

2개의 Langevin 진동자를 이용한 선형 초음파 모터의 설계와 해석

서산동, 박태곤
창원대학교

Design and Analysis of Linear Ultrasonic Motor Using two Langevin Type Transducer

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

Abstract

Transducer for ultrasonic linear motor with the symmetric and anti-symmetric modes was studied. The ultrasonic liner motor consists of two Langevin type piezoelectric vibrators that cross at right angles with each other in tip. In order to excite symmetric and anti-symmetric mode, the transducer must have a 90 degree phase difference of voltage. Therefore, the tip of transducer moves on an elliptical motion. In this paper, the finite element analysis was used. The ultrasonic motor was fabricated using the simulated result and the driving characteristics were measured.

key words : piezoelectric ultrasonic liner motor, Langevin transducer, an elliptical motion

1. 서론

라이터의 불꽃에서 초음파 탐지기의 소나 그리고 렌즈의 자동초점장치까지 압전 세라믹은 유용분야가 넓어가고 있다. 그중 액추에이터 분야에 압전체가 쓰이는 이유는 미소변위의 고정밀제어가 가능하고, 발생력이 크며, 빠른 응답성과, 에너지 변환 효율이 높은데다 전자적인 간섭이 없고 그리고 형태의 영향이 적기 때문이다.[1]

Langevin-type ultrasonic transducer는 1922년 프랑스의 P. Langevin이 개발을 하였다.[2] 초음파 발생 장치로 사용되다가 압전 세라믹의 특성이 개선되고부터 액추에이터용으로 사용 되었다. 그리고 큰 진동 폭과 기계적 출력력을 높이기 위해 horn을 사용하고, 볼트 조임 형 Langevin 진동자를 개발하

였다.[3] 이 진동자는 압전 세라믹을 적층(multi layers) 할수록 진동변위가 커지고 혼의 형태에 따라 변위의 차이가 크게 나타난다.[4] 접착제로는 압전 세라믹과 부스터의 결합에 한계가 있어 볼트 조임 형이 나온 것이다. 이는 원하는 압력을 세라믹에 줄 수 있기 때문이다. 즉 세라믹의 진동변위를 부스터에 강력하게 전달하게 된다.

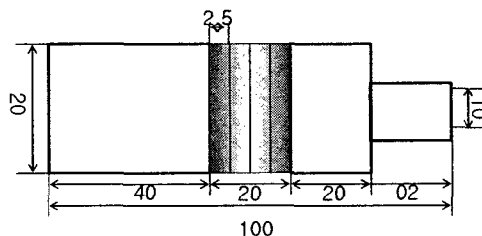


그림 88. Langevin transducer

Horn은 진동변위를 확대 시켜 준다.[5] 혼의 형태는 conical, exponential, stepped 등의 형태가 있다. 이중 stepped 형태가 변위 증폭률 5.2배로 가장 높았다.

그림1은 Langevin transducer로서 이 논문에서 사용된 형태의 크기이다. 이 진동자 2개를 직각으로 놓고 진동자에 2개의 진동모드-대칭, 비대칭모드-를 이용해 선형 모터를 제작하였다.[6] 압전 세라믹을 적층 하고, 경계조건은 진동자의 세라믹 바로 하단에 두었을 때 진동 폭이 커진다. 진동자의 하단 부 길이를 변화 하여 해석한 후 이상적인 타원궤적을 얻었다. 인가전압과 변위량은 비례하고, 구동전압의 위상을 바꾸어 주면 슬라이더의 진행 방향을 바꿀 수 있다.[7]

그림2에서와 같이 2개의 Langevin 진동자를 이용하고, 압전 세라믹을 4층으로 적층하고 하단부의 길이(a)는 상단부(b)의 2배, 세라믹의 바로 아랫단에 경계조건을 주어 모터를 제작 하였다.

2. 본론

2-1 모터의 구조

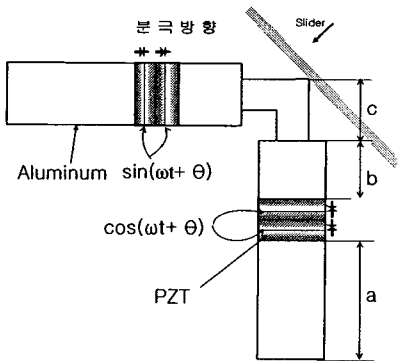


그림 89. Piezoelectric motor using two Langevin transducer

두 Langevin transducer 사이의 작은 높은 기계적 출력을 위해 90도로 하였다. 압전 세라믹은 4층을 적층하였고 압전 세라믹 하나의 두께는 2.5 [mm]이며 분극방향은 두께 방향으로 하고 마주보게 두 쌍씩 배열 하였다. 전극은 0.1[mm] 동판을 사용 하였다. 해석시 동판의 두께는 생략 하였다. 구속 조건을 주는 고정자는 그리지 않았고 해석시

도 조건만 주었다.

Langevin transducer는 개량을 거듭하여 강력한 종진동을 발생하게 되었다. 하지만 이를 이용해 선형 모터를 만들기에 부족하다. 그래서 진동을 성능 좋은 타원 진동으로 바꾸기 위해 진동자를 연결하여 같은 주파수대의 90도 위상차가 나는 전원을 가해준다. 즉 sin파와 cos파를 각각의 진동자에 인가하는 것이다. 특정한 시간대에 같은 위상이 인가되면 대칭모드 진동을 하고 나머지 시간엔 비대칭모드 진동을 하게 된다. 이에 의해 진동자의 tip부근에서 타원 변위가 일어나게 된다. 이 모드 때의 주파수를 구하기 위해 ANSYS를 이용하였다. 해석시 hold block은 생략하고 세라믹 하단 끝의 한점에 Uxyz 방향으로 구속 조건을 주는 것으로 대신 하였다. 그리고 전극 부분은 생략하였다.

선형 초음파 모터의 제작은 ANSYS를 통해 얻은 결과를 토대로 만들었다. 즉 적층 여부와 구속조건의 위치 그리고 모터 각 부분의 길이에 변화를 주어 최적의 조건과, 제작 여건에 견주어 제작이 가능한 형태의 모터를 만들었다.

압전 세라믹을 적층하면 변위는 적층 수에 비례해 증가 하였다. 인가전압이 높아짐에 따라 변위도 증가 하였다. 그림2의 모터 하단부(a)의 알루미늄과 상단부(b)의 길이의 비율은 하단부가 2:1 일 때 가장 좋은 타원 변위를 보였다. 길이 변화에 따라 모드주파수가 변화하였다. 구속조건은 free 일 때와, 하단 끝에 주었을 때, 세라믹 하단 부 끝에 주었을 때를 비교하여 가장 좋은 변위를 나타내는 결과를 사용하였다. 이 결과를 기준으로 해서 모터의 제작에 들어갔다.

2-2실험

위에서 열거한 것을 기준으로 모터를 제작 하였다. 그리고 압전 세라믹과 진동자 하단부와의 연결은 볼트 조임식으로 하였고 조아주는 힘은 250[MPa]이다. 전극으로 사용한 동판은 압전 세라믹의 크기보다 조금 크게 잘라서 사용 하였다. 그리고 다른 하단 끝단을 가로 세로 5[mm] 두께 5[mm]로 잘라내고 그사이에 합금강을 넣고 에폭시로 붙였다. tip을 접착할 때 접착제의 종류는 에폭시 수지로 Permatex의 COLD WELD를 사용하였다

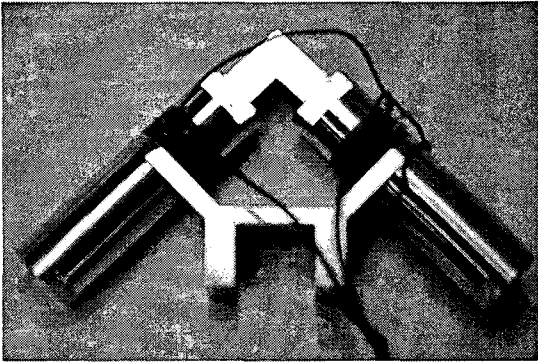


그림 90. 슬라이드를 제외한 모형

슬라이드는 선형 슬라이드를 사용 하였다. 구동 드라이버는 phase shift를 이용하여 자체 제작한 드라이버를 사용 하였다. 아쉽게도 위상각이 90도로 고정되어 있어 위상각에 따른 변화는 알아보지 못했다.

이 piezoelectric motor는 선형 모터로 제작이 되었다. 하지만 실험 여건상 성능 측정은 선형 슬라이드가 아닌 베어링으로 하였다. 이유는 실험 중 슬라이드 표면의 마모로 인해 모터의 특성이 제대로 나오지 않았기 때문이다. 특히 모터의 끝단을 알루미늄이 아닌 슬라이드와 같은 재질로 한 것의 경우엔 슬라이더와 모터의 마모가 많이 일어났다. 즉 슬라이드 표면에는 깊은 자국이 남았고 모터의 뾰족한 끝단은 닳아서 둥근 형태로 되었다. 그래서 끝단의 형태 변형이 필요하다.

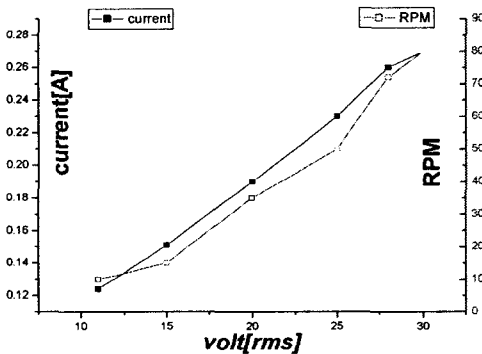


그림 91. 4multi-layer 전압을 변화해 주었을 때의 전류와 속도

속도 측정에 사용한 베어링의 크기는 바깥지름

30[mm] 안지름 10[mm] 두께 9[mm] 였다. 측정 장치는 EXTECH사의 Digital Tachometer&Counter를 사용하였다. 1분간 측정값의 평균을 기록 하였다. 전압을 일정하게 증가 시키고 그에 따른 전류와 속도 변화를 비교해 제어를 손쉽게 할 수 있는 가를 보았다.

그림 4는 전압을 증가하면 전류와 속도가 선형적으로 변화함을 보여준다. 그리고 제작한 드라이버에서 이 구동 주파수대에선 30V 이상으로 전압이 증가 하지 않았다. 하지만 주파수를 달리하니 110V까지 증가를 하였다. 구동주파수는 27.5[KHz] 이었다.

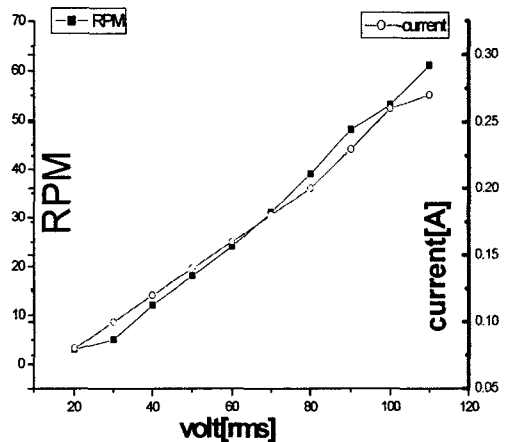


그림 92. 4multi-layer and changed tip

그림5는 모터의 tip부분을 직육면체 베어링으로 바꾼 모터의 특성을 나타낸 그래프이다. 재료가 바뀌어 구동 주파수도 바뀌었다. 23.17KHz를 구동 주파수로 하여 전압의 변위에 따른 전류와 속도(rpm)를 비교 하였다. 인가되는 전압의 범위는 20V-110V까지로 하였다. 최대 rpm은 알루미늄 tip 보다 낮았다. 전압에 변화를 주면 속도를 제어 할 수 있음을 보여 준다.

3. 결론

Langevin transducer 2개를 연결한 형태의 선형 모터를 제작하고 그 특성을 측정하였다. 4층으로

적층을 하였고 해석을 통한 진동자 끝단 길이의 변화에 의한 진동 특성 중 가장 좋은 2:1의 길이 비를 사용 하였다. 그리고 구속 조건은 세라믹 하단부에 주었다. 이것은 ANSYS 해석의 결과를 토대로 한 것이다.

전압의 변동에 따라 속도가 선형적으로 변하였다. 주파수의 위상을 바꾸어 줌으로서 역방향 운동이 가능하다. tip의 재질에 따라 모터의 구동주파수와 속도가 변하였다.

실험을 몇 번 반복하면서 알루미늄 tip의 경우는 빠르게 마모 되었다. 그러면서 진동 특성이 조금씩 달라졌다. 조금 마모된 상태에서 좋은 특성이 나타났고 이를 결과에 이용 하였다. 베어링장 tip의 경우엔 슬라이드의 마모도 일어났다. 끝이 뾰족함으로 인해 슬라이드에 홈이 파였다. 이를 통해 tip의 형태를 바꿀 필요가 있음을 알았다..

참고문헌

- [1] 유재영 김기일 손은하, 압전 세라믹스, 심층분석보
- [2]김호기, 신병철, “압전.전왜 세라믹스”, 반도체출판사, pp. 76-99, 199고서, KISTI, 2002.12
- [3] 한국요업학회, 정밀요업생산자 협의회 “고도기술 세라믹스”. 반도체출판사, pp,48, 1992
- [4] 박민호, “관주반형 압전 진동자의 설계와 해석에 관한 연구” 창원대석사학위논문,2001.12
- [5] John F. Belford, The stepped horn, WWW.morgan-electroceramics.com
- [6] Minoru Kuribayashi Kurosawa, Member, IEEE, Osamu Kodaira, Yuki Tsuchitoui, 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
- [7] 최명일, “관주반형 압전 진동자를 이용한 선형 초음파 모터의 특성 연구” 창원대석사학위논문, 2003.12