제 출 문

본 보고서를 「전파이용 인체안전기준 연구」과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 01 . .

연구책임자 : 공업연구관 오 학태
연 구 원 : 전송주사 임 현창
연 구 원 : 공업연구사 홍 수원
연 구 원 : 공업연구사 김 기회

요 약 문

1. 과제명 : 전파이용 인체안전기준 연구
2. 연구기간 : 2000. 01. 01 2000. 12. 31
3. 연구책임자 : 공업연구관 오 학태
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	
1) 안전기준 연구 분야 o 외국 안전기준의 근거 (Rationale)에 대한 정밀 분석. o 세계보건기구 (WHO)의 전자파관련 국제 프로젝트 수행에 따른 연구결과물 번역 및 분석. o 전자파의 생체영향에 대한 연구논문 분석을 통하여 안전기준의 근거 정립. o 세포실험, 동물실험, 역학조사 등 안전기준의 직접적인 근거를 마련할 수 있는 연구과제 도출	오학태													
분기별 수행진도(%)		20%			30%			30%			20%			

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2) 수치해석적 연구 분야 o SAR compliance test에 대한 이론적 연구 o 인체의 전자파 흡수정도 정량화 o 휴대 전화기의 SAR 저감기술 개발 o 휴대 전화기 안테나의 접지면 영향 분석	홍수원													
3) 전자파 인체 흡수율 (SAR) 측정 연구 분야 o 국내·외 휴대 전화기의 SAR 현황 파악 o 국외 인증기관의 SAR 평가 시험 조건 파악 o Network Analyzer를 이용한 인체조직의 유전율 측정법 연구 o 근거리장 프로브 교정방법 연구 o 자유공간의 근거리장 (near field) 측정 프로브를 이용한 측정	임현창 김기회													
분기별 수행진도(%)		20%			30%			30%			20%			

나. 세부 과제별 추진사항

1) 안전기준 연구 분야

- o 외국 안전기준의 근거(Rationale)에 대한 정밀 분석.
- o 세계보건기구(WHO)의 전자파관련 국제 프로젝트 수행에 따른 연구결과물 번역 및 분석.
- o 전자파의 생체영향에 대한 연구논문 분석을 통하여 안전기준의 근거 정립.
- o 세포실험, 동물실험, 역학조사 등 안전기준의 직접적인 근거를 마련할 수 있는 연구과제 도출

2) 수치해석적 연구 분야

- o SAR compliance test에 대한 이론적 연구
  - SAR 측정 상황의 재연
  - SAR을 고려할 수 있는 휴대 전화기 제조공정 개발
- o 인체의 전자파 흡수정도 정량화
  - 휴대전화기 사용상황에 따른 인체 조직별 흡수된 전자파 에너지 분석
  - SAR의 1g, 10g 평균값의 타당성 제고
- o 휴대 전화기의 SAR 저감기술 개발
  - 高이득, 低SAR 휴대 전화기 구조 연구
  - SAR과 물리적 변수의 상관관계 도출
  - 재연성있는 SAR 저감 방법
- o 휴대 전화기 안테나의 접지면 영향 분석
  - λ/4 Helix, Whip 안테나의 본체 접지면에 의한 영향
  - EMI coating 상황에 따른 변화
  - 접지면 영향이 적은 안테나 거치 방법

3) 전자파 인체 흡수율(SAR) 측정 연구 분야

o 국내·외 휴대 전화기의 SAR 현황 파악

- 모델, 주파수, 출력에 따른 SAR 결과자료 축적
- Bar type, Flip type, Folder type 측정

o 국외 인증기관의 SAR compliance test 조건 파악

- CENELEC SC211B(Consideration for evaluation of human exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment in the frequency range 30㎒ 6㎓)
- OET Bulletin 65, Appendix. B(list of technical items for SAR evaluations)
- 모의인체(phantom)와 휴대전화기의 상대적 위치에 따른 Hot Spot의 위치 고찰

o Network Analyzer를 이용한 인체조직의 유전율 측정법 연구

- 인체 유사조직의 조성비와 전기정수(전기전도도, 유전율)의 함수 관계 도출
- 네트웍 분석기를 이용한 측정 결과치의 실험오차 연구

o 근거리장 프로브 교정방법 연구

- Waveguide에 의한 방법
- TEM cell에 의한 방법

o 자유공간의 근거리장(near field) 측정 프로브를 이용한 측정

- SAR signal source 분석을 통한 SAR 저감 방법 연구

o 원거리장(far field) 프로브를 이용한 휴대전화 안테나의 방사 패턴 측정법 연구

- 안테나의 매칭 조건에 따른 방사 패턴 측정
- 모의 인체가 안테나 방사패턴에 미치는 영향 연구

5. 연구 결과

1) 전자파-인체 보호기준 고시(안) 작성

o 전자파인체보호기준, 전자파강도측정기준, 전자파흡수율측정기준, 전자파 강도 및 전자파흡수율 측정대상기기·측정방법 (본부 감리과 및 전자파 학회와 협조)

2) 연구 결과 발표

o 휴대폰의 3차원 CAD 파일을 이용한 FDTD 모델링

- 한국전자파학회논문지 제11권 제3호 2000년 4월호

o FDTD계산과 측정에 의한 휴대폰 SAR 비교

- 제4회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍 ('00. 10. 18)

o FDTD계산과 측정에 의한 휴대폰 SAR 비교

- 한국전자파학회논문지 제11권 제7호 2000년 10월호

3) 특허출원

o 통화품질과 SAR을 동시에 고려한 휴대폰 제조방법

- 출원번호 : 10-2000-0031202

o 전자기기의 실딩방법

- 출원번호 : 10-2000-0031203

o 두 개의 헬릭스로 구성된 휴대폰용 안테나

- 출원번호 : 10-2000-0057751

o 위상제어기가 구비된 휴대폰용 헬릭스 안테나

- 출원번호 : 10-2000-0057752

o SAR 저감을 위한 휴대폰용 헬릭스 안테나

- 출원번호 : 10-2000-0057753

o 휴대폰용 헬릭스 안테나

(Helix Antenna for Hand-Held Mobile Phone)

- 국제특허(PCT) 및 미국특허 출원

4) 의장등록

o 전자파 차단판이 설치된 폴더형 휴대폰

- 등록번호 : 의장 제256724호

o 외면에 디스플레이가 장착된 덮개가 슬라이딩 개폐되는 폴더형 휴대폰

- 등록번호 : 의장 제256725호

o 오른손잡이용 전용 휴대폰

- 등록번호 : 의장 제256724-1호

o 왼손잡이용 전용 휴대폰

- 등록번호 : 의장 제256724-2호

o 경사진 안테나가 구비된 휴대폰

- 등록번호 : 의장 제256726호

5) SAR 측정 및 측정방법 연구

o 단말기의 shielding 상태에 따른 field 분포 측정

o folder type의 휴대폰 SAR 측정 프로그램 작성

o 국내 휴대폰 단말기에 대한 SAR 측정(20종)

6) SAR 측정 지원

o 삼성전자 등 측정 및 기술지원(11개 모델 60대)

o 방송3사에 촬영협조

7) EMF기준위원회 설립 준비위원 구성

o 위원회 운영 예산(3,400만원) 확보를 위한 위탁연구과제 제안

o 전자기장의 인체 노출량 측정기술 개발 연구

6. 기대효과

1) 분야별 활용

o 제품개발

- 고이득, 저SAR 기술이 도입된 휴대전화기

· SAR로 인한 비관세무역장벽 대처

o S/W개발

- CAD 파일을 FDTD 입력데이터로 변환하는 S/W

2) 활용 사례

o 가정, 산업체, 의료기관에서의 안전지침작성에 활용

o 이동통신, 방송국 기지국 및 변전소 등의 안전설계를 위한 자료로 활용

o Computer simulation 기술을 이용한 SAR 계산

- 중소기업지원

·휴대폰 단말기의 설계단계에서 국제기준에 맞도록 설계가능

·제품생산의 시행오차를 줄일 수 있어 생산비용절감

o 모의인체를 이용한 SAR 측정장비

- 각종 휴대폰의 SAR측정

·업체생산품의 SAR기준에 대한 적합성 확인

·휴대폰에 대해 SAR값을 규제하는 국제흐름에 국내기업이 적응할 수 있게 지원

7. 기자재 사용 내역

1) SAR 측정 시스템 1식

o DASY 3 로봇 시스템

o Generic Twin Phantom

o 근거리장 프로브 등

2) 전자기장-생체영향 수치해석적 연구시스템 1식

o Alpha Server 4000

o XFDTD 5.0, HFSS 7.0 등

SUMMARY

As handheld mobile phone users increase, the obscure uneasiness for the harmful electromagnetic wave radiated from the phone during the communication to the human body is increased. The functions on the human body of the electromagnetic wave are classified as the thermal effect, the stimulative effect, and the athermal effect. Below 100kHz, the stimulative effect dominates the others and above that frequency the thermal effect dominates. In RF and MW region, the handheld mobile phone frequency region, the organism effect is the thermal effect which has strong relation with the energy absorption of the human body. So in this paper it was chosen by the performance criterion.

The procedure suggested for uncontrolled near-field environments is to show that the mass normalized rates of energy absorption(specific absorption rates or SAR's) are "below 0.08 W/Kg, as averaged over the whole body and spatial-peak SAR values not exceeding 1.6 W/Kg, as averaged over any 1g of tissue (defined in shape of a cube)," except for the hands, wrists, feet, and ankles, where the spatial-peak SAR shall not exceed 4 W/Kg, as averaged over any 10 g of tissue (defined as a tissue volume in the shape of a cube). The most difficult problem is that it is impossible to carry out a direct clinical demonstration to extract the SAR value. Therefore in the case of human head, they make a model using a material which have the identical electrical properties with the human tissue and measure the electric field and the distribution of temperature. Another method makes use of an analytic numerical model based on MRI data to compute the electric field and magnetic

field and obtain the SAR value through its results. But in the point of view of the manufacturer which produces the handheld mobile phone, these methods have few advantages. Because to measure how much the energy is absorbed in the human brain tissue when they make use of a handheld mobile phone, the SAR compliance test is performed by filling liquid with the electrical properties of the brain tissue on the frequency of the handheld mobile phone into the phantom in a human head shape. During that time, most manufacturers don't take into account the SAR in the design step and only depend on the heuristic or execute another work to pass the SAR compliance test in the final step. Therefore, for the improvement of the SAR properties, another properties which were optimized - examples, a telephone quality, an outer shape and so on - can become worse, so they suffer heavy losses in time and money. Therefore in this paper we simulated the SAR compliance test to reduce trial and error after transforming the computed aided design(CAD) into the FDTD model. And we proposed the developing process for good qualitative handheld mobile phone in the viewpoint of the manufacturer. This process can achieve the quantitative analysis on the handheld mobile phone which didn't pass the SAR compliance test and reduce the SAR.

목 차

표 목 차

그 림 목 차

제 1장 서 론

RF/MW 대역 전자파의 생체효과에 대한 학회가 미국 메릴랜드에서 1953년 4월 처음 개최된 이래 이 분야에 대해 많은 연구결과가 발표되었고, 이러한 축적된 연구 결과들을 토대로 미국, 소련을 비롯한 세계의 주요 나라들은 1970년대 후반에서 1980년대에 전자파에 대한 인체보호기준을 마련하였다.

각국은 열 작용과 관련된 비흡수율(SAR), 유도전류, 접촉전류 등 단기간의 생체작용과 관련된 양들을 노출기준에 대한 기본적인 양으로 하여 인체보호기준을 설정하였다.

그리고 미국의 FCC는 1996년 8월, 전자파의 인체장해에 관련된 기준을 제정하고 1997년부터 전자파 방출기기에 대한 환경영향평가를 의무화함에 따라 자국내에 유통되는 휴대폰에 대해서는 SAR 적합성 시험을 거치도록 하고 있다. 따라서 미국으로 수출하고자 하는 모든 휴대폰 제조업체로서는 휴대폰의 SAR 값을 최소화하는 것이 현재 직면해 있는 어려운 문제 중의 하나이며 이러한 문제는 휴대폰의 크기가 점점 작아지면서 훨씬 더 심각하게 다가오고 있다.

그러므로 '전파이용 인체안전기준 연구'를 통하여 휴대폰의 구조 및 방사조건에 따라 SAR과 통화품질 변화에 대한 정량적인 분석기법을 개발하여 전자파로부터 사용자들을 보호하고, 현재 비관세 무역장벽으로 대두되는 SAR 적합성 시험에 대한 대책을 마련하고자 한다.

이를 위하여 안전기준, 수치해석, SAR측정 등 3개 분야로 나누어 연구를 수행하였으며, 모의인체실험과 수치해석적연구 결과의 비교 분석함으로써 인체의 전자파 흡수정도에 대한 정량적 평가가 가능하였다.

제2장 전자파의 인체영향 및 휴대폰 SAR 연구동향

제1절 외국의 연구동향

세계각국에서 소규모 또는 국책과제로서 다양한 연구를 하고 있기 때문에 각 소규모 연구그룹에서 하고 있는 연구를 여기서 모두 소개할 수는 없다. 인체보호기준은 이미 여러나라에서 가지고 있으며 특히, 구 소련 등 동구권의 기준은 상당히 엄격하다. 이것은 정밀한 실험결과를 근거로 한 것이라기보다는 "현명한 회피"의 개념으로서 아직 정확한 사실을 알 수 없지만 일단 엄격한 기준을 정해놓고 향후에 새로운 실험결과가 나올 경우, 이것을 기준에 반영하는 것이다. 미국을 비롯한 서방선진국은 반대의 개념으로서 정확한 사실이 밝혀질 때까지 엄격하지 않은 기준을 정해놓고 적극적인 연구활동을 통하여 필요할 경우 기준을 엄격하게 개정한다는 전략을 세워놓고 있다. 전자파-인체보호기준은 각종 기기에서 방출되는 전자파로부터 인체를 보호하기 위하여 만들어진 기준이므로 전기·전자제품 특히, 휴대전화 등의 국가간 무역체계에 있어서 인체보호기준을 만족하도록 규제할 경우 국가마다 다른 현재의 기준은 무역마찰 등 새로운 문제가 될 가능성이 있다. 따라서 전세계의 각기 다른 기준을 통일시켜야 할 필요성이 있어, 세계보건기구(WHO)에서는 1996년부터 국제 EMF(Electromagnetic Field; 전자기장) 프로젝트를 시작하여 2005년에는 통일된 기준을 제정하는 것을 목표로 하고 있다.

세계보건기구(WHO)의 국제 EMF 프로젝트

국제 EMF 프로젝트의 목적은 노출한계치(exposure limit)에 대한 국제적인 지침(international guideline)을 개발하기 위하여 0 300 GHz 영역의 전자기장 노출에 대한 건강 및 환경 영향을 평가하는 것이다. 이 프로젝트의 기간은 1996년에서 2005년까지이며 프로젝트의 목표는 다음과 같다.

- ◆ EMF 노출의 가능한 건강영향(possible health effects)에 관한 관심사에 대해 사전 조정된 국제적인 해답을 제공함.
- ◆ 과학분야 문헌을 평가하고, 건강영향연구에 대한 현황보고를 함.

◆ 건강위해 평가를 보다 잘 하기 위해서 연구가 더 필요한 분야를 찾아냄.
◆ 높은 수준의 집중적인 연구 프로그램의 장려.
◆ 연구결과를 WHO의 환경건강기준(EHC; Environmental Health Criteria) 연구보고서에 반영하여 EMF 노출에 대한 공식적인 건강 위해 평가를 함.
◆ EMF 노출에 대해 국제적으로 수용할 수 있는 표준의 개발.
◆ 국가 및 다른 당국자들을 위해서 EMF protection program의 관리에 대한 정보를 제공함.
◆ 국가 및 다른 당국자들에게 EMF 건강 및 환경 영향, 그리고 필요한 방호 대책을 권고함.

EMF 프로젝트의 수행을 감독하는 조직은「국제 자문위원회(IAC; International Advisory Committee)」로서 각종 포럼(forum)을 제공하고, 프로젝트의 연구 결과물을 검토한다. 실제 연구에 관여하는 조직(Scientific arm)은 「국제 비전리 복사 방호위원회(ICNIRP)」를 포함한 8개 국제기구로서 다음과 같다.

◆ ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) : 국제 비전리 복사 방호위원회
◆ IARC(International Agency for Research on Cancer) : 국제 암연구소
◆ ILO(International Labor Office) : 국제노동기구
◆ ITU(International Telecommunication Union) : 국제 전기통신연합
◆ EC(European Commission) : 유럽위원회
◆ IEC(International Electrotechnical Commission) : 국제 전기기술위원회
◆ UNEP(United Nations Environment Programme) : 연합국가 환경프로그램
◆ NATO(North Atlantic Treaty Organization) : 북대서양 조약기구

본 프로젝트를 통해서 현재까지 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

◆ RF Fields(무선주파수장)
- 강한 RF 전자기장은 조직을 가열함으로써 건강상의 위해를 야기시킬

수 있음.

- 약한 RF 전자기장에 장기간 노출되었을 때 과학적으로 확증된 위해는 없지만, 몇몇 의문사항들은 완전하게 연구되지 않았음.
- 향후의 연구는 이동 및 셀룰라 전화에서 사용되는 변조방식과 펄스패턴을 가지는 900 2000 MHz의 주파수 영역에 집중되어야 함.
- 향후의 모든 연구에서는 RF field 노출량에 대한 정확한 평가가 필수적으로 수반되어야 하며, 각 연구팀에는 RF dosimetry 전문가가 필히 포함되어야 함.
- 향후의 역학조사 연구에서 각 개인의 장기간에 걸친 노출량의 정확한 평가를 위한 기구 또는 평가방법의 개발은 높은 우선순위를 차지함.

◆ ELF Electric and Magnetic Fields(극저주파 전자기장)

- 몇몇 역학조사 연구는 송전선 근처 소아의 백혈병 발병률의 증가를 제시했지만, 이것이 ELF 자기장에 의한 것인지 다른 환경요인에 의한 것인지는 아직 밝혀지지 않았음.
- ELF 노출이 성인의 유방암 및 기타 암, 치매 등과 같은 신경되행성 질환, 전기에 대한 과민증 등과 같은 주관적인 영향○과 관련이 있다는 연구결과들은 아직 해결되지 않은 문제임.
- 50/60 Hz에 중첩된 천이성 또는 높은 주파수의 고조파 장의 노출에 대한 생물학적 영향에 대해서는 발표된 연구결과가 없음.

◆ Static Fields(정전자기장)

- 현재까지의 연구결과는 일상적인 환경이나 작업장에서 발견되는 수준의 정전기장은 건강에 유해한 영향을 미치지 않으므로 더 연구할 필요가 없음.
- 정자기장은 매우 높은 강도에서만 영향을 미치는 것으로 알려져 있음.
- 자기부상열차, 의료용 진단 및 치료기기, 산업용 응용기기 등과 같이 중간 또는 고강도의 자기장을 이용하는 기기들이 사용되거나 개발되고 있으며, 일반인과 직업인의 전자기장 노출을 증가시킬 수 있음.
- 정전자기장 노출에 대한 장기간 영향에 대해 더 많은 정보가 필요함.

EMF RAPID Program (미국)

미국에서는 미국의회 에너지 정책법(Energy Policy Act 1992)에 근거하여 1994년부터 1998년까지 5년간 "전자기장 연구 및 대중에 대한 정보 보급(RAPID; Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination)" 프로그램을 추진하였다. 예산은 6천5백만 달러(한화 약 7,800억원)로서 비정부기구가 50%를 부담하였다.

RAPID 프로그램의 목적은 전기의 생산, 공급, 사용 때 발생되는 60 Hz 전자기장이 생체에 미치는 영향을 평가하고 일반 대중에게 이러한 결과를 홍보하는 것이었다. 연구의 주요 관심사항은 첫째, 발전, 송전 및 전기에너지의 소비에 의해 발생하는 전자기장은 인체의 건강에 위험한가? 둘째, 만일 그렇다면 그 위험도는 어느 정도 심각한가? 셋째, 누가 위험에 노출되어 있는가? 그 위험을 감소할 수 있는가? 등이다.

연구전략은 미국 및 다른 나라에서 이미 실시되고 있는 전자기장의 연구를 보완하고, 연방정부의 전자기장 연구에 초점을 두고 결과를 평가하고, 그것을 일반인에게 이해할 수 있도록 핵심이 되는 사항을 설명하는 것이다. RAPID 프로그램을 수행하는 조직은 우선 미국 에너지부(DOE)에서 전체계획을 관장하며, 기술적인 연구를 주관한다. 국립환경건강연구소(NIEHS)에서는 위험평가와 건강에 관한 연구를 주관하고 DOE와 공동으로 일반대중에게 정보를 전달한다. 또한 미국과학아카데미(NAS)에서는 연구결과를 평가하고, 연방정부 부처별 위원회(IAC; Interagency Committee)에서는 연구방향을 설정하며 부처별 협의에 의해 권고안을 확정한다.

연구내용은 건강영향연구(Health Effects research), 공학적 연구(Engineering), 위험도 평가(Risk Assessment), 정보제공(Communication) 분야로 나뉘어서 진행되었다. 1998년 7월까지의 연구결과내용을 정리하면 다음과 같다.

◆ 과학적 근거를 규명하는 동물실험 결과

- 소동물실험(in vivo study) : 발암성에 대해서 근거 있는 충분한 데이터를 확보하지 못함.
- 동물세포실험연구(in vitro study) : 100 mG를 기준으로 하여 1000 mG이상의 강한 전자기장에 대해서는 발암성이 있다는 입장을 취했으나, 1000 mG이하의 약한 전자기장에 대해서는 거의 증거가 없다는 견해를 밝힘.

◆ 역학적 조사 연구 결과

- 소아암과 성인 임파암에 대해서 제한된 증거가 있다고 밝힘. 제한된 증거라고 한 이유는 대부분의 역학조사에서는 상관관계가 없었으나 Linet(1997)의 역학연구 중 하나의 결과만이 유의성을 보여 "제한된"이라는 용어를 사용하였으며 이 연구결과에 대해서 각 전문가들이 여러 각도에서 검토 중인 것으로 알려져 있음.

◆ 발암성에 관한 NIEHS Working Group의 결론

- 전자기장을 국제 암연구소(IARC)의 발암성물질 분류 2B군으로 분류 (2B군은 커피, 고사리 등이 포함됨)
- 지금까지의 연구결과로서는 어느 정도 수준에서 인체의 건강에 영향을 주는지를 판단할 수 없고 향후 연구를 통해 이를 확인해야 함.

그러나 미국 과학아카데미(NAS)는 "EMF RAPID" 프로그램의 연구결과는 전기사용이 건강에 위험하다는 의견을 지지해주지 못한다고 평가했다(1999. 5. 20). 국립환경건강연구소(NIEHS)는 의회가 연구를 위임한 지 6년만에 전력선 주변에서 발생하는 전자기장이 암이나 기타 다른 질병을 일으킨다는 증거는 "미약한(weak)"것으로 결론짓고, 앞서 Working Group에서 전자기장을 암 분류등급 2B로 분류한 결정을 철회하였다.

유럽

유럽에서는 4년 주기로 계속되는 Framework Programme(FP)을 통하여 연구기술개발활동(RTD; Research, Technological development and demonstration)을 지원하고 있으며, 이미 1998년에 "5차 FP"가 시작되어 2002년까지 4년의 계획으로 RTD 지원활동이 전개되고 있다. 「5차 FP」는 EC(European Community)와 Euratom(유럽원자력공동체) framework programme으로 나누어져 있으며, 유럽에서 가장 큰 관심을 불러 일으키고 있는 문제를 해결하는 것을 그 목표로 하고 있다. 전체적인 목표는 크게 4개의 Key action 개념을 도입하고 있으며 그 내용은 다음과 같다. ① 삶의 질 및 생활자원취급의 개선(24억 EURO) ② 사용자 친화적 정보사회 구축(36억 EURO) ③ 경쟁적, 지속적인 성장의 증진(27억 EURO) ④ 에너지, 환경, 그리고 지속적인 발전(11억 EURO). 이와 같이 4개의 key action으로 구성된 5

차 FP의 전체예산은 총 149억 6천 EURO(Euratom programme예산 12억 6천 EURO 포함)로서 4차 FP 예산대비 4.61%가 증가하였다.

5차 Framework Programme의 첫 번째 주제인 "삶의 질과 생활자원" 문제에 대한 작업 프로그램에서 「셀룰러 전화로부터 복사되는 비전리 전자파에 의해 발생 가능한 영향을 결정하기 위한 역학연구 및 생의학적 연구」에 높은 우선순위를 부여하였으며, 다음과 같은 영역의 연구에 대한 제안이 있었다. ① 다른 환경 발암성 물질과 전자기장과의 복합적인 효과 ② 펄스 전자기장을 이용한 보안기기③ 전자기장에 의한 세포의 분자 및 기능적인 반응 ④ 이동전화의 암 위험에 관한 환자-대조군 국제 연구.

EU는 Framework Programme을 COST(European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research; 과학 및 기술 연구 분야에 대한 유럽 협력) Programme과 연계하여 추진하고 있다. COST 프로그램은 1971년에 시작되었으며 현재 200개가 넘는 Action(연구의제별 분류)이 구성되어 있다. 1999년 현재 COST Action에 참여하고 있는 국가는 총 43개국(회원국 32, 비회원국 11)으로서 관련연구에 참여하고 있는 과학자 수는 약 30,000명이다. 이와 같은 COST Action 중에 「전자기장의 생체영향」연구를 수행하는 Action이 1996년 11월에 Action 244bis라는 이름으로 발족되었으며, 연구기간은 4년으로 계획되어 있다. Action 244bis의 연구제목은 「Biomedical effects of electromagnetic fields(전자기장의 생의학적 효과)」로서 생의학적 연구수행을 목적으로 하고 있다. 참여국은 오스트리아, 벨기에, 크로아티아, 체코, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 이태리, 네덜란드, 폴란드, 슬로베니아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국 등 총 18개국으로서 참여국 당 3천만 EURO의 연구자금을 지원하고 있다.

일본

일본은 우정성에서 「전자파의 인체 및 기기에 대한 영향」에 관한 각종 업무를 관장하고 있으며 산하 연구기관인 통신종합연구소(CRL; Communications Research Laboratory)에서 전자파 장해 측정방법 및 전자파-인체 상호작용 연구 등을 수행하고 있다. 또한 CISPR의 권고에 따른 국가 표준화 및 무선 주파수 파의 세기 측정방법 등의 연구를 수행하기 위해 전기통신기술심의회(TTC; Telecommunications Technology Council)를 운영

하고 있다.

무선주파수 전자파로부터의 인체보호와 관련하여서는 1990년 6월, 전기통신기술심의회에서 「인체의 전자기장 노출에 대한 전파방호지침(Radio-Radiation Protection Guidelines for Human Exposure to EMF)」을 발표하였고, 1993년 9월에는 전파산업회(ARIB; Association of Radio Industries and Businesses)에서 「무선 주파수 전자파 노출에 대한 방호기준(Radio Frequency-Exposure Protection Standards)」을 발표하였다. 우정성은 1996년 3월, 「인체의 전파방호에 대한 연구그룹」을 발족하여 본격적인 연구에 돌입하여, 1997년 4월에 전기통신기술심의회에서 「인체의 전자기장 노출에 대한 전파방호지침 개정(안)」을 만들었다. 현재 우정성 주도로 운영되고 있는 연구그룹은 「EMF에 대한 인체노출 연구 위원회(1997년부터 5년간)」과 「인체의 전자기장 노출에 대한 전파방호지침의 바람직한 적용을 위한 연구그룹(1998년 3월 발족)」이 있다.

현재, 무선주파수 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 우정성의 접근방법은 첫째, 인체영향에 관한 연구를 수행하고, 둘째, 인체의 전자기장 노출에 대한 전파방호지침의 법제화이다. 전파방호법규의 도입배경은 이동전화 등의 전파사용이 급증함에 따라, 인체에 근접해서 사용하는 무선기기 전자파가 인체에 미치는 영향에 관한 관심이 증가함에 따른 것이다. 우정성의 연구그룹이 1998년 3월에 우정성에 제출한 보고서에서 자발적 권고기준으로 되어있는 "전파방호지침"을 정부기준으로 할 것을 제안하였고, 이에 따라 1998년 10월 1일, 우정성은 무선설비로부터 인체보호기준을 초과하는 지역으로의 일반인 출입을 통제하는 안전시설을 해야한다는 내용의「전파법 시행규칙 개정안(유예기간 1년)」을 공표 하였다.

1997년 발족된 「인체의 전자기장 노출에 관한 연구위원회」에서는 이동통신단말기 전자파의 인체영향을 과학적으로 규명하기 위해 5년의 계획으로 동물실험 등, 생물학적 안전에 관한 연구를 수행하고 있으며 예산은 98년에 89만 US dollars, 99년 190만 US dollars가 투입되었으며 2000년에는 260만 US dollars가 책정되어 있다.

제2절 우리나라의 연구 현황

전자기장(EMF; Electromagnetic Fields) 노출에 따른 건강영향문제는 80년대초부터 많은 논쟁이 있었음에도 불구하고 아직까지 명확한 결론이 나지 않은 상태이다. 현재 일반 국민의 주요 관심대상은 전력선, 이동통신기지국, 휴대폰 등으로부터 방출되는 전자파가 인체에 유해한가 아니면 무해한가이다. 전자파뿐만 아니라 우리 생활주변의 모든 요소가 그 사용이 과다할 경우에 유해할 수도 있으며, 전자파도 같은 관점에서 봐야하므로 연구자들의 입장에서 보면 유·무해여부를 흑백논리로 판정할 수는 없다. 그러나 전자파에 대한 전문지식이 없는 일반인들은 대중매체로부터 얻게되는 정보에 의존하므로 막연하게 불안감을 가지게 된다. 이런 상황에서 각종 민원이 발생하게 되는데 1995년 1월부터 1999년 9월까지 집계된 민원발생현황을 주파수별로 살펴보면 우선 무선주파수(RF) 대역과 관련한 민원은 두통 등의 신체적 고통을 호소하면서 이동통신 기지국의 설치를 반대하는 내용으로서 50건이 발생하였고, 극저주파(ELF) 대역과 관련해서는 생태계 파괴 및 지가하락을 염려하여 송전선의 우회를 요구하면서 거주지 주변의 송전탑 설치를 반대하는 내용으로서 34건이 발생하였다. 이러한 상황에서도 관련 연구는 체계적으로 이루어지지 않고 있었으나 1996년부터 정보통신부에서 전자파에 대한 전문적·학술적 연구를 수행하도록 하기 위하여 한국전자파학회, 전자통신연구원 등에 연구비를 지원하여 1996년 4월에 한국전자파학회내에 「전자장과 생체관계 연구회」가 발족되어 연구를 시작하게 되었다. 정보통신부는 또한 1998년부터 세계보건기구(WHO)의 EMF 국제 프로젝트에 참여하고 있다.

전자파학회의 「전자장과 생체관계 연구회」는 의공학, 공학, 물리학 분야의 전문가로 구성되어 외국의 연구자료를 분석하고, 동물실험, 전자기장 노출시스템의 분석 등 본격적인 연구를 수행중에 있으며 1999년에는 정보통신부 전파연구소와 공동으로 이동통신기지국, 방송국, 송전선, 가전기기 등에 대한 국내 전자기장 환경을 측정, 분석하였다. 1999년 5월에는 “전자기장 노출에 대한 인체보호기준”과 “전자기장 세기 측정방법”을 마련하여 발표하였는데, “인체보호기준”은 국제 비전리 복사 방호위원회(ICNIRP)의 기준을, “측정방법”은 유럽전자기술표준화위원회(CENELEC)의 기준을 각각 채택하였다.

한국전자통신연구원은 1997년부터 현재까지 SAR(Specific Absorption

Rate; 인체의 전자파흡수율)측정 표준화 연구를 수행중이다.

한국전력(주)에서는 1996년부터 미국 전력연구소(EPRI)와 공동으로 500kV 송전선로의 전자기장이 양의 면역체계에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하고 있으며, 전기연구소에서는 극저주파(ELF) 전자기장의 안전성 평가 연구가 진행중이다.

우리 전파연구소는 1997년부터 적극적인 연구를 시작하여 현재는 SAR 측정시스템 및 수치해석(Numerical Analysis)시스템을 갖추고, 휴대전화 전자파의 인체 흡수율(SAR) 평가방안 및 SAR 저감기술에 관한 연구를 수행중이다.

제3장 전자파-인체보호기준의 법제화 현황

제1절 전자파-인체보호기준에 대한 외국의 법제화 현황

미국은 1996년 8월 1일, 미연방통신위원회(FCC)에서 관리하는 송신기에 대한 RF emission의 환경영향을 평가하기 위한 새로운 guideline 및 방법을 채택하였으며, 내용은 다음과 같다.

○ 300㎑ 100㎓ 의 주파수영역에서 동작하는 송신기의 전자기장 강도 및 전력밀도에 대한 최대허용노출한계(Maximum Permissible Exposure, "MPE")를 채택.

○ 위 MPE limits는 일반적으로 「국가 방사 보호 및 측정 협의회(NCRP)」의 권고를 근거로 함과 동시에,

○ 1992 ANSI/IEEE guidelines을 근거로 함.

□ 셀룰라 및 PCS와 같은 특정 handheld device를 평가하기 위하여 「전자파 비흡수율(SAR)」에 대한 제한치를 채택.

□ 근거는 ANSI/IEEE 및 NCRP 권고안.

□ RF guideline 시행을 위한 유예기간을 1997년 1월 1일까지로 연장.

▷ 17개 조직의 청원자의 요구

→ 새로운 권고안의 적합성평가를 위한 유예기간을 1997년 1월 1일 이후로 연장해 줄 것을 요구.

▷ 1996년 12월 24일, "First Memorandum Opinion and Order" report 에서의 공표 내용.

→ 무선국 면허신청자 및 면허자에 대해, 송신기로부터 방출되는 RF 전자기장의 환경영향평가를 해야 한다는 새로운 권고안 즉, RF guideline 시행시기의 연기.

▷ 대부분의 radio services에 대해

→ 1997년 9월 1일까지 8개월 연기.

▷ 아마츄어 무선 service는

→ 1998년 1월 1일까지 transition period를 가짐.

◎ FCC는 1997년 8월 25일, “Second Memorandum Opinion and

Order"를 채택.

→ 고정 무선국(fixed station) 및 송신설비에 대한 적용시기는 1997년 10월 15일까지 연기.

→ 기타의 모든 송신설비(transmitting facilities) 및 기기(devices)에 대해서는 2000년 9월 1일로 연기.

일본에서는 무선설비주위에 인체에 대한 전자기장 강도 기준레벨을 초과하는 지역으로의 일반인 출입을 제한하도록 안전시설을 설치하게 하는 내용을 법제화하여 1999년 10월 1일부터 시행하고 있다. 다음은 개정된 전파법 시행규칙의 내용이다.

우정성령 제　　호

전파법 (소화25년 법률 제 131호)의 규정에 근거하여, 전파법시행규칙의 일부를 개정하는 성령을 다음과 같이 정한다.

평성　　년　　월　　일

우정대신 自見 壓三郎

전파법 시행규칙의 일부를 개정하는 성령

전파법 시행규칙 (소화25년 전파감리위원회 규칙 제14호)의 일부를 다음과 같이 개정한다.

제21조의 2의 다음에, 다음의 1조를 추가한다.

(전파의 강도에 대한 안전시설)

제21조의 3

무선설비에는, 해당무선설비로부터 발사되는 전파의 강도 (전계강도, 자계강도 및 전력속 밀도를 말한다. 이하 같음.)가 별표 제2호의 2의 2에 정하는 값을 초과하는 장소 (사람이 통상, 모이고, 통행하고, 그 이외 출입하는 장소에 한한다.)에 취급자이외에는 쉽게 출입할 수 없도록 시설을 해야한다. 단, 다음과 각호에 게재하는 무선국의 무선설비에 관하여는 예외로 한다.

1. 평균전력이 20mW 이하의 무선국의 무선설비.
2. 이동하는 무선국의 무선설비.
3. 지진, 태풍, 홍수, 해일, 폭설, 화재, 폭동 그 이외, 비상사태가 발생하거나 발생할 위험이 있는 경우에 있어서, 임시로 개설한 무선국의 무선설비.
4. 前 3호에 개재된 것 이외에, 이 규정을 적용하는 것이 불합리한 것으로서 우정대신이 별도로 고시하는 무선국의 무선설비

前항의 전파강도의 산출방법 및 측정방법에 관하여는, 우정대신이 별도로 고시한다.

별표 제2호의 2의 다음에 다음표를 추가한다.

별표 제2호의 2의 2 전파강도의 값에 대한 표 (제21조의 3 관계)

주파수	전계강도 (V/m)	자계 강도 (A/m)	전력속밀도 (mW/cm²)	평균시간 (합)
1. 10kHz 30kHz	275	72.8		6
2. 30kHz 3MHz	275	$2.18f^{-1}$		
3. 3MHz 30MHz	$824f^{-1}$	$2.18f^{-1}$		
4. 30MHz 300MHz	27.5	0.0728	0.2	
5. 300MHz 1.5GHz	$1.585f^{1/2}$	$f^{1/2}/237.8$	f/1500	
6. 1.5GHz 300GHz	61.4	0.163	1	

주1 f 는 MHz를 단위로 한다.

주2 전계강도 및 자계강도는 실효치로 한다.

주3 인체가 전파에 불균일하게 노출되는 경우, 그 이외 우정대신이 이 표에 의하는 것이 불합리하다고 인정하는 경우는 우정대신이 별도로 고시하는 것으로 한다.

주4 동일 장소 또는 그 주변의 복수의 무선국이 전파를 발사하는 경우 또는 하나의 무선국이 복수의 전파를 발사하는 경우, 전계강도 및 자계강도에 관하여는 각 주파수의 표 중의 값에 대한 비율의 제곱의 합, 또는 전력속밀도에 관하여는 각 주파수의 표중의 값에 대한 비율의 합이 각각 1을 넘지 않아야 한다.

부 칙

1. 이 성령은 공포한 날로부터 起算하여 1년을 경과한 날로부터 시행한다.

2. 이 성령의 시행에 있어서 면허를 이미 받은 무선국의 무선설비에 관하여는 이 성령에 의한 개정후의 제21조의 3의 규정에도 불구하고, 해당 무선국의 면허의 유효기간이 만료하는 날 까지는 종전의 예에 의할 수가 있다.

제2절 휴대전화 SAR에 대한 외국의 법제화 동향

미국

97년 1월부터 SAR 적합성 시험을 실시하고 있으며, 1gram 평균 1.6 W/kg (국부노출)을 기준으로 설정해 놓고 있다. 측정방법은 FCC OET Bulletin65 Supplement C에서 기술하고 있으며, IEEE(미국전기전자학회)의 SCC34(Standard Coordinating Committee 34)에서 측정방법 수정(안)이 발표되는 대로 FCC에서 수용할 예정이다. 현재로서는 유럽의 SAR 평가기술을 주도하고 있는 N. Kuster교수(前 쮜리히 공대)의 제안이 많이 받아들여진 상태로서 결국, 미국과 유럽의 SAR 평가방법이 향후 2 3년내에 통일될 가능성이 있다.

유럽(스웨덴 및 독일)

독일의 경우 출력 10 W 이상인 기기에 대해서만 SAR 규격을 독일 법규(National law)에 따라 강제 적용하고 있어 해당 기기는 SAR 인증을 받는 것으로 되어 있다. 출력 10 W 이하인 기기는 독일 자체 법규가 준비되어 있지 않으며 현재 EU recommendation에 따라 적용할 수 있으나 정식 regulation으로의 적용은 하지 않고 업체 자율적용을 하고 있다. 저 출력(2 W 이하) 이동전화기의 경우도 CENELEC 규격 제정작업이 완료되어 공통적인 SAR 규격적용이 유럽에 시행 권고될 경우(2000년말) 이의 강제적용이 예상되며, 스웨덴의 경우도 R&TTE(Radio Equipment and Telecommunication Terminal Equipment Regulation)지령에 따라 EN 규격에 SAR을 포함할 가능성이 크다. 영국도 ES59005규격을 적용하여 SAR 규제를 실시할 예정이다.

유럽(CENELEC)

유럽전기기술규격위원회(CENELEC)의 TC211 WG1에서는 금년 5월, SAR을 포함한 전자파 인체보호기준에 대한 최종(안)을 발표하였으며 내용은 다음과 같다.

1) prEN50XYY-1(세부번호는 향후 부여)

"Product standard to demonstrate the compliance of mobile telephone with the basic related to human exposure to electromagnetic field(300 MHz 3 GHz)"

2) prEN50XYZ-1(세부번호는 향후 부여)

"Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure electromagnetic fields from mobile phones(300 MHz 3 GHz)"

prEN50XYY-1은 휴대전화에 대해 SAR을 규제하는데 필요한 용어에 대한 정의와 규제대상 및 규제치 등 일반적인 사항에 대해서 기술하고 있으며, prEN50XYZ-1은 휴대전화에 대한 SAR의 세부 측정방법을 기술한 기본 규격이다.

호주(Australia)

주관기관은 호주통신국(ACA; Australian Communication authority)으로서 SAR 기준은 미국과 동일한 1gram 평균 1.6 W/kg(국부노출)이며, 측정방법은 AS/NZS 2772.1-1998(잠정표준)에 기술되어 있으며 현재 ARPANSA(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)에서 개정작업중이다. 휴대전화의 SAR에 대해서는 99년 1월부터 강제 규제에 들어간 상태이다. 금년(2000년) 6월에 개정된 ACA Standard의 Radiocommunication (Electromagnetic Radiation-Human Exposure) Standard 1999에 따르면 대상기기는 800 MHz 2.5 GHz 대역에서 작동하는 모든 cellular mobile, cordless and satellite handsets을 포함하고 있다.

캐나다

캐나다 역시 SAR 기준은 미국과 동일한 1gram 평균 1.6 W/kg(국부노출)으로서 Health Canada(캐나다 보건부) 주관법인 Safety Code 6에서 규정하고 있다. SAR 측정조건, 이동용 송신기의 인증조건 등에 관해서는 Industry Canada에서 주관하는 Radio Standards Specification(RSS-102: RF exposure from mobile radio transmitters) 1999 에 정의하고 있다. 즉, 기기의 인증을 위해서는 DoC(Declaration of Comformity)를 Industry Canada에 제출해야 한다.

일본

주관기관은 우정성으로서 SAR 기준은 유럽과 동일하게 10 gram 평균 2 W/kg(국부노출)을 채택하고 있으며, 현재는 휴대전화의 SAR치 관리를 업체 자율에 맡기고 있다. 그러나 내년(2001) 상반기중으로 SAR 측정기준을 완성한 후, 강제규제에 들어갈 전망이다. 즉, 새 모델의 휴대전화에 대해서는

SAR 성적서를 제출토록 하고 기준을 초과한 제품에 대해서는 판매를 금지하게 될 것이다.

제3절 전자파-인체보호기준에 대한 우리나라의 법제화 현황

정보통신부에서는 1999년부터 일본과 비슷한 내용으로 전파법을 개정하는 작업을 하고 있으며 금년(2000년)에 SAR 측정에 관한 국내기준이 완성되면 휴대전화에 대해서도 SAR 적합성 시험을 의무화할 계획이나 그 시기는 아직 미정이다. 다음은 전파법 개정(안)의 추진일정과 내용이다.

전파법 개정

□ 전파법 의원입법

○ 추진경과

- '99. 11. 27 : 정호선의원외 19인으로 발의
- '99. 11. 29 : 과학기술정보통신위원회에 회부
- '99. 12. 8 : 과기정위내 법률안심사소위원회 심사
- '99. 12. 10 : 과기정위 상임위 심사
- '99. 12. 13 : 법제사법위원회 심사
- '99. 12. 16 : 국회본회의 통과

※ 2000년 1월 전파법 개정

○ 주요내용

제5장 전파자원의 보호

第47條(安全施設의 設置) 無線設備는 人體에 危害를 주거나 물건에 損傷을 주지 아니하도록 情報通信部令이 정하는 安全施設基準에 의하여 設置하여야 한다.

第47條의2(電磁波人體保護基準등) ①情報通信部長官은 無線設備 등에서 발생하는 電磁波가 人體에 미치는 영향을 고려하여 電磁波人體保護基準, 電磁波强度測定基準, 電磁波吸收率測定基準 및 測定對象機器·測定方法 등을

정하여 告示하여야 한다.

②無線設備의 施設者 또는 無線設備의 機器를 製作·輸入하고자 하는 者는 無線設備로부터 輻射되는 電磁波의 强度가 電磁波人體保護基準을 초과하지 아니 하도록 하여야 하며, 그 基準을 초과하는 場所에는 取扱者외의 者가 出入할 수 없도록 安全施設을 設置하여야 한다.

정보통신부 소관법령인 전파법(2000년 1월 개정)은 전파의 효율적인 이용 및 관리에 관한 사항을 정하여 전파이용 및 전파에 관한 기술의 개발을 촉진함으로써 전파의 진흥을 도모하고 공공복리의 증진에 이바지하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

전파법 제47조와 제47조의 2(전자파인체보호기준 등)에는 전자파 노출과 관련된 내용을 언급하고 있으며, 제47조의 2의 1항에서는 무선설비 등의 전자파 발생원에서 발생하는 전자파에 인체가 노출될 경우, 유해한 영향을 받지 않도록 전자파강도에 관한 기준을 정하여 정보통신부장관이 고시하도록 하고 있다. 2항에서는 무선설비의 시설자 또는 제작자 및 수입업자는 정보통신부장관이 고시한 기준을 만족시키도록 하고, 전자파강도가 기준을 초과하는 장소에 대한 일반인의 출입을 제한할 수 있는 안전시설을 설치하도록 하였으나 벌칙조항이 없으므로 아직은 권고사항이라 할 수 있다.

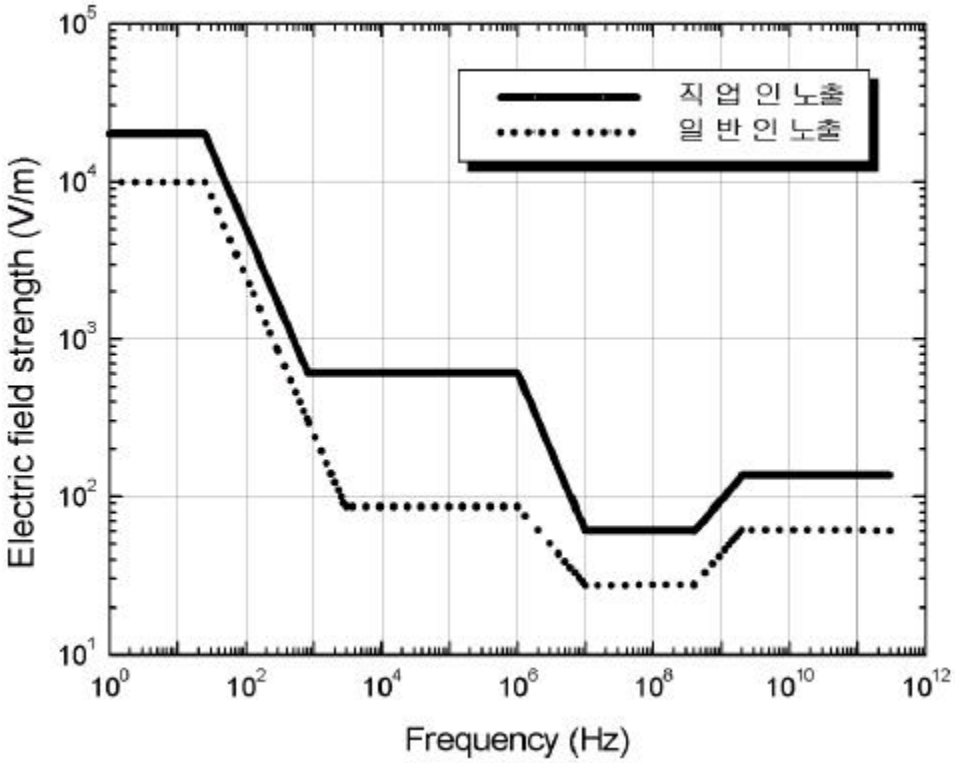
다음은 인체보호기준의 전자기장 강도기준과 SAR 기준이다.

전자기장 강도 기준(일반인)

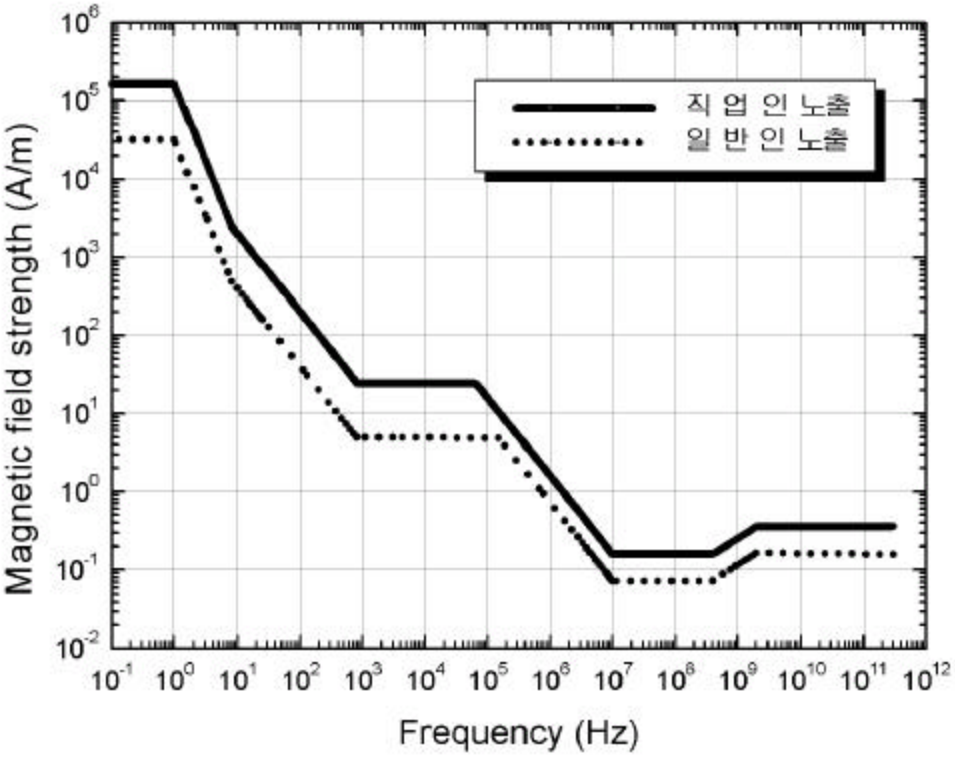
주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	평면파 전력밀도 (W/m^2)
1Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4	
1 Hz 이상 8 Hz 미만	10,000	$3.2\times10^4/f^2$	$4\times10^4/f^2$	
8 Hz 이상 25 Hz 미만	10,000	4000/f	5000/f	
0.025 kHz 이상 0.8 kHz 미만	250/f	4/f	5/f	
0.8 kHz 이상 3 kHz 미만	250/f	5	6.25	
3 kHz 이상 150 kHz 미만	87	5	6.25	
0.15 MHz 이상 1MHz 미만	87	0.73/f	0.92/f	
1 MHz 이상 10 MHz 미만	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	
10 MHz 이상 400 MHz 미만	28	0.073	0.092	2
400 MHz 이상 2000 MHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2 GHz 이상 300 GHz 미만	61	0.16	0.20	10

전자기장 강도 기준(직업인)

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	평면파 전력밀도 (W/m^2)
1Hz 이하	-	1.63×10^5	2×10^5	
1 Hz 이상 8 Hz 미만	20,000	$1.63\times10^5/f^2$	$2\times10^5/f^2$	
8 Hz 이상 25 Hz 미만	20,000	$2\times10^4/f$	$2.5\times10^4/f$	
0.025 kHz 이상 0.82 kHz 미만	500/f	20/f	25/f	
0.82 kHz 이상 65 kHz 미만	610	24.4	30.7	
0.065 MHz 이상 1 MHz 미만	610	1.6/f	2.0/f	
1 MHz 이상 10 MHz 미만	610/f	1.6/f	2.0/f	
10 MHz 이상 400 MHz 미만	61	0.16	0.2	10
400 MHz 이상 2000 MHz 미만	$3\ f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	f/40
2 GHz 이상 300 GHz 미만	137	0.36	0.45	50



전기장강도기준



자기장강도기준

위 표에서 f는 주파수 범위에 표시되어 있는 주파수 단위를 사용하여야 하며, 특정 주파수범위에 해당하는 전기장 및 자기장강도기준값은 주파수 값을 대입하면 얻을 수 있다.

고주파영역에서는 입사하는 전자기장의 대부분이 피부에서 흡수되므로 신체피부 및 그 주위조직에서의 열 발생을 막기 위해 전력밀도 제한치를 규정해 놓았다.

휴대전화를 사용할 경우에는, 비록 출력이 수백 mW 정도로 미약하지만 전신보다는 국부적인 노출, 즉 머리부분이 집중적으로 전자파에 노출되고 또한 근접하여 사용함에 따라 인체에 영향을 미칠 수 있으므로, 전자파강도보다는 머리에 흡수되는 에너지를 직접 제한하는 것이 국제적인 흐름이다. 이러한 제한치가 전자파흡수율(SAR)기준이며, “전자파흡수율"이라 함은 생체조직의 단위질량에 흡수되는 에너지 율(W/kg)로서 100 kHz 이상의 주파수에서 가장 널리 채택되는 노출량을 나타내는 척도이다. 휴대전화의 사용상황에 대해서는 일반인과 직업인의 경우 별 차이가 없으므로 일반인과 직업인에 대해 동일하게 적용된다. 다음은 전자파흡수율기준으로서 인체 내부 임의의 조직 10 그램에 대하여 평균한 전자파 흡수율의 최대값을 나타낸다.

주파수 범위	전자파흡수율(W/kg)
100 ㎑ 10 ㎓	2

정보통신부가 고시할 전자파흡수율측정기준(안)은 전자파를 발생시키는 무선설비 등이 전자파인체보호기준에서 규정한 전자파흡수율 기준을 만족하는지를 평가하기 위한 측정기준으로, 휴대전화에 대한 전자파흡수율을 측정하는 기준이다. 이 고시에서는 전자파흡수율 측정시 사용되는 용어를 정의하고, 측정환경, 피시험기기 측정조건과 측정위치, 인체 대용으로 사용하는 모의인체에 대한 조건, 그리고 측정절차 및 결과보고 등에 대한 방법을 다루고 있다. 현재(2000년 10월) 의견수렴중인 SAR 측정방법 고시(안)은 별첨자료로 수록하였다.

제4장 SAR 저감에 대한 수치해석적 연구

제1절 연구 개요

SAR(Specific absorption rate)은 RF와 MW 영역의 전자파에 의한 위험을 나타내는 척도로 널리 사용되고 있다. ANSI/IEEE C95.1-1992 RF 안전 지침서에 따르면 사용자가 근거리에서 사용하는 RF 장비에 대하여 안전을 유지하려면, 몸 전체에 대해서 평균한 SAR 값이 0.08 W/㎏ 이하일 것과, 임의의 인체 조직의 SAR 값을 정육면체 모양으로 1 g 평균을 취한 SAR 값이 1.6 W/㎏을 초과하지 않을 것, 손, 손목, 발, 발목은 10 g 평균을 취했을 경우에 4 W/㎏ 이하일 것으로 규제하고 있다.

인체의 SAR 값을 도출하는데 있어서 가장 문제가 되는 것은 직접적인 임상 실험이 불가능하다는 것이다. 실험을 목적으로 전자파를 사람에게 직접 노출시킬 수 없고, 인체 각 부위의 SAR 값도 직접 측정하기가 어렵기 때문에, 문제가 되는 인체 두부의 경우 인체 조직과 같은 전기적 특성을 가지는 매질을 이용한 Phantom 모델을 제작하여 전기장이나 온도 분포를 측정하는 방법과 MRI 데이터를 이용한 해부학적 모델을 이용하여 인체 각 부위의 전자기장을 계산해서 SAR 값을 평가하는 방법이 널리 사용된다. 하지만, 이러한 방법들은 휴대폰을 생산하는 입장에서는 크게 도움이 되지 못한다. 왜냐하면, SAR 적합성 시험은 인체두부 모양의 Phantom에 시험대상 휴대폰의 사용주파수에 해당하는 뇌조직의 전기적 특성을 갖는 액체를 채워 넣어 실험하는 것이 일반적인 방법이기 때문이다. 그래서, 현재 새로운 휴대폰을 개발할 때 설계부터 SAR을 고려하지 못하고 단지 경험에 의존하거나, 거의 완성단계에서 SAR 적합성 시험을 통과하기 위해 별개의 작업이 이루어지므로 최적화가 끝난 다른 특성, 예를 들어 통화품질이나 기구 외형이 악화되는 경우가 많아 시간과 금전적 손실이 크다.

따라서 빠른 모델링과 정확한 계산을 위하여 상용 Computer Aided Design (CAD)인 PATRAN을 이용하여 3차원으로 설계한 휴대폰을 1 mm 해상도의 FDTD 모델링으로 직접 변환시키는 방법을 제안하였으며, 이 방법의 우수성을 확인하기 위하여 3차원 과도 원거리 영역 변환법으로 계산한

복사패턴과 무반사실에서 이득비교법으로 측정한 결과를 비교하였을 때 그 차이는 0.5 dB 이내였다.

그리고, CAD 파일을 Finite Difference Time Domain method (FDTD) 입력 데이터로 변환한 휴대폰과 SAR 적합성 시험에서 사용되는 Phantom을 모델링한 것을 이용하여 측정상황을 컴퓨터 시뮬레이션으로 재연이 가능함을 확인하였다.

본 보고서에서는 휴대폰을 생산하는 제조사 입장에서 설계시부터 통화품질을 고려하는 복사패턴과 SAR을 동시에 고려할 수 있는 새로운 제조 공정을 제안하였다. 이 방법으로 SAR 적합성 시험을 통과하지 못한 휴대폰의 정량적인 분석은 물론 SAR도 저감시킬 수 있었다.

제2절 Phantom(모의인체) 모델링

본 보고서에서 측정과 계산에 사용된 phantom은 SAR compliance test를 위해 많은 기관들이 SAR measurement system으로 사용하는 제품으로 Schmid & Partners사(swiss)의 DASY3에서 사용되는 Generic Twin phantom이다. 이 phantom을 선택한 이유는 현재 정보통신부 전파연구소에서 사용하는 것이며, 이 Generic Twin phantom의 수치해석 데이터 셑이 Swiss Federal Institute of Technology(ETH)에서 제공되고 있기 때문에 측정과 계산으로 구한 SAR 값을 직접 상호 비교할 수 장점이 있다.

그런데, 이 수치해석 phantom은 휴대폰을 왼손으로 사용할 때만 고려할 수 있는 왼쪽 두부(left side head)이고, 각 위치와 매질에 대한 데이터 형식이 본 보고서에서 이용하는 FDTD engine에서 요구하는 형식과 다르기 때문에 일부 수정이 필요하다. 첫째, 현재 대부분의 휴대폰은 정면에서 보았을 때 안테나가 본체의 왼쪽이나 오른쪽 위의 모서리부근에 장착되어 있기 때문에 동일한 휴대폰이라 할 지라도 왼손으로 사용할 때와 오른손으로 사용할 때 안테나와 인체 두부와의 거리가 다르다. 그런데, ETH에서는 왼쪽 두부 데이터만 제공하므로 각각의 사용상황에서 SAR의 차이를 비교하기 위해서는 오른쪽 두부가 필요하다. 이것은 왼쪽 두부를 translation 이나 rotation 하여 만들 수 없으므로 각 좌표값을 inverse transformation하여 생성하였다. 둘째, 제3절에서 휴대폰 CAD 파일을 정확한 계산을 위하여 1mm mesh size

의 FDTD model 로 변환하므로 2mm mesh의 phantom 데이터에 1mm mesh의 휴대폰을 merge시킬 때 mesh size가 다른 이유로 그 경계면에서 interpolation이 필요하므로 그 부근에서 상대적으로 큰 오차가 발생할 수 있다. 왜냐하면, 휴대폰이 밀착되는 phantom의 귀 부근에서 SAR의 최대값이 나타나므로 경계면에서의 오차 발생은 계산결과의 신뢰도를 떨어뜨린다. 그래서, 본 보고서에서는 phantom data를 1mm mesh size의 데이터로 remesh 함으로써 휴대폰과 phantom 데이터가 merge될 때 하나의 grid를 사용할 수 있도록 하여 오차발생요인을 감소시켰다. 셋째로 ETH의 phantom data 형식은 4개의 column에 직교좌표의 X, Y, Z 위치와 매질이 순서대로 정의되어 있다. 하지만, 본 연구의 FDTD engine은 6개의 column에 X, Y, Z 위치와 각 좌표에 대한 매질이 정의되어야 하므로 이러한 형식이 되도록 수정하였으며, 상세한 내용은 다음 장에서 기술한다.계산에서 이용되는 FDTD 방법은 Yee 셀을 이용하여 전자기장을 계산하는 방법으로서 최근 들어 컴퓨터의 발달과 함께 널리 이용되는 방법이다. 이 방법은 맥스웰 방정식을 시간영역 차분 방법으로 해석하며 매우 안정적인 계산을 할 수 있다. 전체파/산란파 전개법을 이용하면 계산하고자 하는 대상을 쉽고 정확하게 해석할 수 있다. FDTD 격자 구조에 해석하고자 하는 매질의 구조와 전기적 특성(유전율, 투자율, 전도도 등)을 정확하게 모델링하면 근거리장 영역에서 산란 분석이나 SAR의 계산 결과가 측정값과 잘 일치한다는 것이 널리 알려져 있다. 그러나, 계산하고자 하는 대상이 휴대폰처럼 복잡한 구조를 가지고 있다면 그것을 실제와 가깝게 모델링하는데 많은 시간과 노력이 필요할 뿐만 아니라, 목측(目測)이나 자를 통하여 모델링하므로 실제 휴대폰과는 많은 차이가 나게 된다. 따라서 지금까지는 휴대폰을 주로 직육면체 형태의 도전체 박스와 모노폴 안테나로 극히 단순화하여 모델링했다. 그러나, 최근 들어 Pro-Engineer로 설계한 휴대폰 CAD 파일을 FDTD 입력 데이터로 변환하여 계산하기 시작하였으며 이는 측정값과 오차범위 20%내에서 아주 잘 맞는다. 한편, 한국의 일부 휴대폰 제조업체에서는 Pro-Engineer가 아닌 PATRAN을 이용하여 휴대폰 설계 및 압력과 응력변형 시뮬레이션을 수행하고 있다.

제3절 3차원 CAD 파일의 변환

Yee cell로 불리는 FDTD 격자 구조에 해석하고자 하는 매질의 구조와 전기적 특성(permittivity, conductivity 등)을 정확하게 모델링하면 near field 영역에서 scattering analysis 나 SAR의 계산 결과가 측정값과 잘 일치한다는 것이 널리 알려져 있다. 그러나, 계산하고자 하는 대상이 휴대폰처럼 복잡한 구조를 가지고 있다면 그것을 실제와 가깝게 모델링하는데 많은 시간과 노력이 필요할 뿐만 아니라, 눈(eye)이나 자(ruler)를 이용하여 모델링하므로 실제 휴대폰과는 많은 차이가 나게 된다. 따라서 지금까지 주로 휴대폰을 직육면체형태의 conducting box와 monopole antenna 형태로 극히 단순화하여 모델링을 했었다. 최근 들어 Pro-Engineer로 설계한 휴대폰 CAD 파일을 FDTD model로 변환하여 계산하기 시작하였으며 이는 측정값과 오차범위 ±20%(±1dB)내에서 잘 맞는다. 한편, 한국의 일부 휴대폰 제조업체에서는 Pro-Engineer가 아닌 PATRAN을 이용하여 휴대폰 설계 및 stress와 strain simulation을 하고 있으며, 본 보고서에서 고려되는 SAR compliance test를 pass하지 못한 휴대폰 역시 PATRAN으로 설계되었다.

이번 장에서는 실제 휴대폰을 모델링하기 위하여 PATRAN으로 설계된 CAD 파일을 FDTD model로 변환하는 프로그램 작성 방법에 대해 기술하고자 한다. PATRAN에서 3차원으로 설계된 문제의 휴대폰에 각 면이 elecment, 그 면들의 연결점 모서리가 node라고 불리우는 Hexahedral edge mesh를 적용시킨 다음, 그림 4-3 b), text 형식으로 export하여 그 내용 중 Grid 항목을 보면 각 element들을 연결하는 node 정보가 좌표로 주어진다. node는 단지 3개의 column으로 직교좌표계의 X, Y, Z 위치정보만 있기 때문에 각 node가 휴대폰의 어떤 부분에 해당하는지 파악해야 한다. 따라서 본 보고서에서는 휴대폰을 하나의 직교좌표 공간에서 매질이 같은 part 단위로 개별적으로 그린 다음 전체를 구성하는 방법으로 표현하였다. 즉, 각 part들을 그림 4-3 c) 와 같이 1) Antenna, 2) Front case up, 3) Front case middle, 4) Front case down, 5) Back case upper, 6) Back case lower, 7) Battery, PCB, 8) LCD on PCB, 9) LCD window on face, Speaker, 10) Key pad, and 11) Flip cover로 나누어 설계하였으며, Speaker와 PCB는 내부에 있기 때문에 보이지 않는다. 이와 같은 방법으로 설계하면 line 단위로 각 파트의 node들의 좌표들이 순차적으로 표기되므로 변환프로그램을 수월하게 작성할 수 있다. 즉, node의 몇번 line부터 몇번 line까지가 어떠한 part

인지 쉽게 알 수 있기 때문에 해당 좌표 정보에 매질정보만 추가하면 되므로 FDTD 모델링이 용이해진다.

CAD 파일을 FDTD model로 변환하는 과정이 그림 4-1 의 흐름도에 나타나 있다. 첫 번째 loop는 CAD 화일을 읽으면서 각 node들의 좌표와 그 매질이 무엇인가를 알기 위함이고, 두 번째 loop는 첫 번째 loop로부터 알게된 각 node로부터 매질의 Mx, My, Mz 각 성분을 결정하기 위한 과정이다. 여기서 사용한 변수들의 의미는 Table 1과 같고, 각 셀의 위치 X, Y, Z 방향을 나타내는 index는 i, j, k 로 표현하였다.

표 4-1. 흐름도에서 사용된 변수들의 의미

변 수	의 미
Max N_x, N_y, N_z	CAD 파일에서 휴대폰이 차지하는 공간
mat(i, j, k)	$i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z$ 위치에 있는 셀 내부 매질의 평균값
M_x, M_y, M_z	E_x, E_y, E_z 를 계산하기 위한 직교좌표계 각축의 등가매질 성분
α, β, γ	FDTD 모델링 내에서 휴대폰 위치 이동에 해당하는 상수
$(int)f_i$	실수인 노드의 좌표값을 정수로 변환시키는 함수
M_x(i, j, k)	(i, j, k) 노드에서 E_x를 계산하기 위한 등가 매질

두 번째 loop를 좀 더 구체적으로 설명하기 위한 예로서 node가 임의의 mat(i, j, k)에서 Mx(i, j, k)를 결정하는 방법을 그림 4-2에 나타내었다. Mx(i, j, k)의 값은 주위의 node 4개 즉, mat(i, j, k), mat(i, j-1, k), mat(i, j, k-1) and mat(i, j-1, k-1)의 매질 값을 비교하여 다수를 차지하는 매질로 결정한다. My, Mz 도 flow chart에 표기되어 있듯이 Mx와 동일한 방법으로 결정한다. 여기서 4개의 node를 비교하는 과정에서 free space에 해당하는 node 점은 고려하지 않았다. 이는 free sapce에 해당하는 노드가 다수를 차지하더라도 소수의 매질 노드에 따라 전계값이 좌우되기 때문이다. 이와 같은 방법으로 모든 node의 Mx, My, Mz를 결정하여 2장에서 언급한 우리의 FDTD engine으로 계산가능한 X, Y, Z, Mx, My, Mz, 6개 column 형식의 FDTD model로 만들었다. 그 결과가 그림 4-3의 일부 모서리의 곡선 형태만 제외하면 정상적으로 변환된 것을 확인할 수 있다

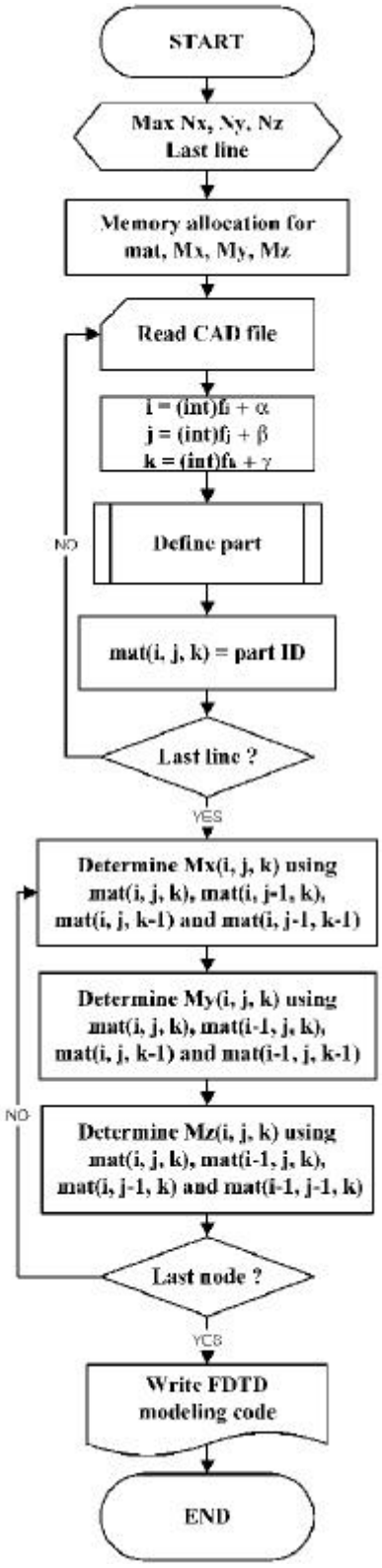


그림 4-1. CAD 파일을 FDTD 입력 데이터로 변환하는 흐름도

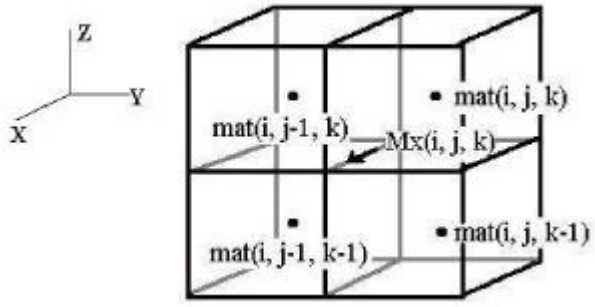
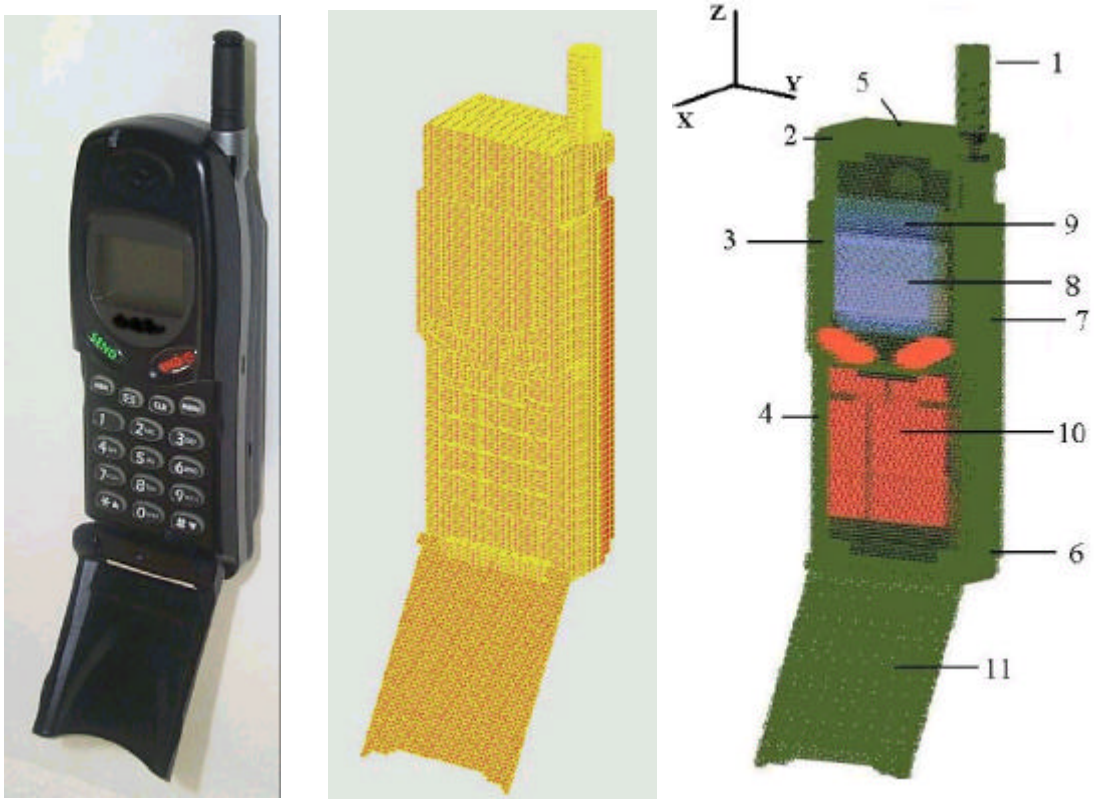


그림 4-2. M_x(i, j, k)를 결정할 때 고려되는 4개의노드



a) 835 ㎒ 휴대폰 b) CAD로 설계된 휴대폰 c) CAD 파일을 변환한 FDTD 모델링

그림 4-3. 실제 휴대폰과 CAD 파일을 FDTD 입력 데이터로 변환한 후의 외관 비교

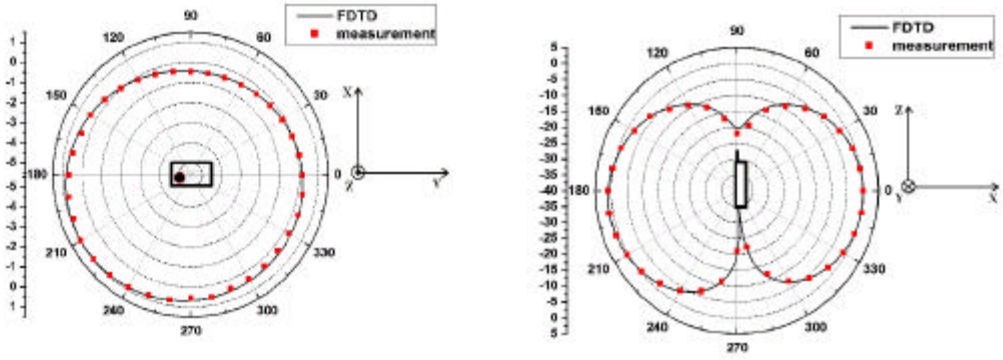
제4절 수치해석적 연구결과와 측정결과 비교

FDTD 방법은 시간영역 Maxwell 방정식을 차분 방법으로 해석하는 방법

으로 Yee에 의해 소개되어 컴퓨터 기술의 발달과 함께 널리 이용되며 매우 정확하고 안정적인 계산 결과를 얻을 수 있다. 본 보고서에서 사용된 FDTD 셀의 크기는 1.0 × 1.0 × 1.0 ㎜이고, Δt = 1.93 ps가 되게 하여 Courant stability condition을 만족시켰으며 흡수경계조건은 8 layers의 Perfectly Matched Layer(PML)을 적용하였다.

4.1 복사 패턴

복사 패턴(in dBi)을 분석함으로써 휴대폰의 통화 품질을 예측할 수 있다. 따라서, ψ=0 (XZ) and θ=0 (XY) 면에서의 복사 패턴을 실험을 통한 측정과 FDTD 계산 방법으로 상호비교하여 그림 4-4에 나타냈다.



a) XY 평면 b) XZ 평면

그림 4-4. 계산과 측정에 의한 835 ㎒ 휴대폰 방사 패턴

그림 4-4의 복사 패턴은 정보통신부 전파연구소의 무반사실에서 측정하였으며 무반사실의 규격은 폭 10.4 m, 길이 8.2 m, 높이 8.1 m이다. 그리고 측정은 반경 0.9 m의 디스크 중앙에 휴대폰을 실제 사용상황을 고려한 1.5 m 높이에서 수행하였다.

그림 4-4의 복사 패턴 비교는 휴대폰을 정면에서 보았을 때 helical antenna가 우측 상단의 후면부(battery에 가까운 쪽)에 위치하기 때문에 본체의 영향을 받아 radiation이 전면보다는 후면으로 최대 1.5 dB 정도 더 양호하게 일어남을 확인할 수 있고, 계산과 측정 결과의 차이는 ±0.5 dB 이내이다.

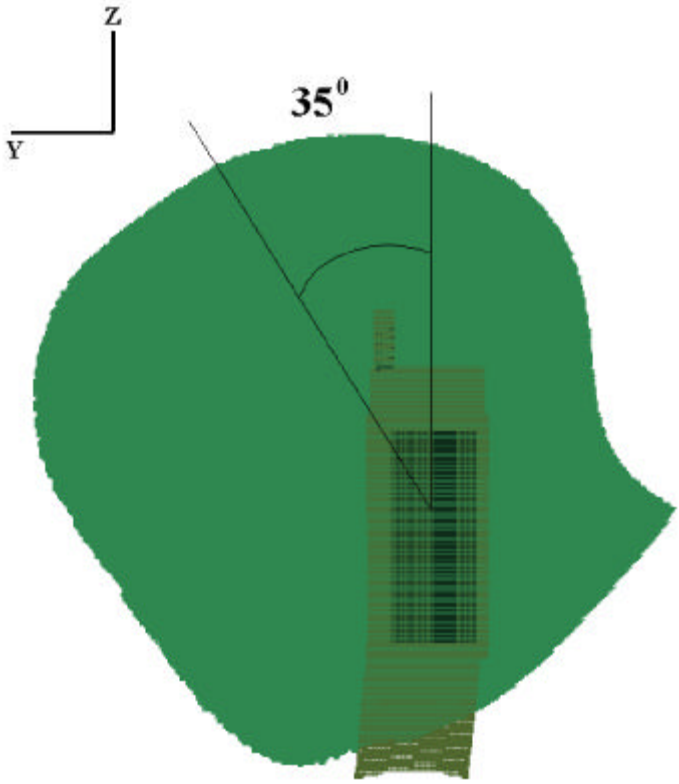
4.2. SAR

제2절에서 언급하였듯이 휴대폰의 사용 자세에 따라 두부와 휴대폰 안테나와의 거리가 달라지므로 본 보고서에서는 2가지 경우의 휴대폰 사용 자세를 고려하였다. 첫째, 휴대폰을 phantom에 수직으로 위치시킨 경우, 둘째, 휴대폰이 귀와 입에 연결될 수 있도록 휴대폰을 35° 기울인 다음 휴대폰을 10° 정도 안쪽으로 비틀어 입쪽으로 가까이 갖다 댄 경우에 대하여 측정과 계산을 수행하였다.

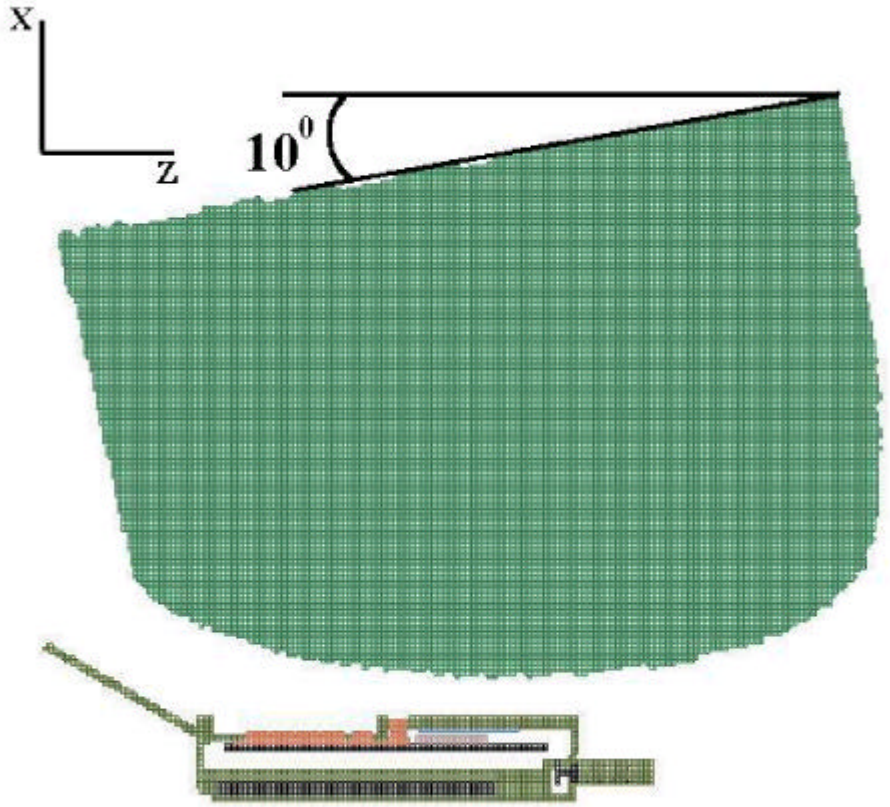
그러므로 위의 두 번째 경우가 실제 SAR compliance test를 할 때의 상황이다. 그런데, 휴대폰의 안테나 부분은 전자계의 변화가 심하고 얇은 도선으로 이루어졌기 때문에 계산에 있어서 휴대폰이 FDTD 격자 구조에 비스듬한 경우에는 부정확한 결과를 유발하게 된다. 따라서 phantom을 35° (그림 4-5 b))와 10° (그림 4-5 c))로 tilt시킨 다음, FDTD 모델로 변환시킨 휴대폰을 수직으로 세운 상태로 phantom과 거리를 3mm 간격으로 변화시키면서 merge하여 계산하였다. 측정은 Schmid & Partner사(swiss)의 DASY3에서 Generic Twin Phantom(ε_r=42.5, σ=0.85)에 동일한 휴대폰 4대를 계산과 동일한 조건(그림 4-5 a))으로 수행하였다.

사용되는 휴대폰의 주파수영역은 약 Tx : 824 ㎒ 849 ㎒, Rx : 869 ㎒ 894 ㎒이고, 최고 출력(최악의 SAR을 고려함.)은 Advanced Mobile Phone Service(AMPS) 방식에 해당하는 600 ㎽이다. 통신 방식이 digital인 경우에는 최고 출력이 이보다 작은 200 300 ㎽이기 때문에 본 보고서에서는 언급하지 않는다. 이러한 이유로 본 연구에서는 복사 전력이 600 ㎽이고, Tx 주파수 대역의 중심 주파수 835 ㎒ 의 조건으로 계산과 측정하였다.

a) FCC-OET-65에 의거하여 전파연구소에서 수행 중인 SAR compliance test



b) YZ plane에서 Phantom을 35 ° tilt시킨 것



c) XZ plane에서 Phantom을 10 ° tilt시킨 것

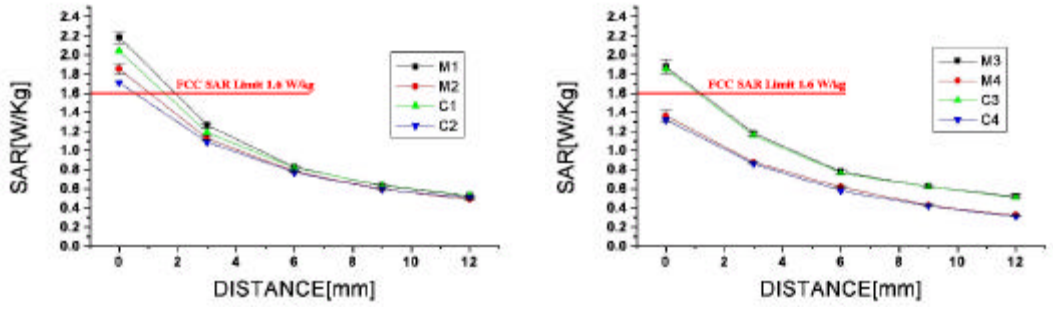
그림 4-5. 측정과 계산에 의한 SAR compliance test 조건

RF와 MW 영역의 전자파에 의한 위험을 나타내는 척도로 널리 사용되는 SAR는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} = \frac{1}{2}\frac{\sigma(|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2)}{\rho} \quad (1)$$

여기서, ρ는 조직의 밀도 [g/㎤]이고, σ는 조직의 전기 전도도 [S/m]이다. 휴대폰에 의한 인체 두부의 SAR는 대단히 불균일 하기 때문에 첨두 SAR가 휴대폰에 의한 위험 정도를 잘 나타낼 수 있다. 각 지점에서의 SAR 중 정육면체 형태로 1g 평균을 취한 SAR_{1g}의 최고값으로 나타낸다. 이때 1 셀에서의 SAR 값(1 voxel SAR)을 구하는 것은 단순히 공식만 이용하면 될 정도로 간단하지만, 1g 평균 SAR 값과 같이 평균 SAR 값을 구할 경우에는 문제가 복잡해진다. 휴대폰은 귀에 갖다 대는 전자 장비이기 때문에, 대부분

안테나에 가까운 귀 부근에서 SAR의 최고값을 갖는다. 그런데, phantom의 외부는 공기와 접하고 있고, 공기는 질량이 없다. 정육면체의 1g 평균을 취할 경우, 공기 부분이 포함되면 1g 평균 SAR의 정의로는 값을 구할 수 없다. 만약, 공기가 일부 포함되도록 1g 평균 SAR 값을 계산하면, SAR_{1g}의 값이 기준치 이상으로 커질 염려가 있고, 공기가 포함된 영역을 제외하게되면 1 voxel SAR값이 가장 큰 지점을 빠뜨리고 계산하게된다. 본 연구에서는 이것에 대한 분명한 공식적인 계산 방법이 나와 있지 않은 관계로 정육면체 내부에 공기가 포함되는 영역을 1g 평균 SAR 계산에서 제외하였다.



a) vertical condition

M1 : Measurement with left head
M2 : Measurement with right head
C1 : FDTD with left head
C2 : FDTD with right head

b) tilted condition

M3 : Measurement with left head
M4 : Measurement with right head
C3 : FDTD with left head
C4 : FDTD with right head

그림 4-6. phantom과 휴대폰의 거리 변화에 따른 SAR

위의 방법으로 수행한 SAR의 계산과 측정결과를 그림 4-6에 나타냈다. 그림 4-6에서 가로축의 distance는 휴대폰과 phantom과의 거리이다. 측정에서는 측정오차를 분석하기 위해 동일한 휴대폰 4대가 사용되었다. phantom으로부터 거리가 멀어질수록 SAR 이 줄어들면서 측정값의 오차도 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 당연한 것으로 휴대폰의 안테나로부터 전자파가 복사될 때 phantom에 의해 영향을 받게 되는데 그 정도가 phantom에 가까울수록 그 영향이 크기 때문이다. 다양한 조건에서 계산의 신뢰도를 확인하기 위하여 오른쪽 귀로 밀착시켜 휴대폰을 사용할 경우 왼쪽 귀에 밀착시킨 경우보다 약 15% 적은 SAR이 나왔다. 물론 본 연구에 사용된 휴대폰의 SAR compliacne test는 M3에서 distance zero의 조건으로 수행되며, 그 결

과는 측정 1.88±0.08 W/kg, 계산 1.85 W/kg으로 FCC SAR Limit 1.6 W/kg 보다 약 0.25 ~ 0.3 W/kg 높은 값을 가진다. 일반적으로 휴대폰의 안테나가 우측 상단에 있기 때문에 왼손으로 사용할 때보다는 오른손으로 사용할 때 인체 두부와 휴대폰의 안테나와의 거리가 멀어지므로 SAR 값을 낮출 수 있다. 따라서, 일반인이 휴대폰을 사용할 때 사용자의 자세에 따라 두부와 안테나와의 거리를 가능한 멀리 확보할 수 있는 올바른 사용 방법을 택할 필요가 있음을 알 수 있다.

마지막으로 계산과 측정의 오차 또한 phantom으로부터 휴대폰의 거리가 멀어질수록 줄어드는데 그 이유는 lossy dielectric material인 phantom과 휴대폰에서 방사되는 전자파가 coupling을 할 때 가까운 거리에서는 inductive coupling이 dominant하다가 거리가 멀어질수록 capacitive coupling이 영향이 커지기 시작한다. 그러므로 가까운 거리에서는 inductive coupling 영향으로 측정값이 계산결과보다 다소 크다. 이 모든 결과를 종합해 볼 때 SAR compliance test에 대한 계산과 측정 오차는 최대 ±10% 이내로 일치한다.

제5절 SAR 저감을 고려한 휴대폰 개발공정

앞의 결과로부터 휴대폰을 개발할 때 설계 단계에서부터 SAR compliance test를 고려할 수 있는 new process를 그림 4-7과 같이 제안하였다.

이 방법이 가능한 이유는 phantom과 휴대폰을 실제와 거의 동일하게 모델링할 수 있는 1mm의 high resolution 모델을 사용하여 신뢰성이 검증된 FDTD로 계산하기 때문이다. 즉, SAR compliance test에서 이용될 휴대폰을 자유 공간의 중심에 두고 모든 공간에서 E field와 H field를 계산하고 나서 그로부터 radiation pattern들을 계산하여 원하는 gain 특성이 나오는지 확인한다. 다음으로, 모델링해 놓은 phantom에, FDTD 모델로 변환된 휴대폰을 test 상황과 동일하게 merge 시켜 phantom의 모든 영역에서 SAR을 계산하여 1g 평균한 첨두치가 1.4W/Kg 이하이면 새로운 휴대폰 제작을 시작한다. 여기서 1.4W/Kg을 제시하는 이유는 제품 제작, 측정 및 계산시 발생할 수 있는 모든 오차를 고려한 값이다. 만약 radiation pattern이나 SAR값의 계산결과가 원하는 값을 만족 못하면, CAD 작업을 다시 수행한다. 이 때 변하게 되는 물리적 특성(stress and strain 등에 대한 기구 내구성)이 원하는 값이

나올 때까지 반복 작업을 한다. 이렇게 새로 만들어진 휴대폰 CAD 파일을 FDTD 모델로 convert하여 다시 radiation pattern과 SAR을 계산하면서 처음과 동일한 과정을 반복한다.

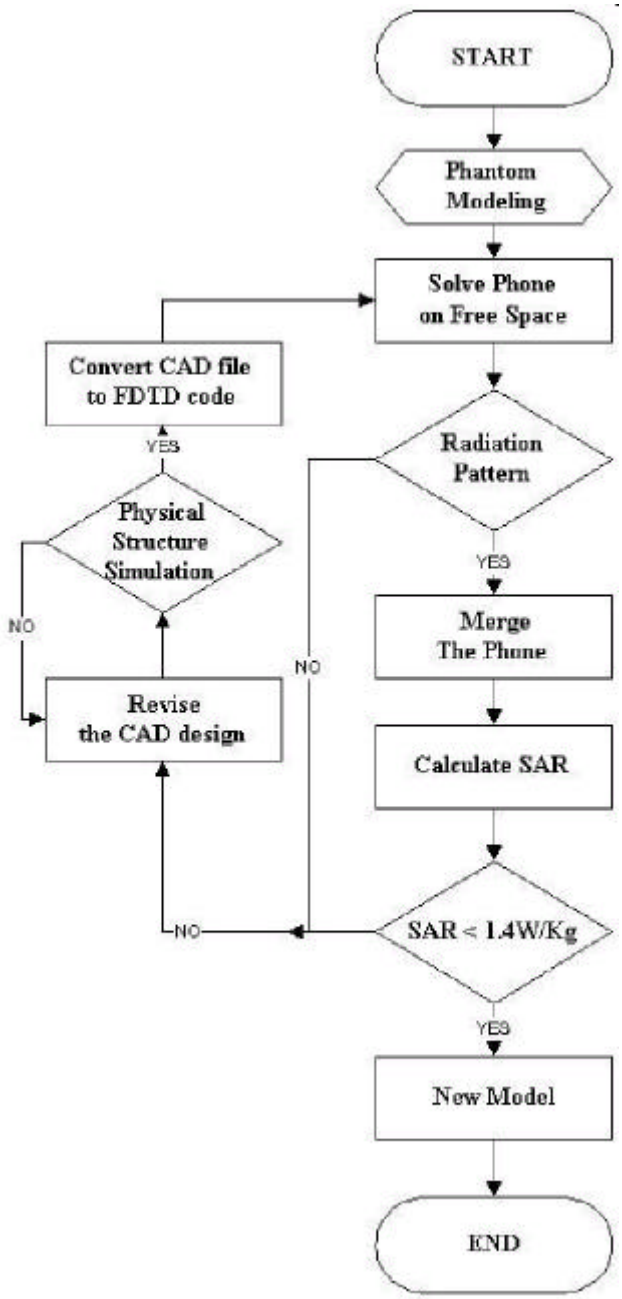


그림 4-7 New process for mobile phone design

마지막으로 SAR compliance test에서 문제가 된 휴대폰, 그림 4-3 a), 을 제안된 공정을 이용하여 SAR을 저감시키는 과정을 간단히 소개한다. 본 보고서에서는 사용시 인체두부로부터 휴대폰 또는 안테나가 멀어지는 형태가

되도록 함으로써 SAR을 저감시켰다. 이 방법이 가능한 이유는 Phantom에서 휴대폰의 거리가 멀어질수록 SAR이 작아지는 것이 측정과 계산에서 확인되었으며, 가장 단순하면서도 확실한 방법이다. 그리고 본 보고서에서 고려된 휴대폰이 약 1.85~1.88 W/kg 정도로 SAR limit(1.6 W/kg)을 크게 넘지 않기 때문에 다른 부분은 그대로 두고 그림 4-6의 결과를 참조하여 그림 4-7의 공정을 반복수행하여 휴대폰 전면부의 LCD나 ear piece 주변을 휴대폰 케이스와 동일한 재질(poly carbonate)로 2mm정도 융기시키는 형태가 되도록함으로써 SAR을 1.4W/Kg 이하가 되도록 하였다.

제안된 공정을 바탕으로 Table II과 같이 문제가 되었던 휴대폰을 개선하여 원하는 특성을 갖는 휴대폰을 제작할 수 있었다. 이때 동일한 휴대폰 4개에 대하여 개선 전후에 대해 다양한 조건에서 측정하여 제품 제작시 발생할 수 있는 오차도 고려하였다. 그러므로, 새로운 모델의 휴대폰을 개발할 때 한번에 $15,000 ~ $20,000씩하는 casting 작업으로 prototype을 만들어 SAR compliance test를 위한 trial and error를 반복하면서 원하는 특성의 휴대폰을 개발하는 것이 아니라 CAD design, radiation pattern, SAR 모두를 하나의 공정으로 묶어 컴퓨터 시뮬레이션으로 일괄처리함으로서 개발 효율과 비용 절감을 동시에 이룩하였다.

표 4-2

Comparison of experimental and numerical methods for SAR reduction

[unit : W/kg]

	Before Fig. 8 a)						After Fig. 8 b)					
	Measurement					FDTD	Measurement					FDTD
	each				Avg. ±SD.		each				Avg. ±SD.	
Rigit V	1.84	1.79	1.85	1.93	1.85 ±0.06	1.71	1.45	1.39	1.56	1.48	1.47 ±0.07	1.29
Left V	2.17	2.12	2.18	2.26	2.18 ±0.06	2.04	1.73	1.81	1.69	1.78	1.75 ±0.05	1.63
Right T	1.33	1.31	1.43	1.38	1.36 ±0.05	1.32	1.07	1.02	1.11	1.09	1.07 ±0.04	1.01
Left T†	1.84	1.79	1.93	1.95	1.88 ±0.08	1.85	1.35	1.33	1.45	1.30	1.38 ±0.05	1.34

† : SAR compliance test condition

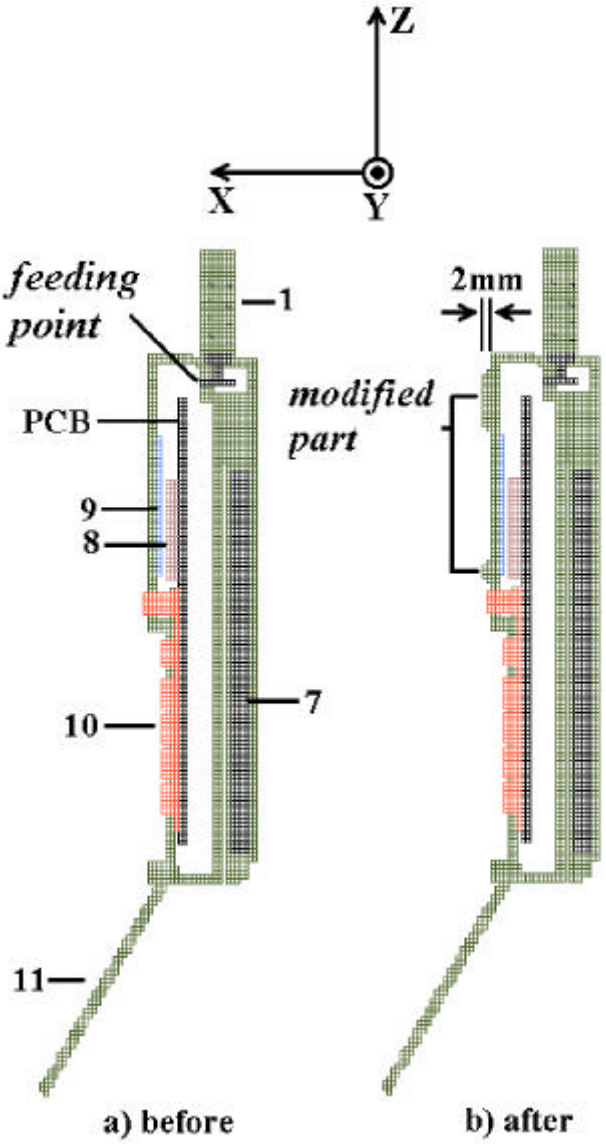


그림 4-8 Modification of mobile phone for SAR reduction

제5장 SAR 측정 기술 연구

제1절 연구 개요

SAR 기준은 직접적으로 인체에 대한 전자파 사용의 안전을 확보하기 위한 것이지만 실제로 인체를 대상으로 하는 실험은 어렵기 때문에 phantom이라 불리는 유사 인체모델(모의인체)을 이용하며, 휴대전화기를 Tx mode(최대 송신 출력 상태)로 동작시켜 phantom내의 국소 peak SAR[W/Kg]을 실험적으로 구하여 인체내의 SAR을 추정하는 방법이 일반적이다. SAR치에 직접적으로 관여하는 물리정수는 유전율(permittivity)이며 이로부터 각 주파수에 대한 전기전도도를 구하고 E-field를 측정하여 SAR치를 계산할 수 있다.

전자파에너지 흡수율(SAR-Specific Absorption Rate)은 단위 질량 당 흡수되는 전력(W/Kg)으로 표시되는 양으로서 실제 인체와 유사한 전기정수를 갖는 모의인체를 이용하여 휴대폰으로부터 방출된 전자파가 실제로 인체에 흡수되는 정도를 측정한다. SAR치는 유전체의 밀도와 전기전도도 그리고 휴대폰에서 방사되는 전기장 등의 물리량에 의해 결정된다. 유전체내에서의 전기장의 측정은 등방성의 작은 dipole antenna를 이용하여 측정하며 Robot 시스템을 이용하여 공간오차 0.02mm 이내에서 정밀 측정한다.

SAR은 질량밀도(ρ)인 미소체적에서 질량 증분에 따른 에너지증분의 시간미분 $SAR = \frac{d}{dt}(\frac{dW}{dm}) = \frac{d}{dt}(\frac{dW}{\rho dV})$로 나타낼 수 있으며, 전기장과 SAR과의 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$SAR = c\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} [mW/g]$$

단, c는 열용량[J/g/℃], $|E|^2$은 전기장 세기[V^2/cm^2], σ는 전기전도도[S/cm], ρ는 질량밀도[g/cm^3] 그리고 ΔT[℃]는 Δt(s) 시간동안 온도 변화이다. 위 식에 의해 인체내의 전계강도 E[V/m]를 측정하여 SAR을 구할 수 있다.

제2절 전자파비흡수율(SAR) 측정

1. 인체 두부 유사액체의 전기정수 측정

인체의 유전율은 조직과 주파수에 따라 상이한 값을 갖기 때문에 국내 휴대전화 주파수 대역인 850MHz 대역과 1.8GHz 대역에서는 서로 다른 액체를 제작하여야한다. Gabriel(1996)이 실측한 인체 각 조직의 유전율은 아래식 4-Cole-Cole fitting function과 잘 일치함을 보여주고 있으며 FCC Web site(http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh)에서는 이 식을 이용한 SAR 측정을 위한 RF 대역에서의 인체 조직 유전율 계산 프로그램을 제공하고 있다.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \sum_{m=1}^{4} \frac{\Delta\varepsilon_m}{1 + (j\omega\tau_m)^{(1-\alpha_m)}} + \frac{\sigma_j}{j\omega\varepsilon_0}$$

- *The tissues parameters are derived from the 4-Cole-Cole Analysis in [Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies] by Camelia Gabriel, Books Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037.*

우리는 이러한 알려진 조직의 유전상수에 근거하여 측정하고자 하는 조직의 모의 인체를 만들고 Network Analyzer를 이용하여 모의 인체의 유전율을 확인한다.

액체 유전체의 유전율 및 전기전도도의 측정은 S-parameter 반사 측정법을 이용한다. 본 실험에 사용된 복소유전율($\varepsilon' - j\varepsilon''$) 측정 시스템은 *Hewlett Packard*의 유전율 측정용 probe kit (*HP85070B*)과 Network Analyzer (*HP8722D*)를 이용하여 구성하였다. 이때 액체 유전체는 비자성의 등방성의 균질 액체여야 한다.

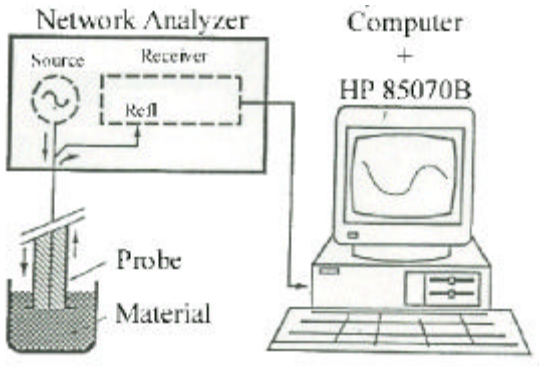


그림 5-1. 유전율 측정시스템

위 그림 5-1과 같이 측정 시스템을 구성한 다음 NWA를 켜고 30분 정도의 워밍업 시간을 갖는다. 인체 조직의 합성시 이물질이 함유되지 않은 증류수를 사용하였고, 측정시 온도 변화를 ±1℃로 유지하였다.

유전율은 S_{11}을 측정하여 프로브 팁에서의 반사율로부터 얻었으며 측정된 복소유전율로부터 아래와 같이 조직의 상대유전율 ε_r 과 전기전도도 σ 를 얻는다.

$$\varepsilon_r = \varepsilon'$$
$$\sigma = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon''$$

$$where \quad f : frequency(Hz)$$
$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$$

유전율 측정시 액체 내에 공기방울을 완전히 제거하여야 한다.

유전 액체의 성분은 일반적으로 증류수, 설탕, NaCl, 셀룰로즈 그리고 방부제로 이루어져있다. 여기서 설탕은 증류수의 유전율을 줄이는 역할을 하며, 설탕과 NaCl은 전기전도도를 증가시키게 하는 역할을 한다. 또한 실험실내의 온도의존성에 대하여 전기전도도는 온도가 상승함에 따라 작아지지만 유전율은 온도의 상승과 함께 커진다. 유전율의 경우 1℃ 증가에 따라 약 0.5% 증가하며, 전기전도도의 경우는 약 1%의 감소를 보인다. 따라서 SAR 측정용 액체의 제작과 SAR 측정시 실험실의 온도를 일정하게 유지하는 것이 중요하다.

일반적으로 액체의 상대유전율은 주파수에 반비례 특성을 가지고 있다. 또한 증류수에 대한 설탕의 비가 증가하면 유전율은 상대적으로 감소한다.

인체 두부 유사 조직은 증류수와 설탕이 90%이상으로 구성되어있다. 그림 5-1은 증류수와 설탕의 조성비에 따라 배합된 액체의 주파수별 유전율을 측정한 결과이다. 액체의 상대유전율은 주파수에 반비례 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

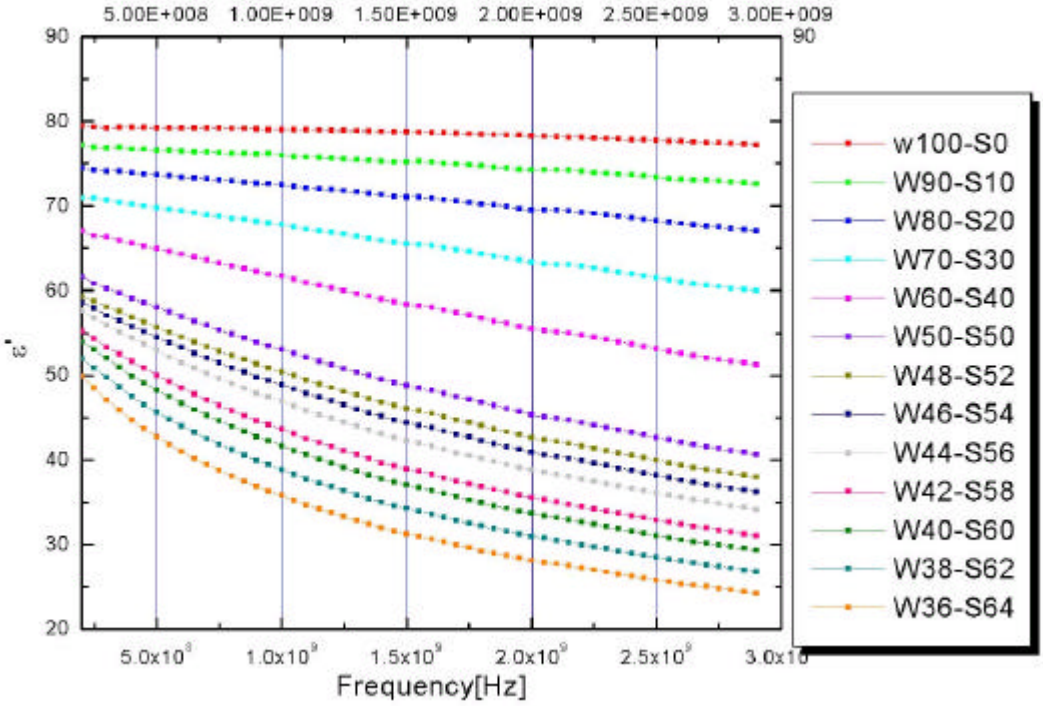


그림 5-2. 증류수와 설탕의 조성비에 따른 상대 유전율

그림 5-2의 결과에서 조성비와 유전율과의 함수관계를 분석하기 위해 특정 주파수(900MHz)에서의 조성비와 유전율 측정 데이터를 취하였다(그림 5-3). 증류수에 대한 설탕의 비가 증가하면 유전율은 상대적으로 감소함을 볼 수 있다. 그림 5-2로부터 900MHz에서의 측정 data를 취하여 아래 그림과 같이 조성비와 유전율과의 함수관계를 도출하였다.

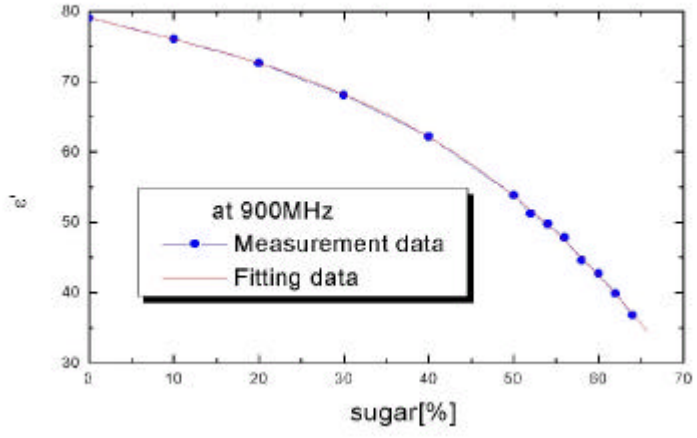


그림 5-3. 900MHz에서 설탕의 변화에 따른 유전율의 변화

우리는 유전율을 합성할 때 그림 5-3에서 구한 함수 관계로부터 원하는 전기정수를 갖는 인체 유사 액체를 합성하는데 이용할 수 있다.

2. 휴대전화 단말기의 출력 측정

전자파비흡수율(SAR)은 단말기의 위치, phantom과의 거리, phantom의 형상 그리고 휴대전화 단말기의 방사 출력 등 여러 가지 요인에 의해 상이한 값을 갖게 된다. 그 중에서도 단말기의 방사 출력은 SAR에 직접적인 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. 단말기의 conductive power가 증가하면 SAR도 그에 비례하여 증가한다. 휴대전화의 방사출력이 SAR에 큰 영향을 주기 때문에 SAR 측정에 사용되는 휴대전화 단말기는 연속적으로 최대 출력을 방사하는 상황(Tx mode)에서 phantom과 밀착하여 측정하며, 휴대전화의 밧데리는 full charge 상황에서 측정한다. 그림 5-4는 단말기의 conduction power를 자동으로 측정할 수 있도록 프로그램된 S/W로 측정한 것이다. 여기서 power meter (HP438A)를 이용하였다. 보편적으로 밧데리는 단말기가 예열이 될 때까지 시간에 따라 감소하다가 일정한 값을 갖는다. 다만 아래 그래프에서 보여주는 것과 같이 출력이 0.1dB 수직 상승하는 것은 단말기 내의 온도 보상에 의한 것으로 단말기의 열에 의한 손실을 보상해주는 역할을 한다.

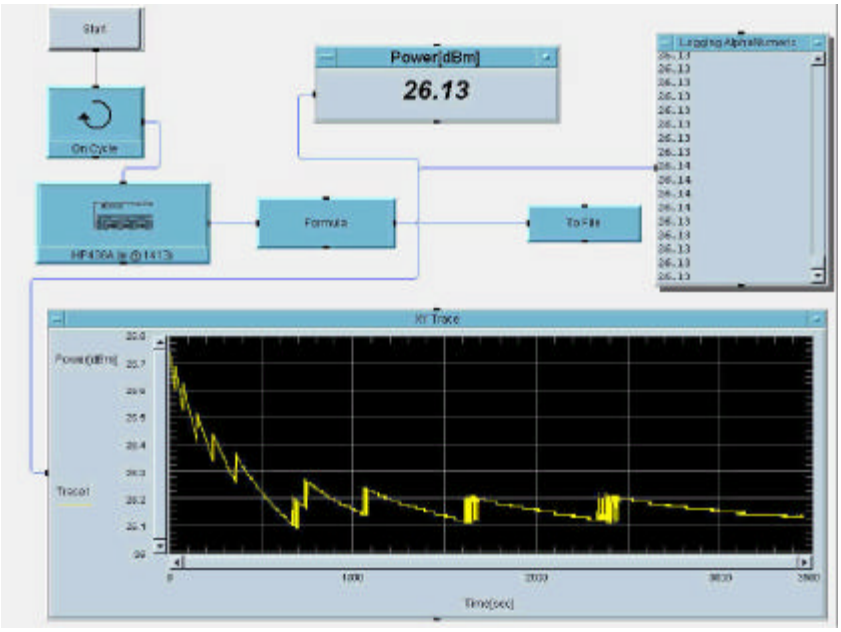


그림 5-4. 휴대전화 단말기의 출력 측정 프로그램

3. SAR 측정

SAR 측정은 그림 5-5와 같이 전파연구소에 설치되어있는 자동 근거리장 측정 시스템인 SPEAG사의 DASY3을 사용하였다. 본 시스템은 0.02mm의 고정밀 6축 robot과, 광센서 및 액체 내에서의 전기장을 측정할 수 있는 등방성 프로브 그리고 fiberglass 재질의 phantom으로 구성되어 있다. 측정 주파수 범위는 100MHz에서 3GHz까지이며, dynamic range는 2V/m에서 900V/m이고 0.2dB 이하의 선형 오차를 갖는다. Dosimetric 프로브는 자유공간과 높은 유전율을 갖는 액체 내에서 교정이 되어지며, 액체 유전체내에서의 전기장을 측정할 수 있도록 설계되었다.

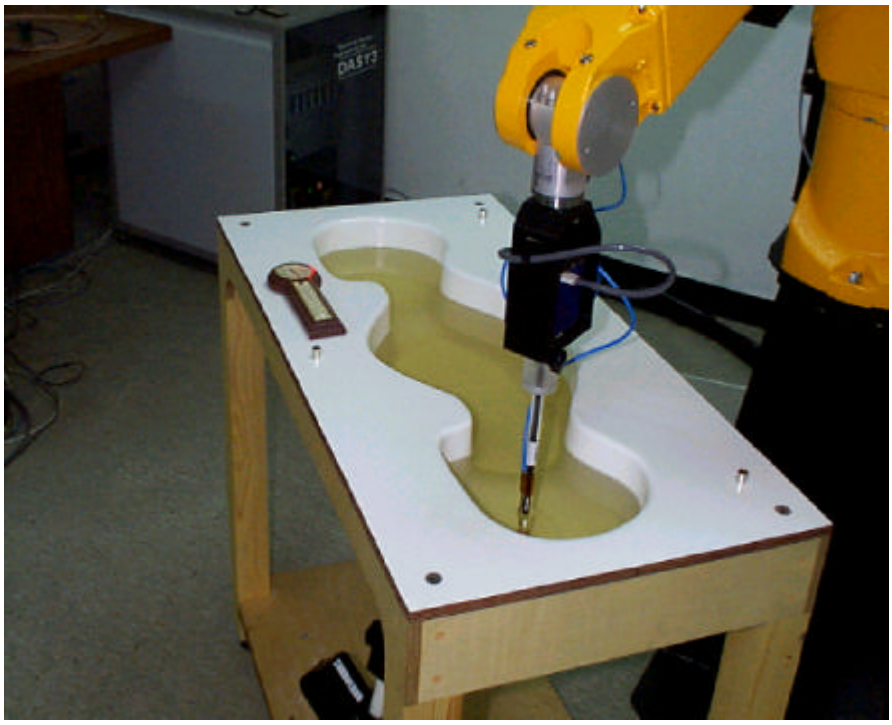


그림 5-5. 상용 SAR 측정 시스템

SAR은 모의인체내의 전계강도를 측정하고 액체의 전기전도도와 질량밀도로부터 계산된다.

모의인체는 인체두부의 형상으로 내부에 인체의 두부 매질 정수를 갖는 액체로 채워져 있으며, phantom 외각의 매질정수는 측정에 영향을 미치지 않도록 하는 값으로 하며 두께는 3mm 이내로 제한한다. 전계 sensor는 3축 등방성(isotropic)의 미소 dipole antenna로 구성되어있고 측정된 data를 근거로

하여 외삽 및 내삽에 의해 조직의 1g 또는 10g 평균으로 계산한다.

현재 미국(FCC), 캐나다, 호주 등에서는 1g 평균, 1.6W/Kg으로 SAR을 규정하고 있으며, 유럽(CENELEC)과 일본의 경우는 10g 평균, 2.0W/Kg으로 권고하고 있다. 같은 조건에서 1g 평균 규정은 10g의 것보다 엄격하다. 휴대전화의 지지대는 측정시 휴대전화의 위치를 고정하고 측정에 영향을 주지 않는 재질 그리고 휴대전화의 위치 재현성을 고려하여 만들어져야한다.

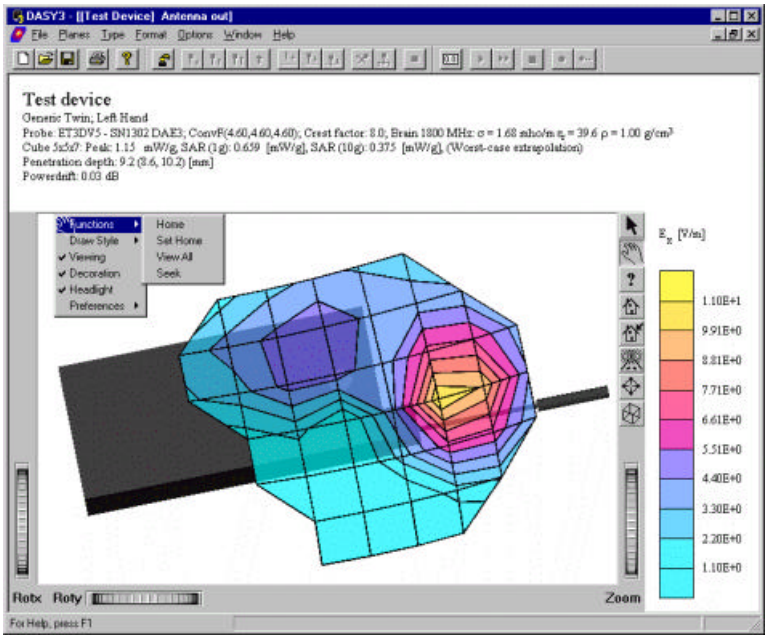


그림 5-6. 휴대전화에서 방사된 전자파가 인체 두부에 흡수된 에너지 분포

그림 5-6은 지금까지 언급된 측정법을 이용하여 SAR 측정 시스템으로 휴대전화에서 방사된 전자파 에너지의 흡수를 실측한 분포도이다. 이로부터 우리는 단말기의 SAR 기준 적합성 여부를 결정할 수 있으며, 단말기의 여러 사용 상황에 따른 영향 평가 및 SAR 값에 영향을 주는 단말기의 신호원(signal source) 분석에 이용할 수 있다.

제3절. SAR 측정 결과

휴대전화의 전자파 흡수율(SAR)은 5장 1절에서 언급된바와 같이 인체 유사 액체 내에서의 전기장의 세기에 의해 정해진다. 그러나 휴대전화의 실사용 상태를 모의인체에 재현하여 측정할 경우 주로 단말기가 모의인체에 접촉된 부분인 귀 부분 즉, 단말기의 수신부에서 가장 큰 분포를 보인다. 아래 그림은 단말기의 미국 FCC의 전자파 흡수율 측정 기준에 의해 측정된 결과이다. 노란색으로 표시된 부분이 국소 두부 SAR 측정치중 가장 크게 나온 부분인데 앞서 언급한 바와 같이 단말기의 수신부에서 큰 값 분포됨을 알 수 있다. 본 측정에 사용된 단말기는 현대전자의 HGC-120E 기종을 사용하였으며, 채널 991에서 conducting power가 24.7dBm을 갖도록 AGC 값을 조정하였다.

1. SAR 측정

보통 단말기의 SAR 값을 낮추기 위해 단말기에서 전자파가 많이 방사되는 부분에 동 테이프등 전도성이 좋은 물질을 붙이거나 바른다. 그러나 단말기의 케이스에 전도성이 좋은 물질을 필요이상으로 첨가하는 것은 오히려 역효과를 가져온다. 단말기의 front case와 back case에 shield material의 유무에 따른 측정 결과(표 5-1)에 알 수 있듯이 내부 PCB 기판의 소자들에 유기되는 noise를 차폐하기 위한 최소한의 shield만을 해야할 것이다.

그림 5-7. 단말기 내부 구조

표 5-1. 단말기 case의 shielding에 따른 SAR 측정 결과

측정 조건		SAR(1g 평균) [W/kg]		비 고
Front case	Back case	Ant. Out	Ant. In	
shielded	shielded	1.43	1.63	normal
no shielded	shielded	0.79	1.02	
no shielded	no shielded	0.73	0.97	

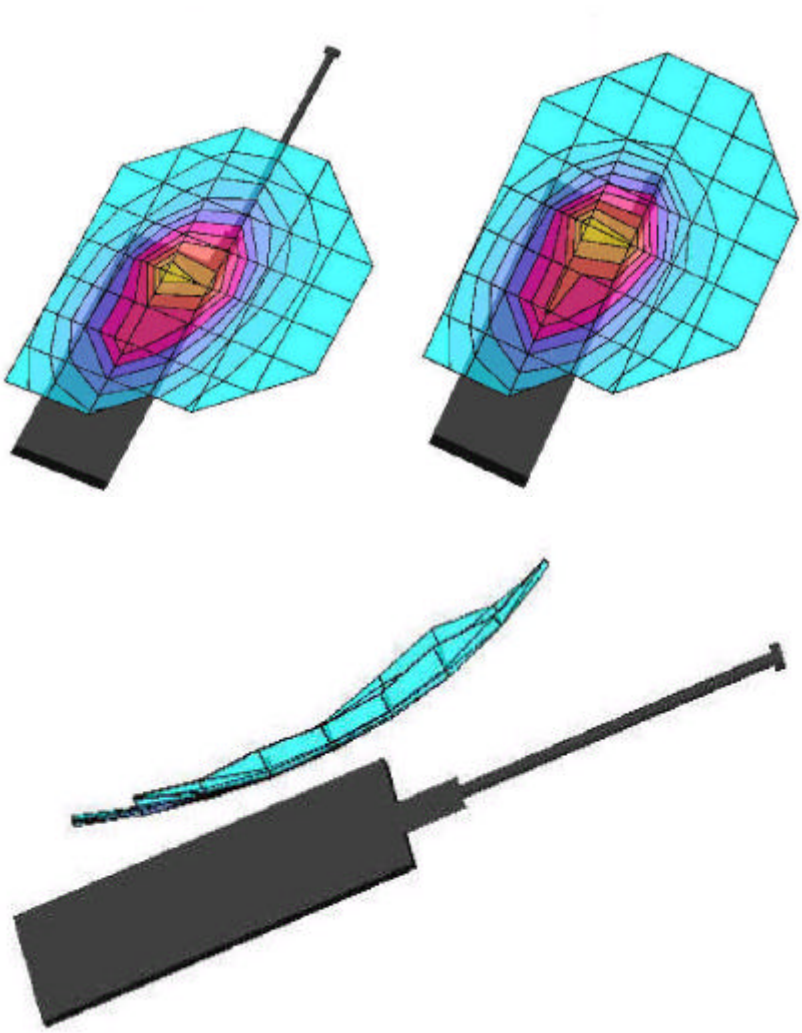


그림 5-8. 모의 인체 phantom내에서의 전기장 분포 특성

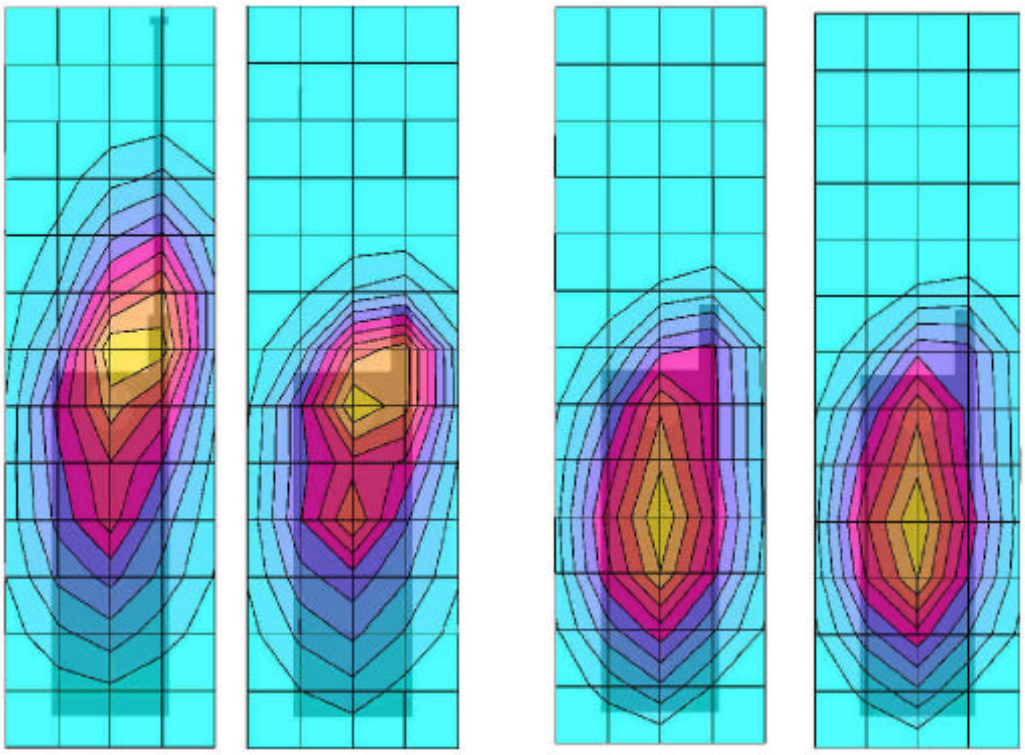
2. Flat Phantom에서의 SAR 측정

실제로 단말기에서 전자기장이 가장 많이 방사되는 곳은 SAR 측정에서 보여주는 field 분포와는 다소 다르다. SAR 측정은 곡률이 있는 인체 머리 모양의 phantom에 단말기를 위치시켜 측정하기 때문에 SAR 값은 단말기의 부착 위치에 따라 다르다. 본 측정에서는 단말기를 아래 그림과 같이 평평한 phantom에 부착시켜 측정하였고 phantom으로부터 5mm 이격시켜 측정하여 보았다. 5mm를 이격시켜 측정한 이유는 단말기를 팬텀에 부착하였을 때 field의 distortion에 의한 SAR 측정 오차 때문이다.

그림 5-9. Flat Phantom에서의 SAR 측정

표 5-2. Flat Phantom에서의 SAR 측정 결과

측정 조건		SAR(1g 평균) [W/kg]		Phantom과 단말기의 이격거리
Front case	Back case	Ant. Out	Ant. In	
shielded	shielded	1.23	1.40	0mm
no shielded	shielded	0.82	1.02	0mm
no shielded	shielded	0.71	0.97	5mm
no shielded	no shielded	0.71	0.97	0mm
no shielded	no shielded	0.56	0.87	5mm



a)
Front shielded
Back shielded

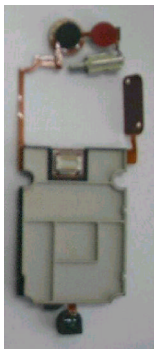
b)
Front shielded
Back shielded

c)
Front shield none
Back shielded

d)
Front shield none
Back shield none

그림 5-10. Flat Phantom에서의 전기장 분포 특성

표 5-2와 그림 5-10은 Flat Phantom에서의 SAR 측정 결과를 보여 주고 있다. 그림 5-10의 a)와 b)는 단말기의 front case와 back case가 모두 shield material로 차폐되어있는 경우이며, c)는 단말기의 front case는 shield되어있지 않고 back case만 shield 되어있는 경우이며, d)는 front case와 back case 모두 shield 되어 있지 않고 오른쪽 그림처럼 단말기 key-pad 안쪽에만 shield 되어있는 경우이다.

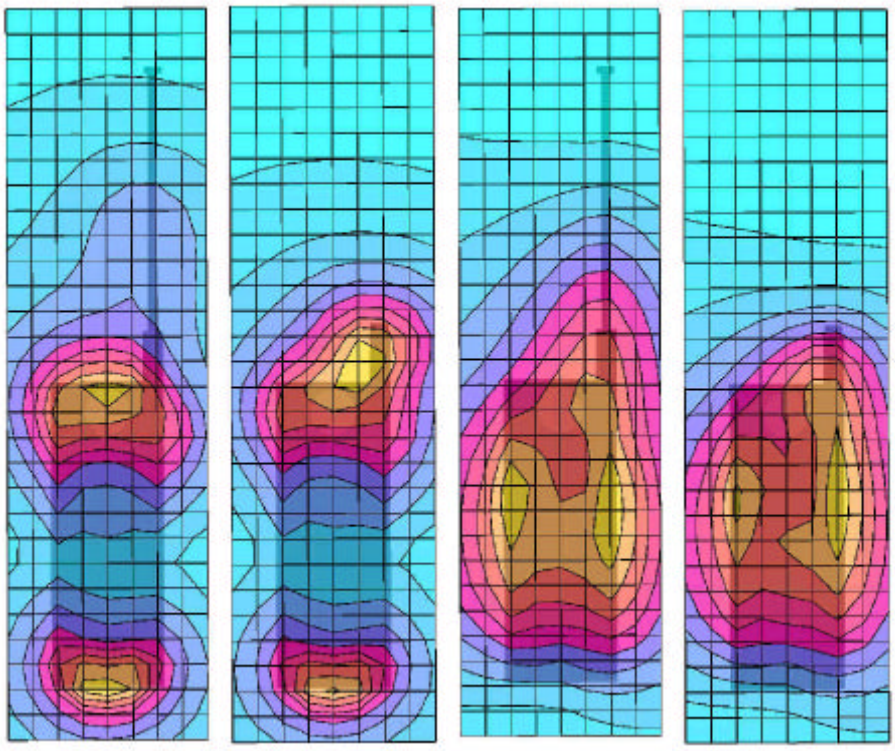


Normal한 단말기의 경우 외부로 방사되는 전기장은 단말기의 Antenna Box(feeding point) 주변에서 많이 방사됨을 알 수 있다(그림 5-10 a), b)). 때문에 SAR 측정시 이 부분이 phantom과 가장 가깝기 때문에 SAR 값에 큰 영향을 준다 그러나 단말기의 case가 shield 되어있지 않고 key-pad 안쪽 부분만 shield 되어있는 경우 이 부분에서 방사되는 전기장이 가장 많다. (그림 5-10 c), d)).

3. 자유공간에서의 전자기장 분포 측정

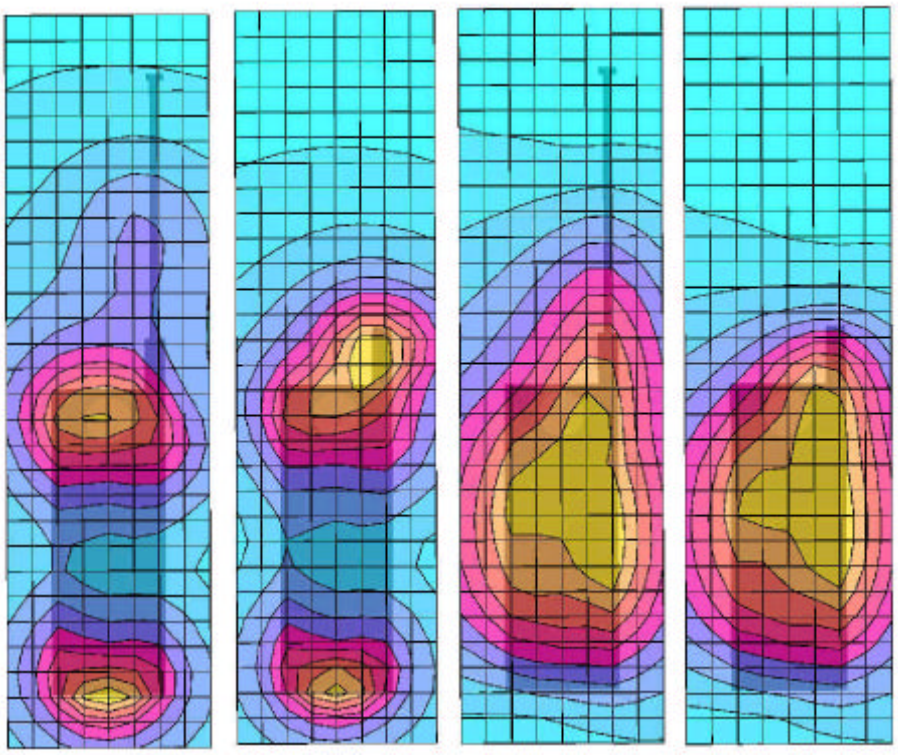
보다 정확한 분석을 하기 위해 자유공간에서 전기장과 자기장의 분포를 측정하여 보았다.

자유공간에서 전자기장의 분포 측정은 단말기로부터 3mm 되는 곳에서 단말기 표면을 scan하여 측정하였으며, 단말기의 조건은 SAR 측정과 동일하게 하였다.



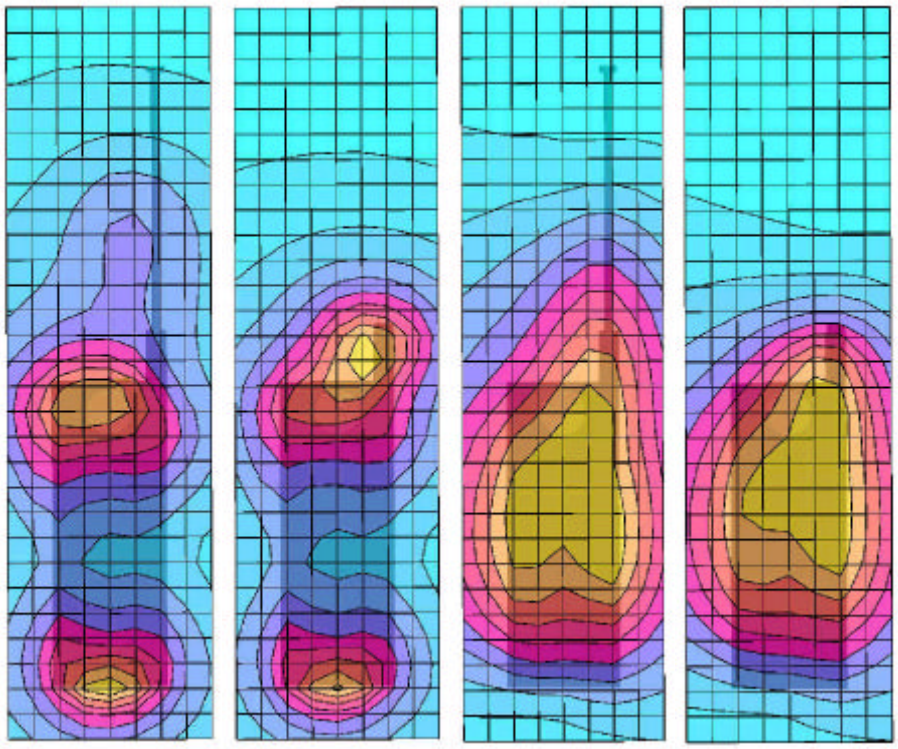
a) 전기장 b) 전기장 a) 자기장 d) 자기장

그림 5-11. 자유공간에서의 전기장 및 자기장의 분포(Normal)



a) 전기장 b) 전기장 c) 자기장 d) 자기장

그림 5-12. 자유공간에서의 전기장 및 자기장의 분포(front case : none shielding, back case : shielding)



a) 전기장 b) 전기장 c) 자기장 d) 자기장

그림 5-13. 자유공간에서의 전기장 및 자기장의 분포(front case : none shielding, back case : none shielding)

그림 5-11, 12, 13에서 알 수 있듯이 단말기에서 방사되는 전기장은 세기만 다를 뿐 패턴은 거의 변화 없다. 결국 단말기 case의 shield에 따른 SAR의 변화는 자기장의 세기 및 패턴에 영향을 받는다라는 것을 알 수 있다. 그림 18과 19를 비교해보면 자기장의 패턴 변화는 거의 없다. 즉 단말기로부터 방사되는 전자기장이 SAR에 미치는 요소는 단말기의 front case에 어떤 방식으로 shield되어 있는가에 따라 변함을 알 수 있다.

이에 대한 검증을 위해 단말기의 front case가 없는 상태에서 전기장 및 자기장을 측정하여보았다.

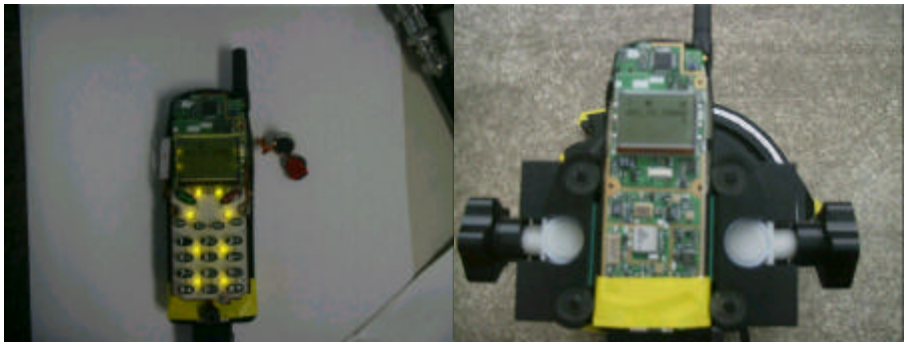
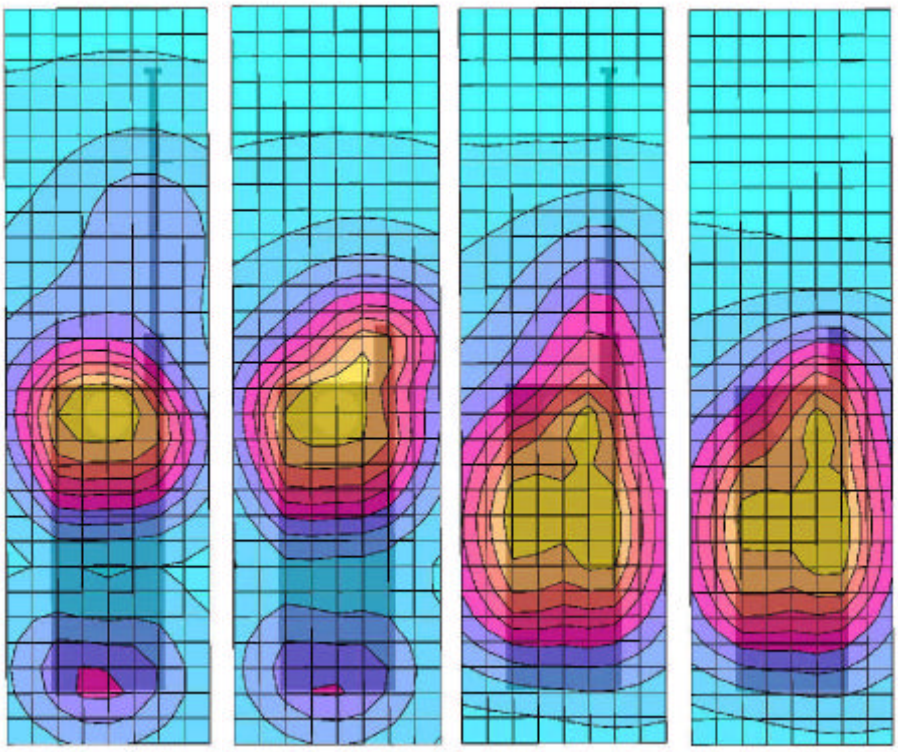


그림 5-14. Front case가 없는 상태에서의 field 측정



a) 전기장 b) 전기장 c) 자기장 d) 자기장

그림 5-15. 자유공간에서의 전기장 및 자기장의 분포
(front case가 없는 상태)

표 5-3. 자유공간에서의 전기장 세기(peak value) 측정 결과

측정 조건		전기장 세기(peak value) [V/m]		비 고
Front case	Back case	Ant. Out	Ant. In	
shielded	shielded	97.91	108.15	Normal
no shielded	shielded	85.13	98.63	
no shielded	shielded	83.38	96.47	remove the front case
no shielded	no shielded	85.32	98.50	

위 결과에서 우리는 전기장의 분포나 세기는 단말기의 back case의 shielding 상태에 영향이 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 SAR값은 전기장의 소스가 거리의 제곱에 반비례하기 때문이다. 즉, 단말기의 back case는 phantom과의 거리가 1cm 이상 되므로 이곳에 유도되어 방사되는 전기장은 SAR에 거의 영향을 못 미치는 것이다. 그러나 Front case 경우는 Phantom에 밀착되어있기 때문에 shielding 유무에 따라 전기장 및 자기장의 세기와 패턴과 SAR 측정치에 큰 영향을 준다.

4. SCC34의 SAR 측정 방법에 따른 결과

현재 IEEE의 SCC34에서는 FCC의 SAR 측정 방법을 개정하기 위한 작업이 이루어지고 있으며, 현재 거의 마무리 단계에 있다.

그 내용 중 현재의 측정방법과 다른 것은 단말기의 측정 위치를 2가지 방법으로 제안하고 있는 것이다. 첫 번째 측정방법은 현재와 동일한 Phantom의 빰 부분에 접촉하도록 하는 것이며, 여기에 추가된 측정 위치는 앞의 측정 위치에서 단말기를 인체의 머리뒤쪽으로 15도 기울여서 측정하도록 하는 것이다.

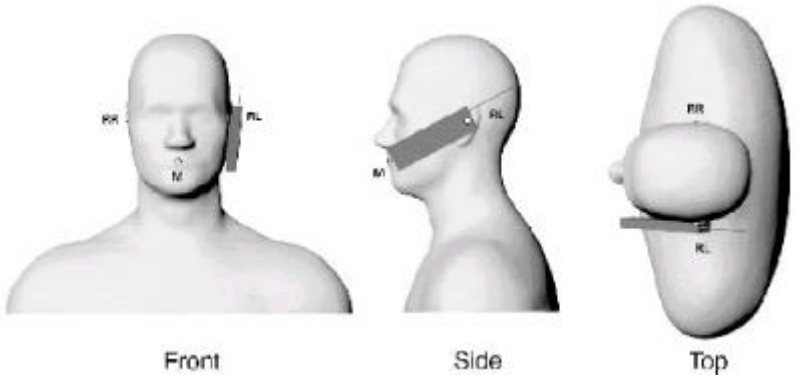


그림 5-16. 접촉위치

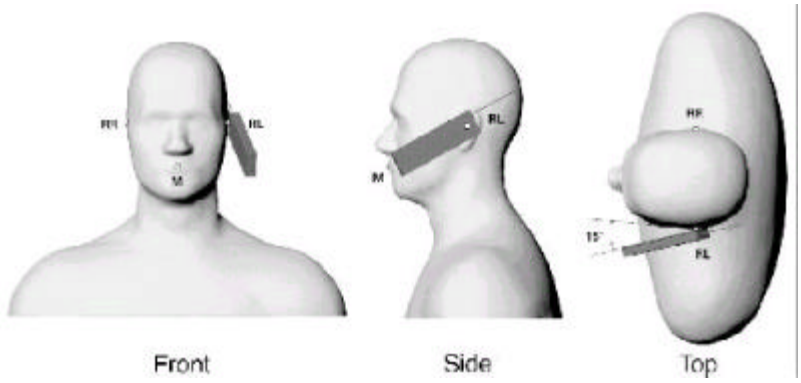


그림 5-17. 경사위치

경사위치에서 측정할 경우 기존의 접촉위치에서 측정된 SAR 값보다 크게 나오는데 이는 인체의 두부와 안테나의 위치가 접촉위치보다 경사위치에서 훨씬 더 가깝기 때문이다.

표 5-4. 경사위치에서의 SAR 측정 결과

단말기 위치	SAR(1g 평균) [W/kg]		차 이
	Ant. Out	Ant. In	
접촉위치	1.43	1.63	14%
15도 경사위치	1.71	1.93	13%

5. 결론

위의 측정 결과에서 알 수 있듯이 SAR에 영향을 주는 요소는 크게 두 가지로 나눠볼 수 있다. 첫째는 단말기의 안테나에서 방사되는 전자기장인데 이는 SAR에 직접적인 영향을 준다. 둘째는 안테나에서 방사된 전자기장이 단말기의 내부에 shielding 목적으로 코팅되어있는 전도성이 우수한 물질에 유도되어 이곳에서 2차 방사되는 전자기장이다.

첫 번째 요소를 최소화하기 위해서는 단말기를 설계할 때 가급적 인체 머리에서 먼 곳에 위치하도록 해야한다. 두 번째 요소를 최소화하기 위해서는 단말기의 내부에 shielding을 최소화해야한다. 특히 단말기의 back case는 SAR에 거의 영향을 주기 않지만 Front case의 경우는 꼭 필요한 경우가 아니라면 shielding을 하지 않거나 shielding을 해야 할 경우라면 그 부분의 소자를 단말기의 하단 부위에 위치시키도록 설계하여야 할 것이다.

제6장. 결 론

이동통신단말기 SAR 저감기술 개발연구 기간에 현재까지 마련되어 있는 국제기구 및 외국의 기준안을 총정리하고, 향후의 연구방향을 제시하였다. 그리고, 현재 전파연구소에 운용 중인 SAR 측정 시스템을 외국 인증기관과 동일한 조건에서 SAR을 측정할 수 있는 환경을 마련하였다.

전자파 비흡수율(SAR : Specific Absorption Rate)은 전자파의 인체흡수정도를 정량화한 물리량으로, 전자파 노출에 대한 인체보호기준의 기본한계(basic restriction)로서 널리 이용되고 있다. 휴대폰 전자파에 의한 SAR의 저감을 위해서는 그 정의 및 SAR 기준의 근거를 명확히 파악해야 하며, 본 연구소에서는 이미 미국 FCC의 SAR과 관련한 기술기준인 OET Bulletin 65를 검토하고, 일본의 SAR 측정방법(안)을 번역, 정밀 검토하는 등 휴대폰 SAR 측정의 객관성 및 정확성 확보를 위한 기술적 기분을 구축하였다. 이와 같은 기술적 기반을 토대로 computer simulation 및 phantom을 이용한 SAR 측정 data의 상호비교를 통한 연구결과의 자체 검증을 가능하게 하였다.

수치해석적 연구분야에서는 휴대폰의 정확한 모델링을 위하여 CAD로 설계된 휴대폰을 1mm 해상도의 FDTD 모델로 변환시킬 수 있었으며, 복사패턴의 계산 결과가 무반사실에서 실시한 측정값과 ±0.5 dB 이내로 잘 일치함을 확인하였다. 또한 현재 대부분의 휴대폰에 적용되는 1/4λ helical 안테나와 단말기 본체에 의한 접지면 영향도 분석할 수 있었다. 그리고, SAR 측정시스템에 사용되는 phantom의 FDTD 모델에 휴대폰을 merge시켜 측정시스템과 동일한 상황으로 구현하여 계산하는 것이 측정값과 오차 범위 ±10 % 내로 가능함을 확인함으로써 Om P. Gandhi의 결과 오차 ±20 %를 개선하였다. 이로써 단지 경험에 의존하거나, 제품의 완성단계에서 별개의 작업으로 SAR을 고려하는 것이 아니라, 설계 단계에서 정량적으로 SAR이 고려된 휴대폰을 개발할 수 있는 방법을 제안하였다. 즉, 제안된 공정을 이용하여 higher call quality와 lower SAR 을 동시에 만족시키는 양질의 휴대폰 개발이 가능하다. 특히, 이 방법은 새로운 휴대폰 개발에 소요되는 비용과 시간을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다.

이 방법이 유용하게 쓰일 수 있는 경우는 외형의 특성상, 안테나와 인체두

부 사이의 거리가 자연스럽게 멀리 떨어지게 되는 folder type보다는 사용시에 안테나가 인체두부에 밀착되어 SAR값이 더 높을 것으로 예상되는 bar type 이나 flip type의 휴대폰을 개발할 때 보다 보다 적극적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

물론, 아직 SAR 측정 방법에 대한 정확한 표준이 정해져 있지 않은 상황이지만 제안된 방법으로 휴대폰을 설계하고 제작한다면 앞으로 발표될 어떠한 측정 방법이나 조건에도 대응할 수 있을 것으로 생각된다.

뿐만 아니라, 본 논문에서 제안한 모델링 방법의 mesh size가 1mm이므로 파장 단축율을 고려하더라도 더 높은 주파수의 service 즉, PCS와 IMT-2000 뿐만 아니라 미래의 이동 통신서비스에 대해서도 적용이 가능하다.

전자파 인체 흡수율(SAR) 측정 연구분야에서는 모의인체를 이용한 전자파 흡수율 측정을 위하여 각 인체조직에 대한 유사인체조직 합성연구, 두부 유사 인체조직의 조성 변화에 따른 유전상수 변화 측정, 조성비와 전기정수와의 함수관계를 도출하였다. 그리고, 휴대전화 단말기의 출력 측정용 프로그램을 작성하여 출력을 측정함으로써 출력과 SAR과의 관계를 연구하였으며, 향후 보다 정밀한 SAR 측정환경을 구축하여 측정오차를 줄인 다면 SAR 측정방법에 관한 국제표준화에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] Quirino Balzano, Oscar Garay, and Thomas 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.

[2] Niels Kuster, Ralph Kastle, and Thomas Schmid, "Dosimetric Evaluation of handheld Mobile Communications Equipment with Known precision", *IEICE Trans. Commun.* , vol. E80-B, pp. 645-652, May 1997.

[3] Qishan Yu, Magnus 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.

[4] Mark J. Hagmann, Om P. Gandhi, and Carl H. Durney, "Numerical Calculation of Electromagnetic Energy Deposition for a Realistic Model of Man", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-27, no. 9, pp. 804-809, September 1979.

[5] Niels Kuster, Quirino Balzano, and James C. Lin, *Mobile Communications Safety*, Chapman & Hall, pp. 17-19, 1997.

[6] **홍수원, 김기회, 오학태**, "**한국인 인체두부모델을 이용한** SAR **계산**", **제** 3**회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍 발표집**, pp. 89-98, 1999. 7.

[7] James G. Maloney, Glenn S. Smith, and Waymond R. Scott, Jr., "Accurate Computation of the Radiation from Simple Antennas using the Finite-Difference Time-Domain Method", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 38, no. 7, pp. 1059-1068, July 1990.

[8] Michal Okoniewski, and Maria A. Studchly, "A Study of the Handset Antennas and Human Body Interaction", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 10, pp. 1855-1864, October 1996.

[9] Om P. Gandhi, Gianluca Lazzi, and Cynthia M. Furse, "Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 10, pp. 1884-1897, October 1996.

[10] Taki M, Watanabe S, and Nojima T, "FDTD Analysis of Electromagnetic Interaction between Portable Telephone and Human Head", *IEICE Transactions on Electronics*, vol. E79-C, no. 10, pp. 1300-1307, October 1996.

[11] Michael Burkhardt, Nicolas Chavannes, Katja Pokovic, Thomas Schmid, and Niels Kuster, "Study on the FDTD Performance for Transmitters in Complex Environments", *ICECOM '97*, DUBROVNIK, October 1997.

[12] Om P. Gandhi, Gianluca Lazzi, Adam Tinniswood, and Qi-Shan Yu, "Comparison of Numerical and Experimental Methods for Determination of SAR and Radiation Patterns of Handheld Wireless Telephones", *Bioelectromagnetics*, 20:93-101, pp. 93-101, 1999.

[13] Karls S. Kunz, and Raymond J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press Inc., Chapter 7, 1993.