

運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지節約

10

(c) VVVV 인버터의 에너지節約運轉

可變速電動機의 損失은 標準誘導電動機의 損失보다 큰 것이 보통이다. 따라서 可變速電動機를 사용하여 에너지節約效果를 올리려면 可變速電動機의 損失 以上으로 큰 損失을 發生하며 運轉하고 있는 시스템에 적용할 때에 限한다. 그 대표적인 예는 브로워의 暖房 制御로서 어떠한 種類의 可變速電動機를 적용하여도 節電效果가 있다는 것은 周知의 사실이다. 여기서는 인버터를 사용하여 效果를 올리기 위한 考慮을 하여본다. 數 kW 정도의 容量인 경우 小形, 低價格이기 때문에 PWM方式의 인버터가 이용되고 있다. 이 種類의 인버터의 出力電壓, 電流波形은 變調에 의한 高周波成分이 포함되어 있기 때문에 誘導電動機의 鐵損을 대폭 증가시키게 된다. 따라서 사용하는 電動機의 鐵心材質, 磁束密度에 따라 出力特性이 상당히 다른 점에 주의할 필요가 있다. 標準誘導電動機를 사용하였을 때 그 출력은 60Hz 定格에서 90% 정도로 低減하고 效率도 2~3% 低下한다. 따라서 高效率로 사용하기 위해서는 鐵心材料가 좋고 磁束密度가 낮은 高效率電動機를 驅動하여야 한다. 또한 電

에서 기술한 周波數에 대한 電壓의 最適化가 重要하고 低減負荷에 사용할 경우는 定토크 特性을 얻기 위한 V/F 一定制御가 아니고 V/F^2 一定과 같은 低減 토크 出力에 적합한 制御가 에너지節約 效果를 올린다.

2.3 直流電動機의 에너지節約운전

昨今の 에너지 사정으로, 交流電動機에는 VVVF 등의 可變速制御技術이 많이 導入되게 되었고 특히 팬, 블로워 등의 用途에서 많은 에너지節約效果를 올리고 있다.

한편, 直流電動機는 本來 可變速用途에 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 그런 의미에서의 에너지節約效果는 기대하기 어렵다. 그러나 直流電動機의 운전특성을 잘 알아서 그 특성에 맞도록 運轉을 개선하거나 電源 및 부속설비 등 直流電動機를 制御하는 데 필요한 設備에 눈을 돌려 그것들을 갱신함으로써 에너지節約效果를 기대할 수 있다. 여기서는 直流電動機의 運轉改善은 물론, 낡은 設備의 갱신 및 앞으로 計劃되는 直流電動機의 효과적인 선정방법을 포함해서 直流電動機를 합친 設備의 에너지節約方法에 대하여 기술한다.

2·3·1 直流電動機의 速度制御

直流電動機의 回轉速度 N 은 다음 式으로 표시된다.

$$N = K \cdot \frac{V - I_a R}{\Phi} = K \cdot \frac{E}{\Phi} \quad (2 \cdot 9)$$

V : 端子電壓, I_a : 電機子電流, E : 逆起電壓, R : 電機子回路抵抗, Φ : 界磁磁束, K : 設計에서 결정되는 比例定數

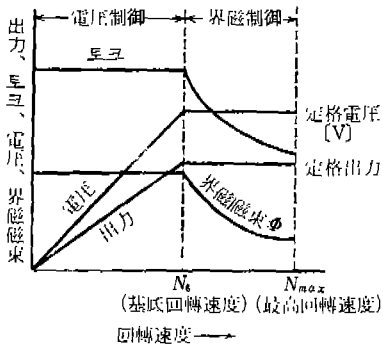
2·9式에서 알 수 있듯이 直流電動機의 速度를 制御하기 위해서는 界磁磁束 Φ 를 一定으로 하고 逆起電壓 E 를 制御하거나 또는 逆起電壓을 一定으로 하고 界磁磁束 Φ 를 制御하면 된다. 前者를 電壓制御 또는 토크 一定制御라고 하고 後者를 界磁制御 또는 出力 一定制御라고 한다. 일반적으로는 그림 2·21에 표시하는 바와 같이 定格基低速度까지 電壓制御를 하여 端子電壓 V 에 도달한 후 界磁를 약하게 하여 速度를 올리는 (이 때문에 界磁制御를 특히 界磁弱化 制御라고 하기도 한다) 使用方法을 택하고 이것이 併用되는 일이 있다.

2·3·2 直流電動機의 損失

直流電動機가 運轉中에 發生하는 損失을 크게 나누면 다음과 같은 4種類로 區分된다.

(1) 銅損 (抵抗損)

(a) 電機子捲線, 補極捲線, 補償捲線 및 直捲



〈그림 2·21〉 直流電動機의 速度制御

界磁捲線의 主回路銅損

(b) 브러시와 整流子 接觸부의 電壓降下損

(c) 分捲捲線, 他勵界磁捲線의 勵磁回路 銅損

(2) 無負荷鐵損

(a) 無負荷時에 電機子鐵心內에 發生하는 히스테리시스 損

(b) 無負荷時에 電機子鐵心內 및 磁極片 表面에 發生하는 渦電流損

(3) 機械損

(a) 브러시의 摩擦損

(b) 베어링의 마찰손

(c) 팬 損失

(d) 電機子 표면에 發生하는 摩擦風損

(4) 漂遊負荷損

(a) 電機子 導體內部, 鐵心端板 및 볼트 內部에 發生하는 渦電流에 起因하는 損失

(b) 整流中의 브러시로 短絡되어 있는 코일內의 短絡電流 및 各磁極의 磁束이 같지 않음으로 인한 電極子 捲線內의 순환전류에 의해 증가하는 動損

(c) 電機子 反作用에 의한 最大磁束密度의 증가에 起因하는 負荷時鐵損

이것들은 原因을 달리하는 各個의 損失을 분리하여 測定하는 것이나 計算에 의하여 구하기가 곤란한 損失이다.

(i) 補償捲線없는 直流電動機에서는 基準出力의 1%

(ii) 補償捲線附 直流電動機에서는 基準出力의 0.5%

로 하고 있다.

또, 界磁制御에 의하여 速度制御하는 것은 速度比에 따라 異なる 速度係數가 定하여져 있다.

以上 記述한 損失은 發生원인으로 생각할 때 표 2·4와 같이 負荷의 變化에 關係하는 可變損과 負荷의 變化에 關係하지 않는 不變損(無負荷損)으로 大別된다.

〈표 2·4〉 直流電動機의 손실분류

可變損	(1) 銅損(단(C)의 여자회로손 제외) (4) 표유부하손
不變損 (無負荷損)	(1) — (C) 여자회로 동손 (2) 무부하 철손 (3) 기계손

2·3·3 直流電動機의 效率

(1) 規約效率

直流電動機의 入力 및 損失을 測定하여 다음式으로 算出한 效率를 規約效率(以下 效率이라 부른다)이라고 하며, 一般으로 사용되고 있다.

$$\text{效率 } \eta = \frac{(\text{入力}) - (\text{損失})}{(\text{入力})} \times 100 (\%) \quad (2\cdot10)$$

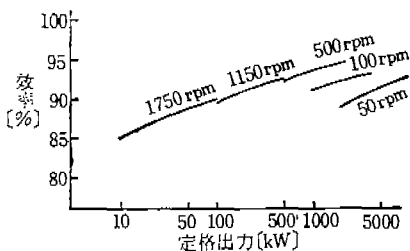
入力は 直流電動機의 端子電壓 V와 負荷電流 I를 측정한다. 損失은 無負荷損은 測定值를, 銅損은 實測抵抗值를, A, E, B種 絶緣의 경우는 75℃로, F, H種 絶緣의 경우는 115℃로 환산한 값을 구하여 계산한다. 또, 브러시 접촉전압은 電流에 관계없이 一定하게 計算한다.

이들의 損失에 機械損, 漂遊負荷損 및 勵磁回路의 銅損을 포함한 것을 2·10式의 損失로 한다. 以下에 기술하는 效率은 근간 많이 사용되고 있는 F種 絶緣의 直流電動機 效率이다.

(2) 定格出力과 效率

그림 2·22에 많이 사용되는 回轉速度를 선택하여 定格出力과 定格出力時의 效率과의 關係의 一例를 표시한다.

이것에서 명백해지듯이 出力이 커짐에 따라



〈그림 2·22〉 定格出力對 效率

效率이 좋아지는 것을 알 수 있다.

(3) 負荷狀態와 效率

표 2·4에 기술한 바와 같이 負荷에 關係되는 可變損을 W_v (W), 負荷에 關係되지 않는 不變損을 W_c (W)라고 하면 直流電動機의 總損失은 $W_v + W_c$ 가 된다. 또 直流電動機의 端子電壓을 V (V), 負荷電流를 I (A)라고 하면 2·10式은 다음과 같이 표시된다.

$$\eta = \frac{V \times I - (W_v + W_c)}{V \times I} \times 100 (\%) \quad (2\cdot11)$$

負荷에 關係되는 損失 W_v 는 負荷電流 I의 2乘에 비례하기 때문에 $W_v = kI^2$ 라 하고 2·11式에 代入하면

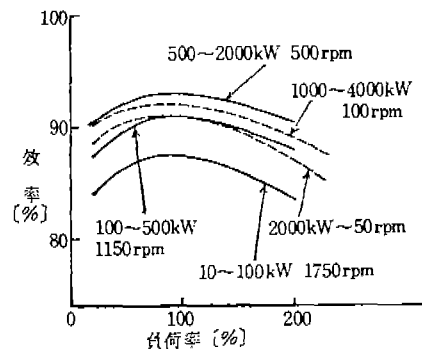
$$\eta = \left\{ 1 - \left(\frac{k}{V} \cdot I + \frac{W_c}{V \times I} \right) \right\} \times 100$$

$$= \left\{ 1 + f(I) \right\} \times 100 (\%)$$

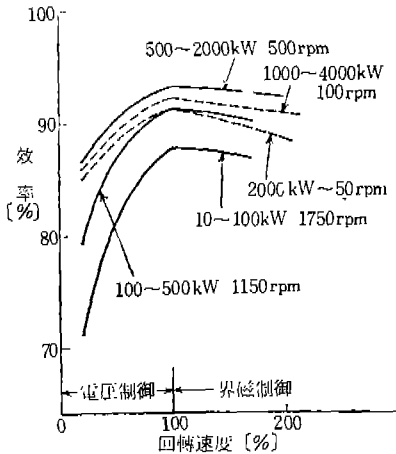
가 된다. 2·12式에서 $f(I)$ 가 最小가 될 때 效率 η 는 最大가 된다. 즉

$$\frac{df(I)}{dI} = 0$$

에서 $kI^2 = W_c$ 가 얻어지며, 可變損과 不變損이 同等해지는 負荷狀態時 效率이 最大가 된다. 그림 2·23에 定格出力을 퍼센티지로 한 百分率負荷狀態와 效率과의 關係의 一例를 표시한다. 여기서 알 수 있듯이 一般 直流電動機는 百分率負荷가 70~100% 사이에서 效率이 最大가 되도록 設計되어 있다.



〈그림 2·23〉 負荷率對 效率



〈그림 2·24〉 回轉速度對 效率

(4) 回轉速度와 效率

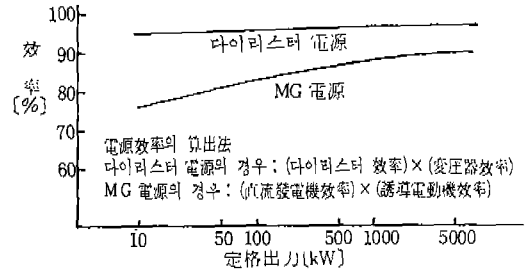
直流電動機의 速度制御에 따라 效率이 變更되는데, 定格出力을 퍼라미터로 하여 그 回轉速度와 效率의 關係를 一例로서 그림 2·24에 든다. 이 그림과 같이 토크 一定狀態에서 電壓制御를 하는 경우도 出力 一定狀態에서 界磁制御를 하는 경우도 일반적으로는 定格回轉速度에서 效率이 最高가 된다.

(5) 絶緣의 種類와 效率

여기까지 기술한 效率은 直流電動機의 主流를 점유하고 있는 F種絶緣의 것인데, 絶緣의 種類에 따라 許容溫度 上昇値가 다르기 때문에 效率에 약간의 차가 생긴다. 즉, 1970年 前後의 主流를 이루었던 B種絶緣과 最近의 主流인 F種絶緣, 또 근래 채택되어 가고 있는 H種絶緣으로 옮겨감에 따라 許容溫度 上昇値가 높아져 電動機의 몸체는 축소되나 效率이 나빠지는 경향이 있다. 하나의 例로서 1,000kW級의 直流電動機에서는 F種絶緣의 것에 대하여 B種絶緣의 것이 0.3~0.5%가 좋고 H種絶緣의 것은 반대로 0.3~0.5% 나빠진다.

2·3·4 電源方式과 效率

直流電動機를 運轉하기 위한 直流電力을 얻으



〈그림 2·25〉 定格出力對 電源效率

려면 다이리스터 電源方式과 電動發電方式(以下 MG 電源方式이라 한다)이 보편적이다. 이 兩者의 綜合效率의 比較例를 그림 2·25에 표시한다.

다이리스터 電源方式의 效率은 다이리스터 變壓器를 포함하여 95~97%로 높은 레벨에 있고 MG 電源方式의 76~90%에 비하여 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

2·3·5 에너지 節減을 위한 運轉改善

(1) 輕負荷에 대한 에너지 節減運轉

그림 2·23에 표시한 바와 같이 直流電動機는 定格負荷近處에서의 運轉이 效率面에서 바람직 한데, 심하게 輕負荷가 되거나 過負荷狀態로 使用할 때는 效率이 低下하므로 注意할 필요가 있다.

그러나 負荷가 되는 製品 또는 材料에 따라서는 輕負荷運轉을 피할 수 없을 때가 있다. 輕負荷運轉이 長時間에 걸치리라 豫想될 때는 다음과 같은 對策을 세우면 에너지 節減運轉이 가능하다.

(a) 2대 tandem)으로 運轉되고 있을 때는 1대를 떼어내고 運轉한다.

(b) 他力通風이면 界磁의 溫度上昇에 注意하고 팬 모터의 可變速化를 고려하여 風量을 適正 風量까지 減少한다.

(c) 브러시 個數를 조정하여 微量이나마 브러시의 마모손실을 줄인다(整流子面의 荒損을 막는 뜻에서도 필요하고 一般의으로는 브러시의 電流密度가 6~10A/cm²가 되도록 조정한다).

(2) 速度变化에 대한 에너지 節減運轉

(a) 빈번한 變速을 하는 用途에서는 加減速時의 損失이 큰 경우가 있다. 定常運轉時의 損失과의 밸런스를 고려하여 加減速時의 損失이 크면 極力 短時間에 加減速運轉(예를 들면 界磁에 의한 加減速 토크의 增大)을 하여 加減速時의 損失을 줄이도록 하는 것이 바람직하다.

(b) 定速運轉이나 變速이 적은 用途에 대하여는 그림 2·24에 표시한 바와 같이 極力 定格運轉으로 使用하는 것이 바람직하고 특히 電壓制御範圍에서의 低速運轉은 效率이 현저하게 떨어지므로 피하여야 하며, 出力이 回轉速度의 3乘에 比例하는 팬 用途에 대해서는 注意가 필요하다.

2·3·6 에너지 節約을 위한 設備更新

(1) 電源設備의 更新

그림 2·25에 표시한 바와 같이 MG 電源方式을 채택하고 있는 直流電動機에 있어서 이를 다이리스터 電源으로 更新하는 것은 에너지 節減上 가장 效果的이다. 즉 電源效率이 각별히 좋아짐과 同時에 直流電動機側에서 보더라도 運轉制御에 필요하였던 制御機器, 예를 들면 一般의 抵抗損이 큰 界磁調整器, 始動抵抗器 및 速度制御抵抗器 등이 省略될 수 있기 때문이다.

그러나 다이리스터 電源方式의 경우에는 整流裝置의 結線양식에 關係해서 高調波電流를 交流給電系統에 流出하고, 또한 直流電壓을 저하시킴에 따라 보다 큰 無效電力을 交流給電系統에 끌어 들이게 된다. 그리고 또 直流電動機에게 있어서도 整流, 溫度上昇上 脈動電流는 바람직하지 못하며, 채택하는 데 있어서는 問題點을 充分히 명확하게 하여 필요한 對策을 강구하여 두는 것이 前提가 된다.

(2) 高效率電動機로의 更新

直流電動機만의 更新은 一般의 能源 節減效果보다도 設備投資額 쪽이 월등히 높아서 그

리 實施되고 있지 않으나 다이리스터 電源에의 更新과 함께 생각하거나(다이리스터 電源에 적합한 電動機를 購入할 수 있다), 낡은 電動機의 保守, 運轉費와의 比較로 決定된다. 通常的 電動機에 대해서 損失이 적은 鋼板을 使用하거나 銅損의 低減 등으로 0.5~1.0% 程度 效率의 上昇이 기대되고 또 2·3·5에서 記述한 負荷의 상태에 적합한 電動機 사양이 再考될 수 있는 點에서 有效하다.

그러나 이니시얼 코스트가 上昇하는 것, 既設 電動機와의 장치치수상 제약도 있으므로 事前檢討가 필요하다.

(3) 設備의 效果의 利用

예를 들면 MG 電源을 다이리스터 電源으로 한 경우, MG 電源設備를 다른 用途에 효과적으로 利用한다는 것은 에너지 節減과 동일하게 意義가 있다. 즉, 誘導電動機 및 直流發電機의 다른 곳으로의 轉用이다.

直流發電機는 또 直流電動機로서도 使用可能한데, 여기서는 直流發電機를 直流電動機로서 使用할 때의 留意할 點 中에서 主된 것을 소개하기로 하고 具體的인 檢討는 概別的으로 製造 메이커에 依賴하는 것이 좋다.

(a) 2·7式에 의하여 直流發電機의 경우는 $E=V+IR$ 가 되므로 電動機로서 端子電壓 V , 界磁磁束 Φ 로 運轉하면 回轉速度 N 은 약간 내려서 運轉하게 된다.

(b) 電動機로서의 出力은 發電機의 定格出力에서 定格時의 損失을 뺀 것이 概略的 限度이다.

(c) 回轉速度는 一般의 發電機의 定格回轉速度 以上은 올릴 수 없다. 또 低速時의 베어링 性能 및 逆轉에 使用할 때는 그 可否의 檢討가 필요하다.

(d) 다이리스터 電源으로 驅動할 경우는 脈動電流에 대한 整流, 溫度上의 問題點 및 速度應答性의 制約 등 같은 검토가 필요하다.

(e) 電動機로 使用할 때는 一般의 定速으로 使用되는 發電機보다도 가속하게 使用된다.

따라서 반복하여 應力에 의한 各部의 機械的 強度를 檢討할 필요가 있다.

2·3·7 에너지 節減을 위한 新設備 計劃

直流電動機를 使用하는 設備를 새로이 計劃할 때의 에너지 節減 觀點에서 본 直流電動機 選定 方法에 대하여 그 主眼點을 기술한다.

(1) 定格出力의 決定

直流電動機의 單機製作限界는 通常의으로 사용되는 單重捲捲線을 채택한 경우, 出力을 P [kW], 回轉速度를 N [rpm]라고 하면 $P \cdot N = 1.8 \times 10^6$ [kW·rpm]라고 한다.

따라서 單機로 製作하는 것이 可能하면 그림 2·22에 표시한 바와 같이 直流電動機를 分散시키지 말고 可能的한 限 이를 한데 모아 單機當의 出力을 增加시키는 편이 定格出力點에서의 效率面에서는 效果가 있으나 빈번한 變速을 하는 用途에 대해서는 慣性 모멘트가 커지므로 注意하여야 한다(2·3·5(2)·(a) 참조) 표 2·5에 單機로 종합한 경우와 그렇지 않은 경우의 損失比較 例를 든다.

또 그림 2·23과 같이 使用되는 負荷에 맞는 가장 적합한 出力을 선정하여 주는 것도 重要하다.

아울러 미리 輕負荷가 豫想될 때는 2대를 tandem(直列)으로 하여 두고 輕負荷時에는 1대를 배고 運轉하도록 하여 둘 필요가 있다(2·3·5(1)·(a) 參照).

〈표 2·5〉 單機出力을 增大하였을 때와 그렇지 않을 때의 損失比較例

用 途	出 力 [kW]	回轉速度 [rpm]	臺 數	損 失 [kW]
一般工業用	100	1,150	5	60
	500	1,150	1	40
分塊压延用	2,500	50	더블 아마튜어	570
	5,000	50	싱글 아마튜어	480

(2) 電源方式의 種類

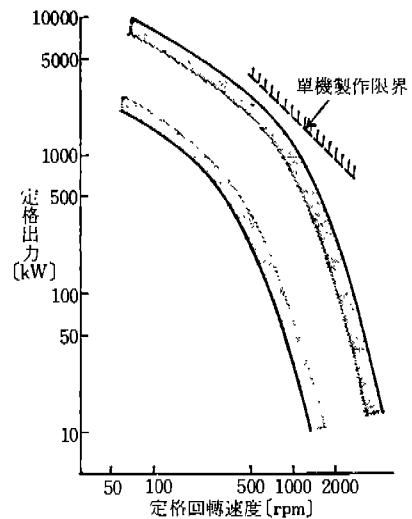
現在로는 다이리스터 電源方式이 一般의으로 效率이 좋다(그림 2·25 參照)

(3) 定格電壓의 決定

電動機의 設計·製作이 可能하고 다이리스터 素子の 耐壓이 허용되면 極力 高電壓化하는 것이 負荷電流가 減少하며 접속 케이블 損失 및 電壓 降下가 減少, 電動機의 運轉效率이 좋아진다.

(4) 定格回轉速度

그림 2·26에 直流電動機의 잘 使用되고 있는 定格出力과 定格回轉速度의 범위를 표시한다. 2·3·7(1)에서 決定한 定格出力에 대하여 極力

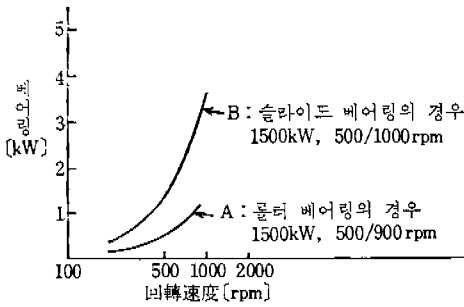


〈그림 2·26〉 直流電動機의 잘 使用되는 定格出力對 定格回轉速度

訂 正

本誌 11月號33p의 英文제목을 아래와 같이 바로 잡습니다.

The Utilization of Coal Ash as a Construction Material from Thermal Power Plants



〈그림 2·27〉 롤러 베어링과 슬라이드 베어링의 베어링 손 비교예

이 그림의 범위에 드는 定回轉速度를 선택하여야 한다. 이 범위를 현저하게 벗어나면 效率面에서 좋지 않다. 또 界磁制御範圍를 넓게 잡으면 整流設計上 곤란해지고 損失面에서도 득이 없고 余裕를 너무 잡아 使用하지 않는 높은 回轉速度까지의 時常 決定은 無意味할 뿐 아니라 베어링 손이 增大하여 에너지 節減에 위배된다. 예를 들면 그림 2·27에 표시하는 바와 같이 베어링의 種類에 따라 同一回轉速度라도 베어링 손에 큰 차이가 있기 때문이다. 그림 2·27의 一例에서는 1,500kW, 500rpm의 直流電動機를 900rpm까지 界磁制御할 때는 롤러 베어링을 채택할 수 있고 베어링 손이 커브 A가 되는데 대하여 1,000rpm까지 界磁制御할 때는 슬라이드 베어링이 되어 베어링 손이 커브 B와 같이 된다.

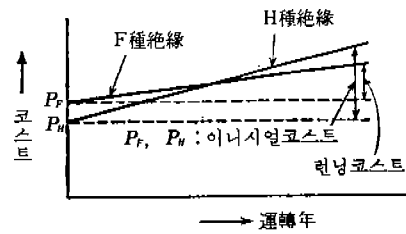
베어링 손은 同一電動機라도 베어링의 相違에 따라 이와 같이 큰 差가 생기는 것을 알 수 있다.

(5) 絶緣의 種類

H種絶緣은 2·3·3(5)에서 기술한 바와 같이 電動機의 크기를 縮少시키고 低慣性化, 이니시얼 코스트의 低減面에서 효과적이지만 한편 效率面에서는 좋지 않다.

따라서 이니시얼 코스트와 运行 코스트의 平衡을 考慮하여 絶緣 種類를 選定하여야 한다.

그림 2·28에 F種絶緣과 H種絶緣의 이니시얼 코스트를 포함한 运行 코스트 推移의 一例를 표시한다. 交點은 1~2年으로 생각된다.



〈그림 2·28〉 F種, H種絶緣의 各電動機 코스트 推移

(6) 高效率電動機의 採擇 (2·3·6(2) 参照)

前項과 같이 이니시얼 코스트와 运行 코스트의 平衡을 고려하여 決定하여야 한다.

2·3·8 結語

以上 주로 效率를 中心으로 直流電動機의 運轉 및 選定法에 대하여 記述하였다. 現實적으로 여러가지의 要因이 엉켜 있어 한마디로 適合한 結論을 내는 것은 困難하다고 생각된다. 나아가 效率向上時에는 直流電動機가 갖는 制御性 및 應答性이 좋도록 維持改善을 잊어서는 안 될 것이다.

電動機의 치수, 重量을 增大하지 않고 高效率化를 꾀하려면 한가지로는 鐵損, 銅損의 低減이 기대되는 電氣材料의 革新이 바람직하나 現狀으로는 實用的이고 또 普偏的인 面에서 아직 充分하지 않다. 또 冷却方式의 改善에 의한 高效率化를 지향한 手法으로서 예를 들면 冷却風溫度의 低下, 히트파이프의 利用, 直接水冷方式 등이 고려되는데, 一部는 이미 實用化되고 있는 것도 있다. 이에 대하여는 단지 電動機의 運轉效率뿐 아니라 設備全體의 效率이나 價格에 대하여 充分한 검토를 할 필요가 있다.

現狀으로는 電動機를 高效率化하면 치수, 重量의 增加가 따라 必然적으로 設備費를 增大시킨다.

앞으로는 여러 外國에서 볼 수 있듯이 效率에 대한 價格評價가 명확하여질 同시에 高效率化 技術의 進歩도 계속될 것으로 생각된다.

〈다음 호에 계속〉