2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

자계에 의한 구형 인체모델 내부의 유도전류밀도 분포 해석

여희창*, 김부규**, 박상호***, 강대하*
*부경대, **한국전력, ***울산기능대

Analysis of Induced-Current density Distribution in Spherical Human Mdel

H. Ch. Yeo*, B. K. Kim**, S. H. Park***, D. H. Kang*
*Pukyong National University, **KEPCO, ***Ulsan Polytechnic College

Abstract -In this study the induced-current density distributions in spherical human model by the magnetic field from electric power lines were analysed with visualization and also the effects of phase difference between components of magnetc field were ivestigated.

1. 서 론

국내외의 경제 성장과 함께 전력에너지의 급격한 수요 증가로 전자계에 노출되는 정도나 빈도가 높아지고 있다. 더욱이 전력수요의 증가와 함께 송전전압은 특고압, 초고압화 되고 전력계통은 대전류설비로 구성 되고 있어 전자계의 생체에 미치는 영향에 대한 우려가 점증하고 있다. 3상 송전선로에 의해 발생하는 전계 및 자계와 인체사이의 상호작용은 유기조직내에서 유도전류를 유발한다. 인체가 전계 및 자계에 노출되면 열적 효과는 무시할 수 있는 정도이나 세포수준에 미치는 비열적 효과가 있을 수 있으며 그들 중 몇 가지는 백혈병의 발생과 관련이 있다는 보고가 있다[1].

최근에는 초고압 및 대전류 전력설비와 더불어 송전선로 근처에서의 생체에 미치는 전자계의 효과 산정이 중요한 과제로 대두되고 있으며 인체모델을 이용하여 전계 및 자계에 대한 인체내부의 유도전류밀도 분석이 수행되어왔다[2~8].

이 중 몇 가지를 소개하면 다음과 같다. D. W. Deno[2]는 지표면의 전위경도를 이용하여 송전선이 인체에 미치는 영향을 연구하였으며 간단한 인체모델의 노턴등가회로에 의해 정전유도전압 및 전류의 계산법을 제안하였다. R. G. Olsen[3]등은 Carson 이론을 이용하여 송전선로의 전자계 결합특성 및 파동 임피던스를 해석하여 인체에 대한 안전성 평가 연구를 수행하였다.

Spiegel[7]은 구형의 인체 및 동물 모델에 대하여 한방향의 전계 및 자계에 의한 전류밀도를 각각 계산하여 비교 분석하였다[7]. Shiau와 Valentino[8]는 타원회전체 모델을 이용하여 전계에 의한 내부 전류밀도특성을 분석하였다.

현재 국내에서도 송전선을 중심으로 전자계 특성 및 인체 안전에 관한 연구가 일부 연구자에 의해 진행되고 있으나[9, 10] 인체모델 내부의 전류분포 해석은 전무한 실정이다.

본 연구에서는 구형 인체모델을 이용하여 모델내부의 전류분포를 해석하였다.

2.구형 인체모델 내부의 전류밀도 분포

2.1 전류밀도의 정식화

구형 인체모델로서 3차원 좌표 X, Y, Z 축의 원점 (0, 0, 0)을 중심으로 하는 구가 지표상에 존재하는 것으로 상정한다. 이 구는 비자성 매질로 채워져 있으며 구외부의 매질은 공기로 가정한다. 또 인체의 도전율은 균등한 것으로서 $\sigma = 0.1$ [S/m] 로 가정하기로 한다. 앞서 3장에서 설명한 바와 같이 전력선하의 자속밀도는 수평 방향성분 $\dot{B}_x$ 및 수직 방향성분 $\dot{B}_z$ 만이 존재하므로 $\dot{B}_x$ 를 X축 방향성분, $\dot{B}_z$ 를 Z 축 방향성분에 대응시키기로 한다.

이 외부자계 $\dot{B}_x$ 및 $\dot{B}_z$ 는 상용주파수 60 [Hz]의 저주파 평등자계의 자속밀도로 가정한다. 한편, 전계와 자계 사이의 관계식은 파라데이의 유도법칙에 의해 식 (2-1)로 주어진다.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \tag{2-1}$$

즉 이 식은 직각 좌표계로 표시하면 식 (2-2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = -\left(\hat{x}\frac{\partial B_x}{\partial t} + \hat{y}\frac{\partial B_y}{\partial t} + \hat{z}\frac{\partial B_z}{\partial t}\right) \tag{2-2}$$

자속밀도 는 정현파 전류에 의해 유도되는 것으로서 식 (4-3)으로 표시하기로 한다.

$$B = \dot{B} \cdot \sin \omega t \tag{2-3}$$

여기서 $\dot{B}$ 를 각 좌표축 성분으로 표시하면 식 (2-4)~(2-7)로 표현할 수 있다.

$$\dot{B} = \hat{x} B_x + \hat{y} B_y + \hat{z} B_z \tag{2-4}$$

$$\dot{E}_{Bx} = \frac{\omega}{2}(z\,\hat{y} - y\,\hat{z}) B_x e^{j(-\frac{\pi}{2}+\alpha)} \tag{2-5}$$

$$\dot{E}_{By} = \frac{\omega}{2}(x\,\hat{z} - z\,\hat{x}) B_y e^{j(-\frac{\pi}{2}+\beta)} \tag{2-6}$$

$$\dot{E}_{Bz} = \frac{\omega}{2}(y\,\hat{x} - x\,\hat{y}) B_z e^{j(-\frac{\pi}{2}+\gamma)} \tag{2-7}$$

여기서 $\omega = 2\pi f$이며 f는 외부자계의 주파수이다. α, β 및 γ는 각각의 자속밀도 성분을 유도하는 전류의 위상각을 고려한 것이다.

합성전계는 식 (2-8)과 같이 식 (2-5)~식 (2-7)의 합으로 주어진다.

$$\dot{E} = \dot{E}_{Bx} + \dot{E}_{By} + \dot{E}_{Bz} \tag{2-8}$$