

소형 압전 초음파 리니어 모터에 관한 연구

고현필¹*, Sergeius N. Borodinas², 김상식³, 윤석진⁴
한국과학기술연구원 박막재료 연구센터, 고려대학교 전기공학과⁵

A Study on the tiny piezoelectric ultrasonic linear motor

Hyun-Phill Ko¹*, Sergeius N. Borodinas², Sang-Sig Kim³ and Seok-Jin Yoon⁴
Korea Institute Science and Technology, Thin film material research center⁵.
Korea University, Department of electrical engineering⁶

Abstract

휴대폰이나 PDA 등의 카메라 렌즈구동용으로 탑재 가능한 소형 압전 초음파 리니어 모터를 개발하였다. 선형 동작을 위한 구동력은 압전 세라믹과 1개 또는 2개의 세라믹으로 이루어진 uni- 또는 bimorph 형태의 압전 액츄에이터에서 얻을 수 있다. 즉 초음파 영역의 펄스형태의 전압을 인가함으로써 정 또는 역의 선형 운동과 인가하는 전압의 주기에 따라 정밀한 위치조절이 가능하고 제조공정이 용이하고 구조가 간단한 것을 특징으로 하는 모터이다. 본 연구에서는 소형 압전 초음파 리니어 모터의 원리와 동작특성을 고찰하였다.

Key Words : 압전 세라믹, 압전 액츄에이터, 탄성체, 관성의 법칙, 이동체, 톱니 펄스파

1. 서 론

최근 video camera, PDA, 등의 첨단 정보기기는 경량화, 소형화가 요구 되어지고 휴대 정보기기의 첨단화에 따른 카메라 탑재는 필수적인 item으로 수요가 증대되고 있다[1-2].

휴대폰이나 PDA 등의 카메라 렌즈 구동용으로 탑재 가능한 초소형 전자계 모터 (stepping motor)의 경우 빠른 회전을 직선운동으로 바꾸기 위해 감속 기어나 캠(cam)를 사용하여야 하므로 소형화에 한계가 있고, 정 또는 역회전 시 백 레쉬(backlash)가 생겨 오차가 발생하고, 전력 소모가 크기 때문에 사용에 제한을 받고 있다. 또한 이와 같은 전자계 구동 모터는 높은 전류와 열 발생 등의 단점을 가지고 있다. 압전 세라믹에 전기적 신호를 인가하여 기계적 변형이 발생하는 역압전 효과를 이용한 초음파 액츄에이터는 구조가 단순하여 장비나 기기의 초소형, 초경량화가 가능하며, 고 집적, 고 정밀, 소형화 추세에 있는 산업 분야에서 빠른 시간

에 고부가가치의 시장이 형성 될 것으로 판단된다.[1,2] 특히, 특별한 기구적 장치 없이 선형 운동의 구현이 가능한 초음파 리니어 모터가 소형이동통신 단말기에 적용될 경우 기존 모터보다 높은 구동력과 소비 전력이 매우 낮으며, 기어를 사용할 필요가 없고, 소형 경량화가 가능하고 속도와 위치 제어를 전기적으로 제어할 수 있으며 정지 시 미끄러짐이 없는 등의 장점이 있어 기존 모터로 적용하기 어려운 새로운 응용이 가능할 것으로 전망된다. 현재 소형 정보기기용 카메라 줌 기능은 디지털 방식을 주로 이용하고 있는데, 줌인에 따라 해상도가 떨어지므로 광학 줌 기능의 개발이 절실히 요구된다. 초소형 카메라의 광학 줌 실현을 위해서는 최대 직경 5 mm 이하의 선형 모터의 개발이 이루어져야 한다. 본 실험에서는 휴대용 정보기에 탑재 가능한 소형 압전 초음파 리니어 모터의 구동원리와 모터의 동특성에 대한 실험결과와 특성에 대해 논의 하였다.

2. 실험 방법

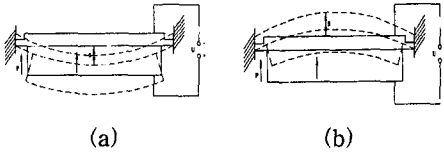


그림 1. 압전 세라믹과 탄성체의 굴곡 변형원리.

2.1 구동 원리

그림1은 압전 세라믹과 탄성체가 결합되었을 때의 변위형태를 나타내었다. 단 방향으로 poling이 되어있는 압전 세라믹은 전계의 방향에 따라 수축과 팽창이 일어나게 된다. 이러한 변위형태를 보이고 있는 압전 세라믹에 부착되어있는 탄성체는 압전세라믹의 수축과 팽창에 따라 굴곡 변위를 일으키게 된다. 그림 1(a)의 점선으로 도시된 부분은 압전 세라믹이 z 방향으로 팽창할 때의 탄성체의 굴곡 모양을 나타낸 것이다. 이러한 굴곡된 변위가 나타나는 것은 압전 세라믹의 팽창과 탄성체의 고정단이 고정되어있는 상태에 기인된 것이다. 그림 1(b)는 압전 세라믹이 x 방향으로 팽창됨에 따라 탄성체가 -z 방향으로의 굴곡 변형이 일어나는 형태를 나타내었다. 그림1(a) 에서와 같은 변위 상태에 있다가 순간적으로 전계의 방향을 바꾸어 주게 되면 압전 세라믹의 변위 형태가 바뀌게 되고 순간적인 가속력과 x 방향으로의 팽창에 따라 탄성체가 -z 방향으로 굴곡 변위가 나타나게 된다.

그림 1에서 살펴본 바와 같이 압전 세라믹과 탄성체가 부착된 상태에서 전계가 인가되면, 압전 세라믹과 탄성체의 굴곡 진동이 이동축에 전달되어 이동체가 리니어 운동을 수행하게 된다. 이때 이동체의 변위 원리는 일반적인 물리 현상을 이용한 것으로서 관성의 법칙을 이용하였다.

그림2는 이동축에 이동체가 장착되어 구동 되는 메카니즘을 나타내었다. 그림 3은 압전 세라믹에 인가되는 입력 펄스를 도시한 것으로 반복되는 톱니펄스(saw tooth pulse)를 구동 펄스로 사용하게 된다. 그림 2에 나타나있지는 않지만 이동축의 좌측에는 압전 세라믹이 그림 1에서와 같이 설치되어 있는 것을 가정하고 그림 3과 같은 톱니 펄스파를 구동과로 입력했을 경우 이동축의 움직임에 따라 이동체의 움직임을 그림 2를 통하여 나타내었다. 그림 2(a)와 그림 3의 a 는 시작단계이다. 이

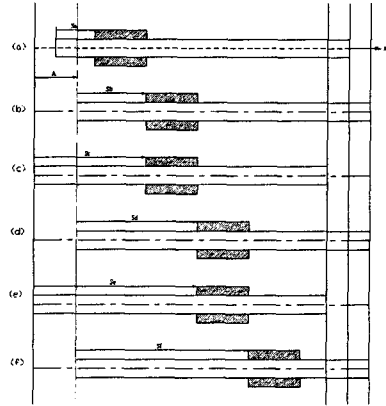


그림 2. 소형 압전 초음파 리니어 모터의 원리.

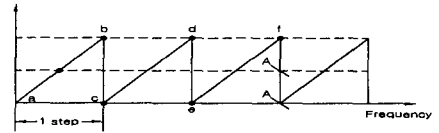


그림 3. 소형 압전 초음파 리니어 모터 구동을 위한 톱니 펄스파.

동체는 왼쪽끝의 이동축에서부터 Sa 의 지점에 위치하게 된다. 그림2(b)와 그림 3의 a-b 는 그림 3의 톱니 펄스파의 1 step 구간의 전압이 증가되는 톱니파 경사부분, 즉 펄스파 a에서 b가 입력되는 구간에서는, 이동축과 함께 이동체가 x축 방향으로 선형적으로 크기 $A(Sa=Sb)$ 만큼 움직이게 된다. 그림 2(c) 와 그림 3에서는 톱니 펄스파의 전압이 b에서 c 로 변화되어 전압이 0이 되는 순간에 압전 세라믹에 인가되는 전압이 0으로 된다. 이때, 그림 2(c)의 이동축은 탄성체의 복원에 의하여 순간적으로 왼쪽으로 거리 $2A$ 만큼 움직이게 된다. 순간적으로 이동축이 왼쪽으로 움직이게 되므로, 무게를 가지고 있는 이동체는 관성의 법칙에 의해서 Sc의 위치에 멈추어 있게 되고, 이동축만이 왼쪽 방향으로 움직이게 된다. ($Sc>Sb$)

그림 2(d)와 그림3의 c-d 에서는 이동축이 다시 이동체와 함께 x 축 방향으로 선형적으로 $2A$ 의 거리만큼 움직이게 된다. ($Sc=Sd$) 그림2(e)와 그림 3의 d-e 구간에서는 b-c 구간과 같은 형태의 움직임을 갖게 된다. ($Se=>Sd$) 그림 2(f) 와 그림3의 e-f 에서는 c-d 구간에서와 같은 형태의 움직임을 갖게 된다. ($Sf=Se$)

표 1. 압전 세라믹의 특성

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------------|--------|---------|----------|---------|
| 지름 (ϕ) | 3 | | 5 | |
| 두께 (mm) | 0.1 | | 0.1 | |
| Qm | 80 | | 80 | |
| d33 (pC/N) | 660 | | 660 | |

이상과 같이 압전 세라믹에 입력되는 톨니펄스파의 구동에 의하여 탄성체의 탄성 작용과 더불어 관성의 법칙에 의하여 이동체가 이동 하게 된다. 이러한 변위는 압전 세라믹에 의해서 발생되어 탄성체와 압전 세라믹이 결합된 stator에서 굴곡 운동이 일어나고 이동축에 전달되어 변위가 연속적으로 일어나게 된다. 이러한 원리를 이용하여 이동체를 왼쪽축의 끝부분에서 오른쪽 축의 끝부분까지 움직이게 된다.

2.2 실험

그림 4에는 본 실험을 실시하기 위한 소형 초음파 리니어 모터의 구조를 나타내었다. 소형 압전 초음파 리니어 모터의 구조는 3 부분으로 나누어진다. 압전 세라믹과 탄성체가 결합되어 unimorph 형태로 이루어진 stator와 이동축, 이동체로 구성되어진다. 탄성체는 압전 세라믹으로부터 전달되는 진동이 손실없이 직접적으로 전달되고 동작할 수

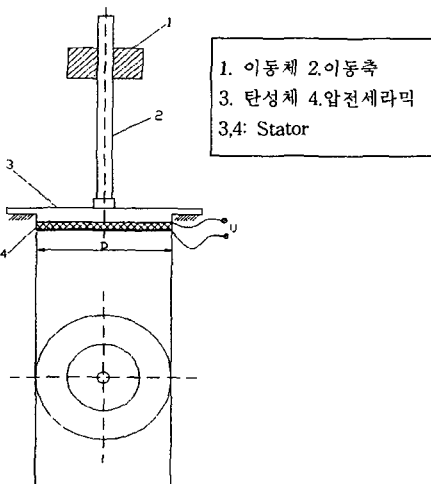


그림 4. 소형 압전 초음파 리니어 모터의 구조.

있는 일정한 두께를 가지는 탄성이 우수한 인청동을 사용하였으며 이동축은 stator의 중심부에 설치하여 가장 큰 변위를 얻게 설계하였다. 또한 모터가 고정되어 설치되는 기능을 수행 할 수 있도록 탄성체의 외경을 압전 세라믹보다 크게 설계하였다. 이것은 압전 세라믹의 진동에 모터 자체가 움직이지 못하도록 고정 시켜주는 역할을 하기 위해서이다. 표1 에는 모터에 사용된 압전 세라믹의 특성에 대해 나타내었다. Type I 과 Type III에는 0.1mm 두께의 탄성체를 사용하였고 Type II 과 Type IV에는 0.2 mm 두께의 탄성체를 사용하였다. 모터의 이동축에 탑재되는 이동체가 선형운동을 하기 위해서는 마찰력이 중요한 변수로 작용된다. 이동체는 외부에 금속체가 감싸져 있고 내부는 마찰력이 우수한 bake light로 관성의 법칙에 의하여 이동될 수 있도록 제작되었다. 모터를 구동시키기 위한 pulse를 얻기 위하여 function generator를 이용하였으며 전압에 따른 모터의 동특성을 살펴 보기 위하여 high speed power amplifier를 사용하였고 모터의 force는 digital force gauge를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1에 나타낸 압전 세라믹을 이용하여 모터를 제작하였다. 표 2는 모터의 특성을 나타내었다. Type I 은 인가 전압이 가장 높았고 type III의 인가전압이 가장 낮았다. 압전 세라믹의 진동이 탄성체에 전달되어 굴곡작용이 일어나는 상황에서 $\phi 5$ stator를 사용한 모터보다 $\phi 3$ stator를 사용한 모터의 굴곡작용에 더 많은 전압을 요구하게 된다. 이것은 stator의 한쪽 고정단에서부터 다른 한쪽의 고정단까지의 길이가 짧아질수록 stator의 굴곡 작용에 제한을 주게 되어 더 많은 힘이 필요하기 때문이다. 이러한 stator와 압전 세라믹의 크기는 표2의 결과와 같이 force의 크기에 관련된다. type IV의 force는 0.2N의 힘을 나타내지만 압전 세라믹이 상대적으로 작은 type I과 II의 force는 0.1N 미만이었다. type I 과 type III는 상대적으로 force가 작은 type II와 type IV에 비해서 동작 속도가 느린 것을 확인할 수 있었다. 이것은 이동체가 이동축에 탑재 될 때의 압착력과 마찰력은 직접적인 영향을 받아 모터의 동특성에 큰 영향을 주게 되

표 2. 소형 압전 초음파 리니어 모터의 특성

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------------------------------|--------|---------|----------|---------|
| V _{p-p} (V) min.value | 74 | 80 | 39 | 57 |
| A _{p-p} (mA) min.value | 8.2 | 13 | 16.6 | 21 |
| Force _{opt} (N) | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.2 |
| Force(N) @min.value | 0.0115 | 0.01 | 0.005 | 0.02 |
| Power(W) | 0.06 | 0.12 | 0.064 | 0.12 |
| Frequency (kHz) | 52 | 48 | 39 | 32 |
| Speed(mm/s) @min.value | 3mm/s | 5mm/s | 3mm/s | 5mm/s |

는 것으로 사료 된다. Force_{opt} 은 40Vrms 에서의 측정 결과를 나타낸 것이다. 본 논문에서 개발한 소형 압전 초음파 리니어 모터는 전압을 조절함으로써 모터의 속도와 힘을 제어 할 수 있다. 전압이 올라갈수록 선형적으로 힘과 속도가 증가하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

휴대폰이나 PDA등의 카메라 렌즈구동용으로 탑재 가능한 소형 압전 초음파 리니어 모터를 개발하여 동작 특성을 확인하였다. Type I, II로 제작된 모터의 동특성에 비하여 type III, IV로 제작된 모터의 동특성이 우수함을 확인할 수 있었다. Ø3로 제작된 stator 굴곡 작용은 Ø5로 제작된 stator의 굴곡 작용에 비해 운동의 폭이 제한을 받기 때문에 구동 시 요구되어지는 전압이 높은 것으로 확인할 수 있었다. 또한 type III는 최소 전압이 39 V_{p-p}로 구동 되어 구동 드라이버의 소형화에 유리할 것으로 생각된다. 본 실험에서 개발 제작된 모터는 현재 광학즘에 이용되는 모터와는 달리 탑재되는 용도에 따라 모터의 크기와 형태를 용도에 맞게 설계 및 적용할 수 있는 장점을 가지고 있어 정보기기용 휴대 장치에 적용 가능할 것으로 사료 된다.

참고 문헌

- [1] B.Koc, S.Cagatay and K.Uchino, IEEE Ultrasonic, Ferroelectric, Frequency control Trans, 2001.
- [2] K.Uchino. New material, design and drive/control related issues. ACTUATOR 2002. 33-40, 2002, Bremen, Germany