

# 스텝 모우터의 動特性解析에 關한 研究

論 文
29-1-2

## The Study on the Dynamic Analysis of a Step Motor

千 熙 英\* · 朴 貴 泰\*\*  
(Hee-Young Chun, Gui-Tae Park)

### Abstract

In this paper, this objective is to obtain the mathematical model which describes the dynamic characteristics of variable reluctance (VR) step motor, the most important and most widely used step motor in practice.

In the development of the mathematical model for VR step motor, first the general nonlinear dynamic equations which describe the N-phase VR step motor are derived.

These general equations are then applied to the multiple-stack type of VR step motor in case, for simplicity, magnetic saturation and core loss in the iron are neglected.

These nonlinear dynamic equations are numerically analysed by the computer simulation, through which the performance characteristics of a step motor under test are investigated under the various operating conditions.

### 1. 緒 論

스텝 모우터는 現代制御系統의 重要한 驅動裝置로서 매우 활발히 研究되고 있다. 現在 널리 使用되고 있는 스텝 모우터에는 永久磁石型和 可變磁氣抵抗型이 대부분이며 또 可變磁氣抵抗型에는 分布型和 縱續型이 있다. 이것들은 어느 것이나 디지털 펄스入力を 받아 回轉子が 一定한 角變位만큼 回轉하므로써 아날로그 出力을 發生하는 D/A變換器의 一種이다.<sup>(1)</sup> 특히 이 모우터는 增分動作機로서 作用하므로 現代의 디지털 制御系統에 적합할 뿐 아니라 開루우프 系統에서도 系統의 安定度를 低下시키지 않고 位置 및 速度制御를 正確히 이룰 수 있으며 또한 位置偏差가 累積되지 않는다는 등 既存의 모우터에 比해 많은 長點을 가지고 있다.

스텝 모우터의 使用範圍도 넓고 다양하다. 電子計算機의 周邊裝置인 프린터, 랩릿 퀘스틴 驅動, 記憶裝置들의 驅動用 操作機로 쓰이며 또 機械工具系統과 프로세스 制御系統에도 널리 利用되고 있다.

지금까지 永久磁石型 스텝 모우터의 數學的 모델과

모우터의 特性에 關한 研究는 많지만<sup>(2,3,5)</sup> 可變磁氣抵抗型에 대한 것은 그리 많지 않다.<sup>(6,7,8)</sup> 可變磁氣抵抗型 중 分布型에 대해서는 G. Singh와 S.N. Chen이 比較的 자세히 다루었으므로<sup>(8)</sup> 本 研究에서는 縱續型 스텝 모우터의 動作特性을 나타내는 數學的 모델을 構成하는데 그 目的을 두었다. 이 數學的 모델을 數值解析의 으로 다루기 위하여 컴퓨터시뮬레이션을 하였다. 이 시뮬레이션을 통하여 모우터의 여러 物理的 定數들이 回轉角變位の 過渡 및 定常應答에 미치는 影響을 比較檢討하였다.

### 2. 스텝 모우터의 數學的 모델의 構成

스텝 모우터의 特性을 支配하는 動特性 方程式은 固定子回路에 대한 電壓方程式과 假想變位原理에 의한 發生 토크에 關한 式, 그리고 回轉子の 運動에 대한 運動方程式이다. 이 式들은 보통의 경우 非線型 方程式이 되며 이를 完全히 數學的으로 모델링 하기란 쉽지 않다. 먼저 可變磁氣抵抗型 스텝 모우터의 一般的인 動特性 方程式을 誘導하고, 그후 이것을 利用해서 縱續型 스텝 모우터의 動特性 方程式을 求한다.

#### 2.1 可變磁氣抵抗型 스텝 모우터의 動特性 方程式

固定子は 捲線되고 回轉子は 捲線되지 않는 N相 스텝 모우터를 생각한다. 그림 1은 이 모우터를 나타

\* 正會員: 高麗大 工大 電氣科教授 · 工博(當學會編修理事)

\*\* 正會員: 光雲工大電氣科講師

接受日字: 1978年 12月 14日

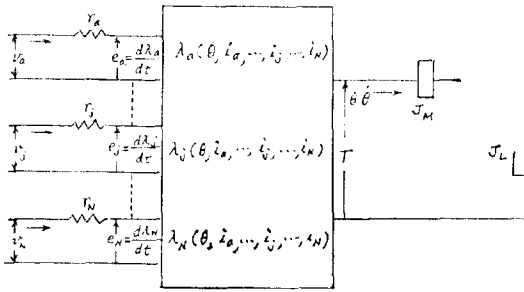


그림 1. N相 스텝 모터의 等價블록 線圖  
Fig. 1. The equivalent block diagram of an Nphase step motor.

내는 等價블록 線圖이다.

(1) 電壓方程式

키르히호프의 電壓法則과 패러데이의 電磁誘導法則을 利用하여 各 捲線의 電壓方程式을 세우면 다음과 같다.

$$v_j = i_j r_j + \frac{d\lambda_j}{dt} \quad (j=a, b, \dots, N) \quad (1)$$

여기서

$v_j = j$  相에 印加된 電壓

$i_j = j$  相의 固定子 捲線에 흐르는 電流

$r_j = j$  相의 固定子 捲線抵抗

$\lambda_j = j$  相의 磁束鎖交數

磁束鎖交數  $\lambda_j$ 는 모든 相電流와 回轉子角變位の 函數로 나타난다. 그러나 磁氣回路가 線型인 경우, 磁飽和現象이 없는 경우, 磁束鎖交數는 다음과 같다.

$$\lambda_j = \sum_{k=a}^N L_{jk} i_k \quad (j, k=a, b, \dots, N) \quad (2)$$

여기서

$$L_{jk} = \begin{cases} j \text{ 相의 自己인덕턴스 } (j=k) \\ j \text{ 相과 } k \text{ 相間의 相互인덕턴스 } (j \neq k) \end{cases}$$

이며 이들은 回轉子角變位の 函數이다. 式(2)를 式(1)에 代入하면

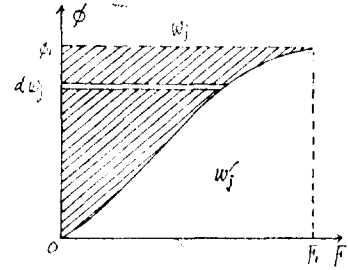
$$v_j = i_j r_j + \sum_{k=a}^N L_{jk} \frac{di_k}{dt} + \frac{d\theta}{dt} \sum_{k=a}^N i_k \frac{dL_{jk}}{d\theta} \quad (j=k=a, b, \dots, N) \quad (3)$$

式(3)에서 첫번째項은 捲線抵抗에 의한 電壓降下, 두번째項은 各 相의 捲線에 誘起되는 逆起電力, 그리고 마지막 세번째項은 回轉子の 回轉 때문에 發生하는 速度電壓을 나타낸다.

(2) 發生 토크 方程式

토크는 假想變位の 原理를 적용하여 求할 수 있다. 起磁力  $F$  또는 電流가 一定할 경우 그 結果式은 다음과 같다.

그림 2. 磁化曲線 및 磁場에 吸收된 에너지  
Fig. 2. Air-iron magnetization curve and energy absorbed in the magnetic field.



$$T = \frac{\partial W'(F, \theta)}{\partial \theta} = \frac{\partial W'(i, \theta)}{\partial \theta} \quad (4)$$

여기서  $W'$ 는 空隙內의 磁場에 吸收되는 總磁氣에너지  $W$ 에 對應하는 假想的인 總에너지이다.  $\phi$ 를 空隙內의 平均磁束이라 하면  $F$ 와  $\phi$ 의 關係는 一般的으로 非線型이다. 그림 2는  $j$ 相에 대한  $F$ 와  $\phi$ 의 關係를 나타낸 그림이다.  $\omega_j$ 는 斜線된 部分의 面積으로서  $j$ 相의 磁束이 零에서  $\phi_1$ 까지 增加하는 동안 磁場에 吸收된 에너지이다. 또  $\omega'_j$ 는  $j$ 相의 起磁力를 零에서  $F_1$ 까지 增加시키는데 必要한 假想的인 에너지이다.  $W$ 와  $W'$ 를 數式으로 表現하면

$$W = \sum_{j=a}^N \omega_j = \sum_{j=a}^N \int_0^{\phi_j} F_j d\phi_j = \sum_{j=a}^N \int_0^{\lambda_j} i_j d\lambda_j \quad (5)$$

$$W' = \sum_{j=a}^N \omega'_j = \sum_{j=a}^N \int_0^{F_j} \phi_j dF_j = \sum_{j=a}^N \int_0^{i_j} \lambda_j di_j \quad (6)$$

만일 磁氣飽和現象이 없다면 磁束과 起磁力 또는 磁束鎖交數와 電流는 線型關係가 되며 이때  $W$ 와  $W'$ 는 식(6)과 같게 된다. 이 경우 式(2)에서 定義된 인덕턴스를 式(6)에 代入하면

$$W = W' = \frac{1}{2} \sum_{j=a}^N L_{jj} i_j^2 + 2 \sum_{j=a}^N \sum_{k=a}^{j-1} L_{jk} i_j i_k \quad (7)$$

이며 토크  $T$ 는 式(7)을 式(4)에 代入하여 求하면 다음과 같다.

$$T = \frac{1}{2} \sum_{j=a}^N i_j^2 \frac{dL_{jj}}{d\theta} + 2 \sum_{j=a}^N \sum_{k=a}^{j-1} i_j i_k \frac{dL_{jk}}{d\theta} \quad (8)$$

(3) 回轉子の 運動方程式

이 方程式은 뉴턴의 運動方程式을 利用하여 쉽게 求할 수 있다. 回轉體의 總慣性 모우멘트  $J$ , 減衰係數  $B$ , 클롬카탈 토크  $T_f$ 를 가진 回轉子에 토크  $T$ 를 加하여 回轉子の 角變位가  $\theta$ 이면 이때 回轉子の 運動方程式은 다음과 같다.

$$T = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + T_f \quad (9)$$

지금까지는 一般의  $N$ 相 스텝 모우터의 動特性 方程式을 求했다. 다음에 이들 式으로부터 縱續型 스텝 모우터의 動特性 方程式을 求한다.

2.2 縱續型 스텝 모우터의 動特性 方程式

$N$ 個의 相을 가진 固定子와  $Z$ 個의 톱니를 가진 回轉子로 이루어진 縱續型 스텝 모우터에 대해서 생각한다. 縱續型인 경우 固定子와 回轉子가 各相마다 完全히 分離되어 있으므로 各相間의 磁氣인 結合은 거의 없다. 따라서 모든 相互인덕턴스는 無視할 수 있으며 磁束과 起磁力이 線型인 경우 式(2)로부터 各相의 磁束 鎖交數를 求하면 다음과 같다.

$$\lambda_j = L_j i_j \quad (j=a, b, \dots, N) \tag{10}$$

여기서  $L_j$ 는  $j$ 相의 自己인덕턴스이다.

各相의 自己인덕턴스를 求하기 위해서 먼저 基準相인  $a$ 相에 대하여 求하고 나머지 相에 대해서는  $a$ 相에 대해서 適當한 角變位만큼 移相시키면 된다.  $a$ 相의 퍼어미언스(permeance)는 回轉子の 運動과 더불어 週期的으로 振動한다. 즉 回轉子の 톱니와 固定子の 톱니가 完全히 一致할 때 퍼어미언스는 最大가 되고 또 完全히 어긋났을 때 最小가 된다. 퍼어미언스에는 基本波外에 여러가지 高調波 成分이 포함되어 있지만 이들의 影響은 基本波에 比하면 매우 적으므로 이 高調波 成分을 無視하면  $a$ 相의 퍼어미언스는 다음과 같다.

$$P_a = P_0 + P_1 \cos Z\theta \tag{11}$$

여기서  $P_0$ 와  $P_1$ 는  $P_{max}$ 와  $P_{mix}$ 을 各各  $a$ 相 퍼어미언스의 最大, 最小라고 하면

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \frac{P_{max} + P_{mix}}{2} \\ P_1 &= \frac{P_{max} - P_{mix}}{2} \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

이다.

한편 式(11)과  $\lambda = n\phi$  및  $F = ni$  그리고  $\phi = PF$ 라는 關係式들을 利用하면

$$\lambda_a = n_a^2 i_a (P_0 + P_1 \cos Z\theta) \tag{13}$$

따라서

$$L_a = L_{a0} + L_{a1} \cos Z\theta \tag{14}$$

여기서  $n_a = a$ 相의 有効捲回數

$$L_{a0} = n_a^2 P_0$$

$$L_{a1} = n_a^2 P_1$$

$L_{a0}$ 와  $L_{a1}$ 는 相에 關係없이 同一하게 따라서 表記上 간단하게 各各  $L_0, L_1$ 으로 한다.  $a$ 相을 基準으로하면  $j$ 相은  $2\pi(\frac{j-1}{N})$ 만큼 角差가 있으므로  $j$ 相의 自己인덕턴스는 다음과 같다.

$$L_j = L_0 + L_1 \cos(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) \quad (j=a, b, \dots, N) \tag{15}$$

式(3), (10) 및 (15)로부터 電壓方程式을 求하면

다음과 같다.

$$v_j = i_j r_j + \{L_0 + L_1 \cos(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N})\} \frac{di_j}{dt} - ZL_1 \sin(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) i_j \frac{d\theta}{dt} \quad (j=a, b, \dots, N) \tag{16}$$

또 式(16)을 다시 고쳐 쓰면 式(17)과 같다.

$$\frac{di_j}{dt} = \frac{1}{L_0 + L_1 \cos(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N})} \{v_j - i_j r_j + ZL_1 \sin(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) i_j \frac{d\theta}{dt}\} \quad (j=a, b, \dots, N) \tag{17}$$

發生 토크에 관한 式은 式(8)에서 相互인덕턴스가 모두 零이라는 것을 考慮하여 式(15)를 代入하면

$$T = - \frac{ZL_1}{2} \sum_{j=a}^N i_j^2 \sin(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) \tag{18}$$

이다.

回轉子の 運動方程式은 式(9)와 同一하다. 式(9), (17), (18)을 利用하여 縱續型 스텝 모우터의 動特性을 나타내는 狀態方程式을 세우면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_j}{dt} &= \frac{1}{L_0 + L_1 \cos(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N})} \{v_j - i_j r_j + ZL_1 \sin(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) i_j \omega\} \\ \frac{d\omega}{dt} &= - \frac{1}{J} \left\{ - \frac{ZL_1}{2} \sum_{j=a}^N i_j^2 \sin(Z\theta - 2\pi \frac{j-1}{N}) + B\omega + T_F \right\} = \omega \quad (j=a, b, \dots, N) \end{aligned} \right\} \tag{19}$$

지금까지  $N$ 相 縱續型 스텝 모우터의 動特性 方程式을 誘導했다. 이 數學的 모델을 컴퓨터 시뮬레이션하여 스텝 모우터의 動作特性을 考察한다.

3. 스텝 모우터의 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 被試驗 모우터의 諸定數

本 論文에서는 Warner Electric Brake & Clutch Company에서 製作한 SM060AB 縱續型 스텝 모우터를 擇해서 앞에서 誘導한 數學的 모델을 利用하여 컴퓨터 시뮬레이션한다.

이 모우터의 諸定數는 다음과 같다.

相數:  $N=3$

印加電壓:  $V=12[V]$

固定子の 捲線抵抗:  $r=12[\Omega]$

固定子 捲線の 인덕턴스:  $L_0=55.5[mH]$

$L_1=30.9[mH]$

回轉子와 固定子の 톱니수:  $Z=20(개)$

回轉子の 慣性모우멘트:  $J_M=0.13 \times 10^{-3}[N \cdot m \cdot sec^2]$

回轉子の 減衰係數:  $B=1.8 \times 10^{-2}[N \cdot m \cdot sec]$

롤롬마찰 토크:  $T_F=0[N \cdot m]$

위 定數들을 利用하여 SMO60AB 스텝모우터의 狀 態方程式을 求하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_a}{dt} &= \frac{1,000}{55.5 + 30.9\cos(20\theta)} \{v_a - i_a r_a + 0.618\sin(20\theta)i_a \omega\} \\ \frac{di_b}{dt} &= \frac{1,000}{55.5 + 30.9\cos(20\theta - \frac{2}{3}\pi)} \{v_b - i_b r_b + 0.618\sin(20\theta - \frac{2\pi}{3})i_b \omega\} \\ \frac{di_c}{dt} &= \frac{1,000}{55.5 + 30.9\cos(20\theta - \frac{4}{3}\pi)} \{v_c - i_c r_c + 0.618\sin(20\theta - \frac{4\pi}{3})i_c \omega\} \\ \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{1}{J} [0.309\{i_a^2 \sin(20\theta) + i_b^2 \sin(20\theta - \frac{2\pi}{3}) + i_c^2 \sin(20\theta - \frac{4\pi}{3})\} - B\omega] \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega \end{aligned} \right\} (20)$$

위 方程式을 利用하여 SMO60AB의 模型을 블록 線圖로 나타내면 그림 3과 같다. 여기서  $i(0)$ ,  $\omega(0)$ ,  $\theta(0)$ 는 모두 初期值를 뜻한다.

縱橫型 스텝 모우터의 스텝角은 回轉子의 톱니수와 相數에 의해서 定해진다. 이 경우 톱니수  $Z=20$ 이고 相數  $N=3$ 이므로 스텝角은 다음과 같다.

$$\text{스텝角} = \frac{630^\circ}{ZN} = \frac{360^\circ}{20 \times 3} = 6^\circ \quad (21)$$

즉 이 모우터는 펄스入力を 하나 받을 때마다  $6^\circ$ 씩 回轉하게 된다.

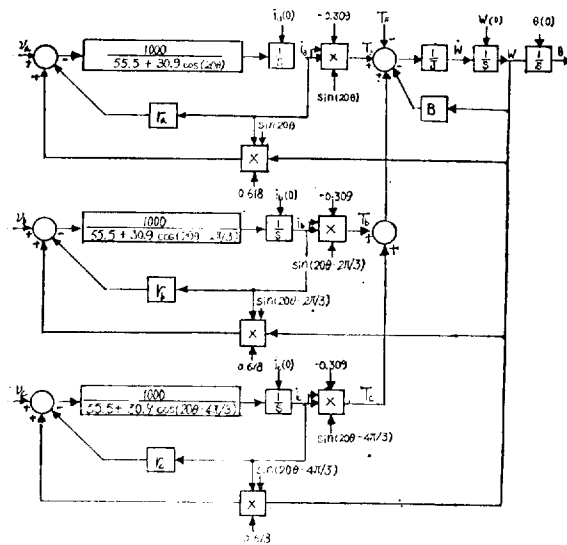


그림 3. SMO60AB스텝 모우터의 블록線圖  
Fig. 3. Block diagram for the SMO60AB Step motor.

### 3.2 컴퓨터 시뮬레이션

式(20)의 狀態方程式은  $a$ 相을 基準으로 한 경우이다. 즉  $a$ 相의 固定子 톱니와 回轉子 톱니가 마주 보고 있는 位置에서 停止하고 있다. 이것은 바로 前에  $a$ 相에 펄스入력이 加해져서 現在 定常狀態에 있다는 것을 뜻한다. 이와 같은 狀態에서의 初期條件은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} i_a(0) &= i_b(0) = i_c(0) = 0 \\ \omega(0) &= 0 \\ \theta(0) &= 0 \end{aligned} \right\} (22)$$

時間  $t=0$ 에서  $b$ 相의 固定子에 펄스入力を 加하면 回轉子는 反時計方向으로 스텝角  $6^\circ$ 만큼 回轉하게 될 것이다. 반대로  $c$ 相에 펄스入力を 加하면 時計方向으로  $6^\circ$ 만큼 回轉하게 된다. 여기서는 單一펄스入力を  $b$ 相에 印加할 때 物理的인 定數값의 變化에 따라 回轉子의 回轉狀態를 考察한다. 여기서 取한 變數는 固定子捲線에 直連接續된 外部抵抗, 負荷의 慣性모우멘트, 그리고 펄스幅과 振幅이다.

시뮬레이션의 正確度는 一般的으로 微分方程式을 푸는 數值解析方法과 計算을 行하는 時間間隔에 左右된다. 여기서는 Fourth-order Runge-Kutta 方法에 더욱 正確度를 높이기 위해서 Adams-Moulton Prediction Routine을 並用했으며<sup>(9)</sup> 時間間隔을 固定시키지 않고 수시로 變化시킬 수 있도록 했다. 즉 最初時間間隔을  $10^{-4}$ [sec]로 하고 한 段階 計算時의 最大 및 最小誤差를 各各  $10^{-6}$ 과  $10^{-8}$ 으로 하여 이 誤差範圍를 벗어날 경우에는 時間間隔을 最大  $10^{-2}$ [sec]에서 最小  $10^{-6}$ [sec] 사이에서 2배씩 增加 또는 1/2배씩 減少시켜서 計算했으며 그 結果를  $0.2 \times 10^{-2}$ [sec] 간격으로 프린트시켰다. 스텝 모우터를 시뮬레이션한 컴퓨터 프로그램의 信號흐름圖는 그림 4와 같다.

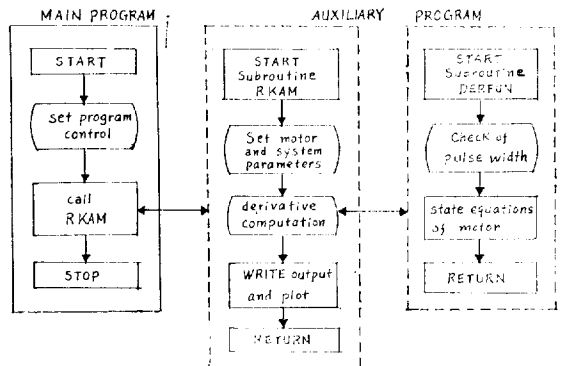


그림 4. 스텝 모우터의 컴퓨터 시뮬레이션의 간단한 信號 흐름 線圖

Fig. 4. Simplified flow chart of computer simulation for a step motor.

3.3 解析結果의 檢討

그림 5는 外部抵抗을 接續하지 않고 慣性모우멘트  $J_L=0.1 \times 10^{-3} [N \cdot m \cdot sec^2]$ 인 負荷를 接續한 後 b相의 固定子에 12[V]의 階段入力を 加했을 경우, 時間에 대한 角變位, 角速度, 電流 및 토오크의 變化를 나타낸 것이다.  $\theta(t)$ 에 대한 結果를 보면 上昇時間은 약 0.013 [sec]이며, 最終值의  $\pm 2\%$ 內에 整定되는 整定時間은 대략 0.1 [sec]가 된다. 또 最大 오우버슈우트가 일어난 時間은 0.033 [sec]이며, 이때 百分率 오우버슈우트는 약 27%이다. 角速度  $\omega$ 는 0.018 [sec]에서 最大 值 7.15 [rad/sec]의 값을 갖으며 또 0.11 [sec]에서 零이 되는 것을 알 수 있다. 토오크는 0.011 [sec]에서 最大 值 0.215 [N·m] 값을 가지며 0.12 [sec]에서 零이 되어 角變位는 完全히 定常值에 도달하게 된다. 捲線에 흐르는 電流를 보면 처음 순간에는 급격히 上昇하나 그 후 增加率이 완화된 뒤 몇번 맥동한 다음 定常值 1[A]에 도달한다. 처음 階段電壓을 印加한 순간에는 순수한 R-L回路로서 時定數가  $3.34 \times 10^{-3} [sec]$ 로 대단히

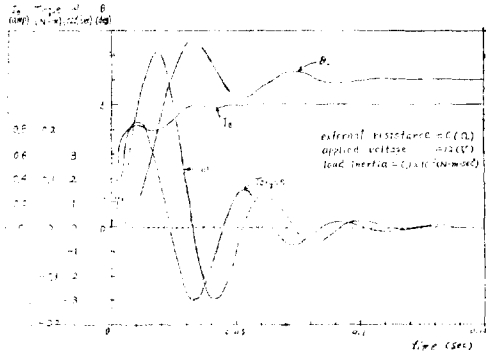


그림 5. 階段入력에 대한 스텝 모우터의 應答特性  
Fig. 5. Response characteristics of a step motor for a step input

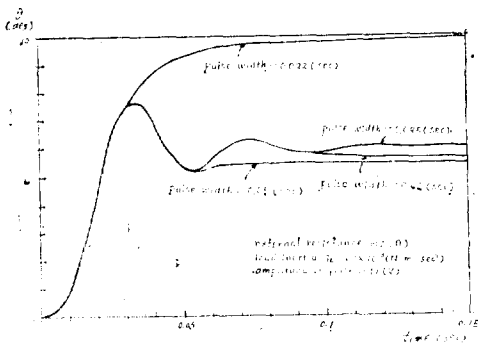


그림 6. 펄스幅 變化에 대한 角變位의 時間的 變化  
Fig. 6. Angular displacement versus time for parameter of pulse width.

작기 때문에 급격히 上昇한다. 그러나 어느 정도 上昇하면 토오크가 發生하여 回轉子가 回轉하기 始作하면 인덕턴스에 誘起되는 逆起電力外에 回轉子에 速度起電力이 생기기 때문에 電流의 增加는 완화된 뒤 또 인덕턴스가 回轉子의 角變位에 따라 變化하므로 固定子 電流에 약간의 맥동이 수반된다.

그림 6는 그림 5에서와 같은 動作條件에서 여러가지 펄스幅을 가진 振幅 12[V]인 完全 矩形波 電壓 펄스入力を b相에 加했을 때 角變位의 時間的 變化를 나타낸 것이다. 여기서 보는 바와 같이 펄스幅이 너무 적으면 回轉子가 設計上에서 計算된 스텝角에 도달하지 못하고 다른 角變位에서 整定되고 만다. 따라서 주어진 條件에서 回轉子가 設計上의 스텝角에 도달하기 위해서는 入力펄스가 가져야 할 最小限의 펄스幅이 있으며 入力펄스는 적어도 이보다 크거나 같은 펄스幅을 가져야 할 것이다.

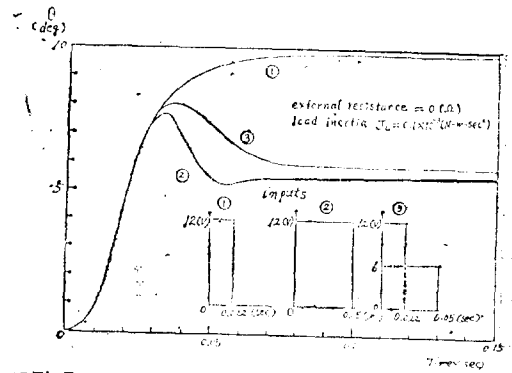


그림 7

그림 7은 그림 6과 같은 條件에서 펄스入力の 振幅을 時間에 따라 階段的으로 變化시킨 場合의 回轉子 角變位를 그린 것이다. 振幅 12[V], 펄스幅이 0.022 [sec] 및 0.05 [sec]인 두개의 完全矩形波 펄스入力を 加한 場合, 回轉子 角變位는 各各 9.8° 및 5.5°에 整定되어 스텝角 6°에 도달하지 못한다. 그러나 0 [sec]에서 0.022 [sec]까지는 振幅 12[V], 또 0.022 [sec]에서 0.05 [sec]까지는 振幅 6[V]를 가진 矩形波를 加한 場合에는 回轉子가 스텝角 6°에 整定된 것을 볼 수 있다. 따라서 振幅을 階段的으로 變化시키므로써 完全矩形波펄스入力 때보다 더 적은 入力電力을 使用하여 回轉子를 스텝角에 도달시킬 수 있으며 또 回轉子의 整定時間이 단축되어 過渡應答特性을 改善할 수 있다.

그림 8는 負荷의 慣性모우멘트  $J_L=0.5 \times 10^{-4} [N \cdot m \cdot sec^2]$ 인 負荷와 固定子 捲線에 直列로 外部抵抗을 接續하고 振幅 12[V], 펄스幅 0.095 [sec]인 完全 矩形波 펄스入力を b相에 印加했을 때 外部抵抗 값의 變化

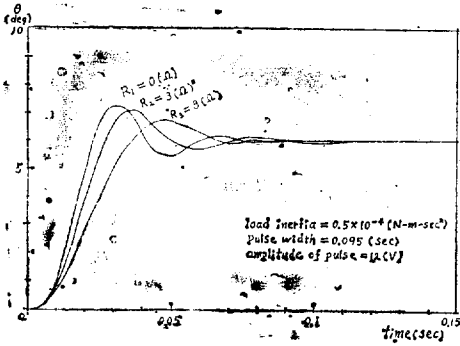


그림 8. 外部抵抗 變化에 대한 角變位の 時間的 變化  
 Fig. 8. Angular displacement versus time for parameter of external resistance

에 대한 角變位の 時間的 變化를 그린 것이다. 이 그림은 固定子 捲線에 直列特續된 外部抵抗을 적절히 調節하므로써 回轉子 角變位の 最大 오우비슈우트를 줄이고 또 角變位를 보다 빨리 定常值에 整定케 하므로써 安定度를 向上시킬 수 있다는 것을 보여 주고 있다 즉 外部抵抗에 의해서 스텝 모터의 制動效果를 얻을 수 있다는 것을 뜻한다.

끝으로 外部抵抗을 除去하고 그림 8과 같은 入力條件에서 負荷慣性 모우멘트의 變化에 대한 角變位の 時間的 變化를 그린 것이 그림 9이다. 여기서 보면, 負荷慣性 모우멘트가 적을 수록 最大 오우비슈우트도 적어지고 또 빨리 定常值 6°에 整定된다. 반대로 慣性 모우멘트가 커지면 最大 오우비슈우트도 커질뿐 아니라 스텝角 6°에 도달하기 以前에 整定되어 定常偏差가 커짐을 볼 수 있다. 이것은 각 스텝 모터마다 驅動할 수 있는 負荷의 限界가 있다는 것을 뜻하며 이關係는 스텝 모터의 選定時에 考慮할 事項이라 하겠다.

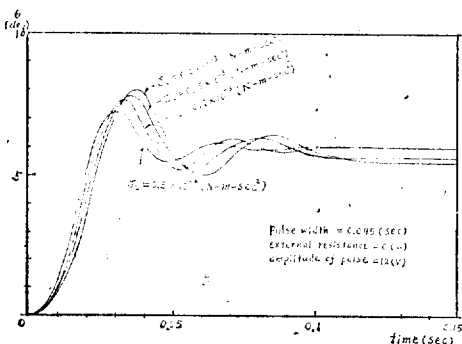


그림 9. 負荷慣性的 變化에 대한 角變位の 時間的 變化  
 Fig. 9. Angular displacement versus time for parameter of load inertia.

#### 4. 結 論

N相 可變磁氣抵抗型 스텝 모터의 一般的인 動特性 方程式을 誘導하고 이것을 縱續型 스텝 모터 (SMO60AB)에 적용하여 動作特性을 解析한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

(1) 一般的으로 스텝 모터의 動作特性은 그 構造, 回轉子の 慣性和 減衰定數, 外部抵抗, 펄스入力の 振幅과 펄스幅에 따라 다르다. 本研究에서는 펄스幅, 振幅變化, 外部抵抗, 그리고 負荷의 慣성이 回轉子 角變位에 미치는 影響을 考察한 結果 다음과 같은 特性을 갖는다는 것을 밝혔다.

(i) 各 스텝 모터에 印加되는 펄스는 動作條件에 따라 펄스幅의 最小 限界值를 가지며 入力펄스는 적어도 이 보다 큰 펄스幅을 가져야 한다.

(ii) 펄스入力の 振幅를 階段的으로 變化시킴으로써 回轉子の 過渡應答特性을 改善할 수 있다.

(iii) 固定子 捲線에 直列接續된 外部抵抗을 적절히 調節하므로써 回轉子の 角變位를 制御할 수 있다. 즉 스텝 모터의 制動效果를 얻을 수 있다.

(iv) 各 스텝 모터는 驅動할 수 있는 負荷의 限界가 있으며 使用할 負荷에 따라 그에 알맞는 스텝 모터를 選定해야 한다.

(2) 이 數學的 模型을 利用하여 스텝 모터를 使用하는 驅動裝置를 設計할 때에 주어진 動作條件에 必要한 資料를 시뮬레이션을 通해서 쉽게 얻을 수 있으며 또 이와 같은 驅動裝置를 利用한 系統의 制御問題를 解析할 수 있을 것이다.

(3) 여기서 確立한 數學的 模型은 磁氣飽和現象이 없는 領域에서는 거의 正確하다는 것이 判明되었다. 磁氣飽和現象을 考慮할 경우 正確한 數學的 模型을 세운다는 것은 거의 不可能하다. 그러나 이 數的 模型을 根據로 해서 飽和現象이 있는 경우에도 거의 正確하게 成立하는 數學的 模型을 구할 수 있을 것으로 생각되며 이에 대한 研究가 매우 흥미로운 과제가 될 것이다.

#### 參 考 文 獻

(1) Portor, J.: "Stepping Motors Move In.", Prod. Engrg., Vol.34, pp.74~78, Feb., 1963  
 (2) Kicburty, B.R.: "The Step Motor The Next Advance in Control Systems.", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. AC-9, No.1, pp. 98~104, Jan., 1964

- (3) Thomas, A.G., and Fleischauer, J.F.: "The Power Stepping Motor-A New Digital Actuator," Control Engrg. Vol.4, pp.74~81, Jan., 1957
- (4) Thomase, E. Beling and John, O.Mo Rin: "Permanent Magnetic Stepping Motors," Instrument and Control System, Vol. 46, No.1, pp.53~56, Jan., Feb., 1973
- (5) Delgads, M.A.: "Mathematical Model of a Stepping Motors", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. AC-14, No.4 pp.394~397, Aug., 1969
- (6) Venkataratnam, K.: et.; "Synchronizing Characteristics of a Step Motor, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.AC-14, No.5, pp. 510~516, Oct., 1969
- (7) G. Singh: "Mathematical Modeling of Step Motors", Theory and Applications of Step Motors, pp.33~75, West Publishing Co., 1974
- (8) G. Singh and S.N. Chen: "Some Aspects of Modeling and Dynamic Simulation of Variable-Reluctance Step Motors", Theory and Applications of Step Motors, pp.76~105, West Publishing Co. 1974
- (9) Yaohan Chu, and Harry E. Peterson: "Digital Simulation of Continuous System", Chapter 5. McGraw-Hill Inc.. 1969