KIEE Summer Conference 2013

대한전기학회 제44회 하계학술대회

2013년 7월 10일 (수) ~ 12일 (금) 제주국제컨벤션센터

01. Home
02. 목차(Contents)
03. 저자색인
04. 검색(Search)

- 주최 : 대한전기학회
- 후원 : 산업통상자원부, 미래창조과학부, 제주특별자치도, 한국전력공사, 한국전기공사협회, 한국과학기술단체총연합회
- 협찬 : 2013 하계 협찬업체 / 전시회 참가업체

- EMP017 **SMC 재질을 이용한 IPMSM 특성 검토** [논문보기]
  김도진*, 채승희, 정영훈, 홍정표 (한양대)

- EMP046 **수냉식의 ISG 전동기의 열등가회로 해석** [논문보기]
  김규섭 (한양대), 정재우 (한양대), 박민로 (한양대), 홍정표 (한양대)

- EMP068 **유한요소해석에서 적층에 따른 고정자 기계적 이방성 물성치 고려 방법** [논문보기]
  김도영 (한양대), 박현진 (한양대), 홍정표 (한양대)

- EMP077 **유한요소 해석법과 등가회로 해석법의 결합에 의한 유도전동기의 특성해석** [논문보기]
  이수진 (한양대), 김지민 (한양대), 심재한 (한양대), 김동민 (한양대), 홍정표 (한양대)

- EMP078 **이방성 Nd-Fe-B 본드자석을 이용한 브러쉬리스 영구자석 동기 전동기 개발** [논문보기]
  김해중 (한양대), 김규섭 (한양대), 홍정표 (한양대)

- REP033 **육상 해상 풍력타워 리프트 개발에 관한 연구** [논문보기]
  김영수 (한국승강기대), 김창일 (한국승강기대), 이상훈 (한국승강기대), 홍정표 (동의과학대학), 이건복 (해성산전), 박종열 (해성산전), 권순재 (부경대)

유한요소해석에서 적층에 따른 고정자 기계적 이방성 물성치 고려 방법

김두영, 박현진, 홍정표
한양대학교

Method of Considering Mechanical Anisotropic Properties for Laminated Stator in FEA

Doo-Young Kim, Hyun-Jin Park, Jung-Pyo Hong
Hanyang University

Abstract - 본 연구에서는 적층을 통해 제작을 한 고정자의 기계적 이방성 물성치를 고려하기 위한 방법에 대해 연구하였다. 해석은 Ansys를 사용하여 수행하였고, 검토 대상은 6극 36슬롯 IPM 전동기를 이용하여 진행하였다. 기계적 이방성 물성치를 고려하기 위해 모드 시험을 통해 고유진동수를 파악하고 기존 알고 있는 등방성 물성치에 수식적으로 변화를 주어 유한요소해석을 통해 모드 시험 결과의 고유진동수를 맞추는 방법을 사용하였다. 산정된 이방성 물성치를 유한요소해석을 통해 고유진동수를 파악해 보면 실험값과 5% 내의 오차로 비교적 일치하였다.

1. 서 론

예로부터 전동기는 많은 산업분야에 유용하게 사용되어 왔다. 특히 최근에는 대기 오염에 따라 지구온난화, 이상기후 등 의 환경문제가 대두되면서 내연기관 자동차 배기가스의 오염물질 배출을 제한하는 규제들이 전 세계 각 국가에서 시행되고 있다. 이에 따라 자동차 업체들은 오염물질을 배출하지 않는 전기 자동차 개발에 심혈을 기울이고 있으며, 엔진을 대체할 동력기관으로 전동기를 선택하고 있다. 이렇게 인간의 삶에 더욱 밀접하게 전동기가 다가옴에 따라 전동기로 인해 발생되는 진동 및 소음에 대한 관심 또한 급증하고 있다.

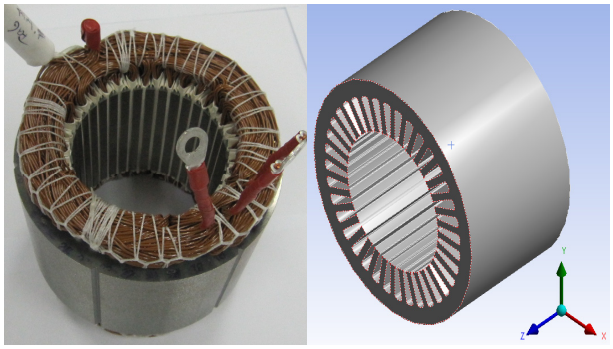
전동기에서 발생하는 진동 특성은 전자계와 기계적 영향이 서로 맞물려서 영향을 받는다. 특히 고정자 및 회전자는 철손을 감소시키기 위해 주로 적층으로 제작이 됨에 따라 전동기의 고유진동수가 변화하게 되고 진동 양상이 달라지게 된다. 또한 앞선 연구에서는 고정자 권선을 직접 모델링을 하기 어려워 이의 영향을 고정자 밀도의 변화로 반영하는 것이 가장 타당하다는 선행연구가 진행된 바 있다. 그리고 회전자의 경우 베어링의 영향으로 전동기 결합품의 고유진동수 특성에는 영향이 미미하다는 것도 선선행 연구된 바가 있다.

따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 통한 진동 분석시 적층에 따른 고정자 및 회전자의 기계적 이방성 물성치를 고려하기 위한 방법에 대해 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 전동기 모델

그림 1은 본 연구에서 사용된 고정자의 실제 사진 및 유한요소해석에 사용된 3D 모델이다. 일반적으로 회전자는 전체 전동기 결합품의 고유진동수 특성에는 영향이 미미하므로 이방성 물성치 산정에서는 배제하고 고정자만 수행하였다. 또한 권선은 모델링이 복잡하므로 선행연구 결과에 따라 고정자의 밀도를 조정하여 반영하였다. 표 1에서는 산정된 6극 36슬롯 전동기의 고정자 사양과 재질 및 권선의 영향이 반영된 기계적 물성치를 나타내고 있다.



<그림 1> 36 slot 고정자 형상

<표 1> 고정자 사양

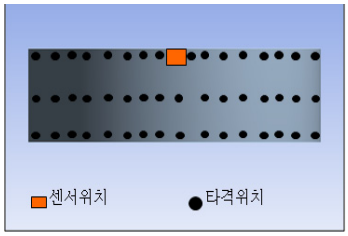
	6극 36슬롯 IPM 전동기 고정자
고정자 외경	64 [mm]
고정자 내경	36.5 [mm]
적층길이	80 [mm]
재질	35PN230
밀도	7600 -> 10475 [kg/m^3]
Young's Modulus	175 [GPa]
Shear Modulus	67.3 [GPa]
poisson's Ratio	0.3 [-]

2.2 기계적 이방성 물성치 산정

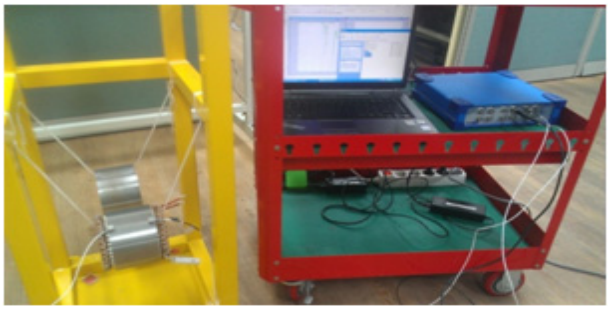
고정자의 기계적 이방성 물성치를 산정하기 위해서 우선, 모드 시험을 수행하여 각 모드 형상 별 고유진동수를 파악한다. 그 후 수식적으로 물성치를 조절해 가면서 모드 시뮬레이션을 이용하여 실험적 산정된 고유진동수와 비교한다.

2.2.1 모드 시험

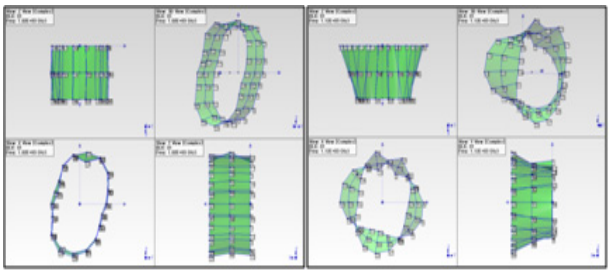
권선이 감겨있는 고정자의 고유진동수를 파악하기 위해 모드 시험이 선행되어야 한다. 실험 방법은 moving impact 방법으로 신호를 받는 센서의 위치를 고정시키고 타격을 가하는 위치를 변경하는 방법으로 실험을 하였다. 타격 위치는 4 모드 형상 까지 신뢰를 가져가기 위해 원주방향으로 32번 타격을 하였고 축방향으로 변화하는 모드 형상을 보기 위해 축방향으로 3번씩 타격을 하였다. 그림 3에 전체 모드 시험의 구성을 나타내고 있으며 타격 위치와 센서의 위치는 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용된 장비는 OROS를 사용하였고 센서는 가속도 센서를 사용하였다. 모드 형상은 ME' scope를 사용하여 나타내고 모드 형상과 각 고유진동수는 그림 4에 도시되어 있다.



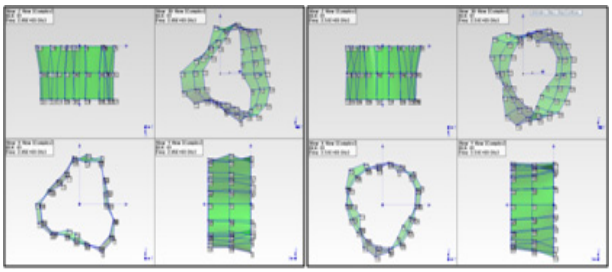
<그림 2> 센서 위치와 타격 위치



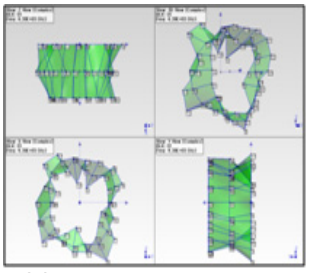
<그림 3> 모드 시험 실험 구성



(a) Radial 2 mode shape (b) Axial 2 mode shape



(c) Radial 3 mode shape (d) Axial 3 mode shape



(e) Radial 4 mode shape

	고유진동수[Hz]
(a)	970
(b)	1170
(c)	2590
(d)	2900
(e)	4360

〈그림 4〉 모드 시험 결과

2.2.2 Young's Modulus 와 Shear Modulus의 관계

등방성 물성치를 가지는 재질은 식 (1), (2)와 같은 성질을 가지고 있으나 이방성 물성치를 가지는 재질의 경우에는 식 (3)과 같은 특성을 지니고 있다. 적층을 한 고정자의 경우 식 (3)을 적용해 보면 기본적으로 전기강판 한 장은 등방성 재질이므로 x, y 축에 대해서는 같은 Young's Modulus를 가지고 z 축에 대해서 다른 Young's Moduls를 가지게 되므로 식 (4), (5)와 같은 성질을 지니게 된다. 여기서 x, y, z 좌표축은 그림 1의 우측에 표기되어 있다.

$$E_x = E_y = E_z = E \tag{1}$$

$$G_{xy} = G_{yz} = G_{zx} = \frac{E}{2(1+\nu)} = G \tag{2}$$

$$G_{ij} = \frac{E_i \cdot E_j}{E_i + E_j + 2\upsilon_{ij} \cdot E_j} \tag{3}$$

$$E_x = E_y = E \neq E_z = \alpha E \tag{4}$$

$$G_{xy} = G \neq G_{yz} = G_{zx} = \frac{E \cdot E_z}{E + E_z + 2\upsilon \cdot E} \tag{5}$$

여기서 좌표축의 방향은 그림 1우측에 도시한 방향과 같고 E는 Young's Modulus, G는 Shear Modulus, ν는 Poisson's ratio, α는 변화 비율을 나타낸다.

2.2.3 모드 시뮬레이션 결과 비교

모드 시뮬레이션에서 사용된 3D 모델링은 그림 1의 우측과 동일하고 물성치는 식 (4), (5)를 이용하여 α가 0.1~0.3까지 0.05단위로 변화할 때 모드 시뮬레이션을 수행하여 시험 결과와 비교하였고 오차율이 각 모드 형상별로 5% 내에 있는 물성치를 산정하였다. 표 2은 α 값 변화에 따

〈표 2〉 α 변화에 따른 모드 형상 별 고유진동수 비교

	실험치 [Hz]	0.1	0.15	0.2	0.25	1
(a)	970	973	974	977	978	1005
	-	0.3%	0.4%	0.7%	0.8%	3.6%
(b)	1170	1063	1134	1197	1253	1715
	-	-9.1%	-3.1%	2.3%	7.1%	46.6%
(c)	2590	2509	2514	2518	2523	2594
	-	-3.1%	-2.9%	-2.8%	-2.6%	0.2%
(d)	2900	2646	2745	2835	2917	3656
	-	-8.8%	-5.3%	-2.2%	0.6%	26.1%
(e)	4360	4164	4172	4180	4188	4308
	-	-4.5%	-4.3%	-4.1%	-3.9%	-1.2%

른 고유진동수 결과를 모드 시험을 통해 얻은 고유진동수와 오차를 비교해 놓은 것이다. 등방성재질로 해석할 경우(α=1) (b), (d)와 같은 Axial mode shape의 고유진동수 값 오차가 26.1%에서 최대 46.6% 까지 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 α 값에 따른 물성치의 변화가 수행되어야 한다. 결과적으로 표 2의 비교를 통해 각 mode shape 별 고유진동수의 오차가 5%내에 있는 α=0.2로 선택하였고 그때의 기계적 물성치는 표 3과 같다. 표 2의 경향으로 보아 z방향 Young's Modulus의 변화는 Radial mode shape에는 영향이 적으며 Axial mode shape에 지배적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

〈표 3〉 $\alpha = 0.2$ 고정자 물성치

$E_x = E_y$	175 [GPa]
E_z	35 [GPa]
ν	0.3 [-]
G_{xy}	67.3 [GPa]
$G_{yz} = G_{zx}$	22.4 [GPa]
Density	10475 [kg/m^3]

3. 결 론

모든 물질은 고유 성질로 고유진동수를 가지고 있으므로 유한요소해석을 통해 진동 분석을 할 때 적층으로 인한 이방성 물성치를 고려하기 위해 모드 형상 별 고유진동수를 맞추는 방법을 적용하였다. 연구에 사용된 6극 36슬롯 전동기의 경우 표 3 결과의 물성치를 가질 때 각 모드 형상 별 고유진동수의 오차가 5%내에 있었다. 또한 연구를 통해 일반적인 원통형 기기에서 앞면과 뒷면의 위상이 다른 Axial mode shape의 경우 z방향 Young's Modulus의 지배적 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 추후 Poisson's ratio를 방향별로 변화시켜 보다 정교한 물성치를 찾는 연구가 진행될 필요가 있다.

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(NIPA-2013-H0401-13-1008)

[참 고 문 헌]

[1] Linwei Wang, Heye Zhang, Pengcheng Shi, "Computational Complexity Reduction via Mode Superposition: Application to Biomechanics-based Nonlinear Cardiac Deformation Recovery", *IEEE International Conference*, 17th, pp. 4417-4420, 2010

[2] Zhangjun Tang, Pillay, P., Omekanda, A.M., Chen Li, Cetinkaya, C., "Macromodeling of the Electrostatically Actuated Circular Plate Based on Mode Superposition Method", *ICEMI, 9th*, pp. 459-464, 2009

[3] Ji Ying, Liying Xue, "Young's modulus for laminated machine structures with particular reference to switched reluctance motor vibrations", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, pp. 748-754, 2004

[4] Verma, S.P., Balan, A., "Experimental investigations on the stators of electrical machines in relation to vibration and noise problems", *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, vol. 145, pp.455-461, 1998