

# 小形籠型三相誘導電動機의 起動電流一時間에 關한 研究

論 文  
27~5~1

## A Study on Starting Current-Time Characteristics of a Small Squirrel Cage Induction Motor

盧 彰 注\* 金 潤 植\*\*  
(Chang Joo Rho, Youn Sik Kim)

### Abstract

3 phase induction motor applied in the method of connecting it directly across the line needs large current when it starts. At that time, leakage magnetic pathes of interior of the motor are severely saturated and leakage reactances are decreased because of saturation. Consequently, increased current and raised powerfactor yield increase of starting torque. The author, noticing those phenomena, derived experimentally the ratio of decreasing leakage reactance from the fact that when voltage applied to motor is increased under locked condition the magnitude of current and phase angle are varied, and determined the equations of starting current and starting torque, considering the decrease of leakage reactance by the large starting current.

The author calculated the characteristics of Current-Time and Speed-Time with the determined equation at specific load conditions, and compared the values obtained from above calculations with those from circle diagram's method and the practically recorded values at same load conditions.

Therefore, the authos got a confidence that the results of the derived theory coincide with the practically measured values more well than circle diagram's results and circle diagram's equation should be modified in order to analyze the starting status of a induction motor.

### 1. 序 論

三相誘導電動機는 오늘날 一般機械裝置에 가장 普遍的으로 이용되고 있는 原動機인바 이것의 用途는 多種多樣하여 一律적으로 말할 수 없다. 그런데 요즘에 와서 各種 自動裝置에 이것이 이용될때 그 使用條件에 따라 頻繁히 起動·停止 시켜야 할 境過를 볼 수 있다. 小形誘導電動機를 頻繁히 全電壓으로 起動시킬 때, 定格電流의 4~6倍<sup>1)~2)</sup>에 가까운 電流가 짧은 時間이지만 起動初期에 흐르고 이로 因한 電動機의 過熱, 電氣 및

機械의 衝擊의 原因이 되고 隣接한 他電氣機器에 좋지 못한 影響을 미친다. 萬一 거듭되는 起動·停止時 過負荷繼電器가 한번 動作하면 再起動할 수 있는 條件이 될 때까지는 한참 기다려야 하는 不便도 있다. 요즘을 直入起動電動機의 容量이 커짐에 따라 더욱 이런 것이 문제될 것으로 생각한다.

筆者는 이런 點에 着眼하여 小形誘導電動機의 起動時 얼마나 큰 電流가 흐르기 始作하여 時間이 지남에 따라 어떻게 減少되는가를 理論적으로 밝히고 어느 特定負荷下에서 電動機를 起動시킬 때 測定되는 電流一時間曲線과 종래 圓線圖를 利用하여 얻어지는 電流一時間曲線 그리고 筆者가 修正한 式에 의하여 求한 電

\* 正會員 : 韓國海洋大學教授 · 工博

\*\* " : " 大學院

流—時間曲線의 三者를 比較해 보고자 한다.

電動機의 電流—時間曲線과 잘 一致하는 計算法이 導出된다면 이 方法으로써 起動時의 各種電氣의 特性을 計算·推定함으로써 實務에 從事하는 技術者, 電源設備計劃者에 큰 도움이 될 것이다. 換言하면 電動機保護用으로 마련될 過負荷裝置의 設計 電動機의 起動頻度를 考慮한 線路設計 同一電源에 接續된 他負荷에 對한 影響等 여러 가지面에 參考資料가 될 것이다.

우선 供試機로는 小形三相普通籠型誘道電動機를 選定하고 이것의 基本諸定數를 測定하고 起動時에 適用할 電流式과 토오크에 필요한 定數를 測定하는 方法을 提示하고 이 定數들을 이용하고 電流와 速度를 計算하고 이것이 實測值와 어느程度 一致하는가를 檢査하였다.

### 2. 理 論

#### 2.1 電流式과 토오크式

電動機의 等價回路는 여러 가지가 있다. 그러나 가장 簡單하면서도 實用上 別支障없는 것이 L型等價回路임이 알려져 있다.<sup>3)~5)</sup>

實際 電動機에서는 速度가 變함에 따라 2次 回路에 誘導되는 起電力과 周波數는 slip에 比例하고 回路內 抵抗과 漏洩티액턴스는 變하지 않는데, 이것을 起電力과 티액턴스는 一定하고 回路內 抵抗值가 slip에 反比例하는 것으로 等價하게 換算한 것이 基礎를 둔 것이 L型 等價回路이다.

定電壓回路에서 티액턴스는 一定하고 抵抗만 變하면 電流케이스어는 圓軌跡을 그리는 것도 알려져 있고 L型等價回路에 따른 電動機의 圓線圖는 이 原理를 利用한 것이다. 그러나 起動할 때는 定格 電流보다 훨씬 큰 電流가 흐르므로 定常狀態에 適用되는 電流式과 토오크式을 適用시키려면 이를 修正해야 한다.<sup>6)~7)</sup> 다시 말하면 起動時 電流가 甚히 크게 흐르면 一次와 二次 間의 共同磁束은 서로 相殺되어 거의 一定한 磁束만 維持된다고 보지만 漏洩磁束이 通하는 磁路는 甚히 飽和되므로 漏洩티액턴스도 slip에 따라 變하는 것으로 보아야 한다. 이 關係를 그림으로 나타내면 Fig 1과 같다.

起動初期 S<sub>1</sub>點에서 過大한 電流로 漏洩磁路가 飽和하면 抵抗은 變해없고 리액턴스만 變한 境遇가 되어 電流케이스어는 S<sub>1</sub>點에서 圓O'S<sub>1</sub>B<sub>1</sub>'上的 p<sub>1</sub>點으로 움직인다. 圓O'S<sub>1</sub>B<sub>1</sub>'는 S<sub>1</sub>點의 r<sub>1</sub>+r<sub>2</sub>'와 x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>'에서 抵抗은 一定하고 x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>'만 變할 때의 電流케이스어 軌跡으로서 直徑은 V/(r<sub>1</sub>+r<sub>2</sub>')이다.

起動中 任意點 S<sub>2</sub>에서도 圓O'S<sub>2</sub>B<sub>2</sub>'上的 點으로 움직

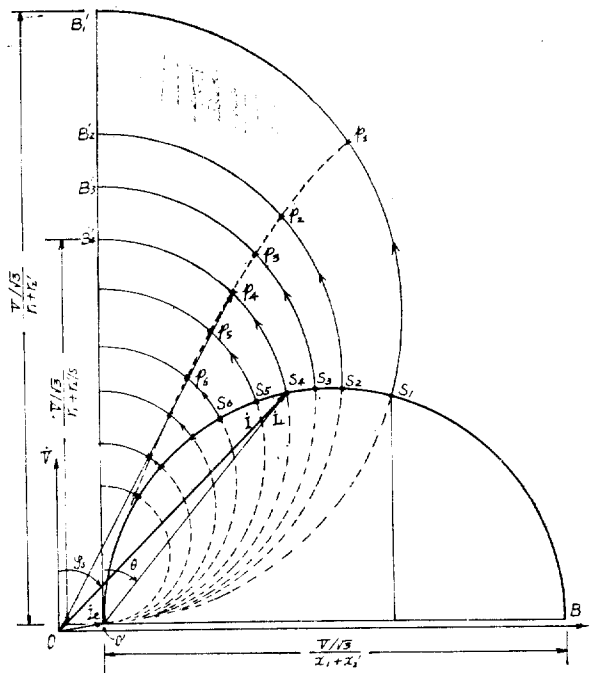


Fig. 1. Current loci according to the variation of leakage reactance, x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>'.

아 p<sub>2</sub>로 된다. 따라서 電泰케이스어 軌跡은 S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>... 點에서 p<sub>1</sub>p<sub>2</sub>p<sub>3</sub>...點으로 움직이고 움직이는 程度는 磁路의 飽和度에 따른 티액턴스 變化度에 따라 定해진다. 즉 電動機의 磁路特性에 따라 크게 影響을 받을 것으로 생각되며 L型圓線圖에서 誘導되는 電流式과 토오크式은 x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>'項에 修正係數函數 R(s)를 포함시켜야 하고 그 式은 다음과 같다.

$$I_L = \frac{V/\sqrt{3}}{\sqrt{(r_1+r_2'/s)^2 + \{R(s)(x_1+r_2')\}^2}} \quad (1)$$

$$T_m = \frac{V^2 r_2'/s}{\omega_s [(r_1+r_2'/s)^2 + \{R(s)(x_1+x_2')\}^2]} \quad (2)$$

#### 2.2 R(s)를 求하는 方法

負荷電流가 增加함에 따라 漏洩티액턴스는 減少한다. 이것을 計算으로 求한다는 것은 힘든 일이며, 또한 電動機를 定格電壓下에서 負荷를 크게하여 速度를 떨어 뜨려 電流가 增加된 狀態下에서 리액턴스 變化를 測定하는 것도 힘든 일이다. 그러므로 筆者는 다음과 같은 方法을 택하기로 하였다.

電動機를 拘束시켜두고 電壓을 增加시켜가면서 拘束 電流의 크기와 그의 位相角을 測定하고 이 電流值에서 그 電壓에 相當하는 勵磁電流를 減하면 이것은 負荷電流에 해당한다. 인덕턴스自體의 크기는 周波數와 無關하므로 이 큰 電流에 의하여 磁路가 飽和하여 漏洩인덕턴스가 減少하는 比를 同一周波數(60Hz)下에서 리

액턴스變化比로써도 求할 수 있다. 즉 式으로 表示하면

$$I_{Ls} \angle \theta = \dot{I}_s - \dot{I}_e \left| \frac{\dot{V}_s}{\dot{V}} \right| \quad (3)$$

$I_{Ls} \angle \theta$ 로부터 位相角을 알았으므로

$$\cos \theta = (r_1 + r_2') / \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

에서

$$(x_1 + x_2')_s = (r_1 + r_2') \tan \theta \quad (4)$$

負荷電流가 增加함에 따라  $(x_1 + x_2')_s$ 가 減少하는 比는 漏洩인덕턴스의 減少하는 比가 되고 바로  $\tan \theta$ 의 比와 같다. 다시 말하면 拘束電壓을 낮은 電壓에서 定格電壓에 이르기까지 增加시키면서  $I_{Ls}$ 와 位相角  $\theta$ 를 구하여  $(x_1 + x_2')_s$ 의 比를 求해 나가면 이는 電動機가 同期速度로부터 停止할 때까지 負荷電流 增加로 因한 리액턴스減少比率이 된다. 이 比率을 等價 slip函數로 나타내어 式(1), (2)에 代入함으로써 起動中 任意 slip에서의 電動機負荷電流와 토크式이 얻어진다.

### 2.3 電流-時間曲線

이와 같이 求한  $R(s)$ 를 이용하여 一般電動機負荷가 걸린 상태의 토크式(8)~(9)을 세워 보면

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{\omega_s} I_L^2 \frac{r_2'}{s} - (k\omega + F) \quad (5)$$

$\omega = \omega_s(1-s)$ ,  $d\omega/dt = -\omega_s ds/dt$ , 式(2)를 이용하여 slip에 의한 函數로 된 微方을 세워 보면

$$-\omega_s J \frac{ds}{dt} = \frac{V^2}{\omega_s} \frac{r_2'/s}{(r_1 + r_2'/s)^2 + R^2(s)(x_1 + x_2')^2} - \{k\omega_s(1-s) + F\}$$

$$\int \frac{-J\omega_s}{\left[ \frac{V^2/\omega_s \cdot r_2'/s}{(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2 R^2(s)} - \{k\omega_s(1-s) + F\} \right]} ds = \int \frac{ds}{F(s)} = \int dt \quad (6)$$

로서 式(6)의 微方式은 一般解法으로는 풀리지 않고 數值解法을 適用시킬 수 밖에 없다. 특히  $R(s)$ 도 負荷電流의 增加에 따라 어떻게 變하는 函數인지 알 수 없으나 實驗을 통한 實驗式으로 定해야 한다.

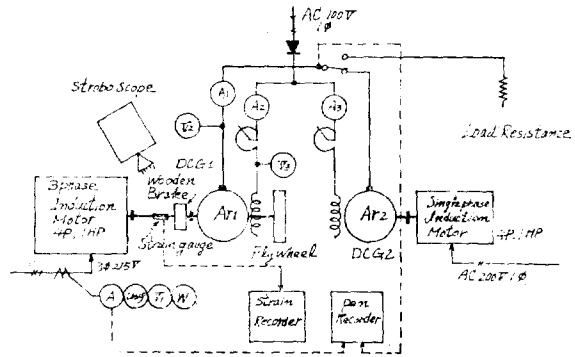
式(6)에 포함된 모든 定數들이 결정되면  $x$ 軸에  $s$ 座標를 定하고  $y$ 軸에는  $1/F(s)$ 값을 定하면  $s=1$ 에서 任意區間  $s$ 까지의 面積이 바로 그 slip에 도달할 때 까지 要한 時間이 되고 이  $s$ 값을 式(1)에 代入하면 그 slip, 그 時間에 해당하는 電流  $I_L$ 을 求할 수 있다. 이 電流에 勵磁電流를 成分別로 합해주면 起動時 電動機에 흐르는 線電流를 구할 수 있다.

## 3. 實 驗

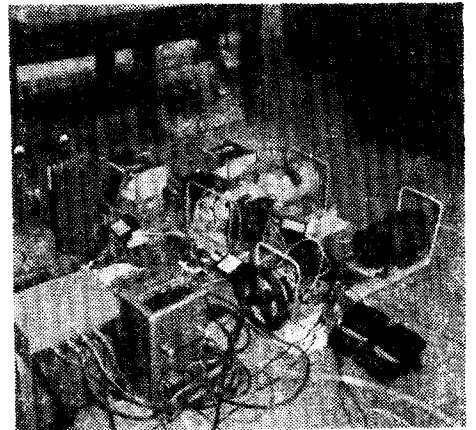
### 3.1 實驗裝置 및 一般定數測定

本論文의 主目的이 되는 어느 特定負荷下에서 起動電流-時間을 測定하기 위해서는 電動機에 걸리는 負荷를 調節할 수 있어야 하므로 供試電動機에 直流發電機를 直結하고 그의 連結軸을 길고 가늘게 하여 이것에 strain gauge를 附着시키고 토크도 測定할 수 있도록 하였다. 또한 本 供試電動機의 機械損을 測定하기 위한 外部 DC電源을 마련하였다. 이것의 實驗裝置 및 結線圖는 Fig 2와 같다.

誘導電動機의 L型 等價回路를 構成하는데 必要한 數準定實驗인 拘束試驗 無負荷試驗, 그리고 固定子抵抗 測定法에 關한 것은 생략하기로 한다. 다만 無負荷



(a)



(b)

Fig. 2. Explanation of experimental apparatus.

(a) Schematic connection diagram.

(b) Picture of general view.

試驗은 供試電動機가 無負荷로 運轉中  $Ar_2$ 에서  $Ar_1$ 으로 DC電流을 공급하여 同期速度까지 增速시킨 후 極機械損을 負擔하도록 한 뒤의 AC入力電力의 差로써 구하였다.

被試驗電動機의 定格

4P, 60Hz, 3相, 1HP, 3.8A 200V 普通籠型

$$r_1+r_2'=4.23\Omega, r_1=2.08\Omega, r_2'=2.15\Omega$$

$$x_1+x_2'=5.61\Omega$$

本試驗裝置系의 摩擦機械損이 74W, 電源을 除去하였을 때의 減速曲線으로부터 減角加速度( $\alpha=d\omega/dt=11.72\text{rad/sec}^2$ )를 구하여 本試驗裝置의 極慣性모멘트  $J=0.0334\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 를 얻었다.

### 3.2 拘束電流 및 토오르크試驗

式(3)에 주어진  $I_L \sin\theta$ 測定法이 되겠다. 電動機를 拘束시킨 후 供給電壓을 매우 낮은 電壓에서 점차 높은 電壓으로 바꿀 때 電動機에 흘러 들어가는 電流( $I_s$ ) 位相角( $\phi_s$ ), 그리고 토오르크를 測定하였고 그것들의 값은 Fig.3과 같다.

Fig.3은 左側에  $|I_s|$ 와  $\sin\phi_s$ 의 座標를 定하고 右側은 토오르크( $\text{arm } 0.3\text{m}$ )를 정했다.

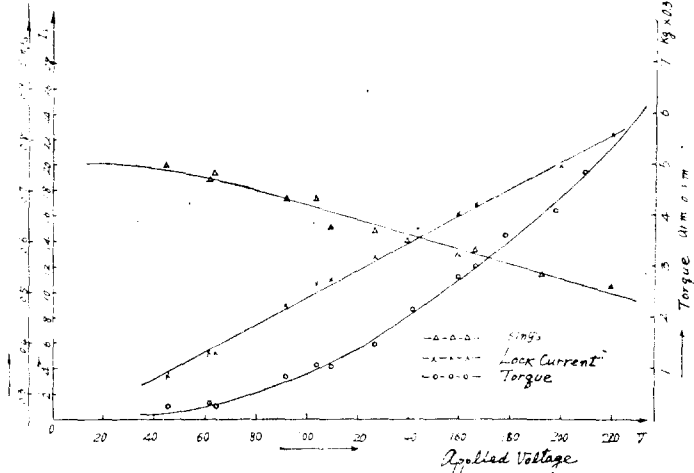


Fig.3 Plots of  $I_s$ ,  $\sin\phi_s$ , and torque.

拘束電流曲線은 거의 直線으로 나타났고  $\sin\phi_s$ 는 50 V를 경계로 하여 거의 일률적으로 減少되고 있다. 一實驗時 變化值를 읽는 데  $\sin\phi_s$ 값이 유리하므로 이를 가리키도록 結線하였고 다른 特別한 理由는 없음—토오르크는 拋物線모양으로 電壓이 增加함에 따라 急作스럽게 增加하고 있다.

### 3.3 一般負荷試驗

電動機를 無負荷로부터 서서히 負荷를 增加시킬 때

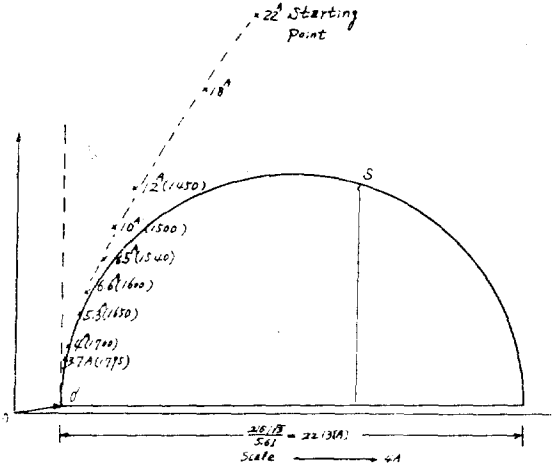


Fig.4 Plots of load current, phase angles, and rpm on various loads.

各 瞬間 電動機에 흐르는 電流, 位相角, 電動機 速度를 測定해 봄으로써 實際로 起動할 때 電流페이지의 軌跡이 圓線圖로부터 얼마나 벗어나는가를 確認해 보는 것이 本實驗의 目的이다.

筆者가 가진 負荷施設은 發量이 작은 直結된 直流發電機와 木製制動機뿐이어서 이것만 가지고는 被試驗電動機에 充分히 큰 負荷를 自由自在로 걸 수 있는 條件이 되지 못했다. 그러나 不安定狀態었지만 가깝스로 負荷를 調節하여 數個點에 대하여 記錄可能한 것만 記錄하였던바 slip가 적은 範圍에서는 圓線圖에 接近하고 있으나 slip가 커짐에 따라 현저하게 어긋나고 있음을 알았다.

### 3.4 起動電流—時間 記錄試驗

被試驗電動機에 實際運轉時 있을 수 있는 負荷를 걸어놓고 電壓을 걸었을 때 電動機에 흘러 들어가는 電流와 速度를 記錄하는 試驗이다.

測定方法은 電流計(A)兩端에 얻어지는 電流에 比例한 電壓을 整流하여 이를 記錄計에 넘고 速度는 直結他勵發電機의 電壓을 利用하기로 하였다. 負荷의 크기는 直流發電機( $A_r$ )의 勵磁電流의 負荷抵抗의 크기 그리고 木製制動機로 調節할 수 있고 起動完了한 후 被試驗電動機의 負荷가 定格值에 가깝도록 調節하였다. 즉  $F=1.41(\text{N}\cdot\text{m})$ ,  $k=0.0176(\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{sec}/\text{rad})$ 이다. 記

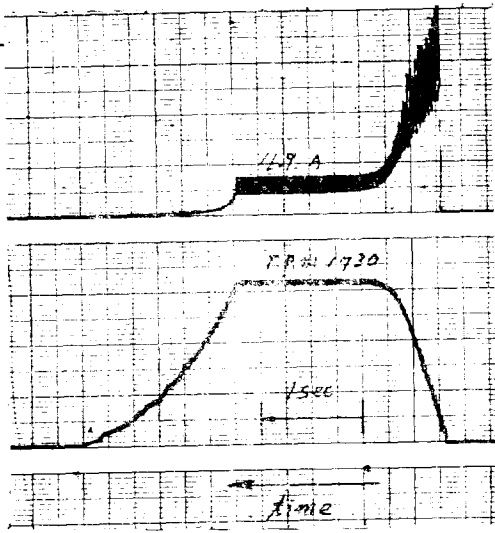


Fig. 5 Recorded values of starting current and speed of rotary system.

錄値를 보면 電流에 있어서 마늘이 흔들리고있는 것은 整流時 ripple이 포함되어 있기 때문이고 그의 平均値를 읽으면 된다.

4. 實驗結果 및 檢討

4.1 R(s)의 誘導

式(1),(2)에 包含될 R(s)를 求하는 過程이다. Fig. 3에서 任意電壓下에서 I<sub>s</sub>와 sinφ<sub>s</sub>값에서 I<sub>s</sub>의 位相角과 크기를 알았으므로 式(3)에 따라 그 電壓에 比例한 勵磁電流를 倍數的으로 減하여 I<sub>Ls</sub>와 그의 位相角 θ가 求해지면 式(4)에 따라 電壓이 「0」인 x+x<sub>2</sub>'와 電壓이 增加함에 따라 θ가 變함에 따라 (x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>')<sub>s</sub>가 減少되어 가는 比를 Fig. 6에 나타내었다.

曲線의 變化로부터 알 수 있는 바는 廻轉子和 固定子間에 大電流가 흐를수록 리액턴스의 比(인덕턴스의 比)는 減少하나 이를 函數形으로 고쳐야 電流와 토오

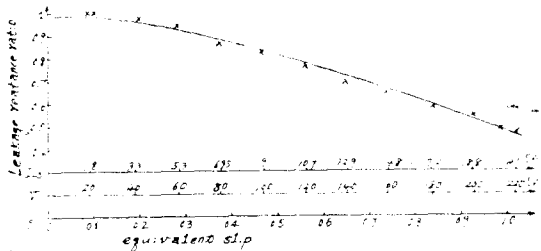


Fig. 6 Variation of ratio of (x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>')<sub>s</sub>/(x+x<sub>2</sub>') according to load current.

크計算에 利用할 수 있다. 曲線의 모양을 보아 수평선과 直線의 交叉된 모양이나 計算의 便宜를 위하여 拋物線의 一部分으로 간주하고 s=0에서 R(s)=1, s=0.5에서 R(s)=0.82, s=1에서 R(s)=0.5로 보고 이를 滿足하는 拋物線의 式은

$$R(s) = -0.22s^2 - 0.31s + 1.03 \tag{7}$$

로 얻어졌다.

4.2 理論値의 具體的인 計算

電動機의 起動時 電流—時間關係를 論함에 있어서 中래의 圓線圖에 의한 電流—時間값과 筆者가 提案한 리액턴스에 修正函數 R(s)를 導入시켜서 얻어지는 電流—時間값 그리고 實電動機가 起動時測定되는 값과를 比較해 보아야 한다.

式(6)에 V=215[V], ω<sub>s</sub>=60π, r<sub>2</sub>=2.15[Ω], r<sub>1</sub>=2.08[Ω], x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>'=5.61[Ω], k=0.0176[N·m·sec/rad], F=1.41[N·m], J=0.0334[kg·m<sup>2</sup>], R(s)=-0.22s<sup>2</sup>-0.31s+1.03을 代入하면 s에 對한 積分이 바로 時間[sec]로 計算된다. 그러나 解가 바로 求해지지 않아 數值積分으로 구할 수 밖에 없다.

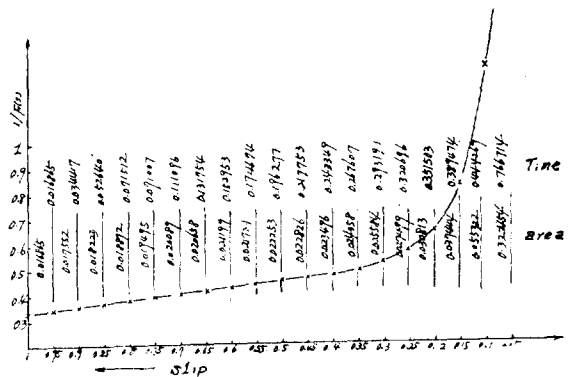


Fig. 7 Process of calculation of equation(9) by numerical method.

slip 0.05 구간으로 나누고 각 s에 對應하는 1/F(s)의 값을 數值的으로 구하고 이것의 面積을 구한 다음 이 값들을 左側에서 右側으로 합해 가면 그 값이 바로 그 slip에 도달하는데 要한 時間 [sec]가 된다. 이 s값을 式(1)에 代入하면 I<sub>L</sub>가 얻어진다. 그러므로 s를 媒介變數로 하여 I<sub>L</sub>-t 曲線을 求할 수 있다. 물론 여기에 다 勵磁電流를 舍해야 外部에서 電動機에 흘러 들어가는 電流(I)가 된다.

4.3 記錄値와 計算値와의 比較

Fig. 8에서 筆者가 提案한 修正函數에 따라 Fig. 7의 計算結果를 利用하여 I-t와 ω-t曲線을 그려 보았다. 한편 圓線圖에 의한 計算結果도 比較하기 좋도록 같은 그림에 그려 넣었다. 이것의 計算文法은 s를 媒介變數

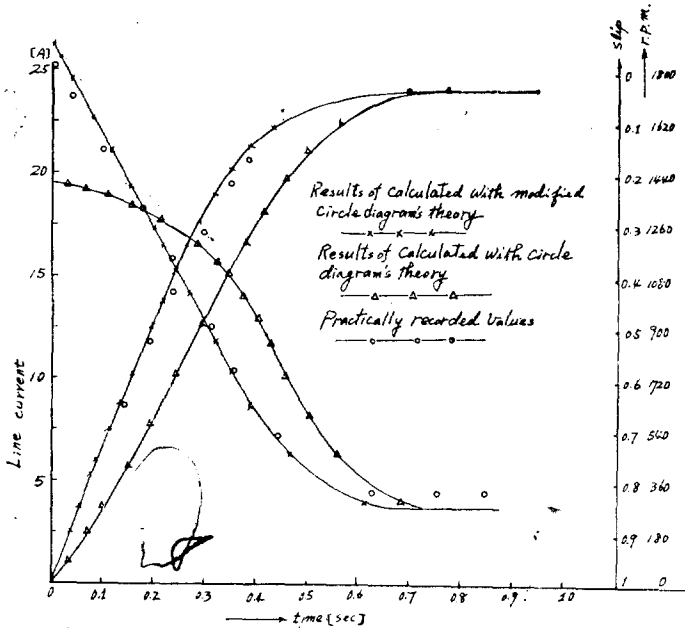


Fig. 8 Comparison of the current and speed of the calculated values with those of circle diagram's values and of the practically recorded values.

같은 결론으로 요약 할 수 있다.

1. 修正한 式에 의한 起動電流-時間, 速度-時間曲線이 實記錄値와 相當히 잘 一致하고 있으나 圓線圖에 의한 計算法은 不一致한 點이 많아 起動狀態를 論할 때는 修正한 式을 利用하는 것이 바람직 하다.

2. 起動 할 때, 瞬間衝擊의 큰 大電流는 定常電流의 約 8倍나 되며 즉석에서 直線의 으로 減少하지만 이로 인하여 隣接한 電氣機器에 電壓變動을 줄 수 있고 容量이 큰 電動機일수록 더욱 問題가 된다.

3.  $I-t$  曲線과  $\omega-t$  曲線의 面積을 보면 圓線圖에 따른 計算法과 別差없어 電動機의 撓損에서의 保護面에서 考察할 경우 修正式을 사용하지 않아도 된다.

4.  $\omega-t$  曲線에서 推定하건대 起動初期 토크가 不足하다는 理論과는 달리 처음부터 상당히 큰 토크를

내고 오히려 速度가 增加함에 따라 토크도 增加하고 同期速度에 接近함에 따라 갑자기 토크가 떨어짐을 알 수 있다.

5. 負荷條件이 달라지면 그 狀態의 값을 代入함으로써 그 狀態의 特性을 計算할 수 있고 直入起動法을 擇하는 電動機는 이 方法으로 解析이 可能할 것을 豫測할 수 있다.

本 研究를 進행함에 있어서 筆者에게는 精度 높은 計器 및 裝備의 不足과 研究費 不足으로 多種 多樣한 電動機를 對象으로 하여 幅 넓은 實驗을 하지 못했음이 不滿스럽다. 처음에는 strain gauge를 利用하여 過渡 토크까지 함께 研究 하려하였으나 應力飽和現象이 나타났고 여러 가지 難點이 많이 있음을 알았다. 다음 機會에 研究해 보고자 한다.

參考文獻

- 1) John Mcchod and Brannon : Industrial Electricity, Wardeportment education EM-967, Washinton DC 1944, p. 465
- 2) 平島茂彦, 阿久津明 : 電動機の制御と應用, 電氣大學 出版局 1974, pp. 212~213
- 3) 日本電氣學會 : 誘導機, 日本電氣學會, 東京, 1954, pp. 51~59
- 4) 中島哲一郎 外 2名 : 誘導機(標準電氣機器講座 第二

로 利用할 수도 있고 直接 時間函數化하여 計算할 수 있다. Fig. 5에 주어진 記錄値를 다시 Fig. 8에 옮겨 理論的 計算値와 서로 比較하기 좋도록 해 두었다.

筆者가 修正한 方法에 의한 計算結果는 實記錄値와 매우 잘 맞아감을 알 수 있다. 圓線圖에 의한 計算結果를 보면 起動初期 電流値가 實測値보다 크게 모자라고 起動中에도 差가 많이 생기고 起動時間도 0.5sec程度 크게 나오고 있다. 誘導電動機는 起動初期 토크 不足으로 큰 加速이 되지 못하나 加速됨에 따라 토크가 增加한다는 理論과 맞게 速度曲線에 오목한 部分이 있으나 實記錄値와 修正한 理論値의 計算結果에는 直線發으로 加速되고 있음을 알 수 있고 時間과 速度와도 서로 잘 一致하고 있음을 알 수 있다. 그러나 電流値에 있어서 起動中 實測電流값은 理論値와 잘 一致하고 있으나 定常狀態로 된 후 圓線圖法이나 修正한 方法 모두 實測値나 I[A]程度 差를 가지고 있다. 이는 單純히 電氣的인 定數들의 不正確에서 오는 것으로 본다. 즉 電動機의 基本定數  $r_1+r_2$ ,  $x_1+x_2'$ , 勵磁電流 및 그의 位相角 算을 정할 때의 不正確, L型算價 回路自體의 不一致性 以外에  $R(s)$ 의 誤差等 여러 가지 原因에 기인한 것으로 본다.

5. 結 論

本 論文에서 理論·實驗·結果檢討를 거쳐 다음과

- 卷) 오-ム社 東京, 1967, pp.25~42
- 5) 朴旻鎬: 誘導機器, 東明社, 서울, 1963, pp.186~197
- 6) J.G. Tarboux: Alternating Current machinery, Inter Text Scranton, 1947, p.278
- 7) Fraser Jeffrey: Circle Diagram and the Induction motor, Allis-Chalmers Electrical review, Sept. 1939
- 8) 河注植, 盧彰注: 船舶에 있어서 內燃機關驅動發電機의 速度安定度에 關한 研究, 大韓電氣學會誌 1975. 7, Vol.24, No.4
- 9) L.C. Lichby: Internal Combustion Engine, McGrawhill, Newyork, 1951, p.72
- 10) 李承煥, 盧彰注: 圓線圖에 依한 小型誘導電動機의 起動電流一時間에 關한 研究, 東亞大學 工場管理研究所 論文集 第二輯 1978.4
- 11) 日本電氣學會: 電氣工學 핸드북, 東京, 1967. p.600

記號說明

$F$  : 廻轉系의 乾性摩擦모우멘트 [N·m]

- $I$  : 電動機에 흘러들어가는 線電流 [A]
- $I_0$  : L型 圓線圖에서의 電動機의 勵磁電流 [A]
- $I_L$  : L型 圓線圖에서의 負荷電流 [A]
- $I_{L_s}$  : L型 圓線圖에서의 拘束時負荷電流 [A]
- $I_s$  : 拘束時 線電流 [A]
- $J$  : 廻轉系의 極慣性모우멘트 [kg·m<sup>2</sup>]
- $k$  : 廻轉系의 粘性摩擦係數 [N·m·sec/rad]
- $r_1$  : 電動機 一相當 一次抵抗 [Ω]
- $r_2'$  : 電動機 一相當 二次抵抗을 一次로 換算한 값 [Ω]
- $s$  : slip
- $T_m$  : 電動機가 내는 廻轉力 [N·m]
- $V$  : 供給電壓(線間) [V]
- $V_s$  : 拘束電壓 [V]
- $x_1$  : 電動機 一相當 一次漏洩리액턴스 [Ω]
- $x_2'$  : 電動機 一相當 二次漏洩리액턴스를 一次로 換算 [Ω]
- $\omega$  : 電動機의 任意角速度 [rad/sec]
- $\omega_s$  : 同期角速度 [rad/sec]
- $\varphi_s$  : 拘束電流의 力率角 [度]
- $\theta$  : L型 圓線圖의 負荷電流力率角 [度]