

고속 모터용 연자체의 밀도와 자기적 특성에 대한 연구

차현록, 윤철호, 정태욱
한국생산기술연구원 부품소재팀

A density and magnetic characteries of the soft magnetic composite core for high speed motor

Hyun Rok Cha, Cheol Ho Yun, Tae Uk Jung
Korea Institute of Industrial Technology

Abstract - 본 논문은 기존의 전기강판 재질을 이용한 모터가 아닌 SMC 재질을 이용한 모터 성형 시 발생 될 수 있는 문제점이 모터의 자기적 특성에 미치는 영향에 대해 분석 하였다. 기존의 전기 강판 재질 모터에서 밀도는 전 영역에서 고른 분포를 갖는 반면에, SMC를 이용한 모터는 위치와 형상에 따라 다른 밀도와 응력 분포를 지닌다. 따라서 본 논문에서는 이러한 SMC 재질을 이용한 모터의 특성이 전기적 에너지 변환 과정에 미치는 영향에 대해서 분석 하기위해, 고속모터(30000rpm)급 모터에서 silicon steel 재질 모터와 SMC 재질모터를 비교 하였다. 비교결과 SMC 재질 모터의 경우 밀도 편차가 5.8%이상 발생되었으며 이는 전기적 특성에 10%이상 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 고속모터의 경우 자속 포화가 심해 일정하게 높은 밀도 특성이 요구 되는 것으로 파악 되었으며, 향후 이 방법은 SMC 재질을 이용한 모터 설계에 유용하게 이용 될 수 있을 것으로 판단된다.

건은 117Ton의 압력으로 압분 하였으며, 스프링 백을 고려하여 2Sec정도 유지한 후 제품을 취출 하였다. 또한 밀도의 측정을 위해서 각 부위를 분해하여 부위별로 밀도를 측정하는 방법을 취하였다.

그림 2 는 압분체 모터 코어의 밀도 분포 특성이다. 그림에서 보듯이 형상에 따라 다른 밀도 분포 특성을 갖는 데, 특히 힘이 가장 잘 받을 수 있는 Teeth중간 부분에서 가장 높은 밀도가 나오는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

SMC(Soft Magnetic Composite)은 기존의 전기강판과는 달리 분말형태의 자성체 입자에 무기질 코팅을 실시한 것으로써, 모터 설계시 기존의 전기 강판 재질보다 자유로운 형상의 자성체 Core를 형성할 수 있어 경량화 및 Compact화 할 수 있는 장점이 있었다[1].

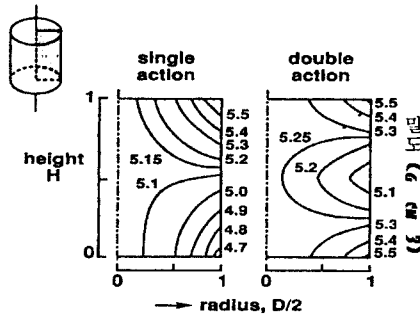
또한 압분을 통한 모터 코어를 형성 하므로, 타발을 실시하여 모터 코어 형성시 전기강판 재질을 이용할 때 보다 재료 손실이 거의 없어 원가 경쟁력 향상에 도움이 된다. 또한 쉽게 분해가 되어 자원 재활용의 비율이 높아 친환경적이라는 평가를 받고 있다[2]. 이러한 장점 때문에 현재 SMC재질을 이용한 다양한 분야의 모터활용에 대한 연구가 적극적으로 추진되고 있다.[3]

그러나 SMC 재질을 사용한 모터 코어는 기존의 전기강판을 적용한 것에 비해 제조공법의 차이로 인해 형상이나 위치에 따른 다른 밀도 분포를 갖게 되어 모터의 전기적 특성이 차이가 난다. 지금까지 SMC 재질을 이용한 모터 설계방법은 이러한 밀도 분포 특성을 고려하지 않고 설계를 하는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 이러한 SMC 재질의 밀도 분포 특성이 고려된 특성 해석 기법을 제안하였다. 이러한 방법을 사용함으로써 좀 더 정밀한 해석을 수행 할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 이러한 모터 설계 시 설계 기준이 될 수 있으리라 사료 된다.

2. 본 론

2.1 SMC 재질의 성형

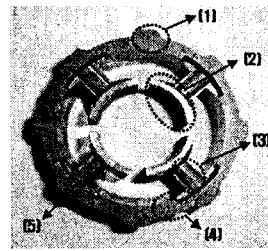
현재 가장 많이 적용 되고 있는 성형 방법은 SMC 재질의 특성을 가장 잘 살릴 수 있는 압분(Compaction) 방법을 적용하고 있다. 압분 방법이란 금형 내에 분말(Powder)을 삽입하고 고압으로 눌러 찍어 내는 방법이다. 이 방법은 그림1 에서 보듯 위치에 따라 각기 다른 밀도 분포를 나타낼 수밖에 없음을 알 수 있었다.[4] 이러한 밀도의 차이는 소재(Powder)와 금형 벽면 및 편차에서 받는 측면압의 영향으로 물리적으로 발생 될 수밖에 없었다.



〈그림 1〉 압분체 밀도 분포 곡선

2.2 실제 모터 코어의 밀도 분포 측정

그림2는 실제 모터 코어와 유사하게 제작된 모터의 형상을 실제로 압분(Compaction)하였을 때, 각 부위의 밀도를 측정된 결과이다. 이때 압분 조

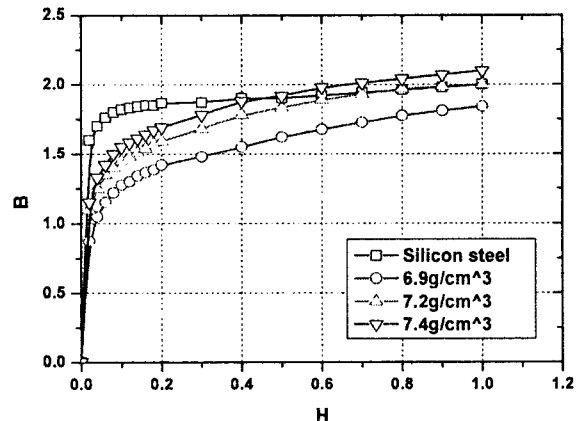


| Density Distribution | | | |
|----------------------|---------|-----------|--------|
| Point | Density | Deviation | ratio |
| 1 | 6.24 | -0.17 | -2.65% |
| 2 | 6.50 | 0.09 | 1.40% |
| 3 | 6.63 | 0.22 | 3.43% |
| 4 | 6.32 | -0.09 | -1.40% |
| 5 | 6.36 | -0.05 | -0.78% |
| AVG | 6.41 | Max Dev | 5.88% |

〈그림 2〉 압분체의 밀도 분포특성

2.3 밀도에 따른 SMC 재료의 자기적 특징

그림3 은 SMC500분말에 윤활제인 Kenolube를 첨가한 분말의 밀도에 따른 자기적 성질(B-H)을 비교한 그림이다. 실험결과 분말의 밀도에 따라서 B-H특성은 많은 차이가 있었다. 전계강도가 낮은 부분에서는 자속의 발생이 거의 유사하게 나타나다가, 전계강도가 점점 높아짐에 따라 Core의 밀도가 낮아질수록 자속 밀도가 상대적으로 급격히 적게 형성되는 것을 알 수 있었다. 따라서 출력이 크거나 높은 코어 자속 밀도를 갖는 전기기에서는 이러한 밀도에 따른 특성이 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 밀도가 높을수록 자속 밀도가 높게 형성 되는 것으로 보아 손실이 더 적게 발생 될 것으로 사료 된다.



〈그림 3〉 SMC500의 밀도에 따른 B-H곡선

2.4 실제 전동기에서 밀도에 따른 영향 분석

2.4.1 분석 방법

분석에 사용된 전동기는 정격30000rpm이상의 경주 자동차용 고속모터이다. 표4는 분석에 사용된 전동기의 사양과 규격을 나타내었다. 본 논문에서는 밀도가 갖는 연속적인 밀도 분포 특성 때문에, 전체적인 밀도 분포 특성을 고려하지 않고 5개 구간으로 밀도 분포를 간략화 하여 계산하였다. 또한 앞에서 구해진 3가지밀도(6.8, 7.2, 7.4 g/cm³)의 B-H 곡선을 Spline 보간에 의해서 중간값 들을 취하는 방식으로, 각각의 밀도에 따른 B-H특성 측정 없이 각 부분의 밀도에 따른 B-H 특성을 유추하여 적용 하였다.

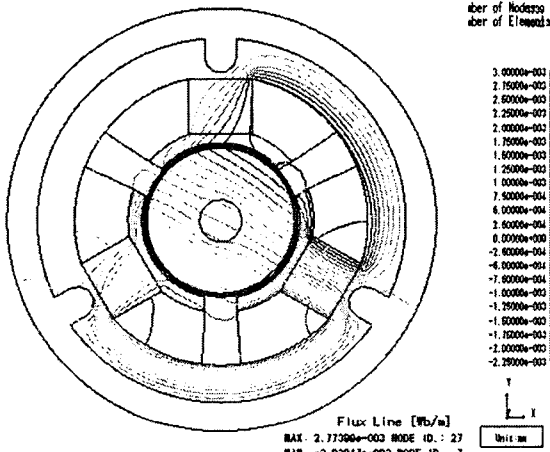
특성비교를 위해서 FEM을 이용한 전자기 해석을 통해서 특성차이를 비교 평가 하는 방법을 취하였다.

〈표 1〉 비교 대상 전동기의 사양

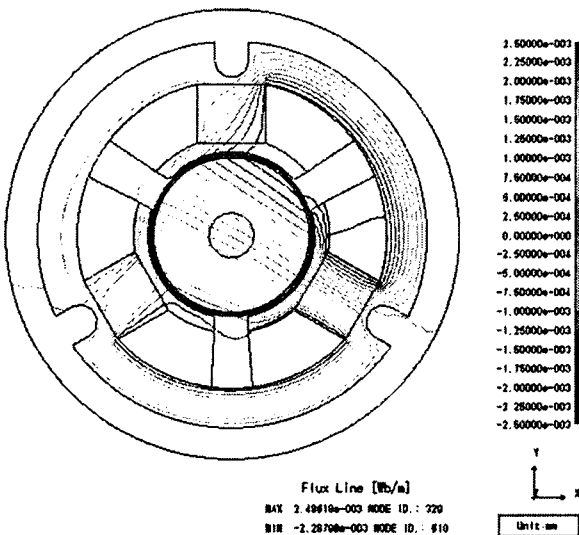
| 구분 | 사양 | 비교 |
|----------|--------|-----------|
| 외경 | φ 30 | |
| 내경 | φ 14 | |
| 자석사양 | YBM 7B | |
| Stator재질 | S60 | SMC500+KE |
| 출력 | 200W | |
| 운전RPM | 30000 | |

2.4.2 Flux Line 비교

그림 4는 자속의 분포를 나타낸 그래프이다. 그림4는 기존의 균일 밀도를 가정했을 Flux 흐름이고, 그림5는 밀도가 균일하지 않고 각기 부분별로 다르다는 가정 하에 해석했을 때 Flux 흐름도이다. 그림 4에서 보듯이 균일 밀도로 가정했을 때 Max 2.77e-03Wb/m ~ Min -2.02e-03Wb/m 임을 알 수 있었다. 반면에 그림 5에서 보듯이 밀도가 부분별로 다르다는 가정 하에 해석했을 때는 Max 2.4e-03Wb/m ~ Min -2.28e-03Wb/m 인 것을 알 수 있었다. 또한 기존의 균일 자속 밀도에서 볼 수 없었던 새로운 누설 경로들이 나타남을 발견하였다. 향후 이와 같은 누설 경로들에 대한 새로운 대책을 세운다면 SMC 제철코어를 이용한 모터설계에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.



〈그림 4〉 균일 밀도일 때 Flux 흐름



〈그림 5〉 밀도 분포를 고려할 때 Flux흐름

2.4.3 특성 비교

표1은 밀도 분포 특성이 고려되었을 때와 기존의 균일 밀도로 가정하고 계산하였을 때의 특성 차이를 나타 낸 것이다. 표1은 시뮬레이션을 이용하여 측정된 값이므로 다소 실측치와 차이가 있을 수 있으리라 사료 된다. 실지료 최대 44%까지 편차가 나는데, 이러한 큰 차이는 밀도 분포 특성 고려 시 가정했던 5개 부분으로 밀도가 집중되었다고 가정 한 것과, 3가지 밀도로부터 측정했던 B-H곡선으로부터 보간법을 이용하여 나머지 부분들에 대해 실측하지 않고 간접적으로 유추하여 적용한데서 기인한 것으로 판단 된다. 그러나 본 논문에서 제안된 방법으로 해석 시, 서로 간에 큰 차이를 갖는 것을 알 수 있었다. 특히 전체적으로 출력이 저감될 뿐만 아니라, 입력 값 또한 동시에 낮아짐을 알 수 있었다. 이것은 전체적으로 재료의 특성이 저하 된다는 점을 감안하여 볼 때 효율이 전체적으로 감소되는 것은 자로의 형성이 어려운 점에 기인 된 것으로 유추할 수 있다.

〈표 2〉 밀도의 분포특성 고려시 특성 차이

| | 균일밀도 | 비균일(분포고려) | 차이(%) |
|-----------|-------|-----------|-------|
| 입력[w] | 9.5 | 6.17 | 37 |
| 출력[w] | 8.02 | 4.5 | 37 |
| 토크[kg.cm] | 0.028 | 0.0157 | 44 |
| 전류[A] | 2.01 | 1.26 | 44 |
| 효율[%] | 81 | 72.8 | 11 |

3. 결 론

본 논문에서는 SMC재질을 이용한 모터 설계의 새로운 설계 기준에 대해서 제안 하였다. 기존의 SMC 재질을 이용한 모터 설계는 전기강판과 같이 모든 부위에 대해서 일정한 밀도를 갖고 이에 맞는 B-H곡선을 갖는다는 가정하여 설계되어 왔다. 그러나 본 논문에서 제안된 실제 SMC 재질의 특성에 기인한 밀도 분포 특성을 고려한 모터 설계 방법이 기존 설계 방법과 비교 시, 모터 특성 면에서 큰 차이를 가져오는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는 향후 실측을 통한 검증이 추가로 예상되기는 하나 좀 더 높은 기존 대비 좀 더 높은 해석 정밀도를 가질 것으로 판단된다. 아울러 향후 SMC를 이용한 정밀한 설계의 기준으로 사료 될 것으로 판단된다. 본 논문에서 밝혀진 대로 출력이 30%이상 차이를 갖는다면 기존의 설계 방법으로는 우리가 향후 설계하고자 하는 모터의 설계를 만족시키기 위한 정확한 설계가 불가능할 것으로 판단되고, 본 논문에서 주장한 밀도 분포를 고려한 설계를 실시하여야 목표치를 만족하는 설계가 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Göran Nrod, Patricia Jansson, "Roadmap to new motor topologies" in Proc 2005 Motor & Drive Systems 2005, pp 1(8) ~ 8(8)
- [2] Suzuki " A development of small motor for automobile" Techno Frontier symposium 2004. session D pp. D3-3-1 ~ D3-3-9
- [3] L.Hultman, O, Andersson & A.G jack, " The SMC Technology form idea to reality", 2003 SAE World conference, Detroit, March 2003
- [4] G.Nord, L.Hultman & A.G. jack, "New Technologies for the motor and Drive Industry", SMMA 2003 Fall conference,