

## 자기변형 액츄에이터를 이용한 선형모터

박영우\*(충남대 메카트로닉스공학과), 석용태(충남대 대학원 메카트로닉스공학과)

### A Linear Motor Using a Magnetostrictive Actuator

Y. W. Park (Mechatronics. Eng. Dept. CNU), Y. T. Seok (Mechatronics. Eng. Dept., CNU)

#### ABSTRACT

A linear motor makes a long stroke by accumulating short steps, which is based on the quasistatic deformation of a magnetostrictive material in a magnetic field. It is also called as inchworm effect. The application areas of linear motors are an adaptive and active optics, X-Y positioning, precision alignment, etc. It is found that control of the frequency and current inputs are all that is necessary to control the speed handling ability of the linear motor. In inchworm mode, linear speeds of up to 500 $\mu$ m/s are achieved resulting from the accumulation of 25 $\mu$ m steps at 1.4A.

**Key Words** : Electromagnet(전자석), Magnetostricion(자기변형), Linear Motor(선형모터), Inchworm(인치웜), Smart materials(지능재료), Magnetostrictive Actuator(자기변형 액츄에이터)

#### 1. 서론

선형모터(Linear motor)는 전기에너지를 직접 직선적인 운동 에너지로 변환할 수 있는 직선적 추력(미는 힘)발생 장치를 총칭한다. 기존에 폭넓게 사용되어 오고 있는 유/공압 및 전기식 모터를 사용한 구동기는 복잡한 링크 구조 및 동력전달 기구를 사용하여 설계되어지므로, 설계가 복잡하고 복잡한 에너지 변환 과정으로 인하여 효율이 떨어지는 단점이 있다.

그러나, 근래 들어 활발한 연구가 진행되어온 지능재료(Smart materials)를 이용한 선형 모터는 전기 에너지를 복잡한 에너지 변환 과정 없이 바로 선형 운동 에너지로의 변환이 가능하여 구조가 간단하고 에너지의 소모가 적으며 효율이 높은 특징을 가진다<sup>[1,2,3]</sup>.

이러한 선형 모터는 마이크로 또는 나노미터 수준의 분해능을 가지기 때문에, MEMS 나 마이크로 시스템에의 응용뿐만 아니라, 적용 및 능동 광학, X-Y 포지셔닝, 정밀 얼라인먼트, 측정벨브, 스위치 활성화, 튜너, 유도무기 구동장치 등에도 폭넓게 적용 가능하다.

이러한 장점 및 응용 분야에의 적용을 목표로 여러 방법으로서의 자기변형 선형 모터 개발에 대한

연구가 진행되어왔다. 선구적인 개념을 제시한 Kiewewetter 의 자기변형재료와 튜브를 이용한 연구, 자기변형 액츄에이터를 클램핑 디바이스와 푸쉬 디바이스로 이용한 인치웜 모터, 압전 구동기와 자기변형 액츄에이터를 이용한 hybrid모터등이다. 하지만 이러한 구조는 마찰, 가격, 구동 전달등의 문제점을 가지고 있다<sup>[4,5,6]</sup>.

본 연구에서 제안한 선형모터는 기존 연구의 문제점을 보완하기 위해 전자석을 이용한 두 개의 클램핑 디바이스, 자기변형재료를 이용하여 제작한 자기변형 액츄에이터인 푸쉬 디바이스와 이동 레일(moving rail)로 구성되며 구동방식은 작은 한 주기의 이동량을 누적하여 장거리를 이동하는 인치웜 원리를 이용한다.

개발된 선형 모터의 성능을 검증하기 위해 예압의 유·무, 전류 및 주파수의 변화에 따른 축 방향 변위 및 속도를 측정하여 비교하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 자기변형 현상(Magnetostriction)

자기 변형이란 강자성체 주변에 자기장을 걸었을 때 자성체의 외형이 변하는 현상으로 전기적 에너지가 자기적 에너지를 거쳐 기계적 에너지로 바

되는 변환 과정이다.

Fig. 1 은 대표적 자기변형재료인 Terfenol-D 의 자기변형을 보여주고 있다. Fig. 1 (a)는 코일에 전류가 흐르지 않는 상태로, Terfenol-D 의 길이는  $l$  로 변화가 없는 상태이고, Fig. 1 (b)는 코일에 전류를 흘려 자기장을 생성했을 때, 길이  $l$  인 Terfenol-D 가  $\Delta l$  만큼의 형상변화를 일으킨다.

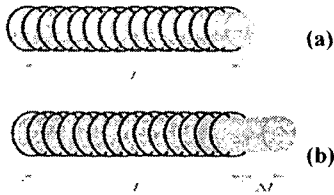


Fig. 1 Dimensional change due to Magnetostriction : (a) when Terfenol-D is not exposed to magnetic field, (b) when Terfenol-D is exposed to magnetic field.

## 2.2 인치웜 (Inchworm)

인치웜이란 이동하는 방식이 마치 자벌레와 같아서 사용된 용어로서, 작은 한 주기의 이동량을 누적하여 장거리 이동이 가능하다. 구동력은 선형 모터의 푸쉬 디바이스인 자기변형 액츄에이터의 강성에 의해 결정된다. 본 연구에서 제작한 선형 모터의 입력 펄스와 기본적인 구동방식은 Fig. 2 와 같다.

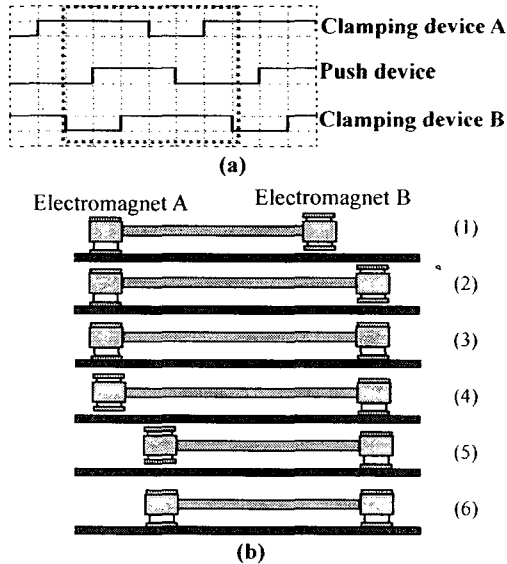


Fig. 2 (a) Input pulses (b) The principle of inchworm

Fig. 2 (a)는 모터 드라이버에 의해 생성되는 펄스 전류를 나타낸다. 선형모터는 자기변형재료에 의해 발생한 변위와 전자석을 이용하여 축의 위치

를 변경한다. 초기상태에서 축은 전자석 A 에만 구속된다. (Fig. 2(1)) 자기변형재료를 길이방향으로 신장시키면, 전자석 A 와 축은 자기변형재료의 길이 변화만큼 위치가 변한다.(Fig. 2(2)) 전자석 B 에 축을 구속시킨 후.(Fig. 2(3)) 전자석 A 로부터 축을 풀어준다.(Fig. 2(4)) 자기변형재료를 수축시키면 전자석 A 의 위치가 변경된다.(Fig. 2(5)) 전자석 A 와 B 에 축을 구속한 후 다음 스텝 진행을 위한 준비를 한다. (Fig. 2(6))

선형모터의 축 방향 변위는 자기변형재료에서 발생하는 변위에 의해 결정되며, 넓은 구간의 직선 이동은 Fig. 2 의 과정을 반복함으로써 누적시켜 얻을 수 있다.

## 2.3 선형 모터의 제작

본 논문에서 구현한 선형모터의 구조는 Fig. 3 과 같다. Terfenol-D 와 coil, Push rod, Prestress spring 으로 이루어진 자기변형 액츄에이터와 두 개의 전자석으로 된 클램핑 디바이스, 그리고 모터의 이동을 구현하는 이동레일로 구성되어 있다. 이동레일은 마찰력을 최소화하기 위하여 연삭 가공하였다.

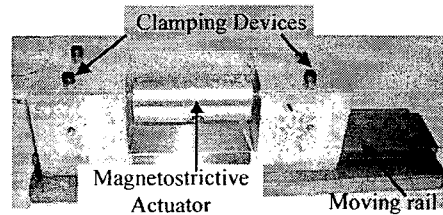


Fig. 3 Fabricated of Linear motor

클램핑 디바이스로 쓰이는 전자석과 푸쉬 디바이스로 쓰이는 자기변형 액츄에이터의 구조는 Figs. 4, 5 와 같다. 전자석은 펄스 입력 전류에 의한 전자기 유도 현상에 의해 클램핑을 수행하게 된다. 자기변형 액츄에이터는 코일 스프링을 축 방향으로 직렬 연결 하여 예압을 준 상태에서 액츄에이터의 전체적인 강성을 낮추어 더 큰 변형을 일으키게 된다.

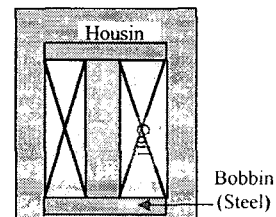


Fig. 4 Schematic of electromagnet

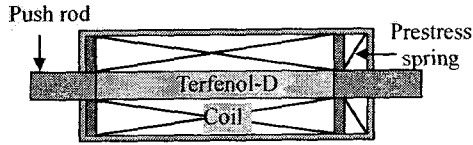


Fig. 5 Schematic of magnetostrictive actuator

선형모터의 구동방식은 다음과 같다. 자기변형 액츄에이터의 코일에 펄스 입력 전류를 인가하여 자기변형재료 주변에 자기장을 생성한다. 인가된 전류는 자기장의 세기와 방향에 변화를 주어 자기변형재료의 길이 방향 변형을 일으킨다. 이러한 위치 변화가 클램핑 디바이스를 움직여 축을 이동시켜 인치웸의 원리를 구현하게 된다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험 구성

실험의 구성은 Fig. 6 과 같다. 먼저, 모터 구동을 위한 드라이버는 프로세서인 Atmega 128 을 이용하여 PC 를 통한 실시간 입력이 가능하도록 구성된다. 모터에 입력되는 전류는 Atmega 128 을 통해 출력되는 펄스파와 전원 공급기(Power supply)간의 전위차에 의한 펄스 입력이 클램핑 디바이스와 푸쉬 디바이스에 공급된다. 변위센서에 의해 측정된 축의 변위는 데이터 취득 카드를 통해 LabView 로 프로그램된 데이터 취득 시스템에 보내어져서 저장 후 분석되었다.

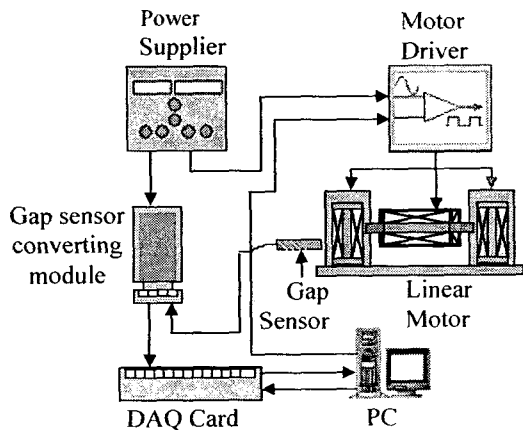


Fig. 6 Schematic diagram of experimental setup

#### 3.2 실험 내용

실험은 먼저, 예압에 의한 영향을 알아보기 위해 예압의 유·무에 대한 축의 변위를 살펴보고, 전류에 의한 영향을 알아보기 위해 일정한 주파수(120ms 주기)에서 전류의 피크값을 변화시켰을 경우, 주파수에 의한 영향을 알아보기 위해 일정한

피크값(1.4A)을 갖는 전류에 대해 주파수(입력 펄스 주기)를 변화시켰을 경우에 대해 축의 변위를 관찰하였다.

#### 3.2.1 예압(Prestress)

먼저 예압에 대한 선형모터의 위치 변화는 Fig. 7 과 같다.

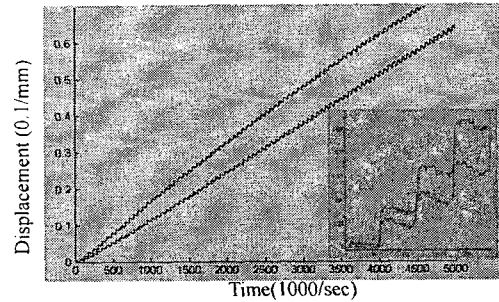


Fig. 7 Displacement and velocity of the shaft depending on prestress

예압의 유·무에 의해 변위 및 속도에서 많은 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 선형모터에서 예압은 액츄에이터의 강성에 영향을 미쳐 중요한 설계 변수가 되는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2.2 전류 변화

선형모터의 펄스 입력 전류의 주기를 20ms(8.3Hz)로 고정시킨 상태에서 전류 값의 변화(0.8, 0.9, 1.0, 1.0, 1.3A)에 따른 축의 위치변화에 대한 실험 결과는 Fig. 8 과 같다.

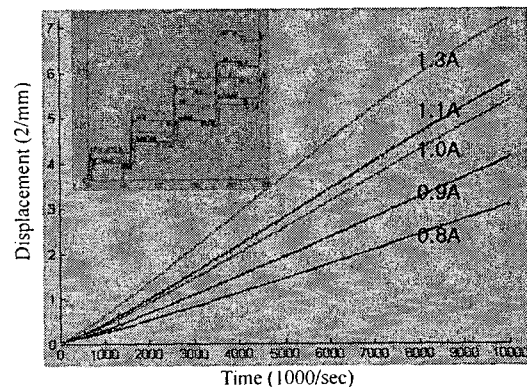


Fig. 8 Displacement and velocity of the shaft depending on input current which has varied peak values.

입력 전류값이 증가함에 따라 선형 모터의 변위 및 속도가 증가하는 것을 확인할 수 있지만, 비례적으로 증가하지는 않는다는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2.3 주파수 변화

선형모터의 펄스 입력 전류의 피크값을 1.2A 로 고정시킨 상태에서 펄스 입력 전류의 주기 변화(1, 2, 5, 10, 20ms)에 따른 축의 위치변화에 대한 실험 결과는 Fig. 9 와 같다.

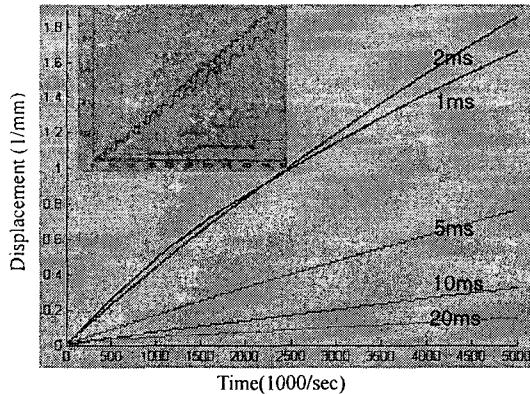


Fig. 9 Displacement and velocity of the shaft depending on input current which has varied pulse operating times.

입력 전류의 주파수가 클수록 축의 속도가 증가함을 확인할 수 있다. 펄스 입력 주기가 1ms 이하에서는 클램핑 디바이스의 성능 저하로 인해 선형적으로 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

자기변형 액츄에이터를 푸쉬 디바이스로, 전자석을 클램핑 디바이스로 이용한 선형 모터를 제작하였다. 실험을 통하여 예압의 유·무, 전류 및 주파수의 변화에 따라 선형 모터의 변위 및 속도가 크게 영향을 받는 것을 확인하였다. 예압을 주었을 때, 입력 전류가 클수록 그리고, 주파수가 높을수록 선형모터가 큰 변위값과 속도를 갖는 것을 확인하였다. 특히, 1.4A 에서 최대 25 $\mu$ m 이상의 변위를 일으키며, 2ms 의 주기에서 최대 속도 500 $\mu$ m/s 이상인 것을 확인하였다.

선형 모터의 변위 및 속도를 향상 시킬 수 있는 자기변형 액츄에이터의 설계변수(코일, 예압, 자기회로)에 대한 연구, 비선형성을 제어할 수 있는 히스테리시스에 대한 보상 및 선형적 제어를 위한 클램핑 디바이스에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. Young-Woo Park, Moon heol Won, 자기변형재

료를 이용한 절삭 공구용 마이크로포지셔너의 개발? Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.15(3), pp75-81, 1998

2. Michler, J. R., Moon, K. S., Sutherland, J. W., and Kashani, A. R., "Development of a Magnetostriction Based Cutting Tool Micropositioner", Transactions of NAMRI/SME, Vol. XXI, pp.421-427, 1993
3. Moffet, M. B., Clark, A. E., Wun-Fogle, M., Lindberg, J., Teter, J. P., McLaughlin, E.A., "Characterization of Terfenol-D for Magnetostrictive Transducers", Journal of Acoustics Society of America, 89(3), March, 1991.
4. Kiesewetter, L. US Patent 5,317,223, 1994.
5. Jaehwan Kim, Jae-Do Kim, Seung-Bok Choi, "Hybrid inchworm linear motor", Journal of Mechatronics, Vol. 12, pp525-542, 2002
6. Clephas, B, and Janocha, H., "New Linear Motor with Hybrid Actuator", Proceedings of International Symposium on Smart Structures and Materials (SPIE), Vol. 2190, pp.520-527, 1994.