

초음파 선형 모터의 동특성 향상에 관한 연구

고현필¹*, 유경호², 강종윤³, 김상식⁴, 윤석진⁵

한국 과학기술 연구원 박막재료연구센터¹, 고려대학교 전기공학과²

A study on the dynamic properties of piezoelectric ultrasonic linear motor

Hyun-Phill Ko¹*, Kyoung-Ho Yoo², Chong-Yun Kang³, Sang-Sig Kim⁴ and Seok-Jin Yoon⁵

Korea Institute Science and Technology, Thin Film Research Center

Korea University, Department of Electrical Engineering

Abstract

Shaking beam을 이용한 초음파 선형모터는 모터 구동부에서 발생하는 타원궤적이 선형 slider 와 마찰이 되어 선형운동을 발생시킨다. 이러한 초음파 선형모터에서 설계변수는 모터의 효율과 추력(thrust force) 등 동 특성을 결정한다. 특히 초음파 모터 동작부의 tip 과 선형 slider 의 contact point와 압착은 모터의 속도, 추력, 동작 주파수, 효율에 직접적인 영향을 주는 중요한 parameter 로 작용된다. 본 연구에서는 모터와 선형 slider 의 압착과 contact point등의 설계변수가 초음파 선형 모터의 성능에 주는 영향을 고찰하였다. 모터의 구동부와 선형 slider 사이의 압착력 (10N~50N)과 4가지 곡률을 갖는 tip을 설계변수로 취하였다. Tip 의 형태에 따른 곡률과 모터 구동부와 선형 slider 사이의 압착력 변화에 따른 모터의 동작특성이 변화되는 것을 확인할 수 있었다.

key words :압전 액츄에이터, shaking beam , 설계변수, 초음파 선형모터, 타원궤적

1. 서 론

초음파 모터는 초음파 영역(20kHz 이상)의 기계적 진동을 구동원으로 한 액츄에이터를 말한다. 액츄에이터라 함은 어떤 가동에너지를 기계적 변위 또는 응력으로 변환하는 것을 말하는데 현재 산업용 액츄에이터로는 전자식 모터와 유공압 액츄에이터가 주류를 이루고 있다[1-7]. 이와 같은 액츄에이터는 중량에 대한 power 비가 작고, 구성하고 있는 재료 등의 특성 제한으로 인해 비약적인 진

보를 기대할 수 없기 때문에 새로운 원리와 방식이 도입된 액츄에이터의 개발로 빠른 응답 속도, 고성능, 그리고 경량화 등의 실현이 요구되고 있다 [5,6]. 일반적인 액츄에이터용 변위 소자는 발생 변위량이 커야하고, 위치의 재현성이 좋아야 하며, 응답이 빨라야 한다. 또한, 온도 특성이 좋아야 하고 크기, 중량이 작아야 하며 사용에 따른 열화가 없어야 하는 등의 조건을 갖추어야 한다[1,4]. 압전 액츄에이터를 응용하여 개발된 수많은 모터 가운데 특히 압전 초음파 선형모터는 그 동작 원리가 다양하게 개발되어져 있다. 그중 Shaking

beam을 이용한 초음파 선형모터는 모터 구동부에서 발생하는 타원궤적이 선형 slider 와 마찰이 되어 선형운동을 발생시킨다. 이러한 초음파 선형 모터에서 설계변수는 모터의 효율과 동작특성에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 초음파 선형모터의 동작부의 tip과 선형 이동체의 slider의 contact point 와 압착력에 따른 동작 특성을 확인하여 안정적인 선형 모터의 설계변수를 제시하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 초음파 리니어 모터와 선형 이동체를 그림 1에 나타내었다.

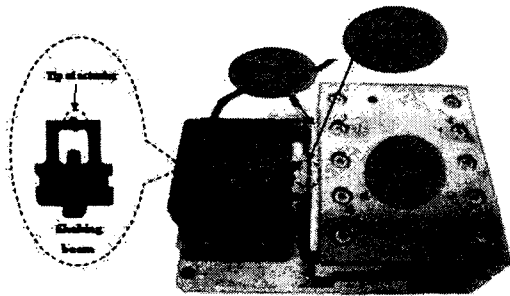


그림 1. 초음파 리니어 모터의 구조

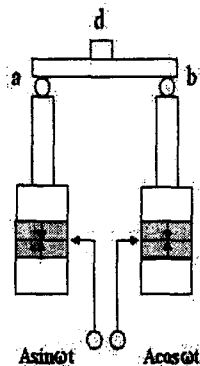


그림 2. Shaking beam 의 구조도

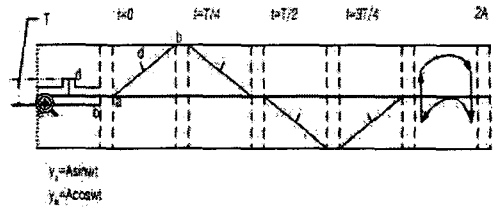


그림 3. 주기에 따른 "shaking beam"의 동작도

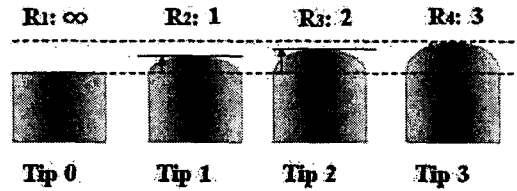


그림 4. 여러 가지 곡률을 가지는 tip의 형태도

초음파 모터의 구동부인 shaking beam 은 압전체에 가해지는 교번적인 전기장으로 인하여 구동되어진다. 이때 shaking beam의 tip 부분에서는 타원궤적이 발생되어 선형 이동체를 움직이게 한다. 이때 shaking beam의 tip 부분과 선형 이동체의 slider 부분은 마찰력이 생기기 때문에 경도(hardness)나 마찰력이 우수한 Al_2O_3 로 만들어진 tip과 slider를 사용하였다. 그림3에는 1/4 주기마다 shaking beam의 움직임을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 shaking beam의 tip 부분인 'd' 는 주기가 바뀔 때 마다 주기적인 궤적운동을 수행하여 타원궤적을 형성 하게 된다. tip 부분에서 타원궤적이 형성될 때 이동체의 slider 부분을 tip 과 접촉을 시키게 되면 slider 부분이 선형운동을 하게 된다. 이때 slider와 tip 과의 접촉면적과 압착은 초음파 모터의 동작 특성과 연관된다. 압착과 접촉면은 초음파 모터의 동작 속도, 효율, 추력(thrust force)에 중요한 변수로 작용하게 된다. 본 실험에서는 초음파 모터의 동작특성의 변수로 작용하는 접촉면적과 압착에 대해 고려하였다. 첫 번째로 shaking beam의 tip 부분의 곡률을 $\infty \sim 3mm$ 로 변화 시켜 접촉면에 따른 초음파 선형모터의 동작 특성을 살펴보았다.(그림 4) 두 번째로 압착력을 조절하기 위해 링 형태의 spring을 제작하였다. 이 spring은 각각10~50N의 힘을 가지게 제작되었으며 shaking beam 과 tip 의 압착력에 따른 초음파 모터의 동작 특성을 살펴보았다. 이 때 초음파 모터

의 추력(thrust force)은 digital force gauge를 사용하였고 모터와 이동체사이의 압착력은 tension gauge를 사용하여 측정하였다. 이때 초음파 선형 모터에 사용된 압전초음파 모터의 크기와 세라믹의 크기는 각각 $40 \times 25 \times 8 \text{mm}^3$ 와 $6 \times 6 \times 2 \text{mm}^3$ 이다.

3. 결과 및 고찰

모터에 가해지는 압착력의 크기에 따른 모터의 동작특성을 그림 6에 나타내었다. 모터에 10~50N의 힘을 증가시켰을 때 모터의 동작 주파수는 서서히 증가하는 것을 알 수 있었다. Tip0,1,3의 경우에는 50N의 압착을 주었을 때 가장 높은 동작 주파수를 나타내었지만 tip2를 사용한 모터의 동작 주파수는 압착력이 30N으로 증가할 때 까지는 증가하였지만 그 이상의 압착을 주었을 때 더 이상 동작 주파수가 증가하지 않음을 알 수 있었다.모터가 R,L,C 회로로 간주되어질 때 압착력은 모터의 load 로 작용하여 압착력이 증가할수록 R 이 증가하여 동작 주파수가 변화하는 것으로 사료된다. 또한 모터에 가해지는 압착력이 커질수록 모터의 동작속도는 점점 줄어드는 들었다. Tip 1의 경우 10N의 압착을 모터에 가했을 때 9cm/s의 속도를 나타내었으며 40N 이상에서는 더 이상의 속도변화가 일어나지 않음을 확인할 수 있었다. Tip0 와 3의 경우 10N의 압착에서 6cm/s의 속도를 나타내었다. 모터 tip 의 곡률이 무한대의 크기를 가지고 있거나 너무 작은 크기를 가지고 있을 때는 slider부분의 마찰과 point contact 의 최적화가 되지 못하였기 때문에 낮은 압착력에서 동작속도가 상대적으로 낮게 나온 것으로 사료된다. 그림 7은 모터에 가해지는 압착력의 크기에 따른 모터의 추력(thrust force) 변화를 나타내었다. 그림 6에서와 마찬가지로 모터에 가해지는 압착력이 증가함에 따라 모터의 동작주파수 변화가 일어나는 것을 확인할 수 있었고 모터의 추력이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6에서는 압착력이 증가할수록 동작 속도가 떨어지는 것을 알 수 있었지만 그림 7에서와 같이 모터의 추력(thrust force)은 증가하였다. tip 1의 경우 모터에 가해지는 압착력 증가에 비례하여 추력이 증가하는 것을 알 수 있었고 40N 이상의 압착력에서는 추력(thrust force)이

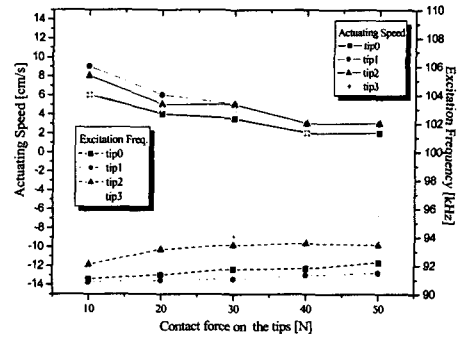


그림 5. 압착력에 따른 모터의 속도특성

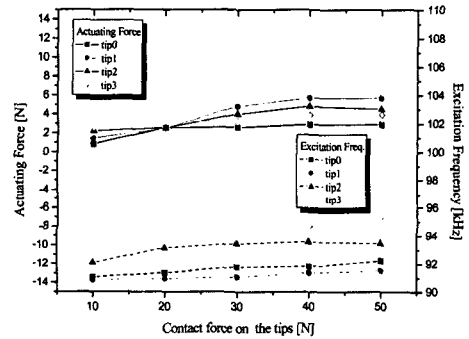


그림 6. 압착력에 따른 모터의 추력특성

일정하게 유지되는 것을 알 수 있었다. tip 과 slider의 contact 부분에서 tip 의 곡률과 압착력에 대하여 최적의 상태를 가지게 되면 모터의 동작 특성이 일관되게 나타내어지는 것을 알 수 있었다. 즉 tip 1을 사용하게 되면 모터의 동작 속도나 추력의 제어가 가능하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 반파장 진동자를 응용한 shaking beam을 구동원으로 한 초음파 선형모터의 동작부의 tip과 선형 이동체의 slider의 contact point 와 압착력에 따른 동작 특성을 확인하였고 안정적인 선형 모터의 설계변수를 제시하였다. 일반적으로 초음파 모터는 주파수 변화를 이용하여 제어하고 있지만 설계변수에 따라 모터의 속도와 추력을 제

어할 수 있는 것을 본 실험을 통하여 알 수 있었다. 곡률이 1mm인 tip 1을 사용하였을 경우 slider와의 point contact 이 최적화 되어 우수한 모터의 동특성을 나타내었다. 이것은 모터의 tip 부분과 slider 부분과의 point contact 영역이 너무 넓게 접촉하여도 너무 적게 접촉하여도 안 된다는 것을 보여주고 있다. 모터에 인가되는 압착력은 모터의 속도와 추력과 관계되어 고속의 선형 운동을 필요로 할 때는 압착력을 10N으로, 저속과 높은힘을 나타내는 선형운동을 필요로 할 때는 40N이상의 압착을 주어 모터의 동작을 제어함으로써 폭 넓은 응용범위에 대응 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] S. He, W. Chen, X. Tao, and Z. Chen, "Standing wave bi-directional linearly moving ultrasonic motor", Transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, vol. 45, no. 5, pp1133-1139, 1998
- [2] M. Kurosawa, H. Yamada, and S. Ueha, "Hybrid transducer type ultrasonic linear motor", Japanese journal of applied physics, vol. 28, Supplement 28-1, pp158-160, 1989.
K. Uchino, and K. Ohnishi, "Linear motor", US-Patent 4857791, 1989.
- [3] F. Claeysen, "Piezoelectric actuators for direct drive applications", La Conversion Electromechanic Direct (CEMD), Cachan, 1999.
- [4] T. Sashida, and T. Kenjo, "An introduction to ultrasonic motors" , Oxford Clarendon Press, 1993.
- [5] T. Hemsel, and J. Wallaschek, "Piezoelectric linear motors", International conference on New Actuators, Bremen, Germany, pp250-253, 2000.
- [6] H. Allik, and T. Hugdes, "Finite element method for piezoelectric vibrations", International journal for Numeric Methods in Engineering, vol. 2, pp151-157, 1970.
- [7] R. Bansevichyus, and K. Ragukskis, "Vibration motors as precision units for manipulators and robots" , Machines and Tooling, Vol. 49, No. 8, pp23-27, 1978.
- [8] G. Poole, Y.C. Liu, and J. Mandel, "Advancing analysis capabilities in ANSYS through solver technology", Electronic Transaction Numerical Analysis, Vol.15, pp106-121, 2003.