

임피던스 위상각제어를 적용한 초음파모터의 구동을 위한 새로운 제어방식에 대한 연구

論 文

49B-6-10

A Study on the Novel Control Method to Drive the Traveling Wave Type Ultrasonic Motor adapting the Impedance Angle Control

李 乙 宰* · 金 榮 石**

(Eul-Jae Lee · Young-Seok Kim)

Abstract - In this paper, we proposed a novel control method which uses the internal impedance angles as a control parameter to drive traveling wave type ultrasonic motor. An impedance characteristic of the ultrasonic motor is obtained by analysis of the equivalent circuits including the external inductor used to generate the coupled resonance. The phase angle of internal impedance to achieve optimal control performance is derived. For the tracking of impedance angle, an information of phase difference is obtained from the applied voltage and current. The high speed phase difference detector is designed to monitor the phases of ultrasonic motor. The effectiveness of the proposed control scheme is clarified by experiments.

Key Words : Ultrasonic motor, Impedance angle, Phase difference

1. 서 론

초음파 모터는 기존의 전자기식 모터와는 달리 자기회로 즉, 철심과 코일이 없는 새로운 형태의 소형모터로 압전 세라믹소자(piezo-ceramics)의 진동에 의해 발생하는 초음파 영역의 기계적 진동을 이용하여 고정자와 회전자 사이의 마찰에 의해 회전을 한다. 이에 따라 기존의 모터와 비교할 때 저속-고 토크, 구조의 단순성, 형태의 다양성, 자기장의 영향에 무관함 등과 초음파 영역의 진동을 이용하기 때문에 소음이 적은 장점을 갖는다[1-2]. 특히 모터가 동작하지 않는 경우에도 매우 큰 정지토크(holding torque)를 갖고 있으며 기동시나 정지시에 빠른 응답특성을 가지고 있으므로 액추에이터(actuator)등에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4-7].

초음파모터의 제어를 위해서는 동작주파수, 상간의 위상차 및 제어전압이 주요 파라미터로 사용된다. 그렇지만 각 파라미터들은 상호 제한적이어서 한 개의 파라미터로만 모터를 제어하는 경우 제어가 원활히 이루어지지 않는다. 예를 들어 동작주파수에 의한 모터의 제어방식은 제어주파수 범위가 한정적이며 기동시 낮은 주파수영역에서는 모터가 회전하지 않는 특성이 있다. 위상차제어의 경우 최대 위상차인 $\pi/2$ 로 운전을 해도 동작주파수가 높으면 회전속도가 낮을 뿐 아니라

위상차 0 부근에서 급격히 소모전류가 증가하며 기계적 소음이 발생한다. 또한 인가전압제어의 경우는 비교적 제어의 직선성이 좋은 편이지만 부하의 증가나 전압의 감소시 갑자기 모터가 정지되는 구간이 존재하는 등 제어에 어려움이 따르고 있다[3]. 이에 따라 동작주파수를 적절한 곳에 위치시킨 후 위상차제어에 의하여 모터를 제어하는 방식이 일반적으로 사용되어 왔으나 모터 내부의 임피던스가 고려되지 못하여 모터의 효율적인 운전이 이루어지지 못할 뿐만 아니라 제어의 성능 역시 크게 개선되지 못하고 있다.

본 논문에서는 공진을 위한 외부 인덕턴스를 등가회로에 포함시켜 모터축의 임피던스 특성을 해석하였으며 이를 바탕으로 초음파모터의 제어 파라미터로 내부 임피던스 위상각을 참조하는 새로운 제어방식을 제안하였다. 임피던스 추정을 위해서는 외부에서 가해지는 전압과 전류로부터 얻어지는 위상정보를 이용하였으며 모터의 높은 동작주파수에 대응할 수 있도록 고속 위상차 검출장치를 설계하였다. 또한 모터구동 시스템에서의 임피던스 위상각 제어방식의 타당성을 실험을 통하여 확인하였다.

2. 등가회로 모델에 의한 모터의 특성해석

2.1 외부 인덕터를 포함한 초음파 모터의 등가회로

진행파형 초음파 모터는 압전세라믹 소자에 가해지는 2상의 정현파 전압에 의해 발생하는 진동을 여기원으로 하여 회전자가 회전한다. 그림 1은 직렬 인덕터를 포함한 진행파형 초음파 모터의 한상에 대한 전기적인 등가회로를 나타낸 것이다. 모터의 각 파라미터에 대한 설명은 표 1과 같다. 여기

* 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程 修 了

** 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2000 年 3 月 8 日

最 終 完 了 : 2000 年 5 月 10 日

서 모터의 기계적 상수인 L_m, C_m 은 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$L_m = m/A^2 \quad (1)$$

$$C_m = A^2/K \quad (2)$$

초음파 모터는 식 (1)과 (2)의 기계적 요소에 의하여 공진을 하게 되며 공진주파수는 다음과 같이 표현된다.

$$f_m = 1/2\pi \cdot \sqrt{1/C_m L_m} = 1/2\pi \cdot \sqrt{K/m} \quad (3)$$

한편 초음파 모터의 구동장치로는 인버터를 사용하는 것이 일반적이다. 이를 위해 외부 인덕터 L_i 를 인버터와 모터 사이에 삽입하여 내부 압전세라믹의 블록킹 캐패시턴스 C_d 와 공진을 일으킴으로써 모터 입력단 전압이 정현파가 되도록 하고 있다. 이때 인버터에서 공급되는 제어주파수는 식 (4)로 나타낼 수 있으며 Δf 는 모터의 제어에 필요한 가변 주파수를 의미한다.

$$f_s = 1/2\pi \cdot \sqrt{1/C_d L_i} + \Delta f \quad (4)$$

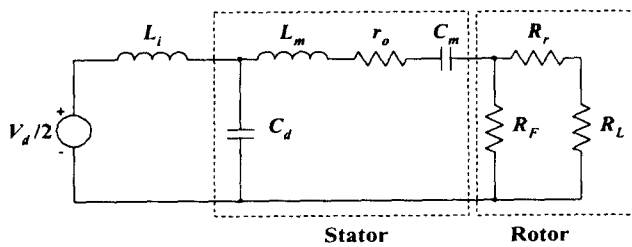


그림 1 직렬 인덕터를 포함한 초음파 모터 한상의 등가회로 모델
Fig. 1 Single-phase equivalent circuit model of ultrasonic motor including series inductor

2.2. 부하특성을 고려한 임피던스 위상각

그림 2에 초음파 모터의 동작 해석을 위한 간략화된 등가 회로를 나타내었다. 그림에서 V_i 는 인버터에서 발생하는 출력 전압, I_i 는 모터측으로 흐르는 입력 전류, L_i 는 모터의 기생 캐패시턴스 C_d 와 공진을 일으키기 위해 삽입된 외부 인덕터를 나타낸다. 한편 회전자와 고정자 사이의 기계적 손실과 마찰손 및 부하의 변화는 합성 임피던스 R_o 로 표현할 수 있으며 식 (5)로 주어진다.

$$R_o = r_o + \frac{R_F \cdot (R_r + R_L)}{R_F + (R_r + R_L)} \quad (5)$$

모터의 입력측에 발생하는 전압 V_{Cd} 는 삽입된 외부 인덕터와 기생 캐패시턴스의 공진에 의하여 정현파 형태로 나타난다. I_{Cd} 와 I_{Ro} 은 각각 C_d 와 모터의 회전력 발생 및 부하에 흐르는 전류이다. 그림 2의 등가회로로부터 다음의 식이 성립한다.

표 1 초음파 모터의 관련 파라미터

Table 1 Parameter description of ultrasonic motor

A	force factor
K	고정자 세라믹-금속간의 스프링 상수
m	고정자 세라믹-금속의 질량
C_d	압전세라믹의 dielectric 특성에 의한 블록킹 캐패시턴스
L_m	고정자 질량 효과에 의한 등가 인덕턴스
C_m	고정자 스프링 효과에 의한 등가 캐패시턴스
r_o	고정자 기계적 손실에 의한 등가 저항
R_F	고정자-회전자간의 마찰손에 의한 등가 저항
R_r	회전자 기계적 손실에 의한 등가 저항
R_L	등가 부하
L_i	외부 직렬 공진 인덕턴스
f_m	모터의 기계적 공진주파수
f_s	인버터 출력주파수
V_d	인버터 DC link 전압

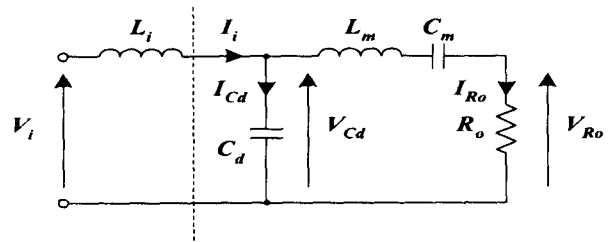


그림 2 공진인덕터를 포함한 간략화된 초음파 모터의 등가회로
Fig. 2 Simplified equivalent circuit model of ultrasonic motor including resonant inductor

$$V_i = V_{L_i} + V_{C_d} \quad (6)$$

$$V_{L_i} = \omega L_i \cdot I_i \quad (7)$$

$$V_{C_d} = \frac{1}{\omega C_d} \cdot I_i \quad (8)$$

$$I_i = I_{L_i} = I_{C_d} + I_{R_o} \quad (9)$$

$$I_{R_o} = \frac{1}{R_o} V_{R_o} \quad (10)$$

직렬 인덕터 L_i 를 제외한 모터의 등가 임피던스를 Z_o 라 하면 식 (11)과 같이 표현된다.

$$Z_o = \frac{Z_m \cdot jX_c}{Z_m + jX_c} \quad (11)$$

여기서, Z_m 은 모터의 기계적 상수에 대한 등가 임피던스이다.

$$Z_m = R_o + jX_m \quad (12)$$

X_L, X_C, X_m 은 각각 L_i, C_d 및 L_m, C_m 의 리액턴스로 각각 다음 식으로 주어진다. 이때 ω_s 는 전원의 각주파수이다.

$$X_L = \omega_s L_i \tag{13}$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega_s C_d} \tag{14}$$

$$X_m = \omega_s L_m - \frac{1}{\omega_s C_m} \tag{15}$$

$X_o = X_m + X_c$ 이라 하고 식 (12)를 식 (11)에 대입하여 정리하면

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{(R_o + jX_m) \cdot jX_c}{R_o + j(X_m + X_c)} \\ &= \frac{(-X_m X_c + jR_o X_c)(R_o - jX_o)}{R_o^2 + X_o^2} \\ &= \frac{(R_o X_c (X_o - X_m)) + j(R_o^2 X_c + X_m X_c X_o)}{R_o^2 + X_o^2} \end{aligned} \tag{16}$$

가 된다. 따라서 직렬 인덕터 L_i 를 포함한 전원측에서 본 등가 임피던스 Z_T 는

$$\begin{aligned} Z_T &= Z_o + jX_L \\ &= \frac{R_o X_c (X_o - X_m)}{R_o^2 + X_o^2} + \\ &\quad \frac{j\{R_o^2 X_c (1 + X_m X_o) + (R_o^2 + X_o^2) \cdot X_L\}}{R_o^2 + X_o^2} \end{aligned} \tag{17}$$

가 되고 이때에 나타나는 임피던스 위상각 θ_z 는

$$\theta_z = \tan^{-1} \frac{R_o^2 X_c (1 + X_m X_o) + (R_o^2 + X_o^2) \cdot X_L}{(R_o X_c (X_o - X_m))} \tag{18}$$

로 표현할 수 있다.

모터의 각 정수들이 일정한 상태에서 인버터에서 공급되는 전압의 주파수 f_s 가 식 (3)으로 표시되는 모터의 기계적 공진 주파수 f_m 에 추종하고 있다고 가정하면 C_m 과 L_m 이 공진상태에 있게 되므로 C_m 과 L_m 의 합성 임피던스는 매우 작게 된다. 이 경우 모터의 기계적 상수에 대한 등가 임피던스 Z_m 은 저항성 부하인 R_o 성분이 대부분 나타나게 되므로 블로킹 캐패시턴스에 의한 임피던스 X_C 에 비하여 상대적으로 매우 큰 값을 갖게 된다. 따라서 식 (9)는 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$I_i = I_{Li} = I_i (\cos \theta_z + j \sin \theta_z) \tag{19}$$

$$I_{Ro} = I_i \cos \theta_z \tag{20}$$

$$I_{Cd} = I_i \sin \theta_z \tag{21}$$

이상의 과정을 그림 3에 벡터도로 나타내었다. 벡터도에서 입력전압 V_i 는 외부 인덕터에 인가되는 전압 V_{Li} 와 내부 기생 캐패시턴스에 인가되는 전압 V_{Cd} 의 합과 같다. 공급전압의 주파수 f_s 가 모터의 동작 주파수 영역 내에 있고 순시적으로 모터의 임피던스 위상각을 알 수 있다고 가정한다면 부하의 변화시 또는 기생 캐패시턴스 변동에 의한 공진주파수의 변화시에 입력전압의 공급 각주파수 ω_s 를 제어함으로써 입력전류의 위상이 임피던스 위상각을 추종토록 하여 부하에 효율적인 전력의 전달이 가능하다. 이를 벡터도에서 설명하면 다음과 같다. 모터의 입력에 ω_s 의 각주파수로 전압이 공급되고 있고 입력전류 I_i 가 임피던스 위상각 θ_z 를 추종하고 있을 때의 외부 인덕터와 기생 캐패시턴스에 인가되는 전압 벡터를 각각 V_{Li}, V_{Cd} 라 하면 입력전압의 기본과 성분은 두 벡터의 합인 V_i 로 나타낼 수 있으며 역률 1에 근접한다. 이때에 부하의 변화나 온도 상승으로 인한 내부 파라미터의 변화가 발생하여 임피던스 위상각이 θ_z' 으로 변경되면 V_{Cd} 는 V_{Cd}' 로, I_i 는 I_i' 로 각각 변경되게 된다. 또한 입력전압의 기본과 성분인 V_i 역시 V_i' 로 변동하므로 역률이 급격히 나빠지게 되어 모터의 회전속도가 저하되거나 심한 경우 정지하게 된다. 따라서 이 경우 그림 4의 벡터도에서처럼 ω_s 를 변경하여 임피던스 위상각에 의한 부하 역률을 개선시켜 주면 부하변동 등으로 인한 모터의 효율 저하를 방지할 수 있다.

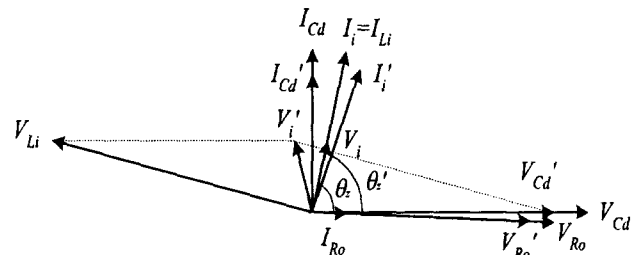


그림 3 공진 인덕터를 포함한 초음파 모터 한상의 벡터도
Fig. 3 Vector diagram of one phase of ultrasonic motor including with resonant inductor

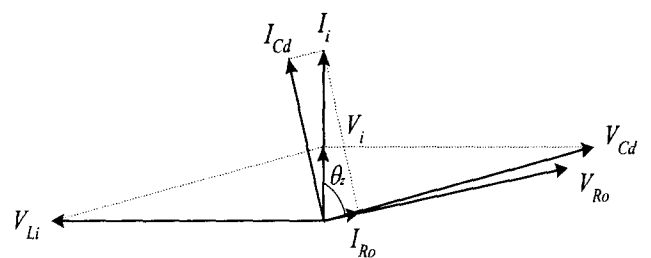


그림 4 임피던스 위상각 보정후 벡터도
Fig. 4 Vector diagram of after re-correction of impedance angle

그림 5는 부하 변화에 따른 모터의 내부 임피던스 위상각의 특성 변화를 시뮬레이션으로 나타낸 것이다. 그림에서 보면 각각의 부하 변동곡선이 특정 주파수에서 동일한 임피던스로 되어짐을 알 수 있다. 이것은 모터의 기계측 고유 공진 주파수에서 L_m, C_m 의 임피던스가 서로 상쇄되므로 순수한 저항성분만 남게 되었음을 의미하며 이때에 부하측으로 가장 효율적인 전력의 전달이 이루어진다.

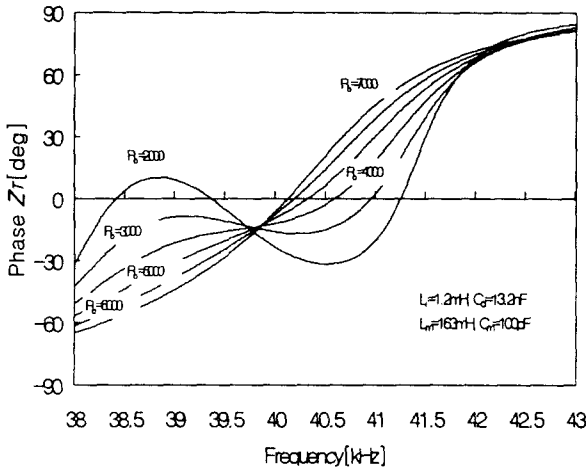


그림 5 부하 변화에 따른 모터의 내부 임피던스 위상각 변화 (시뮬레이션)
 Fig. 5 Characteristics of internal impedance variation of USM on the varying load condition (simulation)

3. 부하 임피던스 위상각 추종 시스템

그림 6은 초음파모터의 임피던스 위상각을 추종하여 모터에 효율적인 전력이 전달되도록 하기 위한 임피던스 위상각 자동 추종 장치를 나타낸 것이다. 임피던스 위상각 θ_2 는 식 (21)에 나타낸 바와 같이 커패시턴스 C_d 에 흐르는 전류 I_{Cd} 와 입력전류 I_i 의 위상으로부터 구할 수 있으며 I_{Cd} 의 위상은 V_{Cd} 의 위상보다 $\pi/2$ 만큼 앞선 값이 된다.

그림에서 제어기의 기준값 $y_r(k)$ 는 모터의 임피던스 위상각을 의미하며 $e(k)$ 는 위상 오차이다. $u(k)$ 는 PI 제어기의 제어 입력으로 다음과 같다.

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + T_s \cdot K_i \sum_{j=0}^k e(j) \quad (22)$$

여기서 K_p 와 K_i 는 각각 PI 제어기의 비례상수 및 적분상수이고 T_s 는 제어기의 샘플링 시간을 나타낸다. $f(k)$ 는 PI 제어기의 제어입력 $u(k)$ 에 육섯 주파수를 더한 값으로 이때에 육섯 주파수는 41kHz이다. $f_s(k)$ 는 인버터에 출력되는 제어주파수이며 모터의 운전주파수 영역내로 주파수 범위가 제한된다.

초음파모터에 입력되는 한 상의 전압 V_A 와 전류 I_A 로부터 위상각을 검출하기 위하여 위상차 검출장치가 사용되었으며 그림 7에 구성도를 나타내었다. 위상각 검출장치의 출력

$t_d(k)$ 는 모터의 전류와 전압에 대한 상대 시간값이므로 이를 위상값으로 변경하기 위해서는 제어기의 주파수정보를 사용한다. 최종적인 출력 $y(k)$ 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$y(k) = \frac{2\pi \cdot f_s(k) \cdot t_d(k)}{f_{clk}} \quad (23)$$

여기서 f_{clk} 는 위상차 검출장치의 샘플링 주파수를 의미하며 33MHz의 클럭이 사용되었다.

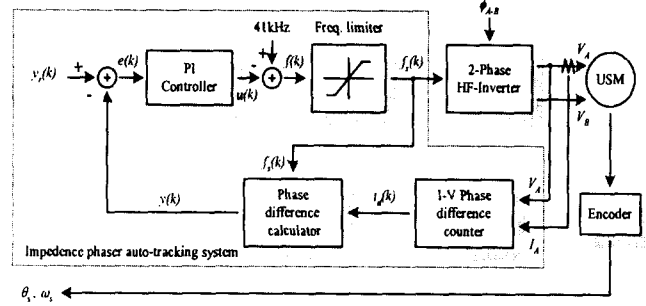


그림 6 임피던스 위상각 추종을 위한 제어기 블록도
 Fig. 6 Block diagram of impedance angle auto-tracking controller

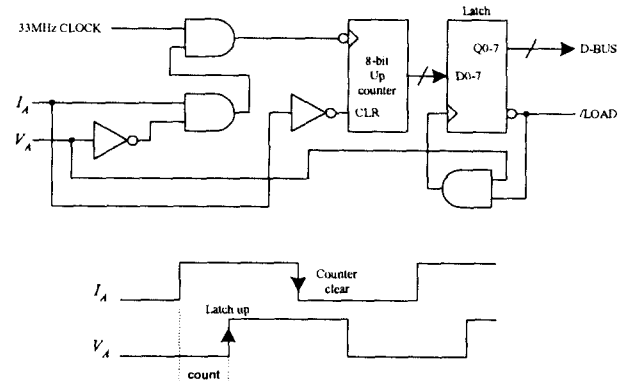


그림 7 전압-전류 위상차 검출장치
 Fig. 7 Phase difference detector for voltage and current

4. 임피던스 위상각 제어에 의한 모터의 운전특성 실험

4.1 초음파 모터의 전압-전류 특성

임피던스 위상각 제어에 의한 모터의 운전특성을 파악하기 위하여 실험을 실시하였다. 그림 8은 초음파모터의 운전시에 나타나는 전압과 전류의 파형을 나타낸 것이다. 초음파모터는 고유특성상 최초 전압 인가시에는 약 42kHz 정도의 높은 주파수에서만 기동이 가능하며 공진주파수 부근의 낮은 주파수에서는 기동이 되지 않는다. 일단 높은 주파수에서 모터를 회전시키기 시작하면 점차적으로 낮은 주파수로 이동하는

것이 가능하며 이때에 모터의 입력전압과 전류가 증가함을 볼 수 있고 속도도 증가한다. 그림 8-(a)는 모터에 전압이 인가되었으나 기동주파수가 모터의 동작주파수보다 낮아서 모터가 회전하지 않는 경우의 전압-전류 파형이다. 그림에서 보면 전압과 전류의 위상은 거의 $\pi/2$ 가 되어 있으며 이것은 식 (20)에서 표현한 부하측 전류 I_{Ro} 가 거의 0임을 의미한다. 따라서 이때에 모터에 흐르는 전류는 모터의 회전에 기여하지 못하는 무효분 전류만 나타나며 유효분 전류를 공급하기 위해서는 모터의 임피던스각을 변경하여야만 된다. 그림 8-(b)는 모터가 회전하고 있을 때의 전압과 전류 파형이다. 정지시에 비하여 전압의 위상각이 앞선 것을 볼 수 있으며 전압, 전류의 크기가 증가하였다.

4.2. 임피던스 위상각 제어에 의한 모터의 속도특성

제안된 임피던스 위상각 제어방식의 성능을 조사하기 위하여 초음파모터의 부하-무부하시의 속도특성 및 전압, 전류의 위상각과 크기를 관측하였다. 부하로는 직류모터를 사용하여 초음파모터에 역토크가 가해지도록 하였으며 부하시에는 직류모터에 15W의 전력이 공급되도록 하였고 약 10초 간격으로 부하와 무부하가 스텝 형태로 반복되도록 하였다. 모터 입력상간의 위상차는 최대속도를 얻기 위하여 $\pi/2$ 로 고정하였다.

모터에 적용시킬 임피던스 위상각은 식 (18)을 사용하여 계산하였으며 공진주파수에서 부하의 변동을 고려하였을 때 82° 에서 85° 정도로 계산되었다. 그렇지만 실험에서는 모터의 공진주파수가 변동되는 것을 감안해야 하므로 임피던스 위상각을 75° 에서 90° 까지 다양하게 적용하였으며 그 결과 78° 에서 80° 를 적용하였을 때에 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.

그림 9는 일정주파수 제어시의 전압, 전류 및 속도특성을 나타낸 것이다. 그림 9-(a)는 모터에 41kHz의 일정주파수를 공급하였을 때의 파형으로 약 82[rpm]에서 기동을 시작하였으며 매번 부하가 인가되는 순간마다 약 15[rpm] 이상의 급격한 속도 저하가 관측되었다. 또한 동작시간 경과에 따라 모터의 속도는 점차 감소되었으며 1분이 경과한 후에는 평균 25[rpm]의 속도저하를 보였다. 그림 9-(b)는 전압과 전류의 위상차를 나타낸 것으로 기동시의 위상차는 약 78° 정도이었으나 부하시에는 약 4° 정도가 더 저하됨을 볼 수 있었으며 회전속도와 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 조금씩 저하되었고 1분이 경과한 후에는 약 72.5° 정도로 관측되었다. 모터에 가해진 전압과 전류는 그림 9-(c)에 보이는 바와 같이 부하가 인가되는 기간동안 동시에 상승하며 전압의 경우 무부하시에는 평균 67V이고 부하시에는 평균 92V로 관측되었으며 전류는 각각 19mA, 23mA로 관측되었다.

그림 10은 임피던스 위상각 제어를 적용한 경우의 부하-무부하 속도특성 및 전압, 전류의 위상각 및 크기를 나타낸 것이다. 제어에 적용된 임피던스 위상각은 78° 이며 부하의 조건은 앞서의 일정 주파수 제어시와 동일하다. 그림 10-(a)에서 보면 초기의 기동 주파수는 제어기의 윗셋 주파수인 41kHz에서 시작하였으나 위상각이 제어됨에 따라 약간 하강하였다. 기동속도는 약 80[rpm]으로 일정 주파수 제어시와 비슷하였으며 부하가 가해지는 순간 제어기의 출력주파수가 순시적으로 변경되어 일정주파수 제어방식과는 달리 속도의 저하가 발생하지 않았다. 부하시에는 제어기의 출력주파수가 무부하시보다 약 200~300Hz 정도가 낮아지며 전압과 전류의 위상차는 기준값을 잘 추종하고 있음을 볼 수 있다. 전압과 전류의 파형은 일정주파수 제어시와 마찬가지로 부하가 인가되는 동안 동시에 상승되며 각각의 크기는 일정주파수 제어시보다 약간 상승하였다. 한편 동작시간 경과에 따른 모터의 회전속도 저하는 일정주파수 제어시와 유사하게 나타나는데 이것은 모터의 고정자와 회전자간의 점성마찰 계수의 변화와 온도 상승으로 인한 캐패시턴스 C_d 의 변화 때문이다.

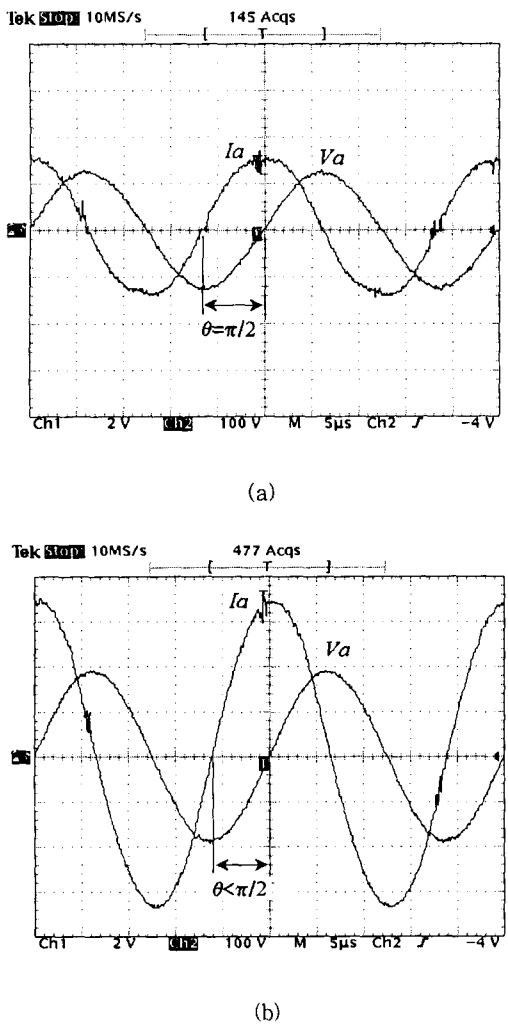
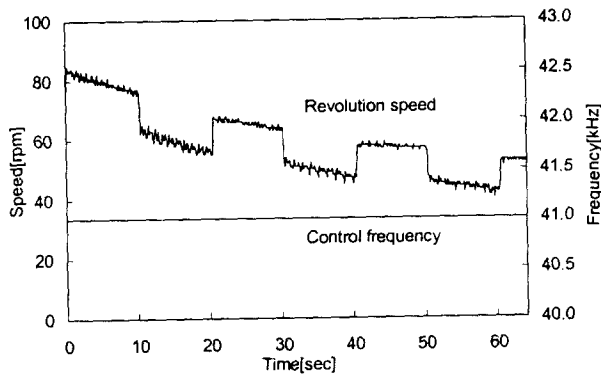
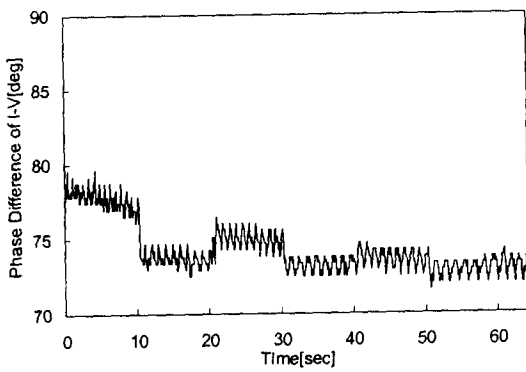


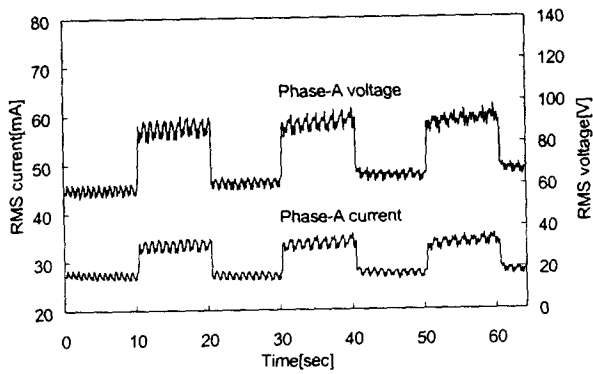
그림 8 초음파모터의 전압-전류 특성 ($f_s=40kHz$)
 (a) 정지시 (b) 회전시
 Fig. 8 Voltage-current characteristics of USM ($f_s=40kHz$) (a) stop state (b) revolving state



(a)



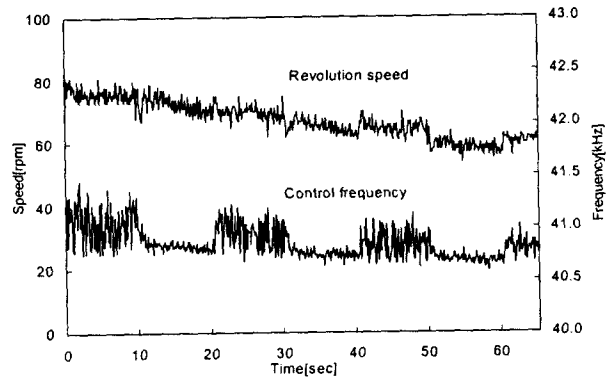
(b)



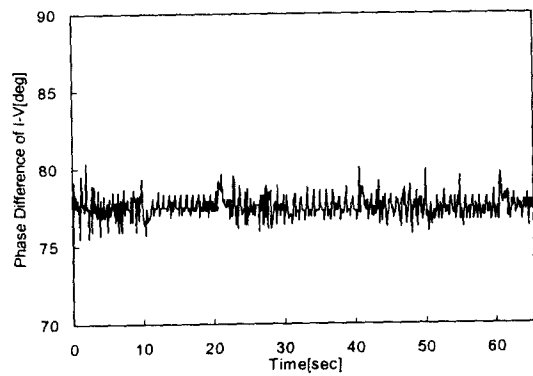
(c)

그림 9 일정주파수 제어시 부하-무부하 속도 특성
(a) 회전속도 및 제어주파수
(b) 전류-전압 위상차
(c) 전류-전압 특성

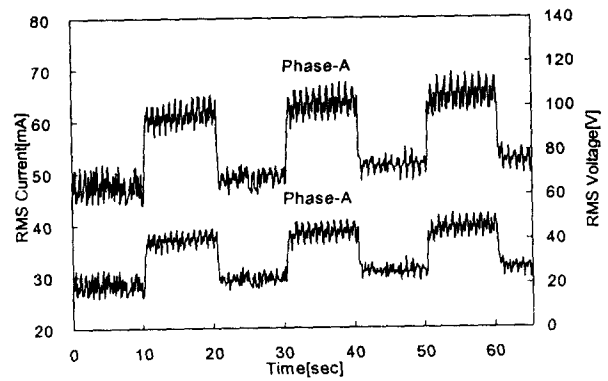
Fig. 9 Speed characteristics with constant frequency control for load, no-load condition
(a) revolution speed and control frequency
(b) phase difference for voltage & current
(c) characteristics of voltage & current



(a)



(b)



(c)

그림 10 임피던스 위상각제어시 부하-무부하 속도 특성
(a) 회전속도 및 제어주파수
(b) 전류-전압 위상차
(c) 전류-전압 특성

Fig. 10 Speed characteristics with impedance angle control for load, no-load condition
(a) revolution speed and control frequency
(b) phase difference for voltage & current
(c) characteristics of voltage & current

5. 결 론

본 논문에서는 내부 임피던스 위상각을 제어 파라미터로 사용하는 새로운 초음파모터 제어방식을 제안하였다. 이를 위해서 공진을 위한 외부 인덕턴스를 등가회로에 포함시켜 초음파 모터의 임피던스 특성을 해석하였다. 얻어진 해석결과를 바탕으로 모터의 부하특성에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 최적의 제어성능을 얻기 위한 내부 임피던스 위상각의 크기를 도출하였다. 이와 함께 외부에서 가해지는 전압 및 전류로부터 정확한 위상정보를 얻기 위하여 고속 위상차 검출장치를 설계하였다.

실험의 수행결과 일정주파수 제어방식에서는 부하 인가시에 속도의 변화가 심하게 발생한 것에 비하여 제안된 임피던스 위상각 제어방식에서는 내부의 임피던스 위상각을 자동적으로 추적함으로써 속도의 변화가 거의 발생되지 않았다. 평균 회전속도는 약 20[rpm] 정도 더 높게 동작하였으며 특히 모터의 기동에 있어서도 일정주파수 제어방식에서는 모터의 상태에 따라 낮은 주파수에서는 즉시 기동이 되지 않는 경우가 발생하였으나 제안된 제어에서는 위상각 추종의 과정에서 기동주파수를 모터의 동작주파수로 자동적으로 추적함으로써 기동에 실패하는 경우가 발생하지 않는 등 우수한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

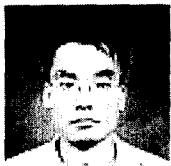
감사의 글

본 결과는 정보통신부 정보통신우수 시범학교 (대학원) 지원사업에 의하여 1999년 인하대학교 교내연구비 지원으로 수행하였음.

참 고 문 헌

- [1] T. Sashida, T. Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", Clarendon Press. Oxford. 1993
- [2] S.Ueha, Y.Tomikawa, "Ultrasonic Motors: theory and applications", Clarendon Press. Oxford. 1993
- [3] S. Furuya et al., "Load-Adaptive Frequency Tracking Control Implementation of Two-Phase Resonant Inverter for Ultrasonic Motor", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 7, No. 3, pp. 542-550, July 1992
- [4] Y. Izuno, et al., "High Performance and High Precision Ultrasonic Motor-Actuated Positioning Controller", Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1269-1274, 1994
- [5] Y. Izuno, et al., "New Servo Control Schemes of Ultrasonic Motor using Fuzzy Reasoning", Proc. of IEE Jpn. - Industry Appl. Soc, pp. 221-226, 1990
- [6] A. Kato et al., "Compliant Motion of Ultrasonic Motor by Phase Difference Control", Trans. Soc. Instrum. Control Eng., Vol. 27, No. 11, pp. 1290-1295, 1991
- [7] A. Kato et al., "Adjustable Compliant Motion of Ultrasonic Motor", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 5, No. 5, 1993

저 자 소 개



이 을 재 (李 乙 宰)

1963년 8월 1일생. 1989년 호서대 전자공학과 졸업. 1991년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 인하대 공대 전기공학과 박사과정수료. 1991년~1996년 (주)청계기전 기술연구소 연구실장. 현재 이경산전(주) 대표이사
Tel : 0345-493-6057, Fax : 0345-493-6365
H-P : 011-776-4318
E-mail : euljae@hitel.net



김 영 석 (金 榮 石)

1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987년~1989년 한국전기연구소 선임연구원 실장. 현재 인하대 공대 전기공학과 교수
Tel : 032-860-7397, Fax : 032-863-5822