

풍차형 초음파 전동기 고정자의 공진 및 진동 속도 특성

Resonance & Vibration Velocity Characteristics of the Wind-mill type Stator of Ultrasonic Motor

박만주 한국교원대학교 기술교육과

김영균 한국교원대학교 기술교육과

김진수 한국교원대학교 기술교육과

Man-Ju Park Dept. of Technology Ed., Korea Nat'l Univ. of Ed.

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 study, the wind-mill type ultrasonic motor was fabricated, and then resonant frequency and vibration velocity characteristics of the stator were measured.

Brass metal was pressed with umbrella-type using metal mold, then slot of 4 kind was processed in each of thickness. Among sixteen's stators, resonant frequency on vibration velocity was decreased remarkably in stator of higher resonant point, but resonant frequency on vibration velocity wasn't almost changed at lower resonant point of stator.

The thickener thickness of elastic body, vibration velocity was decreased. The more slot of elastic body, vibration velocity was increased. Applied voltage was changed from $10V_{max}$ to $100V_{max}$. Maximum vibration velocity value was $2.0[m/s]$.

1. 서론

초음파 전동기는 전자식 전동기와는 달리 고정자의 탄성 진동을 이용하여 고정자와 회전자 사이의 마찰력을 매개로 한 구동력을 얻기 때문에 그 원리가 전혀 다르다.

또한 저속에서의 높은 토크, 단위 중량당 높은 기계적 출력, 자계와 무관하기 때문에 전자 유도 장애가 없으며, 구조가 간단하고 가벼운 등의 여러 가지 장점¹⁾이 있어 차세대 정보기기용 전동기로 그 전망이 아주 밝다 하겠다.

초음파 전동기는 고정자의 구조에 따라 원판형(disk type)²⁾, 원환형(ring type)³⁾, 선형(linear type)⁴⁾ 등의 종류가 있다.

본 연구에서는 단상(single-phase)의 교류파 전원

만으로도 구동이 가능한 원판형 초음파 전동기의 개량 형태인 풍차형 초음파 전동기(wind-mill type ultrasonic motor)를 제작하여 고정자에서의 공진점 및 진동 속도를 측정·분석함으로써, 차후 더욱 개선된 초음파 전동기의 개발에 일조하고자 한다.

2. 실험

제작한 초음파 전동기의 공진 특성 및 진동 속도(vibration velocity) 특성을 측정하기 위해서 그림 1과 같이 시스템을 구성했다.

먼저 고정자의 공진점을 찾기 위해서 일반적인 방법인 impedance analyzer를 이용하지 않고, 본 연구에서는 vibrometer controller(Polytec OFV 3000, German) 및 sensor head(Polytec OFV 302, German)의 레이저광을 이용하여 20MHz digital storage oscilloscope(HC 5802, Korean)를 통해 고

정자의 공진점을 찾았다. 그 방법 및 과정을 간단히 소개하면, XY stage(micro control, USA)를 이용하여 고정자를 공간에 설치하여 놓고 고정자의 중앙 부분에 sensor head로 레이저광을 비추어 vibrometer controller를 통해 오실로스코프로 입력된 신호가 진동 속도 파형으로 나타나게 되는데 그 파형 중 가장 큰 3개의 파형을 찾은 것이다. 이때 고정자와 sensor head의 거리는 60cm를 유지했다.

진동 속도도 이와 같은 방법으로 3개의 파형 중 가장 진폭이 큰 것을 측정하였다.

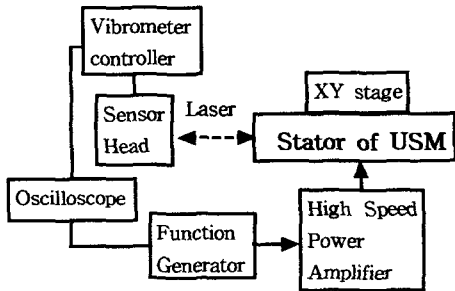


그림 1. 고정자의 특성 측정 시스템

Fig. 1 Measuring system of characteristics at stator

3. 결과 및 고찰

3.1 고정자의 진동 속도에 따른 공진 주파수 특성

그림 2와 그림 3은 16개의 고정자 중 공진점이 가장 높은 고정자(탄성체의 두께 0.25mm, 탄성체의 슬롯수 3개, 공진 주파수 134.7kHz)와 가장 낮은 고정자(탄성체의 두께 0.15mm, 탄성체의 슬롯수 6개, 공진 주파수 73.6kHz)에 대한 그래프이다(1, 2, 3차 공진 주파수 중 진동 속도가 가장 빠른 것을 선택한 것임). 그림에서 보듯이 공진점이 높은 고정자는 진동 속도의 증가에 따라 공진주파수가 급격하게 감소하였으며, 공진점이 낮은 고정자는 공진 주파수의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 구동 주파수가 높아지면 고정자에서의 온도 상승으로 열손실만을 가져오기 때문이라 생각된다. 이와 같은 연구는 이윤재 등의 연구³⁾에서도 지적한 바 있다. 따라서 구동 주파수의 높고 낮음에

관계없이 안정된 상태에서 구동을 하기 위해서는 온도 보상 회로의 구축이 반드시 필요하다 하겠다.

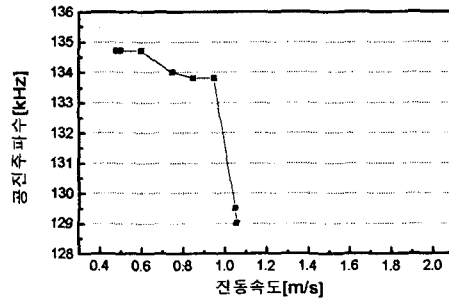


그림 2 진동속도-공진주파수(두께 0.25mm, 슬롯수: 3개)

Fig. 2 Vibration velocity vs resonant frequency(thickness 0.25mm, 3 slot)

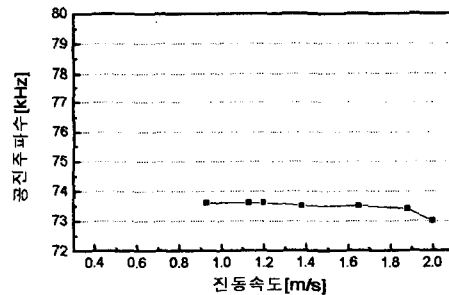


그림 3 진동속도-공진주파수(두께 0.15mm, 슬롯수: 6개)

Fig.3 Vibration velocity vs resonant frequency(thickness 0.15mm, 6 slot)

3.2 고정자의 진동 속도 특성

(1) 탄성체의 두께별 인가전압에 따른 진동 속도

그림 4는 고정자에 가하는 인가 전압(이하 인가 전압이라 하면 최대치 V_{max} 를 말함)을 변화시키면서 탄성체의 두께별로 정상 상태에서 측정된 진동 속도(vibration velocity)이다. 이 때 탄성체의 슬롯수

가 6개이며, 각 입력 전압의 인가시 구동 주파수는 공진 주파수로 하였다. 그림에서와 같이 인가 전압이 높아질수록 초음파 전동기 고정자의 진동 속도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 탄성체의 두께가 얇아질수록 진동 속도가 증가했는데, 그 이유는 탄성체의 두께가 얇아질수록 탄성체의 신축(flexibility)이 증가하기 때문이다. 이와 같은 결과는 무니 트랜스듀서(Moonie Transducer)의 특성을 연구한 A. Dogan 등의 연구⁶⁾에서도 그 시사점을 얻을 수 있다.

20V 이하의 아주 낮은 전압에서는 거의 진동이 일어나지 않았는데, 이는 본 연구에 이용된 초음파 전동기는 일정 전압(최소 10V) 이상의 기동 전압이 필요함을 보여주는 것이었다⁷⁾.

인가 전압이 낮을 때는 시편의 온도가 거의 상승하지 않았으나 인가전압이 70V에서 부터는 온도가 상승하기 시작하면서 90V이상일 때는 시편에서의 온도의 상승 정도가 심해졌다. 즉 시편에 인가하는 전압이 어느 정도(거의 90V 정도) 이상이 되면 진동 속도는 더 이상 증가하지 않고 포화되어 시편에서의 진동 손실만을 증가시켰다.

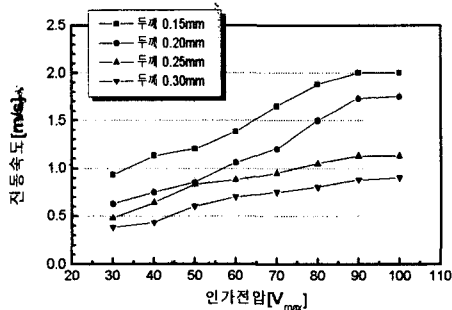


그림 4 탄성체의 두께별 인가전압에 따른 고정자의 진동속도(슬롯수: 6개)

Fig. 4 Effect of applied voltage on the vibration velocity of stator at various thickness of elastic body(6 slots)

(2) 탄성체의 슬롯수별 인가전압에 따른 진동 속도

그림 5는 고정자에 가하는 인가 전압을 변화시키면서 탄성체(elastic body)의 슬롯수별로 정상 상태에서 측정된 진동속도(vibration velocity)[m/s]

이다. 이 때 탄성체의 두께가 0.15mm이며, 각 입력 전압의 인가시 구동 주파수는 공진 주파수로 하였다.

그래프에서 보듯이 인가 전압이 증가할수록 고정자의 진동 속도는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 탄성체의 슬롯수가 많아질수록 고정자의 진동 속도가 증가하는 것으로 나타났는데, 그 이유는 슬롯수의 증가에 따라 비틀림 변위가 더욱 많이 발생하는 것으로 생각할 수 있다.

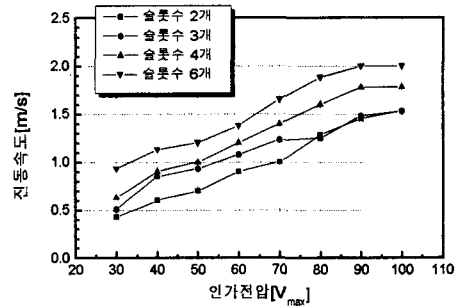


그림 5 탄성체의 슬롯수별 인가전압에 따른 고정자의 진동속도(두께 0.15mm)

Fig. 5 Effect of applied voltage on the vibration velocity of stator at various slots of elastic body(thickness 0.15mm)

4. 결론

풍차형 초음파 전동기 고정자의 공진 주파수 특성 및 진동 속도 특성을 측정·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 16개의 고정자 중 공진점이 가장 높은 고정자는 탄성체의 두께 0.25mm, 탄성체의 슬롯수 3개, 공진 주파수 134.7kHz였으며, 가장 낮은 고정자는 탄성체의 두께 0.15mm, 탄성체의 슬롯수 6개, 공진 주파수 73.6kHz였다(1, 2, 3차 공진 주파수 중 진동 속도가 가장 빠른 것을 선택한 것임). 공진점이 높은 고정자는 진동 속도의 증가에 따라 공진주파수가 급격하게 감소하였으며, 공진점이 낮은 고정자는 공진 주파수의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 구동 주파수가 높아지면 고정자에서의 온도 상승으로 열 손실만을 가져오기 때문이라 생각된다. 따라서 구동 주파수의 높고 낮음에 관계없이 안정

된 상태에서 구동을 하기 위해서는 온도 보상 회로의 구축이 반드시 필요하다 하겠다.

(2) 풍차형 초음파 전동기 고정자의 탄성체 두께가 얇아질수록 진동 속도가 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 풍차형 초음파 전동기 고정자는 탄성체의 슬롯수가 많아질수록 진동 속도가 증가하는 것으로 나타났다.

슬롯수가 8개 이상은 정밀한 가공을 할 수 없었다.

(4) 인가전압[V_{max}]에 따라서 진동 속도는 거의 선형적으로 증가하였으며, 20V이하일 때는 진동이 거의 이루어지지 않았고, 90V이상일 때는 진동 속도는 더 이상 증가하지 않고 포화상태를 보였다.

(5) 구동 주파수와 구동 전압이 높아질수록 시편의 온도가 상승하였는데 전압의 영향보다 주파수에 의한 영향이 더욱 심각한 것으로 나타났다. 또한 압전체와 탄성체를 부착하는 접착 두께에도 많은 영향을 미치는 것으로 생각되었다.

이러한 온도 상승으로 인한 영향을 해소할 수 있는 온도 보상 회로의 구축, 압전체와 탄성체의 접착 방법 모색, Scanning vibrometer를 이용한 정확한 3차원의 실시간 진동 특성 연구, 그리고 시뮬레이션에 의해 초음파 전동기 고정자의 각종 특성의 정확한 분석을 위한 유한요소분석(Finite Element Method, FEM)은 향후 초음파 전동기의 개발을 위한 중요한 과제라 생각한다.

참 고 문 헌

1. S. Ueha , Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura, *Ultrasonic Motors Theory and Applications*, Clarendon Press, Oxford, pp. 1~5, 1993.
2. 菅野伸和, "超音波 モータ", 松下電氣産業(株) 모-타 事業部, 超音波 모-타 프로젝트, pp. A1-1-1~A1-1-11.
3. T. Takano et al., "Analysis of nonaxisymmetric vibration mode piezoelectric annular plate and its application to an ultrasonic motor", *IEEE U.F.F.C.*, vol. 37, No 6, pp. 558~565, 1990.
4. M. Tohda et al., "Ultrasonic linear motor using a multilayered piezoelectric actuator", *Ferroelectrics*, vol. 93, pp. 287~294, 1989.

5. 이윤재의 1인, "초음파 모터의 위치 제어를 위한 최대속도 알고리즘", 인하대학교 컴퓨터 과학 응용연구소 논문집 제 2집, pp. 127~132, 1998.

6. A. Dogan et al., "The effect geometry on the characteristics of the moonie transducer and reliability issue", *Ultrasonics symposium*, pp. 935~939, 1994.

7. Jin-Soo Kim et al., "Ultrasonic Motors Operated by Single-Phase High Frequency", 2nd Asian Meetings on Ferroelectrics, International, Singapore.(submitted)