

# 可變速電動機의 技術動向

朴 旻 鎬  
(서울大 工大 敎授)

## ■ 차 례 ■

- 1. 序 論
- 2. 可變速電動機의 必要性
  - 2.1 生産品質의 향상을 위한 可變速電動機의 必要性
  - 2.2 에너지 節約에서의 可變速電動機의 必要性
- 3. 可變速電動機의 技術現況
  - 3.1 電力變換技術 및 制御
  - 3.2 電動機 技術現況
- 4. 可變速電動機의 展望
- 5. 結 論
- 參考文獻

### [1] 序 論

科學技術과 이것을 기반으로 하는 産業은 近來 30年 나머지의 短期間내 놀라운 발전을 이룩하였다. 모든 生産設備은 “生産原價의 低廉, “自動化” 및 “에너지節約”을 도모하면서 오늘날에 이르렀다.

이와 같은 技術的 環境속에서 電氣機械인 電動機는 해를 거듭하여 가혹해진 示方에 적용하면서 착실히 發展하여 왔다. 이 發展過程을 年代에 따라 추적하여 보면 그 變遷은 다음과 같이 3期로 分類된다고 본다.

**第 1 期 (1870年~1930年) :** 直流機, 誘導機, 同期機 등은 1870年代에 이르러 基本形은 만들어졌다. 그럼에도 불구하고 1930年代까지의 60年間的 回轉機의 理論은 電磁氣學의 테두리내에서 즉 直流機는 Bl法則을, 誘導機는 回轉磁界論, 交差磁界論에서, 그리고 同期機는 同期임피던스法, 2反作用理論, 對稱座標法 등을 사용하여 각각의 理論이 展開되어 왔다.

**第 2 期 (1930年~1960年代) :** 電機理論은 이 年

代에 들어 와서 모든 機械는 變換行列 理論에 따라 基本形 回轉機도 모델化되고, 이 일관된 手法에 의해 解析의으로 취급될 수 있었다. 또 이 理論은 電動機의 過渡特性이나 傳遞函數을 얻는데 사용되었다. 한편, 設計法의 確立, 材料 技術의 개발등에 따라 大容量化, 小形輕量化 등의 점에서 눈부신 발전을 이룩하여 近代 工業社會에 있어 基幹産業으로서의 지위를 확보한 시기라고 본다.

**第 3 期 (1960年代 - 현재) :** 컴퓨터의 偉力과 普級은 電動機의 研究에 큰 영향을 주고 있다. 漏洩磁束分布, 鐵心の 磁氣的 特性, 機內的 溫度 分布, 導體의 伸縮에 따르는 機械的 強度 등이 定量的으로 확실하게 되고, 한편 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 技術은 試作에 時間과 費用이 걸리는 과정, 복잡한 構造와 결합된 定數, 磁氣回路의 非線形性 등을 해결하기 때문에 回轉機의 構造的 改良, 設計의 最適化가 이루어졌다.

電動機는 지금이나 예나 변함없이 銅과 鐵로 構成되고 그 自體의 外形의 변화는 보이지 않으나 電力用 半導體 電力變換裝置와 電動機로 구성된 驅動시스템에 있어 종래의 制御變數(電壓,

電流) 이외에 周波數가 추가되어 速度制御, 에너지節約의 諸般課題에 대해 최근 큰 革新을 가져오게 되었다.

여기서 電力用 半導體變換器+電動機로 構成된 System을 可變速 電動機(adjustable speed motor)라고 規定하고 이에 대한 技術動向을 기술하고자 한다.

## 2 可變速電動機의 心要性

최근 可變速電動機는 産業프랜트의 大規模化, 高度化 그리고 에너지節約化에 따라 그 運轉, 使用方法이 多樣化되고 있다. 여기서 可變速電動機의 使用이 대해 몇가지 예를 기술하면 다음과 같다.

### 2.1 生産品質의 향상을 위한 可變速電動機의 必要性

#### (1) 工作機械의 可變速

加工物の 材質, 可工程度등에 따라 적당한 切削速度를 얻기 위해 回轉速度를 加減하여 부품을 가공하여야 한다. 즉 速度가 자유롭기 때문에 加工物の 品質向上, 均一化 및 作業能率 향상을 도모할 수 있다.

#### (2) 抄紙機의 驅動

抄紙機는 펄프의 附着, 프레스, 건조, 광택 및 差取의 각 부분으로 되어 있고 종이질의 향상은 抄紙工程 및 마무리工程에 있고, 여기에는 可變速電動機가 많이 사용되고 특히 각 電動機間에는 同一速度, 比率速度의 유기적 관계가 있다.

#### (3) 製鋼工場의 壓延

壓延에 의한 鋼板, 鋼材의 品質向上은 실제로 可變速電動機에 의한 壓延速度에 있다고 보아도 과언이 아니다.

#### (4) 섬유, 플라스틱, 유리가공

이 産業에서의 製品品質향상은 加工速度의 조절 즉, 이것을 구동하는 電動機의 문제제 좌우된다고 본다.

#### (5) 로봇트, NC머신의 動作

여기에 쓰이는 電動機의 速度는 brutal한 힘보다는 intelligent한 힘을 要求하고 있다.

### 2.2 에너지節約에서의 可變速電動機의 必要性

(1) 送風機, 펌프, 부로와등은 負荷變動에 따르기 위해 종래 댐퍼, 밸브류를 조절하는 것만 생각하였고, 電動機쪽에서의 出力調節은 고려하지 않았다. 그러나 최근에 와서 加變速電動機에 의한 운전의 効率化가 실현되어 종래에 비하여 20~50%의 에너지節約 效果를 가져오게 되었다.

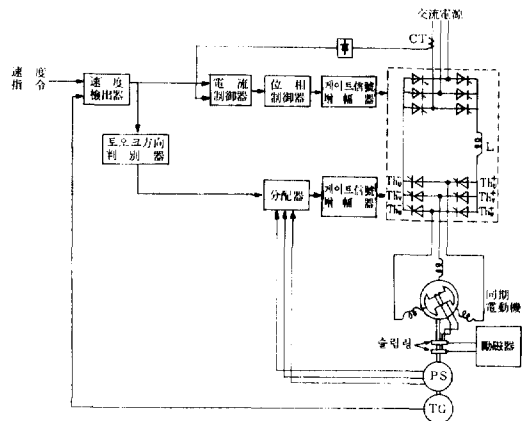
(2) 현재 電動車의 制御器운전에 의해 종래의 抵抗制御운전에 비해 25~30%의 에너지節約을 도모하고 있다.

(3) 生産工場의 品質改善와 동시에 에너지節約을 할 수 있는 場所는 허다하다.

이와 같이 우연하게도 生産的인 側面과 에너지節約의 側面에서 두 要求조건을 동시에 만족시킬 수 있는 것은 구동기의 可變速運轉이 된다.

## 3 可變速電動機의 技術現況

可變速電動機는 電氣→機械에너지 變換機(電動機)로서의 側面과 에너지制御機(變換器)로서의 側面을 동시에 합쳐서 시스템의 觀점에서 생각할 必要가 있다. 그래서 可變速電動機의 技術은 그림 1에 표시한 일 예와 같이 電力變換器技術, 電動機技術 센서技術 및 制御技術의 sub



system으로 구성되어 있다.

### 3.1 電力變換技術 및 制御

#### (1) 電力用 半導體素子の 개발

SCR의 發明은 1次的으로 直流電動機구동에 큰 영향을 주었고, 1次 周波數制御의 交流 電動機에서는 強制消弧때문에 轉流回路를 필요로 하고 스위칭速度가 느리다는 불리한 점이 있기도 하다.

이러한 문제 때문에 최근에는 自己消弧能力과 高速스위칭의 관점에서 大容量素子에서는 SCR을 GTO로 대체하고, 小容量에서는 Power Transistor, MOS FET의 실용화를 기도하고 있다.

#### (2) 電力用 變換器

變換器로서는 制御整流器, Chopper 그리고 VSI, CSI 및 PWM인버터등의 장치가 사용되고 있다. 素子回路의 modul化 高調波除去를 위한 PWM인버터의 연구는 앞으로의 展望이 될 것이다.

#### (3) 制御技術

制御技術의 高度한 발달은 電動機시스템을 포함한 可變速電動機의 명칭을 좌우하고 있다. 그래서 筆者는 다음과 같이 호칭하여 보았다.

- 가) Static Leonard motor (D. C)
- 나) Chopper motor (D. C.)
- 다) Thyristor motor, Inverter motor (A.C.)
- 라) Commutatorless motor (A. C.)
- 마) A. C. Servomotor

#### (4) 디지털制御

마이크로프로세서를 도입한 電動機制御 디지털化는 유연성에 대한 對應, 아날로그에서는 실현할 수 없었던 性能, 技能의 확대, 또 信賴性, 保守性의 향상이 가능하게 되므로 금후 더욱 발전할 것이 예상된다.

최근 one-chip 마이크로프로세서의 보급, 16 bit 마이크로프로세서의 개발이 電動機制御의 올 디지털化를 가속시켰다. 또 마이크로프로세서의 高速化와 高集積化는 制御回路의 hardware의 單純化를 촉진시키고 시스템전체의 信賴性, 經濟性의 개선에 크게 공헌하였다. 최근의 動向으로

서는 16bit 마이크로프로세서에 ROM 및 주변 LSI의 內藏化, 演算의 高速化를 들 수 있다.

#### (5) Sensor의 技術

센서는 電動機의 디지털制御의 신뢰성과 정확성에 큰 영향을 미친다. 따라서 可變速電動機에 있어 速度, 電流, 토오크센서의 高性能化에 대한 연구가 활발히 進行되고 있다.

### 3.2 電動機 技術現況

Sub-system의 하나인 驅動用 電動機는 오랜 역사를 가지고 있고 또한 供給電壓이 正弦波, 一定周波數에 사용하도록 設計 製作되어 있다. 그러나 電力變換器의 사용에 의해 발생하는 電壓 및 電流波形的의 歪形은 可變速電動機에 있어 高調波의 障害를 가져오고 이것이 해결하여야 할 중요한 문제중의 하나가 된다. 이와 함께 종래 일정 周波數의 使用電源에 의한 一定速度運轉에서 발생하지 않았던 溫度上昇, 騒音 그리고 振動의 문제가 발생할 때가 있다.

#### (1) 電動機의 損失增加

電力變換器의 出力電壓波형에 포함된 高調波分에 의한 損失과 高調波電流의 表皮效果에 따르는 損失增加를 가져오게 된다. 최근 誘導電動機에 관해서는 定數決定의 再檢討(高調波 영향) 低슬립設計(2次銅損의 低減), 2次側構造의 再檢討(表皮效果의 영향) 등에서 서서히 設計上의 改良이 進行중하는 단계에 있다.

#### (2) 電磁騒音, 振動

인버터驅動의 경우 空間高調波(電動機슬롯에 의한)에 電壓, 電流의 時間高調波가 중첩되어 에어갭의 高調波磁束이 증가된다. 이것 때문에 電動機토오크에 脈動을 발생하여 騒音, 振動의 증가를 초래한다. 특히 負荷와 連結된 電動機軸의 固有振動과 脈動토오크의 振動周波數가 일치하면 共振을 일으키고 軸에 큰 토오크가 作用하게 된다.

#### (3) 可變速度의 制限

電動機를 可變速制御하는 경우 低速領域에서의 冷却能力의 저하, 그리고 高速領域에서의 機械的 強度의 제약등에서 可變速 電動機로서의 要求를 충족시키지 못한다. 이러한 경우는 可

變速專用 電動機의 出現을 기대하여야 한다.

(4) 直流機의 整流

電機子電流가 脈動하면 이것이 平滑할때에 비해 電流퍼크션 근처에서는 큰 電流의 整流가 이루어지므로 轉流를 받는 코일에는 電流變化에 의한 큰 電壓이 誘起되어 整流條件을 劣化시킨다.

④ 可變速電動機의 展望

(1) 解析 및 시뮬레이션手法

變換器와 電動機를 결합한 可變速電動機 시스템의 解析手法에 대해서 많은 論文이 발표되어 그 畧이 들어나고 있다. 그러나 非線形 特性을 표시하는 電動機의 다이내믹스까지 포함한 過渡解析에 대해서는 汎用的인 手法까지 確立되었다고 볼 수 없다. 앞으로 物理的인 意味를 소실하지 않고 理論的으로 正確하고 工學的으로 도움이 되는 手法의 實現이 요망된다.

(2) 交流 可變速電動機 驅動技術

최근 다이리스터·레오너드에 의한 直流電動機의 驅動方式은 거의 완성의 領域에 들어가고, 파워, 에레क्ट로닉스와 마이크로, 어레क्ट로닉스의 進전에 따 交流 可變速 驅動方式이 maintenance free의 利點을 살려서 直流電動機方式에 代替될 양상에 있다. 따라서 인버터는 主回路用 自己消弧素子の 高速化, 大容量化에 따라 어디까지 小形化, 低코스트의 可能性이 있는가 하는 것이 금후의 期待가 된다.

(3) 全디지털化 適用

값이 싼 乘除算機能을 가진 高速16bit 마이크로프로세서의 出現에 의해 全디지털化를 향해 實用化의 時代에 돌입하였다. 金후 特性改善을 위한 制御알고리즘의 實用化에 따라 한층 高性能化가 이루어지고 產業界의 心要에 應할 수 있으리라고 본다.

(4) 制御性的의 向上

制御性이 좋지 않아서 그 應用이 制限되었던 交流加變速驅動은 벡터制御의 發展에 의해 直流加變速驅動에 뒤지지 않은 높은 制御性을 가지고 있어 直流電動機가 가지고 있는 結점을 극복

하고 可變速驅動의 中心役割을 하고 있다. 實用化을 맞이한 벡터制御는 高速, 大容量 다이리스터, GTO, Transistor 등을 사용한 高性能 電力 變換技術 및 IC, 특히, 마이크로프로세서의 發展에 의한 制御시스템의 高度化에 힘입어 더욱 그 性能이 발휘되리라 본다. 예측하건데 머지 않은 장래에 있어 可變速電動機를 토대로한 로봇에 의한 無人 製造工場이 생길 可能性이 있다. 이 時代의 電動機는 速應性, 패턴運動, 急速起動, 停止등 人間의 手足이상의 복잡하고 精밀한 運動이 필요하게 될 것이다. 이와 같은 실현은 현재보다 더욱 高度의 制御裝置가 부가되어야 비로서 可能하게 될 것이다.

(5) 專用 可變速電動機의 選定

可變速電動機의 驅動을 위해 可變된 電壓, 電流, 周波數가 電動機의 入力이 되므로 電動機에는 損失의 增加, 振動性 토오크의 發生, 電磁振動의 騒音, 그리고 低速時의 溫度上昇, 高速時의 機械의 構造의 취약점등 種래의 汎用電動機로서는 驅動불가능할 때가 있다. 여기서 設計의 改良, 運轉上의 具備條件을 충분히 고려한 專用電動機의 出現이 實질히 期待된다.

⑤ 結 論

이상과 같이 可變速電動機의 技術的動向을 기술하였다.

(1) 可變速電動機는 단순한 電動機만 아니라 變換器, 센서, 制御回路 및 컴퓨터등의 Sub-system로 構成되어 있다. 따라서 電氣機器 메이커의 技術者는 銅, 鐵에 대한 구상만 아니라 半導體, 컴퓨터의 구사 기술에도 능하여 큰 附加價値를 여기서 얻어야 한다.

(2) 可變速電動機의 驅動力을 가진 電動機부분에 대해서는 이것이 可變速이기 때문에 생기는 技術的 問題에 대해서 技術向上을 항상 고려할 필요가 있다.

(3) 앞으로 企業에 있어서는 메이커와 需用家간의 긴밀한 情報交換이 필요하며 메이커는 시스템화에서 附加價値를 크게 늘리는 한편 需用家は 高度한 知識을 확보하고 生産性에서 그

리고 에너지節約면에서 利得을 도모하여야 한다.

參 考 文 獻

1) G. Kron, G. E. Review (1935)  
2) V. R. Stefanovic, "Present Trends in Variable Speed A. C. Drives", IPEC-Tokyo

(1983)  
3) 宮入庄太, "回轉機의 進歩와 將來의 展望", 日本電氣學會誌(1976. 5)  
4) 朴旻鎬, "電動力制御工學(單行本)"(1986)  
5) H. E. Jordan, "Polyphase Induction Motor Performance and Losses on Non-Sinusoidal Voltage Source", IEEE, PAS-83(1968.3)