

# 균일자기장에 노출된 도체구 및 회전타원체모델의 유한요소법 해석오차 분석

심재훈\*, 성동규, 변진규  
승실대학교 전기공학부

## 1. 서론

전자기파가 인체에 미치는 영향은 열작용, 비열작용, 자극작용으로 구분한다. 100 kHz ~10 MHz 범위의 주파수에서는 열작용과 자극작용이 동시에 존재하고, 100 kHz 이하 주파수에서는 전류 자극으로 신경계 기능에 영향을 미칠 수 있다. 유도전류가 뇌와 신경에 미치는 모든 영향을 예방하도록 전자기장 노출에 대한 인체 보호기준에 정해져 있다. 하지만 인체 내부에서 정의 되는 인체유도전류와 인체유도전기장은 직접 측정하기 어렵다. 따라서 인체유도전류 해석기법의 기반을 정확히 수치해석에 두고 수치적 인체모델에 적용하여 인체에 미치는 영향을 측정하여야 한다.

본 논문에서는 이론적인 해가 존재하는 구, 회전타원체 등의 표준모델에 유한요소법을 적용해 유도전류를 해석하고 이론적인 해와 비교하여 타당성을 검증한다.

## 2. 해석 모델

회전타원체 내부에 유도되는 전기장은 Spiegel에 의해 정리되었는데, 자기장 입사 방향에 따라 다음과 같이 표현된다 [1].

$$E_1 = \frac{-j2\pi f B_x (a^2 y a_z - b^2 z a_y)}{(a^2 + b^2)} \quad (2-1)$$

$$E_2 = \frac{-j2\pi f B_y (a^2 x a_z - b^2 z a_x)}{(a^2 + b^2)} \quad (2-2)$$

$$E_3 = j\pi f B_z (y a_x - x a_y) \quad (2-3)$$

여기서  $B_x, B_y, B_z$ 는 각각  $x, y, z$ 축 방향으로 입사되는 자기장의 크기이며,  $E_1, E_2, E_3$ 는  $B_x, B_y, B_z$  자기장 노출에 의해 유도되는 정현파 전기장이다.  $a$ 와  $b$ 는 회전타원체의 반장축과 반단축을 나타내며,  $a_x, a_y, a_z$ 는  $x, y, z$ 축 방향의 단위벡터,  $f$ 는 자기장의 주파수이다. 유도전류밀도의 최대값을 계산하면 [그림 1]의 경우,  $|J|_{max} = \sigma r \pi f B_0 = 30\pi \left[ \frac{A}{m^2} \right] \approx 94.25 \left[ \frac{A}{m^2} \right]$ 로 나타나고, [그림 2]의 경우,  $|J| = \sigma 2\pi f B_x \left[ \frac{a^2 u}{a^2 + b^2} \right] \approx 0.410 [A/m^2]$ 로 나타난다. 계산된 수식과 COMSOL Multiphysics에서 제공하는 유한요소법을 사용하여 [그림 1], [그림 2]와 같이 모델링 된 도체구와 회전타원체의 유도전류밀도  $J [A/m^2]$ 를 이론값과 비교하여 요소크기에 따른 오차를 확인한다 [2].

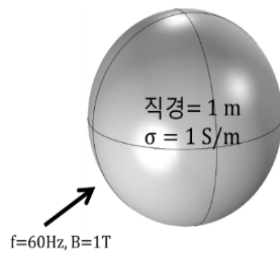


그림 1 유한요소법 도체구 모델

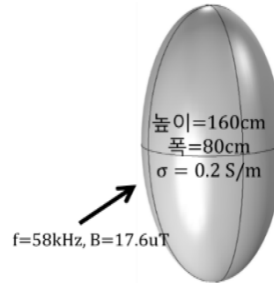


그림 2 유한요소법 회전타원체 모델

### 3. 해석결과

요소크기에 따른 유도전류밀도  $J[A/m^2]$  최대값의 오차율은 [그림 3], [그림 4]와 같다.

이 결과를 보면 해석영역을 나누는 요소의 크기가 작을수록 정확한 값을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 [그림 3]과 [그림 4]를 통해, 요소크기 5mm 이하에서 도체구의 오차율이 0.25% 미만으로 나타났고 회전타원체의 오차율은 1.3% 미만으로 확인되었다.

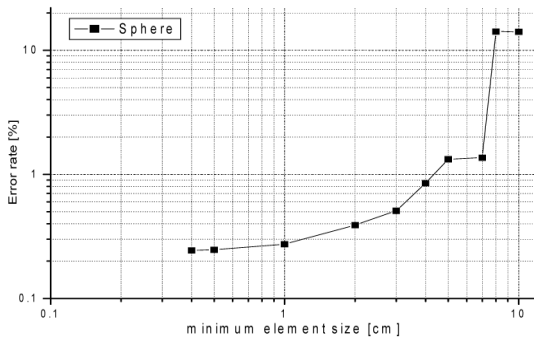


그림 3 요소크기에 따른 유도전류밀도 최대값의 오차율(60 Hz, 1 T 자기장, 직경 1 m, 도전율 1 S/m인 도체구)

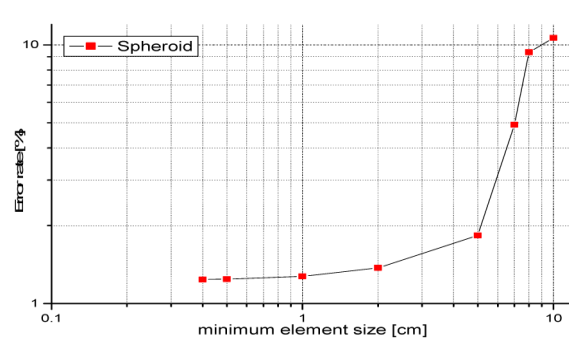


그림 4 요소크기에 따른 유도전류밀도 최대값의 오차율(58 kHz, 17.6 μT 자기장, 높이 160 cm, 폭 80 cm, 도전율 0.2 S/m, 회전축 z축 회전타원체)

### 4. 참고문헌

- [1] Spiegel, R.J. (1976). Magnetic coupling to a prolate spheroid model of man. IEEE Trans. Pwr. Appar. Sys PAS-96(1): 208-212
- [2] Strouboulis, T., Babuška, I., Copps, K., "The design and analysis of the Generalized Finite Element Method". Computer Methods . Vol 181, Issue 1-3, Pages 43-69,7 January 2000.