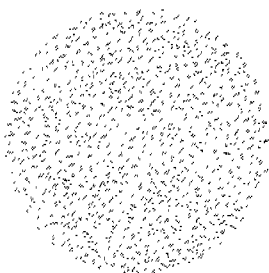


# 中型 誘導電動機를 爲한 試驗裝備의 適用

Application of The Testing  
Facility for Medium Sized  
Induction Motors



金 邦 光

現代重電機(株) 回轉機工場長

## 1. 序 論

電動機를 그 크기에 따라 分類함에 있어서 小型 中型 그리고 大型의 명확한 區分은 없으나, 여기서는 4極 60Hz 기준으로 500~2000kW 정도의 容量을 中型으로 생각하였다. 이 範圍의 誘導電動機는 各種 플랜트의 單位 主動力으로서 대개 3kV~6.6kV의 電壓을 취하고 있으며 使用場所와 製造業體의 製作方法에 따라 매우 多樣한 形態를 갖고 있는 特徵이 있다.

이 들 電動機의 試驗은 各 製品마다 遂行되는 普通試驗과 製品 開發時 또는 使用者의 特別한 要求에 의해서 遂行되는 追加試驗이 있는데, 그 重要項目을 列擧해 보면 다음과 같다.

- (1) 肉眼檢査와 材質試驗
- (2) 耐電壓試驗
- (3) 特性試驗
- (4) 溫度上昇試驗
- (5) 振動과 騒音測定

특히 普通試驗은 使用者로 하여금 製品을 信賴할 수 있도록 性能을 保障한다는 觀點에서 그 項目과 試驗方法 등이 各種 規格이나 規定에 따라 엄격히 規制되고 있으며, 이에 따라 國內의 電動機 製造業體들도 점차 國際的인 規定에 의한 試驗을 遂行할 수 있도록 各種 試驗裝備를 갖추어 나가고 있다. 또한 測定計器의 發達에 힘입어 電動機 試驗의 精密度가 信賴性이 한층 더 높아지고 있는 추세에 비추어, 最近 國內의 H社에서 竣工한 國際的인 水準의 實負荷 試驗設備는 回轉機 試驗分野에 있어서 하나의 快舉로 받아들여 지고 있다.

## 2. 試驗項目과 그 理論的인 배경

誘導電動機의 試驗은 KS C4201, JEC37, IEC 34, NEMA MG-1, ANS 1 C52.1, VDE0530 등 各類 規格이나 規定에 따라서 試驗條件이나 測定結果를 判別하는 方法에서 약간씩 차이가 있으나 그 理論的인 배경은 모두 同一한 것으로 보여진다. 여기에서는 흔히 Commercial test 혹은 Routine test라고 불리워 지는 普通試驗의 여러가지 重要項目에서, 計測機器 외에도 많은 裝備가 필요한 特性試驗과 溫度上昇試驗 方法에 關하여 記述하고자 한다.

다.

### A. 特性試驗

誘導電動機의 特性은 效率, 力率 그리고 Torque 등으로 表示되어 진다. 電動機의 電機的인 入力은 電壓計, 電流計, 電力計 등으로 쉽게 測定할 수 있으나 機械的인 出力은 動力計로 直接 測定하거나 損失을 計算하여 出力을 推定할 수 있을 뿐이다. 그래서 이들 特性을 算定하는데에는 機械的인 出力을 알아내는 方法에 따라서 直接測定과 間接測定으로 區分된다.

#### (1) 直接測定法

直接測定은 油壓 Brake나 電氣動力計(Dynamometer)를 使用하여 機械的인 實際負荷 狀態로 加速하면서 電氣 機械的인 Power, 電流, 力率, 電壓, 周波數, 回轉速度 등을 測定하므로 試驗을 신속정확하게 이루어지나 容量이 增加할수록 그 設備의 費用이 엄청나게 要求된다. 그러므로 500kW이상의 中型 回轉機에 對하여 直接測定을 行하는 경우는 거의 없으며 國內의 경우에는 分數 馬力이나 數 馬力이내의 小型의 試驗에 限定되고 있다.

#### (2) 間接測定法

損失分離法에 의한 間接測定은 電氣的인 入力과 損失을 測定하므로써 機械的인 出力을 計算하는 方法으로서 回轉速度를 정확히 測定할 수 있다면 아래와 같이 Torque를 求할 수 있다.

$$T = 974 \times (\text{入力} - \text{損失}) / \text{rpm}$$

誘導電動機와 直流發電機를 Coupling이나 Belt로 그 軸을 連結하고 電動機의 端子에 定格 周波數의 交流電源을 加한 後 發電機의 負荷 狀態를 調整함으로써 各 負荷 狀態에서 電動機의 機械的 出力을 間接的으로 測定할 수도 있는데, 이 경우에는 誘導 電動機의 負荷로서 使用한 直流發電機의 各 負荷 狀態에서 發生하는 損失을 미리 알고 있어야 하며 電動機의 機械的 出力은 곧 發電機의 入力이므로 아래와 같이 Torque를 求할 수 있다.

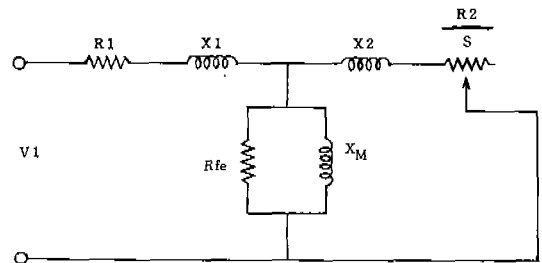
$$T = 974 \times (\text{GPO} + \text{PGL}) / \text{rpm}$$

PGO : 電動機에 直結된 直流發電機의 出力

PGL : 直流發電機의 總損失

한편 等價回路에 의한 計算法은 負荷狀態를 만들어 줄 수 있는 裝備가 없을 때에 널리 使用되는 方

法으로서 無負荷試驗과 拘束試驗으로부터 그림1의 等價回路에서 表示된 各 임피던스를 計算하여 추정하고 이 回路를 圖線圖法으로 解析하여 特性을 算定한다. 固定子 卷線의 抵抗값은 Double Bridge를 使用하여 測定하면 정확히 구할 수 있으나 1차 리액턴스와 2차 리액턴스는 분리되어 구해지지 않으므로 最近에는 NEMA MG-1에 規定된 設計 A, B, C, D에 따라 X1/X2의 比에 관한 여러가지 값이 提案되고 있으며, 특히 籠型에 있어서 Deepbar나 Double Cage의 回轉子 슬롯 漏洩리액턴스의 값이 크다는 點을 생각할 때 매우 타당한 提案으로 생각된다.



(그림-1) 誘導電動機의 等價回路

### B. 溫度上昇試驗

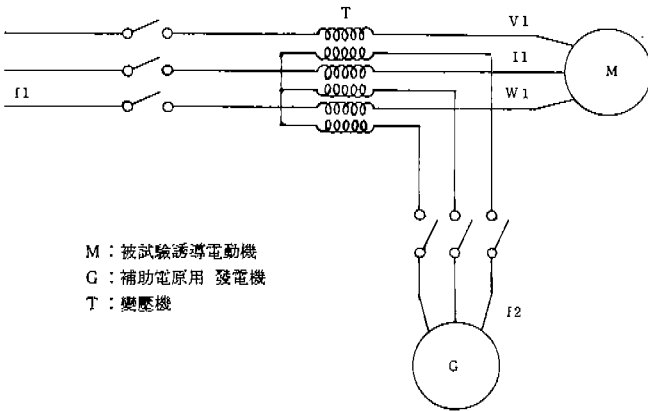
電氣機械의 壽命은 定格運轉時의 機械溫度上昇과 의 絕緣物의 耐熱性에 크게 左右되므로 電動機의 出力容量은 溫度上昇에 의하여 決定되는 수가 많다. 여기에서 溫度上昇이란 電動機가 負荷狀態에서 熱의 平衡을 이루고 있을 때 測定한 各部分의 溫度와 周圍大氣 溫度와의 差異를 말하며 試驗時 負荷 狀態를 만들어 주는 方法으로서는 普通 다음의 두 가지가 使用되고 있다.

#### 實負荷法

發電機를 電動機의 負荷로 使用함으로써 주어진 電氣的 入力이 發電機의 電氣的 出力으로 회수되므로 흔히 返還負荷法이라고 불리워 지고 있다.

#### 1次 重疊法

그림2와 같이 回路를 連結하고 主電源에 의해서 電動機를 無負荷로 運轉시킨 後, 周波數가 다른低 電壓의 補助電源을 重疊시킴으로써 電動機의 1次 回路에 定格電流가 흐르도록 하는 것을 말한다. 主 電源이 60Hz인 경우 補助電源의 周波數는 대개 48 ~ 50Hz정도이며 電壓은 電動機의 1次回路에 定格



〈그림-2〉 1次重量等價負荷法の回路圖

電流가 흐르도록 調整할 수 있어야 한다.

500kW 이상의 中型 誘導電動機는 대개 固定子 卷線의 層間에 ETD(Embedded Temperature Detector)를 內裝하고 있어서 이를 Bridge回路나 自動連續記錄計에 連結하므로써 卷線溫度를 쉽게 測定할 수 있다. 또한 卷線의 平均溫度를 測定하는 方法으로서는 抵抗法이 널리 利用되고 있는데 이는 導體의 抵抗값이 溫度에 比例하여 增加하는 것을 利用한 것으로서 20℃의 銅線인 경우 抵抗溫度係數는  $0.00393(\text{deg}^{-1})$ 의 값이 採擇되고 있다.

抵抗法으로 溫度를 추정할 때는 周圍 大氣溫度 狀態에서 固定子 卷線의 抵抗을 測定하고, 電動機에 定格電流를 印加한 後 約2時間 정도 運轉하여 溫度가 거의 變動하지 않을 때 電源을 끊고 電動機를 靜止시킨 後 固定子 抵抗을 다시 測定한다. 이때 電源을 끊는 瞬間부터 電動機를 靜止시키고 1次端子의 抵抗을 測定할 때까지의 溫度變化는 機械의 冷却溫度時定數와 冷却方式에 크게 影響을 받는 것으로 생각되며 筆者의 ETD에 의한 測定 經驗에 의하면 大部分의 自力通風型 電動機는 電源을 끊는 瞬間부터 溫度가 3~5k 정도 上昇하였다가 90~150秒의 時間이 經過한 後에 原來의 卷線溫度에 到達하는 것으로 나타났다. 그러므로 2200hp이상의 電動機에 대해서 120秒 이내에 測定된 抵抗값에 의한 卷線溫度는 修正없이 電源을 끊기 直前의 溫度로 看做한다'는 IEEE 112~1978의 5, 6, 4項은 自力通風型의 電動機에 對해서 適當한 것으로 생각된다.

### 3. 實負荷 試驗設備의 系統 紹介

實負荷 試驗設備은 前述한 바와 같이 溫度上昇 試驗뿐만 아니라 特性 算定을 위한 電動機의 機械的인 出力도 計算할 수 있으며, 그 設備의 모델로서는 國內 最大 重電機 製品 輸出業체인 H社의 回轉機 試驗室에 設備되어 있는 2000kW Loading System을 紹介하고자 한다. 왜냐하면 이 試驗設備은 國內 唯一의 中型 電動機와 發電機의 實負荷 試驗設備일뿐만 아니라 國際적으로도 公認을 받고 있는 系統이기 때문이다.

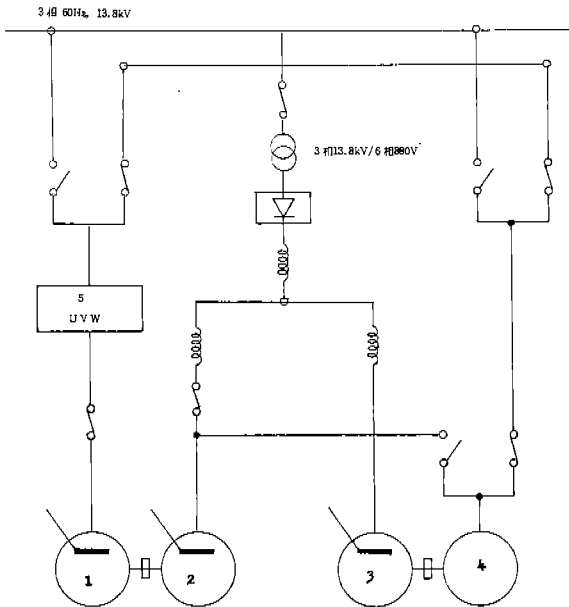
그림3은 이 系統의 主要機器들의 接續을 나타낸 것으로서 測定計器들과 각 機器들의, 調整裝置 등은 나타내지 아니하였으며 기계No.1과 No.2, No.3과 No.4는 각각 그 軸들이 機械적으로 直接 連結되어 있다. 誘導電動機는 極數에 따라 回轉速度가 多樣하므로 通常 이러한 系統에서 電動機 負荷로서의 發電機는 速度應用이 자유로운 直流機를 採擇하고 있으며, 이 경우 No.3 直流機는 被試驗誘導電動機로부터 機械的 動力을 받아 直流發電機로 動作한다. 이 直流發電機에서 發電된 直流電力은 No.2 直流機를 直流電動機로 可動시키며, No.2 直流機에 直結된 同期機는 同期發電機로 動作되어 交流電力을 發生시킨다. 이 電力은 다시 被試驗體인 誘導電動機로 循環供給되며 이때 各 機械의 效率는 被試驗誘導電動機에 따라 약간씩 다르나 대략 97%로 보면 系統 全體의 效率는 약 88.5%가 될 것이다. 그러면 약 11.5% 만큼의 系統內에서의 損失分이며 外部母線으로부터 이 損失分만큼의 電力이 流入된다.

또한 被試驗체가 發電機일 경우에는 No.1 同期機는 同期電動機로, No.2 直流機는 直流發電機로, 그리고 No.3 直流機는 直流電動機로 각각 動作된다.

普通 同期機는 勵磁電流에 의해서 端子電壓을 調整할 수 있으나 여기서는 固定子 結線의 操作을 並用함으로서 더욱 광범위하게 調整하고 있으며 1

相의 卷線을 4개 그룹으로 나누었을때 1그룹의 誘起電壓을 2000V라 하면 各 結線에서의 外部電壓은 表1과 같이 될 것이다.

그리고 No.2 直流機의 勵磁電流를 變化시켜 回轉速度를 調整하면 同期機로부터 임의의 周波數의 電力을 얻을 수 있다.



1. 同期機
2. 直流機
3. 直流機
4. 被試驗交流 / 直流 電動機 / 發電機
5. 結線操作盤

〈表-1〉 卷線操作에 의한 電壓調整

番號	區分	並列回路數·結線	相電壓 (V)	外部端子電壓 (V)
1		4 △	2000	2000
2		4 Y	2000	3460
3		2 △	4000	4000
4		2 Y	4000	6930
5		1 △	8000	8000
6		1 Y	8000	13800

#### 4. 結 論

電動機의 試驗에 있어서 實負荷法이 아닌 計算에 의한 方法으로서는 磁氣飽和나 電流에 의한 表皮效果를 考慮할 수 없으며 鐵心部分의 表面脈動損과 導體에서의 過電流損 등으로 構成된 漂遊負荷損의 計算은 더욱 어렵고, 特히 低슬립에서는 약간의 回轉速度의 測定誤差에 의해서도 特性計算에 많은 誤差를 나타내는 등 精確한 方法이라 보기 어렵다. 그러므로, 中型이상 誘導電動機의 國內需要가

〈그림-3〉 LOADING SYSTEM의 接續圖

아직 많지 않아 電動機 專用的 試驗設備에 많은 投資를 하기는 어려울 것으로 생각되나 實負荷法내지는 直接測定을 할 수 있도록 裝備를 갖추는 것이 世界的인 추세이며 또한 國際的인 技術경쟁을 위해서도 바람직한 것으로 보여진다.

이와 아울러 企業과 學界, 研究所 등이 協力하여 精確하고 經濟性이 있는 試驗方法을 開發하는 한편, 現在 各 企業체가 保有하고 있는 試驗設備의 機能을 100% 活用하는 方案도 계속 研究되어야 할 課題라고 믿는다.

#### 參考資料

1. KS·C4201-81 3相誘導電動機의 特性算定 方法
2. ANSI/IEEE 112-1978, Standard test procedure for polyphase Induction Motors and generators
3. IEC 34(1969) Rotating electrical Machine
4. NEMA MG-1 (1980) Motor and Generator