

Langevin 진동자를 이용한 선형 초음파 모터의 특성

서산동, 박태곤
창원대학교

A Characteristic of Linear Ultrasonic Motor using Langevin Type Transducer

San-dong Seo, Tae-gone Park
Changwon National University

Abstract

Transducer for linear ultrasonic motor with symmetric and anti-symmetric modes was studied. The transducer was composed of two Langevin-type vibrators that cross at right angles with each other at tip. In order to excite two vibration modes, two Langevin-type vibrators must have 90-degree phase difference with each other. As a result, tip of transducers moves in elliptical motion. Elliptical trajectory of transducer was analyzed by employing the finite element method. From these results, the ultrasonic motor was fabricated and was measured for characteristics. In this paper compared an ANSYS analysis with an experiment results. The no-load maximum speed was 113.1[cm/s].

Key Words : Ultrasonic linear motor, Piezoelectric Ceramics, Langevin vibrator, ANSYS

1. 서론

압전 특성을 이용한 공진자(resonator)는 발진자의 주파수를 조절하고, 표준 시각을 조절하는 석영(quartz)결정, AM과 FM주파수변조를 담당하는 세라믹 Filter, 또는 힘, 변위 압력, 가속도 등을 측정하는 센서 등에 적용되고 있다. 이같이 상당히 알려진 압전 재료의 활용은 위에 언급한 분야 이외에도 최근에는 압전 재료에 초음파 전원을 인가하여 구동력을 얻는 초음파 장비(Ultrasonic Device) 분야에 세계적으로 많은 관심과 연구가 집중되고 있다.[1] 그리고 MEMS(Micro Electro Mechanical

System) 기술과 함께 마이크로 크기의 액추에이터 및 센서 등의 제작이 가능해지고 있으며, 특히 최근에는 전기/기계 에너지에서 기계/전기 에너지로의 변환을 이용하는 단방향 압전 세라믹스와 함께 두가지 변환을 동시에 이용해 새로운 기능을 보이는 쌍방향성 제 2세대 압전 세라믹스가 개발되어 이에 따른 활용 범위도 확대 되고 있다.[2]

초음파 발생장치나 초음파 세척 등에 이용하던 진동자를 압전 재료의 개발과, 집착체 대신 볼트에 의한 결합방법이 개발 되었다. 이것은 인장력이 아주 약한 압전 세라믹의 약점을 보완해 더욱 안정된 대 출력을 얻을 수 있게 되었다.[3]

Langevin 진동자를 이용한 선형 초음파 모터는

란쥬반의 1차 종진동 모드를 이용하였다. 그리고 2개의 란쥬반 진동자에 인가되는 전압을 90도 위상차가 나게 주어 대칭과 비대칭 모드의 두 진동모드를 나타나게 한다. 이를 연속적으로 하면 타원형태의 진동이 일어나고 이 타원 변위가 선형 초음파 모터의 구동 원리이다.

2. 실험

2.1 구동 원리

그림 1은 초음파 선형 모터의 기본 형태를 나타낸다. 두께 방향으로 분극 되어진 압전 세라믹과 알루미늄이 볼트에 의해 결합된 2개의 란쥬반형 진동자가 팁(tip) 부분에서 서로 직각으로 구성된다. 각각의 란쥬반형 진동자 압전 세라믹에 교류전압을 인가하면, 란쥬반형 진동자는 두께 방향으로 진동을 하게 된다. 압전소자의 진동은 알루미늄 탄성체에 전달되고 2개의 란쥬반형 진동자가 만나는 tip 부분에서 슬라이더를 이동시키는 타원 변위가 발생한다. 이 초음파 리니어 모터는 대칭 비대칭 진동모드를 이용 하는데, 두 란쥬반형 진동자가 서로 같은 구동전압의 위상에서 동작하면 tip 부분이 슬라이더의 법선 방향으로 진동을 하는 모드를 대칭 모드라 하고, 서로 다른 위상의 전압이 인가되는 경우에 슬라이더의 접선방향으로 굴곡 진동하는 모드를 비대칭모드라 한다.

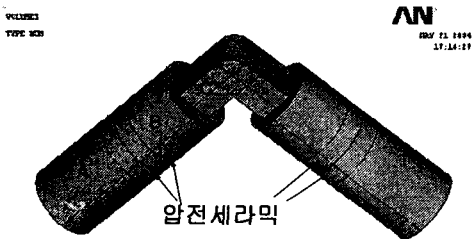


그림 1. 초음파 모터의 형태 (동근 tip)

즉, 압전 세라믹에 90도 위상이 다른 전압을 인가하게 되면 대칭 비대칭모드가 합성된 결과로서 두 진동자가 만나는 tip 부분에서 타원운동이 일어나게 되고, 이 타원 운동에 의해 슬라이더가 구동하게 된다.[4]

그림 2는 두 진동모드가 합성된 tip 부분에서의 타원 궤적을 보이고 있다. 슬라이더의 접선방향의

성분이 클수록 슬라이더를 이동시키는 속도가 높은 것을 알 수 있다. 또 접선 방향과 법선 방향의 비율이 어느 정도일 때 가장 좋은 특성이 나타나는 것은 ANSYS 해석을 통해 알아보았다. 이를 바탕으로 초음파 선형 모터의 궤적을 이상적으로 만들고 조절하기 위해 구동 전압 가변, 부스트의 크기, tip의 형태에 변화를 주어 실험을 하였다.

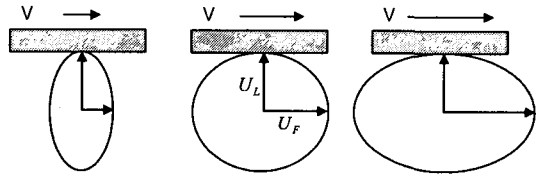


그림 2. 진동의 타원궤적

2.2 ANSYS 해석 결과

ANSYS로 해석을 해본 결과 압전 세라믹은 적층(Multi Layers)을 할수록 tip의 변위량은 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 구동 전압의 위상을 서로 바꾸어 인가한 경우, 타원운동의 방향이 역전되어 슬라이더의 진행방향을 제어 할 수 있음도 알 수 있다. 진동 확대 기구인 혼의 형태는 스텝형태나 지수 형태가 변위량이 크을 알 수 있었다. 경계조건은 각각의 란쥬반형 진동자의 중간 부근에서 고정하는 경계조건이 다른 경계조건보다 큰 변위를 얻음을 알 수 있다.[5]

이를 바탕으로 하여 인가 전압을 달리 해 주어 tip의 형태에 다른 특성과 부스트의 크기에 따른 특성을 알아보았다. 그리고 tip의 형태에 따른 특성도 알아 보았다.

2.3 구동 드라이버

초음파 모터의 구동드라이버 회로를 그림 3에 나타내었다. 초음파 모터의 전원은 90°만큼 다른 위상을 갖는 sin파와 cos파를 압전 세라믹스에 각각 인가하여야만 대칭 비대칭모드가 형성된다. 실험에 사용한 구동회로의 발진회로는 입력을 DC로 하여 CMOS IC 칩을 사용하여 주파수 제어방식으로 발진소자로 4046B를 사용하였고, 주기 T인 신호의 위상을 4013B에 의해 4T인 신호를 만들어 낸다. 버퍼로 LM 556을 사용했으며, MOSFET를 이용한 푸쉬-풀 전력증폭기와 변압기에 의한 전력

중폭 및 RLC 공진에 의해 2상의 AC 전압을 출력하는 회로이다.[6] 구동 드라이버는 이 회로도를 토대로 하여 직접 제작을 하였다.

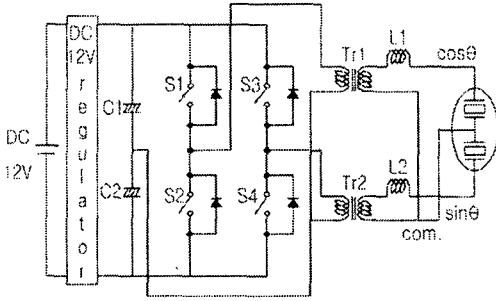


그림 3. 구동 드라이버

2.4 실험

진동자는 tip의 형태를 두 가지로 나누어 비교하였다. 하얀 사각형 그리고 또 하얀 둥글게 하였다. 부스트의 크기는 25[mm], 35[mm], 45[mm]로 하였다. 이를 ANSYS의 해석 결과와 비교를 하였다.

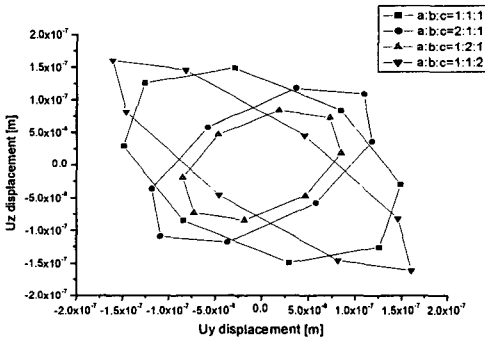


그림 4. ANSYS 해석

그림 4는[7] 진동자의 길이 비에 따른 선형 모터의 타원 궤도 특성을 나타낸 것이다. 즉 진동자의 길이 비가 2:1:1 일 때 선형 초음파 모터에서 요구하는 형태의 타원 궤적이 나온다.

그림 5는 부스트 즉 그림 1 A의 크기를 25[mm], 35[mm], 45[mm]로 변화를 주었을 때 속도 특성을 나타낸 것이다. 부스트의 크기가 길어질수록 구동 주파수는 23.5[kHz]에서 22[kHz]로 그리고 21.2[kHz]로 점차 줄어들었다. 측정 장치는 EXTECH사의 Digital Tachometer&Counter를 사

용하였다. 2분간의 평균치를 사용 하였다. 부스트의 크기가 35 [mm] 일 때 그리고 전압이 70[V] 일 때 113.1 [cm/s]의 속력을 나타내어 가장 빠르게 움직였다.

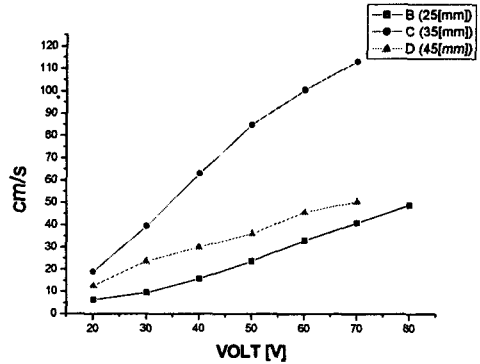


그림 5. 부스트의 길이에 따른 특성

그림 6은 tip의 형태를 둥글게 했을 때의 결과 그래프 이다. 알루미늄 tip을 잘라내고 그 부위에 베어링을 잘라서 예폭시 수지로 붙였다. 이 때 예폭시는 Permatex의 COLD WELD를 사용 하였다.

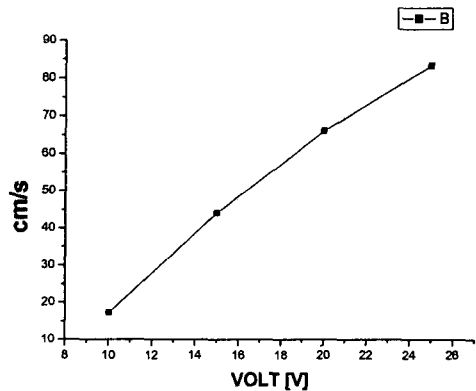


그림 6. 둥근형태의 tip을 사용시

구동 주파수는 30[kHz] 였다. 끝단이 사각의 뾰족한 것과는 많이 다른 구동 주파수대를 보였다. 그리고 속도 특성은 25[V]에서 83.3[cm/s]를 나타내었다.

3. 결과

실험에 앞서 진동자를 볼트로 조아 줄때 500 [MPa]의 압력으로 조아 주어야^[8] 하나 알루미늄의 특성상 그 압력까지 조아 줄 수 없었다. 계속되는 실험에 tip의 마모가 있었다. 그리고 직접 속도를 측정하지 않고 RPM을 측정한 후 이를 변환 시켰다.

해석 프로그램인 ANSYS의 결과치와 실험치를 비교 하였다. 해석시 부스트(A)가 진동자에서 차지하는 비율에 따른 타원 변위의 모양은 2:1:1일 때 가장 이상적인 타원 변위를 나타내었다. 이 결과는 실험시 부스트의 길이를 35[mm]로 하였을 때 즉 이 때가 2:1:1의 길이 비에 가장 근접 한다. 그리고 이 때 가장 좋은 113.1[cm/s]라는 속도 특성이 나왔다. 즉 부스트의 길이 비는 형 초음파 모터의 설계시 고려해야 할 요소임을 알 수 있었다.

또 tip의 형태에 따라 구동 주파수가 달라짐을 알 수 있었다. 부스트의 길이를 35[mm]로 하고 사각형의 뾰족한 tip의 경우엔 22[kHz]에서 그리고 둥근 tip을 사용 하였을 경우엔 30[kHz] 였다. 구동 주파수가 높아짐에 따라 구동 전압은 상당히 낮아 졌다. 즉 같은 속도 80[cm/s]을 비교 했을 때 뾰족한 tip의 경우엔 50[V]가 둥근 tip의 경우엔 25[V]의 인가 전압이 필요 했다. 그리고 최고 속도는 뾰족한 사각 tip이 113.1[cm/s]로 더 빨랐다.

이로서 사용할 모터의 특성에 따라 tip의 형태를 달리해 주어야 함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 김호기, 신병철, “압전 전왜세라믹스”, 반도체 출판사, pp. 76-99, 199
- [2] 유재영, 김기일, 손은화, 압전세라믹스 KISTI, pp. 9
- [3] 한국요업학회, 정밀요업생산자 협의회 “ 고도기술세라믹스”, 반도체출판사, pp. 48, 1992
- [4] S. Ueha, Y. Tomikawa, “Ultrasonic Motors Theory and Application”, OXFORD, p. 93-196, 1993.
- [5] 최명일, 란쥬반형 압전 진동자를 이용한 초음파 모터의 특성 연구, pp. 39, 2003

- [6] 심성훈, 백동수, 윤석진, 김현재, “초음파 모터 구동용 발진회로 설계 및 제작”, 전기전자재료학회추계학술대회논문집, p129-131, 1999
- [7] 최명일 박태곤 김명호, 선형 초음파 리니어 모터의 타원궤도 해석, 대한전기학회추계학술대회, 2002
- [8] Minoru Kuribayashi Kurosawa, Member, IEEE, Osamu Kodaira, Yuki Tsuchitoi, and Toshiro Higuchi, Member, IEEE “Transducer for High Speed and Large Thrust Ultrasonic Liner Motor Using Two Sandwich-Type Vibrators” IEEE Transaction on ultrasonic, ferroelectrics, and frequency control, vol. 45,NO. 5 september 1998