

람다형 다방향 초음파 선형 모터

도영수, 남호덕, 김영덕*
 영남대학교, 포항산업과학기술원*

Lambda shape multiway moving ultrasonic linear motor

Young-Soo Do, Hyo-Duk Nam and Young-Duk Kim*
 Yeungnam Uni., RIST*

An ultrasonic linear motor using lambda shape vibrators has been designed and fabricated. The multiway ultrasonic motors mainly consist of an lambda shape ultrasonic vibrator which generates elliptical motions in beat. The lambda shape ultrasonic linear motor use longitudinal and bending vibration mode. In order to high precision motion control and multiway moving, piezoceramics were adhered to lambda shape brass elastic material. The finite element method was used to optimize dimension of ultrasonic vibrator and direction of vibratory displacement. As a result of estimating the characteristics of the ultrasonic linear motor, The results have shown that the lambda shape ultrasonic linear motor can be moved multiwav by using the phase control. Close agreement between the FEM results and experimental results obtained for the lambda shape ultrasonic linear motor

Key Words : Ultrasonic linear motor, Multiway moving, FEM, Piezo motor

1. 서론

초음파 모터는 기존의 전자기 모터에 비하여 중량 대 출력비의 우수성, 저속에서의 고효율, 탁월한 제어 성능, 무소음 특성과 전자파에 영향이 없는 등의 장점으로 기존의 모터를 대체할 수 있는 새로운 모터로 각광 받고 있으며 특히 초소형 모터의 출현에 대한 요구와 저 출력, 저속의 미소 동작, 정밀한 위치 제어에 대한 수요가 증가함에 따라, 향후 응용 분야는 급속한 속도로 늘어날 것으로 전망된다¹⁾. 초음파 모터의 구동 방법은 모터의 구동자의 형태에 따라 다양하다. 그러나 기본적으로 모터의 구동자에 발생하는 미소변형을 일정한 방향의 기계적인 운동으로 확대·변환시켜 준다는 점과 미소변형이 타원형 궤적을 이룬다는 점에서 기본적인 작동원리는 같다고 할 수 있다⁴⁻⁵⁾.

본 논문에서는 람다형으로 제작된 고정자에 0.5 mm 두께의 압전세라믹을 부착한 다방향 운동이 가능한 초음파 선형 모터에 관하여 다루었다. 유한요소법을 이용하여 람다형 고정자의 두께에 따른 주파수 및 변위 특성을 분석하고, 실제 제작된 모터의 특성과 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 구조 및 원리

그림 1은 본 연구에서 사용된 람다형상의 초음파 선형 모터의 고정진동자이다. 고정진동자는 황동 재질의 탄성체로 구성되어 있다며 여기에 진동 여기자로서 압전세라믹이 부착되어 있다. 압전세라믹은 람다형상의 아래위가

대칭이 되도록 분극방향이 180°로 되어 있으며, 여기 되는 전계의 위상에 의해 두 가지 진동 모드를 가지도록 설계되었다.

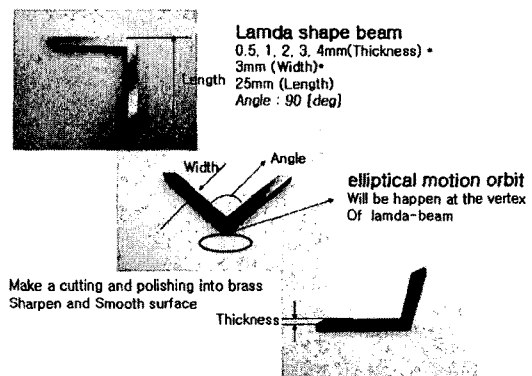


그림 1. 람다형상 초음파 모터 고정자.

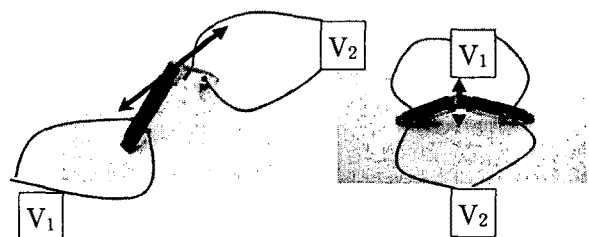


그림 2. 동작을 위한 전계 인가 방법.

람다형 초음파 모터를 동작시키기 위해 부착된 4개의 압전 여기자에는 그림 2와 같이 전계를 인가하였다. 그림의 좌측은 좌우 전계의 위상차가 90°도가 되도록 동작 전압을 인가하고, 우측은 상하가 90°의 위상차가 되도록 하였다. 이러한 전기신호를 좌우 혹은 상하로 인가하면, 압전 세라믹이 팽창과 수축을 하여 부착된 탄성체에 굴곡진동 및 길이진동이 발생한다. 발생한 진동의 형태는 탄성체의 형상에 따라 다양한 형태로 나타나고 그림 3과 같이 두 진동 모드의 사이에서는 이러한 진동이 타원형을 나타낸다. 탄성체의 모서리에서는 이들 타원형 진동이 확대되어 나타나며, 선형의 스테이지를 원하는 방향으로 마찰력을 이용하여 운동시킨다.

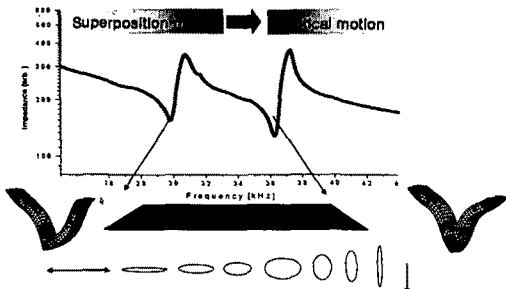


그림 3. 모드 중첩에 의한 구동 원리.

2.2 초음파 모터의 모델링

초음파 모터에서 모델링은 모터의 최적의 동작 조건을 내기 위한 고정 진동자의 크기를 결정하는데 유용하다. 앞서 논의한 바와 같이 람다형 초음파 모터는 각기 다른 두 진동모드의 중첩에 의해서 효과적인 동작을 이룰 수 있으므로, 모드가 근사한 공진주파수와 적절한 진동자의 크기를 찾는 것이 중요하다. 이를 위해서 진동모드의 주파수를 상용 유한요소해석프로그램(ANSYS)로 해석하였다.

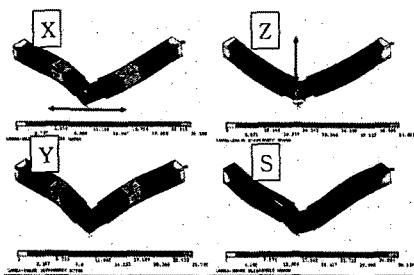


그림 4. 모드 중첩에 의한 구동 원리.

2.3 실험

황동 재료의 탄성체를 두께별로 가공하고 여기자인 압전체를 부착한다. 모델링으로부터 얻어진 결과와 일치 여부를 확인하기 위하여 주파수 응답 분석기(FRA NF-4300)로 임피던스를 측정하고, 레이저 변위 측정계(SUNWAVE OPTICS)를 사용하여 각 축에 대한 최대 변위를 각 모드가 동작하도록 100V_{pp}의 전계를 주파수를 변화시키면서 최대 변위와 공진 주파수를 동시에 획득하였다.

3. 결과 및 검토

그림 4는 FEM 해석결과로 본 모드형상이다. 람다형상의 초음파 진동자는 4가지 형태의 각기 다른 진동 모드를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 4가지 모드를 각각 X, Y, Z 및 S(Shear)모드라 칭하고 이들 사이의 임피던스와 변위를 계산한 결과 두께가 2 mm이상인 빔 요소에서는 Z-모드가 고주파수대로 이동하였으며, 두께 치수가 증가함에 따라 변위가 크게 감소하였다. 이에 대하여 그림 5와 같이 0.5 mm와 1 mm 두 탄성체에 대하여 32 kHz부근에서는 Y축 방향 모드가 활성화 되어 있음을 알 수 있다. 한편 0.5 mm 두께의 빔은 너무 얇아서 구동 시에 마찰면이 휘어지는 등 쉽게 손상되어 적절하지 못하였다. 두께 1 mm의 빔을 대상으로 모드 중첩주파수를 알아보았다. 그림 6에서 보는 바와 같이 30 kHz대역에서 그림 3에서와 같은 각 축방향의 모드들이 나타났다. 시뮬레이션 상에서의 진동 탄성체 최적 두께는 약 1mm 정도로 볼 수 나타났으며, FRA로 측정된 결과 값과 비교하여 주파수의 범위는 거의 일치하나 임피던스의 크기에는 차이가 있었다.

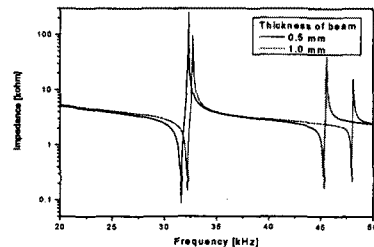


그림 5. 두께에 따른 Y-mode 주파수 특성

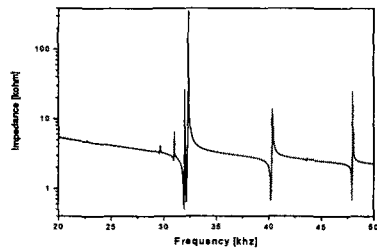


그림 6. 람다형상 빔의 주파수 특성(두께 : 1 mm)

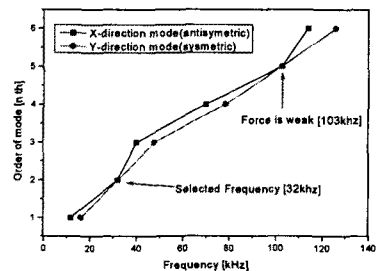


그림 7. 람다형상 빔의 모드 일치성(두께 : 1 mm)

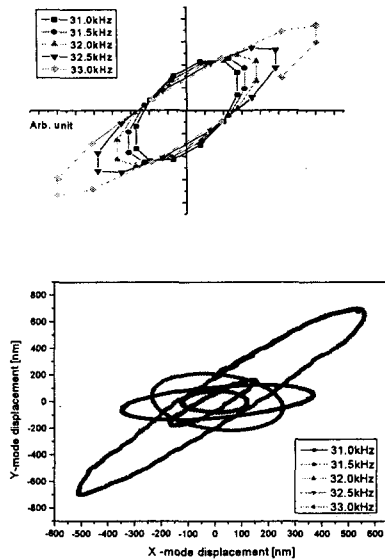


그림 8. 람다형상 시뮬레이션 및 실험 변위(두께 : 1 mm)

그림 7은 Y-mode와 X-mode의 모드 차수별 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 32 kHz 부근에서 두 모드가 동시에 존재하며 이 때 타원궤적은 큰 궤도를 그리며 반복적인 진동을 만들 것이다. 그림 8의 윗 그림은 시뮬레이션의 결과로 얻은 타원변위이며 이러한 결과를 확인하기 위해서 두 채널의 레이저 변위측정기 사용 연직 방향과 수평 방향에서 동시에 측정하였을 때의 변위를 아래쪽에 나타내었다. 실험결과 32 kHz에서 각각 약 1.5 μm 와 1.1 μm 의 변위가 측정되었다. 이는 그림의 시뮬레이션의 결과로부터 얻은 타원의 궤적의 크기와 다소간 차이가 있었지만 그 주파수에 따른 형태는 유사하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

황동 재질의 빔을 람다형상으로 가공하고 PZT 세라믹을 빔의 양면에 부착하여 다방향으로 동작할 수 있는 초음파 선형 모터를 제작하였다. 람다형상의 빔이 운동방향에 따라 동일한 공진주파수를 얻을 수 있도록 하기 위하여 FEM에 의한 모델링을 수행한 결과 1 mm 정도 두께의 빔이 두 모드에 대한 공진 주파수가 거의 유사한 특성을 보였으며, 실험결과 32 kHz부근에서 위상 변화로 여기된 다방향 타원 변위를 확인 할 수 있었으며 선형 스테이지를 원하는 방향으로 진행시킬 수 있었다.

로봇공학, 광학, 정밀위치 제어 선반과 같은 자동화 분야에서 기어나 별도의 방향전환 메커니즘이 없이 하나의 모터로 다 방향의 동작을 수행할 수 있는 응용에 적합하리라 생각된다.

참고 문헌

[1] 한상보, 윤신일, “초음파 모터의 원리 및 개발 현황”,

한국소음진동공학회 10주년 기념 소음진동학술대회는논문집, p. 1327, 1999.

[2] K. Uchino "Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motor", Kluwer Academic Publishers, Third Printing, 2000.
 [3] T. Sashida and T. Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors." Oxford, Clarendon Press, 1993.
 [4] S. Ueha, Y. Tomikawa "Ultrasonic Motors Theory and Applications", Oxford, Clarendon Press, 1993..
 [5] Siyuan He, Weishan Chen, Xie Tao and Zaili Chen, "Standing wave bi-directional linearly moving ultrasonic motor", Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions on Volume 45, Issue 5, p. 1133, 1998.