

적층 압전 작동기를 이용한 Self-moving Cell 선형모터 연구 Study on Self-moving Cell Linear Motor Using Piezo-stack actuators

이진호* · 김재환** · 최관영***

Jin-Ho Lee, Jaehwan Kim and Kwan-Young Choi

Key Words : Hybrid linear motor(복합 선형 모터), Self-moving cell, Piezo-stack actuator(적층 압전 작동기), Macro-Micro positioning(대소 변위제어)

ABSTRACT

The concept of a new linear motor that uses piezo-stack actuator is demonstrated. The working principle is far different from the conventional inchworm motor. This motor is based on the self-moving cell concept. The linear motor has three cells and each cell is constructed with one piezo-stack actuator and a shell structure. A cell train is constructed by connecting these cells and the cell train is fitted into a guide way with a proper interference. The cell train moves along the guide way, by activating each cell in succession. The moving motion of the motor is tested. Since this linear motor uses piezo-stack actuator with unified clamping cell, it can produce fast speed, high resolution and large push force.

1. 서론

압전 선형 모터는 최근 수십 년 간 많은 관심을 받아왔다. 이러한 압전 선형 모터는 이송거리의 제한이 없으며, 높은 정밀도를 얻을 수 있고, 빠른 응답, 간단한 구조뿐만 아니라 에너지의 공급이 없이도 제동력을 얻을 수 있는 등 기존의 진자기 모터와는 다른 특성을 가지고 있다⁽¹⁾. 또한 압전 모터는 소형화가 가능하고, 고속구동이 가능하다. 이런 압전 모터는 광학, 반도체, 우주항공분야 등에 응용될 수 있다.

압전 선형 모터는 인치웜 모터(Inchworm motor), 초음파 모터(Ultra sonic motor), 마이크로 푸쉬 모터(Micropush motor) 등으로 분류될 수 있다⁽²⁾. 이중 복합 선형 모터에 가장 널리 쓰이는 작동 원리는 인치웜 운동(Inchworm motion)이다. 인치웜 형태의 선형 모터는 두 개의 잠금 작동기와 하나의 추진 작동기의 조합에 의하여 벌레와 같은 운동을 발생시킨다^(3,4). 인치웜 형태의 모터는 고정자의 표면

에 타원운동을 발생시키는 진동계를 분리하므로써 파동형태의 운동에 비하여 높은 효율을 얻을 수 있다.

인치웜 모터가 부드럽게 작동하기 위해서는 이송 봉과 잠금 장치사이의 유격이 유지되어야하며, 모터의 유지력(holding force)은 잠금 작동기의 출력에 의존하게된다. 그러나, 잠금 작동기의 변위는 보통의 가공 정밀도에 비하여 매우 작기 때문에 잠금 장치와 이송봉 사이의 간격을 유지하는 것이 어렵다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 만곡형태의 힌지(hinge)를 가지는 레버 기구가 사용되었다⁽⁵⁾. 이에 따라, 압전 작동기의 행정은 증가하나, 행정이 증가함에 따라 힘은 감소한다.

인치웜 선형 모터는 잠금과 추진 기능에 어려움을 가지고 있다. 이러한 인치웜 선형 모터의 문제점을 개선하기 위하여 self-moving 셀 개념의 새로운 선형 모터가 제안되었으며, 재료, 재료(magnetostrictive material: Terfenol-D)를 작동기로하고 링(ring) 모양의 셸(shell) 구조물을 가지는 두 개의 셸(cell)을 사용한 선형 모터를 설계, 제작하여 self-moving 셀 개념의 가능성을 증명하고, 성능을 평가하였다⁽⁶⁾.

본 연구에서는 자왜 작동기를 압전 작동기로 대체하고, 선형 모터의 설계를 향상시켜 큰 힘, 큰 비출력(specific power), 더 우수한 작동 특성, 큰 이송 능력, 높은 효율을

* 인하대학교 기계공학과 대학원
E-mail : fool260@hanmail.net
Tel : (032) 872-7925, Fax : (032) 868-1716

** 인하대학교 기계공학과

*** 나노닉스(주)

가지는 복합 선형 모터를 제안하고자 한다.

2. 제안된 압전 선형 모터의 작동 원리

제안된 압전 선형 모터는 self-moving 셀 개념에 의해서 동작한다. 이 모터는 잠금 장치와 추진장치가 구분되지 않으며, 셀 트레인(cell train)은 세 개의 셀을 연결하여 구성하였다(Figure 1).

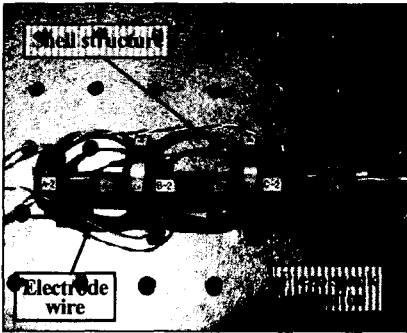


Figure 2. Cell Train

제안된 모터는 self-moving 셀 개념을 가지고 인치웜 운동을 한다. 모터는 각각의 셀이 순차적으로 작동됨에 따라서 안내대(guideway)를 따라 움직인다. 작동 셀들은 안내대와 적절한 크기의 간섭을 가지고 있기 때문에, 에너지의 공급

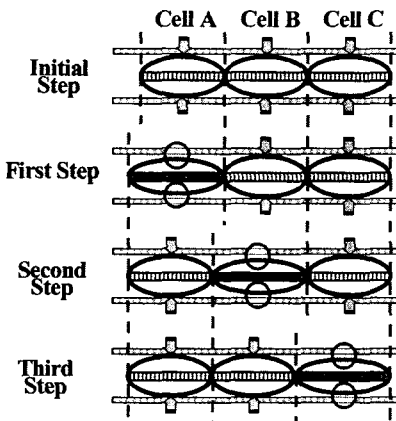


Figure 1. Operation Principle

없이도 제동력을 발생시키게 된다.

Figure 2는 작동 원리를 나타낸다. 초기 상태에 모든 셀은 안내대에 잠겨져 있으며, 첫 번째 단계로 첫 번째 셀이 작동되어 안내대와의 잠김이 풀리면서 앞으로 전진한다. 뒤를이어 두 번째 셀이 작동되며, 이때 첫 번째 셀은 다시 잠기게 된다. 이와 같이 두 번째와 세 번째 셀이 순차적으로 작동되어 하나의 주기를 완성하고 초기 상태로 돌아온다.

제안된 압전 선형 모터의 속도는 가진 주파수와 단위 이동거리에 비례하며, 단위 이동거리는 적층 압전 작동기의 행정과 가해주는 전압에 의해서 결정된다.

또한 이 압전 선형 모터는 이송 모드와 미소 위치제어 모드에서 작동될 수 있다. 이송 모드는 먼 거리를 이동하여야 하는 경우의 작동 모드로서 self-moving 셀 개념을 이용하여 이동하며, 정밀한 위치제어를 필요로 하는 경우 뒤쪽의 두 셀을 잠근 채로 첫 번째 셀의 전압을 제어함으로써 정밀한 위치제어를 수행한다.

3. 압전 선형 모터의 설계

3.1 셀의 설계

셀의 셀 구조물은 잠금 기능과 적층 압전 작동기에 프리로드(pre-load) 스프링 역할을 하므로 제안된 압전 선형 모터를 설계함에 있어서 가장 중요하다.

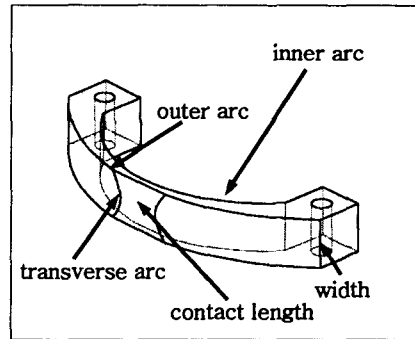


Figure 3. Shell Structure

셀 구조물은 수평 호(arc)와 수직 호(arc)의 서로 다른 두개의 호로 설계되었다. 수평 호는 적층 압전 작동기의 행정을 최대화하기 위하여 안쪽 호와 바깥쪽 호의 서로 다른 호가 사용되었으며, 이 수평 호들은 셀 구조물이 유연 힌지 역할을 할 수 있게 한다. 또한 셀 구조물은 적층 압전 작동기에 대하여 프리로드 스프링 역할을 수행하므로, 수평 호들은 이 프리로드 스프링의 스프링 계수를 결정한다. 하나의

수직 호는 셀 구조물의 바깥 면과 안내대의 안쪽 면의 접촉을 보장하기 위하여 사용되었다(Figure 3).

각각의 셀에 있는 셀 구조물의 수는 안정된 접촉을 고려하여 세 개로 하였다.

위와 같은 역할을 수행할 수 있는 셀 구조물의 설계인자를 구하기 위하여 유한 요소 해석과 다구찌 방법을 사용하였다. Table 1에서 보여지는 것처럼, 셀의 스프링 상수에 가장 많은 영향을 미치는 설계인자는 안쪽 호와 셀 구조물의 폭이다. 이를 바탕으로 설계된 셀 구조물은 안쪽 호 30mm, 바깥 호 45mm, 폭 5mm, 접촉부 길이 5mm이다. 이때의 셀 구조물의 축 방향 변위는 89 μ m, 반경 방향 변위는 97 μ m이다(Figure 4).

Table 1. Design Parameter Identification

(a) Radial direction

FACTOR	A	B	AxB	C	D	CxD	ERROR
Contrib (%)	15.6	17.6	11.4	10.9	12.9	11.1	8.3
SUM	2(26.7)	3(56.3)	5(80.6)	11(90.7)	4(69.2)	6(91.7)	7(100)

(b) Axial direction

FACTOR	A	B	AxB	C	D	CxD	ERROR
Contrib (%)	16.6	9.8	13.2	9.4	6.5		
SUM	3(61.0)	5(84.0)	4(74.2)	6(93.4)	7(100)		

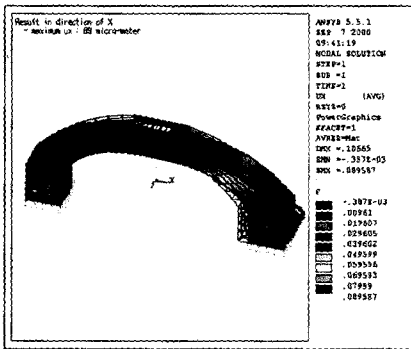


Figure 4. Finite Element Analysis

3.2 안내대의 설계

안내대는 실린더 모양으로 설계되었다(Figure 5). 제안된 압전 선형 모터의 성능은 셀 구조물과 안내대의 접촉부에 의해서 많은 영향을 받는다. 안내대의 안쪽 직경은 셀 구조물과의 간섭이 고려되어 결정되었다.

셀 구조물과 안내대의 간섭은 마찰을 발생시키며, 이 마찰은 높은 부하용량을 위하여 충분히 커야한다.

안내대의 설계시 고려되어야하는 또 다른 사항은 마모문제이다. 두 개의 재료가 경할 경우 마모는 줄어들으나, 셀 구조물은 유연해야하므로, 재료선택에 제한을 받게 된다. 이것은 셀 구조물과 안내대가 모두 탄소강일 경우 지나친 마모가 발생함을 의미한다. 따라서, 안내대의 재료로는 셀 구조물에 비하여 상대적인 연강이 선택되어 복잡한 셀 구조물이 마모로부터 보호되어야한다.

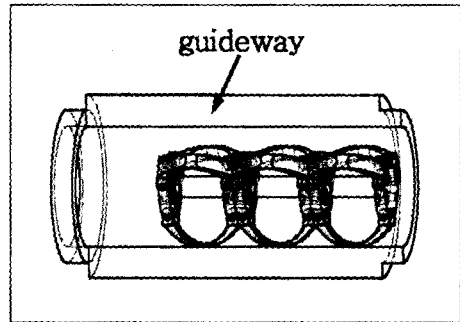


Figure 5. Guide way

3. 실험 및 실험 결과

4.1 실험 장치

설계, 제작된 self-moving 셀 압전 선형 모터는 셀 트래인을 구성하기 위하여 세 개의 셀이 직렬로 연결되어 안내대에 장착되었고, 성능 실험을 위하여 Figure 6와 같은 실험장치를 구성하였다.

개인용 컴퓨터와 D/A Board에서 압전 선형 모터를 구

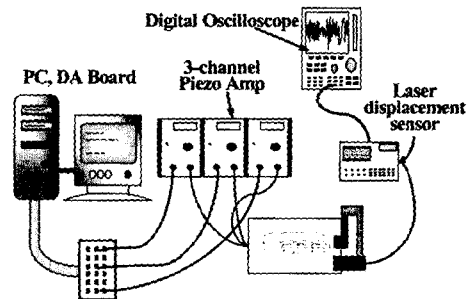


Figure 6. Experimental Set Up

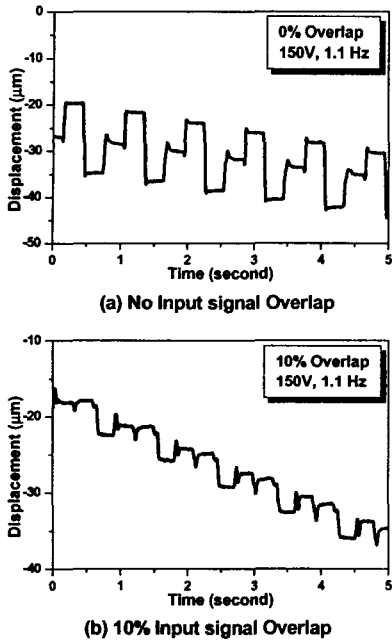


Figure 7. Input Signal Overlap

동하기 위한 구동 신호를 생성하며, 이 신호는 3-channel piezo Amp를 통하여 증폭되어 각각의 적층 압전 작동기에 공급된다.

Self-moving 셀 적층 압전 모터의 변위는 레이저 변위센서에 의해 측정되고 디지털 오실로 스크프를 통해 저장된다.

4.2 적층 압전 모터의 성능 실험

제안된 self-moving 셀 적층 압전 모터의 성능 실험을 위하여 각각의 셀에는 계단 입력을 사용하였으며, 적층 압전 작동기가 충분한 행정을 낼 수 있도록 입력 전압은 150V를 가했으며 입력 주파수에 따른 성능 실험을 수행하였다.

Figure 7(a)는 계단입력이 각각의 셀에 교차없이 주어졌을 때 적층 압전 모터의 이송으로 상당한 뒷걸음 현상이 나타남을 알 수 있다. 그러나 Figure 7(b)에서와 같이 각각의 셀에 약 10%정도의 교차를 준 경우 뒷걸음 현상이 현저하게 줄어들었다.

Figure 8은 입력 주파수에 따른 선형모터의 성능을 나타내며, 모터의 속도는 입력 주파수가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있으며, 약 56Hz에서 더 이상 속도가 증가하지 않으며 약 100 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 속도가 측정되었다.

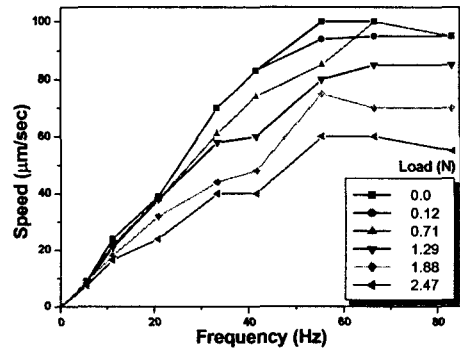


Fig 8. Speed Characteristics

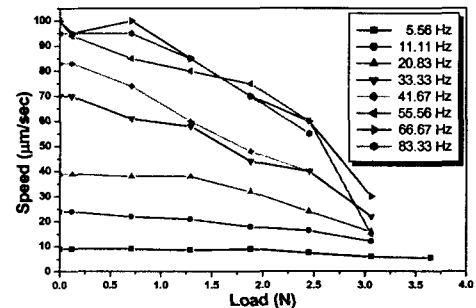


Figure 9. Load Characteristics

Figure 9은 모터에 부가된 부하에 따른 성능을 나타내고 있다. 설계, 제작된 압전 선형 모터의 최대 부하용량은 서로 다른 입력 주파수에서도 같으며, 이는 제안된 self-moving 셀 적층 압전 모터의 부하용량은 셀 구조물과 안내대사이의 마찰에 의해 결정됨을 보여준다. 또한 주의 할 것은 제안된 self-moving 셀 적층 압전 모터는 낮은 입력 주파수에서 속도가 거의 변하지 않으며, 이는 부하가 변하여도 안정적인 이송이 가능함을 보여준다.

4. 결론

적층 압전 작동기를 사용한 self-moving 셀 개념의 압전

선형 모터를 설계, 제작하였고, 그 성능을 평가하였다. 제안된 압전 선형 모터는 부하 변동 시에도 일정한 속도의 이송이 가능하며, 각각의 셀들에 대하여 적절한 입력 신호의 교차로 더 우수한 성능을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) C. K. Lim, S. He, I-M. Chen, September 19-23, 1999, A Piezo-on-Slider Linear Motor for the Application of Positioning Stage, Proc. of the 1999 IEEE/ASME International Conference on advanced Intelligent Mechatronics, Atlanta, USA.
- (2) T. Hemsel, J. Wallaschda, March 2000, Servey of Present state of piezoelectric Linear Motor, Ultrasonics, Volume 1-8, pp. 37-40.
- (3) Seemann, W., 1996, Proc. Of SPIE's International Symp. On Smart Structures and Materials, San Diego, CA, USA, USA, Vol.2727, 554-560.
- (4) Newton, D., Garcia, E. and Horner, G. C., 1998, Smart Materials and Structures, 7(3), 295-304.
- (5) Xu, W and King, T. G., 1996, Mechatronics, 6(3), 303-315.
- (6) Jaehwan Kim, Jae-Kyun Doo and Jae-Do Kim, July 2001, Feasibility Assessment of New Hybrid Motor Using Magnetostrictive Material, International Journal of the KSPE, Vol. 2-2, pp. 26-30.