

직선 운동형 직류전동기의 분류, 응용사례 및 개발동향

백 수 현

(동국대 공대 전기공학과 교수)

1. 머릿말

직선운동을 발생하는 電動機라는 뜻으로 linear motor로 1891년 프랑스 Lebrance에 의해 이름이 붙여진 이래 直線形 電動機는 미국의 Bradly에 의해 LIM(linear induction motor)이 제안되었다. 직선운동을 하는 直流電動機는 영국의 Birelond가 1901년에 특허를 출원한 이래 별다른 기술개발의 진전을 이룩하지 못했다.

그러나 1960년대에 와서 대량교통수단으로서의 電鐵用 電動機로서 LIM에 대한 활발한 연구개발이 진행된 이래 1970년대 이르러서는 記錄計器用 電動機로 LDM(linear DC motor)이 개발되기 시작한 이후 산업발전이 고도화, 정밀화되어 가면서 直線運動形 直流電動機(LDM)에 대한 관심과 많은 연구자들의 활발한 연구개발에 힘입어 1980년에 와서는 여러형태의 구조를 갖는 다양한 용도의 LDM이 출현하게 되었다.

LDM은 回轉運動形 直流電動機와 달리 고출력, 고속응답용 등으로 다양한 목적에 적합한 구조를 갖도록 개발되는 경향이므로 제한된 지면으로 LDM에 대한 전체를 소개한다는 것은 매우 곤란하므로 필자는 LDM의 주요특징, 구조상의 개략적인 분류, 응용사례를 몇가지 다루고 최근 이 분야에 대한 연구동향을 간략히 설명하고자 한다.

2. LDM의 特徵

LDM은 구조가 비교적 간단하고 推力/質量 比가 크므로 고속동작이 가능하며 서보특성이 좋다. 그러나 電動機 자체에 위치결정기능이 없으므로 위치결정 센서와 조합시켜 제어할 필요가 있다.

위치센서, 속도센서와 조합시키면 대단히 높은 精密度를 갖는 위치, 속도제어가 가능하다. 그러므로 LDM은 推力特徵등을 고려하여 동시에 제어시스템을 고찰하여야 한다.

이와같은 이유와 설계상의 용이성등으로 LDM이 FDD, CD, 각종 로보트, 레코더, 광학기기로 실용화되고 있는 경우가 가장 많다. 간단한 보이스코 일형 LDM에서 單極形, 多極形등 多種의 변형이 試作, 제안되고 있으며 往復速度가 약 4[m/s]에서 10[m/s]를 낼수있는 LDM이 있고, 非接觸動作, 微小位置決定, clean room에서의 사용, 知能센서와의 조합등이 가능하다는 생각을 하면 FA, OA는 물론 Biotechnology에의 응용등 앞으로의 발전이 기대된다.

한편 電磁launcher, 超電導船推進機, 結晶構造解析 rail gun등 특수한 LDM이 있다. 이들은 각기 특수한 구조를 갖게 되어 있으므로 개개의 解析및 檢討를 필요로 한다.

LDM이 他機種과 비교해 갖는 특징은 다음과 같다.

- (1) 위치결정 精度가 높다.
- (2) 高速往復運動이 가능.
- (3) 低速運動도 가능.
- (4) 간결한 直線運動가능.
- (5) 작은 變位往復運動이 가능.
- (6) 位置檢出機를 필요로 하지만 제어 손쉬움.
- (7) 支持機構는 비교적 간단.
- (8) 可動子의 기능을 간단하게 가능.
- (9) 長 스트로화가 비교적 곤란.
- (10) 垂直運動이 곤란.
- (11) 비교적 싸다.
- (12) 開루우프 제어가 곤란한 점들이다.

3.2 LDM의 분류

3.2.1 코일可動(MC)形

LDM(Moving Coil Type LDM)

1) 보이스코일形 LDM

그림2에 나타난 본 구조로 되어 있다. 너무 긴 스트로크의 것은 안되지만, 微小位置決定에 적합하고, CD, 微小位置決定의 X-Y스테이지등으로 應用되고 있다. 서어보特性은 다른 形式에 비해 대단히 좋다. 永久磁石材料의 진보에 의해 長 스트로크의 VC形

3. LDM의 動作原理와 分類

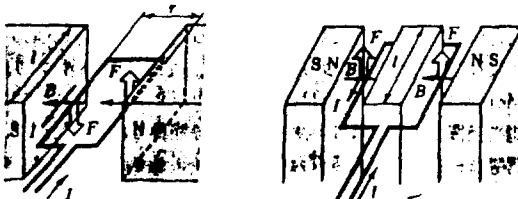
3.1 動作原理

LDM의 동작원리를 간략히 설명하기 위해 그림 1과 같이 磁極과 코일로 이루어진 간단한 구조를 생각하기로 한다. 그림1의 (a)는 回轉形直流電動機로서 코일에 작용하는 磁界 B[T]와 코일에 흐르는 電流 I[A]에 의해 磁極NS사이 놓인 코일에 작용하는 힘 $F(F=I \times B[n])$ 가 발생한다.

磁界內에 있는 코일의 左側은 힘의 방향이 아래로 코일의 右側은 위로 작용하므로 코일은 軸을 중심으로 토오크가 작용하여 회전한다.

그러나 LDM은 직선적인 推力를 얻어야 하므로 그림1의 (b)에서와 같이 兩側磁極에서 중심에는 磁極으로 磁束을 向하게 하고 중심에 있는 磁極주위에 코일을 배치하는 구조를 갖는다.

코일의 좌우변에 작용하는 힘 F는 위로 작용하므로 코일은 직선운동을 하게된다.



(a)회전운동형

(b)직선운동형

그림 1. LDM의 동작원리

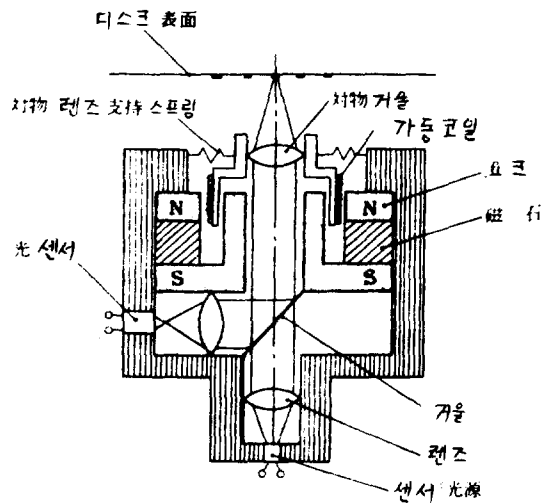


그림 2. 코일可動形(보이스코일形)LDM를 集點制御에 사용한 예

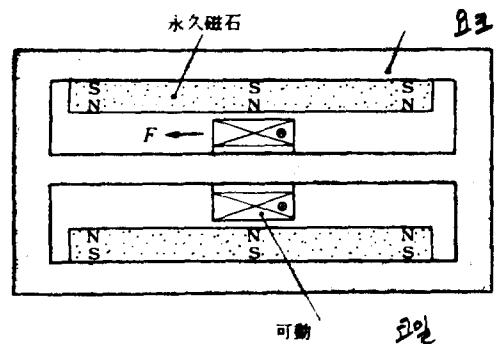


그림 3. 코일可動形 LDM의 基本構造

LDM으로서 單極形LDM이 많이 개발되어 있다. 그림 3에 나타낸 구조로 요크材料的 透磁率이 無限大라면, 長 스트로크化가 가능하지만, 현실적으로는 漏洩磁束으로 인해 그다지 길게할 수는 없다.

2) 偏平코일形 LDM

多極形 LDM이라고도 하며 그림4에 나타낸 구조로 되어 있고, 複數코일에 電流을 바꿈으로서 推力을 얻는다.

1個의 코일에서는, 반드시 推力 零의 死點이 생긴다. 電流을 바꾸기 위해 位置檢出素子를 필요로 하지만 충분히 긴 스트로크의 LDM를 만들 수 있다. 또 空心코일은 임피던스가 작고 勵磁가 용이하다.

3.2.2 磁石可動(MM)形

LDM(Moving Magnet Type LDM)

勵磁코일을 固定子로서 永久磁石材料로 偏平코일에 磁束을 직각으로 교차시켜, 推力을 얻는 구조의 것이다. 코일을 한 줄로 늘어놓고 固定子로 하고, 永久磁石과 요크로부터 構成되는 可動子가 이동한다. 可動子位置를 다른 센서로 검출하고, 코일의, 전류를 바꿈으로 可動子에 給電의 需要가 없다는 利點이 있다.

1) 兩側式 永久磁石形 LDM

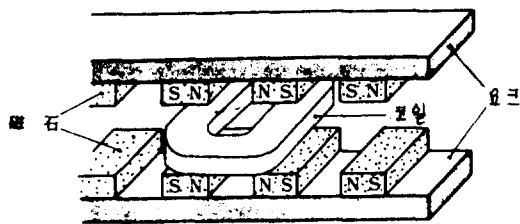


그림 4. 코일可動形 LDM(多極形 LDM)

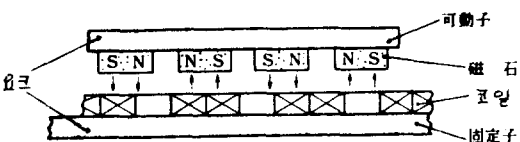


그림 5. 片側式의 磁石可動形 LDM

그림 4의 고정자코일과 가동자의 관계를 반대한 것으로 동작원리는 동일하다. 진행방향에 대한 수직력은 생기지 않고 지지가 용이하지만 코일지지에 연구가 필요하다.

2) 偏側式 永久磁石形 LDM

그림 5에 나타낸 것처럼 偏平코일을 한줄로 줄지워 固定子로하고, 한쪽만 永久磁石을 요크위에 배열해서 可動子로 하는 것이다. 수직력이 생기지만, 요크가 되는 基板과 가이드 레일을 조합시켜, 콤팩트하게 구성할 수 있는 이점이 있다.

3.2.3 電氣子可動(MA)形

LDM(Moving Armature Type LDM)

永久磁石을 界磁로 하는 回轉形 直線狀으로 전개한 구조를 하고 있다.

電氣子側을 可動子로 하던지, 永久磁石側을 可動子로 하는가로 다음 2종류가 있다.

1) 電氣子可動形 LDM

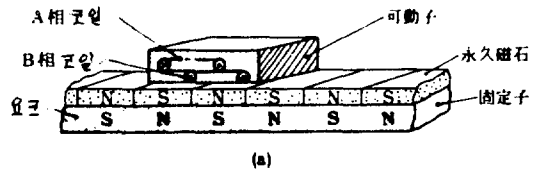
그림6의 (a)와 같이 슬롯을 가지고 있는 鐵心코일을 설치한 電氣子를 勵磁해서 移動시킨다. 整流子로 界磁位置에 맞춰 通電 勵磁한다.

可動子重量이 커지고 他勵磁에 비해서 서어보특성은 다소 나타나나 大推力이 얻어진다.

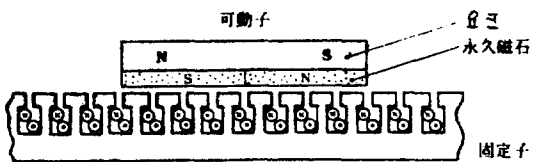
2) 永久磁石 可動形 LDM

여기에 대해서는 아직 적절한 名稱이 없다.

그림6의 (b)와 같이 直流電動機를 直線狀으로 전



(a)



(b)

그림 6. 電氣子可動形 LDM

개하여, 界磁의 永久磁石쪽을 直線移動시키는 構造로 되어 있다. (a)에 비교해서 可動子部分을 輕量化할 수 있다. (a)와 (b)경우 코킹토포크, 垂直力의 발생 등 문제점도 있지만, 大推力이 얻어지는 큰이점이 있다. 可動電氣字展開形, 可動磁石展開形 LDM의 名稱이 적당하다고 생각된다.

3.3.4 特殊리니어直流모터

超電導電磁石으로 만든 磁界와 電流로 推力 또는 浮上力을 얻는다. 船舶推進機나 高速鐵道用 電動機예가 있다. 또, 콘덴서에 축적된 電荷를 레일狀으로 導體로 瞬時放電하여, 그 때 발생하는 電磁力으로 飛翔體를 高速加速하는 것 등이 있다. 기본원리는 비교적 간단하지만, 특수구조로 하고 있으므로, 個個로 연구 검토를 요한다. 폭약이나 通常의 推力發生機로 대체해가는 特殊用途로서의 발전이 기대된다.

4. LDM의 應用事例

4.1 보이스 코일形 LDM의 應用

1) 磁氣 디스크 裝置의 應用例

이 裝置는 磁氣디스크의 원하는 位置의, 情報를 받아 磁氣디스크를 필요로 하는 位置에 신속하게 移動, 靜止시키는데 필요로 한다. 小形 高精度의 VC形 LDM을 사용하여 磁氣헤드를 移動시키는 推力을 키우고 高速應答을 얻는데 매우 적합하다. (그림7 참조)

2) 디스크 장치의 應用例

光디스크의 機構部는 원판으로 된 光 디스크를 회전시켜 光 앰프를 써서 레이저光을 集束시켜 集光스포트를 光디스크 情報記錄部에 照射하여 反射光을

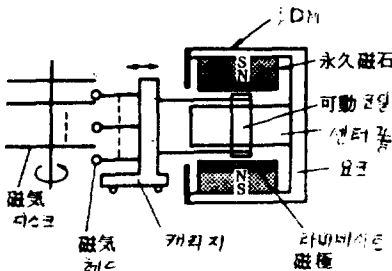


그림 7. 磁氣헤드 移動機構

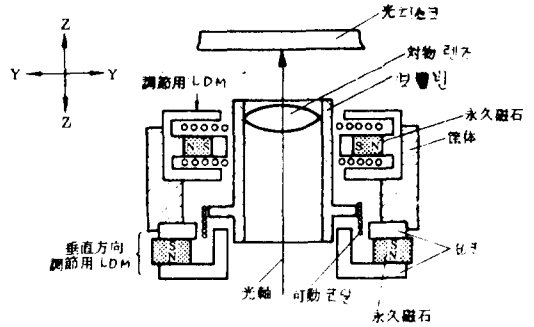


그림 8. 光 디스크 裝置의 移動 機構

電氣信號로 變化시켜야 하므로 캐리어에 光 헤드를 탑재하여 光 디스크의 回轉方向으로 미세한 피치로 高速, 高精度를 액세스 구동시키는 장치이다. (그림 8 참조)

4.2 磁氣 可動形 LDM

1) 카메라의 應用例

카메라 셔터의 양측을 磁石可動形 LDM로 구동시켜 셔터의 속도에 대응하여 필름에 나타나 노출되는 소요시간을 적절하게 동작하도록 하는데 이용되는 사례이다.

2) 레코더, 복사기 등의 多軸 스테이지의 應用例

복사기, 로봇, 레코더등 高速驅動, 瞬時停止 등에 LDM을 유용하게 적용하는 사례이다. (ANORAD社 제품 X-Y 軸 驅動裝置등)

3) 마이크로 플로피디스크 드라이브(MFDD)의 應用例

MFDD의 헤드역세에 回轉필스 電動機를 벨트를

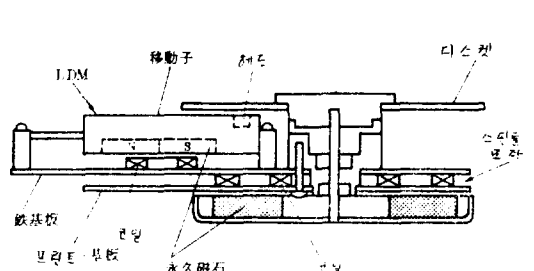


그림 9. 3.5인치 MFDD

써서 구동하던 裝置를 헤드악세스 方式을 LDM을 써서 직접 直線運動으로 變換하게 하는 裝置다. (그림 9참조)

4) 로봇의 應用例

여기에 이용하는 LDM은 長 스트로크로 하여 直 流驅動時 應答性, 効率, 補修및 壽命이 오래간다는 장점을 理由로 다이렉 드라이브(DIRECT DRIVE)로 보트에 적용한 例이다.

5. 外國의 LDM의 應用 開發 現況

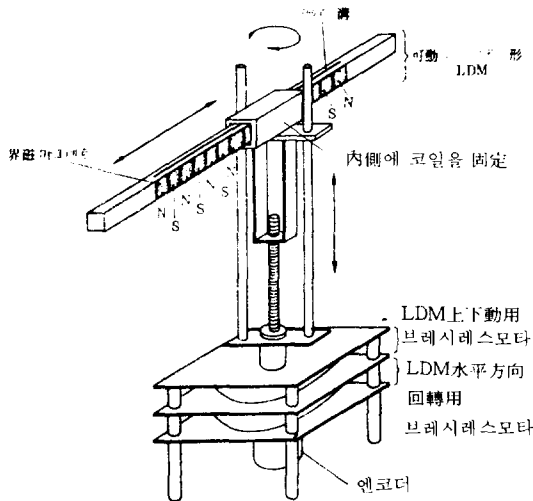


그림 10. 簡易形 DD로봇

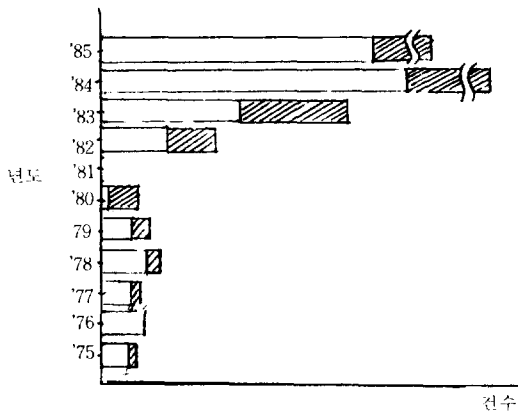


그림 11. 日本의 LDM 관련 주요 특허 건수. (1975년부터 1985년까지)

海外 各國들의 LDM의 開發狀況을 表1에 나타내었다.

표 1. 外國의 LDM의 開發應用例

國名	開發, 應用例(研究기관)
미 국	大容量 디스크 드라이브(Hewlett-packard 社) 磁氣 디스크 用(System Magnetic 社, Seagate Technology) Rail gun(MIT) 光 디스크, IC제조 驅動用(precision Computer Component 社) 位置 決定 테이블(Anorad Corp)
영 국	레코더(Faster Combridge LTD, 120mm) 船舶 推進用 리니어 超傳道裝置(University of Warwick)
서 독	펜 레코더(Flexa Controls) 리니어 포텐쇼메터
소 련	펜 레코더(GSKB PEA)
일 본	家庭用 Knitting Machine(실버 精工) 복사기((주)리코) 位置 決定스테이지(日本 電氣) 자동차용 자동커어튼(도요다 車體) 速度 檢出用 LDM(富士通) 마이크로 FDD의 헤드驅動用((주)시코) 부품 반송 장치((주)시코)

표 2. LDM의 最新 應用例

構造形態	應用例(仕様)
角 形	직교좌표형 로봇(X-Y축 1-8[μ m]) 光 디스크(100[mm], X-Y 스테이지 10[mm], 0.1[μ m]希土類 磁石) 레코더(120[mm])
圖 形	결합 檢出用센서 추종장치(20[N], 3차원 피드백제어(1[μ m]) 플로터(높이 30[mm]이하), 磁氣디스크
特 殊 形	電子 런처(20[km/s], 10[kN]), 선박 추진용 리니어 超電導機(3[T], 200[rpm]) 超電導船 (15[N], 0.6[m/s], 4.5[T]) 結晶 構造解析用 에일전 (15[km/s], 開發中)

表1에 제시된 應用例 이외에도 선진각국에서는 應用 開發에 대단한 관심을 갖고 활발한 研究가 進行 중 인 것으로 생각되며 中國에서도 中國科學院 電氣 研究所가 中心이 되어 코일 可動形 LDM에 대한 研究가 推進中인 것으로 알려지고 있다.

한편 最近 LDM의 構造的 形態로 나누어본 最新 應用例를 圖表로 나타내면 표2와 같다.

LDM에 대한 應用研究에 대한 관심을 살펴보기 위해 日本의 경우 80年을 前後로 10 여년간 日本 特許, 實用新案의 출원건수를 살펴보면 그림 11과 같다.

이 그림에서 알 수 있듯이 1982년 이후 부터 LDM에 관련된 특허출원 상황을 보면 LDM에 대한 응용개발 연구가 매우 급증하고 있음을 알 수 있다.

6. 맺음말

LDM의 分類와 應用 事例를 다루는데 制限된 지면사정 등으로 아쉬운 점이 많이 남는다.

LDM의 개발 및 응용은 OA용, 측정 및 미소이동용 기구로서의 소형에서 부터 선박추진용 超電導機, 레일전등의 특수용도의 大容量에 이르기까지 매우 다양한 형태로서의 진전이 예상된다.

특히 先進 外國에서의 이 分野에 대한 지대한 關心과 엄청난 研究開發 상황에 비해 國內의 실정이 너무 微弱하다는 생각을 하며 이 分野에 대한 興味와 研究開發의 努力을 아끼지 않는 研究者가 많이 나와야겠다.

참 고 문 헌

- [1] 白木 學, 宮尾 修美: 圖解リニアサ ポモータ 스템設計 總合電磁出版社, 1986
- [2] 山田, 海老原, 川西, 脇若: 리니아모-타의國內外における研究開發動向電氣學會マグネテイツワス研究會資料 MAG-86-25, 1-12(1986)
- [3] S.A,Edwards: High-capacity disk drive servomechanism design Hewlett-packard Journal, Vol. 35, No.1, 23-27 (1984)
- [4] R.R.Borg, et al: Voice coil termination, IBM Technical Disclosureulletin, Vol.20, NO.4, 1560 (1977)
- [5] M.W.Rudy: Force constant linearty optimization technique as applied to a long gap, short coil Linear actuator ibid. Vol.22, No.2, 780-781 (1979)
- [6] H.Remer: Gleichstromilnearmotor, Elektrrie, Vol. 32, No.11, 582-585 (1978)
- [7] 山田: 産業用リニアモ-타工業調査會 (1981)
- [8] 山田: 内外における 리ニア모-타形磁氣アクチュエ-타の研究 日本應用磁氣學會 第29回 研究會資料, pp1-5 (1983)
- [10] 堀川, 小川: 리니아直流모-타의光디스ワへの應用 日本應用磁氣學會 第29回 研究會資料, pp.13-20 (1983)
- [11] 山田: 小型리니아直流모-타의推力解析, トリケツプス 磁氣回路解析應用ハンドブック, 第IV編, 第3章 (1982)