

무선국 전자파 노출량 평가기술

김 병 찬 · 최 형 도

한국전자통신연구원
전파기술연구그룹

I. 서 론

무선국으로부터 복사되는 전자파 강도의 측정
시장 출하 시(on to the market) 실시하는 인증 시험,
설치되어 있는 무선국 주변에서의 현장 측정(in-situ)
그리고 무선국 설치 시(put into service) 무선국 주변
전자파 환경 측정으로 나누어 고려한다. 인증 시험은
무선국 공중선(antenna)에 대한 성능 평가로써 전파
무반사실과 같은 실험실내에서 진행되는 제품 규격
확인 시험에 해당한다. 현장 측정은 사람 중심의 인
체 노출량 평가이고, 준공 검사·정기 검사·변경
검사를 포함하는 무선국 설치 시의 측정은 무선국
중심의 무선국 주변의 전자파 환경 평가로 구분한
다. 세 가지 분류 중 운용중인 무선국을 대상으로 하
는 것은 현장 측정과 무선국 주변 전자파 환경 측정
이다.

운용중인 무선국에서 복사되는 전자파의 인체 영
향에 대한 관심이 높아짐에 따라 많은 국가에서 전
자파 복사량을 정확하게 측정할 수 있는 표준 절차
수립에 대한 연구가 추진되고 있는데 특히, 유럽 28
개국이 참여하는 CELENLEC(European Committee for
Electrotechnical Standardization)에서 가장 활발하게
관련 연구가 진행되고 있으며, 현장 측정 표준인 EN
50492와 무선국 설치 시 전자파 환경 측정 표준인 EN
50400이 곧 제정될 것으로 보이며, 곧이어 유럽 각국
에서 채택할 것으로 예상된다. 국내에는 현장 측정 표
준 절차가 정보통신기술협회(TTA)의 단체 표준(TTAS.
KO-06.0125)으로 제정되어 있으며, 무선국 전자파
강도 측정 기준이 전파연구소에서 고시하여 시행될

예정이다.

본 논문에서는 다양한 형태의 무선국 중 이동통
신기지를 중심으로 국내에서 적용되고 있는 일반
인(general public)을 대상으로 하는 현장 측정 및 무
선국 설치 시 전자파 강도 측정 기술에 대해 다루고
자 한다.

II. 인체 노출에 대한 전자파 강도 측정¹⁾

현장 측정은 무선국 주변의 사람이 생활하는 공
간에서 무선국으로부터 복사되는 전자파에 대한 인
체의 노출량을 평가하는 것으로 측정값과 기준값을
비교하여 인체 보호 기준과의 적합성 여부를 판단하
기 위한 측정이다. 본 절에서는 인체 노출에 대한 전
자파 강도 측정 시 고려해야 할 측정 영역 및 측정
위치, 측정 시간, 수신기 관련 사항을 검토하고 800
MHz 대역의 송신 주파수를 사용하는 무선국을 대상
으로 한 현장 측정의 결과를 살펴보기로 한다.

2-1 현장 측정 시 고려 사항

2001년에 정보통신부 고시로 제정된 국내 인체 보
호 기준이 준용하고 있는 국제비전리방사보호위원
회(ICNIRP, International Commission on Non Ionizing
Radiation Protection) 기준에 의하면 무선국 주변에서
인체 노출에 대한 전자파 강도를 평가할 때에는 전신
노출(whole body exposure)을 기준으로 하여 인체가
전자파에 노출되는 일정한 공간내에서 측정된 전자
파 강도값으로부터 공간 평균값(spatial averaging)을
계산하고, 이를 기준값(reference levels)과 비교하여

(노출 지수, exposure ratio) 인체 보호 기준과의 적합성 여부를 판단하도록 되어 있다. 이때, 평균값은 계산에 사용되는 샘플(sample)의 갯수 즉, 측정점의 갯수에 따라 그 값이 달라지므로 무선국에서 복사되는 전자파에 의한 인체의 노출량을 평가할 때에는 측정점의 갯수를 결정하는 것과 공간 내에서 인체가 점유하는 영역을 의미하는 적절한 측정 영역을 정하는 것이 중요한 문제가 된다. 그러나 아직까지는 국제적으로 공통으로 적용되는 측정 영역과 측정점 갯수에 대한 기준이 없으며, 각 국가 및 ITU(International Telecommunications Union), IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), IEC(International Electrotechnical Commission), CENELEC(European Committee for Electrotechnical Standardization)과 같은 국제(혹은 지역) 표준기구에서 각기 다양한 측정 프로토콜을 적용하면서 표준의 조화(harmonization)을 위해 노력하고 있다. 국내에서 2006년 12월에 제정된 TTA표준에 의하면 세 개의 높이(1.1 m, 1.5 m, 1.7 m)를 기준으로 각 높이에서 3개 위치에서의 실효값(rms, root

mean square)을 측정하여 그 평균값을 취하도록 하고 있다. 즉, [그림 1]과 같이 무선국 주변 원거리장(far field)에서 일반인의 무선국 전자파에 대한 인체 출력을 평가할 때에는 인체가 놓일 공간에서 인체가 점유하는 공간을 기준으로 9개 위치에서 측정하고 이 값들로부터 공간 평균값을 계산한다.

9개의 측정값을 이용하여 아래의 식을 적용하여 공간 평균값을 계산한다.

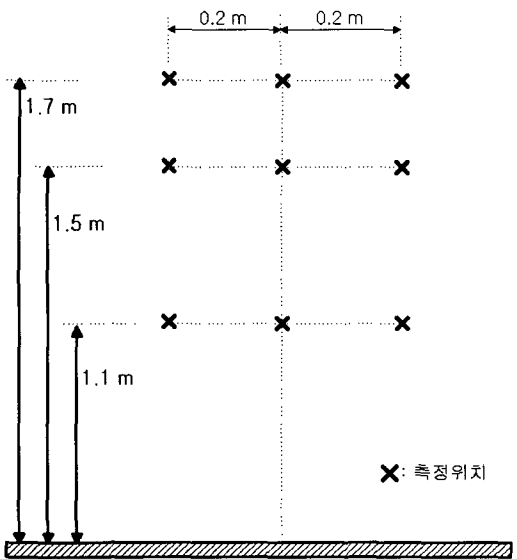
$$\text{공간 평균값} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_i \text{ or } H_i)^2}{N}} \quad (1)$$

여기서, E_i 와 H_i 는 상기 그림의 각 위치에서 측정된 전자기장 강도값이고, N 은 측정 위치의 개수(3 혹은 9)이다. 또한, 원거리장에서 전자파의 편파(polarization) 변화에 의한 측정위치에서의 수신 강도 변화를 극복하기 위해 수신기로서 등방성 프로브(isotropic probe)를 사용하여야 하며, 다중 주파수 환경에서 개별 신호원을 구분하기 위해 협대역 측정(narrowband measurement)이 가능하도록 스펙트럼 분석기 등의 전력 수신기를 프로브와 함께 사용한다.

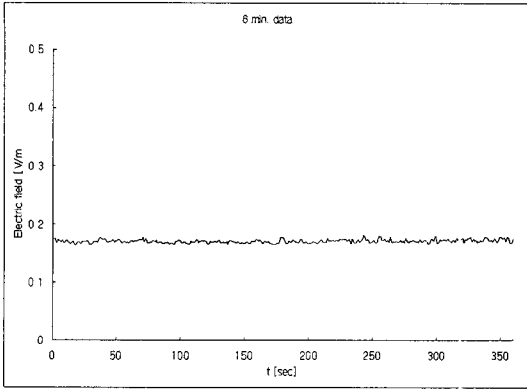
한편, 측정 시간의 경우 국내 인체 보호 기준에서는 [그림 1]의 측정 위치에서 각각 6분간 측정하도록 되어 있다. 그러나 측정 위치 즉, 측정점 개수가 많아질 경우 상당히 많은 시간이 소요되므로 측정점 개수에 따른 측정 시간을 줄이기 위해 측정을 하기 전에 측정 지점의 1.5 m 높이에서 1분 이상 6분 미만의 측정 시간으로 6분간의 평균값을 얻을 수 있을 경우 측정 시간을 1분으로 단축하여 측정하도록 TTA 표준에서 제시하고 있다.

2-2 현장 측정 및 인체 보호 기준과의 적합성 여부의 판단

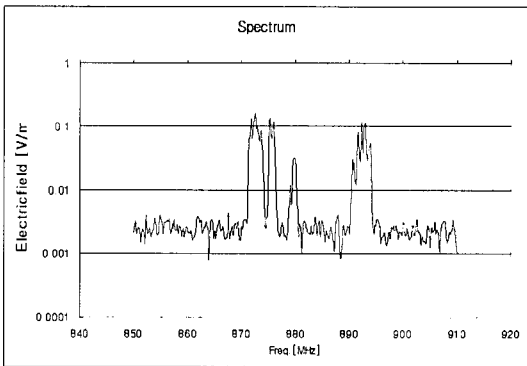
측정 대상 무선국은 [그림 3]과 같이 송신 주파수 대역이 869~894 MHz인 CDMA 방식의 기지국이고



[그림 1] 측정 위치



[그림 2] 시간에 따른 변화량



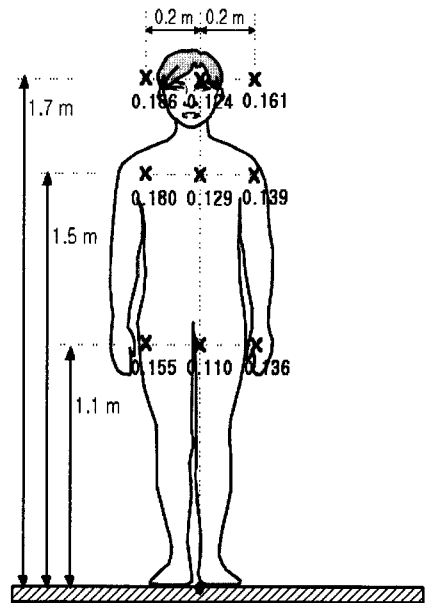
[그림 3] 측정 주파수 대역의 스펙트럼



[그림 4] 측정 장면

주변엔 동일한 송신 주파수를 사용하는 다른 기지국이 없으며 또한, 공용화 기지국이 아닌 단독 기지국이다. 특정 지역에 대하여 노출량을 측정할 경우 무선국의 가시 경로, 무선국과 측정 지점간의 거리, 사람의 통행 여부 등을 고려하여 프로브의 높이는 1.5 m로 두고 측정 대상 지역에서 측정 신호 하한 주파수 파장의 3배(1.0 m) 정도의 영역 내에서 전기장 강도가 최대인 지점을 찾아 프로브를 설치한다. 측정 지점이 선정되면 그 지점에서 해당 주파수 스펙트럼을 확인한다. [그림 4]의 측정 지점은 농로로써 주민들의 출입이 빈번한 곳이다.

본격적인 측정에 앞서 측정 시간 단축 가능 여부를 판단하기 위해 1.5 m 높이에서 6분간 측정하여 6분 평균값 및 1분 평균값 비교한 결과, 두 값 차이가 무시할 정도로 작아 평균 측정 시간을 1분으로 하였다. 측정 지점에서 9개 위치에서 실효값을 각각 1분씩 측정하여 [그림 5]와 같은 결과를 얻었다.



[그림 5] 9개 측정 위치의 측정값(검파 모드: 실효값, 단위: V/m)

9개의 측정값으로부터 공간 평균값을 계산한 결과는 0.149 V/m 이었으며, 공간 평균값과 인체 보호 기준과의 비교를 위해 다음의 과정을 수행하였다. 즉, 측정 주파수 대역인 869~894 MHz에서 전기장 강도 기준값은 40.53~41.11 V/m 이다. 최악의 경우를 고려하기 위해 측정 주파수 범위에서 가장 작은값인 40.533 V/m를 적용하여 구한 노출 지수는 0.00001351 이 된다. 이 값은 1.0보다 작은 값이므로 인체 보호 기준을 만족하는 것으로 판단할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{노출 지수} &= \left(\frac{\text{공간 평균값}}{\text{인체보호기준값}} \right)^2 = \left(\frac{0.149}{40.533} \right)^2 \\ &= 0.00001351 \end{aligned} \quad (2)$$

Ⅲ. 무선국 전자파 강도 측정²⁾

무선국 설치 시 즉, 무선국의 준공 검사(정기 검사)변경 검사 시의 전자파 강도 측정은 무선국 중심의 측정으로써 사람 중심의 현장 측정(*in-situ*)와는 그 방법이 약간 다르다. 현장 측정이 무선국 주변의 사람이 생활하는 공간내의 임의의 지점에서 3개 혹은 9개 위치에서 측정된 값의 평균을 취하는데에 반해 무선국 중심의 전자파 강도 측정은 정해진 지점으로부터 일정 거리 간격을 따라 각 측정 지점에서 한 개 위치에서 측정 후 그 중 최대인 지점에서 3개 위치에서 측정하여 그 중 최대값을 취하게 된다. 이때, 측정 시작 지점과 측정 간격은 공중선의 높이, 출력, 주파수 그리고 무선국으로부터 수신 지점간의 전파경로 등을 고려하여 계산으로 미리 정해지며, 무선국에 가까워지는 방향으로 접근한다. 해당 무선국에 의한 전자파 노출량이 기준값을 초과할 경우에는 출력 조정 또는 일반인의 접근을 막기 위한 안전 시설의 설치 등의 조치가 있어야 한다. 본 절에서는 무선국 전자파 강도 측정 시의 주요 고려 항목의 결정과 관련된 사항들을 살펴보고자 한다.

3-1 측정 시작 지점의 선정과 측정 간격

측정 시작 지점은 측정 대상 무선국 주변의 어디 서부터 측정하느냐 하는 문제로서 가장 일반적인 방법으로는 공중선의 높이와 경사각(*tilting angle*)을 고려하여 정할 수 있다([그림 6]의 d). 그러나 무선국 중심의 전자파 강도 측정일 경우에는 측정 시작 지점을 아래의 식을 이용해서 계산된 무선국 안전 경계(CB, *compliance boundary*)까지의 지상 거리([그림 6]의 R)의 5배 지점으로 정한다.

$$R = \sqrt{\frac{AP10^{G/10}}{4\pi E^2 \eta_0}} \quad (3)$$

여기서, A : 지면 반사를 고려한 상수(2.56 적용)

p : 공중선 전력(시스템 손실 포함) [W]

G : 공중선 이득 [dB]

E : 해당 무선국 송신 주파수 대역의 인체 보호 기준 전자파 강도 기준값

η_0 : 자유 공간의 파동 임피던스(377 Ω)

국내에서 운용중인 무선국의 대부분을 차지하는 기지국에 대한 현장 실태 조사 결과, 대부분의 기지국에서 R의 5배 이상인 지점에서 측정이 용이하지 않으며, 대부분의 경우 기지국이 설치된 건물 옥상에서 주로 측정이 이루어질 것으로 파악되고 있다. [그림 6]에서와 같이 이론적으로 계산했을 때 R의 5배 되는 지상 거리(23 m)에서의 전자파 강도값은 공중선으로부터 1 m 떨어진 지점에서의 값의 약 4.35%이며, 경사각을 고려한 주 빔이 지상과 만나는 지점($d=73$ m)에서의 전자파 강도 예상값은 1.34%로써 약 3.25배의 차이가 있다. 따라서 주 빔이 지상과 만나는 지점에서의 전자파 강도값은 거리에 따른 감쇄 정도가 매우 크고 그 값 또한 매우 적다. 또 실제 복잡한 주변 환경을 고려하여 해당 무선국의 안전 경계 거리인 R의 5배 되는 지점부터 측정하는 것은 때

〈표 1〉 송신국 주파수별 측정 간격

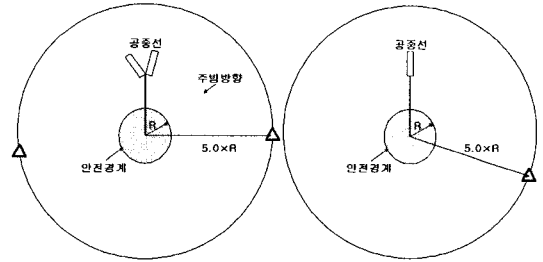
송신 주파수	80 MHz 미만	80 MHz 이상 900 MHz 미만	900 MHz 이상 3,000 MHz 미만	3 GHz 초과
측정 간격	$\text{Max}(\lambda, d/40)$	$\text{Max}(2 \text{ m}, d/40)$	1 m	0.5 m

* λ 는 무선국 송신 신호의 파장이고, d 는 측정 시작지점까지의 거리이다.

우 합리적이다.

또한, 측정 시작 지점의 위치는 섹터 공중선일 때와 무지향 공중선일 경우를 구분하여 [그림 7]과 같이 주 빔 방향의 가시 경로 상에 측정 시작 지점을 선정한다. 섹터 공중선일 경우, 각 섹터별로 총 3개의 측정 지점을 각각 선정하고 무지향 공중선의 경우 지형 지물 등 주변 전파 환경을 고려하여 최악의 조건이 나타나는 방향의 1개의 가시 경로 상에서 측정 지점을 선정한다.

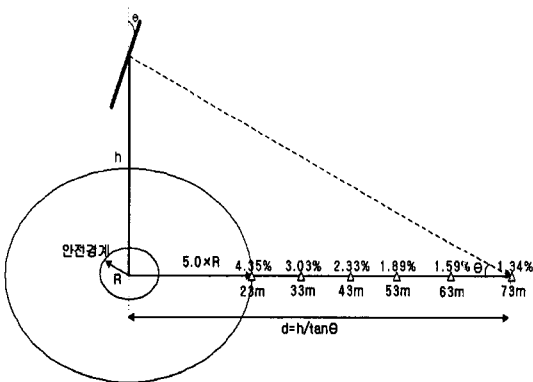
측정 시작 지점이 결정되면 무선국 방향으로 일정 간격으로 접근하면서 측정을 수행하게 되는데, 간격은 무선국의 송신 주파수에 따라 달라지게 되며, 〈표 1〉의 간격을 따른다.



[그림 7] 섹터 공중선과 무지향 공중선의 측정 시작 지점

3-2 측정 경로와 측정 위치

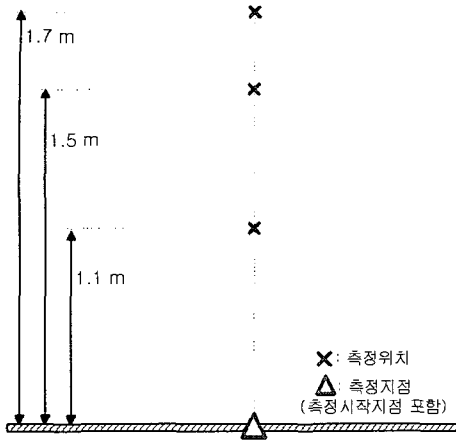
무선국 주변 임의의 지점에서 측정을 수행하는 사람 중심의 현장 측정과는 달리 무선국 중심의 전자파 강도 측정은 측정 시작 지점으로부터 무선국 방향으로 사람이 접근할 수 있는 최근접 영역까지 접근하면서 각 측정 지점별로 1.5 m 높이에서 측정한다. 만약 [그림 7]과 같은 가시 경로를 따라 측정 지점을 선정할 수 없을 경우에는 측정 가능한 가장 가까운 가시 경로상의 지점을 선정하면 된다. 1.5 m 높이에서 측정한 값들 중 가장 큰 값을 갖는 지점에서는 [그림 8]과 같이 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m 3개 위치에서 측정하고 이 중 최대값을 취한다. 검파 모드 및 수신기, 각 측정 위치에서의 측정 시간은 현장 측정의 조건과 동일하다.



[그림 6] 계산된 안전 경계(R)의 5배 되는 지상 거리와 경사각을 고려한 주 빔이 지상과 만나는 지점(d)에서의 전자파 강도 예상값(PCS 공중선 이득: 19 dB_i, 공중선 전력: 30 W, 시스템 손실: 4 dB, 공중선 높이(h) = 20 m, 경사각(θ): 15°)

3-3 무선국 전자파 강도 측정 및 적합성 여부의 판단

공중선 전력이 10 W이고, 이득이 11.85 dB_i 인 주 거 밀집 지역 건물의 옥상에 위치하고 있는 무선국의 경우, 계산된 안전 경계 거리는 약 1.69 m이며, 측정



[그림 8] 측정 지점과 측정 위치

<표 2> 측정 데이터*

무선국으로부터거리[m]	2	4	6	8
전기장 강도[V/m]	12	10.4	8.8	7.3

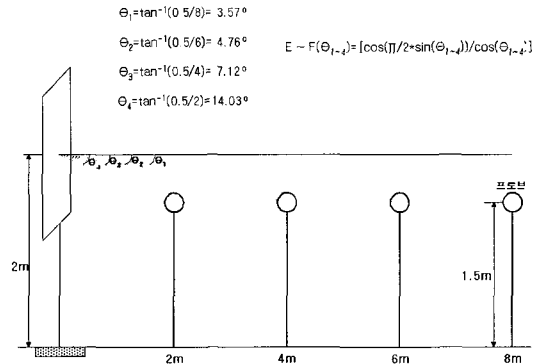
* 2 m 거리에서는 1.1, 1.5, 1.7 m 세 위치에서 최대값인 1.5 m의 값임, 나머지 거리에서는 1.5 m 높이에서만 측정된 값임.

시작 지점까지의 거리는 8.45 m이다. 이 무선국으로부터 측정 가능한 지점인 공중선으로부터 각각 2, 4, 6, 8 m 떨어진 지점에서 프로브 높이를 1.5 m로 두고 실효값의 1분 평균값을 확인한 결과, <표 2>와 같은 측정값을 얻었다.

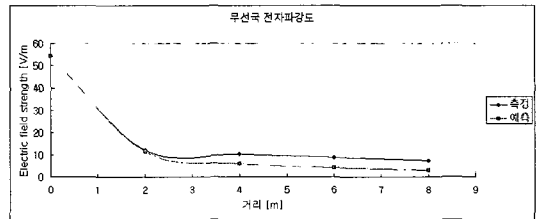
상기 무선국의 송신 주파수 대역에서 인체 보호 기준값은 40.53 V/m이며, 최대 접근 가능 지점인 공중선으로부터 2 m 떨어진 지점에서의 옥상 지면으로부터 세 개의 위치(1.1, 1.5, 1.7 m)에서 측정된 전기장 강도값의 최대값은 1.5 m 높이에서 12 V/m이며, 노출 지수는 $(12/40.53)^2=0.08766$ 이다. 이 값은 1.0보다 적으므로 해당 무선국은 기준값을 만족한다.

IV. 결 론

운용중인 무선국 주변에서 전자파 강도를 측정하



[그림 9] 무선국 전기장 강도 측정 지점 및 공중선 중심으로부터의 각도(2 m 지점에서는 1.1, 1.5, 1.7 m 3개 위치에서 측정 수행)



[그림 10] 무선국 전자파 강도 측정 및 예측 데이터

는 방법은 현장 측정과 무선국 전자파 강도 측정이 있으며, 측정 방법은 약간 다르다. 사람 중심의 현장 측정의 경우, 인체의 전신 노출을 기준하여 인체가 점유하는 공간에서 여러 개의 측정값으로부터 공간 평균값을 산출하여 인체 노출 기준값과의 비교를 통해 적합성 여부를 판단하지만 무선국 중심의 측정일 경우에는 3개 위치의 값 중 최대값을 기준값과 비교한다.

참 고 문 헌

- [1] "기지국 주변에서 인체노출에 대한 전자파 강도 측정방법", TTA 단체표준 TTAS.KO-06.0125.
- [2] "전자파 강도측정기준", 전파연구소 고시 제2007-49호.

≡ 필자소개 ≡

김 병 찬



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 1월~2000년 11월: LG전자 연구원
2000년 12월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀 선임연구원
[주 관심분야] 전자파 인체영향, 전자파 측정

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)
1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원

전자파환경연구팀장
[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체영향