THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2022 January.; 33(1), 38～45.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2022.33.1.38
ISSN 1226-3133 (Print)・ISSN 2288-226X (Online)

5G 무선국 전자파 강도의 측정지점 및 설치 높이별 결과분석

Analysis of Results by Measurement Point and Installation Height of Electromagnetic Wave Intensity in 5G Radio Stations

박 용 진・진 용 화・이 명 동

Yong-Jin Park・Yong-Hwa Jin・Myeong-Dong Lee

요 약

’18년도 12월부터 국내에서 5G 서비스가 상용화된 이후로 기지국 장비 수의 증가와 함께 전자파에 대한 우려가 확산되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 ’20년도 하반기에 측정한 Sub-6 GHz 5G(3.42 GHz～3.7 GHz) 전자파강도 측정데이터를 건물 높이와 안테나 설치대 높이의 합인 총 높이를 기준으로, 0 m 이하(지하・터널 등)에서 100 m 초과까지 12개 구간(10 m 단위)으로 나누어 분석해 보았다. 그 결과, 50 m 이하까지는 총 높이가 전자파 강도에 영향을 미치지만, 이후로는 주변 전파환경의 영향이 더 큰 것으로 추측된다. 또한, 측정지점은 안테나와의 거리가 가까운 화단에서 최댓값이 측정되었으며, 총 높이와 측정지점에 따른 결괏값 모두 인체보호기준 대비 낮은 수치를 보였다.

Abstract

Since 5G services were commercialized in Korea in December 2018, concerns about electromagnetic waves have been spreading along with the increase in the number of base station equipment. Accordingly, this paper analyzed the Sub-6 GHz 5G (3.42 GHz to 3.7 GHz) electromagnetic intensity measurement data measured in the second half of 2020 divided into 12 sections (10 m units) from less than 0 m (underground, tunnel, etc.) to more than 100 m based on the total height of the building height and antenna installation table. Consequently, a total height of 50 m or less affects the electromagnetic wave intensity, but it is judged that the influence of the surrounding radio environment is greater afterwards, and the average measurements for each section are very low compared to the human protection standard. In addition, the maximum value of the measurement point was measured in the flower bed close to the antenna, and both the total height and the result value according to the measurement point were lower than the human protection standard.

Key words: 5G Radio Station, EMF Strength, Base Station

Ⅰ. 서 론

우리나라는 기지국을 비롯한 전파를 보내거나 받기 위한 모든 전기적 설비를 무선설비, 이러한 무선설비를 조작하거나 설치공사를 하는 사람으로서 법에서 정한 기술자격증을 발급받은 자는 무선종사자, 그리고 무선설비와 무선설비를 조작하는 자의 총체를 무선국이라 한다[1].

이러한 무선국은 전파법 제47조의2(전자파 인체보호

「이 연구는 한국전파진흥협회의 5G 무선국 전자파강도 측정결과를 토대로 연구되었음.」
한국전파진흥협회(Korea Radio Promotion Association)
・Manuscript received November 12, 2021 ; Revised December 4, 2021 ; Accepted December 24, 2021. (ID No. 20211112-003S)
・Corresponding Author: Yong-Jin Park (e-mail: pyj2021@rapa.or.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기준 등)와 동법 시행령 제65조(전자파강도의 보고대상 무선국), 제66조(전자파강도의 보고 시기 및 방법), 제67조(전자파강도의 측정 요청 시기 및 방법)에 따라 전자파강도를 의무적으로 측정하도록 규정되어 있다. 다만 모든 무선국에 대해 전자파강도를 의무적으로 측정하는 것은 아니며, 표 1에 따라 무선국 구분별로 해당하는 안테나 공급전력 기준과 설치 장소 기준에 모두 해당할 때 의무 측정 대상으로 규정한다[2].

또한, 의무 측정 대상에 해당하는 무선국은 국립전파연구원의 전자파강도 측정기준 고시의 별표 1(무선국의 전자파강도 측정방법)에 따라 측정을 실시한다.

이와 같은 관련 법규에 따라 협회에서는 2011년부터 2020년까지 연평균 45,000국에 대해 의무 측정을 실시하였다. 또한, 의무 측정 외에 2016년부터 이동통신 무선국에 대한 민원대응 업무를 수행하고 있으며, 연도별 추세는 표 2와 같다. 표 2를 보면 특히 2018년부터 민원의 발생건수가 크게 증가하였고, 이는 5G 서비스가 상용화되며 기지국의 장비 수가 증가한 것과 5G와 관련된 전자파 루머들로 인한 불안감 증가가 원인인 것으로 추측된다.

이에 본 논문에서는 5G(Sub-6GHz) 무선국의 전자파강도 측정 결과를 토대로 실생활에서의 전자파 영향을 2가지 기준으로 나누어 분석하고자 한다. 여기서 사용한 측정 결과는 협회에서 측정환경(안테나 높이, 측정지점 등)을 세부적으로 분류하기 시작한 ’20년도 하반기의 5G 전자파강도 측정 무선국 17,720국을 기준으로 분석하였다.

측정 결과를 분류한 기준은 첫째, 측정지점 별 전자파강도이다. 측정지점은 무선국 안테나의 설치지점에 따라 달라진다. 예를 들어 건물의 옥탑에 설치한 경우는 해당 건물의 옥상에서 경로 확보 및 측정이 가능하나, 옥상 난간에 설치된 경우는 안테나 주빔 방향으로 경로 확보가 불가능하여 지면에서 측정하는 등 차이가 발생하므로 측정지점에 따른 결괏값을 분석하고자 한다.

표 2. 협회의 전자파 민원 대응 현황

Table 2. The current status of the association’s response to electromagnetic complaints.

(단위 : 건)

연도	민원대응	민원해결(비율)
2016	306	303(99 %)
2017	347	336(96.8 %)
2018	462	446(96.5 %)
2019	498	480(96.3 %)
2020	422	417(98.8 %)
총계	2,035	1,982(97.3 %)

두 번째 기준은 5G 무선국의 설치 높이 별 측정 결과이다. 이는 실생활 환경에서 불특정 다수가 가장 많이 전자파에 노출되는 경우가 지면임을 고려하였다. 따라서 옥상 난간에 설치되어 지면의 보행자가 전자파에 노출되는 상황을 감안하여 실제 안테나의 높이와 보행자가 받는 전자파강도의 상관관계를 분석하고자 한다.

결론적으로 위 2가지 기준을 토대로 측정 결괏값과 우리나라에서 도입하여 준용하고 있는 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 전자파 인체보호 기준을 비교하여 실제 5G 무선국의 전자파가 인체에 유해할 정도의 영향이 있는지를 분석하고자 한다.

표 1. 전파법 시행령 제65조(전자파강도 보고대상 무선국 기준) 별표 6

Table 1. Article 65 of the Enforcement Decree of the Radio Wave Act, attached Table 6.

<table>
<tr><th>무선국 구분</th><th>안테나공급전력 기준</th><th>설치장소 기준</th></tr>
<tr><td>1. 이동통신 · 휴대인터넷의 기지국 · 이동중계국</td><td>송신장치의 안테나공급전력의 합이 30와트를 초과하는 경우</td><td rowspan="3">「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조제1항제1호가목부터 다목까지의 규정에 따른 주거지역 · 상업지역 · 공업지역과 같은 항 제2호에 따른 관리지역에 설치하는 경우. 다만, 송신장치의 안테나공급전력의 합이 500와트 이하이고, 안테나설치대에 설치되어 있는 안테나의 높이가 10미터를 초과하는 경우는 제외한다.</td></tr>
<tr><td>2. 통합공공망용 기지국 · 이동중계국 · 육상국</td><td>송신장치의 안테나공급전력의 합이 30와트를 초과하는 경우</td></tr>
<tr><td>3. 무선호출 · 주파수공용통신 · 무선데이터통신 · 위치기반서비스의 기지국 · 이동중계국</td><td>송신장치의 안테나공급전력의 합이 60와트를 초과하는 경우</td></tr>
</table>

Ⅱ. 무선국 전자파강도 측정방법

무선국 전자파강도 의무 측정은 국립전파연구원의 전자파강도 측정기준 고시의 별표 1(무선국의 전자파강도 측정방법)에 따라 실시한다[3].

2-1 요약

국립전파연구원 고시에 따른 무선국 전자파강도 측정방법은 계산안전경계를 기준으로 한 측정거리와 경로설정, 노출지수, 측정기기, 측정간격, 측정시간 등의 세부내용을 규정하고 있다.

2-2 TDD 통신방식의 전자파강도 측정방법

무선국 전자파강도의 측정 방법은 FDD와 TDD 통신방식 간에 차이가 있다. LTE까지의 FDD 통신방식은 채널 파워 측정 방법을 사용한다. 이는 송·수신 주파수가 다른 FDD 통신방식에선 유효하나, TDD 통신방식에선 특정 테스트 모드에서 단말기를 측정 안테나에 근접하게 위치시켜 빔포밍을 일으키는 특수한 상황을 필요로 하기 때문에 현장 적용에 어려움이 있다. 이에 따라 기존 채널 파워 측정 외에 복조 모드와 제로 스팬 측정 방법이 추가됐다. 채널 파워 측정과 비교하면 스펙트럼 분석기 설정 부분(제로 스팬 및 RBW 설정 등)과 보상계수의 적용 유무가 다르고, 거리별 측정 등 전체적인 측정 방법과 절차는 동일하다.

2가지 방식 중 복조 모드는 실제 송신 중인 8개의 SSB (synchronization signal block)를 모두 측정하고, 제로 스팬은 기준 신호만을 측정한다는 점에서 차이가 있다. 측정하는 신호의 차이는 있으나, 측정된 값에 보상계수라는 수치를 곱하는 보정 과정을 통해 빔포밍으로 최대출력이 집중되는 전자파강도 최대 노출 환경에서의 결괏값을 도출해낸다. 따라서 측정하는 신호에 있어 약간의 차이는 있으나, 두 가지 방법 모두 유사한 결과값을 얻을 수 있다[4]. 여기서 보상계수는 식 (1)에 의해 계산된다.

$$K_i^{R_0} = W_i^{R_0} \cdot C_i^E \tag{1}$$

여기서, $W_i^{R_0}$: 주파수 대역내 전체 주파수자원블럭 (resource block: RB) 수와 보조반송파 (subcarrier) 개수를 곱한 제곱근

C_i^E: 한 동기신호그룹 주기의 총 자원요소 (resource element: RE) 개수 대비한 동기신호그룹 주기에서 전력이 점유된 총 자원요소 개수 비의 제곱근

$W_i^{R_0}$는 식 (2)에 의해 계산된다.

$$W_i^{R_0} = \sqrt{N_{SC}^{RB} \cdot N_{RB}} \tag{2}$$

여기서, N_{SC}^{RB}: 하나의 주파수자원블럭으로 구성되는 보조반송파 개수

N_{RB}: 전체 대역폭에서의 총 물리적 주파수자원블럭(physical resource block, PRB) 개수

C_i^E는 식 (3)에 의해 계산되며, 이는 식 (4)로도 표현할 수 있다.

$$C_i^E = \sqrt{\frac{N_{occupied}^{RE}}{N_{total}^{RE}}} \tag{3}$$

여기서, $N_{occupied}^{RE}$: 한 동기신호그룹 복사 주기에서의 전력이 점유되는 총 자원요소 개수

N_{total}^{RE} : 한 동기신호그룹 복사주기에서의 총 자원요소의 개수

$$C_i^E = \sqrt{\frac{N_{SC}^{RB} N_{RB} [N_{symb}^{slot} - N_{symb}^{up}] \cdot [N_{slot} - (L/2+1)] + 830L}{N_{SC}^{RB} N_{RB} N_{symb}^{slot} N_{slot}}} \tag{4}$$

여기서, N_{slot} : 한 동기신호그룹 복사 주기에서의 총 슬롯 개수

N_{symb}^{up}: 슬롯 형식에 따른 상향 및 가드 심볼의 총 개수

L : 최대 빔 개수

N_{symb}^{slot} : 한 슬롯안에 구성되는 심벌 개수

N_{RE}^{ssb} : 동기신호그룹에 차지하고 있는 총 자원요소의 개수

2-3 전자파강도 측정장비

무선국의 전자파강도 측정 기기는 특정 조건을 만족해야 하며, 이에 대한 간략한 내용은 표 3과 같다.

그리고 협회에서 전자파강도 측정에 사용한 스펙트럼 분석기와 프로브 안테나의 제품명 및 동작범위는 표 4와 같다.

2-4 계산안전경계 및 측정경로 설정

무선국의 전자파강도를 측정하기 위해선 안테나 이득, 출력, 설치환경 등을 고려한 측정경로 설정이 우선돼야 하며, 이를 위해선 계산안전경계라는 기준값이 필요하다.

계산안전경계는 무선국 전자파강도 측정 시 측정거리와 경로설정의 기준으로, 계산상으로 무선국의 전자파강도가 전자파 인체보호 기준 상의 기준값과 동일한 값을 갖는 지점들을 말한다. 그리고 안테나 중심으로부터 계산안전경계까지의거리(R)는 식 (5)에 의해 계산된다.

$$R = \sqrt{\frac{AP^{G/10}}{4\pi E^2/\eta_0}}\ [\mathrm{m}] \qquad (5)$$

여기서, A: 지면반사를 고려한 상수(AM송신국의 경우 4.0, 그 외 2.56)

P: 안테나 공급전력(시스템 손실 포함) [W]

G: 안테나 이득 [dBi]

E: 무선국 송신주파수대역의 전자파인체보호 기준 일반인 전기장강도 기준값 [V/m]

η_0: 자유공간 파동 임피던스(377Ω)

안테나 중심으로부터 계산안전경계까지의 거리(R)이 구해지면 그림 1과 같이 무선국 안테나 각 섹터의 주빔방향 또는 최대 복사 방향에 대해 R의 5배에 해당하는 거리 내에 일반인 접근이 가능한 지표면 상의 최대 지점을 측정 시작점으로 하여 측정한다. 단, 측정 시작점이 존재하지 않는 경우, 안테나 위치의 지표면으로부터 20 m 떨어진 지점을 측정 시작점으로 한다.

측정 시작점이 정해지면 그림 2와 같이 측정경로를 설정한다. 이후 정해진 측정경로를 따라 거리별 측정을 실시하며, 측정 간격은 5G 무선국일 경우 표 5에 따라 0.5 m 이하로 한다. 본 논문은 0.5 m 간격으로 측정된 데이터들을 사용하였다.

표 3. 측정기기의 조건

Table 3. The conditions of the measuring device.

구분	조건
일반사항	1. 수신기는 주파수 선택적인 협대역 측정이 가능하고, 전자파강도의 실효값을 환산과정 없이 직접 측정 2. 프로브와 수신기를 연결하는 케이블은 외부 전자파에 의한 영향을 받지 않을 것
프로브	1. 등방성 프로브이며, 특성은 ±2.5 dB 이내 2. 프로브 동작영역의 최솟값은 0.05 V/m 이하, 최댓값이 100 V/m 이상 3. 프로브 고정용 지지대는 낮은 유전체 손실 탄젠트(tanδ≤0.05)와 낮은 상대 유전율(εr≤5.0) 값을 가질 것 4. 교정 유효기간 이내의 것을 사용, 측정결과에 정확한 프로브 손실값 적용

표 4. 협회의 스펙트럼분석기 및 프로브 안테나

Table 4. The association's spectrum analyzer and probe antenna.

구분	제품명	동작 주파수 범위
스펙트럼분석기	FPH	100 kHz to 4 GHz
프로브 안테나(3축)	RP-3XA6	800 MHz to 6 GHz

2-5 무선국 전자파강도 측정결과 도출 및 노출지수

조건에 부합하는 측정 기기와 측정 시작점을 토대로 거리별 측정을 실시한 후에는 가장 측정값이 높았던 지점에

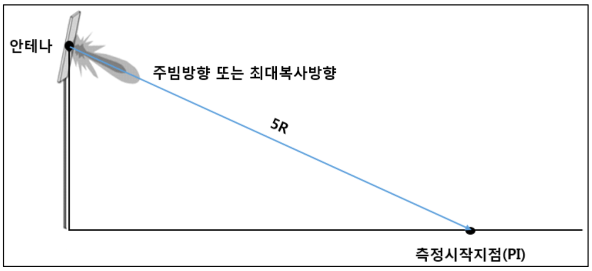

그림 1. 측정시작점 선정

Fig 1. Selection of the starting point for measurement.

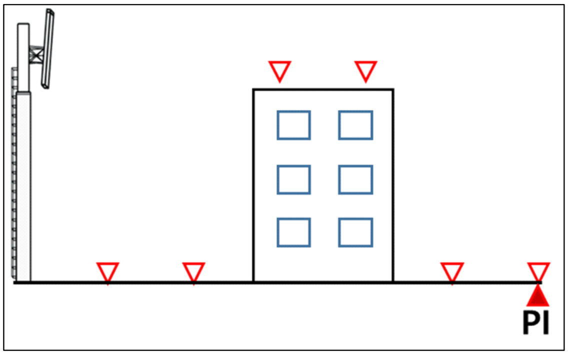

그림 2. 측정경로 설정
Fig 2. Setting the measurement path.

표 5. 무선국 송신주파수별 측정간격
Table 5. Measurement interval by radio station transmission frequency.

송신 주파수	50 MHz 미만	50 MHz 이상 800 MHz 미만	800 MHz 이상 3,000 MHz 이하	3 GHz 초과
측정 간격	λ/3 이하 또는 d/40 이하	2 m 이하 또는 d/40 이하	1 m 이하	0.5 m 이하
비고	*d*: 안테나에서 측정 시작지점까지의 거리 λ: 무선국 송신 신호의 파장			

서 프로브 안테나의 중심부를 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m로 하고, 각 높이별로 6분간 평균값을 측정한다. 협회는 제로 스팬 측정 방법을 사용하기 때문에 측정된 평균값에 보상계수를 곱해서 최종값을 도출하며, 이는 식 (6)으로 표현된다.

$$E_{i,T} = E_{i,meas} \cdot K_i^{R_0} \tag{6}$$

여기서, $E_{i,T}$: 최종 결괏값

$E_{i,meas}$: 셀i의 심벌단위 기준신호 측정값

$K_i^{R_0}$: 식 (1)의 보상계수로, 한 동기신호그룹(synchronization signal burst: SSB)주기의 최대 전기장강도의 산출을 위한 보상계수

식 (6)에 의해 각 높이별 최종값이 계산되면 이 중 가장 큰 값을 최댓값으로 하고, 노출지수와 함께 최종 결괏값으로 결정한다. 만약 최종 결괏값의 노출지수가 0.05를 초과하면 다중복사원 측정을 실시한다. 여기서 노출지수란 전자파 인체보호기준 상의 전기장강도(또는 자기장강도) 측정값과 기준값의 비의 제곱 또는 전력 밀도 측정값과 기준값의 비를 말하며, 식 (7)과 같이 계산된다.

$$노출지수 = (전기장강도\ 측정값/전기장강도\ 기준값)^2$$
또는
$$노출지수 = (자기장강도\ 측정값/자기장강도\ 기준값)^2$$
또는
$$노출지수 = 전력밀도\ 측정값/전력밀도\ 기준값 \tag{7}$$

다중복사원 측정은 측정 대상 무선국의 신호 이외에 표 1에 해당하는 주변 무선국의 신호를 모두 포함하도록 하여 노출지수를 측정하며, 0.01 이상인 무선국들은 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m의 각 높이에서 6분간 평균값을 측정하고, 최댓값의 노출지수를 구한다. 최종적으로 구해진 노출지수들을 토대로 식 (8)에 따라 총 노출지수를 구한다.

$$총노출지수 = \sum_{i=1}^{M} (노출지수)_i \tag{8}$$

여기서, $(노출지수)_i$: i번째 무선국 신호에 대한 노출지수

M: 각기 다른 주파수대역을 사용하는 무선국의 개수

2-6 전자파강도 등급제

우리나라는 전자파 등급 기준, 표시 대상 및 표시 방법 고시에 따라 전자파강도 측정을 완료한 무선국에 대해 등급을 부여하고 있다. 등급의 기준은 일반인에 대한 전자파강도 기준과 직업인에 대한 전자파강도 기준을 사용한다. 여기서 5G 주파수에 해당하는 2 GHz 이상 주파수에서의 전기장 강도 기준은 일반인 61 V/m, 직업인 137 V/m이다[5].

우리나라는 위의 2가지 기준을 통해 표 6과 같이 1등급, 2등급, 주의 등급, 경고 등급의 4가지로 나누어 관리하고 있다. 무선국의 전자파강도 측정이 완료되면 해당되는 전자파 등급 라벨에 전기장 강도 최댓값과 허가번호, 측정 일자 등의 정보를 기입하여 일반인이 쉽게 알아볼

표 6. 전자파강도 등급기준
Table 6. The electromagnetic strength rating standard.

등급명	기준
1등급	전자파강도 측정값 ≦ 일반인에 대한 전자파강도기준의 50%
2등급	일반인에 대한 전자파강도기준의 50% < 전자파강도 측정값 ≦ 일반인에 대한 전자파강도기준
주의 등급	일반인에 대한 전자파강도기준 < 전자파강도 측정값 ≦ 직업인에 대한 전자파강도기준
경고 등급	직업인에 대한 전자파강도기준 < 전자파강도 측정값

수 있는 위치에 부착한다[6].

Ⅲ. 5G 무선국 전자파강도 측정결과 분석

본 장에서는 2020년 하반기에 전자파강도를 측정한 5G 무선국 17,720국을 측정지점과 설치 높이 별 기준으로 나누어 결과를 분석하였다.

3-1 측정지점에 따른 전자파강도 측정결과 분석

측정지점은 무선국의 최대 전자파강도를 측정한 지점의 유형을 분류한 것으로 자체 옥상, 주변 옥상, 지면, 인빌딩, 지하철 및 터널, 화단의 6가지로 나눌 수 있다. 여기서 자체 옥상은 무선국 안테나가 옥탑에 설치되어 옥상에서 측정거리가 확보 가능한 유형이다. 주변 옥상은 안테나가 난간에 설치되어 있으면서 주빔 방향이 타 건물 옥상을 향하고 있고, 측정 또한 타 건물 옥상에서 실시한 경우이다. 지면은 옥상 난간에 안테나가 설치되어 측정거리 확보가 불가하고, 주빔방향과 측정지점이 모두 지면인 경우이다. 인빌딩은 건물 내에 옴니 안테나 등의 형태로 설치된 경우이고, 지하철 및 터널은 대다수의 경우 야기 안테나의 전자파강도를 측정한다. 마지막으로 화단은 대다수가 아파트 단지 내에 가로등 형태로 설치된 안테나이고, 근접거리까지 측정경로 확보가 가능하다.

위의 6가지 측정지점을 기준으로 20년도 하반기 5G 전자파강도 측정 무선국 17,720국을 분류한 결과는 표 7과 같으며, 그림 3은 이를 다시 도식화하였다. 분석 결과, 안테나와의 측정거리가 비교적 가까운 자체 · 주변옥상, 화단에서 상대적으로 높은 값이 측정됐고, 지면은 안테나와의 거리가 비교적 멀어서 전자파강도 또한 낮게 측정되었다. 전체 측정국 수에서 가장 큰 점유율을 가지는 측정지점은 지면(70.9 %)으로 대다수의 무선국이 옥상 난간에 안테나가 설치되어 측정이 지면에서만 가능한 경우였다.

3-2 설치 높이 별 전자파강도 측정결과 분석

17,720국을 측정지점에 따라 분류 및 분석한 결과, 자체 · 주변 옥상에서 측정한 경우는 전체의 19.4%이고, 그 외는 80.6 %임을 알 수 있었다. 인빌딩, 터널, 화단은 대부분 지면 측정과 비슷한 측정 환경이나 설치지점을 좀 더 명확히 구분하기 위해 분류한 바, 실제적으로는 지면과 같다고 볼 수 있다. 따라서 대다수의 불특정 다수인이

표 7. 측정지점 별 평균 전자파강도 측정값 및 점유율
Table 7. Average electromagnetic intensity measurement and share by measurement point.

측정지점	평균 측정값 (V/m)	측정국 수 (국)	점유율 (%)
자체옥상	4.813	3,330	18.8
주변옥상	4.450	112	0.6
지면	1.494	12,571	70.9
인빌딩	1.713	1,146	6.5
지하철 및 터널	4.059	536	3.0
화단	7.704	25	0.1

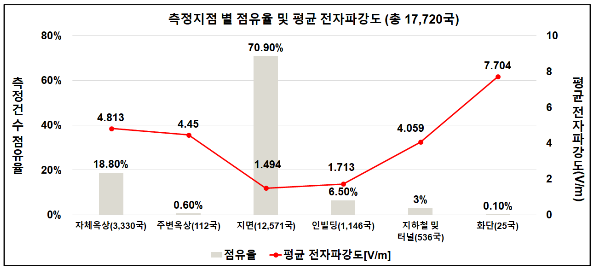

그림 3. 측정지점 별 평균 전자파강도 측정값 및 점유율
Fig 3. Average electromagnetic intensity measurement and share by measurement point by measurement point.

무선국 전자파 영향을 받는 지면에 대해 높이에 따른 결과를 분석해 보고자 한다.

먼저 17,720국에서 옥상 측정 건을 제외하고 안테나가 설치된 건물의 높이와 안테나 지지대 높이를 합한 총 높이를 0 m 이하부터 100 m 초과까지 12개의 구간으로 나누어 보았다. 여기서 0m 이하는 보통 인빌딩 · 지하철 · 터널로 볼 수 있다. 총 높이에 따라 12개의 구간으로 나눈 후엔 평균값의 신뢰성 확보를 위해 구간 별 상 · 하위 5%를 다시 제외한 12,864국으로 측정값, 계산안전경계, 최대지점의 평균값을 도출하였다. 그 결과는 표 8과 같이 나왔으며, 0 m 이하에서 50 m 이하 구간까지는 높이에 따라 전자파강도 평균 측정값이 반비례했지만 그 이후 설치 높이 구간부터는 규칙성이 사라짐을 알 수 있다. 또한 점유율은 20 m 이하 구간이 전체의 40.1 %로 가장 높았다. 이 결과는 그림 4로 도식화하였다. 그리고 계산상으로 무선국 전자파강도가 인체보호 기준값과 동일한 값을 갖는 계산안전경계(R)와 실제 측정값 최대 지점과의 차이는 오히려 60 m 이하에서 100 m 초과 구간이 작다는 것을 알 수 있다. 다만 뚜렷한 규칙성은 보이지 않았다.

Ⅳ. 결　론

본 논문에서는 '20년도 하반기에 전자파강도를 측정한 5G 무선국 17,720국을 기준으로 측정지점과 설치 높이에 따른 결과를 분석하였다. 그 결과, 측정지점의 대다수는 70.9 %의 점유율을 보인 지면이었으며, 평균 전자파강도는 1.494 V/m로 일반인에 대한 인체보호 기준값인 61 V/m 대비 2.45 %로 미미한 값이었다. 가장 평균값이 높은 지점은 안테나와의 거리가 가깝고, 경로상에 장애물이 거의 없는 화단에서 최댓값을 보였으나, 이 또한 7.704 V/m로 기준 대비 12.63 % 수준이었다. 설치 높이의 경우 0 m 이하에서 50 m 이하까지는 높이에 따라 측정값이 감소하는 반비례 결과를 보였으나, 50 m를 초과하는 구간부터는 규칙성이 사라져 안테나의 물리적 높이보다 주변 전파환경이 측정 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 추측된다. 계산안전경계와 최댓값 측정지점 사이의 차이는 0 m 이하에서 50 m 이하보다 60 m 이하에서 100 m 초과 구간에서 더 작은 것을 알 수 있으나 특별한 규칙성은 보이지 않아

표 8. 설치 높이 별 전자파강도 측정결과
Table 8. Measurement result of electromagnetic wave intensity by installation height.

설치 높이 별 전자파강도 측정결과(총 12,864국)				
설치 높이 구간(평균높이, 측정국 수)	평균 측정값 [V/m] (인체보호 기준값 61 V/m 대비 비율)	계산 안전 경계 (R) [m]	최대 지점 [m]	R과의 차이 [m]
0 m 이하(419)	2.525(4.1 %)	2.8	4.5	−1.7
10 m 이하(1,920)	1.736(2.8 %)	7.6	11.3	−3.7
20 m 이하(5,154)	1.448(2.4 %)	12.4	16.1	−3.7
30 m 이하(2,773)	1.208(2.0 %)	13.0	15.5	−2.5
40 m 이하(648)	0.861(1.4 %)	12.2	15.2	−3.0
50 m 이하(515)	0.733(1.2 %)	12.3	15.1	−2.8
60 m 이하(449)	0.756(1.2 %)	12.1	12.8	−0.7
70 m 이하(456)	0.745(1.2 %)	12.4	12.3	0.1
80 m 이하(232)	0.860(1.4 %)	13.3	11.5	1.8
90 m 이하(148)	0.946(1.6 %)	13.6	10.9	2.7
100 m 이하(71)	0.986(1.6 %)	13.1	11.7	1.4
100 m 초과(79)	0.895(1.5 %)	13.1	11.6	1.5

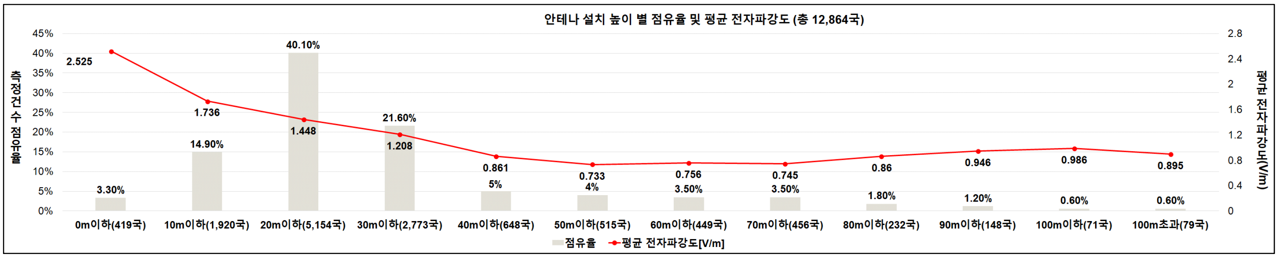

그림 4. 설치 높이 별 점유율 및 평균 전자파강도
Fig 4. Share and average electromagnetic intensity by installation height.

구체적인 원인에 대해 추가적인 연구와 논의가 필요할 것으로 생각된다.

추가적으로 5G 무선국 전자파에 대한 일반인들의 우려가 있지만, 본 논문에서 분석한 17,720국 중 17,708국(99.9 %)이 1등급으로 일반인에 대한 전자파강도 기준치인 61 V/m를 크게 밑도는 수준이었다. 이 결과를 바탕으로 어린이집 등 지면에 위치한 각종 시설, 공동주택 저층세대 및 커뮤니티 시설, 보행자 등 다양한 민원 유형 및 5G 무선국에 대한 일반인들의 전자파 불안감 해소에 참고 자료로 활용될 수 있기를 바란다.

References

[1] Korea Ministry of Government Legislation, Act No.17355 (2020, Dec.), *The Radio Waves Act.*

[2] Korea Ministry of Government Legislation, Presidential Decree No. 32014 (2021, Sep.), *The Enforcement Decree of the Radio Wave Act.*

[3] Korea Ministry of Government Legislation, Notice from National Radio Research Agency No. 2017-7 (2017, Aug.), *Electromagnetic wave intensity measurement standard.*

[4] G. H. Kim, D. G. Choi, J. D. Jang, S. J. Jeong, and E. G. Jang, "A study on the protection of electromagnetic waves according to changes in the future radio environment," National Radio Research Agency, Naju, Korea, Dec. 2018.

[5] Ministry of Science and ICT, "Criteria for protecting the human body from electromagnetic waves," Sejong, Korea, No. 2017-7, Aug. 2017.

[6] Ministry of Science and ICT, "Electromagnetic wave rating standards, display targets, and display methods are notified," Sejong, Korea, No. 2017-20, Apr. 2018.

박 용 진 [한국전파진흥협회/사원]

https://orcid.org/0000-0003-3249-8344

2015년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
2021년 3월~현재: 한국전파진흥협회 연구원
[주 관심분야] 전자파강도측정, RF, 무선통신

진 용 화 [한국전파진흥협회/대리]

https://orcid.org/0000-0002-1464-2376

2017년 2월: 한국폴리텍2대학 정보통신공학과 (공학사)
2014년 2월~현재: 한국전파진흥협회 대리
[주 관심분야] 전자파강도측정, RF, 무선통신

이 명 동 [한국전파진흥협회/팀장]

https://orcid.org/0000-0002-5225-3611

1999년 2월: 한남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2001년 2월: 한남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2009년 12월~현재: 한국전파진흥협회 팀장
[주 관심분야] 전자파강도 측정, 이동통신, 디지털방송