

리니어 모터의 센서 · 제어기술 및 반송기술동향

산업기술정보원
전자전기부장 김 능 수

리니어 모터를 이용한 반송기술의 동향에 대해 기술하기로 한다.

1. 서 론

근년 모터의 산업응用に 있어서 각 제품마다 구동계에의 요구사항도 향상되고 있어, 종래방식의 메카니즘에 의한 회전-직선변환으로는 요구동작에 대해 한계점까지 왔다. 구체적 방법으로는 고속화, 제어시 위치결정의 정확성 진동, 소음, 소형 경량화, 그리고 비접촉 구동등이다. 이같은 배경으로부터 리니어 모터의 이용이 주목받고 있다.

리니어 모터의 재발견은 1960년대 고속 수송시스템에의 적용이었지만, 1980년경 부터는 공장내 반송용 리니어 모터가 응용되기 시작하여 중량물 반송, 입체반송, 고속반송, 클린룸내 반송의 수요가 높아가고 있으며 최근에는 공장기계 분야를 중심으로 새롭게 리니어 모터 응용이 검토되기 시작했다.

여기서는 리니어 모터에 사용하는 센서, 각종 리니어 모터의 제어방법, 이들 센서 · 제어기술 및

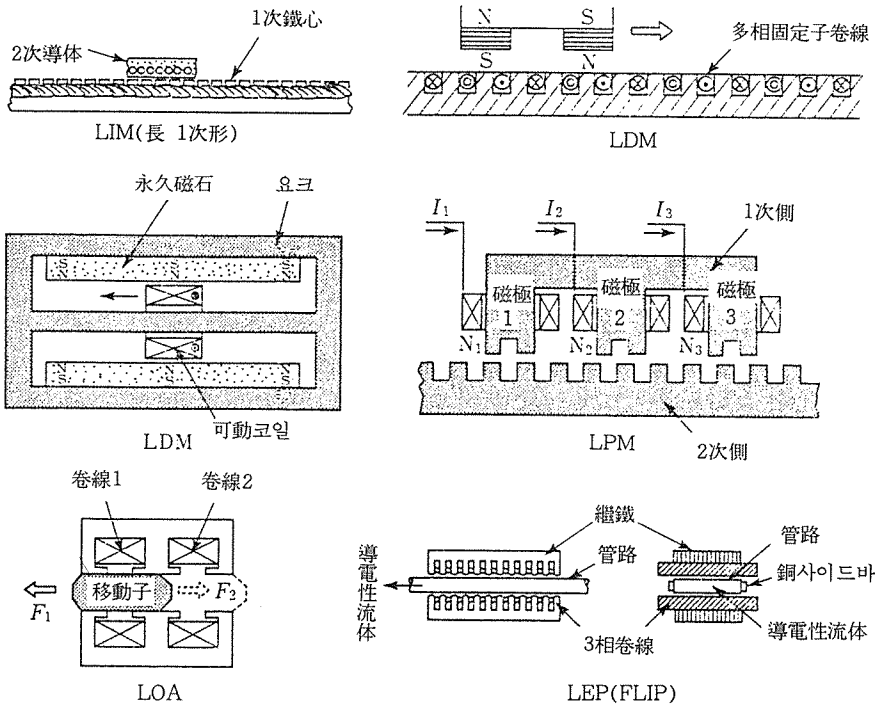
2. 리니어 모터의 분류

리니어 모터는 현재까지 7종류가 제안되고 있지만, 그 응용기술이 아직 성숙되어 있지 않기 때문에 그 분류방법은 시대에 따라 바뀌어지고 있지만 현시점에서의 동작원리별 분류는 <표 1>, (그림 1)과 같다. 즉 회전기를 직선상으로 전개한 리니어 모터 4종과 리니어 액츄에이터 3종으로 분류하고 있다.

리니어 모터는 회전기와 거의 유사한 특성을 가지며, 리니어화가 됨에 따른 독자적 특성 (<표 1> 참조)도 같이 가지고 있다. 또 리니어 電磁펌프는 유일하게 도전성 유체를 구동하는 것으로 동작원리에 따라 도전형과 유도형으로 분류되며, 용융금속의 유량제어나 교반등의 용도에 이용되고 있다.

〈표 1〉 리니어 모터의 분류와 특징

리니어 모터		種 類	特 徵
리니어 모터	리니어 모터	리니어 誘道모터(LIM)	大出力, 長變位, 中高速
		리니어 同期모터(LSM)	超高速輸送
		리니어 直流모터(LDM)	小變位, 高速, 位置결정
		리니어 펄스모터(LPM)	低高速大推力, 間欠運轉 位置결정(開루프)
리니어 액츄에이터	리니어 액츄에이터	리니어 振動액츄에이터(LOA)	小變位, 往復運動 送出機構
		리니어 電磁슬레노이드(LES)	送出保持機構
		리니어 電磁펌프(LEP)	溶融金屬搬送



(그림 1) 리니어 모터의 基本構造

3. 리니어 모터의 응용

가. 수송분야

〈표 2〉는 현재 실용화 혹은 실험되고 있는 철도 수송의 일례이다. 구동장치로서는 리니어 동기모터(LSM)와 리니어 유도모터(LIM)가 이용되며, 지지기구로서는 자기부상방식, 공기부상방식 및 철차륜·레일 및 여러가지를 조합시킨 것이 개발되고 있다.

리니어 모터 개발의 출발점으로 된 초고속 수송 철도는 일본, 독일에서 연구개발, 실험을 통해 실용시스템으로서의 적용이 실증되고 있을 뿐, 아직 실용화가 되어 있지는 않지만, 시속 100Km 이하의 시스템이 도시내 신교통 혹은 소형지하철로서

실용화 되고 있는 것은 흥미롭다. 즉 리니어 모터의 비접촉구동이 급구배, 급곡서에서의 원활한 주행을 가능하게 하는 선로설정이 용이하고, 리니어 모터의 편평형상을 이용해서 차량의 低床化를 꾀해, 터널 단면의 축소화로 건설비를 저감할 수 있는 소형 지하철이나, 한냉지에서의 보수 용이성을 살린 캐나다의 도시내 신교통등 사회적 연구에 적합한 것부터 실용화되고 있음을 알 수 있다.

나. FA 분야

리니어 모터의 비접촉구동의 특징을 살려, 일반 산업분야에서는 搬送裝置에 많이 응용되어지고 있고 회전기에서는 어려웠던 高速搬送, 클린搬送에 주로 이용되고 있으며 대표적인 응용에는 〈표 3〉과 같다.

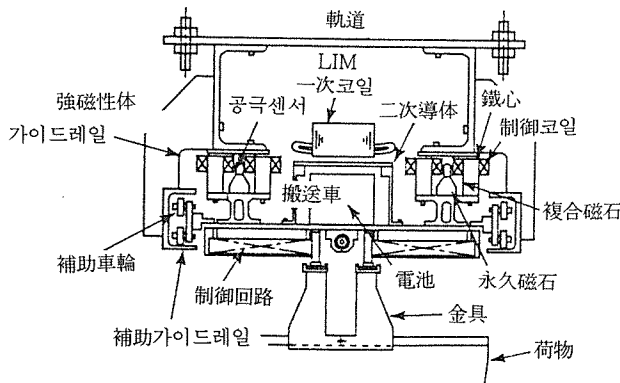
〈표 2〉 鐵道輸送에의 應用

驅動裝置	支持機構	用途, 速度	適用例
LSM (地上一次)	誘導反發磁氣浮上 (超電導磁石)	長距離, 超高速 (500km/h)	JR(ML500, MLU002)(日)
LSM (地上一次)	電磁吸引磁氣浮上 (常電導磁石)	都市間, 高速輸送 (450~500km/h)	트랜스 레피트(TR-06, 07) (獨)
LSM	電磁吸引磁氣浮上 + 車輪 (永久磁石)	都市內新交通 (80km/h)	M 밴 (獨) (1989)
LIM	電磁吸引磁氣浮上 (常電導磁石)	都市間, 都市內輸送 (300~50km/h)	HSST (日)
LIM	電磁吸引磁氣浮上 (常電導磁石)	空港 액세스 (54km/h)	버밍감 MAGLEV (英) (1984)
LIM	空氣浮上	3次元走行病院 액세스 (33km/h)	듀크 액세스 (美) (1980)
LIM	鐵車輪 · 레일	都市內, 新交通 (80km/h)	SLRT(토론토) (加) (1985) ALRT(밴쿠버) (加) (1986)
LIM	鐵車輪 · 레일	小形地下鐵 (70km/h)	大阪 7號線 (日) (1990) 東京 12號線 (日) (1990)

(그림 2)는 이 중 일례로서 無發塵 磁氣浮上搬送시스템의 차량과 궤도의 단면도를 보인 것이다. 이 시스템은 磁氣浮上차량을 궤도의 요소마다 배치한 地上 1차 LIM으로 구동한다. 반도체 공장에서 고집적도 IC와 같은 서브미크론 크기의 가공을 할 경우에는, 반도체 웨이퍼를 無發塵 搬送할 필요가 있다. 본 시스템은 영구자석을 병용한 浮上用 電磁石에 생에너지 磁氣浮上制御를 적용하여, 차량에 탑재한 2차전지로 실용상 충분한 시간동안

浮上狀態를 유지하고 있다. 또 搬送路 分岐부분에 橫방향의 구동력을 발생하는 LIM을 배치함으로써 기계적 가동부가 없는 곡선분기, 직선분기를 실현하고 있다.

이와같이 搬送路, 搬送車輛에 가동부가 없기 때문에 보수가 용이하고 신뢰성이 높고, 車上電氣를 자동충전함으로써 24시간 연속운전 가능한 특성을 갖는 시스템으로 되어 있다.



(그림 2) 無發塵磁氣浮上搬送시스템

4. 센서 및 제어 기술 동향

가. 리니어 모터용 센서

(1) 리니어 센서의 선정

리니어 서보시스템의 대부분은 위치결정제어와 탐색시간의 단축이고 변위를 측정하는 방법에 따른 기구는 (그림 3)과 같이 분류된다.

同 그림 (a)는 직선운동을 회전운동으로 동작을 변환하여 변위, 속도를 측정하는 것으로 회전식

센서가 이용된다. 동작변환 기구로서는 폴리 외에 랙·피니온, 터치롤 방식으로 하는 경우도 있다.

同 그림 (b)는 리니어 센서를 사용하는 것으로 동작변환기구가 불필요하다. 이것은 (a)에 비해 구조가 간단하게 되고 오차의 요인이 없으며 또 센서의 스케일을 리니어 모터 재질의 온도계수가 같은 정도의 재질로 하면 열팽창에 의한 오차도 피할 수 있다.

同 그림 (c)는 LPM의 고정축 자극치 등을 스케일로 해서 변위신호로 한 것인데 리니어 모터의

코일전류를 자극위치에 따라 변화시킬 때에도 적합하다.

최근 리니어 드라이브 시스템에 사용되고 있는 중요한 변위센서를 정리하면 <표 4>와 같다. 이들 중 변위를 가동범위 전체에 걸쳐서 연속적으로 측정할 수 있는 센서를 리니어 센서라고도 한다.

반송시스템에 있어서의 定点위치결정은 근접스위치나 리미트 스위치 등으로 하고 있는데, 실제

로는 가격 등의 이유에서 電磁型, 靜電型, 機械式 등 마이크로 스위치가 대량 사용되고 있다. 이것들에 따라 리니어 센서는 가동부의 위치, 속도, 가속도를 연속적으로 측정할 수 있다.

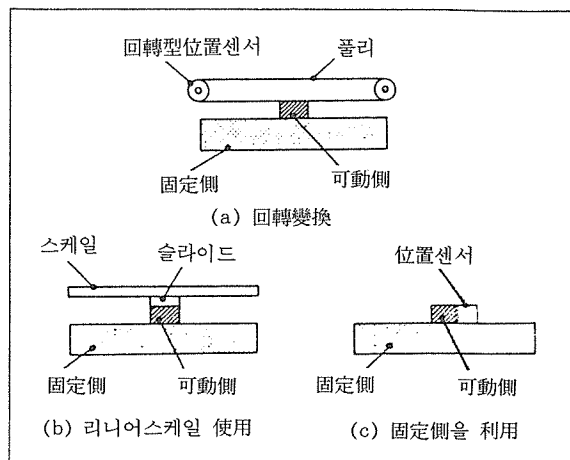
(2) 小스트록용 변위센서

LPM인 경우 (그림 3)의 (c)와 같이 고정측 자극치를 스케일로 한 변위측정이 가능하다.

<표 3> FA 分野에서의 代表的인 應用例

應用分野	目的	適用例	支持方法	리니어 모터 方式
FA 分野	搬送裝置	클린룸 搬送	吸引形磁氣浮上 空氣浮上	地上一次 LIM 同上
		立體搬送	우레탄롤러 支持 우레탄롤러 支持	同上 地上一, 二次 LIM
		重量物搬送	鐵 輪	同上
		液體金屬搬送	耐火物	誘導形電磁펄프
		非鐵金屬回收	스테인레스板	地上一次 LIM
		位置決定裝置	테이블	리니어 베어링

LIM : 리니어 誘導모터, LPM : 리니어 펄스모터, LDM : 리니어 直流모터



(그림 3) 變位測定機構

(표 4) 리니어 서보시스템에 있어서의 變位센서의 種類

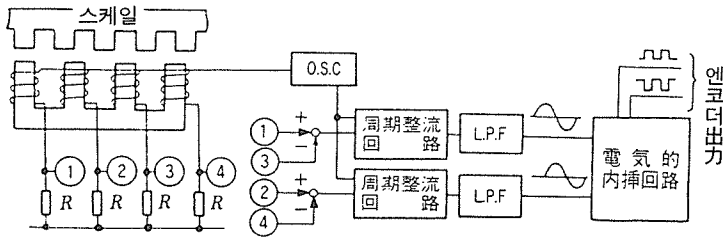
分類	動作	動作原理	用途例
공극센서	아날로그	渦電流式센서 靜電容量센서 光學式센서 (三角測量, 光화이버)	磁氣浮上공극 微小位置決定
리니어 센서	아날로그	靜電容量式센서 相互誘導式센서 差動變壓器式센서 磁歪線式變位센서	OA, AV, FA分野의 리니어 서보 (位置決定制御) 列車位置檢出
	디지탈	光學式엔코더 磁氣式엔코더 코일式 誘導無線方式	

(그림 4)는 LPM을 구동제어하기 위한 자극치 센서의 회로 블록도이다. 센서는 LPM 가동축 전방에 붙어 있다. 센서는 스케일의 기본 피치에 대해 서로 $\pi/2$ 위상을 벗어난 4개의 극을 가지며, 각 극에는 코일이 감겨져 있다. 코일은 5-20KHz의 주파수로 여자되고 스케일과의 상대 위치관계에 의해 코일 인덕턴스가 변화한다. 검출신호는 π 의 위치에 있는 磁極으로부터 신호의 차분을 취해 同期整流回路에서 직류화하고 $\pi/2$ 위상의 2상 정현파를 얻고 있다.

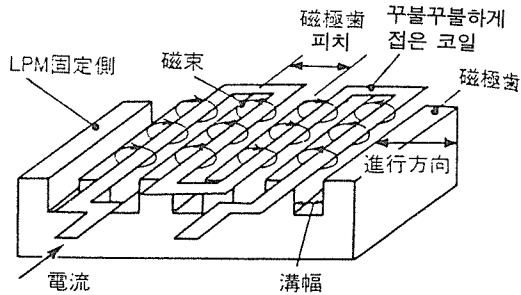
이 2상 신호를 자극신호로 이용하고 또한 자극 위치 검출신호를 전기적 내삽법에 의해 분할하여 변위신호의 분해능을 올리고 있다.

따라서, 회전형 엔코더와 같은 모양의 2상 펄스 신호로 된다. 이 신호를 FV변환회로를 사용 속도 신호도 얻고 있다.

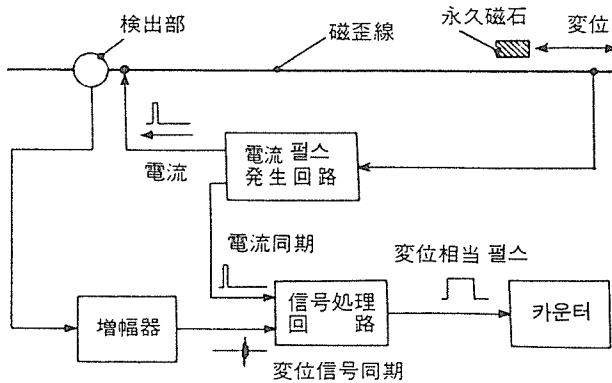
(그림 5)는 꾸불꾸불하게 접은 코일형 리니어 센서의 원리를 보이고 있다. 마이크로 인덕터인 꾸불꾸불하게 접은 코일을 센서로 사용하는 것으로, LPM 고정축 위에 배치한다. 코일을 고주파 전류로 여자함에 따라, 자속이 발생하고 LPM 고정축의 자극치에 와전류가 발생한다. 그 결과 코일을 교차하는 자속은 자극치의 위치와의 상대관계에 의해서 변화한다. 즉 코일임피던스는 자극치 위에 있을 때 최소로 되고 슬롯위에 있을 때 최대로 된다. 코일이 LPM 고정축 위를 이동하면 그 임피던스가 LPM의 피치에 대응해서 정현파상으로 변화한다. 앞의 예와 같은 모양으로 2상의 정현파신호를 얻음에 따라서 위치의 분해능을 올리고 있다. 1.6mm피치의 자극치를 갖는 LPM에 대해서 12.5 μ m의 분해능으로 2m/s까지 응답한다.



(그림 4) LPM用磁極齒센서



(그림 5) 꾸불꾸불하게 접은 코일형 리니어센서의 원리



(그림 6) 磁歪線式變位센서의 構成

(3) 大스트록용 변위센서

磁歪線식 변위센서는 磁歪線을 전파하는 탄성파 (초음파)의 전파시간으로 부터 변위를 측정하는

센서이다. 탄성파로서 종파 및 비틀림파를 응용한 센서가 있다. 전자는 磁歪(주율)효과를 이용한 것이고 후자는 위도만효과를 응용한 것으로 분산되지 않고 정확도를 높일 수 있는 특징이 있다.

(그림 6)은 반송라인용으로 개발된 비틀림과를 이용한 변위센서의 구성도로서 10m정도의 반송라인에 따라서 직경 1mm의 磁歪線을 스케일로하여 설치한다. 반송라인의 가동부에 영구자석을 붙여, 磁歪線에 근접시켜 이동시킨다. 磁歪線에 전류펄스를 흘리면 영구자석 부근에 비틀림 탄성파가 발생하고 線에 따라 전파된다. 여기서 磁歪線上의 변위측정 위치에서 전류펄스 발생으로 부터 탄성파를 검출하기 까지의 시간을 측정함에 따라 영구자석의 위치, 즉 변위를 측정할 수 있다.

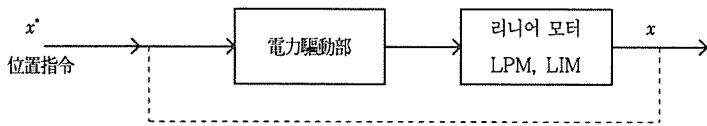
나. 리니어 모터의 제어

반송용 리니어 모터에서는 위치, 속도, 가속도등이 주요 제어 대상으로 된다. OA기구나 FA기기 등에서는 특히 위치결정 정확도는 중요하다.

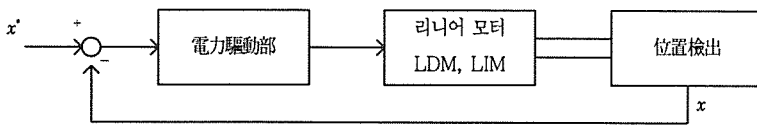
리니어 모터의 제어법으로서는 <그림 7>의 (a)

와 같이 목표 부근까지는 주파수나 전압을 이동자의 위치에 관계없이 開루프로 하여, 목표근처에서 위치센서나 속도센서의 정보를 가지고 전압, 전류, 주파수제어로 정확한 위치결정을 하는 방식과 (b)와 같이 처음부터 이동자의 위치에 따라서 전압, 전류, 주파수를 제어하는 閉루프제어방식이 있다. (c)는 이동자의 위치정보를 가지고 전력구동부의 스위칭주파수를 제어하는 소위 위치마이너루프의 설치를 전제로 하는 방식이 있다.

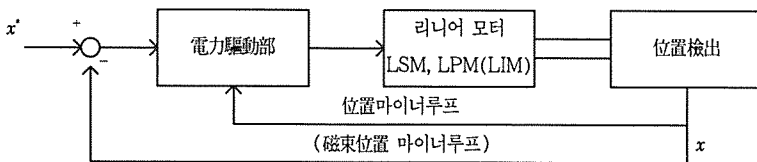
開루프방식은 일반적으로 장거리 반송용에 적합하며, 반송용 LIM등에는 이같은 방식이 잘 이용된다. (c)방식에는 이동자의 위치에 따라서 전기자권선의 전류, 주파수를 제어하는 LSM이 있고, 탈조의 위험이 없기 때문에 급가감속의 용도에 적합하다. 이하 대표적인 리니어모터의 제어기술의 동향에 대해 기술한다.



(a) 開루프制御



(b) 閉루프制御



(c) 位置 마이너루프가 있는 閉루프制御

(그림 7) 리니어 모터의 制御方式

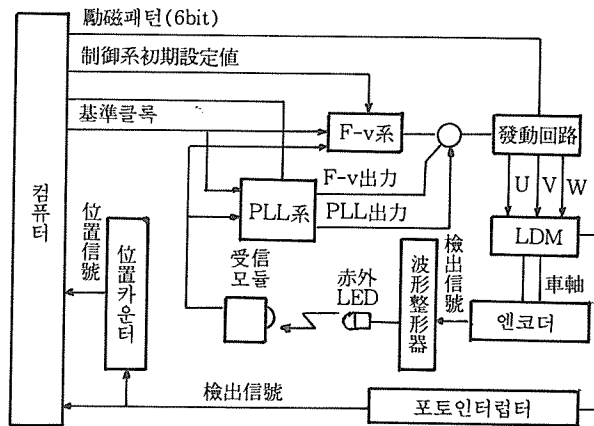
(1) LIM의 고성능 제어

고속구동이 가능하기 때문에 반송장치에 LIM이 이용되고 있으며 그 제어에는 V/f 제어가 이용되고 있다. 그러나 최근에는 진동이 문제되는 엘리베이터구동과 같은 용도에도 채용되어 지게 되어 가고 있다. 이같은 용도에는 고성능의 추력제어가 요구되어, 보다 고성능 推力制御가 가능한 벡터제어가 시도되어 지고 있다. 벡터제어는 推力이 이동하는 2차 쇠교자속과 이것과 직교하는 2차전류의 積에 비례하는 것을 기본으로 해서 이루어지지만, 회전형 유도전동기와 달리 LIM의 전기정수는 비대칭이 되어 종래의 벡터제어를 그대로 LIM에 적용하면 구동 주파수의 2배인 推力脈動을 발생시킨다. 이 때문에 또한 고성능 토크제어에는 이 전

기적 정수의 비대칭성을 고려한 제어도 시도된 결과가 보고되고 있다.

(2) LDM의 정속도 제어

MM형 이동차에의 무급전 특징을 살린 긴 스트로크의 LDM 제어회로를 (그림 8)에 보였다. 이동차의 위치 및 속도검출은 이동차의 지지차륜(支持車輪)에 직결한 로터리엔코더를 이용하고 있다. 신호전송부는 종래의 리이드선 대신, 적외선으로 와이어레스 傳送을 하고 있다. 속도제어에는 엔코더 신호를 F-v 변환출력과 PLL 제어출력을 이용하여, 400mm의 스트로크로 200mm/s의 양호한 특성을 얻고 있다.



(그림 8) LDM의 속도制御

(3) LPM의 開루프제어

LPM은 開루프제어에서 정확도가 높은 위치결정이 가능한 것이 큰 특징이지만, 급격한 가속도라든가 과부하 운전시에는 탈조를 일으켜, 위치제어에 큰 영향을 미칠뿐 아니라, 제동계수가 작으

므로해서 오는 과도진동이 길어지는 등의 문제점도 가지고 있다. 이것을 해결하기 위해서는 이동차의 위치를 피드백하는 閉루프제어가 유효하다.

(4) 리니어모터를 이용한 力制御

리니어모터는 일반적으로 위치결정용 액추에이

터로 이용되고 있지만 力센서로 부터의 정보를 이용함으로써 용이하게 접촉력제어를 수행할 수 있다. 리니어모터로서는 LDM, LSM, LPM등이 생각되지만 작은 구동전류로 큰 힘을 제어할 수 있는 점에서 LPM이 유리하다.

5. 리니어모터를 이용한 반송기술의 동향

가. 적용 리니어모터

반송장치에 적용되는 리니어모터는 그 장치들의 반송중량, 거리, 속도 및 제어의 용이함등으로 LIM이 가장 많이 이용되고 있다. 또 대용량화가 필요한 경우와 위치결정을 필요로 하는 경우에는 LSM, 반송중량이 비교적 가벼운 경우에는 소형화가 가능한 LDM도 적용되고 있다.

또 현재 엘리베이터, 대심도 지하이용을 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있는 수직방향이동으로의 리니어모터 응용기술은 공장, 사무소등에서 수직반송에 대한 전개도 기대된다. 특히 로프가 없는 수직반송을 고려한 경우 그 가동부의 중량, 발생추력, 발열등으로 LSM이 채용되고 있다.

LIM인 경우에는 필요한 전원용량의 크기가 문제시되는 경우가 있다. 그 때문에 추력, 효율등의 특성개선을 목적으로 한 래더형 2차도체에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있는데 이는 제조비용이 다른 방식보다 저렴한 관계로 일반 반송분야에서의 응용이 기대된다.

나. 리니어 모터의 제어방법

LIM의 제어방법으로서는 현재 전압제어 또는 범용 인버터에 의한 주파수 제어가 일반적이다.

더구나, 속도맥동이 작은 용도에 적용할 경우 추력을 정확하고도 응답성이 좋게 제어할 수 있는 방법으로서 벡터제어의 적용연구가 되고 있다. 금 후, 일반 반송분야에서도 속도의 안정성, 위치 결정 정확도가 요구되는 장치에 그 적용이 기대된다.

다. 移動體에의 給電技術

일반적으로 이동체에의 지상측으로 부터의 전력 공급은 이동거리나 이동방향(수평, 수직)에 따라 다르겠지만, 직접 케이블로 접속하는 방법이나 접촉식 집전자에 의한 방법이 많이 이용되고 있다. 또 습동부로 부터의 먼지 발생이 문제되는 클린룸 등에서는 가동측에 급전을 필요로 하지 않는 지상 1차방식의 리니어 모터가 채용되고 있다.

무접촉에서 이동체의 급전기술은 주로 고속 부상식 철도나 전기자동차 등과 같은 분야에서 주로 연구되고 있지만 최근에는 입체 자동창고와 같은 일반 반송분야에서도 채용되어져 가고 있다. 이 無接觸 給電技術과 浮上技術을 조합시킴에 따라 車上一次方式의 무접촉 부상반송이나 흡인식 자기 부상대차의 배터리레스화등 지금까지 곤란하다고 생각되어져 왔던 시스템구성의 실현이 기대된다.

*6. 결 론

최근, 연구개발·보고되고 있는 리니어 서보시스템의 제어와 리니어 센서 및 반송기술에 대해 살펴 보았다.

리니어 모터는 처음 목적이었던 고속 수송시스템보다 소형지하철 등 사회의 요구에 적합한 것으로부터 실용화되어 가고 있다. 앞으로 리니어 모

터의 동작성능이 향상되고 제어·검출·지지·급전등 주변기술이 진전되면 일반 산업용으로의 응용뿐 아니라 리니어모터의 엘리베이터라든가 소형화, 고신뢰성을 이용한 인공심장 등에의 응용이 기대된다.

해외에서의 연구동향을 볼 때 종래의 회전-직선변환되는 구동장치에 점차 적용되어져 갈 것으로 생각됨에 따라 국내에서도 일반 산업부분에 관심을 돌려 이에 관련된 연구개발이 이루어져야 할 것이다.

□ 아이디어 창출기법 10훈 □

- ① 관심 세심한 관심을 갖자
- ② 관찰 유심히 관찰하자
- ③ 생각 유연한 생각을 하자
- ④ 집념 목표달성을 위해 노력하자
- ⑤ 필요 필요한 것을 찾아내자
- ⑥ 개량 불편한 것을 개량하자
- ⑦ 생활 생활주변에서 아이디어를 찾자
- ⑧ 변경 결합하거나 분리해 보자
- ⑨ 메모 아이디어를 기록하자
- ⑩ 사고 합리적 방법을 선택하자