

유한요소법과 투자율 텐서를 이용한
고조파 회전자계 계산

서울대학교 전기공학부 이창환* 김홍규 정현교

Harmonic Rotational Magnetic Field Analysis Using
the Finite Element Method and the Permeability Tensor

School of Electrical Engineering, Seoul National University C. H. Lee*, H.K. Kim, H.K. Jung

1. 서론

본 연구에서 제안한 투자율 텐서를 이용한 방법은 H와 B의 위상차를 고려할 수 있는 Back Data Modeling 기법의 하나로서, 일단 실험에 의한 데이터만 갖추어지면 계산하는 데 걸리는 시간이 짧고 계산량이 작다는 이점을 가지고 있다. 시스템에 따라서는 고조파의 영향이 어느 정도 크게 나타날 수도 있으며 그 결과 기본파만 가지고는 정확한 자장해석과 손실계산이 불가능하므로 투자율 텐서를 이용하여 기본파만 고려한 회전자계와 함께 고조파 성분을 가지는 회전자계를 계산하였다.

2. 기본파만 고려한 이차원 투자율 텐서

회전자계 하에서는 회전이력현상으로 인해 자속밀도와 자계의 세기 사이에 위상차가 발생하게 된다. 텐서행렬의 요소는 실험에 의해 얻어진 자장과 자계의 세기로 부터 계산되어져서 B_{max} , $B_{max-min}$ ratio, angle 에 따라서 그림.1 과 같은 데이터를 얻을 수 있다.

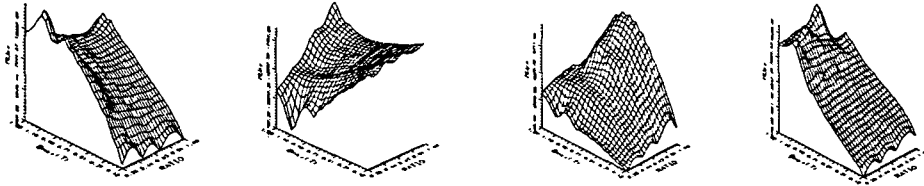


Fig. 1. xx,xy,yx,yy components of tensor against B_{max} ,ratio (angle = 0)

3. 고조파를 고려한 투자율 텐서

그림 2. 는 실험에 의해 구해진 고조파가 실린 자속밀도와 자계의 세기를 나타낸 것이다. 이와 같은 데이터를 이용하여 텐서값들을 찾되 그 값들은 기본파의 경우와 같이 한 주기동안 일정한 값들이 아니고 각 계산 단계마다 다른 값을 가지게 되는데 만약 한 주기동안 같은 값을 이용하려면 텐서 행렬은 2차가 아니라 고려하는 고조파의 종류에 따라서 2차씩 늘어나게 되므로 매우 큰 계산 시스템가 필요하다.

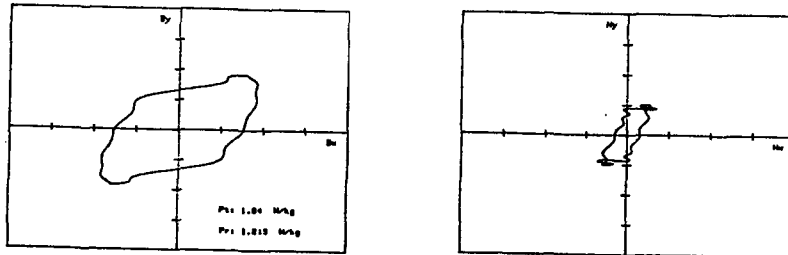


Fig. 2. Shpes of B and H including the Harmonics

4. 이차원 시뮬레이션 결과

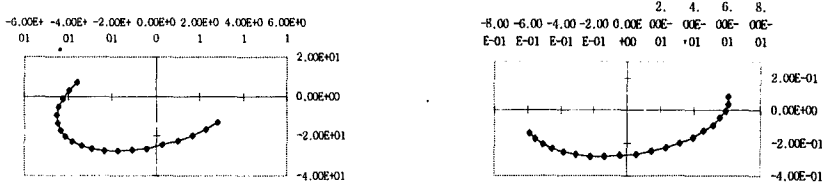


Fig. 3. Calculated Results - H and B -

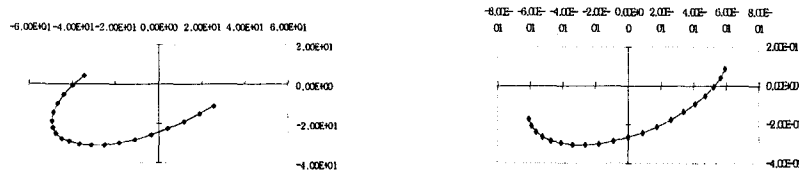


Fig. 4. Experimental Results - H and B -

시뮬레이션 모델은 엡스타인 실험장치를 그대로 모델화 하였다. 자속밀도와 자계의 세기간의 위상차를 명확히 보기 위해 반주기 동안의 결과를 나타내었으며 회전방향은 시계방향이다.

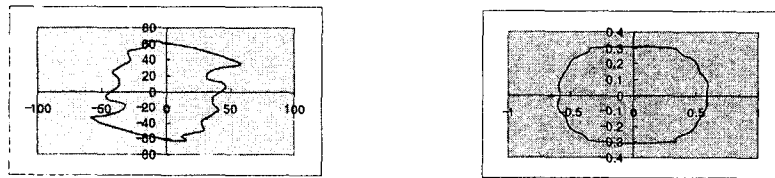


Fig. 5. Calculated Results - H and B -

그림. 5는 고조파를 고려하여 계산된 자계의 세기와 자속밀도를 나타내었다. 고조파를 고려하게 되면 그 형상이 복잡하여 전체 주기의 형상을 모두 보였으나 이때에도 H의 위상이 B의 위상보다 앞서서 회전하게되고 회전방향은 시계방향이다.

5. 회전이력손실

회전이력손실은 식(1)과 같이 계산될 수 있으며 그림. 5는 Bmax는 0.5(T), ratio는 0.5 그리고 angle은 0 도이다. 이때의 회전이력손실을 같은 조건 -Bmax, ratio, angle- 을 가지는 기본파만 고려된 결과와 비교하면 전자는 1.45(W/kg) 후자는 0.98(W/kg)으로 고조파가 손실에 미치는 영향을 알 수 있다.

$$P_r = \frac{1}{T_p} \int_T \frac{d\theta}{dt} (\vec{H} \times \vec{B})_z dt \approx \frac{1}{T_p} \sum_{i=1}^N \Delta\theta_i (\vec{H} \times \vec{B})_z \quad (1)$$

6. 결론

본 연구에서는 위와 같은 결과를 통해 이차원 투자율 텐서가 임의의 형상의 회전자계가 발생하는 시스템 적용 가능함을 보였다. 즉, 제안된 방법을 통해 계산된 자계의 세기와 자속밀도가 실험에 의해서 측정된 결과와 그 크기와 한 주기동안의 형상이 근사함을 통해 임의의 회전자계에서의 유효되는 자속밀도를 계산할 수 있게 되었고 그 결과 회전손실을 계산할 수 있게 되었다. 특히 수치해석에 적용하기가 매우 어려운 고조파의 영향을 유한요소법에 적용함으로써 자장계산시의 오차를 줄일 수 있었다.

본 연구는 기초전력공학공동 연구소의 지원에 의한 것임