2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

12/8과 6/4 스위치드 릴럭턴스 모터의 비교 : 노이즈 및 진동

최다운, 이 건, 손동혁, 조윤현
동아대학교 전기공학과

Comparison of 12/8 and 6/4 Switched Reluctance Motor : Noise and Vibration Aspects

Da-Woon Choi, Jian Li, Dong-Hyuk Son, Yun-Hyun Cho
Electrical Engineering, Dong_a University

Abstract - This paper compares and investigates the vibration and noise characteristics through simulations of 12/8 and 6/4 switched reluctance motors (SRMs). The radial force which is the main source of vibration is computed from two-dimensional(2D) transient magnetic finite element analysis (FEA) and compared in both time and frequency domain. Atthe same output power, the radial force of 6/4 SRM is found to be more than two times as that one of 12/8 SRM. Three-dimensional structural finite-element analysis (3D FEA) is used to study the mechanical characteristics. It can be concluded from static structural analysis that the maximum total deformation could be reduced to 1/26 if the motor is designed with 12/8 structure instead of 6/4. The dominant vibration modes are verified by modal analysis.

1. 서 론

SRM은 릴럭턴스 전동기로서 돌극형 구조를 가지며 구조가 간단하며 경제성 몇 효율이 높다. 이처럼 SRM 다양한 장점이 있지만, 전동기 구동 시에 기계적인 소음과 진동이 심하다는 단점이 있다. 기계적인 소음과 진동의 주요 원인은 고정자에 작용하는 경방향 힘에 기인한다.[1] 고정자의 경방향 진동은 스위치드 릴럭턴스에서 토크를 생산하는 메커니즘 때문에 발생한다. 이 경방향으로 발생하는 진동은 효율을 떨어트리는 요소이기도 하다. 본 논문에서는, 같은 부하 조건에서 6/4와 12/8 SRM의 radial force를 2D FEA를 사용하여 비교하였으며, 시간과 주파수 영역에서 비교하였다. 그리고 고정자 코어에 최대 radial force를 인가하여 두 가지 타입의 SRM을 분석하기 위해 3D FEA를 이용한 구조적인 분석을 하였다.

2. 본 론

2.1 전자기적 힘 해석

2.1.1 전동기 사양

두 타입의 전동기는 설계 및 제작 되었으며 이에 대한 자세한 설계 사양은 표1에 나타내었다. 두 타입의 전동기를 비교하기 위하여, stator outer diameter, stack length and rated torque은 같은 치수로 설계하였다. 그리고6/4 SRM의 Pole arcs 은 12/8 Pole arcs 의 2배가 됨을 확인할 수 있다.

2.2.2 Radial Foece 계산과 비교

과도 자계 2D 유한 오소 해석은 상용 프로그램 FLUX2D를 사용하여 수행하였다. 비교 분석을 하기 위하여 같은 출력을 가지는 3600rpm에서 시뮬레이션을 하였다. 자기력 밀도의 계산은 Maxwell Stress Tensor method를 사용하여 비선형적 특성을 해석한다. Maxwell Stress Tensor는 힘 분배를 정의하기 위해 종종 사용되어 진다.

공기와 폐곡면 Γ에 전체적으로 둘러쌓여 있는 어떤 체적 Ω에 작용하는 전체 힘은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$f = \nabla \cdot \tau \tag{1}$$

$$F = \int_{\Omega} f d\Omega = \int_{\Omega} \nabla \cdot \tau d\Omega = \oint_{\Gamma} \nabla \cdot \tau \cdot n d\Gamma \tag{2}$$

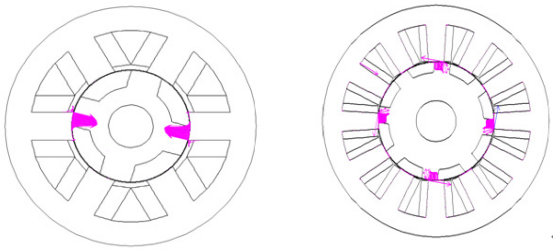
<표 1> Spec. of SRM Prototypes

Item	Prototype Ⅰ	Prototype Ⅱ
No. of phases	3	3
No. of stator/rotor poles	6/4	12/8
Stator outer diameter [mm]	135	135
Rotor outer diameter [mm]	63	68.8
Stator pole arc [degree]	30	15
Rotor pole arc [degree]	32	16
Air-gap length [mm]	0.3	0.3
Winding (turns per pole)	78	41
Ratedtorque [N.m]	3.60	3.64

$$f = \frac{1}{2\mu_0}(B_n^2 - B_t^2)\vec{n} + \frac{1}{\mu_0} B_n B_t \vec{t} \tag{3}$$

식(3)에서, 첫 번째 항은 폐곡면에서의 힘 분배에 대한 방사 요소를 나타내며, 두 번째 항은 힘 분배에 대한 주변 구성 요소를 나타낸다. 유한요소법에서, 식(2)는 각각의 모서리에 작용하는 전체 힘을 나타내기 위하여 각 부분을 적분한 것이다. 이 방법에서, 고정자의 코어 표면에 분배된 힘을 계산할 수 있다.

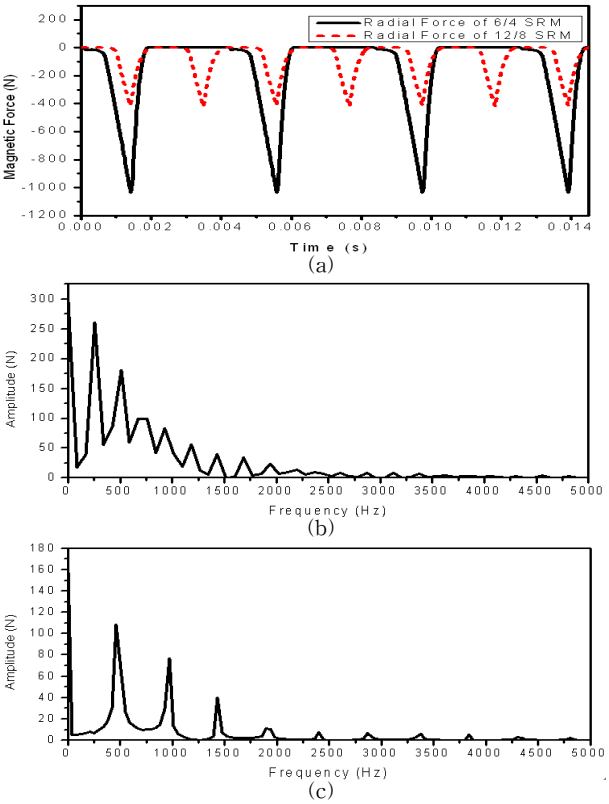
그림1은 고정자 표면에 작용하는 힘을 해석하였다. 이 힘은 경방향 힘과 접방향 힘으로 분류할 수 있다. 경방향 힘은 여자된 고정자 극의 축에 따라 고정자를 압박하는 작용을 한다. commutation은 상 자속 쇄교의 최대값과 연관되어 있기 때문에, 경방향 힘은 commutation 지점에서 최대값에 도달한다. 6/4 SRM은 한 상 여자가 될 때 2극을 사용하지만 12/8 SRM은 4극을 사용하여 힘을 발생 시킨다. 하지만 6/4의 자기압의 크기가 12/8 보다 더 크다. 하나의 고정자 극에 작용하는 경방향 힘은 FEA 결과들로부터 그림 2(a)에 나타내었다. 12/8 SRM이 1회전 할 때 1개의 여자된 고정자는 8개의 회전자 극이 통과하게 되고 6/4 SRM은 4개의 극이 통과하기 때문에 12/8에서 경방향 힘의 주파수는 6/4보다 2배이다.



<그림 1> 고정자 표면에 작용하는 자기적 힘

2.2 3D 구조적 유한요소 해석법

3D 구조적 FEA는 기계적 특성을 해석하기 위한 소프트웨어 ANSYS Workbench 11을 이용하였다. 3D 기하학 모델의 mesh를 그림3에 나타내었다.



<그림 2> (a) 6/4와 12/8 SRM 고정자 하나에 작용하는 경방향 힘. (b) 6/4 SRM 경방향 힘의 FFT 분석. (c) 12/8 SRM 경방향 힘의 FFT 분석

<표 2> Radial Force Harmonics Components

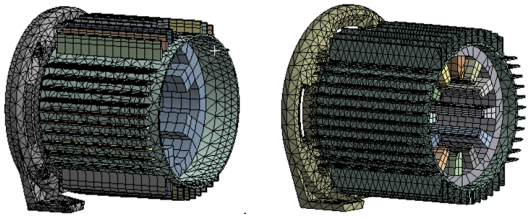
harmonics		기본계	2계	3계	4계
12/8	주파수	476	969	1434	1921
	크기	108.2	76.7	36.9	10.7
6/4	주파수	243	506	759	928
	크기	260.5	180.5	99.4	83.4

2.2.1 최대 Radial Force에서의 변형

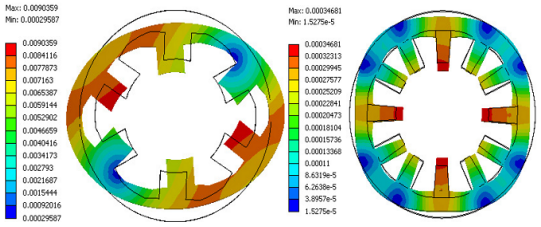
먼저, 최대 radial force에서의 전체 변형을 나타내기 위하여 상태 구조 분석을 하였다. 그림 4와 같이 각각 1080N과 400N을 2극 고정자 모델에 인가하였다. 6.4 SRM의 고정자 코어는 타원형의 형태로 변하였으며 최대 $9.04\times10^{-3}mm$ 변형하였으며, 12/8 SRM의 고정자 코어는 사각형의 형태로 변하였으며 최대 $3.47\times10^{-4}mm$ 변형으로 6/4 SRM에 비하여 작음을 알 수 있다. 따라서 6/4 구조 대신 12/8 구조의 전동기를 설계하게 되면 최대 변형을 1/26 저감 할 수 있다.

2.2.2 공진 주파수와 형상

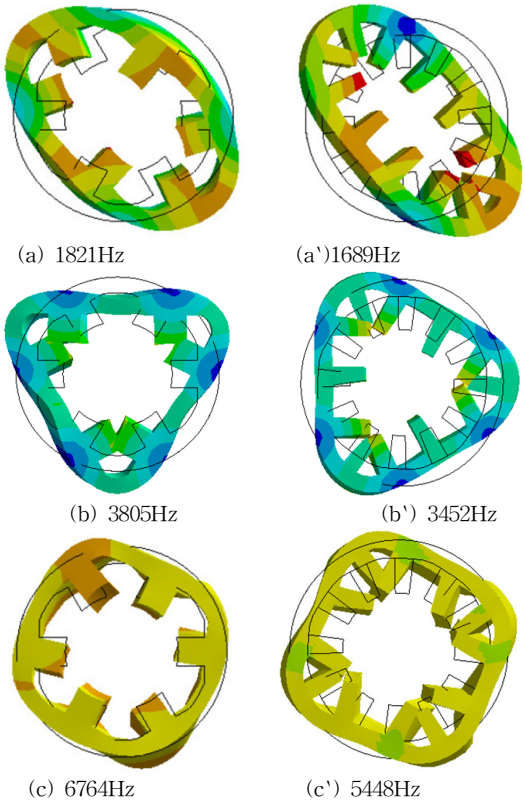
공진 주파수와 형상은 모델 분석을 이용하여 계산되어 질 수 있다. In-plane flexural 모드는 압력이 가하거나 구부러질때의 진동을 중시하며, Out-plane flexural 모드는 균형이 맞지 않거나 혹은 비정상 상태일 때를 중요시 한다.[3] 따라서 In-plane flexural 모드형상을 그림5(a)-(c)에 나타내었으며, 이 그림은 3가지의 주파수에 관련된 모습을 나타내고 있다. 공진 주파수는 6/4 구조 보다 12/8 구조에서 더 저감한다는 것을 볼 수 있다.



<그림 3> 3D geometry model



<그림 5> 구조적분석을 이용한 전체 변형



<그림 6> modal analysis로부터 공진 주파수와 형상

3. 결 론

본 논문은 12/8 SRM과 6/4 SRM의 진동과 소음 특성을 2D 과도 자계 유한요소법, 3D 구조적 유한요소법을 이용하여 비교하며 연구하였다. 진동의 주 원인인 radial force는 시간과 주파수 영역상에서 분석되었다. 비교 후, (1) 6/4 SRM의 radial force가 12/8 SRM 보다 같은 출력에서 2배 더 크다; (2) 12/8 구조를 설계 함으로 써 6/4 구조보다 최대 변형 정도를 1/26 로 줄일 수 있다; 이와 같은 결론을 내릴 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

[참 고 문 헌]

[1] D.E. Cameron, J. H. Lang, and S. D. Umans, "The origin and reduction of acoustic noise in double salient variable-reluctance," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 28, pp. 1250-1255, Nov./Dec. 1992.

[2] J. Li, I. J. Lee , M. J. Kim and Y. H. Cho, "Design and Analysis of Switched Reluctance Motor Working at Optimum Operating Point , " the 16th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, CD.

[3] P. Pillay and W. Cai, "An investigation into vibration in switched reluctance motors," IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 35, pp.589-596, May/June. 1999.