

고 토크형 Hybrid PM 스텝모터의 최적설계를 위한 특성해석

이태화\*    공정식\*\*    오철수\*  
\*경북대학교 전기공학과    \*\*서라벌대학

Characteristic Analysis of High Torque Hybrid PM Step Motor for the Optimum Design

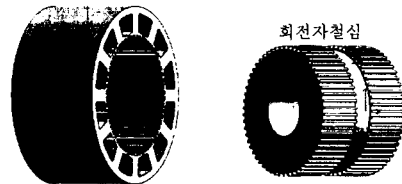
Tae-Hwa Lee\*    Jeong-Sik Kong\*\*    Chul-Soo Oh\*  
\*Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ    \*\*Sorabol College

**Abstract-** This paper deals with the effect of rotor thickness variation and winding method in high torque hybrid Permanent Magnet(PM) step motor. As these parameters vary, The flux distribution in airgap and torque characteristics are influenced, which is related to output power, efficiency and cost.

These parameters and characteristic variations were evaluated by using Finite Element Method (FEM) and experiment method.

From these results, Characteristic analysis for the optimum design was studied and prototype motor was made to test performance analysis.

다. 이러한 구조로 스텝각을 줄일 수 있어 저속, 고 토크와 정밀한 제어가 가능하다. 사용된 영구자석은 IEC Code SI-1-5인 Ceramic 8이며 잔류자속  $B_r$ 이 385 mT이고 보자력  $H_c$ 가 235kA/m이다. 그림 2는 파치가 1/2, 1/3일 때의 권선도이고, 그림 3은 Hybrid PM 스텝모터의 자속 흐름을 나타낸다.



(a) 고정자    (b) 회전자  
그림 1. Hybrid PM 스텝모터의 형상

1. 서 론

스텝모터에 있어서의 최근의 동향은 영구자석 재료의 개발과 디지털 제어시스템의 발달로 영구자석을 회전자에 내장시킨 영구자석형과 Hybrid PM형이 그 사용의 주류를 이루고 있다.

그 중에서 하이브리드 스텝모터는 스텝각이 작고 자기 유지(Detent) 토크가 있고 토크 대 질량의 비가 크다는 장점으로 컴퓨터 주변기기, 사무용 기기, 가전기기, NC 장치 및 자동화 기기 등에 그 응용이 점점 확산되어 가고 있다.

Hybrid PM 스텝 모터의 회전자 철심의 직경을 크게 하여 치 수를 증가시키고 에너지 적인 큰 영구자석을 사용함으로써 스텝각을 줄이고 공극 자속의 크기를 증가시킬 수 있다. 그리고 권선법과 고정자 형상의 적합한 설계를 통해 슬롯당 도체 수를 증가시키고 교류 3상 전원으로 인가 전류를 조정하면 Hybrid PM 스텝 모터의 고 토크, 저속 운전이 가능하다.

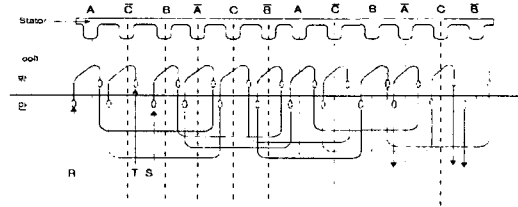
본 논문에서는 Hybrid PM 스텝 모터의 토크 발생원리와 회전자가 전기각 기준으로 이동하였을 때의 토크분포를 해석하고, 여러 파라미터의 특성해석 중에서 회전자 철심의 길이에 따른 공극의 자속 분포와 토크특성, 소비전력, 여러 파라미터의 변동을 비교 검토하여 최적설계를 위한 형상을 얻어내고자 한다

이러한 해석을 위해 자기등가회로 및 특성방정식을 유도하고 2D, 3D 유한요소해석법(FEM)을 이용하여 공극 자속 분포와 토크특성 시뮬레이션을 수행하였다.

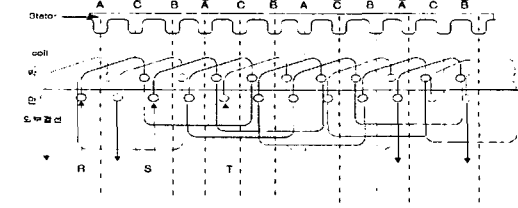
2. 본 론

2.1 Hybrid PM 스텝모터의 구조

본 논문에서의 Hybrid PM 스텝 모터는 통상의 직류 전원이 아닌 교류 3상 전원을 사용하고 속도 가변을 위해 인버터로 구동된다. 회전자는 그림 1 (b)에서와 같이 영구자석 양쪽에 회전자 철심 A, B를 배치하고 두 철심의 치배열을 전기각으로 180도 어긋나게 구성되어 있



(a) 1/3파치 권선도



(b) 2/3파치 권선도

그림 2. Hybrid PM 스텝모터의 권선도

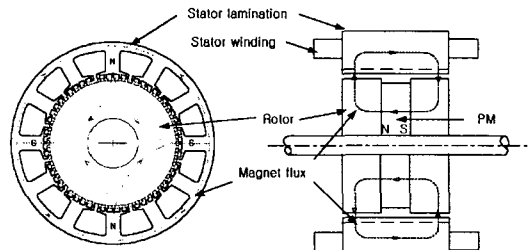


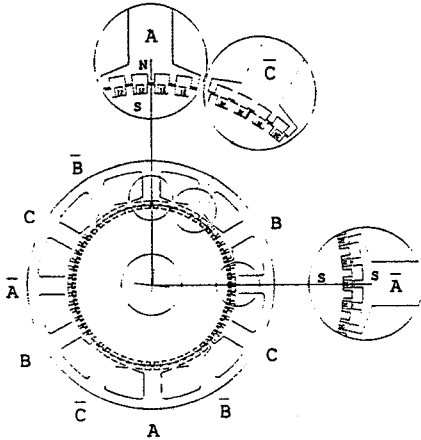
그림 3. Hybrid PM 스텝모터의 자속 흐름도

표 1. 해석모델의 제원

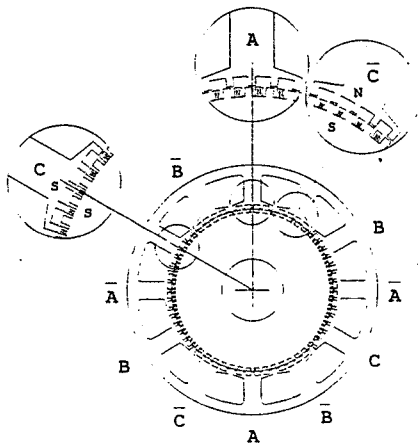
공급전압	220[V]
상수	3상
회전자 치수	58
고정자 치수	60
고정자 Salient 극	12극
고정자 극수	4극
고정자 외경	130[mm]
회전자 외경	80[mm]
고정자 내경	82[mm]
회전자, 고정자 치폭	1.8[mm]
회전자, 고정자 홈폭	3.1[mm]
스텝각	1.03°/step
영구자석 두께	14[mm]

## 2.2 동작원리

Hybrid PM 스텝모터는 고정자 Salient 극 둘레에 감긴 코일의 연속적인 여자, 회전자의 두 코어 사이에 있는 영구자석의 자기회로에서 공급되는 자계에 의해 회전 토크를 발생한다. 그림 4는 여자상황에 따라 회전자가 1.03°의 스텝각으로 동작하는 원리를 나타내고 있다.



(a) A상이 여자된 경우



(b) C-bar상이 여자된 경우

그림 4. 회전자 한 Step 진행에 따른 여자상황

A상이 여자 되어 자극이 N극으로 자화 되었을 때, 그림 4의 (a)와 같이 S극의 극성을 가진 회전자의 치와는 정지상태(Detent)를 유지한다.

다음 단계로 C-bar가 여자되면 A극의 오른쪽에 위치한 C-bar 극은 N극이 되어 그림 5의 (b)에서와 같이 극의 치는 회전자의 S쪽 치와 맞물리게 된다.

이와 같이 A에서 C-bar로 여자하는 동안 회전자는 스텝 각만큼 반 시계 방향 즉, 여자방향과 반대로 회전하고 이러한 움직임이 연속적으로 일어나, 여자가 A → C-bar → B → A-bar → C → B-bar의 순서로 진행된다. 60Hz인 경우 한 스텝의 진행시간은 2.76ms 이며 회전수는 62rpm 이다.

## 2.3 등가회로 및 자기회로 해석

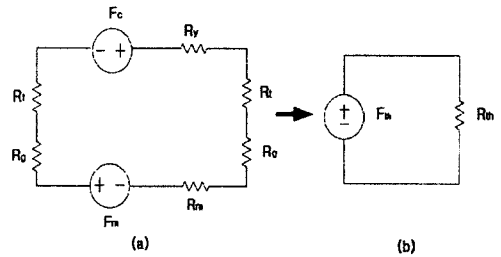


그림 5. 자기등가회로

각 상을 여자시킨 상태에서 외부토크 인가시 회전자 각도 변화와 파라미터 변동에 따른 토크 특성식을 유도 하기 위해서 먼저 공극을 통하는 자속 해석이 기본이 되어야한다.

해석모델의 자속 흐름을 통해 그림 5와 같은 등가회로를 작성하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

테브낭 등가 기자력

$$F_{TH} = F_c + F_m \quad (1)$$

테브낭 등가 자기저항

$$R_{TH} = R_y + 2R_t + 2R_g + R_m \quad (2)$$

전체 자속을 알기 위해 코일에 의한 자속과 영구자석에 의한 자속으로 나누어 표현 가능하다.

$$F_{th} = R_{th} \times \Phi_{th} \quad (3)$$

위식에서 공극을 통과하는 전체 자속  $\Phi_{th}$ 는 다음과 같다.

$$\Phi_{th} = \frac{F_{th}}{R_y + 2R_t + 2R_g + R_m} \quad (4)$$

식(4)는 고정자 극과 회전자의 극이 마주보고 있을 때의 최대 값이다.  $\Phi_{th}$ 는 공극을 통과하는 전체 자속이다.

표 2. 각 변수별 명칭

$R_t$	teeth의 자기저항	$F_c$	coil의 기자력
$R_y$	고정자 요크자기저항	$F_m$	영구자석의 기자력
$R_g$	공극 자기저항	$R_{TH}$	전체 자기저항
$R_m$	영구자석 자기저항	$F_{TH}$	전체기자력

## 2.4 FEM을 이용한 토크해석

전동기 설계와 공극의 자속분포 및 토크특성을 해석하기 위해 전체 전동기 면적의 1/4을 모델링하여 2D, 3D 유한요소해석법을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 6은 해석모델의 삼각요소 분할도이며, 그림 7는 해석결과를 바탕으로 회전자가 전기각으로 0도, 60도, 120도, 180도 회전하였을 때의 회전자 철심의 자속분포를 나타낸다.

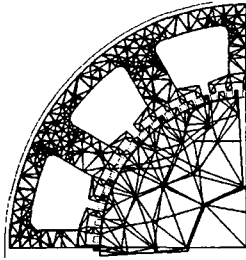


그림 6. 삼각요소 분할도

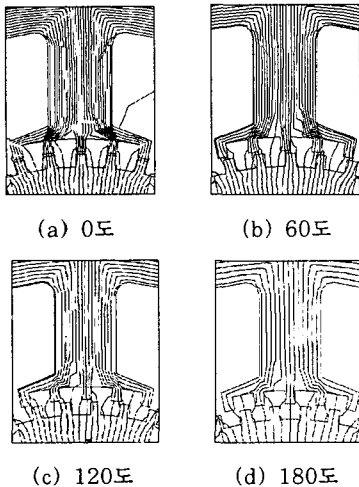


그림 7. 회전자의 회전에 따른 자속분포도

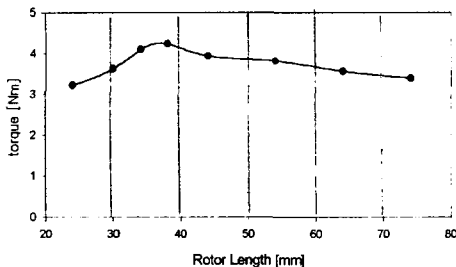


그림 8. 회전자 길이에 따른 토크특성곡선

회전자는 직경 74mm, 두께 14mm의 일정한 영구자석 양쪽에 A, B의 두 철심이 적층 되어있는 구조로 되어 있다.

이러한 구조의 양쪽 회전자 철심의 길이를 변화시켰을 때 공극의 자속 분포와 누설 등 여러 파라미터의 변동을 고려할 수 있다. 회전자의 길이를 24mm에서

74mm까지 증가시켰을 때의 전체 토크는 그림 8과 같다.

그 결과 A, B 회전자 철심이 각각 12mm 일 때 즉, 전체 회전자 길이가 38mm 일 때 가장 좋은 토크특성을 보이고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 교류 3상 전원으로 구동되는 4극, 스텝각 1.03°의 고 토크형 Hybrid PM 스텝모터를 위한 설계 및 특성해석을 수행하였다.

유한요소 해석법과 특성시험을 통해 특성 방정식과 동작원리, 자속 분포 등이 검토되었고 회전자 철심길이는 A, B 철심이 각각 12mm 일 때 최적인 것으로 해석되었다.

이를 바탕으로 회전자를 여러 스택 연결함으로써 수요에 적합한 고 토크를 실현할 수 있을 것으로 기대되고, 향후 권선방법과 회전자 철심길이 변화에 따른 여러 파라미터의 변동이 심도 있게 연구될 계획이다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 오철수, "자속회방향형 Hybrid PM Step Motor의 특성해석", 경북대 산업기술연구소 연구지 17권, pp93-101, 1989.
- [2] Benjamin C. Kuo, "Theory and Applications of Step Motor", West Publishing CO, pp.206-251, 1974.
- [3] Jacek F.Gieras, Mitchell Wing, "Permanent Magnet Motor Technology", Marcel Dekker, Inc, pp.325-351, 1997
- [4] Simyon Palmin, "Optimization of Steper Motor Performance", International Motor-Con, Intertec Co. Inc. pp.95-103, 1986.
- [5] Takashi Kenjo, "Stepping Motor and Their Micro-processor Controls", Clatendon Press, pp.93-125
- [6] Leander W. Matsch, J. Derald Morgan, "Electro-magnetic and Electromechanical Machines", John Wiley & Son, Inc, pp.486-489, 1987
- [7] B.C.Kuo, "Nonlinear magnetic circuit model and its application to static holding torque prediction of hybrid step motors", Pro. 15th Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, University of Illinois, pp.303-313, 1986
- [8] A.C.Leenhouts, "An Improved Model For The Hybrid Step Motor", Pro. 13th Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, University of Illinois, pp.157-161, 1984
- [9] P. C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", John Wiley and Sons, Inc. pp. 450-463, 1987.
- [10] K.J Binns, M.A. Jabbar, "Dynamic Performance of a Permanent Magnet Synchronous Motor", Conference on Small Electrical Machines, IEE, pp. 78-81, 1976
- [11] Peter Campbell, "Permanent Magnet Materials and Their Application", Cambridge University Press, pp.87-98, 1994