

전기기의 자계 해석에 대한 전기강판의 벡터 자기특성의 영향

윤희성*, 고창섭*
충북대학교 전기공학과*

Influence of Vector Magnetic Property of Electrical Steel Sheet on Magnetic Field Analysis of Electrical Machine

Heesung Yoon*, Chang Seop Koh*
Chungbuk National University*

Abstract - 통상적으로 전기기에 사용되는 전기강판의 자기특성은 B-H 자기특성 곡선을 이용하여 표현되어졌고, 이를 이용하여 전기기기의 자계 분포 해석 및 특성 해석이 이루어져 왔다. 그러나 실제로 전기기기의 전기강판은 인가 자계의 방향에 따라 자기특성이 다르게 나타나고, 자속밀도와 자계세기의 방향이 다르게 나타나는 벡터 자기특성을 가지기 때문에, B-H 곡선과 같은 스칼라 자기 특성으로 전기강판의 자기 특성을 정확히 표현하는 것이 불가능하다. 따라서 전기기기의 정확한 자계 해석 및 특성 해석을 위해서는 전기강판의 벡터 자기특성이 반드시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 전기강판의 벡터 자기특성이 전기기기의 자계 분포 해석에 미치는 영향을 알아보고자 하며, 전기강판의 벡터 자기특성의 고려를 위해 (B_m, θ_B) 법을 이용하였으며 간단한 형태의 단상 변압기 모델에 유한요소 해석을 적용하였다.

한 자기 특성 현상이 더욱 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있고, 그리고 전기강판의 압연 방향(rolling direction)의 수직 방향(transverse direction)에서 투자율이 가장 작은 것이 아니라 약 45°~60에서 투자율이 가장 작게 나타나는 것을 볼 수 있다.

(B_m, θ_B) 법을 이용하여 모델링된 결과를 유한요소법에 적용하기 위해 다음과 같이 유효자기저항율을 이용하여 자속밀도와 자계세기의 관계를 정의하였다 [2].

$$[\nu] = \begin{bmatrix} \nu_x & 0 \\ 0 & \nu_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_x(B_m, \theta_B)/B_x & 0 \\ 0 & H_y(B_m, \theta_B)/B_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

비선형 유한요소 해석 과정에서 한 요소 (element)에서의 B_m 과 θ_B 가 계산되어진다면, 이에 대응하는 H_m 과 θ_H 가 그림 2의 측정 데이터로부터 구해지고, 식 (1)을 이용하여 자기저항율이 계산된다.

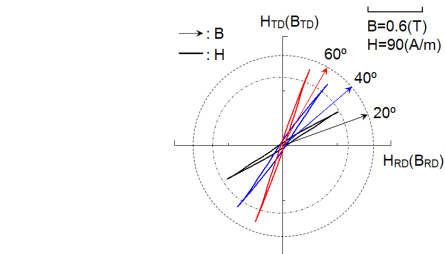
1. 서 론

전기기에 사용되는 전기강판은 히스테리시스 특성뿐만 아니라, 인가 자계의 방향에 따라 그 자기특성이 각각 다르게 나타나고 자속밀도와 자계세기의 방향이 다르게 나타나는 벡터 자기특성을 가지고 있다 [1]. 이러한 벡터 자기특성은 통상적으로 이상적인 등방성 자기특성을 가진다고 가정되는 등방성 전기강판에서도 나타난다. 그림 1은 등방성 전기강판에서 인가 교번자속밀도의 방향에 따라 측정된 자계세기의 파형을 비교한 것으로, 교번 자속밀도의 방향은 각각 20°, 40°, 60°이고 크기는 1.3T로 고정되었다. 자계세기의 파형은 주파수 50Hz하에서 2차원 SST를 이용하여 측정되었다 [1]. 그림 1에서 보듯이 등방성 전기강판의 경우에도 자계세기의 크기와 방향이 인가된 자속밀도의 방향에 따라 크게 영향을 받는 것을 볼 수 있다.

3. 전기기기의 자계 분포에 대한 벡터 자기특성의 영향

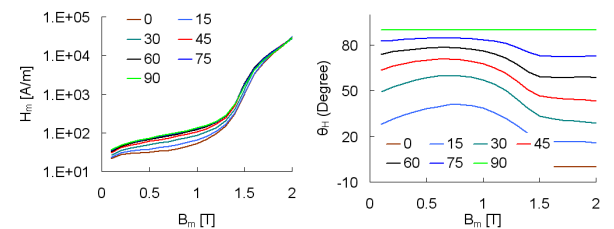
그림 3은 전기기기의 자계 분포에 대한 벡터 자기특성의 영향을 알아보기 위해 선정된 단상 변압기 모델을 나타내며, 이방성 전기강판 30PG110으로 제작되었으며 총 40장이 적층되어졌다. 그림 3(a)는 변압

통상적으로 전기기기의 자계 분포 해석 및 특성 해석에 있어 그림 1과 같은 전기강판의 벡터 자기특성은 B-H 자기특성 곡선을 이용한 스칼라 자기특성으로 간략히 근사화 되어져 왔다. B-H곡선을 이용한 스칼라 자기특성에서는 자계세기의 크기가 자속밀도 크기의 함수로만 표현되어지고, 자계세기의 방향은 자속밀도의 방향과 정확히 일치한다고 가정되어진다. 이러한 자기특성의 간략한 근사화는 전기기기의 특성 해석에 있어 부정확한 결과를 가져오게 된다. 따라서 전기기기의 정확한 특성 해석을 위해서는 반드시 전기강판의 벡터 자기특성이 고려되어야 한다.

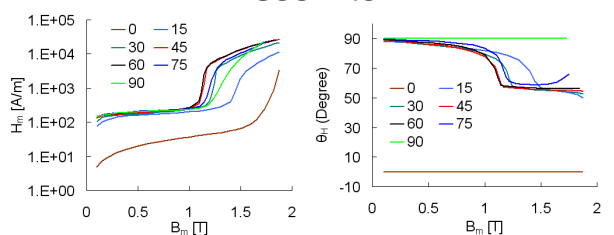


〈그림 1〉 등방성 전기강판에서 교번 자속밀도 방향에 따른 측정된 자계세기 파형의 비교 ($B_m=1.3T$)

본 논문에서는 전기강판의 벡터 자기특성이 전기기기의 자계 분포 해석에 미치는 영향을 알아보고자 하며, 전기강판의 벡터 자기특성을 표현하기 위해 (B_m, θ_B) 법을 적용하였다 [2]. 벡터 자기특성을 고려한 유한요소 해석은 간단한 형태의 이방성 전기강판으로 이루어진 단상 변압기 모델에 적용되었고, 전기강판의 벡터 자기특성에 의한 영향을 정량적으로 알아보기 위해 변압기 코어에서 측정된 자속밀도 파형과 B-H곡선을 이용한 스칼라 자기특성에 의한 해석 결과를 동시에 비교하였다.



(a) 등방성 전기강판



(b) 이방성 전기강판

〈그림 2〉 (B_m, θ_B) 법을 이용하여 모델링된 벡터 자기특성

2. (B_m, θ_B) 법을 이용한 벡터 자기특성의 모델링

(B_m, θ_B) 법은 교번자계하에서 측정된 전기강판의 벡터 자기특성을 모델링하는 방법의 하나로, 교번 자속밀도 B의 크기(B_m)와 방향(θ_B)을 독립변수로 하여, 이에 대응하는 자계 세기 H의 크기(H_m)와 방향(θ_H)을 이용하여 전기강판의 자기특성을 모델링하는 방법을 나타낸다 [2]. 그림 2는 등방성 전기강판과 이방성 전기강판에서 (B_m, θ_B) 법을 이용하여 모델링된 벡터 자기특성을 나타낸 것으로, B_m 과 θ_B 의 변화에 따른 H_m 과 θ_H 의 변화를 보여준다. 등방성 전기강판의 경우 이상적으로 등방성 특성을 가지고 있다고 가정함에도 불구하고, 인가자계의 방향에 따라 B_m-H_m 곡선이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 더욱이 자속밀도의 방향과 자계세기의 방향이 일치하지 않고, 자속밀도의 크기가 커짐에 따라 그 차이도 달라지는 것을 알 수 있다. 이방성 전기강판의 경우 이러

기 코어에서의 국부적인 자속밀도를 측정하기 위한 측정 시스템의 구성도를 나타내며, 그림 3(b)는 자속밀도 측정점의 위치를 나타낸 것이다. 입력전원은 여자전압 파형의 제어를 통해 정현파와 여자전류가 인가되었으며 여자 주파수는 전기장관의 와전류 영향을 무시하기 위해 0.5Hz로 하였다.

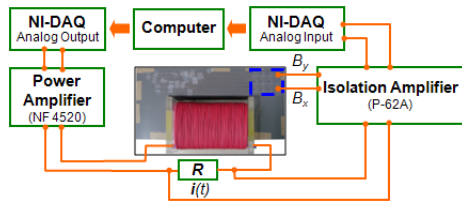
그림 4는 B-H곡선을 이용한 스칼라 자기특성과 (B_m, θ_B)법을 이용한 벡터 자기특성으로부터 계산된 자속분포를 비교한 것으로, 자속이 RD에서 TD방향으로 변하는 부분에서 크게 차이가 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 자속밀도의 방향에 따른 자기특성(H_m, θ_H)의 차이에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

그림 5는 최대 자속밀도의 분포를 비교한 것으로, 최대 자속밀도의 분포가 변압기 코어의 전 영역에서 걸쳐 크게 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 그림 5의 최대 자속밀도 분포를 이용하여 계산된 철손 분포를 비교한 것이다. 스칼라 자기특성에 의한 철손 분포는 그림 5(a)의 최대 자속밀도 분포가 거의 동일한 형태로 나타나는 것을 볼 수 있다. 그 반면에 벡터 자기특성에 의한 철손 분포를 보면 최대 자속밀도의 분포가 그 형태가 다르게 나타나며 자속이 TD방향으로 발생하는 코어 영역에서 매우 큰 철손이 발생하는 것을 볼 수 있다.

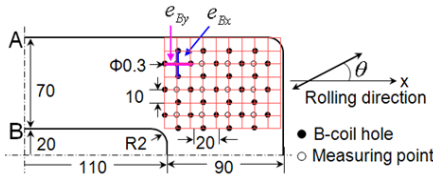
그림 7은 자속밀도 측정점에서 스칼라 및 벡터 자기특성에 의한 해석 결과와 측정 결과를 비교한 것이다. 결과에서 모두가 스칼라 자기특성에 의한 결과보다 벡터 자기특성에 의한 자속밀도의 궤적이 측정 결과와 더 잘 일치하는 것을 볼 수 있고, 뿐만 아니라 철손 계산의 중요한 파라미터인 자속밀도의 최대치 또한 더 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

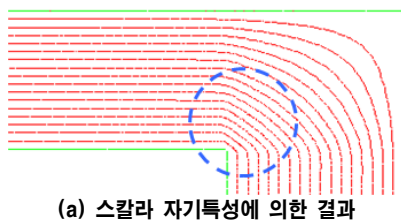
본 논문에서는 전기기기의 자계 해석에 전기장관의 벡터 자기특성이 미치는 영향에 대해 알아보았다. 단상 변압기 모델과 같은 매우 간단한 형태의 전기기기에서도 스칼라와 벡터 자기특성에 의한 해석 결과가 매우 다르게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 측정결과와의 비교를 통해 벡터 자기특성에 의한 자계 해석결과가 더 정확한 결과를 가져오는 것을 볼 수 있었다. 따라서 전기기기의 보다 정확한 자계 해석 및 특성 해석을 위해서는 전기장관의 벡터 자기특성이 반드시 고려되어야 할 것이다.



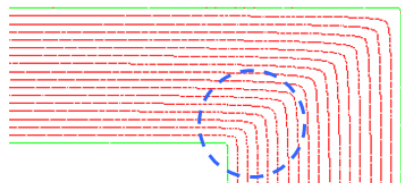
(a) 측정시스템의 구성도



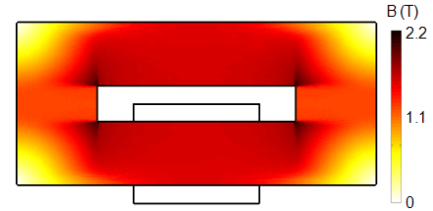
(b) 자속밀도 측정점
〈그림 3〉 단상 변압기 모델



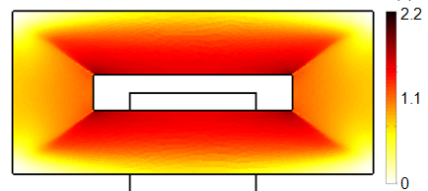
(a) 스칼라 자기특성에 의한 결과



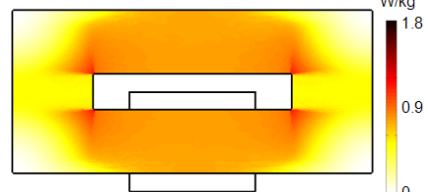
(b) 벡터 자기특성에 의한 결과
〈그림 4〉 자속 분포의 비교



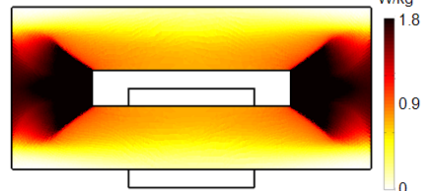
(a) 스칼라 자기특성에 의한 결과



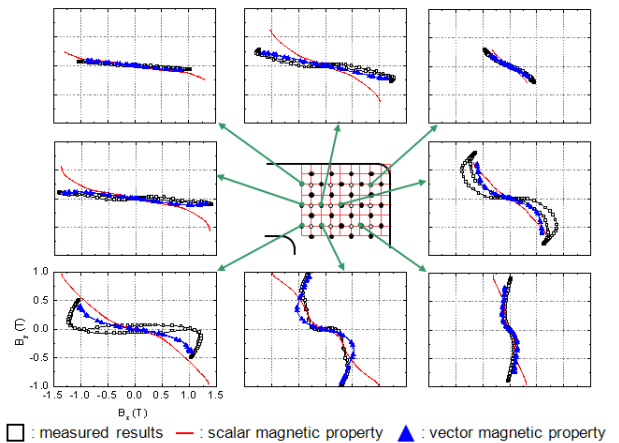
(b) 벡터 자기특성에 의한 결과
〈그림 5〉 최대 자속밀도의 비교



(a) 스칼라 자기특성에 의한 결과



(b) 벡터 자기특성에 의한 결과
〈그림 6〉 철손 분포의 비교



□ : measured results — : scalar magnetic property ▲ : vector magnetic property
〈그림 7〉 측정점에서의 자속밀도 파형의 비교