다기지국 환경에서 전자파 노출량 Electromagnetic Wave in all Base Stations

조의현*, 박정규**

영남대학교대학원 의공학과*, 대구보건대학 방사선과**

Euy-Hyun Cho(hddstar@ynu.ac.kr)*, Jeong-Kyu Park(jkpark@dhc.ac.kr)**

요약

본 연구는 기지국 설치 건물의 층별 전자파 강도가 인체에 유해한지, 그리고 예측 가능한지를 조사하기 위해 수행되었다.

조사는 산란체가 많은 기지국과 산란체가 적은 기지국을 선별하여 실험을 하였다. 실험은 국제 규격과 국내 TTA 표준을 모두 충족시키기 위해, 기지국이 설치된 건물의 층별로 세가지 높이(1.1m, 1.5m, 1.7m)를 기준으로 하여 각 높이에서 3개의 위치에서 전자파 강도의 실효값(rms)이 측정되었다. 9개의 위치에서 측정된 주파수별 실효값(rms)의 Max가 전자파 인체 보호 기준대비 최대 48.12%(옥상 측정값)로 주파수별로 인체보호 기준을 만족함을 확인하였다. 그리고 산출된 주파수 별 노출지수 합도 최대 0.1445로 기준 1대비 최대 7배 이상 낮은 수준임을 확인하였다. 기지국별, 층별 조건에서는 868MHz, 2.14GHz의 전자파 강도 모두 $P > 0.005$ 로 유의하였으며, R-Sq(조정)값이 50% 이상값을 보여서 회귀 방정식이 데이터의 정보를 충분히 흡수하고 있다는 것을 확인하였다. 그러나 기지국 데이터 통합, 층별 데이터 통합 조건에서는 868MHz, 2.14GHz의 전자파 강도 모두 $P > 0.05$ 이지만, 868MHz 전자파 강도의 R-Sq(조정)값이 50%이하 값(34.15%)을 보여서, 868MHz 전자파 강도는 기지국이 설치된 환경에 많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 2.14GHz의 전자파 강도는 R-Sq(조정)값이 50% 이상(51.8%)를 보여서 2.14GHz의 전자파 강도의 회귀방정의 모형은 적합하였으며, 기지국이 설치된 건물의 주변 환경에 크게 영향을 받지 않고, 기지국 설치 건물의 층별 전자파 강도를 회귀 방정식으로 예측 할 수 있었다.

■ 중심어 : | 기지국 | 전자파 | 인체 유해 | 통계 |

Abstract

The Study was carried out to see whether the intensity of electromagnetic waves in each floor of a building where the sharing base station has been established is harmful to a human body, and to expect the intensity of the waves in the building. The investigation was performed on both of sharing base station either with many scatterers or without any of them. To satisfy the international standard and the domestic TTA standard, rms for each of the electromagnetic wave of every floor in the building with the station was measured from 3 location of 3 heights(1.1m, 1.5m, and 1.7m). Max of the measured rsm from the each of the frequencies in the nine location was confirmed to be 48.12%(the rooftop measured value) at most, compared to the human body protection standard. The value was confirmed to satisfy the human body protection standard for each frequency. And the total value of the calculated exposure indexes for each frequency was determined to be more than 7 times lower at most, which was 0.1445, compared to the 1 standard. Since P value in both of 868MHz and 2.14GHz electromagnetic waves intensity for each base station and floor was less than 0.05, it was revealed to be meaningful, and since R-Sq(adj) value showed a value more than 50%, the regression equation was determined to fully absorb the data information. However, although the P value of both of 868MHz and 2.14GHz electromagnetic waves intensities under the integrating terms of the base station data and the floor data was showed to be less than 0.05, since R-Sq(adj) value of 868MHz electromagnetic waves intensity presented a value smaller than 50%(34.15%), it was determined that the 868MHz electromagnetic waves intensity is very much influenced by an environment with a base station. Because the electromagnetic waves intensity of 2.14GHz show R-Sq(adj) value bigger than 50%(51.8%), The regression equation model of 2.14GHz electromagnetic waves intensity was confirmed to be proper. It also turned out not to be effected by the surrounding environment near a building with the base station and the intensity of electromagnetic waves for each floor of such building was expectable by the regression equation.

■ keyword : | Base Station | Electromagnetic Wave | Harmful | Statistic |

1. 서론

1. 이론적 배경

전자파(Electromagnetic Wave)는 산업 사회뿐만 아니라 정보화 사회를 거쳐 오늘 날 지식기반 사회에 이르기까지 인류에게 수많은 편리함과 풍요로움을 제공하고 있다. 특히 최근에는 디지털 컨버전스(Digital Convergence) 및 유비쿼터스(Ubiquitous) 시스템이 널리 이용되게 됨에 따라 전자파 이용 기술은 더욱더 많은 유용성과 다양성을 제공하고 있다. 2010년에 전세계 휴대폰서비스 가입자수가 50억을 돌파하였으며, 이 가입자 수는 전세계 인구(68억)의 73.5%에 이른다. 이에 따라 WCDMA, WiBro로 대표되는 휴대 인터넷 등 신규 이동 통신 서비스의 보급이 확대 되고 있으며, 유비쿼터스 사회의 도래에 따라 DMB(Digital Multimedia Broad Casting) 중계소, 무선 LAN 기지국 등이 증가되고 있어, 기존 기지국에 포함한다면 우리 주변의 기지국은 급속히 증가 되고 있다.

이러한 기지국 증가에 따른 안테나로부터 방사되는 전자파 노출에 대한 일반대중의 우려가 증가되고 있다. 방송 매체에서 여러 피해 사례가 보도 되었고, 기지국 주변의 전자파의 노출은 근처에 사는 거주민들이 신경정신과 불평에 영향을 끼친다는 연구 결과도 발표 되었다[1]. 또한 기지국 근처에 서식하는 조류 등을 이용한 동물실험에서도 기지국에 관련된 부정적인 연구 결과가 발표 되었다[2].

그러나 한국 방송통신 위원회는 2009년 한해 동안 한국 전파진흥원을 통해 전국의 무선 통신 기지국 5천 258국과 방송국 5국에 대한 전자파 강도를 측정하여, 국제비전리 방사 보호 위원회(ICNIRP)권고 기준대비 최대 6분에 1로 매우 안전한 수준임을 밝힌바 있다.

이동 통신에 의한 전자파 인체의 유해 여부는 일반적으로 두 가지의 다른 노출조건이 존재 한다. 먼저 휴대용 단말기에 의한 인체 두부 노출이 있으며, 이는 국부 노출에 해당하며, 주로 열 효과에 의한 SAR(Specific Absorption Ratio) 규정에 의해 관리되고 있다. 또 다른 것으로는 이동통신 시스템의 기지국 안테나로부터 방사되는 전자파로 인한 노출이 있다.

이 논문에서 기지국이 설치된 건물 내부 및 외부의 주변에 노출되는 전자파 강도를 측정하여, 건물내부와 인근의 거주자들이 실생활 속에서 인체유해 여부와 전자파 강도 변화 추이를 기지국 별로 예측하고자 한다.

공용화 기지국 설치 건물에 병원, 학원 등 사람이 오래 거주하는 경우에 대해서, 기지국으로부터 어느 정도 거리 이상 떨어져 있는 층에 거주해야 하는지에 대한 의견도 측정 데이터를 토대로 제공 할 것이다.

이 연구에서는 기지국이 설치된 건물 내에서의 전자파 강도에 대한 조사가 미비를 고려하여, 공용화 기지국이 설치된 건물 내에서의 층별 전자파 강도 측정 및 노출 지수 산출을 통해 국제 비전리 복사방호위원회(ICNIRP)의 원거리장(far field)에서 인체의 전자파 노출 량 관련 기준과 국내 TTA 인체 보호 기준을 토대로 판단하기로 하였다. 먼저 공용화 기지국 환경에서의 인체 유해 여부를 국제/국내 기준에 따라 확인 하였고, 특히 건물이 밀접한 수도권과[3] 다른 지역과 어떤 차이를 보이는지 확인 했다. 둘째 기지국이 건설된 건물의 층별 전자파 강도 변화 추이를 회귀방정식으로 분석해 보았고, 셋째 사람이 장기적으로 머무는 거주지 환경이 건물 옥상에 있는 기지국으로부터 어느 정도 떨어진 층에 위치하는 것이 좋은가에 대해 시험결과를 토대로 고찰해 보았다.

이 논문은 전체 5개 장으로 구성되어 있다.

1장은 서론 부분으로 연구의 배경, 목적, 범위를, 2장은 전자파 인체 노출 평가 기준부분으로 이론적 배경인 전자파 발생경로, 흡수율, 국제 인체 보호 기준 및 전자파 강도 측정 방법에 대해, 3장은 실험 및 실험결과 부분으로 실험대상 선정, 실험 위치, 현장 측정 결과들, 4장은 분석 및 고찰 부분으로 실험 결과에 대한 인체 유해 여부 평가 및 통계적 분석을 통해 주파수 별 회귀방정식을 산출하였고, 본 실험을 통해 산출한 결과를 정리 하였다. 그리고 마지막 장에서는 연구결과에 대하여 마무리 하고, 이 연구를 통해 장시간 인체가 노출되는 학원, 병원 등이, 기지국 설치로부터 얼마나 떨어지면 좋은 지에 대해 제안하였다. 또한 이 연구에서 미처 다루지 못한 한계점 및 향후 연구과제 등에 대하여 서술

하였다.

2. 전자파 인체노출기준

전자파 인체노출 기준과 관련된 대표적인 국제표준은 IEEE ICES(International Committee On Electromagnetic Safety)산하의 TC95에서 제정한 IEEE C95.1 표준[1,2]과 국제 비전리 방사보호 위원회(International Commission on Non Ionizing Radiation Protection; ICNIRP)에서 제정한 ICNIRP guidelines의 GUIDELINES FOR LIMITING EMF EXPOSE가 있다. 기지국으로부터 복사되는 전자파 강도의 측정은 시장 출하 시(on to the Market) 실시하는 인증시험, 설치되어 있는 기지국 주변의 현장 측정(in situ) 그리고 무선국 설치 시(put into service) 무선국 주변 전자파 환경 측정으로 나누어진다. 인증 시험은 기지국 안테나에 대한 성능 평가로써, 전자무반사실과 같은 실험실내에서 진행되는 제품규격 확인 시험에 해당한다. 현장측정은 사람 중심의 인체 노출량 평가이다.

유럽 28개국이 참가한 CELENLEC(European Committee for Electrotechnical Standardization)에서 가장 활발하게 전자파 복사량을 정확히 측정할 수 있는 표준절차 수립에 대해 연구하고 있으며, 현장측정 표준인 EN50492와 무선국 설치시, 전자파 환경 측정표준인 EN50400이 곧 제정될 것으로 보이며, 곧이어 유럽각국에서 채택할 것으로 예상된다. 국내에서는 현장 측정 표준절차가 정보 통신 기술협회의(TTA)의 단체표준(TTAS.KO 06.0125)으로 제정되어 있다.

이 절에서는 전자파 인체 노출 기준에 대한 국제표준들의 차이점을 비교하고, 국내에서 적용되고 있는 일반인을 대상으로 하는 현장측정기술에 대해 다룬다.

2.1 전자파 발생 경로와 흡수율

전자들은 이동할 때 자기장을 만들며 앞뒤로 움직이거나 진동할 때, 전기장과 자기장은 서로 교차하고, 전자파를 형성한다. 이러한 진동은 가열되고 있는 원자들로부터 발생할 수 있고, 교류전기로부터 급속히 발생할 수 있다. 정반대의 효과는 전자파가 물체에 부딪힐 때 발생하는데, 그러한 경우에 전자파는 방사 파장에 의존

해서 원자가 진동하거나 열을 생산하게 하고, 전자들을 진동하게 할 수 있다. 전자파 복사(radiation)는 절대 0℃ 이상의 온도를 가진 물체로부터 방사되는데 온도는 진동하는 원자의 평균 에너지를 측정하고, 그 진동은 원자가 전자기 복사를 내도록 한다. 온도가 증가할수록, 많은 방사량과 짧은 파장을 가진 전자기 복사가 유출된다. 이들을 몇 가지 분류해서 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 마이크로파, 라디오와 TV파들은 전기제품에서 방사된다. 스파크와 교류전류는 적절한 주파수들의 진동을 일으키고, 라디오파는 안테나 내부에 있는 전자를 가속시킴으로 발생된다. 안테나들은 보통 정교하게 만들어지지만 철사 길이처럼 단순한 것, 또는 철사 코일도 안테나로 쓰일 수 있다. 민감한 라디오 수신기는 이런 단순한 안테나들을 달고도 라디오파의 수신이 가능하다.

둘째, 가시광선은 약 700 ℃ 보다 뜨거운 물질로부터 방출된다. 이 물질은 백열광(incandescent)이라고 불리는데, 태양, 불 그리고 전구는 빛의 백열광을 내는 원천이다.

셋째, 엑스(X)선은 금속과 같은 다른 물질 내부로 고에너지 전자들을 분쇄함으로써 형성된다. 감마선들은 핵반응과 원자 폭탄과 태양과 다른 별들의 폭발로부터 방출된다. 어떤 원자들은 방사성이 있는데, 이 말은 곧 그 원자의 핵이 불안정하기 때문에 결국에는 더욱 더 안정한 핵으로 변화될 것이라라는 것을 의미한다. 그것이 변할 때 알파입자나 베타입자가 배출된다.

넷째, 감마선은 보통 흡수되지 않으며, 대부분의 물질을 통과하지만 두꺼운 납에 의해 약해진다. 만약에 감마선이 전자회로나 인간의 세포 같은 물질을 통과한다면 손상을 입히게 될 것이다.

전자파 노출에 대해 인체보호를 위한 노출 제한기준은 전자파흡수율(Specific absorption rate; SAR)로서 정의하며, 전자파흡수율은 주로 무선주파수 대역에서, 노출원과 피노출체 간의 정량화를 위한 것이다. 대부분 생체 조직의 투자율은 자유공간과 동일하므로 높은 무선주파수 대역에서 모든 기지의 예측되는 상호작용은 전기장에 관련된 메카니즘을 통해 발생하며, 이 전기장

크기와 인체의 매질 특성에 의존하는 파라미터가 전자파흡수율이라 할 수 있다. 이것의 물리적 정의는 아래 식 (2-1)에서와 같이 주어진 밀도 (ρ)인 체적분 (dV)내의 질량 증분(dm)내에서 소실된 또는 그 질량 증분(dm)에 의해 흡수된 에너지 증분 (dW)의 시간 미분값이다. 정형적으로 변화하는 전기장에 대해 Poynting vector 정리를 사용하면 식 (2-2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 σ 는 S/m단위의 조직 도전율, ρ 는 kg/m³ 단위의 조직 밀도이고 E_k 는 내부 전자기장의 첨두치(peak value)이다.

SAR은 (W/kg) 또는 (mW/g)으로 표현된다. 평균 전자파흡수율은 노출된 생체 내에 흡수된 총전력과 그 질량의 비로서 정의되고 국부 전자파흡수율은 정의된 단위 체적 또는 단위 질량 내의 값을 말한다.

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{\rho(dV)} \right] \quad (2.1)$$

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E_k^2 \quad (2.2)$$

2.2 전자파 인체 노출 기준

1990년대부터 전자파의 인체영향에 대한 논란이 본격적으로 제기되면서 인체보호와 전자파의 안정적인 이용, 일반 대중의 불안감 해소 등을 위해 전 세계적으로 통일된 전자파 인체노출기준의 필요성이 제기되었다. 현재 전 세계적으로 채택되고 있는 전자파 인체노출 기준은 IEEE C95.1(IEEE C95.1 1991)과 ICNIRP 기준이 있다.

각 국가별 표준은 대부분 이 두 가지 표준 중 하나를 기본으로 하고 있다. 각 국가별로 보면 미국, 캐나다, 한국 등 국부 SAR 기준은 1991년도 판 IEEE C95.1의 기본 한계(basic restriction)를 따르고 있으며, 유럽과 호주 등에서는 대부분 WHO의 승인을 받은 ICNIRP 기준을 따르고 있다. IEEE와 ICNIRP에서 제시하는 인체보호 기준은 SAR를 기준으로 10 MHz에서 10 GHz 사이의 주파수 대역에 대해 인체 전체 또는 부분 조직에 대해 단위 질량 당 인체에 열 효과를 일으키는 노출의 양으로 표현하고 있으며 그 기준은 해로운 열 효과를 일

으키지 않는 값을 기준으로 하고 있다. 따라서 단위는 W/kg으로 주어진다. [표 1]과 [표 2]는 각 각 IEEE와 ICNIRP에서 제한하고 있는 SAR 보호 기준을 나타낸다.

표 1. SAR 보호에 대한 IEEE 표준

노출 수량	제한량	제한되지 않는 양
전신 SAR	0.4 Wkg ⁻¹	0.08 Wkg ⁻¹
국부 SAR (사지 제외)	8 Wkg ⁻¹	1.6 Wkg ⁻¹
국부 SAR (사지)	20 Wkg ⁻¹	4 Wkg ⁻¹

표 2. SAR 보호에 대한 ICNIRP 표준

노출 수량	직업인	일반인
신체이상 및 6분간 SAR 평균	0.4 Wkg ⁻¹	0.08 Wkg ⁻¹
머리와 몸의 10g이상 및 6분간 SAR 평균	10 Wkg ⁻¹	2 Wkg ⁻¹
사지의 10g이상 및 6분간 SAR 평균	20 Wkg ⁻¹	4 Wkg ⁻¹

두 기준의 같은 점은 직업인의 전신 평균(Whole body average) SAR의 기본 한계는 동물실험 등을 통해 생체영향의 임계점으로 알려진 4 W/Kg으로, 일반인의 경우 추가로 5의 안전계수를 두어 0.08 W/kg으로 정한 것이고, 두 기준의 가장 큰 차이점 중 하나는 국부 SAR 기본 한계 값과 평균질량의 차이이다.

국부 SAR경우에 ICNIRP는 동물실험과 수치해석 연구결과를 토대로 전자파에 민감한 중요 신체부위인 안구의 온도가 1 °C 상승하는 임계치에 안전계수를 적용해 직업인 10 W/kg, 일반인 2 W/kg으로 기본한계를 정했다. 반면 IEEE C95.1.1991에서는 동물 모델이나 인체 모델에서 국부 SAR의 최대 계산값이 전신 평균 SAR의약 20배의 정도의 값이 나오는 것을 근거로 직업인 8 W/kg, 일반인 1.6 W/kg으로 기본 한계를 정하였다.

ICNIRP는 SAR의 계산 시 모든 조건은 6분 구간에 대해 시간 평균하도록 되어 있으며, 국부 SAR의 경우 10 g 질량에 대해 평균하도록 되어 있다. 하지만 사람에게 대해 SAR값을 측정하는 것은 쉽지 않기 때문에 노출 레벨의 측정값 또는 계산값과 직접적으로 비교될 수 있는 전기장, 자기장 및 전력밀도에 대한 기준 레벨이

도입되었다. 주어진 노출 환경에서 기준 레벨을 만족한다는 의미는 ICNIRP 보호기준을 만족한다는 의미이지만, 기준 레벨을 초과한다고 해서 SAR 보호기준을 벗어난다는 의미는 아니다. ICNIRP 기준 레벨은 [표 3]에 나타나 있다. 높은 주파수 대역에서는 에너지 흡수가 피부의 표면층에만 한정되며 열 효과는 입사된 전력밀도에 직접 연관이 된다. 따라서 10~300 GHz 사이의 전자파에 대해서는 전력밀도에 대해서만 제한을 두고 있는데 기본적인 조건은 관련 종사자에 대해서는 50 W/m^2 이고 일반인에 대해서는 10 W/m^2 이 기준이 된다.

표 3. 작업인과 일반인에 대한 ICNIRP의 기본 수준

분류	주파수 범위	전기장 강도 (V/m)	자기장 강도 (A/m)	전력 밀도 (W/m^2)
작업자	10-400 MHz	61	0.16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0.36	50
일반인	10-400 MHz	28	0.073	2
	400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0.16	10

그림 1. 주파수 별로 ICNIRP 기준 레벨과 각 이동통신 서비스에 해당되는 기준

[그림 1]에서 알 수 있듯이 10~400 MHz 주파수 대역은 사람과의 전자기 에너지 결합이 용이하므로, 작업자의 경우 10 W/m^2 , 일반인은 2 W/m^2 기준으로 엄격하게 규정하고 있음을 알 수 있다. 400 MHz ~ 2 GHz 주파수 대역은 작업자의 경우 주파수 40 W/m^2 , 일반인은 주파수 200 W/m^2 을 기준으로 하며, 2~300 GHz 주파수 대역은 작업자의 경우 50 W/m^2 , 일반인은 10 W/m^2 하고 있다.

CDMA 주파수와 같이 주파수가 낮을수록 기준이 엄격하게 적용됨을 알 수 있다.

2.3 전자파 인체 노출 평가 기준

2001년 정보 통신부 고시로 제정된 국내 인체보호 기준이 준용하고 있는 국제 비전리 방사보호위원회(ICNIRP)기준에 의하면 무선국 주변에서 인체 노출에 대한 전자파강도를 평가 할 때에는 전신노출을 기준으로 하여, 인체가 전자파에 노출되는 일정한 공간 내에서 측정된 전자파 강도 값으로부터, 공간평균값(Spatial Average)계산하고, 이를 기준 값과의 계산을 통해서 노출지수(Exposure Ratio)를 산출하여 인체보호 기준과의 적합성 여부를 판단하도록 되어 있다. 이때 평균값은 계산에 사용되는 샘플의 개수 즉, 측정 점의 개수에 따라 그 값이 달라지므로 무선국에서 복사되는 전자파에 의한 인체의 노출량을 평가할 때에는 측정점의 개수를 결정하는 것과 공간 내에서 인체가 점유하는 영역을 의미하는 적절한 측정 영역을 정하는 것이 중요한 문제가 된다.

국내에서는 2006년 12월에 제정된 TTA 표준에 의하면 그림 2와 같이 세 개의 높이(1.1 m, 1.5 m, 1.7 m)를 기준으로 하여 각 높이에서 3개의 위치 (기준과 좌우 각 $\pm 0.2 \text{ m}$)에서 실효값(rms)을 측정하여 그 평균값을 취하도록 하고 있다. 기지국 전자파에 대한 인체 노출량을 평가할 때에는 인체가 놓일 공간에서 인체가 점유하는 공간을 기준으로 9개 위치에서 측정하고 이 값들로부터 공간 평균값을 식 (2.3)을 사용하여 계산한다. 측정시간 단축을 위해서 1분으로 단축하여 측정하였다 [4].

그림 2. 측정 위치

$$\text{공간 평균값} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_i, \text{or } H_i)^2}{N}} \quad (2.3)$$

위 식에서

E_i : i 번째 측정위치의 전기장 강도

H_i : i 번째 측정위치의 자기장 강도

N : 측정 위치의 개수이다

산출된 공간 평균값으로 식 (2.4)의 노출지수를 구한다.

$$\text{노출 지수} = \left(\frac{\text{공간평균값}}{\text{기준값}} \right)^2 \quad (2.4)$$

단, 기준 값은 측정 주파수 범위에 대해 가장 작은 값을 사용한다.

이 연구에서는 기지국이 설치된 건물 옥상에서 각기 다른 다수개의 주파수 대역을 사용하는 기지국이 함께 있을 경우 전자파 강도가 최대가 되는 지점과, 기지국 설치된 건물의 층별로 현장 측정을 진행하여, 기지국 별 공간 평균을 구하고, 노출지수를 구한 후, 식 (2.5)로 노출지수의 합을 구한다. 인체 유해 여부 판단은 노출 지수의 합이 1.0보다 적으면 인체에 유해하지 않고, 1.0 보다 크면 유해한 것으로 판단한다. 현장 측정 시에 측정되는, 위성 DMB 주파수 대역의 전자파 강도도 측정하여, 전체 전자파 노출지수 합계에 사용하였다.

[표 4]는 국내 TTA표준의 전자파 강도 기준과 동일한 표 3의 ICNIRP 기준 레벨의 일반인에 대한 기준 중, 400 MHz ~ 300 GHz 대역의 전자파 강도 기준을 명시하고 있다. [표 5]는 현장 측정시의 측정되는 주파수를 [표 4]에 대입하여 기준 값을 산출 하였다.

표 4. 전자파 강도의 기준

주파수	전기장강도	자기장 강도
400 MHz ~ 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$
2 GHz ~ 300 GHz	61	0.16

표 5. 각 주파수에 대해 계산된 표준

주파수	분류	표준
868.5 MHz(SK PCS)	CDMA	40.52 V/m
1.84 GHz,(KTF,PCS) 1.86 GHz(LG,PCS)	CDMA	58.98 V/m , 59.33 V/m
2.14GHz (SK, IMT-2000)	WCDMA	61 V/m
2.64 GHz	위성 DMB	61 V/m

노출지수 합에 대한 식

$$\text{노출 지수 의 합} = \sum_{j=1}^M \left(\frac{\text{공간평균값}}{\text{기준값}} \right)_j^2 \quad (2.5)$$

위 식에서

$\left(\frac{\text{공간평균값}}{\text{기준값}} \right)_j^2$: 공용기지국의 j 번째 기지국에 대한 노출지수

M : 공용기지국의 각기 다른 주파수 대역을 사용하는 기지국의 개수이다.

이 실험의 측정 장비는 로테슈바르츠사의 FSH4(휴대용 Spectrum Analyzer)와 R&S TS EMF isotropic antenna를 사용하였다.

3. 실험 및 실험결과

기지국 설치 건물의 주변 환경(기지국 위치, 건물 구조, 주변 건물)과 측정위치에 따라서 전자파 강도 측정 값에 차이가 발생함에 따라, 실험에 적합한 기지국 선정이필요하다. 이 연구에서는 산란체에 의한 전자파 강도 변화가 적은 기지국과 많은 기지국에 대하여 전자파를 측정하였다. 그리고 건물의 구조에 따라 전자파 투과율에 차이가 날수 있으므로 기지국 설치 건물의 구조

를 조사하였다. 건물 내에도 측정 위치에 따라서 전자파 강도가 다름에 따라, 기지국이 설치된 옥상에서 전자파 강도가 최대로 측정되는 위치를 기준으로, 각 건물 층별로 현장 측정 하였다.

측정된 전자파 강도 값을 토대로 인체 유해 여부 판단 및 통계적 분석을 진행하여 기지국 설치 건물의 전자파 강도를 모델링 하였다.

3.1 산란체가 적은 기지국의 전자파 측정

[그림 3]의 HY 기지국은 설치 건물 앞이 4 거리로 교통이 복잡하나 주변에 건물이 없어서, 산란체에 따른 전자파 강도 영향이 작을 것으로 판단되며, 건물 내와 외는 장 시간 기지국에서 송신하는 전자파의 직접적인 영향을 적게 받을 것으로 판단 되어 실험 대상으로 선정했다.

그림 3. HY 기지국

기지국이 설치된 건물의 현장 조사한 결과, 건물내 7층 중에 7층/6층/3층/2층에병원이 있었고, 특히 기지국이 설치된 옥상 바로 밑인 7층에 병원 입원실이었으며, 외과 상치관련 치료를 위해 장기적으로 입원해 있는 환자가 많았다.

그리고, 건물 구조를 파악한 결과, 철근 콘크리트조 슬래브 지붕 구조이며, 용도가 근린 생활 시설로 주택가와 인접해 주민들의 생활에 편의를 줄 수 있는 시설물이었다. 1층이 216.64 m², 2층~7층은 221.13 m²으로 건물 면적이 1층 외는 동일하였다.

[그림 4]에서 기지국이 설치된 옥상에서 전자파가 Max인 지점(기지국 사이: 4.5 m, 3.5 m)을 측정 위치로 선정하였고, 건물의 층별로는 동일 조건에서 측정하기 위해, 층별 동일 위치에서 전자파 강도를 측정하였다.

건물 밖은 20 m와 100 m지점에서의 전자파 강도를 측정하였다.

그림 4. 기지국으로부터 측정 위치

[표 6]은 HY 기지국에서 현장 측정한 실효값(rms)을 dBμV/m에서 V/m으로 환산하여 정리한 것이다. 5) [그림 5]는 HY 기지국 옥상에서 (a) 1.7 m, (b) 1.5 m, (c) 1.1 m를 기준으로 좌우 0.2 m 떨어진 곳의 전기장을 측정한 값을 Capture한 것이다.

표 6. HY 기지국으로부터 측정값 (Unit: V/m)

for	frequency	1.7m	1.5m Left Q2h	1.5m Right Q2h	1.5m	1.5m Left Q2h	1.5m Right Q2h	1.1m	1.1m Left Q2h	1.1m Right Q2h
7m	800MHz	3.3044	3.2948	2.0874	2.4830	3.3628	3.2948	8.3064	6.8265	6.8268
	1800MHz	6.2975	5.9804	6.9808	5.1288	5.9862	5.9807	6.8185	5.9804	7.0180
	2400MHz	1.2037	1.1880	0.9805	1.1780	0.9805	1.2483	1.1780	0.9805	1.2088
	2600MHz	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839	0.8839
7m	800MHz	0.2379	0.4662	0.3620	0.4662	0.2379	0.4662	0.4662	0.4662	0.5520
	1800MHz	0.0000	0.0946	0.1075	0.1075	0.1075	0.0775	0.0289	0.0986	0.0986
	2400MHz	0.0000	0.1025	0.1000	0.1000	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2nd	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2m	800MHz	1.8007	1.8006	1.6800	1.6800	1.4800	1.6800	1.3600	1.6800	1.4800
	1800MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2400MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10m	800MHz	0.2854	0.3754	0.2854	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754	0.2854	0.3754
	1800MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2400MHz	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	2600MHz	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그림 5. HY 기지국에서 옥상의 전기장

3.2 산란체가 많은 기지국 전자파 측정

[그림 6]의 HW 기지국은 기지국이 설치된 건물 주변에 건물이 밀집되어 있는 상가지역 기지국으로 산란체에 의한 전자파 강도 변화가 있을 것으로 예상되어 선정되었다. 기지국 주변 건물에 병원, 학원, 모텔, 은행 등 기지국이 설치된 건물 외에도 장시간 사람이 거주하는 환경을 가지고 있다.

기지국설치 건물을 조사한 결과, 사람이 오래 거주할 수 있는 병원 입원실, 사무실이 기지국이 설치된 건물 옥상에서부터 2층 이상의 거리에 위치되어 있었다.

건물이 정확히 등기가 되어 있지 않아서, 건물 구조
는 확인 불가능 했지만, 철근콘크리트조 슬래브지붕 8

총으로 추정 된다.

그림 7. 기지국에서부터 측정 위치

[그림 7]은 HY 기지국과 동일하게, 기지국이 설치된 옥상에서는 전자파 강도가 Max인 지점(기지국 사이: 6.5 m, 5 m)을 측정 위치로 선정하였고, 기지국이 건설된 건물의 층별로는 동일 조건에서 측정하기 위해, 층별 동일 위치에서 전자파 강도를 측정하였으며, 건물 밖은 20 m와 100 m에서의 전자파 강도를 측정하였다.

표 7. HW 기지국으로부터 측정값 (Unit: V/m)

Row	Frequency	1.5m	1.5mRight	1.5mLeft	1.5m	1.5mRight	1.5mLeft	1.5m	1.5mRight	1.5mLeft
conf1	98.95M	7.265	5.505	7.993	7.989	10.000	6.305	7.489	10.752	8.825
	1.90H	4.988	5.956	4.603	5.920	4.457	4.457	4.352	4.498	5.966
	2.14H	7.757	3.749	3.749	3.749	3.749	3.749	3.749	3.749	3.749
conf2	26.04H	1.059	1.079	1.102	1.122	1.759	1.429	2.209	1.602	1.462
	98.95M	16.791	16.473	17.989	19.998	10.473	15.309	12.461	5.894	18.590
	1.90H	3.000	2.669	3.754	3.313	3.361	3.018	4.586	2.850	4.022
3th	2.14H	3.805	4.022	3.505	4.352	3.628	2.464	3.754	3.880	5.105
	26.04H	5.019	3.618	3.967	5.481	4.898	4.735	2.504	4.674	3.477
	98.95M	1.949	2.940	1.000	1.735	4.022	2.988	2.387	4.120	2.885
4th	1.90H	0.629	0.569	0.766	0.743	0.743	0.743	0.743	0.743	0.743
	2.14H	0.120	0.228	0.239	0.239	0.276	0.130	0.219	0.236	0.159
	26.04H	0.192	0.089	0.188	0.126	0.629	0.138	0.213	0.299	0.549
5th	98.95M	1.328	1.302	1.150	1.632	1.621	1.149	1.464	1.404	1.462
	1.90H	0.348	0.275	0.145	0.302	0.367	0.305	0.474	0.396	0.357
	2.14H	0.194	0.229	0.149	0.213	0.328	0.158	0.158	0.168	0.159
6th	26.04H	0.102	0.055	0.094	0.047	0.075	0.083	0.064	0.085	0.074
	98.95M	0.629	0.569	0.429	0.600	0.483	0.574	0.464	0.599	0.476
	1.90H	0.285	0.285	0.250	0.362	0.338	0.182	0.235	0.468	0.284
7th	2.14H	0.146	0.098	0.154	0.162	0.279	0.138	0.162	0.116	0.154
	26.04H	0.089	0.025	0.040	0.023	0.097	0.076	0.154	0.119	0.104
	98.95M	0.380	0.353	0.302	0.380	0.467	0.471	0.381	0.320	0.385
8th	1.90H	0.298	0.188	0.165	0.338	0.325	0.330	0.184	0.178	0.180
	2.14H	0.158	0.257	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
	26.04H	0.052	0.032	0.039	0.047	0.052	0.040	0.035	0.072	0.123
9th	98.95M	0.175	0.158	0.136	0.167	0.131	0.126	0.112	0.485	0.167
	1.90H	0.158	0.259	0.193	0.059	0.028	0.115	0.116	0.229	0.162
	2.14H	0.128	0.159	0.065	0.101	0.124	0.063	0.135	0.157	0.102
10th	26.04H	0.029	0.039	0.024	0.002	0.005	0.004	0.013	0.115	0.067
	98.95M	0.153	0.182	0.125	0.125	0.186	0.104	0.114	0.182	0.199
	1.90H	0.118	0.118	0.102	0.110	0.119	0.119	0.119	0.119	0.118
11th	2.14H	0.115	0.149	0.095	0.110	0.130	0.074	0.120	0.114	0.089
	26.04H	0.055	0.044	0.035	0.000	0.054	0.057	0.059	0.046	0.032
	98.95M	0.448	0.258	0.229	0.229	0.257	0.190	0.388	0.305	0.281
12th	1.90H	0.092	0.084	0.074	0.085	0.047	0.100	0.114	0.081	0.075
	2.14H	0.074	0.076	0.048	0.088	0.066	0.021	0.067	0.076	0.056
	26.04H	0.065	0.045	0.040	0.056	0.051	0.052	0.055	0.075	0.049
13th	98.95M	0.215	0.196	0.163	0.242	0.242	0.136	0.351	0.422	0.303
	1.90H	0.178	0.147	0.130	0.251	0.194	0.195	0.218	0.085	0.169
	2.14H	0.099	0.146	0.102	0.092	0.047	0.116	0.162	0.143	0.086
14th	26.04H	0.046	0.058	0.076	0.076	0.074	0.004	0.052	0.071	0.066
	98.95M	1.646	1.615	1.699	1.516	1.629	0.972	1.499	1.335	1.685
	1.90H	0.447	0.443	0.505	0.501	0.527	0.502	0.388	1.531	1.489
15th	2.14H	0.389	0.473	0.483	0.594	0.518	0.518	0.318	0.442	0.389
	26.04H	0.257	0.175	0.102	0.045	0.115	0.281	0.477	0.489	0.184
	98.95M	0.180	0.089	0.484	0.967	0.068	0.808	0.326	0.881	0.821
16th	1.90H	0.138	0.050	0.299	0.101	0.085	0.275	0.281	0.391	0.182
	2.14H	0.182	0.195	0.271	0.223	0.406	0.193	0.190	0.465	0.178
	26.04H	0.115	0.116	0.126	0.115	0.112	0.115	0.105	0.105	0.096
17th	98.95M	0.189	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
	1.90H	0.055	0.050	0.087	0.053	0.055	0.055	0.045	0.050	0.050

[표 7]은 HW 기지국에서 현장 측정된 실효값(rms)을 dBuV/m에서 V/m으로 환산하여 정리한 것이다. 그림 8는 HW 기지국 옥상에서 측정된 값을 Capture한 것이다.

20 m 위치한 곳에서 전자파 측정한 결과 HY 기지국과 차이가 없었다. 즉 주변건물에 의한 전자파 감쇄는 관찰 되지 않았다.

그림 8. HW 기지국에서 옥상의 전기장

4. 분석 및 고찰

기지국의 층별 전자파를 측정된 결과를 토대로 공간 평균 및 노출지수를 산출하여 인체 보호기준과 노출지수 기준과 비교하여 인체 유해 여부를 판단한다.

기지국의 주파수 별 회귀 모델의 적합성 여부를 검토하여, 예측 치와 실측 치간의 차이가 최소로 되는 회귀 방정식을 구한 후 잔차 분석을 통해서 회귀 방정식의 적합성을 판단하였다.

4.1 측정값 분석 및 평가

4.1.1 주파수 별 측정값 분석

1) HY 기지국

HY 기지국은 주파수 868 MHz에서 가장 높은 전자파 강도를 보였다. [표 8]에서 알 수 있듯이 각 주파수에서 인체 보호 기준을 만족하고, (노출지수 < 1), 각 주파수의 노출지수의 Max값을 합하여도 인체보호 기준을 만족한다. (노출지수 : 0.0283 < 1)

표 8. 개인보호 표준에 대해 HY 기지국에서 측정값

주파수	측정값	보호표준 [V/m]	비율 [%]	노출 지수 (Max)
868.5MHz	0.153 ~ 8.318	40.52	0.37785 ~ 20.5272	0.0174
1.86GHz	0.079 ~ 7.161	59.33	0.13388 ~ 12.0705	0.010
2.14GHz	0.059 ~ 1.259	61	0.09653 ~ 2.0638	0.00034
2.64GHz	0.046 ~ 1.175	61	0.07580 ~ 1.9261	0.00020

2) HW 기지국

HW 기지국도 868 MHz에서 가장 높은 전자파 강도를 보였다. [표 9]에서 알 수 있듯이, 각 주파수에서 인체 보호 기준을 만족하고 (노출지수 < 1), 각 주파수의 노출지수의 Max값을 합하여도 인체보호 기준을 만족한다. (노출지수: 0.14452<1)

표 9. 개인보호 표준에 대해 HW 기지국에서 측정값

주파수	측정값	보호표준 [V/m]	비율 [%]	노출 지수(Max)
868.5 MHz	0.1950 ~ 19.498	40.52	0.4812 ~ 48.1205	0.1283
1.84 GHz	0.0716 ~ 5.9566	58.98	0.1214 ~ 10.0994	0.00724
2.14 GHz	0.0531 ~ 5.1286	61	0.0870 ~ 8.4076	0.00403
2.64 GHz	0.0490 ~ 5.2481	61	0.0803 ~ 8.6034	0.00489

3) 주파수 별 측정값 분석 결과

868 MHz에서 기지국 위치에 상관없이 가장 높은 전자파 강도를 보였으며, 전체 주파수의 노출지수가 1보다 7배 이상 낮게 나왔다.

따라서, 단기간의 기지국 전자파 노출은 인체에 유해하지 않는 것으로 판단되었다.

4.1.2 기지국 층 별 측정값 분석

1) HY 기지국

[표 10]은 HY기지국 건물의 층별 4가지 주파수에 대한 노출지수와 노출지수의 합을 구한 것이다. 기지국이 설치된 건물 옥상 외에 건물의 전체 층에 걸쳐서 노출지수의 합이 기지국 설치 건물로부터 20 m 앞 위치한 곳에서 노출지수 합과 비교 할 때 10배 이상 작기 때문에, 건물 전체가 단 시간 전자파 노출에 대해서 인체에 유해하지 않는 것으로 판단된다. 또한 기지국으로부터 100 m 앞에서의 노출지수 합과도 차이가 없는 것을 알 수 있다.

표 10. HY 기지국으로부터 노출 지수의 합(Unit: V/m)

Floor	Frequency	Space average	Exposure index	Sum
rooftop	868.5MHz	5.34478	0.0173988	0.02827
	1.86GHz	6.02960	0.0103283	
	2.14GHz	1.12479	0.0003400	
	2.64GHz	0.87634	0.0002064	
7th floor	868.5MHz	0.42529	0.0001102	0.00012
	1.86GHz	0.10454	0.0000031	
	2.14GHz	0.12529	0.0000042	
	2.64GHz	0.05662	0.0000009	
6th floor	868.5MHz	0.31831	0.0000617	0.00007
	1.86GHz	0.13036	0.0000048	
	2.14GHz	0.11882	0.0000038	
	2.64GHz	0.05759	0.0000009	
5th floor	868.5MHz	0.29917	0.0000545	0.00006
	1.86GHz	0.14468	0.0000059	
	2.14GHz	0.10701	0.0000031	
	2.64GHz	0.05996	0.0000010	
4th floor	868.5MHz	0.29014	0.0000513	0.00006
	1.86GHz	0.18302	0.0000095	
	2.14GHz	0.08889	0.0000021	
	2.64GHz	0.05636	0.0000009	
3rd floor	868.5MHz	0.20210	0.0000249	0.00003
	1.86GHz	0.11600	0.0000038	
	2.14GHz	0.07269	0.0000014	
	2.64GHz	0.06197	0.0000010	
2nd floor	868.5MHz	0.18079	0.0000199	0.00003
	1.86GHz	0.11001	0.0000034	
	2.14GHz	0.06697	0.0000012	
	2.64GHz	0.05525	0.0000008	
1st floor	868.5MHz	0.25770	0.0000404	0.00005
	1.86GHz	0.20137	0.0000115	
	2.14GHz	0.07678	0.0000018	
	2.64GHz	0.05844	0.0000009	
20m	868.5MHz	1.58701	0.0015340	0.00192
	1.86GHz	0.93147	0.0002465	
	2.14GHz	0.62889	0.0001063	
	2.64GHz	0.33893	0.0000309	
100m	868.5MHz	0.22337	0.0000304	0.00004
	1.86GHz	0.20114	0.0000115	
	2.14GHz	0.08898	0.0000021	
	2.64GHz	0.04271	0.0000005	

2) HW 기지국

[표 11]은 HW기지국 건물의 층별 4가지 주파수에 대한 노출지수와 노출지수의 합을 구한 것이다. 기지국 설치 건물의 8층/7층의 노출지수 합은 20 m 앞의 노출지수 합보다 크거나 같다. 특히 8층은 20 m 앞의 노출

지수 합 보다 약 4배 높았다.

기지국 설치 건물의 환경적 영향(주변 건물)에 의해 노출지수 합이 HY 기지국 대비 큰 결과를 보였다. 8층은 단시간 전자파 노출에는 인체에 유해하지 않지만, 장 시간전자파 노출이 발생하는 사용 용도(병원/학원)에 대해서는 검토가 필요 한 것으로 여겨졌다.

표 11. HW 기지국으로부터 노출 지수의 합 (Unit : V/m)

Floor	Frequency	Space average	Exposure index	Sum
rooftop #1	868.5MHz	8.1502445	0.0404578	0.04939
	1.84GHz	5.0170743	0.0072359	
	2.14GHz	1.9508325	0.0010228	
	2.64GHz	1.5853595	0.0006755	
rooftop #2	868.5MHz	14.5180509	0.1283742	0.14064
	1.84GHz	3.4163329	0.0033555	
	2.14GHz	3.8698480	0.0040247	
	2.64GHz	4.2644912	0.0048874	
8th floor	868.5MHz	2.6210000	0.0041840	0.00424
	1.84GHz	0.2793636	0.0000222	
	2.14GHz	0.2246591	0.0000136	
	2.64GHz	0.2405150	0.0000155	
7th floor	868.5MHz	1.4101631	0.0012112	0.00126
	1.84GHz	0.3596861	0.0000368	
	2.14GHz	0.1843867	0.0000091	
	2.64GHz	0.1021949	0.0000028	
6th floor	868.5MHz	0.6020240	0.0002207	0.00026
	1.84GHz	0.3122518	0.0000277	
	2.14GHz	0.1521651	0.0000062	
	2.64GHz	0.1048491	0.0000030	
5th floor	868.5MHz	0.3826159	0.0000892	0.00011
	1.84GHz	0.2146522	0.0000131	
	2.14GHz	0.1374207	0.0000051	
	2.64GHz	0.0914692	0.0000022	
4th floor	868.5MHz	0.3944499	0.0000948	0.00011
	1.84GHz	0.1769671	0.0000089	
	2.14GHz	0.1202686	0.0000039	
	2.64GHz	0.0828418	0.0000018	
3rd floor	868.5MHz	0.3609666	0.0000794	0.00009
	1.84GHz	0.1558974	0.0000038	
	2.14GHz	0.1181990	0.0000038	
	2.64GHz	0.0671172	0.0000012	
2nd floor	868.5MHz	0.2572934	0.0000403	0.00004
	1.84GHz	0.0868167	0.0000021	
	2.14GHz	0.0722341	0.0000014	
	2.64GHz	0.0543558	0.0000008	
1st floor	868.5MHz	0.3470987	0.0000734	0.00009
	1.84GHz	0.1949589	0.0000109	
	2.14GHz	0.1168875	0.0000037	
	2.64GHz	0.0728802	0.0000014	
20m	868.5MHz	1.3553051	0.0011188	0.00130
	1.84GHz	0.6632018	0.0001250	
	2.14GHz	0.2789862	0.0000209	
	2.64GHz	0.3386647	0.0000308	
100m	868.5MHz	0.3395776	0.0000702	0.00012
	1.84MHz	0.2996694	0.0000258	
	1.86GHz	0.2072094	0.0000122	
	2.14GHz	0.1108807	0.0000033	
	2.16GHz	0.1967147	0.0000104	
	2.64GHz	0.0529782	0.0000008	

4.2 통계 분석

각 기지국의 주파수 별, 층별 회귀 분석을 통해서 주파수 별 전자파 강도 세기를 예측하고, 실제 값도 비교하여 통계적으로 최대로 유의한 회귀 방정식을 산출해 보았고, 잔차 분석 통해서 회귀 방정식 산출을 통해 얻어진 모형의 적합성을 확인하였다.

4.2.1 HY 기지국

HY 기지국의 주파수 868 MHz, 1.86 GHz, 2.14 GHz, 및 2.64 GHz의 전기장에 대해 회귀 분석을 하였다. 옥상에서 측정된 데이터는 통계적으로 이상치 데이터로 분석되어 회귀분석에서 제외 되었다.

1) 868 MHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 12]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R제곱(수정)이 50%보다 큰 52.7%을 보임에 따라, 반응 변수(868 MHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합 하다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석해 하면 특정 상관관계에 있다고 말하기 어렵다.

표 12. 868MHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.15586	0.01648	9.46	0.000	
	Floor	0.030855	0.003686	8.37	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0585082	53.5%	52.7%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.23990	0.23990	70.08	0.000
	Residual Error	61	0.20882	0.00342		
	합계	62	0.44872			

[표 12]을 근거로 산출된 회귀방식은,

$$868\text{MHz electric field} = 0.156 + 0.0309 * \text{floor} \quad (4.1)$$

[그림 9]은 식 (4.1)을 층별로 나타낸 그림이며, [그림 10]은 잔차 분석 결과 그림이다. (a) 잔차 정규 확률도는 직선을 따르면 정규 분포를 따른다고 볼수 있다. (b) 잔차 히스토그램은 잔차들의 히스토그램이 정규 분포의 모양과 비슷한지를 검토하여 회귀분석에서 가정[6]의 타당성을 검토한다. (c) 잔차 대 적합치는 잔차들이 0을 중심으로 특정한 경향을 보이지 않고 랜덤하게 나타나면 회귀분석에서의 가정[6]이 타당함을 의미한다.

(d) 잔차 대 데이터 순서는 모든 잔차를 데이터 수집 순서와 같은 순서로 표시한 것으로 특히 시간과 관련된 효과의 램덤하지 않은 오차를 찾는데 사용 한다[7].

그림 9. HY 기지국으로부터 868MHz의 각 층별 전기장

그림 10. HY 기지국으로부터 868MHz의 각 층별 전기장의 잔차분석 결과

2) 1.86 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 13]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의 하나, R 제곱(수정)이 50%보다 작은 11.2%을 보임에 따라, 반응 변수(1.86 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합 하지 않았다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석하면 특정 상관관계에 있다고 말하기 어렵다.

표 13. 1.86GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.17058	0.01214	14.05	0.000	
	Floor	-0.008049	0.002715	-2.96	0.004	
계산	S	R-Sq	R-Sq (adj)			
	0.0431046	12.6%	11.2%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.016325	0.016325	8.79	0.004
	Residual Error	61	0.113339	0.001858		
	Total	62	0.129664			

[표 13]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $1.86 \text{ GHz electric field} = 0.171 + 0.00805 * \text{floor} \quad (4.2)$

3) 2.14 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 14]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R 제곱(수정)이 50%보다 큰 66.2%을 보임에 따라, 반응 변수(2.14 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합 하다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석해 하면 특정 상관 관계에 있다고 말하기 어렵다.

표 14. 2.14GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.053488	0.004009	13.34	0.000	
	Floor	0.0099100	0.0008963	11.06	0.004	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0142288	66.7%	66.2%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.024748	0.024748	122.24	0.000
	Residual Error	61	0.012350	0.000202		
	Total	62	0.037098			

[표 14]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $2.14 \text{ GHz electric field} = 0.0535 + 0.00991 * \text{floor} \quad (4.3)$

4) 2.64 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 15]은 회귀식의 계수 중 floor의 P값(0.892)이 0.05보다 커서 유의하지 않고, R제곱(수정)이 50%보다 작은 0%을 보임에 따라, 반응 변수(2.64 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합 하지 않다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석해 하면 특정 상관관계에 있다고 말하기 어렵다.

표 15. 2.64GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.057875	0.002048	28.26	0.000	
	Floor	-0.0000624	0.0004580	-0.14	0.892	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.00726994	0.0%	0.0%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.00000098	0.00000098	0.02	0.892
	Residual Error	61	0.00322397	0.00005285		
	Total	62	0.00322495			

[표 15]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $2.64 \text{ GHz electric field} = 0.0579 - 0.000062 * \text{floor} \quad (4.4)$

4.2.2 HW 기지국

HW 기지국의 주파수 868 MHz, 1.86 GHz, 2.14 GHz, 및 2.64 GHz의 전기장에 대해 회귀분석을 하였다. 옥상에서 측정된 데이터는 통계적으로 이상치 데이터로 분석되어 회귀분석에서 제외 되었다.

1) 868 MHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 16]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R 제곱(수정)이 50%과 비슷한 49.7% 보임에 따라, 반응 변수(868 MHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다고 할 수 있다. 잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있지 않으며, 순서 측면을 분석해

하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

잔차 분석을 종합하면, 868 MHz 회귀 모형은 적합하지 않다고 판단된다.

표 16. 868 MHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	-0.3527	0.1488	-2.37	0.021	
	Floor	0.24858	0.02946	8.44	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.572815	50.4%	49.7%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	23.357	23.357	71.18	0.000
	Residual Error	70	22.968	0.328		
	Total	71	46.325			

[표 16]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $868 \text{ MHz electric field} = 0.3527 + 0.2486 * \text{floor}$ (4.5)

2) 1.84 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 17]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R 제곱(수정)이 50%보다 큰 52.8%을 보임에 따라, 반응 변수(1.84 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합 하다. 잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 하다고 판단하기 어렵다. 순서 측면을 분석해 하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

표 17. 1.84 GHz 와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.07801	0.01710	4.56	0.000	
	Floor	0.030379	0.003385	8.97	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0658216	53.5%	52.8%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.34884	0.34884	80.52	0.000
	Residual Error	70	0.30327	0.00433		
	Total	71	0.65212			

[표 17]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $1.84 \text{ GHz electric field} = 0.0780 + 0.0304 * \text{floor}$ (4.6)

3) 2.14 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 18]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하나, R 제곱(수정)이 50%보다 큰 61.9%을 보임에 따라, 반응 변수(2.14 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 하다. 순서 측면을 분석해 하면 연속된 잔차의 부호 사이에 변화가 크므로 음의 상관관계가 있다.

표 18. 2.14 GHz 와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.062281	0.007966	7.82	0.000	
	Floor	0.017025	0.001577	10.79	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0306689	62.5%	61.9%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.10957	0.10957	116.49	0.000
	Residual Error	70	0.06584	0.00094		
	Total	71	0.17541			

[표 18]을 근거로 산출된 회귀방정식은,
 $2.14 \text{ GHz electric field} = 0.0623 + 0.0170 * \text{floor}$ (4.7)

4) 2.64 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 19]은 회귀식의 계수 중 Constant의 P값이 0.05보다 큰 0.054이므로 유의하지 않고, R제곱(수정)이 50%보다 작은 32.7%을 보임에 따라, 반응 변수 (2.64 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다고 말할 수 없다.잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤하다. 순서 측면을 분석해 하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

표 19. 2.64 GHz 와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.02624	0.01341	1.96	0.054	
	Floor	0.015832	0.002655	5.96	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0516277	33.7%	32.7%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.094745	0.094745	35.55	0.000
	Residual Error	70	0.186579	0.002665		
	Total	71	0.281324			

[표 19]을 근거로 산출된 회귀방정식은,

$$2.64 \text{ GHz electric field} = 0.0262 + 0.0158 * \text{floor} \quad (4.8)$$

4.2.3 기지국 전체

HY와 HW 기지국의 주파수 868 MHz, 1.86 GHz, 2.14 GHz, 및 2.64 GHz의 전기장 측정값을 합친 후에 회귀 분석을 하였다. 옥상에서 측정된 데이터는 통계적으로 이상치 데이터로 분석되어 회귀 분석에서 제외되었다.

1) 868 MHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 20]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하나, R 제곱(수정)이 50%보다 작은 34.1%을 보임에 따라, 반응 변수(868 MHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다고 말할 수 없다. 잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤하지 않다. 순서 측면을 분석해 하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

표 20. 868 MHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	-0.19579	0.09834	-1.99	0.049	
	Floor	0.17217	0.02054	8.38	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.518861	34.6%	34.1%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	18.923	18.923	70.29	0.000
	Residual Error	133	35.806	0.269		
	Total	134	54.729			

[표 20]을 근거로 산출된 회귀방정식은,

$$868 \text{ MHz electric field} = 0.196 + 0.172 * \text{floor} \quad (4.9)$$

2) 1.84 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 21]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하나, R 제곱(수정)이 50%보다 작은 17.9%을 보임에 따라, 반응 변수(1.84 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다고 말할 수 없다. 잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤하다. 순서 측면을 분석해 하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

표 21. 1.84 GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.10733	0.01467	7.32	0.000	
	Floor	0.016819	0.003064	5.49	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0774105	18.5%	17.9%			
분산 분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.18059	0.18059	30.14	0.000
	Residual Error	133	0.79699	0.00599		
	Total	134	0.97758			

[표 21]을 근거로 산출된 회귀방정식은,

$$1.84 \text{ GHz electric field} = 0.107 + 0.0168 * \text{floor} \quad (4.10)$$

3) 2.14 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 22]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R 제곱(수정)이 50%보다 큰 51.8%을 보임에 따라, 반응 변수(2.14 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하다. 잔차는 정규 분포를 따르며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석해 하면 특정 상관관계에 있다고 말하기 어렵다.

표 22. 2.14GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.052696	0.006049	8.71	0.000	
	Floor	0.015197	0.001263	12.03	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq (adj)			
	0.0319127	52.1%	51.8%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.14744	0.14744	144.77	0.000
	Residual Error	133	0.13545	0.00102		
	Total	134	0.28289			

[표 22]을 근거로 산출된 회귀방정식은,

$$2.14 \text{ GHz electric field} = 0.0527 + 0.0152 * \text{floor} \quad (4.11)$$

4) 2.64 GHz의 전기장에 대한 회귀 분석

[표 23]은 회귀식의 계수의 P값이 0.05보다 모두 작으므로 유의하며, R 제곱(수정)이 50%보다 작은 19.8%을 보여서, 반응 변수(2.64 GHz 전기장)의 변동에 대한 회귀 모형이 적합하지 않다. 잔차는 정규 분포를 따르지 않으며, 잔차는 0의 양쪽으로 잔차가 랜덤 패턴으로 나타나고 있다고 판단되고, 순서 측면을 분석해 하면 잔차가 같은 부호에 몰려 있으므로 양의 상관관계에 있다.

표 23. 2.64GHz와 바닥의 전기장 사이의 회귀분석

t-Test for 회귀방정식 계수	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
	Constant	0.034517	0.008522	4.05	0.000	
	Floor	0.010398	0.001780	5.84	0.000	
계산	S	R-Sq	R-Sq(adj)			
	0.0449648	20.4%	19.8%			
분산분석	Source	DF	SS	MS	F	P
	Regression	1	0.069029	0.069029	34.14	0.000
	Residual Error	133	0.268904	0.002022		
	Total	134	0.337933			

[표 23]을 근거로 산출된 회귀방정식은,

$$2.64 \text{ GHz electric field} = 0.0345 + 0.0104 * \text{floor} \quad (4.12)$$

4.3 통계적 추론

4.3.1 회귀분석

각 기지국이 있는 건물의 전자파 강도를 층별로 회귀 분석 한 것을 [표 24]에 나타냈다.

표 24. 각각의 기지국과 각 층별 회귀분석

기지국	Response	Predictors	R-Sq	회귀 방정식
HW 기지국	868 MHz electric field	floor	49.7%	868 MHz electric field = - 0.353 + 0.249 * floor
	1.84 GHz electric field		52.8%	1.84 GHz electric field = 0.0780 + 0.0304* floor
	2.14 GHz electric field		61.9%	2.14 GHz electric field = 0.0623 + 0.0170 * floor
	2.64 GHz electric field		32.7%	2.64 GHz electric field = 0.0262 + 0.0158* floor
HY 기지국	868 MHz electric field	floor	52.7%	868 MHz electric field = 0.156 + 0.0309* floor
	1.86 GHz electric field		11.2%	1.86 GHz electric field = 0.171 - 0.00805* floor
	2.14 GHz electric field		66.2%	2.14 GHz electric field = 0.0535 + 0.00991* floor
	2.64 GHz electric field		0%	2.64 GHz electric field = 0.0579 - 0.000062* floor
HW & HY 기지국	868 MHz electric field	floor	34.1%	868 MHz electric field = - 0.196 + 0.172* floor
	1.84/6 GHz electric field		17.9%	1.84 GHz electric field = 0.107 + 0.0168* floor
	2.14 GHz electric field		51.8%	2.14 GHz electric field = 0.0527 + 0.0152 * floor
	2.64 GHz electric field		19.8%	2.64 GHz electric field = 0.0345 + 0.0104* floor

결정계수가 $0.5 \leq R^2 \leq 0.8$ 이면 회귀 방정식은 데이터의 정보를 충분히 흡수하고 있는 셈이 된다. 8) 2.14 GHz 전자파는 기지국 위치에 크게 상관없이 예측치와 실측치 간에 차이가 적다. (R-Sq값이 51.8%)

4.3.2 잔차 분석

잔차란 실제 값에서 모형에 의해 적합된 값을 뺀 것으로, 그 값이 0으로 나오면 이상적인 모형이지만 그렇지 못한 경우가 대부분이다. 따라서 잔차 분석을 통해

모형의 적합성을 반드시 확인 하여야 한다. 적절한 회귀모형이 가져야 할 잔차에 대한 기본 가정으로 잔차는 평균이 “0”이고, 분산은 일정해야 하고, 정규분포를 따라야 하며, 서로 독립적이어야 한다. 각 기지국의 주파수 별 잔차 분석 결과에 대하여 [표 25]와 같이 해석 하였다.

표 25. 각 기지국의 주파수 별 잔차분석 결과

기지국	Response	Item	잔차분석
HW 기지국	868 MHz 전기장	Normal Probability	정규분포를 따르지 않음
		Fitted values	랜덤하지 않음
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation
	1.84 GHz 전기장	Normal Probability	Does not follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤하지 않음
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation
	2.14 GHz 전기장	Normal Probability	Follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Follow normality
		The Order	Negative correlation
	2.64 GHz 전기장	Normal Probability	Does not follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation
HY 기지국	868 MHz 전기장	Normal Probability	Follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Follow normality
		The Order	Specific correlation is not
	1.86 GHz 전기장	Normal Probability	Follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Follow normality
		The Order	Specific correlation is not
	2.14 GHz 전기장	Normal Probability	Follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Follow normality
		The Order	Specific correlation is not
HY & HW 기지국	868 MHz 전기장	Normal Probability	Does not follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation

HY & HW 기지국	1.84/6 GHz 전기장	Normal Probability	Does not follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation
	2.14 GHz 전기장	Normal Probability	Follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Follow normality
		The Order	Specific correlation is not
	2.64 GHz 전기장	Normal Probability	Does not follow a normal distribution
		Fitted values	랜덤함
		Histogram	Normality can be viewed suspiciously
		The Order	Positive correlation

잔차 분석결과, 2.14 GHz가 기지국에 상관없이 회귀 모형에 가장 적정하다는 결론을 도출할 수 있다[7].

4.4 고 찰

전파 진흥원은 측정의 신뢰성 타당성을 확보하기 위해, 산.학.연 전문가로 구성된전자파측정위원회를 운영, 연 2회 측정결과에 대한 검증을 하고 있다.

자신이 사는 지역 주위의 전자파 강도 측정결과는 진흥원 사이트에서 확인할 수 있다. 그러나 2007년 12월부터 의무적으로 측정한 자료에는 측정값, 인체보호기준대비[%]값에 대한 자료는 있으나, 기지국이 설치된 건물전체에 대한 전자파강도 및 인근 위치에 대한 변화 추이에 대한 고찰이 없었다.

표 26. 주파수의 각 노출지수의 합

주파수	HY 기지국		HW기지국	
	측정값(V/M)	노출지수(Max)	측정값 (V/M)	노출지수(Max)
868.5 MHz	0.153 ~ 8.318	0.0174	0.1950 ~ 19.498	0.1283
1.84/6 GHz	0.079 ~ 7.161	0.010	0.0716 ~ 5.9566	0.00724
2.14 GHz	0.059 ~ 1.259	0.00034	0.0531 ~ 5.1286	0.00403
2.64 GHz	0.046~ 1.175	0.00020	0.0490 ~ 5.2481	0.00489
Sum		0.0283		0.14452

[표 26]은 실험 대상 대해 주파수 별 최대 전자파 강도를 측정하고 공간 평균 및 노출지수의 합을 산출하였

으나 인체보호 기준(1) 대비 7배 이상 작은 값(노출지수: 0.14)을 보여서 전자파 연구소가 노출지수 0.2이상 일 때, 인접한 다른 무선국의 전자파 강도를 측정하여 합산해야 한다는 제안을 따를 필요가 없었다.

표 27. 각각의 기지국 및 주파수에 대한 회귀분석

기지국	Response	Predictors	R-Sq	Regression Equation
HW 기지국	868MHz 전기장	floor	49.7%	868MHz electric field = - 0.353 + 0.249 * floor
	2.14GHz 전기장		61.9%	2.14GHz electric field = 0.0623 + 0.0170 * floor
HY 기지국	868MHz 전기장		52.7%	868MHz electric field = 0.156 + 0.0309* floor
	2.14GHz 전기장		66.2%	2.14Hz electric field = 0.0535 + 0.00991* floor
HW & HY 기지국	868MHz 전기장		34.1%	868MHz electric field = - 0.196 + 0.172* floor
	2.14GHz 전기장		51.8%	2.14GHz electric field = 0.0527 + 0.0152 * floor

[표 27]은 기지국 별, 주파수 별로 측정된 결과로 회귀 방정식을 구하였는데, 868 MHz와 2.14 GHz의 전자파 강도의 R Sq(조정)값이 50%이상 값을 보임에 따라, 구해진 회귀 방정식이 통계적으로 데이터의 정보를 충분히 흡수하고 있었다. 868 MHz는 기지국 주변 환경에 많은 영향을 받아서, 기지국 각각으로는 건물 층 별 전자파 강도는 예측할 수 있으나, 공통된 회귀 방정식 산출에는 미흡하였다.

(HW & HY 기지국: 34.1% < 50%), 2.14 GHz(SK, IMT 2000)은 기지국 설치 건물의 주변 환경에 크게 영향을 받지 않아, 설치 건물의 층별 전자파 강도를 회귀 방정식으로 예측할 수 있다.

(2.14 GHz 전기장 = 0.0527 + 0.0152 * 층수)

잔차 분석에서는 868 MHz 전자파 강도가 정규성을 따르지 않고, 랜덤 하지도 않아서 868 MHz 전자파 강도의 회귀 방정식 모델은 적합하지 않았다.

2.14 GHz 전자파 강도는 정규성을 따르며, 랜덤 하여 2.14 GHz 전자파 강도의 회귀방정식의 모델은 적합하다는 결과를 얻었다. 기지국의 층별 전자파 강도를 면밀히 검토하면, 건물 환경에 따라서, 기지국 설치 건물의 옥상 아래 최상층의 전자파 강도가 기지국 설치 건물의 20cm앞에서 측정된 전자파 강도보다 4배 이상 높은

전자파 강도가 측정 되었다. 이 값은 인체 보호 기준은 만족하나, 기지국 주변의 장시간 거주 하는 사람, 동물에 대한 사례가 연구되는 현 시점에서는 기지국 설치 건물의 최상층에 병원, 학원 등 장 시간 거주하는 환경이 조성되지 않는 것이 좋을 것으로 여겨진다.

5. 결론

기지국 설치 주변의 전자파 강도에 대해 인체 유해 여부 파악 및 추이를 검토하기위해서, 산란체가 많은 기지국 과 산란체가 적은 기지국을 선별하여 실험을 하였다.

실험은 국제 규격과 국내 TTA 표준을 모두 충족시키기 위해 세가지 높이(1.1 m, 1.5 m, 1.7 m)를 기준으로 하여 각 높이에서 3개의 위치, 즉 인체가 놓일 공간에서 인체가 점유하는 공간을 기준으로 9개 위치에서 주파수별 실효값 (rms)을 기지국 설치 건물의 층별로 로테슈바르츠사의 FSH4(휴대용 Spectrum Analyzer)와 R&STS EMF isotropic antenna를 사용하여 측정하고, 이 값들로부터 공간 평균값 및 노출지수를 구하였다. 9개의 위치에서 측정된 주파수 별 실효값(rms)의 Max가 전자파 인체 보호 기준대비 최대 48.12%(옥상 측정값)로 주파수 별 인체보호 기준을 만족함을 확인하였다. 그리고 산출된 주파수 별 노출지수 합도 최대 0.1445로 기준 1대비 최대 7배 이상 낮은 수준임을 확인하였다.

기지국 별, 주파수 별, 기지국 설치 건물의 층별로 측정된 전자파 강도의 실효값을 토대로 실효값과 예측값의 차이가 최소로 되는, 통계적으로 최대로 유의한 회귀방정식을 산출해 보았다. 이 때 기지국이 설치된 옥상에서 측정된 실효값은 이상치 데이터로 분석되어 회귀 분석에서 제외 하였다. 기지국별, 층별 조건에서는 68 MHz, 2.14 GHz의 전자파 강도 모두 P값이 0.005보다 작아서 유의하며, R Sq(조정)값이 50%이상 값을 보여서 회귀 방정식이 데이터의 정보를 충분히 흡수하고 있다는 것을 확인하였다. 그러나 기지국 데이터 통합, 층별 데이터 통합 조건에서는 868 MHz, 2.14 GHz의 전자파 강도 모두 P값이 0.005 보다 작지만, 868 MHz 전자파강도의 R Sq(조정)값이 50%이하 값(34.15%)을 보여서, 868 MHz 전자파 강도는 기지국이 설치된 환경에

많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 2.14 GHz (SK, IMT 200)의 전자파 강도는 R Sq(조정)값이 50% 이상 값(51.8%)을 보여서 2.14 GHz의 전자파 강도의 회귀 방정식의 모형은 적합하였으며, 기지국이 설치 건물의 주변 환경에 크게 영향을 받지 않고, 기지국 설치 건물의 층별 전자파 강도를 회귀 방정식으로 예측 할 수 있었다.

잔차 분석을 통해 회귀 방정식 모델의 적합성을 확인 하였는데, 868 MHz 전자파 강도의 데이터가 정규성을 따르지 않았고, 랜덤 하지도 않아서 868 MHz의 전자파 강도의 회귀 방정식 모델은 적합하지 않다는 것을 확인 했다.

2.14 GHz 전자파 강도의 데이터는 정규성을 따랐으며, 랜덤 하여 이 전자파 강도의 회귀 방정식의 모델은 적합함을 확인 할 수 있다. 기지국의 층별 전자파 강도 데이터를 면밀히 분석한 결과, 기지국 설치 건물의 주위 환경에(주변 산란체가 많은 기지국) 따라서, 기지국 설치 건물의 옥상 아래 최상층의 전자파 강도가 기지국 설치건물의 20 m앞에서 측정한 전자파 강도보다 4배 이상 높은 전자파 강도가 측정 되었다. 이 값은 인체 보호 기준은 만족하나, 기지국 주변의 장시간 거주 하는 사람, 동물에 대한 사례가 연구되는 현 시점에서는 기지국 설치 건물의 최상층에 장기간 거주하는 환경을 만들지 않는 것이 좋을 것으로 여겨졌다.

이 연구를 통해 얻은 결과를 3가지로 요약할 수 있다.

첫째, 기지국 별, 주파수 별, 층 별 조건에서 전자파 강도를 측정한 결과, 국제 비전리 방사 보호 위원회(ICNIRP)와 정보 통신 기술협회의(TTA)가 제시하는 인체 보호 기준을 만족함에 따라, 단기간의 기지국 주변의 전자파 노출은 실생활에서 인체 유해하지 않다.

둘째, 기지국 설치 건물 층별 전자파 강도 변화 추이에 대해서는, 2.14 GHz의 전자파 강도는 회귀 방정식으로 예측 할 수 있다.

셋째, 기지국이 설치된 건물의 최상층은 장기간 거주하는 용도로 적합하지 않다고 생각한다.

이 연구에서 다루지 못한 부분은 다음과 같으며 향후 추후 과제로 지속적으로 연구될 필요가 있다. 우선 이 연구는 기지국 설치 건물의 전자파 강도를 측정하고, 회귀방정식을 구해서 층별 전자파 강도를 예측하려 하였지만, 기지국 설치 건물전체를 세부적으로 모델링 하지 못했다. 이유는 건물 재료 및 건물 세부 구조에 따른 전자파 강도 감쇄에 대한 연구를 하지 않았기 때문이다. 빠른 IT산업과 함께 급속히 늘어나는 기지국 건설로부터 최대한 분쟁을 줄이기 위해서는 기지국 설치 건물과 주변의 전자파 강도에 대한 정확한 모델링 및 예측을 바탕으로 사용 용도에 대한 추가 검토가 되어야 할 것이다. 마지막으로, 이 연구에서 기지국 2개를 선택하여 진행하였으나, 회귀방정식의 신뢰도 향상을 위해서는 더 많은 기지국에서 동일 연구를 진행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Abdei G. Rassoul, "Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations," *Neurotoxicology*, Vol.28, No.2, pp.434-440, 2007.
- [2] J. Everaert, "A possible Effect of Electromagnetic Radiation from Mobile Phone Base Stations on the Number of Breeding House Sparrow (*Passer domesticus*)," *Electromagn Biol Med*, Vol.26, No.1, pp.63-72, 2007.
- [3] 오학태, 전파 연구소, "전자파 노출 환경평가 기준 연구", pp.237-243, 2007.
- [4] 최형도, 전파진흥원, "정보 통신부, 전자파 영향 및 표준화 연구", pp.45-271, 2007.
- [5] I. Mark, Montrose, *EMC를 고려한 PCB 설계 기술*, jinhan M&B, pp.474-475, 2006.
- [6] 양병화, *다변량 데이터 분석법의 이해*, 커뮤니케이션북스, pp.61-95, 2006.
- [7] 이레테크 Minitab사업팀, *새 Minitab 실무 완성*, 이레테크, pp.398-431, 2009.

- [8] 노형진, *다변량분석 이론과 실제*, 형설출판사, pp.61-79, 2005.
- [9] http://emf.or.kr/pro/emf_data_search_view.asp?board_idx=374&page=1,
- [10] 백정기, 전파 연구소, “인체 노출량 평가방법 표준화 연구”, pp.17-52, 2006.
- [11] ICNIRP Guidelines, “Guideline for limiting exposure to time varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (Up to 300GHz)
- [12] S. J. Regel, “UMTS base station like exposure, well being, and cognitive Performance,” *Environ Health Perspect*, Vol.114, No.8, pp.1270-1275, 2006.
- [13] A. Maes, Flemish Institute for Technological Research (VITO), Cytogenetic investigation of subjects professionally exposed to radiofrequency radiation, *Mutagenesis*, Vol.21, No.2, pp.139-142, 2006.
- [14] H. P. Hutter, “Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations,” *Occup Environ Med*, Vol.63, No.5, pp.307-313, 2006.
- [15] H. Hinrichs, “Human Sleep Under the Influence of a GSM 1800 Electromagnetic Far Field,” *Somnologie*, Vol.9, No.4, pp.185-191, 2005.
- [16] A. Balmori, “Possible Effects of Electromagnetic Fields from Phone Masts on a Population of White Stork (*Ciconia ciconia*),” *Electromagn Biol Med*, Vol.24, No.2, pp.109-119, 2005.
- [17] N. Sakuma, Kashima Laboratory, Mitsubishi Chemical Safety Institute Ltd., Japan, “DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW and W CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations,” *Bioelectromagnetics*, Vol.27, No.1, pp.51-57, 2006.
- [18] I. S. Riddervold, “Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation

to rf radiation from UMTS base stations,” *Bioelectromagnetics*, Vol.29, No.4, pp.257-267, 2008.

- [19] S. Eltiti, “Does Short Term Exposure to Mobile Phone Base Station Signals Increase Symptoms in Individuals who report sensitivity to electromagnetic Fields? A Double Blind Randomised Provocation Study,” *Environ Health Perspect*, Vol.115, No.11, pp.1603-1608, 2007.
- [20] G. Fritzer, Christian Albrechts University, Germany, “Effects of short and long term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions,” *Bioelectromagnetics*, Vol.28, No.4, pp.316-325, 2007.
- [21] 김기채, *전자파 환경 공학*, 대영사, pp.23-47, 2001.

저 자 소 개

조 의 현(Euy-Hyun Cho)

정회원

- 2010년 6월 : 영남대학교 의공학 과(의공학 석사)
- 2010년 9월 : 영남대학교 의공학 과(박사 과정)
- 1996년 2월 ~ 현재 : 삼성전자

<관심분야> : 자장 치료, 디지털 의료영상, 뇌파 분석, 방사선피폭

박 정 규(Jeong-Kyu Park)

정회원

- 2008년 7월 : 한서대학교 방사선 학과(방사선학석사)
- 2008년 9월 : 영남대학교 의공학 과(박사과정)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 대구보건 대학 방사선과 교수

<관심분야> : 방사선학, 디지털 의료영상, 방사선피폭