

直線形 펄스 電動機(LPM)

이은웅* · 김일중**

(*충남대 공대 전기공학과 교수, **동 박사과정)

1. 序 論

現代 産業社會의 高度精密化, 自動化, 高級化등의 要求에 따라 事務自動化(OA), 工場自動化(FA), 各種 情報通信機器 및 家電機器등의 需要가 急速度로 增加하고 있다. 이들 應用機器의 驅動原인 액츄에이터(actuator)에는 油壓또는 公器壓액츄에이터, 形狀 記憶 合金 액츄에이터, 電磁力를 利用하는 電磁액츄에이터등이 있다. 最近에는 전체 액츄에이터 需要의 50% 이상을 電磁액츄에이터가 차지하게 되었으며 이것은 마이크로 프로세서에 의한 디지털 制御技術의 進歩와 新素材로서 새로운 磁性材料의 出現에 따라 輕薄 短小이면서도 큰 機械的 推力를 얻을 수 있게 되었기 때문이다[1].

電磁액츄에이터의 一種인 LPM(linear pulse motor)은 直線往復 運動을 必要로 하는 모든 應用機器의 驅動에 적합한 線形 電動機로서 直接驅動(direct drive)方式을 채택함으로써 回轉形 電動機를 使用하는것과는 달리 減速裝置, 動力傳達 機構가 不必要하여 전체 시스템의 構成에서 部品の 數를 줄일 수 있기 때문에 製品의 信賴性이 向上되고 小型輕量化 할 수있다. 또한 LPM은 機械的 構造가 간단하고 非接觸 直接驅動이 可能하므로 機器의 特性 變化가 적고 보수성이 優秀하다. LPM은 LIM, LDM, LOA, LES, LEP, LSM등의 直線運動形 電動機와 比較하여 다음과 같은 점에서 優秀한 性能을 가지고 있다[2].

- (1) 間歇的인 直接運動性
- (2) 작은 變位の 運動性
- (3) 높은 位置決定精度
- (4) 低速度 運轉
- (5) 開루프 制御性
- (6) 單位 入力 當 높은 推力

反面에 高速運轉, 可動子 構造의 簡單化, 價格, 可動子の 支持機構 등에서 많은 問題點도 가지고 있다. 이와 같은 LPM의 原理, 特性, 應用分野, 國內의 開發現況등에 관하여 關心을 가지고 있는 研究者를 위해 整理하였다.

2. LPM의 原理와 應用分野

2.1 LPM의 原理

LIM은 導機, LDM은 直流機, LSM은 同期機에서 그 原形을 찾을 수 있는 것처럼 LPM은 回轉形 스텝 모터와 그 驅動原理에서 같다. 따라서 LSM (Linear Stepping Motor)으로 表記한 文獻도 있지만 線形 同期電動機(Linear Synchronous Motor)와의 혼동을 피하기 위해 LPM으로 表記하고 있다.

LPM에서 可動子の 移動速度는 주어진 入力 펄스 周波數로 決定되며, 可動子の 移動거리(變位)는 入力펄스 數로 決定되므로 速度制御의 要素는 周波數가 된다. LPM은 入力 펄스 信號에 同期되어 移動하기 때문에 반드시 기어 形態의 齒(teeth)와 溝

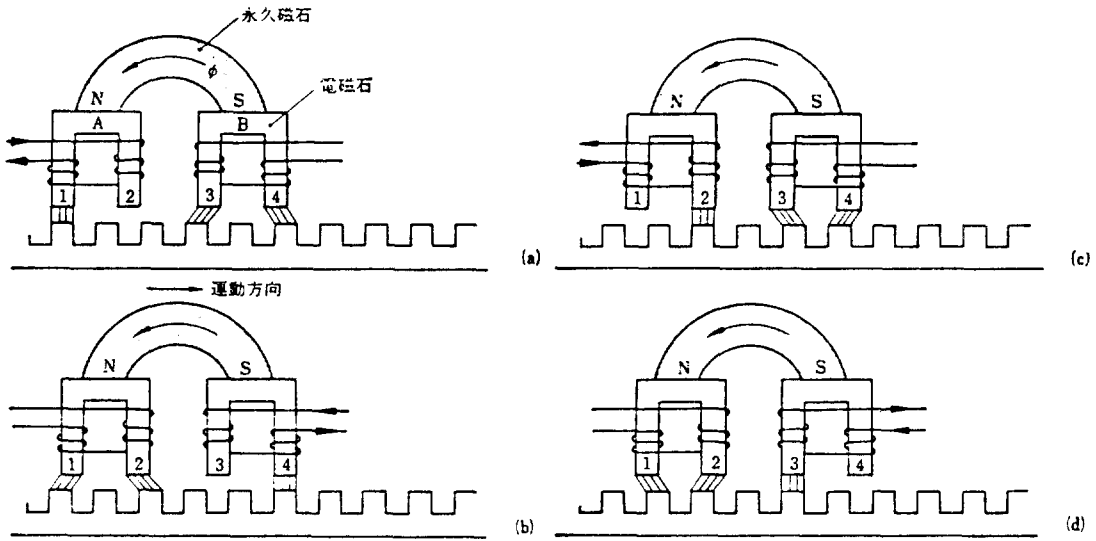


그림 1. Sawyer型 LPM의 磁路 構成圖

(slot)의 形態를 가지며 直線推力의 發生은 可動子의 變位에 따라 可動子와 固定子사이의 퍼미언스(permeance)값이 變化하여 發生하기 때문에 可動子와 固定子 사이에 一定한 空際(air gap)을 維持하여야 한다. 따라서 LPM의 溝와 치가 존재하는 것이 回轉機에서 코일을 감기 위한 슬롯(slot)과는 다르다 [3].

그림 1은 永久磁石을 利用한 典型的인 LPM의 例로서 Sawyer의 原理에 의한 驅動原理를 나타내고 있다. 그림에서 永久磁石과 突極을 갖고 있다는 점에서 하이브리드形 電動機와 매우 類似하다. 코일 1과 2는 극성이 反對가 되도록 直列接續으로 되어 있으며 코일 3과 4도 같은 形態로 連結되어 있다. 그림 1(a)에서 A相에 化살표 方向의 勵磁電流를 흘리면 齒 1에서는 磁界가 增加하지만 齒 2에서는 永久磁石의 磁界와 電磁石의 磁界가 서로 相殺되어 그림 1(a)의 位置에서 停止하게 된다. 이때 B相에서는 自力의 均衡이 維持되고 있다. B相에 勵磁電流를 흘리면 齒 4의 磁界는 增加하고 齒 3에서는 相殺되어 그림 1(b)의 位置에서 停止한다. 즉 그림 1(a)의 位置에서 1/4피치 進行된 位置가 된다. 다시 A相에 앞의 경우와는 다른 方向으로 電流를 흘리면 可動子は 1/4피치 移動된 그림 1(c)의 位置에서 停止하게 되고, B相에 그림 1(b)의 경우와 反對 方向의 電流를 흘리

면 다시 1/4피치 移動하여 그림 1(d)의 位置에서 停止하는 패턴으로 驅動된다.

LPM은 回轉形 stepping Motor와는 달리 그 機械的인 構造上 端部效果(end effect)가 存在하며 固定子の 作用面에 發生하는 推力은 空際(air gap)의 크기가 작을수록 커지지만 이와 함께 可動子와 固定子 鐵心 사이에 作用하는 垂直方向의 垂直力(normal force)도 增加하기 때문에 LPM의 可動子를 支持하고 있는 支持機構에 不均一한 힘으로 作用하여 機器의 性能을 低下시키는 한 原因이 되기도 한다. 따라서 磁器回路를 構成하는 方法이나 모양에 따라 顯하는 特性을 얻을 수 없는 경우도 發生하게 된다.

2.2 LPM의 分類

LPM은 표 1과 같이 磁器回路의 構成, 機械的인 모양, 勵磁方式등에 따라 構成의 自由度가 대단히 높기 때문에 많은 種類가 開發되고 있으며 크게 基本的인 構造面에서 分類해 보면 勵磁電流만으로 磁束을 發生하는 VR(variable reluctance)形과 永久磁石이 總磁束의 1/2를 차지하여 勵磁入力이 작은 PM(permanent magnet)形으로 나눌 수 있다[2].

機器回路의 相數를 2相에서 부터 多相으로 製作하는 것은 使用目的에 맞는 驅動特性을 얻을 수 있고

표 1. LPM의 分類

區 分	形 態
磁氣回路的 構成	PM形, VR形
磁氣回路的 相數	2, 3, 4, 5...相
齒의 材質	永久磁石, 軟鐵
構의 形態	角形, 半圓形
幾何學的 形態	平板形(兩側式, 片側式), 圓筒形
可動子	1次側, 2次側
勵磁方法	Unipolar, Bipolar, 定電壓, 定電流
空隙支持機構	롤러베어링, 磁氣베어링, 空氣베어링

록 하기 위함이다. 發生推力的 크기는 PM형이 VR形 보다 크지만 運轉時의 騒音이 적고 構造가 簡單한 面에서는 VR형이 有利한 特性을 가지고 있으며 실제 應用機器에는 PM形이 훨씬 많이 채택되고 있다. 또한 可動子의 移動 自由度를 크게 하고 보다 簡單한 驅動回路를 構成하기 위하여 兩側式 보다는 片側式이 有利하다. 그러나 片側式은 可動子와 固定子 鐵心 相互 間에 作用하는 垂直力(吸引力, 反發

力)이 作用하여 運轉 特性을 低下시키는 原因이 된다. 그림-2에 LPM의 基本 構造와 磁器 等價 回路를 나타내고 있다[2].

2.3 LPM의 應用分野[4]

(1) 高速, 高解像度의 複寫機

從來의 複寫機와는 달리 最近에는 縮小, 擴大, 畫像合成등의 高度의 畫像處理能力을 갖춘 複寫機를 要求하고 있으며 이와 같은 複寫機에 平板形 LPM이 使用되고 있다. 高速度的 LPM과 bipolar IC를 使用한 image sensor는 A4用紙의 1秒에 읽는 高速性과 16 [dots/mm]의 高解像度를 實現하고 있다. 또한 LPM를 利用하여 Image scanner를 薄型으로 製作할 수 있게 되었다.

(2) 프린터

從來의 프린터에서 헤드의 驅動시스템은 回轉電動機와 로프, 풀리등의 動力傳達 部分으로 構成되어 있지만 最近에는 全體 시스템의 小型化和 精密한 位置制御를 實現하기 위해 LPM을 채택하려는 研究가 活潑하다. LPM의 可動子에 直接 헤드를 부착하는

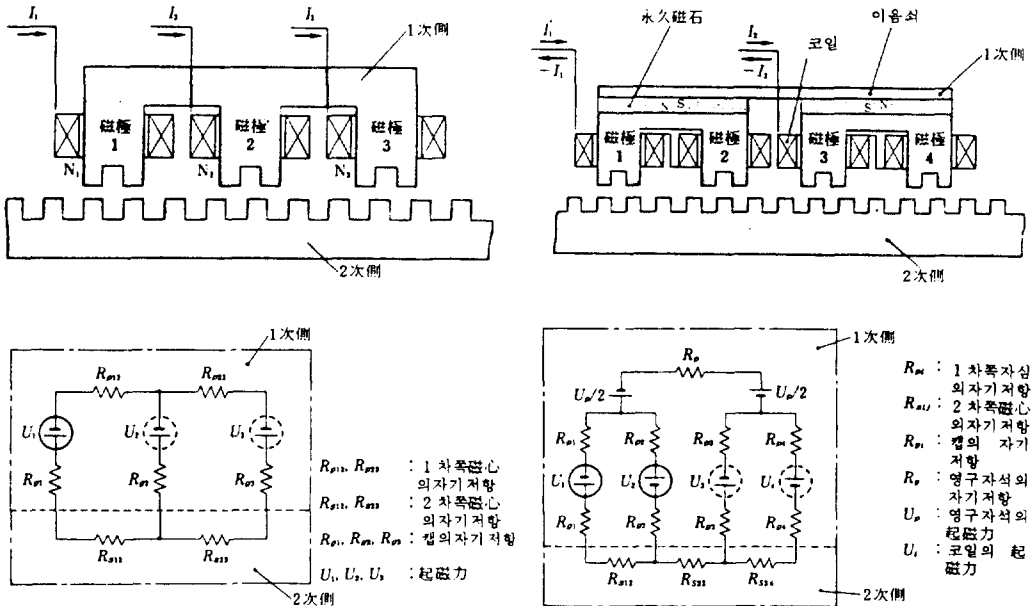


그림 2. LPM의 基本構造와 磁氣等價回路

形式을 取하며 回轉形 電動機와는 달리 空際의 變動이 크기 때문에 可動子를 支持하는 支持機構의 構造 및 強度에 留意해야 한다.

(3) 高精度 位置 決定 機構

半導體 素子の 生産라인에 使用되는 電子빔 露光 裝置에 應用하면 웨브의 移動時間을 短縮하여 生産性을 向上시킬 수 있다. 또한 可動子에 永久磁石을 使用하지 않으면 電子빔露光 裝置에 磁界의 變動을 주지 않아 有利하다. 要求되는 性能으로는 수[μm]의 마이크로스텝 驅動이 可能해야 한다.

(4) 전자타자기

LPM을 使用하면 驅動와이어, 기어, 캠 등의 部品이 不心要하므로 構造가 簡單하고 DC電動機의 브러시와 같은 接觸部가 없어 壽命을 延長할 수 있다. 또한 LPM의 持徵인 磁器位置決定 機能 때문에 制御回路를 簡單하게 構成할 수 있다.

(5) 自動搬送裝置

臺車의 輕量化를 위해 VR形으로 構成하면 保持力이 적기 때문에 PM形에 비해 速度를 높일 수 있는 잇점이 있다. 1次側을 固定子로 하고 2次側을 可動子로 하여 磁束橫方向形(TFM)勵磁方式을 채택하고 있다.

(6) 基地 應用分野

X-Y테이블 驅動用, 自動製圖器, 컴퓨터 FDD(Floppy Disk Drive)의 헤드驅動用, 自動鎔接機의 位置決定用, 카드檢索裝置, X-Y플로터, 人工心臟用 액츄에이터 등 많은 分野에서의 應用이 可能하다.

3. LPM의 歷史와 開發現況

3.1 概要

리니어 電動機(LM)의 出現은 지금으로부터 150여 年前인 1941년에 英國에서 最初로 提案되었으나 回轉形 電動機의 눈부신 發展과는 달리 그동안 햇빛을 보지 못하다가 1956年 英國의 Laithwaite등이 LIM의 持性을 理論적으로 解析하기 始作하면서 부터 LM에 對한 研究가 始作되었다고 볼 수 있다. 本稿에서 다루고 있는 LPM의 最初 出現은 1966年 美國의 Fredrickson이 VR形과 PM形에 對한 特許를 出願한 것으로 記錄되어 있으며 2年 뒤인 1968년에는 自動製圖機에 LPM이 利用되었고, 같은 해에

Sawyer는 3像 VR形 空氣浮上式 LPM을 開發하였다. 日本에서는 1976年 부터 VR形 LPM을 生産하기 始作하여 短期間 內에 가장 많은 特許를 出願할 만큼 急速度로 發展하고 있다. 1978年 美國에서 X-Y플로터에 LPM을 액츄에이터로 使用하였으며 1979年 日本의 武藏工大에서 PM形 淨上式 LPM을 試作機로 製作하였다. 1982年 日本 神綱電機에서 PM形 LPM의 大量生産을 始作하였으며, 同時에 FDD用으로 圓筒形 LPM이 開發되었다. 이밖에도 世界 여러나라에서 特殊目的에 알맞는 LPM의 開發과 그 應用 研究에 많은 投資를 하고 있다. LPM 位置決定精度는 機械加工의 精度와 可動子의 支持機構에 의해 左右된다. LPM은 로보트, 情報機器 및 工作機械에도 應用되고 있고, LPM을 使用하는 로보트의 研究開發은 프랑스와 蘇聯이 주축이 되어 이루어지며 이와 같은 研究는 주로 스폿鎔接로보트에 限定되고 있다[5]. LPM은 實用化하는데 必要한 性能을 項目別로 살펴보면 다음과 같다.

(1) 位置決定 特性

開 루프 制御에 의한 位置決定用으로 많이 使用되지만 脫調, 低加速度등의 短點이 있다. 位置決定 精度는 開 루프 制御에서 $\pm 30[\mu\text{m}]$ 정도가 可能하고 分解能은 $0.42[\text{mm}]$ 의 것이 大部分이다. 그러나 높은 精度의 것은 $\pm 15[\mu\text{m}]$, 分解能 $0.21[\text{mm}]$ 의 것도 있다.

(2) 速度特性

LPM의 實用速度는 開 루프 制御의 경우 最大 $0.4\text{--}0.6[\text{m/s}]$ 정도이다. 速度를 높이거나 位置決定 精度를 높일 必要가 있을 때에는 可動子와 固定子の 相對位置를 檢出하여 適當한 勵磁 모드의 선택으로 驅動시킨다. 閉 루프 制御時의 速度는 $1\text{--}3[\text{m/s}]$, 位置決定 精度는 센서의 性能에 따라 다르지만 精度를 높일 수 있다.

(3) 價格

LPM은 製作加工時에 發生하는 機械加工精度의 誤差에 따라 位相決定精度와 推力의 均一性등에 매우 큰 影響을 미치므로 精度가 높은 齒피치의 加工을 必要로 한다. 따라서 아직까지는 大量生産이 어렵기 때문에 回轉機에 비해 價格이 비싸다. 이와 같은 가격문제의 해결을 위해서는 손쉬운 加工法과 大量生産을 위한 記述開發이 要求된다.

3.2 國內外 開發現況

國內의 開發現況

우리나라에서도 1980年代에 들어서면서 産業社會의 特徵인 모든 分野의 高度精密化, 多機能化 自動化들의 要求에 따라 名種 尖端 機器의 需要가 급격히 增加되고 있다. 따라서 이와 같은 應用機器의 基本的인 驅動原인 小型 精密 電動機의 開發은 重要한 課題로 浮上하기 始作하였다. 그러나 이처럼 메카트로닉스(mechatronics)의 눈부신 發展으로 小型精密 電動機의 需要는 急速度로 增加하기 始作했으나 國內에서는 基礎研究의 不在, 機器의 設計 및 開發人力의 부족, 部品素材 産業의 落後, 設備投資에 드는 막대한 資金所要 尖端科學에 대한 막연한 定義 등의 問題로 大部分의 需要를 外國으로부터 輸入에 依存하고 있다[6]. 특히 名種 應用機器의 重要한 部品이 되는 小型 精密 電動機는 應用機器가 開發되는 時點과 같거나 앞서야 하는데 外國으로 부터의 輸入으로 인하여 國內에서는 初期段階 부터 開發의 기회조차 주어지지 않는 問題를 안고 있다. 따라서 基礎研究의 必要性이 절실하게 要求되는 상황이다.

이러한 상황에서 1980年代 중반에는 小型精密 電動機의 國產化를 위한 努力으로 VTR에 使用되는 캡스텐(capstan) 電動機와 헤드드럼 電動機가 一部 開發되었으나, 1987年 商工部의 産業技術需要調查 報告書에 나타난 바와 같이 應用機器의 直接驅動이 가능한 리니어 電動機(LM)에 대한 研究開發은 國內 未保有 技術로서 先進國으로부터의 技術移轉을 願하고 있으나 리니어 電動機를 포함한 尖端 技術은 自國의 新技術 保護注意로 결국 國內에서 자체 開發하는 수 밖에 없는 실정이다[7]. 應用分野가 대단히 넓은 小型 LPM에 대한 基礎的인 研究에서부터 始作하여 開發段階에 이르기까지 꾸준한 投資와 研究가 계속되어야만 메카트로닉스 分野에서 要求하는 새로운 形態의 自動化, 高速化, 小型輕量化를 이룰 수 있다.

外國의 開發現況

世界的으로 小型리니어 電動機의 研究開發에 참여하고 있는 나라를 보면 日本, 英國, 프랑스, 서독, 체코, 캐나다, 스위스, 美國, 소련, 中國 등 10여개 나라가 있다. 그러나 日本, 美國, 체코, 中國을 제외한 다른 나라들은 研究 開發의 重點을 交通 運送

手段(linear motor car)에 應用하는 分野로 限定시키고 있다. 이들 나라 가운데 小型리니어 電動機의 선두 주자인 日本은 日本電氣學會 內에 리니어 電磁액추에이터, 리니어 電動機 解析, 人工心臟, 磁器浮上 등 4개의 調査專門委員會가 研究活動을 하고 있으며 日本工業技術振興協會의 産業 시스템 高度化 리니어 電動機 研究會에서도 小型 리니어 電動機에 대한 資料分析과 研究를 수행하고 있다[8]. 체코에서는 프라하 電氣工學研究所에서 1970年초 부터 리니어 電動機의 研究開發을 始作하였으며 4種의 리니어 電動機를 開發하여 8가지의 應用機器에 實用化하였으나 大部分 小型리니어 電動機가 아닌 것이 特徵이다. 가까운 中國에서는 1982年 부터 리니어 電動機에 대한 研究論文이 發表되기 始作했으며 小型LPM보다는 蘇聯의 研究 動向과 깊은 관련이 있는 것으로 생각되는 大型 리니어 電動機(LIM 등)의 應用機種이 훨씬 많은 것으로 報告되고 있다. 中國에서 開發되고 있는 LPM은 中國科學院 電工研究所와 上海微電機研究所에서 主觀하고 있다[9].

4. LPM의 展望

LPM을 비롯한 리니어 電磁액추에이터의 應用은 最近들어 急速度로 增加하고 있으나 1次側과 2次側 사이에 存在하는 空隙을 一定하게 維持하기 위한 支持機構에는 앞으로 解決하여야 할 많은 問題點을 가지고 있다. 이 같은 問題가 解決되면 전체 시스템의 小型화와 性能의 向上을 기할 수 있게 될 것이다. 예를 들면 LSI製造過程이나 超精密部品の 製造등에는 작은 먼지도 許容하지 않으므로 製品의 搬送을 위해서는 完全한 非接觸 浮上 技術이 要求된다. 새로운 支持機構가 導入되면 LPM에 의한 搬送의 必要性이 增大될 것으로 判斷된다. 또한 LIM의 長點과 LDM, LPM의 높은 位置決定 性能이 組合되면 生産技術 分野에 있어 커다란 變革이 기대된다. 産業用 로봇의 驅動部分에 새로운 支持機構를 갖는 LPM을 채택하여 摩擦, 摩耗, 振動, 騒音이 없는 새로운 形式의 로봇의 登場도 期待된다.

電動機의 製作에 必要的인 電磁材料는 永久磁石을 除外하고는 發展된 것이 없으며 基本原理는 100여年前에 完成된 것을 그대로 利用하고 있다. 따라서 電動機의 에너지 密度에 있어서의 向上은 거의 없다고

보아도 좋겠다. 따라서 電動機의 힘 密度를 크게 하려면 電磁形에 誘導子 齒 피치를 작게하는 方法 이외에는 없다. 그러므로 齒 피치를 작게하여 驅動될 수 있는 技術開發이 要求된다.

現在 電子形 電動機로서 齒피치 1[mm], 힘 密度 1[N/cc]인 規格의 電動機를 目標로 開發되고 있다. 앞으로 材料開發의 여하에 따라 齒피치 0.1[mm], 힘 密度 10[N/cc]의 電動機도 出現할 것으로 豫想된다. 齒피치와 周波數의 곱이 接線速度가 되므로 驅動周波數가 商用周波數에서 점차 高走波化되고 있는 추세이다[10]. 다음은 LPM을 포함하여 모든 線形 電動機는 計測, 制御, 負荷驅動 側面에서 살펴본 構成 要素에는 制御回路, 電力回路, 線形電動機, 負荷, 支持機構, 各種 電氣的, 機械的인 諸量의 測定 部등이 있다. 이와 같은 構成要素에는 線形 電動機에서만 사용되는 독특한 것과 一般 電氣機器用과 함께 사용할 수 있는 것으로 나눌 수 있다. 그 가운데 空隙을 精確히 維持하면서 可動部를 支持하는 支持機構와 電流, 磁束, 임피던스등의 電機的인 量의 測定과 힘, 變位, 速度, 加速度등의 機械的인 量을 測定할 수 있는 各種 센서에 관하여 간략히 紹介하고자 한다[2].

4.1 支持機構

回轉形 電動機에서는 固定子과 回轉子 사이에 作用하는 電磁力이 大部分 相殺되어 回轉子의 支持機構에는 回轉子의 重力이나 거기에 걸리는 外力, 遠心力등을 支持하면 된다. 그러나 片側式 線形 電動機인 경우 重力이나 外力 外에 可動子와 固定子 사이에 作用하는 電磁力(垂直力)도 지탱하면서 空隙을 精確히 維持해야만 한다. 兩側式이나 圓筒形인 경우 片側式보다는 조금 完化되지만 溫度膨脹등은 문제가 된다. 一般의 支持機構에 要求되는 事項은 다음과 같다.

- (1) 摩擦係數가 적을 것
- (2) Stiffness와 負荷用량이 클 것
- (3) 振動, 騒音を 發生시키지 않을 것
- (4) 最大 스트로크가 클 것
- (5) 耐衝擊性, 耐藥品性, 耐疲勞性, 耐振動性이 있을 것

그러나 이같은 要求가 充足되는 支持機構는 없으

므로 시스템의 用途, 線形 電動機의 機種등을 考慮하여 適合한 支持機構를 채택하여야 한다. 支持機構의 種類로는 슬라이드베어링(sliding bearing), 롤러베어링(roller bearing), 空氣베어링(air bearing), 磁氣베어링(magnetic bearing)등이 있다. 線形 電動機의 支持機構로서 要求되는 事項을 滿足하는 支持機構의 開發은 대단히 重要하다.

4.2 센서

線形 電動機의 위치 制御, 速度制御를 위해 電氣的, 機械的인 量을 測定하려면 線形 電動機用 센서를 使用하여야 한다. 이와 같은 센서에는 크게 特性計測用 센서, 驅動用 센서, 運轉制御用 센서로 나눌 수 있다. 特性計測用 센서는 推力, 垂直力, 機械的 特性, 磁束分布, 渦電流, 임피던스, 入力, 出力, 溫度上昇등을 精確하게 測定하는 것으로 센서자체의 特性뿐만 아니라 그 適用方法, 測定方法에 관하여 檢査할 必要가 있다. 驅動用 센서는 線形 同期電動機, 線形 直流電動機등에서 連續的으로 推力를 發生시키기 위한 磁極 位置 센서와 같은 것으로 電磁變換 素子나 光센서등이 여기에 속한다. 이와 같은 센서는 電動機에 부착되어 電動機를 構成하는 한 要素로 使用되고 있다. 運轉制御用 센서는 位置決定 制御시스템이나 速度制御시스템을 構成하는데 必要한 센서로서 位置決定制御의 精密度는 센서를 포함한 피드백 制御시스템의 精密度에 依存하게 된다. 特別히 LPM은 入力 펄스 數에 따라 開 루프 制御가 可能하므로 마이크로프로세서를 中心으로 한 디지털 制御에 適合하며 近來에는 速度, 加速度등을 檢出하여 開 루프 制御를 行하므로써 脫調하지 않고 高速으로 높은 位置決定精度를 가질 수 있게 되었다. 이와 같이 線形 電動機는 各種 센서를 使用하므로써 그 性能을 최대한으로 발휘할 수 있으며 高機能 高性能化를 가져올 수 있다. 現在 開發되어 使用되고 있는 많은 種類의 센서들에 관한 자세한 內容은 制限된 紙面에서 상세한 紹介는 不可能하므로 생략하기로 한다.

5. 結 論

LPM의 原理, 應用分野, 國內外 開發動向등을 整

理하였다. LPM은 電氣에너지를 利用하여 直接 直線運動力을 얻을 수 있기 때문에 運動變換機構인 齒車, 벨트, 체인, 油壓裝置등이 必要치 않은 直接驅動 方式으로 開 루프 位置決定 制御가 可能하고 應用機器에 組立될 경우 全體 시스템의 部品 數를 줄일 수 있기 때문에 시스템의 信賴性을 向上시킬 수 있으며 액츄에이터가 차지하는 占有空間이 작아도 된다. 그리고 應用機器 全體의 組立工程이 短縮되며 補修가 편리한 점 등 많은 長點을 가지고 있기 때문에 自動化 設備에 있어서 반드시 必要한 電動機이다. 또한 電力電子, 制御工學, 磁氣回路解析등을 담당하는 電氣設計 分野, 材料加工 의장디자인 線形베어링의 開發등을 담당하는 機械設計 分野, 高密度 電磁材料, 센서, 絶緣材料, 複合材料등의 開發을 담당하는 新素材 分野가 서로 體系的인 協助체제가 이루어질때 더욱 性能이 우수한 LPM을 開發할 수 있을 것이다. 특히 우리나라와 같이 賦存資源이 貧弱한 나라에서는 메카니즘 中心이었던 機械工學의 分野가 소프트化되어 메카트로닉스로 發展하여야 하는 것처럼 資源 節約形이면서도 高効率, 高性能화된 LPM을 앞서 開發함으로써 自動制御 技術 市場을 確保해야만 하겠다. 이와 같은 分野에 高級 頭腦와 많은 資本이 投資될때 重厚長大 工業으로부터 부가가치가 높은 輕薄短小 工業으로의 轉換이 可能할 것

이다.

참 고 문 헌

- [1] 山田外, “리니어 電磁 액츄에이터의 現況과 將來”, 油壓과 空氣壓, Vol. 15, No.3, pp.175-182, 1984
- [2] 山田 外, “리니어 모터 應用 핸드북”, 工業調査會, 1984
- [3] 見城, “소형 모터의 기초와 마이컴 제어”, 總合出版社, 1987
- [4] 山田 外, “리니어 액츄에이터와 그 應用機器의 開發 動向”, 自動化技術, Vol. 16, No.9-Vol. 17, No.2, 1984-1985
- [5] 山田, “리니어 자기액츄에이터의 최근 동향”, 日本 전기학회지, Vol. 102, No. 10, pp.913-916, 1982
- [6] 次世代 最尖端 核心 技術 리니어 모터(Linear Motor), 電子科學, Vol. 31, Np. 10, pp.198-205, 1989
- [7] 任泰彬, “小型電動機의 國產化 開發”, 大韓電氣學會誌, Vol.38, No.12, pp.17-20, 1989
- [8] 湧井 外, “精密小型모터의 現況과 將來展望”, 日本電氣學會全國大會 심포지움, S.10-1, 1987
- [9] 山田 外, “最近 中國에서의 리니어 모터 開發研究(3)”, 自動化技術, Vol.19, No.6, pp.21-23, 1987
- [10] 長坂, “次世代 電子액츄에이터를 展望한다”, OHM지, pp.89-95, 1987/12