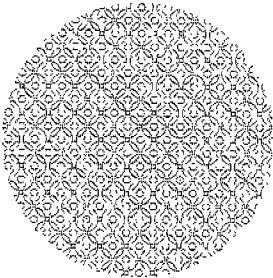


# 電動力設備의 節電 을 爲한 運轉

## Electrical Energy Conservation for Operating Motors



柳 洪 雨

韓電技術研究院 系統研究室 先任研究員

### 1. 序

電氣에너지는 他에너지에 比하여 便利하고 安全하며 即時性を 가지고 있을뿐 아니라 無公害에너지라는 長點이 있으나 高價에너지이기 때문에 合理的인 使用을 통하여 浪費를 없애야 한다.

1985년 9월 現在 國內總消費電力중 81.9%가 動力用으로 이중 50%이상이 電動機에 의하여 消費된 것으로 推定할 경우 全体 電氣에너지의 41%를 消費하고 있어 電動力 設備의 效率的運用은 節電의 가장 效果的인 方法이라 할 것이다. 이와같이 電氣에너지 節減중 重要部分을 차지하고 있는 電動力設備에 대한 節電技術 適用을 라이프 사이클 코스트(Life Cycle Cost)의 觀點에서 設備의 計劃으로부터 壽命期間까지를 생각해 볼때 크게 設計段階와 運用段階로 나누어 볼 수 있을 것이다. 즉, 電動機의 容量, 電壓效率, 力率등의 特性에 관련된 것은 設計段階에서 확정되고 維持補修 및 運轉關聯技術 또는 차후 개발된 新技術適用은 運用段階와 관련을 갖게 된다.

여기서는 이들 節電技術중 運用중인 誘導電動機에 대한 節電方案을 몇개 分野로 나누어 技術하기로 한다.

### 2. 電動機節電運轉方案

電動機의 節電運轉方案에는 新規投資없이 既存設備의 運轉方法改善이나 維持補修의 強化만으로 간단히 얻어질 수 있는 것과 投資費를 수반하는 節電設備의 採用을 통하여 얻어지는 경우로 나누어 볼 수 있다. 이 중 節電設備採用의 경우는 事前技術檢討를 바탕으로 採用에 따른 投資費의 회수가 가능해야 한다.

#### 가. 運轉方案改善

##### 1) 定格電壓의 維持

電動機端子電壓이 低下하는 경우에 誘導電動機의 特性은 表 2-1과 같이 變化한다. 즉, 電壓이 10% 減少하게 되면 始動 및 最大토크가 10% 떨어지고 定格토크로 運轉할 때 全負荷效率이 2%減少하게 되고 速度도 떨어져 自冷式일 경우 溫度는 6~7℃ 上昇하게 된다. 節電과 관련하여 여기서

注意할 것은 效率의 低下이다.

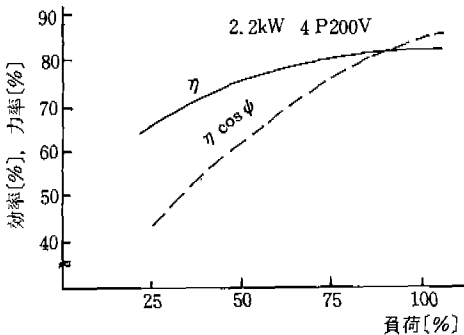
小容量電動機에서는 반대로 電壓上昇쪽이 勵磁電流의 현저한 증대를 초래하여 效率低下 및 溫度上昇을 가져오므로 注意를 要한다. 그러므로 定格電壓이 얻어지지 않을 경우는 原因을 分析하여 變壓機 變조정이나 力率向上등을 戒하여 定格電壓이 유지되도록 努力해야 한다.

2) 輕負荷運轉의 止揚

그림 2-1에 보여주는 바와같이 誘導電動機는 80~100% 負荷에서 效率이 最大로 되도록 設計되고 있으므로 극단한 輕負荷運轉이 되지않도록 注意하여야 하며 만약 상시 低負荷運轉일 경우는 適定容量電動機로의 교체도 檢討하여야 한다.

〈표 2-1〉 誘導電動機의 電壓變動에 對한 영향

		電 壓 變 動		
		90% 전압	비례관계	110% 전압
시 동 토 오 크	정 동 토 오 크	-19%	V <sup>2</sup>	+21%
동 기 속 도	% Slip	변화없음	일 정	변화없음
전 부 하 속도		+23%	1/V <sup>2</sup>	-17%
효 율	전 부 하	-2%	-	약간증가
	3/4부하	실제상변화없음	-	실제상변화없음
	1/2부하	+1~2%	-	-1~2%
역률	전 부 하	+1%	-	-3%
	3/4부하	+2~3%	-	-4%
	1/2부하	+4~5%	-	-5~6%
전 부 하 전 류		11%	-	-7%
시 동 전 류		-10~12%	V	+10~12%
전부하온도상승		+6~7℃	-	-1~2℃
자 기 소 음		약간감소	-	약간증가



〈그림 2-1〉 負荷에 對한 效率, 力率

3) 空運轉의 防止

電動機는 반드시 負荷와 連結되어 있기 때문에 空運轉으로 消費되는 電力은 電動機 單獨의 경우보다 약 2-3 배에 달한다. 따라서 不必要시에는 급히 停止시켜 空運轉損失을 없애는 일이 필요하나 다만 다음사항에 유의하여 施行해야 한다.

○ 起動시의 電力量이 空運轉시의 電力量을 超過치 않도록 할것.

電動機를 空運轉시킬 것인가 아니면 停止시킬 것인가 하는 것은 空運轉시의 電力量과 起動시의 電力量을 比較하여 알 수 있으며 식 2-1을 利用하여 計算할 수 있다.

$$\sqrt{3} VI_0 t / 3600 = \sqrt{3} VI_s T / 3600 \dots\dots (\text{식 } 2-1)$$

空運轉시간 t를 구하면

$$t = \frac{I_s}{I_0} T (\text{sec}) \dots\dots\dots (\text{식 } 2-2)$$

여기서, T: 起動시간 [sec]

I: 無負荷電流 [A]

I<sub>s</sub>: 平均起動電流 [A]

V: 定格電壓 [V]

즉, 起動時間의 I<sub>s</sub>/I<sub>0</sub>배 이상의 時間을 空運轉하는 경우는 停止하는 쪽이 유리하다.

○ 多頻度 始動에 의한 電動機의 劣化, 出力低下가 그다지 문제가 되지 않아야 한다. 100[kw] 이상의 大容量機, 送風機등 GD<sup>2</sup>이 큰負荷일 경우는 製作業體와 상담하여 決定하는 것이 좋으며 가능한한 運轉, 停止를 自動化하는 것이 좋다.

4) 動力傳達方式의 改善

電動機入力이 有效하게 소비되어 動力이 最高로 使用되기 위해서는 負荷와의 連結方法, 負荷設備의 高効率化도 필요하다. 여기서는 連結方法에 따른 效率의 關係만을 표 2-2에 보인다.

〈표 2-2〉 傳達效率

傳達方式	벨트구동	체인구동	기어구동	直結
傳達效率 (%)	95	95~98	97~99.5	100

나. 負荷設備의 高効率化

1) 펌프의 效率의 運轉

펌프의 축봉裝置로 使用되는 팩킹대신에 逆流 M/seal 을 使用함으로써 펌프의 消費電力을 줄일 수

〈표 2-3〉 펌프와 逆流 M/Seal 使用時 消費電力

펌프 사양	전동기 사양	소비 전력		절감율 (%)
		팩킹	역류 M/seal	
10HP, 1750RPM	220V, 27.5A	7.46	7.04	5.63
30HP, 1750RPM	440V, 40A	21.83	20.56	5.82
40HP, 1750RPM	220V, 110A	29.98	28.25	5.75
70HP, 1750RPM	3300, 12.1A	52.85	49.83	5.71
100HP, 1100RPM	3300, 18.2A	69.72	65.67	5.80

있다.

표 2-3 은 팩킹 使用時와 逆流 M/seal 使用時의 消費電力을 나타낸다.

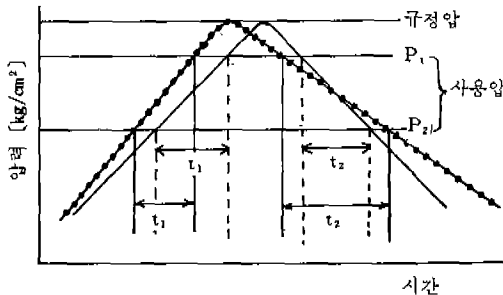
수년간 펌프의 消費電力試驗結果 팩킹을 축봉裝置로 사용할 경우 높은 起動電力이 요구되기 때문에 축봉裝置를 逆流M/seal 로 대체하여 使用할 경우 펌프구동용 電動機用量을 낮추어도 무리없이 運轉이 가능하며 이경우 消費電力은 10~20%까지 節減할 수 있다. 또한 펌프에 의하여 가압 또는 양수된 물의 漏水를 防止하여 電力消費를 줄여야 한다.

2) 空氣壓縮機의 漏泄防止

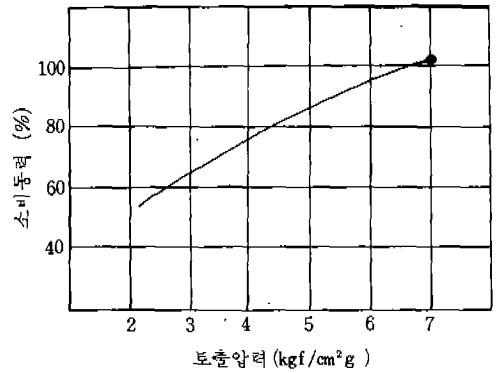
空氣의 漏泄率이 높으면 壓縮機의 運轉時間이 增加하여 구동용 電動機의 消費電力이 增加한다. 空氣의 漏泄率은 配管 末端을 닫고 運轉을 시작하여 托출壓力와 時間을 記錄하고 規定壓力까지 上昇하면 停止하고 다시 時間의 經過와 壓力를 記錄하여 그림 2-2를 얻어서 空氣漏泄率  $L_p$ 를 식 2-3 으로 計算한다.

$$L_p = \{t_1 / (t_1 + t_2)\} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (식 2-3)$$

그림에서 알 수 있는바와 같이 실선은 漏泄率이 높은 경우이다. 이와같이 漏泄率이 높은 경우는 漏泄개소를 補修하여 最小化시켜야 하며 使用壓力도 不必要하게 높은 경우는 消費電力도 增加하므로 適



〈그림 2-2〉 空氣漏泄率 測定



〈그림 2-3〉 托출압력과 소비동력의 관계

定水準까지 내릴경우 그림 2-3 과 같이 節電效果를 얻을 수 있다.

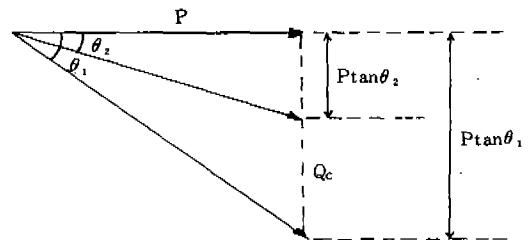
다. 節電設備의 採用

1) 力率改善用 콘덴서 附設

電動機의 力率은 入力[kw]/피상 電力[KVA]으로 表現되며 식 2-4 와 같이 표시된다. 여기서 V는 線間電壓, I는 電流이고 P는 電動機入力이다.

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} \dots \dots \dots (식 2-4)$$

力率改善의 벡터圖는 그림 2-4 와 같으며 역률  $\theta_1$ 에서  $\theta_2$ 로 改善하고자 할때의 콘덴서用量 決定은 식 2-5를 利用하여 얻어진다.



〈그림 2-4〉 力率改善의 벡터圖

$$Q_c = P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ = P \left( \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}}{\cos^2 \theta_1} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}}{\cos^2 \theta_2} \right) [KVA] \dots \dots \dots (식 2-5)$$

電動機의 力率改善을 위한 進상콘덴서의 취부方法은 個個電動機別로 電動機와 同時에 開閉되도록 附設함을 원칙으로 하고 이때 모선에서의 力率이 90~95%가 되도록 해야한다. 電動機力率改善에 따

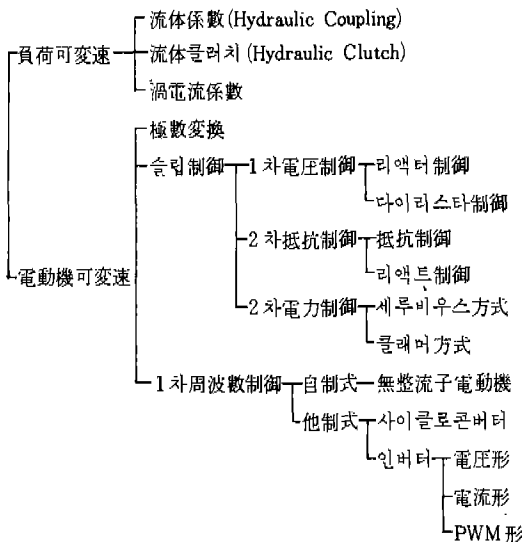
라 實際的으로는 配電線路 및 變壓機 등에서 發生하는 손실이 감소하게 될뿐 아니라 變壓機 등의 設備用 量 低減, 電壓降下의 輕減을 얻는다.

2) 電動機可變速 裝置 採用

最近電動力 設備의 운전을 통한 節電技術중 가장 脚光을 받고 있을 뿐 아니라 擴大普及되고 있는 可變速裝置의 採用은 반도체소자의 急速한 發達에 따라 앞으로 그 利用이 더욱 늘어날 것으로 생각된다. 또한 반도체소자를 利用한 可變速裝置는 節電分野 뿐만 아니라 細密한 速度制御가 필요한 곳이나 高速 電動機用制御裝置에도 使用되어 製品의 品質向上이나 生産性向上에도 寄與하고 있다.

可變速裝置에는 表 2-4와 같이 負荷와 電動機 사이에 流体 또는 電磁力을 利用하여 負荷만을 變

〈表 2-4〉 可變速裝置의 種類



速하는 장치와 負荷를 電動機축에 直結하여 電動機 速度를 直接變速하는 裝置로 나누어 볼 수 있다.

電動機負荷 設備에는 表 2-5와 같이 2승 低減 토오크 特性을 가진 負荷가 있으나 速度變化에 따른 節電側面에서는 低減토오크 負荷와 定速토오크 負荷가 對象이 되고 있다.

이들 負荷중 가장 節電效果가 큰 2승 低減토오크 負荷인 팬, 블러어, 펌프 등 風水力 機械의 驅動用 電動機는 全体電動機의 50% 이상을 차지하고 있다.

이들 電動機에 의하여 驅動되는 既存送風機 및 펌프 등의 流量調節은 대부분 펌퍼나 밸브에 의한 것 뿐 아니라 系統設備의 定格負荷에 대하여 120~150% 까지 過大用量으로 設置되어 運轉되고 있다.

이들을 既存制御方式인 펌퍼나 밸브 대신 直接 變速制御할 경우 다음의 關係式을 얻는다.

流量  $Q \propto N$ , 流壓  $H \propto N^2$

축동력  $P \propto QH \propto N^3 \propto Q^3$ ..... (式 2-6)

式 2-6에서 알 수 있는 바와같이 負荷인 流量은 回轉數에 比例하고 축동력은 回轉數의 3승에 比例하게 되므로 電力節減은 負荷가 낮으면 낮을수록 크게 된다. 뿐만 아니라 過大設計로 運轉되는 既存시스템의 경우는 系統設備의 定格負荷狀態에서도 節電 效果를 얻을 수 있다.

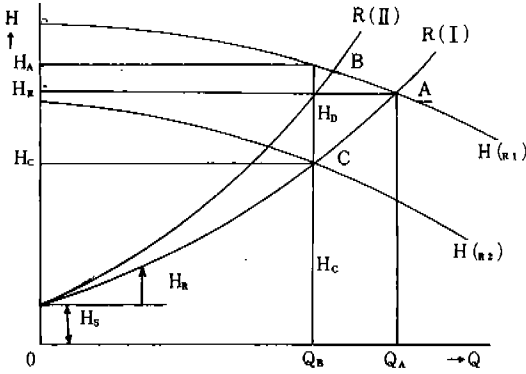
펌퍼제어와 可變速에 의한 節電原理를 數式을 통해 알아보면 그림 2-5의 風量  $Q_B$ 에 대한 所要電力과 그 편차가 式 2-7, 2-8, 2-9로 표시 된다.

○ 出口멤퍼制御시 消費電力

A點에서 100%負荷로 運轉하던 것을  $Q_B$  負荷로 줄일 경우 멤퍼전단의 風壓은  $H_A$ 에서  $H_B$ 로 上昇하

〈表 2-5〉 速度-토오크 特性

定速토오크 特性		토오크(T)는 一定出力(P)는 速度에 比例 $P \propto NT \propto N$	마찰負荷 重力負荷 卷上機, 壓延機, 로울러 콘베어, 크레인
低減토오크 特性		토오크는  거의 速度의 2에 比例 出力은 速度의 3乘에 比例 $P \propto NT \propto N^3$	流体負荷 (送風機 pump類)
定出力 特性		토오크는 速度에  거의 反比例. 出力은 一定 $P \propto N \cdot T \propto N \cdot \frac{1}{N} = 一定$	定張力負荷 (卷取機)



〈그림 2 - 5〉댐퍼의 Q-H곡선

고 댐퍼후단 風壓은  $H_c$ 로 下降하게 되어 팬속동력은 다음과 같이 構成된다.

$$\begin{aligned}
 P_B &= K \cdot Q_B \cdot H / \eta \\
 &= K \cdot Q_B \cdot H_c \cdots \text{순수 일의 量} \\
 &\quad + K \cdot Q_B \cdot H_D \cdots \text{댐퍼의 스톨손실} \\
 &\quad + K \cdot Q_B \cdot (H_c + H_D) \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdots \text{逆風機 損失} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{(식 2-7)}
 \end{aligned}$$

○可變速制御시 消費電力

可變速制御시의 팬속동력은 運轉風壓이 팬후단에 서  $H_c$ 이므로,

$$\begin{aligned}
 P_C &= K \cdot Q_B \cdot H_c \cdots \text{순수 일의 量} \\
 &\quad + K \cdot Q_B \cdot H_c \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdots \text{送風機 損失} \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{(식 2-8)}
 \end{aligned}$$

○消費電力差(節減)

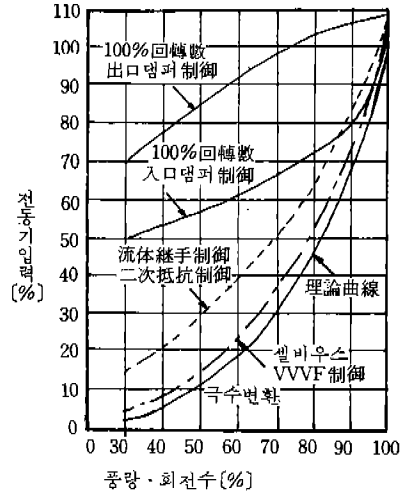
$$P_D = P_B - P_C = K \cdot Q_B \cdot H_D / \eta \cdots \cdots \cdots \text{(식 2-9)}$$

이와같이 損實差  $P_D$ 는 댐퍼에 의해 發生하는 風壓差  $H_D$ 에 의하여 發生하며 댐퍼를 줄이면 줄일수록 增加하게 된다. 그림 2-6은 風水力機械에 適用되는 各種流量制御方式에 따른 消費電力을 나타내고 있으며 댐퍼制御에 비해 低負荷에서 可變速裝置採用시 많은 電力을 節約할 수 없다.

그림 2-7은 정토크 速度制御일 경우 인버터制御方式和 2차抵抗制御方式에 따른 人力과 效率의 比較이다.

### 3) 節電機 採用

美航空宇宙局(NASA)의 프랭크·노러씨에 의해 우주선내 誘導電動機의 에너지消費抑制를 위하여 負荷에 따라 電動機의 力率을 적절히 조절하도록하는 力率制御器가 개발되어 1975년부터 사용케 된 것을

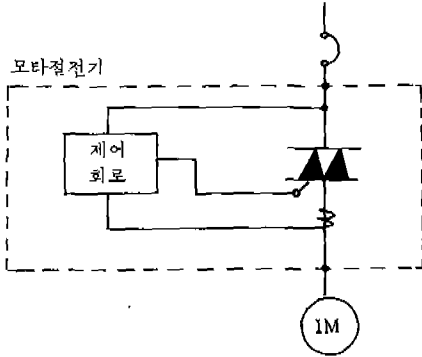


〈그림 2 - 6〉各種 風量制御方式別 消費電力比較

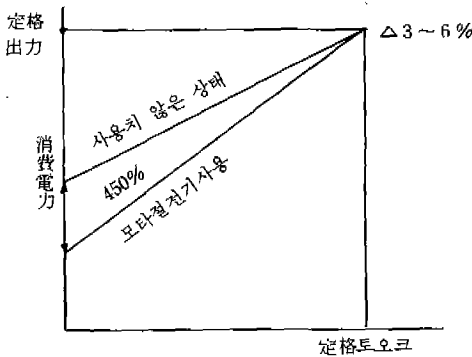


〈그림 2 - 7〉인버터 - 2차저항제어 입력, 효율 (정토크 특성부하)

시작으로 民間企業에 의하여 商品化가 實現되었다. 國內에서는 모타節電器로 알려져 있는 이 裝置는 電壓과 電流의 位相差를 檢査하여 最適위상각이 되도록 반도체소자를 介示시켜 電壓을 調整함으로써 力率을 제어하는 것이다. 負荷가 低下할수록 여자電流가 相對적으로 커져 力率이 低下하게 되는데 이를 防止하기 위하여 電壓을 停止한계까지 低下시킴으로써 力率을 向上시키게 된다. 그림 2-8은 이 장치의 構成圖이고 그림 2-9는 節電器採用시 토크오크率에 따른 소비전력 特性曲線이다. 여기서 알



〈그림 2 - 8〉 장치구성도



〈그림 2 - 9〉 토크 - 消費電力 特性

수 있는 바와같이 정격토크 사용시에는 3~6%의 전력절감이, 無負荷시에는 50%정도의 절감이 얻어진다.

앞으로 可變速裝置가 適用될 수 없는 電動機에 節電裝置로 普及이 촉진될 것으로 기대된다.

### 3. 結 論

지금까지 電動機運轉에 관한 節電方案에 對하여 몇가지 알아보았으나 이는 方案의 紹介에 불과할뿐 實際로 節電技術을 應用코자 할 때는 여러面에서 어려움에 逢着할는지 모른다.

또한 어떤 內容은 이미 알고 있어 새로운 技術이 아닐 수도 있고 어떤 것은 처음 接하는 內容일 수도 있겠지만 節電에 관심을 갖고있다면 協會의 情報資料室 또는 其他資料室에서 資料를 收集整理하고 電氣技術者 相互間에 情報를 交換함으로써 節電技術의 應用에 따른 어려움도 해결되리라 믿는다. 우리나라는 에너지 低資源國인데도 83年 基準GNP 1000弗當 投入에너지는 0.66톤(TOE)으로 일본의 0.31톤에 比하여 2倍이상에 달하고 있다. 政府에서는 2001년에 GNP1000弗當 0.29톤을 目標로 에너지節約을 強力히 추진하고 있으므로 우리 電氣人들도 節電을 생활화하여 에너지節約의 一翼을 담당하고 原單位를 低減시켜 제품의 國際競爭力을 強化하여 輸出增大를 꾀하고 國家의 에너지 輸入을 줄여 外貨節減을 기함으로써 國家發展에 기여할 수 있을 것이다. \*

## ● 알 림 ●

### 보수교육 접수기간 연장

1986년도에 실시할 전기기사 보수교육 신청 접수기간을 '86. 1. 15부터 '86. 3. 31일까지 연장 실시하오니 해당자는 계속 신청해 주시기 바랍니다.

1986. 2.

대한전기협회