C2

회전자계의 이차원 모델링을 위한 연구

이 창 환*, 김 홍 규, 정 현 교
서울 대학교 전기공학부 전기역학연구실

A Study on the Two Dimensional Modeling of the Rotatioanl Magnetic Field.

Chang-Hwan Lee*, Hong-Kyu Kim, Hyun-Kyo Jung
School of Electrical Engineering, Seoul National University

1. 서 론

자계 시스템에서는 항상 자속밀도와 자계의 세기가 특정한 관계를 가지며 공존하게 되는데, 이 둘의 관계가 시스템의 손실, 효율 등의 특성을 결정짓게 된다. 그러나 자속밀도와 자계의 세기간의 비선형적인 관계는 중요한 요소이기는 하지만 고려하기가 매우 어렵다. 그래서 정확한 비선형적인 관계를 고려하지 않고 초기자화곡선 같은 근사적인 방법 등을 사용하고 있다. 그러나 자화곡선은 자속밀도의 계산에는 무난하게 사용될 수 있으나 손실을 계산하기 위한 자계의 세기를 계산하는 데는 부적합하며 자계의 세기를 계산하기 위해서는 자속밀도와의 위상차까지 고려해야만 한다. 특히 변압기나 일부 회전기에서는 국부적으로 회전자계가 발생하는데, 이러한 회전자계의 영향을 제대로 계산하는 것이 또한 쉽지 않다. 이를 위해 여러 연구가 진행되고 있으며 또한 여러 방법들이 제시되고 있다. 그 중에서 대표적인 것이 벡터 히스테리시스 모델링과 투자율 텐서법 등이 있다. 벡터 히스테리시스는 구현하기 위한 실험 데이타는 많지 않은 이점이 있으나 계산 시간이 많이 필요하며 또한 아직은 이방성을 위한 알고리즘이 확립되지 않은 상태이다. 투자율 텐서법은 벡터 히스테리시스 모델링에 비하여 계산 시간이 적게 걸리고 등방성과 이방성물질 모두 적용가능하며 매우 정확하다는 이점을 가지고 있다. 그러나 구현하기 위해서 필요한 실험 데이타가 너무 많아서 실제로 계산에 필요한 데이타를 만드는 것이 쉽지가 않다. 투자율 텐서는 자속밀도의 최대치와 자속밀도의 최대-최소값의 비, 그리고 자속밀도의 최대치와 자화용이축이 이루는 각의 함수이므로 각 변수당 10 개씩만 잡아도 필요한 전체 데이타는 1000 개이며 실제 실험량은 1000 회 이상이 필요하다. 본 논문에서는 간단한 실험에 의하여 회전자계의 세기와 회전 자속밀도의 위상차를 고려할 수 있는 방법을 제시한다.

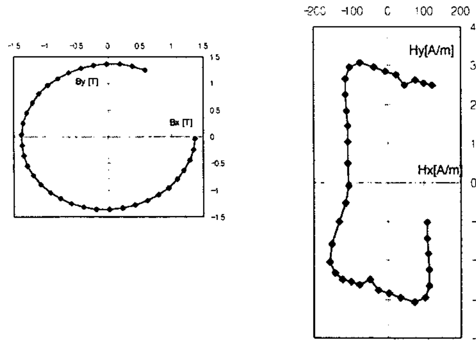
2. 회전 자계의 모델링

자속밀도와 자계의 세기는 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

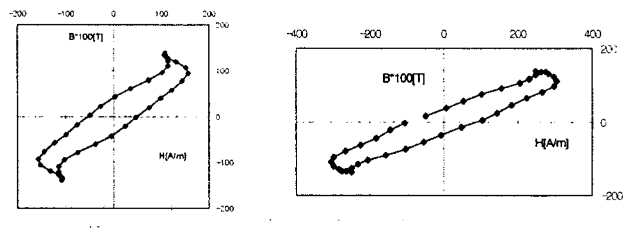
여기서 xy 와 yx 성분은 xx 와 yy 성분을 제대로 알 수 있다면 이 두 성분의 조합으로 나타낼 수 있다는 가정하에서 식(1)에서는 대각성분만이 남게 된다. 그러나 이것은 결과적인 것은 아니다. 회전자계하에서의 위상차는 두 가지 원인에 의하여 발생된다. 첫째는 이방성에 위한 위상차로 정지상태에서 발생되는 위상차이다. 둘째는 회전에 의한 위상차로 완전한 무방향성 물질에서는 회전자계의 위치와 상관없이 회전자계의 크기에 따라서 위상차를 갖는 경우이다. 본 논문에서 제안하는 방법은 바로 이 두 가지 원인을 동시에 고려하여 회전자계의 세기와 자속밀도의 관계를 찾아내는 것이 아니라 먼저 교번 자계에 대하여 자화용이축과 자화난이축 두 방향으로의 히스테리시스 곡선을 측정하고 몇 가지 최대자속밀도를 가지는 회전자계의 비선형 관계를 만족시키는 자속밀도에 대한 함수로서의 각도 곡선을 만들어서 이 둘을 결합시키는 방법이다. 이 방법에 의하면 10 번 정도의 실험으로도 계산이 가능하며 이방성 물질이든 등방성 물질이든 상관이 없이 적용가능하며 계산시간도 짧아지는 이점이 있다.

Fig. 1. 은 측정된 자속밀도와 자계의 세기의 한 예로서 회전방향은 시계방향이며 위상차를 분명하게 나타내기 위하여 완전한 한 주기 형상을 나타내지 않았다. 먼저 측정한 두 방향으로의 교번자계에 대한 히스테리시스 곡선과 결합하여 Fig. 1. 과 같은 실험값과 같은 자계의 세기의 파형과 손실을 만족하는 자속밀도에 대한 함수로서의 각도 함수를 만들 수 있다. Fig. 2. 는 교번자계의 히스테리시스 곡선과 이렇게 만들어진 각도 함수의 결합으로 만들어진 곡선들로서 (a)는 자화용이축 방향에 대한 곡선이며 (b)는 자화난이축에 대한 곡선이다.



(a) Magnetic Flusx Density (b) Magnetic Field Intensity

Fig.1. Measured Shapes of the Field



(a) Easy Axis Drection (b) Hard Axis Direction

Fig.2. Characteristics of B-H

3. 결 과

2 절에서의 방법에 의하여 회전자속밀도에 따른 회전자계의 세기를 계산하여 회전 히스테리시스 손실과 전체 손실을 다음과 같이 계산할 수 있다. ([W/kg])

$$P_t = \frac{1}{Tp}\int_0^T\left(\vec{H}\cdot\frac{d\vec{B}}{dt}\right)dt = \frac{1}{Tp}\int_T\left(H_x\frac{dB_x}{dt} + H_y\frac{dB_y}{dt}\right)dt \qquad P_r = \frac{1}{Tp}\int_T\frac{d\theta}{dt}\left(\vec{H}\times\vec{B}\right)_z dt \approx \frac{1}{Tp}\sum_{i=1}^{N}\Delta\theta_i\left(\vec{H}\times\vec{B}\right)_z \qquad (2)$$

Fig. 3. 은 최대자속밀도가 1.0 T 일 때, 자화용이축으로는 1.0 T를 유지하고 자화난이축으로 자속밀도를 변화시키면서 측정 손실값과 계산 손실값을 비교한 것이다. 본 논문에서 제안된 방법으로 손실을 계산한 결과 측정값과 근사함을 알 수 있다.

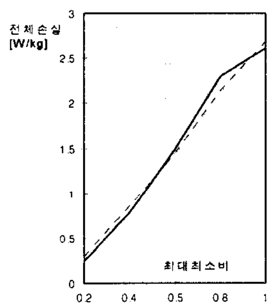


Fig.3. Results Comparison of the Total Loss
Dotted : Measured Value
Solid : Calculated Value

4. 결 론

간단한 실험에 의해서 회전자속밀도와 자계의 세기간의 위상차를 고려할 수 있는 방법을 제시하고 실험에 의하여 그 타당성을 검증하였다. 본 방법을 이용하면 계산되어진 자속밀도를 이용하여 자계의 세기를 정확하게 계산할 수 있으며 전압원을 소스로 하는 시스템에서의 전류의 파형을 계산하거나 그 밖의 많은 곳에 적용이 가능할 것으로 생각된다.

- *References*

[1] 홍선기,이상훈,원종수,"자화의존 히스테리시스 모델의 특성 시뮬레이션", 전기학회논문지 제 42 권 6 호 1993 년 6 월.