

## 유한요소법을 이용한 와전류 영향 전달함수의 계산

이 수열\*, 강 현수\*, 이 정한\*, 문 치웅\*\*, 이 강석\*\*, 조민형\*\*\*  
 \*건국대학교 의공학과, \*\*삼성종합기술원 의료기기실, \*\*\*수원대학교 전기공학과

### Calculation of the Eddy Current Effect Transfer Function Using the Finite Element Method

S. Y. Lee\*, H. S. Khang\*, J. H. Yi\*, C.W. Mun\*\*, K.S. Lee\*\*, M.H. Cho\*\*\*  
 \*Dept. of Biomedical Eng., Konkuk University,  
 \*\*Medical Equipment Lab., Samsung Advanced Institute of Technology,  
 \*\*\*Dept. of Electrical Eng., The Univ. of Suwon

#### ABSTRACT

In this study, we have established the technique to estimate the gradient waveforms distorted by the eddy current in MRI. After obtaining the eddy current effect transfer function using the finite element method, we have used the transfer function to estimate the output gradient waveforms at any points inside the imaging region. We also present experimental results to be compared with estimated ones.

#### 1. 서론

자기공명영상에서 와전류에 의해 형성되는 자계의 공간적 분포는 경사자계코일이 만드는 자계의 공간적 분포와 다를 수 있다. 이런 경우, 와전류에 의해 경사자계의 선형성이 열화될 수 있다. 또한 도전체의 전기전도도 및 형상에 의해 결정되는 와전류의 시간 파형도 경사자계코일에 유입되는 전류 파형과 다를 수 밖에 없어, 실제로 자기공명영상에 이용되는 자계의 시간 파형은 코일에 유입되는 전류 파형과 다를 수 밖에 없다. 더구나 위치에 따라 자계의 시간 파형이 서로 달라지게 되면 와전류 보상 방법으로 일반적으로 많이 쓰이고 있는 입력 전류 선강조(pre-emphasis)기법으로는 와전류를 완전하게 보상할 수 없게 된다<sup>1</sup>. 본 논문에서는 경사자계코일 주변에 있는 도전체 구조물에 발생하는 와전류에 의해 경사자계가 어떻게 영향을 받는지를 유한요소법을 이용하여 알아 보았다.

#### 2. 유한요소법을 이용한 와전류 영향 전달함수의 계산

경사자계코일에 정현파를 인가했을 때 임의의 지점에서 자계의 진폭 및 위상

특성이 주파수에 따라 어떻게 변하는지를 나타내는 와전류 영향 전달함수를 구하기 위해 자기공명영상시스템의 실제 구조와 유사한 모델을 만들어서 유한요소법을 적용해 보았다. 본 논문에서 와전류 해석을 위해 사용한 유한요소법 모델을 그림 1에 나타내었다.

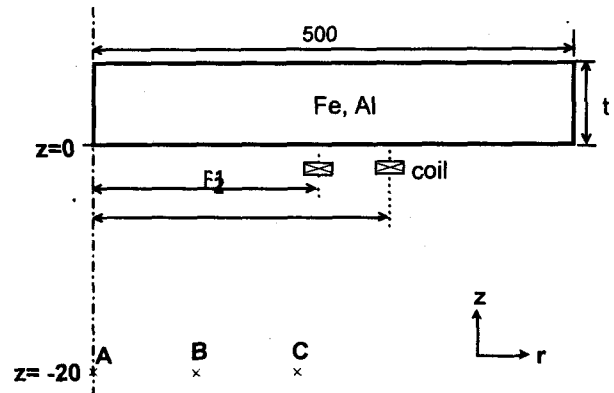


그림 1 유한요소법에서 사용한 코일과 도전체 구조물의 형상

Fig.1 The coil and conducting structure used in the FEM analysis

그림 1의 모델에서 권선의 단면은 12mmx4mm로 하였고 두 코일의 직경은 각기 240mm와 280mm로 하였다. 경사자계코일 주변에 있는 도전체 원판 모양의 것을 택하였다. 경사자계코일과 도전체 구조물 사이의 간격은 실제와 유사한 상황을 상정하기 위해 3cm로 하였다. 그림 1의 경사자계코일에  $I=I_0 \cos \omega t$ 의 정현파 전류를 인가했을 때, 임의의 점(x,y)에서 형성되는 자계의 실수부를  $B_{real}(x,y,\omega)$ , 허수부를  $B_{imag}(x,y,\omega)$ 라 하자. 와전류 영향 전달함수  $H(x,y,\omega)$ 의 실수부  $H_{real}(x,y,\omega)$ 과, 허수부  $H_{imag}(x,y,\omega)$ 를 아래의 식으로 구하였다.

$$H_{\text{real}}(x,y,\omega) = B_{\text{real}}(x,y,\omega)/B_{\text{real}}(x,y,0) \quad [1-a]$$

$$H_{\text{imag}}(x,y,\omega) = B_{\text{imag}}(x,y,\omega)/B_{\text{real}}(x,y,0) \quad [1-b]$$

와전류 영향 전달함수를 구하기 위해 정현파의 주파수는 DC에서 30Hz 간격으로 930Hz 까지 변화시켰다. 그림 2에 도전체가 알루미늄이고 도전체의 두께가 0.5cm 인 경우, 점 A,B,C에서의 전달함수를 보였다.

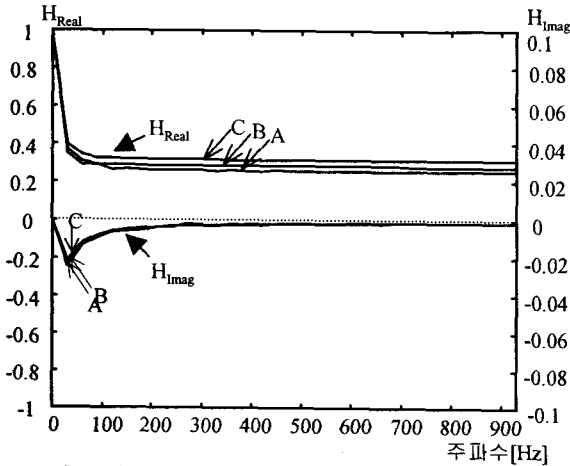


그림 2 유한요소법을 이용해 구한 와전류 영향 전달함수  
 Fig.2 Transfer functions of eddy current effects calculated by FEM

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 경사자계 파형 예측 방법의 타당성을 검증하기 위해 실제 경사자계 파형을 측정하였다. 사용한 경사자계 코일은 유한요소법 모델과 동일한 형상을 가지고 있다. 즉 환형 코일의 직경이 각기 240mm, 280mm 이고 권선수가 4인 환형 코일이다. 그림 3에 도전체 구조물이 두께가 0.5cm 인 알루미늄일 때 와전류 영향 전달함수로 예측한 경사자계 파형을 나타내었다.

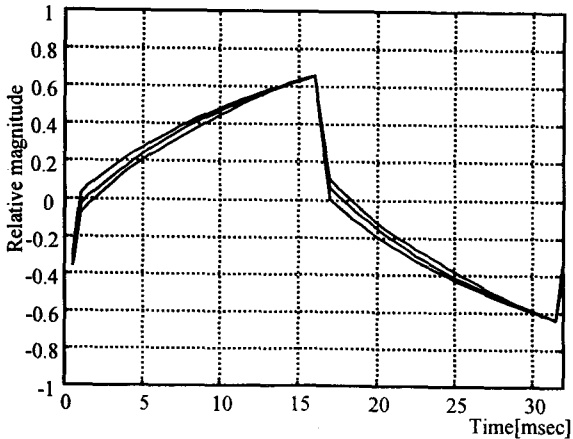


그림 3 점 A,B,C에서 예측한 자계 파형

Fig.3 Estimated magnetic field waveforms at the points A, B, and C

그림 4에 유한요소법에서 사용한 환경과 동일한 상황에서 측정한 자계 파형을 나타내었다. 자계 파형을 측정한 위치는 전절의 A,B,C 세 점이다. 자계 파형의 측정은 직경이 20mm 이고 권선 수가 100 인 픽업 코일로 하였으며, 픽업 코일에 감지된 신호를 아날로그 적분기로 적분하여 자계 파형을 얻었다.

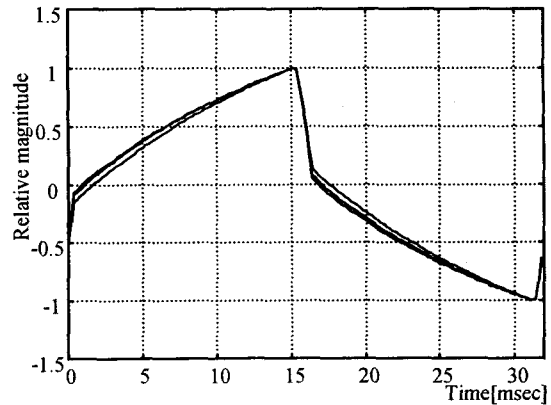


그림 4 점 A,B,C에서 실측한 자계 파형  
 Fig.4 Measured magnetic field waveforms at the points A, B, and C

위의 그림에서 실측한 자계 파형이 와전류 영향 전달함수로 예측한 자계 파형과 거의 일치함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 와전류 영향 전달함수를 이용하면 임의의 입력 전류 파형에 대해 출력 경사자계 파형을 예측할 수 있으므로 와전류 영향 전달함수는 와전류 영향을 보상하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 막대한 계산 시간이 소요되는 유한요소법의 성격 상 모든 계산을 원형 대칭성을 갖는 2차원 모델로 했으나, 본 논문에서 제안한 방법은 3차원 유한요소법을 이용하는 경우에도 똑 같이 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] P. Mansfield, and B. Chapman, "Active magnetic screening of gradient coils in NMR imaging", J. of Mag. Reson. 66, 573-576, 1986.