

## LBLDCM 의 부하 특성 연구

### Study on Load Characteristic of LBLDCM

임 선 종<sup>o</sup>, 최 재 완

한국 기계 연구원 자동화 연구부  
자동제어실

Abstracts : In many application, LBLDCM is special-purpose devices in that, unlike their rotary counterparts, LBLDCM is tailored to specific needs.

Whereas a rotary machine or a rotary motor interface with the mechanical system through the shaft, a linear motor often interacts with the moving member(of the "rotor"), which is the mechanical system itself. This paper focuses on the load characteristic of LBLDCM.

Keyword : LBLDCM, Rotary machine, Load characteristic

#### 1. 서론

조정밀 위치 결정은 반도체 제조, 고집적 기억 매체의 가공 및 정보 기기 부품 분야 등 여러 분야에서 기본이 되는 중요한 기술이다. 고속, 고정밀 위치 결정은 회전형 servo motor 와 회전 운동의 직선 운동 변환 장치를 조합한 방식과 linear motor 와 guide 장치의 조합을 통한 직접 구동 방식이 있다. 회전형 motor 를 사용한 방식은 기계적 결합부가 많고, backlash 등으로 인해 고속, 고정밀에는 다소 부족한 점이 있다. Linear motor 를 사용한 방식은 설치 공간이 큰 점, air gap 을 일정하게 유지하기 어려운 점, 가동자와 고정자가 큰 추력으로 흡입하는 경우 큰 마찰이 생겨 지지 기구에 큰 부담을 주는 점이 있으나, 구조가 간단하고 고정자와 가동자를 자유롭게 늘릴 수 있는 점, 소형화가 쉬운 점, 특히 직접 구동 방식으로 반복 정밀도가 좋은 점 등으로 위치 정밀도가 10 $\mu$ m 이하의 초 정밀 위치 제어에 대한 활용이 늘어나고 있다.

본 연구는 주파수 응답을 통한 linear motor 의 재원을 파악하였으며, 위치 정밀도를 위한 미소 이송 정도 실험을 하였고, 부하의 변동에 따른 위치 응답 실험을 통해 정밀 위치 제어를 위한 기반 기술 개발을 목표로 한다.

#### 2. 제어 대상의 parameter 식별

입출력 data 에 의한 시스템의 외부 특성인 전달 함수를 작성하는 시스템 식별(system identification)은 실제 시스템과 제어 이론의 결합을 위한 보편적 방법이다. 본 연구에서는 system parameter 의 하나인 시정수를 구하기 위해 주파수 응답을 사용하였다. 주파수 응답 실험을 위한 system 구성은 그림 1 과 같다. 구성된 system 에서 control system analyzer 는 많은 주파수 성분의 control signal 을 발생하며 이 신호는 증폭기를 거쳐 linear motor 의 driver 로 전달된다. Linear motor 의 진동은 부착된 acceleration meter 에서 전기적 신호로 변환되어 charge amplifier 로 증폭된 후 control system analyzer 로 다시 입력되어 주파수 응답을 측정하게 된다. 주파수 응답의 측정 결과로 linear motor 의 시정수를 계산하기 위한 cut-off 주파수를 알 수 있게 된다. Cut-off 주파수와 기계적 시정수의 관계는 식 1 과 같다.

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (1)$$

그림 2, 3 은 부하에서 입력 전압이 각각 3V, 5V 일 때 주파수 응답을 보인다. 주파수 응답을 그림에서 11Hz 를 중심으로 그 이상의 주파수에서 decade 당 20dB 씩 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 1 차 전달 함수의 특성을 보여주고 있다. 실험을 통해 얻어진 cut-off 주파수를 이용하여 시정수를 구하면 시

정수는 14.46ms 이다. 본 실험에서 사용한 linear motor 는 이동자의 최대 부하가 40Kg 이다. 같은 전압에서 다른 부하에 대한 주파수 응답의 특성과 같은 부하의 다른 전압에서의 실험한 결과는 약간 차이는 있으나 약 11Hz 에서 cut-off 주파수가 생김을 알 수 있다. 그림 4, 5 는 입력 전압 5V 에서 부하가 각각 10Kg, 30Kg 일때의 결과이며, 그림 6, 7 은 20Kg 부하에서 입력 전압 3V, 5V 에서의 결과를 보여주고 있다.

### 3. 미소 이송 정도

본 실험에서 사용한 linear motor 는 1pulse 당 10μm 를 이동하며 미소 이송 진위 판별식은 식 2 와 같다.

$$\frac{\Delta/c}{l_c} < 1 \quad (2)$$

그림 8 은 무부하에서 미소 이송 정도의 측정 결과를 나타낸 것으로 1 pulse 당 이송 구간이 거의 같음을 볼 수 있으며 구간별로도 식 2 를 만족함을 알 수 있다. 측정 결과에 나타난 것처럼 출발점에서 약 1μm 정도를 후퇴한 후 이동하는 것이 관찰되며 이는 반복된 실험에서도 나타내며 부하 실험에서도 역시 나타난다. 그림 9 는 10Kg 의 부하에 대한 실험을 보이고 있다.

### 4. 위치 제어 실험

본 실험에서 사용한 linear motor 는 최고 속도 1.9m/s, 가속도 19.0m/s<sup>2</sup> 이다. 실험은 속도를 저속(속도 : 0.1m/s, 가속도 : 1.0m/s<sup>2</sup>), 중속(속도 : 1.0m/s, 가속도 : 10.0 m/s<sup>2</sup>), 고속(속도 : 1.9m/s, 가속도 : 19.0 m/s<sup>2</sup>)으로 나누어 실험하였다. 또한 부하 실험은 각 속도에 대하여 5Kg 씩 30Kg 까지 나누어 실험하였다. 위치 제어를 위해 사용한 제어 algorithm 은 PID algorithm 을 사용하였으며, 다른 속도와 부하에 대한 위치 응답에서 parameter 변화에 대한 위치 제어의 상태를 측정하였다. 그림 10 은 무부하 실험의 결과이며, 이동자는 command 를 잘 추정함을 볼 수 있다. 그림 11 은 10Kg 부하의 결과이며, parameter 의 변화에 따라 settling time 과 overshoot 가 감소된 응답 특성을 보이고 있다.

## 5. 결론

본 연구는 시간 지연 요소를 가진 1 차 함수로 modeling 되는 linear motor 의 알기 어려운 parameter 인 시정수를 주파수 응답을 이용하여 측정하였다. 주파수 응답 실험에서는 무부하 실험이나 부하 실험이 거의 같은 결과를 보였다. 미소 이송 정도 실험에서 나타나는 후퇴 부분은 고정자와 이동자간의 자력에 의한 것으로 보이며 이에 대한 연구가 좀더 이루어져야 한다. PID algorithm 으로 실험한 무부하 및 부하에 대한 위치 응답 시험에서는 속도와 거리 및 부하에 따라 parameter 를 조종해야 하며 settling time 과 overshoot 가 적은 parameter 의 선정을 위해 parameter 를 자동 선정하는 제어 algorithm 의 도입이 필요하다. 본 실험을 통해 linear motor 로 정밀 직선 구동 기구를 대체하는데 필요한 data 를 확보할 수 있었다.

## 6. 참고문헌

- [1] Syed A. Nasar. "Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications".
- [2] 이은철, "퍼지 추론을 이용한 플랜트 식별 및 PI 제어기의 자동 동조", 대한 전기 학회 논문집, 제 43 권, 제 10 호, 1994.
- [3] 조용대, "마찰력과 콤플라이언스를 고려한 정밀 위치 제어기에 관한 연구". 아주대학교.

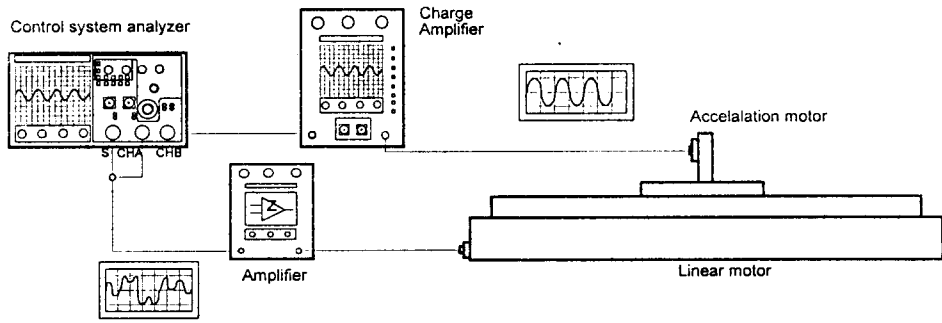


그림 1. 주파수 응답 실험을 위한 system 구성

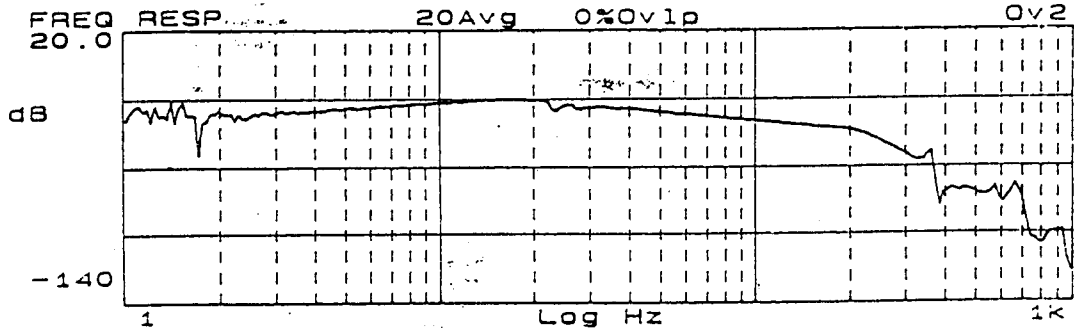


그림 2. 입력 전압 3V, 무부하에서의 주파수 응답 특성

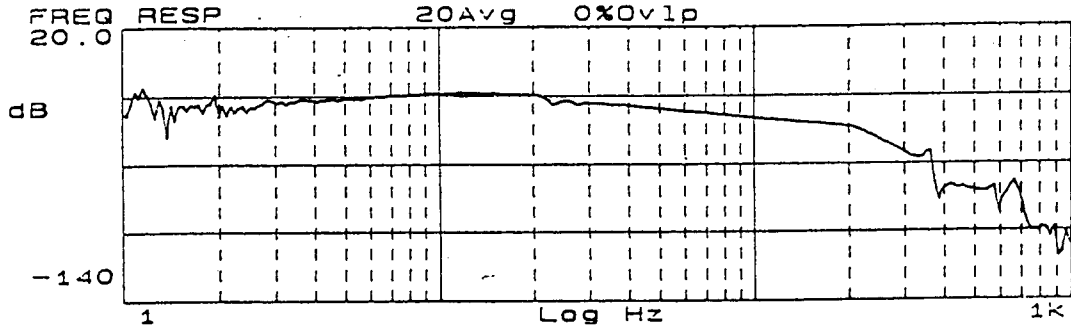


그림 3. 입력 전압 5V, 무부하에서의 주파수 응답 특성

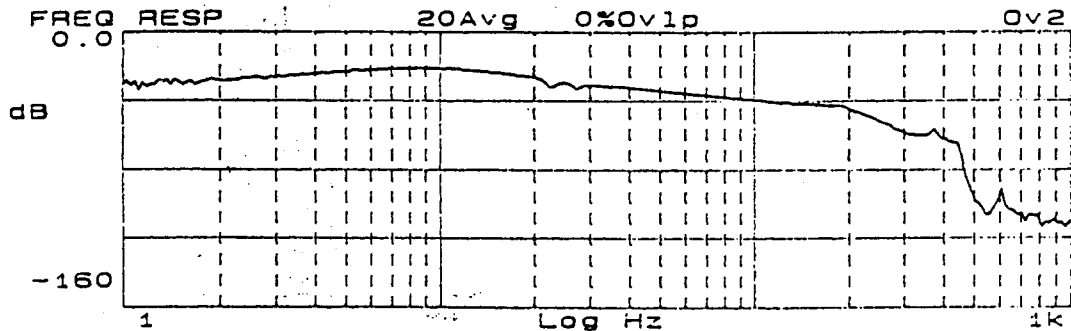


그림 4. 입력 전압 5V, 부하에서의 주파수 응답 특성

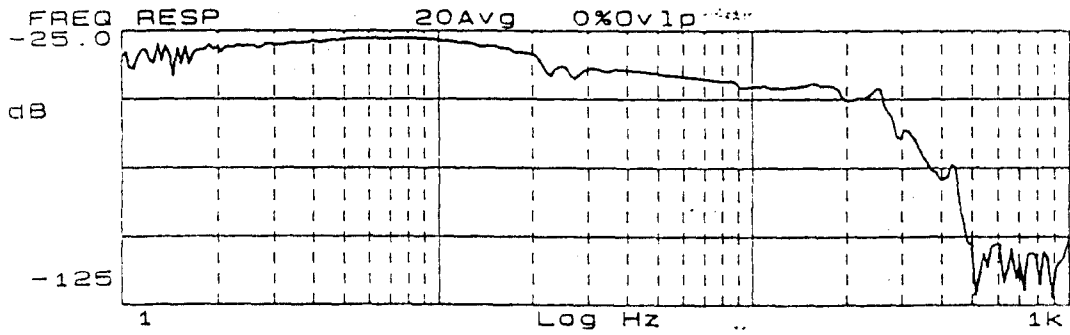


그림 5. 입력 전압 5V, 30Kg 부하에서의 주파수 응답 특성

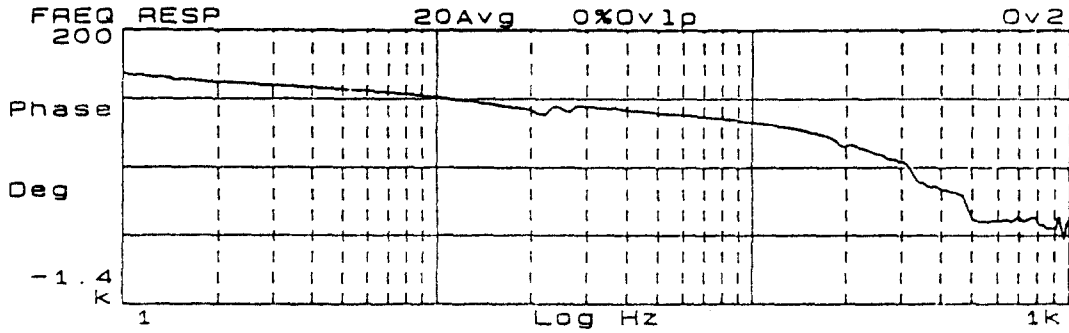


그림 6. 입력 전압 3V, 20Kg 부하에서의 주파수 응답 특성

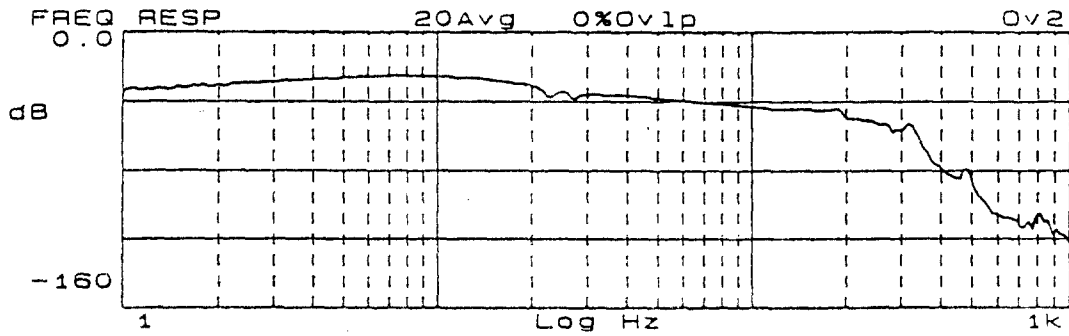


그림 7. 입력 전압 5V, 20Kg 부하에서의 주파수 응답 특성

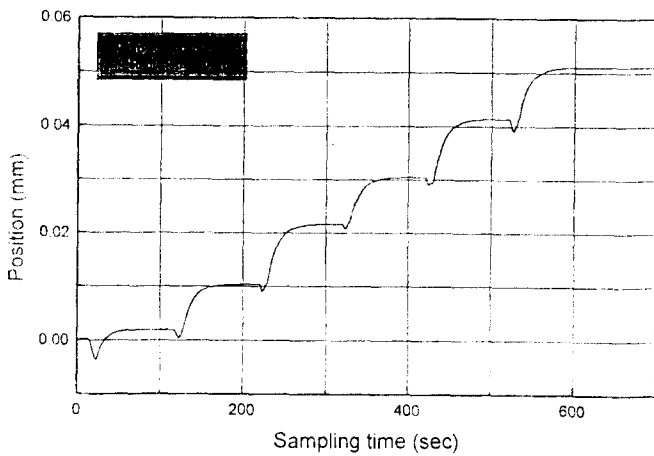


그림 8. 무부하에서의 미소 이송 정도

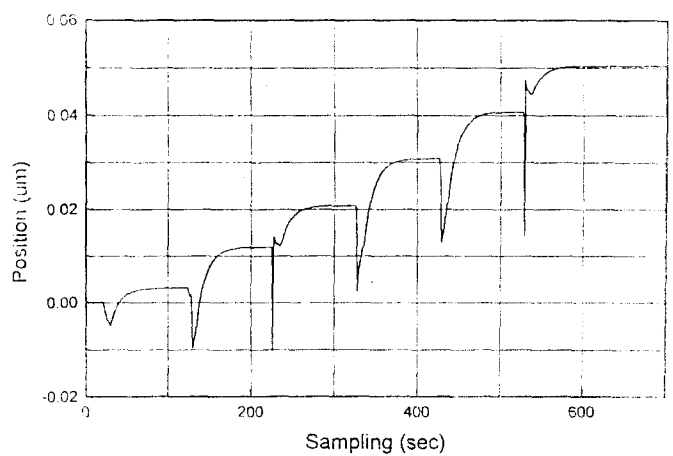


그림 9. 10Kg 에서의 미소 이동 정도

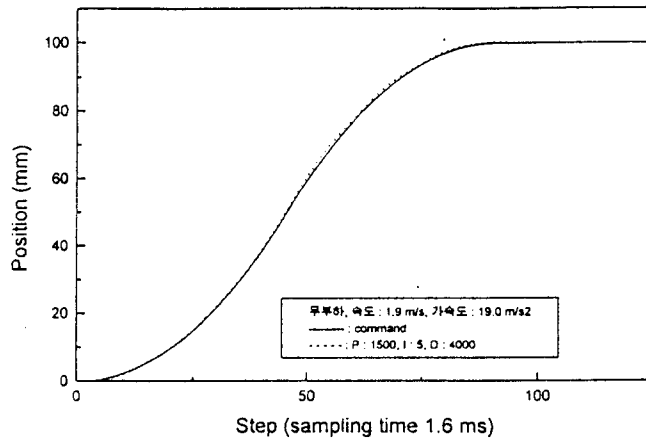


그림 10. 무부하 실험

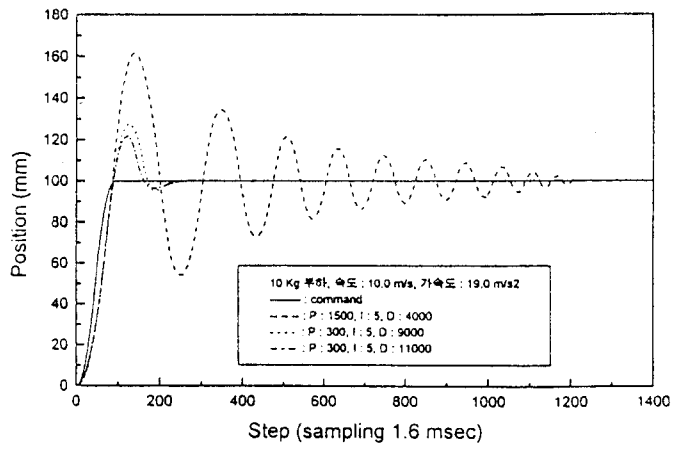


그림 11. 10Kg 부하 실험