

超音波 모터의 位相差 制御

(Phase-Difference Control of Ultrasonic Motor)

金永炯* · 吳金坤**
(Young-Dong Kim · Geum-Kon Oh)

요 약

최근 진행파형 초음파 모터는 그 구조가 간단하고, 저속 고 토크이어서 직접 구동(Direct Drive : DD)용으로 많은 호응을 얻고 있다. 또한 응답이 빠르고, 정지 토크가 크며 설계자유도가 높을 뿐만 아니라 운전시 소음이 없고 자계에 강해 자동화 설비분야 등 산업 전반에 걸쳐 매우 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 초음파 모터의 2상 입력전원의 위상차를 조절하여 속도와 토크 특성을 이론적으로 고찰하고, 이를 토대로 위상차 제어기를 설계 제작하였다. 그리고 이를 이용하여 위상차 제어방식을 채용한 경우 초음파 모터의 위치 및 속도제어는 물론 간단한 알고리즘으로 토크 제어가 가능함을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검토하였다. 실험 결과 위상차 변화에 따라서 속도와 토크가 거의 비례해서 변화하였다. 이것으로 전원 전압의 위상차 조절을 통해서 속도와 토크를 동시에 제어할 수 있을 뿐만 아니라 토크센서 없이 각도 센서만으로도 위치제어는 물론 토크 제어도 큰 오차 없이 행할 수 있음을 밝혔다.

Abstract

The travelling-wave type ultrasonic motor(USM) has good characteristics such as compact size, light weight, silent motion, low rotation-speed, high torque, low magnetic noise, high speed response and so on. Therefore USM is good as an actuator for direct drive (DD) system.

In this paper, we contemplate rotation-speed and torque of USM with adjusting phase difference of input power and design phase difference controller by the above consideration. We confirm the possibility that the torque control by simple algorithm as well as the position and speed control using the controller. In result, the rotation speed and the torque are proportionally changed by phase difference of USM. So it is possible that phase difference control of USM can be used position control and torque control without torque/force sensor.

1. 서 론

초음파 모터(Ultrasonic Motor : USM)는 압전세

*正會員：朝鮮大 制御計測工學科 副教授

**正會員：朝鮮大 電氣工學科 副教授

接受日字：1995年 11月 18日

라믹 소자에 의한 초음파 대의 기계적 진동을 이용한 마찰 구동형의 모터이다. 종래 전자식 모터와는 전혀 다른 원리와 구조로서, 자기회로를 구성하는 철심이나 코일이 없고 압전소자에 고주파 전계를 가하여 초음파 진동을 일으키는 진동부(고정자)와 진동부에 가압 접촉되어있는 이동부(회전자)로 구성되어 있다.

그 특성은 저속, 고 토크, 소형 경량, 고응답성, 운전시 소음이 없는 등의 장점을 지닌다. 또한 정지 토크가 크고, 실계 자유도가 높으며 자계작용이 없기 때문에 최근 자동화 설비용 뿐만 아니라 제어용 모터로 주목을 받고 있어 이에 따른 많은 기초 연구가 활발히 진행되고 있다.

기본원리는 1973년 IBM의 H.V.Barth¹⁾에 의한 보고가 최초이고, 그후 1981년 指田²⁾에 의한 시작품이 나온 뒤부터 연구 개발, 해석 등이 급진전되었다.

최초 응용 분야는 자동 커튼 설비장치로부터 시작해서, 자동 무인 카메라의 위치제어, 물스크린의 자동설비, 카메라의 자동초점(Auto-Focus : A/F)구동장치등 종래 소형 저속 서보 모터나 스텝 모터가 담당하고 있는 모든 제어설비를 대신할 수 있는 광활한 응용분야를 갖고 있다.³⁾⁻⁶⁾

그러나 장점이 많은 반면에 극복해야 할 단점도 많다. 아직 효율이 낮고, 발열이 크며, 정밀한 고주파 전원 장치를 필요로 한다. 또한 마모에 의한 열화가 심하고, 수명이 아직 1000시간 정도로 연속운전에 부적합하며, 최적 구동주파수(공진주파수) 변동이 심하여 개루프 제어시 아직 불안정하다는 점등이다.

초음파 모터의 속도제어 방식은 秋山⁷⁾에 의해서 이론적으로 검토되었으며 한편으로는 PWM 제어 방식도 제안하고 있다.⁸⁾ 제어성의 안정화에 대해서는 회전을 피드백 시킨 주파수 제어 방법과 파라메타를 예측한 적응 제어 방식을 사용하여 속도 제어의 안정화를 도모하는 연구⁹⁾가 발표되고 있다.

소형 제어용 모터가 갖추어야할 기본 조건중 정밀한 위치 및 속도제어는 물론 여러가지 작업 및 설비 환경에 적용하기 위해서는 토크·힘제어가 필수적이라고 본다.

그러나 지금까지의 연구방향은 입력전원의 주파수나 진폭제어에 의한 위치 및 속도제어가 대부분이었고 미래 자동화 설비의 휴먼 인터페이스 문제와 결부해서 토크·힘제어는 다소 소홀히 되어왔다.

따라서 본 연구에서는 전원 회로 구조상 2상회로를 갖고 있는 초음파 모터의 고주파 공급전원의 위상차를 조절하여 속도와 토크특성을 먼저 이론적으로 고찰하고, 이를 토대로 pLSI기법을 통해 위상차 제어를 직접 설계·제작하여 실제 실험을 통해서 그 특성을 검토하였다. 그 결과 위상차 제어방식이 초음파 모터의 위치 및 속도 제어는 물론 간단한 알고리즘으로 토크 제어가 가능함을 밝혔다.

2. 초음파 모터

2.1 초음파 모터의 구조

진행파형 초음파 모터 구조는 크게 나누어 회전형과 직선형이 있고, 회전형은 원판형, 원환형, 다축형, 원통형 등으로 다양하다.

그림 1은 USR-60 모델의 원환형 진행파(traveling wave)초음파 모터의 구조이다. 링형상의 탄성체(인동)를 모터 고정자로 하고, 그 뒷면에

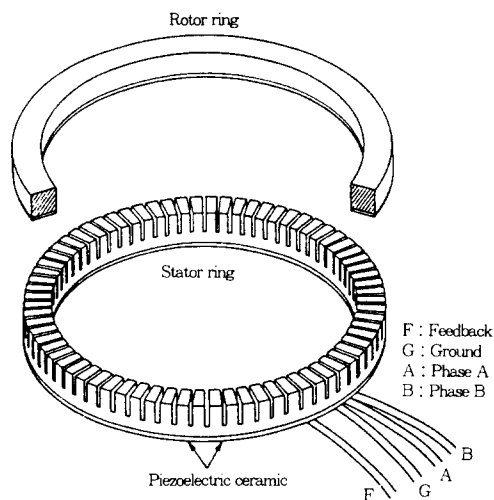


그림 1. 초음파 모터의 구조
Fig. 1. Schematic structure of USM.

압전 세라믹 소자를 접착하여 40kHz의 고주파 전압을 인가해서 발생한 횡진동(굴곡진동)을 탄성체의 진동원으로 이용한다. 표면에는 72개의 치(齒)를 만들어 타원운동을 발생시키고 역시 그 위에 링 형상의 회전자(알루미늄 원판)를 판 스프링으로 가압 접촉시킨 구조로 고정자와 회전자는 종래 전자식 모터와는 달리 마찰 접촉되어 있다.

압전 세라믹은 그림 2와 같이 정(+), 부(-) 교대로 분극처리해서 A상과 B상 두개의 부분으로 나누어 고정자 뒷면에 강력 접착되어 있다. 각 상은 20° 폭의 압전체 8개가 160°씩 점유하고 A, B상 사이에 10° 폭의 피드백 단자를 넣어서 공간적 위상각이 90°가 되게 했다. 나머지 30°는 접지 단자로 이용하고 있어서 총 입출력 단자는 4개이다.

2.2 동작원리

세라믹 압전체는 전계를 가하면 분극방향에 따라서 기계적인 신장과 수축이 전계와 직각방향으로 일어난다. 고정자(탄성체) 밑면의 한 상에 부착된 4쌍의 분극 압전체에 약 40kHz의 정현파 전압을 인가하면 원주상의 치 표면에 기계적 정상파(standing wave) 진동이 발생한다. 실제로는 A, B 두상이 공간적으로 90°로 배치되어 있는 곳에 시간적 위상차가 90°인 전원을 동시에 공급했을 때는 각상에서 발생한 정상파 진동이 단일 탄성체 내부에서 합성되면서 횡진동의 진행파로

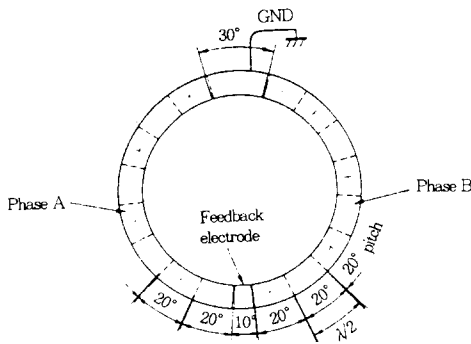


그림 2. 압전 세라믹 배열
Fig. 2. Arrangement of piezoelectric ceramic

나타난다.

그림3은 9개의 산을 갖는 진행파의 변위 분포도를 보이고 있다.

그림 4와 같이 진행파가 발생한 고정자 표면의 한 질점의 운동은 타원궤적을 그린다. 타원궤적 회전 방향은 진행파의 진행과 반대 방향이고 그 위에 놓인 회전자도 진행파의 진행방향과 반대 방향으로 회전한다. 여기서 두 상의 전원의 위상을 바꿔서 진행파 방향을 바꿔주면 정역운전이 가능하다.

공급전원의 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 주

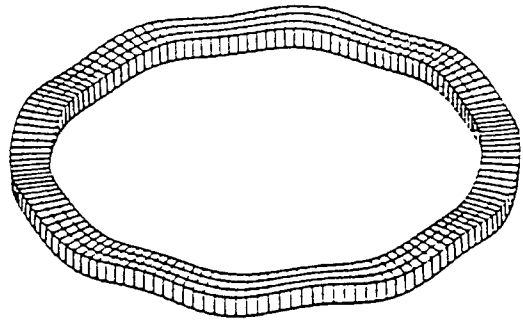


그림 3. 변위 분포도
Fig. 3. Distribution of displacement

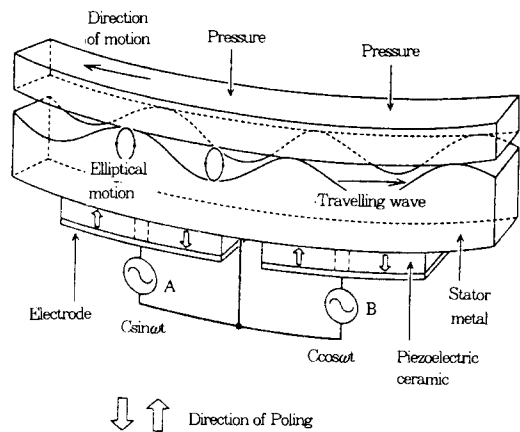


그림 4. 진행파형 초음파 모터의 동작원리
Fig. 4. Principle of the travelling-wave USM

파수는 40kHz를 채용하고 있다.

공진점은 동일한 모델의 제품이라 하더라도 약간의 차이가 있고 온도와 부하조건 열화 등의 원인에 의해서 변화한다. 따라서 최대 효율을 얻기 위해서는 제어기(controller)에 자동 공진주파수 추종회로를 설치하는 것이 바람직하다.

2.3 위상차 제어 원리

초음파 모터의 A상과 B상에 각각 정현파 전압을 인가하면 탄성체에는 다음과 같은 기계적인 정상파진동이 발생한다.

$$Y_A = 2A \sin(2\pi x/\lambda + \Psi_A) \cos(\omega_0 t + \theta_A) \quad (1)$$

$$Y_B = 2A \sin(2\pi x/\lambda + \Psi_B) \cos(\omega_0 t + \theta_B) \quad (2)$$

모터 구조상 공간적 위상차는 90° ($\Psi_A=0, \Psi_B=90^\circ$)로 고정되어 있으며 여기에 A, B상의 시간적 위상차가 90° ($\theta_A=90, \theta_B=0$)가 되게 전원을 인가하면 위 식은 각각

$$Y_A = 2A \sin(2\pi x/\lambda) \sin(\omega_0 t) \quad (3)$$

$$Y_B = 2A \sin(2\pi x/\lambda) \cos(\omega_0 t) \quad (4)$$

으로 된다.

A, B상의 각각의 진동원에서 발생한 정상파는 실제로는 단일 진동체에서 합성되므로

$$Y_0 = Y_A + Y_B = 2A \cos(2\pi x/\lambda) - (\omega_0 t) = \zeta_0 \cos(nx - \omega_0 t) \quad (5)$$

여기서 ζ_0 : 정수, n : 원주상의 정상파수, λ : 파장 이 된다. 위 식은 진행파임을 쉽게 알 수 있다.

여기서 탄성체(고정자)의 두께를 T 라 하면 식(5)의 진행파는 중성면의 것이라 할 수 있으므로 그 중성면으로부터 $T/2$ 만큼 떨어진 고정자 표면의 종방향 변위(Y)와 횡방향 변위(X)는 각각 근사적으로

$$Y = \zeta_0 \cos(nx - \omega_0 t) \quad (6)$$

$$X = \zeta_0 n \frac{T}{2} \sin(nx - \omega_0 t) \quad (7)$$

이다. 이 두 식을 정리하면

$$\frac{X^2}{n^2(\frac{T}{2})^2} + Y^2 \quad (8)$$

$$= \zeta_0^2 [\sin^2(nx - \omega_0 t) + \cos^2(nx - \omega_0 t)] = \zeta_0^2$$

과 같은 타원 방정식을 얻을 수 있다. 즉, 고정자

표면의 한 질점이 타원 운동을 하고 있다. 타원의 장축과 단축의 비는 $n \frac{T}{2} : 1$ 이며, 타원운동의 방향은 진행파의 방향과 반대가 된다.¹²⁾

본 실험에서 사용한 USR-60 초음파 모터는 고정자 표면에 높이가 H인 치(齒)를 72개 갖고 있으므로 횡방향의 변위는 실제로는 $2H/T$ 배 만큼 증가한다.

이와 같은 타원 궤적은 고정자 치 표면 전체에 기계적 휨진동(굴곡진동)으로 나타나며, 원형 판 스프링과 고무 그리고 재질이 갖는 탄성 등으로 인하여 탄력을 가지고 고정자에 접촉되어 있는 회전자에 마찰력을 작용하여 회전력을 발생시킨다.

A, B상의 공급 전원의 위상차를 90° 로 하지 않고, 임의의 ϕ 값으로 했을 때는 (6)식과 (7)식은 역시 근사적으로

$$X = \frac{T}{2} n \zeta_0 \sqrt{1 - \cos\phi \sin 2nx} \sin(\omega_0 t + \beta) \quad (9)$$

$$Y = \zeta_0 \sqrt{1 + \cos\phi \sin 2nx} \sin(\omega_0 t + \alpha) \quad (10)$$

여기서

$$\sin\alpha = \sin\phi \cos nx / \sqrt{1 + \cos\phi \sin 2nx}$$

$$\cos\alpha = \sin nx + \cos\phi \cos nx / \sqrt{1 + \cos\phi \sin 2nx}$$

$$\sin\beta = \sin\phi \sin nx / \sqrt{1 - \cos\phi \sin 2nx}$$

$$\cos\beta = -\cos nx + \cos\phi \sin nx / \sqrt{1 - \cos\phi \sin 2nx}$$

된다. 위 두 식으로부터

$$\frac{Y^2}{\zeta_0^2(1 + \cos\phi \sin 2nx)} + \frac{X^2}{(\frac{T}{2})^2 n^2 \zeta_0^2 (1 - \cos\phi \sin 2nx)} \quad (11)$$

$$= \frac{\sin^2\phi}{1 - \cos^2\phi \sin^2 2nx} + \frac{2\sqrt{1 - \cos^2\phi \sin^2 2nx} - \sin^2\phi XY}{\frac{T}{2} n^2 \zeta_0^2 (1 - \cos^2\phi \sin^2 2nx)}$$

과 같이 나타낼 수 있다.

(11)식도 역시 타원 방정식임을 확인할 수 있다.

위 식을 시뮬레이션 한 결과는 그림5와 같다. 고정자 표면의 질점이 타원 궤적을 그리고 있음을 알 수 있었다.

그림 5에서 위상차 ϕ 를 -90° 에서 $+90^\circ$ 까지 30° 간격으로 변화시키면 탄성체에서 발생하는

힘진동은 ϕ 가 $+90^\circ$ 일 때는 (5)식과 같은 진행과가 우측으로 진행하고 질점의 타원운동은 진행과와 반대방향으로 회전한다. ϕ 를 줄이면 진행과 성분이 줄고 정상과 성분이 증가하면서 타원궤적의 단축과 장축의 비가 커지면서 타원이 작아지고 있다.

ϕ 가 완전히 0이 되면 순수한 정상과 성분만 남게 되어 질점은 직선운동을 하게 되는데 이때 고정자 표면의 질점의 위치에 따라서 벡터 방향이 좌우 대칭에 가까워지고 있다.

위의 고찰로 보아 ϕ 가 -90° 와 $+90^\circ$ 일 때 최대 토크와 최대 속도로 회전한다. 이때 진행과

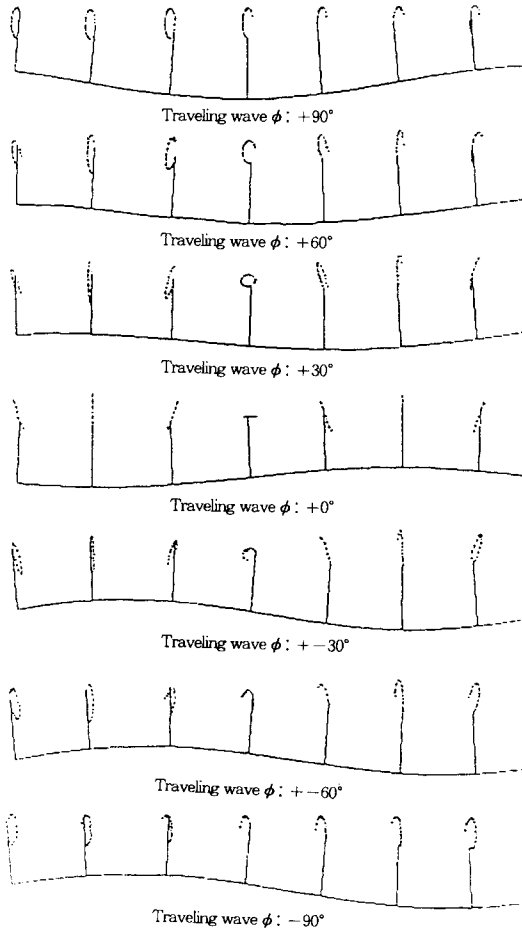


그림 5. 위상차에 따른 타원 궤적
Fig. 5. Oval trajectory with phase difference

방향과는 반대 방향으로 모터가 정·역회전하게 되고, 위상차가 작아짐에 따라서 토크와 회전속도가 점차 떨어져 위상차 0° 에서 정지하게 됨을 예측할 수 있었다.

이를 확인하기 위해서 위상차에 따른 축방향(종방향)변위에 비례한 회전 토크와 단위 시간당 원주방향(횡방향)변위에 비례한 회전속도의 위상차에 대한 특성을 시뮬레이션한 결과, 그림 6과 같은 결과를 얻었다.

그림 6에서 무부하시 위상차가 0인 부근에서 토크는 정확히 0에 접근하지만 속도는 다소 차이를 보이고 있다. 실제로 회전 실험에서는 위상차가 없을 때에 비선형의 마찰력이 강하여 회전속도가 0에 이를 것으로 예측된다.

3. 위상차 제어 시스템

이상의 이론적 고찰에 근거해서 초음파 모터 위상차 제어기를 설계·제작하였다. 위상차 제어기는 초음파 모터 2상 입력 전원의 위상차 ϕ 를 조절하기 위한 컨트롤러로 크게 디지털 회로부와 아날로그 회로부로 나누었다. 디지털 회로부는 발진 회로, 로드 신호 발생회로, pLSI 회로로 구성하고, 아날로그 회로부는 전압 변환 회로, 전류제한 회로로 구성하였다. 그림 7은 위상차 제어기 시스템 구성도이다.

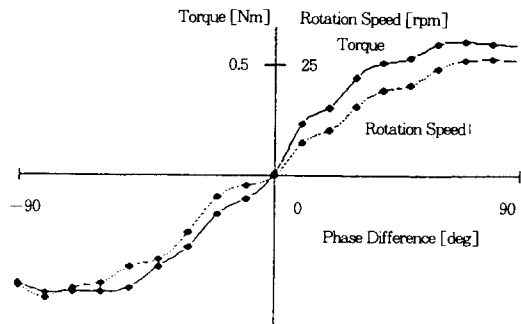


그림 6. 위상차에 따른 회전속도와 토크 특성
Fig. 6. Speed and torque characteristics with phase difference (Simulation)

4. 실험 및 고찰

4.1 위상차 제어기의 각부의 파형

그림 8은 위상차 제어기의 펄스 트랜스 입력 구형파와 100Vpp로 증폭된 후의 전압 파형을 위상차에 따라서 4채널 오실로스코프로 측정한 결과이다.

4.2 위상차에 따른 속도 측정

초음파 모터의 출력축을 무부하상태에서 A, B상의 위상차에 따른 회전속도를 측정하였다. 초음파 모터의 입력 주파수는 최적 구동주파수로 설정하였다. 최적 구동주파수는 A, B상의 위상차를 일정하게 고정시키고 나서 회전속도가 최대일 때의 구동 주파수이다. 본 실험에서는 위상차를 90°로 고정하고 속도가 최대가 될 때 최적 구동주파수를 설정하였다.

그림 9는 위상차-속도 측정 시스템 구성도이다. 속도센서로서는 1회전당 1000펄스 분해능의 광전식로터리 엔코더를 사용하였다. 초음파 모터

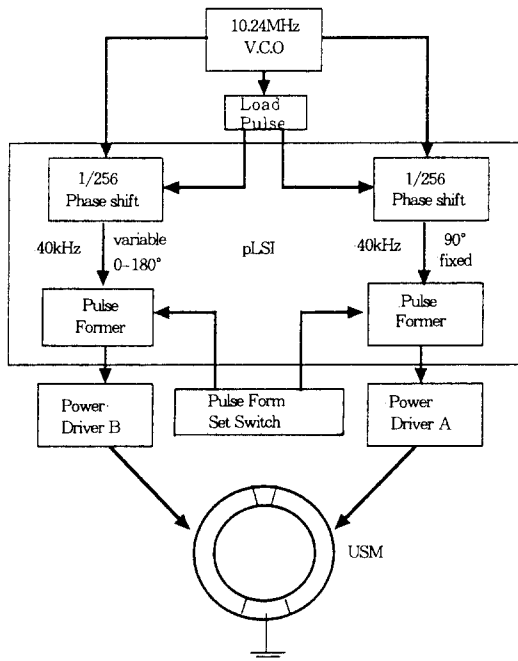


그림 7. 위상차 제어 시스템의 구성
Fig. 7. Configuration of phase difference controller

의 속도변화는 앞 절에서 설계한 위상차 컨트롤러를 이용하여 PC의 프로그램상에서 위상데이터를 입력받아 위상차 ϕ 를 -90° 에서 0° 를 거쳐 다시 $+90^\circ$ 까지 1.40625° 간격으로 조절하면서 속도를 변화시켰다. 로터리 엔코더에서 출력된 속도 데이터는 엔코더 분해능을 4배 채배키는 엔코더 어댑터를 거쳐서 4채널 16비트 업-다운 (UP-DOWN)카운터에 전달된다. 이 때 엔코더는 다른 각도 센서인 전위차계 (potentiometer)와 타코미터 (tachometer)와는 달리 디지털 데이터가 출력되므로 A/D 컨버터를 거치지 않아도 된다는 이점을 지니고 있다. 속도 데이터는 카운터를 거쳐 산출된 후 컴퓨터에 기록된다.

그림 10은 위상차-속도 측정 시스템을 통해 실측된 위상차와 속도 그래프이다.

초음파 모터의 속도는 위상차 ϕ 가 -90° 일 때 역방향으로 최대가 되고 위상차 ϕ 가 0° 일 때 초음파 모터는 정지하였다. 그리고 위상차 ϕ 가 $+90^\circ$ 일 때 정방향으로 최대가 되었다. 따라서 위상차 조절에 의해서 정역 회전은 물론이고 속도를 거의 선형적으로 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

4.3 위상차에 따른 토크 측정

그림 11은 위상차-토크 측정 시스템 구성도이다. 위상-토크 측정은 토크 용량이 2[Nm]인 토크 듀서를 사용하였다. 우선 토크 듀서의 한 축을 고정시키고 나머지 한 축은 고정된 초음파 모터에 접속한다. 초음파 모터 구동축

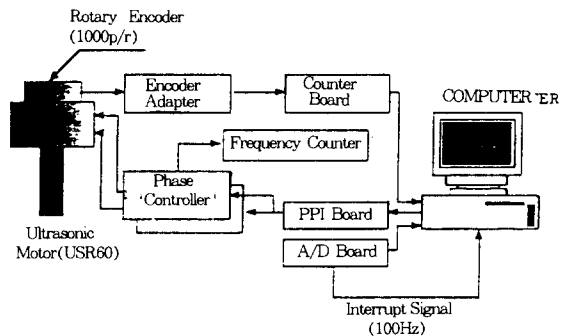
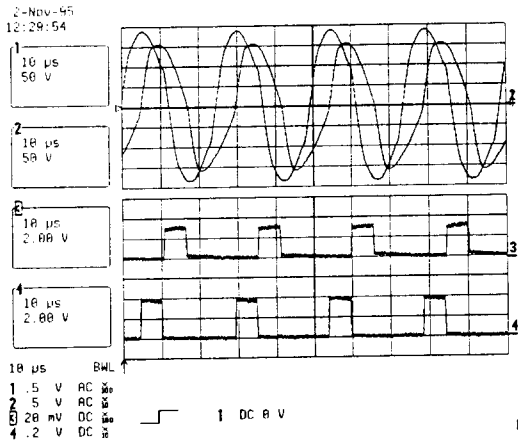
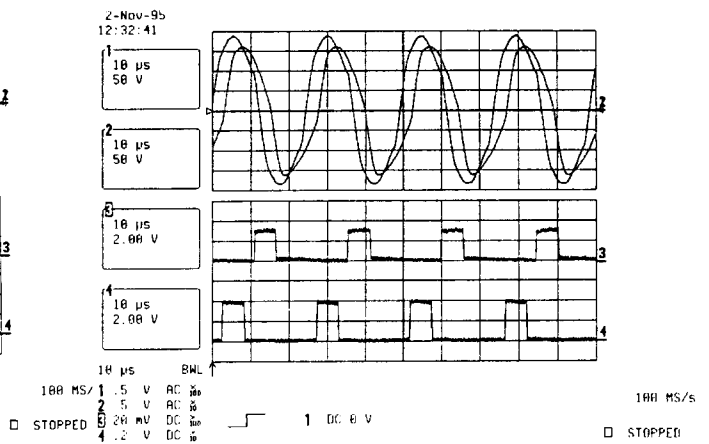


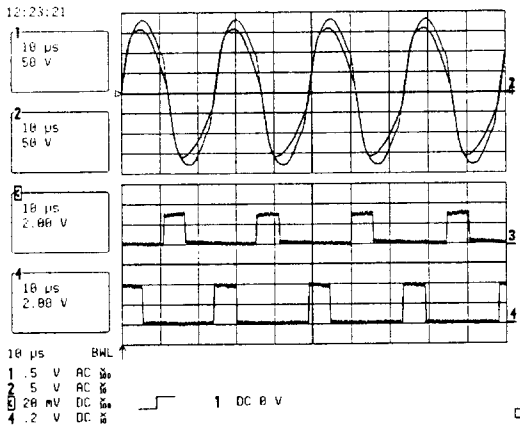
그림 9. 위상-속도 측정 시스템
Fig. 9. Instrumentation system of phase-speed



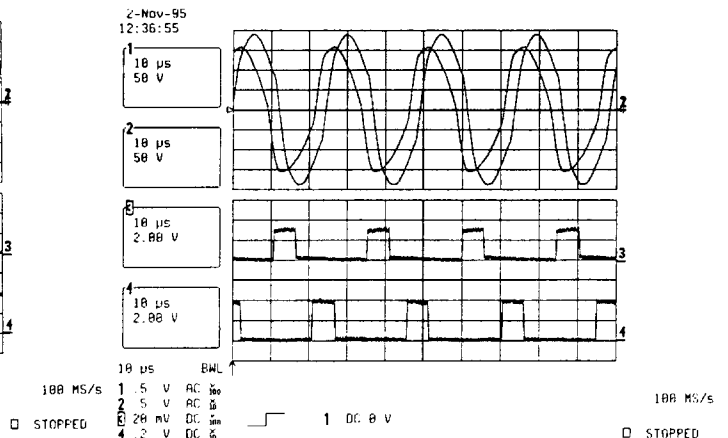
$\phi = -90^\circ$
그림 8-(a)



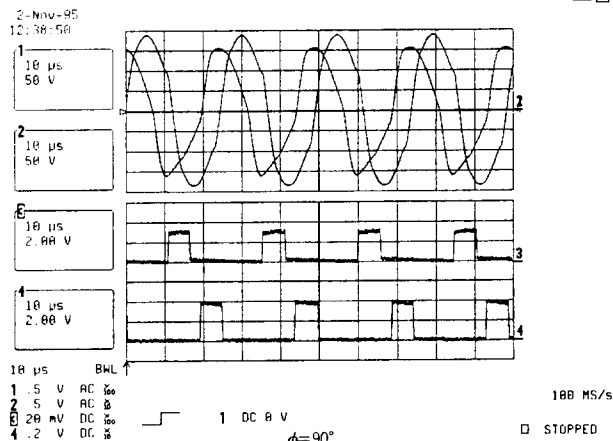
$\phi = -45^\circ$
그림 8-(b)



$\phi = 0^\circ$
그림 8-(c)



$\phi = 45^\circ$
그림 8-(d)



$\phi = 90^\circ$
그림 8-(e)

그림 8. 위상차에 따른 전압 파형과 구형파
Fig. 8. Output voltage waveforms and square wave with phase difference

은 속도 측정시와 같이 초음파 모터, 위상차 컨트롤러, PPI 보드, 컴퓨터 순으로 접속하고 토크 측정측은 토크 듀서, 토크 듀서 앰프, A/D 보드, 컴퓨터 순으로 접속한다. 속도 측정시의 로터리 엔코더와 다르게 토크 듀서 출력이 아날로그 데이터므로 A/D보드를 사용 디지털 값으로 변환하였다. 측정시 우선 초음파 모터의 구동 주파수를 최적 구동 주파수로 조정하고 나서 PC에서 임의의 위상차 데이터를 위상제어 컨트롤러에 보내 초음파 모터에 토크가 발생하게 한 후 측정하였다.

그림 12는 위상차-토크 특성 곡선이다. 초음파모터의 토크도 속도 측정시와 같이 위상차 ϕ 가 -90° 일 때 역방향 토크가 최대가 되고 위상차 ϕ 가 0° 일 때 최소로 정지상태에 이른다. 그리고 위상차 ϕ 가 $+90^\circ$ 일 때 정방향의 토크

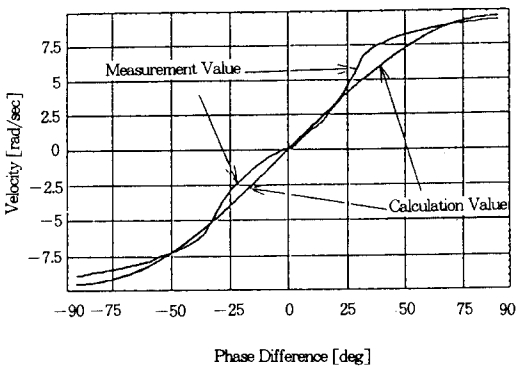


그림 10. 위상-속도 곡선
Fig. 10. Phase-speed curve

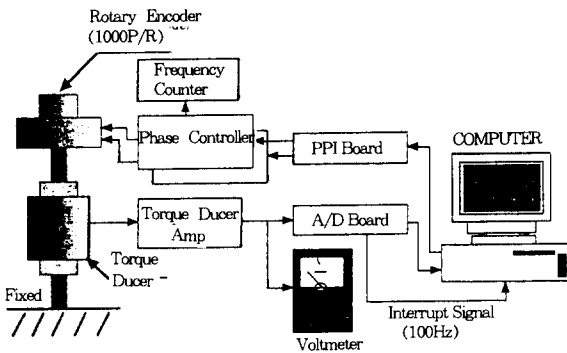


그림 11. 위상 토크 측정 시스템
Fig. 11. Instrumentation system of phase-torque

가 최대가 되었다. 따라서 위상차 조절에 의해서 토크도 거의 선형적으로 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

4.4 고찰

초음파 모터의 2상 정현파 전압의 위상차를 조절해서 진행과 발생의 원리를 시뮬레이션을 통해 확인함과 동시에 위상차를 변수로 하는 속도 및 토크 특성을 검토하였다. 실제로 이를 뒷받침하기 위해서 자체 제작 설비가 위상차 제어기로 2상 입력전원의 위상차를 -90° 에서 0° 를 거쳐 $+90^\circ$ 까지 연속적으로 변화시키면서 초음파 모터의 회전속도와 토크를 측정하였다. 초음파 모터의 속도는 위상차 ϕ 가 -90° 일 때 역방향으로 최대가 되고 위상차 ϕ 가 0° 에 가까워짐에 따라 속도가 서서히 줄어들다가 0° 일 때 정지하였다. 위상차 ϕ 를 $+90^\circ$ 로 증가시키면 회전방향은 반대로 바뀌어 정회전하며 90° 일 때 최대가 된다. 위상차에 대해서 토크도 속도와 거의 비슷한 특성을 나타냈다. 위상차 ϕ 가 -90° 일 때 역방향 토크가 최대로 되었고, 0° 일 때 최소가 되었으며, $+90^\circ$ 일 때 정방향으로 최대가 되었다. 그림 6은 위상차에 변화에 대한 속도와 토크 특성을 시뮬레이션에 의한 결과를 나타내는 특성 곡선이고, 그림 10과 그림 12는 실측을 통해 구한 각각 위상차에 따른 속도와 토크 곡선이다. 따라서 시뮬레이션에 구한 결과가 타당함을 알 수 있다.

속도와 토크가 초음파 모터의 A, B상의 위

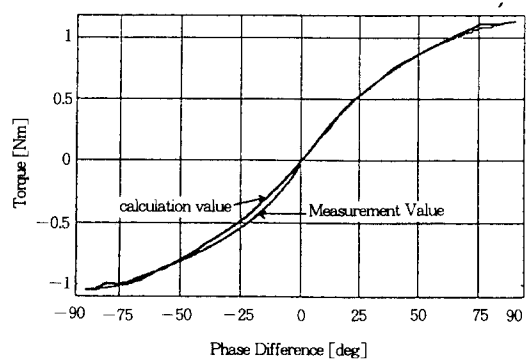


그림 12. 위상-토크 곡선
Fig. 12. Phase-torque curve

상차에 따라 거의 비례해서 변화하였다. 따라서 위상차 조절에 의해 거의 선형적으로 속도와 토크를 동시에 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

지금까지 산업용 제어 설비에서 위치제어와 토크제어를 동시에 행하는 것은 매우 어려운 문제였다. 또 자유공간과 구속된 상태에 따라 위치제어와 힘제어를 바꿀 수 있는 하이브리드제어도 접촉 불안정 문제와 역기구학적 해석에 따른 계산의 복잡성이 큰 과제가 된다. 하지만 최근 산업계 전반에 걸쳐 각광을 받고 있는 초음파 모터를 사용하여 위상차 제어를 행하면 이 문제는 쉽게 해결될 수 있다.

본 논문에서는 pLSI기법을 이용한 위상차 제어를 설계·제작하여 실제 실험을 통하여 위상차 변화에 따른 토크와 속도 특성을 실측하였다. 시뮬레이션과 실험 결과 위상차에 따라서 속도와 토크가 거의 선형적으로 변화하였다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같이 속도와 토크가 위상차에 따라 거의 비례해서 변하기 때문에 초음파 모터의 A, B상의 위상차 조절에 의해서 토크와 속도를 동시에 제어할 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 토크 센서 없이 각도 센서만으로도 위치 제어는 물론 토크 제어가 가능함을 밝혔다. 바꾸어 말하면, 로터리 엔코더를 사용해서 초음파 모터축의 각도와 각속도만을 계측하여 위상차 제어를 실현하면 모터 축이 기계적 탄성과 접

성 즉, 컴플라이언스 특성이 모터축에서 능동적으로 발생될 수 있다.

본 연구에서 밝힌 초음파 모터의 위상차 기법을 이용하여 향후 자동화 설비용 소형 제어 기구들이 휴먼 인터페이스에 더욱 접근할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 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) 奥村一郎, "カメラレンズ-我が社が開発した超音波應用", エレクトロニクスセラミクス電壓センサ・アクチュエータ特輯 Vol.22, No.111, pp47~49, 1991.
- 4) 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月号, pp.51~56, 1991.
- 5) 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.
- 6) 林基祚, 姜文盛, "超音波 모터의 應用", 電氣學術誌, Vol. 43, No 7, pp 32~38, 1994.
- 7) 秋山勇治, "屈曲波振動型超音波 모-타의各種速度制御方式の檢討", 電氣學會研究會資料 RM-89-11, pp.25~33, 1989.
- 8) 金子眞, 西原敏晴, 辻敏夫, "マイクロ超音波モータの2自由度PWM制御", 日本機械學會, No.940~21, ロボティクス・メカトロニクス講演會 講演論文集, pp.949~953, 1994.
- 9) 千住智信, 平良淳, 上里勝實, 大熊, "速度制御を用いた超音波モータ速度制御", 電氣學會産業應用部門全國大會, pp.77~82, 1993.

◇ 著者紹介 ◇



김 영 동(金永洞)

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



오 금 곤(吳金坤)

1946년 1월 17日生. 1968년 조선대 학교 공대 전기공학과 졸. 1984년 동신대 대학원 전자공학과 졸(석사). 현재 조선대학교 공대 전기공학과 부교수.