

2-ray 전파모델을 적용한 전자파 인체노출 평가에 관한 고찰

조 광 윤 윤 재 훈
한국전자통신연구원 한국전자통신연구원

Analysis on Evaluation Method for Human Exposure to Electromagnetic Fields based on 2-ray Propagation Model

Kwanh Yun Cho Jae Hoon Yoon
ETRI ETRI

Abstract - 근래 무선통신기술의 발전으로 휴대폰 등, 무선기기의 사용이 급증하고 있으며, 주택가 인근에는 많은 무선기지국들이 신설되어 있다. 이러한 무선기기와 무선시설물은 목적인 바의 신호 송출을 위하여 전자파를 방출하고 있다. 본 논문에서는 무선기지국 안테나 근처에 서 있는 사람이 전자파에 노출될 때를 가정하여 2-ray 전파모델을 적용하여 참조규격의 전기장 강도 및 전력밀도를 산출하는 새로운 평가방법을 제시하고, 본 방법을 적용하여 일례의 전자파인체노출기준의 적합성을 평가한 결과를 분석, 고찰한다.

1. 서론

전자파의 인체노출기준은 전자파흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)을 규정하는 기본규격과 전자기장 강도나 전력밀도를 규정하는 참조규격으로 구분한다. 휴대폰처럼 노출부위가 사람의 두부 일부로 국부적 영역의 전자파 노출을 다루는 경우에는 전자파흡수율 기준을 적용하여 평가하는 것이 가장 적절하지만 이동통신기지국 안테나, 방송국 송신기 안테나처럼 전자파원이 비교적 크고 노출부위도 국부가 보다는 인체 전신에 대한 노출을 평가하는 경우에는 전자파흡수율 보다는 참조규격의 전기장 강도나 전력밀도를 평가 척도로 하는 것이 적절하다.

〈표 1〉 ICNIRP 전자기장 강도 및 전력밀도 기준

구분	주파수 범위	전기장 강도 (V/m)	자기장 강도 (A/m)	전력밀도 (W/m ²)	
직업인	0.82 kHz~65 kHz	610	24.4	-	
	0.065 MHz~1 MHz	610	1.6/f		
	1 MHz~10 MHz	610/f	1.6/f		
	10 MHz~40 0MHz	61	0.16		
	400 MHz~2,000 MHz	3/f ^{1/2}	0.008/f ^{1/2}		f/40
일반인	2 GHz~300 GHz	137	0.36	50	
	3 kHz~150 kHz	87	5	-	
	0.15 MHz~1 MHz	87	0.73/f		
	1 MHz~10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f		
	10 MHz~400 MHz	28	0.073		2
	400 MHz~2,000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}		f/200
2GHz~300GHz	61	0.16	10		

* 주파수 (f)의 단위는 주파수 범위에 표시된 단위

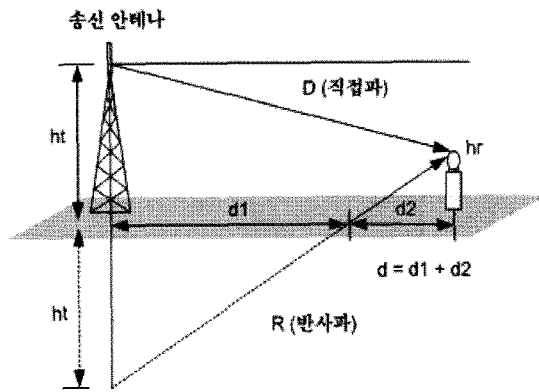
본 논문에서는 무선기지국 안테나 근처에 서 있는 사람이 전자파에 노출될 때를 가정하여 2-ray 전파모델을 적용한 새로운 평가방법을 제시하고, 그 일례를 들어 평가결과를 분석, 고찰한다.

2. 본론

2.1 2-ray 전파모델

지상에 서 있는 사람이 송신안테나로부터 방출되는 전자파의 인체노출 레벨의 평가는 통상적으로 Ray tracing 기법의 2-ray 전파모델이 적용된다. 안테나로부터 매우 가까운 영역에서 사람이 받는 전자파 노출레벨을 평가하는 것이므로 일반적인 전파분석모델 보다는 2-ray 전파모델을 사용하는 것이 더욱 정확하다. 송신 안테나에서 방출된 전자파 \vec{E} 은 직접파(Direct wave) \vec{E}_D 와 대지면에 반사되어 들어오는 반사파(Reflected wave) \vec{E}_R 가 합쳐진 2-ray 전파모델로

해석될 수 있다.



〈그림 1〉 인체노출기준 평가에 도입한 2-ray 전파모델

$$\vec{E} = \vec{E}_D + \vec{E}_R \tag{1}$$

직접파의 경로 길이를 D, 반사파의 경로 길이를 R, 송신안테나의 높이를 ht, 수신안테나의 높이를 hr, 그리고 안테나와 사람 사이의 지상거리를 d 라고 할 때, 안테나 높이와 전파의 경로길이 및 거리의 관계식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h_r - h_t = \sqrt{D^2 - d^2} \tag{2}$$

$$h_r + h_t = \sqrt{R^2 - d^2} \tag{3}$$

인체의 전파거리 D₀에 대한 기준 전기장 강도를 E₀라고 하면, 사람이 서 있는 지점의 전기장 강도 E (V/m)는 기준거리의 전기장 강도 E₀에 비하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(d,t) = E_0(D_0/D)e^{-j\omega_0(t-D/c)} + \kappa E_0(D_0/R)e^{-j\omega_0(t-R/c)} \tag{4}$$

여기서, c는 광속도, D는 송신안테나로부터 방출된 주파수, E₀는 기준거리 D₀의 전기장강도 이다. 또한, 괄호의 (t-D/c)는 수신점으로 들어오는 직접파의 도착 지연시간, (t-R/c)는 수신점에 들어오는 반사파의 도착 지연시간을 각각 나타낸 것이다. 또한, E₀(D₀/D)는 직접파 경로길이에 대한 전기장강도 E_D 이며, $\kappa E_0(D_0/R)$ 은 반사파 계수(κ)를 고려한 반사파 경로길이에 대한 반사파 전기장강도 E_R 이다. 위 식(4)에 반사파 도착 지연시간 즉, t=R/c를 적용하여 식을 정리하면 다음과 같이 간략하게 표현된다.

$$E(d,t) = E_0(D_0/D)e^{-j\omega_0\left(\frac{R-D}{c}\right)} + \kappa E_0(D_0/R) \tag{5}$$

따라서 식(5) 전기장 강도의 크기는 다음 식과 같다.

$$|\vec{E}| = E_0 D_0 \left| \frac{1}{D} \exp\left\{-j\omega_0\left(\frac{R-D}{c}\right)\right\} + \frac{\kappa}{R} \right| \tag{6}$$

$$= E_0 D_0 \sqrt{\frac{1}{D^2} + \frac{\kappa^2}{R^2} + \frac{2\kappa \cos\left(\frac{2\pi f_0(R-D)}{c}\right)}{DR}}$$

여기서 f₀는 송신 안테나의 동작 주파수 이다.

2-ray 전파모델에서 직접파 경로길이 D와 반사파 경로길이 R은

각각 $D = \sqrt{(h_r - h_t)^2 + d^2}$, $R = \sqrt{(h_r + h_t)^2 + d^2}$ 이다. 송신 안테나의 높이와 지상거리, 사람의 키 높이와 지상거리는 각각 $ht \ll d$, $hr \ll d$ 조건이 성립될 때, 가장 실제에 근접한 계산결과가

나올 수 있다. 이것은 송신 안테나로부터 아주 근접한 곳에서 전자파 인체노출 레벨을 평가할 때는 2-ray 전파모델이 가장 정확한 결과를 산출할 수 있다는 것을 의미한다.

전자파는 방향성을 고려하여 수직성분의 전기장 강도와 수평성분의 전기장 강도로 구분된다. 그러므로 전기장 강도의 크기는 수직성분과 수평성분의 전기장 강도의 합으로 구하여야 한다. 그러므로 대지 반사계수 $K=1$ 로 놓고 식(6)의 각 성분의 전기장 강도의 크기를 구하면 각각 다음 식과 같다.

$$|E_H| = E_0 D_0 \sqrt{\frac{1}{D^2} + \frac{1}{R^2} - \frac{2}{DR} \cos \frac{2\pi f_0 (R-D)}{c}} \quad (7)$$

$$|E_V| = E_0 D_0 \sqrt{\frac{1}{D^2} + \frac{1}{R^2} + \frac{2}{DR} \cos \frac{2\pi f_0 (R-D)}{c}} \quad (8)$$

따라서 합성 전기장 강도는 다음 식과 같이 정리된다.

$$|\vec{E}| = E_0 D_0 \sqrt{2 \left(\frac{1}{D^2} + \frac{1}{R^2} \right)} \quad (9)$$

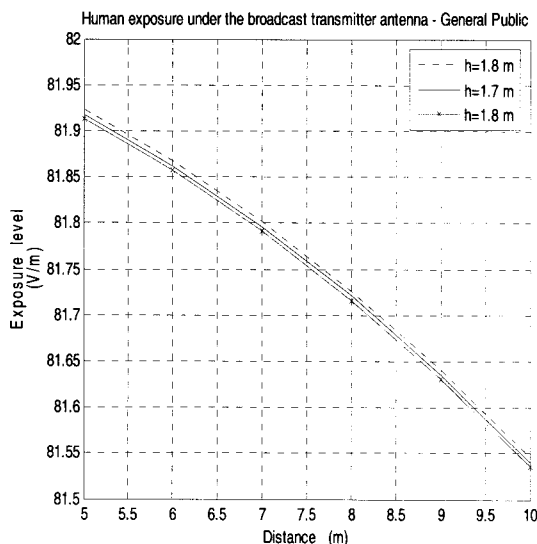
여기서 기준거리 D_0 는 인체노출기준 전기장 강도 E_0 [V/m]가 나타나는 지점이다. 본고에서 적용한 기준거리의 예는 이동통신기지국 안테나의 경우에 대략 10 m, 방송국 송신 안테나인 경우에 대략 90 m로 각각 정하였다.

2.2 2-ray 전파모델을 적용한 전자파 인체노출 평가 분석

무선기지국 송신 안테나 근처에 사람이 서 있을 경우를 가정하여 본고에서 제시한 새로운 평가방법을 적용하여 전자파 인체노출기준에서 허용하는 접근거리와 전기장 강도의 특성을 분석하고 접근 가능한 최대 접근거리를 산출한다.

2-ray 전파모델에서 직접파 경로길이 D 와 반사파 경로길이 R 은 지상거리, 송신 안테나의 높이 및 사람 키의 높이에 각각 관계된다. 그러므로 사람의 키 높이는 $h_r=1.6$ m, $h_r=1.7$ m, $h_r=1.8$ m로 하고, 안테나 철타의 높이는 $h_t=10$ m와 $h_t=90$ m로 각각 정한다. 일반적으로 이동통신기지국 안테나의 철타는 10 m 이상을 높이에 시설되고, 방송국 송신 안테나는 90 m 이상의 철타 위에 시설된다. 또한, 본 연구에서 D_0 기준거리의 전기장 강도는 직업인 인체노출기준의 전기장 강도 기준치로 정하였다. 왜냐하면 통상적으로 이 영역은 일반인이 접근할 수 없는 통제구역이므로 관계자(직업인)만 접근한다고 가정하여 기준거리의 기준치로 각각 정한 것이다. 이것은 전자파 인체노출 평가에 좀 더 실제에 근접한 객관성을 확보하기 위한 것이다.

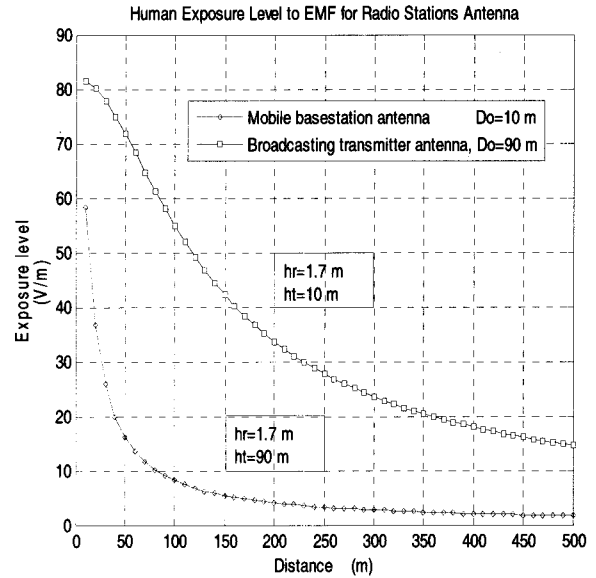
분석결과, 사람의 키 높이 차이에 따른 전기장 강도 레벨의 변화는 무선국 안테나 근처에 사람이 서 있을 경우, 키 높이에 따른 전기장 강도의 변화는 거의 무시할 정도로 미미한 차이를 보였다. 이것은 기지국 안테나의 송출전력이 약한 경우에 사람 키 높이에 따른 전기장 강도의 레벨의 변화는 거의 무시할 수 있다는 의미로 해석된다.



〈그림 2〉 사람의 키 높이에 따른 전기장 강도 분석결과 (ht=90 m 기준거리)

또한, 접근허용거리별 전기장 강도 특성은 철타 높이가 10 m인 경우, 800 MHz 주파수대역에서 일반인 노출기준의 전기장 강도 기준이 약 41 V/m 이므로 허용 가능한 최대 접근 거리가 대략 18

m 정도인 것으로 파악되었으며, 400 MHz 주파수대역에서 일반인 노출기준은 약 27 V/m 이므로 최대 허용 접근거리는 대략 25 m 정도인 것으로 파악되었다. 그러므로 철타의 높이가 90 m인 경우는 철타의 높이가 10 m인 경우보다 무선국 송출전력 레벨을 높게 방출하든가 접근 허용거리를 더욱 길게 잡을 수 있다는 의미를 가진다. 따라서 800 MHz 이동통신 주파수대역에서는 안테나 철타로부터 대략 16 m까지 일반인 접근이 허용되는 거리로 간주할 수 있고, 400 MHz 방송 주파수대역에서는 대략 280 m까지 일반인이 접근할 수 있는 것을 파악할 수 있었다.



〈그림 3〉 일반인의 접근거리별 전기장 강도 레벨

3. 결 론

휴대폰 전자파와 같이 사람의 두부에 국부적으로 노출되는 경우에는 전자파흡수율을 평가하여 전자파 인체 노출기준의 적합 여부를 판단하는 것이 적절하다. 그러나 이동통신기지국이나 방송국 송신기 안테나처럼 방사원의 크기가 크고 노출부위가 인체 전신을 대상으로 할 경우에는 전자파흡수율에 의한 평가 보다는 참조규격의 인체노출기준에서 규정한 전자기장 강도나 전력밀도 기준을 적용하여 평가하는 것이 적절한 평가 방법이다. 본 연구에서 제시한 평가 방법은 특정 기준거리의 전자기장 또는 전력밀도 기준을 먼저 정해 놓고 이에 대비한 결과 값을 산출하는 것이므로 직접 전자기장 강도 또는 전력밀도를 계산하는 기존의 평가방법과는 다소 차이가 있다. 앞으로 대지의 반사계수도 고려하고 주위의 반사체에 대한 영향 계수도 고려하여 좀 더 정확하고 신뢰성 높은 평가결과가 보강될 수 있는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] IEC/TC106, "Determination of RF fields in the vicinity of mobile communication base stations for the purpose of evaluating human exposure", IEC/TC106/145CD, 2008
- [2] IEC62110, "Procedures for Electric and Magnetic Field levels Generated by AC Power Systems with Regard to Human Exposure", IEC/TC106/154CDV, 2008
- [3] ITU-T K.52, "Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields", K.52, 2002