

Dynamic Characteristics Analysis of Claw Pole PM Type Step Motor

孔 正 植* · 金 鍾 哲** · 吳 哲 洙***
(Jeong-Sik Kong · Jong-Chul Kim · Chul-Soo Oh)

Abstract - Due to its simple construction, operation steadiness and low cost, claw pole step motor is widely used for OA machine and automobile. This paper deals with analysis of claw pole motor, especially eyeing to dynamic characteristics. To analyze dynamic characteristics of claw pole step motor, torque development in each angular step of rotor are surveyed and torque equation is derived using permeance method. To adopt the airgap MMF, the magnetic equivalent circuit of the motor is introduced. On the base of the magnetic equivalent circuit, the air gap flux equation is derived. To get a optimum design of the motor, the torque characteristic is studied in variation of coil data and remanence value of permanent magnetic material.

Key Words : Claw Pole Type Step Motor, equivalent circuit, Dynamic torque characteristics

1. 서 론

Claw pole 스텝모터는 비교적 구조가 간단하고 견고하며 고정자 부분이 프레스 가공에 의하여 저가로 가공할 수 있으므로 프린터 등의 OA기기, 가전기기, 자동차부품용으로 널리 이용되고 있다[1].

Claw pole 스텝모터는 여러 문헌에서 그 구조와 동작원리를 다루고 있다[2]. 그러나, claw pole 스텝모터의 3차원적 자기회로 구조나 동작원리가 일반적인 스텝모터보다 복잡하고 까다롭기 때문에 아직까지 동특성에 대한 연구는 몇몇 저자들에게 의해서만 진행되어 왔다[3]. Pawlak 등이 이 문제에 접근하여 토크형성을 공극에서의 기자력 강하를 활용하여 해석하였다[4]. 이들은 모두 해석과정에서 많은 가정들을 제시하여 자속분포 및 정특성 그리고, 동특성 해석을 해왔으며, 또한 한 스텝구간에서 토크형성과정에 대하여 자세히 다루질 못했다.

따라서 본 논문에서는 claw pole 스텝모터의 한 스텝구간에서의 퍼미언스 변화로써 토크형성과정을 해석하고 토크 식을 유도하였다. 또 한 쌍의 고정자 치(齒) 자극의 등가회로를 도입하여 공극자속의 식을 유도하고, 이들을 적용하여 주파수에 따른 토크 특성을 계산하였다. 또한 계산의 신뢰성을 위하여 claw pole 스텝모터의 권선수에 따른 세가지

(200, 400, 600 턴)샘플을 제작하여 이들의 동특성 시험을 수행하였다. Claw pole 스텝모터의 권선수가 모터의 동특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하기 위하여 각 샘플을 이용하여 claw pole 스텝모터의 구동 주파수 영역에 따른 특성시험을 수행하였으며, claw pole 스텝모터의 토크 특성에 권선수가 미치는 영향을 조사함으로써 claw pole 스텝모터의 설계에 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 구조

Claw pole 스텝모터는 그림 1과 같이 영구자석 회전자를 중심으로 하고, 그 주위에 빗 모양(claw pole type)의 치극(teeth pole)이 서로 마주보는 구조의 고정자로 되어있다.

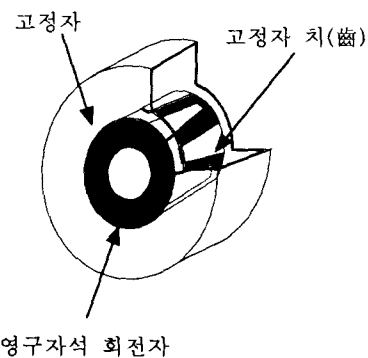


그림 1 고정자 1상의 구조
Fig. 1 The structure of one stack of stator

* 正 會 員 : 徐 羅 伐 大 電 氣 電 子 電 算 系 列 助 教 授
** 正 會 員 : 慶 北 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程
*** 正 會 員 : 慶 北 大 電 子 電 氣 工 學 部 教 授 · 工 博
接受日字 : 1999年 4月 27日
最終完了 : 1999年 9月 29日

고정자는 2개의 스택으로 이루어져 있고, 각 스택은 Ring형 코일을 싸고 있으며 이를 각각 스택 A, B라 한다. Claw pole 스텝모터의 경우 예외 없이 두 개의 스택으로 구성되므로 2상 여자형이며 각 스택의 극(極)은 서로 1/2 pitch 간격으로 어긋나 있다. 회전자의 극수를 p라 하면 각 스택의 치수는 p개이며 따라서 스택 A, B가 만드는 극의 수는 2p이다. Coil의 형태는 단선식(unifilar)과 중간탭이 나와 있는 복선식(bifilar)의 두 형식이 있고, 여자회로 구동방식에 따라 코일의 형식이 선정되며, 구동방식과의 관계대응은 다음과 같다.

- 단선식 coil - bipolar 구동 (양방향 전류 공급)
- 복선식 coil - unipolar 구동 (한방향 전류 공급)

양방향 전류공급 구동회로는 공급 전압이 하나(+Vcc, 0)이고, 한방향 전류공급 구동회로는 공급전압을 2개(+Vcc, 0, -Vcc) 가지고 있으며, 이는 일반적 스텝모터의 구동회로와 동일하다[2]. 스텝각은 최소구동 가능 각도이며 위와 같은 구조에서 360/2p의 각이며, 표 1과 같은 기계에서는 스텝각이 15° 이다[4].

2.2 토크 형성

Claw pole 스텝모터는 전원투입을 입력으로 하고, 회전자의 기계적 토크를 출력으로 하는 하나의 전자기시스템(Electro-magnetic System)으로 볼 수 있는데, 이 시스템에서의 에너지 변환은 주로 일정전류 내에서 이루어진다고 볼 수 있다. 그 이유는 회전자의 각(角) 변화가 비교적 느리게 이루어지고, 그 과정에서 전기적 에너지의 투입이 용이하게 이루어 질 수 있기 때문이다. 이때 기계적 토크 T는 공극에서의 coenergy W_c , 기계적 각을 θ , 공극의 퍼미언스를 P, 기자력을 F라 했을 때, 다음과 같이 나타난다[5].

$$T = \frac{\partial W_c}{\partial \theta} \Big|_{i=const} \tag{1}$$

$$W_c = \frac{1}{2} PF^2 \tag{2}$$

따라서 토크식은 다음과 같이 주어진다.

$$T = \frac{1}{2} F^2 \frac{dP}{d\theta} \tag{3}$$

Claw pole 스텝모터의 전체 토크를 해석하기 위해 각 스텝당 발생하는 토크로 분리하며 또 각 스텝당 발생토크는 스택 A에서 코일전류 변환으로부터 시작하여 회전자의 다음 고정위치(holding position)에 까지 발생하는 토크 T_A 와 이 스택구간에서 전류 변화가 없는 상태에서의 스택 B에서 발생하는 토크 T_B 로 분리하고, 스택 A와 B 하나의 치에 해당하는 퍼미언스를 P_A, P_B 라 하면 한 스텝구간 동안 한 스택에서 발생 토크는 p극에서 동시에 이루어지므로 전체 토크 T는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = (T_A + T_B) = \frac{p}{2} (F_A^2 \frac{dP_A}{d\theta} + F_B^2 \frac{dP_B}{d\theta}) \tag{4}$$

해당 스텝구간에서 $F_A = F_B$ 이므로

$$T = \frac{p}{2} F^2 (\frac{dP_A}{d\theta} + \frac{dP_B}{d\theta}) \tag{5}$$

가 된다.

식 (5)를 전기각(θ_e)으로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$T = \frac{p^2}{4} F^2 (\frac{dP_A}{d\theta_e} + \frac{dP_B}{d\theta_e}) \tag{6}$$

한편, 일반적으로 주기가 2π 이고 그 사이에 순시치가 T_{inst} 경우, T의 평균값은 적분구간 $\pi/2$ 를 적용할 때 다음과 같다.

$$T_{mean} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} T_{inst} d\theta_e \tag{7}$$

식 (6)의 T를 식 (7)의 T_{inst} 로 놓고 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 얻어진다.

$$T_{mean} = \frac{2}{\pi} \frac{p^2}{4} F^2 \int_{\theta_1}^{\theta_2} (dP_A + dP_B) \tag{8}$$

$$T_{mean} = \frac{p^2}{2\pi} F^2 [(P_A + P_B)]_{\theta_1}^{\theta_2} \tag{9}$$

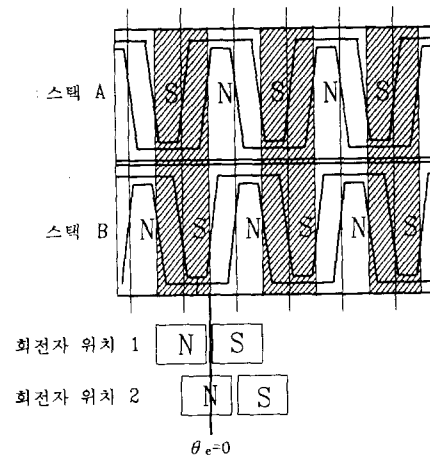


그림 2 스택 A 여자시 회전자 극의 이동
Fig. 2 Translation of rotor position 1 to 2 due to excitation of stack A

그림 2는 고정자 각 스택 여자시 고정자 치(齒)와 회전자의 위치대응을 나타내며, 이때 회전자 위치 1에서 스택 A의

여자전류의 방향이 바뀌며, 이때 스택 B의 전류는 일정하다고 가정하였다. 따라서 회전자 위치 1은 그림과 같은 상태의 고정자치에 대응되는 위치이고, 회전자 위치 2는 스택 A의 극이 바뀌어 다음 고정위치로 된 회전자의 최종위치이며, 이때의 회전자 위치각을 $\theta_2=0$ 으로 잡는다. 위치 1에서 위치 2까지 회전자의 움직인 각은 $\pi/2$ 이므로, 식 (9)의 θ_1, θ_2 는 다음과 같다.

$$\theta_1 = -\frac{\pi}{2} \quad \theta_2 = 0$$

이 된다.

2.3 퍼미언스 및 기자력

P_A 의 최대값은 $\theta_2=0$ 에서 $\pi/4$ 더 진행되어야 만들어지므로 식 (9)의 P_A, P_B 는 다음과 같이 일차 근사식으로 가정할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_B &= P_0 + P_1 \cos(\theta_e + \pi/4) \\ P_A &= P_0 + P_1 \cos(\theta_e - \pi/4) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, P_0 는 한 스택구간에서 퍼미언스의 평균치이고 P_1 는 퍼미언스 변화의 제 1고조파 진폭이다. 식 (10)을 식 (9)에 대입하여 2개의 스택을 참작하면 식 (11)을 얻는다.

$$T = \frac{d^2}{\pi} F^2 P_1 \left[\cos(\theta_e - \frac{\pi}{4}) + \cos(\theta_e + \frac{\pi}{4}) \right] \theta_e \quad (11)$$

식 (11)에 θ_1, θ_2 의 값으로 대입하면 다음과 같이 얻어진다.

$$T = \frac{d^2}{\pi} F^2 P_1 (\sqrt{2}-0) \quad (12)$$

둘째 항이 0이라는 것은 스택 A에서 토크가 발생할 때 스택 B에서는 토크가 만들어지지 않는다는 것을 뜻한다. 다시 말해 기자력 변화가 있었던 스택 A에서만 토크가 발생된다. 이는 퍼미언스의 함수가 회전자와 고정자가 서로 맞물리는 축을 중심으로 좌우대칭일 경우이며, 이는 Claw pole 기계에서 항상 적용됨을 알 수 있다.

이제 P의 함수가 코사인인 아니고 일그러진 경우를 생각할 수 있다. 현실에 접근된 파형은 제 2고조파가 함유된 경우

$$\begin{aligned} P_A &= P_0 + P_1 \cos(\theta_e - \pi/4) + P_2 \cos(2\theta_e - \pi/4) \\ P_B &= P_0 + P_1 \cos(\theta_e + \pi/4) + P_2 \cos(2\theta_e + \pi/4) \end{aligned} \quad (13)$$

로 놓을 수 있다. 이 경우에도 위의 원칙, 즉 스택 A, 스택 B가 교대로 토크를 발생한다는 것을 알 수 있다.

식 (13)을 식 (9)에 대입하여 2개의 스택을 참작하여 구하면 다음과 같다.

$$T = \frac{d^2}{\pi} F^2 P_1 (\sqrt{2}P_1 - 2\sqrt{2}P_2) \quad (14)$$

퍼미언스값을 계산하기 위해 퍼미언스가 가장 작을 때부터 가장 클 때까지의 구간을 6등분하여 미세적으로 본 그림이 그림 3이다. 스택 A에서 한가지 유의해야할 사항은 스택 A에서 회전자 자극 중심축 출발 위치가 위치 1과 2 사이 ($\theta_e = -\pi/2$)이고, 최종적으로 정지되는 위치가 4와 5사이 ($\theta_e = 0$)라는 것이다.

위치 0에서 위치 6까지의 퍼미언스를 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 위치 7이상은 계속되는 회전자 위치로 간주한다. 점선으로 표시한 곡선은 퍼미언스가 코사인 함수로 근사화했을 때의 그래프이다. 두 실선 곡선은 스택 A, B의 실제 계산값인데(pu값), 스택 B의 값은 스택 A에 대해서 전기각 $\pi/2$ 이동된 곡선으로 나타난다. 1pu의 퍼미언스 값은 회전자 자극과 고정자 자극이 마주 보고 있을 때, 즉 공극이 최단거리이며 그림 3에서 회전자극이 위치 6에 놓여질 때의 값인데, 그 값은 $0.4\mu\text{H}$ 이다. 퍼미언스 계산을 위해 쓰여진 기계의 기하학적 치수는 표 1과 같다.

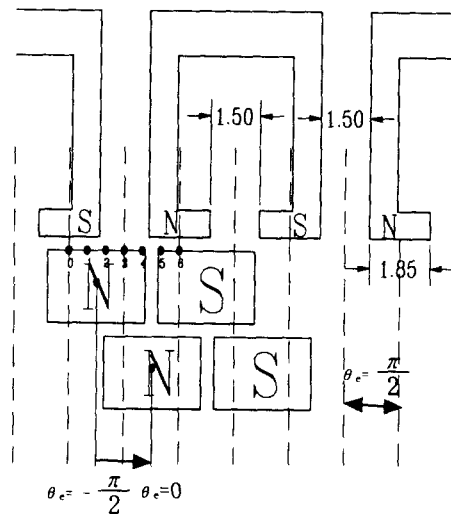


그림 3 퍼미언스가 가장 작을 때부터 가장 클 때까지의 회전자의 위치

Fig. 3 Alignment of rotor position step 0~6

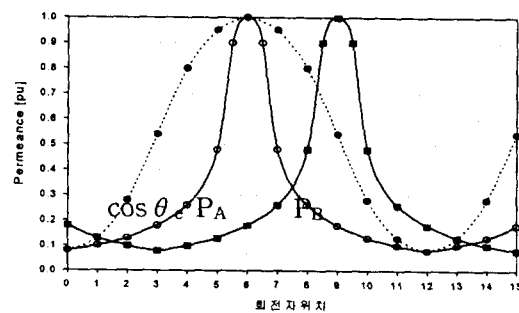


그림 4 회전자 위치시스템에 따른 퍼미언스

Fig. 4 Permeance curve vs. rotor position step

표 1 기계의 기하학적 치수

Table 1 Geometrical dimension of machine

극수 p	12
회전자 직경(mm)	12
회전자 내경(mm)	7.4
회전자 극간거리(mm)	1.6
회전자 극의 면적(mm ²)	8.8 (한쪽 스택)
회전자 재질(ferrite)	B _r = 0.22T
공극(mm)	0.3
고정자 치(齒)폭(mm)	1.85
고정자 치의 길이(mm)	5.0 (한쪽 스택)
고정자 치면적(mm ²)	9.3
고정자재질	S 60

이 두 점에서의 퍼미언스의 차등값을 ΔP라 하면, 스택 B의 퍼미언스 그래프에서 ΔP가 0이 됨을 알 수 있다. 여기에서도 알 수 있는 바와 같이 전류의 변화가 있는 스택에서만 토크가 발생하고, 다른 스택에서는 토크가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

P₁ 및 ΔP의 값을 계산하면 다음과 같다.

$$1P_{pu} = 0.4 \mu H$$

$$P_1 = 0.18 \mu H$$

$$\Delta P = (0.6)P_1 = 0.1 \mu H$$

실제에 있어서는 기계의 퍼미언스 곡선이 코사인값으로 나타나지 않고 그림 4와 같은 고조파를 함유한 곡선이므로 ΔP를 이용하여 토크식을 보다 현실에 접근한 값으로 나타낼 수 있고, 이는 식 (12)를 이용하여 다시 쓰면

$$T = \frac{d^2}{\pi} F^2 \Delta P \tag{15}$$

와 같다.

2.4 등가회로

모터의 한 스택에서 쌍극당 공극자속을 유도하기 위해 한 자속의 등가회로를 나타내면 그림 5와 같고 이에 따른 공극자속 및 이의 근사식은 식 (16) 과 같다. 근사식은 R_y, R_t=0로 하였을 때이며, 그림 5의 자기저항명칭은 표 2와 같다.

$$\Phi_g = \frac{F_m}{2R_g + R_m} + \frac{F_c + F_m}{2R_t + 2R_g + R_m + R_y}$$

$$\Phi_g = \frac{2F_m + F_c}{2R_g + R_m} \tag{16}$$

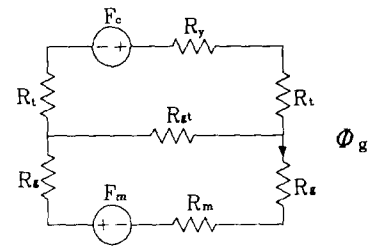


그림 5 한쌍 자극의 등가자기회로

Fig. 5 Equivalent magnetic circuit for magnetic pole pair

표 2 기호의 명칭

Table 2 Denomination of symbols

R _t	teeth의 자기저항
R _y	고정자 요크자기저항
R _{gt}	teeth와 teeth간의 자기저항
R _g	공극 자기저항
R _m	영구자석 자기저항
F _c	coil의 기자력
F _m	영구자석기자력
Φ _g	공극자속

한편, 등가기자력은 식 (16)에서 다음과 같이 유도된다.

$$F = R_g \Phi_g = \frac{2F_m + F_c}{2 + \frac{R_m}{R_g}} \tag{17}$$

여기에서 영구자석의 등가기자력 F_m 은 다음과 같다.[6]

$$F_m = \frac{0.85B_r}{\mu_0} \frac{A_m}{A_g} l_g \tag{18}$$

영구자석의 잔류자속의 변수(B_r=0.22t, 0.26t, 0.30t)로 한 코일의 권선수에 따른 기자력 및 식 (15)를 적용한 토크값(이론치)은 그림 6, 7과 같다. 여기에서 영구자석 한 자극의 자기저항 R_m = 144 [MA/Wb], 공극자기저항의 평균값 R_{g-mean} = 50 [MA/Wb]을 이용하였다.

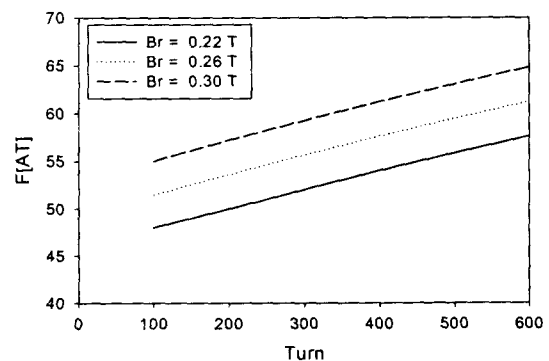


그림 6 잔류자속 변수에 대한 권선수 대 기자력

Fig. 6 Turn vs. mmf for remanence flux

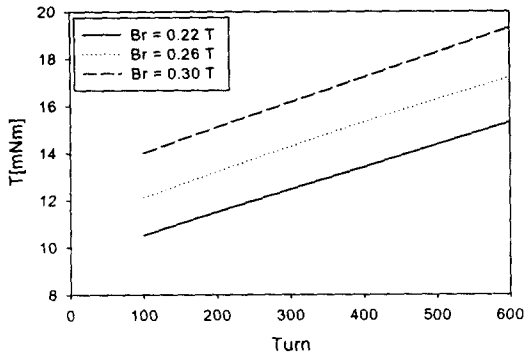


그림 7 잔류자속 변수에 대한 권선수 대 토크
Fig. 7 Turn vs. torque for remanence flux

2.5 동특성 해석

동특성 해석은 구동파형의 주파수에 따른 토크특성을 나타내는 것이다. 하이브리드 스텝모터의 경우는 여러 문헌에 소개되어 있으나[5], 영구자석의 재질 및 권선수 등의 변수를 반영하지 않아 Claw pole 스텝모터에 적용하기 부적절한 면이 있다. 영구자석의 재질과 권선수에 따른 등가자자력을 앞 절에서 구한바, 이를 활용하여 동특성 식을 유도한다. 이를 위해 다음과 같이 가정한다.

- 1) 공극의 퍼미언스는 회전자 위치각에 대해서 코사인곡선이다.
- 2) 공극 기자력 F는 ω 에 대해 일정하다. 코일에서의 유기기전력 e는 위 가정으로 다음과 같이 유도된다.

$$\lambda = \frac{p}{2} N \Phi_k = \frac{p}{2} N F P \quad (19)$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{p}{2} \omega N F (-P_1 \sin \theta_e) \quad (20)$$

유기기전력이 시간에 대해 사인파로 나타나면 유기기전력 e의 실효치는 식 (21)로 나타나며, 여기서 E는 한 스택당 유기기전력, N은 한 코일의 권선수이다.

$$E = \omega \frac{p}{2\sqrt{2}} N F P_1 \quad (21)$$

토크는 식 (12)를 적용하여 다음과 같이 유도된다.

$$T = \frac{4}{\pi} p \frac{F}{\omega N} E \quad (22)$$

이 식은 유기기전력 E가 인가전압과 같은 정현파 형태로 나타날 때 유효하다. 이때는 토크도 인가전압과 같은 cycle로 나타나는 경우이고, 토크 형성이 인가전압과 공진한다고 할 수 있다. 이 경우

에는 F 대신 F_c 로 쓸 수 있어, 위 식은 식 (23)과 같이 쓸 수 있다.

$$T = \frac{4}{\pi} p \frac{I}{\omega} E \quad (23)$$

식 (23)은 ω 의 진구간에 대하여 적용함에는 무리가 따르다. 왜냐하면 토크가 공진주파수를 넘어서면 정현파가 아니기 때문이다. 따라서 코일의 시지연 τ 및 이에 따른 유효전류로써 ω 에 대한 토크의 함수를 얻고자 한다.

한편 코일의 R, L에 의한 시지연 τ 를 감안하면 다음과 같다. 시지연 시간에 의해 일정한 전류가 흐르지 않는다고 생각한다. 한 스택의 턴 on time이 t_1 이라면 시지연 τ 만큼 전류가 적어진다는 결과가 된다. 시지연에 의한 전류를 I' 라 하면

$$\frac{I'}{I} = \frac{t_1 - \tau}{t_1} \quad (24)$$

가 되고, 이를 전류의 감소율(η)이라 하면 턴수에 따른 η 의 계산은 표 3과 같다. t_1 의 값은 100, 200, 300Hz 때 각각 5, 2.5, 1.7ms 이다.

표 3 코일의 제원과 전류감소율

Table 3 Specification and current decrease rating of coil

N	R[Ω]	L[mH]	I[A]	τ [ms]	η 100Hz	η 200Hz	η 300Hz
200	17.8	8.9	0.67	0.5	0.9	0.8	0.7
400	36.2	36.2	0.33	1.0	0.8	0.6	0.4
600	57.0	85.5	0.21	1.5	0.7	0.4	0.1

식 (17) 및 (18)을 이용한 기자력 계산 결과와 그림 7의 토크 계산 결과에 표 3의 전류 감소율 η 를 대입하여 주파수 변화에 대한 claw pole 스텝모터의 토크 특성을 계산한 결과를 그림 8에 나타내고 있다. Claw pole 스텝모터의 전체적인 특성은 주파수가 증가함에 토크가 감소하며, 특히 200 턴 스텝모터의 특성이 서서히 감소하는 것에 비하여 600 턴 스텝모터의 토크는 급격한 변화를 보이는 것을 알 수 있다.

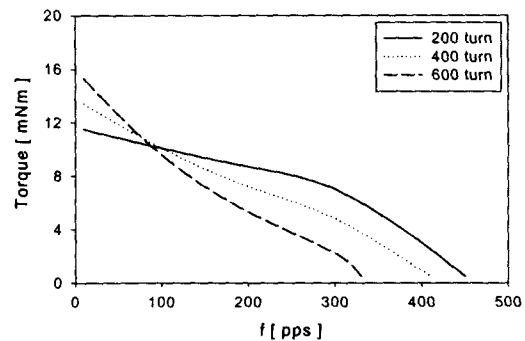


그림 8 턴수변화에 따른 주파수 대 토크 특성
Fig. 8 Frequency vs. torque curve for variation of number of turn

2.6 동특성 측정 및 고찰

권선수에 따른 동특성 측정을 위해 동일한 직경의 권선수가 다른 권선능 갖는 claw pole 스텝모터의 세 가지 샘플을 제작하여 실험하였다. 권선의 턴수에 따른 각 모터의 코일 저항과 인덕턴스 그리고 시정수의 값이 표 3에 나타나 있으며, 표 4는 모터의 제원을 나타내고 있다. 그림 9는 턴수에 따른 전류파형이며 여기에서 각 코일의 실제 시정수를 알 수 있으며, 각 모터에 대해 전압별 턴수별로 동특성을 측정 한 결과를 그림 10과 그림 11에서 볼 수 있다.

그림 10은 전압증가에 따라 토크특성을 보여주고 있으며, 토크영역이 전압에 따라 증가함을 볼 수 있다.

그림 11은 권선수 변화에 따른 토크 영역을 보여주고 있는데 그림 8의 계산결과와 비교하여 토크의 값이 약 50 pps 정도 좌측으로 이동된 형태를 나타내며, 이것은 각 구동주파수에서 비교할 때 전체적으로 약간 감소한 형태로 나타난다. 이것은 계산식에서 고정자 재질의 비선형성 및 eddy current loss와 기계적 마찰이나 고정자 자로의 미세공극의 존재 등을 자세히 고려하지 못함으로 인해 전체적으로 토크값이 작게 측정된다고 생각된다.

표 4 제작된 스텝모터의 제원

Table 4 Specification of step motor

형식	PM형 2상 12극
정격	12V
구동방식	bipolar방식
여자방식	2상여자방식
구동주파수	100pps
권선방식	unifilar

그림 12는 턴수 변화를 시정수 변화로 바꾸어 주파수 대 토크 특성을 나타낸 곡선이다. 시정수의 값이 적은 경우 고속영역에서의 토크 특성이 우수하였으며, 150pps이하 주파수영역에서는 턴수증가에 의한 기저력값의 우세로 턴수에 비례한 토크 특성이 이루어졌다.

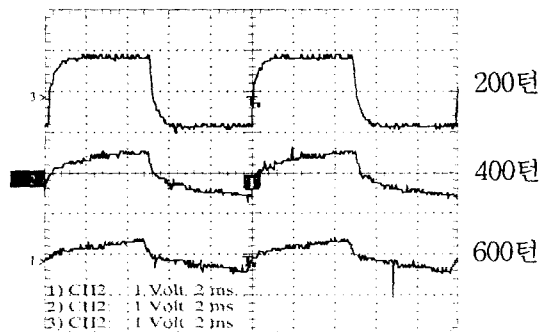


그림 9 턴수에 대한 전류파형

Fig. 9 Current wave of number of turn

각 모터에 대해 동특성을 측정 한 결과 이론치와의 신뢰성

을 얻었다고 생각되며, 이론적으로 계산 한 결과와 같이 저속에서는 권선수를 증가시키고 고속에서는 권선수를 줄여 시정수를 감소시킴으로써 토크영역을 개선할 수 있었다. 실험결과에서는 150 pps 부근에서 토크특성이 교차하는 gusr 상이 발생하며, 이것은 150 pps 이하의 영역에서는 600 턴의 모터가 150 pps 이상에서는 200 턴 모터의 토크 특성이 더 우수하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

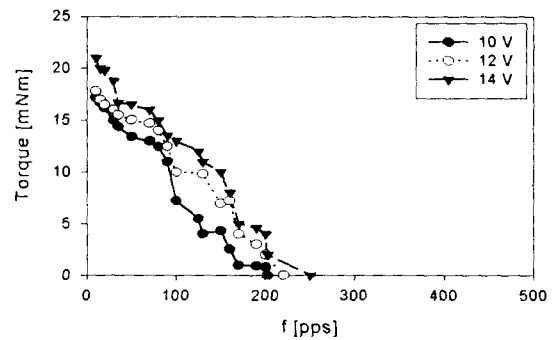


그림 10 전압 변화에 대한 주파수 대 토크 곡선 (0.22 T)

Fig. 10 Frequency vs. torque for voltage variation

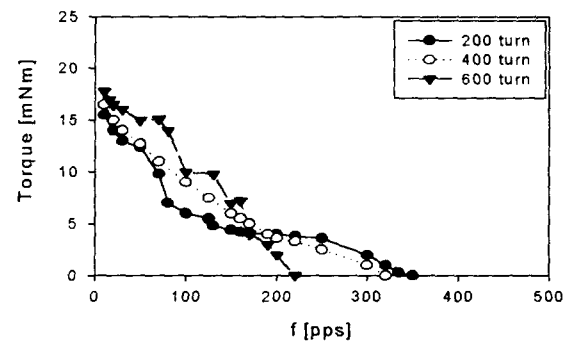


그림 11 턴수 변화에 대한 주파수 대 토크곡선(0.22 T)

Fig. 11 Frequency vs. torque curve for variation of number of turn

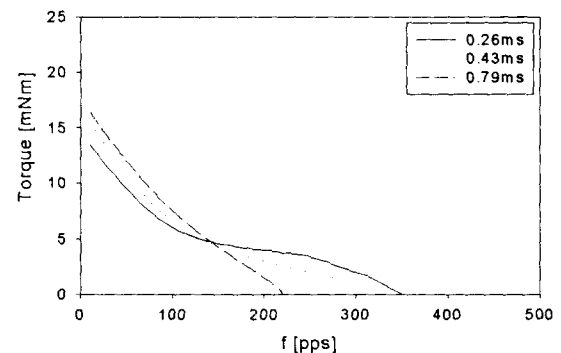


그림 12 시정수변화에 대한 주파수 대 토크곡선(0.22 T)

Fig. 12 Frequency vs. torque curve for Variation of time constant

3. 결 론

Claw pole 스텝모터의 한 스텝에서의 퍼미언스 변화를 활용하여 모터전체의 토크식을 유도하였고, 한 쌍의 고정자 치(齒) 자극의 등가회로를 이용하여 고정자 한 자극당 공극자속의 식을 유도 할 수 있었다. 수식의 신뢰성을 얻기 위해 세 가지 스텝모터 샘플에 대하여 동특성 시험을 수행하였고, 그 결과 이론상의 값과 실험치의 값이 비교적 근사하게 얻어져 토크식의 신뢰성을 얻었다고 사료된다. 제작된 세가지 샘플에 대한 동특성 시험의 결과는 150 pps 이하의 구동주파수를 가지는 모터의 경우 권선수 600 턴의 모터가 토크특성이 가장 좋으며, 150 pps 부근에서는 400 턴의 모터가 그리고 150 pps 이상의 영역에서는 200 턴 모터의 토크특성이 가장 우수하게 나타남을 확인할 수 있었다. 이것은 코일수가 달라짐에 따라 claw pole 스텝모터 코일의 저항치나 인덕턴스의 값들이 변하여 토크영역에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

이러한 결과를 고려할 때 Claw pole 스텝모터의 설계시에 구동 주파수를 고려하여 권선수가 반드시 고려되어야 할 것이고, 요구되는 토크에 적합한 권선의 설계가 필요하다. 따라서 claw pole 모터설계시 이러한 최적 권선수에 대한 고려가 필요함을 고찰 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 이병식, 스텝핑 모터의 활용기술, 세운, pp8, 1996
- [2] Takashi Kenjo, Stepping motors and Their Micro-processor Controls, Clarendon press · Oxford, 2 Edition, pp44, 1994
- [3] 김규택 외, "Idle Air Valve용 PM형 Stepping Motor의 특성해석" 대한전기학회 하계학술 대회 논문지, p88, 1994
- [4] A. M. Pawlak, "Static and dynamic analysis of Claw pole stepper motor with permanent magnet", Pro.13th Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, University of Illinois, pp134, 1984
- [5] D. C. Hanselman, Brushless Permanent-Magnet Motor Design, McGraw-Hill, Inc, pp54, 1994
- [6] Peter Campbell, Permanent magnet materials and their application, Cambridge University Press, pp91, 1994
- [7] Xintian Wang and Rolf Eichenwald, "Torque vs speed analysis and Simulation for PM Step Motors", Pro. 15th Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, University of Illinois, pp27, 1986
- [8] 김종철, "Claw pole 영구자석형 스텝모터의 수학적 모델링과 특성해석", 석사학위 논문, 경북대학교 전기공학과, pp7, 1999

저 자 소 개



공정식 (孔正植)

1965년 10월 27일생. 1988년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1993년~현재 서라벌대학 전기과 조교수.

TEL : 0561-770-3701

E-mail : kjslsj@sorabol.ac.kr



김종철 (金鍾哲)

1973년 5월 25일생. 1996년 경일대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 경북대 대학원 전기공학과 석사과정

TEL : 0333-618-2034

E-mail : newkjc@chollian.net

오철수 (吳哲洙)

전기학회논문지 48B권 7호 참조

TEL : 053-950-5603

E-mail : csoh@bh.kyungpook.ac.kr