

## 다점 지지 고출력 고정도 초음파 모터

이선규\*(광주과학기술원), 윤철호(한국생산기술연구원), 이현민(광주과학기술원), 차현록(한국생산기술연구원), 김완수(광주과학기술원), 강장성(한국생산기술연구원)

### A High power and Precision Ultrasonic Linear Motor with Multi-support Mechanism

C.H. Yun(KITECH), H.M. Lee(GIST), H.R. Cha(KITECH), W.S. Kim(GIST), J.S. Kang(KITECH), S.K. Lee(GIST)

#### ABSTRACT

Nowadays, great attention has been shown to the question of ultrasonic linear motor for accomplishing the high positioning accuracy and high driving force in the semiconductor and optical industry. Ultrasonic linear motors have many advantages such as simple structure, quick response, ability to maintain position without energy consumption, and electromagnetic effect. And BLT has attracted attention to accomplish large vibration amplitude and large mechanical force. Authors designed and developed the new type of ultra sonic linear motor with multi support mechanism, achieved 75N of output force and 0.45m/s of velocity.

**Key Words :** Ultra sonic linear motor, Bolt clamped Langevin-type transducer, Resonance frequency, PZT

#### 1. 서론

본논문의 저자는 층계 형태의 혼(horn)를 사용한 공진시스템으로 지지하는 고출력 초음파 선형 모터를 제안해왔다.<sup>1, 2</sup> 이 모터 시스템은 주목할만한 작동 안정성과 제어능력을 달성 하였지만 모터의 공진 주파수가 예압, 열등의 외부의 요인에 의해 변하게 될때, 모터는 공진 시스템에 의한 지지 메커니즘이 고정된 공진 주파수만을 가지게 되어 안정적인 구동을 이루기 어렵게 되었다.<sup>3</sup> 본 연구는 고강성 지지를 위해 한 진동자 안에서 세 지지점을 가지는 새로운 모터를 설계 하여 시스템의 위치제어 능력에 대해 조사 하였다.

#### 2. 모터의 구성과 작동 원리

그림 1.은 BLT(bolt clamped Langevin-type transducer)방식으로 구성된 종진동 횡진동 혼성의 트랜스듀서를 나타내고 있다. 안정성 문제와 지지부 문제를 해결 하기 위해 트랜스듀서는 이전 초음파 선형 모터에 비해 3 배가 길게 설계 되었다.<sup>1</sup> 결과적으로 진동자는 3 차 종진동 모드와 6 차 횡진동 모드 그리고 두 공진모드의 공유점인 3 점의 노드를 가지도록 개발 되었다.(그림 2) 진동자는 지름 20mm 길이 240mm 가 되었다. 종진동은 기계적 구동력을 발생시키고, 횡진동은 마찰력을 조절 한다. 고정자는 진동을 발생 시키기 위해 두가지 형태의 압전 소자(PZT)를 가지는데, 이는 알루미늄 블록 사이에서 볼트로 조여지게 된다. PZT 의 크기는 외경이 20mm 내경이 10mm 두께가 2mm 이다. 그리고 두개의 알루미늄 세라믹 팁(tip)이 트랜스듀서에 부착되어 마찰 구동부가

된다. 두가지 모드의 진동이 90 도의 위상차를 가지고 발생할 때 진동자의 팁에서 타원형태의 운동이 발생하게 된다. 진동자는 지지부 메커니즘에 의해 슬라이더 반대쪽에서 가압되며, 접촉점의 마찰력에 의해 한방향으로 슬라이더를 구동시킨다.

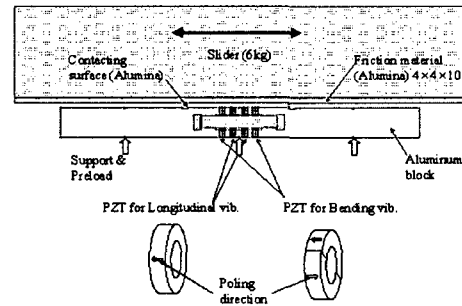


Fig.1 Basic configuration of the motor

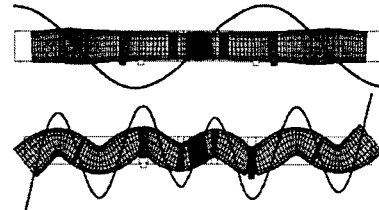


Fig.2 Vibration modes of the stator calculated by the FEM longitudinal and bending mode.

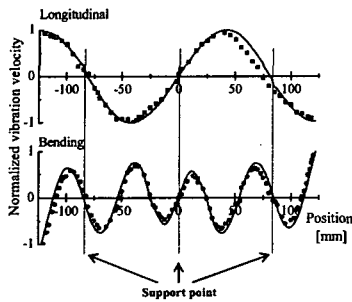


Fig. 3 Vibration distribution along the axis

### 3. 모터 특성

안정성 문제를 극복하기 위해 고강성 지지 시스템을 이용한 세점 지지 메커니즘을 제안했다. 즉, 진동자의 중앙 그리고 진동자의 노드가 되는 두 점을 새로운 지지부로 지지 하였다. 지지점은 역시 두 진동 모드의 공유점이 되었다. 진동은 레이저 진동계를 사용하여 측정되었고 결과를 그림 3 에 나타내었다. 설계된 바와 같이 세점은 두 진동 모드의 공유점이다. 모터의 하중 특성은 측정결과 그림 4 와 같았다. 구동주파수는 31.93 kHz 였으며, 이는 종진동과 횡진동의 공진주파수에 매우 근사한 값에 해당한다. 비하중 상태에서 종진동 구동 전압이 137V 예압 435N 일때 최고 속도는 0.45m/s 최대 출력 은 75N 이었다. 이 조건에서 최대 효율은 32%였다.

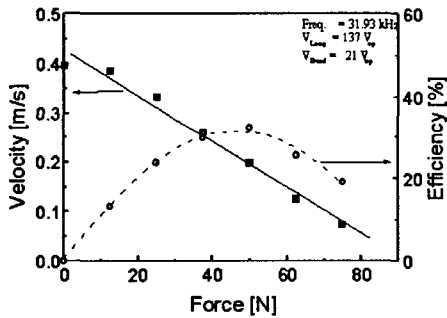


Fig.4 Load characteristic of the motor

### 4. PID 피드백 제어 시스템

제어 시스템은 50nm 의 분해능을 가지고 슬라이드 면의 위치를 검출하기 위해 광학 선형 엔코더를 사용했고, 엔코더에서 나오는 위치 정보 신호는 되먹임 하여 PID 제어기를 통해 Motion board (NI PCI7304)에 전송 된다. 전압 신호는 함수 발생기에 인가되며 함수발생기는 진폭 변조(AM)를 한 후 전압신호를 종진동과 횡진동 모드의 PZT 에 인가 하게 된다. 제안된 제어 시스템의 성능 평가를 위해 사이클 시험을 실행 하였다.

엔코더로부터 허용오차 안의 10 개의 안정적인 위치 데이터를 얻은후에, 방향을 바꾸어 스텝 운동을 하여 스테이지는 주어진 위치 정도를 가진채 반복 왕복 운동을 하게 된다. PID 피드백 제어를 통해 100nm 정도를 가진 위치 제어 결과를 그림 5 에 나타내었다. 슬라이더 질량은 6kg; 구동력은 10N; 속도는 200mm/s; 목표 위치는 리셋위치에서  $\pm 50\text{mm}$ 였다. 그 결과 속도 변동이 정상 상태에서 프로그램된 속도의 0.5%안에서 이루어 짐을 확인하였다.

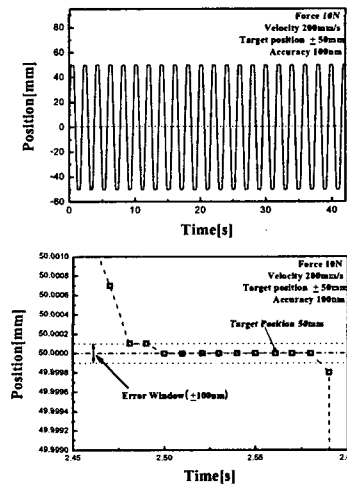


Fig.5 positioning accuracy of the motor

### 5. 결론

한 진동자에서 세 공유점을 가지는 초음파 선형 모터가 설계되고 연구되었다. 고강성을 띄는 세점 지지부는 모터를 확실히 지지 할수 있지만, 두 진동 모드에 영향을 미치지 않는다. 20mm의 지름을 가지는 모터를 이용하여 기계적 최대 출력은 75N 비하중 상태에서 0.45m/s 의 속도를 얻었다. 모터에 PID 피드백 제어 시스템을 적용시켜 6kg 의 스테이지를 100nm 의 정도를 가지고 200mm/s 로 위치 제어를 달성 할수 있었다.

### 참고문헌

1. Cheol-Ho Yun, Takaaki Ishii, Kentaro Nakamura, Sadayuki Ueha (2001) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40: 3773
2. Cheol-Ho Yun, Takaaki Ishii, Kentaro Nakamura, Sadayuki Ueha (2002) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41: 3261
3. Cheol-Ho Yun, Takaaki Ishii, Kentaro Nakamura, Sadayuki Ueha, Koji Akashi "IEEE Ultrasonics symposium, Atlanta, Georgia, USA.2001. pp.537-540