

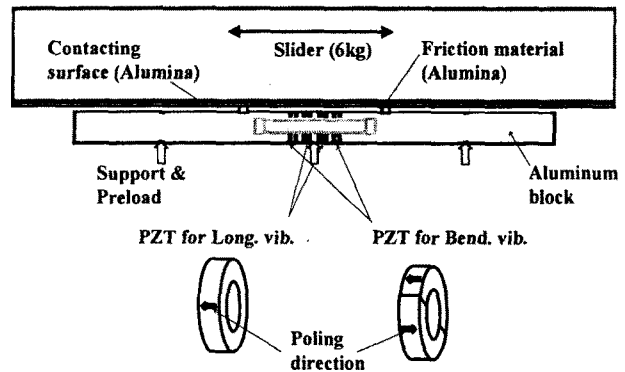
고출력 고정도 초음파 리니어 모터

윤철호, 김원수*, 정태욱, 차현록, 김정철, 이선규*
한국생산기술연구원, *광주과학기술원

A High Power and Precision Ultrasonic Linear Motor

C.H. Yun, W.S. Kim*, T.W. Jung, H.R. Cha, J. C. Kim, S.K. Lee*
KITECH, *GIST

Abstract - 최근 반도체산업과 광산업 분야에서 고정도의 위치제어 및 고출력 구동이 가능한 초음파 리니어 모터에 대한 관심이 증가되고 있다. 저자는 공진시스템으로 지지하는 고출력 초음파 리니어 모터를 제안해왔다. 이 모터 시스템은 주목할만한 동작 안정성과 제어능력을 달성 하였지만 모터의 공진 주파수가 예압, 열등의 외부의 요인에 의해 변하게 될 때, 모터는 공진 시스템에 의한 지지 메커니즘이 고정된 공진 주파수만을 가지게 되어 안정적인 구동을 이루기 어렵게 되었다. 본 연구는 고강성 지지를 위해 한 진동자에 세 지지점을 가지는 새로운 모터를 설계 하여 시스템의 위치제어 능력에 대해 조사 하였다. 고강성을 띄는 세점 지지부는 모터를 확실히 지지 할 수 있지만, 진동 모드에 영향을 미치지 않는다. 20 mm의 지름을 가지는 모터를 이용하여 기계적 최대 출력은 75N, 무부하 최대속도 0.45 m/s를 달성하였다. PID 피드백 제어 시스템을 적용시켜 6 kg의 스테이지를 100 nm의 정도를 가지고 200 mm/s로 위치제어를 달성하였다.



〈그림 1〉 초음파 모터의 기본 구성

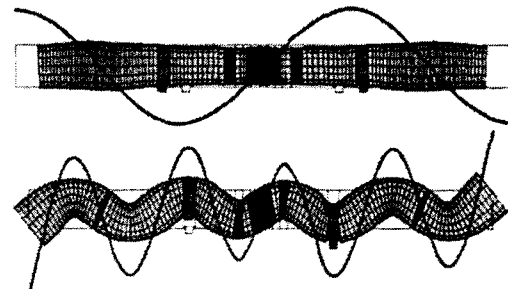
1. 서 론

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

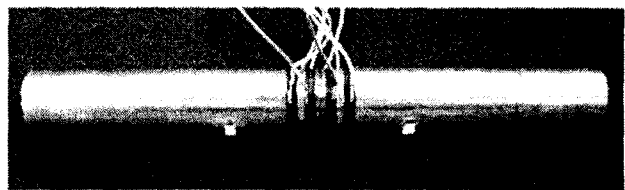
2. 본 론

2.1 모터의 구성과 작동 원리

그림1.은 BLT(bolt clamped Langevin-type transducer)방식의 종진동 횡진동 복합 트랜스듀서 타입의 초음파 리니어 모터를 나타내고 있다. 안정성 문제와 지지부 문제를 해결 하기 위해 트랜스듀서는 이전 초음파 리니어 모터에 비해 3배가 길게 설계 되었다.[1] 결과적으로 진동자는 3차 종진동 모드와 6차 횡진동 모드 그리고 두 진동모드의 공유점인 3점의 노드를 가지도록 설계 되었다.(그림 2) 진동자는 지름20mm 길이240mm가 되었다. 종진동은 기계적 구동력을 발생시키고, 횡진동은 마찰력을 조절 한다. 고정자는 진동을 발생 시키기 위해 두가지 형태의 압전 소자(PZT)를 가지는데, 이는 알루미늄 블럭 사이에서 볼트로 조여지게 된다. PZT의 크기는 외경이 20mm 내경이 10mm 두께가 2mm이다. 종진동 발생용 PZT는 전면 두께 방향으로 분극 처리되어있고, 횡진동 발생용 PZT는 두께 방향으로 분극이 되어 있으나 종진동 발생용 PZT와는 달리 중앙선을 중심으로 분극 방향이 반대로 이루어져 있다. 그리고 두개의 알루미늄 세라믹 팁(tip)이 트랜스듀서에 부착되어 마찰 구동부가 된다. 본연구에서 제안한 초음파 리니어 모터를 그림 3에 나타내었다. 두가지 모드의 진동이 90도의 위상차를 가지고 발생할 때 진동자의 마찰 구동부 팁에서 타원형태의 운동이 발생하게 된다. 진동자는 지지부 메커니즘에 의해 슬라이더 반대쪽에서 가압되며, 슬라이더 마찰부와 진동자 마찰구동부의 세라믹 팁이 접촉하고 접촉점의 마찰력에 의해 한방향으로 슬라이더를 구동시킨다. 또한, 두 진동을 -90도의 위상차를 갖도록 구동시키면 슬라이더는 반대방향으로 구동된다.



〈그림 2〉 FEM 계산에 의한 종진동, 횡진동 모드

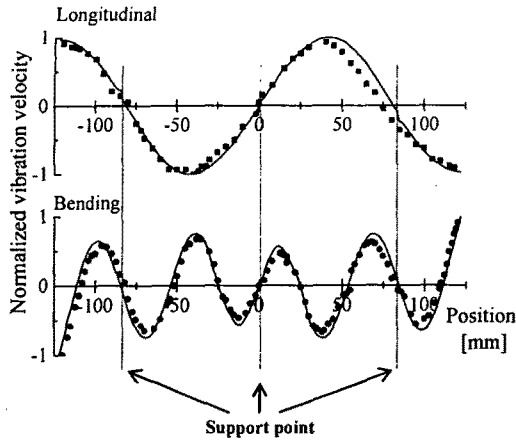


〈그림 3〉 본 연구에서 제안한 초음파 리니어 모터

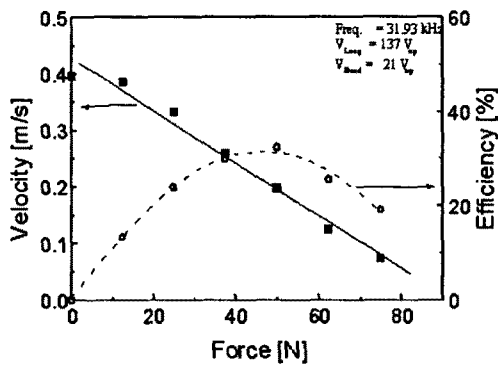
2.2 모터 특성

안정성 문제를 극복하기 위해 고강성 지지 시스템을 이용한 세점 지지 메커니즘을 제안했다. 즉, 진동자의 중앙 그리고 진동자의 노드가 되는 두점을 새로운 지지부로 지지 하였다. 지지점은 역시 두 진동 모드의 공유점이 되었다. 진동은 레이저 진동계를 사용하여 측정되었고 결과를 그림4에 나타내었다. 설계된 바와 같이 세점은 두 진동 모드의 공유점으로 두진동 모두 진동을 하지 않는 진동접점임을 알 수 있다. 종래의 초음파 리니어 모터에 비해 길이가 3배 정도

길어진 진동체 구조로 설계 함으로써 횡진동의 경우 6차의 진동모드를 채택하여 횡진동에 의한 마찰구동 팁의 마찰력 제어성분이 그림 2에서 볼 수 있듯이 이상적인 상하 진동만을 함을 알 수 있다. 따라서 종래의 모터에서 발생하였던 횡진동에 의한 불필요한 종진동 구동성분의 제거가 가능하여 양쪽 마찰구동 팁의 안정적인 타원 궤적을 얻을 수 있으며, 정밀 위치제어에도 유리할 것으로 사료된다. 모터의 부하 특성은 측정결과 그림 5와 같았다. 구동주파수는 31.93 kHz였으며, 이는 종진동과 횡진동의 공진주파수에 매우 근사한 값에 해당한다. 무부하 상태에서 종진동 구동 전압이 137V 전압 435N일때 최고 속도는 0.45m/s 최대 출력은 75N이었다. 최대 효율은 속도 0.26 m/s, 출력 50 N에서 32%를 달성하였다. 최대출력은 기본적으로 최대인가 전압에 비례하기 때문에 구동전압을 높임으로써 최대출력도 100 N 이상을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.



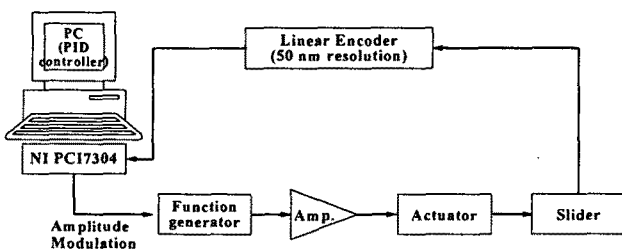
〈그림 4〉 진동 분포



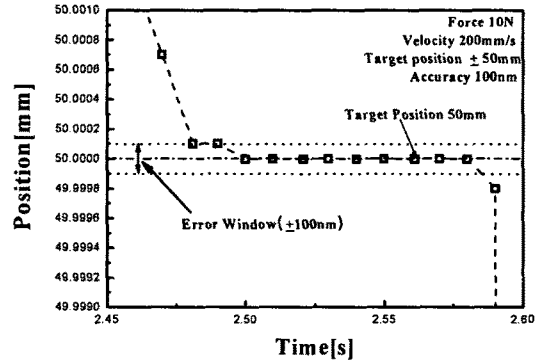
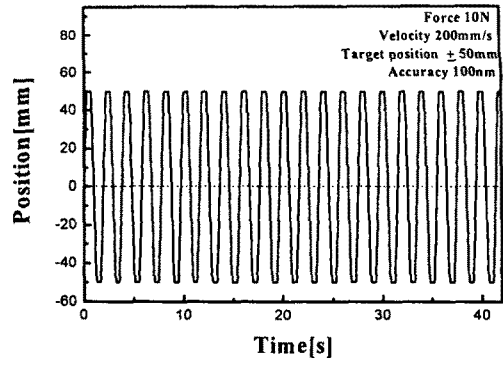
〈그림 5〉 모터의 속도-부하 특성

2.3 PID 피드백 제어 시스템

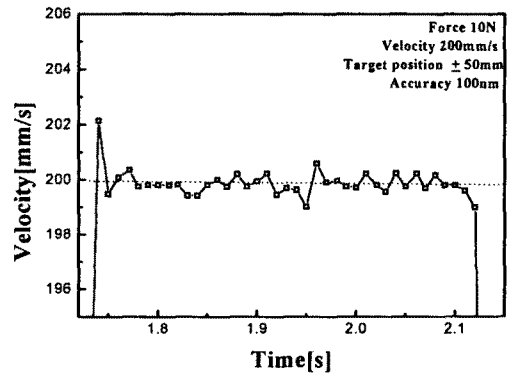
그림 6은 PID feedback 제어 시스템의 구성도이며, 고정성 지지기구가 적용된 초음파 리니어 모터 구동 시스템의 위치/속도 제어 특성을 측정하였다. 제어 시스템은 50 nm의 분해능을 가지고 슬라이드의 위치를 검출하기 위해 광학 리니어 엔코더를 사용했고, 엔코더에서 나오는 위치 정보 신호는 피드백 되어 PID제어기를 통해 Motion board (NI PCI7304)에 전송 된다. 초음파 모터에 인가되는 구동전압의 진폭은 함수 발생기에 인가된 제어신호가 진폭 변조(AM)되고, 전압 증폭기를 거쳐 적절한 진폭 및 위상을 갖는 전압신호를 종진동과 횡진동 모드의 PZT에 인가하게 된다. 제안된 제어 시스템의 성능 평가를 위해 사이클 시험을 실행 하였다. 엔코더로부터 허용오차 안의 10개의 안정적인 위치 데이터를 얻은 후, 방향을 바꾸어 스텝 운동을 하여 스테이지는 주어진 위치 정도를 가진 채 반복 왕복 운동을 하게 된다. PID피드백 제어를 통해 100 nm의 위치정도를 가진 위치 제어 결과를 그림 7에 나타내었다. 슬라이더 질량은 6 kg; 구동력은 10 N; 속도는 200 mm/s; 목표 위치는 리셋위치에서 ± 50 mm였다. 반복적으로 안정적인 위치제어가 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 그림 8에서 알 수 있듯이 정상상태에서의 속도 변동이 프로그램 된 지령치 속도의 0.5%안에서 안정적으로 속도제어가 이루어 짐을 확인하였다.



〈그림 6〉 PID feedback 제어 시스템 구성도



〈그림 7〉 PID feedback 위치 제어 특성



〈그림 8〉 PID feedback 속도 제어 특성

3. 결 론

본 연구에서는 하나의 진동자에서 복수의 고정성 지지점을 가지는 초음파 리니어 모터를 제안하였다. 이 시스템은 종래의 공진형 지지 시스템(공진형 혼에 의한 지지)에 비해 단순화 된 지지 시스템으로, 고정성을 띄는 복수의 지지부는 모터를 견고하게 지지 할 수 있지만, 두 진동 모드에 영향을 미치지 않는다. 또한, 종래의 초음파 리니어 모터에서 발생한 두 진동모드의 커플링 문제를 해결하여 고정도 위치제어 및 고효율 구동을 달성하였다. 직경 20 mm의 지름을 가지는 모터를 이용하여 기계적 최대 출력은 75N 무부하 최대속도 0.45 m/s의 속도를 얻었다. 모터에 PID피드백 제어 시스템을 적용하여 6 kg의 스테이지를 100 nm의 정도를 가지고 200 mm/s로 위치 제어를 달성 하였다. 정상 상태에서의 이동속도는 프로그램 된 이동속도와 편차 0.5% 이내로 달성하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Cheol-Ho Yun, Takaaki Ishii, Kentaro Nakamura, Sadayuki Ueha (2001) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40: 37
- [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