

# Hybrid type linear motor의 개발과 구동

김문환\* · 김순호\*

\*신라대학교

## Development of hybrid type linear motor and its driving system

Moonhwan Kim\* · Soon-ho Kim\*

\*Silla University

E-mail : mhkim@silla.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 가동자 형태가 하이브리드 형의 편축식 Linear Pulse Motor(LPM)를 제작하였다. 시제품의 특성시험 정특성 및 동특성을 측정하였다. 발생추력과 영구자석의 크기의 관계를 컴퓨터 시뮬레이션으로 밝혔다. 그리고 마이크로 프로세서 제어기에 의한 마이크로 스텝구동에서 위치제어를 행하였다. 그 결과 직선운동 지령 치와 실행치의 반복 오차로 약 $\pm 1501\mu\text{m}$  이내의 값이 얻어졌다.

### ABSTRACT

A Hybrid type LPM(Linear Pulse Motor) is designed as single side stator structure. Experimental results are shown that the static and dynamic characteristics. By the computer simulation, the permanent magnet design method is also clarified to desired thrust force. And microstep driver is adopted to the position controller to the designed LPM. The driver suppressed position errors within  $\pm 1501\mu\text{m}$ .

### 키워드

Linear motor, Microstep, Microprocessor control, Pull-in, Pull-out

#### I. 서 론

한 대의 회전형 전기기기로 동기 혹은 정격속도 부근과 초 저속-고속까지 넓은 범위에 걸쳐 안정된 회전속도 및 회전 토크를 얻을 수 있는 것은 그렇게 많지 않다. 이러한 회전형 기기에서 초 저속-고속, 고 정밀 위치제어의 직선운동을 얻기 위해서는 저속용 감속장치, 치차 및 벨트 등의 직선운동 변환기 등, 다른 메카니즘을 갖지 않으면 안 된다. 이러한 넓은 속도범위에서의 속도변환용 변속기기 및 직선 운동변환기는 공장자동화 분야에서 필수적으로 요구되는 유지보수의 입장에서 바람직하지 않은 요소가 된다. 이에 넓은 속도범위에서 직선운동을 직접 얻을 수 있는 기기의 하

나로 Linear Pulse Motor(LPM)가 있다. 본 연구에서는 가동자 형태가 하이브리드 형의 편축식 시제품을 제작하였다. 시제품의 특성시험 결과 정특성 및 동특성이 개선되었음을 확인하였다. 그리고 FET 모듈을 사용한 마이크로 컴퓨터 제어기에 의한 마이크로 스텝구동에서 위치제어를 행하였다. 그 결과 직선운동 지령 치와 실행치의 반복 오차가 약 $\pm 1501\mu\text{m}$  이내의 값이 얻어졌기에 이에 보고한다.

#### II. LPM 설계 및 제작

저가격의 LPM 설계 및 제작을 목표로 하고 모

터의 pull in, pull out 등의 동특성과 가속시간의 개선을 위하여 시제품은 편축식으로 설계를 하였다. 전 가동구간에서 지지기구에 의하여 공극을 0.1mm로 일정히 유지토록 하였다. 또한 발생하는 추력과 영구자석의 두께, 면적 그리고 공극에 따른 영향을 유한 요소법에 의하여 분석 하였다. 가동자의 재질은 SM23, 고정자에는 순철을 사용하였다. 추력의 계산에는 재질에 맞추어 알려진 B-H 특성곡선의 값을 사용하였다. 영구자석은 희토류의 NEOMAG-35 (NdFeB계열)를 사용하였으며  $B_r = 1.13\text{Wb/m}^2$ ,  $\mu_r = 1.05$ 로 가정하여 사용하였다. 다음 그림 1은 제작한 편축식 하이브리드형 LPM의 설계 단면도를 나타낸다. 그림에서 forcer는 가동자, platen은 고정자를 나타낸다.

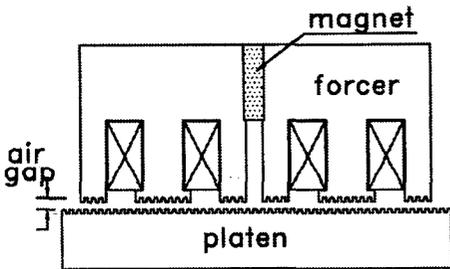


그림 1 설계한 LPM의 단면도

다음 그림 2는 리니어 스케일을 장착한 시차 LPM을 보인다.

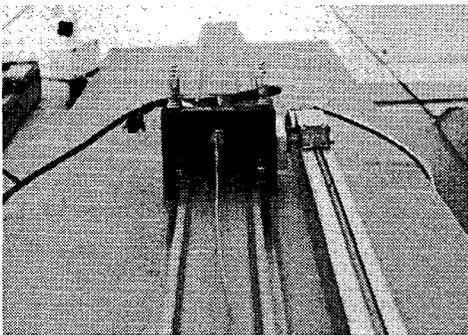


그림 2 LPM과 리니어 스케일

추력과 영구자석의 치수와의 관계를 밝히기 위하여 수치모델에 의한 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 있어서 가동자와 고정자 간의 공극의 값은 0.1mm로 하였다. 다음 그림 3과 4에 그 결과를 나타낸다.

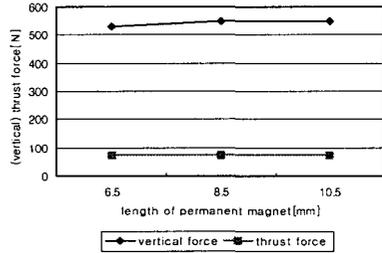


그림 3. 영구자석의 길이와 추력의 관계 (시뮬레이션 결과)

그림 3은 가동자의 운동 방향과 평행한 쪽으로 영구자석의 길이를 가변 하여 장착 했을 때, 영구자석의 길이와 추력의 관계를 구한 결과이다. 그림에서 영구자석의 길이를 6.5, 8.5, 10.5mm로 변화시켰을 때 수직력(vertical force)은 매우 원만한 상승세를 보이나 추력(thrust force)의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

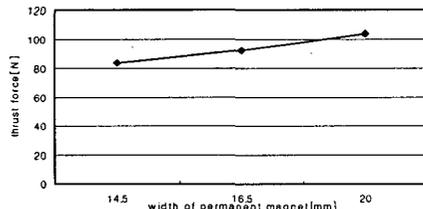


그림 4. 영구자석의 폭과 추력의 관계 (시뮬레이션 결과)

또한 그림4에서는 가동자에서 고정자 방향으로 영구자석의 폭을 14.5, 16.5, 20.0mm로 변화시켰을 때의 추력과 관계를 나타낸다. 영구자석의 폭과 추력의 변화는 거의 비례관계에 있음을 보여주고 있다. 그 결과 시제품에서는 영구자석의 길이는 4.5mm로 결정 했다. 이는 길이가 6.5mm일 때와 비교하여 추력이 70 newton으로 거의 감소를 보이지 않고, 또한 전류밀도  $1.2\text{A/mm}^2$ 로 여자(2상)하면 자속 밀도도 1.0tesla 이상 유지하여 포화상태에 다다르지 않는 점에서 선택 되어졌다. 또한, 폭의 경우, 14 ~ 20mm등으로 크게 했을 경우 필요한 추력을 얻기 위하여는 자속 상쇄에 필요한 전류 값이 정격치를 넘어 과열 문제와 자속 밀도 포화상태가 되므로 이것을 피하여 12.5 mm로 하였다.

### III. LPM의 특성시험

시뮬레이션 결과에 따라 제작된 편축식 LPM을 사용하여 모터의 정특성과 동특성을 측정하였다.

#### 3.1 정특성

먼저, 정특성으로 LPM의 정추력을 측정하였다. 고정자에 고정된 strain guage형의 load cell과 마이크로 메타를 사용하여 예자된 상태의 가동자를 밀어 변위와 추력의 관계를 측정하였다.

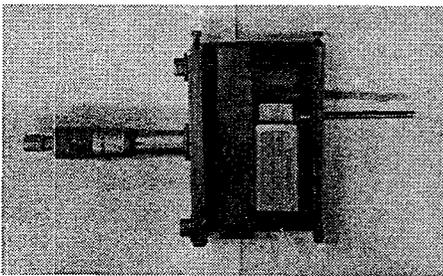


그림 5. 정추력 측정장치

먼저, 직류1A로 여자 된 상태의 가동자에 마이크로 메타를 사용하여 가동자를 밀어서 미소변위를 주었다. 이때 고정되어있는 load cell로 정추력의 일부인 holding force를 측정하였다. 가동자의 변위의 최대치는 LPM의 반 피치에 해당하는 1mm로 하였다. 그림 6에 그 결과를 나타낸다. 여자전류를 1.5A 흘렸을 때, 시뮬레이션 결과와 비슷한 70newton 가까운 값이 됨을 확인할 수 있다.

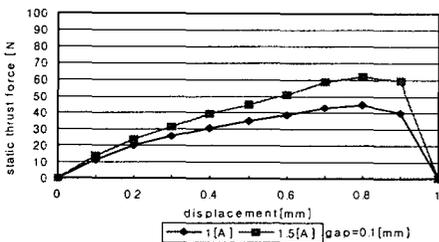


그림 6. LPM의 정특성(static thrust force)의 측정

#### 3.2 동특성

가동자가 정지된 상태에서 일정한 크기의 구형파의 펄스전원을 인가하여, start 할 수 있는 구형파의 pps와 그때의 추력을 구하는 pull in 특성과, 출발과 정지 시의 가감속시간을 제외한 정속

도로 구동되는 주파수인 slewing 주파수에서의 추력을 측정하는 pull out 특성을 측정하였다.

1) pull in 특성: 0 ~ 85 pps ( pulse per second: 0~170mm/sec)의 구형파의 일정전류를 인가한 결과, 속도범위 내에서 pulse rate에 관계 없이 움직이기 시작 (start)했다. 그때의 pull in thrust force의 측정결과를 그림 7에 나타낸다.

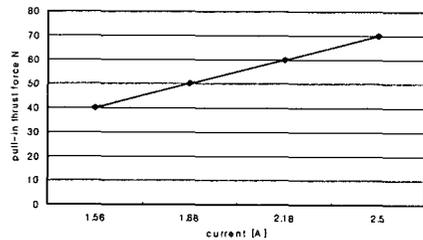


그림 7. pull in thrust force의 측정결과

2) pull out 특성: start 및 stop주파수를 30pps로 하고 slewing주파수를 100, 150, 200, 250, 500pps로 변경하면서 pull out특성을 체크하였다. 측정은 속도가 slewing 주파수에 도달한 순간의 thrust force를 측정하였다. 그림 8에 측정결과를 나타낸다.

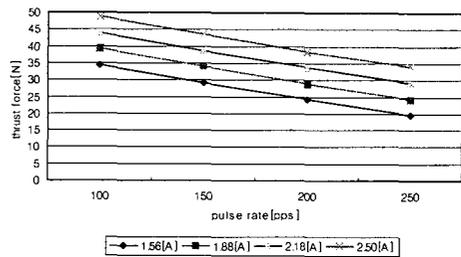


그림 8. pull-out thrust force 측정결과

3) acceleration time: start 주파수를 30 pps로 하고 slewing 주파수를 각각100, 150, 200, 250pps로 하였을 때 slewing주파수까지 도달하는데 걸리는 최소 가속시간을 측정하였다. 그 결과를 그림 9에 나타낸다.

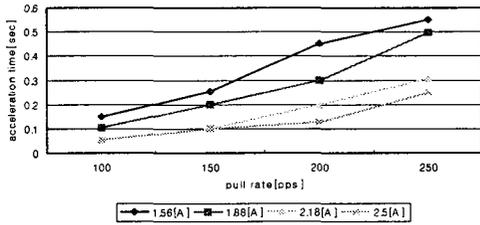


그림 9. 최소 가속시간 측정결과

IV. Micro step 방식에 의한 위치제어 실험

그림 10은 micro step방식에 의한 제어기의 블록선도를 나타낸다. 16bit CPU(8097), I/O부분, memory, logic회로, DAC, 증폭기, 전류 센서부 그리고 LPM으로 구성되어있다. 또한 소프트웨어로 LPM의 이동거리, 가감속시간, 속도 등을 변화시킬 수 있게 하였다. Micro step 분해능을 100step, 이동시간을 4sec로 하여 위치 제어한 실험결과를 그림 11에 나타낸다. 이동거리는 리니어 스케일로 측정했다. 자기회로의 비안정점에 해당하는 1/8 pitch 부근에서 최대 ± 150μm의 오차가 나왔으나, 안정점에서 30μm이내의 오차를 보였다.

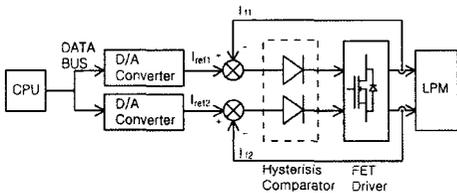


그림 10. 마이크로 스텝 구동 시스템

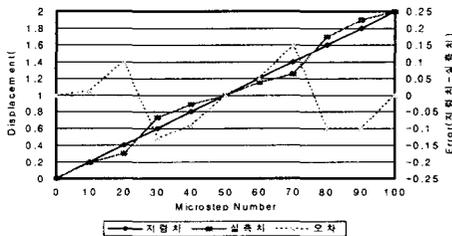


그림 11. 마이크로 스텝 구동 실험 결과

V. 결론

저가격을 목표로 한 편축식 LPM을 설계 제작

하였다. 특성시험을 위하여 실험방법을 개발, 적용하였다. 그 결과 개발한 LPM의 동특성과 가속시간의 값을 구하였다. 또한 펄스구동이 아닌 마이크로 스텝 구동기법을 적용하여 시험하였다. 자기회로의 비안정 점에서 최대 ± 150μm(± 7.5/100 pitch)의 위치 오차를 확인하였다.

참고문헌

- [1] Yamada, "산업용 리니어 모터, 공업조사회 간행(일본), 1981,
- [2] 김문환, "LPM개발과 Microstep구동", 한국자동차공학회 부산울산경남지부 2005년추계학술대회 논문집, pp 111-114