

초음파 모터의 구동 특성

최정석*, 백수현*, 김 용*, 윤신용*, 최철용*, 김일남**
 동국대학교 전기공학과* 동서울대학 전기과**

The Driving Characteristics of Ultrasonic Motor

Jung-Seok Choi*, Soo-Hyun Baek*, Yong Kim*, Shin-Yong Yoon*, Chul-yong Choi*, Il-Nam Kim**
 Dongguk University* Dong Seoul College**

Abstract - In this paper, the driving characteristic for a ring type ultrasonic motor is described. For driving of ultrasonic motor, a two-phase parallel-resonant inverter was made. The driving circuit simulation results are compared with measured frequencis and amplitudes.

2.2 초음파 모터의 등가회로

초음파 모터를 구동하기 위한 2상 인버터의 전기적 부하는 초음파 진동을 일으키는 압전전류 원소와 회전자와 고정자로 구성된 기계적 진동 시스템에 기초를 둔다. 그림.2.2는 2상 초음파 모터의 구조를 나타낸다.

1. 서 론

초음파 모터는 기존의 전자기식 모터와 달리 자기회로 즉, 철심과 코일이 없는 새로운 형태의 소형모터로 압전 세라믹소자(piezoelectric-ceramics)의 진동에 의해 발생하는 초음파 영역의 기계적 진동을 이용하여 고정자와 회전자 사이의 마찰로 회전을 한다. 이에 따라 기존의 모터와 비교할 때 저속-고 토크, 구조의 단순성, 형태의 다양성, 자기장의 영향에 무관, 소음이 적은 등의 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.[3]. 본 논문에서는 제작된 링형 초음파 모터의 구동특성을 연구대상으로 하였다. 초음파 모터의 구동을 위해 20kHz이상의 고주파 전원이 필요하기 때문에 2상 병렬 공진형 인버터를 제작하여 속도에 따른 구동전압의 주파수 및 크기 등을 측정하여 구동회로 시뮬레이션 결과와 비교검토했었다.

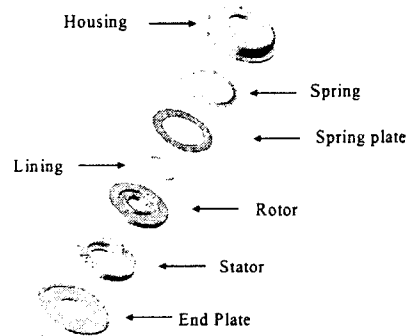


그림.2.2 초음파 모터의 구조

초음파 진동 변형체통의 전기기계적인 변환이론에 의해서(2.1)과 같은 지배 방정식을 얻는다.[2].

2. 본 론

2.1 초음파 모터의 구동원리

탄성체가 변형되면 왜형(strain)이 생기며 이 왜형은 탄성체 내부를 탄성 진동파로 전달한다. 이 파를 탄성파라 부르며 종파와 횡파로 구성되어 있다. 진행파형 초음파 모터에 사용되는 파는 Rayleigh파 및 굴곡파(bending wave)가 있다.

그림2.1은 진행파형 모터의 구동원리를 나타낸 것으로 탄성체 E 표면의 종파와 횡파가 합성된 탄성 진행파가 전달되면 표면상의 한 질점은 타원궤도를 그리며 진동한다.

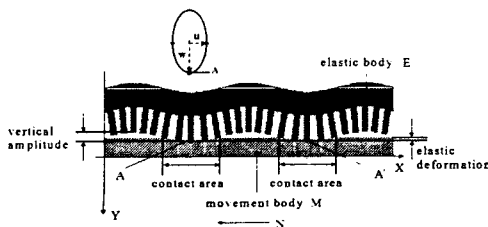


그림 2.1 초음파 모터의 구동원리

$$F = -AE + z_1 v$$

$$I = Y_d E + Av \tag{2.1}$$

여기서,

- E : 인가전압
- I : 전류
- v : 기계적 진동의 속도
- F : 구동력
- A : 힘 인자
- z₁ : 기계적 임피던스
- Y_d : 댐핑 어드미턴스

세 개의 등가 변수 m₁, r₁, s₁을 이용하여 기계적 임피던스 z₁은 식(2.2)와 같이 주어진다.[1].

$$z_1 = r_1 + j(\omega m_1 - \frac{s_1}{\omega}) \tag{2.2}$$

여기서,

- m₁ : 기계적 질량
- r₁ : 기계적 저항
- s₁ : 기계적 강도

초음파 모터의 어드미턴스 Y 는 $F=0$ 의 조건에서 식 (2.1)로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$Y = \frac{I}{E} = Y_d + \frac{A^2}{z}$$

$$= j\omega C_d + \frac{1}{\frac{r_1}{A^2} + j\omega \frac{m_1}{A^2} + \frac{s_1}{j\omega A^2}}$$

(2.3)

식(2.3)으로부터 유도된 전기적 등가회로는 그림 2.3과 같이 나타내어진다.

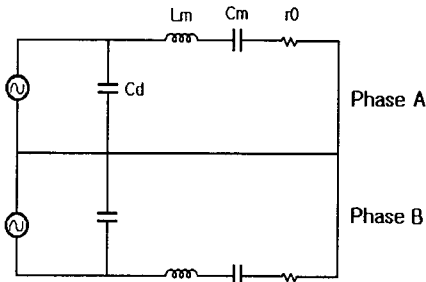


그림 2.3 초음파 모터의 등가회로

2.3 초음파 모터의 구동시스템

구동회로는 그림 2.4와 같다. 파워부와 센서 출력부 및 피드백 회로 등으로 구성된다. 파워부는 4상 스위칭 회로의 푸시풀 방식에 의해 전력을 증폭시키고 송압 변압기를 사용하여 모터와의 임피던스 정합을 이룬다. 센서 출력부는 센서 출력 단자의 신호를 검출하여 정류한 후 피드백 회로부로 보낸다. 피드백 회로부는 위상차를 검출하여 최적의 여진 주파수인 진동전압을 검출하여 회전수를 조절하게 된다. 초음파 모터의 공진주파수가 2상 인버터의 구동주파수에 가까울수록 정현파가 된다. 즉, 모터의 속도가 빠를수록 주파수는 낮어지고 전압의 파형은 정현파에 가까워진다. 주파수를 낮게 하면 회전수가 빨라지는데 이는 입력 임피던스가 작아지고 큰 전류가 흘러 압전진동자의 변위가 커지므로 회전자에 전해지는 힘이 커짐을 의미한다.

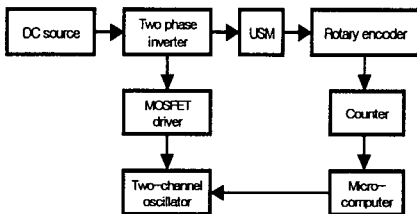


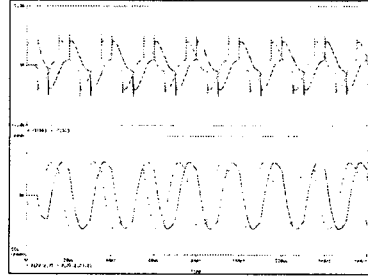
그림 2.4 초음파 모터의 구동시스템

여기서, 초음파 모터 구동을 위해 2상 병렬공진형 인버터를 사용하였다. 발진회로는 타이머 LM555를 사용하여 저항값을 변화시켜 주파수를 가변하였고, 4상 시프트 레지스터인 74HC194를 사용하여 A, A-, B, B-의 2상 게이트 펄스 신호를 만들었다. 출력단은 MOSFET IRF740 4개를 사용하여 송압 변압기에 연결하였다.

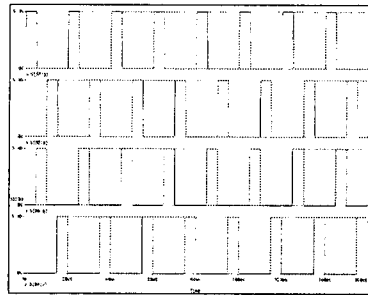
3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션

그림 3.1은 MOSFET의 게이트단의 입력전압과 인버터의 전류, 전압 출력파형이다.



(a) 인버터 전류, 전압 출력파형



(b) MOSFET 게이트 입력전압파형

그림 3.1 시뮬레이션 결과 파형

3.2 실험결과

표1은 실험에 사용한 초음파 모터의 사양이다.

표1. 초음파 모터의 사양

사 양	치 수
무부하 회전속도 N_{R0}	30[rpm]
최대 토크 T_{max}	0.1[Nm]
구동위치 반경 R	18[mm]
탄성체	
영률 E_b	21.5E10[N/m ²]
포아손 비 σ_b	0.33
밀도 ρ_b	7900[kg/m ³]
압전세라믹	
영률 E_b	10.7E10[N/m ²]
포아손 비 σ_b	0.313
압전 변형률 정수 d_{31}	-1.08[C/N]
밀도 ρ_b	7600[kg/m ³]
진동자 외경, 내경	50, 22[mm]
압전세라믹의 두께	0.5[mm]

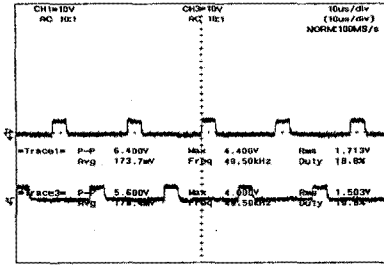
그림 3.2(a), (b)는 MOSFET 게이트단의 입력 펄스 파형이며, 이 입력 펄스에 의해 구동회로의 출력 전압 파형이 그림 3.2(c), (d)와 같이 발생한다. 그림 3.3은 160(rpm)에서의 A상과 B상을 비교한 실험파형이다.

4. 결 론

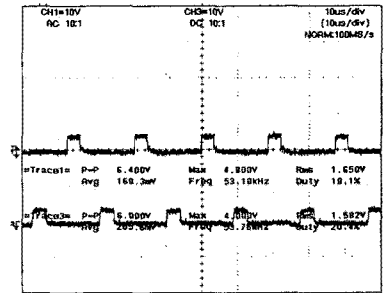
본 논문은 링형 초음파 모터의 구동특성을 연구대상으로 하였다. 초음파 모터의 구동을 위해 2상 병렬 공진형 인버터를 제작하여 시뮬레이션과 실험결과를 비교하였다. 실험결과 인가전압에 대해서 2상의 90° 위상차를 지니며 공진주파수 49.5(kHz)에서 300(rpm)의 정속 제어가 가능함을 알 수 있었다. 초음파 모터는 현재 국내에서 기술의 중요성은 인식되고 있으나 본격적인 연구 개발은 이루어지지 않은 실정이며, 초음파 모터의 역사가 10년 이내의 일천한 역사를 가지고 있다. 재료면과 해석방법, 설계방법 등이 아직 해결과제이지만 기존의 전동기에 비해 많은 장점들을 가지고 있으므로 향후 산업용 로봇의 관절, 손 및 서보제어장치 뿐만 아니라 사무기기, 주택편의 시설, 고장자동제어장치 등 산업 전반에 크게 기여할 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

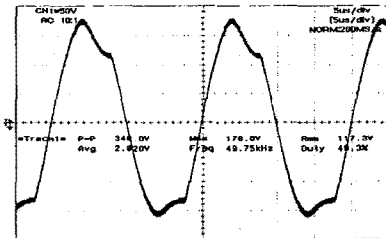
- [1] T. Sashida, T. Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", Clarendon Press, Oxford, 1993
- [2] S.Ueha, Y.Tomikawa, "Ultrasonic Motors: theory and applications", Clarendon Press, Oxford, 1993
- [3] Y. Izuno, et al., "High Performance and High Precision Ultrasonic Motor-Actuated Positioning Controller, 1994



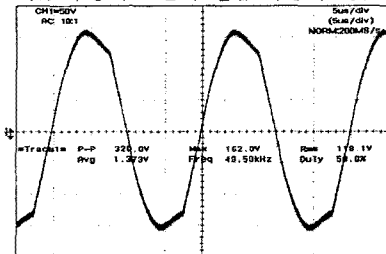
(a) MOSFET 게이트 입력전압 파형(A상, A-상)



(b) MOSFET 게이트 입력전압 파형(B상, B-상)



(c) 구동회로 출력 전압 파형 (A상)



(d) 구동회로 출력전압 파형 (B상)

그림 3.2 실험파형(300(rpm),49.5(kHz))

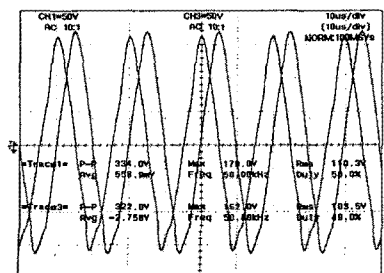


그림 3.3 A상과 B상의 출력전압 파형 비교 (160(rpm), 50.0(kHz))