

100kHz-10MHz 자기장 노출에서 인체 유도전기장 추정을 위한 등가 신체지수 도출

송혜진*, 변진규, 신한수, 성동규
승실대학교 전기공학과

본 논문에서는 중간주파수 자기장에 인체가 노출되었을 때 인체 영향을 평가하기 위해 수치해석 기법을 이용하여 100kHz-10MHz 자기장에 의한 성인과 어린이 인체모델의 유도전기장을 계산하고 비교한다. 또한 성인과 어린이 모델에 대해 등가 신체지수를 도출하고, 보정계수를 도입하여 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정할 수 있는 기반을 마련한다.

1. 서론

최근 중간주파수와 저주파 자기장을 이용하는 공진형 무선전력전송 시스템에 대한 연구가 증가하여 전자파 인체노출에 대한 안전의 중요성이 증가되고 있다. 현재 인체에 미치는 전자기장의 연구는 성인에 초점을 맞춘 연구가 많았으나 WHO 등에서 어린이에 미치는 영향에 대해 주목하고 있기 때문에 성인과 어린이에 유도되는 전기장을 비교분석하는 것이 필요하다. 또한 수치해석 결과는 특정한 신체지수를 갖는 인체모델에 대해서만 유효하므로 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 등가 신체지수를 이용해 유도전기장을 간단히 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 성인과 어린이 모델의 유도전기장 계산

표1. 성인 남성 모델과 어린이 남성 모델의 조직별 유도전기장(1MHz)

조직	유도전기장(성인 모델) [V/m per μT]			유도전기장 (어린이 모델) [V/m per μT]		
	평균값	백분위 99%값	최대값	평균값	백분위 99%값	최대값
Skin	0.429	2.401	8.408	0.194	0.574	1.130
Muscle	0.271	0.913	3.218	0.127	0.396	0.738
Liver	0.454	0.997	1.270	0.143	0.384	0.442
Grey matter	0.183	0.474	0.624	0.165	0.406	0.553
White matter	0.182	0.386	0.574	0.154	0.300	0.485
CSF	0.100	0.383	0.563	0.127	0.409	0.586
Lens	0.106	0.121	0.152	0.146	0.204	0.204
Fullbody	9.569	40.168	252.239	4.610	14.630	37.797

Virtual Family Model[1]에 포함된 Virtual Family Tool을 이용하여 인체조직 파라미터를 분석하였다. Virtual Family의 34세 성인 남성 모델과 6세 어린이 남성 모델을 이용하고 조직별로 전기장을 계산하였다. 자기장의 방향은 성인의 경우 정면, 어린이의 경우 측면이며 자기장의 세기는 30.7 μT 이고 접지되지 않은 상태이다. 표1은 성인과 어린이 유도전기장 평균값, 백분위 99%값이며 성인모델의 백분위 99%값을 기준으로 정렬하였다. 조직의 경계부분이 다른 조직에 포함될 때 두 조직 사이의 전도성에 차이가 있을 경우 오류가 발생할 수 있기 때문에 수치해석 오차의 영향을 적게 받는 백분위수 99%의 값을 기준 값으로 이용하였다.

3. 다양한 신체지수를 갖는 인체의 유도전기장 추정을 위한 근사식과 신체지수 도출

수치해석 결과는 특정한 신체지수를 갖는 인체에 대해서만 유효하기 때문에 다양한 신체지수를 갖는 인체의 유도전기장을 추정할 수 있는 기반을 마련하기 위해 인체를 원형루프와 직사각형루프로 근사하였다.

표2. 유도전기장 추정을 위한 근사식

	원형 루프	직사각형 루프
지배방정식	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	
직사각형 및 원형 루프를 가정한 근사식	$2\pi R \cdot E = 2\pi f B \cdot \pi R^2$	$2(a+b) \cdot E = 2\pi f B \cdot ab$
유도 전기장의 수치해석 및 추정값	$E_{99} = \pi R_{effective} B f$	$E_{est} = \frac{a \cdot b}{a+b} \cdot \pi B f$
등가 R 지수	$R_{effective} = \frac{E_{99}}{\pi B f}$ ①	$R_{effective} = k \frac{a \cdot b}{a+b}$ ②

표3. 유도전기장 추정을 위한 등가 신체지수

	성인 남성	어린이 남성
$R_{effective} [m]$	0.504	0.157
$a [m]$	0.427	0.134
$b [m]$	0.709	0.388
k	1.893	1.573

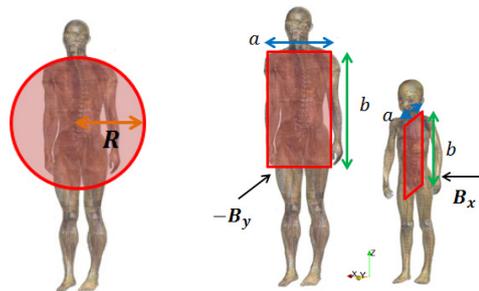


그림1. 인체를 원형, 직사각형 루프로 근사한 모델

맥스웰 방정식에 따라 원형루프와 직사각형루프에 유도되는 전기장의 식과, 수치해석으로 계산한 전신 백분위수 99% 전기장 값을 이용하여 $R_{effective}$ 를 도출하였다. 백분위수 99% 전기장 값을 이용하여 100kHz에서 10MHz까지 R값을 구한 후 평균을 내어 $R_{effective}$ 에 적용하였다. 표2의 식을 이용하여 $R_{effective}$ 와 신체지수 a, b 사이의 관계를 도출해 낼 수 있다. 여기서 수치해석으로 계산한 백분위수 99% 전기장 값과 직사각형루프의 근사식으로 계산한 E값의 차이를 보정하기 위해 보정계수 k 를 도입하였다. 이를 정리하면 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정하기 위한 과정은 그림2와 같다.



그림2. 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정하기 위한 플로우 차트

5. 결론

인체보호기준의 기본한계 해석을 하기 위해 성인과 어린이 모델에 대해 중간주파수 자기장에 의한 유도전기장을 분석하였다. 또한 수치해석 결과와 근사식을 바탕으로 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정할 수 있는 기법을 제시하였다.

6. 참고문헌

- [1] <http://www.itis.ethz.ch/servics/anatomical-models/overview/>
- [2] M.A. Stuchly, and T.W. Dawson, "Interaction of low-frequency electric and magnetic fields with the human body", Proceedings of IEEE, vol 88, No. 5, 2000.