

# 運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지節約

⑧

## II. 電動機의 에너지使用 合理化

### 2.1 各種電動機의 에너지使用合理 化運轉

과거 2차에 걸친 오일쇼크는 에너지 資源의 대부분을 輸入에 의존하는 나라들을 눈뜨게 하여 에너지 技術開發계획 推進에 박차를 加하는 結果가 되었고 工場이나 빌딩은 勿論 一般家庭의 구성구석에 이르기까지 더 한층의 에너지節約의 必要性을 인식시키게 되었다.

에너지使用合理化에 관한 法律도 制定되어 從前의 生産을 增加시킴에 따른 利益追求에서 반대로 프로세스를 再檢討하는 데 따른 コスト低減으로 얻어지는 利益이 추구되는 社會構造로 變하여 가고 있다.

熱, 光, 힘 등의 에너지 中 힘을 供給하는 電動機는 工場의 生産設備, 發電所의 補機, 빌딩의 空調設備, 鐵道等 모든 곳에서 사용되고 있으며 또한 그 使用形態와 종류는 가지각색이다. 따라서 이것들을 再檢討함으로써 얻어지는 에너지節約

의 효과는 큰 것으로서, 現在 이미 상당한 效果를 올리고 있는 例도 많이 있다.

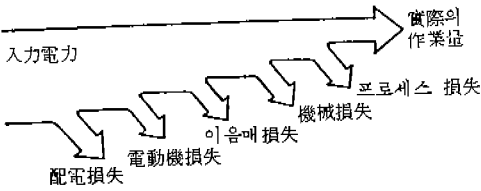
本章에서는 각종 電動機에 대해서 구체적인 운전방법이 설명되는데, 여기서는 全体의 概要에 대하여 記述한다.

#### 2.1.1 플랜트에서의 電動機運轉의 實態

에너지使用合理化를 도모하는데 있어서는 最初에 어느 곳에서 손실이 發生하는가를 찾아내는 것이 重要하다. 그래서 一般 플랜트에 있어서의 受電端에서의 入力電力, 損失, 實際의 作業量의 관계에 대하여 생각해 보기로 한다. 그림 2.1은 電動機에 限해서 본 경우의 에너지 플로圖이다.

#### (1) 配電損失

受電端에서 電動機端子에 이르기까지에 發生하는 손실로서는 配電線, 變壓器, 配電盤, 리액터, 콘덴서 등에 의한 損失이 있다. 이들은 通常 運轉中에 發生하는 負荷損外에 勵磁電流等에 의하여 發生하는 無負荷損, 漂遊損 등으로 되어 있다.



(그림 2·1) 플랜트의 에너지 플로우

## (2) 電動機損失

電動機損失에는 電動機 自体損失外에 制御盤의 손실도 포함된다. 通常으로 빠트리기 쉬운 것이 他勵電動機의 界磁損失이며, 主回路에 通電하고 있지 않더라도 停止中에 界磁에 通電하는 例는 많이 있고 이 損失에 대하여도 檢討할 余地가 있다. 또 他冷電動機의 냉각 팬 驅動電動機의 消費電力, 制御盤의 制御回路 損失等도 포함하여 고려되어야 한다.

## (3) 이음매 損失

이는 電動機의 軸端과 機械와의 사이에 존재하는 토크 傳達手段의 損失로서, 增減速機, 풀리, 커플링 등에 의한 것이다. 特히 커플링에는 渦電流 이음매, 流体 이음매, 파우더 클러치 등 많은 種類가 있고, 回轉數에 따라 損失도 크게 變化하는 것이 많다.

## (4) 機械損失

機械自体에도 入力과 出力(實際의 作業量) 사이에 差가 있고 이것이 損失이 된다.

## (5) 프로세스 損失

機械에서 어떠한 出力을 얻었다 하여도 그 앞에서 損失이 發生할 때가 있다. 펌프나 블로워로부터의 配管에서 發生하는 配管損失, 댐퍼나 調節 밸브에서 發生하는 壓力損失 등이 典型的인 例로서, 여기서는 이것들을 합쳐서 便宜上 프로세스 損失이라 부르기로 한다.

이 외에도 여러가지 損失이 있다고 생각되나

一般的인 플랜트에서의 代表的인 손실을 들면 上記한 5 種類가 된다.

플랜트에 따라 規模, 使用되는 電動機나 機械의 種類가 다르기 때문에 한마디로 말할 수 없으나 受電端에서의 入力電力에 대한 實際의 作業量의 比는 意外로 적어 어느 石油化學 플랜트의 例에서는 20% 程度밖에 되지 않는 사실이 報告되고 있다. 즉, 實際로 80%의 電力이 손실이 되고 있는 것으로서, 이것을 5%나 10%라도 輕減할 수 있으면 電力需用家로서는 큰 經費節減이 되고 또 國家的인 見地에서도 큰 利益이 되는 것은 明白한 事實이다.

### 2·1·2 定速電動機와 效率

電動機는 定하여진 속도로 運轉되는 定速電動機와 다이리스터나 트랜지스터 등의 半導體나 外部抵抗 등에 의하여 速度를 制御하는 可變速電動機로 大別된다.

표 2·1은 定速電動機를 분류한 것이다. 極數 變換 모터는 速度가 변하나 連續的으로는 可變速이 안되기 때문에 定速電動機로서 취급하며, 捲線形誘導電動機는 普通 2차抵抗에 의하여 起動하나 起動完了後는 2차抵抗을 短絡하여 운전하는 경우를 들고 있다. 또, 反作用電動機는 토크 發生의 원리는 誘導電動機와 동일하지만 同期速度로 운전되기 때문에 同期電動機로 취급되고 있다.

(표 2·1) 定速電動機分類

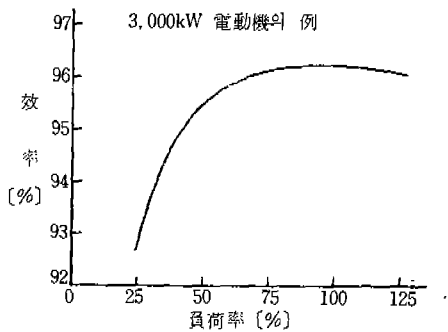


이들의 電動機에는 콘덴서 모터나 기어드모터, 永久磁石電動機等과 같이 效率의 개선을 意圖하여 만들어진 電動機도 포함되어 있는데, 이들 定速電動機의 효율은 개략 같은 特性을 표시하며 다음과 같은 경향이 있다.

(1) 容量이 작을수록 낮아지고, 용량이 클수록 높아진다.

(2) 負荷率이 낮을수록 낮아지고, 負荷率이 增加할수록 높아진다.

그림 2·2는 (2)에 대하여 표시한 것이다. 단 電動機는 經濟性等を 加味하여 製作되기 때문에 그中에는 이들의 傾向에서 약간 벗어나는 것도



〈그림 2·2〉 交流電動機의 效率 - 負荷率의 關係

포함되어 있다.

電動機를 選定하는데 있어서는 以上과 같은 事項도 念頭에 두고 選定하여야 한다.

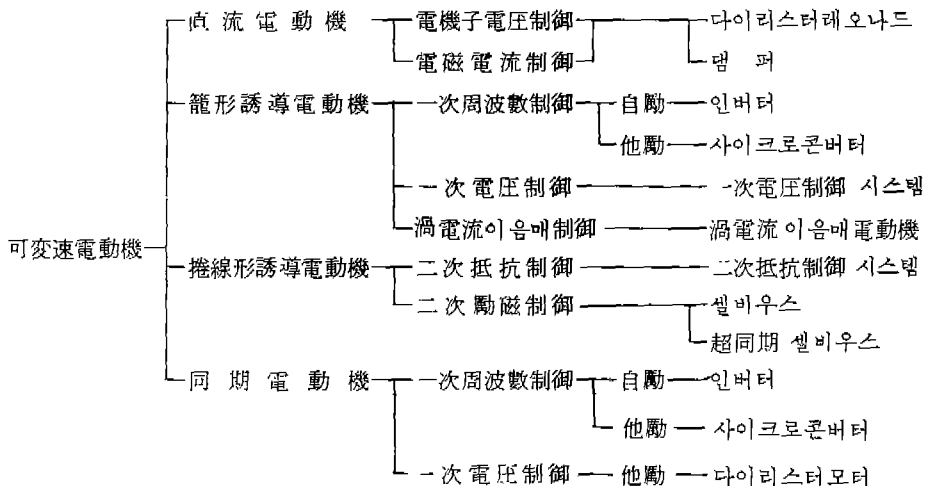
### 2·1·3 可變速電動機와 制御原理

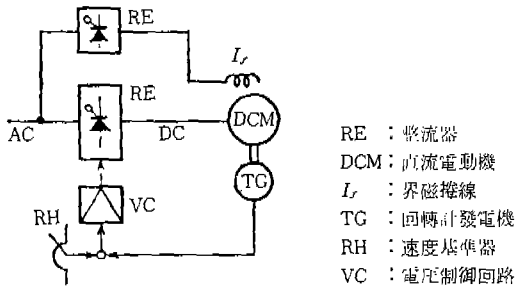
다음에 可變速電動機의 경우는 어떠한가. 우선 표 2·2에 可變速電動機의 分類를 표시한다.

直流電動機는 可變速電動機로서 옛부터 使用되어 온 것으로, 다이리스터에 의한 레오나드 制御가 많으나 界磁電流制御에 의한 것이나 電機子 電壓, 界磁電流 양쪽을 制御하는 것도 있다. 中間에는 초퍼 制御에 의한 것도 많이 사용되고 있다. 그림 2·3에 制御系統圖를 든다. 直流機는 그 制御特性이 가장 우수하기 때문에 특히 精密한 速度制御가 要求되는 用途에 사용되지만 主回路에 브러시 및 整流子가 있기 때문에 保守하는 데 어려움이 있고 大容量化, 高速化에 限界가 있다.

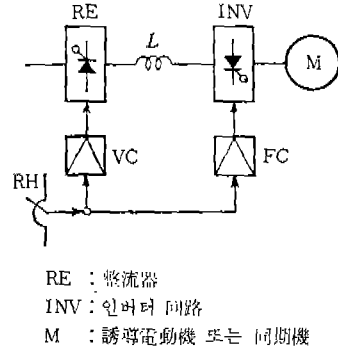
한편 交流電動機는 可變速化하기 위한 技術이 直流機에 비하여 복잡하고 코스트도 直流 레오나드 시스템보다 높아지는 것이 많기 때문에 종래에는 特定한 用途에만 사용되었으나 保守性이 우수하기 때문에 最近에는 再檢討하게 되어 各種 用途에 널리 사용되게 되었다. 制御裝置에 使

〈표 2·2〉 可變速電動機分類





〈그림 2·3〉 直 流 레오나드 시스템



〈그림 2·4〉 인버터 시스템

用되는 主回路半導体素子로서는 大容量 다이리스터, 逆導通 다이리스터, GTO (게이트 턴 오프) 다이리스터, 光 게이트 다이리스터, 자이언트 트랜지스터 등이, 그리고 制御回路에 사용되는 素子로서는 IC, MSI, LSI, 마이크로 프로세서 등이 發達하여 實用化되게 되어 制御理論의 展開와 함께 차차 새로운 驅動 시스템이 開發되고 있다. 誘導電動機의 슬립 周波數制御, 誘導電動機, 同期電動機의 벡터 制御라 불리는 것이 그것이다. 이들 新技術의 開發에 의하여 從來 直流電動機가 使用되고 있던 用途에도 交流電動機가 進出하게 되었다.

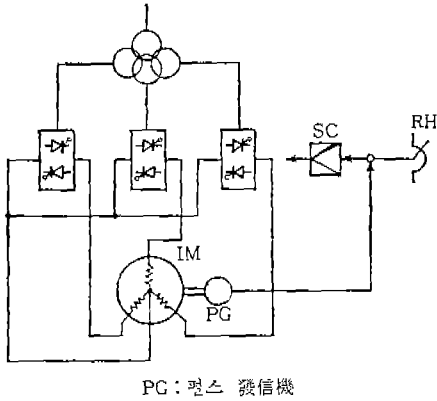
交流變速驅動 시스템의 分類는 그 制御方法이나 轉流法, 또는 變速器構成 등에 의하여 할 수 있으나 매우 복잡해지며, 理論的인 定說이 아직 없다. 표 2·2는 대표적인 시스템을 制御原理와 轉流法에 의하여 便宜的으로 分類한 것이다.

인버터는 誘導電動機에도 同期電動機에도 適用되며, 그 一次周波數를 變경함으로써 速度를 變化시키는 것으로서, 磁束飽和를 避하기 위하여 주파수에 비례하여 一次電壓도 바꾸고 있다. 그림 2·4는 오픈 루프에 의한  $V/f$  制御의 인버터 構成圖이다. 인버터에는 電流形과 電壓形이 있으며, 일반적으로 單機電動機에는 電流形, 複數電動機의 速度를 맞추는 데는 電壓形이 적합한데, 물론 부하측에서 요구되는 性能, 機能에 따라서도 또한 PWM 制御나 多重化制御 등에 따라서도 반대의 적용이 有利해지는 경우도 있다. 또

한 精密制御의 경우에는 보통 클로즈드 루프로 운전되는 일이 많다.

사이클로 콘버터에는 그 出力波形에 따라 方形波, 台形波, 正弦波, 正弦波 사이클로 콘버터의 3종류가 있다. 可變速의 原理는 一次周波數를 變경하는 것이고, 결합하여 一次電壓을 變경시키는 것도 인버터와 같다. 그러나 인버터가 自動로 強制轉流하는 데 대하여 電源電壓을 이용하여 他勵로 轉流하는 소위 自然轉流이기 때문에 電源周波數의 3분의 1~4분의 1 以下로 運轉하는 데 적합하다. 이 特徵에 의하여 종전 기어로 減速하고 있던 用途에 대하여 기어레스 驅動 시스템이 가능하다. 사이클로 콘버터 시스템은 誘導電動機에도 同期電動機에도 적용 가능하다. 그림 2·5에 正弦波 사이클로 콘버터의 構成을 표시한다.

다이리스터 모터는 直流電動機의 브러시와 整流子에 의한 機械的인 整流機構를 다이리스터나 트랜지스터의 스위칭으로 바꾸어 놓은 것으로, 電動機는 同期電動機를 사용하지만 位置檢出器를 사용한 自制制御이기 때문에 그 特性은 直流電動機의 特性과 유사하다. 따라서 可變速의 原理는 一次電壓制御로서 自動的으로 周波數도 變化하며, 結果的으로 보면 인버터나 사이클로 콘버터와 같이  $V/f$  가 일정하게 되어 있다. 直流 레오나드 시스템과 기본적으로 다른 點은 界磁

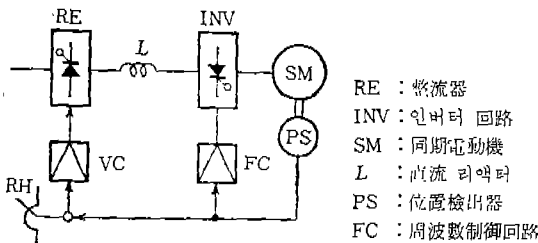


PG : 펄스 發信機

〈그림 2·5〉正弦波 사이크로 컨버터 시스템

電流를 弱하게 하면 轉流失敗할 가능성이 있어 過負荷耐量을 그리 크게 잡을 수 없는 일이지만 電動機의 逆起電壓, 電流의 位相을 검출하여 轉流余裕의 制御를 行함으로써 이 결점도 해소할 수 있다. 整流限界가 없기 때문에 大容量化, 高速化는 直流機보다 용이하다. 그림 2·6에 다이리스터 모터의 구성을 든다.

籠形電動機의 一次電壓制御는 電壓을 변경함으로써 모터의 토크를 變化시켜 슬립을 바꾸어 速度制御하는 것이다. 같은 一次電壓制御라도 다이리스터 모터와 다른 點은 周波數가 商用周波數로 일정한 事實이다. 速度를 내리면 二次側의 熱損失이 증가하기 때문에 變速範圍를 크게 잡을 수 없다. 變速範圍를 크게 하려면 표 2·2에는 표시되지 않았으나 捲線形誘導電動機 二次側에 저항을 접속하여 二次抵抗으로 熱을 발생

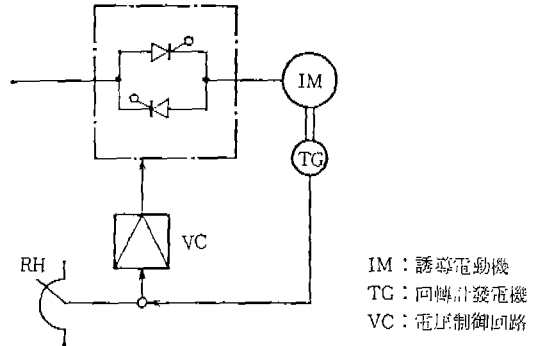


RE : 整流器  
INV : 인버터 回路  
SM : 同期電動機  
L : 直流 리액터  
PS : 位置檢出器  
FC : 周波數制御回路

〈그림 2·6〉다이리스터 모터 시스템

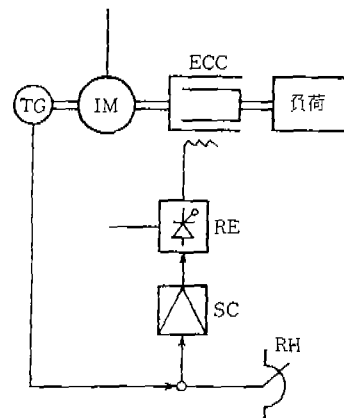
시키면서 一次電壓을 바꾸는 方法이 있다. 그러나 에너지 節減의 觀點에서는 어느 것이나 得策은 아니다. 그림 2·7에 一次電壓制御의 구성을 표시한다.

渦電流 커플링 電動機는 籠形電動機 出力軸에 渦電流 커플링을 결합한 것으로, 籠形誘導電動機는 商用電壓으로 일정속도로 운전되나 渦電流 커플링의 勵磁電流를 變換함으로써 커플링 二次側의 速度를 바꿀 수가 있다. 이 시스템은 옛부터 價格이 낮기 때문에 많이 사용되어 왔으나 速度가 떨어질수록 損失도 커진다는 특징이 있기 때문에 低速領域에서 운전하는 때가 많은 用途



IM : 誘導電動機  
TG : 同轉計發電機  
VC : 電壓制御回路

〈그림 2·7〉一次電壓制御 시스템



ECC : 渦電流 커플링

〈그림 2·8〉渦電流 커플링 電動機

나 비교적 용량이 큰用途에서는 에너지 節減上 점차 使用하지 않게 되었다. 그림 2·8에 渦電流 커플링 電動機의 구성을 든다.

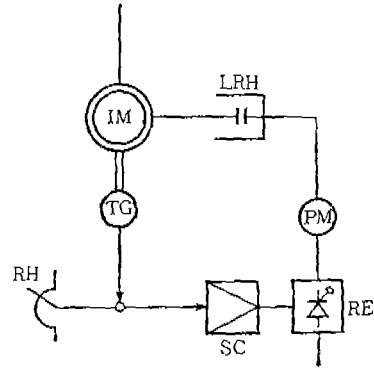
捲線形電動機는 二次側에 抵抗을 접속하여 比例推移의 原理에 의해 速度를 變更하는 方法과 二次側에 다이리스터 變換器를 접속하여 二次電力을 변경함으로써 速度를 變更하는 方法이 있다. 前者는 二次抵抗制御라 불리우는 것으로, 二次抵抗直를 크게 할수록 速度가 떨어져 二次損失이 증가한다. 따라서 渦電流 커플링 電動機와 같이 低速領域에서 운전하는 用途에는 적합치 않다. 그림 2·9에 二次抵抗制御 시스템의 구성을 든다. 後者는 이른바 二次勵磁方式이라 불리우는 것으로, 同期速度 以下로 運轉하는 셀비우스와 同期速度 以上으로도 運轉할 수 있는 超同期 셀비우스가 있다. 셀비우스는 捲線形誘導電動機의 2차電力을 變換器를 통하여 電源側에 귀환하고 超同期 셀비우스는 반대로 電源側에서 變換器를 통하여 2차捲線으로 電力을 供給할 수도 있다. 이 相違에 의하여 셀비우스와 超同期 셀비우스는 變換器와 制御回路가 약간 다르다. 그림 2·10에 셀비우스 시스템의 구성도를 든다.

#### 2·1·4 可變速制御 시스템의 效率에서 본 特徵

에너지 節減을 생각할 때 效率은 중요한 因子가 된다. 可變制御 시스템의 경우는 電動機만이 아니고 變換器나 기타 機器까지 포함한 綜合效率로 생각하여야 되는데, 綜合效率를 결정하는 要因으로서는 速度, 負荷率, 容量, 極數, 變換器의 종류등 多數의 것이 있으므로 각종 시스템에 대하여 比較하는 것은 큰 일이다. 詳細한 것은 2·2 이후에 설명하기로 하고, 여기서는 일반적인 傾向과 特徵에 대해서 기술한다.

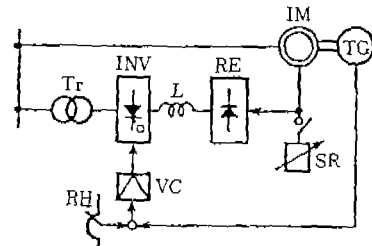
##### (1) 直流 레오나드 시스템

直流 레오나드 시스템은 速度가 떨어지면 약간 效率이 低下, 低負荷領域에서는 效率이 低下한다. 그러나 中高速度領域에서는 거의 變化하지



LRH : 液体抵抗器  
PM : 操作電動機

〈그림 2·9〉 二次抵抗制御 시스템



IM : 捲線形誘導電動機  
Tr : 트랜스  
SR : 始動用抵抗器

〈그림 2·10〉 셀비우스 시스템

않는다. 可變速電動機中에서는 가장 效率이 좋다.

##### (2) 다이리스터 모터 시스템

다이리스터 모터 시스템도 直流 레오나드 시스템과 같은 傾向을 갖는다. 다만 다이리스터 레오나드에 比하여 變換器에 사용되는 다이리스터素子의 直列數가 많은 分만큼 效率이 낮다. 그러나 그 差는 極히 적어 1~2% 정도이다.

##### (3) 인버터 시스템

인버터 시스템도 基本的으로는 다이리스터 모터 시스템과 같은 傾向을 보이지만 다이리스터

모터가 自然轉流方式인데 대하여 인버터는 強制轉流方式이기 때문에 약간 變換效率이 나빠진다. 같은 인버터라도 그 轉流回路的 相違나 電壓形과 電流形의 相違에 따라 效率이 다르며, 인버터만의 효율에서 보면 定格時에 電壓形은 88~92%, 電流形은 94~96%가 일반적이다.

#### (4) 사이크로 콘버터

사이크로 콘버터는 그 出力波形이 方形波, 台形波, 正弦波가 있는데, 正弦波에 가까워질수록 高調波가 적어지며 電動機 效率이 높아지지만 역시 自然轉流方式이기 때문에 다이리스터 모터와 效率은 거의 같다. 또 多重化함으로써 電動機效率이 上昇하는 것은 다이리스터 모터나 인버터도 동일하다.

#### (5) 誘導機의 一次電壓制御 시스템

電壓을 바꾸어 電動機 토크를 變換함으로써 速度를 제어하게 되므로 슬립에 비례하여 二次損失이 발생한다. 따라서 速度를 낮출수록 效率은 나빠진다. 籠形誘導電動機 대신 捲線形誘導電動機를 사용하고 二次側에 저항기를 접속하면 變

速범위를 크게 할 수가 있지만 결국 2차抵抗으로 二次電力을 소비하게 되어 效率은 역시 나빠진다.

#### (6) 渦電流 커플링 電動機

渦電流 커플링은 速度가 늦어질수록 커플링內에서 熱損失이 발생, 效率이 나빠진다. 따라서 보기에는 誘導電動機의 一次電壓制御와 흡사하다.

#### (7) 捲線形誘導電動機의 二次抵抗制御

(5)에서 기술한 바와 같이 低速이 될수록 二次抵抗에 의한 消費電力이 커지기 때문에 效率이 나빠진다.

#### (8) 셸비우스

原理는 二次抵抗 대신에 다이리스터 變換器를 사용하여 抵抗器로 2차전력을 소비하는 대신 2차전력을 電源에 귀환시키기 때문에 效率은 좋다.

變換器는 他勵式으로 自然轉流를 하기 때문에 強制轉流形 인버터보다 약간 效率이 좋다.

賦存資源 적다 말고

浪費風潮 반성하자