

영구자석 전동기 철심의 기계적 응력을 고려한 철손 해석

김지현*, 하경호*, 권오열*, 김재관*, 나민수**, 이선권**
 POSCO 기술연구원*, LG전자 HA 사업본부**

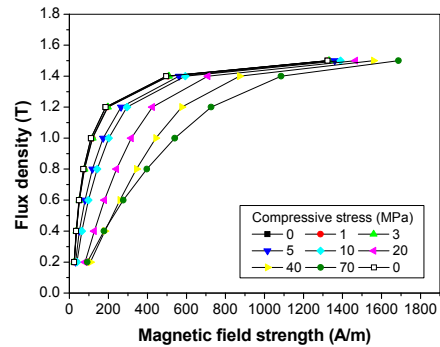
Core loss Calculation of a Permanent Magnetic Motor Considering Mechanical Stress

Ji-Hyun Kim*, Kyung-Ho Ha*, Oh-Yeoul Kwon*, Jae-Kwan Kim*, Min-Soo La**, Sun-Kwon Lee**
 POSCO Technical Laboratory*, LG Electronics Home Appliance Company**

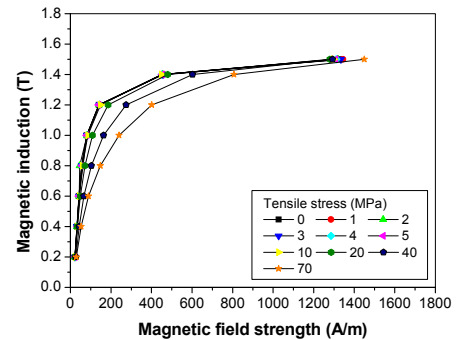
Abstract - Shrink fitting which is assembling process to fix stator core on the motor frame is widely used at the mass production line of motors because of cost and productivity. This process produces compressive stress on a stator core, which causes negative effect for example, core and copper losses on motor performance. Magnetic properties of electrical steel are effected by both compressive and tensile stresses.

Electromagnetic field analysis is considered one of the effective process since one can predict motor performance including core loss precisely. This method can consider non linear magnetic property with magnetic saturation which is typical electrical steel behavior. However this method is strongly depended on non linear magnetic data, one may have different calculation result whether considering mechanical stress or not.

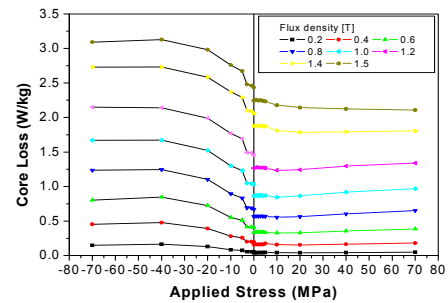
This study describes magnetic field analysis of a motor considering mechanical stress from shrink fitting. Analysis results are compared with each stress-free and stressed condition.



〈그림 1〉 압축응력에 따른 자화특성 변화



〈그림 2〉 인장응력에 따른 자화특성 변화



〈그림 3〉 기계응력에 따른 철손특성 변화

상을 확인할 수 있으며, 인장응력의 경우 무응력 대비 철손이 감소한다. 압축 및 인장응력에 따른 철손 변화는 고자장일 수록 더 뚜렷해진다.

2.2 전동기 철심의 기계적 응력을 고려한 철손해석

일반적으로 유한요소법에 의한 전자장 해석방법은 수치해석적 방법으로 등가자기회로법 대비 계산시간이 길어지는 단점이 있으나 전기장관의 비선형 특성뿐 아니라 기계적, 열적 특성을 고려한 연성문제를 해결할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 특히 국부적으로 포화가 심한 매입형 영구자석 동기전동기와 같은 모델의 전동기 설계 시 필수적인 방법으로 사용되고 있다. 전동기 철심의 기계적 응력을 고려한 전자장 해석 절차는 그림 4와 같다.

1. 서 론

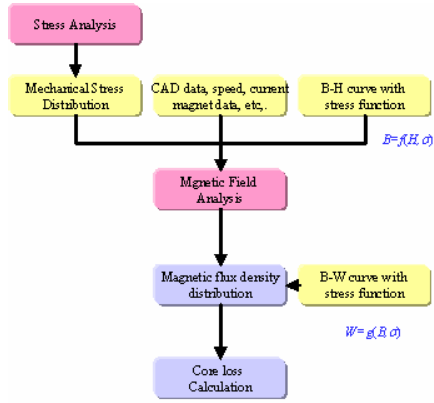
지구 온난화 및 에너지 고갈 등으로 인해 효율에 관한 관심이 증대되고 에너지 효율 법제화가 활발히 진행되고 있다. 가전분야에서 이를 대응하기 위해 고효율 유도전동기 및 인버터 전동기 등과 같은 고효율 전동기 개발을 진행 중에 있다. 무방향성 전기강판 (Non Oriented electrical steel: NO)은 전동기 제작시 절단, 펀칭, 조립, 적층, 열처리 등의 과정에서 기계적, 열적 응력에 의해 전기강판 자성열화로 전동기 성능이 저하될 수 있다. 특히 전기강판의 경우 압축 및 인장응력에 따라 자화 및 철손특성이 바뀐다. 가전용 전동기의 고정자를 프레임(Frame)에 고정하기 위해 일반적으로 열압입법(Shrink press fitting)을 사용하게 되는데, 열압입에 의해 전동기 철심 고정자에 원주 방향의 압축응력이 가해져 특성이 열화되는 것으로 알려져 있다[1].

현재 고정도의 전동기 특성 예측을 위해 유한요소법을 이용한 전자계 해석방법이 널리 사용되고 있다. 하지만 고정도의 해석을 위해 전자계 과정에서 필요한 자화특성(B-H) 및 철손해석에 필요한 철손(B-W)특성 조건에 따라 해석결과는 변하게 된다. 본 논문에서는 열압입에 의한 무방향성 전기강판의 응력을 고려한 전자장해석을 실시하여 압입조건별 고정자 철심의 철손 특성에 대해 고찰하였다.

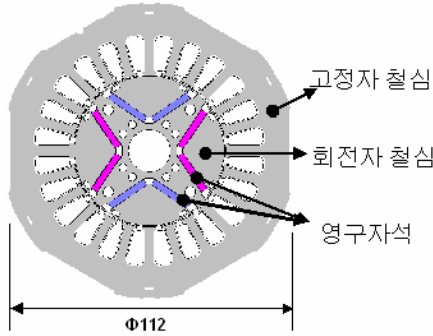
2. 본 론

2.1 무방향성 전기강판의 기계응력의 효과

무방향성 전기강판은 인장응력하에서 자화특성이 용이해지게 되는데, 이는 전기강판에 인장응력을 가하면 응력축에 수직으로 자화된 자구들은 높은 자기탄성에너지를 가지고 있기 때문에 이들 자구들의 부피가 감소하는 방향으로 이동이 된다. 이보다 더 큰 응력을 가하면 수직자구들이 완전히 제거되어 작은 인가자장으로 자화가 되기 때문이다[2]. 일반적으로 다결정 철의 인장효과는 1T를 초과하기 전까지 나타나지 않고 1.5T이상의 고자장에서 오히려 인장시 자화 특성이 열워되는 특성을 가진다. 압축응력의 경우 인장과 반대이며 더 큰 효과를 나타낸다. 그림 1, 2는 각각 무방향성 전기강판 35PN230을 압축 및 인장응력을 인가하여 얻은 자화특성 곡선이다. 시료의 경우 응력제거 도순을 실시하지 않고, 305×30mm의 압연방향의 Epstein시편을 이용하여 50Hz 교류자계하에서 측정하였다. 압축응력의 경우 자화특성이 인장응력이 증가함에 따라 급격히 열화됨을 알 수 있다. 인장응력의 경우 인장응력이 증가함에 따라 자화 특성의 개선이 미미하나 20MPa이상에서 열화가 진행된다. 압축 및 인장응력에 따른 철손 특성은 그림 3과 같이 압축응력을 증가시킬 경우 철손 특성이 서서히 증가하다 40MPa이상에서는 포화되는 현



〈그림 4〉 기계응력을 고려한 전자계 해석 절차



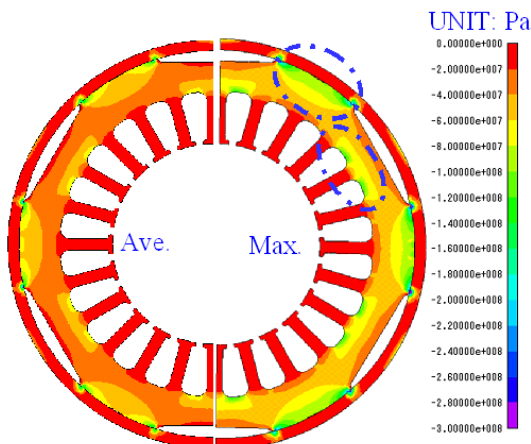
〈그림 5〉 해석모델 전동기 철심 외형도

〈표 1〉 응력해석을 위한 재료의 기계적 특성치

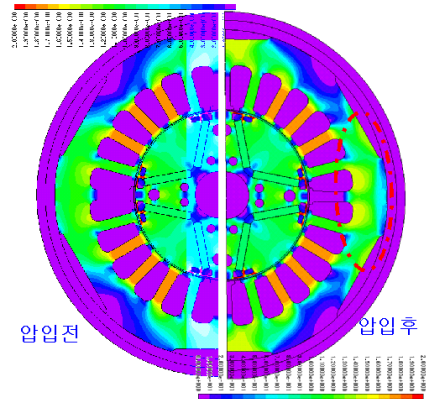
Material	Elastic modulus [Gpa]	Poisson's ratio	Density [kg/m3]
SCP1	207.4	0.31	7850
35PN230	161.45	0.31	7600

〈표 2〉 프레임-고정자 철심간 공차

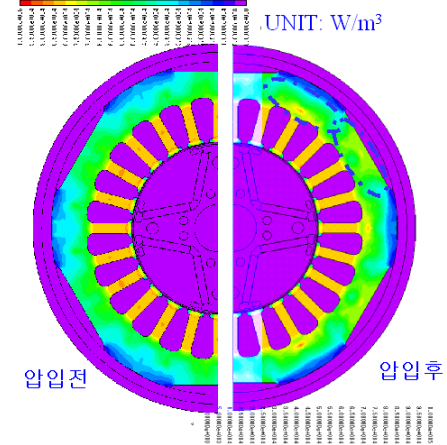
Inner dia. of frame [mm]	Outer dia. of stator [mm]	Clearance [mm]		
		Min.	Ave.	Max.
111.89~111.99	112.02~112.12	0.015	0.065	0.115



〈그림 6〉 응력 분포 해석 결과



〈그림 7〉 응력고려 전, 후 자속밀도 분포도



〈그림 8〉 응력 고려 전, 후 철손 분포도

해석모델은 1.3kW, 3600rpm 에어컨 컴프레서용 영구자석 동기전동기이며 외형은 그림 5와 같다. 응력 및 전자기장 연성해석을 위하여 필요한 특성치는 각각 표 1 및 그림 2, 3과 같으며 열압입시 고정자와 프레임 사이의 간격에 따라 고정자 철심의 응력이 바뀌게 되므로 표 2와 같이 공차별 해석이 필요하다. 응력영향을 고려한 전자기장 해석을 위해 우선 고정자 철심 및 프레임간 평균 및 최대 공차시 응력분포를 각각 그림 6의 좌, 우와 같이 계산하였다. 고정자 철심과 프레임이 직접 맞닿는 부분이 가장 높은 압축응력을 받고 있으며, 우측의 그림과 같이 공차가 가장 클 경우 철심 계철부 및 치와 맞닿는 부분에서 압축응력이 더욱더 크게 발생하게 된다. 고정자 철심에 압축응력이 가해지기 전, 후의 자속밀도 분포도를 7과 같이 나타내었다. 그림 8은 계산된 자속밀도 정보를 이용하여 응력 고려 전, 후의 철손밀도 결과로 압입후 고정자 계철 및 계철과 치가 만나는 부위에서 손실밀도가 높게 나타났으며, 압입 전, 후 철손의 크기는 평균 및 최대 공차에서 각각 1.46W (12.6%), 2.21W (19%) 증가하였다.

3. 결 론

무방향성 전기강판의 열압입에 의한 응력을 고려한 전동기 철심의 철손 해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 무방향성 전기강판은 압축응력의 크기에 따라 자화 및 철손특성이 변하게 되므로, 전동기 철심설계시 응력을 최소화하여 철손증가를 줄일 수 있다.
- ② 전동기 제조공정에서 응력을 분산시키기 위한 열압입 박음을 대신하는 방법을 적용하거나, 공차설계를 변경함으로써 전동기 철심에서의 손실을 줄일 수 있다.
- ③ 무방향성 전기강판의 응력특성은 자속밀도가 높을수록 그 영향이 커지므로, 전동기 고정자철심 자속밀도가 높게 설계된 모델에서 그 영향이 커질것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] K.Fujisaki, "Jmag User's Conference", 2003
 [2] B.D. Cullity "Introduction to magnetic materials", 353, 2003