

誘導電動機의 圓線圖作圖法 및 特性算定法의 方式

—차

—례—

1. 緒 論

2. 拘束試驗 때의 問題點

3. 等價回路

4. 圓線圖의 作圖法

5. 特性算定法

1. 緒 論

誘導電動機의 圓線圖의 作圖 및 特性算定에 있어서 勵磁임피던스를 入力端子間에 이동하여 簡易化한 等價 L回路 그리고 一次와 二次의 漏洩리액턴스가 同一하다고 假定하여 勵磁임피던스를 一次와 二次의 임피던스의 中間에 접속한 等價T回路를 사용하고 있으며 後者에 의한 圓線圖作圖法 및 特性算定法은 前者에 의한 것보다 正確하다고 認定되어 있다. 그러나 一次와 二次의 漏洩리액턴스가 同一하다는 假定은 實際의 機械에서는 만족되지 않을 뿐 아니라 拘束試驗에 있어서 拘束의 경우 생기는 銅損以外的 損失 및 勵磁리액턴스의 영향을 고려하지 않고 回路定數를 결정하고 이것을 사용하여야 하므로 그 圓線圖作圖法 및 特性算定法으로서는 상당한 誤差가 생길 것이다.

本文에서는 이러한 것들을 고려하여 一次와 二次의 漏洩리액턴스를 分離하지 않는 等價T回路에 의하여 一次漏洩리액턴스를 사용하지 않고 作圖할 수 있는 圓線圖 그리고 拘束의 경우 생기는 銅損以外的 損失 및 勵磁리액턴스의 영향을 고려하여 결정한 그 等價T回路定數를 사용하는 特性算定法을 紹介하고자 한다.

2. 拘束試驗 때의 問題點

定格周波數에 있어서의 拘束試驗 때의 入力を 一次·二次銅損의 합과 같다고 생각하여 一次·二次抵抗의 합을 계산하고 別途로 測定하여 구한 一次抵抗의 값을 사용하여 二次抵抗의 값을 分離하고 있지만 拘束試驗 때의 入力에는 銅損以外에 漏洩磁束에 의한 鐵損, 卷線에 近接한 構造部分에 생기는 渦流損 등이 포함된다. 이러한 損失이 어느 程度인 가를 調査하기 위하여 卷線形誘導電動機에 대하여 周波數를 변화시켜 拘束試驗을 實施하고 各周波數에 있어서의 入力, 一次·二次電流 및 卷線抵抗을 測定하여 拘束試驗 때의 入力에 포함되는 銅損 및 브러시損 以外的 損失을 구한 例를

보면 그림 1, 2와 같다. 이 例에서 보는 바와 같이 定格周波數의 拘束試驗에의 入力에는 銅損以外에 많은 損失이 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. 또 拘束試驗 때의 入力이 一次·二次銅損의 합과 같다고 하여 算定한 抵抗

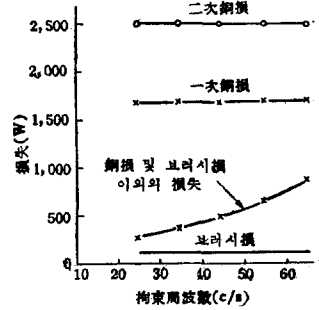


그림 1. 拘束試驗 때의 損失(125 KW + 極 440V · 60c/s)

값과 直接測定하여 구한 一次·二次抵抗의 값을 比較한 것을 보면 그림 3과 같고 定格周波數 60c/s에 있어서의 抵抗値는 約 16%의 誤差가 생긴다는 것을 알 수 있다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 周波數를 낮게 하면 銅損以外的 損失은 적어지고, 따라서 拘束

試驗 때의 入力부터 算定한 抵抗値와 直接測定한 抵抗値와의 誤差는 적어진다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 拘束試驗 때의 入力에 銅損以外的 損失이 포함됨으로써 생기는 抵抗値의 誤差를 可能한 限 적게 하기 위하여 JISC 4207에

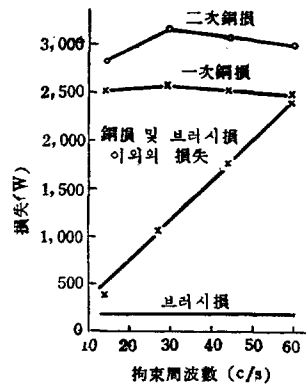
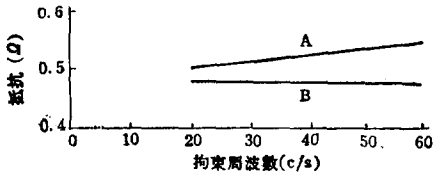


그림 2. 拘束試驗 때의 損失(150 KW · 四極 · 3,300V · 60c/s)

\* 正會員 · 成均館大 教授(工博) · 當學會理事



A : 拘束 때의 入力에 의하여 計算한 抵抗值  
 B : 直接測定한 一次抵抗과 二次抵抗(一次側으로 換算한 값)과의 합.

그림 3. 拘束試驗의 入力에 의하여 計算한 抵抗值와 直接測定한 抵抗值와의 比較

種 絶緣(基準卷線溫度 75°C)의 경우 測定溫度에서의 抵抗值 自體를 75°C의 抵抗值라 하고, F 및 H種 絶緣(基準卷線溫度 115°C)의 경우 測定溫度에서의 抵抗值에 1.13을 곱한 것을 115°C의 抵抗值라 하여 계산하고 있다. 이와 같이 생각하는 것은 前述한 誤差를 적게 하는 傾向이 있지만 拘束試驗 때의 入力에 포함되는 銅損以外的 損失은 機種·構造에 의하여 變化하므로 이 方法의 正確性에 대하여는 理論的 根據가 없고 拘束試驗 때의 卷線溫度에 따라 特性이 相異해지는 不合理性을 가진다. 이 경우 一次抵抗值는 直接 測定한 값을 基準卷線溫度로 換算한 값을 사용하여 계산하므로 그 誤差는 二次抵抗值에 集中되어 나타난다. 이러한 問題를 解決하기 위하여 拘束試驗 때는 可能한 限 낮은 周波數를 사용하는 것이 좋을 것이다.

拘束試驗에 있어서 勵磁리액턴스를 무시하여 回路定數를 決定하고 있지만 極數가 많은 電動機와 같이 勵磁電流가 큰 경우는 이로 因하여 誤差가 생길 것이다 또 低周波에서는 勵磁리액턴스가 적어지므로 拘束임피던스를 一次·二次의 抵抗 및 漏洩리액턴스로 構成된다고 생각하는 것은 不合理할 것이다. 따라서 勵磁리액턴스가 比較的 적은 경우, 그리고 拘束試驗의 周波數가 낮은 경우에 勵磁리액턴스의 影響을 무시하면 誤差의 原因이 되므로 低周波拘束試驗에 의하여 回路定數를 算定할 경우는 勵磁리액턴스를 고려하여 回路定數를 算定하는 것이 좋을 것이다.

### 3. 等價回路

지금,  $V_1$ : 一次電壓  $r_1$ : 一次卷線 한相의 抵抗值  
 $r_2$ : 二次卷線 한相의 抵抗值  
 $X_1$ : 一次卷線 한相의 勵磁리액턴스  
 $x_1$ : 一次卷線 한相의 漏洩리액턴스  
 $x_2$ : 二次卷線 한相의 漏洩리액턴스  
 $s$ : 슬립

이러하여 誘導電動機의 回路方程式에 適當한 變換

을 하고 實効卷線化를  $u$ , 鐵損에 該當하는 抵抗分을  $r_M$ ,  $\sigma_1 = x_1/X_1$ 라 하여

$$x'' = \frac{x_1}{1-\sigma_1} + \left(\frac{u}{1-\sigma_1}\right)^2 x_2^2 \quad (1)$$

$$r_2'' = \left(\frac{u}{1-\sigma_1}\right)^2 r_2^2 \quad (2)$$

라 놓으면 그림 4 와 같이 一次와 二次의 漏洩리액턴스가 分離되어 있지 않은 等價回路로서 誘導電動機를 表할 수 있다. (等價回路의 作成過程은 文獻 2. 參照)

그림 4의 等價回路에 대하여 一次抵抗測定·無負荷試驗·低周波數拘束試驗으로써 다음 特性算定法에서 說明하는 바와 같이 正確한 回路定數가 決定된다. 그리고 拘束試驗 때의 周波數는 可能하는 限 낮게 하여야 하지만 지나치게 낮게 하면 電源, 測定技術上의 問題가 있으므로 低周波拘束試驗의 周波數를 約 15c/s程度로 생각하고 있다.

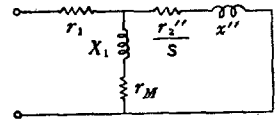


그림 4. 等價T回路

이 正確한 回路定數가 決定된다. 그리고 拘束試驗 때의 周波數는 可能하는 限 낮게 하여야 하지만 지나치게 낮게 하면 電源, 測定技術上의 問題가 있으므로 低周波拘束試驗의 周波數를 約 15c/s程度로 생각하고 있다.

### 4. 圓線圖의 作圖法

모든 等價T回路는 그림 5와 같이 一括하여 表할 수 있고 入力電流  $I_1$ 은 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{V_1/\sqrt{3}}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_1 + Z_0}} = \frac{V_1/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_0} + M_2 \frac{V_1/\sqrt{3}}{M Z_1 + Z_2} \quad (3)$$

여기서

$$M = \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} = me^{j\mu} \quad (4)$$

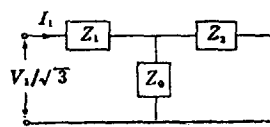


그림 5. T回路

式 (3)의 第一項은 一定하고 無負荷電流  $I_0$ 이다.

式 (4)에 의하여  $V_1$ 을 基準벡터라 하면 位相角:

$\mu$ 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \eta &= \angle\left(\frac{Z_0}{Z_1 + Z_0}\right) = \angle\left(\frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} \cdot \frac{V_1}{\sqrt{3}}\right) \\ &= \angle\left(\frac{V_1}{\sqrt{3}} - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_0} \cdot \frac{V_1}{\sqrt{3}}\right) = \angle\left(\frac{V_1}{\sqrt{3}} - Z_1 I_0\right) \end{aligned} \quad (5)$$

따라서  $x_1 = x_2$ 인 等價回路에서는  $Z_1 = r_1 + jx_1$ 이므로  $x_1$ 을 알고 있지 않으면 그 圓線圖를 作圖할 수 없다. 그러나 그림 4와 같은 等價T回路에서는  $Z_1 = r_1$ 이므로  $x_1$ 을 알고 있지 않아도 式(5)에 의하여 그림 6과 같이 하여  $\mu$ 를 定할 수 있다. 즉  $r_1 I_0$ 는  $V_1$ 을 통하여  $I_0$ 에 平行이다. 이 方法에서는 直流抵抗  $r_1$ 만 알고 있으면 되므로  $x_1$ 은 알고 있을 必要가 없다.

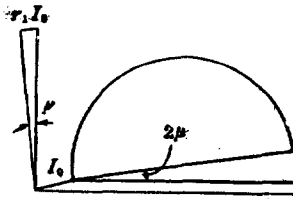


그림 6. 位相角  $\mu$ 의 作圖法  
 그림 4의 等價回路의 定數를 決定하기 위하여 一次 抵抗測定, 無負荷試驗 및 低周波拘束試驗을 實施하고 그 結果에 의하여 다음과 같은 順序에 따라 定數를 決定한다.

5. 特性算定法

(1) 一次抵抗測定——一次抵抗을 測定하여 端子間의 抵抗值를  $R_1$ , 그 때의 溫度를  $t_a(^{\circ}C)$ 라 한다. 基準卷線溫度  $t_b(^{\circ}C)$ 에서의 한相의 抵抗值  $r_1$ 은

$$r_1 = \frac{234.5 + t_b}{234.5 + t_a} \cdot \frac{R_1}{2} \quad (6)$$

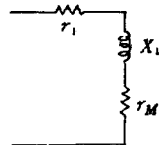
에 의하여 계산한다.

(2) 無負荷試驗——이 경우의 等價回路는 그림 7과 같고 定格周波數를 維持하면서 定格電壓보다 多少 높은 電壓부터 점차 電壓을 變化하여 大略 同期速度를 維持하는 最低值까지의 各點에서의 電壓·電流·入力を 測定한다. 定格電壓  $V_1$  때의 電流  $I_0$ , 入力  $W_0$ 에 의하여

$$X_1 = \sqrt{\left(\frac{V_1}{\sqrt{3}I_0}\right)^2 - \left(\frac{W_0}{3I_0^2}\right)^2} \quad (7)$$

를 구하고 또 定格值의 60~70%程度의 電壓  $V_1'$  때의 電流  $I_0'$ , 入力  $W_0'$ 에 의하여

$$X'_{1N} = \sqrt{\left(\frac{V_1'}{\sqrt{3}I_0'}\right)^2 - \left(\frac{W_0'}{3I_0'^2}\right)^2}$$



(8) 그림 7. 無負荷試驗을 구한다. 다음에 入力와 電壓의 關係를 表示하는 曲線을 延長하여 機械損  $W_{ML}$ 를 分離하고 또 無負荷試驗 때의 卷線溫度에 있어서의 抵抗損을 分離하여 定格電壓에 있어서의 鐵損  $W_i$ 를 구하면

$$r_M = \frac{W_i}{3I_0^2} \quad (9)$$

에 의하여  $r_M$ 가 決定된다.

(3) 低周波拘束試驗——普通 拘束試驗은 低電壓으로서 實施하므로 鐵損을 무시할 수 있다. 따라서 拘束試驗 때의 等價回路는 그림 8과 같고  $X_1'$ 는  $X_1$ 의 定格

周波數에 있어서의 未飽和 值이며, 拘束試驗은 低電壓으로서 實施하므로 未飽和 值를 擇할 必要가 있다.

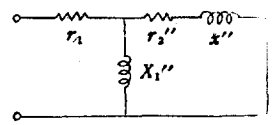


그림 8 拘束試驗 때의 等價回路

따라서 拘束試驗 때의 周波數  $f_L$ 와 定格周波數  $f_N$ 와의 比를  $f_L/f_N = k$ 라 하면  $X_1' = kX_{1N}$ 이다. 15C/S 附近의 低周波에서 大略定格電流를 흘리면서 拘束試驗을 實施한다. 이 때의 電壓  $V_s$ , 電流  $I_s$ , 入力  $W_s$ 를 測定한다. 이 結果에 의하여

$$R_{2L} = \frac{W_s}{3I_s^2} - R_{1L} \quad (10)$$

$$X_L = \sqrt{\left(\frac{V_s}{3I_s}\right)^2 - \left(\frac{W_s}{3I_s^2}\right)^2} \quad (11)$$

을 계산한다. 여기서  $R_{1L}$ 은 低周波拘束試驗 때의 溫度에 있어서의 一次 한相의 抵抗值이다. 定格周波數에 있어서의  $x''$ 는

$$x'' = \frac{X'_{1N}(kX'_{1N}X_L - X_L^2 - R_{2L}^2)}{R_{2L}^2 + (kX'_{1N} - X_L)^2} \quad (12)$$

에 의하여 구한다. 또 基準卷線溫度에 있어서의 抵抗值는

$$r_2'' = \frac{(kX'_{1N})^2 R_{2L}}{R_{2L}^2 + (kX'_{1N} - X_L)^2} \cdot \frac{r_1}{R_{1L}} \quad (13)$$

에 의하여 구한다. (式 (12), (13)의 誘導過程은 文獻 2) 參照) 이와 같이 하여 拘束試驗 때에 생기는 銅損 以外的 損失의 影響을 除去하고 또 勵磁리액턴스도 고려한 回路定數가 구해진다.

위와 같이 回路定數值를 구하고 다음과 같은 順序에 따라 特性值를 算定한다.

$$y_2 = g_2 - jb_2 = \frac{\frac{r_2''}{s}}{\left(\frac{r_2''}{s}\right)^2 + x''^2} - j \frac{\frac{x''}{s}}{\left(\frac{r_2''}{s}\right)^2 + x''^2} \quad (14)$$

$$y_m = g_m - jb_m = \frac{r_M}{r_M^2 + X_1^2} - j \frac{X_1}{r_M^2 + X_1^2} \quad (15)$$

$$y_3 = g_3 - jb_3 = (g_m + g_2) - j(b_m + b_2) \quad (16)$$

$$Z_3 = r_3 + jx_3 = \frac{g_3}{g_3^2 + b_3^2} + j \frac{b_3}{g_3^2 + b_3^2} \quad (17)$$

$$Z = (r_1 + r_3) + jx_3 \quad (18)$$

여기서  $Z$ 는 任意的 슬립에 있어서의 한相의 임피던스이다. 따라서

$$\text{一次電流 } I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{3} \sqrt{(r_1 + r_3)^2 + x_3^2}} \quad (19)$$

$$\text{力率 } pf = \frac{r_1 + r_3}{\sqrt{(r_1 + r_3)^2 + x_3^2}} \times 100[\%] \quad (20)$$

$$\text{入力 } P_1 = 3I_1^2(r_1 + r_3)[W] \quad (21)$$

<p.50에 계속>