



# 리니어펄스모터의 신기술 동향

김 성 현\*, 이 은 응\*\*

(\*천안공업대 제어계측과 교수, \*\*충남대 공대 전기공학과 교수)

## 1. 서 론

최근 전자산업이 급격히 발달함에 따라 반도체 제조장비 등을 포함한 산업용로봇, 사무자동화(OA), 정보단말기, 공장자동화(FA) 분야등에 리니어 펄스모터(LPM)의 이용이 활발해지고 있다. LPM은 소형·경량이 가능할 뿐만 아니라 가동부가 비접촉으로 직선구동이 가능하므로 특성의 경년변화가 적고, 보수성, 신뢰성이 우수하기 때문에 메카트로닉스 기술의 향상과 더불어 모터와 제어기의 일체화를 이루어 사무자동화, 공장자동화 분야의 사용목적에 적합하게 개발될 전망이다.

따라서 컴퓨터 주변기기, 인공심장용 액추에이터, 로봇 등의 구동용으로 LPM을 사용하면 (1)주행거리와 입력펄스수가 완전히 비례하고 (2)펄스 주파수와 속도가 비례하며 (3)무여자시 자기유지력이 존재하고 (4)주행거리에 의한 누적오차가 없으며 (5)초저속 구동이 가능하고 (6)미세스텝 구동으로 정밀위치 제어가 가능하며 (7)정전류 구동시에는 탈조를 방지할 수 있고 (8)단위입력당 추력이 가장 크다는 등의 장점을 가지게 된다. 특히 최근에는 전자제어 기술의 발달에 힘입어 초저속·고속 및 고정밀도의 위치결정이 필요한 비례제어 밸브구동용 서보모터로 LPM의 도입이 시도되고 있다.[1]

따라서 본 고에서는 LPM의 역사와 연구동향을 알아보고, 충남대 전기에너지변환기연구실에서 실제제작한 시작기 HB형 2상 8극형 LPM을 중심으로 동작원리를 소개하고 성능평가 항목 및 측정기술에 대하여 설명하고자 한다.

## 2. LPM의 개발과 연구동향

### 2.1 각종 리니어모터의 개발역사

리니어모터가 1841년 최초로 영국에서 개발된 이래 꾸준히 발전해 온 150여년의 기간을 암중모색시대, 집중개발시대, 다극화 시대의 3시대로 나누어 생각해 볼 수 있다.[2][3]

(1) 암중모색시대(1841~1955) : 리니어 모터 개발에 있어

서 여러 가지 시행착오를 가져온 시대이며 많은 연구자들이 노력을 했지만 동시대에 급성장한 회전기에 밀려 양산화되지 못한시대였다.

(2) 집중개발시대(1956~1979) : 1956년 영국의 Laithwaite가 리니어유도모터(LIM)에 대한 실험결과를 계속 발표하면서 이의 이론화를 시도하였으며, 제2차세계대전 후 세계의 많은 연구자들은 LIM을 매력적인 연구소재로 부상시켰다. 그러나 LIM 개발의 한계에 부딪히게 되고 부하의 용도에 맞는 리니어모터로 고속운송 리니어동기 모터(LSM), 고정밀도 위치결정용 리니어펄스모터(LPM), 팬데코더 응용 리니어직류모터(LDM) 등을 개발한 시대였다.

(3) 다극화시대(1980~1998) : 1980년 일본전기학회에서 리니어모터를 연구대상으로 한 “자기액추에이터 조사전문위원회”를 설립하여 지금까지 개발된 리니어모터를 분류하고 체계화하여 각종 리니어모터의 장·단점을 정리하고 리니어모터에 관한 용어 및 특성측정법을 정비하였다.[4][5]

이 성능 평가기준에 따른 위치결정기능면에서 LIM은 고속, 대추력제어에 적합하고, LDM은 저추력, 정밀위치 제어에 사용되며, LPM은 개루프제어특성이 우수한 리니어모터로 평가되었다.

각국에서 발표한 리니어모터의 연구보고(1986년~1993년)는 일본이 2033건으로 미국의 140건에 비해 압도적으로 많고, 기타 영국 등 24개국에서 발표되었다. 이 기간동안 우리나라는 단 1건만 보고되어 있으나 최근 학계, 연구소, 산업체에서 LIM, LPM, LDM에 대한 설계 및 특성연구가 꾸준히 진행되면서 많은 성과를 이루고 있다.

### 2.2 LPM의 연구동향

리니어 모터에 대하여 가장 활발히 연구되고 있는 일본의 경우 1992년 LPM의 연구논문 편수가 235편으로 신장율 32%를 나타냈으며 우리나라는 시작기 리니어 모터 설계·제작 수준으로 폭넓은 상용화를 위해서 많은 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

상용화를 위한 LPM의 응용분야로는 반도체 제조장비, 인공심장용, 각종 의료장비, 컴퓨터 주변기기, 음향기기, 원자로 등 액추에이터를 필요로 하는 모든 산업분야에 폭넓게 응용될 수 있다.

이 LPM은 1966년 미국의 Fredrickson이 가변 릴럭턴스(VR)형과 하이브리드(HB)형을 특허출원을 하면서 연구되기 시작하였고 1968년에는 자동 제도에기에 응용되었으며 Sawyer는 3상 가변 릴럭턴스형 공기 부상식으로 개발하였다.

최근 리니어 센서와 디지털 제어를 이용한 리니어 서보시스템의 발달로 새로운 형태의 소형경량화, 고속화, 고정밀 위치제어에 적합한 LPM 연구의 필요성이 제기되면서 미국이나 일본 등지에서 편축식 LPM, 지지기구의 부담을 줄일 수 있는 양축식 LPM, 원통형 LPM 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[3]

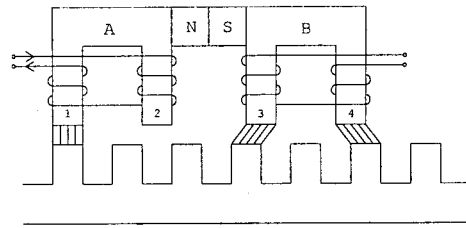
### 3. LPM 기본이론

LIM은 유도기, LDM은 직류기, LSM은 동기기에서 그 구동원리를 찾을 수 있는 것처럼 LPM은 회전형 스텝모터에서 그 구동원리를 찾을 수 있다. 그래서 LSM(linear stepping motor)로 표기하는 문헌도 있지만 최근에는 LPM으로 통일되어 표기되고 있다.

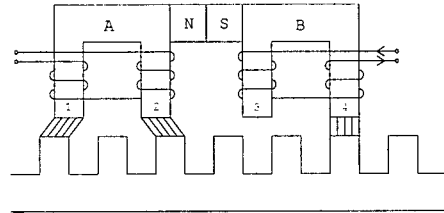
LPM에서 가동자의 이동속도는 주어진 입력 펄스의 주파수로 결정되며, 가동자의 이동거리(변위)는 입력 펄스 신호에 동기되어 이동하기 때문에 반드시 기어 형태의 치(tooth)와 구(slot)의 형태를 가지며 직선 추력은 가동자의 변위에 따라 가동자와 고정자 사이의 퍼미언스 값이 변화하여 발생하기 때문에 가동자와 고정자 사이에 일정한 공극을 유지하여야 한다. 따라서 LPM의 구는 회전기에서 코일을 감기위한 슬롯과는 다르다.

그림 1은 영구자석을 이용한 전형적인 LPM의 예로서 Sawyer의 구동원리를 나타내고 있다. 영구자석과 돌극을 갖고 있다는 점에서 하이브리드형 전동기와 매우 유사하다. 코일 1과 2는 극성이 반대가 되도록 직렬접속으로 되어있으며, 코일 3과 4도 같은 형태로 연결되어 있다. 그림 1(a)에서 A상에 화살표 방향의 여자전류를 흘리면 극 1에서는 자계가 증가하지만 극 2에서는 영구자석의 자계와 전자석의 자계가 서로 상쇄되어 그림 1(a)의 위치에서 정지하게 된다. 이 때 B상에서는 자력의 균형이 유지되고 있다. B상에 여자전류를 흘리면 극 4의 자계는 증가하고 극 3에서는 상쇄되어 그림 1(b)의 위치에서 정지한다. 즉 그림 1(a)의 위치에서 1/4 피치 진행된다. 다시 A상에 앞의 경우와 다른 방향으로 전류를 흘리면 가동자는 1/2 피치 이동된 그림 1(c) 위치에서 정지하게 되고 B상에 그림 1(b)의 경우와 반대 방향의 전류를 흘리면 다시 1/4 피치 이동하여 그림 1(d)의 위치에서 정지하는 패턴으로 구동된다.

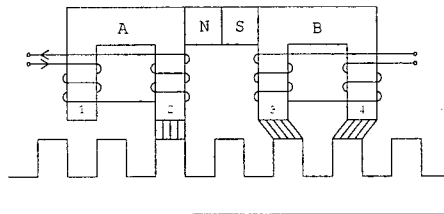
따라서 이와같은 구동 원리에 적합한 구동전압 장치가 필요하며 이 구동장치에는 미세 정밀 구동과 오차보정, 노이즈 제거등의 보완이 필요하다.



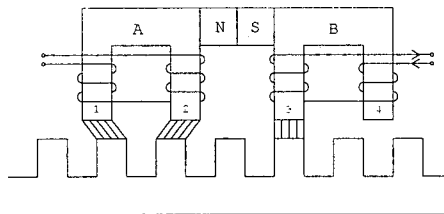
( a )



( b )



( c )



( d )

그림 1. Sawyer형 LPM의 자로 구성도

### 4. LPM의 종류

#### 4.1 LPM의 일반적인 분류

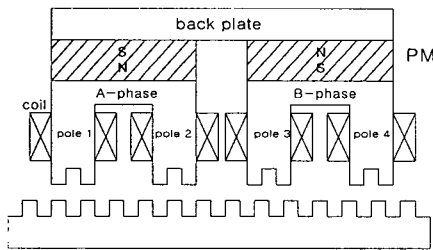
표 1. LPM의 분류

분류방법	형 태
자기회로의 구성	PM형, VR형, HB형
자기회로의 상수	2, 3, 4, 5상
치와 구의 형태	각형, 반원형, 사다리꼴
기하학적 구조	평판형(편축식, 양축식), 원통형
기동부 선택	1차축, 2차축
여자 방법	1상여자, 2상여자, 1-2상 여자
구동 방법	유니폴라, 바이폴라, 정전압, 정전류
권선 방식	모노파일러, 바이파일러권
공극지지 기구	롤러 베어링, 마그네틱 베어링, 에어 베어링

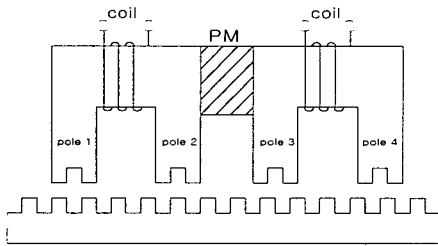
LPM은 구동에 필요한 소요자속을 발생시키는 방법에 다른 자기회로의 구성, 기계적인 형태, 여자방식 등에 따라 일반적으로 표1과 같이 분류된다.

4.2 자로구성에 따른 분류

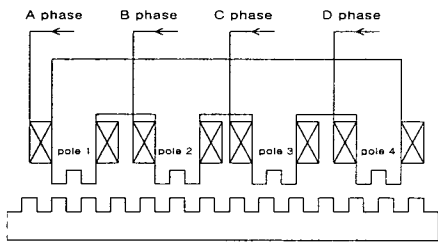
자로구성에 의한 종류 및 각각의 특징은 표 2와 같고 이들 자로 구성은 그림 2와 같다. 그림 2에서 (a)는 영구자석을 철심 상단에 접촉시키는 형태의 HB형 LPM이며, (b)는 영구자석을 철심사이에 삽입하는 형태의 HB형 LPM이다. 또한 (c)는 VR형 LPM을, (d)는 PM형 LPM을 각각 나타내고 있다.



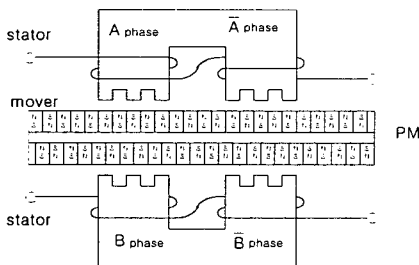
(a) HB type, single-side LPM(1)



(b) HB type, single-side LPM(2)



(c) VR type, single-side LPM



(d) PM type, double-side LPM

그림 2. LPM의 자로구성에 의한 분류

표 2. LPM의 자로구성에 의한 분류

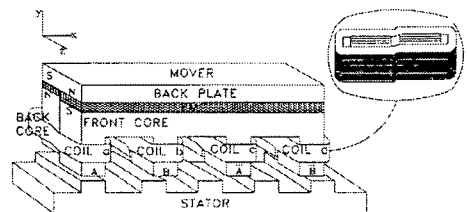
종류	장점	단점
가변릴럭턴스형 (VR형)	①구조가 간단함 ②관성이 작아 응답성이 좋음 ③소음이 적고 고속 운전이 가능함	무여자시 보자력이 없음
영구자석형 (PM형)	①한계추력이 영구자석 성능에 비례함 ②면적당추력비가 HB, VR형의 3배임	착자 및 제작기술이 어려움
하이브리드형 (HB형)	①자속의 1/2을 영구자석이 부담하여 소비전력이 작음 ②교번자계이기 때문에 바이폴라구동이 가능하며 효율이 좋음	소음, 진동이 있음

5. HB형 2상 8극 LPM

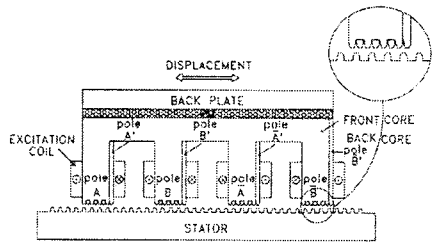
5.1 구조와 특징

그림 3의 시작기는 충남대학교 에너지변환기연구실에서 제작한 2상 8극 하이브리드형, TFM형, 편축식 LPM이며 자기회로 구성은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.[7]

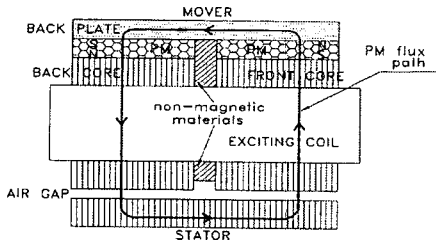
- (1) 하이브리드형 LPM은 여자상의 절환시 발생할 수 있는 자로길이의 차이가 없으며 가변 릴럭턴스형에 비해 단위 입력당 추력이 크고 정추력 특성곡선의 안정점에서 스티프니스가 커서 위치 정밀도가 매우 우수하다.
- (2) 2상 여자시, 여자전류에 의해 발생하는 자속이 영구자석을 통하지 않고도 각 철심에서 독립적으로 자로가 구성되기 때문에 영구자석의 영향을 적게 받는다. 그리고 여자상 절환시 동추력 특성의 변화를 경감시킬 수 있기 때문에 미세스텝 구동으로 발생하는 진동과 소음을 감소시키고 위치 정밀도를 높일 수 있다.
- (3) 2상 8극 TFM형 LPM으로 구성되어 있기 때문에 영구자석의 자속 방향과 가동자의 운동 방향이 직각이면서 여자상의 변화에도 자로길이의 변화가 작으며 동일 여자전류 값에서 정추력이 크다.
- (4) 2상 8극 TFM형 LPM에서 고정자의 앞뒤철심의 치열을 어긋나게 조립하는 것은 가동자에 비해 성층 철심의 길이가 길어 기계적, 열적 변형으로 인한 가동자 치와의 일정 대향 위치를 가지기 어렵기 때문에 성층 철심의 길이가 짧은 가동자의 앞뒤철심의 치열을 어긋나게 하는 것이 제작오차를 작게 한다. 따라서 시작기 LPM은 그림 3과 같이 가동자의 앞 뒤 철심을 1/2 치간격 만큼 어긋나게 제작하였다.



(a) Structure of LPM



(b) Front view



(c) Side view

그림 3. HB형 2상 8극 LPM

또한 LPM에서 치와 슬롯의 형태는 가동자의 추력과 가동자와 고정자 사이에 작용하는 수직력 특성을 결정하는 중요한 파라미터가 된다. 그래서 편측식으로 제작한 LPM은 그림 4와 같이 20°의 경사를 갖는 사다리꼴 형태로 설계하여 기존의 각형 치에 비해 평균 추력은 동일하면서 수직력은 1/2정도 감소시킬 수 있도록 하였다.

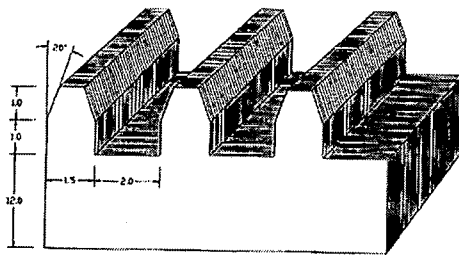


그림 4. LPM의 치 형상

표 3은 시작기 LPM의 상세한 사양을 나타내고 있다.

표 3. 시작기 LPM의 사양

	Item	Notation	Dimension
Mover	Pole Pitch	$\tau_p$	32.375[mm]
	Teeth Pitch	$\tau$	35[mm]
	Tooth Width	$t$	1.5[mm]
	Width of Slot	$S_w$	2.0[mm]
	Depth of Slot	$S_d$	2.0[mm]
	No. of Tooth	$n$	4[ea/pole]
	No. of Winding	$N$	260[turns]
Airgap	Length	$g$	100[ $\mu$ m]
	Teeth Pitch	$\tau$	3.5[mm]
Stator	Tooth Width	$t$	1.5[mm]
	Width of Slot	$S_w$	2.0[mm]
	Depth of Slot	$S_d$	2.0[mm]

### 5.2 구동 및 제어 시스템

LPM의 전원 공급 방식에는 정전압구동, 정전류 구동, 미세스텝구동 등이 있다.

정전압 전원에 의한 구동에서는 직렬 저항과 고전압 회로의 조합 때문에 전동기의 소비 전력이 크다. 그리고 정전류 구동은 높은 전압을 직접 LPM에 저항없이 인가하면서 평균 전류가 일정하도록 스위칭을 하기 때문에 효율이 좋지만 구동회로가 복잡하다.

미세스텝 구동방식은 모터의 인접 상간의 여자전류를 정현파적으로 변화시켜 기본 스텝각의 중간영역에서도 위치설정이 가능한 구동방식으로, 2상 LPM에서 미세스텝 구동으로 미소 변위를 얻는 동시에 각 여자매의 합성 추력이 1상 여자시의 추력과 동등해 지려면 정현파상의 여자전류로 제어함으로써 (1)고정밀 위치제어 (2)저속영역에서의 공진에 의한 탈조 방지 (3)속도 맥동의 감소 (4)응답특성 개선 등과 같이 성능이 향상된다.

LPM의 미세스텝 구동을 위한 인버터의 전류제어에 히스테리시스 전류제어방식이 주로 이용된다.

그림 5와 같이 히스테리시스 전류제어기를 이용한 구조로 LPM을 구동할 때 인버터의 스위칭은 출력전류에 의해서 제어된다. LPM 구동에 필요한 전류의 파형이 스위칭 제어회로에서 기준 파형으로 사용되는데, 그러기 위해서는 매순간 전류의 실제 값을 알기 위한 검출 회로가 필요하다. 이 회로에 의해 검출된 전류는 기준전류에 의해 정해진 값과 비교되고 여기서 발생되는 오차를 보완하기 위해 필요한 스위칭으로 변환한다. 이러한 방법에서 출력전류의 파형은 가능한 입력 기준 파형에 정확하게 추종하게 된다.

그림 6의 상위밴드 한계점에서 실제전류와 기준전류의 오차가 미리 정한 한계보다 더 크므로 전류를 감소하도록 스위칭 오프한다. 그러면 전류가 감소하기 시작하고 이런 감소가 계속되다가 하위밴드 한계점에서 실제전류와 기준전류의 오차가 미리 정한 한계보다 더 작아지게 되면 다시 스위칭 온 한다. 이와같은 온-오프 동작이 반복되면서 실제 전류의 파형은 두 좁은 공간사이에서 제한될 것이다. 이러한 전류제어기를 히스테리시스 전류제어기라 하는데 히스테리시스 밴드를 좁게하므로써 실제 전류는 기준 전류에 매우 가깝게 추종하는 대신 인버터의 스위칭 주파수가 증가하게 된다. 가장 작은 히스테리시스 밴드는 인버터에 사용된 전력반도체의 허용 스위칭 주파수의 능력에 의해 결정된다.

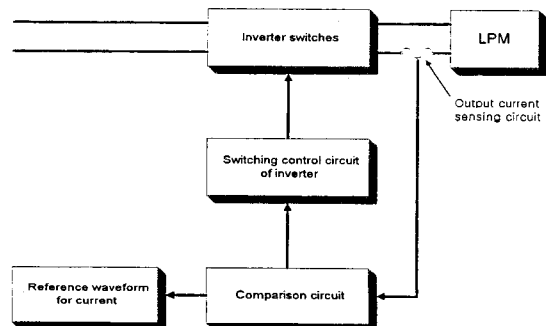


그림 5. 히스테리시스 구동드라이브

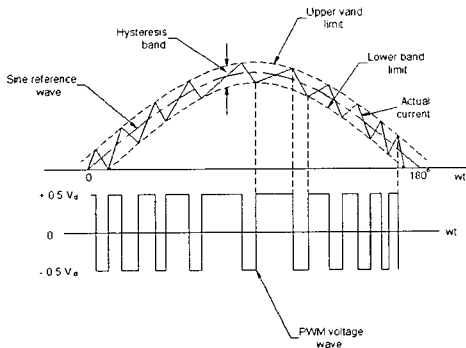
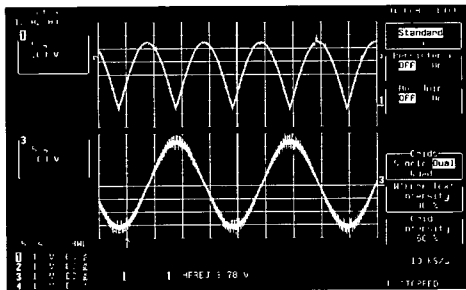


그림 6. 히스테리시스 전류 제어

그림 7은 256 미세스텝으로 하였을 때의 기준전류와 상전류 파형으로 이때의 분해능 1/1024이고 LPM의 1과치  $\tau$ 가 3.5[mm]일 때 3.4[ $\mu$ m]만큼의 고정밀 위치제어가 가능하다. 이는 기준전류가 90°의 상차를 가지고 정현전류를 유지하므로서 LPM은 정현파상으로 제어되기 때문에 토크 리플이 적어 저진동 구동이 가능하다.



(a) 위 : 기준 전류(A상)  
(b) 아래 : 실제 전류(B상)

그림 7. 256 미세스텝 구동

## 6. LPM 특성과 성능측정

### 6.1 LPM의 특성파라미터

LPM의 성능을 결정하는 특성값에는 (1)추력/입력[N/kW], (2)추력/질량[N/kg], (3)추력/체적[N/L], (4)추력/치단면적[N/m<sup>2</sup>] 등이 있다. 특성 값에서의 추력이란 최대 동추력을 나타내며 질량과 체적은 가동자와 고정자 전체의 값이 아니라 추력을 발생하는 작용 면적에 해당하는 부분만의 질량과 체적이다. 치단면적은 추력이 작용하는 치만의 면적이다. 그림 8에 LPM의 입력, 출력, 부하파라미터를 나타낸다.

LPM의 추력은 크게 정추력과 동추력으로 분류하는데 정추력을 세분하면 일정전류로 여자하여 가동자가 평형상태에 있을 때 마찰이 없는 상태에서 가동자를 변위시키는데 필요한 힘을 변위의 함수로 하여 최대값으로 표시하는 최대 정추력과 정격전류로 여자하여 가동자에 외력을 가하고 가동자를 변위시킬 때 발생하는 힘을 역시 변위의 함수로 나타내는 유지력 또는 스티프니스 특성이 있다. 또한 HB형 LPM을 무여자 상태에서 가동자에 외력을 가해 가동자를 변위시킬

때 발생하는 추력으로서 디텐트력이 있다. 동추력은 일정주파수로 여자하여 부하 추력을 서서히 증가시켜서 동기 운전할 수 있는 최대 추력이며 주파수의 함수이다. 동추력과 주파수의 관계 특성을 스프링특성이라 한다.

LPM에서는 무부하 상태에서 입력 주파수와 동기되어 기동이 가능한 최대 기동주파수인 최대 자기동주파수와 무부하 상태에서 기동한 후 입력주파수를 서서히 증가시켰을 때 동기 운전이 가능한 최대주파수인 최대 구동주파수가 LPM의 특성을 나타낸다.[4]

그림 8에 나타낸 특성 파라미터 중 마찰력은 LPM의 가동자에 부상력을 가하지 않는 한 가동자는 반드시 마찰부가 존재하게 되므로 제거할 수 없는 힘으로 작용하여 위치정밀도와 정지시의 과도특성에 큰 영향을 미치게 된다.

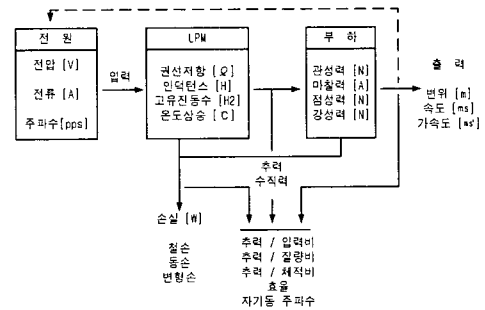


그림 8. LPM 파라미터

### 6.2 측정장치

새로운 특수 전동기를 개발할때는 그 전동기의 특성을 측정하기위한 장치까지 동시에 연구되어야 연구되는 전동기의 특성을 알수 있다. 그래서 전동기 특성 측정에 맞는 측정 장치를 개발하여야 한다.

정추력은 LPM이 정지상태에서 발생하는 추력으로서 리니어 모터의 가장 기본적인 성능지표이다. LPM의 가동자를 홀딩상태로 여자시켰을 때 정지상태를 유지하려는 힘에 대하여 자극치의 상대위치에 따른 추력 변화를 측정해야 하므로 추력과 변위를 동시에 측정할 필요가 있다.

정추력에는 HB형 LPM인 경우 영구자석에 의한 디텐트 추력과 직류여자 전류에 의한 홀딩 추력으로 구분된다. 디텐트 추력의 경우 여자전류를 흘리지 않은 상태에서 추력을 측정하는 방법이 있을 수 있으나 영구자석과 자기회로에 의하여 정량적으로 산출하는 것이 보다 더 정확하다.

홀딩 추력의 측정은 LPM이 정지상태에 있을 때 직류 여자전류를 인가하여 홀딩 추력을 발생시킨 후 변위에 따른 힘을 측정한 것이다. 정추력 측정 장치는 추력을 얻기 위한 로드 셀과 변위를 표시하기 위한 리니어 포텐쇼미터를 이용하여 구성한다. LPM의 가동자 측면에 횡으로 설치된 추력 측정용 로드 셀은 그림 9와 같이 이송나사의 진행방향에 따라 움직이도록 장착되어 있어서 손잡이를 이용하여 연속적으로 로드 셀을 변위시키면 LPM의 가동자를 일정방향으로 이동시킬 수 있게 되어 있다.[8] 그러나 핸들을 이용하는 방법은 속도를 일정하게 유지하기 어렵고 시작기 LPM의 치피

치를 정확히 이동시키기에는 부적합하다.

충남대학교 전기에너지 변환기 연구실에서 설계제작한 그림 9와 같은 특성 측정시스템은 측정범위를 1/2[pitch]하고 측정범위내에서 가동자를 마이크로미터를 사용하여 특정위치에서 눈금을 치피치로 맞춘 후 싱크로너스모터를 이용하여 일정속도로 마이크로미터를 회전시켜 밀게 한다. 이때 리니어 포텐쇼미터에 나타나는 전압강하를 변위로 나타내고, 로드셀 증폭기의 아날로그

출력값을 추력으로 하여 X-Y 기록계로 처리하면 된다.

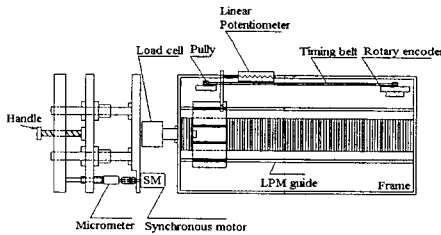


그림 9. LPM 특성 측정장치

### 6.3 위치결정정도

임의의 위치를 출발점으로 해서 그 위치에서 1 스텝씩 가동자를 이동시켰을 경우 가동자 실제의 정지위치와 설계상의 정지위치와의 차를 플러스 최대치와 마이너스 최대치의 폭으로 나타내는 오차를 말한다.

$$\epsilon_s = \frac{1}{2}(\epsilon_+ - \epsilon_-) \quad [\text{mm}]$$

그림 10은 시작기의 특성 측정하기위해 설계제작한 측정장치로 시작기 LPM의 위치오차를 측정하여 나타낸 것으로 최대 위치 오차 범위는 약 ±0.2[mm]정도이다.

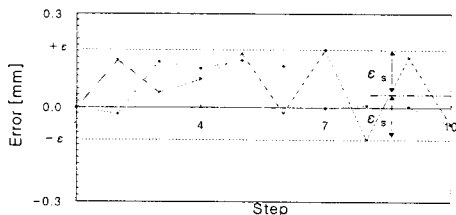


그림 10. 위치정도 오차

## 7. LPM의 응용분야

산업기기로 LPM이 응용되고 있는 분야는 광범위하고 다양하며 다음과 같은 분야로 분류할 수 있고 고유의 구동특성에 따라 다양하게 응용될 수 있다.

- (1) 정보기기분야 : ①전자 타이프라이터, 프린터의 헤드, ② X-Y 플로터의 펜, ③OMR, OCR 카드 리더의 헤드, ④자기 기록장치(FDD, HDD)의 헤드, ⑤복사기, 스캐너의 렌즈 미러
- (2) 산업기계 분야 : ①X-Y 테이블, ②자동검색장치, ③조정밀도 레이저 빔, ④마킹 장치용 펜, ⑤생산라인의 이동 및 위치조정 장치
- (3) 의료기계 분야 : ①인공 심장 구동용 액추에이터

## 8. 결 론

리니어 모터의 개발과정을 시대적으로 분류하고 LPM의 연구동향을 살피고 LPM의 동작원리와 개발필요성을 제시하였다. 여자상의 변화에도 자로 길이의 변화가 작고 정추력/여자전류비가 큰 2상 8극형 LPM으로 제작한 시작기를 중점적으로 설명함으로써 LPM에 대한 기술동향을 알아보았다. LPM의 성능을 결정하는 평가항목을 분류하고 특성평가법에 대하여 설명하였다. LPM의 기본적인 성능지표를 알아보기 위하여 특성과라미터를 계측하기 위한 측정 시스템을 소개하였다. 시작기 LPM에 대한 최대 위치정도오차 범위를 확인하여 사양으로 제시하였다. LPM의 개발이 활성화됨에 따라, 앞으로 선진기술구과 같이 리니어 모터에 대한 용어 및 특성 측정법을 조사하여 기준(안)을 만들 필요가 있음을 제안한다.

### 참고문헌

- [1] “리니어모터를 사용해보고”, 日刊工業新聞(日本), pp.2-13, 1994.
- [2] 海老原, 金子, “國內外におけるリニアモータ研究の動向”, 日本電氣學會, 리ニア드라이브研究會資料, LD-91-77, 1991.
- [3] 鳥居, 海老原, 金子, “過去7年間の 리ニア드라이브研究動向のデータベースを用いた分析”, 日本電氣學會, 리ニア드라이브研究會資料, LD-93-45, 1993.
- [4] 磁氣リニアアクチュエータ調査専門委員會, “リニアパルスモータの用語と特性測定法”, 日本電氣學會マグネティックス研究會, MAG-83-88, pp.31-40, 1983.
- [5] 米澤榮一, 鈴木康夫, 渡辺利彦 外, “小形 리ニアモータの特性評價法”, RM-94-50, 1994.
- [6] 山田 外, “磁束縦方向形と磁束横方向形リニアパルスモータの特性比較”, 日本電氣學會マグネティックス研究會, MAG-85-129, pp.87-96, 1985.
- [7] 김일중, “磁氣回路의 平衡을 고려한 하이브리드形 리니어 펄스모터의 特性解析”, 충남대학교, 박사학위논문, 1995.
- [8] 김성현, “횡자속형 LPM의 정밀위치제어에 관한 연구”, 충남대학교 박사학위논문, 1999.

## 저 자 소개



### 김성헌(金成憲)

1954년 9월 10일생. 1980년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 충남대 대학원 박사과정 수료. 현재 천안공업대 제어계측과 교수



### 이은웅(李殷雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1982년-83년, 85년-86년 캐나다 McGill대학 방문교수, 1987년-현재 당 학회 평의원. 현재 당 학회 부회장 및 충남대 전기공학과 교수.