

# 電壓差 制御에 의한 超音波 모터의 速度 및 토크 特性

(Speed and Torque characteristics of Ultrasonic Motor  
by Voltage difference control)

金永炯\* · 吳金坤\*\*

(Young-Dong Kim · Geum-Kon Oh)

## 요 약

초음파 모터(ultrasonic motor : USM)는 압전 세라믹소자(piezoelectric ceramics)의 초음파 진동을 이용한 마찰 구동형 모터이다. 기존의 전자식 모터와는 달리 자기회로 즉 철심과 코일이 없는 단순 구조를 갖는 특수 소형 모터로서 저속 고토오크의 특성을 지니고 있으므로 다이렉트 드라이브 방식의 액츄에이터로 활용이 가능하다. 그리고 자장이 강한 특수 환경에서도 외란의 영향을 받지 않아서 산업계 전바에 걸쳐 제어용 모터로서 높이 평가 받고 있다. 따라서 실용화를 위한 여러 가지 파라미터에 대한 특성 실험과 그에 따른 제어법 개발이 시급하다.

본 논문에서는 2상 입력 전원의 전압차 제어(voltage difference control)를 제안한다. 먼저 전압차 제어에 의하여 이론적으로 고찰하고 초음파 모터의 구동원이 되는 고정자의 한 질점에서 발생하는 타원 궤적을 시뮬레이션을 통하여 알아봄으로써 초음파 모터의 속도와 토크 특성을 예측하였다. 그리고 입력 전압위 전압차를 조절하여 초음파 모터의 속도와 토크 특성 실험을 하였다. 그 결과를 토대로 전압차 제어기 초음파 모터의 새로운 구동 방식이 될 수 있음을 밝혔다.

## Abstract

The ultrasonic motor(USM) has good characteristics such as compact size, silent motion, high speed response, low speed and high torque. The USM is driven by 2-phase AC electricity. The control parameters of USM are voltage, phase, and frequency of input powers, etc. In this paper, a voltage difference control is proposed. The voltage difference control has more advantage than phase difference control. Specially, current and power is lower than that of phase difference control. For this voltage difference control, we designed USM controller to adjust volatage and phase using PLSI(Programmable Large Scale Integration).

\*正會員：朝鮮大 制御計測工學科 副教授  
接受日字：1996年 10月 25日

\*\*正會員：朝鮮大 電氣工學科 副教授

### 1. 서 론

초음파 모터의 기본원리는 1973년 H.V.Barth<sup>1)</sup>에 의하여 처음 보고된 후 1981년 指田<sup>2)</sup>에 의한 시작품이 나온 뒤부터 연구 개발이 급진되었다. 초음파 모터의 속도 제어 파라미터<sup>3)</sup>는 2상 전원 전압의 진폭, 주파수, 위상차, 슬립, 정역 시비율 등 여러가지가 있는데, 이러한 초음파 모터 제어의 파라미터 중에서 입력 전압의 주파수를 제어하는 주파수 제어와 2상 입력 전압의 위상차를 이용한 위상차 제어 등이 연구의 주종을 이루어 왔다.<sup>4)-10)</sup> 하지만 주파수 제어에 있어서는 공진 주파수 추종 문제가 있고, 위상차 제어는 모터 정지 시에 2[A]이상의 과전류가 흐르는 문제점이 있다. 따라서 새로운 제어법 개발과 그에 따른 특성 실험이 필요하다. 본 연구에서는 전압차 제어를 제안한다. 전압차 제어는 2상 입력 전압 중 A상을 최적 진폭에 고정시키고 B상 전압의 진폭을 조절하여 초음파 모터의 속도 및 토크를 제어하는 것이다. 이를 위하여 PLSI를 이용한 위상 및 전압 제어기를 제작하였고 실제 실험을 통하여 속도와 토크 특성을 알아 보았다. 그 결과 전압차 제어가 초음파 모터의 위치 및 속도 제어와 토크 제어가 가능함을 밝혔다.

### 2. 초음파 모터의 구조와 구동 원리

#### 2.1 진행파형 초음파 모터의 구조

진행파형 초음파 모터 구조는 크게 나누어 회전형과 직선형이 있고, 회전형은 원판형 원환형 다축형 원통형 등으로 다양하다. 이러한 분류중 탄성파의 종류에 따라 크게 정재파형과 진행파형으로 나눌 수 있다. 본 실험에서는 원환형 진행파 초음파 모터(USR-60)를 사용하였다. 진행파형 초음파 모터는 그림 1과 같이 링형상의 압전 세라믹과 금속 탄성체(인칭동)로 이루어진 고정자(stator)와 링형상의 알루미늄 원판 회전자(rotor)로 나눌 수 있다. 고정자 표면에 72개의 절상의 치(齒)를 만들고 그 위에 역시 회전자를 금속 원판 스프링과 고무를 사용하여 가압 접촉시킨 구조로 고정자와 회전자는 기존의 전자식

모터와는 달리 틈(gap)이 없이 가압, 마찰 접촉되어 있다. 초음파 모터는 사용되어진 스프링과 고무에 의해 미소한 내부 탄성과 점성을 자체적으로 지닌다.

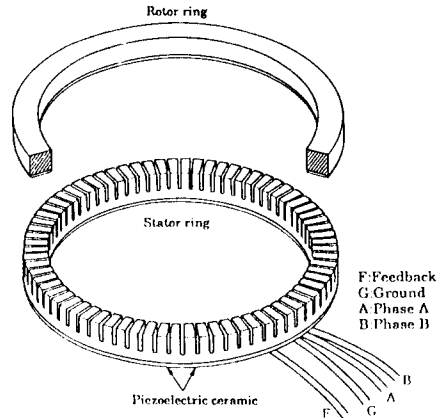


그림 1. 진행파형 초음파 모터의 구조  
Fig. 1. Structure of the travelling-wave USM

압전 세라믹은 그림 2와 같이 정(+), 부(-) 교대로 분극 처리해서 A상과 B상 두 부분으로 나누어 고정자 뒷면에 강력 접착체로 접착되어 있다. 각 상은 20° 폭의 압전체 8개가 160°를 점유하고 있다. 그리고 A상과 B상 사이에 별도의 10° 폭을 두어 A상, B상이 공간적으로 90°의 위상차가 되게 하였고, 이를 속도 조절용 피드백 센서로 이용하도록 설계되어 있으며, 나머지 30° 부분은 그라운드로 이용된다. 따라서 입력력 단자는 총 4단자가 된다.

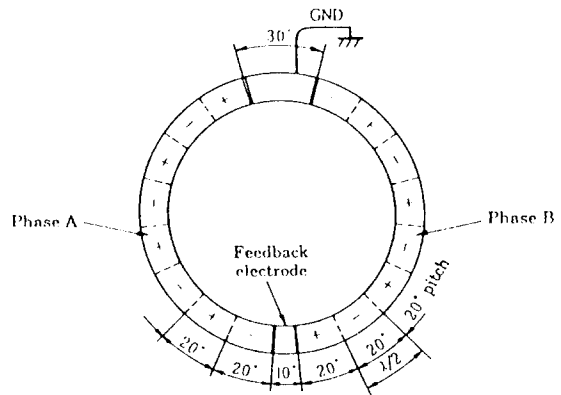


그림 2. 압전 세라믹 배열  
Fig. 2. Arrangement of piezoelectric ceramic

## 2.2 구동원리

세라믹 압전체는 전계를 가하면 분극 방향으로 따라서 기계적인 신장과 수축이 전계와 직각 방향으로 일어난다. 고정자(탄성체) 밑면의 한 상에 부착된 4쌍의 분극 압전체에 약 40(KHz)의 정현파 전압을 인가하면 원주상의 치 표면에 기계적 정재파(standing wave) 진동이 발생한다. 실제로는 A, B 두 상이 공간적으로 90°로 배치되어 있는 곳에 시간적 위상차가 90°인 전원을 동시에 공급했을 때는 각 상에서 발생한 정재파 진동이 단일 탄성체 내부에서 합성되면서 진행파(travelling wave)로 나타난다. 이 굴곡 진행파 진동에 의해 고정자 표면의 한 질점은 타원 운동을 하고 이 타원 운동은 회전자에 회전력으로 나타난다. 즉, 압전 세라믹에 의해 물리적 진동이 일어나고 이때 발생하는 탄성응력이 모터의 구동력이 된다. 그림 3은 진행파형 초음파 모터의 동작 원리이다.

진행파가 발생한 고정자 표면의 한 질점의 운동은 그림 3과 같이 타원 궤적을 그린다. 타원 궤적의 회전 방향은 진행파의 진행과 반대 방향이고 그 위에 놓인 회전자도 진행파의 진행 방향과 반대 방향으로 회전한다. 여기서 두 상의 전원의 위상을 바꿔서 진행파 방향을 바꿔주면 정역 운전이 가능하다.

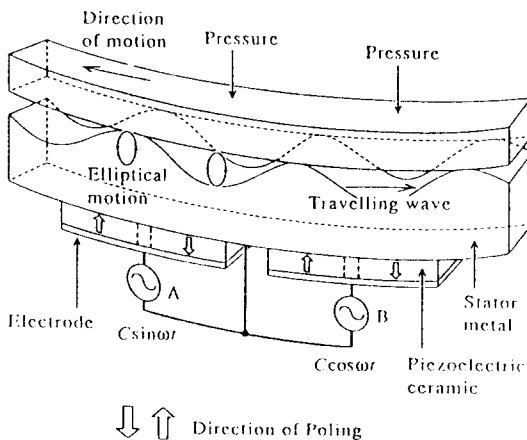


그림 3. 진행파형 초음파 모터의 동작원리  
Fig. 3. Principle of the travelling-wave USM

입력 전원의 주파수는 탄성체의 구조와 재질에 따른 기계적인 고유 진동계수를 고려, 공진을 일으킬 수 있도록 선정하는 것이 진행파의 진폭을 최대한 높이는 방법이다. 공진점은 여러 곳에 있지만 본 실험에서 사용한 초음파 모터의 최적 주파수는 40(KHz)를 채용하고 있다.

## 3. 전압차 제어 이론과 시뮬레이션

### 3.1 전압차 제어 이론

초음파 모터의 구동원리 세라믹 압전체에 두께 방향으로 정현파 전계를 인가하면 압전체의 분극 방향에 따라서 기계적인 신장과 수축이 발생한다. 이것을 파원으로 해서 각 상에 정재파(standing wave)가 발생하며, 이 정재파가 탄성체(고정자) 내부에서 합성되면서 고정자 표면에는 진행파(travelling wave)로 나타난다. 이 때 고정자 표면의 한 질점의 운동은 타원 운동을 하는데, 이 타원의 크기 및 모양 그리고 회전 방향을 조절함으로써 초음파 모터의 속도 및 토크를 제어할 수 있다고 본다. 본 논문에서는 2상 입력 전압의 전압차를 이용해서 이 타원의 크기 및 모양을 변화시켜 모터를 제어한다.

초음파 모터의 제어 원리를 이론적으로 살펴보면 고정자 A상과 B상에 각각 정현파 전원을 인가했을 때 압전소자에 의해서 금속 탄성체에서 발생하는 기계적 진동파인 A상의 정재파  $y_A$ 는

$$y_A = \zeta_A \sin(nx) \sin(\omega t) \quad (1)$$

으로 표현된다. 또 A상과 공간적으로 90° 관계인 B상에 시간적으로  $\phi$ 인 정현파 전원을 공급하면 B상에서 발생하는 정재파  $y_B$ 는

$$y_B = \zeta_B \sin(nx + \pi/2) \sin(\omega t + \phi) \quad (2)$$

$$\zeta_A \cos(nx) \sin(\omega t + \phi)$$

단,  $\zeta_A, \zeta_B$ : 진폭,  $x$ : 원주상의 위치,

$n$ : 원주상의 정재파의 갯수(=9)

가 된다. A상과 B상의 정재파가 동일 금속 진동체에서 합성이 되므로 진행파  $y$ 가 발생한다.

$$y = \zeta_A \sin(nx) \sin(\omega t) + \zeta_B \cos(nx) \sin(\omega t + \phi) \quad (3)$$

이 진행파에 의한 기계적 진동은 탄성체의 두께 T의 중앙인 중성면의 것이고 그로부터 T/2인 탄성체 표면의 원주 방향의 변위 X와 축 방향의

변위 Y는 각각 식 (4)와 식 (5)와 같다.

$$X = x - \frac{T}{2} \sin \theta \approx x - \frac{T}{2} \tan \theta \quad (4)$$

$$Y = y + \frac{T}{2} \cos \theta \approx y + \frac{T}{2} \quad (5)$$

( $\theta \approx, \cos \approx 1, \sin \theta \approx \tan \theta = \theta$ )

이때  $\tan \theta$ 은  $\theta$ 가 0에 가까운 값이므로 식 (6)과 같다.

$$\tan \theta = \frac{\partial y}{\partial s} \quad (6)$$

$$= n \zeta_a \{ \cos(nx) \sin(\omega t) - r \sin(nx) \sin(\omega t + \phi) \}$$

여기서  $r$ 는 진폭  $\zeta_a$ 와  $\zeta_b$ 의 비이다.

$$r = \frac{\zeta_b}{\zeta_a} \quad (7)$$

즉,  $r$ 는 전압차 파라미터이다.

식 (3)과 식 (6)을 식 (4)와 식 (5)에 각각 대입하여 정리하면 식 (8)과 식 (9)가 된다.

$$\begin{aligned} \cos(nx) \sin(\omega t) - r \sin(nx) \sin(\omega t + \phi) \\ = \frac{2(X-x)}{-nT\zeta_a} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sin(nx) \sin(\omega t) + r \cos(nx) \sin(\omega t + \phi) \\ = \frac{Y - \frac{T}{2}}{\zeta_a} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)는  $\sin(\omega t)$ ,  $\sin(\omega t + \phi)$ 에 대한 1차 연립 방정식이므로  $\sin(\omega t)$ 를 구하면 식 (10)이 되며

$$\begin{aligned} \sin(\omega t) = \frac{1}{\zeta_a} \left\{ \left( Y - \frac{T}{2} \right) \sin(nx) \right. \\ \left. - \frac{2(X-x)}{nT} \cos(nx) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)을 식 (9)에 대입하기 위해  $\sin(\omega t + \phi)$ 를 전개하여  $\sin(\omega t)$ 항으로 정리하면 식 (9)는 식 (11)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \sin(\omega t) \{ \sin(nx) + r \cos(nx) \cos \phi \} - \frac{Y - \frac{T}{2}}{\zeta_a} \\ = -r \cos(nx) \sin \phi \sqrt{1 - \sin^2(\omega t)} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$P = \sin(nx) + r \cos(nx) \cos \phi$$

$$Q = -r \cos(nx) \sin \phi$$

라 놓고 양변을 제곱하여 정리하면 식 (12)가 된다.

$$\sin^2(\omega t) (P^2 + Q^2) +$$

$$\left[ \frac{Y - \frac{T}{2}}{\zeta_a} \right]^2 - \frac{2P \sin(\omega t) (Y - \frac{T}{2})}{\zeta_a} = Q^2 \quad (12)$$

위의 식 (12)에 식 (10)을 대입하여

$X - x, Y - \frac{T}{2}, (X - x)(Y - \frac{T}{2})$ 항별로 정리하면

식 (13)이 된다.

$$A(X-x)^2 + B(X-x)(Y - \frac{T}{2}) +$$

$$C(Y - \frac{T}{2})^2 = 1 \quad (13)$$

$$A = \left( \frac{2 \cos(nx)}{nT\zeta_a Q} \right)^2 (P^2 + Q^2)$$

$$B = \frac{1}{nT\zeta_a^2 Q^2} \cos(nx) \{ P - \sin(nx) \cdot (P^2 + Q^2) \}$$

$$C = \left\{ \frac{P \sin(nx) - 1}{\zeta_a Q} \right\}^2 + \left\{ \frac{\sin(nx)}{\zeta_a} \right\}^2$$

위의 식 (13)은 중심이  $(x, \frac{T}{2})$ 이고 회전각  $\theta_R$ 가 있는 타원을 나타낸다. 이때 이 타원의 장축 a, 단축 b, 회전각  $\theta_R$ 는 다음과 같다.

$$a = \sqrt{\frac{2}{(A+C) - \sqrt{(A-C)^2 + B^2}}}$$

$$b = \sqrt{\frac{2}{(A-C) - \sqrt{(A-C)^2 + B^2}}}$$

$$\theta_R = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{B}{A-C}$$

전압차 제어는 입력 전압을 각각 제어 하므로 식 (7)의 전압차 파라미터인  $r$ 를 가변시켜 식 (13) 타원의 장축 단축 그리고 회전각을 변화시키므로 초음파 모터의 속도 및 토크를 제어하게 된다.

### 3.2 Simulation(타원 궤적)

전압차 제어 원리는 A상에서 발생한 정재파를 최적 진폭에 고정시키고 B상에서 발생한 정재파의 진폭을 조절하여 진행파를 발생시키는 것이다. 1절의 이론을 바탕으로 MATLAB을 이용하여 진행파와 타원 궤적을 시뮬레이션하였다. 그림 4는 각 상의 정재파를 합성한 진행파이다. 그림 4의 a를 보면 B상 정재파의 진폭이 0인 상태에서 A상의 정재파 성분만 남아 있어서 타원 궤

적은 발생하지 않는다. B상의 진폭을 0에서 점점 최적 진폭까지 0.25배씩 상승시키면 B상의 정재파가 점점 커지고 이 정재파가 A상의 정재파와 합성되면서 그림 4의 b, c, d와 같은 굴곡 진행과가 된다. B상 정재파의 진폭이 커질수록 진행과 성분의 굴곡이 점점 작아져서 타원 궤적이 원에 가까워짐을 알 수 있다. 따라서 실제 초음파 모터의 속도와 토크는 점점 커지게 된다. 그리고 그림 4의 e와 같이 A상과 B상 두 정재파의 진폭이 같아질때 굴곡이 없는 진행과 성분만 된다. 이때의 타원은 최대 크기의 원이 된다.

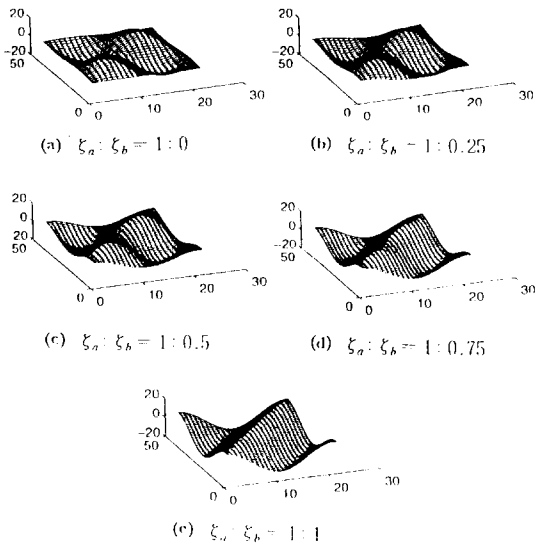


그림 4. 3차원 진행파  
Fig. 4. 3D travelling wave

따라서 두 상의 진폭이 같아지면 초음파 모터의 속도와 토크는 최대가 된다. 이 전압차 제어와 전압(A상, B상) 동시 제어와의 다른점은 정재파 성분이 존재하는 굴곡 진행과가 되는 점이다. 이 정재파 성분에 의한 굴곡은 초음파 모터의 속도에 그 크기와 존재 여부에 따라 영향을 준다. 그림 5는 식 (12)에 의해서 구해진 타원 궤적이다. 전압차는  $\zeta_a$ 와  $\zeta_b$ 의 비를 1:0에서 5단계로 비율을 점차로 늘여나가면서 구했다. 그림 5를 보면 전압차가 작을수록 타원 궤적은 점점 커짐을 볼 수 있다.  $\zeta_b$ 가 완전히 0이되면 타원궤적은 정재파 성분만이 남아 질점이 직선으로 운동

함을 알 수 있다. 그리고 두 상의 비가 같아질 때 원이 됨을 알 수 있다.

위의 고찰로 보아 전압차 파라미터  $r$ 가 1일 때 ( $r = \zeta_b / \zeta_a = 1$ ) 초음파 모터는 최대 토크와 최대 속도로 운전한다. 그리고  $r$ 를 점점 줄이면 토크와 회전 속도가 점점 떨어져  $r$ 가 0일 때 정지하게 된다. B상의 전압을 고정시키고 A상의 전압을 조절하는 방식 또한 그 원리가 같다.

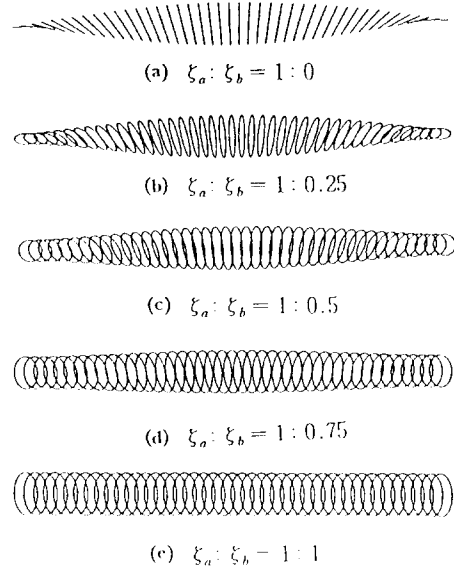


그림 5. 전압차에 따른 타원 궤적  
Fig. 5. Oval trajectory with voltage difference

#### 4. 전압차 제어 실험 및 고찰

본 연구에서 제안하는 전압차 제어 방식은 초음파 모터의 두상의 입력 전압의 차를 조절하므로 모터의 구동원이 되는 고정자 표면의 타원 궤적의 기울기와 크기 그리고 모양을 바꾸어 모터의 속도와 토크를 제어한다. 이를 위하여 모터의 두 입력 전원의 A상과 B상의 전원을 구분하여 각각 달리 조절할 수 있는 제어기를 제작하여 두 상의 전압차에 따른 속도와 토크 변화를 실험하였다. 실험에 사용한 초음파 모터의 구동 전원은 40[KHz] 근방의 주파수를 가지는 100[V<sub>pp</sub>]정도의 고주파 전원이므로 이를 만들기 위해 센터 탭 방식의 단상 트랜지스터 인버터 2개를

각각 A, B상의 파워 드라이버로 사용하였다. 그리고 전압차는 A상의 전압을 고정한 후, B상의 전압을 PC에서 보내진 전압차 데이터에 의해 트랜지스터 베이스단의 입력 펄스의 시비율을 조절함으로써 행하였다. 초음파 모터의 회전 방향은 정회전시 위상차를 90°로 고정하였고, 역회전시에는 -90°로 주어진 정회전시와 역회전시의 특성을 관측하였다. 이를 위해 PLSI를 이용한 원칩 설계를 하였고 전체적인 제어 블록도는 그림 6과 같다. 그림 7은 전압 데이터에 의한 시비율과 이에 따른 출력 전압의 한 예이다.

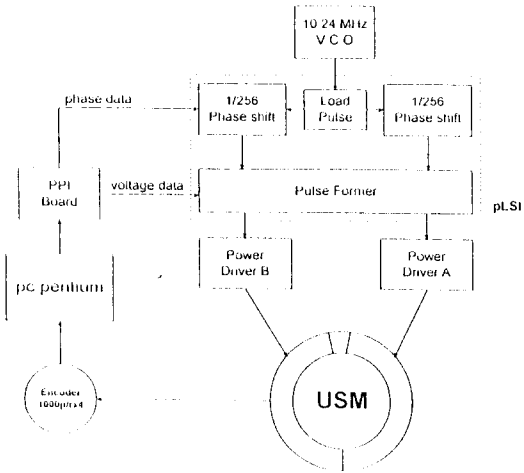


그림 6. PLSI를 이용한 초음파 모터의 제어 블록도  
Fig. 6. Control block diagram of USM using PLSI

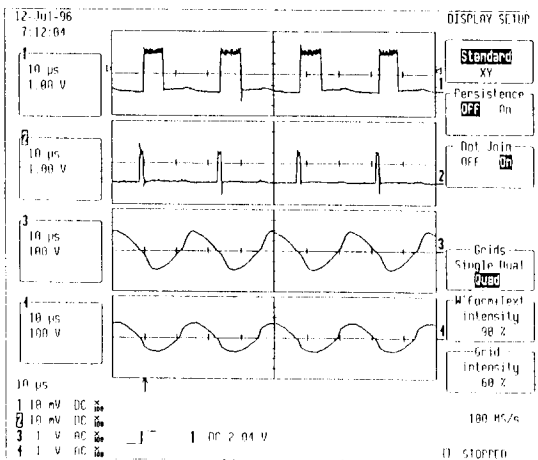


그림 7. 전압차에 따른 구형파와 전압파형  
Fig. 7. Output voltage and square wave with phase difference

#### 4.1 전압차 제어에 의한 속도 특성 실험

전압차 제어에 의한 속도 측정 시스템은 그림 8과 같이 구성하였다. 속도 센서로는 1회전당 1000펄스의 분해능을 가진 광전식 로타리 엔코더를 사용했다. 엔코더에서 출력된 소도 데이터는 LS7166의 24bit카운터에서 4채배하여 산출된 후 컴퓨터에 기록된다. 주파수는 속도 측정 전에 최적 구동 주파수로 설정했다. 그리고 정회전에 위상차를 90°로 하고 역회전시에는 -90°로 전환하여 실험 하였다. 초음파 모터의 속도 변화는 PC로부터 프로그램상의 가변 전압 데이터를 받아 자체 제작한 컨트롤러를 사용하여 조절하였다.

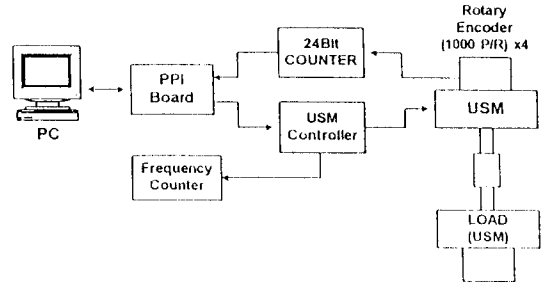


그림 8. 초음파 모터의 속도 측정 시스템  
Fig. 8. Speed instrumentation system of USM

그림 9는 무부하시 속도 특성 곡선이다. 비교적 위상차 제어와 비슷한 속도 특성을 보이고 있으나 속도가 0에 가까운 지점에서 위상차 제어에서의 2[A]이상의 고전류에 비해 훨씬 적은 0 - 0.3[A]의 전류가 흘렀다. 그리고 전압 동시 제어에서 나타나는 제어 불능 지역(0[V]-40[V])이 전압차 제어에서는 나타나지 않았다.

그림 10은 부하시 속도 특성 곡선으로 무부하시 속도 특성과 비교할 때 리플이 커지고 속도만 줄어들었을 뿐 거의 비슷한 특성을 보였다.

#### 4.2 전압차 제어에 의한 토크 특성 실험

전압차 제어에 의한 토크 측정 시스템은 그림 11과 같이 제작 하였다. 토크 센서는 로드 셀을 이용하여 자체 제작하였다. 우선 토크 트랜스듀서의 한 축을 고정시키고 나머지 한 축은 고정된 초음파 모터에 접속한다. 초음파 모터 구

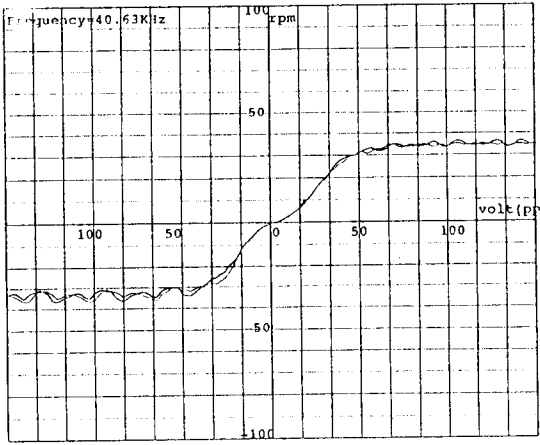


그림 9. 전압차 제어에 의한 무부하시 속도 특성곡선  
Fig. 9. Unloaded Speed curve of voltage difference control

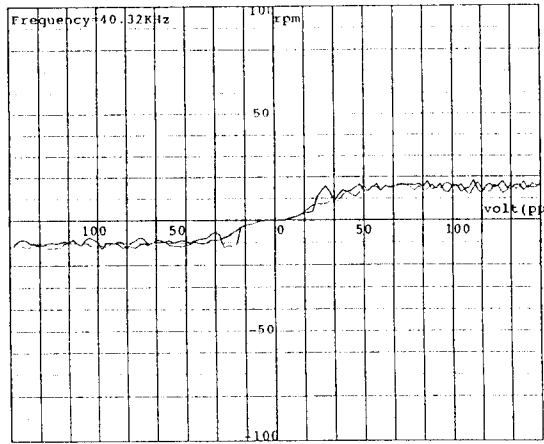


그림 10. 전압차 제어에 의한 부하시 속도 특성곡선  
Fig. 10. Loaded Speed curve of voltage difference control

동측은 속도 측정기와 같이 초음파 모터, 컨트롤러, PPI 보드, 컴퓨터 순으로 접속하고 토오크 측정측은 토오크 듀서, 도오크 듀서 앰프, A/D 보드, 컴퓨터 순으로 접속하였다. 속도 측정기의 로터리 엔코더와 다르게 토오크 듀서 출력이 아날로그 데이터이므로 A/D보드를 사용하여 디지털 값으로 변환하였다. 토오크 측정을 하기 전에 먼저 최적 구동 주파수에 맞추었다. 그리고 PC로부터 가변 전압 데이터를 받아 컨트롤러에서 시비율을 조절하여 초음파 모터의 B상 입력전압

을 가변 시켰다.

실험 결과 토오크 제어도 속도 특성과 마찬가지로 전압차 파라미터가 1일 때 최대 토오크가 되고 0일때 최소 토오크가 되어 위상차 제어시와 비슷한 특성을 보임을 확인하였다.

### 4.3 고찰

타원 방정식에 의한 타원 궤적 시뮬레이션을

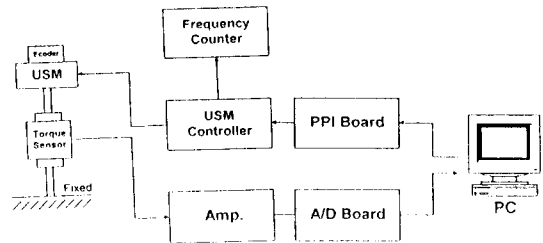


그림 11. 토오크 측정 시스템  
Fig. 11. Torque instrumentation system

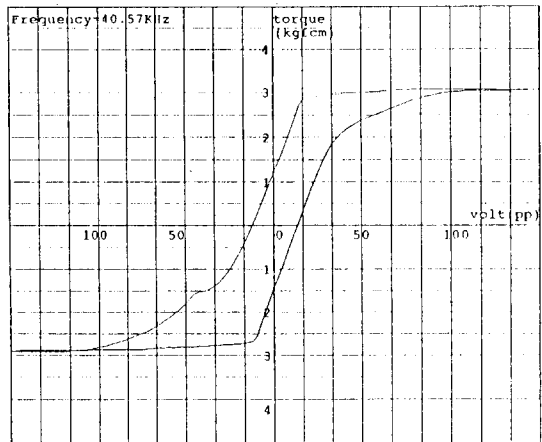


그림 12. 전압차 제어에 의한 토오크 특성 곡선  
Fig. 12. torque curve of voltage difference control

관찰 분석해 보면 전압차 제어에 의한 타원 궤적은 위상차 제어에 의한 타원궤적과 거의 유사함을 알 수 있었다. 또한 실험에 의하여 시뮬레이션에서 나타난 결과와 같이 전압차 제어에 의한 속도 특성이나 토오크 특성이 위상차 제어에서의 속도 특성, 토오크 특성과 매우 유사함을 확인할 수 있었다. 그리고 위상차 제어의 문제점이었던

속도가 0인 지점 즉 위상차가 줄어들수록 흐르는 2[A]이상의 과전류 문제가 전압차 제어에서는 0 [A]에 가깝게 줄어들었다. 따라서 초음파 모터의 문제점이던 발열특성이 위상차 제어보다 우수함을 확인하였다. 그리고 기존의 전압 동시 제어에 의해서 나타났던 제어 불능 영역이 전압차 제어에서는 나타나지 않았다. 토크 특성에서도 전압차 제어의 특성과 위상차 제어의 특성이 비슷함을 알 수 있다. 여러 실험을 통해서 전압차 제어와 위상차 제어, 전압 동시 제어의 특성을 비교 실험해 본 결과 전압차 제어는 위상차 제어와 전압 동시 제어의 중간단계의 특성을 보였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 전압차 제어를 제시하고 이에 대한 이론적, 실험적 고찰을 하였다. 이를 위해서 PLSI를 이용한 제어기와 이에 따른 프로그램을 개발 하였다. 그리고 초음파 모터의 대표적인 구동파라미터인 주파수, 진폭, 위상차에 대한 이론 전개와 이에 따른 타원 궤적 시뮬레이션을 통해 전압차 제어의 특성을 예측하고 실제 실험을 통하여 속도와 토크 특성을 분석 하였다. 그 결과 전압차 제어가 위상차 제어와 유사한 속도 및 토크 특성을 가짐을 확인 하였고 위상차 제어의 문제점이었던 과전류 문제를 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 행한 시뮬레이션과 실험을 통해 주파수, 위상차, 그리고 전압차를 파라미터로 하는 통합적인 제어법의 가능성이 예측 되어진다.

## 참 고 문 헌

1) H. V. Barth, Ultrasonic Driven Motor IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol. 16, No. 7, pp.2263, 1973.

2) T. Sashida, T. Kenjo, : An Introduction to Ultrasonic Motors, Oxford, Clarendon Press, 1993.  
 3) 秋山勇治, "屈曲波振動形超音波モータ 各種速度制御方式の検討," 電氣學會研究會資料, RM-89-11, pp.25~33, 1989.  
 4) 金永炯, "위상차에 의한 초음파 모터의 속도와 토크 특성," 朝鮮大學校 生産技術研究所, 第16輯, 第1號, pp. 27~28, 1994.  
 5) 奥村一郎, "カメラレンズ-我が社が開發した壓電應用" エレクトロニクヒラミクス 壓電ヒンサ・アクチュエータ特輯 Vol.22, pp. 47~49, 1991.  
 6) 月本貴之, "カメラへの應用超音波モータによるレンズ驅動" エレクトロニクスライフ10月號, p.51~56, 1991.  
 7) 青山睦郎, 平尾浩二, 武田伸彦, 相良信治, 大田久敏, 藏坪 學, "可動式, ヘッドレストレイント用超音波モータ" 自動車技術會 學術講演會前刷集, 924, pp.61~62, 1992.  
 8) T. Hatsuzawa, K. Toyoda and Y. Tanimura, "Speed Control Characteristics and Digital Servo System of Circular Traveling Wave Motor," Rev. Sci. Instrum, Vol.57, No 11, 2886~2890, 1986.  
 9) 김영동, 오금곤 "초음파 모터의 위상차 제어" 한국조명·전기설비학회 논문지, 논문 10~1~5, .66~74, 1996.  
 10) 김동욱, 이갑연, 김원배, 최한수, 김영동, "PLSI를 이용한 초음파 모터 위상차 제어기 개발," 1995 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp.182~185, 1995.

## ◇ 著 者 紹 介 ◇



김 영 동(金永炯)

1944年 11月 28日生. 1968年 조선대 공대 전기공학과 졸. 1984년 명지대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1993년 일본 愛知工業大學 客員研究員. 현재 조선대 공대 제어계측공학과 부교수.



오 금 곤(吳金坤)

1953年 1月 17日生. 1968년 조선대 공대 전기공학과 졸. 1984년 동신대 대학원 전자공학과 졸(석사). 현재 조선대 공대 전기공학과 부교수.