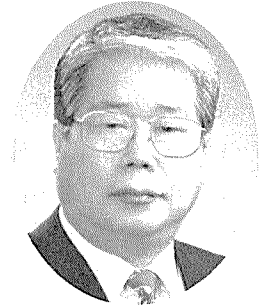


電動力 應用의 未來 展望



忠南大學校 電氣工學科
教授 李 殷 雄

1. 序 論

現代文明의 歷史에서 電氣에너지를 機械的 動力으로 變換하는 電動機는 우리가 살고 있는 産業社會의 各種 利器로 使用되어 便利하고 安락한 삶을 영위하는 초석이 되었다. 대형 플랜트 産業에서 부터 各種 情報通信機器, 家電機器에 이르기까지 우리 生活 전반에 걸쳐 多樣한 種類의 動力을 필요로 하는 生産 現場에서 무수히 많은 電動機들이 使用되고 있다.

이와 같이 電氣에너지를 動力에너지로 變換하는 電動機는 그 種類가 多樣하여 利用되는 應用分野와 機能, 크기 및 驅動原理에 따라 多樣하게 分類된다.

電動機는 크게 電源의 種類와 驅動原理에 따라 直流電動機(DC motor), 誘導電動機(Induction motor), 同期電動機(Synchronous motor)로 分類할 수 있으며 이들 電動機는 100여년 전부터 産業現場에서 使用되고 있다. 最近에는 永久磁石 電動機(PM motor), SR 電動機(Switched reluctance-motor), 브러시 없는 直流電動機(Brushless DC motor), 直線形 電動機(Linear motor) 등이 특수

한 應用分野는 물론 既存의 電動機를 대체하여 廣範圍하게 使用되기 시작하였으며 電氣에너지를 節約할 수 있는 高効率, 高性能化를 實現하기 위한 設計技術의 集中的인 研究가 이루어지고 있다.

電動機 高유의 特性은 물론이거니와 그것을 驅動 및 制御하는 高性能 드라이버의 出現은 多樣한 要素技術의 發達로 눈부신 發展을 계속하고 있다. 새로운 形態의 應用機器가 開發되는 것과 同時에 그 應用機器에 適合하도록 既存의 電動機가 새롭게 設計되기도 하고, 電動機의 驅動原理는 물론 그 形態와 特性이 既存 電動機와 다른 새로운 形態의 마이크로 액츄에이터와 같은 새로운 驅動裝置가 開發되기도 한다.

그동안 國內産業의 눈부신 發展과 함께 電氣機器 分野도 學界와 産業界의 研究開發 必要性이 서로 상승작용을 하여 꾸준히 發展해 왔으며, 예를 들면 低損失 電磁鋼板의 開發, 高速 大容量 컴퓨터의 出現으로 CAD/CAM을 利用한 高効率 電動機의 設計, 數值解析法을 利用한 特性解析 技術의 發達, 最適化 技法에 의한 設計技術과 實設計 適用技術에의 應用 등으로 새로운 概念의 電動機 出現이 可能해지고 있다.

〈표 1〉

各種 電動機의 機能과 電源에 의한 分類

DC motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ power and torque motor ■ DC servo motor ■ brushless motor ■ micromotor(with electronic governer) ■ micromotor(with mechanical governer) ■ coreless motor 	
AC synchronous motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ wound field motor ■ reluctance motor ■ inductor motor ■ PM motor ■ hysteresis motor ■ eddy current motor 	
AC asynchronous motor	single-phase induction motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ split phase motor ■ capacitor start motor ■ two value capacitor ■ permanent capacitor ■ shaded pole ■ AC servo
	three-phase induction motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ squirrel cage ■ wound rotor
Universal motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ series commutator motor 	
Stepping motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ PM type ■ VR type ■ HB type ■ shaded pole type 	
Swiched reluctance motor		
Disk and printed circuit motor		
Linear motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ LIM ■ LSM ■ LPM ■ LDM ■ LOA ■ LES 	

또 電力電子 技術의 비약적인 發展은 産業用 電動機 驅動시스템에도 많은 變化를 가져왔다. 종래 수백 馬力 以上の 電動機 驅動에는 주로 다이리스터가 사용되었으며 특별한 용도에 GTO가 이용되었으나 現在 수백 馬力까지 IGBT 등의 스위칭素자가 사용되고 있다. 특히 高度의 信賴性을 要求하는 電氣鐵道 索引用 電動機 驅動에 IGBT가 使

用되고 있다. 또한 마이크로프로세서의 發展과 低價格化로 高度의 디지털 신호처리를 實時間으로 수행하는 것도 可能하게 되어 電動力을 應用하는 모든 시스템에 다변수 상태궤환 制御理論, 適應制御, 豫測制御 등의 現代 制御理論이 活用되고 있다.

各種 電動機를 分類하는 方法은 여러 가지가 있

으나 간단하게 電動機의 形態에 따라 分類하면 圓筒形, 디스크形, 直線形 등이 있으며, 電源의 種類와 電動機의 機能에 따라 細分하면 <표 1>과 같다.

본 원고에서는 방대한 電動力 應用技術 가운데 위에서 언급된 제한된 範圍의 電動機에 대한 基本的인 特徵 및 驅動回路에 관한 內容을 간략히 說明하고자 한다. 그리고 實際 產業現場을 비롯한 우리 주변에서 電動機를 利用한 電動力이 어떻게 應用되고 있으며 應用하고자 하는지를 몇가지 事例를 들어 說明하고 向後 電動力應用 技術의 發達을 展望하기로 한다.

2. 各種 電動機의 特徵

2.1 直流電動機

전통적으로 간단한 制御方法과 交流-直流 變換 裝置만으로 쉽게 驅動이 可能하기 때문에 速度制御가 要求되는 產業現場의 驅動시스템으로 使用하였다. 直流電動機의 토오크는 電機子 電流와 界磁磁束에 의해 發生되며 界磁磁束은 界磁電流에 比例한다. 그리고 直流分捲電動機의 토오크 制御는 一定 界磁電流 값에서 電機子電流를 制御하므로써 구현할 수 있다. 直流電動機는 制御 측면에서의 簡便성과 適應性 때문에 可變速 驅動시스템으로 使用이 적당하며, 빠른 토오크 應答特性은 高性能 서보시스템에 直流電動機를 使用하는 이유가 된다. 이와 같이 直流電動機는 制御의 우수성에서 이상적이지만 일반적으로 誘導電動機에 비하여 비싸고 다루기 힘들다. 또한 整流子和 브러시 등 機械的 마찰 부분이 存在하기 때문에 고장이 잦고 정기적인 유지보수가 필요하여 高速 또는 위험한 환경에서의 使用에는 적당하지 않다. 이와 같은

이유 때문에 많은 驅動시스템 分野에서 直流電動機를 誘導電動機로 대체하고자 하는 努力이 集中的으로 이루어지고 있다.

2.2 誘導電動機

堅固하면서 價格이 싸기 때문에 전통적으로 定速度를 要求하는 驅動시스템에 適合한 電動機로 자리잡았다. 이와 같은 定速度特性的 誘導電動機를 可變速 驅動시스템으로 利用하기 위한 努力이 30여년 전부터 現在 까지 계속되고 있다. 그 結果 誘導電動機 可變速驅動시스템의 開發이 이루어져 성능이 우수하고 價格이 싸지면서 產業現場에서 既存의 直流電動機를 대체하여 可變速 驅動用 電動機로 使用되고 있다. 最近에는 電力電子, 마이크로일렉트로닉스, 마이크로컴퓨터 技術의 급속한 發展에 따라 복잡한 제어알고리즘의 誘導電動機 制御機가 적당한 價格으로 보급되고 있다. 基本的으로 誘導電動機의 形態는 籠形誘導電動機(squirrel cage induction motor, SCIM)와 捲線形(wound rotor induction motor, WRIM)이 있다. 捲線形에 비해 싸고 機械적으로 堅固하기 때문에 產業現場에서 널리 使用되고 있다. 이와 같은 추세는 앞으로도 各種 驅動시스템에서 계속될 展望이다.

誘導電動機의 可變速 驅動에는 1960년 후반 1차 周波數制御方式에서 電壓周波數(V/F)一定制御方式이 open loop로 實現되었고 계속하여 closed loop로 構成하여 그 特性을 개선하였다. 소위 슬립 周波數制御方式 등으로 實用化되었다. 그러나 이와 같은 방식은 誘導電動機의 정상상태를 취급하는 식으로 誘導된 평균치 制御였으며, 과도 상태는 考慮하지 않았다. 따라서 動特性에 있어 순시값으로 토오크를 制御하는 直流電動機의 制御

의 安定性, 起動 및 低速에서의 安定된 토오크, 빠른 制御應答 등을 따라갈 수 없었다. 誘導電動機의 制御特性을 改善하기 위한 努力으로 1970년대에는 直流電動機 速度制御와 같게 誘導電動機를 驅動한다고 하면 가장 좋은 制御가 될 것으로 생각하게 되었고 벡터制御는 이와 같은 생각에서 등장된 制御方式이다. 벡터制御는 초기에 field oriented control이라 하여 磁界 벡터의 方向을 基準 좌표로 하여 電動機의 電流 벡터의 크기, 方向을 瞬時制御하는 것이다. 독일의 K. Hasse는 1968년에 이와 같은 制御方式을 발표하였고, 1971년에 F. Blaschke에 의해 더욱 일반화된 制御概念으로 field oriented control이라는 명칭으로 발표되었다.

2.3 同期電動機

可變速 驅動시스템 分野에서 誘導電動機의 강력한 경쟁자로 登場하고 있다. 誘導電動機와 比較하여 주요 長點은 誘導電動機의 電壓制御시 發生하는 電力損失을 排除할 수 있으며 報償電流를 흘릴 수 있다는 점을 들 수 있다. 또한 回轉界磁形이 대부분이므로 回轉자로 부터 자화에너지를 供給하므로 성능의 감소없이 空隙을 크게 할 수 있다. 誘導電動機와 比較하여 同期電動機의 주요 長點을 들면 슬립에 따른 損失의 排除와 電動機 자체적으로 無效電流를 흘릴 수 있다는 점이다. 電壓/주파수 制御가 가능한 同期電動機의 open loop 制御는 방직공업, 섬유방적 등과 같이 높은 動特性이 要求되지 않는 應用分野에서 使用되어 왔다. 同期電動機의 가장 혼한 制御方法으로는 自己制御(self control)과 field oriented control이 있으며 이와 같은 制御方法은 他勵磁 直流電動機의 制御처럼 適應性이 뛰어나다. 永久磁石을 가지고 있는 同期電動機와 低出力(10kW以下) 서보시스템용 同期

電動機의 制御時 自己制御와 field oriented control를 같이 使用하면 매우 좋다. 그러나 50馬力以下에서는 籠形誘導電動機와 比較하여 製作 單價가 높고 高性能 制御를 위해서는 位置檢出用 센서가 必要하다.

2.4 永久磁石 電動機

最近들어 희토류 磁石의 등장과 함께 비약적인 성장을 계속하고 있다. 이 電動機는 勵磁를 위한 별도의 整流裝置와 브러시가 없어도 回轉子 磁束을 永久磁石으로 부터 供給받을 수 있기 때문에 同期電動機와 比較하여 界磁捲線과 直流電源供給裝置, 슬립 링을 必要로 하지 않는다. 따라서 損失을 줄일 수 있을뿐 아니라 구조도 복잡하지 않다. 回轉子의 勵磁制御는 可能하지 않고 固定子측 勵磁制御만으로 電動機를 制御할 수 있다. 弱界磁制御는 回轉子 永久磁石 磁束과 反對方向으로 자화되도록 反對方向 電流를 흘리므로써 可能하다. 永久磁石 電動機는 基本的으로 두 가지 形態가 있다. 첫째, 永久磁石을 回轉子의 表面에 장착한 비돌극형의 경우에는 空隙이 크게 되면서 界磁磁束에 影響을 미치는 電機子反作用의 影響이 적게 된다. 따라서 固定子 電流의 變化에 따른 空隙磁束密度의 變化가 작게 되며 制御가 比較적 쉽다. 두 번째 形態는 永久磁石이 回轉子 내부에 位置한 永久磁石 電動機로 좁은 空隙과 돌극 구조를 하고 있다. 토오크는 勵磁와 리럭턴스 토오크에 의해 發生되며 電機子反作用의 影響이 크다. 永久磁石 電動機의 固定子 捲線은 구형과 또는 정형과 電流로 勵磁되며 특히 구형과로 勵磁되는 경우 固定子 捲線은 集中捲이고 捲線에 誘導된 電壓은 사각 또는 사다리꼴 形態가 된다. 이 電動機는 일반적으로 低價, 低出力의 브러시리스 驅動에 使用된다.

정현파로勵磁되는電動機는固定子捲線이分布捲이며,토크의맥동이적고高出力에적당하다.

2.5 SR電動機

SR電動機의基本的인原理는이미100여년전에알려졌음에도 불구하고그동안實用化가정착되지못하였다.最近에는소용량에서부터중간용량의負荷驅動用電動機로활발하게利用되고 있으며국내외적으로研究도활발하다. SR電動機는固定子와回轉子모두에돌극을가지며回轉子は捲線이나永久磁石 및 整流子を가지 않는성충철심을使用한다. 따라서機械적으로매우堅固하고製作이容易한長點을가지고있다.回轉子の位置에따라空隙의磁氣抵抗이최소가되는位置로이동하려는리럭턴스토크를發生시키기위해固定子捲線에펄스形態의電流를가한다. 이電動機의토크는磁氣回路의리럭턴스變化에의해發生되며효과적인正토크의생성과負토크의抑制를위하여固定子の各相에回轉子の位置角度에따른적정한스위칭을必要로한다. 同時에스위칭에의한SR電動機의전류파형은出力토크發生 및 磁氣飽和에의한鐵損등에관련되므로電動機의效率에직접적인影響을미친다. SR電動機의可變速範圍는低速에서超高速까지대단히넓으나高性能의速度範圍는基準速度의設定에따라그값이다르다. 基準速度의設定은基準電壓/턴수값의조정으로결정되지만高效率의設計파라미터에는空隙의치수도관련되는등設計定數의조정은간단하지않다. 現在까지開發된것으로는1000(rpm)내지7000(rpm)의基準速度에서만高效率運轉特性을가진다. 따라서가장利用도가높은1000(rpm)이하의速度에서高效率高性能運轉이가능한研究

가必要하다. 또한리럭턴스토크를活用하는動力變換시스템은低速高토크特性的動力用스테핑電動機와超高速高效率의SR電動機形態의開發이주로이루어지며産業用, 業務用 및 家庭用電動力化의급격한신장추세에맞추어既存電動力시스템을대체하여그活用範圍가크게확대될것으로展望된다.

2.6 브러시 없는 直流電動機

1980년대에出現하여컴퓨터 주변기기에서부터공업용, 군사용에이르기까지應用分野를넓히기시작하였다. 특히컴퓨터 디스크 드라이브, 비디오 테이프 레코더, 인공심장, 연료펌프, 로봇, 프린터, VCR 등에既存의 直流電動機를 밀어내고使用되고 있다. 이와같은 현상은電動機의價格과制御素子の價格이내려가면서앞으로도계속될展望이다. 큰값의殘留磁束密度와保磁力, 그리고큰에너지적을가는Nd계永久磁石의등장은시스템의크기를줄이고效率를增大시킬수있게되었다. 또한既存의 直流電動機는整流子와브러시사이에불꽃을發生시켜不必要한電氣的雜音을만들게되고, 이같은雜音은制御性能에지장을초래하게된다. 이와같은문제점이브러시 없는 直流電動機에서는發生되지않는다. 향후컴퓨터 주변기기의生産量증가에따라브러시 없는 直流電動機의수요는폭발적으로增加할것으로展望된다.

2.7 直線形 電動機(LPM을 中心으로)

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하고있으며이들應用機器의驅動原으로대부분電動機를使用하고있다. 이와같이電動機는마

이므로 프로세서에 의한 디지털 制御技術의 進步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을 얻을 수 있다. 直線形 電動機의 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 適合하며 直接驅動(direct drive) 方式을 채택하므로써 回轉形 電動機를 使用하는 것과는 달리 減速裝置, 動力傳達 機構가 不必要하여 全体 시스템의 構成에서 部品의 數를 줄일 수 있기 때문에 製品의 信賴性이 向上되고 小型輕量化 할 수 있다. 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(直線形 誘導電動機), LDM(直線形 直流電動機), LEP(直線形 전자펌프), LSM(直線形 同期電動機) 등의 다른 直線形 電動機와 比較하여 (1)間歇的인 直線運動性 (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을 發生시키는 特長을 가지고 있다. LIM은 誘導電動機, LDM은 直流電動機, LSM은 同期電動機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하기도 한다. LPM에서 可動子의 移動速度는 주어진 入力 펄스 周波數로 決定되며, 可動子의 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 슬롯(slot)의 形態를 가지며 直線推力的 發生은 可動子의 變位에 따라 可動子와 固定子 사이의 퍼미언

스(permeance) 값이 變化하여 發生하기 때문에 可動子와 固定子 사이에 一定한 空隙(air gap)을 維持하여야 한다. 따라서 LPM의 齒와 슬롯이 存在하는 것은 回轉機에서 코일을 감기 위한 슬롯과는 다르다. LPM의 應用分野는 (1)高速, 高解像度의 複寫機 (2)프린터 (3)高精度 位置 決定 機構 (4)전자타자기 (5)自動運送裝置 (6)其他 X-Y 테이블 驅動用, 自動製圖器, 컴퓨터 FDD(Floppy Disk Drive)의 헤드驅動用, 自動銲接機의 位置決定用, 카드檢索裝置, X-Y 플로터, 人工心臟用 액츄에이터 등 많은 分野에서의 應用이 可能하다. LPM을 비롯한 리니어電磁액츄에이터의 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 全體 시스템의 小型化와 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 期待된다. 産業用 로봇의 驅動部分에 새로운 支持機構를 갖는 LPM을 채택하여 摩擦, 磨耗, 振動, 騒音이 없는 새로운 로봇 形態의 登場도 期待된다. 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 필요치 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 電動機가 차지하

는 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 便利한 점등 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, 의상디자인, 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 體制가 이루어질 때 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의 LPM을 앞서 開發하므로써 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될 때 重厚長大 工業으로 부터 부가가치가 높은 輕薄短小 工業으로의 轉換이 可能할 것이다.

3. 産業에서의 電動力 應用技術의 現在와 未來

로봇, 産業用 機器, rolling mill 등의 驅動時 반드시 要求되는 사항으로 負荷變動과 同時에 이루어지는 速度補正能力과 파라미터의 影響을 받지 않는 制御特性, 빠른 動應答을 提供할 수 있는 高性能, 高信賴性的 驅動回路가 必要하다. 電動力 應用技術의 發展은 매우 多様な 各種 電動機의 設計製作技術은 물론 各 電動機의 特性을 충분히 살릴 수 있는 驅動 및 制御回路 技術의 進진 여부에 따라 決定된다. 그리고 各種 電動機들의 驅動 및 制御技術은 電力半導體素子, 變換回路, 制御理論, 信

號處理 그리고 마이크로일렉트로닉스 등과 같은 매우 多様な 分野의 發展과 밀접한 관계가 있다.

다음은 現在 가장 많이 使用되는 電動力 應用技術에 대하여 그 例를 들고 앞으로의 展望을 技術하고자 한다.

3-1 産業用 로봇과 CNC 工作機械用 AC서보 電動機

現代 産業社會에서 産業用 로봇과 CNC 公작기계는 공장자동화의 주역으로 운동축의 驅動은 DC나 AC서보電動機가 주류이다. 한편 最近 AC서보電動機는 위상검파를 利用한 相電流制御나 벡터制御에 의해 DC서보電動機와 동일한 制御性能을 가지게 되어 급격히 實用化되고 있으며 다음과 같은 分野에서 廣範圍하게 利用되고 있다.

- 1) 시스템의 소형화를 위해 電動機가 시스템 내부에 장착되는 경우(産業用 로봇, 공작기계)
- 2) 한 공장에서 복수개의 서보電動機를 使用할 경우(트랜스퍼 머신)
- 3) 높은 파워레이트 密度가 要求되는 경우(X-Y 테이블)
- 4) 브러시의 분말이 影響을 주는 환경(반도체 제조설비)
- 5) 열악한 작업환경으로 브러시, 整流子 등의 損傷이 우려되는 경우(사출성형기)

이러한 AC서보電動機의 驅動은 아나로그 素子로 構成된 아나로그 制御機에 의해 驅動되고 있으나 最近에는 高速 DSP를 채택하여 電流(토크), 速度, 位置를 디지털制御하는 디지털 制御機를 開發하여 制御가 可能하도록 하고 있다. 이와 같은 制御機는 産業用 로봇과 CNC 公작기계의 소형화, 容易한 유지보수, 制御機의 價格 引下 등의 이유로 향후 널리 使用되리라 豫想된다. 또한

既存의 加減速 및 基本的인 電流, 速度, 位置制御 이외에도 高性能 動特性, 高精密制御가 可能的인 制御機의 出現이 期待된다.

3.2 電氣自動車

자연환경의 보호관점에서 電氣自動車の 實用化는 現在 커다란 관심사가 되고 있다. 배기가스의 發生量을 比較하여도 電氣自動車の 充電電力을 火力發電으로 얻는다고 가정할 때 既存의 내연기관형 自動車와 比較하여 절반 以下로 평가되고 있다. 電氣自動車の 驅動用 蓄電池로 부터 供給되는 電氣에너지를 機械에너지로 變換하여 自動車を 驅動시키는 매우 중요한 핵심 要素技術의 하나이며, 한정된 蓄電池의 용량을 고려한다면 電動機의 效率가 높아야 하고 소형경량화와 승차감을 높이기 위해 騒音 및 振動이 작아야 한다. 電氣自動車の 動力原이 直流이기 때문에 電動機의 種類에 따라 直流-交流變換, 直流-直流變換, 直流-펄스變化등이 必要하게 된다. 電氣自動車에 適合하다고 판단되는 電動機의 대표적인 특성값을 比較하면 <표 2>와 같다. 現在까지 開發된 電氣自動車の 索引用 電動機는 대부분 直流電動機를 使用하고 있다. 그러나 最近에는 소형경량화, 보수성의 향상 등을 목적으로 交流電動機(誘導電動機, 永久磁石形 同期電動機)를 적용한 電氣自動車の 開發이 進行되고 있으며 앞으로 이들 電動機가 주로 使用될 것으로 展望된다. 또한 SR電動機도 중량당 出力이 크고 高速運轉이 可能하기 때문에 적용이 유망한 電動機라는 의견도 있다. 電氣自動車用 電動機에 要求되는 사항에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 高速回轉을 위한 소형경량화
- 2) 蓄電池 1회 충전으로 장거리 運轉이 可能的인 高效率

3) 廣範圍한 定出力 特性

4) 速度, 位置檢出用 센서를 부착하지 않으면 信賴性 向上

이와 같은 電動機의 要求를 만족시키기 위한 制御方法을 誘導電動機와 永久磁石形 同期電動機로 나누어 특징적인 것만 설명하면 다음과 같다.

1) 誘導電動機의 制御方式

誘導電動機의 制御는 엔진을 使用한 自動車와 동일한 運轉感覺을 얻기 위한 方法으로 벡터制御에 의한 토오크制御가 일반적으로 제안된다. 여기에는 벡터制御를 전제한 임의의 토오크에 대하여 效率를 최대로 하는 制御方法과 速度 센서가 없는 벡터制御의 2가지 方法이 있다.

2) 永久磁石形 同期電動機의 速度制御

永久磁石形 同期電動機의 速度制御에는 固定子 捲線에 回轉子의 永久磁石이 만드는 磁束을 相殺시킬 電流을 흘려 弱界磁에 의한 定出力 特性을 구현하는 制御方法과 位置센서가 없는 制御方法이 있다.

電氣自動車の 驅動시스템은 電動機와 高速 자기 턴오프 디바이스를 使用한 초퍼 또는 인버터를 조합한 것으로 自動車の 驅動 및 速度를 制御하는 것으로 파워 일렉트로닉스의 技術이 集約된 시스템이다.

現在 電氣自動車の 直流-交流 變換裝置에는 차려식 인버터가 使用되고 있다. 자기 턴오프 디바이스의 發展에 따라 다이리스터가 파워 트랜지스터, IGBT, MOSFET 등으로 교체되고 있다. 誘導電動機와 永久磁石 同期電動機의 制御에는 IGBT 등에 의한 電壓形 VVVF 인버터를 적용하는 것이 주류이다. 電力變換 시스템의 용량은 수 십 kW

以下로 電壓도 300~400V의 範圍이다. 따라서 高電壓, 大電流의 디바이스를 使用할 必要가 없기

때문에 多樣한 運轉 모드에 따른 電力損失이 작은 디바이스를 선정할 必要가 있다. 특히 자려식 인

〈표 2〉 電氣自動車用 電動機의 代表的인 性能比較

項目 \ 電動機	直流 電動機	PM形 同期電動機	誘導 電動機	SR 電動機
最大効率 [%]	85~89	95~97	94~95	90미만
効率(10% 負荷) [%]	80~87	90~92	79~85	78~86
最大回轉數 [rpm]	4000~6000	4000~10000	9000~15000	15000미만
費用/軸出力 [\$ /kW]	10	10~15	8~12	6~10
制御機 費用	1	2.5	3.5	4.5
信 賴 性	보 통	우 수	최우수	우 수
驅 動 方 式	초 퍼	인버터	인버터	인버터

버터에는 반드시 必要한 逆並列 다이오드의 特性이 스위칭 損失의 低減에 중요한 要素가 된다.

電氣自動車の 制動時 車體의 慣性에너지를 蓄電池에 貯藏하는 回生制動은 1회 충전의 주행거리를 크게 증가시킬 수 있다. 따라서 蓄電池의 充電特性和 잘 맞는 効率が 좋은 回生制動을 채택할 必要가 있다.

向後 電氣自動車用 電動機는 新소재를 使用한 하이테크형으로 設計製作되어야 하며, 高性能 新형 蓄電池의 開發과 함께 상용화된다면 환경문제는 물론 深夜電力을 利用한 充電시스템의 活用이 可能하기 때문에 에너지의 效率의 利用으로 에너지節約 效果도 期待된다.

3.3 電氣鐵道

電氣鐵道の 驅動시스템은 索引用 電動機와 이의 驅動을 위한 電力變換裝置의 조합으로 構成된다. 電氣鐵道の 索引用 電動機는 초기에는 直流電動機

를 使用하였으나 現在는 물론 앞으로도 誘導電動機나 同期電動機가 使用될 展望이다. 電氣鐵道の 운용 및 開發에서 선두 주자인 프랑스는 同期電動機를 索引用 電動機로 채택하여 驅動시스템을 構成한데 반해 比較的 후발 주자인 독일은 誘導電動機를 채택하였다. 일본은 이들 양국의 驅動시스템을 면밀히 檢討한 結果 독일과 같이 誘導電動機를 驅動시스템으로 결정하였다.

同期電動機를 인버터로 驅動시키는 경우에는 電動機마다 인버터가 必要하여 복수 개의 同期電動機를 並列運轉하는 것이 不可能하다. 따라서 同期電動機는 動力集中方式의 電氣鐵도에 주로 使用되며, 界磁는 별도의 초퍼에 의해 勵磁된다. 同期電動機는 本질적으로 위상특성곡선을 利用하여 높은 力率로 運轉이 可能하기 때문에 効율을 向上시킬 수 있다. 특히 回轉子 내에서 發生하는 損失은 勵磁損과 制動捲線에서만 發生되므로 誘導電動機와 比較하여 損失이 작다.

誘導電動機를 인버터로 驅動하는 경우 주로 電壓形 인버터를 使用하며 PWM方式으로 制御되는 경우가 일반적이다. 이 方式은 半導體 素子の on, off 動作을 利用하여 誘導電動機에 거의 正현파에 가까운 電壓을 인가하기 위한 效果적인 方式이다. 또한 誘導電動機를 인버터로 驅動하는 경우 복수

개의 電動機를 1대의 인버터로 並列運轉하는 것이 可能하다. 誘導電動機는 直列接續과 並列接續이 모두 可能하지만 미끄럼, 역행시의 電力均衡과 바퀴의 力이 上이한 경우의 토크 均衡을 考慮하여 並列接續으로 바퀴의 力이 上이한 경우의 速度를 制限하는 것이 좋다.

〈표 3〉 各國의 最高 速度 記錄

區分 年度	車 輛	速 度 [km/h]	電 壓 [kV]	制御方式	索 引 電 動 機
1981	프랑스 TGV-SE	380	AC 25	位 相	直流 電動機
1988	독 일 ICE	406	AC 15	電壓形 인버터	誘導 電動機
1990	프랑스 TGV-A	515	AC 25	電流形 인버터	同期 電動機
1993	일 본 STAR21	425	AC 25	電壓形 인버터	誘導 電動機

〈표 4〉 電動車 制御方式 比較

制御方式 區 分	抵抗制御	초퍼制御	VVVF制御
索引電動機	直流直捲電動機	直流直捲電動機	3相籠形 誘導電動機
制御原理	견인전동기와 직렬로 접속한 주회로 저항을 병렬콘택터의 on-off에 의한 저항값의 변화로 속도 제어	견인전동기에 공급되는 전압을 전력반도체소자의 ON-OFF에 의한 초퍼제어(PWM)로 제어	AC구간에서는 단상교류전압을 주변압기로 강압시킨 후 전력반도체소자를 사용한 콘버터를 통해 DC 1800[V]로 변환시키고, 6상제어 인버터로 3상농형유도전동기를 VVVF제어한다. DC구간에서는 콘버터를 OFF하고 별도의 리액터를 통해 가선전압을 직접 공급받아 인버터를 구동시킨다.
制動方式	발전+공기 제동	희생+공기 제동	희생+공기 제동
消費電力	1(기준)	0.75	0.65
適用車種	서울시 1호선	서울시 2~4호선, 부산시 1호선	과천, 분당, 서울시 5~8호선, 부산 2호, 대구 1호, 인천 1호선

最近 電氣鐵道の 最高速度 기록을 <표 3>에 나타내고 있다. <표 3>에서 알 수 있는 것처럼 動力用 電源은 交流를 使用하고 電動機도 直流電動機에서 交流電動機로 바뀌고 있다. 인버터를 시작으로 파워 일렉트로닉스 技術이 鐵道の 高速化에 貢獻하고 있음을 알 수 있다. 특히 <표 3>에서 독일의 ICE는 상용주파수가 50, 50[Hz]가 아니라 16(2/3)[Hz]를 使用하고 있다.

現在 國內 電氣鐵道の 電動車 制御方式을 比較하면 <표 4>와 같다.

4. 결 론

지난 30여년 동안 電動力을 利用하기 위한 電動機의 驅動技術은 비약적인 發展을 이루었다. 交流電動機 驅動技術은 매우 빨리 發展하고 있으며 많은 産業應用部分에서 直流電動機 驅動技術을 추월

할 것으로 判斷된다. 그러나 시스템이 새로 設置되는 경우에는 많은 部分에서 交流電動機를 채용하지만 이미 設置된 直流電動機 驅動 시스템의 경우 交流電動機로 대체되는 경우는 거의 없기 때문에 生産量의 增大와 良質의 製品 生産을 위해 高性能 直流 드라이버의 開發을 要求하게 된다. 이와 같은 상황은 製鐵所의 各種 플랜트와 電氣自動車, 高速 電氣鐵道에서 그 例를 찾을 수 있다. 새로운 高速 高効率의 스위칭素子, 새로운 構造의 電動機, 새로운 電力變換技術, 새로운 制御技術 그리고 새로운 高速 마이크로컨트롤러 등의 開發은 앞으로 뛰어난 特性을 갖는 電動機 驅動回路의 開發에 기여할 것으로 豫測되며 이와 같은 分野에 대한 關心과 研究는 꾸준히 계속될 것이다. 多様な 要素技術들이 集合된 驅動 및 制御回路 技術의 發達は 곧 電動力 應用 分野의 擴張과 密接한 關係가 있다고 사료된다.

