

# 제 출 문

본 보고서를 「RF 인체노출 특성 평가 기술 연구」  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006. 12. 31.

연구책임자 : 오학태 (전파연구소)

연 구 원 : 김기회 (전파연구소)

여경진 (전파연구소)

최동근 (전파연구소)

# 요 약 문

1. 과 제 명 : RF 인체노출 특성 평가 기술 연구
2. 연구 기간 : 2006. 01. 01 ~ 2006. 12. 31
3. 연구책임자 : 공업연구원 오학태
4. 계획 대 진도

## 가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
가. 기지국의 전자파 노출량 계산 프로그램 개발	최동근 김기회														
○ 기지국 전자파 노출 특성 분석	여경진	—————													
○ 전자파 노출량 측정								—————							
○ 전자파 노출량 수치해석 계산			—————												
○ 프로그램 개발 및 보완						—————									
나. 팬텀과 DUT 간의 상관 관계 도출 연구	김기회	—————													
○ 전자파 흡수 메커니즘 분 석					—————										
○ 전자파 왜곡 특성 계산 및 측정									—————						
○ 팬텀과 DUT 간의 정량적 상관관계 도출															
다. 유효성 검사의 불확정도 개선 연구	김기회 여경진 최동근				—										



- 기지국 안테나의 특성 및 노출환경별 이론적 평가 기법 분석
  - 이동통신기지국 전자파의 인체영향 적합성 평가 연구
    - 국제 인체영향 적합성 평가 표준 분석
    - 외국의 연구결과 논문 분석
    - 적합성 평가 절차 분석
    - 미국 및 호주의 기지국 인체영향 인터넷 홍보 시스템 분석
  - 측정 기법과 수치해석 tool을 이용하여 기지국의 전자파 노출량 평가를 위한 근거 data 확보
    - 기지국 안테나의 설치환경 및 노출 조건 구현 및 조건별 전기장, 자기장 강도 측정
    - 수치해석을 이용하여 복잡하고 다양한 환경을 시뮬레이션 하고 계산
    - 계산된 결과와 측정 data를 정량적으로 비교 분석
  - 기지국의 전자파 노출량 계산 프로그램 개발
    - 일반인이 자신의 전자파 노출 정도를 쉽게 계산해 볼 수 있는 프로그램을 개발하여 서비스 제공
- 2) SAR 평가 기술 국제 표준화 연구
- 현 시스템의 유효성 불확정도 평가
  - S/W를 이용한 시스템 구현 및 평가
  - H/W를 이용한 시스템 구현 및 평가
  - 유효성 시험 평가 비교 및 최적 조건 도출
- 3) 휴대폰 SAR측정 DATA 통계분석
- 휴대폰 SAR 시험성적서 DATA DB 구축
  - 1g과 10g 평균에 따른 SAR 상관관계 분석
  - 안테나상태, 시험위치 등 다양한 조건의 통계적 분포 분석
- 4) 전자파 인체 영향 Q&A 자료집 발간
- 질문과 답변 내용 및 삽화 편집

- 5) 전자기장 인체노출 관련 국제기준 제·개정 검토
  - 기술문서 검토 및 우리나라 의견제시
    - IEC/TC106 표준 문서 검토 및 의견서 제출
      - IEC TC106 표준 문서 6건 검토
      - IEC TC106 표준 문서 4건 투표
      - IEC TC106 표준 문서 4건 의견서 제출
  - 국제 인체노출량 측정기술 동향보고서 발간
    - 전자파인체노출평가 표준화동향 보고서 발간 및 배포
      - 국제 인체노출량 측정기술 동향보고서 세부내용 확정
      - 위원회 동정 및 국내외 표준화 동향의 원고작성
      - 배포처 파악 및 발송

## 5. 연구 결과

### 1) 논문투고 및 발표

- 한국전자과학회지 투고 (10월)
  - 제목 : SAR 측정 및 교정 기술에 관한 한국-일본 공동 연구
- 한국전자과학회지 투고 (10월)
  - 제목 : 전자파기술 관련 대학 및 연구소 탐방기
- 제10회 전자기장의 생체영향에 관한 워크샵 발표
  - 제목 : 모의 기지국을 이용한 기지국 전자파 노출특성 연구
- 제10회 전자기장의 생체영향에 관한 워크샵 발표
  - 제목 : 휴대전화 전자파흡수율(SAR)의 통계분석에 관한 연구
- 한·미·일·EU 국제공동 워크숍 (11월)
  - 제목 : Issues on EMF Guideline and Exposure Assessment in Korea
- '06 전파방송산업 진흥주간 행사 (전자파 연구 및 정보통신기기 인증제도 세미나)
  - 제목 : 휴대전화 전자파흡수율(SAR)의 통계분석에 관한 연구

2) 국제회의 참석

- IEC TC106 회의 참석 (10월, 미국 플로리다)

3) 외부홍보 및 방송촬영, 언론사 취재 협조

- SBS 생방송 투데이 촬영 협조 (11월 22일)

- 전자파 관련 Q & A 약 21 건

- 전자파 관련 전화 민원상담 약 140 건

6. 기대효과

- o 이동통신 기지국의 전자파 노출에 대한 민원 해소
- o 국내외 전자파흡수율(SAR)에 관한 연구동향 분석을 통한 SAR 측정 표준화에 기여 및 관련 산업 육성
- o 전자파 인체영향의 정확한 이해와 올바른 사용 유도를 위한 대국민 홍보
- o 일본 NICT 및 EU, 미국 등과의 협력을 통한 IEEE, IEC 등 국제표준화 활동 공동 대응

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
SAR 측정 시스템 1식	ESSAY 1 로봇 시스템 등	1	SAR 측정	보유		
전자기장-생체 영향 수치 해석적 연구시스템 1식	Alpha Server 4000, XFDTD 6.2, HFSS 7.0	1	수치해석	보유		

## Summary

Recently, base stations and mobile terminals of mobile services which produce electromagnetic field(EMF) becomes a target of public grievance. In this research, three different parts on human effects of EMF are studied.

The first part is concerned in field strength from base stations. RRL NOTICE No 2006-125, Technical requirements for Measurement of Electromagnetic Field Strength which RRL (Radio Research Laboratory)is responsible for the notification has been processed to revise and noticed on Dec. 29 , 2006. This revision is preparation on revised Radio law which impose a duty on radio station which has certain specifications and is placed certain circumstances.

Studies based on measurement of real base stations has limitations on controlling exposure environment such as interference from nearest neighbor base station, reflective objects, geometrical location of base station, environmental noise and so on. In addition, important base station parameters like frequencies, bandwidths, powers and, antenna characteristics (gain, pattern, tilts) are also uncontrollable. These means that developing of analytical model or calculation method based on measurement of real base station are not appropriate for predicting exact exposure level from base station, because there are many uncertainties in comparing the measurement results with the computations of ideal model. To overcome these limitations, this study introduced simulated base station to implement condition of ideal base station of which the

researcher could select exposure environments and control base station parameters. Furthermore, numerical base station antenna model is also introduced. The simulated base station is easily movable and adjustable in its height and it is used to study far field exposure model of base station. The numerical base station antenna model is used to study near field exposure of base station. The measurement results using the simulated base station are compared with computations of some models proposed in ITU-T K.52 and ARIB TR-T11. No model corresponds with result, especially in short range. However, with modifications in considering path loss, ground reflection and, etc., there is a room for exact prediction in far field. In the other hand, the numerical base station model is in the stage of checking the shaping of near fields. After complete two different approaches, quite exact model on EMF exposure from base station will be suggested.

The second part is concerned in evaluation SAR from mobile phone. Uncertainty in SAR measurement system is quite high (up to 28%). This is reason for SAR validation test are proceed before SAR test. However, even in SAR validation test, uncertainty is still remaining problem. To cancel out uncertainty of control signal in SAR validation test, signal power control program is developed. With this program, control signal maintains uniform power and uncertainty is reduced as a result.

Many countries adopt 10 g SAR measurement instead Korea adopt 1g SAR measurement. It is well known that 1g SAR is stricter than 10 g SAR however, is not known how 1g SAR is stricter than 10g SAR. To find correlation between 1 g and 10 g SAR, 1 g and 10 g SAR measurement data of 400 Korean CDMA mobile phones

of 800 MHz and 1,800 MHz band from 2004 to 2005 is collected and each 1 g SAR data is converted to 10 g SAR data. The comparing results show that correlation between 1 g and 10 g SAR in 800 MHz band is 1.6 to 1 W/kg and 1.6 to 0.9 W/kg in 1,800 MHz band.

The third is concerned in risk communications. Because mass communications like newspapers, broadcasting, etc. produce improper information on EMF, most of the people has prejudice on EMF. Therefore making the proper information on EMF is the first step to lead the people to has correct understanding and Q&A booklet is produced throughout this research.

Q&As from many foreign countries like US, Germany, Australia as well as Japan and old Q&As made by RRL is collected and reviewed. Twenty common and essential Q&As which is helpful to understand EMF is chosen from these Q&A pools. Terminologies and sentences in twenty Q&As is written and modified by several editing meetings. The illustrations which help the people to understand Q&A contents are made by professional illustrator. Finally all of the texts and illustrations are published in Q&A booklet of 45 pages.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	79
제 2 장 전자파강도측정기준 개정 동향 .....	81
제 3 장 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법 .....	88
제 4 장 SAR 시스템의 유효성 오차 개선 .....	129
제 5 장 휴대폰 SAR Data 통계분석 .....	135
제 6 장 전자파 인체영향 Q&A 자료집 발간 .....	144
제 7 장 결 론 .....	150

## 표 목 차

표 2-1. 무선국 전자파강도에 대한 국가별 규제 .....	83
표 2-2. 2006년 검사(Audit) 기지국 예 .....	85
표 3-1. 측정간격 결정을 위한 표 .....	103
표 5-1. 1 g 및 10 g SAR의 이론적 유효성 계산 결과 .....	138
표 5-2. 조건별 환산 10 g 평균 SAR값 비교 .....	143

## 그림 목 차

그림 3-1. 노출 구역에 대한 그림 .....	90
그림 3-2. ITU-T K-52의 적합성 평가 절차(순서) .....	93
그림 3-3. 거리와 수직 각도에 대한 정의 .....	95
그림 3-4. 다중 경로로 인한 반사의 예 .....	99
그림 3-5. 전자파강도 측정용 프로브의 구성 예 .....	100
그림 3-6. 측정점 결정의 예시 .....	103
그림 3-7. 규격 값을 만족하는 영역의 기본 모델 .....	108
그림 3-8. 추정 순서 .....	109
그림 3-9. 모의기지국 사진과 구성 .....	121
그림 3-10. 모의 기지국 노출 시험 구성과 시험 장면 .....	122
그림 3-11. 모의 기지국에 의한 노출 시험 결과 (각도 0도, 기지국 동일 높이) .....	122
그림 3-12. 모의 기지국에 의한 노출 시험 결과 (각도 20도, 지상 1m) .....	123
그림 3-13. 수치해석을 위한 안테나 모델링 .....	123
그림 3-14. 프로그램 소개 동영상 초기 개념 .....	125
그림 3-15. 프로그램 소개 동영상 최종 완성 형태 .....	125
그림 3-16. 생활속 전자파 초기 개념 .....	126
그림 3-17. 생활속 전자파 최종 완성 형태 .....	126
그림 3-18. 간단계산 초기 개념 .....	127
그림 3-19. 간단계산 최종 완성 형태 .....	127
그림 3-20. 상세계산 초기 개념 .....	128
그림 3-21. 상세계산 최종 완성 형태 .....	128
그림 4-1. SAR 측정시스템에서의 모의조직내 SAR값 변화 ..	129
그림 4-2. 출력 변화 측정용 프로그램 .....	130

그림 4-3. 현 시스템의 유효성 시험 구성 .....	131
그림 4-4. 현 시스템의 유효성 시험 출력 변화 .....	131
그림 4-5. Signal power 정밀제어 프로그램 .....	132
그림 4-6. S/W를 이용한 유효성 시험 출력 변화 .....	132
그림 4-7. H/W를 이용한 유효성 시험 출력 변화 .....	133
그림 5-1. 835 MHz 대역의 환산 10g 평균 SAR값 .....	137
그림 5-2. 1800 MHz 대역의 환산 10g 평균 SAR값 .....	137
그림 5-3. 이론적 유효성 값에 의한 환산 10g 평균 SAR값 .....	139
그림 5-4. 835 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	140
그림 5-5. 835 MHz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	140
그림 5-6. 835 MHz 대역 플립형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	141
그림 5-7. 1800 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	141
그림 5-8. 1800 MHz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	142
그림 5-9. 1800 MHz 대역 플립형 휴대전화의 환산 10g 평균 SAR값 .....	142
그림 6-1. Q&A 자료집의 앞과 뒤의 표지 .....	145
그림 6-2. Q&A 자료집의 목차 .....	146
그림 6-3. Q&A 자료집의 내지(장소개) .....	147
그림 6-4. Q&A 자료집의 내지(본문내용) .....	148
그림 6-5. Q&A 자료집의 부록 소개 .....	149
그림 6-6. Q&A 자료집의 부록내용 .....	149

## 제 1 장 서 론

전자파의 존재가 맥스웰(Maxwell)에 의하여 예견되고 헤르쯔(Hertz)에 의하여 발견된 이후 무선통신기술은 우리 생활을 혁명적으로 변화시켜왔다. 20세기 말에 들어서 디지털무선통신기술의 발전과 더불어 휴대폰은 포화에 가까울 정도로 보급되고 있으며, 전 세계 어떤 사람과도 언제 어디서나 통화가 가능함을 넘어서 이전 사진과 동영상을 서로 주고받는 시대가 되었다. 그러나 기술의 급격한 발전과는 대조적으로 사람들은 무선통신기술의 편리성을 즐기면서도 한편으로는 여기서 발생하는 전자파가 자신의 건강에 좋지 않은 영향을 줄 수도 있다는 막연한 불안감에서 아직 벗어나지 못하고 있다.

과거에는 초고압 송전선이나 방송 송신소가 사람들에게 전자파에 대한 불안감을 일으키는 - 실제로 여기서 나오는 전자파가 인체에 어떠한 영향을 주는 지와는 별개로 - 시설이었으나 무선전화, 무선폭출, TRS, 휴대폰, Wibro 등 다양한 무선통신 서비스들이 개발되기 시작한 이후로 이런 서비스들을 받기 위해 휴대하게 되는 단말기와 이들 서비스들을 제공하기 위해 설치한 무선국 사이트에서 발생하는 전자파에 대한 불안감이 상대적으로 증대되고 있다. 이런 불안감은 무선국 시설에 대한 민원 제기의 형태로 나타나고 있으며 계속 증가하는 추세이다.

이동전화 사용자의 급격한 증가와 더불어 이동전화 등에서 발생하는 전자파가 인체에 미치는 영향에 관한 관심이 증대되고 있음에 따라 1980년대 초부터 세계보건기구(WHO : World Health Organization)를 포함하여 여러 기관에서 이동전화 전자파가 인체에 미치는 영향에 대하여 다양한 형태의 연구들이 진행하여 왔다. 현재까지 외국에서 수행된 전자파 인체영향과 관련한 대부분의 연구 결과들은 이동전화와 기지국의 전자파가 인체에 유해하다는 증거를 찾지 못하였다고 보고하고 있으나 일부 연구에서는 명백한 증거를 제시하지 못한 채 인체영향 가능성을 제시하기도 하여 전자파가 인체에 어떠한 영향을 주는가에 관하여는 뚜렷한 결론이 나지 않은 상황이다. 우리나라도 2000년부터 이동전화에서 발생하는 전자파가 인체 및 생체에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 왔고 현재도 연구가 진행 중이나 전자파가 인체에 좋지 않은 영향을 미친다는 사실이 과학적으로 입증되지는 않았다.

비록 무선통신에 사용되는 수준의 전자파가 인체에 해롭다는 과학적 입증은 되어있지 않은 상황이지만, 이러한 막연한 불안감에 대응하기 위해 세계 각국은 다양한 전자파 인체영향 연구를 수행하고 예방적 차원에서 전자파 인체보호를 위한 규제 제도를 도입하고 있다. 이러한 제도는 - 현재까지 연구결과로는 아무런 영향이 발견되지 않았으나 - 혹시 발생할 수 있는 잠재적인 문제로부터 국가가 국민을 보호하기 위한 의무를 이행한다는 측면과 불안감 조성 자체가 발생시키는 문제(민원 제기)를 해소하기 위한 제도적 장치라는 의의를 가지고 있다고 할 수 있다.

전자파로부터 인체를 보호하기 위한 규제 제도 중, 국내·외에서 널리 도입하고 있는 대표적인 것 하나는 휴대폰의 전자파흡수율(SAR : Specific Absorption Rate)의 제한이다. 한편 무선국 사이트에 대한 규제에 있어서 무선국 사이트에 대하여 그 전자파강도를 예측이나 측정하여 전자파인체보호기준 적합성 여부를 평가하는 제도와 전자파강도가 인체보호기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하거나 무선국의 규격을 제한하는 제도가 외국에서 널리 시행되고 있다. 우리나라 역시 무선국의 전자파강도가 인체보호기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하도록 의무화하고 있으나 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 여부를 평가하는 제도는 아직 시행하지 않고 있었다. 그러나 2006년 12월 의원 입법으로 상정된 무선국의 전자파강도를 규제하기 위한 법안이 가결·공포됨에 따라 이에 대한 후속조치가 시급하게 요구되고 있다.

본 연구 보고서는 2006년 수행한 RF 인체노출 특성 평가기술에 관한 연구결과를 수록하고 있으며 크게 세 부분으로 나누어져 있다. 2장과 3장은 무선국 전자파강도 규제 제도가 도입되는 배경과 주요 쟁점을 살펴보며, 이동통신 기지국 전자파의 강도를 일반인들이 쉽게 예측할 수 있는 방법을 제공한다. 4장은 전자파 인체영향에 대한 규제 제도로 도입되어 있는 SAR 측정에 관련하여 측정 시스템의 유효성 오차 개선을 다뤘고, 5장은 휴대폰 SAR data의 10 g 평균과 1 g 평균의 상관관계를 연구한 결과를 수록하였다. 그리고, 6장은 효과적인 정보전달을 목적으로 일반인들이 전자파 인체영향을 쉽게 이해할 수 있는 Q&A 자료집 내용을 요약하였다.

## 제 2 장 전자파강도측정기준 개정 동향

### 1. 무선국 전자파강도 측정을 의무화한 전파법 개정

무선국 사이트에 대한 규제에 있어서 외국의 경우 일정 수준 이상의 출력을 내는 무선국 사이트에 대하여 그 전자파강도를 예측하거나 측정하여 전자파인체보호기준 적합성 여부를 평가하는 제도와 전자파강도가 인체보호기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하거나 무선국의 규격을 제한하는 제도를 이미 시행하고 있다. 우리나라 역시 무선국의 전자파강도가 인체보호기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하도록 의무화하고 있으나 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 여부를 평가하는 제도는 시행하지 않고 있었다.

그러던 중 2006년 4월 외국과 같이 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 만족 여부를 보고하도록 하는 전파법 개정안이 국회에서 의원입법으로 상정되고 동년 9월 해당 상임위원회인 과학기술정보통신위원회에서 가결된 후, 동년 11월말 본회의 표결에서 가결되어 동년 12월 26일 공포되었다. 무선국의 전자파강도를 규제하기 위한 법안이 의원 입법으로 상정되었음은 전자파에 대한 사회적 불안감의 고조와 관련 민원의 증가가 정치적인 관심을 끄는 수준에 이르렀으며, 이를 적절하게 처리하는 제도 마련의 요구가 크다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 전자파에 대한 사회적 불안감을 해소하는 문제는 결국 효과적인 정보전달(risk communication)과 제도의 도입으로 의무와 책임의 설정을 명백히 하는 방법으로 해결해야 할 것으로 본다.

### 2. 개정 전파법(안)의 주요 골자

본회의 상정을 앞두고 있는 전파법 개정안은 크게 네 가지의 내용이 추가되었다.

첫 째, 공중선 전력 및 설치장소 등이 대통령령이 정하는 무선국의 시설자는 전자파강도를 측정하여 정보통신부장관에게 보고하거나 정보통신부장관

에게 측정을 의뢰하여 측정하여 결과를 제출하도록 하고 전자파강도의 보고 및 측정 절차 등에 관하여 필요한 사항은 정보통신부령으로 정하도록 하였다(안 제47조의2 제3항과 제4항 및 제7항).

둘 째, 무선국의 전자파강도 보고 결과를 확인·조사하는 권한을 정보통신부장관에게 부여하였으며, 그 결과가 전자파인체보호기준을 초과하는 경우 안전시설 설치, 운용제한 및 운용정지 등 필요한 조치를 명령할 수 있도록 하였다(안 제47조의2 제5항과 제6항).

셋 째, 정보통신부장관은 무선국의 시설자가 전자파강도를 보고하지 않거나 허위로 보고한 경우 과태료를 부과하도록 하였다(안 제91조 제5호 신설).

넷 째, 무선국의 시설자가 정보통신부장관의 전자파강도를 검사·측정·조사에 응하지 않거나 정보통신부장관의 조치를 이행하지 않는 경우에는 1년 이하의 징역 또는 500만원 이하의 벌금을 부과할 수 있도록 하였다(안 제86조 제1호 개정과 제3호 신설).

전자파강도 측정·보고의 의무 및 무선국 전자파강도의 인체보호기준 준수는 시설자에게 부과되는 사항이나 측정·보고에 관한 모든 처리는 정보통신부에 위탁할 수 있으므로 정부의 충분한 준비가 필요하리라 판단된다. 아직 전자파강도 측정·보고 대상 무선국의 조건이 정하여지지 않았으나, 전자파 유해성 여부로 민원이 발생하는 무선국들이 유력하게 거론되고 있다.

### 3. 외국의 무선국 전자파강도 규제 현황

미국(연방통신위원회), 호주(통신국), 캐나다(보건국, 산업부) 및 스위스(연방환경산림국토청) 등에서도 전자파인체보호기준을 법제화하여 일정출력 이상의 모든 무선설비는 전자파인체보호기준을 준수하도록 규제하고 있고, 무선국의 허가시 시설자가 전자파강도의 산정결과를 제출하여 전자파인체보호기준의 준수 여부를 입증하도록 하고 위반의 증거가 있거나 필요한 경우 사후 관리차원에서 국가가 다시 조사할 수 있도록 규정하고 있다.

다음 표 2-1은 무선국 전자파강도에 대한 국가별 규제를 정리한 것이다.

표 2-1. 무선국 전자파강도에 대한 국가별 규제

구 분	미국	스위스	호주	영국	일본
근거 법령	FCC CFR (Code of Federal Regulation)	환경 보호에 관한 연방법	1992년 무선통신법	무선설비규정	전파법, 전파법시행규칙
강행 기준 여부	○ 강제기준 : IEEE C95.1	○ 강제기준 - 일반지역 : ICNIRP - 민감지역 : 일반 지역의 1/10	○ 강제기준 : ICNIRP	○ 강제기준 : ICNIRP	○ 권고기준 : 전파방호지침
대상 설비	○ 주요 무선설비 (방송국, 위성지구국, 실험국, 셀룰러, PCS 및 무선통신 설비)	○ 고압 송전선, 방송국, 이동통신 기지국, 레이다 기지 등의 고정 시설물	○ 무선송신설비	○ 주요 무선설비 (방송국, 위성지구국, 실험국, 셀룰러, PCS 및 무선통신 설비)	○ 주요 무선설비 - 20mW 이하, 이동무선국, 재난 무선국, 임시개설 무선국 제외
확인 방법	허가 시 ○ 사업자가 설비 구축, 변경 또는 면허 갱신 신청 시 산정결과 제출 ○ FCC가 적합평가 후 면허 부여	○ 허가 신청시 시설자가 산정결과 제출 ○ SAEFL이 적합평가 후 허가	○ 시설자가 자료 기록보관 ○ ACMA가 요청 시 제출	-	○ 기준 초과지역 안전시설 설치계획 제출
	사후 관리 ○ 위반의 증거가 있는 경우 조사 (OET)	○ 필요시 샘플측정(SAEFL)	○ 무작위, 민원, 장애발생시 측정(ACMA)	○ 샘플 조사 (OFCOM)	-
기준 위반시 처벌 규정	○ 시정명령	○ 개선명령, 개선기간동안 폐쇄 또는 운용제한 ○ 벌금형, 금고형	○ 면허 일시정지, 취소, 벌금	○ 시정명령	-
공개 여부	○ 미공개	○ 미공개	○ 미공개	○ OFCOM 측정자료 공개	-

SAEFL(The Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) : 스위스 환경산림청  
 ACMA(Australian Communications and Media authority) : 호주 통신미디어청  
 OET(Official of Engineering & Technology) : FCC 기술국

#### 가. 미국

미국은 1997년 10월부터 위성통신 및 방송, 일정 출력 이상의 육상과 해상  
의 이동 및 고정통신용 송신시설 등 시설의 허가 전 초기 환경평가(EA :  
Environment Assessment)와 사후의 정기 환경평가를 받도록 하고 있다.

#### 나. 호주

호주는 1999년 2월부터 기지국과 같은 송신장치의 설치 인허가시에, 의무  
적으로 업체의 자체 평가를 하고 그 기록을 보관하도록 하고, 호주통신국에  
서 요구시에 제출하도록 하고 있다.

#### 다. 일본

일본은 2002년 6월부터 무선국의 개설자에 대하여 전자파의 강도에 대한  
안전시설을 설계하는 것을 의무화하고 있다.

#### 라. EU

EU는 일반인에 대한 인체보호기준 권고안을 회원국내 기준의 합일화를  
목표로 EC지침을 제정, 발표하였으나 현재 각국은 나름대로의 기준을 채택  
하고 있다. 특히 스위스는 2000년 2월부터 학교, 병원, 집, 놀이터 등 사람들  
이 오래 머무는 "민감지역"의 전자파에 대해 매우 엄격한 인체보호기준을 채  
택하였음. "민감지역"의 기지국 주변 전자기장에 대해서는 ICNIRP 기준의  
1/10 수준이다.

#### 마. 영국

규제기관(Ofcom)은 매년 이동전화기지국 중 각기 다른 환경에 있는 기지  
국(일반인의 신청도 받은 후 선별하여 반영)으로 약 100개 정도를 Sampling  
하여 전자파 측정 후 국제기준(ICNIRP)과 비교한 세부 측정 결과를 일반에  
공개하고 있다.

표 2-2. 2006년 Audit(검사) 기지국 예

기지국 명	지역	검사일	결과 요약
<a href="#">Park Farm, Port Glasgow</a>	Renfrew-shire	01/02/2006	The highest value Total Band Exposure Quotient was 1.87876E-05. This value is approximately 1/53227 of the ICNIRP maximum guideline reference level for public exposure.

- (1) 이동전화 기지국으로부터 방사되는 전자파가 국제기준에서 정한 기준치보다 낮음을 일반인에게 확신시키기 위한 목적으로 시행되고 있다.
- 2001년 초기 시행될 때는 학교, 병원 등을 중심으로 시행되었으며, 2003년부터 주거/상업지역과 민감한 지역 등을 대상에 포함하고 있고
  - 또한, Ofcom은 조사결과의 중립성을 확보하기 위하여 규제기관 예산에 의해 시행하고 있다
- ※ 현재까지 이동전화기지국에 집중되어 있으나, 향후 Tetra 기지국 등 타 무선국으로 확대 시행 예정임. 만약 검사 후 권고 기준치보다 전자파가 높게 나올 경우 Ofcom은 즉각적인 시정 조치를 사업자에 명령할 수 있다

#### 4. 주요 쟁점

##### 가. 전자파강도 측정·보고 대상 무선국 선정

전파법 개정안은 공중선 전력과 설치장소를 조건으로 전자파강도 측정·보고 대상 무선국을 전파법 시행령에서 규정하도록 하고 있다. 전파법 시행령에 명시할 대상 무선국에 실험국이 포함된다고 가정하면, 다음처럼 ‘공중선 전력이 5W 이상이고 높이 10 m 이상 전용의 철탑에 설치한 실험국’과 같은 출력과 설치장소에 의한 선정조건이 전제되어야 한다는 의미이다. 그러므로 대상 무선국 선정에 대한 쟁점은 크게 두 가지로 첫 째, ‘어떠한 종류의 무선국을 대상으로 할 것인가’와 둘째, 해당 무선국의 ‘공중선 출력과 설치조건을 어떻게 정할 것인가’로 정리할 수 있다.

첫 번째 쟁점을 살펴보면, 전파법 개정안의 입법 취지 자체가 무선국 전자파에 대한 민원의 증가에 대처하기 위함이므로 전자파 관련 민원이 지속적

으로 많거나 급증하는 무선국들이 대상으로 거론될 것이 확실시된다. 이런 측면에서 볼 때, 시설이 크고 눈에 잘 띄는 무선국들을 보다 환경 친화적으로 설치하여 사람들이 의식하지 않도록 하는 방법들이 점점 더 각광을 받음과 동시에 무선통신사업자들의 정보 전달에 대한 노력도 기존보다 더 필요해질 것으로 판단된다.

두 번째 쟁점을 살펴보면, 특정 무선국의 공중선 출력과 설치장소에 대해서, 설치장소에 대한 조건은 무선국마다 차등을 두지 않는 방향으로 논의가 진행될 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 출력에 대해서는 주파수별 전자파 인체보호기준 제한, 무선국 안테나 설치 높이, 전체 공중선 출력 및 안테나 이득 등이 무선국마다 다르므로 특정한 무선국마다 공중선 출력에 대한 조건은 다르게 설정하는 방향으로 논의될 것으로 예상된다.

#### 나. 전자파강도측정기준 개정

전자파인체보호기준의 적합성 판정을 위한 방법으로 전파연구소장 고시인 전자파강도측정기준이 시행되고 있다. 그러나 기존 고시는 전자파강도측정의 일반적인 사항을 규정하고 있으나, 특정 무선국 전자파강도 측정·보고에 적합한 조건과 절차를 규정하고 있지는 않으므로 이에 대한 집중적인 보완이 필요하다. 특히, 전파법 개정안이 무선국 시설자가 직접 전자파강도를 측정·보고하거나 국가 또는 국가가 업무를 지정한 기관에게 측정을 위탁할 수 있도록 규정하고 있으므로, 두 측정 주체에 의한 측정결과의 신뢰성을 충분히 확보할 수 있는 측정조건과 절차가 제시되어야 한다.

또한, 측정방법에 있어서 무선국에 의한 최대노출가능지점과 접근가능지점을 고려하여 측정지점을 선정, 무선국의 전자파강도 측정결과를 해석하는 방법, 광대역 다중신호의 해석방법 등의 사안을 논의해야 할 것으로 예상된다.

## 5. 향후 전망

무선국 전자파강도 측정·보고를 의무화한 전파법 개정안은 전자파 관련 민원을 줄이기 위함을 표방하고 있다. 그러나 우리보다 무선국 전자파강도에

대한 규제 제도를 먼저 시행하고 있는 미국이나 유럽 등의 국가들이 제도 시행을 시작한 시점부터 오히려 무선국 전자파 관련 민원이 많이 증가하기 시작했다는 지적이 제기되고 있음을 볼 때, 무선국 전자파강도 측정·보고의 의무화는 의도와는 반대로 민원 해소의 해결책이 되지 않을 수도 있다. 이에 더붙어서 과학적으로 입증되지 않은 전자파의 인체유해성 우려에 기업들과 공공기관이 지출하는 비용도 문제로 제기될 수 있다. 그럼에도 불구하고 무선국 전자파강도 측정·보고는 국민 건강에 잠재적인 위협이 될 수 있는 문제로부터 국가가 국민을 보호하기 위한 조치를 이행하는 의미를 가지고 있으며, 무선국 설치로 인해 발생하는 각종 사회적·법적 문제들에 대한 책임과 의무의 한계를 명백히 할 수 있으므로 날로 증가하는 무선국과 무선통신 기기의 역기능을 방지하기 위해 언젠가는 도입되어야 할 제도라는 점도 명백하다. 전자파강도 측정·보고 대상 무선국의 범위가 어느 정도에서 확정될지 아직 알 수 없으나 장기적으로 일정 출력 이상인 대부분의 무선국으로 점차 확대되는 추세가 예상된다.

기술적인 측면에서 보면 전자파 인체보호기준 적용을 위한 전자파강도기준이 무선국 별로 더 세분화하고 발전됨에 따라 관련 계측산업과 인력 수요도 증가할 뿐만 아니라 전자파 인체영향 연구에 대한 사회적 관심과 지식도 증대되는데 기여할 것으로 기대한다. 이와 같은 기대에 부응하기 위한 전자파 인체영향을 연구하는 관련 기관과 연구소 그리고, 학계 전문가들의 책임 의식과 지속적인 분발이 더욱 요구된다고 할 수 있다.

## 제 3 장 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법

### 1. 개요

이동전화 사용자의 급격한 증가와 더불어 이동전화 등에서 발생하는 전자파가 인체에 미치는 영향에 관한 관심이 증대되고 있음에 따라 1980년대 초부터 세계보건기구(WHO : World Health Organization)를 포함하여 여러 기관에서 이동전화 전자파가 인체에 미치는 영향에 대하여 다양한 형태의 연구들이 진행하여 왔다. 현재까지 외국에서 수행된 전자파 인체영향과 관련한 대부분의 연구 결과들은 이동전화와 기지국의 전자파가 인체에 유해하다는 증거를 찾지 못하였다고 보고하고 있으나 일부 연구에서는 명백한 증거를 제시하지 못한 채 인체영향 가능성을 제시하기도 하여 전자파가 인체에 어떠한 영향에 주는가에 관하여는 뚜렷한 결론이 나지 않은 상황이다. 우리나라도 2000년부터 이동전화에서 발생하는 전자파가 인체 및 생체에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 왔고 현재도 연구가 진행 중이나 전자파가 인체에 좋지 않은 영향을 미친다는 사실이 과학적으로 입증되지는 않았다. 최근 IMT-2000, Wibro, DMB 등 신규서비스의 증가, 이들 서비스들이 기존 이동전화의 기지국을 공용으로 이용하여 설치되는 사례 증가, 기존 서비스들의 광대역화와 사업자간 기지국 공유 및 주파수 재사용성 증대를 위한 기지국간 거리의 단축 및 인접 셀간 동일 주파수의 사용 증가 등 기지국 전자파에 의한 인체노출환경이 변화하면서 기지국은 새로운 문제를 양산하게 되었다.

첫째, 사회와 기지국 전자파에 문외한인 일반 대중에게 기지국의 숫자와 그 외형이 증가하게 됨으로서, 이미 그들이 기존에 막연히 가지고 있는 기지국 전자파에 대한 불안감과 더 눈에 자주 그리고 잘 보이는 시각적 효과가 부정적 인식을 확산시킨다는 점을 들 수 있다. 이 문제는 결국 효과적인 정보전달(risk communication)과 제도의 도입으로 의무와 책임의 설정을 명백히 하는 방법으로 해결해야 할 것으로 본다.

둘째, 기존의 기지국의 단일 전파원과 주파수 노출 환경에서 다중 전파원과 다중 주파수 노출 환경으로 변화하였다는 것이다. 이미 다중 전파원과 다

중 주파수에 대한 측정과 평가 방법이 국제 표준화되어 있으나, 어떻게 이를 구분할 것인가에 대한 해석은 조금씩 다르다.

셋째, 인접 기지국이 가까워지고 이동통신이 광대역화하면서 이를 인체보호기준과 비교하거나 특정 기지국의 전자파강도에 대한 평가가 점점 더 어려워지고 있다. 이와 같은 문제의 해결은 결국 기지국 전자파강도의 측정 방법을 더 정교하게 만들고 정밀한 예측 기법을 도입함으로써 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 외국의 기지국 측정방법과 예측방법

### 가. ITU-T K.52 기지국 적합성 평가방법(예측방법)

이 권고의 목적은 통신 설비가 9kHz - 300GHz 대역의 통신 장비에 의해 생성되는 전자기장(EMF)에 대한 인체의 노출에 대한 안전 기준을 준수하는 것을 돕는 것이다. 이 권고는 전자기장 노출의 심각도를 평가하고 안전 기준이 초과될 경우 근로자와 일반 대중의 전자기장 노출을 제한하기 위한 기법과 절차를 제공한다.

이 권고는 통신 장소에 있는 사람들과 통신 장소 외부에 있는 사람들이 통신 장비 및 통신 장소에 있는 장비에 의해 생성되는 EMF에 노출되는 것을 다루고 있다.

#### (1) EMF 노출 평가 절차

EMF 노출 평가가 필요하다고 판단될 경우, 사람들이 EMF에 노출될 수 있는 모든 장소에 대해 노출 평가를 실시해야 한다. 평가의 의도는 EMF에 대한 잠재적 노출을 다음 세 가지 구역 가운데 하나에 속하는 것으로 분류하는 것이다.

(가) 준수 구역: 준수 구역에서는 EMF에 대한 잠재적 노출은 통제형/직업적 노출과 비통제형/일반 대중 노출 모두에 적용될 수 있는 기준 미만이다.

(나) 직업적 노출 구역: 직업적 노출 구역에서는 EMF에 대한 잠재적 노출

은 통제형/직업적 노출에 적용될 수 있는 기준보다 낮지만 비통제형/일반 대중 노출에 적용될 수 있는 기준을 초과한다.

(다) 초과 구역: 초과 구역에서는 EMF에 대한 잠재적 노출이 통제형/직업적 노출과 비통제형/일반 대중 노출 모두에 적용될 수 있는 기준을 초과한다.

많은 설비들의 경우 초과 구역과 직업적 노출 구역은 사람이 접근할 수 없거나 안테나 바로 앞에 서 있는 사람과 같이 특수한 상황에서만 접근할 수 있다. 이 권고에 제시된 위험 평가 절차는 주로 일반 대중의 노출과 일상 활동을 수행하는 근로자의 노출과 관련되어 있다.

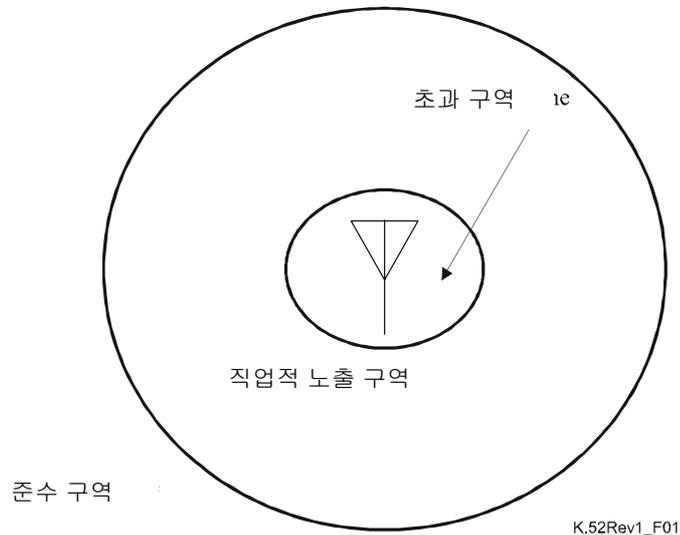


그림 3-1. 노출 구역에 대한 그림

## (2) 노출 레벨 평가 절차

노출 레벨 평가는 최악의 방출 조건과 주파수가 서로 다른 여러 EMF 복사 장치의 동시적 존재를 고려해야 한다.

안테나 시스템의 최대 EIRP, 최대 이득과 빔폭을 포함하는 안테나 이득 G 또는 상대적 수치 이득 F, 동작 주파수 및 안테나 위치, 빔 방향, 빔 기울기, EMF에 대한 인체 노출의 확률 평가와 같은 설비의 여러 특성과 같은 파라미터들을 고려해야 한다.

평가 절차와 이러한 파라미터들을 관리하기 위해 도입된 파라미터는 다음과 같다.

(가) 기본적 준수 설비: 기본적으로 안전한 복사 장치는 관련 노출 기준을

준수하는 전자기장을 복사 장치에서 몇 센치미터 떨어진 거리에 생성한다.

(나) 일반적 준수 설비: 일반적 준수 설비에는 관련 노출 기준을 초과할 수 있는 EMF를 생성하는 복사 장치가 포함된다. 그러나 일반적 설치 관행, 복사 장치가 일반적으로 통신 용도로 사용된다는 사실 때문에 복사 장치의 초과 구역은 보통 조건에서는 사람이 접근할 수 없다. 충분히 높은 탑이나 위성을 향하고 있는 협역 빔 지구국에 장착된 안테나를 예로 들 수 있다. 일부 일반적 준수 설비의 이미터에 가깝게 접근하는 유지보수 요원은 주의할 필요가 있다.

(다) 잠정적 준수 설비: 잠정적 준수 설비는 기준 준수를 위한 특수한 조치가 필요하다. 이것은 노출 구역과 범주들에 대한 판정을 포함한다.

### (3) 설비 범주 판정 절차

모든 설비는 앞에서 정의된 설비 범주 가운데 하나로 구분되어야 한다. 특정 통신 서비스를 제공하는 사업자들은 특성이 좋은 제한된 수의 안테나와 관련 장비를 사용할 것이다. 또한 많은 이미터 설치 장소의 설치 및 노출 조건은 비슷할 것이다. 따라서 장소들을 편리하게 구분하게 할 수 있는 기준 구성, 기준 노출 조건, 해당 중요 파라미터를 정의할 수 있다.

적합성 판정 절차는 다음과 같다.

(가) 기준 안테나 파라미터 또는 안테나 유형을 정의한다. 이 범주들은 특정 용도에 사용되는 이미터의 유형에 맞게 설정할 수 있다.

(나) 접근성 조건을 정의한다. 이 범주들은 이미터 주변의 여러 장소에서 사람의 접근성에 좌우된다. 이 범주들은 특정 서비스 또는 응용 분야의 가장 일반적인 설치 환경에 맞게 설정할 수 있다.

(다) 기준 안테나 파라미터와 접근성 조건의 개별 조합의 경우, 임계 EIRP를 정의한다.  $EIRP_{th}$ 로 표기되는 이 임계 ERP는 접근성 조건과 관련하여 기준 안테나에서 발생하는 전력 밀도 또는 전자기장의 노출 한계에 대응하는 값이다. K.51에 수록된 계산 또는 측정을 이용하여 판정할 수 있다. 이 범주들이 충분히 포괄적이라고 가정할 경우, 이 판정은 대다수 설비에 대해 한번만 실시될 필요가 있다.

(라) 설비는 이미터가 기본적 준수 설비(위에 정의된)일 경우 기본적 준수 범주에 속한다. 다른 설비 측면들을 고려할 필요가 없다.

(마) 개별 설치 장소의 경우 설비는 다음 조건이 충족되는 경우 일반적 준수 설비에 속한다.

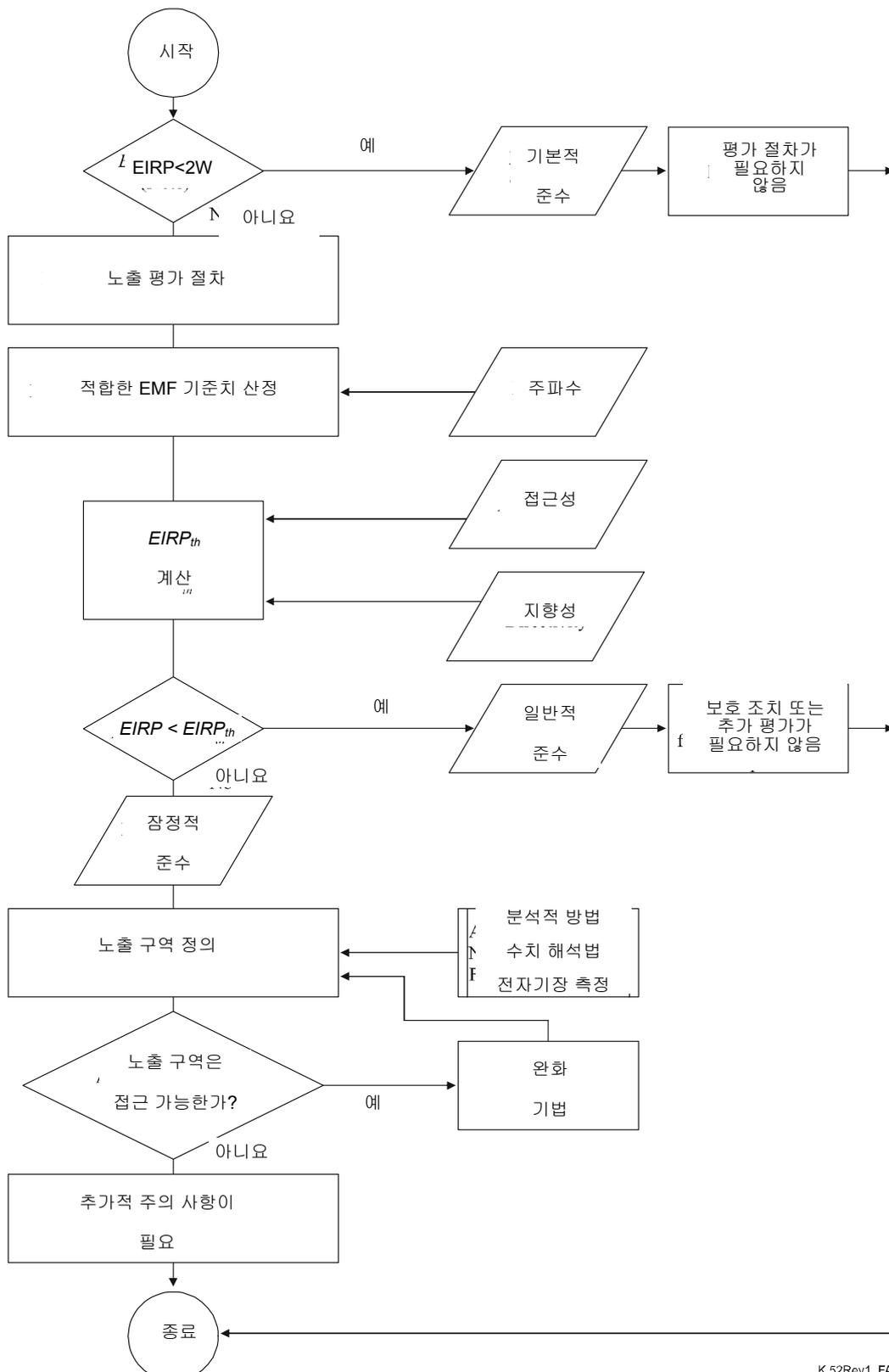
$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

여기서  $EIRP_i$ 는 특정 주파수  $i$ 에서 안테나의 임시 평균 복사 전력이며,  $EIRP_{th,i}$ 는 특정 안테나 파라미터와 접근성 조건에 관련된 EIRP 임계값이다. 다중 안테나 설비의 경우 다음 두 가지 조건을 구분할 필요가 있다.

- 복사 장치가 반전력 빔폭을 고려하여 판정된 바와 같이 중복 복사 패턴을 갖고 있을 경우, 각각의 최대 시간 평균화 EIRP가 기준을 충족해야 한다.
- 다중 복사 장치가 중복되지 않을 경우 따로 고려해야 한다.

(바) 일반적 준수 장소로 분류되기 위한 조건을 충족하지 못하는 장소는 잠정적 준수 장소로 분류된다.

이 범주들의 적용이 모호한 장소의 경우, 추가적인 계산 또는 측정을 실시할 필요가 있다.



K.52Rev1\_FA1

주 - K.52의 부록 IV 참조

그림 3-2. ITU-T K-52의 적합성 평가 절차(순서)

(4) EIRP<sub>th</sub>의 계산

계산 절차는 다음과 같다.

(가) 특정 안테나의 노출 발생 가능 지점 O의 전자기장 또는 전력 밀도를 계산한다.

(나) 이 값에서 노출 영역 내의 최대 전력 밀도 S<sub>max</sub>를 구한다.

(다) 조건 S<sub>max</sub> = S<sub>lim</sub>이 되면 EIRP<sub>th</sub>가 도출되며 여기서 S<sub>lim</sub>은 해당 주파수에서 EMP 노출 기준에 의해 제시되는 해당 기준치이다.

(5) EIRP<sub>th</sub>의 계산 - 원거리장 영역

단일 복사 안테나의 경우 각도 θ(앙각에 좌우됨)와 ϕ(방위각)에 의해 기술된 방향으로 복사되는 전력 밀도 근사치는 다음 식으로 평가할 수 있다.

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[ f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

여기서

S(R, θ, ϕ) : 전력 밀도(W/m<sup>2</sup>)

f(θ, ϕ) : 안테나의 상대적 전자기장 패턴(0과 1 사이의 양수)

EIRP : 안테나의 EIRP(W)

ρ : 반사 계수의 절대값(계수)이며 접지에 의해 반사되는 파를 고려한다. 일부의 경우 반사파에 대한 노출이 차단될 수 있으므로 ρ는 0으로 설정되어야 한다.

R : 복사 장비의 중심점과 노출된 것으로 추정되는 사람 사이의 거리

R' : 복사 장치의 이미지의 중심점과 노출된 것으로 추정되는 사람 사이의 거리

근접지 레벨에서 프라임 변수의 값은 비프라임 변수의 값과 대체로 같기 때문에 전력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

여기서

F(θ, ϕ) : 등방성 복사기에 대한 안테나의 상대적 수치 이득(0과 1 사이의 양수)

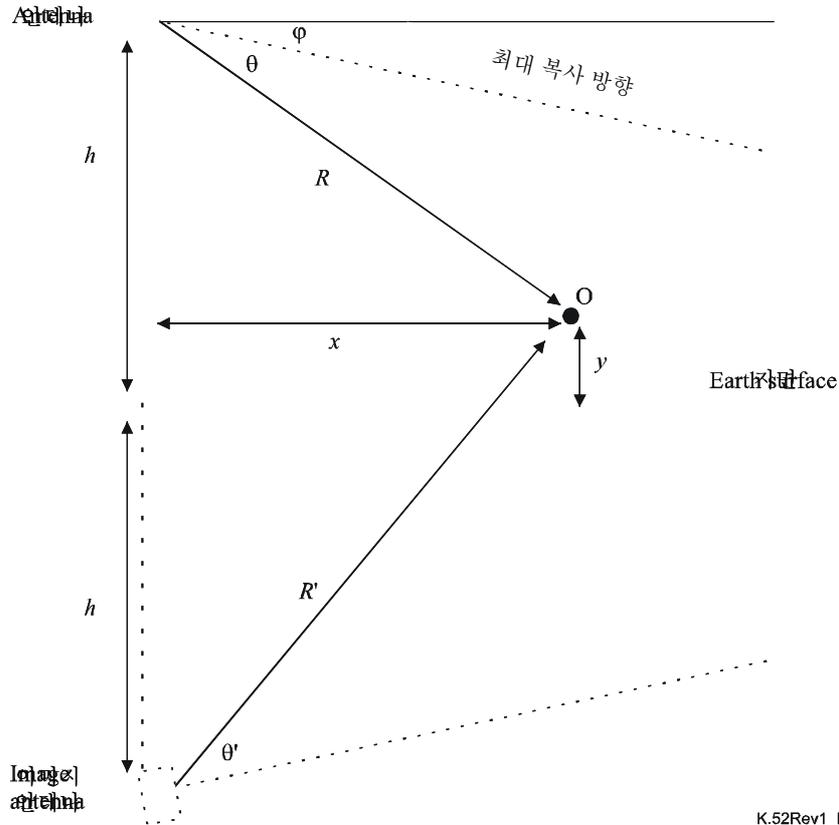


그림 3-3. 거리와 수직 각도에 대한 정의

옥상의 경우, 벽과 지붕의 건축 자재에 의한 감쇄가 건물 내의 노출을 최소 10-20 dB 정도 줄일 수 있다.

전자기장은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

여기서  $\eta_0 = 377\Omega$ 은 자유 공간의 고유 임피던스이다.

상기 등식들은 원거리장 영역에 대해 유효하다. 근거리장 영역에서 상기 등식들을 사용하면 부정확한(과도하게 보수적인) 결과가 나올 수 있다. 따라서 상기 등식들은 EMF 노출 기준 준수 여부를 판단하는 데 사용될 수 있다.

나. 일본 ARIB TR-T11 측정방법 및 예측방법

우리나라의 전파진흥협회에 해당하는 일본 전파산업회는 전파 이용에 있

어서 인체보호의 기준으로서 『전파 방호 표준 규격 RCR STD-38』을 제정한 바 있다. 이 규격서에는 전자기장 강도 측정 및 원거리장용 간이 평가 방법이 첨부되어 있어, 표준 규격에 제정될 전자기장 강도 규격에 대해서 전파 이용 설비의 방사 전자기장이 적합한지 여부를 평가하기 위한 기술 지침으로 활용되고 있다. 그러나 이 자료는 대상 설비를 일반화하여 다루고 있기 때문에, 실제 설비별로 방사 모델을 검토할 필요가 있는 등 간단하게 이용하기 위한 기술 자료로서의 완전성은 충분하지는 않다는 단점이 있었다.

이에 특정 장소에 설치하여 운용되는 무선국을 대상으로 하여 각종 무선 설비별로 방호 규격의 적합성을 간단하게 평가하기 위한 추정법 및 최신 측정법에 대하여 기술 내용을 조사 검토하고, 그 검토 결과를 1998년9월에 검토 보고서로서 정리한 것이 이 표준이다.

예측 방법에 대해서는 FCC의 자료에 기재되어 있는 등의 실적이 있는 추정식을 가능한 충실하게 이용할 것과, 실제 전자기장 강도 값보다 보수적인 추정 결과가 얻어지도록 하는 것을 기본으로 함으로써, 간편한 형식으로 가능한 용이하게 이용할 수 있는 내용으로 하도록 배려하고 있다.

또한, 측정법에 대해서는 각 적용 상황에 따른 구체적인 방법을 제시하는 동시에, 신뢰성이 있는 최신 측정기기 정보를 가능한 많이 표시하기 위해 노력하고 있는 특징이 있다.

## (1) 전파 방호 표준 측정 방법 개요

### (가) 목적

전파 방호 표준 측정법의 목적은 전파 방호 규격의 대상이 되는 전파 이용 시설 주변의 공간이 전자기장 강도 규격 및 보조 규격을 초과하는 감도의 전자기 환경인지 여부를 판단하기 위한 것이다.

여기에 언급한 측정법은 간편하게 할 수 있는 범위로 한정되어 있지만, 간편한 측정법이라고는 하더라도 대부분의 경우 보수적으로 평가 되도록 고려하고 있다. 따라서, 본 측정법에 의해 규격 적합성의 확인을 할 수 없는 경우에는 전파 방호 지침의 개념에 따른 상세 및 정밀한 방법에 따라 개별적으로 재평가 하는 것이 바람직하다. 바꾸어 말하면 여기서의 측정법은 간편하게 전자기 환경의 파악을 행하기 위한 하나의 방법으로서 전문적인 독자

의 측정법에 의한 방법을 부정하는 것은 아니다.

(나) 측정 대상 물리량

본 측정법에서 대상으로 하는 것은 규격에 이용되고 있는 물리량 중, 전기장 강도, 자기장강도 및 전력 밀도로 나타나는 물리량이다. 따라서 기본 지침으로 되돌아가는 평가 대상 물리량인 전자파 흡수율 (SAR)과 관계되는 직접적인 측정 및 평가는 포함하지 않는다. 단, 유도 전류, 접촉 전류에 대해서는 표준적 측정기, 측정법은 반드시 확립되어 있다고는 말할 수 없지만, 보조 규격의 적용에 관해서 필요하기 때문에, 여기서는 참고로 기록한다.

(다) 전파 이용 시설 및 공간

대상으로 하는 전파 이용 시설은 전파를 발사하거나 복사하는 모든 시설이다. 따라서, 일반의 주거 공간으로부터 직장의 공간까지 포함한다.

(라) 주파수

본 측정법은 전파 방호 규격에서 정해진 주파수 중, 현재 범용 측정기에 의한 측정이 가능한 범위를 대상으로 한다. 그 범위는 다음과 같다.

전기장 강도: 10 kHz ~ 100 GHz

자기장 강도: 10 kHz ~ 1 GHz

전력 밀도: 200 MHz ~ 300 GHz

유도 전류: 10 kHz ~ 110 MHz

접촉 전류: 10 kHz ~ 30 MHz

(마) 측정 물리량의 선택에 있어서의 유의점

전파 방호 지침에 있어서는 모든 전기장 강도, 자기장 강도, 전력 밀도를 만족하는 것이 원칙이지만, 300 MHz 이상의 원거리장에 있어서는 그 중 하나를 측정하고 평가하면 된다. 단, 원거리장에서도 멀티 패스 (방사원으로부터 어느 지점까지 직접 도달하는 것과, 반사물등에 반사하여 도달하는 것 등이 복수 중첩하는 것)의 영향을 받고 있는 경우에는 전기장 강도, 자기장 강도 모두를 측정할 필요가 있다.

(2) 측정 전의 준비

(가) 정보 수집

측정에 앞서서, 3장에서 서술한 적당한 방법에 따라, 전자기장 강도를 추

정해 둔다. 또한 적절한 측정점 등을 선택하기 위해, 다음에 나타낸 정보를 가능한 사전에 입수한다.

#### 1) 추정에 필요한 정보

추정에 필요한 정보 외에 다음에 나타내는 정보를 입수한다.

- 공중선의 형식, 이득, 방사 패턴, 공중선계/급전선계의 구성, 손실
- 방사원으로부터의 거리 또는 안테나 높이, 지형 프로파일

주: 여기서는 보수적인 관점에서, 방사원으로부터의 거리는 안테나 기초 부 등으로부터의 최단 거리를 이용할 것.

- 원거리장 및 근거리장 구분
- 대상 영역에 설치되어 있는 시설, 건물의 배치등.
- 간섭에 의한 영향의 가능성: 멀티 패스, 금속 등에 의한 산란, 지면의 영향 등.

#### 2) 추정에 필요한 정보

아래에 기재한 것들은 전자기 환경의 추정에 최소한 필요 또는 도움이 되는 것으로서, 쉽게 알 수 있는 만큼 사전에 조사해 두는 것이 필요하다.

- 전자파의 종류: 연속파 및 펄스파 구분, 주파수, 단일파 및 복수파 구분, 방사 전력 (출력), 편파 등
- 시설의 운용 상황: 방송 운용 시간대

#### (나) 방사원의 특성 및 환경 조건

전자기장 분포의 개요를 실제로 측정하지 않고 추정할 경우나 측정을 할 때의 단서로서 고려하지 않으면 안되는 중요한 요소로서, 다음에 든 방사원의 특성이나 환경 조건이 있다.

#### 1) 방사원의 특성

전파의 강도나 확산 방식을 결정짓는 전파를 방사하는 측의 요소 및 특성으로서, 전력, 방사원의 개수, 주파수 (기본파/고조파), 위상, 변조 (펄스, 변조도), 안테나 지향성, 방사원의 크기 및 형상 및 형태 (이동/고정/회전/주사/누설), 편파면 (수직/수평/원) 등을 들 수 있다.

또한 이들을 전파 시설별로 방사원 특성을 분류 및 모델화 한 것을 제2부에서 나타내므로, 측정이나 추정에 앞서 어떤 모델에 해당하는지를 확인해 두는 것이 적당하다.

## 2) 환경 조건

또한, 전파의 확산이나 노출 환경을 결정짓는 요소로서 방사원과 측정점의 위치 관계, 자연 환경, 인간의 유무, 인공 구조물, 교통 기관, 반사물의 존재 유무와 특징 등과 같은 환경 조건이 있다.

전자파의 전파(propagation) 경로에 위에서 말한 장애물이 없다면, 전파는 일정한 (규칙적인) 확산을 가지고 분포하지만, 일반적으로는 이러한 다양한 환경 조건에 따라 멀티 패스 (방사원으로부터 어느 지점까지 직접 도달하는 것과, 반사물 등에 반사되어 도달하는 것 등이 복수 중복하는 것)를 형성하여 정재파를 발생하기 때문에, 공간적 및 시간적으로 변동한다. 이 때문에 측정에 있어서는 이러한 실제의 환경 조건을 충분히 고려할 필요가 있다.

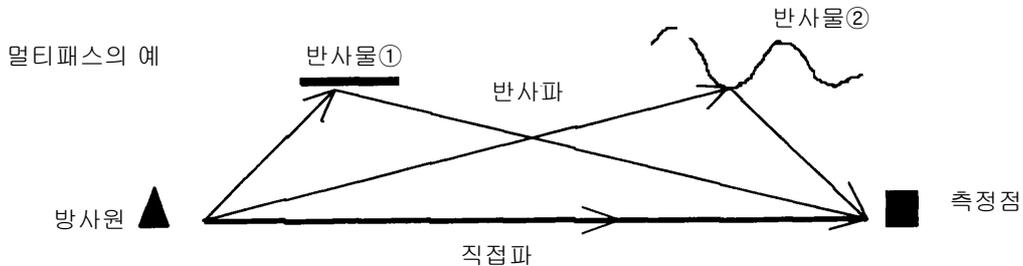


그림 3-4. 다중 경로로 인한 반사의 예

이상의 내용을 정리하면, 실제로 측정하는데 있어서는 가능한 방사원의 특성이나 환경 조건을 파악하고, 어떤 물리량을 대상으로 하는 것이 적당하지, 또는 레벨, 영역 범위, 시간, 주파수 등의 어디까지를 대상으로 조사할지를 결정할 필요가 있다.

## 3) 전자기장 강도의 사전 추정

얻어진 정보를 바탕으로 해서 전자 환경을 파악하고자 하는 영역이 다음 조건에 해당하는 경우, 전자기장 강도를 사전에 추정할 수 있다.

- 대상 영역이 원거리장일 것.
- 사전 정보를 많이 얻고 있을 것.
- 대상 영역의 환경이 복잡하지 않을 것.

측정과 추정은 개별적으로 실시하는 것도 가능하지만, 두 가지를 병용하여 상호 보완하는 것이 적당하다. 측정의 실시에 앞서 추정함으로써 측정 효율을 향상시키는 동시에 측정자가 부득이 강한 전자기장에 노출되는 것을 방지하는 것이 가능한 등의 이점이 있다.

### (3) 측정기의 조건

전기장, 자기장을 직접 측정하기 위해서는 일반적인 측정기를 이용하지만, 기본적으로는 안테나부 (급전부를 포함한다), 측정기부 및 데이터 기록 처리 장치로 구성된다. 또한, 이것을 기능면에서 분류하면 다음과 같은 3가지 방법을 생각할 수 있다.

- 전기자장 프로브를 이용하는 방법

광대역 측정계이다. 가장 일반적인 동시에 간편한 방법으로서, 이것을 우선적으로 이용한다.

- 안테나와 주파수 선택성 측정기를 이용하는 방법

협대역 측정계이다. 대상으로 하는 주파수마다 동조를 취하는 방식이다. 이 측정계는 수신 감도가 높고, 응답 시간이 매우 짧다. 복수파에서 주파수 성분의 비를 정확히 측정할 수 있다.

- 안테나와 파형 측정기를 이용하는 방법

광대역 측정계이다. 수신 안테나로서는 광대역안테나를 이용하고, 그 포락선을 가능한 충실히 검출하여 파형을 측정하는 방식이다. 파형 (포락선)을 정확히 측정할 수 있어, 레이더 펄스파의 측정등에 이용한다.

위의 서술 중, 안테나와 주파수 선택성 측정기를 이용하는 방법 및 안테나와 파형 측정기를 이용하는 방법은 원거리장에서는 정밀한 동시에 상세한 방법이지만, 근거리장에서는 보완적인 방법으로 자리 매김 하고 있다.

#### (가) 전자기장 프로브

##### [전자기장 프로브의 개관]

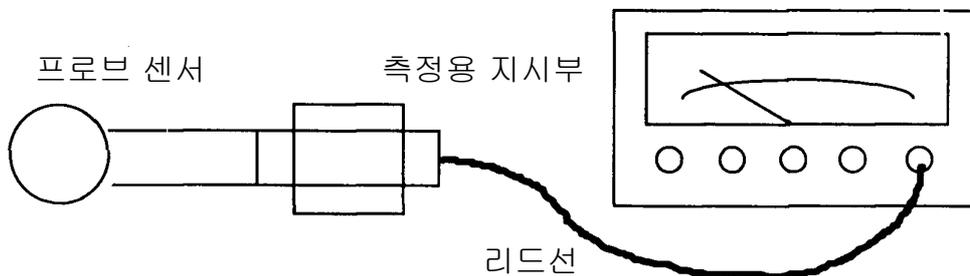


그림 3-5. 전자파강도 측정용 프로브의 구성 예

#### 1) 사용 조건

측정에 있어서 전자기장 프로브가 사용되는 조건은,

① 방사원에 대해서, 단일과가 지배적일 (복수과가 아니다) 것, 또는 복수과하더라도 그 주과수 성분이 전자기 방호 지침의 주과수 특성의 평탄한 영역에 포함되어 있을 것. (또한, 지침 값이 평탄하지 않은 경우라 하더라도, 그 중 가장 엄격한 지침 값을 적용하여 보수적인 평가를 하는 것이 가능하다)

② 과형의 시간적 변동이 없거나, 있다 하더라도 그 변동 주기가 대략1초 이내일 것.

등 모두가 만족되고 있는 경우이다. 따라서, 위 ①의 조건이 만족되지 않은 경우에는 (나)의 시스템을, 또한, ②의 조건이 만족되지 않은 경우에는 (다)의 시스템을 각각 병용하는 쪽이 좋다.

## 2) 공중선 및 검파 방식

전자기장 프로브의 공중선부는1축, 2축 및3축 (등방성)이 있는데, 범용성이 높은 것은3축 (등방성)이다. 등방성이란, 전기장 벡터 또는 자기장 벡터의 절댓값 (의 제곱)을 지정할 수 있는 것을 말한다.

1축인 것은, 어떤 임의의 축에 평행한 성분을 이끌어 내는 것으로, 직선 편파에 유효하다. 2축인 것은, 특정 방향을 향하게 하여 어떤 임의의 면에 평행한 성분을 이끌어 내는 것으로서, 직선 편파, 원 편파 및 타원 편파에 유효하다. 3축인 것은 등방성을 가지고 있기 때문에 임의의 편파에 대해 유효하다.

검파의 방식에는, 다이오드 검파와 열전대 검파가 있다. 열전대 타입인 것은 펄스파의 평균값을 지시할 수 있는 반면, 허용 입력 레벨이 낮기 때문에, 과도한 입력이 있으면 파괴될 우려가 있다. 다이오드 검파 타입은 펄스파에 대한 대응이 좋다고는 할 수 없으므로, 반드시 평균값을 지시한다고는 할 수 없다.

레이더 등의 펄스파에는 열전대 타입의 것이, 또한 방송국 등의 일반 무선국이 발사하는 연속파에는 다이오드 검파 타입이 유효하다.

## 3) 유의 사항

측정의 효율 및 정밀도를 향상시키기 위해, 사용하는 측정계에 관해서는 다음 사항에 대해 유의할 필요가 있다.

- 감도는 방호 지침의 레벨 상하에 충분한 여유를 가진 것을 사용할 것.
- 공간 분해능은, 전자기장 강도의 공간적인 변동의 절반값 폭, 인체의

크기 및 파장에 비해 충분히 작을 것.

- 방사원에 대한 전자기장 프로브의 응답성은 100 kHz 이하의 주파수 영역에서는 1초 이내.
- 측정계는 공중선 부분을 포함하여 종합적으로 교정된 것을 사용할 것.
- 측정계 (시스템)의 특성 및 성능을 충분히 이해할 것.

#### (나) 안테나와 주파수 선택성 측정기

수신 안테나로서는 다이폴, 루프 등, 주파수 선택성 측정기로서는 전자기장 강도 측정기, 스펙트럼 분석기가 주로 이용된다.

또한, 근거리장에 있어서의 측정에는 3축 직교 미소 다이폴 (혹은 루프)가 적합하지만, 일반적으로는 구입하기 어려우므로 특별 주문으로 하는 경우가 많다.

#### (다) 안테나와 파형 측정기

수신 안테나로서는 광대역 안테나, 포락선을 검출하는 다이오드 검파기, 파형 측정기로서는 스토리지 (디지털) 오실로스코프 또는 웨이브 메모리가 주로 이용된다.

### (4) 전자기장 강도 측정 방법

#### (가) 측정 영역

원칙적으로는 사람이 없는 상태에서 사람이 존재할 가능성이 있는 모든 공간을 대상으로 한다. 측정점의 선정은 측정을 실시하는 목적에 따라서 다음과 같이 결정된다.

- 방사원으로부터의 전자기장 분포를 파악하는 것이 목적인 경우에는, 방사원을 중심으로 한 주변의 모든 영역을 대상으로 한다.
- 특정 영역의 안전성을 파악하는 것이 목적인 경우에는, 그 특정의 공간을 대상으로 한다.

#### (나) 측정점 간격

방사원으로부터의 원격 거리는 주위의 모든 물체로부터 20 m 이상 떨어져 있을 것 (방사원의 주파수가 300 MHz 이상인 경우에는 10 cm 이상). 단, 사용하는 안테나와 방사원과의 전자 결합의 영향이 예상되는 경우에는 별도의 검토가 필요하다.

측정점의 결정 방법은 측정 대상 영역에 따라서 다르지만, 정재파에 의한 열점이 발생하는 경우 (전자기장의 급격한 변동이 있는 경우)에는 세밀하게 한다.

또한, 지면으로부터의 높이에 따라서도 전자기장 강도가 변동하기 때문에 필요에 따라서 높이 방향으로도 측정점을 여러 개 선정하는 것이 필요하다.

- 1) 방사원을 중심으로 한 주변의 전체 영역을 대상으로 하는 경우
  - 방사원의 주위를 이산적 (離散的)으로 취한다.
  - 원칙적으로 수평면의 2차원으로 하면 좋지만, 안테나의 지향성으로 인해 높이 방향도 몇 곳 측정한다.
- 2) 특정 공간을 대상으로 하는 경우
  - 소정의 높이에서 수평면 내에 (예를 들면, 직교 좌표계 또는 극 좌표계에서) 격자점을 구하여, 그 교점을 측정점으로 한다. 측정점과 측정점의 간격은 원칙적으로 전자기장의 공간적 변동에 따라 결정되지만 입사 주파수의 주파수 대역에 따라 다음 표 3-1에 의해 선택한다.
  - 안전성의 확인을 할 때 전파 방호 지침의 보조 지침을 적용할 경우에는 두부 및 눈이 위치하는 높이에서의 전자기장 강도도 필요하다.

표 3-1. 측정간격 결정을 위한 표

주파수	1 MHz 미만	1 MHz 이상 10 MHz 미 만	10 MHz 이상 100 MHz 미만	100 MHz 이상	1 GHz 이상
격자 간격 (m)	30 이상	30 ~ 0.3	0.3 ~ 0.03		0.03 이하

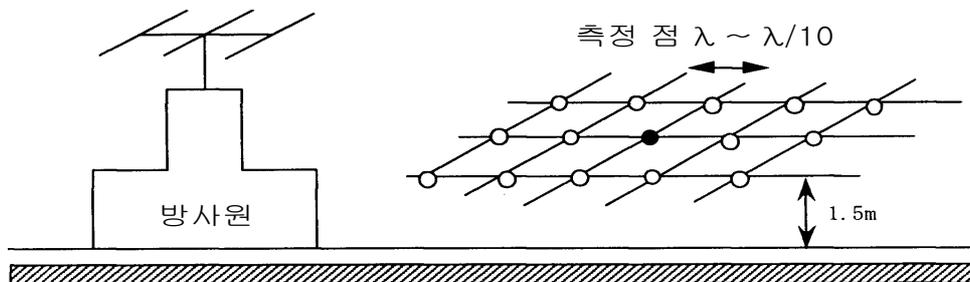


그림 3-6. 측정점 결정의 예시

(다) 측정값의 처리 및 평가

전파 방호 표준 규격 RCR TSD-38의 규격 값은 대상으로 하는 공간의 전자파의 상황에 따라서 시평균, 순시값의 최대값 등으로 나타나고 있다. 따라서, 측정하여 전자기장 강도의 순시값을 그대로 평가하는 것이 아니라, 규격 값과 비교할 수 있도록 측정값을 처리할 필요가 있다.

아래에, 기본적인 측정값의 처리 및 평가 방법에 대해 서술하였다.

1) 평균 시간에 있어서의 시평균값

· 시평균값

전력 밀도가 변화하는 경우에는 평균 시간에 있어서의 평균값을 이용하고, 또한, 전기장 강도 (또는 자기장 강도)가 변화할 경우에는 평균 시간 내에 전기장 강도 (또는 자기장 강도)의 실효치를 자승 평방근(RMS)으로 한 값 (시평균값)을 적용한다.

전력 밀도 및 전기장 강도 (또는 자기장 강도)의 평균 시간에서 시평균값을 구하는 일반식은 다음 식에 나타낸다.

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

$$\bar{E} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |E|^2(t) dt}$$

여기서 T: 측정 시간 (6분)  $\bar{P}$ : 시간T에서의 전력 밀도의 시평균값,  $\bar{E}$ : 시간T에 있어서 전기장 강도 (또는 자기장 강도)의 시평균값, p(t): 전력 밀도 (실효치)의 순시값, E(t): 전기장 강도 (또는 자기장 강도) (실효치)의 순시값이다.

따라서, 전력 밀도, 전기장 강도 또는 자기장 강도의 순시값이 규격 값을 초과하는 경우라 하더라도, 각평균 시간에서의 시평균값이 규격 값을 넘지 않을 경우에는 규격 값을 만족하는 것으로 평가된다.

· 평균 시간1초 이내의 전자기장 강도

평균 시간1초 이내에서의 전자기장 강도에 대해서는 시상수가1초 이하인 측정기를 이용하여 최고값을 구하고, 규격 값을 만족하고 있으면 안전하다고 평가된다.

## 2) 공간 평균값

인체가 점유하는 공간에 해당하는 영역에서 전자기장 강도 분포의 공간적 평균값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\bar{P}(r) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i(r)$$

$$\bar{E}(r) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i(r)^2}$$

여기서

N: 측정값의 수

$\bar{P}(r)$ : 전력 밀도의 공간 평균값

$\bar{E}(r)$ : 전기장 강도 (또는 자기장 강도)의 공간 평균값

$P_i(r)$ : 공간 내의 r점에서의 전력 밀도의 시평균값

$E_i(r)$ : 공간 내의 r점에서의 전기장 강도(또는 자기장 강도)의 시평균값

따라서, 인체가 점유하는 공간에 해당하는 영역에 있어서, 시평균된 전자기장 강도가 규격 값을 넘는 점이 있더라도, 그 공간 내에서의 평균값이 규격 값을 넘지 않을 경우에는 규격 값을 만족하는 것으로 평가된다.

## 3) 복수파의 평가

입사파가 규격 값에 대해 무시할 수 없는 레벨의 복수 주파수 성분으로 이루어진 경우에는 각 입사파의 전력 밀도, 전기장 강도 (또는 자기장 강도)를 측정하여, 각각 규격 값에 대한 비율을 산출하고, 그들의 합계 (전기장 강도 (또는 자기장 강도)에 있어서는 제곱합)을 얻는다. 이 값이 1을 넘지 않으면 규격 값을 만족하는 것으로 평가된다.

또한, 이 처리 방법은 인체가 점유하는 공간에 해당하는 영역의 전자기장 강도 분포의 공간적인 평균값을 구할 경우에도 적용할 수 있다. 다음에 그 일반식을 나타낸다.

$$p = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{L_i}$$

$$e = \sum_{i=1}^N \left( \frac{E_i}{M_i} \right)^2$$

- N: 입사파의 수
- P: 복수파의 전력 밀도 성분의 규격 값에 대한 비율의 합
- e: 복수파의 전기장 강도 (또는 자기장 강도)성분의 규격 값에 대한 비율의 제곱합
- $P_i$ : 전력 밀도 (실효치)의 시평균값
- $E_i$ : 전기장 강도 (또는 자기장 강도) (실효치) 성분의 시평균값
- $L_i$ : 전력 밀도의 규격 값
- $M_i$ : 전기장 강도 (또는 자기장강도)의 규격 값

(5) 기지국 전자파노출량 예측방법

(가) 추정식

1) 안테나가 가장 강하게 전파를 방사하는 방향 (주빔상)에서, 안테나 방사 중심에서의 거리가 수식 (5)의  $R_{nf}$ 보다 먼 영역에서는 구체(球) 모델에 기초한 간이 산출식을 적용한다.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} k \quad (1)$$

- S: 전력 밀도 [ $W/m^2$ ]
- R: 안테나로부터의 거리 [m]
- G: 주빔 최대 절대 이득
- P: 안테나 입력 전력 [W]
- K: 반사파를 고려할 경우에는2.56, 고려하지 않을 경우에는1

2) 안테나가 가장 강하게 전파를 방사하는 방향 (주빔상)에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 수식(5)의 $R_{nf}$ 보다 가까운 영역에서는 원통 모델에 근거한 근사식을 적용한다.

$$S = \frac{P}{2\pi R h} \left( \frac{360}{\theta_{BW}} \right) \quad (2)$$

- S: 전력 밀도 [ $W/m^2$ ]
- R: 안테나로부터의 거리 [m]
- h: 안테나의 크기 (개구 높이) [m]
- P: 안테나 입력 전력 [W]

BW: 주빔 최대 이득에서 3 dB 이득 이하하는 두 방향에서 둘러싼 각도

3) 안테나의 상하 수직 방향에서는 주빔 다음으로 방사 전력이 가장 큰 부빔의 절대 이득  $G(s)$ 를  $G$ 로 대입한 간이 산출식을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.

$$S = \frac{PG(\theta_s)}{4\pi R^2} k \quad (3)$$

S: 전력 밀도 [ $W/m^2$ ]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

P: 안테나 입력 전력 [W]

G(S): 주빔 다음으로 방사 전력이 큰 부빔의 절대 이득

K: 반사파를 고려하는 경우에는 2.56, 고려하지 않는 경우에는 1

4) 안테나 후방에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 수식 (5)의  $R_{nf}$ 보다 먼 영역에서는 수식 (3)을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는, 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.

5) 안테나 후방에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 수식 (5)의  $R_{nf}$ 보다 가까운 영역에서는 주빔에 다음으로 방사 전력이 가장 큰 부빔의 절대 이득  $G(S)$ 와 주빔의 최대 이득  $G$ 의 비로 가중한 원통 모델에 근거한 근사식을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는, 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.

$$S = \frac{P}{2\pi Rh} \left( \frac{360}{\theta_{BW}} \right) \left( \frac{G(\theta_s)}{G} \right) \quad (4)$$

S: 전력 밀도 [ $W/m^2$ ]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

H: 안테나의 크기 (개구 높이) [m]

P: 안테나 입력 전력 [W]

G(S): 주빔에 이어서 방사 전력이 큰 부빔의 절대 이득

G: 주빔 최대 절대 이득

BW: 주빔 최대 이득에서 3 dB 이득 이하하는 두 방향에서 둘러싼 각도

(나) 추정식의 적용 범위

수식 (1) 및 수식 (3)은  $R_{nf}$ 보다 먼 영역에 적용한다. 단,  $R_{nf}$ 은 다음 수식으로 구한다.

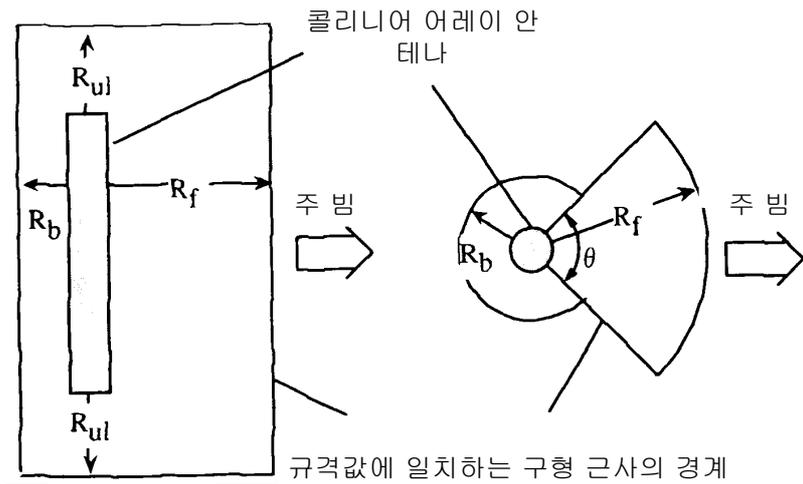
$$R_{nf} = \frac{0.6h^2}{\lambda} \quad (5)$$

수식 (2) 및 수식 (4)는  $R_{nf}$  이내의 영역에 적용한다.

수식 (1)과 수식 (3)에서 반사파에 관한 계수k는 해당 지점에서 대지, 건물 등의 반사물이 있는 경우에  $k = 2.56$ 으로 한다. 반사파의 영향을 고려하지 않는 경우에는  $k = 1$ 로 한다.

(6) 추정 순서

규격 값에 일치하는 거리 영역은 그림 3-7에 나타낸 구형(수직값) 및 부채꼴(수평면)의 기본 모델에 근사하게 한다. (1)부터 (5)항의 추정식을 이용하여 기본 모델의 각 변의 거리를 계산할 수 있다. 이 영역을 추정 순서는 그림에 흐름도로 나타내는 것처럼 정리된다. 여기서  $R_1$ 부터  $R_5$ 는 각 추정식에 전력 밀도의 규격 값을 대입하여 도출된 안테나로부터의 거리이다. 또한, 그림의 부채꼴 근사에 있어서 각도  $\theta$ 는 원거리장의 지향 특성에서 두 개의 제1널 점으로 둘러싸인 각도로 한다. (제1 Null 점: 지향성 감쇠량의 극대점으로서, 최대 이득 방향에 가장 가까운 점).



(a) 수직면에서의 구형 근사 (b) 수평면에서의 부채꼴 근사

그림 3-7. 규격 값을 만족하는 영역의 기본 모델

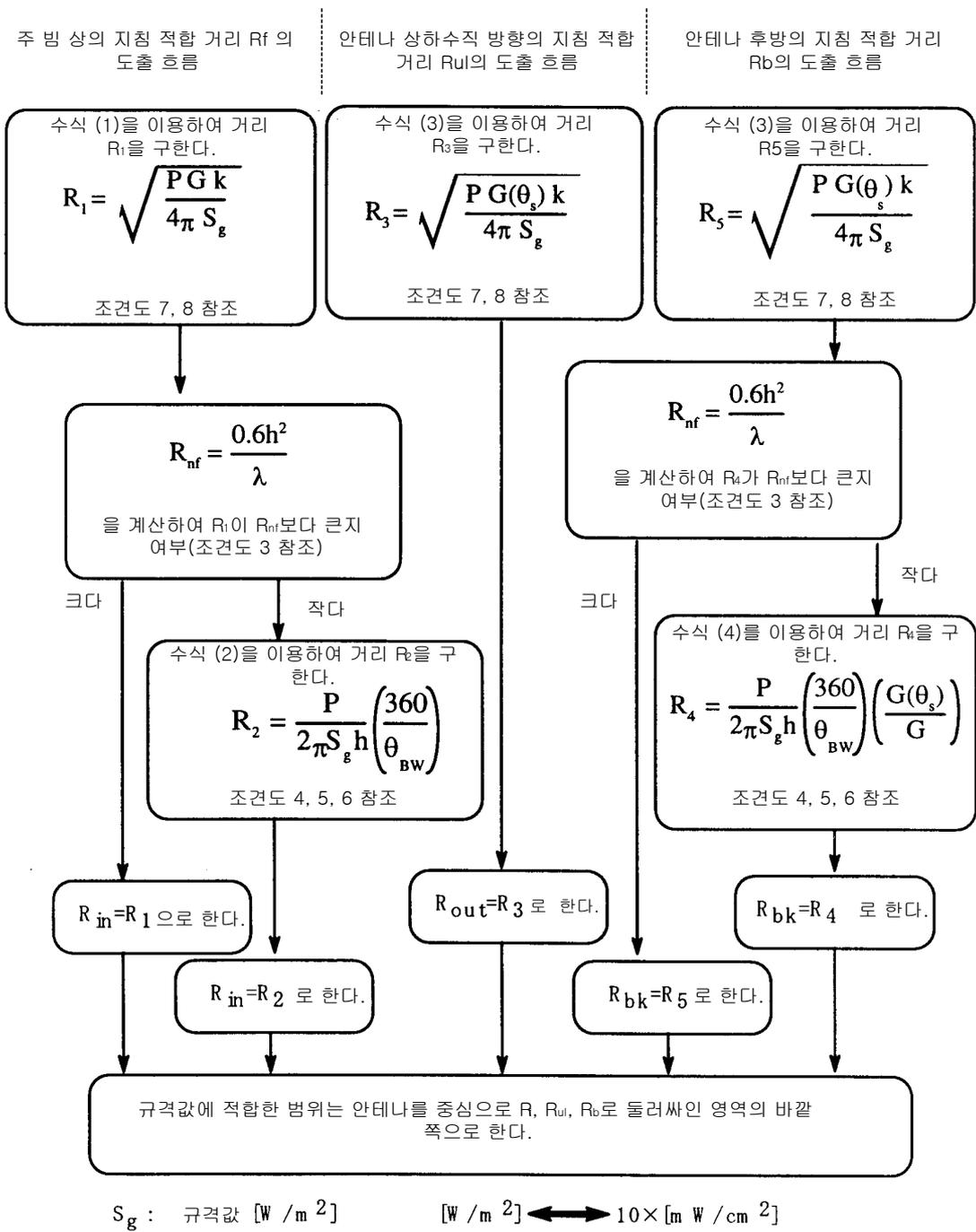


그림 3-8. 추정 순서

다. 미국 FCC OET bulletin 65

(1) 측정방법

FCC가 규정하는 MPE (Maximum Permissible Exposure : 최대 허용

노출) 한계를 초과하는 인체 노출의 가능성을 판단하기 위해, 예측 방법을 사용할 수 없는 경우에는 RF 전자기장을 실제로 측정하여 적합성을 판정한다. 예를 들면, 복수의 사용자를 포함한 안테나 팜 (공용 철탑) 등에서는 전술한 모델이 항상 적용된다고는 할 수 없다. 또한, 예측값이 노출의 임계치보다 약간 크거나, 또는 약간 작은 경우나, 전자기장 내에 있는 도전 구조물 등의 물체에 의하여 전자기장에 중대한 일그러짐이 발생할 가능성이 있는 경우 등에도, 측정이 바람직하다고 할 수 있다.

#### (가) 측정 기기

무선 주파수 대역의 전자파 측정에 사용하는 기기는 광대역 또는 협대역 기기 중 하나이다. 일반적인 광대역 기기는 폭넓은 주파수에 걸쳐서 기본적으로 균등하게 순간적으로 응답하여, 동조의 필요가 없다. 협대역기기도 폭넓은 주파수에 사용되지만, 순간 대역폭은 수kHz로 한정되므로, 특정 주파수에 동조시켜야 한다. 두 가지 타입 모두 각각 장점과 단점이 있으므로, 어느 쪽을 사용할지는 측정 장소의 상황에 따라 달라진다.

RF 전자기장의 측정에 사용하는 기기는 모두 다음과 같은 기본적인 부분으로 구성되어 있다.

- 전자기장의 샘플링을 위한 안테나
- 안테나로부터의 시변 출력을 정상 또는 완만하게 변화하는 신호로 변환하는 검파기
- 신호를 처리하는 전자 회로
- 측정한 전자기장 파라미터를 적절한 단위로 표시하는 판독 장치.

광대역 기기에 가장 일반적으로 사용되는 안테나는 전기장(E)에 응답하는 다이폴 안테나 또는 자기장(H)에 응답하는 루프 안테나이다. 전기장(E)에 응답하는 표면적 또는 변위 전류 센서도 사용된다. 소정의 주파수 폭에 대해 균등한 응답을 얻기 위해, 다이폴 또는 루프 안테나의 크기는 측정하는 가장 높은 주파수의 파장보다 적어야 한다. 등방향성의 광대역 프로브에는 상호 직교하는 다이폴 또는 루프 안테나가 3개 있으며, 응답이 프로브의 방향과 무관하도록 그 출력이 합성된다. 다이폴 또는 루프 안테나의 출력은 다이오드 또는 열전대에 의해 비례하는 정상 전압 또는 전류로 변환되어, 측정된 파라미터가 판독 장치에 표시된다.

광대역 측정 기기에 요구되는 특성이 몇 가지 있다. 아래에 중요한 것을 제시한다.

- 측정 기기의 응답이 기본적으로 등방성이다. 즉, 프로브의 방향이나 회전 각도와 무관할 것.
- 측정 기기의 주파수 범위 및 기기의 그 범위에 대한 응답이 명확할 것. 일반적으로 3 내지 500 MHz 에서 0.5 dB 등과 같이, 어떤 주파수 범위에서의 응답 오류의 형태로 표시된다.
- 사용자가 특정 용도를 위해 기기를 선택하는 것을 돕기 위해, 기기의 대역외의 응답 특성이 메이커에 의해 표시되어 있을 것. 예를 들면, 어떤 대역 외 주파수에 있어서의 응답의 향상 또는 공진은 측정 중에 공진 주파수의 신호가 존재한 경우에는 특정 오류로 연결되는 경우가 있다.
- 측정 기기의 동작 범위가 해당 노출 가이드라인의 적어도 10 dB일 것.
- 측정 기기의 판독 장치가 실제로 측정되는 수량과 맞는 단위로 교정되어 있을 것. 근거리장, 원거리장 중 어느 하나에서도 전기장 프로브는 E 또는 E<sup>2</sup>에, 자기장 프로브는 H 또는 H<sup>2</sup>에 동등하게 응답한다. 그러나, 판독 장치가 전력 밀도의 단위를 나타내고 있으면, 근거리에서 측정할 경우에는 정확한 전력 밀도를 판독할 수 없다. 이것은 E, H, 전력 밀도가 일정한 값 (파동 임피던스, 자유 공간에서는 377 Ω)으로 관련되어 있는 평면파 하의 상태는, 근거리에서는 존재하지 않기 때문이다. 파동 임피던스가 복잡하여 대개 미지이기 때문이다. '전력 밀도'를 나타내는 판독 장치는 실제로는 '원거리 상당의' 전력 밀도, 또는 '평면파 상당의' 전력 밀도를 나타내고 있다.
- 프로브 및 부속 케이블이 측정하는 파라미터에만 응답할 것. 예를 들면, 루프 안테나의 소자는 자기장에만 응답해야 하고, 전기장에 응답해서는 안 된다.
- 전자기 간섭을 저감 또는 배제하기 위해, 측정 기기에 차폐재가 장치되어 있을 것.
- 알람이나 시험 스위치 등, 프로브가 정확하게 작동하여 어떤 구성 요소

도 소진되지 않았다는 것을 확인할 수 있는 수단이 있을 것. 또한, 측정 대상 신호가 기기에 과부하가 되어 있을 경우, 사용자에게 경고하는 수단이 구비되어 있을 것.

- 측정 중에 전자기장의 크기에 변화가 보이는 경우에는, '피크 유지' 회로가 유용하다. 그러한 변화는 발신원으로부터의 출력 변동이나 전자기장 내의 불균일한 부분으로의 프로브의 이동이 원인으로 생각된다.
- 아날로그 타입의 측정 기기는 측정기 자체로의 정전기의 축적으로 인한 표시 오류를 방지하기 위해, 측정기의 표시판이 투명한 전도성의 필름으로 코팅되어 있을 것. 또한, 정전기의 축적으로 인한 오류를 최소화하기 위해, 전자기장 측정기기의 프로브 부분의 바깥 표면이 고저항의 재료로 덮여 있을 것.
- 측정 기기는 교환 또는 충전이 용이한 전지로 작동할 것. 전지가 충분히 충전되어 있는지의 여부를 판단하기 위해, 시험 스위치 등의 수단이 갖추어져 있을 것. 원하는 측정을 실시하는 동안, 전지를 충전 또는 교환하지 않고 규정한 정밀도 내에서 동작 가능할 것.
- 사용자가 측정 기기의 응답 시간 즉, 측정 기기가 안정적인 표시를 나타내는데 필요한 시간을 인식하고 있을 것.
- 측정 기기는 안정성이 있고, 0으로의 재조정을 빈번하게 실시할 필요가 없을 것. 자동재조정 기능이 없는 경우에는 프로브를 차단하거나, RF 발신원을 차단하는 등을 통해, 프로브가 전자기장 밖의 상태에서 기기를 0으로 맞추어야 한다. 어떤 방법도 시간이 걸리기 때문에 안정성은 특히 요구되는 특성이라고 할 수 있다.
- 측정 기기가 온도나 습도, 기압 등의 영향을 받는 경우에는, 영향의 정도가 명확하고, 고려되어 있을 것.
- 측정 기기가 근거리 및 원거리 어느 쪽에서도 측정하는 파라미터에 정확히 응답하도록, 센서 소자가 충분히 작고, 기기가 스푸리어스 응답을 받지 않을 것. 전력 밀도를 표시하는 측정 기기는 원거리에서만 정확한 측정을 나타내는 것에 주의한다. 이러한 경우에 '원거리 상당' 또는 '평면파 상당'의 전력 밀도라고 하는 용어가 사용되는 일도 있는데, 그 의미를 이해하고, 해당 상황에서 적절하게 적용되어 있는 한, 그것들은

인정된다.

- 측정 기기는 변조 특성에 관계없이 피변조 전자기장의 평균 (또는 유효)값에 응답할 것. 레이더의송신기 등 펄스 발신원의 측정에 있어서는 시판중인 측정 기기로는 피크 출력이 높은 펄스 전자기장을 정확하게 측정할 수 없다. 이러한 경우에는 안테나 가까이에서 전자기장을 정확하게 측정할 수 있도록 신중하게 기기를 선택할 필요가 있다.
- 측정 기기는 내구성이 있어, 현장에서의 취급이나 수송 시의 충격이나 진동에 견딜 수 있는 것일 것. 수납 케이스가 갖추어져 있을 것.
- 측정 기기의 정밀도가 빛이나 기타의 주위의 RF 및 저주파 전자기장의 영향을 받지 않을 것.
- 문자판의 표시가 충분히 커서 지시기를 손의 위치에 놓았을 때에도 바늘이 가리키는 위치를 쉽게 읽을 수 있을 것.
- 조작 부분이 확실히 표시되어 있고, 최소한으로 설명되어 있을 것. 조작 절차가 비교적 간단할 것.
- 일반적인 측정기에는 고저항 도선이 이용되어 측정하는 전자기장의 강도가 비교적 적은 경우에는, 특히 일그러짐 잡음의 영향을 받기 쉽다. 따라서 광대역 등방성 측정기를 사용하여 측정기의 검출 능력 중에서도 낮은 레벨의 전력 밀도값 (수  $W/cm^2$  등)을 측정하는 경우에는, 측정값을 유효한 것으로 간주하기 위해서는 낮은 잡음 레벨을 나타내야 한다.
- 복수의 방사원이 있는 환경에서 전자기장을 측정할 경우, 일반적인 RF 광대역 측정기에서는 측정기가 다이오드 검파기의 출력을 종합하는 방법으로, 주파수가 다른 복수의 신호를 정확히 측정하는 능력이 제한되는 일이 있다. 이로 인해, 합계 RF 전자기장이 과대 평가되는 일이 있다. 그러한 예측값은 '최악의 경우'를 나타내는 경우도 있으므로, 적합 목적으로는 인정되지 않지만, 그러한 측정기를 사용할 경우에는 이러한 오류가 발생할 수 있다는 점을 인식해 둘 필요가 있다.

복수 주파수가 존재하는 RF 환경에서 광대역 프로브를 사용한 경우, 주파수에 따른 MPE 임계치의 변동에 대응하는 주파수 의존 응답이라고 하는 유용한 특성이 있다. 그러한지침의 주파수 특성에 대응한 (shaped) 응답 특성

을 지닌 광대역 프로브는 폭넓은 주파수를 사용하여 송신하는 안테나에 의해 RF 전자기장이 발생하는 사이트의 적합을 직접 평가할 수 있다. 이러한 프로브는 복합 RF 전자기장을 해당 MPE값의 비율로 나타낼 수 있다.

RF 전자기장 측정 기기의 또 하나의 실용적인 특성으로서, RF 전자기장의 공간 평균을 자동적으로 결정하는 기능을 들 수 있다. 노출의 MPE 값은 공간 평균으로 표시되고 있기 때문에, 측정중에 데이터 평균이 산출되면 공간에 따라서 변화하는 전자기장의 측정이 용이하게 된다. 공간 평균은 측정기 또는 측정기에 내장된 회로에 부착되어 있는 '데이터 로그 기능'을 사용하여 구해진다.

노출 평가의 목적으로 RF 전자기장의 특성을 명확히 하기 위해 협대역의 측정 기기도 사용할 수 있다. 광대역의 기기에 비해 협대역의 측정 기구는 수백 kHz 정도의 대역에만 응답한다. 전자기장 강도 측정기나 스펙트럼 분석기 등의 협대역 측정 기기는 각 주파수에 동조시키고 각 주파수에서의 전자기장 레벨을 측정하여야 한다. 스펙트럼 분석기는 어떤 주파수 대역에서 주사하여 주파수와 피크 진폭을 저장 및 표시하여 나중에 분석할 수 있다. 각 협대역에서의 측정값을 종합하면 전체 전자기장 레벨을 구할 수 있다.

광대역 측정 기기와 마찬가지로, 협대역 측정 기기도 기본적으로 안테나, 안테나로부터 신호를 운반하는 케이블, 안테나로부터의 출력을 처리하여, 그것을 측정 파라미터에 비례하는 정상 신호로 변환하는 전자 회로, 판독 장치 등 4개 부분으로 구성되어 있다. 협대역 측정 기기에는 로드 (모노폴), 루프, 다이폴, 쌍원뿔, 코니컬 대수 나선형과 같은 안테나 외에, 피라미드형 혼 안테나나 파라볼라 반사기와 같은 개구 안테나 등, 다양한 안테나가 사용된다. 안테나의 이득이나 안테나 계수, 유효 면적 등을 알면 전압이나 전력의 측정값으로부터 적절한 전자기장 파라미터를 구할 수 있다. 케이블 손실도 고려에 넣을 필요가 있다. 특정 주파수에서의 안테나 단자 전압 또는 전력의 측정에는 동조 가능한 전자기장 강도 측정기나 스펙트럼 분석기와 같은 협대역 측정기의 사용이 적절하다. 각각 장점과 단점이 있다.

#### (나) 전자기장의 측정

측정을 개시하기 전에, 노출 상황의 특징을 가능한 한 명확하게 하는 것이 중요하다. 명확하게 해야 할 정보는 다음과 같다.

- 문제의 RF 방사원 및 부근의 방사원의 주파수와 최대 전력.
- 입수 가능한 경우에는 방사원의 신호대 잡음비.
- 작업자 또는 일반 공중이 입회할 수 있는 장소.
- 전자기장이 강력한 부분 ('열점')을 발생시킬 수 있는, 부근의 반사면 또는 도전물체의 위치.
- 레이더 등의 펄스 발신원에 대해서는 펄스폭, 반복률 및 안테나의 주사 속도.
- 해당하는 경우에는 안테나의 이득과 수직 및 수평 방향의 방사 패턴.
- 방사원의 변조 종류.
- 안테나의 편파
- 근거리의 누설원 가까이에서 측정을 할지, 평면파의 상태에서 측정할지, 필요한 측정의 종류에 따라 사용하는 측정 프로브, 교정 조건, 방법이 다르다.

가능한 경우에는 적절한 측정 기기의 선택에 도움이 되기 위해 최대 전자기장 레벨을 예상하면 좋다. 인체는 전기장으로부터의 에너지를 더 많이 흡수하기 때문에 전기장쪽이 보다 유해하게 될 가능성이 높기 때문에, 안전을 고려하여 전기장 (또는 전기장으로부터 발생하는 원거리장 상당의 전력 밀도)를 앞서 측정한다. 대부분의 경우, 처음 모든 방사원으로부터의 모든 방향의 모든 전자기장을 정확하게 측정할 수 있는 광대역 측정 기기를 사용하여 측정을 하는 것이 최선의 방법으로 생각된다. 입회 가능한 장소에서 전체 전자기장 레벨이 해당 노출 가이드라인을 초과하지 않고, 사용한 측정 방법이 충분히 정확하다면, 그러한 판단에 따라 해당 가이드라인으로의 적합이 표시되고, 그 이상의 측정은 불필요하게 된다.

광대역 측정 기기를 사용할 경우, 프로브를 천천히 움직여서 인체의 수직 단면 (투영 면적)에 거의 상당하는 범위를 주사하여, 노출 레벨의 공간 평균값을 구할 수 있다. 평균값은, 이 주사 프로세스 중에 측정기의 표시를 판독하여 예측한다. 공간 평균을 나타내는 측정기에서는 평균값이 직접 표시된다. 노출 레벨의 공간 평균값에 대해서는, ANSI/IEEE 및 NCRP 문서에 자세한 것이 서술되어 있다. 최대 전자기장 레벨의 측정도 바람직하다. 측정 기기에 '피크 유지' 기능이 있는 경우, 측정기의 취급 설명서에 따라서 피크값

을 읽어내어 최대값이 구해진다. 피크 유지 기능이 없는 경우에는 주사 중에 피크 값을 기록하면 된다.

피크 값이 발생하는 장소를 나타내기 위해서 '열점'이라는 용어가 사용되고 있다. 피크값은 도전 물체의 가까이에서 발생하는 일이 많기 때문에, 적합성의 평가에 있어서 그러한 측정 장소를 선택하는 것에 대한 유효성에 의문이 생긴다. ANSI C95.3의 가이드라인에 따르면, 적합성 판단을 위한 전자기장 강도의 측정은 '어떤 물체로부터도 20 cm 이상 떨어진 지점'에서 실시하여야 한다고 규정되어 있다. 따라서, 20 cm의 기준이 만족되고 있는 한, 이러한 피크값은 그 지점에서의 전자기장 레벨을 나타내고 있다고 간주하여야 한다. 그러나 평균 노출 레벨에 관해서는, 그 장소로의 입회가 제한되어 있거나, 그 장소에 있는 시간이 제한되어 있다면, 그러한 국부적인 값은 문제가 되지 않는다. 대부분의 광대역 측정 기기는 프로브에 5 cm의 분리된 부분이 포함되어 있는 것에 주의가 필요하다.

대부분의 경우, 복수의 RF 방사원이 존재한다. 예를 들면, 방송 안테나 팜이나 다목적 철탑 등에서는 AM, FM, TV, CMRS, 마이크로파 등, 다양한 RF 방사원이 존재할 수 있다. 또한 옥상 사이트에는 일반적으로 다양한 CMRS 안테나가 설치되어 있다. 이러한 상황에서는 전자기 환경의 특징을 완전히 명확하게 하기 위해, 광대역 및 협대역의 측정 기기를 병용하는 방법이 유효하다. 광대역의 측정 기기를 사용하여 전체 전자기장 레벨을 판단하여, 광대역 기기에서 해당 MPE 임계치 중 가장 엄격한 것을 초과하는 경우에는, 협대역 기기를 사용하여 각 신호의 전자기장 전체에 대한 상대적인 영향을 판단하는 것이 필요하다. 전술한 'shaped' 프로브도 전자기장 전체의 레벨을 MPE 임계치의 비율로 나타낸다.

옥상 등, 단속적으로 동작하는 안테나에 작업자가 접근할 가능성이 있는 경우에는 측정을 통해 사이트에 있는 다양한 송신기의 듀티 사이클이 동반하는 불확실성을 최소한으로 함으로써, 최대 노출 레벨의 보수적인 예측값을 구할 필요가 있다.

방송국 사이트에서는 주안테나 외에 예비 (스탠바이) 안테나가 있는지 여부를 파악하는 것이 중요하다. 예비 안테나가 있는 경우에는 주 안테나 또는 예비 안테나 중 지면에 가까운 쪽의 안테나가 입회 가능한 장소에서 가장

높은 RF 전자기장 레벨을 발생시킬 것으로 생각되지만, 양쪽 안테나의 영향을 적절하게 평가하여야한다.

약300 MHz를 초과하는 주파수에서는 일반적으로 전기장 (E) 또는 전기장의 제곱 평균값을 측정하는 것만으로 충분하다. AM 방송용 주파수 대역 등, 30 MHz 이하의 주파수에 대해서는 MPE 임계치에 대한 적합성 평가를 위해 전기장 및 자기장 양쪽을 측정할 필요가 있다. 30 내지 300 MHz의 주파수에서는 분석을 통해 전기장 또는 자기장의 어느 한쪽의 측정으로 충분히 적합성을 판단할 수 있는 경우가 있다. UHF TV국 등, 고주파수의 방사원을 동반하는 사이트에서는 자기장 프로브에 사용되고 있는 루프 안테나가 대역의 공명에 영향을 주기 때문에, 전기장 측정만 필요하다.

대부분의 상황에서, 반사나 다중 간섭으로 인해 발생할 수 있는 강력한 전자기장의 장소를 공간적으로 결정하기 위해 비교적 다수의 데이터 샘플링이 필요하다. 일반적으로 작업자가 입회하는 장소나 일반 공중의 입회가 가능한 장소에서는 상세하게 측정함으로써 노출의가능성을 판단할 필요가 있다.

협대역 측정 기기 및 선형 안테나를 사용하는 경우에는, 각 측정 지점에 있어서 상호 직교하는3개의 안테나 방향의 전자기장 강도를 구하여야 한다. E2또는H2의 값은 대응하는 직교 전자기장 성분의 제곱의 합과 같아진다.

개구 안테나를 사용하는 경우에는 예를 들면, 코니컬 대수 나선형 안테나 등과 같이, 시험 안테나가 면 내의 모든 편파에 균등하게 응답하지 않는 한, 최대값을 얻기까지 방위각 및 양각을 회전시킬 필요가 있다. 다음에 안테나를 진행방향의 축을 중심으로 회전시키면서 측정을 반복하여 수평 및 수직 편파의 전자기장 요소를 측정한다. 반사환경 또는 근거리 환경에서 개구 안테나를 사용할 때에는 마이너스의 오류가 얻어지는 경우가 있다는 점에 유의한다.

측정을 실시할 때에는 오류의 발생을 최소한으로 억제하기 위한 순서에 따를 필요가 있다. 예를 들면, 전자기장의 편파가 명확한 경우에는, 측정 기기에 접속해 있는 모든 케이블을 전기장과 수직 방향으로 유지하여, 픽업을 최소한으로 억제할 필요가 있다. 케이블의 픽업에 의해 커다란 오류가 발생할 가능성이 있기 때문에, 이상적으로는 광섬유 등과 같은 비도전성 케이블을 사용하는 것이 바람직하다.

약 10 MHz 미만의 주파수에서는 측정 기기 전체 (프로브 및 판독 장치)와 전자기장과의 상호 작용이 커다란 문제가 될 가능성이 있기 때문에, 이들 주파수에서 전기장을 측정할 때에는 내장식 측정기 또는 광섬유에 접속된 프로브를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 약 1 MHz 미만의 주파수에서는 측정자의 인체가 안테나의 일부로 되는 일이 있는데, 프로브/케이블의 픽업 및 기기/인체의 상호 작용에 의한 오류는 나무나 스티로폼 등으로 된 유전 구조 상에 프로브 및 전자 기기를 놓음으로써 저감할 수 있다. 어떤 경우에도 반사나 전자기장의 산란으로 인한 오류를 최소한으로 하기 위해 측정 장소에는 필요한 사람 이외에는 입회하지 않도록 하는 것이 바람직하다.

비교적 전자기장 레벨이 높은 장소에서는 프로브를 고정하고 판독 장치를 회전시켜, 접속 케이블을 움직여서 측정값을 판독하면 좋다. 또한, 프로브의 센서 전체를 금속 호일로 덮어, 측정값을 읽어내는 것도 좋은 방법이다. 의미 있는 변화가 보이는 경우에는 일반적으로 전도의 픽업이나 간섭이 있는 것을 나타내고 있다. 위에서 말한 환경에서 전자기장 강도계 또는 스펙트럼 분석기를 사용하는 경우에는 안테나 케이블을 가끔 분리하여 임피던스 정합 단자와 교환해보는 것도 바람직하다. 장치에 어떤 값이 표시된 경우에는 픽업 또는 간섭이 있는 것이다.

전술한 바와 같이, 0위치가 어긋남으로 인해 의미 있는 오류가 발생하는 일이 있다. 0맞춤이 필요한 기기를 사용할 경우에는 어긋나는지 여부를 수시로 확인할 필요가 있다. 그 때에는 프로브를 금속 호일에 두거나, 프로브를 전자기장 외부에 놓거나, 또는 이상적으로는 발신원을 차단한 상태에서 실시한다.

복수의 방사원 및 주파수가 존재하는 혼합 또는 광대역 전자기장의 FCC 가이드라인에 대한 적합성에 대해서는, 각 주파수 대역의 전력 밀도 (또는 전자기장 강도의 제곱)의 임계치에 대한 비율을 구하여, 모든 주파수대역의 영향을 합계한 값이 1.0 또는 100%를 넘지 않도록 한다. 전술한 바와 같이, 이러한 환경에서는 'shaped' 응답 기능을 가진 프로브가 유용하다.

## (2) 예측방법

FCC OET Bulletin 65 Ed. 97-01에 의하면 원거리장에서 안테나에 의한 전력 밀도  $S$ 를 예측할 수 있는 식은 다음의 3 종류이다.

$$S = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \quad (6)$$

$$S = \frac{EIRP}{\pi R^2} \quad (7)$$

$$S = \frac{2.56 EIRP}{4\pi R^2} \quad (8)$$

$S$  : 전력밀도 (  $W/m^2$  )

$EIRP$  : 실효등방성복사전력 (Effective Isotropic Radiated Power) (W)

$R$  : 안테나 중심까지의 거리 (m)

윗 식에서 (6)은 지표면 반사를 고려하지 않은 식이며 (7)는 지표면 100% 반사를 가정한 식, (8)은 미 환경청 (EPA, Environmental Protection Agency)에서 개발한 지표면 반사모델을 적용한 것이다. 미국 기지국 EIRP 규제의 근거를 계산하는 데에는 (8)번 식이 쓰인 것으로 보인다.

(8)번 식을 이용해  $EIRP$ 를 전력밀도와 거리의 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$EIRP = \frac{4\pi R^2 S}{2.56} \quad (9)$$

FCC의 일반인에 대한 전력밀도 기준레벨  $S$ 는 750 MHz에서  $5 W/m^2$ 이다. 또한 안테나의 높이가 10 m이고 일반인의 최대신장이 약 1.85 m라고 가정할 경우 최악의 상황을 고려하면 머리에서 안테나까지의 거리  $R$ 은 8.15 m이다. 이 값을 (9)번 식에 대입하면  $EIRP$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$EIRP = \frac{4\pi \times 8.15^2 \times 5}{2.56} \approx 1630.25 \text{ (W)} \quad (10)$$

### 3. 기지국 전자파강도 예측방법 및 측정방법 연구

가. 기존 기지국 전자파강도 연구의 한계 및 본 연구의 접근 방법

실제 기지국의 전자파강도를 측정하여 전자파 노출특성을 파악하고 노출량을 예측하기 위한 연구는 전자파 인체영향 초기부터 지금까지 지속적으로

발표된 바 있다. 그러나 실제 기지국의 전자파강도를 측정하여 전자파 노출 특성을 연구하는 접근은 다음과 같은 단점이 존재한다.

첫째, 실제 기지국의 안테나 기울기 및 출력 등을 자유롭게 설정할 수 없으므로 입수된 제원에 의지할 수밖에 없다. 그러나 실제 기지국은 사용자 수가 증가하면 출력이 올라가고 사용자가 적어지면 출력이 낮아지는 등 사용자 수의 증감에 따라 출력 변화가 존재한다.

둘째, 실제 기지국을 대상으로 하는 연구는 기지국 설치 장소를 옮기기가 어려우므로 설치 장소에 대한 조건을 연구자가 원하는 대로 맞추기 어려우며, 사람이 접근 가능한 노출 지역도 제약을 받는다.

셋째, 인접 기지국과 외부 전파 유입에 취약하다. 근거리에서는 실험 대상 기지국의 전자파강도가 강하므로 동일 주파수를 사용하는 인접 기지국과 외부 전파를 무시할 수도 있다. 하지만 거리가 멀어질수록 상대적으로 실험 대상 기지국이 발생시킨 전파와 외부 전파 유입을 구분하기 힘들어진다.

그리고 앞에서 살펴본 ITU, 미국 및 일본 등이 표준화한 기지국 전자파 노출에 대한 예측방법은 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

첫째, 기지국의 적합성 평가나 안전영역 결정을 위한 예측이므로 실제 가능한 노출량보다 과대하게 계산 결과가 도출되는 경향이 있도록 의도적으로 경로손실은 무시되어 있으며 반사파 영향은 과대평가되어 있다.

둘째, 근거리장 영역 이내의 거리에서 보통 부정확하며 사용할 수 없다. 기지국 안테나 크기와 파장의 관계 함수에 따라 근거리장 영역의 거리가 구해지는데, 파장이 짧은 PCS 대역의 기지국이 큰 안테나를 사용할 경우 근거리장 영역은 10 m까지 확대되기도 한다.

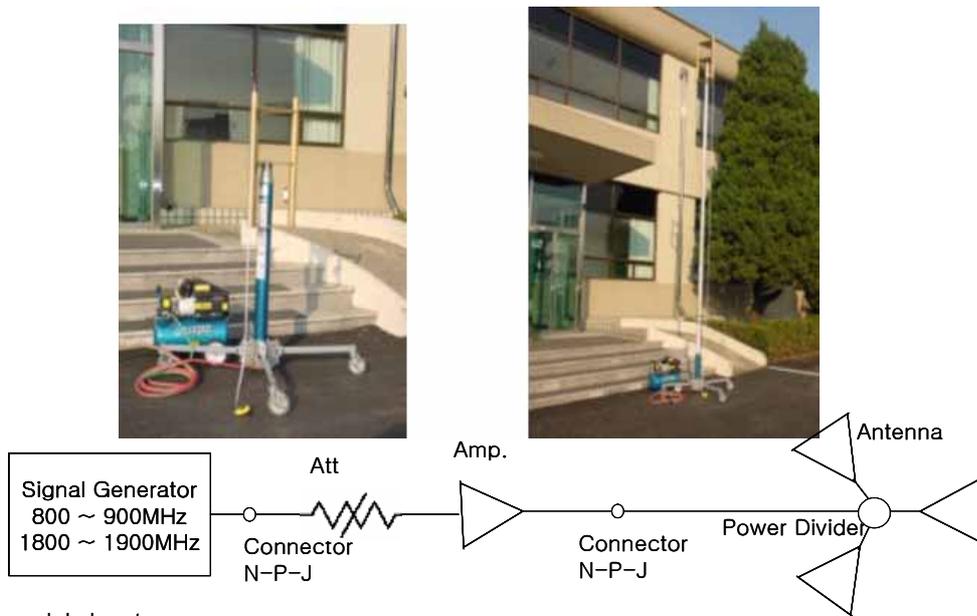
이러한 기존 연구와 외국 표준들의 단점을 보완하고 정확한 기지국 전자파노출량을 예측하기 위하여, 기지국 전자파 노출을 근거리장 영역과 원거리장 영역으로 나누고 근거리장 영역에서의 노출은 수치해석으로 접근하고 원거리장 영역은 모의 기지국을 이용한 측정을 수행하였다.

수치해석적 방법은 근거리장 영역에서 전자파흡수율을 직접 제공해줄 수 있는 장점이 있으나, 실제 기지국 안테나와 모의인체의 모델링이 까다롭고 영역이 넓어질수록 계산시간이 기하급수적으로 증가하는 단점이 있으므로 10 m 이내의 좁은 영역의 전자파 노출량 계산에만 한정적으로 이용하였다.

모의 기지국을 이용한 실험 측정 결과는 근거리장 영역에서 정확한 예측 방법을 제공하지는 않으나 원거리장 영역에서 기지국 전자파 노출량을 손쉽게 파악할 수 있는 장점이 있으므로 본 연구에서 주로 이용하였다.

#### 나. 모의 기지국을 이용한 전자파 노출량 측정시험

원거리장 영역에 대한 기지국 전자파 노출량 예측모델의 수립을 위하여 지상에서 5.7 m 높이까지 기지국 안테나를 상승시킬 수 있는 모의 기지국을 도입하고 이를 시험에 이용하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 모의 기지국은 전자파 노출량에 영향을 미치는 기지국의 주요 제원을 연구자 마음대로 설정할 수가 있는 본 연구의 핵심적인 도구이다. 그림 9는 모의 기지국 사진과 그 구성이다.



Radio Research Laboratory

그림 3-9. 모의기지국 사진과 구성

모의 기지국에 설치된 안테나는 셀룰러와 PCS 각각 1개 씩으로 실제 기지국에 많이 설치되는 국내 H사 제품이다. 모의 기지국에 설치한 셀룰러와 PCS 안테나의 제일 중요한 특성인 방사 패턴에 관한 데이터는 전자파 측정 센터의 안테나 측정시설을 이용하여 자료를 얻었으며, 외부 기지국 전자파 유입과 해당 주파수 대역에서 전파 잡음이 적은 장소인 전파연구소 이천분소를 선택하여 전자파 노출량 시험을 실시하였다.

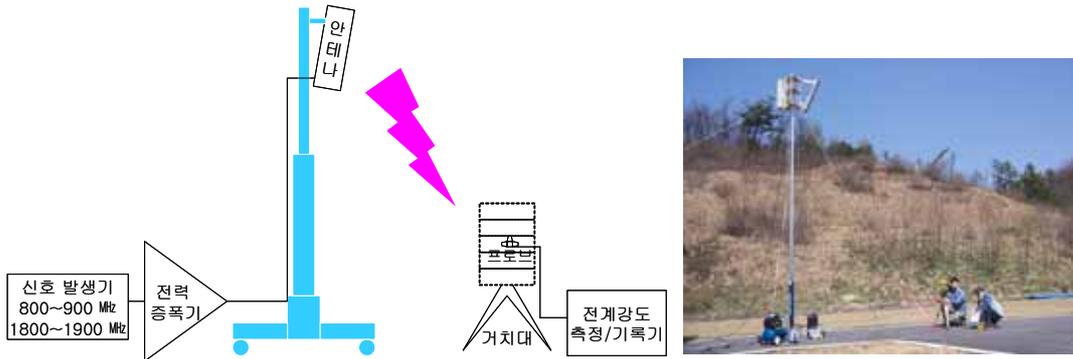


그림 3-10. 모의 기지국 노출 시험 구성과 시험 장면

시험은 두 가지 조건으로 수행되었는데, 첫 번째는 기지국 안테나의 경사각을 0도로 조정 한 후 모의 기지국을 4.2 m 높이로 올리고 기지국 안테나와 동일 높이에 프로브를 설치하여 3 ~ 100 m 거리에서 셀룰러와 PCS 안테나에 의한 전자파 노출량을 측정하였으며, 두 번째는 시험과 기지국 안테나의 경사각을 20도로 조정 한 후 모의 기지국을 5.5 m 높이로 올리고 지상 1 m 높이에 프로브를 설치하여 3~100 m 거리에서 셀룰러와 PCS 안테나에 의한 전자파 노출량을 측정하였다. 이 때 기지국 안테나에 공급한 전력은 1 W이며 편의상 850 MHz, 1750 MHz, 1950 MHz의 세 개의 주파수를 사용하였다.

첫 번째 조건의 실험 결과에서 얻어진 측정값은 거리에 따라 일정하게 감소하는 형태를 보여주고 있으나 근거리의 노출량은 ITU-T K.52 등이 예상 하는 노출량보다는 확연히 작은 값으로 나타났다.

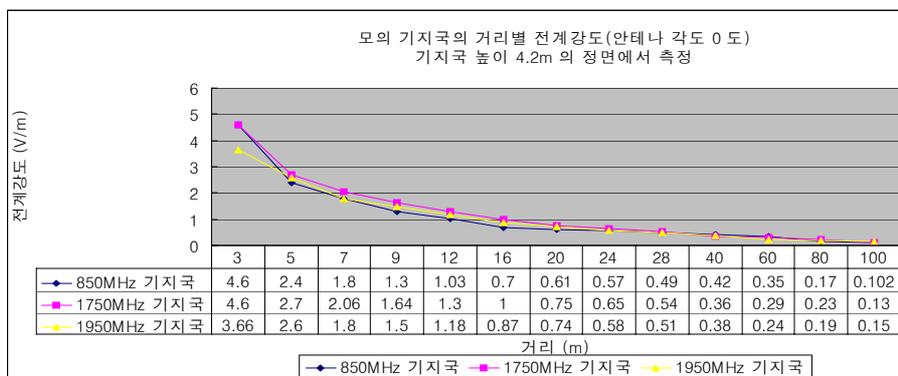


그림 3-11. 모의 기지국에 의한 노출 시험 결과(각도 0도, 기지국 동일 높이)

두 번째 조건의 실험결과에서 얻어진 측정값은 ITU-T K.52 등을 이용하여 얻어진 예상된 노출량과 그 전체적인 패턴은 비슷하였으나 그 크기와 세부적인 양상이 다르게 나타났으며, 이는 경로손실 및 지면반사의 영향이 국제표준과 동일하지 않으며, 정확한 노출 예측방법 정립을 위해서는 이에 대한 추가 반복시험을 통하여 각각에 대한 정확한 계수를 파악해야 함을 확인할 수 있었다.

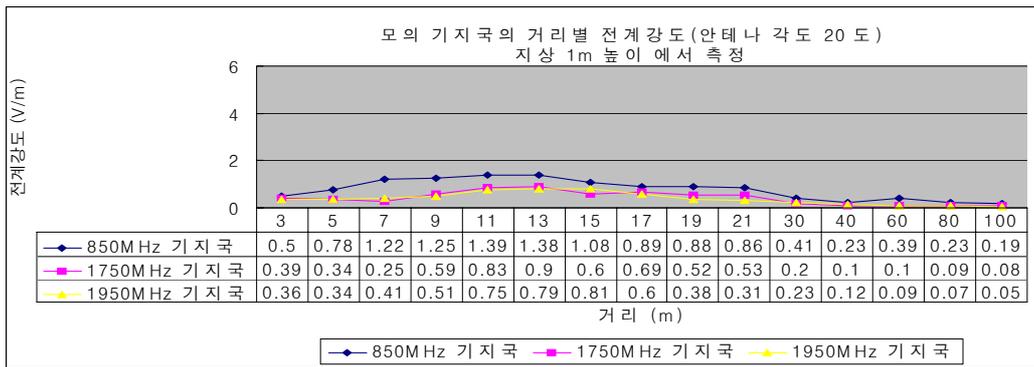


그림 3-12. 모의 기지국에 의한 노출 시험 결과 (각도 20도, 지상 1 m)

다. 수치해석을 이용한 전자파 노출량 측정시험

근거리장 영역에서의 기지국 전자파 노출량 평가는 수치해석을 통한 접근 방법을 시도 중에 있다.

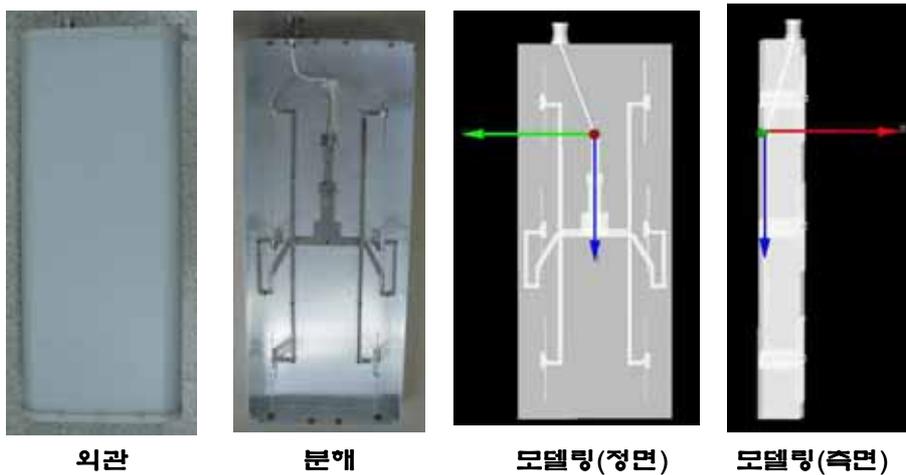


그림 3-13. 수치해석을 위한 안테나 모델링

수치해석을 통한 근거리장 영역의 기지국 전자파 노출량 평가는 다음과 같은 단계로 진행되고 있다.

처음은 기지국 안테나를 분해하여 그 내부 구조를 모델링한 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 모델링한 안테나의 전자기장 형성이 안테나 이론에 맞는 지와 그 원거리장 패턴이 측정된 결과와 일치하는지를 검증하는 단계이다.

다음은 가상 인체에 대한 모델링을 구현하는 단계이다. 가상 인체는 실제 인체의 피부와 근육 등의 조직의 전자파에 대한 특성이 동일하도록 만들어진 컴퓨터 저장장치에만 존재하는 데이터베이스이다.

네 번째 단계는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 상에서 안테나 모델 앞에 가상 인체를 위치시켜 가상 노출을 실시하는 것으로 가상 인체의 전자파 흡수율을 파악할 계획이다. 가상 노출은 10 m 거리까지 약 0.5 내지 2 m 간격으로 실시할 예정이나 컴퓨터 계산속도의 한계가 있으므로 정확히 몇 회의 실험을 실시할 지는 상황에 따라 변경될 수 있다.

최종 작업은 이렇게 파악한 전자파 흡수율 가상 노출 결과를 바탕으로 역으로 근거리장 영역에서의 전자파 노출량을 계산할 수 있는 예측식을 유도하는 것이다.

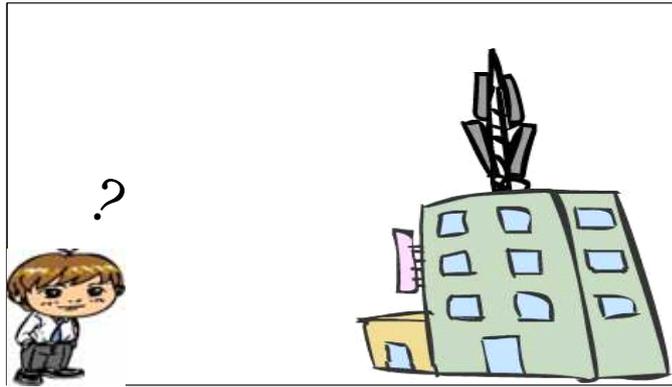
현재 진행 단계는 처음 단계로 그림 3-13은 기지국 안테나를 분해하여 컴퓨터 시뮬레이션이 가능하도록 모델링한 결과를 보여주고 있다.

#### 라. 기지국 전자파 계산 프로그램

모의 기지국을 이용한 원거리장 영역에서의 기지국 전자파 노출량 측정 시험 결과를 응용하여 사용자가 사용자와 기지국 사이의 거리 및 높이와 같은 간단한 정보만 입력하면 전자파 노출량이 쉽게 계산되고 경우에 따라 좀 더 상세한 정보를 입력하여 좀 더 정확한 전자파 노출량을 계산할 수 있는 인터넷상에서 동작 가능한 프로그램을 개발하였다.

또한, 생활 속에서 많이 사용되는 가전제품, 전력선 등에서 나오는 전자파를 쉽게 이해할 수 있도록 하였으며, 일반인들에게 생소한 용어에 대한 자세한 해설 및 친근감을 줄 수 있는 프로그램 소개용 애니메이션도 추가하였다.

그림 3-14는 프로그램 소개 애니메이션을 제작 초기 단계에서 개념 수립용으로 스케치한 것으로 배경 그림과 캐릭터 등에 대한 2회 이상 수정을 거쳐 그림 3-15와 같이 최종 단계의 프로그램 소개 애니메이션이 되었다.



- 플래시 애니메이션

캐릭터가 길을 가다 옥상의 기지국 안테나를 보고 궁금해 하며, 각위치(건물내에서 밖을 쳐다보기, 집에서 밖을 쳐다보기)에서 궁금해하는 장면을 삽입

이때 전자파에 궁금증을 유도하는 방향으로 진행

그림 3-14. 프로그램 소개 동영상 초기 개념



그림 3-15. 프로그램 소개 동영상 최종 완성 형태

그림 3-16은 생활 속에서 많이 사용되는 가전제품, 전력선 등에서 나오는 전자파의 특성과 그 세기를 쉽게 알 수 있는 생활 전자파의 개념 수립용 스케치로서 이 역시 여러 번 수정을 거쳐 그림 3-17의 최종 단계로 개발되었다.

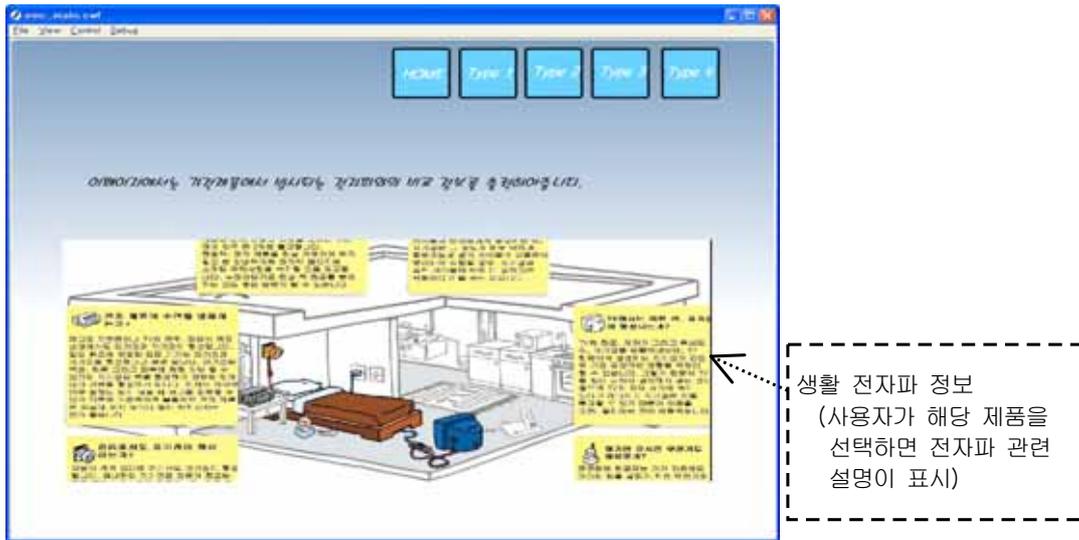


그림 3-16. 생활속 전자파 초기 개념



그림 3-17. 생활속 전자파 최종 완성 형태

주 프로그램이라고 할 수 있는 기지국 전자파 계산 프로그램은 일반인들이 사용하기 쉽도록 만들어진 간단계산과 좀 더 전문적인 지식을 가진 사용자들에게 적합한 상세계산으로 나누어 개발하였다. 그림 3-18과 그림 3-19는 각각 간단계산의 개념 수립 단계와 최종 개발 형태이며, 그림 3-20과 그림 3-21은 각각 상세계산의 개념 수립 단계와 최종 개발 형태이다.

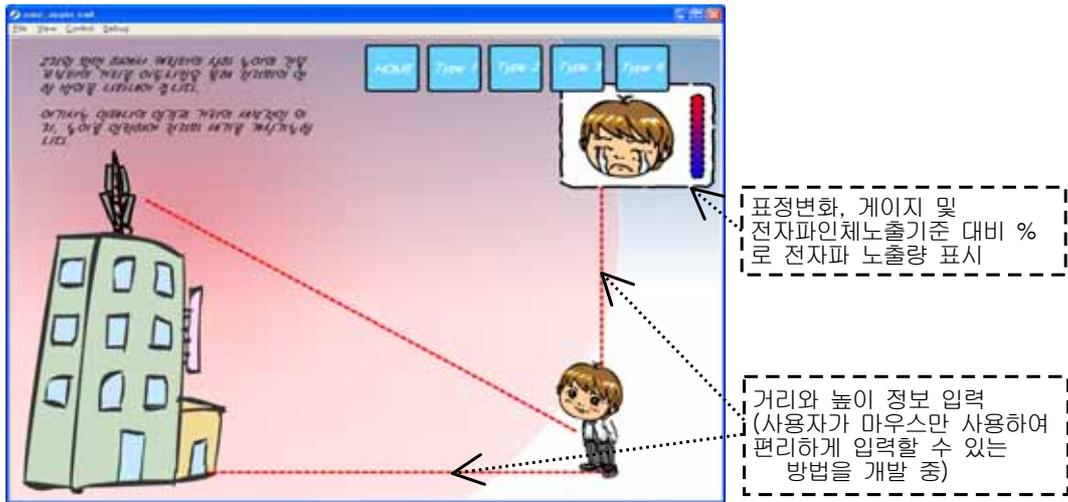


그림 3-18. 간단계산 초기 개념



그림 3-19. 간단계산 최종 완성 형태

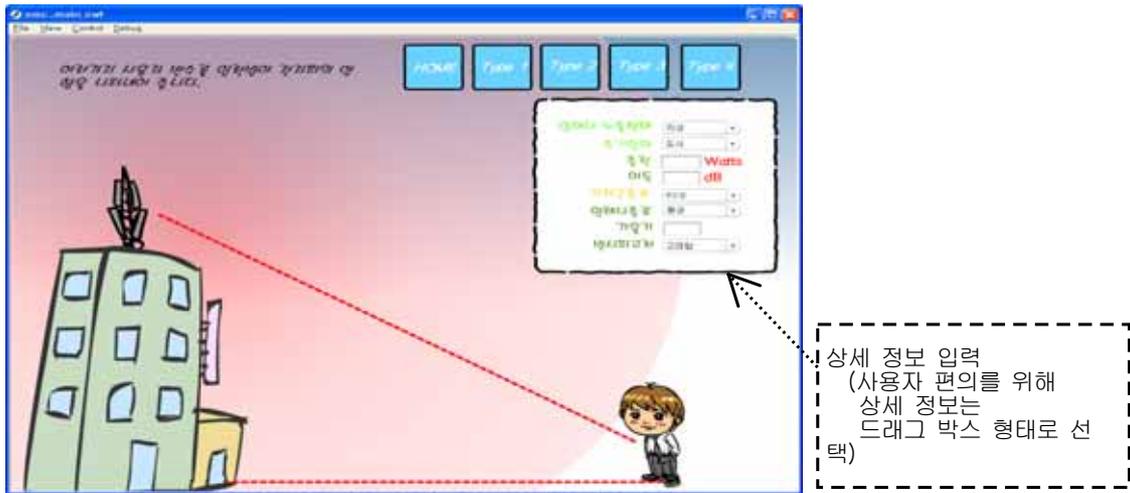


그림 3-20. 상세계산 초기 개념



그림 3-21. 상세계산 최종 완성 형태

## 제 4 장 SAR 시스템의 유효성 오차 개선 연구

일반적으로 사용하는 SAR 측정시스템의 측정 불확정도는 약 28% 정도로 상당히 크다. 그러한 이유로 국내에서는 시스템에 의해 측정된 결과에 대한 신뢰성을 확보하고 측정 장비나 시험기관간 오차를 줄이기 위해 별도의 표준시험방법을 두었다. SAR 표준시험방법에는 시험전 시스템의 유효성 시험을 반드시 시행하고 측정된 유효성과 이론적 계산값과 비교하여 측정 당시 시스템의 정확도를 가늠하여 측정결과에 반영함으로써 측정 결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다. 그러나 단순한 모양의 평면 모의인체와 다이폴 안테나를 이용한 유효성 시험에서 조차도 불확정도 오차는 간과할 수 없을 정도로 상당히 큰 값을 가지고 있으며, 측정결과와 정확도를 좌우하는 SAR 프로브의 교정 시험에서도 기준 신호 제어시 포함된 오차는 상당히 크다.

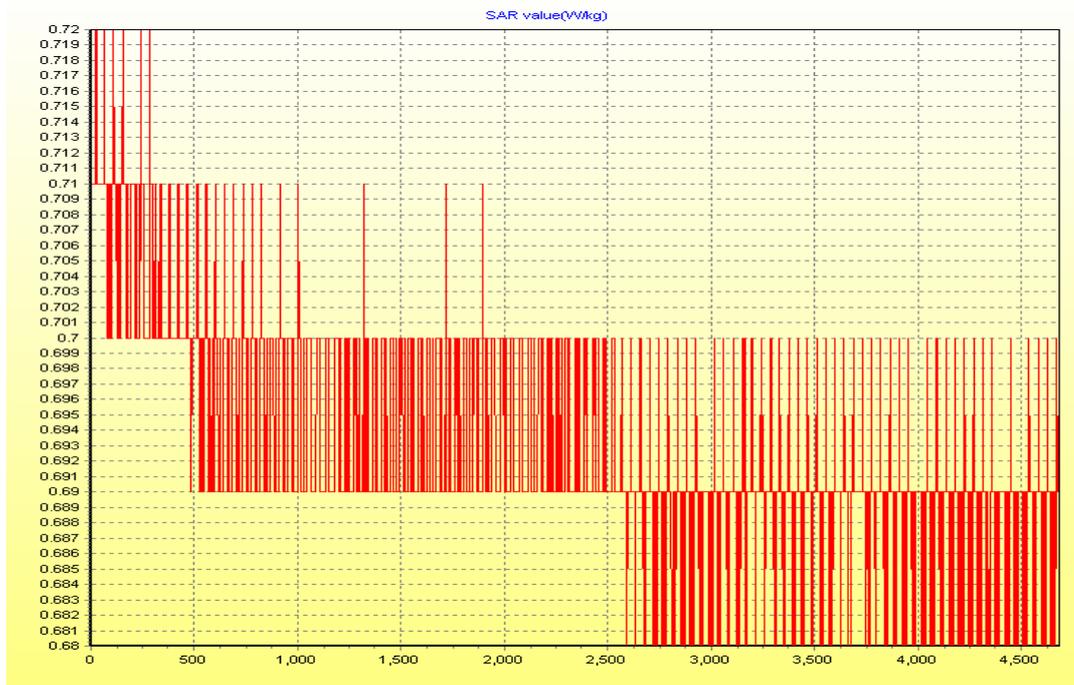


그림 4-1. SAR 측정시스템에서의 모의조직내 SAR값 변화

그림 4-1은 SAR 측정시 모의인체 내부에서 시간에 따른 SAR값의 변화를 보여주고 있다.

본 장에서는 이러한 오차를 개선하기 위한 연구를 수행하였으며 유효성

시험에서 사용하는 기준 신호의 출력이나 교정시험시의 기준 신호의 출력을 정확히 제어함으로써 전반적인 SAR 측정 불확정도를 개선하고자 하였다.

본 연구에서는 기존의 시스템에서 사용하고 있는 방법을 이용하여 기준 신호의 출력 오차를 측정하였으며, 출력을 제어할 수 있는 프로그램을 제안하고 이를 이용하여 출력 오차를 측정하였다. 마지막으로는 이미 이러한 출력에 의한 오차를 줄이기 위해 개발되어 상용화된 출력제어용 기기를 이용하여 출력 오차를 확인하여 보았다.

위에서 언급한 3가지 조건에 대한 오차 측정 방법에 대한 정확한 출력 측정을 위해 애질런트의 VEE 프로그램을 이용하여 시스템의 출력 변화를 측정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 그림 4-2은 개발된 프로그램을 이용하여 측정한 출력변화를 나타낸 것이다.

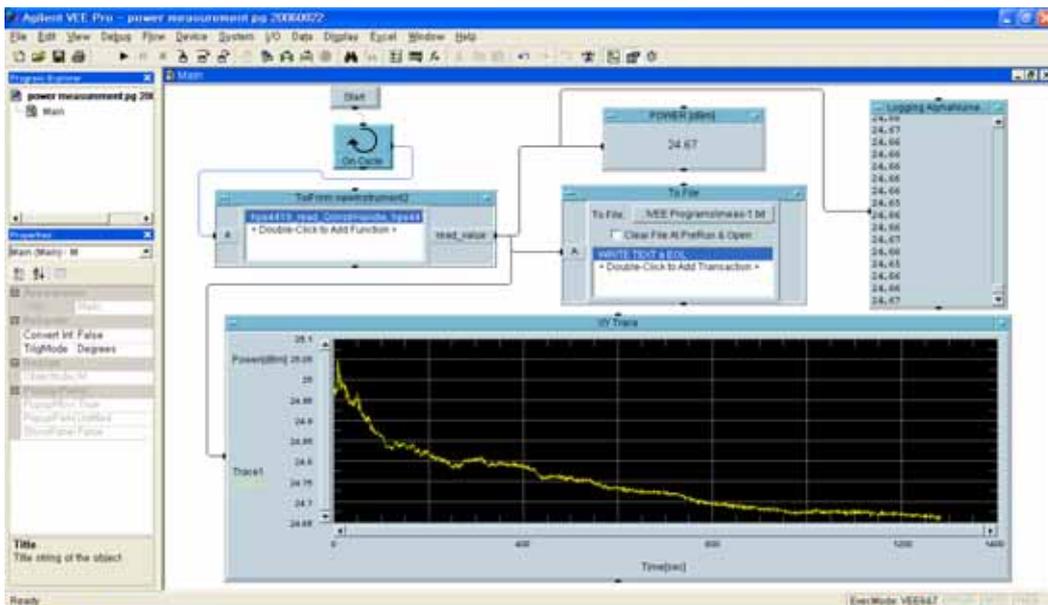


그림 4-2. 출력 변화 측정용 프로그램

현 시스템의 유효성 시험의 시스템 구성은 일반적으로 다음과 같다.

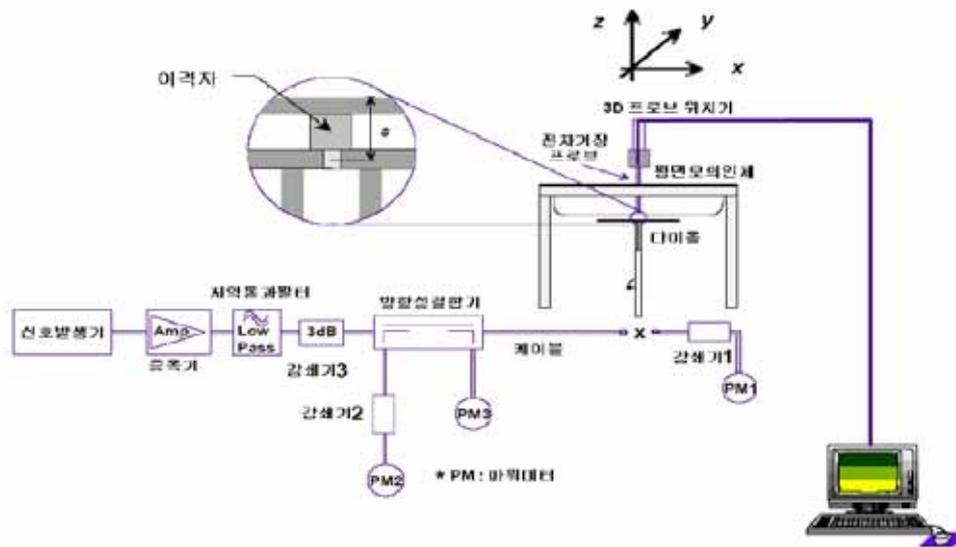


그림 4-3. 현 시스템의 유효성 시험 구성

우선 유효성 시스템의 출력변화를 측정하기 위하여 위 유효성 시험 구성과 동일하게 시스템을 구성하고 방향성 결합기에서 나오는 케이블을 파워미터에 연결한다. 파워미터에서 측정되고 있는 출력은 개발한 출력 자동 측정용 프로그램을 이용하여 1초 간격으로 측정하도록 설정하였다.

그림 4-4. 현 시스템의 유효성 시험 출력 변화

그림 4-4는 현 SAR 측정시스템의 유효성 시험 구성에서 시간에 대한 출력 변화를 나타낸 것이다. 출력 측정은 약 20분간 측정하였다. 20분간 변화된 출력의 변화는 약  $\pm 0.175$  dB로 약 24.5 mW의 출력 변화가 있음을 알 수 있다.

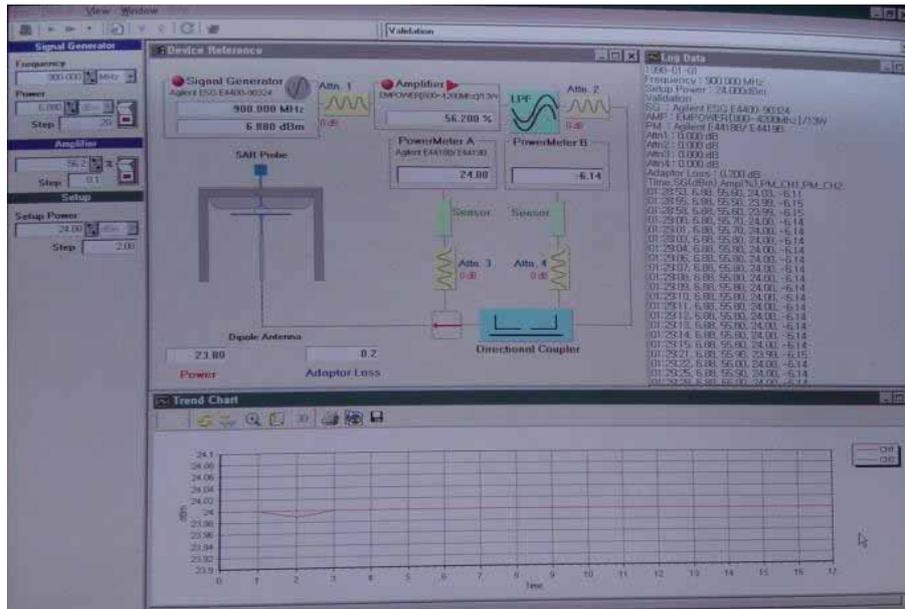


그림 4-5. Signal power 정밀제어 프로그램

그림 4-6. S/W를 이용한 유효성 시험 출력 변화

그림 4-5는 우리소에서 개발한 유효성 측정 신호제어 프로그램을 이용하여 유효성 시험 시스템을 구성하였다. 그림 4-5는 유효성 측정 신호제어 프로그램이다. 그림 4-6은 출력 제어 프로그램을 이용하여 측정한 출력 변화를 나타내고 있다. 그림에서도 알 수 있듯이 본 제어 프로그램을 이용하여 측정한 경우 출력변화의 오차는 거의 없다는 것을 알 수 있다. 이 때 측정된 출력의 변화는  $\pm 0.005$  dB 이하이다.

그림 4-7은 상용화된 계측기를 이용하여 출력 변화 오차를 측정한 결과이다.

출력 변화는  $\pm 0.025$  dB로 현 시스템의 출력오차 변화보다는 상당히 정확한 출력 변화를 보이고 있으며, 출력 제어용 프로그램을 이용한 경우 보다는 약 2배 정도의 오차를 보이고 있으나 비교적 정확한 출력 제어가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

#### 그림 4-7. H/W를 이용한 유효성 시험 출력 변화

지금까지 우리는 유효성 시스템을 구성하고 유효성 시험시 신호원의 제어 방법에 따른 다이폴 안테나 입력 신호 오차를 측정하여 보았다. 본 연구에서

는 현재 사용하고 있는 기준 다이폴안테나의 입력 신호를 출력제어용 프로그램이나 출력 제어용 하드웨어를 사용함으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 이들 제어 방법을 프로브 교정시 이용할 경우 불확정도를 개선시킬 수 있을 것으로 기대한다. 향후 프로브 교정시 본 장에서 개발하고 제시한 신호 제어용 프로그램을 이용하여 총 불확정도의 개선정도와 프로브 정밀도 향상 여부에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

## 제 5 장 휴대폰 SAR Data 통계분석

우리나라는 2002년 4월부터 휴대전화의 전자파 인체 노출량에 대하여 정보통신부의 전자파인체보호기준을 적용하여 강제 규제하여 왔다. 인체보호기준에서 규정된 휴대전화의 인체노출 레벨은 SAR(Specific Absorption Rate)로 가장 엄격한 기준인 1.6 W/kg을 적용하고 있다. 1.6 W/kg은 우리나라뿐만 아니라 미국, 캐나다에서 적용하고 있으며 유럽, 일본 등에서는 이보다 완화된 기준인 2.0 W/kg을 적용하고 있고 국제기구인 ICNIRP에서도 2.0 W/kg을 제시하고 있다. 휴대전화의 전자파흡수율이라는 동일한 물리량에 대하여 국가마다 서로 다른 기준을 적용하고 있어 WHO(세계보건기구)를 비롯한 국제기구에서는 이원화되어있는 인체보호기준을 단일화하기 위한 노력을 기울이고 있다. 호주에서는 미국과 동일한 기준을 적용하여왔으나 2003년부터 유럽기준인 2.0 W/kg으로 변경하였으며 2005년에는 대만에서도 호주와 마찬가지로 유럽기준으로 변경·적용하기 시작하였다. 특히 IEEE(C95.1-2005)에서는 최근의 생물학적 연구결과를 토대로 기본한계를 변경하기에 이르렀으며 미국 또한 국부 SAR 기준에 대한 국제적 조화(Harmonization) 흐름을 긍정적으로 검토하고 있다. 현재 우리나라에서도 IEEE의 새로운 기준과 ICNIRP의 기준을 비교 분석하는 등 이러한 국제적인 흐름에 대비하고 있다. 본 장에서 언급된 통계분석연구는 생물학적 연구결과를 토대로한 근거를 확보하기 위한 것은 아니지만 실제로 측정된 국부 SAR값으로부터 1 g 평균 국부 SAR과 10 g 평균 국부 SAR의 상관성을 분석하기 위한 것이다. 1 g 평균 SAR과 10 g 평균 SAR에 대한 개략적인 상관성은 여러 발표에서 가볍게 언급되었으나 대략적인 추측일 뿐이었다. 본 장에서는 2004년 4월부터 2005년까지 측정된 휴대전화의 SAR 측정 결과서를 DB화하고 이를 cellular와 PCS로 분석하여 그 상관성을 알아보하고자한다. 이는 향후 우리나라의 국부 SAR 국제 조화에 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

통계분석 연구는 2004년에 수행하여 1차 연구결과를 발표한 바 있다. 올해 수행 연구는 2004년도에 수행한 연구결과에 2005년 데이터를 추가하여 분석하였으며 주로 1 g과 10 g 평균 국부 SAR의 상관성에 초점을 맞추었다.

2002년 4월부터 2005년 12월까지 국내 시장에 판매된 휴대폰 11개사 400여 기종의 휴대전화를 대상으로 하였으며, 국부 SAR을 평가하기 위하여 휴대전화의 각 측정위치에서의 SAR 값을 측정하였다.

1 g 평균 국부 SAR과 10 g 평균 국부 SAR은 물리량의 단위는 같으나 1 대1로 비교할수 없다. 따라서 이를 비교하기 위해 다음과 같이 **환산 10 g SAR**을 정의하고 하였다. 환산 10 g SAR은 1 g 평균 SAR값을 1.6 W/kg으로 정규화하였을 때 10 g 평균 SAR의 값을 말하여 이는 1 g 평균 SAR과 10 g 평균 SAR이 서로 선형적인 비례관계를 갖고 있다는 가정하에 정의된 값이다.

1 g 평균 SAR과 10 g 평균 SAR이 서로 선형성을 갖는 것은 다음의 유효성 시험 결과로부터 확인할 수 있었다.

$$\text{환산 } 10\text{g SAR} = \frac{10\text{g 평균 SAR}}{1\text{g 평균 SAR}} \times 1.6 \text{ W/kg}$$

형식등록 시험에서 휴대전화의 전자파흡수율 측정시 유효성 시험 항목이 있다. 이는 전자파흡수율 측정에 앞서 시스템에 대한 신뢰성 및 오차를 평가하기 위한 시험으로 다이폴 안테나와 평면팬텀을 이용한 단순한 측정환경을 구성하여 측정하고 측정결과와 이론적으로 계산한 값을 비교하여 실험치가 이론치와 어느 정도 오차를 나타내는지를 판단하기 위한 실험이다.

셀룰러 대역은 835 MHz에서 PCS 대역은 1800 MHz에서 유효성 시험을 하며 이때 다이폴 안테나의 출력은 임의로 조정하여 측정하고 1W로 정규화하여 이론치와 비교한다. 835 MHz 대역의 1W 1 g 평균 SAR 이론치는 9.5 W/kg이며 1W 10 g 평균 SAR 이론치는 6.2 W/kg이다.

유효성 시험에서 1 g 평균에 대한 10 g 평균 SAR의 이론적 상관값은 1.044(6.2/9.5×1.6=1.044)이다. 그림 5-1은 측정된 유효성 시험 결과의 환산 10 g 평균 SAR 값을 계산하여 표로 나타낸 것이다. x축은 측정된 유효성 시험 개수이며 y축은 환산 10 g 평균 SAR 값이다. 실제 측정 데이터에 의한 통계적 상관관계는 1.02W/kg이며 표준편차는 0.01이다.

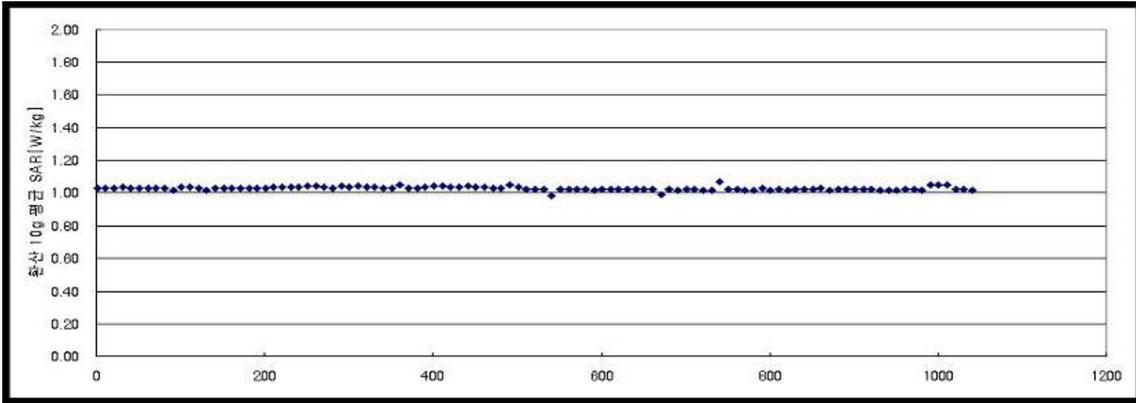


그림 5-1. 835 MHz 대역의 환산 10 g 평균 SAR값

835 MHz의 경우는 이론적 관계와 시험적 관계가 거의 같은 값을 갖고 있음을 확인할 수 있다.

PCS 대역인 1800 MHz에 대한 유효성 SAR 값은 1 g 평균 SAR이 38.1 W/kg 이며 10 g 평균 SAR은 19.8 W/kg이다. 이를 이론적으로 환산할 경우 환산 10 g 평균 SAR은  $0.83 \text{ W/kg} (19.8/38.1 \times 1.6 = 0.83)$ 이다. 그림 5-2는 측정된 PCS 대역 유효성 시험 결과의 환산 10 g 평균 SAR 값을 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. x축은 측정된 유효성 시험 개수이며 y축은 환산 10 g 평균 SAR 값이다. 실제 측정 데이터에 의한 통계적 상관관계는 0.82 W/kg 이며 표준편차는 0.07이다.

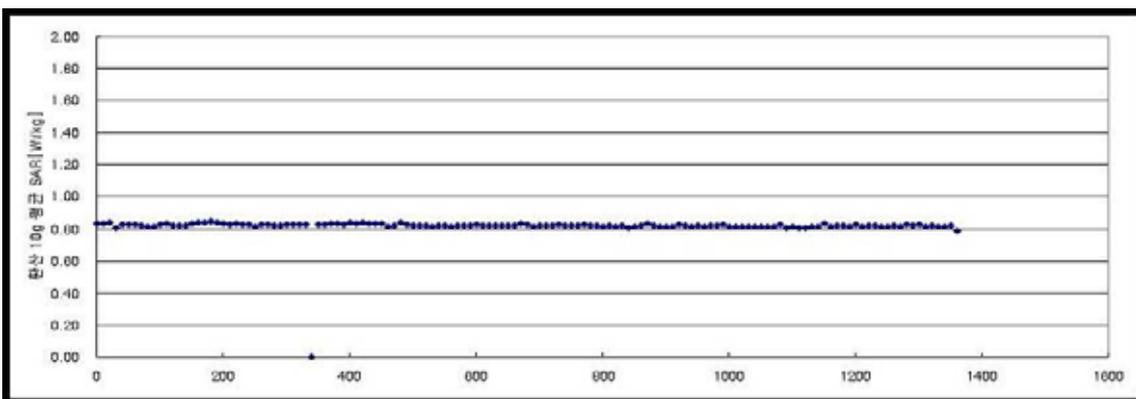


그림 5-2. 1800 MHz 대역의 환산 10 g 평균 SAR값

위에서 유효성 시험에 대한 이론적 상관성과 실제 유효성 시험 결과에 대한 통계적 상관성을 알아보았다. 실험 통계치는 이론치와 거의 일치하는 결

과를 보여주고 있다. 이는 SAR 측정시스템 자체의 측정 정밀도(이론치와의 오차)와 관계가 있으며 오차가 적을수록 편차는 더 적을 것이다.

표 5-1. 1 g 및 10 g SAR의 이론적 유효성 계산 결과

주파수 [MHz]	1 g SAR [W/kg]	10 g SAR [W/kg]
300	3	2
450	4.9	3.3
835	9.5	6.2
900	10.8	6.9
1450	29	16
1800	38.1	19.8
1900	39.7	20.5
1950	40.5	20.9
2000	41.1	21.1
2450	52.4	24
3000	63.8	25.7

측정 시스템이 정확도와 신뢰도를 확보하고 있어야하므로 이러한 결과는 당연하다고 볼 수 있다.

그림 5-3. 이론적 유효성 값에 의한 환산 10 g 평균 SAR값

그러나 유효성 시험 결과에서 볼 수 있는 1 g 평균 국부 SAR과 10 g 평균 국부 SAR의 상관성은 주파수에 따라 다른 것을 알 수 있다. 1 g SAR과 10 g SAR의 상관성이 주파수에 반비례하는 특성이 있는지는 좀 더 많은 주파수 대역에 대한 측정 결과를 분석하거나 수치해석 계산 결과를 통해 간접적으로 확인해 볼 수 있다. 표 5-1은 주파수에 따른 유효성 시험의 이론적 계산값이다.

그림 5-3은 이론적 유효성 계산값으로부터 10 g 평균 환산 SAR값을 계산한 것이다. 그림 5-3에서 유효성 상관성은 주파수에 선형적으로 반비례 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나 이는 계산 결과로부터 얻어낸 것으로 실제 1 g과 10 g SAR의 상관성 관계로 단정지을 수는 없다.

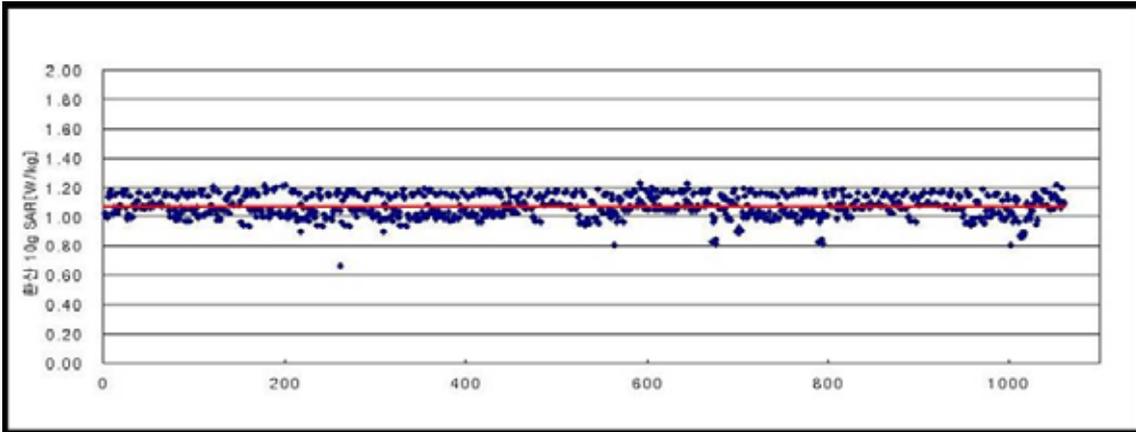


그림 5-4. 835 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

좀 더 상관성 분석을 위해 실제 사람머리 형상의 모의인체와 휴대전화에 의한 전자파흡수율 측정 결과들을 정리·분석하여보았다. 우선 분석 결과의 신뢰성 확보를 위해 측정 조건에 따른 오차를 배제하였다. 즉 휴대전화의 형태를 폴더형 휴대전화와 슬라이드형 휴대전화 및 플립(바)형 휴대전화로 분류하여 각각에 대한 상관성을 살펴보았다.

그림 5-4는 835 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나타내고 있으며, 10 g 평균 SAR 값은 1.07이며 표준편차는 0.08이다. 그림 5-5는 835 MHz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나타내고 있으며 10 g 평균 SAR 값은 1.07이며 표준편차는 0.08로 폴더형 휴대전화의 환산값과 동일한 값을 나타내고 있다.

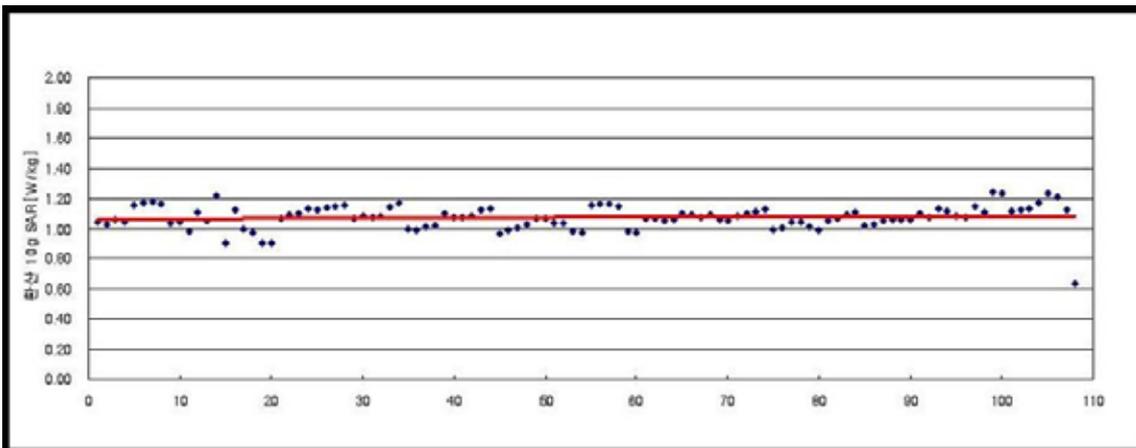


그림 5-5. 835 MHz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

그림 5-6은 835 MHz 대역 플립형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나

타내고 있으며 10 g 평균 SAR 값은 1.05이며 표준편차는 0.10으로 폴더형 및 슬라이드형 휴대전화의 환산값과 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

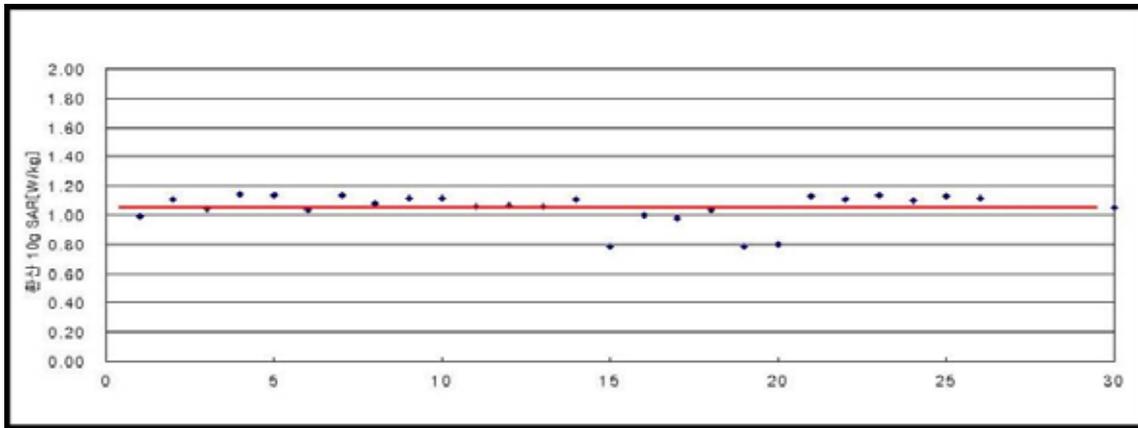


그림 5-6. 835 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

위 통계적 data에서 알 수 있듯이 835 Mhz 대역의 1 g과 10 g SAR의 상관성은 1.6대 1 W/kg 정로로 조심스럽게 말할 수 있다.

다음은 다른 주파수 대역에 대해서도 이와 같은 결과를 얻을 수 있는지 알기 위해 1800 Mhz 대역에서의 환산 SAR 값을 분석하여보았다.

그림 5-7은 1800 Mhz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나타내고 있으며, 10 g 평균 SAR 값은 0.95이며 표준편차는 0.08이다. 그림 5-8는 835 Mhz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나타내고 있으며 10 g 평균 SAR 값은 0.97이며 표준편차는 0.05로 폴더형 휴대전화의 환산값과 비슷한 값을 나타내고 있다.

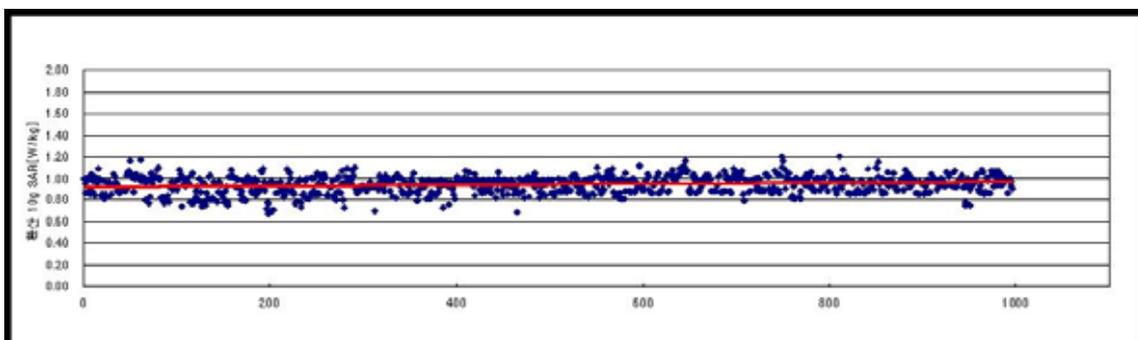


그림 5-7. 1800 MHz 대역 폴더형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

그림 5-9는 1800 MHz 대역 플립형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값을 나타내고 있으며 10 g 평균 SAR 값은 0.85이며 표준편차는 0.04로 폴더형 및 슬라이드형 휴대전화의 환산값과 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

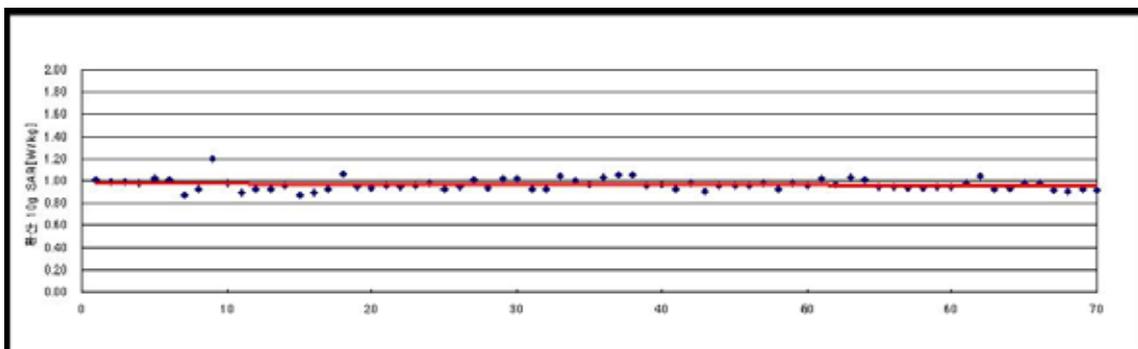


그림 5-8. 1800 MHz 대역 슬라이드형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

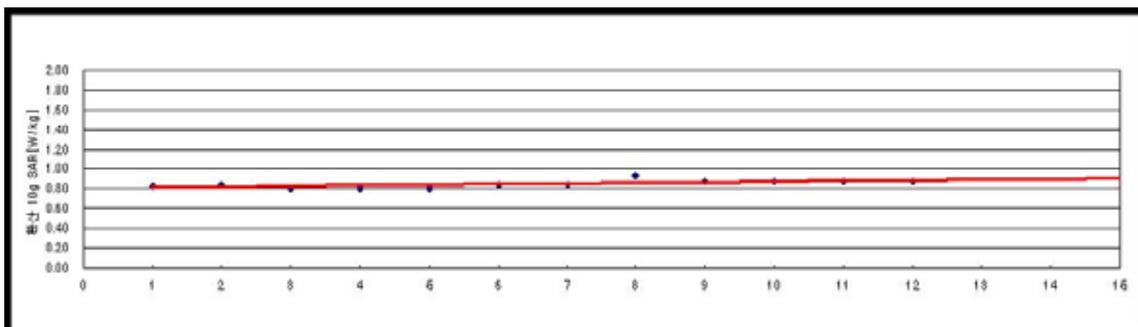


그림 5-9. 1800 MHz 대역 플립형 휴대전화의 환산 10 g 평균 SAR값

1800 MHz 대역에서는 835 MHz 대역과는 다른 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 통계분석이전에 살펴본 이론적 유효성 수치로부터 계산한 환산 SAR의 주파수 의존성과도 관계가 있음을 알 수 있다. 이론적 상관성에서는 1 g과 10 g SAR의 상관성을 1.6대 0.9 W/kg 정도로 조심스럽게 말할 수 있다.

지금까지 분석한 결과를 정리하면 표 5-2와 같다.

표 5-2. 조건별 환산 10 g 평균 SAR값 비교

	주파수	모의인체	신호원	환산 10 g 평균 SAR	
				평균	표준편차
계산값 (시험결과)	835 MHz	Flat Phantom	표준 다이폴	1.04 (1.02)	- (0.01)
	1800 MHz	Flat Phantom	표준 다이폴	0.83 (0.82)	- (0.07)
통계분석	835 MHz	SAM Phantom	폴더형 휴대폰	1.07	0.08
	1800 MHz	SAM Phantom	폴더형 휴대폰	0.95	0.08

위 표에서 알 수 있듯이 모의인체와 신호원이 다른 조건임에도 동일한 주파수 대역에 대해서는 이론적 계산값과 실험적 결과에 대한 통계값이 거의 유사한 것을 알 수 있다. 지금까지의 분석 결과에 의하면 SAR 시험 data의 통계적 상관성에 근거한 관계는 1 g 평균 국부 SAR의 경우 10 g으로 환산하였을 때 약 1.0 W/kg으로 나타낼 수 있다. 그러나 이론적 결과와 통계적 결과에서도 나타나듯이 상관성에 대한 주파수 의존성에 대한 부분은 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 장의 통계적 분석 연구결과는 향후 1 g 평균 전자파흡수율 기준을 10 g 평균 전자파흡수율로 변경시 참고 자료로 활용될 것으로 기대한다.

## 제 6 장 전자파 인체영향 Q&A 자료집 발간

정보통신산업의 발달로 인한 휴대용 무선통신기기(휴대전화, PDA 등)의 사용이 증가하고 생활주변에서 전자파를 이용하는 사례가 증가함에 따라 국민들이 전자파에 대한 사회적 관심이 고조되고 있으며 이에 대한 궁금증 또한 날로 증가하고 있다. 그동안 정부의 노력에도 불구하고 전자파에 대한 그릇된 인식으로 국민들의 우려와 불신이 높아 올바른 인식제고를 시키고 전자파에 대한 개념 및 원리를 보다 쉽게 일반인들이 이해할 수 있는 Q&A 자료집을 발간하였다.

이 장은 Q&A 자료집이 어떠한 구성으로 이루어졌는지와 전반적인 목차 및 내용에 대하여 설명하였다.

### 1. Q&A 자료집의 개요

Q&A 자료집은 내실있는 내용 구성을 위하여 2003년부터 2006년까지 우리 소와 관련기관 홈페이지에서 전자파 인체영향 관련 Q&A 민원과 미국 등 외국의 관련 홈페이지 Q&A 자료 6건(미국의 FCC, FDA, IEEE, NIEHS, 독일 통신연구소재단, 캐나다(WIRC))을 수집 및 분석하여 일반인들의 궁금증을 보다 명확히 파악하였으며 분야별로 분류하여 105문항으로 정리하였다. 이 문항들 중에서 실제로 일반인들이 일상생활에서 전자파에 대해 궁금해 하는 질문 20문항을 선정하고 Q&A 자료집의 전체 제목 및 분야별 제목을 결정하였다. 그리고 인터넷과 관련 전공서적에서 얻은 기초 지식자료를 검토하여 전자파에 대한 기본지식을 좀 더 쉽게 이해할 수 있도록 내용을 요약하였다.

그리고 Q&A 자료집 발간 용역의 제안서를 평가하기 위하여 평가위원회를 구성하여 용역 업체를 선정하였다. 삽화 작업은 각 문항에 들어갈 기본 아이디어를 손으로 스케치한 다음 업체와 협의 후에 진행하였다. 뿐만 아니라 Q&A 자료집에 들어갈 삽화 및 내용에 대한 일반인과 관련 전문가의 의견을 수렴하여 좀 더 쉬운 자료집이 되도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 전반적으로 알차고 이해하기 쉬운 최종 Q&A 자료집을 완성하였으며, 관련기관 및

도·시·구·군청 등 민간기관 578개 기관에 3200부를 배포하였다. Q&A 자료집은 일반인들이 전자파에 대하여 좀 더 쉽게 이해하고 접근할 수 있는 기초 자료로 활용될 것이다.

## 2. Q&A 자료집의 표지 구성

앞표지 삽화는 유비쿼터스화 된 일상의 풍경을 만화형식으로 구성하여 전자파가 우리 생활에 어떤 영향을 주는지 궁금증을 유발하고 친근하게 느낄 수 있도록 표현하였다. 또한 파스텔 톤매너를 적용하여 심미성을 높였다. 그리고 독자 여러분께 보다 쉽고 재미있는 전자파 이야기를 들려줄 ‘라디’라는 캐릭터를 개발하여 간단하고 직관적인 삽화 디자인 컨셉으로 나타냄으로서 친밀감을 느낄 수 있도록 표현하였다. 뒤표지에는 책자의 내용을 정리하는 문안과 일러스트를 적용하여 독자의 인식 속에 전자파의 제대로 된 이해와 올바른 사용방법이 남도록 표현하였다. 그림 6-1은 Q&A 자료집의 앞과 뒤 표지를 나타낸다.

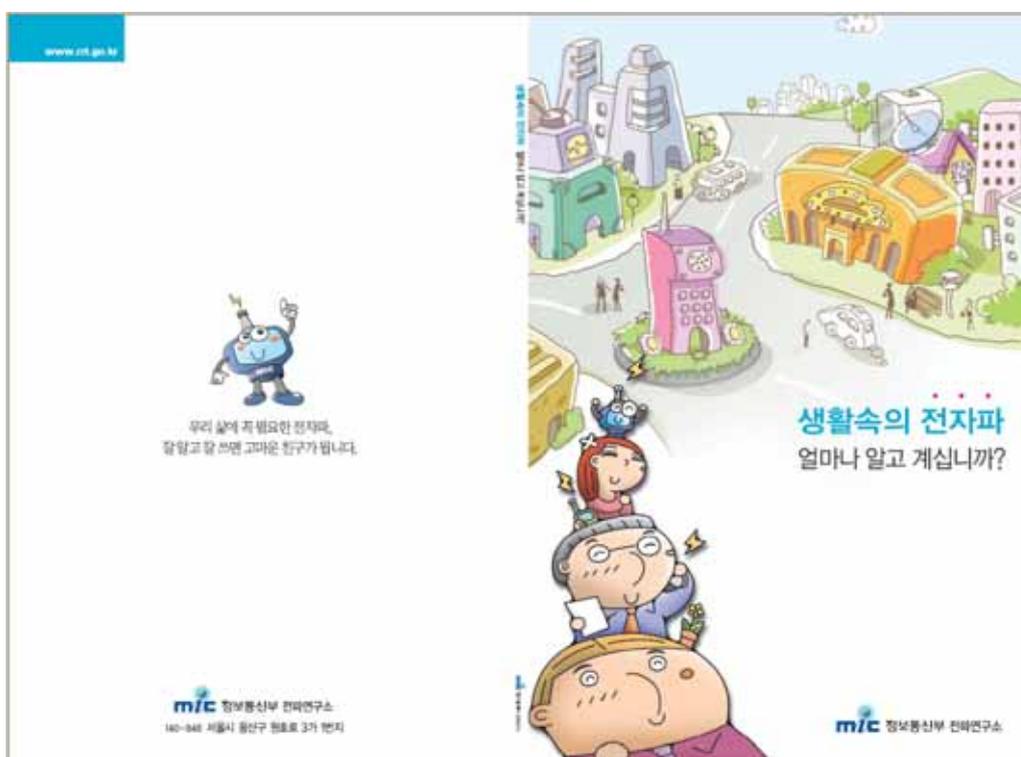


그림 6-1. Q&A 자료집의 앞과 뒤의 표지

### 3. Q&A 자료집의 목차 구성

목차의 구성은 전체 내용을 한눈에 알아볼 수 있도록 일목요연하게 정리하고 입체적이며 단순한 아이콘 적용으로 장의 구분을 쉽도록 디자인하였다. 배경 삽화를 표지와 연계된 디자인 요소를 적용하여 통일성을 유지하였다. 목차의 구성을 보면 1장은 전자과의 개념, 2장은 전자과의 인체영향, 3장은 생활주변의 전자과, 4장은 전자과 관련제도, 마지막 장은 부록으로 구성하였다. 그리고 각 장의 질문들은 일반인들이 궁금해 하는 전자과 관련 질문들을 우리소 홈페이지나 외국의 관련 홈페이지 Q&A 자료집 등을 수집 및 분석하여 정리한 것이다. 그런 다음 일상생활에서 궁금해 할 수 있는 질문들을 간추려 20문항의 질문을 선정하고, Q&A 자료집의 전체 제목 및 분야별 제목을 일반인들이 생각하고 표현할 수 있는 질문형태로 표현하였다.

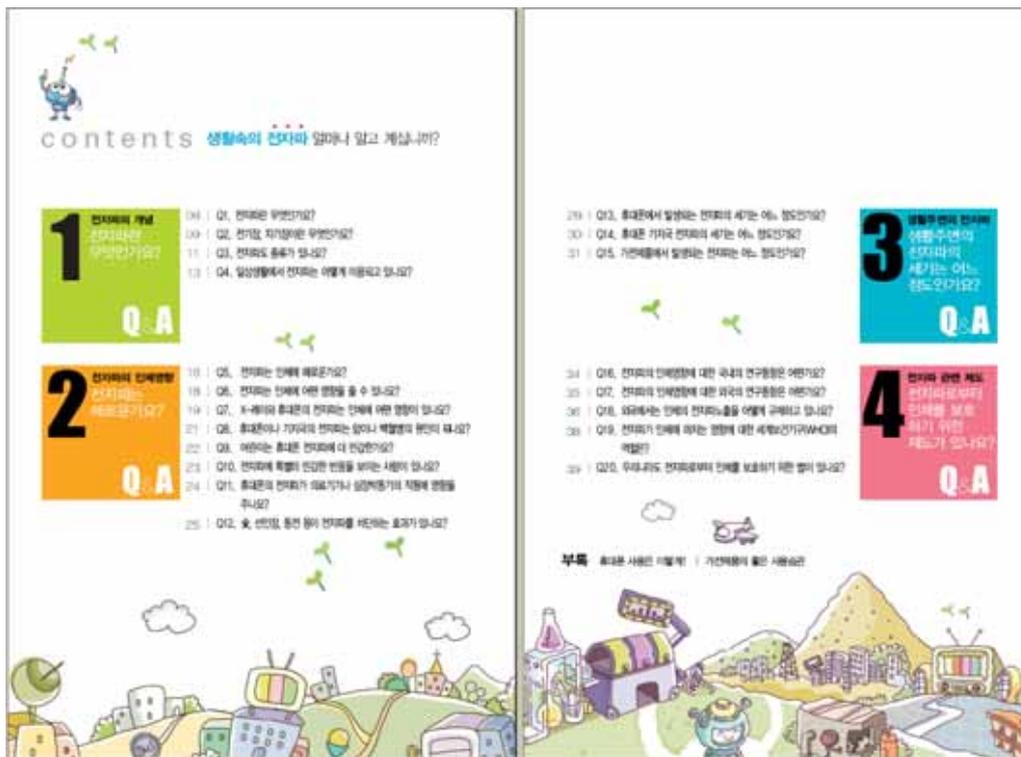


그림 6-2. Q&A 자료집의 목차

#### 4. Q&A 자료집의 내용 구성

Q&A 자료집의 내지 구성은 알기 쉽고 접근성이 용이하고 주목도를 높일 수 있는 디자인 배치를 적용하여 이해를 돕는 삽화와 도해 그림을 적절히 적용하였다. 그리고 책자 안내 도우미인 ‘라디’를 통하여 생활속 전자파이야기를 쉽고 재미있게 풀어가는 구성과 본문에 나오는 내용 중에 어려운 전문 용어를 쉽게 설명해 주는 Tips로 ‘여기서 잠깐!’이라는 코너를 추가함으로써 본문의 내용을 좀 더 쉽게 이해할 수 있도록 구성하였다. 그리고 1장은 일반인들이 전자파가 무엇인지 간략하게 설명하고 2장에서는 실제로 생활주변에서 사용하는 무선기기들로부터 나오는 전자파가 인체에 어떠한 영향이 있는지를, 3장에서는 이런 무선기기들에 대한 전자파의 세기를, 4장에서는 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 제도 등을 각각 설명하였다. 그림 6-3은 Q&A 자료집의 1장 소개 내지로서 인간과 정보통신 기술의 조화를 나타내는 그림입니다. 그림 6-4는 본문 내용의 내지를 나타낸다.

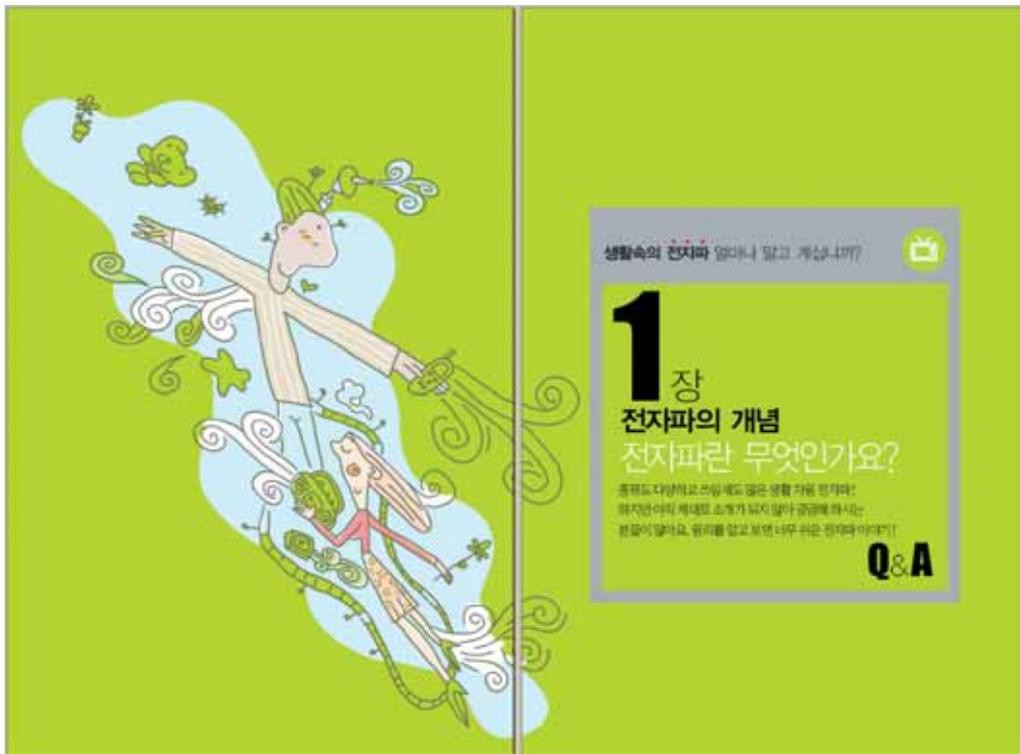


그림 6-3. Q&A 자료집의 내지(장소개)



그림 6-4. Q&A 자료집의 내지(본문내용)

그리고 마지막 장은 부록으로 표현을 하였는데, 일상생활에서의 전자파 세기는 안전하지만 예방적 차원에서 전자파 노출을 좀 더 줄일 수 있는 방법에 대해 휴대폰과 가전제품의 좋은 사용습관에 대하여 설명하였다. 그 내용은 일상생활에서 늘 사용하는 휴대폰의 경우 사용 시 전자파가 많이 방사되는 안테나와 두부와의 거리를 가급적 멀리하여 사용하거나 이어폰이나 핸즈프리를 사용하고 가급적 짧게 통화하는 것이 휴대폰으로부터 나오는 전자파 노출을 좀 더 줄일 수 있다. 그리고 생활주변에서 사용하고 있는 가전제품을 사용할 때는 적절한 거리를 유지한다면 가전제품으로부터 나오는 전자파의 노출을 줄일 수 있다. 그림 6-5, 6은 Q&A 자료집의 부록 내지를 나타낸다.

이런 Q&A 자료집 발간 외에도 전자파 인체영향에 대한 일반인들의 잘못된 오해를 이해시킬 수 있는 방법으로 다른 매체를 사용하여 지속적인 홍보 활동을 해야 할 것이다.



그림 6-5. Q&A 자료집의 부록 소개



그림 6-6. Q&A 자료집의 부록내용

## 제 7 장 결 론

세계 각국의 IT 기술이 급속히 발달하면서 이동통신기기는 더욱 소형화되거나 다양한 기능을 갖는 복합화 되어가고 있으며 심지어는 입을 수 있는 인체 착용형 이동통신기기가 출현할 정도로 눈부시게 발전하고 있다. 이와 더불어 이동통신기기에 의한 전자파 인체영향에 대한 관심 또한 늘고 있어 전자파의 인체 노출량 평가에 대한 국제 표준화 및 전자파 역기능에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

한편 2006년 4월, 외국과 같이 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 만족 여부를 보고하도록 하는 전파법 개정안이 국회에서 의원입법으로 상정되고 동년 11월 본회의에서 가결되어 공포되었다. 무선국의 전자파강도를 규제하기 위한 법안이 수립되었음은 전자파에 대한 사회적 불안감 고조와 관련 민원의 증가가 정치적인 관심을 끄는 수준에 이르렀으며, 이러한 사회적 문제를 적절하게 처리하는 제도 마련의 요구가 크다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

본 연구를 통하여, 기지국이 방사하는 전자파의 강도를 계산으로 얻을 수 있는 기지국 전자파 강도 예측방법을 제안하였다. 예측방법 개발을 위하여, 원거리 영역은 모의기지국을 이용한 측정시험을 수행하였고, 근거리 영역은 수치해석 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 예측방법을 도출하였다. 그 결과, 일반인이 거리와 높이와 같은 간단한 정보를 입력하면 기지국 노출량을 쉽게 계산해 낼 수 있는 프로그램을 개발할 수 있었다. 이와 같은 연구 수행 결과는 2007년부터 본격적으로 진행될 무선국 전자파 적합성 평가 제도를 원활히 실시하는데도 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

SAR 시스템의 유효성 오차 개선 연구를 통하여 개발된 유효성 측정 신호 제어프로그램은 SAR 측정의 정확도를 향상시키는데 필요한 총 불확정도의 개선과 프로브 정밀도 향상에 이용할 수 있으며, IEC TC106에서 진행되고 있는 국제 표준화의 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

그 동안 국내에서 판매된 휴대폰을 대상으로 휴대폰 SAR data 통계분석을 실시한 결과 1 g과 10 g 평균 국부 SAR의 상관성은 셀룰러 대역(835 Mhz)

대역에서 1.6 대 1 W/kg 그리고, PCS 대역(1,800 MHz)에서 1.6 대 0.9 W/kg 정도로 추산할 수 있었으며, 이는 향후 1 g 평균 SAR 값을 국제적인 기준 변화에 맞추어 변경할 때 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

전자파 인체영향 Q&A 자료집의 발간은 일반인들이 전자파에 대한 정확한 정보 습득과 이해를 할 수 있게 도움으로서 일반국민들이 그 동안 가지고 있던 전자파에 대한 불안감을 해소하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

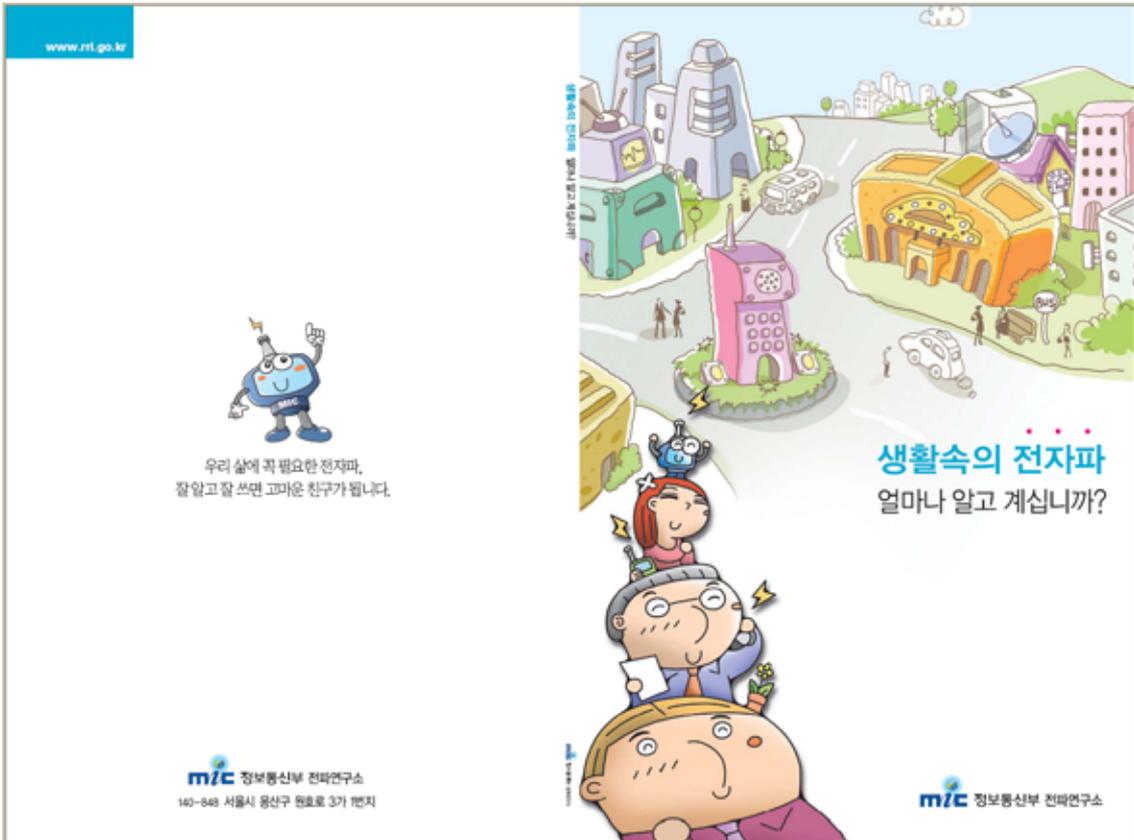
## 참고문헌

- [1] Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, ITU-T Recommendation K.52, December 2004.
- [2] Guidance to measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations, ITU-T Recommendation K.61, 2003.
- [3] Basic Standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz - 3 GHz), CENELEC EN5031, 2001.
- [4] Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and terminal stations for wireless telecommunication system (110 MHz - 40 GHz), CENELEC EN50383, 2002
- [5] American National Standard-Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300 GHz, ANSI/IEEE C95.1-1992.
- [6] Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC OET Bulletin 65 (Edition 97-1).
- [7] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP) Guidelines.
- [8] N. Kuster, Q. Balzano, "Energy absorption Mechanism by biological bodies in the near field of dipole Antennas above 300MHz", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 1, Feb. 1992.
- [9] IEC TC106/62209-1, "Procedure to measure the Specific Absorption Rate(SAR) in the frequency range of 300MHz to 3GHz ; Part1 : hand-held mobile wireless communication devices",

2005.

- [10] N. Kuster, Q. Balzano, and James C. Lin, "Mobile Communications Safety", Chapman & Hall, pp. 17-19, 1997.
- [11] A. P. Gregory and R. N. Clarke. NPL Report CETM 33, "Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz", NPL, September 2001.
- [12] Q. Yu, M. Aronsson, Ding Wu, and Om P. Gandhi, "Automated SAR Measurements for Compliance Testing of Cellular Telephones", Proceeding of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 4, pp. 1980-1983, 1998.
- [13] Q. Balzano, O. Garay, and T. J. Manning, Jr., "Electromagnetic Energy of Simulated Users of Portable Cellular Telephones", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 44, no. 3, pp. 390-403, August 1995.

## 전자파 인체영향 Q&A 자료집





01(서울)  
생활속의 전자파 알기 쉽고 계십니까?  
발행일 2008년 02월  
발행처 정보통신부 전파연구소  
다량본 제작 (무한수량 / 020273-5972)

라디RADIX는 'Radio Communication' 의 약자로, 독자 여러분들께 재미있는 전자파 이야기를 들려드릴 예정입니다.

\* 전자파정보포털은 전파연구소 홈페이지([www.mic.go.kr](http://www.mic.go.kr))를 참고하세요.



생활속의 전자파  
얼마나 알고 계십니까?



contents 생활속의 전자파 얼마나 알고 계십니까?

**1** 전자파의 개념  
전자파란 무엇인가요?  
Q&A

- 08 | Q1. 전자파란 무엇인가요?
- 09 | Q2. 전자기, 자기장이란 무엇인가요?
- 11 | Q3. 전자파도 종류가 있나요?
- 13 | Q4. 일상생활에서 전자파는 어떻게 이용되고 있나요?

**2** 전자파의 인체영향  
전자파는 해로운가요?  
Q&A

- 16 | Q5. 전자파는 인체에 해로운가요?
- 18 | Q6. 전자파는 인체에 어떤 영향을 줄 수 있나요?
- 19 | Q7. X-레이와 휴대문의 전자파는 인체에 어떤 영향이 있나요?
- 21 | Q8. 휴대문이나 기저귀의 전자파는 암이나 백혈병의 원인이 되나요?
- 22 | Q9. 어린이는 휴대문 전자파에 더 민감한가요?
- 23 | Q10. 전자파에 특별히 민감한 반응을 보이는 사람이 있나요?
- 24 | Q11. 휴대문의 전자파가 뇌파기나 심장박동기의 작동에 영향을 주나요?
- 25 | Q12. 숲, 산악, 동전 등이 전자파를 차단하는 효과가 있나요?



**3** 생활주변의 전자파  
생활주변의 전자파의 세기는 어느 정도인가요?  
Q&A

- 28 | Q13. 휴대문에서 발생하는 전자파의 세기는 어느 정도인가요?
- 30 | Q14. 휴대문 기저귀 전자파의 세기는 어느 정도인가요?
- 31 | Q15. 가전제품에서 발생하는 전자파는 어느 정도인가요?

**4** 전자파 관련 제도  
전자파로부터 인체를 보호하기 위한 제도가 있나요?  
Q&A

- 34 | Q16. 전자파의 인체영향에 대한 국내의 연구동향은 어떤가요?
- 35 | Q17. 전자파의 인체영향에 대한 외국의 연구동향은 어떤가요?
- 36 | Q18. 외국에서는 인체의 전자파노출을 어떻게 규제하고 있나요?
- 38 | Q19. 전자파 인체에 미치는 영향에 대한 세계보건기구(WHO)의 역할은?
- 39 | Q20. 우리나라도 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 법이 있나요?

부록 휴대문 사용은 어떻게? | 가전제품의 좋은 사용요령



생활속의 전자파 얼마나 알고 계십니까?



**1** 장  
전자파의 개념  
전자파란 무엇인가요?

종류도 다양하고 쓰임새도 많은 생활 자원 전자파!  
하지만 아직 제대로 소스가 되지 않아 궁금해 하시는  
분들이 많아요. 원리를 알고 보면 너무 쉬운 전자파 이야기!

Q&A

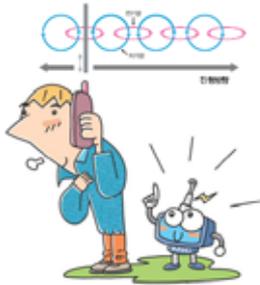
# 1 장

## 전자파의 개념 전자파란 무엇인가요?



### 1. 전자파란 무엇인가요?

원래 명칭은 전기자기파로서 일반적으로 전자파(Electromagnetic Wave)라고 부릅니다. 전자파는 전기장과 자기장의 두 가지 성분으로 구성된 파동으로서 공간상에서 빛의 속도로 퍼져나갑니다.



### 여기서 질문! 전자파는 누가 발견했나요?

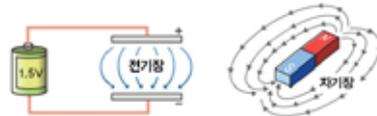
처음으로 전기장과 자기장의 존재를 발견한 사람은 영국의 물리학자 마이클 패러데이입니다. 이후 영국의 물리학자이자 수학자인 제임스 클러크 맥스웰은 전기장의 존재를 수학적으로 풀이하여 전자기학(電磁學)을 세웠으며 독일의 물리학자인 헤르츠가 실험을 통하여 전기장과 자기장의 존재를 입증하였습니다.



### 2. 전기장, 자기장이란 무엇인가요?

전기장은 전기를 띤 물체 주위에 형성된 전기적인 힘이 미치는 공간을 말합니다.

자기장은 전류가 흐르는 도선 주위에 항상 형성되며 두개의 자석 사이의 힘이 느껴지는 거리 내의 공간을 말합니다. 이는 전류가 흐르는 도선 위에 나침반을 가져다 놓았을 때, 자침이 움직이는 것을 보고 알 수 있습니다.



# 1 장

## 전자파의 개념 전자파란 무엇인가요?



### 여기서 질문! 전자기장이란 무엇인가요?

전자기장은 전기(電)와 자기(磁)의 상호작용을 나타내며, 이는 전기장과 자기장의 성질을 모두 가지고 있습니다.



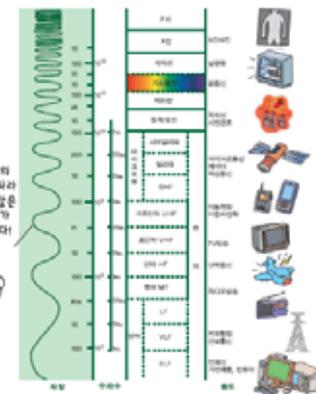
### 여기서 질문! 전기장과 자기장의 단위는?

전기장은 단위 길이당 전위(電位)를 나타내므로 기호는 V/m입니다. 자기장은 단위 길이당 전류(電流)에 비례하여 나타내므로 기호는 A/m입니다. 자기장은 일반적으로 자속밀도(磁束密度)로도 나타낼 수 있으며 '테슬라(T)' 또는 '가우스(G)'를 사용하기도 합니다. 1 T는 10<sup>4</sup> G입니다.

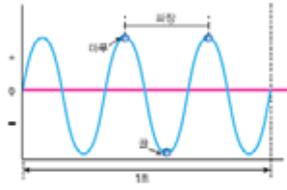


### 3. 전자파도 종류가 있나요?

전자파는 주파수에 따라 여러 종류로 분류합니다. 주파수가 높은 순서대로 분류하면 감마선, X선, 자외선, 가시광선(可), 적외선, 전파(電波)로, 고주파, 저주파, 극저주파 등이 있습니다. 전파는 전자파의 일종으로 주파수가 3000 GHz 이하의 전자파를 말합니다.



**여기서 질문!** 주파수와 파장이란?  
 주파수는 1초 동안에 진동하는 파동의 횟수를 의미하여 단위는 헤르츠(Hz)로 나타냅니다. 예를 들어 60 Hz는 1초에 60번 진동한다는 뜻입니다. 파장은 일정한 파동이 주기적으로 반복하여 진행할 때 파동의 마루(굴절) 마루(굴절) 사이의 거리를 말합니다.



- 휴대전화 800 MHz
  - 와이파이 2.4GHz ~ 5GHz
  - 휴대 전화 ~ 20 kHz
- KHz = 1000 Hz  
 MHz = 1000 KHz  
 GHz = 1000 MHz

**Q & A**

**4. 일상생활에서 전자파는 어떻게 이용되고 있나요?**

전자파는 우리사회의 다양한 분야에서 널리 이용되고 있습니다. 우리가 흔히 사용하는 휴대폰, WiBro(무선랜), DMBC 디지털멀티미디어방송, 전자전지, CF의 위치탐지시스템, 전자레인지(EMF 등), 교통카드 등에 활용되고 있습니다. 전자파는 고출력의 전자파를 사용하여 음식을 데우고 익히는 전자레인지입니다.

그리고 의료분야에서도 초음파 진단기를 이용한 질병검사 등 각종 질병(골절, 신경통, 알 등)을 진단하고 치료하는데 이용되고 있습니다.



생활속의 전자파 얼마나 알고 계십니까?

**2** 장  
**전자파의 인체영향**  
 전자파는 해로운가요?

전자파 노출! 우리 몸에 과연 어떤 영향이 있을까? 그동안 많이 궁금하셨죠? 세계 각국에서 수행되고 있는 다양한 연구 결과들과 사례를 통해 여러분의 궁금증을 풀어드리겠습니다.

**Q & A**

## 2 장 전자파의 인체영향 전자파는 해로운가요?



### 5. 전자파는 인체에 해로운가요?

일상생활에서 발생하는 대부분의 전자파는 미약하기 때문에 전자파에 노출되어도 우리 몸에 거의 영향이 없다고 할 수 있습니다. 그러나 강한 세기의 전자파에 장시간 동안 노출된다면 우리 몸의 세포조직이나 다른 조직들에 영향을 주어 인체에 해로울 수 있습니다.

세계보건기구(WHO)에서도 "강한 세기의 전자파에 대한 인체 유해 가능성은 인정되지만 일상생활에서 경험하는 전자파의 세기가 인체에 유해하다는 과학적인 근거는 없다"고 말하고 있습니다.



그러나 최근 다양한 주파수대역의 전자파 이용이 점점 늘어나면서 전자파 노출에 대한 인체의 건강 유해성이 사회적으로 이슈가 되고 있으나 이에 관하여 좀 더 많은 연구가 필요하며 현재 세계보건기구 등에서 다양한 연구들을 수행하고 있습니다.

### 여기서 잠깐 세계보건기구(WHO) 알기

세계보건기구(WHO : World Health Organization)는 보건 - 국제 분야적 국제적인 협력을 촉진하여 설립된 국제연합(UN : United Nations) 전문기구로서 세계적 보건 사업들이 가능한 일체로 건강수준에 도모하는 것을 목적으로 하고 있습니다.  
[www.who.int](http://www.who.int)



## 2 전자파의 인체영향 전자파는 해로운가요?



### 6. 전자파는 인체에 어떤 영향을 줄 수 있나요?

전자파가 인체에 미칠 수 있는 영향은 크게 열작용과 비열작용 그리고 자극작용이 있습니다. 주파수가 높고 강한 세기의 전자파에 인체가 노출되면 체온이 상승하여 세포나 조직의 기능에 영향을 줄 수 있는데 이것이 열작용입니다.

비열작용은 미약한 전자파에 장기간 노출되었을 때 발생하는 것으로서 현재까지 어떠한 영향의 발생 가능성을 뒷받침하는 연구결과와는 없으며 이에 대한 연구는 세계보건기구를 중심으로 세계 각국에서 꾸준히 진행 중에 있습니다.

자극작용이란 주파수가 낮고 강한 전자파에 노출되었을 때 인체에 유도된 진동이나 신경이나 근육을 자극하는 것을 말합니다.



### 7. X-레이와 휴대폰의 전자파는 인체에 어떤 영향이 있나요?

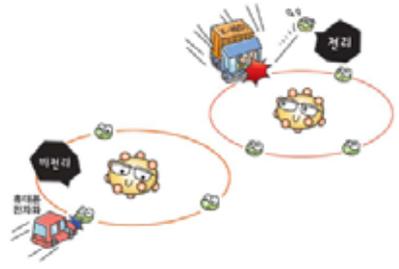
일반 병원에서 사용하는 X-레이는 아주 약한 세기이므로 인체에 거의 영향이 없으나 강한 세기의 X-레이가 우리 몸에 흡수되었을 때는 세포내의 원자나 분자를 변형시켜 유전자를 손상시킬 수 있습니다. 반면 휴대폰의 전자파는 X-레이의 파장보다 훨씬 길고 투과성이 약하기 때문에 생체 조직의 원자나 분자를 변형시킬 수 없습니다.

일반적으로 X-레이는 전리성 전자파라고 하며 휴대폰의 전자파는 비전리성 전자파라고 합니다.



**Q** 여기서 질문! **X-레이의 세기는?**  
X-레이의 경우 일반적인 의료적용 수준 기준은 5ram(램)이며, X-레이 1회 촬영 시 노출량은 약 10~20mram 정도입니다. 참고로 1mram(밀리램)은 1인분의 ram(램)입니다.

**Q** 여기서 질문! **전자파 비전자파?**  
고동 물체는 원자로 구성이 되어 있으며 원자로 원자로 핵으로 구성되어 있습니다. 이때 원자로 물체 위에 전자파 핵으로 구성되어 원자로 전파(ionization)라 합니다. 비전자파(Nonionization)는 전자 전성이 발생하지 않는 것을 말합니다.



**Q & A**  
**8. 휴대폰이나 기지국의 전자파는 암이나 백혈병의 원인이 되나요?**  
실제 휴대폰이나 기지국에서 발생하는 전자파의 세기는 미약하여 거의 체온상승을 일으키지 않을 뿐만 아니라 암, 백혈병 및 두통, 현기증, 기억력 감퇴 등과 같은 다른 질병의 발병률을 증가시키거나 촉진한다는 일관성 있는 과학적 증거는 현재까지 없습니다.



**Q & A**  
**9. 어린이는 휴대폰 전자파에 더 민감한가요?**  
일반적으로 어린이나 청소년은 신체적인 미성숙으로 인하여 같은 양의 전자파에 노출이 된다고 하더라도 어른보다는 전자파에 대해 더 취약하고 민감할 것으로 우려하고 있습니다. 이와 관련하여 2004년 6월, 세계보건기구는 "전자파 노출에 대한 어린이의 민감도"에 관한 워크숍을 개최하였는데 이 워크숍에서는 어린이가 전자파에 더 취약하다는 확실적인 증거는 없으나 좀 더 많은 연구가 필요하다는 결론을 내렸습니다.



**Q & A**  
**10. 전자파에 특별히 민감한 반응을 보이는 사람이 있나요?**  
일상생활에서 발생하는 전자파의 세기는 국제기구 및 정부에서 마련한 전자파인체보호기준치보다 훨씬 낮기 때문에 인체에 해로운 영향을 주지 않는다고 볼 수 있습니다. 그럼에도 불구하고 어떤 사람들은 좀 더 이상을 전자파 때문이라고 생각하여 피로, 스트레스, 수면 방해, 뜨거운 느낌, 소화 장애 등의 증상을 호소하고 있습니다. 하지만 그 원인이 전자파 때문인지는 현재까지 정확히 알려지지 않고 있습니다.

1997년 유럽공동체(EEC : European Community)의 연구결과 보고서에 따르면, 인구 백만 명당 수 명이 전자파로 인한 "과민성환시 : Electromagnetic Hypersensitivity" 증상을 가지고 있다고 합니다.

\* 전자파인체보호기준치는 전자파가 홈페이지(www.fda.gov)를 참고하세요.





11. 휴대폰의 전자파가 의료기기나 심장박동기의 작동에 영향을 주나요?

정보통신부 전파연구소는 1998년부터 1999년까지 신형 의료기기를 대상으로 휴대폰을 이용하여 「전자파가 의료기기에 미치는 영향에 관한 연구」를 수행한 바 있습니다. 그 결과, 휴대폰의 전자파가 의료기기에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났습니다.

그러나 모든 의료기기에 대하여 아주 가까운 거리에서 휴대폰을 사용하는 경우에 대한 영향여부도 완전히 밝혀진 것은 아닙니다. 그러므로 소중한 생명을 다루는 병원에서 특히 주변에 의료기기가 많은 장소나 민감한 전자의료기기가 많이 있는 중환자실에서는 휴대폰의 사용을 가급적 자제해야 합니다.



12. 숲, 선인장, 동전 등이 전자파를 차단하는 효과가 있나요?

없습니다. 2006년 11월, 정보통신부 전파연구소에서 숲, 선인장, 동전 등을 사용하여 전자전자에서 발생하는 전자파의 노출량을 측정할 결과, 숲, 선인장, 동전 등이 전자파를 줄이거나 차단하는 효과가 없는 것으로 나타났습니다. 그러므로 숲, 선인장, 동전 등을 이용하기보다는 가전제품의 적정거리를 준수하는 것이 전자파 노출을 줄이는데 도움이 될 것입니다.



생활속의 전자파 얼마나 알고 계십니까?



3장  
생활주변의 전자파  
생활주변의 전자파의  
세기는 어느 정도인가요?

휴대폰, TV, 컴퓨터, 에어컨이가--  
일상생활에서 자주 사용하는 전자제품들의  
전자파 세기는 어느 정도 될까?

Q&A

# 3 장 생활주변의 전자파 생활주변의 전자파의 세기는 어느 정도인가요?



## 13. 휴대폰에서 발생하는 전자파의 세기는 어느 정도인가요?

휴대폰 전자파의 인체영향 정도는 전자파 흡수율(SAR)로 나타냅니다. 우리나라는 국제기준인 국제비전리복사보호위원회(ICNIRP)가 정한 기준보다 더 엄격한 기준인 1.6 W/kg으로 제한하고 있습니다. SAR 측정의 최대 출력인 300 mW에서 이루어지는데 도심지역에서 실제 통화 시 휴대폰의 출력은 약 30 ~ 60 mW 정도입니다. 이때의 SAR값은 약 0.4 W/kg 이하로서 휴대폰 제조사에서 공개하고 있는 실제 SAR 측정값의 1/4 ~ 1/10 정도입니다.



### 여기서 질문! 전자파 흡수율(SAR)이란?

전자파 흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)은 휴대폰의 같이 우리 몸에 밀착하여 사용하는 통신기기로 주어진 전자파 인체에 얼마나 흡수되는지를 나타내는 것을 말합니다. 단위는 W/kg으로서 인체 조직 단위 질량당 흡수되는 전자파 에너지의 양을 나타냅니다.

### 여기서 질문! 국제비전리복사보호위원회(ICNIRP)란?

국제비전리복사보호위원회(ICNIRP: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection)는 전자파인체보호 기준을 제정하는 국제기구입니다. [www.icnirp.de](http://www.icnirp.de)



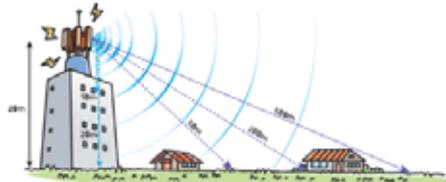
# 3 장 생활주변의 전자파 생활주변의 전자파의 세기는 어느 정도인가요?



## 14. 휴대폰 기지국 전자파의 세기는 어느 정도인가요?

2006년 8월, 정보통신부 전파연구소에서 공업, 상업, 주거지 등 25개 지점에서 휴대폰 기지국 전자파의 세기를 측정된 결과, 이 25개 지점 주변은 전자파안전보호기준치 대비 수백분의 일 이하의 아주 낮은 값이 나왔으며 기지국이 설치된 건물 옥상 바로 아래부분이나 기지국 주변에서는 전자파안전보호기준치 대비 수백분의 일 이하의 낮은 값이 나왔습니다.

전자파는 거리에 따라서 급격히 약해지는 성질이 있기 때문에 일정거리 이상 멀어지면 안전합니다.

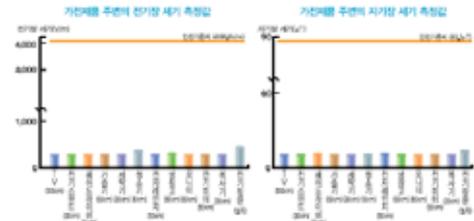


기지국으로부터 거리(미터)	10	200미터	500미터	2000미터	5000미터
전자파(전계)가	0.02	0.01	0.004	0.002	0.001
국제비전리복사	약 1/100	약 1/200	약 1/1,000	약 1/5,000	약 1/10,000
보호					



## 15. 가전제품에서 발생하는 전자파는 어느 정도인가요?

2003년, 정보통신부 전파연구소에서는 시중에 시판되고 있는 가전제품 22개 품목을 대상으로 전자파 세기를 측정한 바 있으며 그 결과는 아래 그래프에 제시된 바와 같이 전기장과 자기장 모두 전자파안전보호기준치보다 낮은 값이 나왔습니다.



\* 물품명에 기재는 기지국보다 측정데이터가 기지국보다 낮음





생활속의 전자파 얼마나 알고 계십니까?



# 4 장

## 전자파 관련 제도 전자파로부터 인체를 보호 하기 위한 제도가 있나요?

우리나라와 외국은 전자파에 대한 각종 규제방안들을 마련해 놓고 있습니다. 인공을 가진 휴대전화, 가전제품 등은 인체에 해가 없고 안전합니다.

**Q&A**

# 4 장

## 전자파 관련 제도 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 제도가 있나요?



### 16. 전자파의 인체영향에 대한 국내의 연구동향은 어떤가요?

우리나라는 1996년부터 전파연구소, 한국전자통신연구원(ETRI), 전지파학회 및 외대 등과 협력하여 전자파의 인체영향 연구를 수행하고 있습니다.

특히 체계적인 연구를 위하여 정보통신부에서 전자파 인체영향 연구에 대한 기본계획을 수립하여 2000년부터 2005년까지 전자파 인체노출량 평가기술 개발, 전자파 저감기술 연구 및 노출장치 개발 등 공학 분야의 연구와 동물, 세포 실험, 역학 및 의학 분야 등의 연구로 나누어 상호 보완 연구를 진행한 바 있습니다.



또한, 전자파 인체영향의 과학적 규명을 위하여 2006년부터 2010년까지 전자파 인체노출량 평가 기준 마련 및 전자파의 장기간 노출에 대한 동물, 세포 실험 등을 지속적으로 수행할 계획입니다.



### 17. 전자파의 인체영향에 대한 외국의 연구동향은 어떤가요?

세계보건기구를 포함하여 미국·유럽 등 세계 각국에서 전자파의 인체 영향에 대한 연구 활동을 활발하게 수행하고 있습니다.

미국은 1994년부터 5년간 'EMF RAPID' 프로그램을 수행해 왔습니다. 이 연구는 60 Hz 전압주파수의 전자파가 생체에 미치는 영향을 평가하고 일반대중에 연구 결과를 홍보한다는 목적으로 진행된 연구입니다. 그리고 이(통통신산업협회(CTIA) 산하 무선기술연구소(WTR)는 1995년부터 전자파의 생물학적 영향에 대한 연구를 수행하고 있습니다.

유럽에서는 유럽 과학기술연구분야 협력 프로그램(COST 261)을 통하여 1996년부터 전자파 인체영향 및 인체보호기준에 관한 연구를 수행하고 있습니다. 아울러 세계보건기구에서도 1996년부터 "국제 EMF 프로젝트"를 통하여 전자파 노출로 인한 건강과 환경영향 평가 연구를 수행하고 있습니다.

Q & A

18. 외국에서는 인체의 전자파노출을 어떻게 규제하고 있나요?

미국, 호주, 캐나다, 일본 및 스웨덴도 전자파인체보호기준을 법으로 규제하고 있습니다.

미국은 1967년부터 위성통신 및 방송과 관련된 무선설비들을 허가하기 전에 초기 환경평가(EA: Environmental Assessment)를 하고 사후에는 정기적인 환경평가를 받도록 하고 있습니다. 일본은 2002년 6월부터 무선국을 설치하는 자에 대하여 전자파인체보호기준을 초과하는 지역에 안전사실을 설치하는 것을 의무화하고 있습니다.



또한 유럽연합(EU: European Union)에서는 전자파인체보호기준에 관한 유럽공동체(CEC) 지침을 제정하고 발표하였으나

현재 각 나라별로 기준을 별도로 제정하여 규제를 하고 있습니다.

그리고 휴대폰의 전자파 흡수율(SAR)에 대한 규제를 보면 미국은 1997년부터 이연방통신위원회(FCC)에서 규제하고 있으며, 휴대폰의 FCC 승인을 위한 시험항목에 SAR을 추가하여 SAR 시험성적서를 제출하지 않을 경우, FCC 인증서가 발급되지 않으므로 판매가 불가능하게 하고 있습니다. 호주와 캐나다는 1999년, 일본은 2002년 6월부터 강제 규제를 하고 있습니다. 유럽연합의 각국들은 정부에서 강제 규제를 하고 있지는 않지만 제조자책임선언(SDoC)을 통하여 제조업체에서 자율적으로 이행하도록 하고 있습니다.

여기서 질문! 제조자책임선언(SDoC)이란?

제조자책임선언(SDoC: Supplier Declaration of Conformity)은 제조업체가 제품의 기술기준 적합성 여부를 자체적으로 확인하여 인증마크를 부착한 후 전자파인체보호 관련 사항을 통하여 적정성 이행 여부를 전파하는 제도입니다.

Q & A

19. 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 세계보건기구의 역할은?

세계보건기구에서는 1996년부터 0 ~ 300 GHz 사이의 전자기파 환경에 미치는 영향을 밝히기 위하여 "국제 EMF 프로젝트"를 추진하고 있습니다. 이 연구에는 우리나라를 포함하여 미국, 영국 등 54개 국가와 국제전기통신연합(ITU) 등 8개 국제기구가 참여하고 있으며, 2007년까지 다양한 주파수의 전자파 노출에 따른 건강 및 환경 영향 평가를 완료할 계획입니다. 그리고 전자파 인체영향 연구와 관련된 정보들을 체계적으로 관리하고 있습니다.



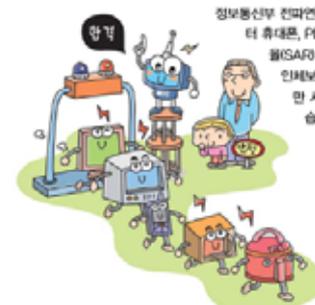
여기서 질문! 국제전기통신연합(ITU)이란?

국제전기통신연합(ITU: International Telecommunication Union)은 전기통신관련 국가 간 상호조정, 국제협력, 국제 전기통신규칙 제·개정 및 개발도상국 지원 활동을 하는 전기통신 관련 최고 국제기구입니다.  
[www.itu.int](http://www.itu.int)

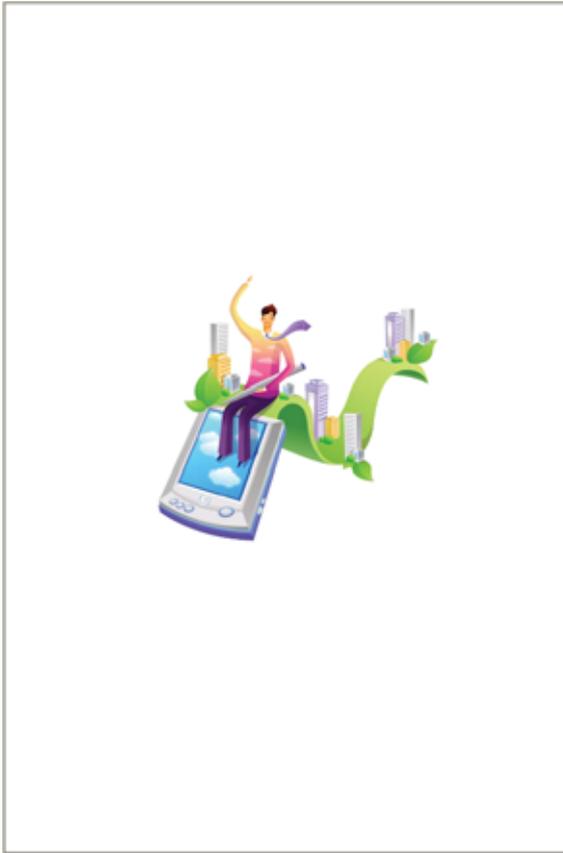
Q & A

20. 우리나라도 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 법이 있나요?

한국전자파학회는 1996년부터 수행한 연구결과를 토대로 1999년 5월, 국내 최초로 민간차원의 전자파인체보호기준을 마련하였으며 정보통신부에서는 한국전자파학회의 안을 토대로, 2000년 말에 전자파인체보호기준, 전자파강도 측정기준, 전자파 흡수율 측정기준, 전자파강도 및 전자파 흡수율 측정대상기기·측정방법 등 관련법을 제정하였습니다.



정보통신부 전자연구소에서는 2002년 4월부터 휴대폰, PDA 등에 대한 전자파 흡수율(SAR) 측정을 의무화하여 전자파 인체보호기준을 만족하는 경우에만 시장에 유통되도록 하고 있습니다.



## + 부록

일상생활에서의 전자기파기는 안전하지만  
예상적 차원에서 전자기 노출을 좀 더  
줄일 수 있는 방법이 있습니다.

휴대폰 사용은 이렇게!  
가전제품의 좋은 사용습관

### 휴대폰 사용은 이렇게!

- 1 통화 시 휴대폰의 안테나와 머리의 거리는 가급적 멀리하여 사용합니다.
- 2 이어폰과 핸드프리 등을 사용하는 것도 좋습니다.
- 3 통화는 최대한 짧게 합니다.
- 4 어린이 및 임산부 등은 휴대폰 사용을 가급적 자제합니다.
- 5 심장박동기를 사용하는 사람은 휴대폰을 상의 안주머니에 넣고 다니지 않도록 합니다.

### 가전제품의 좋은 사용습관

- 1 일상생활에서 사용하는 전자렌지, 컴퓨터, TV, 청소기, 에어컨 등의 가전제품들을 적당거리 이상으로 유지합니다.
  - \* 이밖의 그외의 각종 가전제품의 특징(거리)을 나타내어 우리 몸에서 노출 인강하고 약한 부위에 해당하므로 전자파가 집중되고 있는 중에 너무 가까운 거리에서 내뿜을 때에는 주의 삼가는 것이 좋습니다.
- 2 모든 가전제품들은 가급적 단시간 사용하고 사용 이후에는 항상 전원을 끄습니다.

