

하이브리드 스텝모터의 시작품 제작 및 특성시험에 관한 연구

Manufacturing of a Prototype Hybrid Step Motor and Evaluation of Its Characteristics

金光培*·崔翼**·白文鴻**
(Kwang-Bae Kim · Ick Choy · Moon-Hong Baeg)

요 약

본 논문에서는 하이브리드 스텝모터의 자기회로 설계·해석을 위해 퍼미언스 방법을 사용하였으며 철심부의 포화현상이 고려된 비선형 등가자기회로로 모델링하고 이를 Newton-Raphson 방법을 이용하여 각 설계요소를 변수로 하는 정토오크 출력을 구하였다.

이를 바탕으로 5¼인치 FDD 헤더 구동용 하이브리드 스텝모터의 시작품을 제작하고 그 특성을 시험한 결과 정토오크 출력의 측정치가 시뮬레이션에 의해 구한 것의 10% 오차내로 되어 제시한 방법의 타당성을 보였다.

Abstract - In this paper, an efficient design method of a hybrid stepping motor is proposed using permeance method. To be specific, hybrid stepping motor is modelled firstly as an equivalent non-linear magnetic circuit including the saturation effects of iron parts, and then the static holding torque of the motor is calculated as a function of each design factor via Newton-Raphson's method. To show the validities of the proposed method, a prototype of hybrid stepping motor for 5¼ inches FDD header drive is made and tested in laboratory. As a result, the experimental data for the static holding torque is shown to be within 10% error compared with that of the simulated results.

1. 서론

스텝모터를 토오크 발생원리에 따라 분류하면 가변 릴럭턴스형 (Variable reluctance type), 영구자석형 (Permanent magnet type) 그리고 하이브리드형

(Hybrid type)으로 나눌 수 있다. 그 중에서 하이브리드 스텝모터는 스텝각이 작고 자기유지 (Detent) 토오크가 있고 토오크 대 질량의 비가 크다는 장점으로 컴퓨터 주변기기, 사무용 기기, 가전 기기, NC장치 및 자동화 기기 등에 그 응용이 점점 확산되어 가고 있다.

초창기 스텝모터를 설계, 해석할 때는 오직 공극에서만 자기특성을 고려한 선형 모델로 연구 되었으나¹⁾ 선형 모델에 의한 특성 해석치는 실제 측정치와 상당한 거리가 있었다. 그 원인은 스텝모터의

*正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣制御研究室 責任研究員
**正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣制御研究室 研究員
接受日字 : 1987年 10月20日
1次修正 : 1988年 8月27日
2次修正 : 1988年 12月 6日

소형화·박형화 추세에 따라 스텝모터의 크기가 줄어든 반면 큰 토크 발생을 위하여 동작점을 철심의 포화영역에 맞추어 설계 하였기 때문이다. 그 후 더 정확한 스텝모터의 특성해석을 위하여 철심에서의 포화현상을 고려하는 퍼어미언스 방법²⁾⁻⁶⁾과 유한요소법⁴⁾⁻⁷⁾등이 연구되고 있다.

본 논문에서 이용한 하이브리드 스텝모터의 모델은 Kuo가 제시한 퍼어미언스 모델¹⁰⁾을 기초로 하였다. 고정자와 회전자 치(Tooth) 형상에 따른 공극에서의 퍼어미언스는 Kuo와 Chen이 제시한 방법을 이용 하였다.⁵⁾⁻⁷⁾

이와 같은 모델링 기법을 이용하여 하이브리드 스텝모터의 자기등가회로를 구성하면 그 지배 방정식은 17원 1차 방정식이 된다. 그 방정식의 17×17 행렬의 요소값들은 공극의 길이, 영구자석의 재질 및 칩수, 권선수, 상 전류, 고정자 및 회전자 치의 형상에 의해서 결정된다.

Newton-Raphson 방법으로 방정식의 해를 수치적으로 구하면 공극에서의 기자력 강하값이 계산되고 이로부터 스텝모터의 정·토크(Static torque)를 예측할 수 있다.

이를 토대로 스텝각 1.8°의 하이브리드 스텝모터를 제작한 후 그 시작품의 특성을 검토하였다.

2. 수학적 모델링

하이브리드형 스텝모터는 가변 릴럭턴스형과 영구자석형의 동작원리를 조합한 것으로 그 단면도는 그림 1과 같다.

회전자의 구조는 그림 1과 같이 회전자의 중심에 원통형의 길이 방향으로 자화되어 있는 영구자석이 있고 그 주위에는 많은 치를 가진 연자성체가 2개의 부분으로 나뉘어 배치되어 있다. N극측 회전자

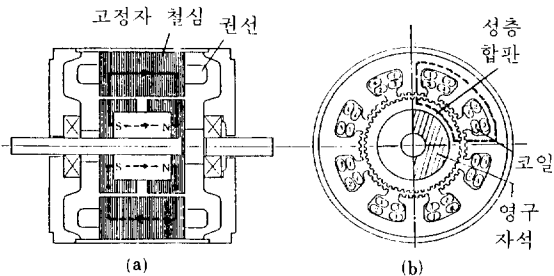


그림 1 시작품의 단면도

Fig. 1 Cross-sectional view of prototype.

와 S극측 회전자는 정확히 반 피치만큼 어긋나 있다. 그림 1-(a)에서 점선은 영구자석에 의한 자속의 흐름을, 그림 1-(b)에서의 점선은 고정자의 여자전류에 의한 자속의 흐름을 나타낸다.

따라서 하이브리드 스텝모터에서 수학적 모델링을 해야할 곳은 자속통로가 형성되는 공극, 고정자의 철심부 및 영구자석부가 된다.

2.1 공극 퍼어미언스 모델링

스텝모터의 발생 토크는 회전자 변위에 대한 공극 퍼어미언스의 미분값에 비례하기 때문에¹⁰⁾⁻¹²⁾ 공극 퍼어미언스를 회전자의 변위에 대한 함수로 표현할 수 있으면 발생 토크를 예측할 수 있다.

스텝모터는 철심의 포화영역에 동작점이 맞추어져 설계됨으로 고정자 및 회전자의 치 부근이 상당히 포화된다. 따라서 공극에서의 퍼어미언스식을 수학적으로 쉽게 나타내기 위해 다음과 같은 가정을 세운다.^{5),6)}

- 1) 자속은 철심의 표면을 수직으로 통과한다.
- 2) 공기중에서의 자속형태는 직선과 원호로 구성된다.

공극에서의 퍼어미언스는 식(1)과 같고 식(1)을 $\mu_0 t$ 로 나누면 무차원화된 퍼어미언스가 식(2)와 같이 된다.

$$P = \mu_0 \int \frac{t \, d\alpha}{L} \quad (1)$$

$$P = \int \frac{d\alpha}{L} \quad (2)$$

여기서

μ_0 : 공기중의 투자율 ($4\pi \times 10^{-7}$) [H/m]

$t \cdot d\alpha$: 자속경로의 미소 단면적 [m^2]

L: 자속경로의 길이 [m]

t: 고정자 스텝 두께 [m]

본 논문에서는 고정자 피치와 회전자 피치는 같으나 치 폭이 서로 다른 그림 2와 같은 경우에 대해서만 생각한다.^{5),7)} 회전자 치와 고정자 치 사이에 기하학적 대칭성이 존재하므로 고정자 치에 대하여 회전자 치를 반 피치까지만 이동 시키면서 한 피치내의 자속분포 경향을 살펴보면 그림 2와 같이 된다.

회전자 및 고정자의 치폭은 각각 b_{t1} , b_{t2} 이고 치홈은 b_{s1} , b_{s2} , 치각도는 β_1 , β_2 그리고 g는 공극의 길이를 표시한다. α 는 고정자 치와 회전자 치의 중심선 사이의 각도 즉 고정자와 회전자의 상대변위

이다. P_i 는 각 자속튜브의 퍼어미언스이고 식(2)를 이용하여 무차원화 된 각 자속튜브의 공극 퍼어미언스를 구하면 표 1과 같다.

표 1에서 b 는 $(b_{t2} - b_{t1})/2$ 이다.

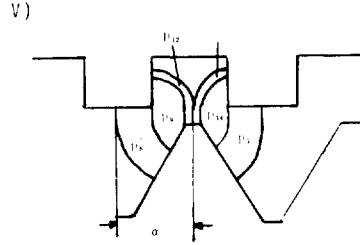
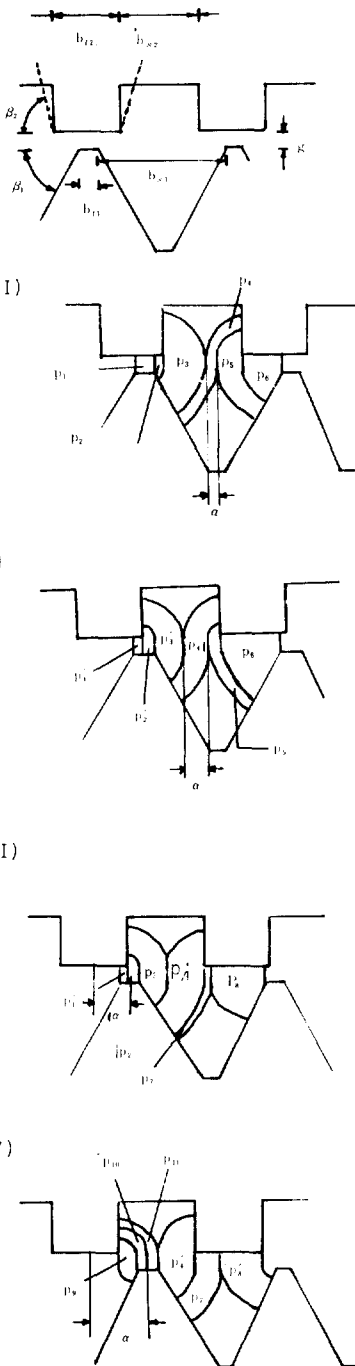


그림 2 회전자 위치에 따른 자속의 형태
Fig. 2 Flux pattern on air gap.

표 1 자속 튜브의 퍼어미언스
Table 1 Permeance of flux tube.

$p_1 = \frac{b_{t1}}{g}$
$p'_1 = \frac{b_{t1} - \alpha + b}{g}$
$p_2 = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{g + (b - \alpha) \beta_1}{g}$
$p'_2 = \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{g + (\alpha - b) \beta_2}{g}$
$p_3 = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} \ln \frac{g + b_{s2}(\beta_1 + \beta_2)/2 + (b - \alpha) \beta_1}{g + (b - \alpha) \beta_1}$
$p'_3 = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} \ln \frac{g + b_{s2}(\beta_1 + \beta_2)/2 - (\alpha - b) \beta_2}{g + (\alpha - b) \beta_2}$
$p_4 = \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \ln \frac{g + (b_{s2}/2 - \alpha) \beta_2 + \beta_1 b_{s1}/2}{g + b_{s2} \beta_2/2 + (b_{s1}/2 - \alpha) \beta_1}$
$p'_4 = \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \ln \frac{g + (b - \alpha + b_{s2}) \beta_1}{g + (b - \alpha + b_{s2}/2) \beta_1 + \beta_2 b_{s2}/2}$
$p_5 = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} \ln \frac{g + b_{s1}(\beta_1 + \beta_2)/2 - (b + \alpha) \beta_2}{g + \beta_1(b + \alpha)}$
$p_6 = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{g + (b + \alpha) \beta_1}{g}$
$p_7 = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{g + \beta_1 b_{s1}/2}{g + (b_{s1} + b_{s2})/2 - \alpha \beta_1}$
$p_8 = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{g + \beta_1 b_{s1}/2}{g}$
$p'_8 = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{g + \beta_1 b_{s1}/2}{g + \{\alpha - (b_{t1} + b_{t2})/2\} \beta_1}$
$p_9 = \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \ln \frac{g + \{\alpha - (b_{t1} + b_{t2})/2\} \beta_1}{g + \{\alpha - (b_{t1} + b_{t2})/2\} \beta_2}$
$p_{10} = \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{g + (\alpha - b) \beta_2}{g + \{\alpha - (b + b_{t1})\} \beta_2}$
$p_{11} = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} \ln \frac{g + (b_{s2}/2 + b - \alpha) \beta_1 + \beta_1 b_{s2}/2}{g + (\alpha - b) \beta_2}$
$p_{12} = \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{g + \beta_2 b_{s2}/2}{g + \{\alpha - (b_{t1} + b_{t2})/2\} \beta_2}$
$p_{13} = \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{g + \beta_2 b_{s2}/2}{g + \beta_2(b_{s2} + b - \alpha)}$
$p_{14} = \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \ln \frac{g + (b + b_{s2} - \alpha) \beta_1}{g + (b + b_{s2} - \alpha) \beta_2}$

각 구간에서의 공극 퍼어미언스는 각 자속튜브의 퍼어미언스들의 합이고 다음과 같다. ^{5), 6), 7)}

$0 \leq \alpha < (b_{t2} - b_n) / 2$ 일때

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

$(b_{t2} - b_n) / 2 \leq \alpha < b_{s2} / 2$ 일때

$$P_1' + P_2' + P_3' + P_4 + P_5 + P_6$$

$b_{s2} / 2 \leq \alpha < (b_n + b_{t2}) / 2$ 일때

$$P_1' + P_2' + P_3' + P_4' + P_5 + P_6$$

$(b_{t1} + b_{t2}) / 2 \leq \alpha < b + b_{s2} / 2$ 일때

$$P_4' + P_7 + P_8' + P_9 + P_{10} + P_{11}$$

$b + b_{s2} / 2 \leq \alpha < (b_{s2} + b_{t2}) / 2$ 일때

$$P_7 + P_8' + P_9 + P_{12} + P_{13} + P_{14}$$

표 1에서 보는 바와 같이 퍼어미언스는 α 의 함수이고 주기가 고정자 퍼치인 주기함수가 된다. 전기각과 기계각 사이에 식(3)이 성립하고 퍼어미언스가 주기함수 이므로 이를 Fourier 급수로 전개하면 식(4)와 같이 된다.

$$\theta_e = Z_r \alpha \tag{3}$$

$$\left. \begin{aligned} P_a &= C_0 + C_1 \cos \theta_e - C_2 \cos 2\theta_e + C_3 \cos 3\theta_e \\ &\quad + C_4 \cos 4\theta_e \\ P_b &= C_0 + C_1 \cos \theta_e - C_2 \cos 2\theta_e - C_3 \cos 3\theta_e \\ &\quad + C_4 \cos 4\theta_e \\ P_c &= C_0 - C_1 \cos \theta_e + C_2 \cos 2\theta_e - C_3 \cos 3\theta_e \\ &\quad - C_4 \cos 4\theta_e \\ P_d &= C_0 - C_1 \cos \theta_e - C_2 \cos 2\theta_e + C_3 \cos 3\theta_e \\ &\quad + C_4 \cos 4\theta_e \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

여기서 θ_e 는 전기각, Z_r 은 회전자 치 갯수이다. P_i 는 전기각으로 $\frac{\pi}{2}$ 씩 떨어져 있는 고정자 극 아래에 있는 공극 퍼어미언스 이고 C_i 는 Fourier 급수의 계수이다. 5차 이상의 고조파 성분은 기본파에 대해 무시할 정도로 작으므로 식(4)는 제 4 고조파 성분까지만 나타낸다.

2.2 철심부의 모델링 ^{10), 13)}

그림 3은 전형적인 철심의 B-H 곡선이고 Q는 동작점을 나타낸다. Q점에서의 기울기는 동작점에서의 증분 투자율을 나타내고 Q점에서의 접선의 식은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} B &= B_0 + H \left. \frac{\partial B}{\partial H} \right|_Q \\ &= B_0 + \Delta \mu H \end{aligned} \tag{4}$$

여기서

- B : 자속밀도 [T]
- B_0 : 잔류 자속밀도 [T]
- $\Delta \mu$: 증분 투자율 [N/A²]
- H : 자계의 세기 [A/m]

철심부에 대한 선형화된 퍼어미언스를 구하기 위하여 자속이 통과하는 철심의 단면적을 식(4)의 양변에 곱하면 식(5)와 같은 관계식을 얻을 수 있고 이것을 자기회로로 나타내면 그림 4와 같다.

$$BS = B_0 S + H L \Delta \mu \frac{S}{l}$$

$$\Phi = \Phi_0 + F P \tag{5}$$

여기서

- Φ : 철심부의 자속수 [Wb]
- Φ_0 : 철심부의 잔류자속수 [Wb]
- F : 철심부의 기자력 강하 [At]
- P : 철심부의 퍼어미언스 [Wb/A]
- S : 철심부의 단면적 [m²]
- l : 철심부의 길이 [m]

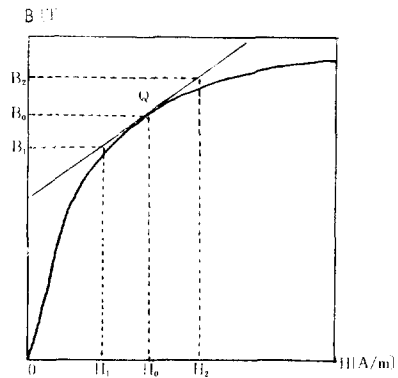


그림 3 고정자 철심의 B-H 곡선
Fig. 3 B-H curve of iron.

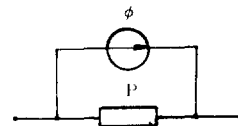


그림 4 철심부의 자기등가 회로
Fig. 4 Equivalent magnetic circuit of iron part.

2.3 영구자석의 모델링¹³⁾

영구자석에 의해서 이루어지는 자속경로에 공극이 존재하면 영구자석에 반대방향의 자계가 가해지는 것과 동일한 현상이므로 영구자석이 모터에 이용될 때 동작점은 영구자석 B-H 곡선의 제 2 상한에 놓이게 된다. 이 곡선을 영구자석의 감자곡선이라고 하는데 이 곡선의 B축과 H축에 영구자석의 단면적과 길이를 각각 곱하면 $\Phi - F$ 곡선을 얻게 된다.

그림 5는 사마륨코발트계 영구자석의 $\Phi - F$ 곡선이다. 사마륨코발트계 영구자석의 리코일 투자율은 $1.06\mu_0$ 이고 리코일선은 거의 직선이므로 rescale 리코일선 또한 직선이 된다. 고정자 권선이 여자되지 않은 상태에서 동작점은 그림 5에서 보는바와 같이 부하선과 rescale 리코일선과의 교점이 된다. 이 때 부하선의 기울기는 $\tan\gamma$ 가 되고 식(6)과 같다.

$$\tan \gamma = P_a + P_b + P_c + P_d \quad (6)$$

모터는 원통방향으로 대칭성이 있으므로 계산의 편의를 위해 $\frac{1}{2}$ 만 고려하면 영구자석의 유효 단면적은 $\frac{1}{2}$ 이 된다.

그림 5에서 양축과의 교점 Φ_r 과 F_m 은 식(7)을 만족한다.

$$\left. \begin{aligned} \Phi_r &= \frac{1}{2} B_r S_m \\ F_m &= H_c l_m \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

여기서

- B_r : 영구자석의 잔류자속밀도 [T]
- H_c : 영구자석의 보자력 [A/m]
- S_m : 영구자석 단면적 [m²]
- l_m : 영구자석 길이 [m]
- F_m : 영구자석의 등가 기자력 [At]

rescale 리코일선의 기울기 $\tan\delta$ 는 영구자석의 내부 퍼어미언스 P_{mi} 가 된다. 이와같이 영구자석의 등가자기회로를 나타내면 그림 6과 같다. P_{m0} 는 영구자석의 누설 퍼어미언스로 식(8)과 같다.¹⁰⁾

$$P_{m0} = \frac{\mu_0}{2} \frac{\pi(D^2 - D_m^2)}{4l_b} \quad (8)$$

여기서

- D : 회전자의 내경 [m]
- D_m : 영구자석의 외경 [m]
- l_b : 회전자 사이의 길이 [m]

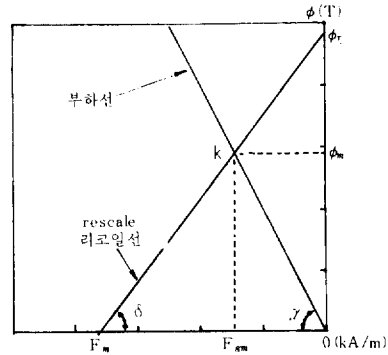


그림 5 영구자석의 $\Phi - F$ 곡선
Fig. 5 $\Phi - F$ curve of permanent magnet.

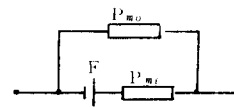


그림 6 영구자석의 등가 자기회로
Fig. 6 Equivalent magnetic circuit of permanent magnet.

3. 시뮬레이션

하이브리드 스텝모터는 그림 1에서 보는바와 같이 원통방향으로 대칭성이 있으므로 $\frac{1}{2}$ 만 고려한 등가자기회로를 구성하는 것이 편리하다.¹⁰⁾

앞장의 공극부, 철심부 및 영구자석부에 대한 수학적 모델을 기초로 등가자기회로를 구성하면 그림 7과 같다.

여기서

- $P_g(i), P_gR(i)$: 공극의 퍼어미언스
- $P(i), PR(i)$: 고정자 극의 퍼어미언스
- $PH(i), PHR(i)$: 고정자 극의 자속
- $PC(i), PCR(i)$: 요오크(Yoke)의 퍼어미언스
- $PHC(i), PHCR(i)$: 요오크(Yoke)의 자속
- $PRL(i)$: 고정자 스택의 퍼어미언스
- $PHRL(i)$: 고정자 스택의 자속
- F_m : 영구자석의 등가 기자력
- P_{mi} : 영구자석의 내부 퍼어미언스
- P_{m0} : 영구자석의 누설 퍼어미언스

F, F_B : 고정자 권선에 의한 기자력

등가자기회로로 부터 Node 방정식을 세우면 17 원 1 차 방정식이 되고 이를 행렬로 표현하면 식(9)와 같다.

$$P \underline{F} = \underline{\Phi} \quad (9)$$

여기서

\underline{P} : 퍼어미언스 행렬 (17×17)

\underline{F} : 자기 Potential 벡터 (17×1)

$\underline{\Phi}$: 자속벡터 (17×1)

한편 하이브리드 스텝모터에 인가되는 전류가 일정하다고 할 때 정토오크 T는 식(10)과 같이 된다.¹⁰⁾

$$T = 10.2 Z_r Z_s \sum_{i=1}^4 F_z^2(i) \frac{dP_i}{d\theta_e} \quad [\text{Kgf} \cdot \text{cm}] \quad (10)$$

여기서

Z_s : 고정자 극당 치 갯수

Z_r : 회전자 치 갯수

θ_e : 전기각

$F_z(i)$: 한 개의 고정자극에 대한 공극의 기자력 강하

P_i : 한 개의 고정자극에 대한 공극 퍼어미언스

정토오크값을 구하기 위해 공극에서의 기자력 강하값을 알아야 하는데 그 값은 식(9)를 풀면 된다. 모터의 치수, 재질등이 결정되고 각 철심부에서의

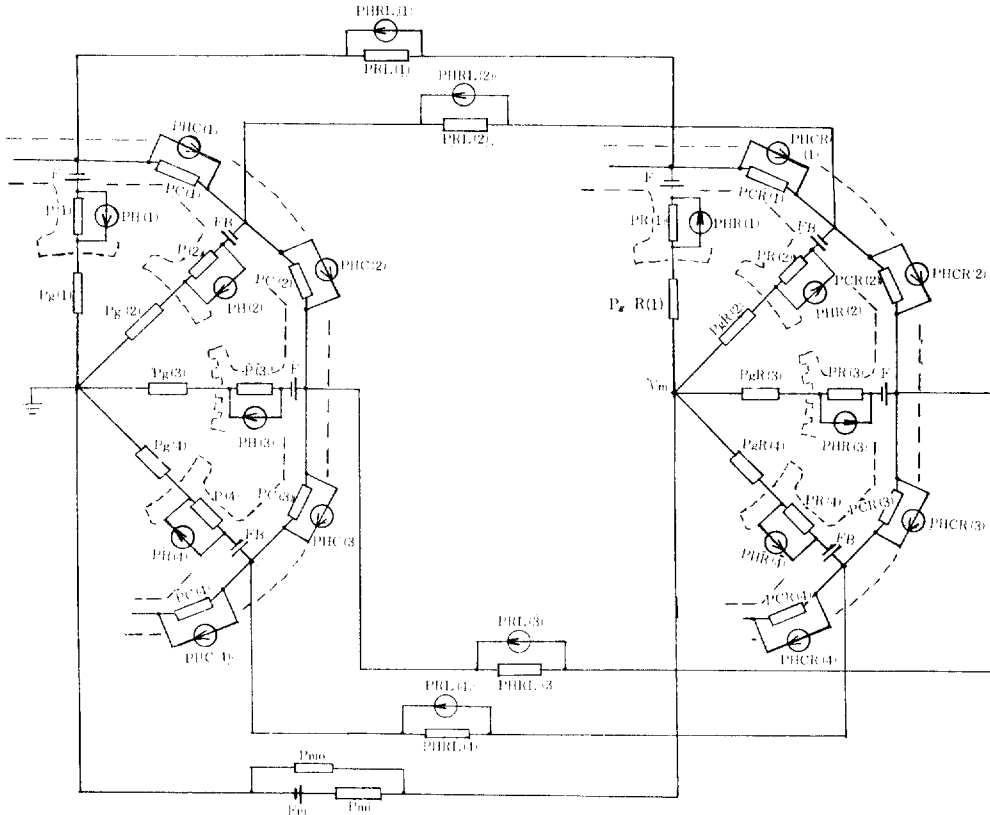


그림 7 하이브리드 스텝모터의 등가자기회로

Fig. 7 Equivalent magnetic circuit of hybrid step motor.

자계세기를 알면 \underline{P} 와 $\underline{\Phi}$ 의 각 요소값들이 결정되므로 자기 Potential 벡터 \underline{F} 를 구할 수 있으나 실제로 각 철심에서의 자계 세기를 알 수 없다. 따라서 철심에서의 자계세기를 적절히 추측함으로써 해를 구할 수 있는 Newton-Raphson 방법을 이용한다.

철심부는 그림 7에서 보는바와 같이 20개 부분이고 식(9)는 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \underline{P}(\underline{H}) \cdot \underline{F} - \underline{\Phi}(\underline{H}) &= 0 \\ \underline{f}(\underline{H}) &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} \underline{f} &\triangleq [f_1, f_2, \dots, f_{17}]^T \\ \underline{H} &\triangleq [H_1, H_2, \dots, H_{20}]^T \text{ 철심부의 자계세기 벡터.} \end{aligned}$$

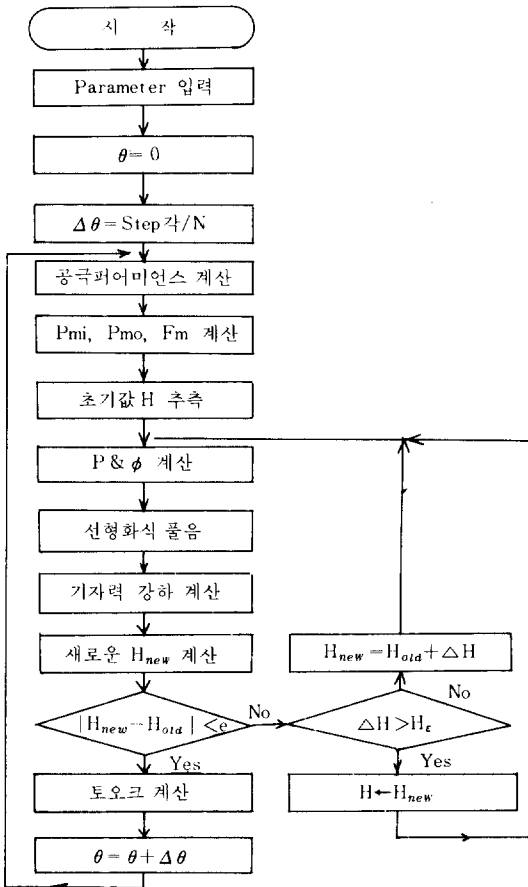


그림 8 토포크 계산흐름도
Fig. 8 Flow chart of torque calculation.

식(11)은 수치해석적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

- 1) \underline{H}_{old} 를 먼저 추측한다.
- 2) $\underline{f}_{old} = \underline{f}(\underline{H}_{old})$ 를 구한다.
- 3) \underline{H}_{old} 를 동작점이라고 가정하고 이에 대해 \underline{f} 를 선형화 시킨다.

$$\underline{f}_{old} + \left(\frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{H}} \right) \Big|_{\underline{H}_{old}} \cdot \Delta \underline{H} = 0$$

- 4) $\Delta \underline{H}$ 를 구한다.
- 5) \underline{H}_{new} 를 아래와 같이 구한다.
 $\Delta \underline{H} < \underline{H}_\epsilon$ 이면 $\underline{H}_{new} = \underline{H}_{old} + \Delta \underline{H}$
 $\Delta \underline{H} > \underline{H}_\epsilon$ 이면 $\underline{H}_{new} = \underline{H}_{old} + \text{sgn} \left(\frac{\Delta \underline{H}}{K} \right)$

여기서 \underline{H}_ϵ 과 k 는 수렴속도를 향상시키기 위한 상수이다.

- 6) $\|\Delta \underline{H}\| < \epsilon$ 일 때 까지 1)~5)의 과정을 반복한다. 여기서 ϵ 은 정확도에 관계된 상수이고 대략 10~50이다.

철심 각부분에서의 자기 Potential이 위와같이 계산되면 공극에서의 기자력 강하를 얻을 수 있고 식(10)으로부터 정토포크값이 계산된다.

회전자와 고정자의 상대변위 α 를 조금씩 증가시키면서 위의 과정을 반복하면 α 에 따른 정토포크 곡선을 얻을 수 있고 그 계산 흐름도는 그림8과 같다.

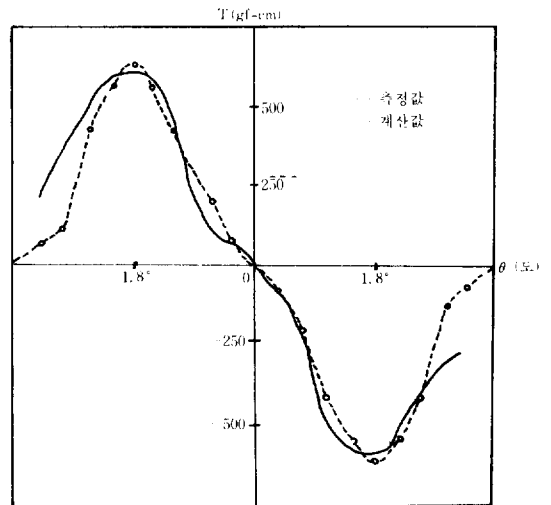


그림 9 정토포크 곡선
Fig. 9 Static holding torque curve.

실제 제작한 하이브리드 스텝모터의 정토표극 측정치와 시뮬레이션에 의한 계산치의 비교는 그림 9와 같다.

4. 시작품의 특성시험

하이브리드 스텝모터의 시작품을 제작하여 일본 Kowa Kiken 사의 스텝모터 특성 측정기(STM-1000 A, TRM-1000M)로 단위계단 응답, 정토표극, 동토표극 및 위치오차(Step accuracy) 등을 측정하였다.

Transfer time은 회전사가 안정점에서 출발하여 첫번째 스텝각을 통과할 때 까지의 시간으로서 측정값은 5ms이었고 정전시간은 50.7ms로 측정되었다. 그림 10은 부부하에서 측정된 계단응답으로 최대 오버슈트는 33% 정도 이었다.

시작품의 최대 유지토표극은 550~610gfc/cm 정도 이었고 최대 자기동 토표극은 442gfc/cm, 최대 자기동 주파수는 650pps, 최대 연속응답 주파수는 1400

pps 이었다.

5 1/4 인치 FDD 헤더 구동용 하이브리드 스텝모터의 일본 규격에¹⁴⁾와 시작품의 측정치와의 비교는 표 2와 같다. 스텝모터의 성능을 평가하는데 있어서 가장 중요한 것은 위치오차로서 시작품의 경우는 2.2%로 측정되었다. 시작품의 최대 자기동 주파수는 일본의 규격에 비해 약간 작으나 이는 구동 회로에 의해서 극복될 수 있다고 본다.

5. 결 론

퍼미언스 방법을 이용하여 하이브리드 스텝모터를 철심부의 비선형성이 고려된 등가자기회로로 모델링 하고 각 설계요소를 매개변수로 하여 공극에서의 기자력 강하 및 모터의 정토표극 출력을 시뮬레이션 하였다.

이를 바탕으로 5 1/4 인치 FDD 헤더 구동용 하이브리드 스텝모터의 시작품을 제작하고 그특성을 시험하였다. 시작품의 특성 시험치는 5 1/4 인치 FDD 헤더 구동용 하이브리드 스텝모터의 일본 규격에¹⁴⁾에 잘 만족 되었다. 또한 정토표극 출력의 측정치가 시뮬레이션에 의해 구한것의 10% 이내 이었다.

참 고 문 헌

- 1) Chai, H.D., "Permeance Model and Reluctance Force Between Toothed Structures," Proc. of Incremental Motion Control Systems and Devices (IMCSD), Univ. of Illinois, pp.K1~pp. K12, 1973.
- 2) Kuo, B.C., "Theory and Applications of Step Motors," West Publishing Co., 1974
- 3) Wang, Y.Y and Wu, S.J., "CHAI's Saturation Model Applied to Inductor-Type Permanent Magnet Step Motors," IMCSD pp.41~45, 1980.
- 4) Wang, Zongpei, "Single-Stack Step Motor with Stator Magnets," IMCSD pp.159-168, 1981.
- 5) Kuo, B.C., "Effect of Tooth Shapes on the Position Accuracy of Step Motors," IMCSD pp. 149~158, 1983
- 6) Kuo, B.C and Chen, Y.J., "Permeance Model of Low-Resolution Variable-Reluctance Step

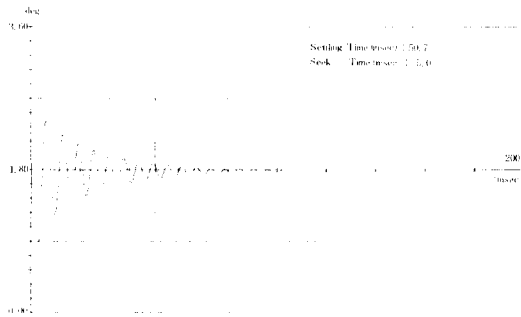


그림 10 시작품의 단위 계단응답
Fig. 10 Unit step response of a prototype.

표 2 FDD 헤더 구동용 모터 사양과 시작품의 특성 시험 결과

Table 2 Specification of FDD header drive and test result of prototype.

	규격치	시작품의 측정치
스텝각도	1.8°	1.8°
각도오차	3%	2.2%
최대 자기동 주파수	700pps	650pps
최대 정토표극	500gfc/cm	550~610gfc/cm

- Motors," IMCSD pp.159-168, 1983.
- 7) Kuo, B.C and Huh, U.Y., "Permeance Models and Their Applications to Step Motor Design," IMCSD, pp. 351-369, 1986.
 - 8) Brauer, J.R., "Finite Element Calculation of Magnetic Fields, IMCSD, pp 11-16, 1982.
 - 9) Brauer, J.R., "Finite Element Analysis of DC Motors and Step Motors," IMCSD, pp.213-222, 1982.
 - 10) Kuo, B.C., "A Nonlinear Magnetic Circuit Model and Its Application to Static Holding Torque Prediction of Hybrid Step Motors," IMCSD pp.303-313, 1984.
 - 11) 김광배, "마이크로 DC 모터의 개발, "한국과학기술원 연구보고서, 1986.
 - 12) Wang Zongpei, "Design Considerations and the Torque Constant of Variable-Reluctance Step Motors," IMCSD, pp.47-52, 1981.
 - 13) Slemon, G.R. and Straughen, A., "Electric Machines," Addison-Wesley Publishing Co, 1980.
 - 14) 메카트로닉스編集部, "最先端의 制御用 모터" pp.108-113, 1984.
-