

회전자 위치에 따른 디스크형 단상 SRM의 토크 특성 해석

이종한*, 오영웅*, 이은웅*, 이민명**
 충남대*, 대전산업대**

Torque characteristic analysis of Disk type Single phase SRM considering rotor position

Lee, Jong-Han*, Lee, Eun-Woong*, Lee, Min-Moung, Oh, Young-Woong*
 Chungnam National University*, TaeJeon Industrial university**

Abstract - Disk type single phase SRM (DSPSRM) has a specific property of axial flux machine and radial flux machine simultaneously. So, this DSPSRM has a complicated magnetic circuit and it is difficult to analyze characteristics. Therefore, in this paper, the design specification of DSPSRM was calculated based on conventional design theory of electric machine and analyzed by 3D FEM.

As the result of analysis, the approximated torque characteristics was obtained by finding the magnetic flux and energy distribution with the rotor position.

은 와류손을 감소시키기 위해 규소강판을 적층하고, 고정자극은 'C'자형태로 60°의 간격으로 알루미늄으로 된 지지기구에 각각 독립적으로 배치되어 있고, 회전자극은 고정자극과 같이 'I'자형태로 각각 독립된 극들이 알루미늄의 원통에 고정되어 있으며, 고정자 바깥쪽에서 회전하게 된다. 일반적인 SRM이 서로 다른 고정자/회전자의 극수비를 갖는 것과는 달리 고정자의 극수와 회전자의 극수가 6개로 동일하고 또한 권선이 고정자극들을 전체적으로 감싸고 있으며, 회전자극에는 권선이 감겨져 있지 않다. 그리고 단상 SRM의 기동문제를 해결하기 위해 고정자극에 전원이 off된후에도 일정한 위치에서 회전자가 정지하여 다음 기동이 가능하도록 정지용 자석(parking magnet)이 회전자를 덮고 있는 회전자 커버에 설치되어 있고, 회전자 위치에 따른 정확한 스위칭 동작을 위해 고정자극에 위치센서를 부착하였다.

1. 서 론

최근 눈부시게 발전하고 있는 각종 특수전동기의 개발과 함께 전력전자기술을 이용한 가변속 구동장치의 개발에 연구와 관심이 모아지면서 스위치드 리럭턴스 모터(Switched reluctance motor:SRM)에 대한 개발도 활발히 진행되고 있다. SRM은 개발 초기에 스위칭 문제와 이로 인한 불연속 토크 발생 등의 문제점 등을 갖고 있었지만 반도체 기술의 발달과 전자계 해석기술 등의 발달에 힘입어 현재는 여러 산업 분야에서 실용화를 위해 노력하고 있다.

본 연구에서는 여러 가지 장점을 갖는 SRM의 일종으로 축방향길이가 짧고 설치후 보수 유지가 용이하며, 수명이 보장되는 특수 목적에 적합한 디스크형 단상 스위치드 리럭턴스(Disk type single phase Switched reluctance motor: DSPSRM)에 대해 현재 전기기기 해석에 가장 많이 사용하고 있는 유한요소법을 사용하여 토크 특성을 예측하고자 한다. 특히, DSPSRM은 축방향 자속과 방사상 자속이 동시에 존재하여 타전동기에 비해 복잡한 자기회로를 구성하기 때문에 본 연구에서는 기존의 2차원 FEM보다 3차원 FEM을 통해 특성 해석을 시도하였다.

2. DSPSRM의 구조 및 구동원리

DSPSRM은 일반적인 SRM과는 달리 외형상 많은 차이점을 갖을 뿐 아니라, 방사상 자속과 축방향 자속을 함께 이용하는 특징이 있어 자속이용율을 높일 수 있다. 그림 2.1은 DSPSRM의 구조를 나타낸 것으로 고정자극, 회전자극, 권선으로 구분되며, 고정자극과 회전자극



(a) 회전자



(b) 고정자

그림 2.1 회전자와 여자권선이 감긴 고정자

DSPSRM의 구동원리는 그림 2.2의 그림과 같이 회전자극은 처음 기동시 일정위치에 정지된 상태로 있게 되며 권선에 여자전류가 인가되면 6개의 고정자극이 동시에 여자가 되고 회전자극은 가까운 쪽의 고정자극으로 끌려 자기저항이 최소가 되는 위치로 이동하게 된다. 이때 여자전류를 off시키면 회전자는 관성에 의해 계속 회전하게 되고 회전자극이 고정자극과 고정자극 사이의 중간지점(unaligned position)을 지나면 다시 권선을 여자시키고, 이와 같은 방법으로 연속적인 회전력을 얻는다.

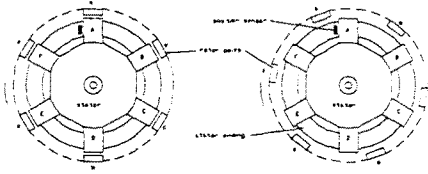


그림 2.2 DSPSRM의 동작원리

3. 3차원 유한요소법에 의한 DSPSRM의 해석

3.1 해석모델 설정

일반적으로 전기기기를 설계할 때에는 극수, 상수, 회전자 및 고정자 등의 각종 구조적인 요인과 사용하고자 하는 응용분야에 대한 특수성 등 여러 가지 설계에 따른 요구사항을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 DSPSRM이 구조적으로 일반 전기기기와 전혀 다른 형태를 갖기 때문에 기존의 설계 방법만을 적용할 수는 없지만 보편적인 설계이론을 참조하고, DSPSRM의 동작상의 특수성 또한 제작시 기계적 가공에 따른 문제점등을 고려하여 특성 해석과 시작기 제작에 필요한 설계 파라미터를 산출하였다. 표 2.1은 DSPSRM의 설계파라미터를 나타낸 것이다.

표 2.1 설계파라미터 설정

Item	Notation	Value/unit
Ratio of Pole arcs	$B_i/B_s, B_i/B_r$	1.3, 1.4
Pole shoe	t	8(mm)
stator axial length	L	46(mm)
stator slot length	l	26(mm)
airgap	g	1(mm)
stator diameter	D	225(mm)

3.2 3차원 모델링에 의한 해석모델 설정

DSPSRM의 '구조가 각각의 회전자극과 고정자극에 대해 공간적으로 주기성을 갖기 때문에 주기경계조건을 주

어 한 주기에 해당되는 영역만을 해석하여 전체의 특성을 파악할 수 있다. 이와 같이 주기경계조건으로 해석하면 2차원에 비해 미지수가 현저히 증가하는 3차원 해석에서 컴퓨터의 계산용량을 줄이고, 시간을 단축하는 잇점이 있어 매우 유용하다. 본 연구에서는 앞절에서 얻은 설계파라미터를 가지고 6개의 고정자극과 회전자극 중에서 여자된 2개의 고정자극과 이 사이에 놓인 한 개의 회전자극에 대해 주기경계조건을 주었으며, 또한 회전자극의 위치에 따라 고정자극과 정렬된 위치, 어긋난 위치 그리고, 고정자극과 정렬된 위치에서 각각 $15^\circ, 45^\circ$ 일 때의 4가지 위치에 대해 3차원 해석모델을 설정하였다. 그림 3.1은 회전자 위치에 따른 기준평면을 나타낸 것이다.

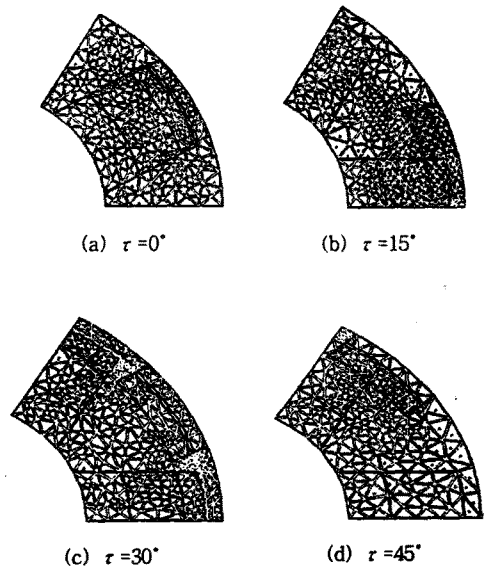


그림 3.1 기준평면에 대한 요소분할

3.3 유한요소 해석 결과

유한요소법을 사용하여 얻은 DSPSRM의 자속밀도분포 또는 실제 시작기의 제작에 따른 최적설계파라미터의 산출과 구동 및 제어회로를 위한 매우 기본적인 자료가 된다. 즉, DSPSRM의 회전자 위치에 따른 자속밀도의 변화를 해석함으로써 토오크의 예측과 구동시 특성을 향상시킬수 있는 자료를 얻게 된다.

본 연구에서는 회전자의 각 위치에 대해 입력조건을 50(AT), 100(AT), 150(AT), 200(AT), 250(AT), 300(AT)로 하여 해석하였다. 그림 3.2은 입력조건이 100(AT)에 대한 각 회전자 위치에서의 자속밀도분포를 나타낸 것이다.

또한 자속밀도 해석결과로부터 식 (3-1)과 식 (3-2)를 이용하여 자기수반에너지(magnetic co-energy) W와 가상변위의 원리를 이용하여 각변위 θ 에 대한 토오크를

구할 수 있다. 또한 그림 3.3은 회전자 위치에 따른 자기수반에너지의 분포를 나타낸 것이다.

$$W = 2 \int \left(\frac{1}{2} \nu B^2 \right) da - \frac{1}{2} \nu_0 \int (HdB) da \quad 3-1$$

여기서, ν : 자기저항율, ν_0 : 진공중 자기저항율
 B : 자속밀도, H : 자계의 세기

$$T(\theta) = + \frac{dW}{d\theta} \quad 3-2$$

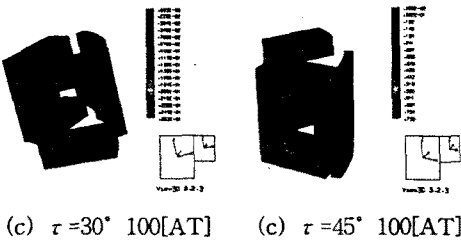
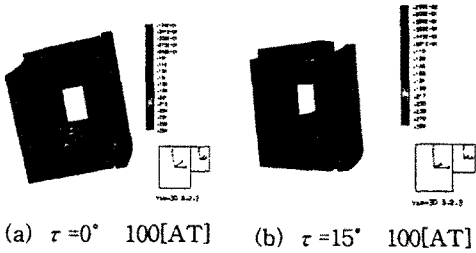


그림 3.2 회전자 위치에 따른 자속밀도 분포

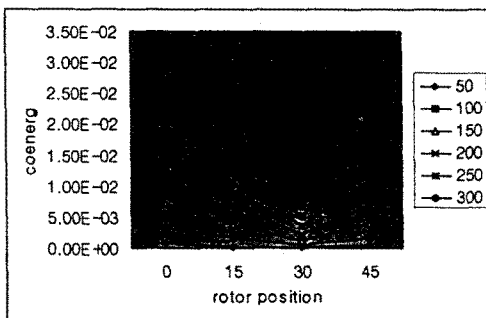


그림 3.3 회전자 위치에 대한 자기수반에너지의 변화

이상과 같이 얻은 해석결과로부터 회전자의 위치변화에 따른 에너지의 분포가 정현적이라고 한다면 식 (3-3), 식(3-4)를 이용하여 DSPSRM의 토크 특성을 예측할 수 있으며, 그림 3.4는 전류변화에 따른 회전자 위치에 대한 토크 변화를 예측한 것이다.

$$W = W_{avg} + W_p \cos(p\theta) \quad 3-3$$

$$\text{여기서, } W_{avg} = W_{min} + W_p, \quad W_p = \frac{(W_{max} - W_{min})}{2}$$

$$T(\theta) = -p W_p \sin(p\theta) \quad 3-4$$

따라서, 유한요소해석결과로부터 DSPSRM의 토크특성이 입력전류와 회전자 위치에 의해 결정됨을 알 수 있고, 회전자극이 고정자 극과 30° 일 때 자기수반에너지와 토크가 최소가 되고 이를 중심으로 대칭을 이루는 것을 알 수 있다.

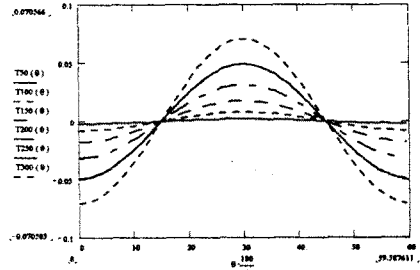


그림 3.4 전류변화에 따른 토크 변화 예측

5. 결론

본 연구에서는 간단한 구조에도 불구하고 DSPSRM의 자기회로는 매우 복잡하고 정확한 특성해석을 위해 3차원 유한요소법을 사용하였다. 설계과정에 의해 산출된 설계파라미터에 대해 회전자의 각 위치에 대해 3차원 모델링을 하고 여러 가지 입력조건을 사용하여 해석을 하여 회전자 위치 변화에 따른 자속밀도를 얻어내었으며, 이 결과를 바탕으로 계에 저장된 자기수반에너지 값을 계산해 내었으며, 또한 회전자 위치변화에 따른 토크 특성을 근사적으로 구하므로써 DSPSRM의 토크 특성이 회전자의 위치와 입력전류에 의해 결정됨을 알 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] C.C.Chan, "Single-phase Switched Reluctance Motors", IEE Proc., Vol.134, Pt.B, No. 1, pp.53-56, January 1987
- [2] 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.1998.7
- [3] 이은용, 이종한, 이동주, "3차원 유한요소법에 의한 디스크형 단상 SRM의 근사화된 토크 특성 대한전기학회 전기기기연구회 춘계학술대회 논문집, pp.88-90,1985
- [4] "MagNet 5.1 User Guide", published by Infolytica, 1995