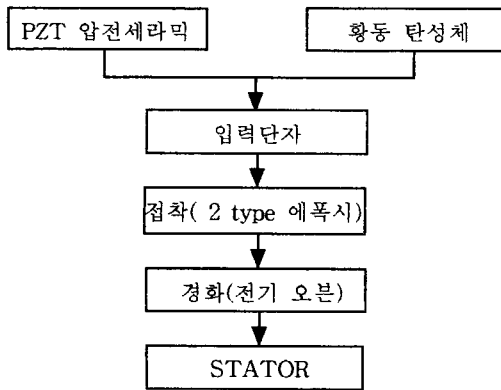


그림 1. 고정자의 제작 순서도

완성된 고정자의 구조를 그림 2에 나타냈다. (a)는 고정자의 단면도이고 (b)그림은 슬롯이 6개로 가공된 탄성체를 압전세라믹 상하에 엇갈리게 하여 접착한 모양을 나타냈다.

고정자에 단상 AC 전원을 인가하면 압전체는 경방향 진동(radial direction vibration)이 생기는데, 그림 2(b)그림처럼 탄성체에 가공된 슬롯에 의해 종방향 변위(longitudinal displacement)와 비틀림 변위(torsional displacement)로 동시에 변환된다. 이 두 변위가 엔드캡(endcap) 부분에서 중첩 결합함으로써 타원운동이 발생하여 회전자를 회전시키게 된다⁶⁾.

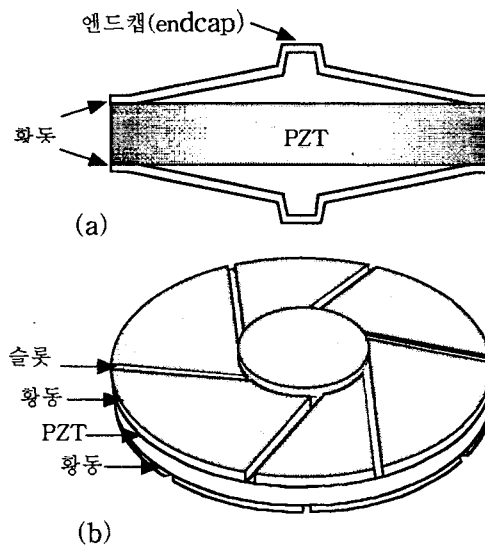


그림 2. 풍차형 초음파전동기의 고정자 구조
(a) 고정자 단면도 (b) 탄성체가 상하로 엇갈리게 접착된 모양

2.2 특성 측정방법

풍차형 초음파 전동기는 회전자와 고정자간의 마찰력으로 회전하므로 우선 회전자와 고정자간의 접촉을 최적화 조건으로 해서 토크특성을 측정했다.

토크 측정방법에는 크게 센서(sensor)를 사용하는 방법, 토크 게이지(torque gauge)를 사용하는 방법, 실과 추(weight)에 의한 방법, 위상차식 토크 검출기를 이용하는 방법이 있다⁷⁾. 본 실험에서는 실과 추를 이용한 방법을 사용했다. 그림 3은 토크측정 시스템을 나타낸 것이다. 함수발생기(HP33120A)에서 나온 초음파를 고속전력증폭기(NF4015)에서 원하는 크기의 전압을 고속으로 증폭시켜 초음파 전동기의 전원부에 인가하여 동작시킨다. XY stage (micro control, USA)에 초음파전동기 고정

자를 고정하고 아크릴 판에 고정된 회전자를 접촉시켜 회전하게 된다. 이때 회전자 축에 질량을 매달아 토크를 측정한다. 토크 크기에 따른 회전수를 타코메타(Ametek, USA)로 측정한다⁸⁾.

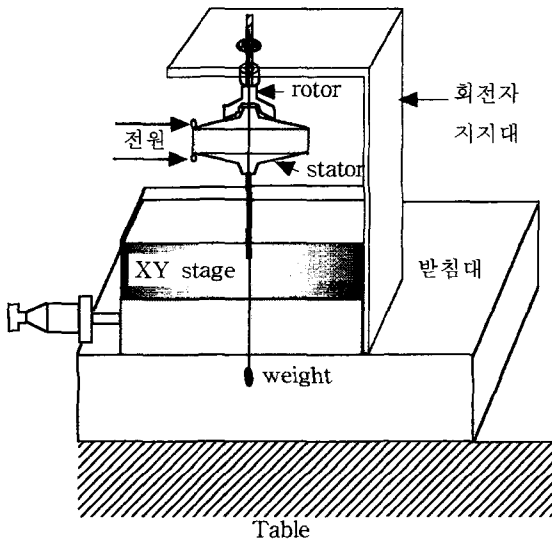


그림 3. 풍차형 초음파 전동기의 특성 측정 시스템

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬롯이 4개인 초음파전동기 토크특성

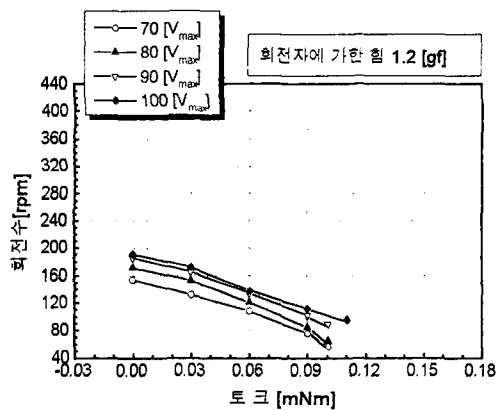


그림 4. 탄성체 슬롯이 4개인 풍차형 초음파전동기 토크특성

그림4는 회전자에 1.2 gf의 힘을 가하면서 탄성체의 두께 0.20 mm인 고정자에 각각 최대 전압 70, 80, 90, 100 V_{max}를 인가하여 토크에 따른 회전수를 측정하고 결과를 나타낸 그림이다.

무부하 회전수는 각각 154, 172, 186, 191 rpm이었다. 인가 전압이 100 V_{max}일 때 0.03 mNm에서 173 rpm이고, 0.06 mNm에서 138 rpm, 0.09 mNm에서 112 rpm이었다. 최대 토크는 94 rpm에서 0.11 mNm을 기록했다.

인가전압에 따른 최대토크는 70 V_{max}에서 52 rpm일 때 0.10 mNm, 80 V_{max}에서는 68 rpm일 때 0.10 mNm, 90 V_{max}에서는 83 rpm일 때 0.10 mNm으로 최대 토크에는 차이가 없었다.

3.2 슬롯이 6개인 초음파전동기 토크특성

그림5는 고정자에 각각 최대 전압 70, 80, 90, 100 V_{max}를 인가하여 토크에 따른 회전수를 측정 한 결과이다.

회전자에 가하는 힘을 1.2 gf로 하여 측정한 무부하 회전수는 각각 171, 196, 234, 272 rpm이었다. 인가 전압이 100 V_{max}일 때 114 rpm에서 최대 토크 0.13 mNm을 기록했다.

인가전압에 따른 최대 토크는 70 V_{max}에서 0.11 mNm, 80 V_{max}에서는 0.12 mNm, 90 V_{max}에서는 0.13 mNm이었다. 슬롯이 4개일 때보다 토크는 약간 증가했고 토크와 회전수간의 수하특성의 기울기가 더 경사지게 되었다.

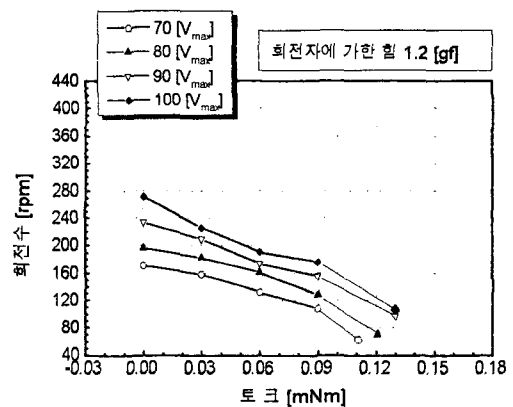


그림 5. 탄성체 슬롯이 6개인 풍차형 초음파전동기 토크특성

3.3 슬롯이 8개인 초음파전동기 토크특성

그림6은 회전자에 1.2 gf의 힘을 가하면서 탄성체의 두께 0.20 mm인 고정자에 각각 최대 전압 70, 80, 90, 100 V_{max}를 인가하여 토크에 따른 회전수를 측정하고 결과를 나타낸 그림이다.

무부하 회전수는 각각 243, 297, 326, 338 rpm이었다. 인가 전압이 100 V_{max}일 때 최대 토크 0.17 mNm를 131 rpm에서 얻었다. 슬롯이 4개, 6개와 비교해서 가장 높은 토크를 기록했다.

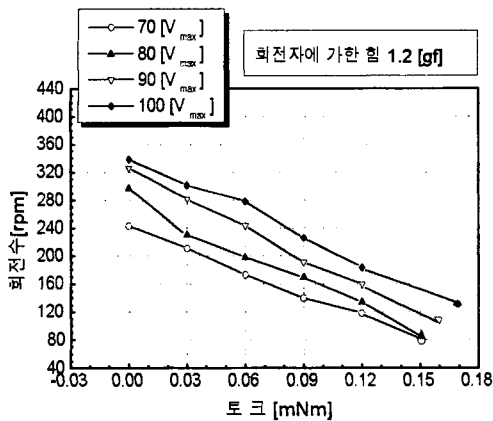


그림 6. 탄성체 슬롯이 8개인 풍차형 초음파전동기 토크특성

4. 결론

슬롯수가 많아질수록 회전수와 최대 토크는 증가되었다⁹⁾. 또한 회전수와 토크는 수하특성이 있어 토크가 증가할수록 회전수는 감소하였다¹⁰⁾.

인가된 최대전압 100 V_{max}, 회전자에 인가된 힘 1.2 gf 조건에서, 슬롯이 4개인 경우 최대 토크는 94 rpm에서 0.11 mNm를 기록했고, 슬롯이 6개일 때 최대 토크는 114 rpm에서 0.13 mNm, 슬롯이 8개일 때 최대 토크는 131 rpm에서 0.17 mNm를 기록했다.

감사의 글

본 논문은 한국고원대학교 자연과학연구소의 지원으로 연구가 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김진수, 지승한, 이덕출, "압전 세라믹스를 이용한 풍차형 초음파 전동기의 제작과 특성", 전기전자재료학회지 논문지, vol. 10, No. 9, pp. 889~894, 1997.
2. J. Wallaschek, "Piezoelectric Ultrasonic Motors", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 6, pp. 71~83, 1995.
3. 엄우식, 송준광, 이해옥, "압전 액츄에이터의 특성 및 기술동향", 전기전자재료학회지, vol. 10, No. 7, pp. 727~731, 1997.
4. H. V. Barth, "Ultrasonic Driven Motor", IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol. 16, No. 7, p.2263, 1973.
5. T. Sashida & T. Kenjo, An Introduction to Ultrasonic Motors, Clarendon press, Oxford, pp. 1~5, 1993.
6. 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, pt.1 No. 10, pp. 5659~5662, 1998.
7. 佐藤修治, "기구부 부하의 요인 해석에 길을 개척하는 LASMAT", 월간자동화기술, vol. 10, No. 6, pp. 34~39, 1994.
8. 김영균, 김진수, "압전 초음파 전동기의 토크측정 시스템", 대한전기학회 하계학술발표회 논문집, 용평리조트, pp. 1780~1782, 1999.7.
9. 박만주, 김진수, "단상 초음파 전동기의 공진 및 진동 속도 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, vol. 12, No. 4, pp.312-318, 1999.
10. J. Tsujino, R. Suzuki, M. Takeuchi, "Load characteristics of ultrasonic rotary motor using a longitudinal-torsional vibration converter with diagonal slits. Large torque ultrasonic rotary motor", Ultrasonics, 34, pp. 265~269, 1996.