전자파 인체보호대책 연구

2015. 12.

RRA 국립전파연구원

제 출 문

본 보고서를 「전자파 인체보호 대책에 관한 연구」과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2015. 12. 31.

연구책임자 : 정 삼 영(전파환경안전과 전자파안전담당)
연 구 원 : 김 기 회(전파환경안전과 전자파안전담당)
이 종 일(전파환경안전과 전자파안전담당)
장 주 동(전파환경안전과 전자파안전담당)
김 재 웅(전파환경안전과 전자파안전담당)

요 약 문

본 연구에서는 영·유아 들이 장시간 생활하는 공간인 어린이집, 유치원에서 RF 신호에 의한 전자파 노출량과 배전반, 가전기기 등에서 발생하는 전자파 노출량을 정확히 평가할 수 있는 측정 방법을 마련하였다. 측정방법 마련을 위해 '14년도부터 국내에서 수행된 측정결과를 분석하였으며, IEC 국제표준을 기준으로 하여 영·유아의 체격, 생활 습관을 감안, 어린이집 및 유치원 등의 대표적인 생활환경에서 적용될 수 있도록 개발하였다. 또한, 영유아 시설을 대상으로 일부 국가에서 엄격한 기준을 적용하고 있는 상황과 일부 국민의 염려를 감안하여 영·유아들이 어린이집 및 유치원에서 전자파로부터 보다 안심하고 생활할 수 있도록 RF 신호원의 설치·운영 방식, 배전반 설치 방법 등을 포함한 전자파 안전이용 가이드라인을 마련하였다.

최근 무선 전력전송기기의 사용이 증가하고 있고 또한 무선 충전방식을 적용하는 전기자동차인 올레브(OLEV)가 국내 일부 지역에서 시범적으로 운용되고 있다. 무선 전력전송에 의한 충전방식은 의도적으로 전자파를 발생시키는 것으로 국내외 인체 보호기준을 만족해야 시장에 판매되고 사용될 수 있다. 일부 충전방식이 간단한 제품의 경우 기준에 만족하여 판매, 사용되고 있으나, 고출력을 전송하거나 새로운 방식으로 충전하는 많은 제품들은 아직 기준에 만족하지 못하고 있다. 이들의 제품화를 위하여 제조사들은 전자파 저감을 위한 대책기술 개발과 신기술을 도입하여 기준에 만족시키려 노력하고 있다. 사용되는 제품의 다양성은 무선충전방식의 구조의 다양성을 요구하며, 이에 따라 사용자 등의 인체에 노출되는 현상도 다양하다. 따라서 이들 다양한 구조, 출력, 충전방식 및 사용자의 노출 상태를 고려한 측정방법이 필요하며 이의 개발을 위한 연구가 진행될 것이다.

금년에는 최근 국내 업체가 상용화를 위해 준비하고 있는 무선 전력전송 기기와 무선충전방식의 전기자동차에 대해 전자파 노출량을 측정하였다. 이를 통해 다양한 대상기기에 대해 보다 정확하고 재현성 있게 평가할 수 있는 방법을 찾고자 한다.

최근 무선랜의 기능이 다양하여 그동안 적용하였던 전자파흡수율 측정방법을 그대로 적용할 경우 모든 무선 통신 규격별로 각각 측정을 수행해야 하므로 측정에 많은 시간이 소요되며 제조사의 제품 출시에 상당한 영향을 주게 된다.

특히 최근 안테나 소형화 기술이 무선랜에 적용되어 장착되는 안테나가 다수, 다양화되었고 이에 따라 측정 항목의 증가와 측정방법이 복잡하게 되었다. 이러한 문제의 해결을 위해 연구원은 제조사와 기술교류회를 통한 의견수렴, 전자파인체보호위원회의 기술적 검토 및 미국·유럽 등에서 적용하는 해외사례를 조사하였다. 이러한 과정을 통해 마련된 측정기준은 무선랜의 전자파흡수율 시험을 할 때 전도전력을 우선 측정하고 그 최대값의 경우에만 전자파흡수율을 측정하도록 간소화되었다.

2014년 전자파 흡수율 평가 대상기기의 확대로 국내에서 판매되는 150 MHz 대역의 무선기기에 대한 평가기준이 필요하게 되었다. 150 MHz 대역 측정 시스템에 대한 연구와 규격의 표준화는 '14년부터 진행하여 왔으며, 측정 시스템의 국제 표준화는 거의 마무리가 되었다. 후속 단계로 시스템 성능평가를 위해 요구되는 기준 안테나의 소형화를 위해 미앤더 타입의 다이폴 안테나를 고려하게 되었다. 안테나의 공진 특성 확보와 전자파 흡수율 기준값을 얻기 위해 수치해석 연구를 수행하였고, 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 일본 NICT와 비교 분석연구를 수행하였다. 또한 시제품을 제작하여 특성 값을 확인하였고 보다 이상적인 특성을 만족시키기 위해 계속 연구를 진행하고 있다.

목 차

제1장 서 론 ····· 1

제2장 취약 계층 전자파 인체 노출량 측정 연구 ····· 2
제1절 개 요 ····· 2
제2절 전자파 안전이용 가이드라인 ····· 3
제3절 전자파 취약지역 전자파 인체노출량 측정 방법(안) ····· 10
제4절 결론 ····· 22

제3장 신기술 신제품의 전자파 인체 노출량 측정 연구 ····· 23
제1절 배경 ····· 23
제2절 휴대전화 무선 충전기에 대한 전자파 인체노출량 분석 ····· 24
제3절 온라인 전기자동차(OLEV)의 전자파 인체노출량 분석 ····· 26
제4절 60 GHz 대역의 WiGig의 전자파 인체노출 특성 ····· 28

제4장 WLAN 전자파 흡수율 측정방법 간소화 연구 ····· 31
제1절 개 요 ····· 31
제2절 WLAN 전자파흡수율 측정 결과 ····· 31
제3절 WLAN 전자파흡수율 측정 간소화 방법 ····· 43
제4절 결론 ····· 45

제5장 소형화된 150 MHz 전자파흡수율 평가용 안테나 연구 ··· 46
제1절 개 요 ····· 46
제2절 150 MHz 대역의 전자파흡수율 평가용 미앤더 타입의 다이폴 안테나 연구 ····· 47
제3절 결론 ····· 51

제6장 맺음말 ····· 52

참고문헌 ····· 53

표 목 차

[표 2-1] 무선국 전자파강도 측정 통계 ····· 6
[표 2-2] 전자파 안전이용 가이드라인 ····· 9
[표 2-3] 측정 장소 및 측정 지점 선정 예시 ····· 12
[표 3-1] 공진방식의 휴대전화 충전기의 자기장 세기 ····· 25
[표 3-2] 자기유도방식의 휴대전화 충전기의 자기장 세기 ····· 26
[표 3-3] 국제기구의 전력밀도 기준 ····· 29
[표 3-4] WiGig의 전자파 인체노출량 계산 결과 ····· 29
[표 3-5] 신호원으로부터 거리별 전력값의 측정결과 ····· 30
[표 4-1] A사 모델a WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 32
[표 4-2] A사 모델a WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 33
[표 4-3] A사 모델b WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 33
[표 4-4] A사 모델b WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 34
[표 4-5] A사 모델c WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 35
[표 4-6] A사 모델c WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 35
[표 4-7] B사 모델a WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 36
[표 4-8] B사 모델a WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 37
[표 4-9] A사 모델d WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 38
[표 4-10] A사 모델d WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 39
[표 4-11] B사 모델b WLAN 평균 전도전력 측정값 - 2.4GHz ····· 40
[표 4-12] B사 모델b WLAN 전자파흡수율 측정값 - 2.4GHz ····· 41
[표 5-1] 150 MHz 대역의 다이폴 및 모의 인체 규격 ····· 46
[표 5-2] 150 MHz 대역의 전자파흡수율 값 ····· 47
[표 5-3] Balun 길이 조절에 따른 임피던스 값 ····· 48

그 림 목 차

[그림 2-1] 전자파의 사용 범위 ····· 3
[그림 2-2] 기지국 전자파의 분포 예 ····· 7
[그림 2-3] 측정위치 (측정높이) ····· 13
[그림 2-4] 실내외 공간의 고주파수 및 저주파수 대역 측정 절차 ··· 16
[그림 2-5] 측정 기기의 배치 ····· 17
[그림 3-1] 휴대전화 무선충전기의 전자파 측정 구성 ····· 24
[그림 3-2] 휴대전화 무선충전기의 측정방향 및 측정영역 ····· 24
[그림 3-3] 충전 시 버스 외부에서 측정되는 자기장 세기 ····· 27
[그림 3-4] 최댓값 측정 위치의 거리에 따른 측정값 ····· 27
[그림 3-5] 60 GHz 전자파 측정 환경 구성 ····· 30
[그림 4-1] A사 LTE 단말기 측정 결과 ····· 42
[그림 4-2] B사 LTE 단말기 측정 결과 ····· 42
[그림 5-1] 최초 고안한 'ㄹ'자형 다이폴 안테나 ····· 48
[그림 5-2] 다이폴-Balun 이격거리에 따른 임피던스 값 변화 ····· 49
[그림 5-3] 변형된 'ㄹ'자형 미앤더 타입 다이폴 안테나 ····· 50
[그림 5-4] 최종 계산된 'ㄹ'자형 미앤더 타입 다이폴 안테나 ····· 50

제1장 서론

최근 무선통신 기지국과 와이파이 등 무선기기의 보급 확대로 전자파에 대한 인체 노출이 많아지고 있다. 특히 유아들이 생활하는 어린이집이나 유치원의 경우 실내 와이파이 설치와 주변의 기지국으로부터 자연 노출되어 있고, 이러한 시설에 대한 일부국가의 엄격한 기준 도입으로 국민들의 염려가 높아지고 있다. 이들 염려해소와 대책마련을 위해 국립전파연구원과 한국방송통신전파진흥원은 국내의 여러 지역에서 설치된 기지국과 어린이집, 유치원, 초등학교를 대상으로 전자파세기를 조사하였다. 분석 결과에 따르면 대부분의 경우 기준 값에 훨씬 미치지 못하나, 끊임없이 제기되는 민원과 국민의 염려를 해소하기 위해 전자파 측정방법과 전자파 안전이용 가이드라인을 마련하였다.

전자파를 활용하거나 전자파를 발생하는 신기술 신제품은 매년 꾸준히 개발되어 시장 출시를 기다린다. 이들 기술 및 제품이 시장에 판매되기 위해서는 전자파 흡수율 기준을 만족하여야 하며, 또한 제품별로 적용하기 위한 측정기준이 필요하다.

전자파흡수율 평가 대상기기의 확대로 인해 새롭게 포함된 저주파 대역의 제품에 대해 적용하기 위한 측정기준을 마련하기 위해 금년에는 기준 다이폴 사이즈의 단축을 위한 연구를 수행하였다. 금년에는 수치해석 방법으로 수행해야 하는 범위까지 결과를 확보하여 보고서에 포함하였다. 단축 안테나 시제품 제작 및 전기적 특성 확보는 '16년까지 계속하여 완료할 예정이며, 국제표준화도 꾸준히 추진할 계획이다.

내년 연구 과제로는 국내외적으로 관심이 지대한 고속 SAR 측정시스템의 비교평가 연구를 수행하고, 전자파 흡수율 프로브의 저주파수 대역 교정을 하기 위한 교정시스템 및 기술 개발과 이의 국제표준화를 추진하고자 한다. 또한, 전자파 노출에 대한 일반 국민의 우려 해소와 정확한 정보 전달을 위하여 시중에서 과대 과장 홍보되고 있는 전자파 차단제품들에 대해 연구원 차원에서 측정 평가하여 그 결과를 공개할 예정이다.

제2장 취약 계층 전자파 인체 노출량 측정 연구

제1절 개 요

전 세계적으로 전파를 사용하는 무선통신기기의 이용이 급속히 늘어나고 있는 상황이며, 이에 따라 일반인들의 전자파의 인체영향에 대한 관심과 의혹이 증대되고 있다. '11년 5월 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서 무선주파수(RF) 전자파를 발암물질 2B 등급으로 발표한 사실도 일반인들이 관심을 더 갖게 되는 계기가 되었다. 이러한 관심에 발맞춰 WHO를 비롯하여 국제전기기술위원회(IEC), 국제전기통신연합(ITU) 등 국제기구에서는 세계 각국에서 연구하고 있는 전자파 인체 영향에 대한 역학연구, 동물실험 등 다양한 방법의 연구결과들이 발표 및 논의되고 있다. 그 중에서도 일반인들의 관심은 전자파 취약 계층(전자파에 특히 취약하거나 민감할 것으로 예상되는 계층으로 어린이집, 학교, 요양원, 병원 등이 있다.)에 대한 전자파 보호일 것이다. 세계 각국에서도 사전주의 원칙[1]에 따라 법·제도를 통하여, 전자파 취약·민감지역 내에서는 좀 더 엄격한 기준을 적용하고 있다. 우리나라도 전자파 취약 계층 이용시설의 내·외부의 전자파 노출원으로 부터 영유아 등 취약 계층을 보호하기 위한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 전자파 취약 계층을 대상으로 전자파 안전이용 가이드라인을 제시하고, 전자파 노출원의 측정 방법에 대해 검토하고자 한다.

1) 사전주의 원칙 : Precautionary principle, 비록 원인과 결과와의 관련이 과학적으로 충분히 입증되지 않았더라도 건강 또는 환경에 위해를 줄 것으로 판단된다면, 사전에 조치를 취해야 한다는 원칙. 위험성이 나타나기 이전에 예방 해야함을 강조

제2절 전자파 안전이용 가이드라인

본 절에서는 전자파 취약 계층이 주로 이용하는 시설에서 실내·외의 전자파 노출원에 대한 이용 가이드라인을 제시하고자 한다.

1. 전자파의 개념

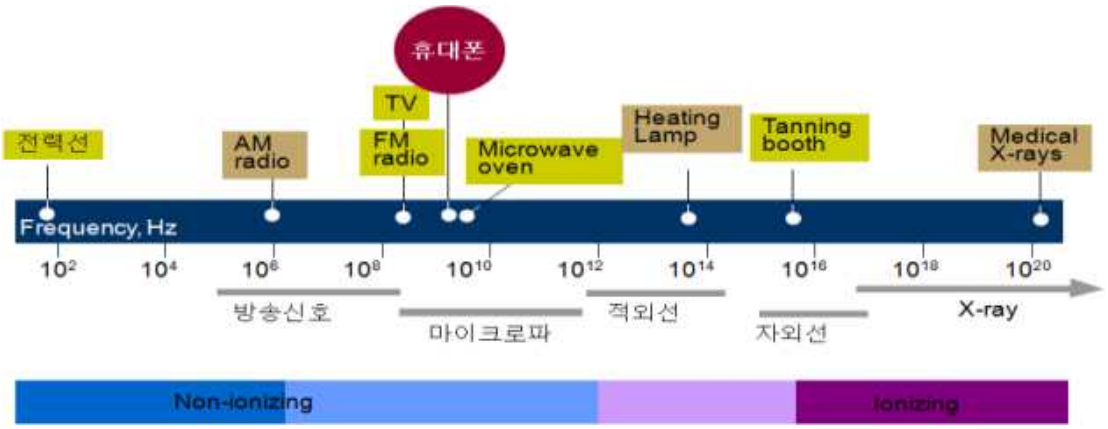
가. 전자파란?

o 원래 명칭은 전기자기파(電氣磁氣波, Electromagnetic Wave)로서 이것을 줄여서 전자파라고 부른다. 전자파는 전기장과 자기장의 두 가지 성분으로 구성된 파동으로서 서보 반복하며 대기 중에서 빛의 속도로 퍼져나간다.

전기장(E)은 단위 길이당 전압(V, 볼트)으로 기본 단위는 V/m이다. 자기장(H)은 단위 길이당 전류(A, 암페어)로서 기본 단위는 A/m이다. 자기장은 일반적으로 자속밀도(B)로도 나타낼 수 있으며, 단위의 세기는 테슬라(T) 또는 가우스(G)를 사용한다. 1 T는 10,000 G 이다.

나. 전자파의 이용

o 전자파는 우리가 흔히 사용하는 통신(휴대폰, 와이파이), 방송(라디오, TV, DMB, 가전제품(전자레인지, 인덕션 히터), 교통(RFID, 내비게이션), 의료(MRI, X-ray, 적외선치료기) 등 다양한 분야에서 널리 이용되고 있다.



[그림 2-1] 전자파의 사용 범위

다. 전리 방사선(ionizing radiation)

o 자외선 이상의 높은 주파수를 가지며, 전자를 분리(전리, 전자 구조를 이온화시키거나 변경을 가함)시켜 화학적 변경을 줄 수 있을 정도의 충분한 에너지를 가지고 있으며, X선과 감마선이 대표적인 전리 방사선 이다. 전리 방사선은 2,900 THz(테라헤르쯔) 이상의 주파수로 자외선 스펙트럼 왼쪽 가장자리부터 시작된다.

라. 비전리 방사선(non-ionizing radiation)

o 전리 방사선 이하의 주파수를 말하며 에너지가 작아 전자를 분리(전리)시킬 수 없다.

2. 전자파와 건강영향

가. 국제 EMF 프로젝트

o WHO는 전자파와 인체영향을 밝히고 일반 대중의 불안감을 해소하기 위해 1996년 국제 EMF 프로젝트를 추진했다. EMF 프로젝트의 목적은 0 ~ 300 GHz의 주파수 범위에 속하는 전자파의 잠재적인 건강 영향의 과학적 증거를 평가하는 것이다.

나. 기지국 전자파와 인체영향

o WHO는 '매우 낮은 수준의 기지국 전자파 노출량과 지금까지 수행된 연구 결과를 고려할 때, 기지국과 무선 네트워크(와이파이)에서 발생하는 RF 신호가 건강에 부정적인 영향을 발생시킨다는 과학적 증거는 없으며, 암 또는 다른 질병 발생 위험을 증가시킨다고 볼 수 없다'라고 명시하고 있다. (출처 : WHO Backgrounder 2006, WHO Online Q&A September 2013)

다. 전자파인체보호기준

o WHO는 '다수의 국가 및 국제기구들이 전자파 인체노출에 대한 기준을 마련해왔다. WHO가 공식 인정하는 비정부 기구인 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)가 개발한 기준은 전자파로 인한 열적 및 비열적 영향을 비롯해 전문가 검토를 거친 과학 논문을 전체적으로 검토 후에 확정된 것으로 과학적으로 확인된 생체영향에 근거한다'라고 명시하고 있다. (출처 : WHO EMF Standards and Guidelines)

라. 국제암연구소(IARC)

o 2011년 5월 WHO와 IARC(International Agency for Research on Cancer)는 휴대전화 사용과 관련된 악성 뇌종양인 신경교종 발생 위험의 증가에 근거하여 무선 주파수 전자기장을 인체발암가능물질(2B 등급: Possibly carcinogenic to humans)로 분류했다.

o IARC 웹 사이트에는 RF 전자파, 커피, 휘발유, 엔젠 배기가스, 절인채소, 극저주파 자기장, 스티렌(styrene)을 포함하여 2B등급으로 분류된 285개의 물질을 열거하고 있다.

WHO IARC 2B 등급의 의미

'인체발암가능물질(2B 등급)은 인체 발암성 증거가 제한적이고 동물실험에서 발암성에 대한 증거가 불충분할 때 적용한다'

[출처 : WHO handbook]

마. IARC의 RF 전자파 2B 등급 분류 입장(출처 : IARC press release 2011년5월, WHO Fact sheet 193 2011년 6월)

o '신경교종 및 청신경종 증거에 대한 전체적이고 면밀한 검토와 평가는 휴대전화 사용자만을 대상으로 했으므로, 다른 종양에 적용하는 것은 부적절하다.'

o '발암성 증거의 제한성 : 전자파와 발암의 인과관계 해석 시 전자파 노출과 암 사이에서 관찰된 양의 상관관계는 신뢰성이 있는 것으로 고려되었으나 우연, 편견 또는 혼동을 배제할 수 없다.'

o '발암성 증거의 부적절성 : 기존의 연구가 전자파 노출과 암 사이의 인과관계 여부를 결론 내리기에는 일관성 또는 통계적 검증면에서 부족하거나 발암에 관한 자료가 존재하지 않는다.'

o '휴대전화의 장기간 사용에 대해 추가적인 연구가 필요하며, 이에 대한 결과가 나올 때까지 핸즈프리 장치 또는 문자 전송과 같은 노출을 줄이기 위한 실용적인 조치를 취하는 것이 중요하다.'

바. IARC의 세계 암 보고서(출처 : IARC World Cancer Report 2014)

o '휴대전화 사용과 뇌종양 사이에는 일관적인 관계가 관찰된 바 없다.'

o ‘치료용 전리 방사선이 입증된 유일한 뇌종양 원인이다. 휴대전화 사용은 아직 조사 중이다.’

o ‘휴대전화의 높은 사용률과 뇌종양 간의 관계가 관찰되었으나, 인과관계에는 논란의 여지가 있다. 특히 휴대전화의 장기적 사용과 관련하여 더 많은 자료가 필요하다.’

o ‘텔레비전, 라디오, 군사용 송신기, 휴대전화 네트워크를 비롯한 송신기로부터의 환경 노출과 관련하여, 정확하고 객관적인 노출 평가가 수행된 양질의 연구가 존재하지 않는 관계로 증거는 부적절하다.’

3. 기지국 전자파

가. 기지국 주변의 전자파 세기

o 휴대전화 기지국에 가장 가까운 곳(또는 최대로 측정되는 지점)의 전자파는 약 98% 이상이 전자파인체보호기준에 비해 10% 이하의 수준이며, 약 55%가 기준의 1% 이하 수준이다.

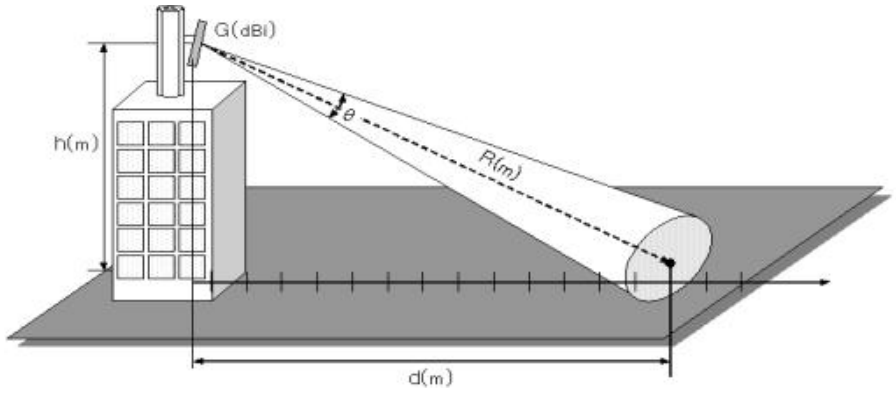
[표 2-1] 무선국 전자파강도 측정 통계

(2015년 9월말, 단위 : 국)

구분	합계	1%미만	1~5%	5~10%	10~20%	20~30%	30~40%	40~50%	50%초과
2007년	1,203	556	581	56	7	1	2	0	0
2008년	3,932	2,398	1,390	128	13	1	1	0	1
2009년	5,263	2,477	2,612	168	6	0	0	0	0
2010년	3,780	1,170	2,397	210	1	1	0	0	1
2011년	5,594	1,216	3,619	659	78	16	4	0	2
2012년	52,057	15,936	29,023	4,868	1,721	337	127	38	7
2013년	44,285	21,679	19,523	2,114	748	173	39	8	1
2014년	77,160	58,242	17,133	1,321	384	47	10	9	14
2015년	54,702	36,210	16,549	1,435	426	61	9	7	5
합계	247,976	139,884	92,827	10,959	3,384	637	192	62	31

나. 거주지 옥상에 설치된 기지국 안테나의 영향

o 휴대전화 기지국의 안테나는 설치된 전방을 향하여 전파를 송신하므로 건물의 아래에서는 오히려 전자파가 더 적게 나온다.



[그림 2-2] 기지국 전자파의 분포 예

4. 영유아 시설에서의 전자파

가. 영유아시설에서 전자파 신호원

o 전자파는 크게 주파수가 큰 고주파와 주파수가 작은 저주파로 나뉜다. 저주파 신호원은 전원에 연결하여 사용하는 모든 전기기기에서 발생하며, 고주파는 휴대전화, 와이파이 공유기, 기지국 및 전자레인지의 전자파가 해당된다.

나. 영유아에 대한 전자파 영향

o WHO는 영유아에 대한 장기적인 인체영향에 대한 연구가 진행되고 있으며, 현재까지는 확인된 인과관계나 인체영향은 없다고 명시한다. 그러나 영유아의 머리 두부 크기가 성인보다 비교적 작으므로 통화 시 휴대전화에 대한 물리적 근접성으로 인해 전자파가 더 많이 흡수될 수 있다. 따라서 영유아의 휴대전화 사용을 자제하는 것이 좋다.

다. 영유아 시설 근처에 설치된 기지국의 전자파 영향

o 기지국은 적법한 절차에 따라 전자파강도를 측정·관리하고 있어 인접한 곳에 기지국이 있다고 하더라도 인체에 큰 영향이 없을 것으로 판단되고 있다.

o 영유아 시설에서는 인근 기지국 안테나의 설치 환경에 따라 전자파의 세기가 달라지나, 영유아 시설에서는 기지국으로부터 방출되는 전자파 수준은 미비하여 안전할 것으로 예상된다.

라. 영유아 시설내부에 설치된 무선공유기의 전자파 영향

o 국내에 유통·사용되고 있는 무선공유기에서 방출되는 전자파는 인체보호기준 대비 안전한 수준으로 낮지만 영유아 및 어린이의 건강보호를 위해 무선공유기를 이들이 접근하지 않는 공간(예 : 교무실)이나 근처에 접근이 어려운 천장에 설치하는 것이 좋다.

마. 영유아의 전자파 안전 이용 방법

o 영유아 및 어린이가 전기·가전기기로부터 1 m 이상 떨어져서 생활하도록 지도하고, 상대적으로 전자파가 많이 방출되는 기기(무선공유기, 정수기, 전자레인지 등)는 영유아 및 어린이의 접근을 피하도록 설치해야 한다.

o 휴대전화, 태블릿 PC 등은 인체에 근접·접촉 사용하게 되므로 가급적 사용을 자제시키는 것이 좋다.

바. 배전반의 전자파

o 일반적으로 배전반에서 나오는 전자파는 다른 일반 전기전자기기에 비해 전자파가 많이 발생한다. 따라서 배전반의 전자파를 실측하고, 높은 경우 차폐물질로 보강하거나 안전거리를 확인하여 영유아가 접근할 수 없도록 조치하기를 권고한다.

5. 전자파 안전이용 가이드라인

[표 2-2] 전자파 안전이용 가이드라인

신호원		전자파 안전이용 가이드라인
ELF(내부)	배전반	배전반 후면벽에 차폐판 설치
		배전반 덮개에 차폐판 부착
		배전반 근처 접근 제한 표시
	전력 케이블	전력 케이블은 노출되지 않아야하며, 금속 덕트로 차폐
	히터/에어컨	전자파가 낮은 제품으로 교체하거나 접근 제한 표시
	사무용 기기	사무용 기기는 가급적 어린이가 접근하지 않는 별도의 장소 또는 어린이의 접근이 제한된 장소에 배치
	조리기구 (전자레인지 등)	어린이의 접근에 제한된 장소로 이동 배치
ELF(외부)	송전선로	전자파가 일정 수치 이상일 경우 한국전력과 협의하여 차폐 시설을 구축-한전과 무상 지원 협의 필요
RF(내부)	와이파이 공유기	와이파이 공유기는 가급적 영유아 활동하지 않는 장소에 설치하여야 하며, 불가피할 경우 벽면의 가장 높은 곳에 설치
	휴대전화 (키즈폰 포함)	수업중 별도로 보관하며, 하원시 지급
RF(외부)	기지국	영유아를 대상 전자파 인체보호기준에 따라 관리

제3절 전자파 취약지역 전자파 인체노출량 측정 방법(안)

본 절에서는 전자파 취약지역 실내·외 공간의 전자파 노출량 측정방법을 제시하고자 한다.

전자파 취약지역에서의 전자파 인체노출량 측정 방법

1. 개요

본 측정방법은 전자파에 취약·민감한 것으로 예상되는 시설(이하 전자파 취약·민감 시설)의 실내외 환경에서 적용할 수 있는 전자파 인체노출량 측정·평가 방법 및 그 절차를 규정한다.

2. 구성 및 범위

본 문서의 적용범위는 전자파 취약지역 등의 실내·외 공간에서 0 Hz ~ 3 GHz 이하 주파수 대역의 전자파 발생원을 대상으로 한다.

3. 용어 정의

추가 필요

4. 전자파 취약·민감지역 실내외 공간의 전자파 노출량 측정방법

4.1. 측정 기기 및 프로브의 일반 조건

4.1.1. 측정 기기

측정 기기는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

가. 충분한 동작범위와 주파수대역을 가져야 한다.

나. 측정기기와 전원선 및 연결 케이블은 적절히 차폐되고 외부 전자기장의 영향을 받지 않아야 한다.

다. 저주파수대역 측정기기는 내장된 전원으로 동작해야 하며, 전원의 재충전이나 교체 없이 8시간 이상 연속동작이 가능해야 한다.

라. 측정기기는 전기장과 자기장 성분의 실효값와 첨두값을 측정할 수 있어야 한다.

4.1.2. 프로브

측정 프로브는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

가. 편파 변화에 상관없이 측정이 가능한 등방성 프로브이어야 하며, 최대 크기는 0.2 m 보다 작아야 한다.

나. 고주파수 대역 프로브의 크기는 파장의 4분의 1 또는 0.1 m보다 작아야 한다. 1 MHz 이하의 고주파수 대역의 경우 자유공간 조건에서 프로브의 최대 크기는 0.2 m 이하가 되어야 한다.

다. 프로브의 동작 영역은 최소 0.05 V/m 이하, 최대 100 V/m 이상의 값을 측정할 수 있어야 한다.

라. 프로브의 등방성 특성은 ±2.5 dB 이내이어야 한다.

마. 프로브 고정용 지지대는 전자파 산란을 최소화하기 위해 낮은 손실 탄젠트($\tan\delta \leq 0.05$)와 낮은 상대 유전율($\varepsilon r \leq 5.0$)을 가져야 한다.

4.2. 측정 환경

4.2.1. 측정 장소의 주변 환경

측정 장소의 실내외 공간 및 전자파 발생원 정보(실내외 구조도, 전자파 발생원 종류 및 배치 등)를 조사하여 부속서 D의 측정 결과서에 기록하여야 한다.

4.2.2. 측정 지점의 주변 환경

측정 프로브 주변 1.0 m 이내에 측정자를 포함한 반사체가 없어야 한다. 단, 실내와 같이 프로브 주변 1.0 m 이내에 반사체가 불가피하게 존재하는 경우에는 그 이유와 반사체의 위치에 대한 상세한 정보를 부속서 E의 측정 결과서에 기록하여야 한다.

4.3. 측정 절차

4.3.1. 실내외 공간에 대한 전자파 노출량 측정

4.3.1.1 측정 구역 선정

측정 구역은 전자파 취약·민감 지역에서 영유아·어린이의 활동을 감안하여 접근 가능한 모든 공간을 고려하여 선정해야 한다. 측정구역은 실내 공간과 실외 공간으로 구분하여 측정해야 하며, 실내공간은 교실 및 복도, 실외 공간은 놀이터 또는 운동장을 측정 구역으로 선택할 수 있다. 만약, 건물이 2개 층 이상이라면, 1층과 최고층부의 실내 공간(교실 및 복도)에서 각각 측정해야 한다.

4.3.1.2 측정 지점 선정

측정 지점은 측정 구역 내의 전자파 발생원과 영유아·어린이의 활동 공간을 고려하여 선정한다. 측정 지점은 측정 구역 내에서 저주파 및 고주파 대역 전자파 방생원을 포함한 측정 주파수 범위 전체 대역의 전자파 강도 스캐닝 측정을 통해 전자파 강도 순시값이 높은 순으로 상위 5개 지점 이상을 선정한다. 전자파 강도 스캐닝 측정은 다음의 절차에 따라 수행한다.

(1) 4.1절의 측정 기기 적합 여부를 확인한다.
(2) 4.2절과 같이 측정 환경을 확인하고 기록한다.
(3) 측정 기기를 부속서 A와 같이 배치하고, 프로브의 높이를 지면으로부터 1.0 m 높이에 위치시킨다.
(4) 측정 기기의 주파수 대역을 측정 기기의 측정 가능한 최대 대역으로 조정하고, 프로브와 전자파 수신기를 1.0 m 이상 이격시킨다.
(5) 측정 구역에서 측정 주파수 범위 전체 대역의 전자파 강도 순시값이 최대인 지점을 찾는다.

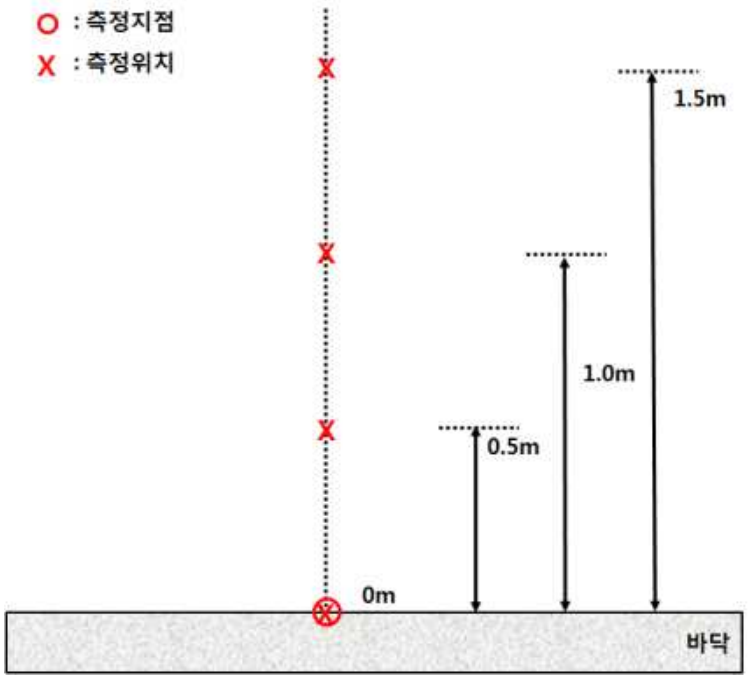
4.3.1.3 측정 위치 선정

측정 위치는 측정 지점에 대한 전자파 강도의 공간평균값의 산출을 위해, 부속서 A의 그림 2-3과 같이 프로브 중심을 바닥으로부터 0 m(바닥 밀착), 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m 높이에 위치시키고, 전자파 강도 측정은 총 4개 위치에서 측정한다.

표 2-3은 전자파 취약지역의 실내외 환경에서 선택 가능한 측정구역, 측정지점 및 측정 위치에 대한 예시이다.

[표 2-3] 측정 장소 및 측정 지점 선정 예시

측정 구역		측정 지점	측정 위치
실내 공간	교실	전자파 강도 최대 측정지점	0 m(바닥) 0.5 m 1.0 m 1.5 m
	복도	전자파 강도 최대 측정지점	
실외 공간 (운동장 또는 놀이터)		전자파 강도 최대 측정지점	



[그림 2-3] 측정위치 (측정높이)

4.3.1.4. 고주파수 대역 측정절차

전자파 취약지역의 실내외 공간에서 고주파수 대역의 전자파 노출량 측정은 다음의 절차에 따라 수행한다.

(1) 4.1절의 측정 기기 적합 여부를 확인한다.
(2) 4.2절과 같이 측정 환경을 확인하고 기록한다.
(3) 4.3.1.1절의 측정 구역에서 4.3.1.2절과 같이 전기장 강도 측정값이 높은 순으로 상위 5개 지점 이상을 찾는다.
(4) 상기 '다'항의 측정 지점에서 4.3.1.3절과 같이 프로브의 높이를 지면으로부터 0 m (바닥에 밀착)에 위치시킨다.
(5) 측정 기기의 주파수는 3 GHz 이내, 측정 주파수 채널은 부속서 B에 나타낸 것과 같이 설정한다. 검파 모드를 실효값으로 조정하고, 측정방식은 Safety Evaluation Mode를 선택한다.
(6) RBW는 Auto로 설정한다. 만약 수동으로 설정할 경우, 측정 주파수 채널 중 가장 작은 채널폭의 1/4 이하로 결정해야 한다.

$$RBW = \frac{\text{최소 채널 대역폭}}{4}$$

(7) 전기장 강도를 6분간 측정하여 평균값을 산출하고, 기록한다. 단, 1분 이상 6분 미만으로 6분 간의 평균값을 얻을 수 있는 경우 측정 시간을 단축할 수 있다.

(8) 4.3.1.3절의 측정 위치에 대해 (5)항 ~ (7)항의 과정을 반복한다.

(9) 상기 (5)항 ~ (8)항에서 측정된 값으로부터 다음 수식을 사용하여 한 측정 지점의 4개 측정 위치에 대한 최대값을 산출한다.

$$\text{고주파수 대역의 전기장강도 최대값} = \max\left(E_{RF_0}, E_{RF_{0.5}}, E_{RF_{1.0}}, E_{RF_{1.5}}\right)$$

위 식에서, E_{RF_0} : 측정위치 0 m(바닥)에서 측정된 전기장강도

$E_{RF_{0.5}}$: 측정위치 0.5 m에서 측정된 전기장강도

$E_{RF_{1.0}}$: 측정위치 1.0 m에서 측정된 전기장강도

$E_{RF_{1.5}}$: 측정위치 1.5 m에서 측정된 전기장강도

(10) 상기 (9)항에서 산출된 공간 평균값을 부속서 C의 전자파 강도 기준값과 비교하기 위해 다음 수식을 이용하여 노출 지수를 구하고 그 결과를 기록한다. 기준값은 측정 주파수 범위에 대해 가장 낮은 값을 적용한다.

$$\text{고주파수 대역의 인체보호기준 대비율 [\%]} = \frac{\text{최대값}}{\text{기준값}} \times 100$$

(11) 상기 (10)항의 결과, 10%를 초과한다면 상시 (5)항 ~ (8)항에 의해 측정된 결과 데이터에 대해 개별 주파수 채널에 대한 전기장강도 측정값 및 각 채널의 전자파 인체보호기준 대비율을 계산한다.

(12) 상기 (11)항에 의해 계산된 결과는 부속서 D의 별지에 기술한다.

4.3.1.5 저주파수 대역 측정절차

전자파 취약지역의 실내외 공간에서 저주파수 대역의 전자파 노출량 측정은 다음의 절차에 따라 수행한다.

(1) 4.1절의 측정 기기 적합 여부를 확인한다.
(2) 4.2절과 같이 측정 환경을 확인하고 기록한다.
(3) 4.3.1.1절의 측정 구역에서 4.3.1.2절과 같이 자기장 강도 측정값이 최대인 지점을 찾는다.
(4) 상기 '다'항의 측정 지점에서 4.3.1.3절과 같이 프로브의 높이를 지면으로부터 0m (바닥에 밀착)에 위치시킨다.

(5) 측정 기기의 주파수를 측정 가능한 주파수 대역(100 kHz 이하)으로 조정하고, 측정 모드는 시간영역 평가모드, 검파모드를 피크(Peak)값으로 조정한다.

(6) Trace mode를 Max. Hold로 두고 전자파 강도를 1분간 측정하여 최대값을 산출하여 기록한다.

(7) 4.3.1.1절의 측정 위치에 대해 (5)항 ~ (6)항의 과정을 반복한다.

(8) 상기 (5)항 ~ (7)항에서 측정된 값으로부터 다음 수식을 사용하여 한 측정 지점의 4개 측정 위치에 대한 최대값을 산출한다.

$$\text{고주파수 대역의 전기장강도 최대값} = \max\left(E_{RF_0}, E_{RF_{0.5}}, E_{RF_{1.0}}, E_{RF_{1.5}}\right)$$

위 식에서, E_{RF_0} : 측정위치 0 m(바닥)에서 측정된 전기장강도

$E_{RF_{0.5}}$: 측정위치 0.5 m에서 측정된 전기장강도

$E_{RF_{1.0}}$: 측정위치 1.0 m에서 측정된 전기장강도

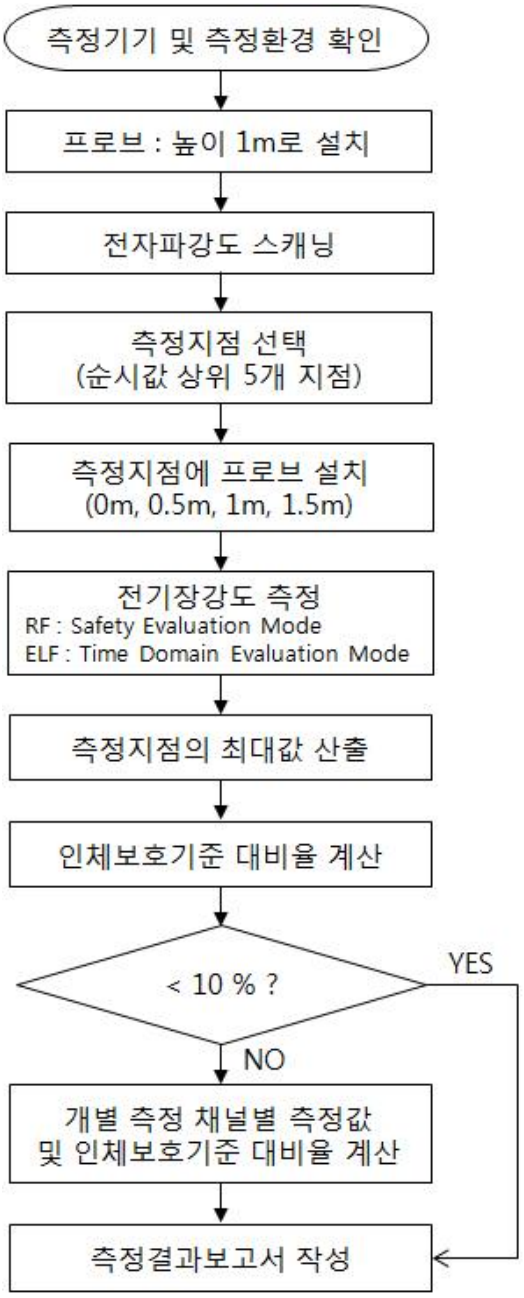
$E_{RF_{1.5}}$: 측정위치 1.5 m에서 측정된 전기장강도

(9) 상기 (8)항에서 산출된 공간 평균값을 부속서 C의 전자파 강도 기준값과 비교하기 위해 다음 수식을 이용하여 인체보호기준 대비율을 구하고 그 결과를 기록한다. 기준값은 60 Hz의 인체보호 기준값을 적용한다.

$$\text{저주파수 대역의 인체보호기준 대비율 [\%]} = \frac{\text{최대값}}{60\,Hz\ \text{기준값}} \times 100$$

(10) 상기 (9)항의 결과, 10%를 초과한다면 상시 (5)항 ~ (8)항에 의해 측정된 결과 데이터에 대해 개별 주파수 채널에 대한 자기장강도 측정값 및 각 채널의 전자파 인체보호 기준 대비율을 계산한다.

(11) 상기 (10)항에 의해 계산된 결과는 부속서 D의 별지에 기술한다.



[그림 2-4] 실내외 공간의 고주파수 및 저주파수 대역 측정 절차

부 속 서 A
측정 기기의 배치

[그림 2-5] 측정 기기의 배치

부 속 서 B
측정 주파수 대역 목록

구분	주파수 대역
전기.가전기기	60 Hz
30 M이하 Band_1	100 ~ 160 kHz
30 M이하 Band_2	160 ~ 526.5 kHz
AM	526.5 ~ 1606.5 kHz
30 M이하 Band_3	1.6 ~ 30 MHz
VHF Band_1	30 ~ 54 MHz
TV_1	54 ~ 88 MHz
FM	88 ~ 108 MHz
VHF Band_2	108 ~ 174 MHz
T-DMB	174 ~ 216 MHz
VHF Band_3	216 ~ 322 MHz
LBS	322 ~ 328.6 MHz
VHF Band_4	328.6 ~ 390 MHz
TRS_1	390 ~ 400 MHz
VHF Band_5	390 ~ 470 MHz
TV_2	470 ~ 806 MHz
UHF Band_1	806 ~ 851 MHz
TRS_2	851 ~ 867 MHz
UHF Band_2	867 ~ 869 MHz
셀룰러	869 ~ 874 MHz
LTE_1	874 ~ 884 MHz
LTE_2	884 ~ 894 MHz
UHF Band_3	894 ~ 938 MHz
무선데이터	938 ~ 940 MHz
UHF Band_4	940 ~ 950 MHz
LTE_3	950 ~ 960 MHz
UHF Band_5	960 ~ 1215 MHz
UHF Band_6	1215 ~ 1810 MHz
LTE_4	1810 ~ 1830 MHz
LTE_5	1830 ~ 1850 MHz
UHF Band_7	1850 ~ 1860 MHz
PCS	1860 ~ 1870 MHz
UHF Band_8	1870 ~ 2110 MHz
LTE_6	2110 ~ 2120 MHz
3G_1	2120 ~ 2150 MHz
3G_2	2150 ~ 2170 MHz
UHF Band_9	2170 ~ 2300 MHz
WiBro_1	2300 ~ 2330 MHz
WiBro_2	2330 ~ 2360 MHz
UHF Band_10	2360 ~ 2400 MHz
WLAN	2400 ~ 2483.5 MHz
UHF Band_11	2484.5 ~ 2520 MHz
LTE_7	2520 ~ 2540 MHz
UHF Band_12	2540 ~ 2640 MHz
LTE_8	2640 ~ 2660 MHz
UHF Band_13	2660 ~ 2700 MHz
UHF Band_14	2700 ~ 2900 MHz
UHF Band_15	2900 ~ 3000 MHz

부 속 서 C
전자파 강도 기준

주파수 범위	전기장 강도 (V/m)	자기장 강도 (A/m)	전력 밀도 (W/m)
1 Hz 이하	-	3.2×10^4	
1 Hz 이상 ~ 8 Hz 미만	10,000	$3.2\times10^4/f^2$	
8 Hz 이상 ~ 25 Hz 미만	10,000	4,000/f	
0.025 kHz 이상 ~ 0.8 KHz 미만	250/f	4/f	
0.8 kHz 이상 ~ 3 kHz 미만	250/f	5	
3 kHz 이상 ~ 150 kHz 미만	87	5	
0.15 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만	87	0.73/f	
1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만	$87/f^{1/2}$	0.73/f	
10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만	28	0.073	2
400 MHz 이상 ~ 2000 MHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	f/200
2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만	61	0.16	10

비고 : 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다.
2. 전기장 강도, 자기장 강도는 실효값으로 한다.

부 속 서 D

o 측정결과서

전자파 취약지역 전자파 인체 총 노출량 측정 결과서

□ 개요

o 측정 일시 : 201x년 x 월 x일
o 측정 장소 : (주소)
o 측정 장소 구분 : 초등학교
o 측정 대상 : 실내환경(교실, 복도), 실외환경(운동장), 시설 내 전자파 방출원

□ 측정 개요

본 시설은 반경 10 m(정문의 북쪽방향 건물 옥상)에 이동통신 무선국(기지국)이 설치·운영되고 있음. 어린이가 접근 가능한 공간에는 TV, 전기배전반, 무선공유기 등의 전자파 방출이 예상되는 기기들이 설치·운영되고 있음. 이에, 본 시설의 교실, 복도(1층), 운동장 및 TV, 전기배전반, 무선공유기를 대상으로 전자파 강도(노출량)을 측정하였음.

□ 측정지점 및 결과

측정구역 및 대상		측정값(인체보호기준 대비율)
실내	교실	0.00%
	복도	0.00%
실외	운동장	0.00%
최대값		**0.00%**

※ 인체보호기준 대비율 : 전자파 인체보호기준을 100%로 했을 때, 측정결과를 상대적 수치로 표현한 것으로 100%보다 낮을수록 전자파 노출량이 적은 것이며, 100%를 초과하면 인체보호기준을 초과하고 있음을 의미함.

□ 종합 의견

본 시설에 대한 전자파 강도(노출량) 측정결과, 전자파 인체보호기준을 초과하는 공간은 없었음.

o 측정결과서 별지2 : 측정결과 데이터(예)

주파수 대역 [MHz]	0 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	최대값	인체보호 기준값	기준 대비율
0.00006							
0.100 ~ 0.16							
0.160 ~ 0.5265							
0.526.5 ~ 1.6065							
1.6065 ~ 30							
30 ~ 54							
54 ~ 88							
88 ~ 108							
108 ~ 174							
174 ~ 216							
216 ~ 322							
322 ~ 328.6							
328.6 ~ 390							
390 ~ 400							
390 ~ 470							
470 ~ 806							
806 ~ 851							
851 ~ 867							
867 ~ 869							
869 ~ 874							
874 ~ 884							
884 ~ 894							
894 ~ 938							
938 ~ 940							
940 ~ 950							
950 ~ 960							
960 ~ 1215							
1215 ~ 1810							
1810 ~ 1830							
1830 ~ 1850							
1850 ~ 1860							
1860 ~ 1870							
1870 ~ 2110							
2110 ~ 2120							
2120 ~ 2150							
2150 ~ 2170							
2170 ~ 2300							
2300 ~ 2330							
2330 ~ 2360							
2360 ~ 2400							
2400 ~ 2483.5							
2484.5 ~ 2520							
2520 ~ 2540							
2540 ~ 2640							
2640 ~ 2660							
2660 ~ 2700							
2700 ~ 2900							
2900 ~ 3000							

제4절 결론

본 연구를 통해 전자파 취약·민감 지역의 전자파 이용 가이드라인 및 인체 노출량 측정 방법에 대해 살펴보았다. 휴대전화 및 무선통신기기의 사용이 영유아의 발암 가능성을 높인다는 확실한 근거자료는 부족하지만 사전주의 원칙에 따라 충분히 주의할 필요성이 있다. 높은 주파수, 높은 전압을 사용하는 기기나 구조물로부터는 거리를 두어서 사용하거나 너무 오랫동안 사용하지 않는 편이 좋다. 국민들이 안심하고 무선통신기기를 사용할 수 있는 전파 환경이 조성되도록 국제적인 연구동향에 발맞춰 지속적인 관심과 연구가 필요할 것이다.

제3장 신기술 신제품의 전자파 인체노출량 측정 연구

제1절 배경

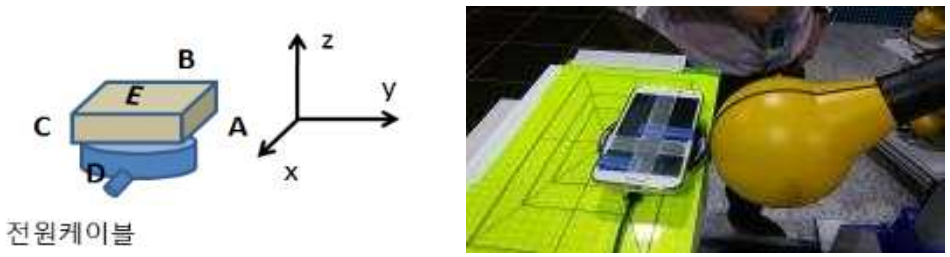
무선전력 전송기술은 스마트폰의 무선충전에 적용되면서 활성화되고 있으며 자동차, 가전기기 등의 생활속 제품으로 응용범위가 확대되고 있다. 그러나 무선전력 전송기술은 자기장을 이용한 전력의 전송으로 주변으로 자기장이 발생되며 이에 대한 전자파 인체노출은 항상 이슈가 되어오고 있다. 이에 대하여 국제기구인 IEC(국제전기기술위원회)의 기술위원회인 TC106에서도 무선전력전송에 대한 전자파 인체노출량 표준화의 필요성에 따라 IEC TC106 산하에 WG9 연구반을 구성하여 2016년 2월부터 표준화를 추진할 예정이다. 본 연구에서는 2015년 세종시에서 운영을 시작한 무선전력 전송방식의 온라인 전기자동차(OLEV)에 대한 전자파 노출량을 측정 분석하였으며, 개발 중인 공진방식의 휴대전화 무선충전기에 대한 전자파 인체노출량을 측정하였고, 이를 근거로 무선전력 전송방식의 전자파 인체노출량 측정방법을 마련하였다.

또한 국내에서는 용도 자유대역으로 60 GHz 초고대역 주파수가 분배되었으며, 동 주파수 대역은 무압축 대용량 영상 전송이 가능한 무선랜(WiGig, 802.11ad)으로 사용이 가능하게 되었다. WiGig는 선 없이 멀티기가비트 속도로 통신이 가능한 고성능의 무선 데이터, 디스플레이 및 오디오 응용이 가능한 서비스로 초당 최대 7기가비트의 속도로 데이터를 전송할 수 있으며 기존의 와이파이 속도보다 10배가 빠르다. 국내에서도 휴대용 통신기기에 WiGig 서비스가 가능한 제품이 출시될 예정이다. 그러나 현재까지는 이에 대한 전자파 노출량을 측정할 수 있는 측정 장비가 없으며, 국제적으로 규정된 측정 표준도 없는 실정이다. 본 연구에서는 60 GHz에 대한 측정 시스템의 구성 방법을 검토하였으며, 수치해석 분석을 이용하여 인체에 노출되는 전자파를 도출하였다.

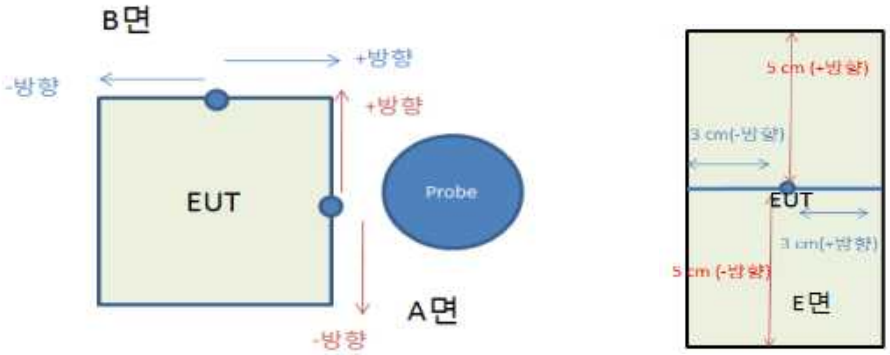
제2절 휴대전화 무선 충전기에 대한 전자파 인체노출량 분석

본 절에서는 휴대전화의 무선충전기에 대한 전자파 인체노출량을 측정하고 이에 대한 전자파 인체보호기준 적합성을 분석하였다. 무선전력 전송기술을 이용한 휴대전화 무선충전기는 자기유도방식과 공진방식이 있으나 공진방식의 무선충전 제품은 개발 중에 있다. 본 연구에서는 100 kHz 대역의 상용 휴대전화 무선충전기와 개발 중에 있는 6.78 MHz 대역의 휴대전화 무선충전기에 대하여 조건별 자기장 세기를 확인하였다.

무선전력전송기기는 자기장이 전기장에 비해 상대적으로 많이 발생되어 자유공간에서 자기장 세기를 측정하여야한다. 인체에 노출되는 조건은 그림 3-2와 같이 5개의 방향으로 고려할 수 있으며 각 방향에 대한 전자파 인체노출량을 평가할 수 있다. 본 측정에서는 그림 3-1과 같이 측정시스템을 구성하여 밑면을 제외한 모든 방향에 대해 거리별로 자기장의 세기를 측정하고 각 면에서 측정된 자기장 세기 중 최댓값을 확인하였다.



[그림 3-1] 휴대전화 무선충전기의 전자파 측정 구성



[그림 3-2] 휴대전화 무선충전기의 측정방향 및 측정영역

본 측정에 사용된 자기유도방식과 공진방식의 휴대전화 무선충전기의 출력은 5W이다. 전자파 인체보호기준은 100 kHz 대역에서 5,000 mA/m이며, 6.78 MHz 대역의 자기장 기준은 108 mA/m로 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 기준과 동일하다.

표 1과 표 2의 측정결과에서 알 수 있듯이 공진방식의 무선전력전송기기가 자기유도방식에 비해 전자파 인체노출량이 더 많이 나왔으며, 기기로부터 15 cm를 이격시킨 조건에서 공진방식은 전자파 인체보호기준 대비 약 8%, 자기유도방식은 0.6%로 측정되었다.

인체로부터 20 cm 이내에서 사용하는 휴대용 무선설비는 전자파흡수율(SAR, Specific Absorption Rate)로 평가하고 있으며, 현재의 측정기술로는 300 MHz 이상의 주파수에 대해서만 측정이 가능하다. 휴대전화 무선충전기의 경우 휴대용이 아닌 데스크탑용으로 고려할 수 있으므로 이격거리는 20 cm로 평가하여야 한다. 다만 자기장 세기를 측정하는 프로브의 지름이 약 10 cm 정도로 이를 고려하여야하며 측정 프로브의 중심을 기준으로 이격거리를 정할 필요성이 있다. 그러나, 이와 유사한 국제표준 측정방법에서는 프로브의 중심이 아닌 끝단에서 이격거리를 고려하고 있어 향후 측정방법 표준을 개선이 필요하다.

[표 3-1] 공진방식의 휴대전화 충전기의 자기장 세기

[단위 : mA/m]

이격거리	A면	B면	C면	D면	E면(윗면)
0 cm	183.2	226.3	214.2	146.6	274.9
5 cm	56.3	144.3	73.6	94.7	95.4
10 cm	24.4	59.8	32.9	42.8	40.1
15 cm	12.8	29.7	17.6	21.7	20.4
20 cm	7.5	17.4	10.1	13.2	11.6

이격거리가 15 cm를 기준(측정 프로브의 중심점 기준으로는 20 cm)으로 자기유도방식의 휴대전화는 B면에서 최댓값이 측정되었으며, 공진방식의 경우는 윗면에서 최댓값이 측정되었다.

[표 3-2] 자기유도방식의 휴대전화 충전기의 자기장 세기

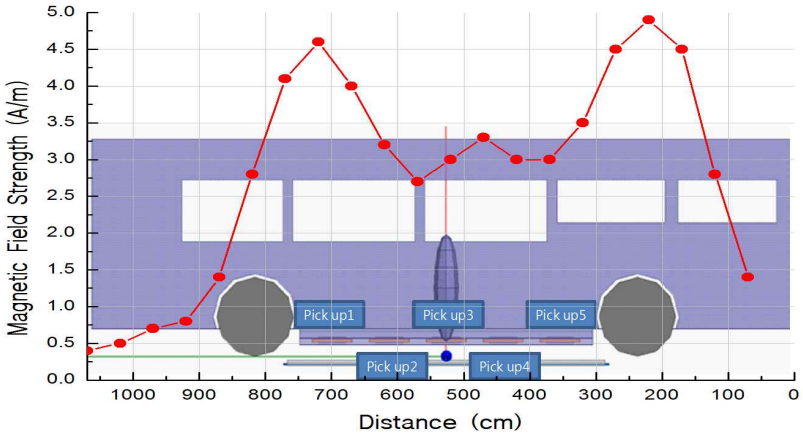
[단위 : mA/m]

이격거리	A면	B면	C면	D면	E면(윗면)
0 cm	70.1	20.0	70.4	27.7	127.5
5 cm	18.3	13.3	19.4	24.9	42.1
10 cm	7.2	5.8	7.9	10.3	17.4
15 cm	3.6	3.1	4	5.3	8.6
20 cm	2.0	1.7	2.4	3.0	4.8

휴대전화 크기의 무선충전기의 측정지점은 약 100개 지점이며 측정시 소요되는 시간은 약 2시간 정도로 분석되었다. 이는 연구원의 자동위치 제어 시스템을 이용할 때의 경우이며, 일반 시험기관에서 수동으로 측정할 경우 약 2일정도의 측정 소요시간이 예상되어 무선전력전송기기의 측정방법 마련시 측정시간을 단축할 수 있는 간소화 방법을 고려할 필요가 있다.

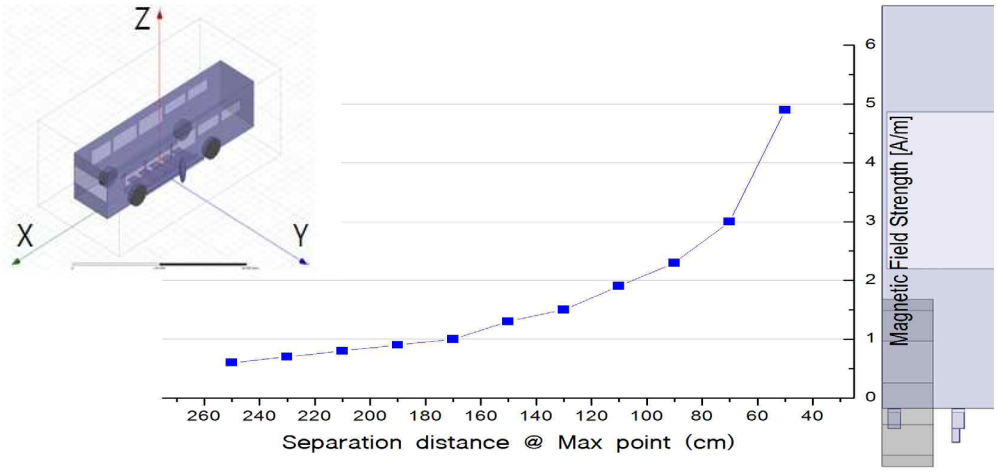
제3절 온라인 전기자동차(OLEV)의 전자파 인체노출량 분석

‘15년 6월부터 국내에서 개발된 무선전력전송기술을 이용한 온라인 전기자동차(On-Line Electric Vehicle)가 세종시에서 2개 지선버스 노선에 투입되어 운행을 시작하였다. OLEV는 1회 충전으로 약 40 km를 주행하는 무선충전 전기버스로 한국과학기술원(KAIST)이 세계최초로 개발하여 ㈜올레브가 제작하였다. 세종시에서 운영하는 OLEV는 주행중 충전방식이 아닌 정류소에서 출발전 충전을 완료하고 운행하도록 설계되었다. 우리원에서는 ’13년 KAIST에서 시범 운행한 OLEV에 대한 전자파 인체노출량을 측정 분석한 바 있다. 이번 측정에서는 버스 외부에서 측정 이격거리를 ‘13년도의 1 m 보다 더 근접하여 측정하였다. 충전 시 발생하는 20 kHz 대역의 자기장 세기를 버스 측면의 50 cm 이격거리 라인선상에서 50 cm 간격으로 측정하였다. 그림 3-3은 충전중 전기버스 외부에서 측정한 자기장의 세기에 대한 분포를 보여주고 있다.



[그림 3-3] 충전 시 버스 외부에서 측정되는 자기장 세기

전기버스 측면에서 인체에 노출되는 자기장의 세기의 분포에서 픽업코일 끝단에서 최대 4.9 A/m가 측정되었으며, 픽업코일이 설치된 중간 에서는 차폐기술이 적용되어 '13년도에 측정한 자기장 보다 감소되었다.



[그림 3-4] 최댓값 측정 위치의 거리에 따른 측정값

그림 3-4는 측면의 최댓값이 측정된 지점을 기준으로 전기버스로부터 20 cm 간격으로 이격하며 측정할 결과를 보여주고 있다. 거리에 비례하여 자기장 측정값은 50 cm부터 250 cm까지 거리에 반비례함을 알 수 있다.

온라인 전기자동차의 전자파 노출량 측정방법에 대하여 50 cm 이격거리에서 3-point 공간평균 측정방법을 적용할 경우 전자파 인체 노출량은 3 A/m로 평가할 수 있다. 전자파 인체보호기준의 자기장 세기 기준값은 5 A/m이다.

충전중 차량의 전면과 후면에서는 최대 자기장 세기가 0.4 A/m로 측정되었으며, 충전시 차량 내부에서는 신호원과 가장 가까운 바닥면에 밀착하여 측정할 경우 0.4 A/m가 측정되었다. 미 충전시 자량의 실내·외의 자기장의 세기는 약 0.2 A/m에서 0.5 A/m로 차량 전면과 후면 및 내부에서의 전자파 노출량은 잡음 수준으로 측정되었다.

전기장의 경우 실내·외 모두 약 4.4 V/m 수준으로 전자파 인체보호기준인 87 V/m에 비해 무시 가능한 수준이다.

제4절 60 GHz 대역의 WiGig의 전자파 인체노출 특성

와이기그(WiGig, Wireless Gigabit)는 60 GHz 주파수 대역을 사용하여 데이터를 최대 7 Gbps 속도로 전송할 수 있는 기술로 10 m 이내의 가정과 사무실 공간에서 단거리 통신에 적합한 기술로 휴대전화와 태블릿 PC 및 laptop 등에 적용될 것으로 예상된다.

주파수 대역이 10 GHz 이하의 휴대용 무선통신기기의 경우 전자파흡수율로 전자파 인체노출량을 평가할 수 있으나, 10 GHz 이상을 사용하는 WiGig의 경우 파장이 짧아 전자파가 인체에 노출시 대부분의 에너지는 인체의 표면에 흡수된다. 따라서 10 GHz 이상의 주파수를 사용하는 기기는 전력밀도로 평가하도록 규정하고 있다. 그러나 전력밀도를 평가할 수 있는 상용 측정기기와 측정방법이 없어 본 연구를 통해 전자파 인체노출 특성을 확인하고자 하였다.

ICNIRP와 IEEE의 60 GHz 대역에 대한 기준은 표 3-3과 같이 20 cm^2 면적에서 평균 10 W/m^2으로 규정하고 있다.

[표 3-3] 국제기구의 전력밀도 기준

ICNIRP	IEEE C 95.1-2005+IEEE C 95.1-2010a	
$f \geq 10$ GHz	3 GHz ≤ f ≤ 30 GHz	$f \geq 30$ GHz
10 W/m^2 (Avg. over 20 cm^2)	10 W/m^2 (Averaged over 100 λ^2)	10 W/m^2 (Averaged over 100 cm^2)
200 W/m^2 (Spatial peak avg. over 1 cm^2)	18.56f0.699 (Spatial peak)	200 W/m^2 (Spatial peak)

수치해석을 통해 1×4 WiGig 어레이 안테나를 고려하여 기기로부터 10 cm 거리에서 전력밀도와 전기장세기를 계산하여보았다. 60 Ghz 대역의 신호는 직진성이 강하여 근거리에서 인체에 국부적으로 노출이 되는 특성이 있으며 전자파가 인체내부로의 침투깊이가 짧아 가장 단순한 인체모델을 고려하였다. 인체모델은 평명형 모델로 피부조직과 지방조직을 가지고 있는 2층 구조에 흡수 전자파 양을 계산하였으며, 자유공간상에서의 전자파 양과 비교하였다.

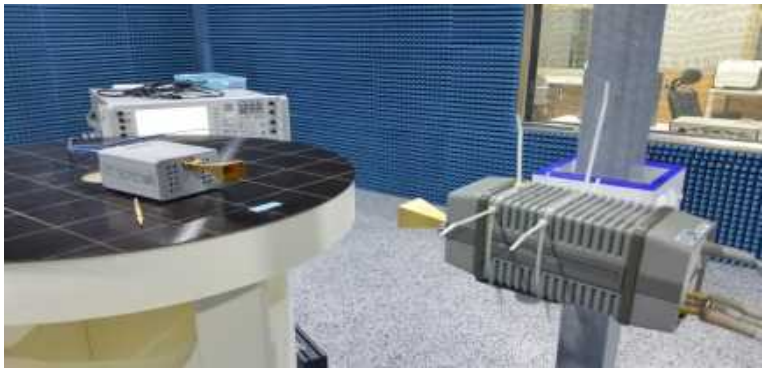
표 3-4는 자유공간과 모의인체 표면에서의 전기장세기와 전력밀도를 계산한 결과이다. 이때 WiGig 기기의 출력은 45 dBm으로 계산하였다.

[표 3-4] WiGig의 전자파 인체노출량 계산 결과

Output Power	Free Space		Phantom	
	E-Field	Power Density	E-Field	Power Density
45 dBm	139.95 V/m	9.94 W/m^2	17.96 V/m	1.96 W/m^2

자유공간에서 전자파 노출량은 9.94 W/m^{2}로 국제기구에서 규정한 기준값에 근접한 결과를 보여주고 있다. 그러나 모의인체의 표면에서의 값은 약 2 W/m^{2}로 자유공간에서의 값에 1/5 수준이다. 전력밀도는 기본한계에 해당하는 물리량으로 인체를 고려한 값으로 평가되어야한다. 따라서 자유공간에서의 기준레벨에 해당하는 값과는 구분되어야 할 필요가 있어 이에 대한 기준의 근거를 명확히 하여야 할 필요성이 있으며, 이에 따른 평가방법의 검증과 필요하다.

현재까지는 60 GHz 이상의 주파수 대역의 전자파 인체노출량을 측정할 수 있는 상용화 장비는 없는 실정이다. 본 연구에서는 60 GHz 주파수 대역의 전자파 인체노출 특성을 확인하기 위한 측정 시스템을 검토하기위해 개구면 안테나를 이용하여 60 GHz 신호원과 수신 안테나를 구성하여 거리별 전력값을 측정하였다. 사용 측정장비는 신호발생기와 밀리미터파 소스모듈을 이용하여 60 GHz 신호원을 발생시켰으며, 스펙트럼분석기와 밀리미터파 믹서를 이용하여 전력을 측정하였다.



[그림 3-5] 60 GHz 전자파 측정 환경 구성

[표 3-5] 신호원으로부터 거리별 전력값의 측정결과

거리(cm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
측정값(dBm)	0	-1.85	-2.1	-3.88	-4.66	-5.57	-6.27	-6.99	-7.83	-8.51	-9.27
거리(cm)	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**	**90**	**95**	**100**	
측정값(dBm)	-9.91	-10.73	-10.88	-11.6	-12.9	-13.77	-14.25	-14.27	-14.2	-14.55	

표 3-5에서 알 수 있듯이 60 GHz의 신호는 직진특성으로 전력값은 거리에 반비례함을 알 수 있다. 향후 측정 안테나의 특성을 고려하여 국제표준에서 제시하고 있는 20 cm^2에 대한 평균 전력밀도로 평가할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요하며, 수치해석 결과의 비교 분석을 통해 WiGig의 전자파 인체노출량 평가방법에 대한 연구가 요구된다.

제4장 WLAN 전자파흡수율 측정방법 간소화 연구

제1절 개 요

현재 전자파흡수율 측정은 국립전파연구원 고시인 「전자파흡수율 측정기준」에 따라 시행되고 있다. 「전자파흡수율 측정기준」은 별표 1 귀에 근접하여 사용하는 휴대용 무선설비의 전자파흡수율 측정절차와 별표 2 인체에 근접하여 사용하는 휴대용 무선설비의 전자파흡수율 측정절차로 구성되며, 모든 국내 지정시험기관은 이 고시의 절차에 따라 전자파흡수율 측정을 진행하고 있다. 전자파흡수율 측정은 기본적으로 해당 기기가 사용하는 모든 주파수 대역, 모든 기기의 위치, 구성 그리고 동작모드에서 측정하여야 한다. 그러나 WLAN(무선랜)의 경우, 무선통신 기술 및 안테나 제작기술의 발달로 다양한 주파수 및 모드의 사용이 가능하게 되었고, 이에 따라 전자파흡수율의 절차 또한 점점 더 복잡하게 되어, 결국 적합성 평가에 소요되는 비용과 시간이 기하급수적으로 증가하였다. 이러한 문제를 검토하고 해결하기 위해 국립전파연구원에서는 전자파인체보호위원회 산하 「전자파흡수율 측정지침 기술위원회」을 운영하고 있다. 본 연구반에서는 전자파흡수율 분야 전문가들의 검토를 거치고 국제 동향을 반영하여「전자파흡수율 측정기준 적용 지침」을 만들어 배포하였다. 지침에서는 전자파흡수율 관련 용어 정의와 세부 측정방법(간소화) 등을 포함하고 있다.

본 연구에서는 산업체의 신제품 개발 부담을 경감하기 위해 WLAN의 실제 측정과 국제동향 조사를 통해 전자파흡수율 측정절차의 간소화 방안을 마련하였다.

제2절 WLAN 전자파흡수율 측정 결과

국내에 유통되는 휴대폰 제조업체들이 WLAN의 전도전력과 전자파흡수율이 비례한다는 의견과 함께 WLAN 전자파흡수율 측정 절차의 간소화를 요청해옴에 따라, 전도전력과 전자파흡수율의 상관관계에 대해 검토해보았다.

우선 휴대폰 제조업체인 A사와 B사가 제출한 자료를 보았을 때, WLAN의 각 밴드별 전도전력값과 전자파흡수율값이 비슷한 양상을 보이고 있음이 확인되었다.

[표 4-1] A사 모델a WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	16.66	15.70	15.87	15.84
	2442	7	15.34	15.33	15.55	15.48
	2472	13	15.33	15.37	15.60	15.47

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	14.31	14.19	14.29	14.28	14.14	14.14	14.25	14.30
	2442	7	13.86	13.92	13.85	13.99	13.93	13.79	13.89	13.92
	2472	13	13.99	14.01	13.99	14.04	13.90	13.96	14.08	13.96

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n (HT-20)	2412	1	11.85	11.83	11.79	11.80	11.87	11.79	11.84	11.82
	2442	7	11.56	11.51	11.48	11.45	11.52	11.49	11.49	11.53
	2472	13	11.91	11.92	11.94	11.94	11.94	11.91	12.03	11.91

[표 4-2] A사 모델a WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	0.657	0.568	0.572	0.564
	2442	7	0.471	0.482	0.542	0.491
	2472	13	0.483	0.478	0.528	0.513

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	0.463	0.425	0.437	0.436	0.433	0.432	0.435	0.442
	2442	7	0.381	0.356	0.374	0.368	0.372	0.365	0.372	0.380
	2472	13	0.336	0.341	0.352	0.363	0.365	0.367	0.374	0.378

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n (HT-20)	2412	1	0.185	0.183	0.180	0.178	0.183	0.179	0.182	0.185
	2442	7	0.175	0.183	0.178	0.176	0.175	0.178	0.176	0.182
	2472	13	0.185	0.178	0.181	0.182	0.174	0.176	0.207	0.185

[표 4-3] A사 모델b WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	15.78	15.28	14.36	15.03
	2442	7	15.10	15.15	14.85	15.36
	2472	13	15.30	15.26	15.36	15.18

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54

802.11g	2412	1	13.43	13.45	13.42	13.47	14.12	13.74	13.66	14.02
	2442	7	13.22	13.17	13.16	13.26	13.84	13.41	13.32	13.71
	2472	13	13.45	13.37	13.47	13.46	14.03	13.62	13.56	13.98
밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**평균 전도전력(dBm)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	**13**	**19.5**	**26**	**39**	**52**	**58.5**	**65**
802.11n (HT-20)	2412	1	12.20	12.25	12.20	12.24	12.45	12.47	12.30	12.45
	2442	7	12.27	12.27	12.26	12.31	12.46	12.47	12.36	12.41
	2472	13	12.34	12.29	12.43	12.37	12.49	12.41	12.49	12.47

[표 4-4] A사 모델b WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**전자파흡수율(W/kg)**			
			Data Rate(Mbps)			
			1	**2**	**5.5**	**11**
802.11b	2412	1	0.619	0.445	0.338	0.435
	2442	7	0.510	0.455	0.346	0.470
	2472	13	0.364	0.361	0.353	0.329

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**전자파흡수율(W/kg)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6	**9**	**12**	**18**	**24**	**36**	**48**	**54**
802.11g	2412	1	0.244	0.248	0.236	0.242	0.293	0.301	0.254	0.257
	2442	7	0.311	0.279	0.277	0.259	0.348	0.233	0.241	0.238
	2472	13	0.245	0.212	0.206	0.202	0.242	0.245	0.210	0.223

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**전자파흡수율(W/kg)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	**13**	**19.5**	**26**	**39**	**52**	**58.5**	**65**
802.11n (HT-20)	2412	1	0.224	0.220	0.188	0.200	0.186	0.170	0.167	0.166
	2442	7	0.254	0.225	0.221	0.208	0.210	0.161	0.158	0.158
	2472	13	0.184	0.187	0.180	0.176	0.148	0.151	0.153	0.153

[표 4-5] A사 모델c WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	17.21	17.29	17.38	18.23
	2442	7	16.92	16.89	17.10	17.11
	2472	13	16.04	16.10	16.31	16.28

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	13.57	13.62	13.64	13.56	13.67	13.70	13.74	13.80
	2442	7	13.17	13.09	13.12	13.56	13.67	13.70	13.74	13.80
	2472	13	12.35	12.48	12.58	12.56	12.55	12.50	12.60	12.59

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n (HT-20)	2412	1	12.49	12.49	12.52	12.65	12.59	12.71	12.60	12.18
	2442	7	12.22	12.19	12.14	12.03	12.23	12.21	12.16	12.20
	2472	13	11.36	11.28	11.35	11.32	11.39	11.39	11.44	11.45

[표 4-6] A사 모델c WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	0.067	0.069	0.072	0.114
	2442	7	0.058	0.056	0.069	0.072
	2472	13	0.032	0.034	0.036	0.034

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54

802.11g	2412	1	0.054	0.052	0.051	0.048	0.053	0.057	0.048	0.051
	2442	7	0.042	0.038	0.037	0.036	0.035	0.037	0.038	0.039
	2472	13	0.035	0.034	0.035	0.034	0.035	0.034	0.037	0.036
밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**전자파흡수율(W/kg)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	**13**	**19.5**	**26**	**39**	**52**	**58.5**	**65**
802.11n (HT-20)	2412	1	0.042	0.047	0.049	0.052	0.053	0.058	0.059	0.034
	2442	7	0.036	0.034	0.032	0.027	0.029	0.027	0.024	0.023
	2472	13	0.017	0.016	0.015	0.015	0.017	0.016	0.015	0.013

[표 4-7] B사 모델a WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**평균 전도전력(dBm)**			
			Data Rate(Mbps)			
			1	**2**	**5.5**	**11**
802.11b	2412	1	16.33	16.44	16.21	16.13
	2442	7	17.14	17.16	17.1	16.88
	2472	13	15.77	16.07	15.8	15.52

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**평균 전도전력(dBm)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6	**9**	**12**	**18**	**24**	**36**	**48**	**54**
802.11g	2412	1	12.47	12.41	12.15	11.66	11.9	11.51	11.55	11.36
	2442	7	13.47	13.35	13.32	13.11	12.88	12.45	12.13	12
	2472	13	12.46	12.46	12.3	12.09	11.89	11.49	11.29	11.22

밴드	**주파수 (MHz)**	**채널**	**평균 전도전력(dBm)**							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	**13**	**19.5**	**26**	**39**	**52**	**58.5**	**65**
802.11n (HT-20)	2412	1	11.7	11.45	11.18	11.22	10.75	10.39	10.3	10.11
	2442	7	12.37	12.35	12.12	12.05	11.65	11.4	11.31	11.17
	2472	13	11.81	11.65	11.41	11.24	10.88	10.47	10.49	10.39

[표 4-8] B사 모델a WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	1.5061	1.6529	1.574	1.5563
	2442	7	1.184	1.1532	1.1708	1.1495
	2472	13	1.4673	1.0207	1.1271	1.0403

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	0.2805	0.2741	0.2603	0.2496	0.2547	0.2365	0.2288	0.1972
	2442	7	0.5398	0.514	0.5011	0.4499	0.4542	0.4159	0.4004	0.4046
	2472	13	0.5551	0.5336	0.5344	0.4934	0.4766	0.4596	0.4145	0.3894

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n (HT-20)	2412	1	0.2441	0.2509	0.2239	0.2085	0.1847	0.1839	0.1822	0.174
	2442	7	0.4572	0.4185	0.4052	0.393	0.3529	0.334	0.3246	0.3126
	2472	13	0.4408	0.4145	0.3984	0.4067	0.3688	0.3348	0.3243	0.3176

표에서 볼 수 있듯이, 모든 모델에서 가장 높은 전도전력값이 측정된 모드(일반적으로 802.11b 모드)에서 가장 높은 전자파흡수율값이 측정되었다. 제조사에서는 위 측정결과와 타국의 전자파흡수율 측정 현황[2]을 근거로 하여 전도전력값이 가장 높게 측정되는 모드만 전자파흡수율을 측정하는 것을 골자로 한 간소화 안을 제시하였다.

2) 미국 FCC와 유럽 R&TTE, 일본 등 다른 나라에서는 전자파흡수율 평가 시 전도전력값이 가장 높은 채널의 가장 낮은 Data Rate에서 전자파흡수율 평가를 진행하고, MIMO 지원 시 안테나1과 안테나2를 각각 측정 후, 두 개의 안테나를 모두 활성화 시켜 동시 방사 상태로 총 3가지 조건(Ant1, Ant2, Ant1&2)에 대하여 각각 전자파흡수율 측정을 진행

제조사로부터 제공받은 데이터를 확인하는 데 그치지 않고, 제조사 A사와 B사 2곳에서 LTE 단말기 1종씩 제공받아 2.4 GHz 대역의 3개 모드(802.11 b/g/n), 저·중·고 채널의 Data Rate 별로 측정하였다.

[표 4-9] A사 모델d WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	18.01	18.28	18.37	19.27
	2442	7	17.69	17.91	18.21	18.7
	2472	13	17.45	17.97	17.87	18.64

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	15.53	16.3	14.8	15.25	15.48	14.86	14.47	15.24
	2442	7	15.54	16.02	14.25	14.89	15.23	15.03	14.17	15.04
	2472	13	14.57	15.07	14.21	14.59	14.78	14.1	13.84	14.61

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n	2412	1	15.35	13.54	13.48	14.46	13.8	14.03	14.14	13.9
	2442	7	14.81	13.73	13.4	14.44	13.73	14.61	14.41	13.62
	2472	13	13.43	13.18	13.61	13.45	13.78	13.32	13.24	13.01

[표 4-10] A사 모델d WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	0.434	0.447	0.425	0.442
	2442	7	0.43	0.417	0.42	0.427
	2472	13	0.463	0.454	0.424	0.415

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	0.285	0.226	0.149	0.157	0.152	0.142	0.147	0.154
	2442	7	0.292	0.184	0.154	0.143	0.158	0.152	0.142	0.153
	2472	13	0.222	0.179	0.169	0.145	0.145	0.146	0.141	0.147

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n	2412	1	0.279	0.161	0.214	0.199	0.219	0.235	0.206	0.205
	2442	7	0.257	0.271	0.2174	0.197	0.23	0.228	0.203	0.219
	2472	13	0.252	0.284	0.215	0.152	0.1745	0.109	0.183	0.184

[표 4-11] B사 모델b WLAN 평균 전도전력 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	10.13	9.58	11.21	13.15
	2437	6	10.16	10.36	12.2	13.87
	2462	11	9.36	10.02	11.82	13.28

밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	7.98	7.35	6.52	8.45	9.78	8.32	8.56	7.89
	2437	6	8.38	8.65	9.05	9.76	9.04	8.95	9.17	9.1
	2462	11	8.41	8.13	8.6	9.03	8.68	9.14	9.18	8.43

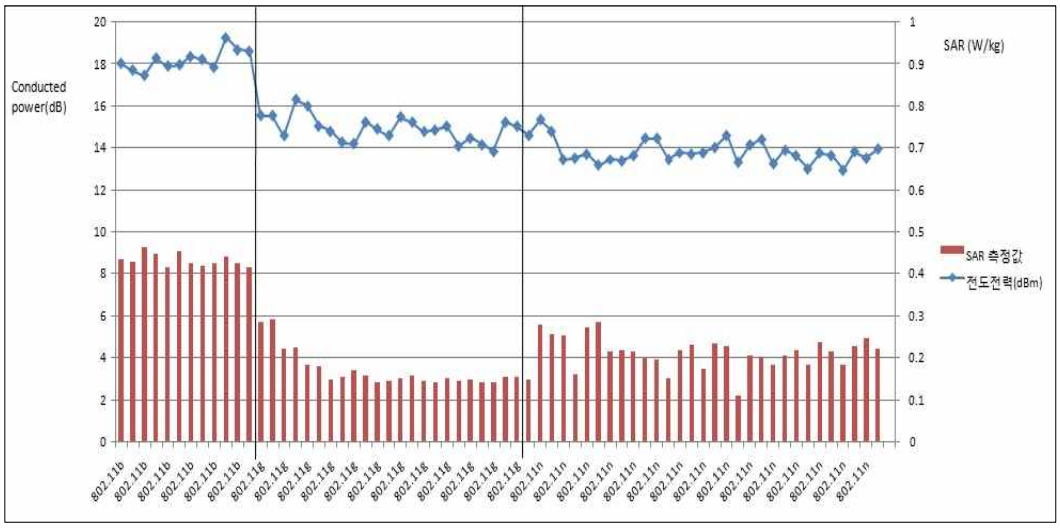
밴드	주파수 (MHz)	채널	평균 전도전력(dBm)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n	2412	1	7.13	6.95	6.89	7.26	7.05	8.17	7.63	7.84
	2437	6	7.87	6.85	7.63	8.5	8.32	8.53	8.94	8.19
	2462	11	7.67	7.82	7.7	8.13	8.56	8.49	8.65	8.4

[표 4-12] B사 모델b WLAN 전자파흡수율 측정값 – 2.4 GHz

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)			
			Data Rate(Mbps)			
			1	2	5.5	11
802.11b	2412	1	0.386	0.405	0.385	0.384
	2437	6	0.396	0.417	0.344	0.353
	2462	11	0.379	0.416	0.383	0.371

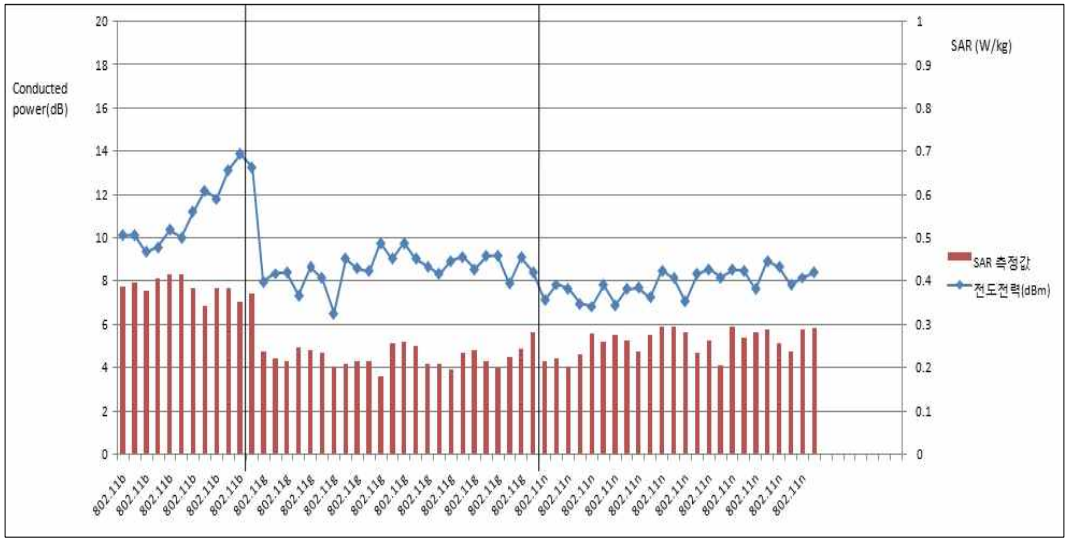
밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6	9	12	18	24	36	48	54
802.11g	2412	1	0.239	0.248	0.203	0.216	0.26	0.21	0.24	0.225
	2437	6	0.221	0.241	0.209	0.181	0.25	0.196	0.214	0.244
	2462	11	0.214	0.235	0.215	0.257	0.209	0.234	0.2	0.281

밴드	주파수 (MHz)	채널	전자파흡수율(W/kg)							
			Data Rate(Mbps)							
			6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
802.11n	2412	1	0.214	0.232	0.275	0.276	0.282	0.205	0.282	0.236
	2437	6	0.223	0.28	0.263	0.296	0.234	0.296	0.29	0.29
	2462	11	0.203	0.261	0.236	0.295	0.264	0.269	0.257	0.293



[그림 4-1] A사 LTE 단말기 측정 결과

A사 휴대폰은 WLAN의 3가지 모드(b/g/n) 중 전도전력이 가장 높은 b모드(18 ~ 19 dBm) 일 때, 전자파흡수율값이 가장 높았다.(0.4 W/kg)



[그림 4-2] B사 LTE 단말기 측정 결과

B사 휴대폰 역시 A사 휴대폰과 같이 WLAN의 3가지 모드(b/g/n) 중 전도전력이 가장 높은 b모드(10 ~ 14 dBm) 일 때, 전자파흡수율값이 가장 높은 결과를 보였다.(0.4 W/kg)

이로써, WLAN 전자파흡수율 측정 시 전도전력이 가장 높을 때, 최대 전자파흡수율값이 측정됨을 확인하였으며, 이 결과를 바탕으로 「전자파흡수율 측정지침 기술위원회」의 검토를 통해 WLAN 전자파흡수율 측정 간소화 방법을 마련하였다.

제3절 WLAN 전자파흡수율 측정 간소화 방법

전술한 바와 같이 전자파흡수율은 20 mW를 초과하는 사용 가능한 모든 주파수와 모드에 대해서 측정하여야 하나, 기존 「전자파흡수율 측정기준 적용 지침」에 이미 간소화 방법이 다음과 같이 존재한다.

□ 20 mW를 초과하는 사용 가능한 모든 모드와 밴드에 대하여 다음의 측정 간소화 방법을 적용함.

① 머리 SAR 측정방법

⟹ 중간 채널에서 왼쪽, 오른쪽, 접촉, 경사 측정조건 등 조합 가능한 모든 측정조건에 대하여 측정한 후, 최대 SAR 값을 갖는 조건의 저, 고 채널에서 추가 측정함.

② 몸통 SAR 측정방법

⟹ 중간 채널에서 측정대상 기자재의 왼쪽, 오른쪽, 앞면, 뒷면, 윗면, 아랫면에 대하여 측정한 후, 최대 SAR 값을 갖는 조건의 저, 고채널에서 추가 측정함.

※ 무선랜에 대한 모든 모드와 밴드의 출력은 시험성적서에 명시하여야 한다.

위 방법을 적용하더라도 Worst Case를 가정하여 2.4 GHz 및 5 GHz를 사용하고 MIMO 기능을 가지는 WLAN의 전자파흡수율을 측정한다고 했을 때 그 비용은 약 224,000천원[3]에 달하며, 측정 시간도 700시간[4]을 초과한다.

여기에 더해 간소화 방안을 다음과 같이 추가로 제안하였다.

□ 무선랜을 사용하는 측정대상 기자재의 전자파인체노출량은 전자파흡수율 측정기준 고시를 따른다. 단, 대상 기자재의 최대 전자파흡수율 측정값을 얻기 위해 다음의 소거 방법에 따라 간소화 측정방법을 따를 수 있다.

- 무선랜을 사용하는 대상 기자재의 가능한 모든 동작조건을 다음에 따라 구분한다.
  1. 단일 주파수 대역에서 단일 안테나를 사용하여 동작하는 경우
  2. 단일 주파수 대역에서 다중 안테나가 동시에 동작하는 경우
  3. 단일 주파수 대역에서 다중 안테나가 개별 동작하는 경우
  4. 다중 주파수 대역에서 다중 안테나를 사용하여 동작하는 경우 등

- 위에서 구분된 동작조건 별로 무선랜 모드(802.11 a/b/g/n/ac 등)의 각 중심채널에서 전송속도별로 전도전력(conducted power)을 측정한다. 이 때 안테나 출력은 동작조건 시의 최대출력으로 설정한다.

- 전도전력 측정 결과 중 각각의 동작조건 별로 가장 높은 전도전력의 무선랜 모드(5 GHz의 경우 1~4대역 별 구분[5])에 대해서 전자파흡수율 측정을 수행한다.

위 내용을「전자파흡수율 측정기준 적용 지침」에 추가하여 배포하였으며, “전자파흡수율 측정기준 고시(국립전파연구원고시 제2015-10호)”에 “전자파흡수율 측정방법에 관한 세부사항 공고(국립전파연구원공고 제2012-43호)”를 통합할 때, 본 내용을 추가하여 개정하였다.(국립전파연구원 제2015-23호)

새로 마련된 간소화 방안을 적용함으로써, 기존 전자파흡수율 측정에 소요되었던 비용 및 시간을 80% 이상 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

3) 측정 횟수는 총 1,120회이며, 회당 200천원 소요된다고 가정

4) 1일 8시간, 주 5일 근무한다고 가정했을 때, 17주(약120일) 소요

5) 특정소출력무선기기 관련 무선설비규칙에 5 GHz대 주파수를 사용하는 「무선랜을 포함한 무선접속시스템용(WAS)」과 「무선데이터통신시스템용」의 4개 대역으로 구분

제4절 결론

새로운 기술 및 제품의 등장에 따라 기존에 마련되어 있는 제도의 적용이 어려울 경우, 해당 부분의 연구와 검토를 통해 제도를 개선해야 한다. 이번 고시 개정 역시 제조업체의 요청에 따라 실제 측정을 하고, 타국의 사례에 대한 검토를 통해 수행하였다. 이로 인해 그동안 제품을 만들고 제품의 적합성 여부를 판정 받기 위해 많은 시간과 비용이 소요되는 상황이었는데, 이제 그 시간과 비용을 단축·절약하여 새로운 제품을 적시에 출시할 수 있게 되었다. 앞으로도 국제적인 규격 경향에 맞지 않거나 시대에 뒤떨어진 불합리한 기술규제를 정비하여 현장에서 기업체에 걸림돌이 될 수 있는 기술규제 개혁 과제를 적극적으로 발굴하여 해소해야 할 것이다.

제5장 소형화된 150 MHz 전자파흡수율 평가용 안테나 연구

제1절 개 요

'12년 이후, 전자파흡수율 측정대상 기자재로 150 MHz 대역의 무전기가 새롭게 포함되어 그동안 150 MHz 대역의 전자파흡수율 평가 방법을 개발하기 위하여 연구를 수행해 왔다. '14년에는 수치해석 목푯값 등의 연구 결과들을 국제전기기술위원회(이하 IEC) TC106 MT1 회의에 참가하여 발표하였으며, '15년 2월 미국 샌프란시스코에서 개최된 IEC TC106 MT1 회의에 다이폴 안테나의 규격, 전자파흡수율 목푯값을 최종 제안하여 150 MHz 대역의 전자파흡수율 평가 방법에 대한 최종 승인을 받았다. 최종 승인 받은 내용으로는 150 MHz 대역의 전자파흡수율 유효성 평가 시 필요한 다이폴 안테나 규격, 모의 인체크기, 전자파흡수율 1g, 10g의 목푯값 등이다. 이에 따른 IEC 회의에서 최종 승인받은 규격은 아래 표 5-1, 5-2와 같다.

[표 5-1] 150 MHz 대역의 다이폴 및 모의 인제규격

Frequency (MHz)	Phantom shell thickness (mm)	Dipole antenna length L_2 (mm)	Balun length h (mm)	Dipole antenna diameter d (mm)
150	6,0	760,0	500,0	6,35
Frequency (MHz)	**Phantom shell thickness (mm)**	**Phantom shell permittivity**	**Phantom dimensions used for FDTD models L_1, W, H (mm)**	**Reference dipole distances from the liquid (mm)**
150	6,0	3,7	1300, 900, 200	15

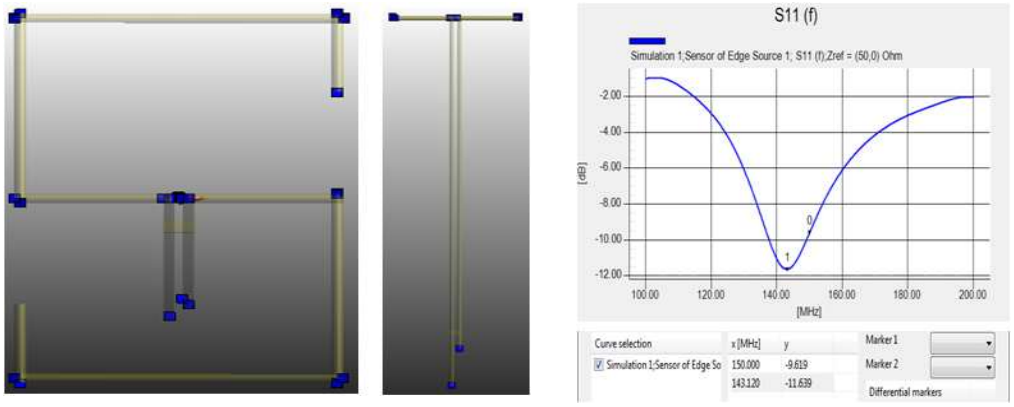
[표 5-2] 150 MHz 대역의 전자파흡수율 값

Frequency (MHz)	Phantom Shell thickness (mm)	1 g SAR (W/kg)	10 g SAR (W/kg)	Local SAR at surface (above feed point) (W/kg)	Local SAR at surface (y = 2 cm offset from feed point) (W/kg)
150	6,0	1,08	0,77	1,39	0,78

하지만 최종 승인 받은 150 MHz 대역의 전자파흡수율 유효성 평가 방법의 규격은 모의 인체와 다이폴 안테나 크기가 너무 크다는 단점이 있어 실제 정규 전자파흡수율 측정 장비로 측정하기에는 큰 무리가 있다. 실제로 제작된 모의 인체의 경우 $1300 \times 900 \times 200\,mm$ 의 크기로 20L의 인체 유사액체가 20통이나 들어가는 단점이 있으며, 정규 전자파흡수율 측정 장비로 측정할 때, 그 크기 때문에 150 MHz 대역의 모의 인체 측정 영역을 설정하기에 어려움이 있다. 실제로 IEC 회의에서 향후 연구를 통하여 보완해야 할 점으로 논의되어 다이폴 안테나와 모의 인체의 크기를 줄이는 연구를 진행하게 되었다.

제2절 150 MHz 대역의 전자파흡수율 평가용 미앤더 타입의 다이폴 안테나 연구

150 MHz 대역의 다이폴 안테나의 소형화를 위한 기법을 고안하기 위하여 국내·외 안테나 크기를 줄이는 논문을 참고한 결과, 다이폴 안테나의 물리적인 크기를 가장 효과적으로 줄이기 위한 방법으로 미앤더 타입(‘ㄹ’자 형태)의 구조 적용법을 찾을 수 있었다. 지난 ’15년 2월에 최종 승인 되었던 일자형 다이폴 안테나에 적용하여 미앤더 타입의 다이폴 안테나를 수치해석으로 계산하였다. 처음 고안하였던 미앤더 타입 다이폴 안테나는 그림 5-1과 같이 ‘ㄹ’ 자 형태의 양쪽 끝단에 기존 일자형 다이폴 안테나의 길이와 맞추기 위해 직각으로 추가 부분을 붙인 구조이며, ‘ㄹ’자형 안테나의 수치해석값이 -20 dB 이하의 값을 얻기 위하여 다이폴 안테나의 전력이 들어가는 동축선로 부분에 임피던스 매칭을 위한 Balun을 적용하였다. 이때의 Balun의 위치는 다이폴 안테나로부터 약 50 cm 이격하였다.



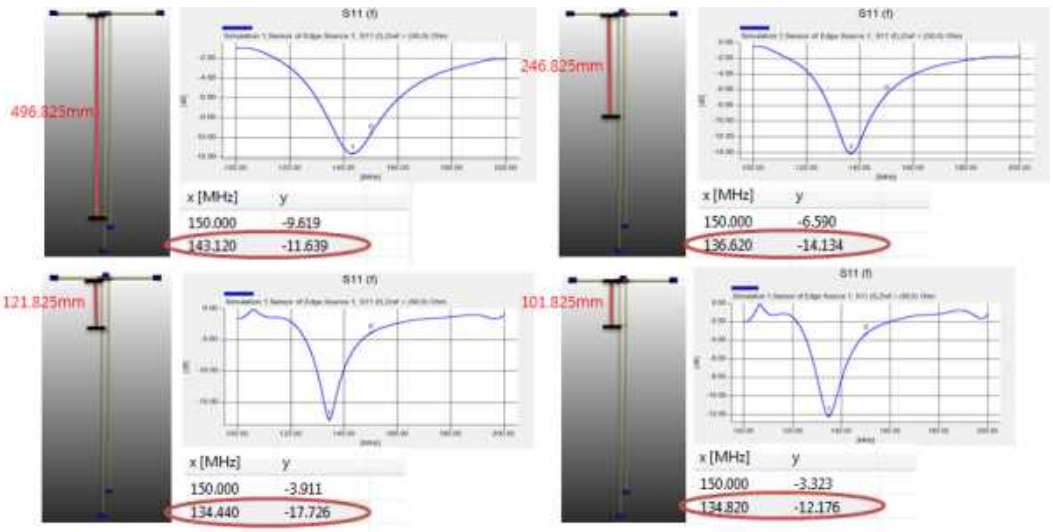
(a) 최초 고안한 'ㄹ'자형 다이폴 안테나 (b) 수치해석 결과

[그림 5-1] 최초 고안한 'ㄹ' 자형 미앤더 타입 다이폴 안테나

계산 결과 143 MHz 대역에서 약 11 dB의 공진을 보였으며 IEC에서 제시하는 「150 MHz 대역에서 20 dB 이하」 라는 기준에 못 미치는 계산 결과가 나왔다. 이를 개선하기 위하여 먼저 다이폴로부터 Balun의 이격 거리를 약 136 cm 로 하여 임피던스 매칭을 맞추었다. 아래 표 5-3은 미앤더 타입 다이폴 안테나의 임피던스 매칭을 20 dB이하로 맞추기 위하여 계산한 결과이다. 아래 표 5-3과 같이 안테나의 길이를 고정하고 다이폴과 Balun의 이격거리를 조정한 결과, 다이폴-Balun의 이격 거리가 줄어들수록 공진점 주파수 대역이 이동하게 된다. 하지만 이격 거리를 131.8 cm 이하로 줄였을 경우에는 더 이상 공진 주파수와 임피던스 값에 큰 변화가 없는 것으로 계산되는 것을 확인할 수 있으며, 이격 거리가 136.8 cm, 131,8 cm 일 때 임피던스 값이 최적화되는 것을 확인 할 수 있다.

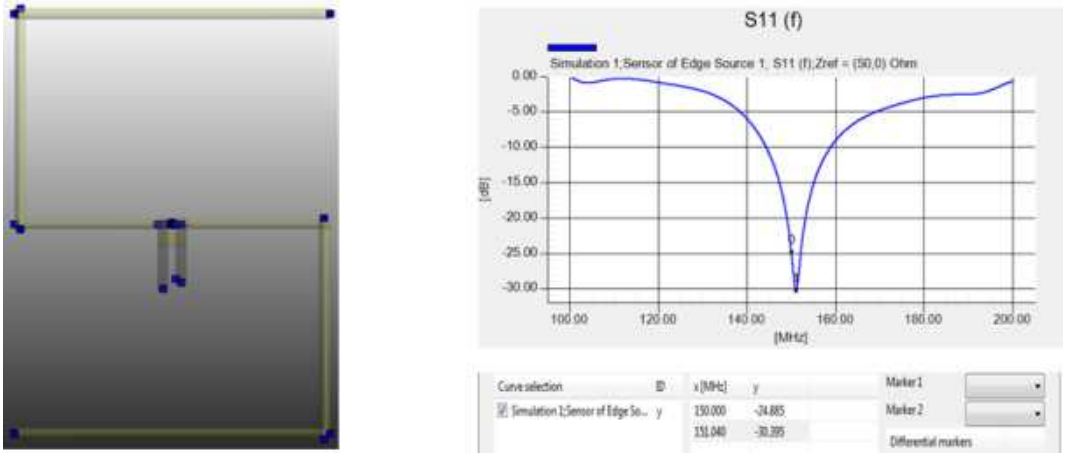
[표 5-3] Balun 길이 조절에 따른 임피던스 값

구 분	496.8 mm	246.8 mm	136.8 mm	131.8 mm	121.8 mm	111.8 mm	101.8 mm
임피던스 값	11 dB	14 dB	27 dB	27 dB	17 dB	17 dB	12 dB
공진 주파수	143. 12 MHz	136.6 MHz	134.36 MHz	134.36 MHz	134.4 MHz	134.4 MHz	134.4 MHz



[그림 5-2] 다이폴-Balun 이격거리에 따른 임피던스 값 변화

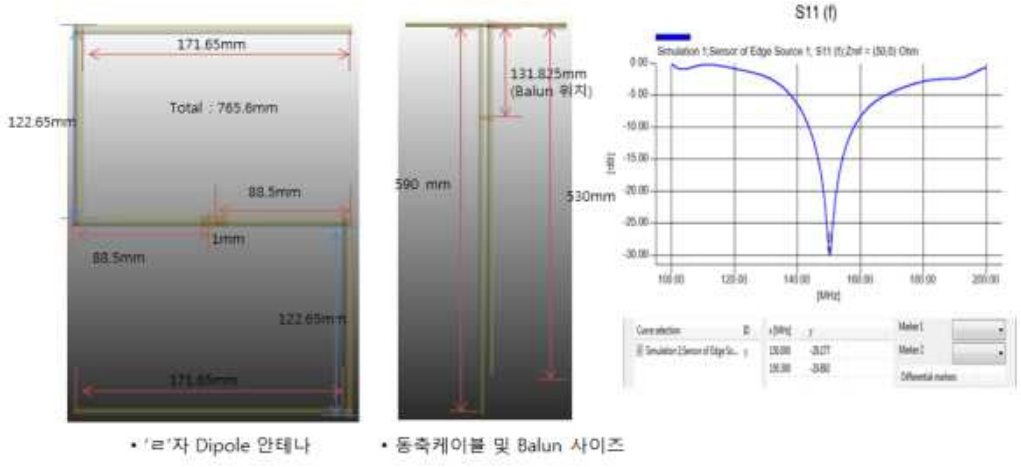
최적화를 위해 다이폴-Balun의 이격거리를 131.8 cm로 고정한 다음 안테나의 공진주파수가 150 MHz에서 20 dB 이하의 특성을 가질 수 있도록 안테나 길이를 조절하였다. 다이폴-Balun의 이격거리가 131.8 cm 일 때, 길이를 조절하기 전의 150 MHz 임피던스 값은 약 4 dB의 특성을 보였다. ‘ㄹ’자 형태 다이폴 안테나의 양 끝단의 길이를 각 5 mm 씩, 총 10 mm를 줄인 결과, 150 MHz 대역에서 약 25.7 dB의 특성을 보였으며, 안테나의 양끝단의 길이를 각 10 mm 씩, 총 20 mm 줄였을 때에도 동일한 특성을 보였다. ‘ㄹ’자 형태 다이폴 안테나의 양 끝단을 조금씩 줄여서 계산 해본 결과 안테나의 양끝단의 길이를 각 40 mm씩, 총 80 mm 줄였을 때에도 ‘ㄹ’자 형태 다이폴 안테나의 공진 주파수는 처음 10 mm 줄였을 때의 특성과 같은 것을 확인 할 수 있다. 이러한 계산 결과를 바탕으로 다이폴 안테나의 양끝단의 길이는 ‘ㄹ’자 형태 다이폴 안테나가 150 MHz 대역에서 공진 특성을 보이는데 영향을 주지 않는 것으로 확인 할 수 있었고, ‘ㄹ’자 형태 다이폴 안테나의 양 끝단 부분을 삭제 하였다, 그림 5-3은 이러한 계산과정을 통하여 다시 설계된 ‘ㄹ’자형태의 다이폴 안테나를 보여준다.



(a) 다이폴 안테나 (b) 수치해석 결과

[그림 5-3] 변형된 'ㄹ' 자형 미앤더 타입 다이폴 안테나

좀 더 정확한 'ㄹ'자 형태 다이폴 안테나의 공진 주파수를 조정하기 위하여 'ㄹ'자 형태 다이폴 안테나의 양 끝단 부분을 완전히 제거한 후 가로길이169.65 mm → 170.65 mm, 세로길이를 123.65 mm → 122.99 mm로 줄여 본 결과 'ㄹ'자 형태 다이폴 안테나는 150 MHz 대역에서 약 29 dB의 공진 특성을 보였다. 그림 5-4는 최종 계산된 다이폴 안테나의 모습 및 다이폴 안테나의 크기를 보여 주고 있다.



(a) 다이폴 안테나 (b) 수치해석 결과

[그림 5-4] 최종 계산된 'ㄹ' 자형 미앤더 타입 다이폴 안테나

제3절 결론

본 연구에서는 지난 2월 IEC TC106 MT1회의에서 향후 150 MHz 대역 다이폴 안테나의 크기를 줄이는 개선 연구가 필요하다는 의견이 있었으며, 또한 현재 IEC TC106 MT1에 표준화로 제시한 다이폴 안테나의 크기와 모의 인체를 이용하여 150 MHz 대역을 사용하는 무전기의 전자파흡수율 유효성 평가를 측정하는데 어려운 점이 있다. 이러한 점을 개선하기 위하여 소형화된 150 MHz 대역의 'ㄹ'자형 미앤더 타입의 안테나를 설계하기 위해 수치해석 기법을 적용, 안테나가 150 MHz 대역에서 20 dB 이하의 임피던스 특성을 가지도록 설계하여 안테나의 가로세로 길이, 다이폴-Balun의 이격거리 등을 계산하였다. 향후 수치해석을 통하여 얻은 최적의 수치들을 토대로 실제 'ㄹ'자 형태의 다이폴 안테나 시제품을 제작하여 수치해석 계산결과와 비교할 계획이며, 향후 국제회의에 참가하여 150 MHz 대역의 전자파흡수율 평가 방법 국제 표준화를 제시할 계획이다.

제6장 맺음말

세계보건기구의 전자파 인체관련 프로젝트 수행과 각국 여러 기관들의 중장기 프로젝트를 통해 1998년에 전자파 인체노출 기준이 설정되었다. 최근에는 국제 프로젝트로 휴대폰 전자파의 어린이 영향에 대한 연구가 진행되고 있다. 유럽 지역에서는 영·유아가 생활하는 공간에 대해 더 엄격한 기준을 적용하는 사례도 있다. 우리나라에서도 무선 기지국과 와이파이 등이 설치된 영유아 시설에서 전자파 안전에 대한 우려가 있어 전자파 실태 조사를 수년간 수행해 왔으며, 우려 해소와 보다 안전한 전자파 생활을 위해 전자파 안전이용 가이드라인을 마련하였다.

생활용 가전기기의 전자파 인체안전 제도 도입의 준비를 위해 국내 시판되고 있는 가전제품에 대해 측정을 수행하였으며, 정부 차원의 관리가 필요한 제품을 선별하여 인증 대상으로 포함시켰다. 제도의 도입을 위해 소요되는 시간과, 산업체의 대응기술 확보 및 인증시험 준비를 위해 필요한 적절한 유예기간을 적용하여 추진될 계획이다.

2000년 초기 휴대폰 전자파흡수율 측정은 휴대폰의 단순 통신기능에 대한 흡수율 측정만 요구되었다. 최근 휴대폰에 무선랜 등 많은 통신 기능의 포함으로 전자파흡수율 측정은 더욱 복잡해지고, 시간소모도 많이 된다. 새로운 제품의 사용 주파수 확대로 인증 시험을 위한 추가 측정시스템과 측정방법이 요구되고 있으며 규정 적용의 임무가 있는 연구원은 관련 연구의 수행과 표준화 추진으로 업무의 분량이 상당히 많아지고 있다.

앞으로도 새로운 기술을 적용한 신제품의 개발은 계속될 것이고 측정기술 개발을 위한 연구의 수행과 표준화에 대한 노력 또한 지속되어야 할 것이다. 신기술, 신제품의 증가로 발생되는 측정의 시간소요 및 복잡성을 해결하기 위해 시간 소모가 적은 측정기술과 수치해석 기술의 적용이 요구되고 있으며, 이는 현재 IEC TC106을 중심으로 논의가 진행 중에 있다.

국립전파연구원은 평가기술에 대한 변화의 수용과 결과의 정확성을 확보하기 위해 IEC를 포함한 각국 규제기관과 국내 산업계 등과 협력하고 있으며, 국민의 안심과 산업계의 제품 출시를 위한 문제 해결 노력을 계속해 나갈 것이다.

참고문헌

[1] “전자파 인체보호기준”, 미래창조과학부고시 제2015-18호, 2015.3.25.

[2] “전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재”, 미래창조과학부고시 제2015-17호, 2015.3.25.

[3] “전자파 등급기준, 표시대상 및 표시방법”, 미래창조과학부고시 제2015-16호, 2015.3.25.

[4] “전자파흡수율 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2015-23호, 2015.11.18

[5] “전자파강도 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2014-2호, 2014.2.4

[6] IEC Std. 62233 ″ Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure″, 2005.

[7] IEC Std. 62209-1 ″Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)″, 2005.

[8] IEC Std. 62209-2 ″Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication device used in close proximity to the human body(frequency range of 30 MHz to 6 GHz)″, 2010.

[9] IEEE Std. 1528 “IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices : Measurement Techniques”, 2003.

[10] FCC OET Bulletin 65 Supplement C, ″Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields″, 2001.

[11] IEC 61786(1998) : Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings-Special

requirements for instruments and guidance for measurements(15 Hz to 9 kHz)

[12] IEEE Std C 95.3(2005) : Recommend Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to Such Fields(100 kHz ~ 300 GHz)

[13] IEEE Std C95.3.1(2010) : Recommend Practice for Measurements and computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to such Fields(0 Hz to 100 kHz)

[14] IEEE Std C95.1.3.1(2010) : Recommend Practice for Measurements and computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to such Fields(0 Hz to 100 kHz)

[15] IEC 62577Ed.1 : Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz)

[16] EN 50383(2002) : Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz - 40 GHz)

[17] EN 50420 (2006.8.) Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz)

[18] Choi D. et al, "Investigating the effect of the electromagnetic field from a mobile phone on the hearing aid", Bioelectromagnetics Society 32nd Annual Meeting, 2010. 6.

[19] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljac˘ic´, Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, Science 317, 83, 2007.

[20] Shinohara, N., T. Mitani, and H. Matsumoto, Development of High Power Rectenna for Ground Applications of Microwave Power

Transmission, International Symposium on Radio System and Space Plasma, Bulgaria, Proceedings CD-ROM, Sep. 2-4, 2007.

[21] Dimbylow P and Bolch W 2007 Whole-body averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms Phys. Med. Biol. 52 6639-49

[22] Hirata A, Ito N, Fujiwara O, Nagaoka T and Watanabe S 2008 Conservative estimation of whole-body-averaged SARs in infants with homogeneous and simple-shaped phantom in the GHz region Phys. Med. Biol. 53 7215-23

[23] Nagaoga T, Kunieda E and Watanabe S 2008 Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz Phys. Med. Biol. 53 6695-711

[24] Hirata A, Ito N, Fujiwara O, Nagaoka T and Watanabe S 2009 Influence of electromagnetic polarization on the whole-body averaged SAR in children for plane-wave exposures Phys. Med. Biol. 54 41-8

[25] Bakker J F, Paulides M M, Christ A, Kuster N and Rhoon G C van 2011 Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz Phys. Med. Biol. 56 3115-3130

[26] Ki-Hwea Kim, Automatic RF Input Power Level Control Methodology for SAR Measureement Validation

전자파 인체보호 대책 연구

국립전파연구원
NATIONAL RADIO RESEARCH AGENCY

58217 전남 나주시 빛가람로 767 (빛가람동)
발 행 일 : 2015. 12.
발 행 인 : 유 대 선
발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원
전 화 : 061) 338-4416
인 쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주·전남인쇄사업소
Tel. 062) 222-2788

ISBN : 979-11-5820-032-9 〈 비 매 품 〉

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.