

2상 8극 HB형 리니어펄스모터의 구동특성에 관한 연구

김 일 중¹, 이 은 용², 이 민 명³, 이 명 일⁴
 주성전문대¹ 충남대학교² 대전공업대³ 세일엔지니어링⁴

A Study on the Performance Characteristics of 2-Phase 8-Pole HB Type Linear Pulse Motor

Il-Jung, Kim¹ Eun-Woong, Lee² Min-Myeong, Lee³ Myeong-Il, Lee⁴
 Jusung Junior College¹ Chungnam Univ.² Daejon Tech. Inst.³ Seill Engineering⁴

Abstract -

This paper describes the specifications of proto type linear pulse motor (LPM), the systems of driver and measurement.

Also the following characteristics of this LPM is experiments

- Static thrust characteristics
- Dynamic thrust characteristics
- Normal force (attraction force)
- Acceleration & deceleration characteristics etc.

This LPM is Hybrid(HB), Transverse field machine(TFM) type single-sided flat type, 2-phase, 8-pole

2-1. 시작기 형태 선정

LPM은 자속을 발생시키는 방법에 따라 가동자의 치를 다극 착자한 박형 영구자석으로 대신하는 형태의 영구자석(PM)형, 영구자석을 가지지 않고 여자권선이 만드는 자속에 의해 추력을 발생하는 가변 리럭턴스(VR)형, 그리고 영구자석을 두 철심 사이에 삽입하거나 없는 형태의 하이브리드(HB)형이 있다. 본 연구에서는 기계적 전기적인 원인으로 진동, 소음, 탈조등의 문제점이 발생하는 LPM의 결점을 보완하고 개선하기 위해 시작기의 자기회로 구성, 상수, 극당 치수, 영구자석과 전자석의 크기, 치(tooth)의 기하학적 형상등을 종합적으로 검토하여 결정하였다.

시작된 LPM은 여자상의 절환시 발생할 수 있는 자로길이의 차이가 없으며 VR형에 비해 단위 입력당 추력이 크기 때문에 실용화에 유리하다고 판단되는 하이브리드 형태로 제작하였다.

하이브리드형 LPM은 영구자석 자속이 통과하는 방향에 따라 자속 종방향형(LFM)과 자속횡방향형(TFM)으로 구분되는데 LPM은 영구자석의 자속 방향과 가동자의 이동 방향이 동일하기 때문에 여자상의 절환에 따라 각 상 마다 자로의 길이가 달라지게 되어 진동과 소음의 원인으로 작용하는 결점이 있다. TFM은 가동자의 쇄고 자속 방향과 가동자의 운동 방향이 직각이면서 여자상의 변화에도 자로길이의 변화가 작은 장점이 있다. 따라서 TFM이 LFM에 비해 자기적 간섭을 적게 받아 동일 여자전류 값에서 정추력이

1. 서론

HB형 LPM(Hybrid type Linear Pulse Motor)은 다양한 분야에서의 응용이 가능한 액츄에이터로서 예를 들면 직접구동(direct drive) 방식으로 PCB조립라인, 봉제산업, 자동검색장치, 코일권선기, 의료용기기, 자동반송장치, 레이저 가공 시스템, 반도체 웨이퍼 가공, OA용 기기의 헤드(자기기록장치) 및 펜(X-Y 레코더)구동용으로 사용될 수 있다.

다양한 LPM 기종 가운데 시작기로 설계 제작된 LPM은 기계적 구조가 간단하며 가동자의 이동 자유도가 높고 진동과 소음을 경감시킬 수 있는 구조로서 자로구성은 HB형, 자속횡방향형(TFM), 이동자의 형태는 편축식, 2상8극형이다.

저자는 LPM에 관한 일반적인 내용과 자기회로 설계를 위한 각종 해석방법 그리고 본 연구를 위한 시작 LPM의 자기회로설계와 제어방법에 관하여 발표하였다. 1, 2, 3) 본 연구에서는 시작기의 선정, 제작에 필요한 구성재료, 전기기계적 사양등을 소개하고, 시작기의 구동을 위한 구동회로와 구동회로 제어 및 측정데이터의 처리를 위해 각종 센서, 인터페이스 보드, PC를 포함하는 계측구동시스템을 구성하고 제작한 LPM과 조합하여 행한 구동특성 실험의 결과를 보고 하고자 한다.

2. LPM 시작기

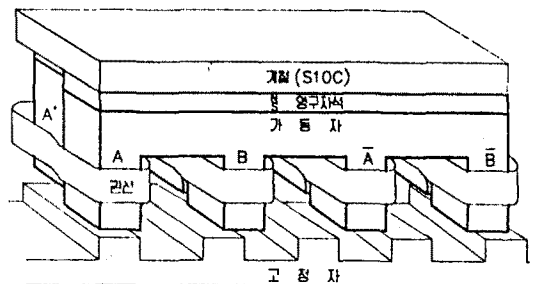


그림-1. 試作LPM의 구조도(가동자철심A, B가 1/2치피치어긋난구조)

크다. 4.5) 또한 2상 여자시 4극 TFM형 LPM에 비해 각 상 권선이 만드는 자속이 영구자석을 통과하지 않고도 각 철심에서 독립적으로 자료가 구성되는 8극 TFM형 LPM으로 설계하여 영구자석의 영향을 적게 받도록 하였다. 그림-1은 시작기의 구조도로서 가동자를 구성하는 2개의 철심 A와 B는 0.35[mm] 규소강판 80장을 성층하여 제작하고 각 철심은 1/4 피치 어긋난 4개의 극(pole)으로 되어 있다. 각 극은 치피치 3.5[mm]인 4개의 사다리꼴 형태의 치를 갖는다.

철심 A, B 사이에는 가동자의 기계적 강도를 높이기 위해 5[mm]두께의 비자성체를 끼워 서로 1/2피치 어긋나게 조립하였다. 고정자는 가동자와 동일한 치피치로 가동자의 철심에 대항하는 유도자로서 치열의 어긋남이 없이 일정하게 조립하였다. 가동자와 고정자의 치 형태는 동일한 입력에서 각형 구조와 비교하여 평균추력은 동일하고 수직력(흡인력)을 1/3정도 감소시킬 수 있는 사다리꼴 형태로 가공하였다. 시작기의 정면도와 측면도를 그림-2, 그림-3에 나타내고 있다.

2-2. LPM의 구성재료

2-2-1. 가동자 구성재료

철심재료로는 무방향성 규소강판(0.35t)을 사용하여 철심 A, B 각각 80장씩 성층하였다. 또한 여자권선으로 사용한 여자코일은 에나멜 코팅의 직경 0.8[mm], 피막종류 0종, 내열온도 200°C, 권수 260[턴/극], 형권코일 4개, 저항 2.7[Ω], Unifilar권이다. 전자석의 모델 및 치수는 그림-4와 같다.

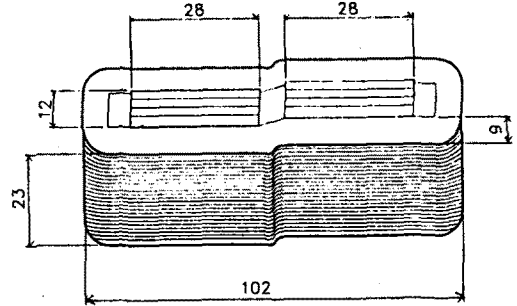


그림4. 전자석의 모델 및 치수

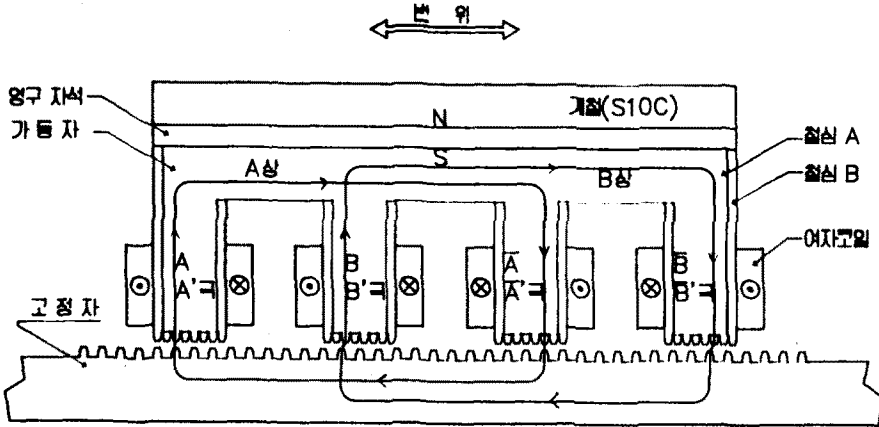


그림 2. 試作LPM의 정면도

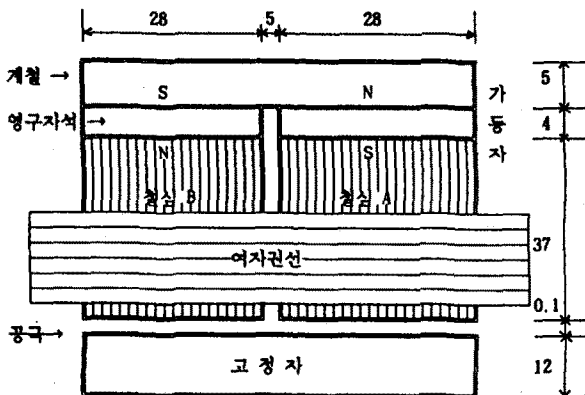


그림-3. 試作LPM의 측면도

가동자 철심 A, B에 부착한 회로용 영구자석은 Nd-Fe-B를 사용하였으며 본 시작기의 설계에서는 자기적 밸런스를 중요시하여 영구자석을 철심 상단에 부착하는 방법을 택하였다. 철심 상단 부착용으로 제작한 영구자석은 Co-계 자석에 비해 최대 에너지적 밀도는 13%정도 적은 Nd-계 자석으로 다음 표.1과 같은 특성을 갖는다. 그림-5는 사용된 영구자석의 감자곡선이다. 6)

표.1 Nd-Fe-B자석의 특성값

| 영구자석 재질 | 크기 [mm] | 간류자속 밀도[T] | 보자력 [kOe] | 큐리온도 [°C] | 최대사용 온도[°C] | 최대에너지 밀도[MGOe] |
|---------|---------|------------|-----------|-----------|-------------|----------------|
| Nd-Fe-B | 55x30x4 | 1.08-1.13 | 224-240 | 320-360 | 150 | 28-30 |

영구자석 자료를 구성하는 자모형성판(back plate)은 저탄소강 (S10C)을 사용하였으며, 위와 같은 가동자 전체를 고정 지지하는 프레임의 재질은 가벼우면서도 열변형이 적고 열전도율이 좋은 듀랄루민(duralumin)을 사용하고 있다.

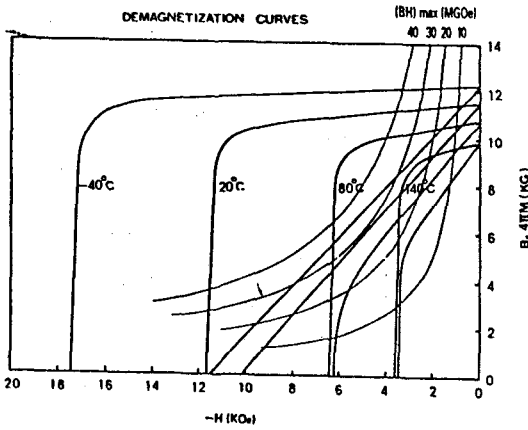


그림-5. 영구자석의 감자곡선

2-2-2. 고정자 구성재료

고정자의 철심재료는 가동자와 동일한 규소강판(0.35t)을 180장을 성층하여 제작하였으며, 철심을 지지하는 프레임도 가동자의 경우처럼 듀랄루민을 사용하였다.

지지기구는 TRK사의 LM 가이드를 사용하여 가동자와 고정자 사이의 공극을 0.1[mm]로 일정하게 유지하고 있다. 각종 이동재질의 접촉재로는 열경화성 에폭시를 사용하였다.

2-3. 전기기계적 규격

시작한 LPM의 전기 기계적 규격은 표.2와 같다.

표.2 試作 LPM의 규격

| 기 계 적 규 격 | | | 전 기 적 규 격 | | |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------------|---|--|
| | 항 목 | 크 기(단위) | 항 목 | 크 기(단위) | |
| 가동자 motor | No. of tooth | 4 [ea/pole] | Number of poles | 8[ea] | |
| | Pitch (τ) | 3.5[mm] | Turns of coils | 260[turn/pole] | |
| | Width of tooth | 1.5[mm] | Diameters of coils | 0.8[mm] | |
| | Width of slot | 2.0[mm] | Exciting current | 2 [A/phase] | |
| | Shape of tooth | wedge | Voltage | 30[V] | |
| | Depth of slot | 2.0[mm] | MMF | 260[A/pole] | |
| | Shape of slot | rectangular | Resistance of coils | 1.35[Ω /phase] | |
| | Dimension | 109x60x45 [mm] | Dimension of PM | 110.8x30x4[mm] | |
| | Pole pitch | 32.375[mm] | Material of PM | Nd-Fe-B Br=1.1[T] He=830[AT/m] W=7.4[g/cm ³] | |
| | Width of pole | 12[mm] | | | |
| Electric steel | 0.35mmx80ea x2ea | | | | |
| 공극 airgap | Length | 100 [μ m] | Magnetic flux of airgap | [T] | |
| 고정자 stator | Pitch (τ) | 3.5[mm] | Stroke | 445[mm] | |
| | Width of tooth | 1.5[mm] | Velocity | 130[mm/s] | |
| | Width of slot | 2.0[mm] | Self starting frequency | 140[pps] | |

| | | | |
|----------------|----------------|--------------------|--------------|
| Depth of slot | 2.0[mm] | Length of step | 0.875[mm] |
| Shape of tooth | wedge | Method of exciting | 1, 1-2 phase |
| Shape of slot | rectangular | Method of control | Open loop |
| Dimension | 558x66x12 [mm] | | |
| Electric steel | 0.35mmx180 | | |

3. 구동회로

3-1. 구동회로의 개요

LPM은 가동자가 스텝 형태로 동작하는 선형 모터로서 구동회로에 1개의 펄스를 부여하면 기본적으로 1스텝 만큼만 이동한다. 따라서 이 모터는 부여되는 펄스수의 조정에 의해 가동자의 변위를 제어할 수 있다. 즉 개투프의 위치결정 제어가 가능하게 된다. 또 디지털신호인 펄스주파수에 의해 가동자의 속도가 결정되며 구동회로도 디지털적으로 동작하므로 마이크로프로세서와 결합하기 쉬운 모터라고 할 수 있다. 우선 구동회로는 다음과 같은 기본적인 성질을 가지고 있어야 한다.

- 1)여자를 시작하는 시점에서 권선의 인덕턴스를 극복하면서 전류를 급속히 흘릴 수 있어야 한다.
- 2)여자를 끝내는 시점에서 권선에 흐르는 전류를 가능한 빨리 차단하며 동시에 권선에 발생하는 역기전력으로 트랜지스터가 파손되는 것을 방지하여야 한다.

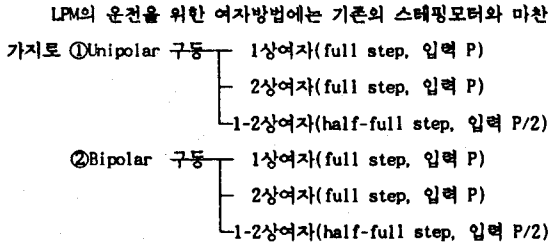
이상과 같은 조건을 기본으로 시작 LPM구동용 드라이버를 제작하였다. 또한 현재의 LPM구동회로는 LPM 전용으로 설계 제작된 것이 아니며 스텝모터용 구동회로에 전류값만을 고려한 것이 대부분이다. 이에 비해 고분해능 드라이버에서는 각상에 흐르는 여자전류의 비를 변화시켜 보통 1스텝 사이를 여러개의 마이크로스텝으로 분할한다. 이것은 기본적으로 반스텝(half step) 구동과 비슷하지만 반스텝 구동이 두 상에 동시에 같은 량의 전류를 흘리는데 비해 각 마이크로스텝의 위치에 대응하여 각 상전류를 미세하게 제어하는 방식이다. 7)

일반적으로 1스텝량은 치피치에 의존하기 때문에 미소변위 구동이 가능하려면 치피치를 작게하면 되지만 기계적인 가공 기술과 제작비용 면에서 통상 치피치의 한계를 1mm로 보고있다.

예를 들면 치피치 1.6mm의 LPM을 일반 구동회로로 구동할때 1상이나 2상여자(full step구동)의 경우 0.4mm, 1-2상여자(half-step구동)시에는 0.2mm의 스텝량이 된다. 이 LPM을 250분할의 고분해능 드라이버로 구동하게되면 스텝량은 0.4mm/250 = 1.6 μ m가 된다. 이처럼 고분해능의 구동회로를 채택함으로써 sub-micron 스텝 구동이 가능하여 위치결정 정밀도를 확보할 수 있을 것이다. 또한 LPM도 일반 스텝모터와 마찬가지로 저속에서 목표위치에 가동자를 정지 시키고자 할때 그 위치를 중심으로 고유진동이 있다. 이 진동은 미시적으로 1스텝 마다 발생하는 것이며 저속에서 더욱 뚜렷하게 나타나게 된다. 이와 같은 현상은 고분해능 구동회로에서 무시해도 될 만한 크기가 되어 미세한 진동도 허용되지 않는 광학장치에 LPM의 응용이 바람직하며 안정된 초저속 구동에도 이용 될 수 있다.

따라서 LPM은 단독으로서가 아니라 고분해능 구동회로와 결합한 하나의 토탈 시스템으로 발전될 것으로 판단된다.

3-2. 여자방법



등이 있으며 본 LPM은 가동자와 고정자의 대향하는 치의 상호 위치 관계와 가동자의 극배치가 Bipolar구동만 가능하도록 되어 있다. 따라서 시작기는 Bipolar, 1상여자, 2상여자 1-2상여자 모두 구동되도록 하였다.

3-3. 구동회로 구성

소형LPM의 구동시 코일을 시간적으로 공백이 없이 이용하면 효율 면에서 유리하다. 따라서 1상여자 보다 2상여자 방법이 유리하고 스위칭 회로의 한쪽을 공통점으로 하여 전류의 흐름이 단방향인 unipolar 방식보다 스위칭 회로를 브리지 형태로 구성하여 전류의 방향이 쌍방향이 되도록 구동하는 bipolar구동이 코일의 이용율을 높일 수 있다. 영구자석을 가진 HB형 LPM의 구동시 bipolar 2상여자 방식을 사용하면 unipolar 2상여자 보다 25~30% 정도 추력의 증가를 기대할 수 있다.⁸⁾

본 시작기 구동용 드라이버는 그림-6 처럼 스위칭 소자의 드라이브 회로가 비교적 간단한 N Ch. MOSFET를 사용하여 브리지 형태로 제작하였다. I/O 보드와 드라이버의 인터페이스는 포토커플러(TLP 521-4)를 사용하였으며 power MOSFET는 Source와 Drain사이에 Diode를 가지고 있는 APT사의 APT5040BN(V_{DS} : 500V, I_D : 14A)이다.

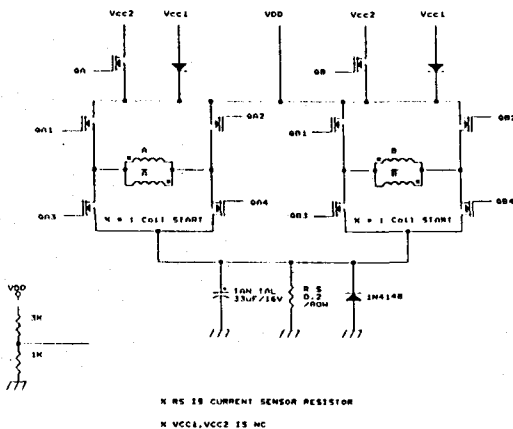


그림-6 브리지 형태의 LPM 구동회로

4. 계측시스템구성

4-1. LPM의 특성파라미터

LPM의 성능을 결정하는 특성값에는 ①추력/입력[N/kW], ②추력/질량[N/kg], ③추력/체적[N/L], ④추력/치단면적[N/m²] 등이 있다. 여기서 추력이란 최대동추력을 나타내며, 질량과 체적은 가동자와 고정자 전체의 값이 아니라 추력을 발생하는 작용면적에 해당하는 부분만의 질량과 체적을 말한다. 치단면적은 추력이 작용하는 치단의 면적이다. 또한 LPM의 입력, 출력, 부하 파라미터는 그림-7에 표시하였다.^{9, 10)}

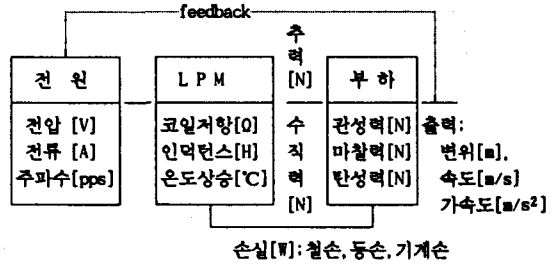


그림-7. LPM의 특성 파라미터

4-2. 측정항목

시작 LPM에서 얻을 수 있는 LPM의 특성은 다음과 같은 실험 측정을 가지고 분석하여 얻는다.

- 정추력특성
- 속도특성
- 수직력특성
- 동추력특성
- 자기동주파수
- 최대응답주파수
- 입출력특성

4-3. 각종 파라미터 측정용 센서

추력측정용: 로드셀, 디스플레이, 스프링, 헤드
 변위측정용: 엔코더, 타이밍벨트, 풀리
 탐색코일 : 0.8[mm], 26[turns]

4-4. 계측시스템 구성

계측 및 구동 시스템은 그림-8과 그림-9와 같이 구성되어 시작기의 특성실험을 행하였다.

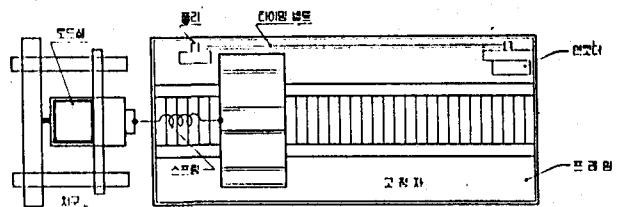


그림-8. 계측 및 구동시스템 개념도

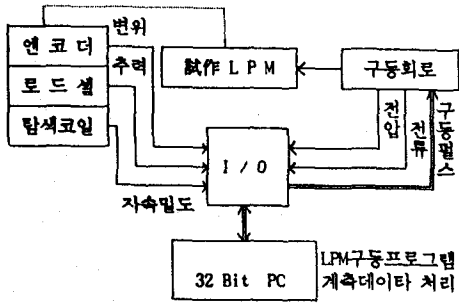
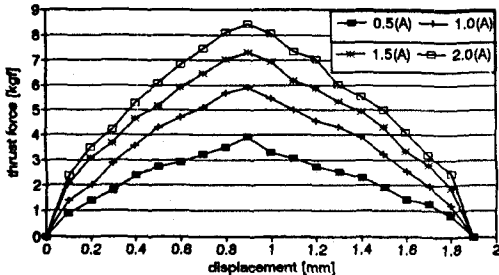


그림-9. 계속 및 구동시스템 블록도

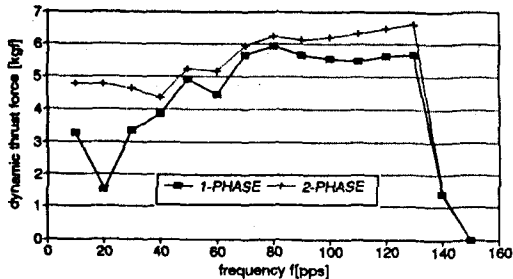
5. 구동특성 실험

그림-8,9와 같이 시작 LPM과 조합한 계속구동시스템에 의해 얻은 데이터를 분석하기 위해 정추력 특성, 동추력 특성, 수직력 특성, 그리고 가감속 특성을 그림-10, 11, 12, 13에 각각 나타내고 있다. 이상과 같은 특성 외에도 시작기의 자기동주 파수, 최대응답파수, 임출력 특성, 온도특성등을 측정하여 분석하였다.



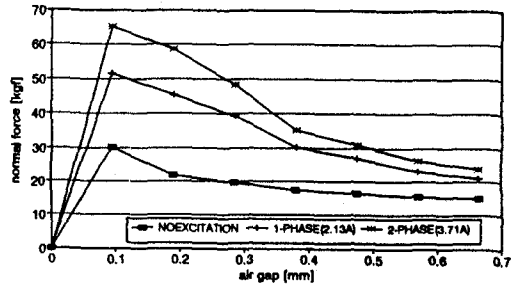
STATIC THRUST FORCE CHARACTERISTICS (TWO-PHASE EXCITATION)

그림-10. 변위-정추력 특성



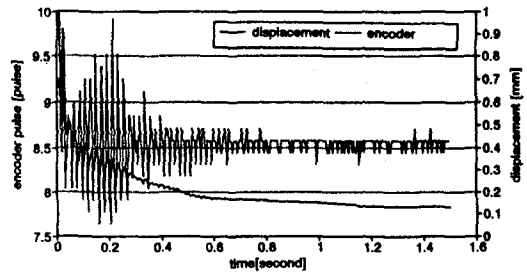
DYNAMIC THRUST FORCE CHARACTERISTICS [1-PHASE, 2-PHASE 2.2 A]

그림-11. 주파수-동추력 특성(여자전류 2.2A)



NORMAL FORCE CHARACTERISTICS

그림-12. 공극 - 수직력 특성



STARTING CHARACTERISTICS

그림-13. 가감속 특성

6. 결론

다양한 응용분야에서 요구되는 직선왕복 운동을 기회로제어 (open loop control), 직접구동(direct drive) 방식으로 얻을 수 있는 새로운 액츄에이터로서 이미 발표된 다양한 LPM의 특징을 발체하여 새로운 형태의 LPM을 설계하고 특성실험을 위한 계속구동시스템을 갖는 시작기를 제작하여 각종 구동특성을 시험하므로써 LPM이 직선왕복운동용 액츄에이터로서 우수한 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 또한 앞으로 해결해야 할 과제는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 저속에서의 추력리플을 제거하여 원활한 구동특성을 구현
- 폐회로 구동을 위한 전원장치 제작 및 제어알고리즘 작성
- 각종 자기회로 해석방법에 따른 해석의 정밀도 분석
- 효율을 높일 수 있는 새로운 자기회로 설계
- 초소형 LPM의 제작
- 영구자석형 LPM의 제작과 지지기구의 개선

참고문헌

1. 이은용, 김일중, "직선형 펄스 전동기(Linear Pulse Motor)", 대한전기학회지, Vol. 39, No. 9, pp. 39-45, 1990. 9
2. 이은용, 김일중, "LPM의 자기회로 설계를 위한 해석방법", 대한전기학회추계학술발표, pp. 32-36, 1990. 11
3. 김일중, 이은용, 이진명, 이명일, "2상8극 영구자석형 LPM의 자기회로 설계와 제어방식에 관한 연구", 대한전기학회추계학술발표, pp. 47-50, 1991. 7
4. 酒井洋, "리니어스텝모터의 자기회로 설계", 電子情報通信學會論文誌, Vol. C-64, No. 10, pp. 682-689, 1981. 10
5. 海老原 外, "2상8극형리니어펄스모터의 특성해석", 일본전기학회논문지 D, Vol. 108, No. 1, pp. 77-82, 1988. 1
6. KOREA MAGNET ALLOY CATALOG, 1991
7. "리니어모터 응용 핸드북", 도서출판 세화, 1988
8. 見城尚志, "스테핑모터의 기초와 응용", 総合出版社, pp. 90-93, 1988. 5
9. "리니어모터와 그 응용", 일본전기학회, pp. 163-179, 1984
10. T. Yokozuka, E. Baba, "Force-displacement Characteristics of Linear Stepping Motors", IEE Proc. -B, Vol. 139, No. 1, 1992