

## 사각 고토포크 하이브리드 스텝모터의 설계 및 개발

최명중<sup>o</sup>, 정태경  
 중앙대학교 공과대학 전기공학과

### Design and Development of Rectangular Type High Torque Hybrid Step Motor

Myung Jong Choi and Tae Kyung Chung  
 Department of Electrical Engineering, Chung Ang University

#### ABSTRACT

Rectangular type hybrid step motor is designed to generate thirty percents higher torque than existing step motors. The torque for the motor is generated by the electromagnetic force at the air gap between the stator and rotor.

The generating torque is proportioned to the rotor volume, i. e. rotor diameter.

The main idea in this study is that the diameter of rotor is increased to generate more torque for the same overall motor size.

This motors are manufactured by varying the shape of the teeth width of the stator and rotor.

The optimum shape of the teeth is selected from the standpoint as smaller step angular accuracy.

#### 1. 서론

스텝모터는 입력펄스신호에 의해 게루우프 위치제어가 가능하므로 DA, FA 기기에 위치제어용으로 많이 사용되고 있다. 주로 사용되는 스텝모터는 영구자석(PM)형이고 고토포크, 고속응답이 요구되는 경우에는 하이브리드(HB)형이 많이 사용되고 있다. PM형은 HB형에 비해 구조가 간단하고 가격이 저렴하여 널리 사용되어 왔으나, 최근 레이저 프린터 등 컴퓨터 주변기기의 성능을 향상시키기 위하여 고속, 고토포크 스텝모터 즉 HB형 스텝모터가 다시 요구되고 있다.

본 연구에서는 같은 외형치수에서 약 30% 이상 증가된 고토포크 하이브리드 스텝모터를 설계, 개발하였다.

모터의 발생토포크는 공극에서 발생하는 힘과 회전자의 반경의 곱으로 표시된다. 즉, 회전자의 제적에 비례하게 된다. 이에 기존의 스텝모터의 외형치수를 그대로 두고 회전자 반경을 크게 하여 토포크를 크게 하는 방식을 고안하였다. 발생하는 토포크를 회전자의 반경에 대하여 구하고, 고정자의 권선 면적을 고려하여 최적의 회전자 반경을 구하였다. 스텝모터의 응답특성은 주로 고정자, 회전자의 치의 형상에 많이 좌우된다. 그러므로 여러가지 형상의 치의 구조에 대하여 모터를 실제 제작하였고 특성을 검토하였다.

본 스텝모터는 펄스당 1.8°씩 회전하고 고정자에 45°간격으로 8개의 pole이 배치되어 있다. 한 pole에 있는 치의 수를 기존의 5개에서 6개로 하여 보다 큰 토포크와 각도오차를 줄이도록 하였다.

#### II. 스텝모터의 설계 기준

설계의 목적은 주어진 성능이 발생하도록 치수를 결정하는 것이므로 우선 스텝모터의 설계기준이 될 수 있는 성능치가 무엇 인지를 명확히 할 필요가 있다. 자기동(自起動) 영역에서 스텝모터를 일정 pulse rate로 온,오프 운전하는 방식은 위치제어가 간단히 될 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다.

이 방식에 의한 스텝모터의 성능은 구동회로와 제어방식, 부하상태에 따라 성능이 크게 달라지므로 명확히 성능을 나타내는 어렵다. 그러므로 이들의 조건을 이상적인 것으로 가정하여 이론적인 성능을 결정한다.

#### II- 1. 최대기동 토포크 $\tau_m$

스텝모터의 pull-out 특성, pull-in 특성을 그림 1에 나타내었다 [1].

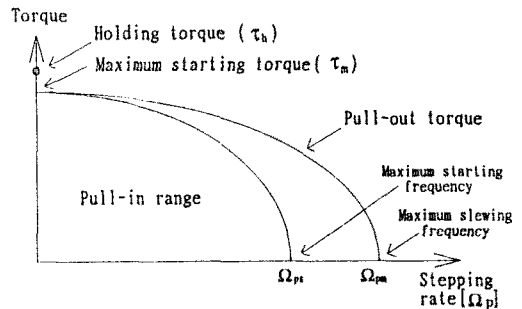


그림 1. 스텝모터의 동특성  
 Fig. 1. Dynamic characteristic of step motor

최대기동토포크  $\tau_m$ 은 10pps 이하의 pulse rate로 스텝모터를 구동 시킨 경우의 pull-in 기동 될 수 있는 토포크이고, 정지토포크  $\tau_h$ 에 대해  $\tau_m > \tau_h$ 라 한다. 최대기동토포크는 이상적으로 정지토포크  $\tau_h$ 를 진폭으로 하는 상수 m의 정현파의 평균치와 같다 [2].

$$\tau_m = \frac{m}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \tau_h \cos \theta d\theta = \frac{m}{\pi} \tau_h \sin \frac{\pi}{m} \quad (1)$$

여기서 m=4이면  $\tau_m$ 은 0.9  $\tau_h$  정도가 된다.

또한 그림 1의 동특성을 근사식으로 나타내면 다음과 같다 [3].

$$\tau(\Omega_p) = \tau_m \left\{ 1 - \left( \frac{\Omega_p}{\Omega_{ps}} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

## II- 2. 최대자기동주파수 $\Omega_{ps}$

최대자기동주파수  $\Omega_{ps}$ 는 무부하상태로 외부로부터 주어진 구동 펄스 신호에 동기해서 기동, 정지가 가능한 최대 pulse rate 이다.

기본 스텝각을  $\theta_p$ 로 하면 모터의 최대운동에너지는  $\frac{1}{2} J_m \theta_p^2 \Omega_{ps}^2$  이므로 이것을 pull-in 식과 같이 놓으면 다음식으로 된다.

$$\int_0^{\theta_p} \tau_h \sin \frac{2\pi}{\theta_p} \theta d\theta = \frac{1}{2} J_m \theta_p^2 \Omega_{ps}^2$$

따라서 위의 관계에서  $\Omega_{ps}$ 가 구해진다.

$$\Omega_{ps} = \sqrt{\frac{2m\tau_h}{\pi J_m \theta_p}} \quad (3)$$

기본 스텝각  $\theta_p$ 는 회전자의 teeth 수를  $p$ 로 하면

$$\theta_p = \frac{2\pi}{mp} \quad (4)$$

로 되므로 이것을 식 (3)에 대입하면 다음식과 같이 된다.

$$\Omega_{ps} = \frac{m}{\pi} \sqrt{\frac{p\tau_h}{J_m}} \quad (5)$$

스텝모터의 특성은  $\tau_h$ 와  $\Omega_{ps}$ 를 알면 식(2)에 의해서 구해진다. 뒷 식들로부터 스텝모터의 성능을 결정하는 기본 파라메타는  $\tau_m$ ,  $\tau_h$ ,  $m$ ,  $p$ 임을 알 수 있다.

## II- 3. 스텝모터의 특성 analogy

스텝모터의 회전자의 직경을  $D$ , 축방향 길이를  $L$ 로 하면 회전자의 고정자에 대항하는 면적은  $\pi DL$ 로서 이것에 단위 면적당  $\sigma_h$ 의 접선응력이 주어지면 그 결과로서 최대정지토크  $\tau_h$ 가 발생한다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\tau_h = \sigma_h \cdot \pi DL \cdot (D/2) = \sigma_h \left( \frac{\pi}{2} \right) \cdot D^2 \cdot L \quad (6)$$

이  $\sigma_h$ 를 최대유지접선응력이라 한다. 공극부에 있는 치의 구조, 재질, 형상에 의해 결정되는 양이다.

결과적으로 설계의 목표는 주어진 조건에서  $\sigma_h$ 를 최대로 하는 것이다. 또한 직경  $D$ 를 크게 함으로써도 발생토크를 크게 할 수 있다.

한편  $\Omega_{ps}$ 와 직경  $D$ 는 반비례 관계가 됨을 알 수 있다. 즉 용량이 큰 모터는 최대자기동주파수가 작게 된다.

## II- 4. 스텝모터의 접선응력

스텝모터의 기본 치수는 식(6)에서  $\sigma_h$ 를 알면  $\tau_h$ 가 주어졌을 때  $D$ ,  $L$ 을 간단히 결정할 수 있다.

따라서 스텝모터의 설계의 기초는 각 치의 형상에 대해서  $\sigma_h$ 가 어느 범위의 값을 갖는지를 구하면 된다.

스텝모터의 회전자가 1극 피치 변위할 때의 모터의 1상분의 전자(電磁) coenergy의 변화로부터 1상분의 평균최대접선응력  $\sigma_{ph}$ 이 구해진다. 힘이 변위에 대하여 정현파분포를 한다고 가정하면 최대정지접선응력  $\sigma_{ph}$ 와의 관계는 다음식과 같이 된다.

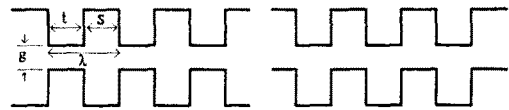
$$\sigma_{ph} = \left( \frac{\pi}{2} \right) \sigma_{pm} \quad (7)$$

## II- 5. 치구조 기기의 $\sigma_{pm}$

HB형 스텝모터에서  $\sigma_{pm}$ 과 teeth 구조의 관계를 보자.

그림 2와 같이  $\chi = \chi_2$ 의 위치는 회전자와 고정자의 teeth의 중심이 완전히 일치한 경우이고,  $\chi = \chi_1$ 의 위치는 고정자의 치가 회전자의 치와 완전히 엇갈린 경우이다.

코아의 단위길이당 1피치당 퍼어미언스를 각각  $p_2, p_1$ 으로 한다.



$$\chi = \chi_2$$

$$p = p_2$$

$$\chi = \chi_1$$

$$p = p_1$$

그림 2. 치형의 구조와 상대위치

Fig. 2. Structure of teeth and relative position

변위를  $\chi_2 - \chi_1 = \lambda/2$ 로 할 때 발생하는 최대전자 코에너지 변화는

$$\Delta E = \frac{1}{2} (B_s)^2 \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right) \quad (8)$$

이고 여기서  $B_s$ 는 철심의 최대포화 자속밀도이다. 이것으로부터 최대접선응력은 다음과 같다.

$$\sigma_{pm} = \Delta E / (\lambda^2 / 2)$$

$$= B_s^2 \cdot (t/\lambda)^2 \cdot \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right) \quad (9)$$

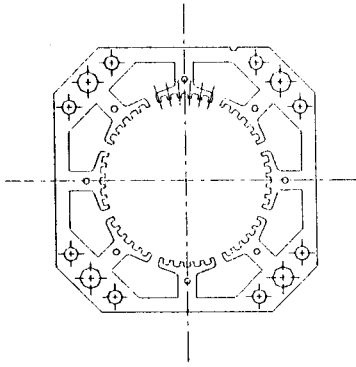
결국 최대접선응력은 식(9)에서와 같이 teeth의 구조와 공극의 길이에 관계된다.

## III. 시험 설계, 제작

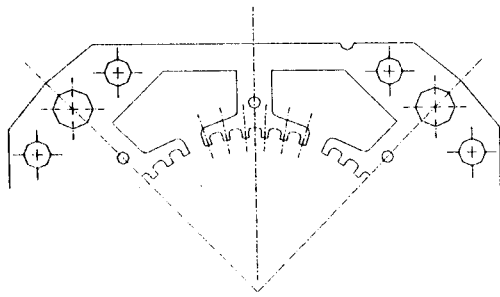
본 연구에서 설계 제작한 사각형 스텝모터는 그림 3과 같다.

자석은 Nd-Fe-B자석을 사용하였고 자석의 두께는 3mm이다. 공극은 0.05mm, 4쌍, bifilar 권선이고, 스텝각도 1.8°, 각도 오차  $\pm 5\%$  이하이다. 이 경우 고정자, 회전자 teeth의 크기를 변화시켜 가면서 측정할 결과가 표 1에 나타나 있다.

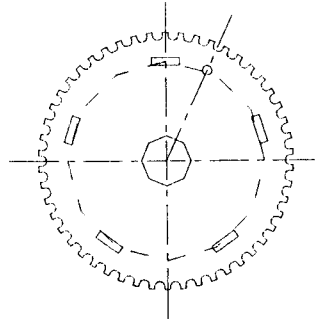
그림 3에서 특이한 것은 한 pole의 teeth의 수를 6개로 하여 발생토크를 크게 하였고 각도 오차를 줄일 수 있도록 하였다.



(a) 고정자



(b) 고정자 상세도



(c) 회전자

그림 3. 사각고토표오코 스텝모터.

Fig. 3. Rectangular type step motor.

#### IV. 결론

본 연구에서는 스텝모터의 토크를 증가시키기 위하여 스텝모터의 외형치수를 그대로 하고 회전자의 반경을 크게 함으로써 발생하는 토크를 증가시킬 수 있었다.

발생되는 토크 특성은 회전자와 고정자의 치의 형상에 크게 좌우되는 것을 알 수 있었다. 또 회전자 반경이 커지므로 고정자 pole의 면적이 넓어져서 teeth의 수를 6개로 하여 토크를 증가시키고, 각도오차를 줄일 수 있었다.

#### V. 참고문헌

1. T.Kenjo, Stepping Motors and their microprocessor controls, Rendon Press, Oxford 1984.
2. 秋山 勇治, 소형(小型)모터 설계 매뉴얼, Torigepus, 1985.
3. Kuo, Theory and Application of Step Motors, West Publishing Co, 1974.

표. 1 스텝모터의 실험 결과.

Table. 1 Experimental results of step motor.

Model	Inductance (mH)	Hold. Torq. (gf. cm)	최 대 자기동주파수 (pps)	Pull-out Torq. 2000pps	coil Diameter (mm)	Rotor teeth width (mm)	Stator teeth width (mm)
A - 1	6.57 - 6.76	1606	2810	873	0.19	0.58	0.6
A - 2	6.25 - 6.49	1395	2600	780	81 T	0.58	0.6
B - 1	6.23 - 6.77	1488	2660	835	0.18	0.58	0.6
B - 2	6.88 - 7.04	1366	2717	855		0.65	0.6
B - 3	6.65 - 7.2	1320	2827	870	81 T	0.7	0.6
B - 4	6.11 - 6.82	1415	2700	903	0.18	0.58	0.65
B - 5	6.32 - 7.02	1347	2740	858		0.65	0.65
B - 6	6.45 - 7.24	1352	2623	830	81 T	0.7	0.65
B - 7	6.41 - 6.93	1425	2797	888	0.18	0.58	0.7
B - 8	6.65 - 7.21	1374	2760	870		0.65	0.7
B - 9	6.85 - 7.26	1378	2738	844	81 T	0.7	0.7
C - 1	8.57 - 9.1	2005	3233	1195	0.2	0.58	0.6
C - 2	8.56 - 9.3	1878	3183	1205		0.65	0.6
C - 3	8.87 - 9.66	1834	3197	1201		94 T	0.7
D - 1	9.45 - 10.06	2144	3320	1309	0.19	0.58	0.6
D - 2	9.86 - 10.37	1994	3350	1314		0.65	0.6
D - 3	10.1 - 10.55	2058	3350	1307		98 T	0.7