

# PM型 制御用 Servo電動機의 Recoil動作에 관한 연구

논문  
21~4~2

## Study on the Recoil Operation of the Servomotor with PM Poles

장 세 훈\*  
(Se Hoon Chang)

### Abstract

For the conventional DC machine, the armature MMF is negligible compared with field MMF except when the machine is under heavy load or transient conditions. During the motor starting or reversal, the transient armature current and corresponding MMF effect the flux density of each pole in the machine magnetic circuit. However, the circuit flux density is restored to normal values by the field winding MMF after the transient armature current dies in an electromagnetic DC motor.

Permanent magnet servomotor have no field windings about the circuit poles to restore circuit flux density through the demagnetized part of each pole after the transient armature MMF dies, and portions of the magnetic circuit stay permanently demagnetized. thus the problem of stabilizing a magnet pole piece under the influence of the transient armature current needs attentions.

This work present the recoil operation of the servomotor with PM poles in conjunctions with the influence of the armature reaction effect. The developement of an analytical and quantatative study is presented for predicting the regime of the recoil operation under this condition.

### 1. 緒 言

近來 制御用 機器의 輕量化, 小形化傾向 및 새로운 磁石材料의 開發로 인하여 많은 制御用 電動機들이 PM型 界磁極을 갖게 되었다.

電動機의 空際磁束分布를 정확히 파악하는 問題는 電動機의 動特性研究에 가장 基本이 되는 課題로서 오래 전 부터 重要視되어 왔고 특히 PM 磁性材料의 特性및 이들 材料의 適切한 使用設計方法에 대하여는 많은 좋은 研究結果가 이미 發表되었다.<sup>2,3,4)</sup>

\*정회원 : 한양대학교 공과대학 전기공학과 부교수

在來의 電磁型 制御電動機에 있어서는 主磁束이 界磁 勵磁源外의 影響下에 있었다가도 일단 그 外部要因이 除去되면 主勵磁源에 의하여 스스로 元來의 磁束分布狀態로 復元되는 能力이 있으므로 電機子反作用에 의한 主磁束의 減磁影響을 特別한 경우 이외에는 고려하지 않는다. 그러나 PM型 電動機에 있어서는 이러한 狀態로 부터의 磁氣復元能力이 없으므로 外部勵磁에 의한 磁氣履歷影響이 電動機의 空際磁束分布를 현저히 變化시켜 電動機의 動特性에 變化를 가져 온다. 여기서는 PM型 界磁極에 의한 空際磁束分布가 電機子의 回轉에 따라서 recoil動作되는 現象과 또한 電機子電流에 의한 主磁束에 대한 減磁效果가 空際磁束分布에

미치는 影響을 규명함으로써 PM型 電動機의 磁氣安定化現象 및 空隙磁束分布를 보다 精確하게 파악하려는 目的을 두었다.

2. 基本理論<sup>1), 3)</sup>

그림 1과 같이 PM磁極을 갖는 磁氣回路에서 磁束이 磁石材料, 鐵心 및 空隙內에 通路가 限定되어 있는 것으로 생각하고 또한 磁束密度  $B$ 와 磁化力  $H$  두 벡터가 磁束通路를 따라서 서로 平行인 것으로 假定하면 아래 식이 성립된다.

$$H_r \cdot H_g + H_i \cdot L_i + H_m \cdot L_m = 0 \quad (1)$$

$B$  벡터와 微少面積 벡터  $ds$ 가 서로 平行되는 것으로 假定하면 磁束의 連續原理에 의하여 全斷面積  $S$ 를 통과하는 磁束  $\Phi$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\phi = \int_s \vec{B} \cdot \vec{ds} = B_m \cdot A_m = B_g \cdot A_g = B_i \cdot A_i$$

鐵心材料에 대하여는 一般의 起磁力分이 무시될 수 있으므로 空隙 및 永久磁石分의 各磁化力面에는  $-H_m \cdot L_m = H_r \cdot L_r$ 인 關係式이 성립되므로 靜動作點을 決定하는 아래의 關係式이 얻어진다.

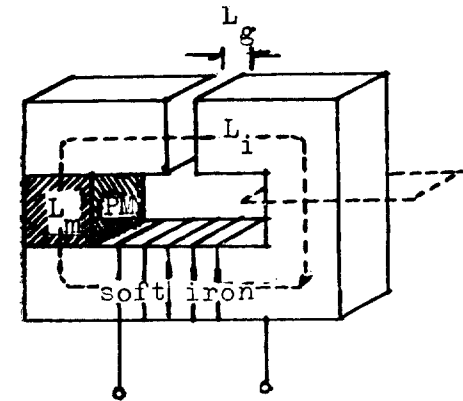


그림 1-(a)

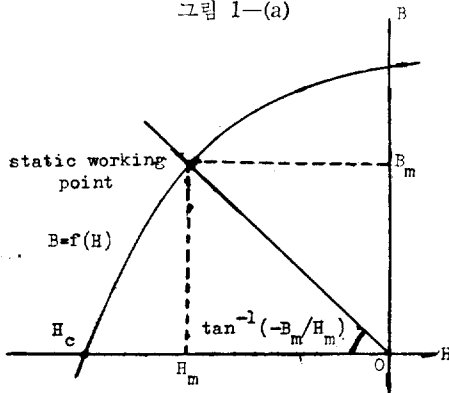


그림 1-(b)

그림 1. PM磁極을 갖는 간단한 磁氣回路  
Fig. 1. A simple magnetic circuit with a PM pole and a static working point.

$$-\frac{B_m}{H_m} = \mu_0 \left( \frac{A_g}{A_m} \right) \left( \frac{L_m}{L_r} \right) = \left( \frac{L_m}{A_m} \right) \frac{\mu_0 \cdot A_g}{L_r} \\ = \frac{(P_r + P_i)}{P_r} \left( \frac{L_m}{A_m} \right) \left( \frac{\mu_0 A_g}{L_r} \right) \quad (2)$$

즉 靜的인 狀態下에서는 磁石材料의 磁氣動作點은 그 히스테리시스 特性曲線面의 第二象限內에 위치하게 되며  $-B_m/H_m$ 는 空隙磁氣抵抗에 逆比例 되며 磁束漏洩係數<sup>3)</sup>에 비례한다. 식 (2) 및 磁石材料의  $B-H$ 特性曲線이 그림 1-(b)에서와 같이 PM磁極材의 靜動作點을 決定하여 준다.

3. PM型 Servo 電動機의 Recoil 動作

一般의 凸型 PM 界磁極을 갖는 Servo 電動機에 있어서는 電機子 反作用에 대한 補償效果를 向上시키기 위하여 電機子面과 磁極片面間의 空隙長이가 均一하지 못한데다가 電機子 周邊의 slot와 teeth의 介在로 말미아마 空隙間의 磁氣 permeance가 電機子 位置에 따라서 變化하게 된다. (그림 2)

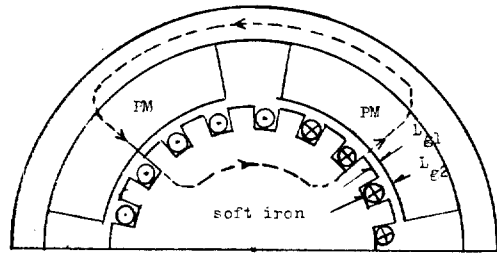


그림 2-(a)

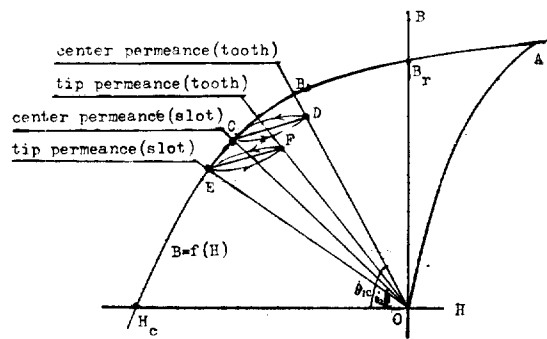


그림 2-(b)

그림 2. 凸型 回轉子를 갖는 制御電動機의 Recoil 動作  
Fig. 2. Recoil operation for a servomotor with slotted rotor.

電機子가 靜止된 狀態에서 外部勵磁源에 의하여 위의 磁氣回路가 磁化되어 磁石材料가 磁氣飽和에 이르게 되어 充分한 點 A까지 勵磁되었다가 外部磁化力을 除

去하면 磁石材料의 各부는 제각기 식(2)에서 定義되는 靜動作點으로 移行될 것이나 그 部分이 電機子의 teeth 또는 slot와 對面하고 있는가에 따라서 각기 對應되는 空際 permeance에 따른 傾斜를 갖는 動作點上으로 移動하게 된다.

우선 磁石片의 中心部 近處部分이 teeth와 對置되는 位置에 놓였을 경우에는 아래 關係式을 얻는다.

$$H_{m1} \cdot L_{m1} + H_{g1} \cdot L_{g1} = H_{m1} \cdot L_{m1} + \frac{B_{m1}}{\mu_0} \left( \frac{A_m}{A_r} \right) \cdot L_{g1} = 0 \quad (3)$$

또는 空際에서의 端末影響을 무시하고 C.G.S.單位系로서 식(3)을 표현하면 다음과 같다.

$$-\frac{B_{m1}}{H_{m1}} = \frac{L_{m1}}{L_{g1}} = \tan \theta_1 \quad (4)$$

한편 磁石材의 中心部가 電機子의 slot와 對面되는 경우에는

$$-\frac{B_{m2}}{H_{m2}} = \frac{L_{m2}}{L_{r2}} = \tan \theta_2 \quad (5)$$

同一한 方法으로 磁石片 端部에서의 靜動作點들이 그림 2-(b)에서와 같이 결정된다.

電機子が 回轉하면 磁石中心部에서는 CD區間을, 또한 磁石의 各 端部에서는 EF區間을 그림에서 처럼 recoil 하게 되므로 結局 磁石材의 모든 部分의 動作點은 電機子의 回轉에 따라서 CDEF 區間內에 限定되어 移動하게 된다. CD 및 EF의 길이는 slot의 길이에 따라서 증가하게되며 C와 E 및 D와 F間的 距離는 磁石片의 中心部와 磁石端部에서의 空際 permeance差가 심할수록 커지게 됨을 볼수 있다.

#### 4. PM磁極片에 대한 電機子 反作用效果

永久磁石材料는 일단 勵磁되어 磁石化되면 磁石材 自體가 外部 磁束에 대하여는 磁束 透過性이 매우 나쁘게 된다. 따라서 이러한 永久磁石을 界磁極으로 갖는 電動機에 있어서는 電磁型 界磁極을 갖는 機械에 비해서 電機子 反作用으로 인한 減磁效果에 대한 影響이 매우 輕微하다. 따라서 重負荷條件下에서 電動機가 可逆運轉되는 경우와 같이 매우 큰 電機子 電流가 흐를 때 외에는 減磁影響을 고려하지 않는 것이 상례이다.

直流分捲電動機의 動特性方程式들로부터 電動機가 線型機械負荷를 갖인 條件下에서 갑자기 逆運轉되었을 때 電機子最大電流  $i_{peak}$  및  $i_{peak}$ 가 생하는 時間이 다음과 같이 얻어짐을 證明할 수 있다.

즉

$$i_{peak} = -\frac{(V+K\omega)}{R} \quad (6)$$

$$t_{max} = -\frac{1}{2\alpha} \ln \left\{ \frac{B_d - J \left( \frac{C_1}{2} + \alpha \right)}{B_d - J \left( \frac{C_1}{2} - \alpha \right)} \right\} \quad (7)$$

또한 電機子電流  $i$ 의 變化는 다음과 같다.

$$i(t) = \frac{JC_2\omega_0}{K\alpha} \left[ e^{-\left(\frac{C_1}{2} + \alpha\right)t} - e^{-\left(\frac{C_1}{2} - \alpha\right)t} \right] + \frac{\omega_0 B_d}{K} \left[ -1 + \left(1 - \frac{C_1}{2\alpha}\right) e^{-\left(\frac{C_1}{2} + \alpha\right)t} + \left(1 + \frac{C_1}{2\alpha}\right) e^{-\left(\frac{C_1}{2} - \alpha\right)t} \right] \quad (8)$$

여기서

$$C_1 = \left( \frac{1}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_b} \right)$$

$$C_2 = \left( \frac{1}{\tau_a \cdot \tau_m} + \frac{1}{\tau_a \cdot \tau_b} \right)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1^2}{4} - C_2}$$

$$\tau_a = \frac{L}{R}$$

$$\tau_b = \frac{J}{B_d}$$

$$\tau_m = \frac{JR}{K^2}$$

$$\omega_0 = \frac{\tau_b V}{K(\tau_m + \tau_b)}$$

2回 逆運轉시켰을 때의 電機子 電流의 變化 및 이로 인한 減磁磁束의 分布는 그림 3과 같다.

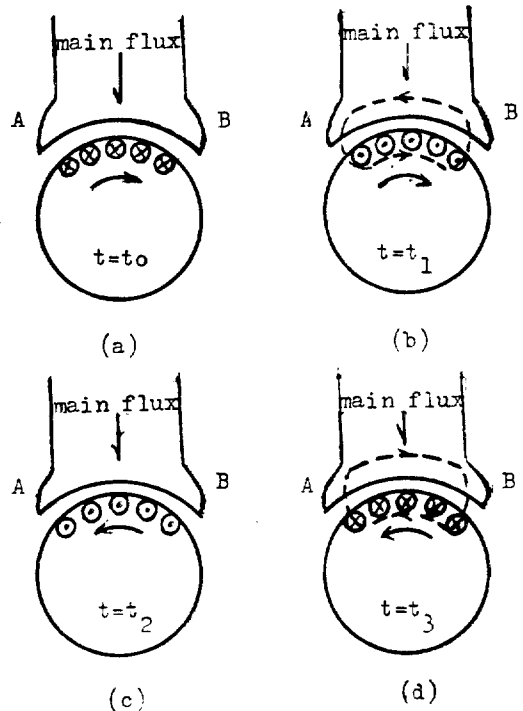


그림 3-(a)

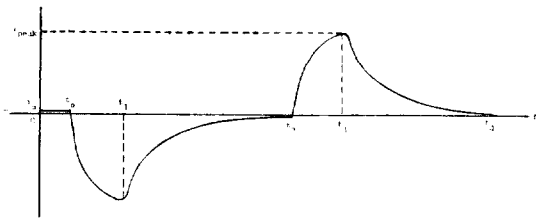


그림 3—(b)

그림 3. 2회 可逆回轉時의 電機子電流 및 磁極片 근처에서의 減磁作用

Fig. 3. Armature current and the reaction at tips of a pole during 2 motor reversals.

逆運轉 瞬間에서와 같이  $i_{p,aa}$ 에 해당하는 電機子電流에 의하여 PM磁極이 비교적 큰 減磁起磁力 履歷下에 있으며 또한 電機子 slot의 介在를 인한 空際 permeance變化 影響下에 있을 때의 複合된 條件下에서의 recoil動作에 대하여 생각한다. 지금 PM磁極을 갖는 電動機가 매우 적은 起動電壓에 의하여 서서히 가속되어 電機子 印加電壓 V볼트에서 定常運轉速度에 도달되었다고 한다. 이렇게 電動機를 起動시킴으로서 PM磁極은 電機子電流에 의한 減磁影響을 전혀 經歷하지 않은 것으로 생각할 수 있다. 이 狀態下에서는 磁石極의 中心部 및 磁石 端部가 電機子 回轉으로 인한 空際 permeance의 變化影響만 받을 것이므로 그림 4의 X, Y點 및  $(H_{m2}, B_{m2})$ ,  $(H_{m1}, B_{m1})$  點 區間을 각각 recoil하게 된다. 電動機가 갑자기 逆運轉될 瞬間에는 磁極片 中心部는 減磁效果로 인한 磁束變化가 매우 輕微할 것이므로 이 部分의 磁石材는 從前과 같이 恒時 X, Y點 recoil線上을 移動하게 되며, 한편 磁極片 端部 A에서는  $t=t_1$  sec에서 加極性方向으로 가장 심하게 磁化影響을 받게 되어 動作點은  $(H_{m1}, B_{m1})$ 點에서 第一

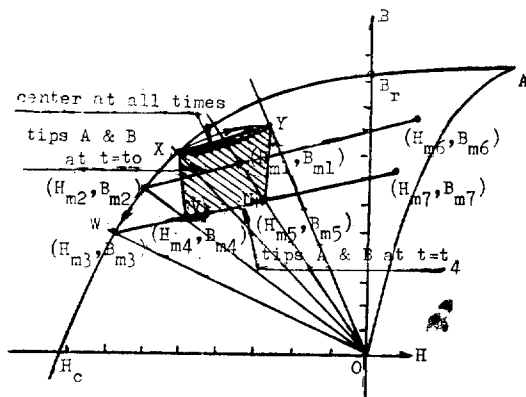


그림 4. 減磁 影響하의 Recoil動作

Fig. 4. Magnet recoil operation under the demagnetization effect.

象限內의  $(H_{m6}, B_{m6})$ 點으로 移動된다. 端部 B에서는 또한 심한 減極性方向의 磁化影響을 받을 것이므로 元來의 位置 $(H_{m2}, B_{m2})$ 點으로 부터 히스테리시스特性曲線을 따라서  $(H_{m3}, B_{m3})$ 點으로 移動하게 된다.

$t=t_2$ 까지는 단분간 적은 값의 定常電流  $i_0$ 만 흐르므로 端部 A의 動作點은  $(H_{m1}, B_{m1})$ 點으로 또한 端部 B는  $(H_{m4}, B_{m4})$ 點으로 되돌아 移動되었다가 電機子 回轉과 더불어  $(H_{m2}, B_{m2})$ ,  $(H_{m1}, B_{m1})$  및 U, V線上을 자기 recoil하게 된다.  $t=t_2$ 에서 再次 逆運轉시켰을 때는  $t=t_3$ 에서 磁石片 各 端部에서의 磁化極성이 前과는 逆轉될 것이므로 端部 B는 이 瞬間 $(H_{m7}, B_{m7})$ 點으로, 또한 端部 A는  $(H_{m2}, B_{m2})$ 點에서  $(H_{m3}, B_{m3})$ 點으로 磁氣動作點이 轉移되었다가  $t=t_4$ 인 定常狀態에서는 다시 UV線上을 recoil하게 된다. 結局은 減磁起磁力 및 空際 permeance 變化影響下의 複合된 條件下에서 電動機가 2회轉 終了되었을 때에는 磁石材料 各部의 動作點은 X-Y 및 U-V區間內에서 recoil動作을 되풀이 하게 된다. 點線으로 表示된 그림 2—(a)의 磁氣回路에 대하여는

$$MMF_a + MMF_f = 2H_g \cdot L_g + 2H_m \cdot L_m$$

따라서  $MMF_a$ 의 增分變化에 대하여는

$$\Delta MMF_a = 2 \cdot \Delta H_g \cdot L_g + 2 \cdot \Delta H_m \cdot L_m = 2 \left( \frac{\Delta B_g}{\mu_0} \right) \cdot L_g + 2 \cdot \Delta H_m \cdot L_m \quad (9)$$

$$= 2 \left( \frac{\Delta B_m}{\mu_0} \right) \left( \frac{A_m}{A_g} \right) \cdot L_g + 2 \cdot \Delta H_m \cdot L_m$$

즉  $\Delta MMF_a$ 의 變化增分만 알면 磁石材의 動作點 移動點이 구하여진다.

이 關係式은 차후 減磁影響下의 recoil動作領域의 決定에 사용된다.

### 5. 逆運轉 前後에 있어서의 PM 磁極의 Recoil條件

#### A. 逆運轉前

만일 PM磁極이 처음에는 外部 點磁源에 의하여 磁氣飽和領域에 까지 充分히 勵磁되도록 磁化되었다가 일단 外部勵磁源을 제거하면 그림 4의 X 및  $(H_{m2}, B_{m2})$ 點은 磁石材料의  $B-H$ 特性曲線, 식(4) 및 식(5)를 적용하면 구할수 있다. 電機子가 回轉될 때의 recoil線의 上限部 Y 및  $(H_{m1}, B_{m1})$ 點은 아래와 같이 決定된다.

$(H_{m2}, B_{m2})$ 는 이미 決定되었으므로 磁石材料의 recoil 導磁率을  $\mu_{rec}$ 라고 하면

$$B - B_{m2} = \mu_{rec}(H - H_{m2}) \quad (10)$$

B 및 H대신  $B_{m1}$ ,  $H_{m1}$ 을 자기 대입하고 식(4) 및

식(10)을 써서  $H_{m1}$ 에 관해 정리하면  $(H_{m1}, B_{m1})$ 點이 決定된다. 즉

$$H_{m1} = \frac{\mu_{rec} \cdot H_{m2} - B_{m2}}{\left(\mu_{rec} + \frac{L_m}{L_{s1}}\right)} \quad (11)$$

동일한 원리를 적용하면 Y點의 座標도 구하여 진다.

**B. 逆運轉後**

지금 電動機가 定常速度로 運轉되다가 갑자기 逆運轉되었다면 이 瞬間에는 動作點 W가  $(H_{m3}, B_{m3})$ 點으로 移行되어 갈 것이므로 電機子電流에 의한  $MMF_s$ 의 増分  $\Delta MMF_s$ 의 값을 알면 식(9) 및 磁石材料의 磁化特性曲線으로 부터 이點의 座標가 아래와 같이 決定된다.

$$\Delta MMF_s = 2(B_{m3} - B_{m2}) \cdot L_{s2} + 2(H_{m3} - H_{m2}) \cdot L_m \quad (12)$$

일단  $(H_{m3}, B_{m3})$ 座標가 決定되면 이點에서  $\mu_{rec}$ 傾斜線을 그으면<sup>3)</sup> 磁石極 端部에 대한 recoil線이 구하여 지며 이들과 식(4) 및 식(5)로 주어지는 傾斜線과의 交點 U 및 V點이 차례로 알려지므로서 2回 逆運轉 完了後의 recoil線 및 區間이 決定된다. 電動機가 여러번 可逆運轉되었을 때의 recoil區間도 同一하게 구하여질 수 있으며 逆運轉回數가 反復됨에 따라서 recoil區間의 下限域變化는 減少되며 乃終에는 PM磁極이 磁氣의인 安定化 狀態에 도달된다.

**6. 結 論**

電機子 反作用과 電機子 回轉에 따른 空際 permeance의 變化가 重疊된 變動影響下에서의 recoil動作을 定量的으로 究明하기 위하여 다음과 같은 實驗設備을 마련 하였다.

일곱개의 hall片板을 그림 5에서의 같이 界磁極片面을 따라서 1-7의 位置에 附着시킨다음 電動機를 可逆運轉하여 가면서 電機子 反作用에 의한 空際磁束의 變化를 測定하였다. 처음에는 7.5馬力의 電磁式 分捲 電動機를 他勵磁方式에 의하여 900r.p.m의 定常回轉速度에 까지 올린 다음 勵磁電壓을 逆極性으로 印加시켜 瞬時 逆運轉을 시켜가면서 界磁極 中心部(4位置) 및 磁極 端部(2位置 및 6位置)에서의 空際磁束의 變化를 그림 6에서와 같이 記錄시켰다.

電磁式 勵磁에서는  $MMF_s$ 가  $MMF_a$ 의 變化에 關係없이 一定한 것이므로 増分變化  $\Delta MMF_s$ 는

$$\Delta MMF_s = 2 \left( \frac{\Delta B_s}{\mu_0} \right) \cdot L_s \quad (13)$$

즉 界磁極에 對面한 空際磁束의 變化 및 空際길이를 測定하므로써 電機子 電流로 인한 直軸方向의 起磁力 變化分이 구하여 진다. 사용된 電動機에 대한 實驗結

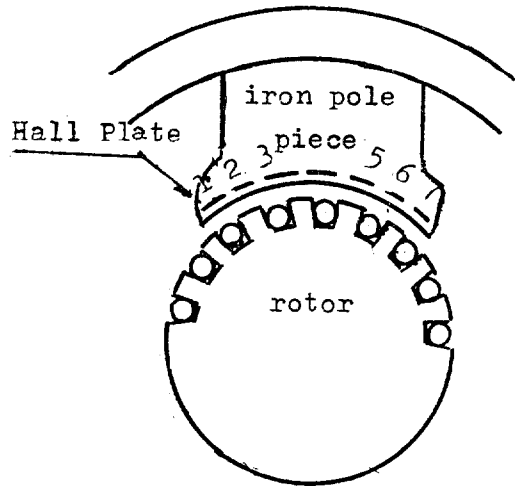


그림 5. 電機子 주변상의 Hall片板位置  
Fig. 5. Hall plate positions on motor pole face.

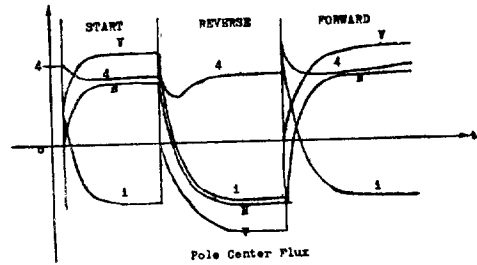


그림 6-(a)

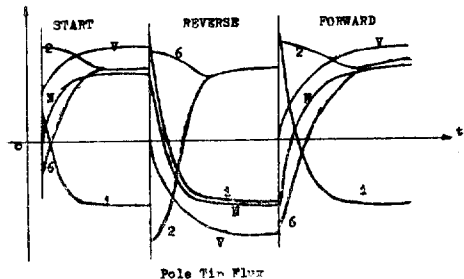


그림 6-(d)

그림 6. 可逆回轉時의 磁極片 근처에서의 磁束密度의 변화

Fig. 6. Variations of flux density at pole center and tips during motor reversals.

果는 표 1에서와 같다.

일단  $\Delta MMF_s$ 값이 알려진 연후에 Alcomax IV 磁石材料를 使用하여 먼저의 電磁極片과 꼭 같은 構造形態를 갖으며 同一한 起磁力값을 갖는 永久磁石極을 設計<sup>(5)</sup> 製作하여 電動機의 界磁極片과 置換設置한 다음에 앞서와 같은 磁極面上 位置에 hall片板을 다시 附着시켰다. 磁極面上 各位置에 따른  $(H_{m1}, B_{m1})$  및  $(H_{m2}, B_{m2})$ 의 값은 使用된 磁石材料의  $\mu_{rec}$  값이 4로

표 1. 空際길이 및 可逆回轉時의  $MMF_a$ 의 변화  
Table. 1. Length of air gap and variations of  $MMF_a$  during motor reversals

Hall片位置	$L_{r1}$ (m/m)	$L_{r2}$ (m/m)	$\Delta MMF_a$ (Gilbert)
1	5.60	11.34	14,570
2	2.86	8.60	10,740
3	2.54	8.28	440
4	2.49	8.23	0
5	2.54	8.28	440
6	2.86	8.60	10,740
7	5.60	11.34	14,570

얻어지므로 식(10)을 사용하여 구할 수 있으며 計算된 결과를 표 2에 수록하였다.

電動機가 逆運轉된 後의  $(H_{m3}, B_{m3})$ 의 位置는  $(H_{m2}, B_{m2})$  및  $\Delta MMF_a$ 의 既知量을 식(9)에 代입하여  $B-H$ 特性曲線과 比較調整 하므로서  $(H_{m3}, B_{m3})$ 點의 座

표 3. 磁極片面上的의  $(H_{m1}, B_{m1})$ 의 변화

Table. 3. Variations of  $(H_m, B_m)$  along pole face positions

位置	$(H_{m3}, B_{m3})$	$(H_{m4}, B_{m4})$	$(H_{m5}, B_{m5})$	$(H_{m8}, B_{m8})$	$(H_{m9}, B_{m9})$	$(H_{m10}, B_{m10})$
1	(-670, 4950)	(-346, 6246)	(-197, 6842)	(-670, 4950)	(-346, 6246)	(-197, 6842)
2	(-590, 7075)	(-354, 8620)	(-131, 8911)	(-590, 7025)	(-354, 8020)	(-131, 8911)
3	(-550, 7775)	(-364, 8520)	(-124, 9480)	(-551, 7760)	(-363, 8512)	(-123, 9472)
4	(-405, 9450)	(-405, 9450)	(-135, 10550)	(-405, 9450)	(-405, 9450)	(-135, 10550)
5	(-550, 7775)	(-364, 8520)	(-124, 9480)	(-551, 7760)	(-363, 8512)	(-123, 9472)
6	(-590, 7075)	(-354, 8020)	(-131, 8911)	(-590, 7075)	(-354, 8020)	(-131, 8911)
7	(-670, 4950)	(-346, 6246)	(-197, 6842)	(-670, 4950)	(-346, 6246)	(-197, 4842)

unit  $(H_m, B_m)$ =(Oersted, gauss)

표 2. 磁極片面上에 따른  $(H_{m1}, B_{m1})$  및  $(H_{m2}, B_{m2})$ 의 변화

Table. 2.  $(H_{m1}, B_{m1})$  and  $(H_{m2}, B_{m2})$  vlues obtained along pole face positions

位置	$(H_{m1}, B_{m1})$	$(H_{m2}, B_{m2})$	$L_{r1}$ (m/m)	$L_{r2}$ (m/m)
1	(-272, 9412)	(-500, 8500)	5.60	11.34
2	(-154, 10,424)	(-415, 9380)	2.86	8.60
3	(-138, 10,518)	(-405, 9450)	2.54	8.28
4	(-135, 10,550)	(-400, 9490)	2.49	8.23
5	(-138, 10,518)	(-405, 9450)	2.54	8.28
6	(-154, 10,424)	(-415, 9380)	2.86	8.60
7	(-272, 9,412)	(-500, 8500)	5.60	11.34

unit  $(H_m, B_m)$ =(Oersted, Gauss)

標가 얻어지며 차례로  $(H_{m4}, B_{m4})$  및  $(H_{m5}, B_{m5})$  등의 값들이 표 3에서와 같이 얻어졌다.

표 2 및 표 3에서 얻은 결과들을 사용하여 PM 磁極을 갖일 때의 Servo電動機의 recoil領域을 그

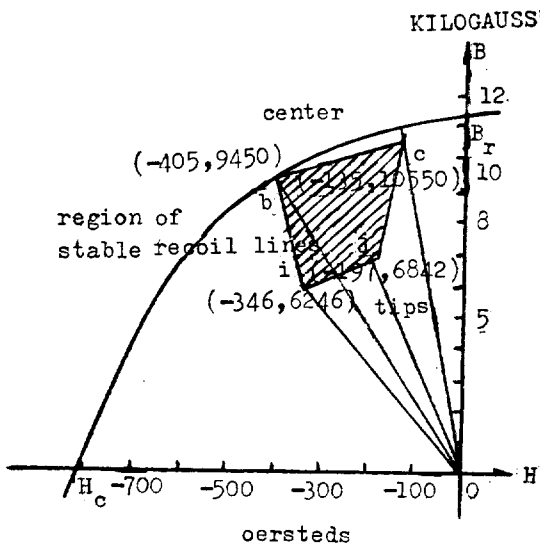


그림 7. 安全化된 磁氣 Recoil線軌跡  
Fig. 7. Locus of stabilized magnet recoil lines.

림 7에 圖示하였다.

여기서  $b, c, i$  및  $j$ 點들은 電動機가 4回 逆運轉된 후의 安定化된 recoil動作領域을 나타내며 PM材의各部分은 電動機의 定常運轉下에서 이 領域內에서 recoil動作하게 된다.

### 7. 結 論

1. 軟鐵磁極片을 갖지 않는 PM 磁極型 Servo電動機에 있어서는 電機子 電流에 의하여 減磁影響을 심하게 받으면 현저한 主磁束의 縮退現象이 일어난다. 電磁式 Servo電動機에 있어서는 이러한 減磁影響을 받았다가도 要因이 除去되면 元來의 主磁束值로 스스로 復元되어가는 能力이 있으나 PM型 電動機에 있어서는 이 減磁磁束分을 스스로 復元할 方便이 없으므로 磁氣安定化가 問題視된다. 普通은 負荷條件下에서 4乃至 6回 程度의 逆運轉을 포함으로서 磁石材의 各部分은 安定化된 recoil領域으로 動作이 限定되어 간다. 이 recoil 區間은 磁極條長, 空際 permeance, 電機子

slot의 깊이, slot 幅 및 最大履歷 電機子 電流값에 따라서 變動됨을 알 수 있다.

2. PM磁極型 電動機의 安定化된 recoil 動作領域이 6項에서와 같은 方法에 의하여 일단 決定되면 空際磁束分布가 더 한층 精確하게 파악되므로 電動機의 動作을 보다 精確하게 해석할 수 있는 方法이 마련 된다. recoil 動作을 감안하였을 때 空際磁束은 電機子回轉에 따라서 脈動될 것이므로 이 脈動磁束分에 의한 電機子 發生回轉力이 電動機動特性에 미치는 影響이 하나의 흥미있는 課題로 남는다.

#### 記號 및 略號

$MMF_a$ ; 電機子 減磁起磁力

$MMF_f$ ; 界磁 起磁力

$L_m, L_g, L_i$ ; 磁石極의 길이, 空際길이 및 鐵心材의 길이

$A_g, A_m, A_i$ ; 空際, 磁石材 및 鐵心材의 有效斷面積

$H_g, H_m, H_i$ ; 空際磁化力, 磁石極의 磁化力 및 鐵心材의 磁化力

$i$ ; 電機子電流

$k$ ; 電動機의 速度定數

$\mu_0$ ; 空氣의 導磁率

$\omega_0$ ;  $B_d=0$ 인 때의 電動子의 定常回轉速度 =  $V/K$

$V$ ; 電機子 回路에의 印加電壓

$J, B_d$ ; 電動機一負荷系의 電機子 回轉軸에 對한 慣性 能率 및 線型摩擦係數

$P_g$ ; 有效空際 permeance

$P_i$ ; 有效空際路에 平行한 모든 漏洩磁束에 대한 permeance.

#### 參考文獻

1. Gordon R. Slemon, "Magnetolectric Devices", John Wiley & Sons Inc., New York, 1966, pp.39
2. W. Lord, "Application of Modern Permanent Magnet Materials to the Excitation of a Slow Speed Power Servomotor", Journal of Applied Physics, Vol. 37, No.3, 1966, pp 111—1153.
3. A.J. Horn Feck & R.F. Edgar, "The Output and Optimum Design of Permanent Magnets Subject to Demagnetizing Forces, AIEE Trans., Vol 59, 1940, pp.1017—1024.
4. Rolf Fisher, "Probleme der Inneren und Aussenen Entmagnetisierung in Felde Permanenterregter Gleichstrommotoren", "Entmagnetisierung bei Permanenterregten Gleichstrommotoren", ETZ-A, Bd.89, H.11, pp.266—269, 1968.
5. W. Lord & R.M. Roberge, "Effect of Viscous Damping on Pasek's Method for Determining D.C. Servomotor time Constants", Electronic Letters, Vol 5, No.3, 6th Feb, 1969.