

디스크형 단상 스위치드 리럭턴스 모터의 공극 자속밀도의 3차원 해석

오영웅\* · 이종한\* · 이은웅\* · 우성봉\* · 김성종\* · 이민명\*\*  
 충남대학교\* · 대전산업대\*\*

3 Dimension Analysis of air-gap flux Disc-type Single Phase Switched Reluctance Motor

Ch Young Woong\* · Lee Jong Han\* · Lee Eun Woong\* · Woo Sung Bong\* · Kim Sung Jong\* · Lee Min Myung\*\*  
 Chungnam Univ\* · Taejon National Univ. of Technology\*\*

**Abstract** - This paper verifies that DSPSRM having the rotor pole of "1" shape has a radial and axial flux distribution, and analyzes the flux density distribution of each direction using 3D FEM.

시에 이용하여 자속 이용률을 높게 함으로서 에너지 밀도를 높일 수 있으면서 암페어 턴수를 줄일 수 있어 코일 동손을 줄일 수 있는 효과를 얻었다. [3] DSPSRM의 구조는 6개의 고정자/회전자 극으로 구분됨을 그림 2.1에 나타내었다. 특히 회전자 극의 구조에 있어서 그림 2.2와 같이 회전자 극면에 "1" 모양의 돌극을 갖도록 하여 축방향 자속과 방사방향 자속이 존재하도록 하였다.

1. 서 론

1840년대에 처음 선보인 리럭턴스 모터는 자기회로와 구동회로가 결합되어야만 구동이 가능하여 구조가 간단하고 견고한 등의 장점이 있음에도 불구하고 그 연구가 활발하지 못했다. 하지만 근래에 전력전자 기술의 발달로 리럭턴스 모터에 적합한 구동장치의 개발이 활발히 이루어지면서 현재 여러 산업 분야에서 실용화를 위해 노력하고 있다. 또한 현재 사용되고 있는 일반 회전기기는 방사상의 자속만을 이용하기 때문에 출력을 증가시키기 위해서는 축방향 길이를 증가시켜야 하므로 설치 공간에 대한 제한이 따른다. 그래서 FDD용 스피너 모터나 실링팬(ceiling fan)용 모터와 같이 축방향 길이가 짧을수록 좋은 경우를 위해 보다 효율적인 축방향 자속 기기에 대한 연구가 진행되고 있다. [1]

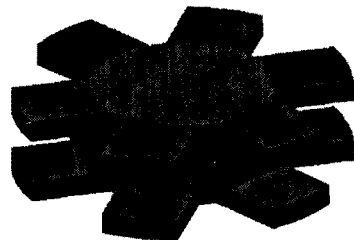
본 연구팀은 이와 같은 특성을 갖는 축방향 자속기의 개발을 위해 구동회로와 구조가 매우 간단하고 견고하며 회전자 극에 "1"모양의 돌극으로 만들어 방사방향의 자속뿐 아니라 축방향 자속도 이용하는 축방향 자속 디스크형 단상 스위치드 리럭턴스 모터(DSPSRM) 시작기를 제작하였다. [2] 이 DSPSRM은 돌극 구조에 따른 축방향 자속을 이용하는 만큼 같은 용량의 기기에 비해 축방향 길이를 줄일 수 있는 특징을 가지고 있으므로 축방향 자속과 방사방향 자속에 대한 해석이 매우 중요하다.

본 논문에서는 축방향 자속과 방사방향 자속이 동시에 존재하는 DSPSRM 시작기의 설계파라미터에 대해 3차원 유한요소법으로 자속분포를 해석하고자 한다.

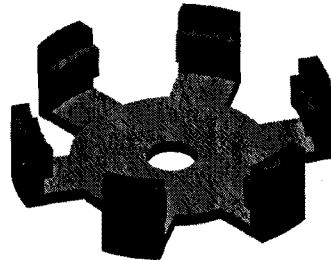
2. DSPSRM의 자속 분포 해석

2.1 DSPSRM의 구조

본 연구팀이 시작기를 제작하여 여러 특성을 규명한 바 있는 DSPSRM은 일반적인 SRM과 많은 외형상의 차이점이 있을 뿐 아니라 방사상 자속과 축방향 자속을 동



(a) 고정자



(b) 회전자

그림 2.1 DSPSRM의 구조

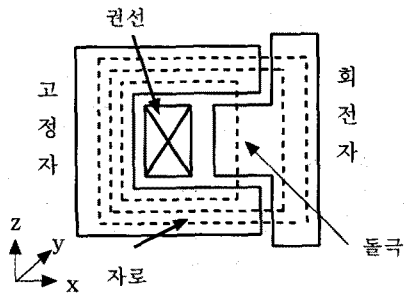


그림 2.2 회전자 극의 구조

## 2.2 DSPSRM의 자속 분포 해석

방사상 자속과 축방향 전류가 직교하는 일반 전기기기의 해석에는 주로 2차원 유한요소법을 사용하지만 DSPSRM은 방사방향 자속과 축방향 자속이 동시에 존재하는 복잡한 자기회로가 형성되므로 3차원 해석이 불가피하였다. 본 해석에는 Magnet 5.23으로 모델링하고 해석하였다.[4]

### 2.2.1 3차원 모델

그림 2.3은 DSPSRM의 고정자/회전자 한국만을 3차원으로 나타낸 것이다. 그리고 설계제작된 DSPSRM 시작기의 설계파라미터는 표1과 같다.

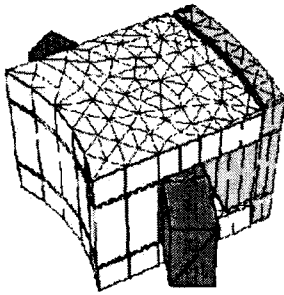


그림 2.3 DSPSRM의 해석 모델

표 1 시작기 설계파라미터

Item	Value/unit
salient pole length of rotor	8 [mm]
stator diameter	180 [mm]
stator axial length	46 [mm]
stator slot length	26 [mm]
air gap	1 [mm]
Mean Current	1.5 [A]
Windings	50 turn
Stator Poles	6
Rotor Poles	6

### 2.2.2 지배방정식

장자계 문제는 Maxwell 방정식에 의해 식(1)~(3)으로 나타내진다.

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

$$B = \mu H \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

전류 연속성으로부터 전류 벡터포텐셜 K를 정의하면 식(4)와 같다.

$$J = \nabla \times K \quad (4)$$

식(4)를 식(1)에 대입하여 정리한 벡터량을 새로운 자기스칼라포텐셜  $\Omega^*$ 로 정의하면 식(5)이 얻어진다[5].

$$H - K = -\nabla \Omega^* \quad (5)$$

식(5)를 H로 나타내어 식(3)에 대입하면 지배방정식(6)을 얻는다.

$$\nabla \cdot \mu(K - \nabla \Omega^*) = 0 \quad (6)$$

이 지배방정식(6)을 정식화하기 위해 Galerkin법을 이용하여 각요소에 대한 잔차  $R_{ei}$ 를 구하면 식(7)와 같다.

$$\begin{aligned} R_{ei} &= \int_v [N_i \nabla \cdot \{\mu(K - \nabla \Omega^*)\}] dV \\ &= \int_v [\nabla \cdot \{\mu(K - \nabla \Omega^*)\}] dV \\ &\quad - \int_v [\{\mu(K - \nabla \Omega^*)\} \cdot \nabla N_i] dV \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $N_i$ 는 형상함수이다.

식(7)의 우변 첫항에 대해 Gauss 정리를 사용하여 정리하면 식(8)과 같다. 경계조건을 적용하면 식(8)은 "0"이 되므로 잔차  $R_{ei}$ 는 식(7)가 된다.

$$\int_v [\nabla \cdot \{\mu(K - \nabla \Omega^*)\}] dV = \int_s N_i \mu(K - \nabla \Omega^*) \cdot n dS \quad (8)$$

$$R_{ei} = \mu \int_v [\nabla \Omega^* \cdot \nabla N_i] dV - \mu \int_v [K \cdot \nabla N_i] dV \quad (9)$$

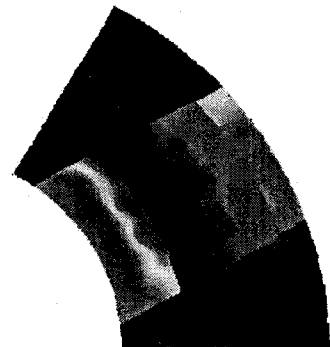
일차식으로 근사화시킨 자기스칼라포텐셜  $\Omega^*$ 을 식(9)에 대입하고 모든 요소에 대해 적용하면 식(10)과 같은 행렬식이 얻어진다.

$$[R] = \mu[S][\Omega^*] - [F] = 0 \quad (10)$$

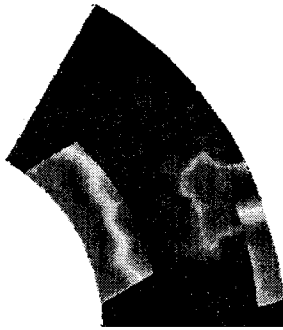
여기서, [S]는 계수행렬이고, [F]는 구동벡터이다.

### 2.2.3 자속 분포 해석

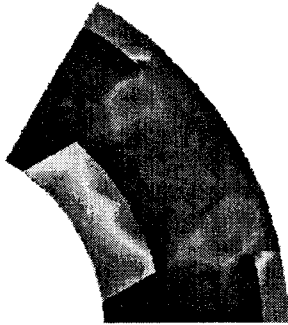
표1의 설계파라미터에 따라 설정된 모델을 가지고 고정자에 대한 회전자의 위치가 0°, 15°, 30°에서의 자속분포를 유한요소법으로 해석하였다. 그림 2.4는 회전자와 고정자에 위치에 따른 자속밀도 분포 해석 결과이고, 회전자의 돌극 부분에서 축방향 자속이 존재함을 알 수 있다.



(a) 자속밀도 분포, (위치 = 0°)



(b) 자속밀도 분포, (위치 = 15°)

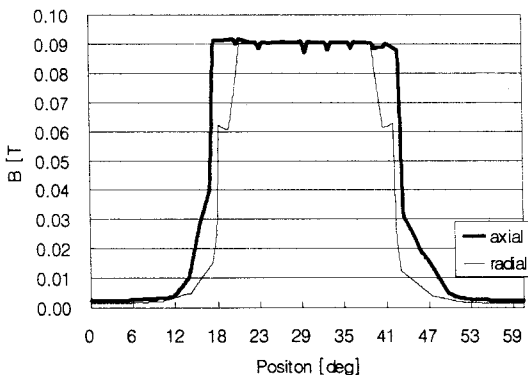


(c) 자속밀도 분포 (위치 = 30°)

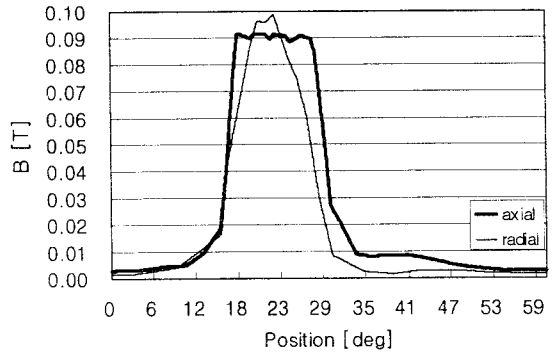
그림 2.4 고정자와 회전자 위치에 따른 자속밀도 분포 (z=11.5(mm))

그림 2.5는 회전자와 고정자의 위치에 따른 축방향과 방사방향 자속밀도분포이다.

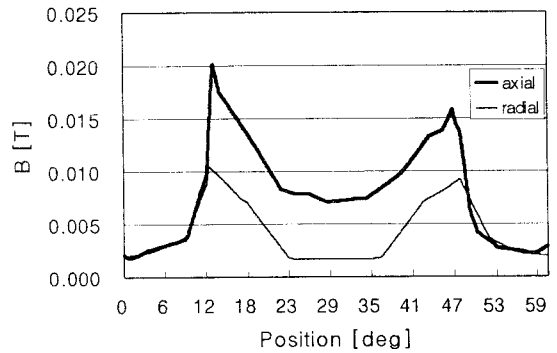
회전자극이 고정자 극과 일치하였을 때는 축방향 자속밀도가 방사방향 자속밀도에 약 1.1배로 거의 같고, 15° 회전하였을 때는 축방향 자속밀도가 약 1.29배의 크기를 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 고정자와 회전자의 위치가 30°일때는 축방향 자속밀도가 2배정도 크게 나타난다. 이와같이 DSPSRM의 출력은 축방향 자속성분의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.



(a) 고정자에 대한 회전자의 위치 0°



(b) 고정자에 대한 회전자의 위치 15°



(c) 고정자에 대한 회전자의 위치 30°

그림 2.5 한 순간의 회전자 위치에서 고정자 극사이의 중심을 기준으로 한 위치별 축방향 및 방사방향 자속밀도

### 3. 결 론

DSPSRM은 회전자극 구조에 의해 축방향 자속과 방사방향 자속이 동시에 존재하기 때문에 같은 용량기에서 축방향 자속이 존재하는 만큼 축방향 길이를 줄일 수 있음을 자속밀도 분포 해석으로 확인하였다. 그리고 DSPSRM 시작기의 설계파라미터에 대해 3차원 유한요소법으로 해석된 축방향과 방사방향 자속밀도분포는 고정자에 대한 회전자의 위치가 완전히 어긋난 30°에서 가장 큰 차이가 남을 확인하였다.

앞으로는 축방향 길이를 줄일 수 있는 최적의 설계파라미터 구하기 위해 회전자 극의 다양한 모델을 가지고 자속분포에 대해 해석을 하여야 할 것이다.

### [참고 문헌]

- [1] Wai S. Leung, James C.C.Chan, "A New Design Approach for Axial Field Electrical Machines", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-99, No.4, July/Aug. 1980
- [2] 이은용, 이종한, 조현길, 김성현, "디스크형 단상 스위치드 리턴스 모터의 기본설계", 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, pp.9-11, 1996.11
- [3] C.C.Chan, "Single-phase switched reluctance motors", IEE Proc., Vol.134, Pt.B, No.1, pp.53-56, January 1987
- [4] J.H.Lee, E.W.Lee, D.J.Lee, "Approximated torque characteristics of disk type single phase SRM by 3D modeling", ICEE, Kyung-Joo, pp. 13-16, 1998.7
- [5] P.Silvester, "Three-Dimensional Magnetostatic Field Analysis of Electrical Machinery by the Finite Element Method", IEEE Trans. Power Apparatus and system Vol. PAS-100 No.8, p. 4007 Aug.1981