

## 제 출 문

본 보고서를 「생활환경의 전자파원에 의한 인체영향 연구」  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 . 12. 31.

연구책임자 : 오학태 ( 전파환경연구과 )

연 구 원 : 김기희 ( 전파환경연구과 )

장영호 ( 전파환경연구과 )

성주영 ( 전파환경연구과 )

# 요 약 문

1. 과 제 명 : 생활환경의 전자파원에 의한 인체영향 연구
2. 연구 기간 : 2002. 01. 01 ~ 2002. 12. 31
3. 연구책임자 : 공업연구원 오학태
4. 계획 대 진도

## 가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 외국보호기준의 근거 (Rationale) 에 대한 정밀 분석.</li> <li>○ ICNIRP(국제비전리복사방호위원회), ANSI/IEEE(미국국가표준협회/미국전기전자학회), CENELEC(유럽전자기술표준화위원회), IEC(국제전기기술위원회) 등 국제 관련 연구단체의 동향 파악 및 분석</li> <li>○ 세계보건기구(WHO)의 국제EMF 프로젝트 등 외국의 연구결과물 분석</li> <li>○ 펄스파의 인체영향 논문 분석                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 영국 국립복사방호위원회 등의 연구보고서 분석</li> </ul> </li> </ul>	오학태 김기희 장영호 성주영													

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
○ 전자파 인체 흡수율 측정 연구분야 - 근거리장 프로브 교정 방법 연구 · 자유 공간 에서 의 probe 교정 · 인체 유사 액체 내에서 의 probe 교정 · 프로브 교정 factor 도출 - 휴대폰의 전자파흡수율(SAR) 측정방법 표준화 연구 · 단순한 모양의 팬텀 구조 연구	오학태 김기희 장영호 성주영													
분기별 수행진도 (%)														

나. 세부 과제별 추진사항

(1) 인체보호기준 연구 분야

→ 국내 정책 및 연구방향 도출.

○ 외국 보호기준의 근거(Rationale)에 대한 정밀 분석.

○ ICNIRP(국제비전리복사방호위원회), ANSI/IEEE(미국국가표준협회/미국전기전자학회), CENELEC(유럽전자기술표준화위원회), IEC(국제전기기술위원회) 등의 국제 관련 연구단체의 동향 파악·분석

- ICNIRP, ANSI/IEEE, CENELEC 홈페이지에 접속하여 최신 연구동향 파악

- IEC TC 106

· 기술문서 분석, TC 106 WG 5 회의참가(2/27-3/3)

· EMF 인체 노출 위원회 회의 2회, 작업반 회의 4회

- IEC TC 106 기술문서분석, TC 106 회의참가(11/18-11/20)

## (2) 전자파 인체 흡수율의 평가 및 대책기술 연구

- 전자파 인체 흡수율(SAR) 측정 연구 분야
  - 근거리장 프로브 교정방법 연구
    - 자유공간에서의 probe 교정
  - 휴대폰의 전자파흡수율(SAR) 측정방법 표준화 연구
    - PCS대역(1800MHz) 모의조직 특성 분석
      - 증류수와 DGBE 조성비에 따른  $\epsilon_r$  및  $\sigma$
    - 손 영향에 따른 SAR 측정 및 분석
      - 손 팬텀 제작
      - 손과 손팬텀 비교
      - 손 영향에 따른 바형, 플립형, 폴더형 휴대폰의 SAR 측정 및 분석

## 5. 연구 결과

- 1) 한국(RRL) · 일본(CRL)의 공동연구
  - 한국(RRL) · 일본(CRL)의 공동연구협의(3/21-3/23, 5/13)
- 2) 연구결과 발표
  - 한국전자과학회 논문 발표
    - 제6회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍
    - 제목 : 이동통신단말기의 손의 영향에 따른 SAR분석(10/18)
  - 전파연구소 중간발표회 논문 발표
    - 제목 : 생활환경의 전자파원에 의한 인체영향 연구(9/21)
  - 전파연구소 전파기술세미나 논문 2편 발표
    - 제목 : Calibration Method of SAR Measurement E-field

Probe(11/29)

· 제목 : 이동통신단말기의 손의 영향에 따른 SAR분석(11/29)

6. 기대효과

- 국내외의 인체보호기준에 대한 분석을 통한 관련 정책수행과 SAR 측정표준화 기여
- 연구결과의 방송 및 언론사 홍보효과에 따른 전자파에 대한 일반인의 막연한 불안감 해소

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
SAR 측정 시스템 1식	DASY 3 로봇 시스템 등	1	SAR 측정	보유		
전자기장-생체 영향 수치해석적 연구시스템 1식	Alpha Server 4000, XFDTD 5.3, HFSS 7.0 등	1	수치해석	보유		

# SUMMARY

This research (Research for the Human Effect of Electromagnetic Field (EMF)) is carried out analyzing the research aspect of IEC TC106 and WHO for human exposure by electromagnetic field, preparing the scientific basis for enactment and revision of standard, and developing the estimation technique of electromagnetic field measurement for portable telephones.

For the measurement technique of SAR, setup the probe calibration system based on the last research and calibrates the dosimetry near field probe. And we measure the isotropic characteristics of probe, and wish to use in standard for probe calibration at 800MHz and 1800MHz. And we measure and analyze the effect of hand for Specific Absorption Rate.

Also, we contract the MoU between Korea(RRL) and Japan(CRL) for the joint research. In the joint research, RRL and CRL have agreed to begin mutual comparison of the compliance tests for the Specific Absorption Rate(SAR) evaluation technique.

# 목 차

표 목 차 .....	98
그림목차 .....	98
제 1 장 서 론 .....	101
제 2 장 국외 연구동향 .....	102
제 1 절 IEC 연구동향 .....	102
제 2 절 2002 IEC TC106 WG5의 회의 결과 .....	105
제 3 절 2002 IEC TC106 회의 결과 .....	110
제 3 장 전자과흡수율(SAR) 측정 기술 연구 .....	120
제 1 절 근거리장 프로브의 구성 .....	120
제 2 절 근거리장 프로브의 반구 등방성 .....	122
제 3 절 근거리장 프로브의 축등방성 및 교정 .....	127
제 4 절 결 론 .....	134
제 4 장 손 영향에 대한 SAR 측정 연구 .....	135
제 1 절 손 영향 측정을 위한 조건 .....	135
제 2 절 손 영향 측정결과 분석 .....	142
제 5 장 인체 두부 모의조직의 특성 .....	150
제 6 장 RRL-CRL 공동연구 .....	154
제 1 절 개 요 .....	154
제 2 절 추진 실적 .....	154
제 7 장 전자과흡수율(SAR) 표준시험방법 .....	157

## 표 목 차

표 2.1 CENELEC과 IEC의 과제간 관련성 .....	119
표 4.1 단말기의 사양 .....	140

## 그 립 목 차

그림 2.1 body mounted devices에 대한 전신모델 .....	116
그림 3.1 SAR프로브 .....	121
그림 3.2 프로브 내부 구조 및 각 .....	121
그림 3.3 Phantom 내부 표면에서의 법선과 기준축과의 각도 계산 .....	122
그림 3.4 Phantom의 기준 선 정의 .....	123
그림 3.5 Phantom 내부의 법선과 기준축과의 차이 각 .....	124
그림 3.6 반구등방성 측정 시스템 구성도 .....	125
그림 3.7 반구등방성 측정 결과 .....	126
그림 3.8 직립개방형 도파관 교정 시스템 구성도 .....	128
그림 3.9 프로브 축등방성(835MHz) .....	129
그림 3.10 프로브 축등방성 오차(835MHz) .....	129
그림 3.11 프로브 축등방성(1800MHz) .....	130
그림 3.12 프로브 축등방성 오차(1800MHz) .....	130
그림 3.13 측정치와 이론치 비교 1 .....	132
그림 3.14 측정치와 이론치 비교 2 .....	132
그림 3.15 교정 결과(835MHz) .....	134
그림 3.15 교정 결과(1800MHz) .....	134
그림 4.1 SARTest사의 바형 단말기 파지방법 .....	136

그림 4.2	바형 및 플립형 단말기 파지방법 .....	137
그림 4.3	폴더형 단말기 파지방법 .....	137
그림 4.4	손 팬텀(바형 및 플립형) .....	138
그림 4.5	손 팬텀(폴더형) .....	138
그림 4.6	시뮬레이션을 위한 손의 위치 .....	139
그림 4.7	단말기 차지에 의한 손의 위치 .....	139
그림 4.8	손 영향 측정을 위한 측정절차 .....	141
그림 4.9	손 및 손 팬텀의 영향에 의한 국부 SAR 분포 .....	142
그림 4.10	손의 위치에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR .....	143
그림 4.11	손 및 손 팬텀의 위치에 의한 국부 SAR .....	144
그림 4.12	폴더의 안테나 조건에 의한 국부 SAR 분포 .....	145
그림 4.13	폴더의 안테나 조건에 의한 국부 SAR .....	146
그림 4.15	플립형 및 바형의 손 영향에 따른 국부 SAR .....	147
그림 4.16	손영향에 대한 국부 SAR 값의 차 .....	148
그림 5.1	유전율측정 시스템 .....	151
그림 5.2	증류수와 DGBE의 조성비에 따른 상대 유전율 .....	152
그림 5.3	1.8GHz에서 DGBE의 조성비에 따른 상대유전율 .....	152
그림 5.4	1.8GHz에서 DGBE의 조성비에 따른 도전율 .....	153
그림 6.1	validation dipole antenna(900MHz) .....	155
그림 6.2	validation dipole antenna(1950MHz) .....	155
그림 6.3	validation dipole antenna(450MHz) .....	156
그림 6.4	validation dipole antenna(1765MHz) .....	156

# 제 1 장 서 론

정보통신의 발달로 생활 환경에 있어서 전자파의 사용은 급속도로 증가하고 있으며, 이로 인해 생활환경의 전자파에 대한 인체 영향은 민감한 사회적 문제 그리고 건강과 관련한 관심으로 표출되고 있다.

우리나라에서는 1990년대 중반부터 전자파에 대한 연구가 시작되었으며 2000년에 정보통신부와 전파연구소 그리고 관련 학회 및 연구기관이 주축이 되어 전자파인체보호기준에 대한 연구를 수행하여 기준을 제정하였으며, 전파연구소에서는 2001년 휴대전화의 인체영향 표준시험방법에 관한 연구를 수행하고 관련 시험방법을 제정하여 2002년 4월부터 휴대전화에 대한 전자파흡수율 기준이 강제 시행되기에 이르렀다.

본 연구는 국내외 전자파인체보호기준에 대한 연구동향을 정확히 파악하고, 기준의 제정 및 개정에 필요한 과학적 근거를 마련하며, 휴대전화에 대한 전자파 평가 기술 개발 및 측정 표준화 연구를 목적으로 수행되었다.

‘생활환경 전자파원에 의한 인체영향연구’는 전자파의 인체 노출량 측정에 대한 IEC TC106 과 WHO의 국제 기준 분석 및 연구 현황등을 파악하여 우리나라의 인체보호기준의 정책 방향을 제시하고자 하였으며, 전자파흡수율(SAR) 측정 기술연구에서는 2001년에 수행한 프로브 교정 방법 분석에 관한 연구를 바탕으로 프로브 교정 시스템을 구성하고 800MHz 대역과 1800MHz 대역에 대한 프로브 교정을 수행하여 프로브 교정을 위한 표준 시험 방법 마련에 이용하고자 하였으며, 측정 시스템의 불확정도 평가 방법을 분석하였다. 또한, 휴대전화 사용시 손에 의한 영향이 SAR 측정 결과에 미치는 영향을 측정 분석하여 향후 관련 기준의 제·개정을 위한 과학적 근거를 마련하고자 하였다.

2002년 7월부터 우리소와 일본 통신종합연구소(CRL)의 공동연구를 위한 양해각서(MoU) 체결에 따라 전자파인체영향 평가 방법 및 표준화 연구를 CRL의 EMC Research Group과 공동으로 수행중이다.

## 제 2 장 국외 연구동향

### 제 1 절 IEC 연구동향

#### 1. IEC/TC 106 개요

##### 가. 개괄

IEC/TC 106은 전자파 인체노출과 관련된 노출량 평가방법에 대한 국제 표준을 제정하는 위원회로서, 1997년 7월에 제안되어 동년 10월 회의에서 그 필요성이 인정되어 새로운 기술위원회로 만들어졌으며, 2000년 10월에 몬트리올에서 첫 회의가 개최되었다.

##### 나. 목적

0 ~ 300 GHz 주파수 대역 전기장, 자기장, 전자기장의 인체 노출량 평가를 위한 측정 및 계산 방법에 대한 국제표준을 준비하는데 그 목적이 있으며, 인체보호기준은 다루지 않는다.

##### 다. 참여국가

우리나라를 포함하여 오스트레일리아, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 중국, 일본, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 멕시코, 네덜란드, 노르웨이, 폴란드, 스페인, 스웨덴, 스위스, 타일랜드, 영국, 미국의 총 24개국이 참가하고 있다.

##### 라. 조직

IEC/TC 106의 의장은 Mr. Ronald C. Petersen이고, 간사는 Mr. Michel Bourdages, 보조간사는 Mr. Herman A.W. Leenders로 총 5개의 WG으로 구성하여 운영하고 있다.

#### 2. WG의 연구과제별 동향

IEC/TC 106에는 현재 진행중인 과제 6개와 신규과제 1개가 있으며 CD(Committee Draft) 준비 단계의 과제가 5건, CC(Committee Comments) 단계의 과제가 2건이 있다. 세부사항은 다음과 같다.

가. WG 1 : 저주파수(0~100 kHz) 전기장 및 자기장, 유도전류의 측정, 계산방법. - Horizontal standards (basic standards)

○ Project 62226-1 : 저주파수 및 중간주파수 영역 전기장 또는 자기장에 의해 인체에 유도되는 전류의 계산방법. - Part 1: 범위, 참고용어 및 용어정의.

- Project Leader : M. F. Deschamps

○ Project 62226-2-1 : 저주파수 및 중간주파수 영역 전기장 또는 자기장에 의해 인체에 유도되는 전류의 계산방법. - Part 2: 자기장에 대한 노출 Section 1: 2D 모델

- Project Leader : M. F. Deschamps

나. WG 2 : 특정 소스에 의해 발생하는 저주파수 전기장 및 자기장의 특성 묘사 - Vertical standards or Technical Specification (product and product family standards)

○ Project 62233 : 인체노출 관련, 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 측정방법.

- Project Leader : M. Alain Roux

다. WG 3 : 고주파 전자기장(100 kHz~300 GHz) 및 SAR의 측정, 계산방법 - Horizontal standards (basic standards)

○ Project 62334 : 인체노출과 관련된 고주파(9kHz ~ 300GHz) 전자기장의 측정 및 평가.

- Project Leader : David Baron

라. WG 4 : 특정 소스에 의해 발생하는 전자기장 및 SAR의 특성 묘사 - Vertical standards or Technical Specification(product and product family standards)

- Project 62209 : 300MHz ~ 3GHz 주파수범위의 휴대폰에 대한 SAR 측정 절차
  - Project Leader : Matthias Meyer
- Project 62232 : 이동전화 기지국에서 발생하는 전자기장.
  - Project Leader : Mr. B. Eicher
- Project(프로젝트명 없음) : 보안, 도난 방지, 전자 물류(EAS), 무선 식별(RFID), 자산/품목 추적 및 감시, 원격 지령, 제어, 원격 측정을 위하여 사용되는 장치, 유사한 단거리 및/또는 저 전력 무선 기기, 0 ~ 300 GHz 주파수 범위 상에서의 유사한 응용장치 보안 등으로 부터의 전자기장에 대한 인체 노출 평가 (Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used for Security, Anti-Theft, Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID), Asset/Item tracking and monitoring, Telecommand, Control, Telemetry, and similar Short Range and/or Low Power Radio Devices, in similar applications over the frequency range 0 ~ 300 GHz)

마. WG 5 : 일반표준

- Project 62311 : 인체노출 관련, 전자기장(0 Hz ~ 300 GHz)의 전기 및 전자제품 적합성평가 승인을 위한 판정기준
  - Project Leader : Ch. Verholt

## 제 2 절 2002 IEC TC106 WG5의 회의 결과

1. 회의일자 : 2002. 2. 28 ~ 3. 1

2. 장 소 : 덴마크 코펜하겐

3. 회의결과

○ 문서검토(106/20/NP, 106/23/RVN)

- 제목 : Assessment criteria to permit evaluation of compatibility of electrical and electronic apparatus with standards for human exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

“인체노출 관련, 전자기장(0 Hz ~ 300 GHz)의 전기 및 전자제품 적합성평가 승인을 위한 판정기준”

○ WG5의 목적 정의

- 제품 또는 제품군 표준에 포함되어 있지 않은 모든 제품에 해당하는 제조업체를 위한 제품 표준 제정.

○ 유럽 CENELEC version과 IEC version이 함께 발간될 것임.

○ CENELEC의 의도

- 수정된 현(안)을 UAP로 여섯달동안 회람시킨 후, 나머지 작업은 IEC에서 하도록 함.

※ UAP(Unified Approval Procedure)유럽전기통신표준기구(ETSI : European Telecommunications Standards Institute)에서 채택하는 표준 승인절차인 NAP(Normal Approval Procedure), UAP(Unified Approval Procedure) 및 AUAP(Accelerated Unified Approval Procedure) 중의 하나임.

표준(ETS와 I-ETS 등)의 채택이 긴급한 경우 공개조사와 공식투표가 하나로 통합된 승인절차로서, 관련 TC에서 합의에 의해 승인된 ETS와 I-ETS 초안이 긴급하게 결정되어야 할 경우에 적용됨.

○ WG5의 title의 수정

- "standard"라는 표현을 좀 더 포괄적인 의미를 가진 기본적인 표현으로 바꾸어야 함.
  - 예 : guide, guidelines, publication, document
- "standard"는 본 회의에서 변경하여, TC106에 통보하여야 함.
- "Emission"과 "exposure"에 관한 논의
  - "Emission"만이 product standards에서 규제될 수 있음.
- "SAR value"에 관한 논의
  - 회의 참석자 모두가 SAR test 경험이 있음.
    - 같은 cell phone에서도 각기 다른 결과가 도출.
    - 즉, EMF standard에서 uncertainty가 30% (EMC standard에서는 10dB)
- CLC(CENELEC) report, R 106X-001 Guidelines
  - 전자기장으로부터의 인체노출과 관련
- IEC에 대한 권고사항
  - 하나의 기술문서에 대한 배경으로서 세 가지 종류의 같은 급의 표준 즉, basic, product, generic standard를 선택하도록 권고함.
  - 차기 TC meeting에서 제안하기로 함.
- 작업일정
  - 2002년 5월에 CENELEC TC 211 document가 완성되면
    - 2개월간 작업하여 7월말까지 분담작업분을 위원장에게 보낼 것.
  - 2002년 10월의 북경회의시 이번 회의내용(작업일정/방향 등)을 위원장이 TC106 회의에서 보고.
    - 원고는 제출전 WG member에게 회람.
  - 2003년 3월까지 CD 초안을 WG에서 작성하여 회람.
    - Target date : 2003년 6월
- 작업내용 및 분담(106/20/NP, 106/23/RVN)
  - 참고문헌은 CLC(CENELEC) document
  - Scope, Normative reference, terms/definition, 평가방법 등은
    - 106/23/RVN과 동일.
  - Compliance criteria
    - 일반적인 기준 내용을 언급하고 일반화시키는 것으로 수정



to 10 kHz).

- ENV50166-2
  - Human exposure to EMF - High frequency (10 kHz to 300 GHz).
- EN50360
  - Product standard to demonstrate the compliance of mobile telephones with the restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz - 3 GHz).
- EN50364
  - Limitations of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10 GHz, used in Electronic Article Surveillance(EAS), Radio Frequency identification(RFID) and similar applications.
- EN50366
  - Measuring methods for determining the magnetic flux density in the space around household and similar appliances with particular regard to human exposure.
- ES59005(첼회)
  - Considerations for the evaluation of human exposure to EMFs from MTS in the frequency range 30 MHz - 6 GHz.
- EN50357
  - Evaluation of human exposure to EMF from devices used in EAS, RFID and similar applications.
- EN50361
  - Basic standards for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to EMF from mobile phones (300 MHz - 3 GHz).
- IEEE Standard for Safety levels with respect to human exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.
- EN50371
  - Generic standard to demonstrate the compliance of low power electronic and electrical apparatus with the basic restrictions

related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz - 300 GHz) - General public

- 61786
  - Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements
- ITU COM-5-35-E
  - Draft new recommendation K 52 - Guidance on complying with limits for human exposure to EMF.
- ICNIRP Guidelines
- IEC/CISPR 11, IEC/CISPR 14-1, IEC/CISPR 15, IEC/CISPR 22,
- ETSI Guideline TR 101-870 V1.1.1, 2001-11
- CEN/EN 12198-1, CEN/EN 12198-2

## 제 3 절 2002 IEC TC106 회의 결과

1. 회의일자 : 2002. 11. 18 ~ 20
2. 장 소 : 미국 뉴저지 피스카타웨이
3. 회의결과

### 가. 2002 IEC/TC106 회의 주요사항

금번 2002년 11월 18일부터 11월 20일까지 미국 뉴저지주 피스카타웨이 소재 IEEE Center에서 개최된 2002 IEC/TC106 국제표준회의에서는 한국, 미국, 일본, 독일, 스위스 등 10 개국에서 25명이 참석하여 WG1, WG2, WG3, WG4, WG5의 표준화 문서작업에 대한 논의를 하였다.

IEC/TC106 회의는 전자파 인체노출에 대한 노출량 평가방법에 대한 국제표준을 다루고 있다. 회의 기간 중 11월 18일에는 WG4와 WG3의 Project Team Meeting이 있었고, 11월 19에는 IEC/TC106의 전체 회의가 열렸으며 진행중인 과제 6개와 신규과제 1개에 대한 발표와 논의가 있었다. 11월 20일에는 본인이 작업반 위원으로 소속된 WG5의 회의가 있었다.

금번 IEC/TC106 전체 회의에서는 특히 IEC와 CENELEC의 협조방안에 대한 심도 있는 논의가 있었고, 2002년 11월 14일 체결된 IEC와 IEEE의 Dual logo 협정에 대한 소개가 있었다. IEC와 IEEE 두 기관의 협정은 그동안 유럽 중심으로 운영되던 IEC에 대해 미국의 영향력을 표준화 초기화 초기부터 행사할 수 있는 방안을 마련한 것으로 볼 수 있으며, 앞으로 두 기관의 취약 부분을 상호 보완하여 공동 표준을 제정함으로써 국제적인 표준 조화에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 나. 주요 논의 및 결정사항

이번 회의에서는 WG Membership(역할과 임무)에 대한 논의가 있었으며, 각 WG별 프로젝트에 대한 보고와 논의가 있었다. 각 WG 별 주요 논

의 및 결정사항은 다음과 같다.

WG1에서는 측정에 대한 중요성이 부각되었으며, 측정프로토콜을 어떻게 할 것인가에 대해 많은 논의가 있었다. 저주파 대역 유도전류 계산 방법과 관련하여 coupling factor K를 결정하는 방법과 특히 현 모델의 타당성에 대한 논란이 있었는데, 미국 측에서는 기준레벨에 대한 적합성이 우선이 되어야 하는데 K의 개념은 기본한계가 우선시 된다는 점에 근본적인 문제가 있다는 것을 제기하였다.

WG 2와 WG 3에서는 현재 과제 진행상황에 대한보고가 있었으며 별다른 논의는 없었다. 한편, WG 4에서는 근거리장 저전력 전자기장 방출기기에 대한 신규 프로젝트의 작업일정에 대한 발표가 있었고, 프로젝트 팀 구성과 관련하여 한국 측에도 위원 추천을 제의하여 적극 참여하기로 하였다.

WG 5에서는 현장에서 문서 검토 작업을 하였으며, 현재 CD 작업중인 Generic standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields(0 Hz 300 GHz) 문서 중 본인이 검토를 담당하고 있는 Evaluation of compliance to limit 부분에 대한 기고문을 제출하였고, 기고 내용은 green sheet로 작성하여 참여국에 배포하였다.

다. TC106 회의 세부 내용

#### 1) 표준화회의 참석 개요

본인은 2002년 11월 18일부터 11월 20일까지 미국 뉴저지주 피스카타웨이 소재 IEEE Center에서 개최된 2002 IEC/TC106 국제표준회의에 참석하여 관련분야의 국제 표준화 동향을 파악하고, 전문가들과 현안문제에 대해 논의하였다. IEC/TC106 회의는 전자파 인체노출과 관련된 노출량 평가방법에 대한 국제표준을 제정하는 위원회로서, 1997년 7월에 제안되어 동년 10월 회의에서 그 필요성이 인정되어 새로운 기술위원회로 만들어졌으며, 2000년 10월에 몬트리올에서 첫 회의가 개최되었다.

IEC/TC106에는 5개의 WG가 있으며 WG1에서는 저주파수 대역(0 Hz ~ 100 kHz) 전기장, 자기장 및 유도전류의 측정 및 계산 방법에 대한 Basic Standard를 다루며, WG2에서는 특정 전자파 발생원에 의한 저주파수 전기장 및 자기장 측정 방법에 대한 표준(Product 및 Product Family Standard)을 다루고 있다. WG3와 WG4에서는 각각 고주파수 대역(100 kHz ~ 300 GHz) 전자기장 및 SAR(전자파흡수율)의 측정 및 평가 방법에 대한 Basic Standard와 Product 및 Product Family Standard를 연구하고 있고, WG5에서는 전 주파수 대역의 노출량 평가 방법에 대한 일반표준(Generic Standard) 제정을 담당하고 있다

이번 회의에는 한국, 미국, 일본, 독일, 스위스 등 10 개국에서 25명이 참석하여 WG1, WG2, WG3, WG4, WG5의 표준화 문서작업에 대한 논의를 하였다. 11월 18일에는 WG4와 WG3의 Project Team Meeting이 있었고, 11월 19일에는 IEC/TC106의 전체 회의가 열렸으며 진행중인 과제 6개와 신규과제 1개에 대한 발표와 논의가 있었다. 11월 20일에는 본인이 작업반 위원으로 소속된 WG5의 회의가 있었다. 금번 IEC/TC106 전체 회의에서는 특히 IEC와 CENELEC의 협조방안에 대한 심도 있는 논의가 있었고, 2002년 11월 14일 체결된 IEC와 IEEE의 Dual logo 협정에 대한 소개가 있었다. IEC와 IEEE 두 기관의 협정은 그 동안 유럽 중심으로 운영되던 IEC에 대해 미국의 영향력을 표준화 초기화 초기부터 행사할 수 있는 방안을 마련한 것으로 볼 수 있으며, 앞으로 두 기관의 취약 부분을 상호 보완하여 공동 표준을 제정함으로써 국제적인 표준 조화에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

우리나라에서는 충남대학교, ETRI, 전파연구소에서 총 4명이 참석하였으며, 전체회의에서 한국의 각 표준에 대한 한국의 의견을 개진하였으며, WG5 회의에서는 현재 CD 작업중인 Generic standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields(0 Hz ~ 300 GHz) 문서 중 본인이 검토를 담당하고 있는 Evaluation of compliance to limit 부분에 대한 기고문을 제출하였고, 기고 내용은 green sheet로 작성하여 참여국에 배포하였다. 또한 현재 한국측 소속위원이 없는WG4의 Project 팀 회의에는 observer 자격으로 참

여하여 진행중인 2개의 과제에 대한 보고를 들었으며, 신규 과제로 추진 중인 근거리장 영역의 저전력기기에 대한 노출량 평가팀에 한국위원 추천을 제안 받았다.

## 2) 표준화회의에서의 쟁점사항 및 결과

### 가) WG 1

- o Status에 대한 보고 중 측정에 대한 중요성이 부각되었으며, 측정 방법에 대해 어떻게 할 것인가에 대한 질문이 많았음. 측정프로토콜을 어떻게 할 것인가가 issue임.
- o safety limit에 적합성 여부를 평가하는 일반적인 절차에 대해 part1에서 다루고 있으며, 작업에 대한 추진일정에 대해 설명하고 document에 대한 유럽에서는 많은 comment가 있었으며, 미국에서는 document를 기술보고서로 change하는 것을 제안하였으나 고려하지 않았다고 보고함. 대부분이 편집에 대한 의견이 많았고, sophisticated human model사용이 가장 중요한 comment임.
- o Part 2(fundamental standard)
  - coupling factor k설명
  - 측정과 simple calculation과의 비교
  - coupling factor k를 결정하는 방법에 따라 신중히 고려해야 할 것이라 하고 이에 대한 논의가 활발히 진행됨.
    - finding method
    - model에 대한 타당성 등(USA에서 제기)
    - 가능한 일반적인 사항에 대해서 고려할 것임.
  - 106/27을 회람하고 있고 CDV로 제안할 것임.
  - meeting : 10/12/02
- o Part3 : 전기장 노출의 analytical model에 대해 논의. 12월 meeting에서 보다 상세히 논의될 것임. Analytical model에 대한 CD기대.

나) WG 2

- o Magnetic field measurement method 설명
  - 고조파에 대해 무시하지 않음.
  - Broad band meas.
  - Line spectrum meas.
  - Simplified broad band meas.
- o test condition과 coupling factor에 대해 보고 및 논의
  - ICNIRP limit를 사용한 coupling factor 예 설명
- o 1 level 에서 Meas. of Magnetic flux density (Broad band meas., Line spectrum meas., Simplified broad band meas.) 결과 얻어 level 2단계에서 coupling factor와 보정함.
- o Milestone
  - 2002 7월 CD, 9월 comment closing, 12월 Next meeting
  - 2003년 1월 CDV or 2nd CD

다) WG 3

- o 현재 과제 진행상황에 대한 보고가 있었으며 별다른 논의 없음

라) WG 4

- (1) WG 4의장 : Kathy MacLean
- (2) 미국, 일본, 독일 등15명 National Committee 참석, 위원 소개
- (3) WG 4 Membership과 조직에 대해 검토
  - : WG 과 프로젝트 팀의 역할에 대한 논의가 있었으며, WG에는 프로젝트 팀의 작업을 위한 운영위원회가 있음. 현재 WG4에는 2개의 프로젝트팀이 있고, 3개가 NP단계에 있음. 프로젝트 팀의 멤버는 기술적인 전문가로 구성되며, 각 국의 National Committee에 의한 WG 멤버로 지명되거나 그렇지 않을 수도 있음. 반면, WG 멤버는 모두 각국의 National Committee에서 지명된 사람들임. 따라서 이들 역시 프로젝트 팀의 멤버일 수도 아닐 수 있음. 이러한 각각의 역할에 따라 WG Membership list 를 개정할 수 있음.

(4) WG4는 각종 문서와 WG모임날짜, 프로젝트팀의 meeting등을 올려 놓은 IEC web site의 FTP site에 대한 잇점에 동의함.

: 독일에서 WG4 FTP 운영 관련 다른 WG에서도 볼 수 있도록 하고, 다른 WG과 연계될 수 있도록 하면 좋겠다고 제안함

(5) WG의 high frequency 경계인 100 kHz이상에 대해 논의가 있었는데 100 kHz경계로 하여 도난방지기기 등과 같은 제품 등에 대해서는 WG 4의 scope에 포함. 이런 분야와 future work을 위한 전문가를 찾기 위해 WG 멤버들과 접촉할 것임. 위아래 경계에 있는 주파수 영역에 대해 프로젝트 팀에서는 저주파수 대역의 그룹으로부터 전문가를 필요로 함.

(6) PT 62209 보고 및 논의(M. Meier)

o 목적

- 무선통신기기로부터의 전자기장(Radio fields)에 대한 인체 노출 평가(인체모델, 시험도구, 절차)

- 30 MHz에서 6 GHz 주파수 대역에서 이동단말기에 대한 SAR 측정 절차

o 2002년에 프로젝트 팀은 12개국, 20명이 참석하여 3차례 회의를 가졌으며, 20개의 문서를 작성하였음.

o Part 1에 대해 12개국에서 comment를 하였는데 일반적인 사항이 32개이고, editorial 것이 105개 이며, 한국을 포함하여 5개국에서 기술적인 부분에서 104개 comment 를 하였음.

- 주요 comment 내용

· IEEE p1528과 조화를 이루어야 할 것

· 팬텀 specification

· 후처리(post processing), 문서화에 대한 불확실성 등

o Part 2

- 3 MHz에서 6 GHz영역에서 Two way radio, Wireless palmtop terminal, Wireless desktop terminal, Wireless body mounted devices에 대한 SAR 평가 절차

- Technical import : multi mode transmitter, multiband

simultaneous transmitter, palmtop with integrated radio,  
wrist-mounted devices

- 유효성 검사시 팬텀 정수에 대한 타당성

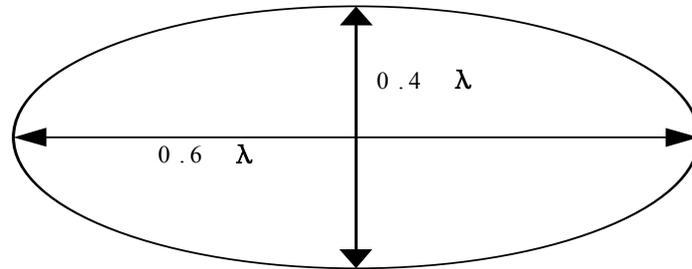


그림 2.1 body mounted devices에 대한 전신모델

- 30 MHz 이하의 주파수에 대한 조직의 파라미터 타당성
- 900, 1800 MHz에서 face의 front에 사용될 body liquid 파라미터 타당성
- 손이 없는 model이 최악의 조건임(ex. 무전기 등)  
: Dr. Chou가 전파연구소에서 손에 대한 영향 연구가 수행되었으며 KEES에서 발표되었음을 공지함.

- Part2의 Timeline 언급

- 3-6 GHz, 30-300 MHz spec작업을 2003년 3월까지 수행
- 낙관적으로 볼 경우 Part 2의 첫 CD 문서를 2003년 CDV를 2004년으로 보고 있으며, 비관적일 경우는 2003년 CD, 2004년 2CD, 2005년 CDV가 나올 것으로 예측함.

(7) PT62233 보고 (B. Eicher)

- o WG은 기지국 방출 측정 프로젝트가 진전이 있기를 바라며, Task force를 구성하고, CENELEC과 Canada의 관련된 문서가 있다는 점을 지적함.
- o EN 50383 : 무선통신시스템에 대한 기지국과 고정국으로부터의 인체노출과 관련한 전자기장 세기와 SAR의 계산과 측정을 위한 basic standard.
- o EN 50384 : 무선통신시스템에 대한 기지국과 고정국의 적합성

을 설명하는 product standard (110 MHz ~ 40 GHz).

- o 상기 두 문서에 대한 자료를 요청, 독일의 Meier가 문서를 가지고는 있었으나 현재 CENELEC에서 검토 중에 있는 문서로써 제공하는데 난색을 표명하여 전체 문서를 확보하지는 못하고 scope 가 있는 앞 부분만 받았음.
- o 본 문서에서는 기지국 측정용 rectangular box phantom(800 mm x 500 mm) 대해 언급.

(8) 새로운 연구 과제

- o 106/41 NP (2003년 1월 투표마감)
  - stage 1 : 도난방지시스템(EAS), 무선 식별 시스템(RFID) 및 유사한 시스템 (EN 50357)
  - stage 2 : Short range/low power devices (Telecommand, Telemetry 등)
  - 일반인과 직업인에 대해 평가방법을 포함하여야 할 것임.
  - 특정 제품형태에 따라 시리즈 형태로 위원회 안을 마련하고 이작업을 1 - 2년 계획하고 있음

(9) 향후 작업

- o 우선순위를 정하는 부분에 대한 논의가 있었으며, 방송 송신장치, 레이다, 고정 무선통신 시스템 등에 대한 신규 프로젝트 팀 구성의 필요성을 논의함

마) WG 5

(1) prEN50392 검토하고 현장에서 수정하였음

- o 전문은 IEC format으로 변경하기로 하고, 적용범위 및 용어는 106/23/RVN을 참고하기로 하였으며, 정의 부분은 IEC web site에서 확인 과정을 거치기로 결정.

(2) compliance criteria 부분은 상당한 논의와 논란이 있었음.

- o 모든 limit나 criteria를 cover 할 수 있도록 문장을 수정

(Compliance criteria are one or more criteria that can be used to show compliance with a defined limit).

- o 또한 한국과 같이 basic restriction compliance criteria에 포함시키지 않는 경우를 고려하여 다음과 같은 문장을 추가하였음 (National regulatory authorities may state different requirement).
- o Low power device에 대한 예외규정과 관련하여, prEN 문서의 1/2 limit value에 대해 캐나다에서는 실제 수치를 명기하는 것은 위험할 수 있고 1/2의 수치도 너무 높다는 반대의견을 제기하였는데 의장은 수치를 명기해야 한다는 고수, 의견의 차이를 나타내었으며, 이는 다시 논의하기로 함. 우리의 의견은 캐나다의 문제제기가 동의하나 추가 의사 진행이 이루어 지지 않아 CD 문서가 회람될 때 이에 대한 의견을 개진할 것임.

(3) Evaluation of compliance to limit에 한 기고문 제출

- o 한국에서 이 부분의 검토를 담당하였으며, 첨부한 기고문을 제출하고, 기고 내용은 green sheet로 작성하여 참여국에 배포하였음.

바) CENELEC 과 TC 106과의 협조

Dresden 협정에 의하면 서로 중복 작업을 피하고, 작업이 종료된 문서를IEC로 전달하기로 되어 있기 때문에 향후 적극 협조하기로 하고, 협조가능한 분야에 대한 검토가 있었음. 현재 CENELEC과 IEC의 과제간 관련성은 표2-1과 같음.

사) IEEE와 IEC와의 공동 로고 협정

- o IEEE 측에서 2002년 11월 14일 체결된 IEEE/IEC간의 공동 로고 협정의 의의를 설명하고, 앞으로 하나의 국제표준이 되도록 서로 공동 노력할 것임.
- o IEEE와 IEC간의 협정은 그 동안 유럽 중심으로 운영되는 IEC에 대해 미국의 영향력을 표준화 초기에 행사할 수 있는 방안을 마

련한 것으로 볼 수 있으며, 상호 두 기관의 취약했던 부분을 서로 보완하고, 조화를 이루며, 하나의 국제적인 표준제정을 위해 협조함으로써 표준의 국제적 조화에 상당한 영향이 있을 것으로 예상된다.

표 2.1 CENELEC과 IEC의 과제간 관련성

	IEC	CENELEC	비고
Low Frequency	<ul style="list-style-type: none"> <li>o WG1               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PT62226, body current 26/CD, 27CD</li> </ul> </li> <li>o WG2, LF specification source               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PT62233, domestic 34/CD</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o <u>WG3, LF+HF assessment</u></li> </ul> <p>J E G / T C 6 1 , domesticPrEN50366 .</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Many common member.</li> <li>-Document aligned.</li> <li>-Future split of EN into 2 documents (product &amp; basic standard)</li> </ul>
High Frequency	<ul style="list-style-type: none"> <li>o WG3, HF assessment               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PT62334, Tech. report TC85CD</li> </ul> </li> <li>o WG4, HF specification source               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PT62209, Phone &amp; Wireless, 34/CD</li> <li>- PT62232, base station</li> </ul> </li> <li>-41/NP antitheft</li> <li>-WG 4에는 없음 새로운 activity가 필요</li> <li>o IEC TC27</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o WG3, LF &amp; HF assessment</li> </ul> <p>o WG1, Mobile Telecom.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-<u>EN50360 phone product</u></li> <li>-EN50361 basic standard</li> <li>-EN50383 base Stati. Basic</li> <li>-EN50384 Product Occ</li> <li>-<u>EN50385 Product GP</u></li> </ul> <p>o WG2 antitheft</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-<u>EN50364 RFID &amp; EAS product</u></li> <li>-EN50357 basic</li> </ul> <p>o WG7 <u>Broadcast</u></p> <p>o WG9, <u>industrial, heating</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Documents exchanged, some common member</li> <li>-Different weight of Doc's.</li> <li>-Future senario.</li> <li>-EN offered to IEC.</li> <li>-Good alignment &amp; Cooperation.Convenor meeting</li> </ul>
Generic standard	<ul style="list-style-type: none"> <li>o WG 5 Generic Standard Assessment</li> <li>-PT62311</li> <li>Criteria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o WG4 Generic S.</li> <li>-EN50371, Low power</li> <li>-prEN50392, G. GP-Guide R106X .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Good alignment &amp; cooperation.EN50371 offered to IEC.Guide offered to IEC</li> </ul>

※ 밑줄 친 부분은 현재 대응되는 과제가 없음

## 제 3 장 전자파흡수율(SAR) 측정 기술 연구

### 제 1 절 근거리장 프로브의 구성

전자파흡수율(SAR) 측정 시스템은 크게 위치제어용 로봇과 SAR 측정용 프로브 및 모의인체로 구성되어있다. 그 구성 요소 중 실제로 휴대전화등 전자파원으로부터 모의인체에 흡수되는 전자파에너지를 측정하는 것은 근거리 전기장 측정용 프로브(이하 프로브)이다. 프로브는 인체유사 액체에 흡수되는 전기장을 등방성으로 측정할 수 있도록 세 개의 직교하는 미소 다이폴안테나로 구성되어있다. 즉 전기장에 의해 다이폴 안테나에 여기 되는 신호를 전기장세기로 환산하여 우리가 잘 알고있는 전자파흡수율을 얻을 수 있는 것이다. 본 연구에서는 지난해에 수행했던 프로브 교정 방법 분석을 토대로 근거리장 프로브 교정 시스템을 구성하고 각 주파수대역에서 교정을 수행하여 conversion factor를 구하여보았다.

우선 프로브의 하드웨어적 구성을 살펴보면 아래 그림1과 같이 프로브는 3개의 서로 독립적인 미소다이폴 센서로 구성이 되어있으며, 각각의 미소다이폴은 프로브의 내부 끝단에서 서로 수직으로 배열되어있다. 일반적인 3축 수직배열인 경우는 다이폴의 각축(x, y, z)이 서로 수직하고 공통중심을 사용하는 직교좌표와 같은 구조를 갖지만 이 경우 다이폴의 중심에 schottky diode를 사용하므로 중심이 어긋날 수밖에 없다. 때문에 세 개의 다이폴이 서로 수직하면서도 중심축이 서로 다르게 배열되게 구성된 것이 바로 triangler type(삼각기둥배열)이다. 이 방식은 아래그림에서 보여지는바와 같이 세 개의 miniature dipole antenna들이 프로브의 중심축에 대해 각각 54.73. 의 각으로 배열된 형태를 갖게된다. 이 배열은 중심점에 대한 각 미소다이폴의 상대위치가 서로 동일하여 외부 전자장에 대해 120도의 위상차를 보이는 동일한 패턴을 갖게된다.



그림 3.1 SAR프로브

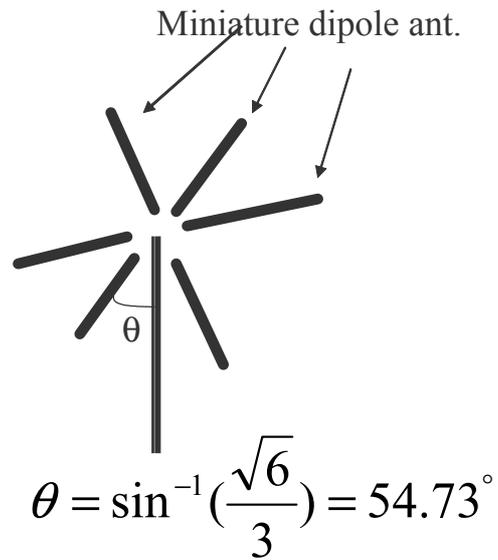


그림 3.2 프로브 내부 구조 및 각

전자파흡수율은 휴대전화등에서 방사되는 전자파에너지가 인체에 흡수된 에너지의 양을 정량화한 물리량이다. 일반적으로 전자파흡수율은 위에서 설명한 미소 다이폴안테나를 이용하여 측정하며, 실제로 인체 머리내부에서 측정하는 것은 불가능하기 때문에 phantom과 인체유사액체로 구성된 모의인체를 이용하여 측정하게된다. 그러나 측정 시 인체의 머리모양의 phantom 내부에서 측정할 경우 프로브의 구조적 특성으로 phantom과 프로브의 상대위치에 따라 측정오차가 발생하게 된다. 프로브의 등방성은 이러한 오차를 평가하기 위하기 위한 것으로 프로브의 정확도 및 오차를 평가할 수 있는 방법이다. 등방성은 축등방성과 반구 등방성으로 나누어 고려할 수 있다.

## 제 2 절 근거리장 프로브의 반구등방성

반구등방성은 프로브가 측정 대상 phantom의 내부를 스캔하여 측정할 때 프로브와 phantom 바닥 사이의 상대 기울기에 따라 측정값이 달라지게 되는데 반구 등방성은 이러한 기울기에 따른 오차를 의미한다.

아래그림은 SAM phantom 내부 표면의 ERP(Ear Reference position)를 중심으로 10mm 간격의 각 지점에서 수직축과 표면의 법선이 이루는 각을 표시한 것이다.

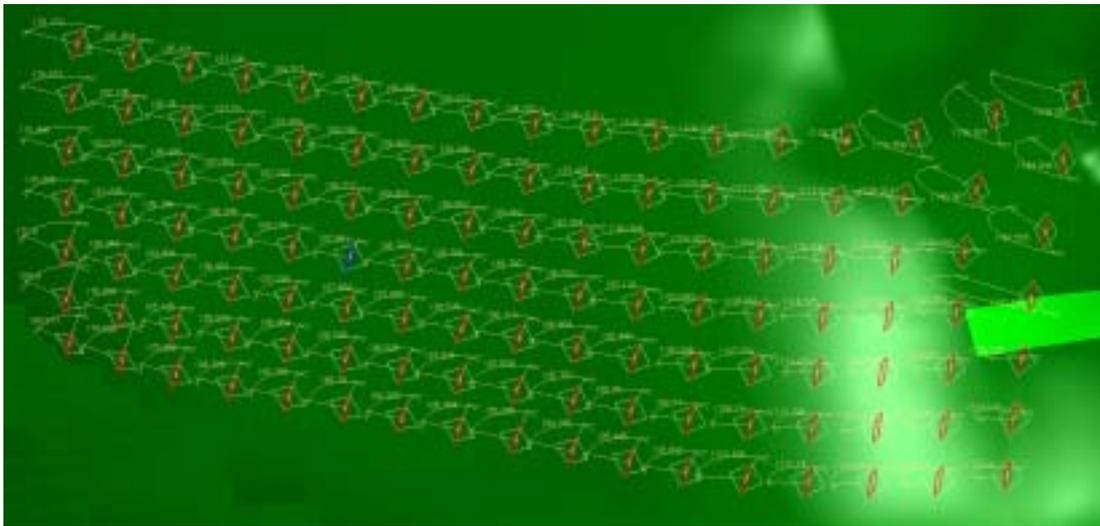


그림 3.3 Phantom 내부 표면에서의 법선과 기준축과의 각도 계산

기준이 되는 지점은 ERP 지점으로 하였으며 ERP를 중심으로 기준선(reference line, M-ERP-B를 잇는선)과 이에 수직인 선(F-ERP-N을 잇는선)을 기준으로 10mm 간격의 격자 모양의 지점에서 그 각도를 계산하였다.

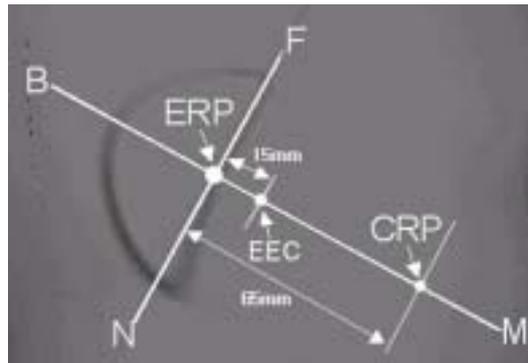


그림 3.4 Phantom의 기준 선 정의

측정된 각을 알기 쉽게 표현하면 아래그림과 같이 표시할 수 있다. 여기서 기준축은 측정시 프로브의 중심축에 평행한 축이며, 법선은 phantom 내부의 각 지점에서의 법선을 말한다. 법선의 계산 범위는 BM축으로 -50mm에서 110mm까지 그리고 FN 축으로 -30mm에서 30mm의 범위에 대하여 119개의 지점에서 계산하였다. 아래그림에서 알 수 있듯이 측정지점에 따라 최대 50도 이상의 각도차이가 있으며 실제 측정범위에서는 약 25도의 차이에서 측정이 된다는 것을 알 수 있다.

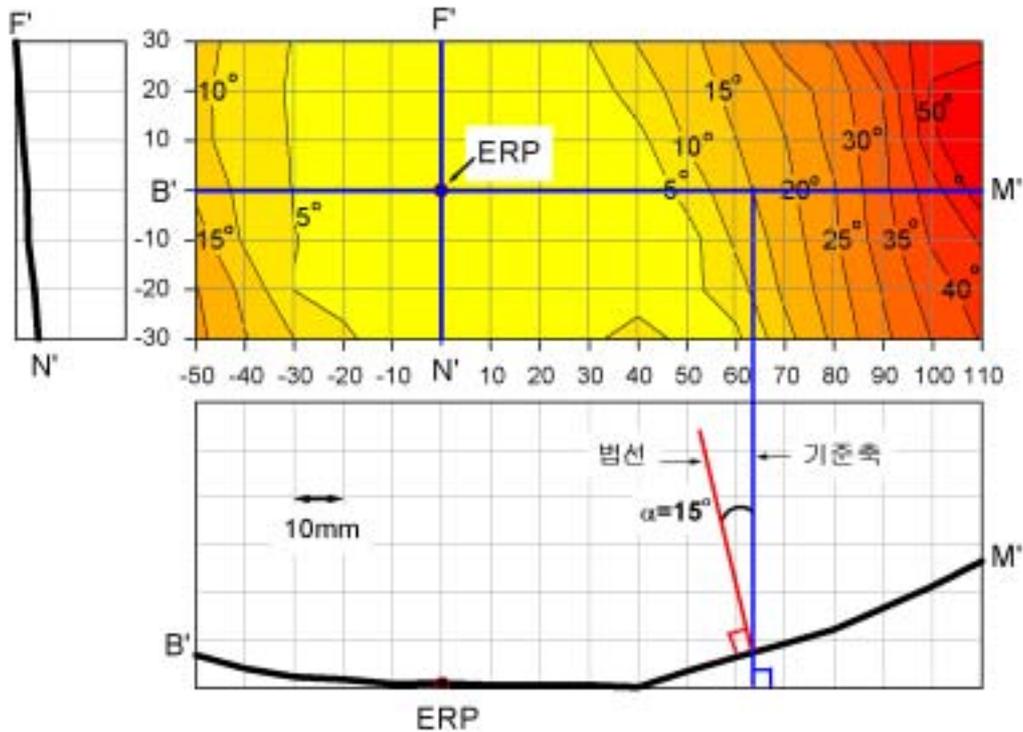


그림 3.5 Phantom 내부의 법선과 기준축과의 차이 각

이상에서 알 수 있듯이 법선과 프로브 기준축과의 각도 차이가 아주 크다는 것을 알 수 있다. 본 장에서는 이러한 각도 차이에 따라 프로브가 어떠한 특성을 나타내는지 알아보았다.

이에 대한 정확한 평가를 위해 우선 신호에 대한 오차를 줄이기 위해 다이폴 안테나를 이용하였으며, 이때 다이폴 안테나의 반사손실은  $-20\text{dB}$  이하이다. 시스템의 구성은 아래와 같이 하였으며, 다이폴안테나의 입력은  $250\text{mW}[24.7\text{dBm}]$ 로 설정하고 법선과 기준축과의 각도가 0도, 다이폴안테나 입력 1W에서의 SAR 값을 기준 값으로 하였다.

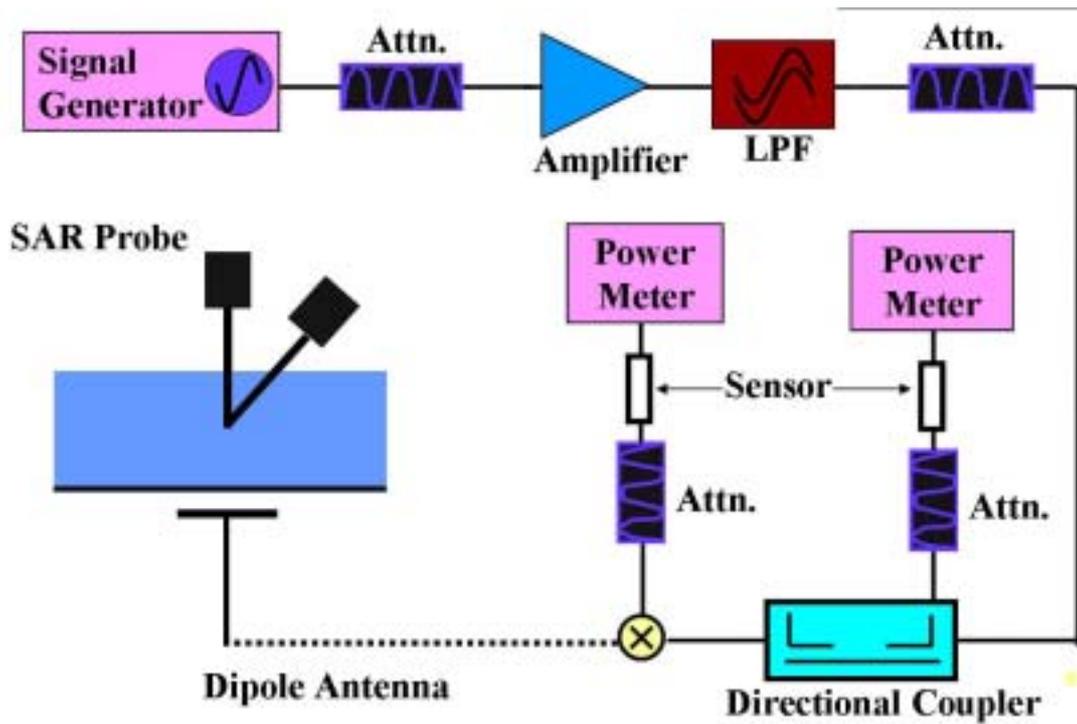


그림 3.6 반구등방성 측정 시스템 구성도

1W 입력에 대한 flat phantom에서의 1W 입력에 대한 측정시스템 구성을 Validation test라 한다. 이때 이론적인 시뮬레이션 값은 9.5W/Kg이다

아래 그림?은 프로브의 기울기 변화에 따른 측정값을 1W로 정규화하고 이론값에 대한 tolerance로 표시하였다. 국제 기준에 의하면 일반적인 SAR 측정 프로브의 반구등방성 불확정도 오차는 약 10% 이내 정도이다. 그러나 아래 측정결과에서 보여지는 바와 같이 프로브의 기울기가 17도 이상 기울어지게 되면 기준값으로부터 10%를 벗어나게 된다. 실제로 폴더형 단말기를 측정할 경우 phantom 내부에서의 field 분포변화를 살펴보면 CRP(Cheek Reference Point)를 중심으로 분포하게 되는데 이 부분에서의 phantom 법선에 대한 프로브의 상대기울기는 위에서 살펴본 바와 같이 10도에서 20도를 넘게된다.

즉 이 경우 프로브의 측정오차는 최대 약 15% 정도가 되는 것이다. 물론 이러한 반구등방성에 대한 오차는 사용하는 신호에 따라 phantom 내부에서 field pattern이 다르기 때문에 그에 따른 오차도 약간의 변화는 있을 수 있다. 그러나 일반적인 평가(worst case 고려)로 보면 측정 결과에 상당한 오

차를 주게 될 것이 자명한 일이다. 따라서 현재 국제 기준으로 사용되고있는 프로브에 대한 측정방법은 무조건 프로브를 phantom에 대하여 수직인 상태에서 시험하도록 되어있는데 이에 대한 수정이 불가피할 것으로 보여진다.

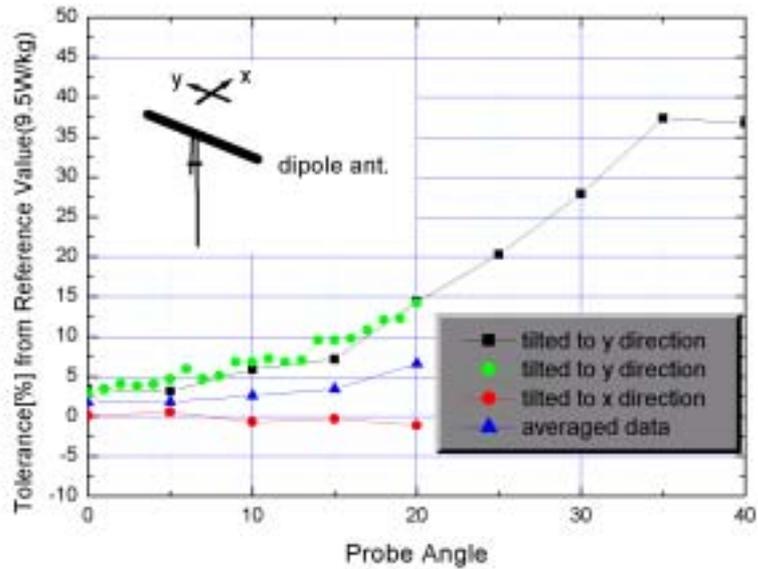


그림 3.7 반구등방성 측정 결과

위 측정 결과에서 알수 있듯이 프로브의 반구등방성에 대한 오차를 10% 이내로 하기 위해서는 phantom 내부 임의지점에서의 범선과 프로브 기준축과의 기울기를 17도 이내로 유지하도록 하여 측정하여야 한다.

### 제 3 절 근거리장 프로브의 축등방성 및 교정

전자파흡수율(SAR) 측정 시스템의 구성 요소중 측정 결과에 가장 중요한 부분을 차지하는 것이 프로브이다. 위 2절에서는 프로브의 반구등방성에 대하여 알아보았다. 본 절에서는 프로브의 특성을 결정짓는 또 하나의 등방성인 축등방성과 교정에 대하여 알아보겠다.

축등방성이란 프로브를 임의의 한 측정 지점을 중심으로 회전(rotation)시켰을 때 나타나는 측정값의 오차를 말한다. 이는 프로브가 인체유사 액체에 흡수되는 전기장을 등방성으로 측정할 수 있도록 세 개의 직교하는 미소 다이폴안테나가 삼각기둥의 각 면에 위치해있으며 3개의 미소 다이폴안테나가 서로 대칭으로 배치되어있다. 축등방성은 이러한 3개의 미소 다이폴안테나가 서로 정확한 특성가지고 대칭적으로 배치되어있는가를 실험적으로 결정짓는 특성이다.

축등방성과 교정은 정확한 신호와 균일한 electric field를 갖는 환경에서 측정되어야 하기 때문에 반구등방성의 특성측정과는 다른 시스템 구성이 필요하다. Flat phantom 대신 균일한 전기장의 형성을 위하여 각 주파수 특성에 맞는 upright-standing open waveguide(직립개방형도파관)를 이용한다. 직립개방형도파관은 그림? 같이 일반 waveguide 윗부분이 개방되어있으며 이곳에 해당 주파수의 인체 머리조직 전기정수에 맞는 액체를 채워 사용한다. 이때 액체의 깊이는 skin depth( $\delta$ )의 3배 이상으로 하여 waveguide에로 전달되는 전력이 액체표면에서 반사되는 신호를 무시할 수 있게 한다.

$$\delta = [ \operatorname{Re} \left[ \sqrt{ \left( \frac{\pi}{a} \right)^2 + j\omega\mu_0(\sigma + \epsilon_0\epsilon_r) } \right] ]^{-1}$$

835MHz에 대한 skin depth는 약 36.3mm이며 1.8GHz에 대한 skin depth는 약 28.7mm이다. 따라서 waveguide 내의 인체 머리 유사액체 높이는 835MHz 경우 108.9mm 이상, 1.8GHz 경우 86.1mm 이상 채워야 한다. 축등방성 측정을 위한 시스템의 구성은 아래와 같다.

축등방성 측정은 835MHz와 1800MHz대역에서 수행하였으며 각 액체의 전기적 특성은 다음과 같다.

for 835MHz  
 $\epsilon_r = 41.8$   
 $\sigma = 0.91 S/m$

for 1.8GHz  
 $\epsilon_r = 39.5$   
 $\sigma = 1.37 S/m$

여기서 permittivity  $\epsilon_r = \epsilon'$ , conductivity  $\sigma = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon''$  이며 측정 오차는  $\pm 5\%$ 이다.

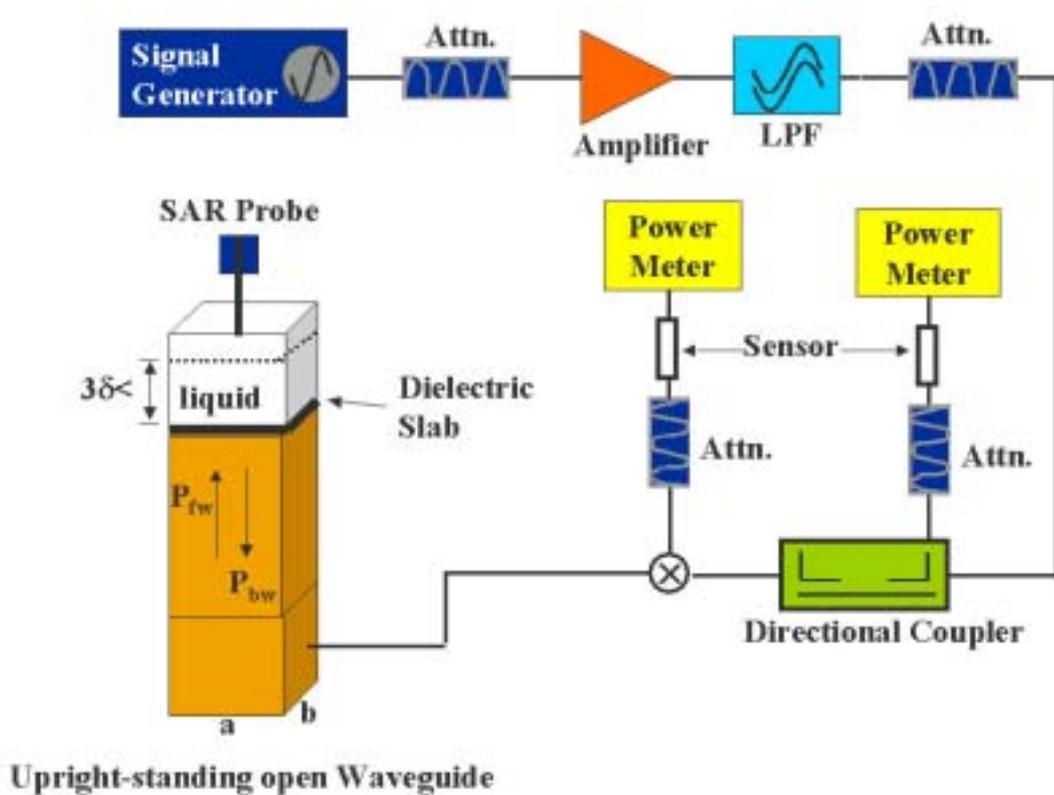


그림 3.8 직립개방형 도파관 교정 시스템 구성도

위 시스템 구성도의 직립개방형도파관에 사용되는 dielectric slab은 저유전손실 매질로 유전율 5이하, 탄젠트소실 0.05이하의 재질을 사용하여 waveguide로부터 전달되는 전력을 손실없이 인체유사액체에 전달할수 있도록 하여야 한다. 이기에 사용된 dielectric slab의 유전율을 3.3이며, 835MHz용 waveguide에 사용된 dielectric slab의 두께는 50mm 그리고 1.8GHz에 사용된 dielectric slab의 두께는 25mm이다.

waveguide의 cross section을 살펴보면 835MHz용의 경우 가로 248mm, 세

로가 124mm이며, 1.8GHz의 경우 가로가 109mm 세로가 54.7mm이다. 또한 waveguide의 입력 전력은 835MHz와 1.8GHz 각각 24dBm과 22dBm으로 하였으며 측정결과를 입력 1W로 정규화하여 계산하였다. waveguide의 반사손실의 경우 835MHz와 1.8GHz 각각 -12.16dB와 -9.33dB이다.

인체 유사 액체내에서의 근거리장 측정용 SAR 프로브에 대한 축등방성 측정은 프로브를 waveguide 내부 중심에서 10도간격으로 프로브의 축을 중심으로 회전하면서 waveguide 내부에 형성된 electric field strength를 측정한다. 프로브내의 서로 다른 직교하는 세 개의 미소다이폴 안테나에서 측정된 전기장의 세기를 360도 회전하며 측정하고 각 요소의 전기장의 세기의 합을 구한다. 이때 측정된 전기장의 세기의 합은 이론적으로 동심원을 이루어야 하며 완전한 동심원과의 차이가 등방성 오차가 되어 프로브의 축등방성을 확인할 수 있다.

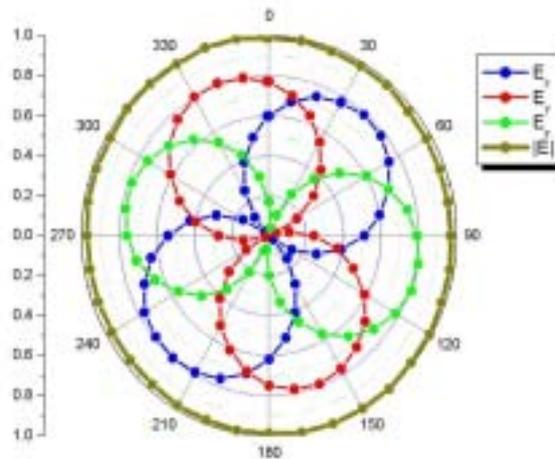


그림 3.9 프로브 축등방성(835MHz)

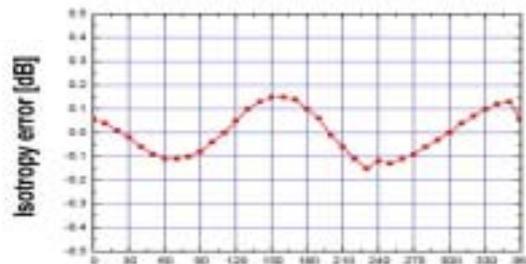


그림 3.10 프로브 축등방성 오차(835MHz)

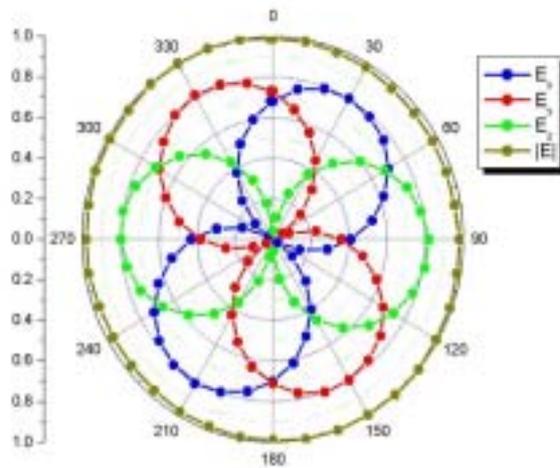


그림 3.11 프로브 축등방성(1800MHz)

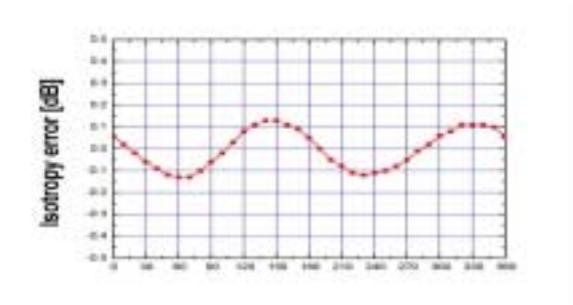


그림 3.12 프로브 축등방성 오차(1800MHz)

측정 결과 프로브의 축등방성 패턴은 위 그림에서 보는바와 같이 세 개의 패턴이 120도 간격으로 그 함이 동심원을 이루어 등방성을 나타냄을 알 수 있다. 835MHz의 경우 등방성오차(isotropy error)는  $\pm 0.15\text{dB}$ 이고, 1800MHz 경우  $\pm 0.13\text{dB}$ 로 비교적 정확한 축등방성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

프로브의 정확한 특성을 결정짓는 요소중의 하나는 바로 교정이다. 여기서 말하는 프로브의 교정은 하드웨어적인 교정이 아닌 소프트웨어적인 교정으로 교정을 통해 프로브의 conversion factor를 구하는 것이다. Conversion factor는 공기중의 감도에 대한 측정 매질의 감도비를 나타내며 이를 구하기

위해 사용되는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 upright-standing open waveguide(직립개방형도파관)를 이용한 도파관 교정방법이며, 다른 하나는 매질내에서 전기장 세기와 온도상승사이의 관계를 이용한 온도 프로브(temperature probe)를 이용하는 방법이다. 본 절에서는 도파관 교정에 대하여 알아보고 교정을 시스템을 구성하여 프로브의 conversion factor를 구해 보도록 하겠다. 우선 시스템은 그림 5-6과 같이 구성하며 이는 프로브의 축 등방성의 측정 시스템 구성과 동일하다. 직립개방형 도파관(upright-standing open waveguide)에 측정하고자 하는 주파수 대역에 해당하는 유전특성을 갖는 모의인체조직을 투과깊이( $\delta$ )의 3배 이상 담은 후 시스템을 구성하여 도파관 중심에서 높이에 따른 SAR( $z$ )값을 측정한다.

우리가 흔히 말하는 SAR 값은 실제 측정하는 매질에서의 전자파흡수에너지를 말하는 것이 아니라 측정에 사용되는 매질에서 측정된 SAR<sub>liquid</sub>를 이용하여 아래 식과 같이 실제 인체머리에서의 SAR<sub>head</sub>를 구한다.

$$\begin{aligned} SAR_{head} &= \frac{\rho_{liquid}}{\rho_{head}} SAR_{liquid} \\ &= \frac{\rho_{liquid}}{\rho_{head}} \frac{\sigma_{liquid} |E|^2}{\rho_{liquid}} \\ &= \frac{\sigma_{liquid} |E|^2}{\rho_{head}} \end{aligned}$$

위의 시스템 구성에서 이론적인 계산에 의한 SAR 값은 아래와 같이 계산 가능하다.

$$\begin{aligned} SAR(z) &= \frac{4(P_{fw} - P_{bw})}{\rho ab \delta} \cos^2\left(\pi \frac{y}{a}\right) e^{-2z/\delta} \\ \delta &= [Re[\sqrt{(\frac{\pi}{a})^2 + j\omega\mu_0(\sigma + \epsilon_0\epsilon_r)}]]^{-1} \end{aligned}$$

여기서  $P_{fw}$ 는 도파관의 입사 전력이고  $P_{bw}$ 는 반사전력이며,  $\delta$ 는 모의인체 조직에서의 침투깊이이며  $\rho$ 는 질량 밀도이다.

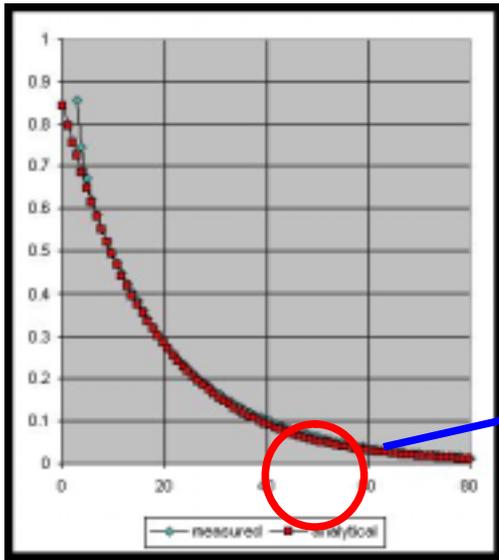


그림 3.13 측정치와 이론치 비교 1

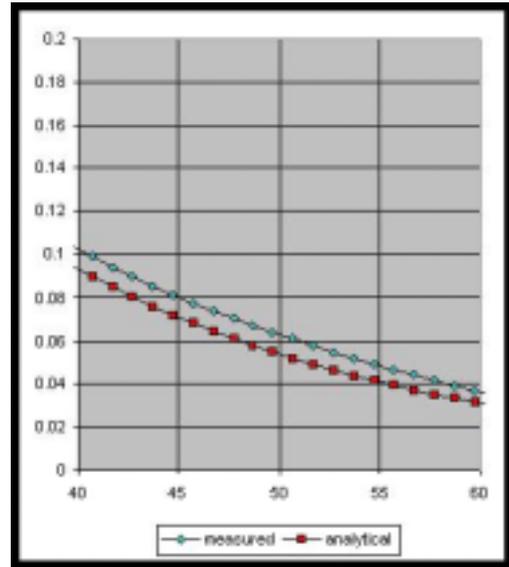


그림 3.14 측정치와 이론치 비교 2

그림 13과 14는 이론적인 값과 실제 측정값과의 차이를 보여준다. 프로브 교정은 이러한 측정된 값을 이론적인 값에 fitting하고 이때 사용된 fitting parameter를 구하는데 이것을 conversion factor라고 한다.

SAR 측정용 프로브는 미소 다이폴로부터 정류신호(rectified signal,  $f_i(V_i)$ )를 얻게되며, 이 신호는 전기장의 세기와 다음 식과 같은 관계를 갖게된다.

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}$$

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2$$

$$= \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\eta_i \gamma_i}$$

여기서  $f_i(V_i)$ 는 센서 선형화 신호로 프로브가 측정하고자 하는 지점에서의 전기장의 세기의 제곱에 비례하는 값이며, 센서가 측정하는 정류신호( $V_i$ )의 함수이다. 대부분의 경우  $V_i$ 는 선형 특성을 가지며 미소다이폴 안테나의 다이오드에서 검출되는 정류된 신호 세기의 함수이다. 또한 직교하는 3개의 미소다이폴 안테나들은 각각 독립적이어서 센서의 선형화 신호는 같다고 볼 수 있다( $f(V_i) = f_i(V_i)$ ).

$\eta_i[\mu V/(V/m)^2]$ 는 자유공간에서의 미소다이폴 안테나의 민감도를 말하며, 이는 자유공간에서 센서의 선형화 신호와 센서 방향에 대한 전기장 성분사이의 관계를 나타낸다.  $\eta_i$ 는 프로브의 재질 특성과 센서의 위치 및 RF 특성에 의존하며 특히 프로브 센서의 다이오드가 정류 소자로 사용될 경우 다이오드의 기생 정전용량(parasitic capacitance)이 프로브의 RF 특성에 영향을 주게된다. 마지막으로  $\gamma_i$ 는 서로 다른 매질사이의 감도비를 말하는데 보통 자유공간의 감도를 기준으로 하며, 이를 conversion factor라고 한다. conversion factor는 측정 매질의 특성과 측정 주파수 그리고 프로브의 재질과 구조에 영향을 받는다. 센서의 배치 구조가 대칭구조이면 각각의 센서에 대한 감도비는 같다( $\gamma_i = \gamma$ ).

위에서 살펴본 바와 같이 프로브에 의해 측정되는 전기장의 세기는 정량적으로 크게 3가지의 인자에 의해 결정되는데 프로브를 교정한다는 것은  $\eta_i$ 와  $\gamma_i$ 를 구하여 전기장의 세기와 센서의 선형화 신호사이의 관계를 정하여 주는 것이다. 여기서 센서의 감도( $\eta_i$ )는 자유공간에서 교정 방법을 이용하여 구한다. 자유공간에서는 conversion factor가 1이므로( $\gamma_i = 1$ )

$$\eta_i = \frac{V_i}{|E_i|^2} [\mu V/(V/m)^2]$$

로부터 프로브 내부의 센서 각각에 대한 감도를 구할 수 있다.

이렇게 해서 얻은 프로브의 conversion factor를 적용하였을 때 이론치와 실측치에 대한 값을 비교하여보면 아래 그림과 같다.

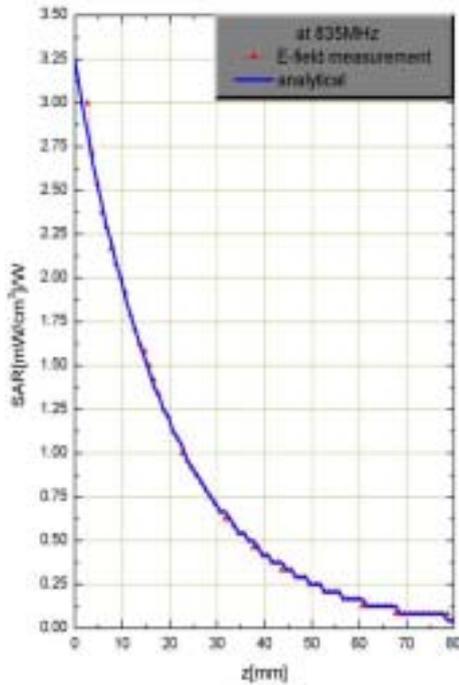


그림 3.15 교정 결과(835MHz)

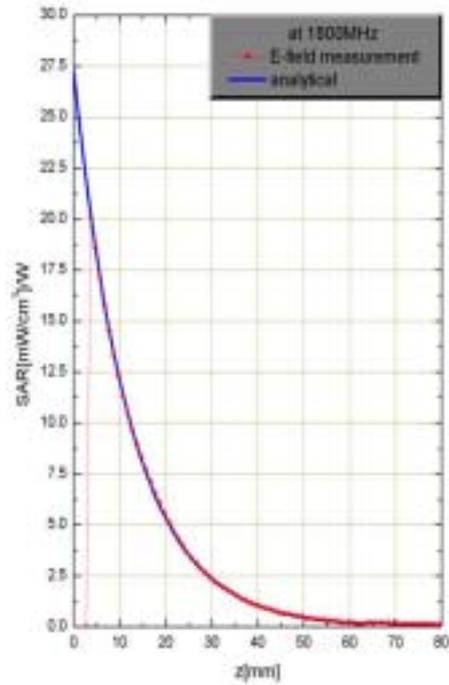


그림 3.16 교정 결과(1800MHz)

## 제 4 절 결 론

본 장에서는 프로브의 등방성과 교정에 대하여 알아보았다. 일반적인 전자파흡수율(SAR) 측정용 프로브는 신호에 대한 정밀한 측정이 가능하며 소형으로 제작되어 인체 머리 크기의 작은 공간에서 분포된 전기장을 용이하게 측정할 수 있도록 제작되었으며, 현재 우리나라를 비롯하여 전 세계 여러 나라에서 전자파 인체보호기준의 측정용 장비로 사용되고 있다.

프로브는 비교적 정확한 측등방성을 가지고 있어 phantom의 상대위치나 프로브의 회전에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나, 반구 등방성 특성은 입사각 15도 이상에서 오차가 10% 이상 나타나고 있다. 이러한 오차는 실제 SAR 측정에 커다란 영향을 주고 있으며, 향후 반구등방성의 오차를 개선하기 위한 새로운 프로브 교정법 개발 또는 반구등방성 오차에 영향을 적게 받는 새로운 개념의 phantom 개발이 필요하겠다.

# 제 4 장 손 영향에 대한 SAR 측정 연구

## 제 1 절 손 영향 측정을 위한 조건

### 1. 연구목적 및 방법

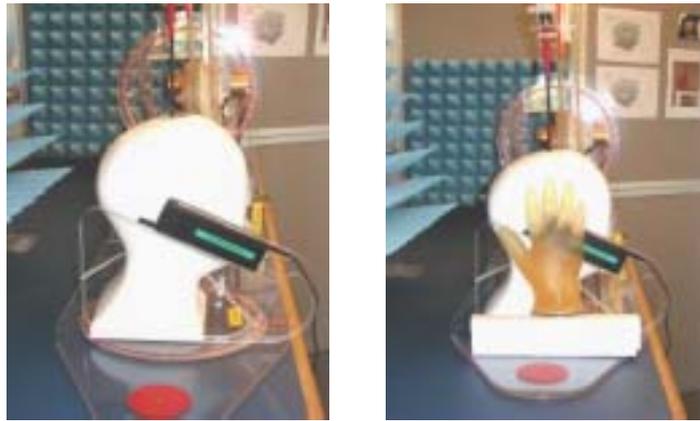
현재 외국의 전자파흡수율 측정방법이나 국내의 전자파흡수율 측정기준 및 표준시험방법에서는 손의 영향을 고려하지 않은 상태에서 전자파흡수율(SAR)을 측정하는 것으로 되어 있다. 이에 손을 고려하지 않은 SAR 측정기준이 최악의 조건인지를 파악하고자 한다.

따라서, 최악의 조건으로 수행되고 있는지를 파악하기 위하여 먼저 일반적으로 이동통신단말기를 파지하는 방법을 살펴보고 이것을 토대로 손 팬텀을 제작하여 손의 영향에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR 측정을 수행하고자 한다.

손 영향을 측정함에 있어서 가장 중요한 요인은 파지방법과 단말기를 잡는 손의 위치가 가장 중요하다고 할 수 있다. 따라서, 단말기 파지방법은 사용자들이 일반적으로 사용하는 조건으로 선택하였으며 손의 위치는 실제 사용함에 있어서 파지방법에 따라 이동이 가능한 영역을 설정하여 모의인체 머리의 국부 SAR를 측정하고자 한다.

### 2. 손 팬텀의 제작

손 팬텀을 제작하기 전에 단말기 파지방법은 사용자들이 일반적으로 사용하는 조건으로 선택하여야 한다. 외국의 손영향을 측정한 파지방법은 그림 4.1과 같다.



(a) 손이 없는 경우      (b) 손이 있는 경우

그림 4.1 SARTest사의 바형 단말기 과지방법

외국 회사에서 사용한 과지방법은 실제 생활에서 사용자가 단말기를 과지하는 방법과는 매우 차이가 있으며 단순히 모의조직에 의한 손의 영향을 측정할 수 있는 결과라고 할 수 있다.

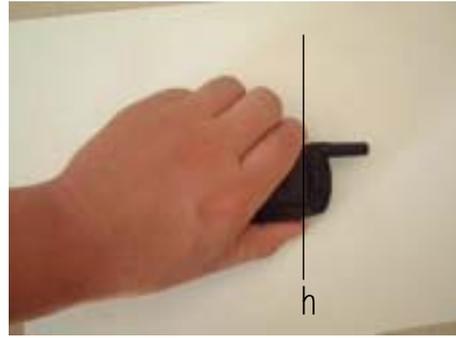
따라서 본 연구에서는 실제 생활에서 단말기를 사용하는 사용자의 과지방법을 최대한 고려하기 위하여 사용자들의 과지방법을 몇 개월동안 매우 유심히 살펴 보았으며 그 결과 크게 2가지 유형으로 나눌수 있었다. 그 첫 번째 방법은 바형 및 플립형 단말기를 사용하는 과지방법이며, 두번째는 폴더형 단말기를 사용하는 과지방법이다.

바형 및 플립형 단말기를 과지하는 방법과 폴더형 단말기를 과지하는 방법으로 각각 구분하였다. 이를 그림 4.2와 그림 4.3에 각각 나타내었다. 그림 4.2와 그림 4.3의 h는 아래에서 언급될 손의 위치를 표시하는 단말기의 기준선과 일치되도록 손으로 잡기 위한 손의 기준선이다.

위의 2가지 과지방법에 의하여 손팬텀을 제작함에 있어서 하였으며 손과 동일한 inhomogeneous(균질이 아닌)으로 제작하기는 어렵다 왜냐하면 사람에게 따라서 피부, 뼈 및 근육 등의 크기가 다르므로 이를 조사하여 평균한 값을 사용하여야 하는데 해부하지 않고 파악하기란 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 homogeneous(균질인)한 손 팬텀을 제작하고자 한다.



(a) 손바닥

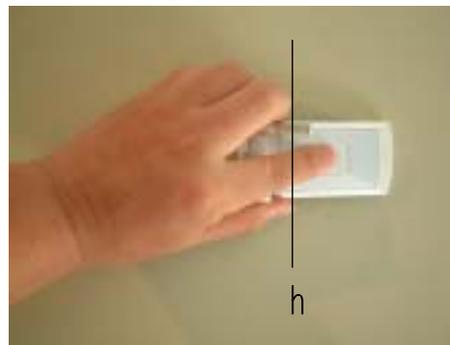


(b) 손등

그림 4.2 바형 및 플립형 단말기 파지방법



(a) 손바닥



(b) 손등

그림 4.3 폴더형 단말기 파지방법

손의 피부, 크기 및 비용을 고려하여 수술용 장갑을 피로 대신하며 그 내부에 균일한 모의조직을 제조하여 넣는 방법으로 손팬텀을 제작하였다. 이때 사용되는 모의조직은 머리의 전기정수가 같다. 그 전기정수는 유전율은 41.8이고 도전율은 0.91 S/m 이다. 이렇게 제작된 손 팬텀은 그림 4.4와 그림 4.5와 같이 바형 및 플립형과 폴더형 2가지이다.



그림 4.4 손 팬텀(바형 및 플립형)



그림 4.5 손 팬텀(폴더형)

### 3. 손의 위치

국내에서 손 영향에 대한 시뮬레이션 한 연구논문의 손 위치는 그림 4.6에 나타내었다. 이 그림에서 손의 위치는 단말기의 하단부에서 손 아래부분까지의 거리를 조절하여 손 영향을 시뮬레이션 하였다. 그러나 이 방법은 실제 사용자의 손 위치를 단말기의 하단부에서 움직이는 방법을 사용함으로 제조업체의 단말기 길이가 다르기 때문에 충분히 고려된 손 위치가 아니라고 생각된다.

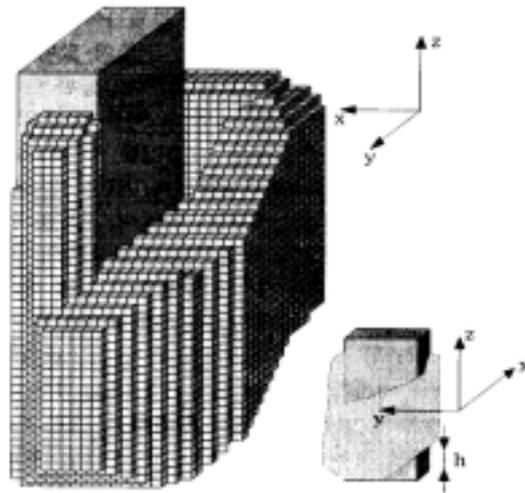


그림 4.6 시뮬레이션을 위한 손의 위치

따라서 본 연구에서는 제조업체의 단말기의 길이가 변하더라도 전자파 발생원에 대한 영향을 충분히 고려하기 위하여 손의 위치를 안테나의 급전점을 기준으로 상하로 이동하는 것을 생각하였으며, 이러한 손의 위치는 그림 4.7에 나타내었다.

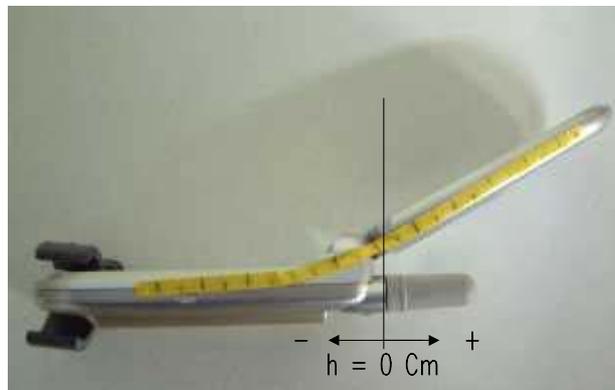


그림 4.7 단말기 차지에 의한 손의 위치

그림 4.7과 같이 단말기의 손 위치를 는 단말기의 길이가 변하더라도 전자파 발생원에 대한 기준(급전점)이 변하지 않기 때문에 모의인체 머리의 국부 SAR 측정으로 손의 영향을 충분히 고려할 수 있을 것이다.

#### 4. 손 영향 측정을 위한 측정절차

손 영향에 대한 측정을 하기 위하여 사용된 단말기의 안테나는 주로 휩 안테나와 헤리컬 안테나가 결합된 제품이 대부분이며 한 제품은 헤리컬 안테나 단독으로 사용된다. 이때 단말기의 사양은 아래 표와 같다.

플립형 단말기는 99년도에 많이 사용되었던 아날로그 단말기로 타입은 플립형, 단말기의 크기는 120mm로 현재의 단말기 크기보다 다소 길며. 단말기의 출력은 26dBm으로 일정하게 유지하여 사용한다.

최소형으로 사용되는 디지털 단말기는 바형이다. 이 단말기는 아날로그 단말기보다 길이는 95mm로 짧고 출력은 24dBm으로 2dBm이나 낮다. 나머지 3대의 폴더형 단말기 길이는 폴더의 길이를 제외한 몸통의 길이를 기준으로 사용하였다.

표 4.1 단말기의 사양

		Type	Length(mm)	Power(dBm)	비고
1	Analog	Flip	120	26	
2	Cellular	Bar	95	24	
3	Cellular	Folder	84	24.7	
4	Cellular	Folder	82	24	
5	Cellular	Folder	82	24	

손 영향을 측정하기 위한 측정절차는 그림 4.8과 같다. 측정하기 전의 손 팬텀, 손의 위치, 단말기의 형태 등이 고려되고 그 이외의 조건은 SAR 측정 기준으로 측정되며 측정된 값은 여러 가지 조건중 최악의 상태에서 측정된다. 즉 안테나의 조건 왼쪽 오른쪽 머리 등의 조건에서 단말기가 머리의 접촉위치에서 모의인체 머리의 국부 SAR 값이 최대로 측정되는 조건을 최악의 상태라 한다.

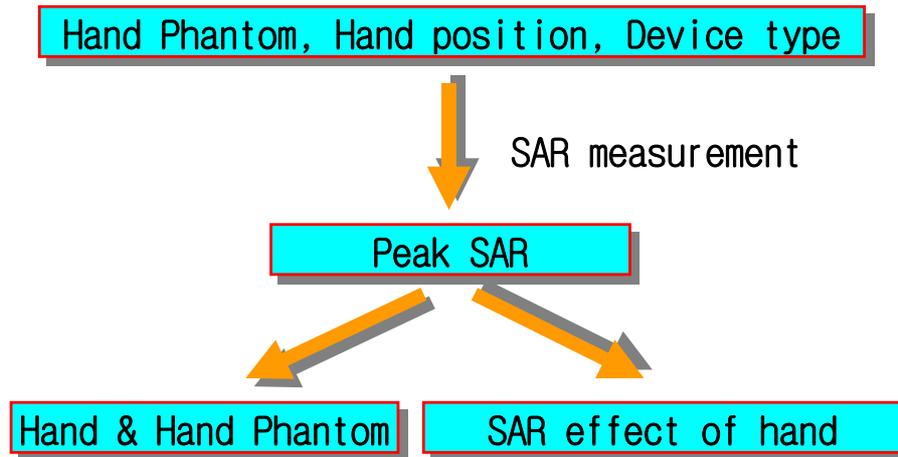


그림 4.8 손 영향 측정을 위한 측정절차

손의 영향을 측정함에 있어 앞에서 만들어진 손 팬텀을 사용하여 측정할 것이므로 가장 먼저 손과 손 팬텀에 대한 유사성을 비교 분석하고 그 다음에는 손 팬텀을 사용하여 안테나의 조건, 폴더형 단말기, 바형 및 플립형 단말기에 대한 모의인체 머리의 최대 SAR값을 분석하고 이에 대한 손의 영향을 고려하고자 한다.

## 제 2 절 손 영향 측정결과 분석

### 1. 손과 손 팬텀에 대한 영향 분석

앞에서 사용자의 단말기 파지방법에 따라 손 팬텀을 제작하였으며 이에 대하여 손과 손 팬텀으로 단말기를 파지하고 모의인체 머리의 국부 SAR 분포를 측정된 결과를 그림 4.9에 나타내었다.

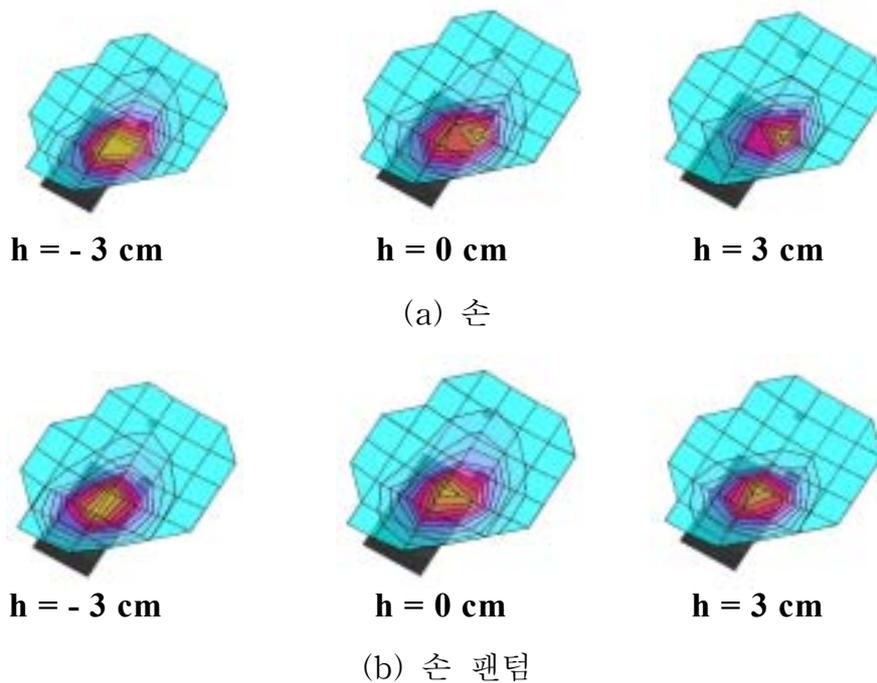


그림 4.9 손 및 손 팬텀의 영향에 의한 국부 SAR 분포

손 영향에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR 분포와 같이 손의 위치가  $h=-3\text{cm}$ (안테나 급전점에서 아래로 3cm 내려온 위치)일 경우 손에 대한 영향이 거의 없으므로 SAR 분포가 넓게 나타나고 손의 위치가 높아질수록 손의 영향이 크기 때문에 SAR 분포가 좁게 나타나고 있음을 알 수 있다.

손 팬텀 영향에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR 분포는 손 영향과 비교하면 그 영역이 좁게 나타나고 있으나 손의 위치가 위로 올라 갈수록 분포의 영역이 좁게 나타나고 있으므로 손 영향과 유사한 경향을 보이고 있다.

따라서, 손 영향에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR값 변화를 보기 위하여

3번 단말기를 손으로 잡고 측정하였으며 손의 위치를 -3cm에서 3cm까지 1cm 간격으로 각 위치에서 5번 측정하여 평균한 값을 그림 4.10으로 나타내었다. 이때 측정된 값들은 재현성을 유지하고 있으며 손의 위치에 따라 점차 감소하는 특성을 가지지 않고 안테나 급전점에서 다시 SAR값이 높게 측정되었다가 다시 감소하는 경향을 보이고 있다.

5번 단말기도 3번 단말기와 동일한 조건으로 측정한 결과 3번 단말기와 유사한 경향을 보이고 있다.

또한 손의 영향을 분석하기 위하여 3번과 5번 단말기에서 손이 없는 경우의 모의인체 머리의 국부 SAR 측정을 수행하였으며 이 값은 손 위치와 관계가 없으므로 그림 4.10과 같이 일정한 값으로 표현하였다.

3번과 5번 단말기 모두 손이 없는 경우가 손 영향을 고려한 것보다 모의인체 머리의 국부 SAR값이 높게 측정된 것을 알 수 있다.

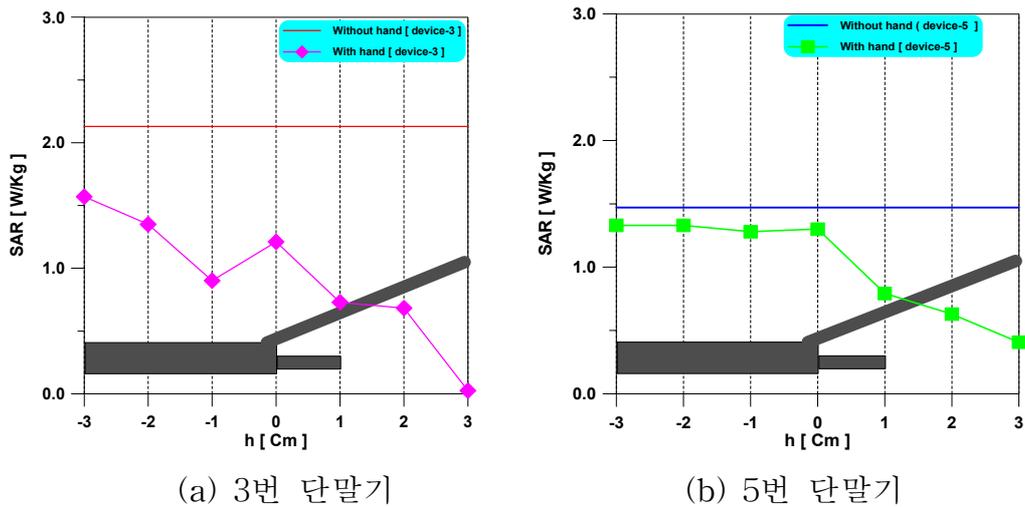


그림 4.10 손의 위치에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR

위에서 손 위치에 따른 모의인체 머리의 국부 SAR 값의 경향은 서로 다른 단말기에서도 서로 유사함을 보이고 있다.

homogeneous(균질인)한 손 팬텀의 위치에 따른 모의인체 머리의 국부 SAR 측정은 앞에서 수행한 방법과 동일하게 손 팬텀의 위치를 -3cm에서 3cm까지 1cm 간격으로 각 위치에서 5번 측정하여 평균한 값을 그림 4.11로 나타내었다.

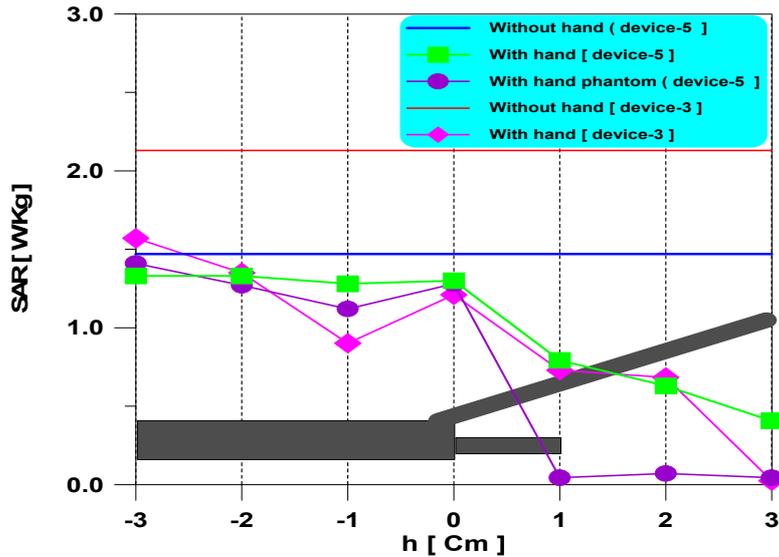


그림 4. 11 손 및 손 팬텀의 위치에 의한 국부 SAR

그림에서와 같이 손과 손 팬텀의 국부 SAR의 경향이 손 위치가 -3cm에서 0cm까지 매우 유사한 특성을 가지고 있으며 손 위치가 1cm에서 3cm까지의 특성은 매우 다르게 나타나고 있다. 그 이유로는 폴더형 단말기를 파지함에 있어서 손으로 파지하는 경우는 1cm - 3cm 영역에서 안테나를 완전히 감싸지 않고 손가락 사이에 공간이 생기므로 약간의 전자파가 모의인체 두부에 영향있어 손 팬텀과 비교하여 다소 높은 SAR값이 측정되지만 손 팬텀의 경우는 손가락 사이에 공간이 거의 없으므로 단말기의 안테나를 완전히 감싸는 형태가 되므로 그림 4.11과 같이 SAR값이 거의 나오지 않는 결과가 발생하지 않았나 판단된다.

## 2. 안테나의 Extracted/Retracted 조건에서 손 팬텀의 영향 분석

이동통신단말기는 일반적으로 힝 및 헤리컬 안테나 결합형을 사용되며 이것은 전기적으로 직접 연결 또는 EM 커플링(Electromagnetic Coupling)에 의해 연결되어 있다. 이때 결합도는 전기적 도체에 의한 직접 연결 방법을 채택할 때 더욱 크다.

이동통신단말기의 안테나를 넣은 상태는 고정형 헤리컬 안테나 단독으로 동작되고 안테나를 뺀 상태는 힝 안테나 단독으로 동작하거나 고정형 헤리컬 및 힝 안테나 두 개가 동시에 동작한다. 따라서 이때의 손 팬텀의 영향이

안테나 넣은 상태와 뺀 상태에서의 어떤 영향이 있는지 측정한 SAR 분포를 그림 4.12에 나타내었다.

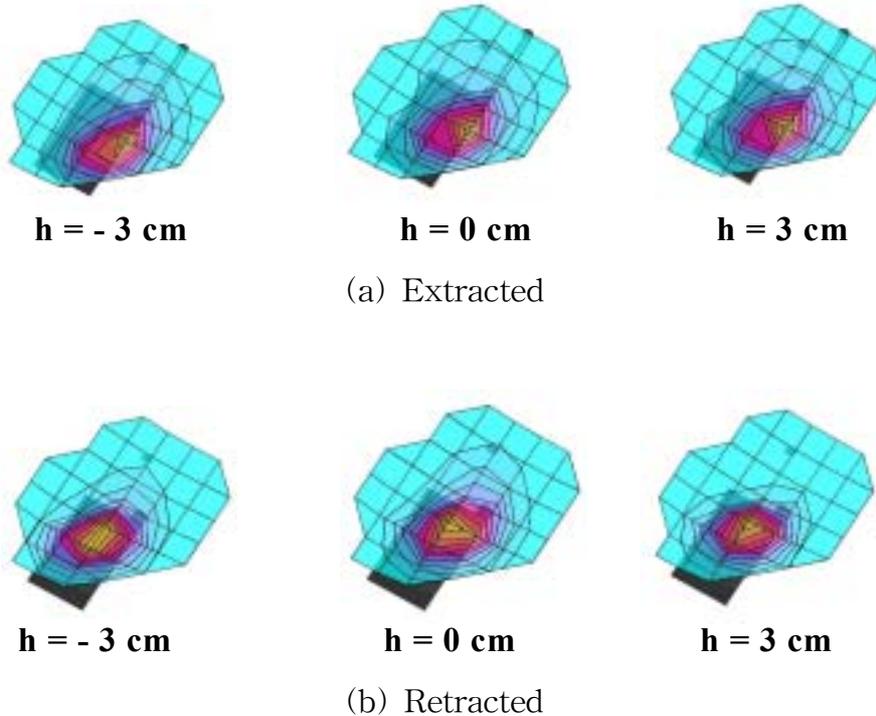


그림 4.12 폴더의 안테나 조건에 의한 국부 SAR분포

폴더형 이동통신단말기의 안테나 조건에 손 영향에 의한 모의인체 머리의 국부 SAR 분포에서 안테나를 뺀 상태는 손의 위치가 -3cm에서 3cm 까지 분포가 거의 일정하게 나오고 있지만 안테나를 넣은 상태는 손의 위치가 -3cm에서 3cm로 이동할수록 분포가 좁게 나타나고 있음을 알 수 있으며 안테나를 넣은 상태와 뺀 상태를 비교하면 그 분포가 다르게 나타난다. 이렇게 측정된 결과를 그래프로 분석한 결과를 그림 4.13에 나타내었다.

그림과 같이 5번 단말기를 사용하여 안테나를 넣은 상태에서 측정한 결과 헤리컬 안테나를 손 팬텀으로 감싸는 시점에서 완전히 손 팬텀으로 감싸는 경우까지는 국부 SAR이 거의 나오지 않는다. 그러나 안테나를 뺀 상태에서는 국부 SAR 분포에서 언급한 것과 같이 거의 변화가 없으며 손으로 휩안테나를 거의 감싸는 경우 약간 낮아지는 것을 알 수 있다. 이러한 측정결과가 맞는지 몇 번을 측정하여 보아도 같은 형태를 보이고 있어 4번 단말기를 안테나를 뺀 상태에서 다시 측정하여 본결과 5번 단말기의 안테나를 뺀 상

태와 동일한 패턴을 보이고 있다.

손의 위치가 기준점(h=0) 이하에서는 헤리컬 안테나가 동작하고 손이 기준점 위로 올라올 경우 손이 헤리컬 안테나의 방사를 막고 휩 안테나만 동작하는 것으로 판단되며, 그러한 이유로 손의 위치가 기준점 위를 파지할 경우 다소 증가하고 손이 헤리컬과 휩안테나를 거의 감싸는 상태에서는 다소 감소하는 것으로 보인다.

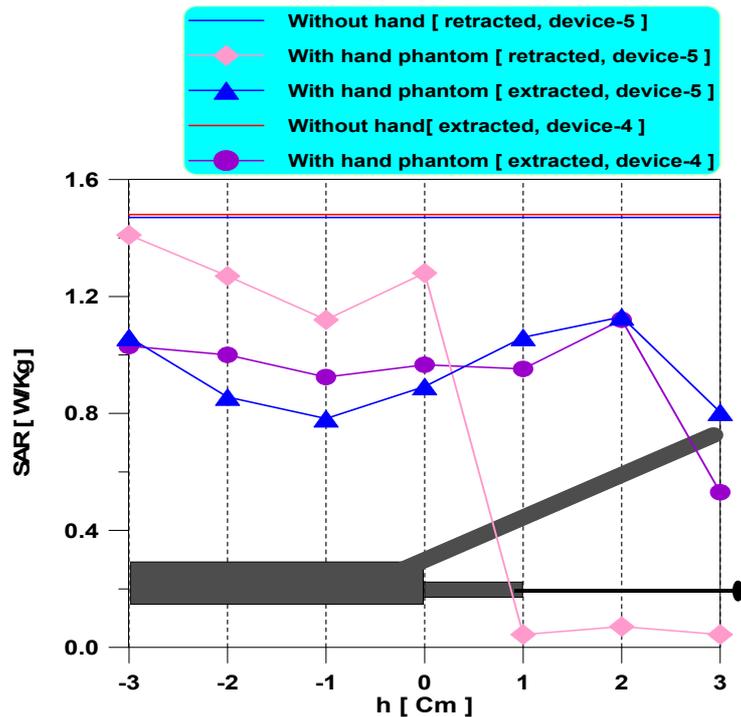


그림 4.13 폴더의 안테나 조건에 의한 국부 SAR

### 3. 플립형 및 바형 단말기의 손 팬텀의 영향 분석

폴더형 단말기의 손 위치가 안테나 급전점에서 위인 경우 손과 손 팬텀에서 많은 차이를 보이고 있고 현재 거의 대부분의 이동통신단말기가 폴더형으로 나오고 있지만 극히 일부분 플립형 또는 바형 단말기가 출시되고 있으므로 이에 대한 손의 영향을 측정·분석하고자 한다.

플립형과 바형 단말기를 사용하는 사용자의 손의 위치가 일반적으로 -4cm에서 0cm 까지 파지하는 것이 대부분이므로 이에 대하여 손의 영향을 측정한다.

그림 4.14에 사이즈가 큰 플립형 단말기와 매우 작은 바형 단말기를 대상으로 손의 영향을 측정한 SAR 분포를 나타내었다. 플립형과 바형에 대하여 SAR 분포를 살펴보면 폴더형과 같이 손 위치의 변화에 따라 급격하게 변화하거나 분포가 좁아지는 것을 볼수가 없다. 그러므로 손 위치에 따라 측정된 결과를 그래프로 분석하여 그림 4.15에 나타내었다.

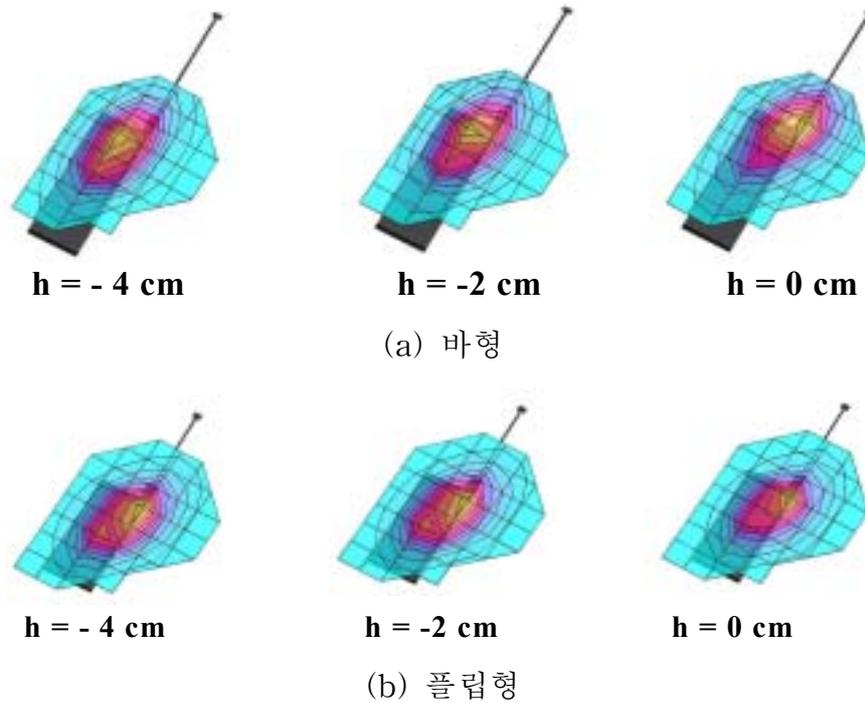


그림 4.14 플립형 및 바형의 국부 SAR 분포

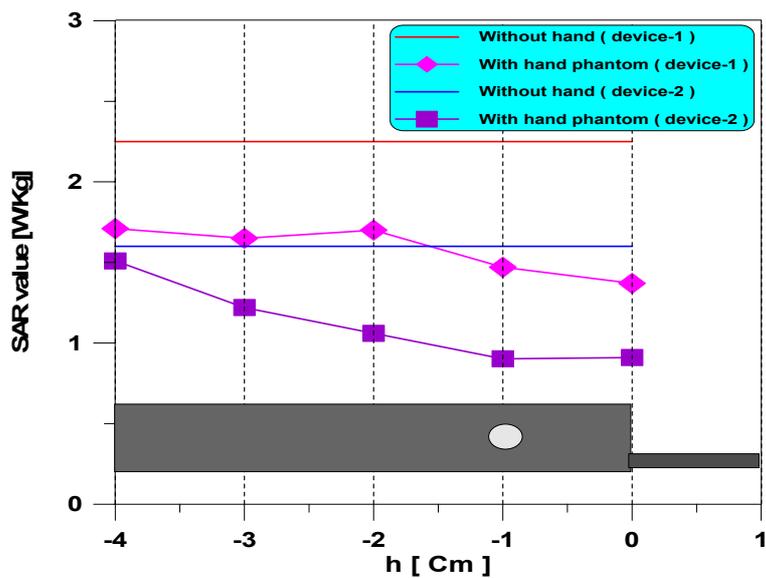


그림 4.15 플립형 및 바형의 손 영향에 따른 국부 SAR

플립형 및 바형 단말기도 폴더형 단말기와 동일하게 손이 있는 경우가 손이 없는 경우보다 훨씬 낮게 국부 SAR값이 측정되는 것을 알 수 있다. 즉 손이 없는 경우가 손이 있는 경우보다 더 최악의 상황이라 할 수 있다. 또한 손의 위치에 따라 플립형과 바형 단말기 둘다 점차적으로 감소하는 유형을 나타내고 있다.

플립형과 바형의 단말기를 손 영향을 어느 정도인지 파악하기 위하여 손이 있는 경우와 손이 없는 경우의 차를 분석하여 그림 4.16에 나타내었다.

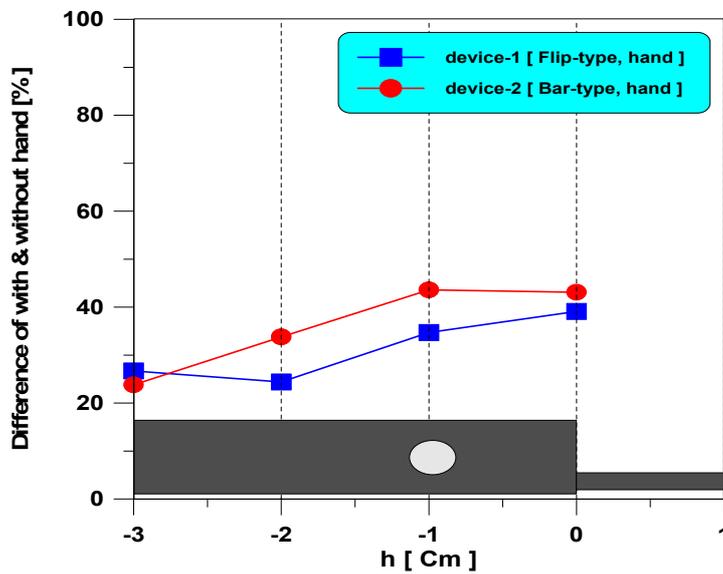


그림 4.16 손영향에 대한 국부 SAR 값의 차

그림과 같이 손의 위치가 단말기 안테나의 급전점에 가까워 질수록 손의 영향이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 전반적으로 손의 영향이 20 ~ 40%정도 나타나는 것을 알 수 있다.

#### 4. 손 영향 연구에 대한 모의인체 머리의 국부 SAR 측정 결론

이동통신단말기에 손의 영향을 분석하기 위하여 사용자들이 일반적으로 사용하는 파지방법을 파악하였는데 파지방법이 크게 바형 및 플립형이 파지하는 방법과 폴더형 단말기를 파지하는 방법으로 구분할 수 있다.

이동통신단말기를 파지방법에 따라 2가지 유형의 homogeneous(균질인)한 손 팬텀을 제작하였으며, 이 때 사용되는 모의조직은 머리의 전기정수와 동일하다.

이동통신단말기에서 손의 위치가 위쪽으로 올라갈수록 손의 영향이 크게 증가하여 국부 SAR값이 낮아지는 결과를 얻었다. 폴더의 경우는 그 구조가 복잡하여 손의 영향을 수치적으로 표현하기 어려우나 바형과 플립형의 단말기는 손의 영향에 의하여 국부 SAR값이 20% - 40% 정도 낮다는 결론을 얻었다.

이동통신단말기의 바형, 플립형 그리고 폴더형에 대하여 손의 영향에 따른 모의인체 머리의 국부 SAR값을 측정된 결과는 손이 없는 경우의 국부 SAR값보다 낮은 것을 있으며 이것은 손이 없는 경우가 SAR 측정함에 있어 최악의 조건이라고 할 수 있다. 즉 현재 손의 영향을 고려하지 않는 SAR 측정기준이 최악의 조건이라 할 수 있다.

## 제 5 장 인체 두부 모의조직의 특성

### 1. 인체 두부 모의조직의 전기정수 측정

인체의 상대유전율 및 도전율은 조직과 주파수에 따라 상이한 값을 갖고 있으나 전자파흡수율(SAR)을 측정하기 위하여 현재 기준은 homogeneous (균질인)한 모의조직을 사용하고 있으며, 이 값들은 주파수에 따라 다르게 적용하고 있다.

국내 휴대전화 주파수 대역인 1.8GHz 대역에서는 기존의 설탕과 증류수 등의 배합에 의하여 액체를 제작하였으나 최근 전기정수의 값이 더 현행화 되어 새로운 재료의 배합으로 만들어져야 한다.

Gabriel(1996)이 실측한 인체 각 조직의 유전율은 아래 식 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.

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} + \sum_{m=1}^4 \frac{\Delta\epsilon_m}{1 + (j\omega\tau_m)^{(1-\alpha_m)}} + \frac{\sigma_j}{j\omega\epsilon_0}$$

– *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( $\epsilon' - j\epsilon''$ ) 측정 시스템은 Hewlett Packard의 유전율 측정용 probe kit(HP85070B)과 Network Analyzer (HP8722D)를 이용하여 구성한 것을 그림 5.1에 나타내었다. 이때 액체 유전체는 비자성의 등방성의 균질 액체여야 한다.

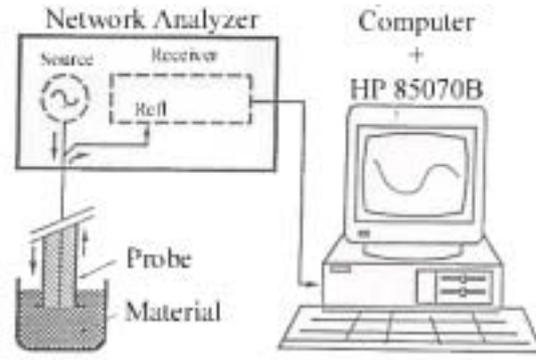


그림 5.1 유전율측정 시스템

유전율은  $S_{11}$ 을 측정하여 프로브 팁에서의 반사율로부터 얻었으며 측정된 복소유전율로부터 아래와 같이 조직의 상대유전율  $\epsilon_r$  과 전기전도도  $\sigma$  를 얻는다. 전기정수 측정시 액체 내에 공기방울을 완전히 제거하여야 한다.

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= \epsilon' \\ \sigma &= 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' \end{aligned}$$

where  $f$ : frequency(Hz)  
 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$

1.8GHz대역의 모의조직을 만들기 위하여 사용되는 재료는 증류수, DGBE, NaCl로 이루어져있다. 여기서 DGBE는 증류수의 유전율을 줄이는 역할을 하며, NaCl은 전기전도도를 증가시키게 하는 역할을 한다. 또한 실험실내의 온도의존성에 대하여 전기전도도는 온도가 상승함에 따라 작아지지만 유전율은 온도의 상승과 함께 커진다.

일반적으로 액체의 상대유전율은 주파수에 반비례 특성을 가지며, 또한 증류수에 대한 DGBE의 비가 증가하면 상대유전율은 상대적으로 감소한다.

1.8GHz대역의 인체 모의조직은 증류수와 DGBE가 98%이상으로 구성되어 있다. 그림 5.2는 증류수와 DGBE의 조성비에 따라 배합된 액체의 주파수별 유전율을 측정한 결과이다. 액체의 상대유전율은 주파수에 반비례 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 예전의 증류수와 설탕의 배합에 따른 상대유전율 특성은 주파수에 대하여 선형적인 특성을 가지고 있지 않아서 전기정수를 맞추기 어려웠으나 새로 권고된 증류수와 DGBE의 배합에 따른 상대유전율의 특성은 주파수에 대하여 선형적인 특성을 가지고 있어 배합하여 전기정

수를 맞추는데 유리하다.

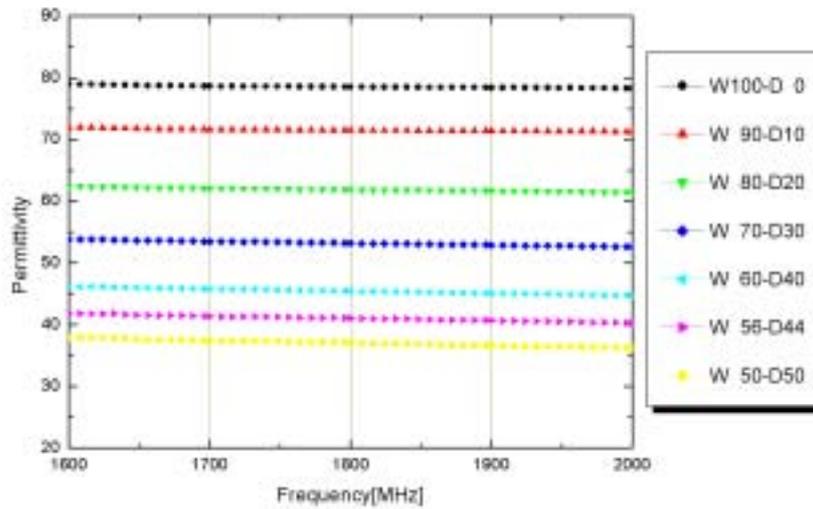


그림 5.2 증류수와 DGBE의 조성비에 따른 상대 유전율

그림 5.2의 결과에서 조성비와 유전율과의 함수관계를 분석하기 위해 특정 주파수(1.8GHz)에서 증류수에 대한 DGBE의 조성비가 증가하면 상대유전율은 선형적으로 감소하는 그림 5.3에 나타내었으며 이것은 조성비와 유전율과의 함수관계를 도출하여 나타낸 것이다.

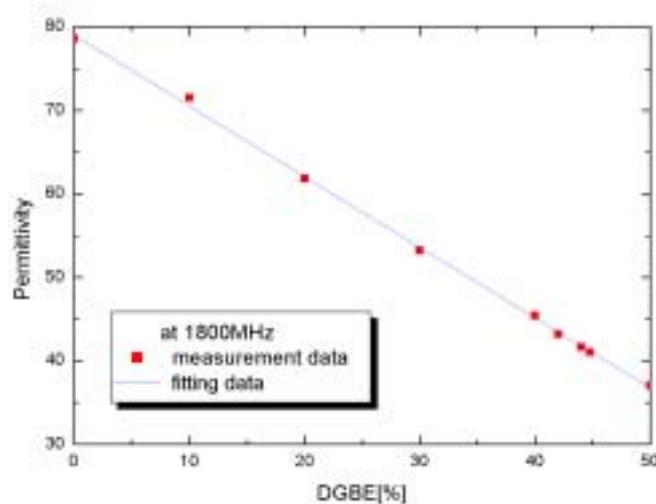


그림 5.3 1.8GHz에서 DGBE의 조성비에 따른 상대유전율

그림 5.2의 결과에서 조성비와 유전율과의 함수관계를 분석하기 위해 특정 주파수(1.8GHz)에서 증류수에 대한 DGBE의 조성비가 증가에 따른 상대유전율의 특성을 알아보았다. 이와 더불어 주파수(1.8GHz)에서 증류수에 대한 DGBE의 조성비가 증가에 따른 도전율의 변화를 그림 5.4에 나타내었으며 이것은 DGBE의 조성비가 증가할 경우 도전율이 증가함을 보여준다. DGBE의 조성비가 40%에서 50% 일 때 포화되는 것을 알 수 있다.

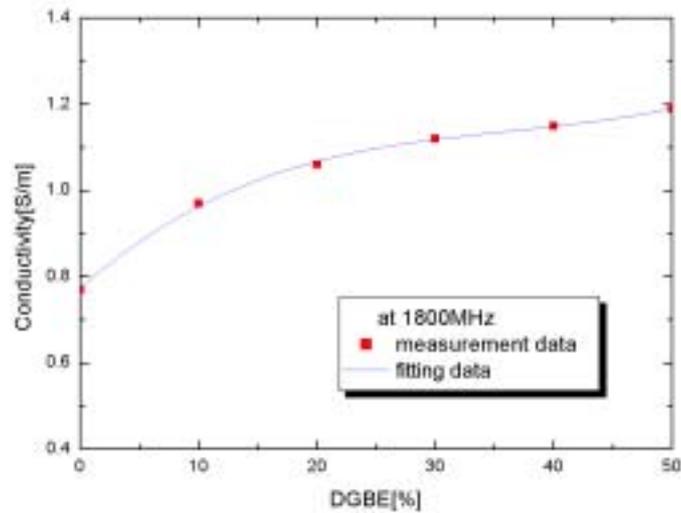


그림 5.4 1.8GHz에서 DGBE의 조성비에 따른 도전율

우리는 유전율 및 도전율을 맞추기 위하여 재료를 합성할 때 그림에서 구한 함수 관계로부터 원하는 전기정수를 갖는 인체 유사 액체를 합성하는데 이용할 수 있다.

## 제 6 장 RRL-CRL 공동연구

### 제 1 절 개 요

한·일 양국의 측정시스템 비교시험을 통하여 시험결과의 신뢰성을 확립하고 전자파흡수율(SAR) 기준에 대한 유효성 검사 및 프로브 교정 등의 표준시험방법을 마련하여 국제 및 국내 기준에 반영하고자 함.

### 제 2 절 추진 실적

#### 1. 상호 연구협력 회의

가. 일시 : 2002. 5. 13(월)

나. 장소 : 전파연구소 전파환경연구과 전자파안전담당

다. 참석자

(1) RRL : 전자파안전담당, 김기희, 장영호, 성주영

(2) CRL : YAMANAKA YUKIO, SHINOZUKA TAKASHI  
WATANABE SOICHI, FUKUNAGA/KAORI

라. 회의내용

(1) 공동연구 과제명

(2) 공동연구 세부사항 논의

#### 2. 상호 공동연구 추진 계획 협의

가. 일시 : 2002. 7. 22 ~ 7. 25

나. 장소 : 일본 CRL

다. 참석자

(1) RRL : 전자파안전담당

(2) CRL : YAMANAKA YUKIO

라. 내용

(1) 연구 세부 항목 및 항목별 추진 일정 논의

### 3. 세부 진행 사항

가. 2002년 8월 : 세부 항목 및 추진 일정 검토

(Discussion the detail items and schedule)

나. 2002년 9월 : SAR 측정 및 교정 주파수 대역 논의 및 통보

(To list up freq. for measurement & calibration in each lab.)

다. 2002년 10월 : 상호 비교 검증을 위한 주파수 결정

(To determine the freq. for mutual comparison)

(1) 450MHz, 835MHz, 900MHz, 1765MHz, 1800MHz, 1950MHz

라. 2002년 12월 : 상호 비교 실험용 다이폴 안테나 제작

(Manufacturing the dipole antenna)



그림 6.1 validation dipole antenna(900MHz)



그림 6.2 validation dipole antenna(1950MHz)



그림 6.3 validation dipole  
antenna(450MHz)



그림 6.4 validation dipole  
antenna(1765MHz)

## 제 7 장 전자파흡수율(SAR) 표준시험방법

### 1. 목 적

전파법 제47조의 2 및 정보통신부고시 제2000-91호 「전자파인체보호기준」 중 국부노출에 대한 전자파흡수율 기준이 2002년부터 시행됨에 따라 정보통신부고시 제2000-93호에 의거한 「전자파흡수율(SAR) 표준시험방법」을 제시함으로써 전자파흡수율 시험을 보다 원활히 수행하고자 함을 목적으로 한다.

### 2. 용어정의

2.1 “곡선 B-M”은 모의인체기준면과 모의인체 외부표면이 교차하는 곡선을 말한다.

2.2 “곡선 B'-M'”은 모의인체기준면과 모의인체 내부표면이 교차하는 곡선을 말한다.

2.3 “곡선 F-N”은 곡선 B-M과 귀기준점(ERP)에서 수직으로 교차하는 모의인체 외부표면상의 곡선을 말한다.

2.4 “곡선 F'-N'”은 곡선 B'-M'과 귀기준점(ERP)에서 수직으로 교차하는 모의인체 내부표면상의 곡선을 말한다.

2.5 “공간첨두전자파흡수율”은 모의인체내에 공간적으로 나타나는 최대 국부 전자파흡수율을 말한다.

2.6 “귀기준점(ERP, Ear Reference Point)”은 곡선 B-M상의 양쪽 이도(耳道, EEC, Entrance to Ear Canal) 위 15mm 지점을 말한다.

2.7 “모의인체기준면”은 모의인체기준선과 닫힌 입의 중앙점(M)이 이루는 가상 평면을 말한다.

2.8 “모의인체기준선”은 양쪽 귀기준점(ERP)을 잇는 선을 말한다.

2.9 “모의인체기준축”은 모의인체기준선에 평행한 축을 말한다.

2.10 “모의인체”는 모의조직과 모의조직을 담는 외피로 구성된다.

2.11 “미소체적분포측정”은 표면분포측정 간격보다 미세한 간격으로 모의인체의 공간내에서 전자파흡수율 분포를 측정하는 것을 말한다.

2.12 “비근점(鼻根點)”은 인체의 해부학적 명칭으로 좌우 안구의 중심점 혹은 코뼈의 함몰부를 말한다.

2.13 “비하점(鼻下點)”은 인체계측상의 기준점으로 정중시상면(正中矢狀面)에서 비중격이 윗입술과 합하는 점을 말한다.

2.14 “뺨기준점(CRP, Cheek Reference Point)”은 곡선 B-M상의 ERP

아래 65mm 지점을 말한다.

- 2.15 “손실탄젠트( $\tan \delta$ )”는 복소유전율의 허수부와 실수부의 비를 말한다.
- 2.16 “유효성검사오차”라 함은 유효성검사의 1g 평균 최대 국부 SAR 측정치와 유효성 기준데이터와의 차를 백분율로 표시한 것을 말한다.
- 2.17 “전자파흡수율(SAR, W/kg)”이라 함은 생체조직에 흡수되는 단위 질량당 에너지 율로서 다음 식으로 표현한다.

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

여기서  $\sigma$ 는 조직의 전기전도도(S/m),  $\rho$ 는 조직의 밀도(kg/m<sup>3</sup>), E는 실효전기장강도(V/m)를 말한다.

- 2.18 “평면모의인체(Flat Phantom)”는 모의조직을 담을 수 있는 직육면체 모양의 용기를 말한다.
- 2.19 “표면경사각”은 모의인체 내부 표면 임의지점에서의 법선과 모의인체기준축이 이루는 각을 말한다.
- 2.20 “표면분포측정”은 모의인체 내에 공간침투전자파흡수율 값의 위치를 대략적으로 찾기 위하여 모의인체 표면상에서 큰 간격으로 측정하는 것을 말한다.
- 2.21 “프로브”는 무선주파수 신호를 직류 전류 또는 직류 전압으로 변환시켜 모의인체에서 흡수되는 전자파 에너지의 전기장 강도를 측정할 수 있는 세 개의 서로 직교하는 다이폴로 구성된 소형의 등방성 안테나를 말한다.
- 2.22 “프로브경사각”은 모의인체기준면에서의 모의인체 기준축과 프로브축과의 각도를 말한다.
- 2.23 “프로브위치제어기”는 특정한 위치에 프로브를 놓고 자동으로 위치를 조절할 수 있는 장치를 말하며 로봇, 로봇제어기 그리고 제어 소프트웨어로 구성된 것을 말한다.
- 2.24 “피시험기중심선”은 피시험기 폭의 중심선으로 표면상의 선을 말한다.

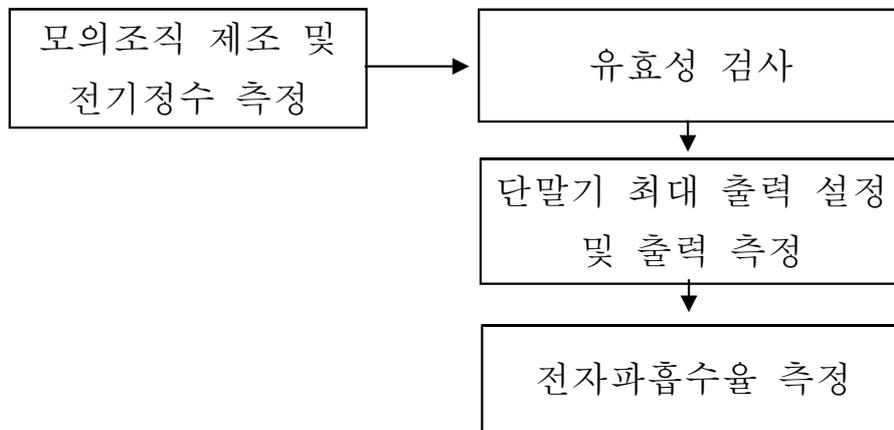
### 3. 측정환경

- 3.1 모의조직 제조 및 전기정수 측정시 온도는 20℃에서 23℃내의 임의의 온도로 설정하고 허용오차는 ±2℃로 한다.
- 3.2 전자파흡수율 측정시 시스템 주변 온도는 모의조직 제조 및 전기정수

측정 온도와 같게 하고 허용오차는  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 한다.

- 3.3 측정시 어떠한 전자기장 발생원도 측정결과에 영향을 주어서는 아니 되며 측정시스템으로부터 50cm 이내에는 전자기장 발생원이 없어야 하며, 측정시스템은 컴퓨터를 이용하여 원격제어가 가능하여야 한다.
- 3.4 시간에 따라 성능이 변화하는 프로브 및 측정장비들은 교정유효기간 이내의 것을 사용하여야 한다.
- 3.5 전자파흡수율 측정시스템은 차폐실 내부에 설치되어야 하며, 차폐실은 측정주파수대역에서 80dB이상의 차폐효과가 있어야 한다.

#### 4. 전자파흡수율(SAR) 측정절차



## 5. 시험측정설비

측정절차	측정설비	요구 규격
모의조직 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 네트워크 분석기</li> <li>○ 유전율 측정 세트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모의조직은 측정주파수에 대해 별표1에 맞게 평균 머리조직의 전기적 특성에 맞는 균일한 액체 용액으로 제조하여야 한다.</li> <li>- 모의조직 전기적 특성의 허용오차는 5% 이내로 한다.</li> </ul>
유효성 검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신호발생기</li> <li>○ 앰프</li> <li>○ 방향성 커플러</li> <li>○ 파워미터</li> <li>○ 다이폴 안테나</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신호발생기와 증폭기는 안정적이어야 한다. 다이폴로 가는 순방향 전력은 측정잡음의 영향을 피할 수 있을 만큼 충분히 높아야 한다.</li> <li>- 파워미터는 0.01dBm의 분해능과 낮은 편차를 가져야 한다.</li> <li>- 유효성검사시 -20dB 이하의 반사손실을 가져야 한다.</li> </ul>
단말기 출력설정 및 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 파워미터</li> <li>○ 간이 기지국 시뮬레이터</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 파워미터는 0.01dBm의 분해능과 낮은 편차를 가져야 한다.</li> <li>- 피시험기기의 출력 설정은 내부소프트웨어를 이용하거나, 간이기지국시뮬레이터를 이용하여 최대출력 상태를 설정한다.</li> </ul>
전자파 흡수율 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 차폐실</li> <li>○ 프로브위치 제어기 및 프로브</li> <li>○ 모의인체</li> <li>○ 단말기 지지대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정주파수대역에서 80dB이상의 차폐효과가 있어야 한다.</li> <li>- 프로브는 세 개의 서로 직교하는 미소 다이폴로 구성되어 입사 전기장강도를 측정할 수 있어야 하며, 측정주파수 대역에서 10mW/kg 이상 100W/kg 이하의 전자파흡수율을 측정할 수 있어야 한다.</li> <li>- 프로브위치제어기는 모의인체의 전 노출 영역에서 3차원적으로 전기장 분포를 측정할 수 있도록 한다. 프로브 위치이동은 공간 위치 정밀도 <math>\pm 0.1\text{mm}</math> 이하로 조정할 수 있어야 한다.</li> <li>- 모의인체외피는 모의조직을 담은 용기로서 인체의 해부학적 외형은 정보통신부고시 제2000-93호와 동일하며 허용오차는 <math>\pm 5\%</math> 이내로 한다. 별표2는 모의인체 제작예를 나타내었다.</li> <li>- 모의인체외피의 재질은 측정주파수에서 손실탄젠트가 0.05 미만이고 상대유전율이 5미만의 것을 사용하여야 한다. 귀 부분에서의 두께는 외피와 귀를 포함하여 6mm, 피시험기가 위치하는 부분의 두께는 2mm, 허용오차는 <math>\pm 0.2\text{mm}</math>이내이어야 한다. 그 외 부분의 두께는 5mm를 초과하여서는 아니 된다.</li> <li>- 피시험기 지지대는 피시험기 위치에 대한 조건을 충분히 표현할 수 있어야 하며 재질의 전기적 특성은 측정주파수에서 손실탄젠트 0.05 미만, 상대유전율 5미만의 것을 사용하여야 한다.</li> </ul>

## 6. 시험측정방법

### 6.1 모의조직 전기정수 측정 방법

#### 6.1.1 측정 조건

6.1.1.1 모의 조직의 전기정수는 20℃에서 23℃내의 특정온도에서 측정하며 그 허용오차는  $\pm 2^\circ\text{C}$ 로 한다.

6.1.1.2 모의조직의 상대 유전율( $\epsilon_r$ )과 전기전도도( $\sigma$ )의 측정은 슬롯선로법이나 접촉 탐침법으로 한다.

#### 6.1.1.3 슬롯 선로법(slotted line)

모의조직 용액의 유전율 측정은 동축형 슬롯라인을 사용하여 탐침기를 이동시켜 선로의 위치에 따른 변화를 측정하고 유전율과 전기전도도를 결정한다. 측정시스템은 네트워크분석기, 제어기, 동축형 슬롯선로, 탐침기로 구성한다.

#### 6.1.1.4 접촉 탐침법(Contact Probe)

모의조직 용액의 유전율을 측정하는 또 하나의 방법으로 개방종단 동축 탐침기를 이용하여 반사계수를 측정하여 유전율을 구하는 접촉 탐침법으로 비자성의 등방성을 갖는 균질한 재료의 유전율을 측정한다. 측정시스템은 네트워크분석기, 제어기, 유전탐침기(dielectric probe)로 구성한다.

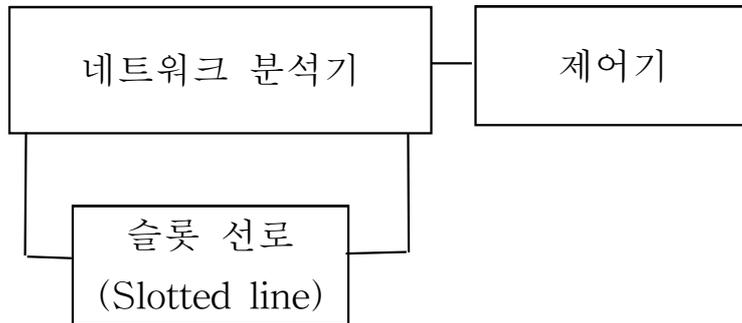
시료용기의 직경은 20mm이상이어야 하며, 모의조직은 용기에 높이  $20/\sqrt{\epsilon_r}$  mm 이상 담아야 한다.

6.1.1.5 모의 조직은 별표1의 전기정수 값에 맞추어 제작하고 오차는 5% 이내로 한다. 전기정수 측정값을 주파수 별로 기록한다.

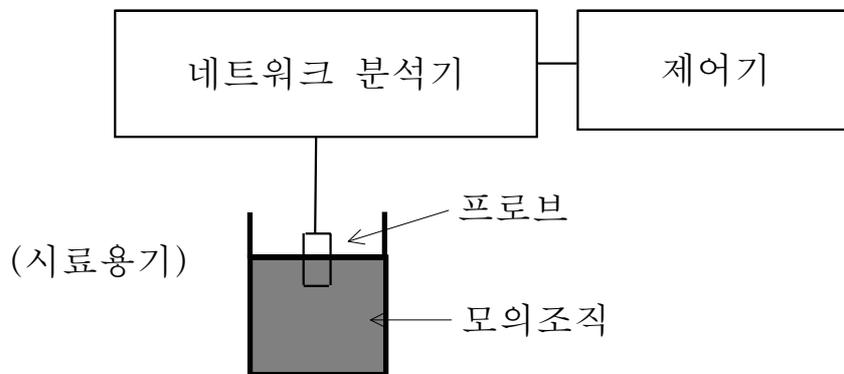
SAR 측정시 피시험기기 채널(저, 중, 고)에 해당하는 주파수의 전기 정수값을 적용한다.

## 6.1.2 구성도

### 6.1.2.1 슬롯 선로법



### 6.1.2.2 접촉 프로브법



## 6.2 유효성 검사(validation test)

### 6.2.1 측정 조건

6.2.1.1 모의조직 제조 및 전기정수 측정 후 전체 측정시스템의 정확성을 검증하기 위해 유효성 검사를 하고 결과를 기록하며, 전자파흡수율 측정 성적서와 함께 제출한다.

### 6.2.1.2 평면모의인체(Flat Phantom)

6.2.1.2.1 평면모의인체는 5미만의 상대유전율과 0.05이하의 손실 탄젠트를 갖는 저손실 유전체 물질로 구성되어야 한다.

6.2.1.2.2 평면모의인체의 두께는 1.0GHz 이하에서는 6.5mm, 1.0GHz 초과에서는 5mm를 이내로 하며 허용오차는  $\pm 0.2\text{mm}$  이내로 한다.

6.2.1.3 유효성 검사는 835MHz와 1.8GHz에서 수행하고 평면모의인체 내 모의조직의 깊이는  $15\text{cm} \pm 5\text{mm}$ 로 한다.

### 6.2.1.4 다이폴 안테나

6.2.1.4.1 방사원으로는 평형 반파장 다이폴안테나를 사용하며 평면 모의인체 및 다이폴안테나와의 거리조건에서 반사손실이

-20dB 이하로 한다.

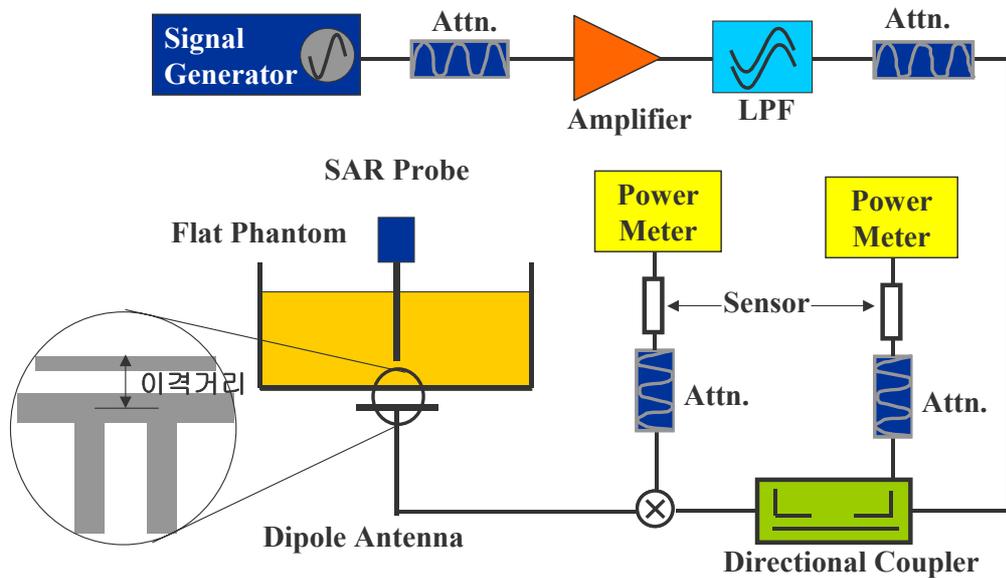
6.2.1.4.2 다이폴안테나의 암(arm) 수평정밀도는  $\pm 2^\circ$ 이내로 한다.

6.2.1.4.3 각 주파수별 다이폴안테나의 요구사항은 다음과 같다.

(단위 : mm)

주파수 (MHz)	반파장 다이폴 안테나 길이	2°다이폴 안테나 편차	최대 다이폴 안테나 지름	최소공기갭
300	210.0	7.3	6.4	5.3
450	140.0	5.0	6.4	5.3
835	80.5	2.8	6.4	5.3
900	74.5	2.6	6.4	5.3
1450	44.6	1.6	3.8	3.1
1800	36.0	1.3	3.8	3.1
1900	34.0	1.2	3.8	3.1
2000	32.3	1.1	3.8	3.1
2450	25.9	0.9	3.8	3.1
3000	20.8	0.7	3.8	3.1

### 6.2.2 구성도



### 6.2.3 측정절차

6.2.3.1 측정장비들을 위의 구성도로 배치한다.

6.2.3.2 방향성 결합기 후단에 평형 반파장 다이폴안테나를 연결한다.

6.2.3.3 다이폴안테나를 평면모의인체 기준선에 위치시키고 기준면으로부터의 이격거리는 아래와 같다. 이 때 다이폴안테나의 위치반복성을 유지하기 위하여 저손실( $\epsilon_r < 5$ ,  $\tan \delta < 0.05$ )의 유

전체 이격자를 사용한다.

$300\text{MHz} \leq f \leq 1000\text{MHz}$	이격거리 = $15\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$
$1000\text{MHz} < f \leq 3000\text{MHz}$	이격거리 = $10\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

6.2.3.4 평면모의인체에 모의조직을 담아 다이폴안테나의 신호를 인가하고 전자과흡수율(SAR)을 측정한다. 유효성검사오차가  $\pm 10\%$ 이내 인가를 확인한다. 차이가 10% 이상일 경우는 시스템 점검 및 측정 설비 교정 후 유효성 검사를 재수행 한다.

6.2.3.5 측정주파수의 유효성검사오차를 기록한다.

#### 6.2.4 기준데이터

6.2.4.1 평면모의인체(모의조직 포함)에 다이폴 소스 인가시의 기준 SAR값

(다이폴안테나의 입력을 1 W로 정규화한 값임)

주파수 (MHz)	1 g SAR	표면SAR (급전점 위)	표면SAR (급전점 2cm 위)
300	3.0	4.4	2.1
450	4.9	7.2	3.2
835	9.5	14.1	4.9
900	10.8	16.4	5.4
1450	29.0	50.2	6.5
1800	38.1	69.5	6.8
1900	39.7	72.1	6.6
2000	41.1	74.6	6.5
2450	52.4	104.2	7.7
3000	63.8	140.2	9.5

6.2.4.2 평면모의인체의 최소 크기 조건

주파수 (MHz)	평면모형외피 두께(mm)	평면모형 유전율	평면모형 치수(mm) x, y, z
300	6.3	3.7	1000, 800, 170
450	6.3	3.7	700, 600, 170
835	2.0	3.7	360, 300, 150
900	2.0	3.7	360, 300, 150
1450	2.0	3.7	240, 200, 150
1800	2.0	3.7	220, 160, 150
1900	2.0	3.7	220, 160, 150
2000	2.0	3.7	160, 140, 150
2450	2.0	3.7	180, 120, 150
3000	2.0	3.7	220, 160, 150

### 6.3 단말기 출력 설정

#### 6.3.1 측정절차 및 조건

6.3.1.1 피시험기기는 완전히 충전시키고, 전자파흡수율 측정시간 동안 최대 출력 상태에서 측정해야 하며 측정 전·후 출력의 변화는 5% 이내이어야 한다.

6.3.1.2 피시험기기는 최대 출력 상태 설정을 위해 내부 소프트웨어 또는 기지국 시뮬레이터를 사용한다.

6.3.1.3 피시험기기 측정 신호는 다음 각호와 같다.

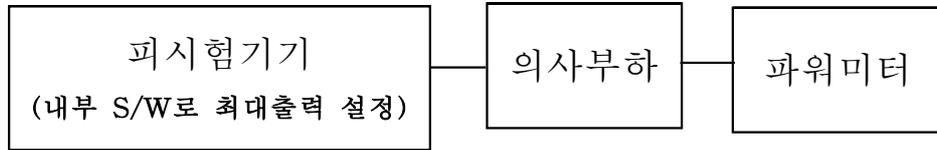
6.3.1.3.1 아날로그, 주파수분할다중접속(FDMA) 모드를 사용하는 피시험기기는 연속파(CW)신호로 측정한다.

6.3.1.3.2 시분할다중접속(TDMA) 모드로 동작하는 피시험기기는 연속파 신호나 변조 신호로 측정한다.

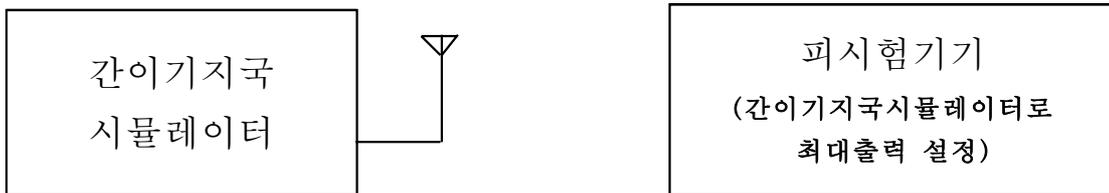
6.3.1.3.3 부호분할다중접속(CDMA) 모드나 확산스펙트럼방식을 사용하는 피시험기기는 연속파 신호로 측정한다.

### 6.3.2 구성도

#### 6.3.2.1 피시험기기 내부 S/W로 최대 출력 설정이 가능한 경우



#### 6.3.2.2 피시험기기 내부 S/W로 최대 출력 설정이 불가능한 경우



## 6.4 전자파흡수율(SAR) 측정

### 6.4.1 측정 조건

#### 6.4.1.1 피시험기기 위치

6.4.1.1.1 전자파흡수율 측정은 제조자에 의해 정의된 정상 동작상태와 사용위치에 따라 측정하며 오른손 사용과 왼손 사용의 각각의 경우에 접촉위치와 경사위치에서 측정하여야 한다.

6.4.1.1.2 별표3의 그림2와 같이 모의인체 기준점(ERP)에 피시험기기의 수화부 중심을 맞추고 모의인체기준면에 피시험기기 중심선을 위치시키며 피시험기기의 몸체가 모의인체 볼에 닿을 때의 위치인 '접촉위치'에서 측정하여야 한다.

6.4.1.1.3 별표3의 그림3와 같이 '접촉 위치'에서, 기준점을 중심으로 피시험기기를 머리쪽 방향으로 15°회전시킨 위치를 '경사위치'라 하고 이 위치에서도 측정하여야 한다. 단, 안테나가 15°회전 전에 머리와 접촉할 경우 접촉된 위치를 경사위치로 한다.

#### 6.4.1.2 기준점 전기장 강도 측정

6.4.1.2.1 기준점(귀기준점 또는 뺨기준점으로 부터 10mm 이내)을 정하여 전기장 강도를 측정, 측정 전·후의 단말기 출력 변화를 기록할 수 있도록 한다.

### 6.4.1.3 표면 분포 측정

6.4.1.3.1 시험 중 측정 점과 모의인체 표면사이의 거리는 8mm 미만이어야 한다.

### 6.4.1.4 프로브경사각 결정

6.4.1.4.1 모의인체 내부 표면의 최대침두위치를 확인하고, 별표4 그림6을 참고하여 최대침두위치에서의 표면경사각을 확인한다.

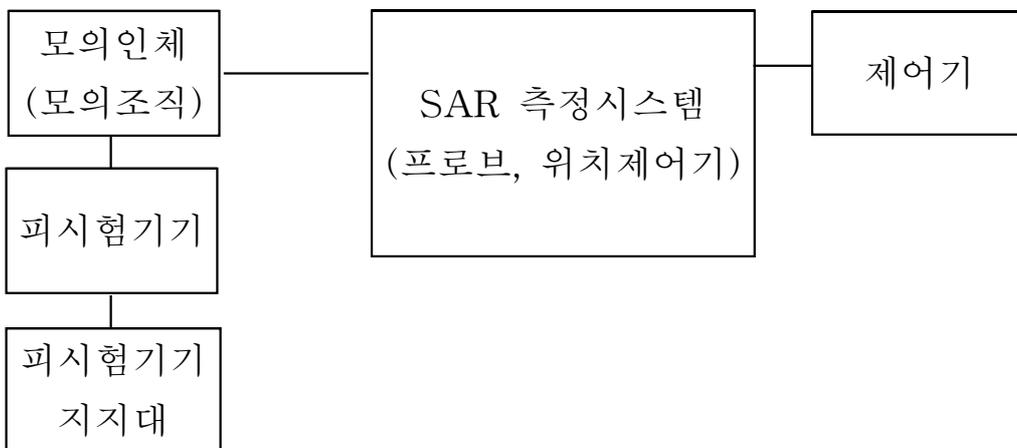
6.4.1.4.2 표면경사각이 5도 이내인 경우 프로브경사각을 0도로 하고, 5도에서 25도 사이인 경우는 프로브경사각을 15도로 하여 측정한다.

### 6.4.1.5 미소 체적 분포 측정

6.4.1.5.1 모의인체 내부 표면의 표면경사각은 별표4 그림6과 같다.

6.4.1.5.3 측정영역은 표면 분포 측정에서 측정된 최대침두치를 기준으로 2dB이내로 측정된 영역을 모두 포함하여야 한다.

## 6.4.2 구성도



## 6.4.3 측정절차

6.4.3.1 측정시스템은 프로브, 프로브위치제어기, 모의인체 및 피시험기기 지지대 등으로 구성한다.

6.4.3.2 제4호의 측정환경 조건에 적합한지 여부를 확인한다.

6.4.3.3 제6.1호부터 제6.2호까지 수행하여 조건에 적합한지 여부를 확인한다.

6.4.3.4 모의조직을 모의인체에 귀기준점(ERP)을 기준으로 깊이가 15

cm±5mm가 되도록 넣는다.

- 6.4.3.5 모의인체 내에 측정영역을 설정하고 프로브 등 모든 장비의 초기 값을 설정한다.
- 6.4.3.6 피시험기기의 중간주파수에서 제6.3호을 수행하여 접촉위치에 고정시킨다.
- 6.4.3.7 프로브를 모의인체 내에 삽입한다.
- 6.4.3.8 제6.4.1.4호에 따라 프로브경사각을 결정한다.
- 6.4.3.9 측정하고자하는 조건에 맞게 프로브와 모의인체의 위치를 설정한다.
- 6.4.3.10 프로브경사각이 0도인 경우는 귀기준점을 “기준점”으로 하며, 15도인 경우는 뺨기준점을 “기준점”으로 하여 전자파흡수율 값이나 전기장강도를 측정한다.
- 6.4.3.11 표면분포측정을 한다.
- 6.4.3.12 미소체적분포측정을 한다.
- 6.4.3.13 프로브를 기준점에 위치시킨 후 전자파흡수율 값이나 전기장 강도를 측정하고 이 측정값을 제6.4.3.10호에서 측정한 값과 비교하여 5% 이상의 변화가 있으면 재측정한다.
- 6.4.3.14 모의인체의 좌·우, 안테나 상태, 경사위치 등 모든 시험위치에서 제6.4.3.8호에서 제6.4.3.13호까지를 반복하여 측정한다.
- 6.4.3.15 결과 중 최대 전자파흡수율이 측정되는 조건에서 저주파수대역과 고주파수 대역에서 전자파흡수율을 측정한다.
- 6.4.3.16 제6.4.3.15호까지의 측정 데이터를 기록하고 각 측정값에 유효성 검사오차를 고려하여 기록한다.
- 6.4.3.17 제6.4.3.16호에서 측정값과 유효성검사오차가 고려된 값중 가장 높은 전자파흡수율 값을 최대 전자파흡수율 값으로 결정한다.

## 7. 측정결과 보고

- 7.1 전자파흡수율 측정 결과에 대한 시험성적서와 측정환경, 측정방법, 측정결과 및 측정장비 등의 기술적 정보를 나타낸 측정결과보고서를 첨부하여야한다.

[별표 1]

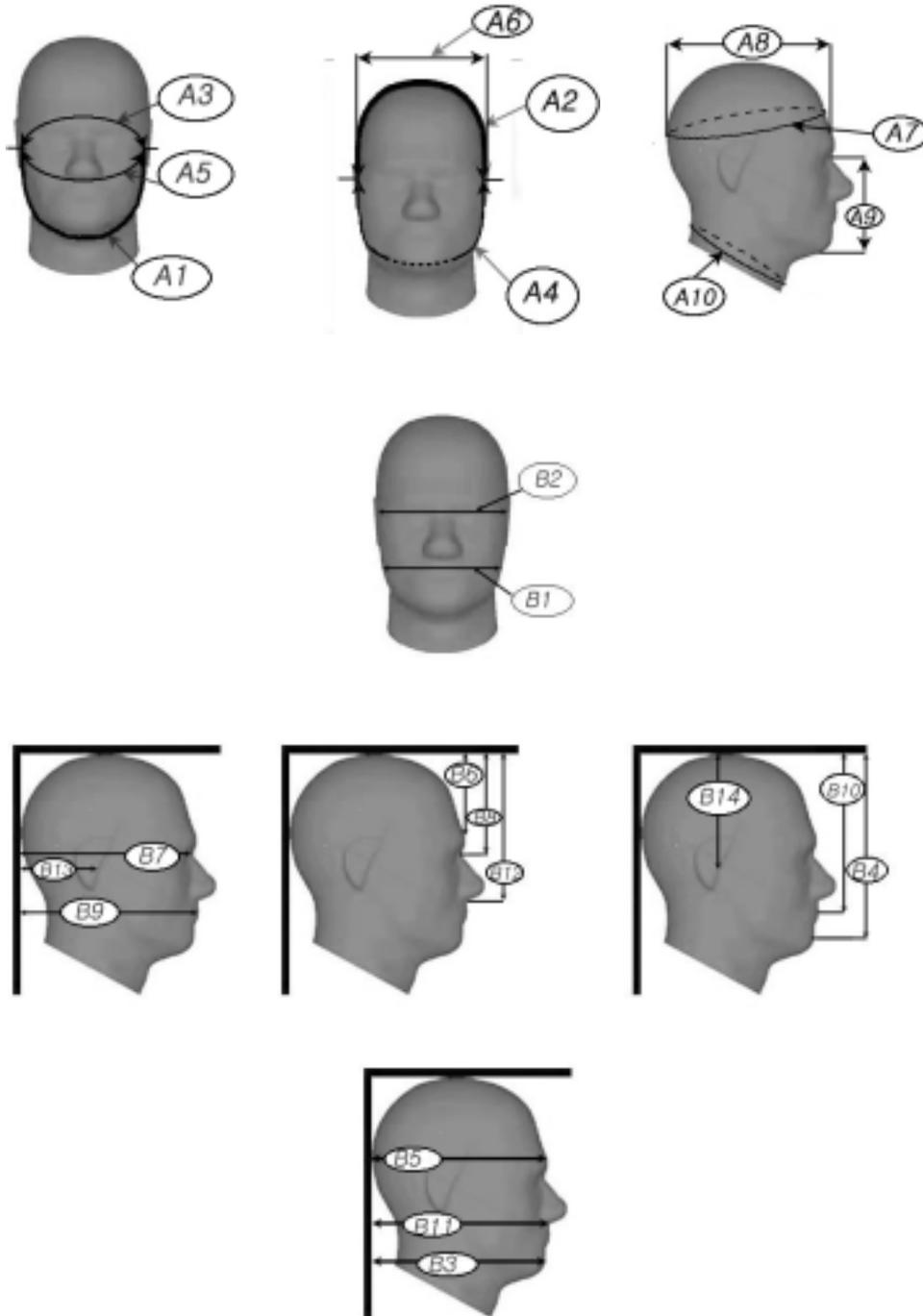
모의인체 머리조직 전기정수

(측정온도 : 20℃ ~ 23℃)

주파수 [MHz]	상대 유전율( $\epsilon_r$ )	전기전도도( $\sigma$ ) [S/m]
300	45.3	0.87
450	43.5	0.87
<b>835</b>	<b>41.5</b>	<b>0.90</b>
900	41.5	0.97
1450	40.5	1.20
<b>1800</b>	<b>40.0</b>	<b>1.40</b>
1900	40.0	1.40
2000	40.0	1.40
2450	39.2	1.80
3000	38.5	2.40

[별표 2]

모의인체 치수(모의인체 제작 예)



[그림1] 모의인체 형상

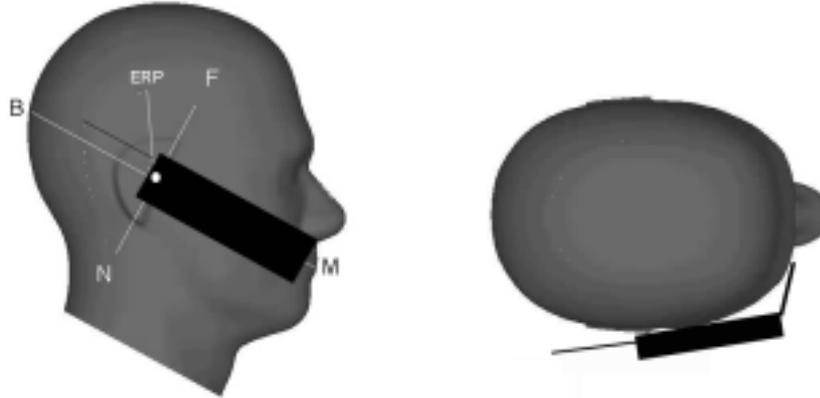
명칭	해부학적 구조	치수 (mm)
A1	두 이도사이의 턱 원호 길이	329.3
A2	두 이도사이의 두정 원호 길이	367.3
A3	두 이도사이의 이마 원호 길이	314.1
A4	두 이도사이의 아래턱 원호 길이	333.5
A5	두 이도사이의 코아래 원호 길이	305.3
A6	두부 폭	158.4
A7	두부 둘레	594.8
A8	두부 길이	206.0
A9	턱과 비근점 사이의 거리	125.0
A10	목 둘레	395.4

명칭	해부학적 구조	치수 (mm)
B1	턱관절 사이의 직선 거리	130.0
B2	두 이도사이의 직선 거리	152.7
B3	턱과 뒷머리사이의 거리	206.5
B4	턱과 윗머리사이의 거리	220.4
B5	미간 중심점과 뒷머리사이의 거리	209.2
B6	미간 중심점과 윗머리사이의 거리	104.4
B7	비근점과 뒷머리사이의 거리	205.3
B8	비근점과 윗머리사의 거리	121.7
B9	입중심점과 뒷머리 사이의 거리	211.4
B10	입중심점과 윗머리사이의 거리	196.3
B11	비하점과 뒷머리사이의 거리	213.0
B12	비하점과 윗머리사이의 거리	177.6
B13	이도와 뒷머리사이의 거리	106.4
B14	이도와 윗머리사이의 거리	138.2

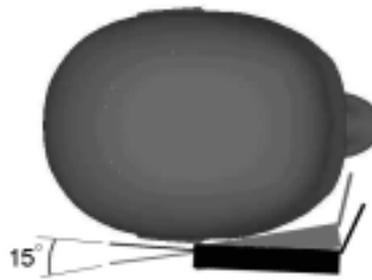
[표1] 모의인체 치수

[별표 3]

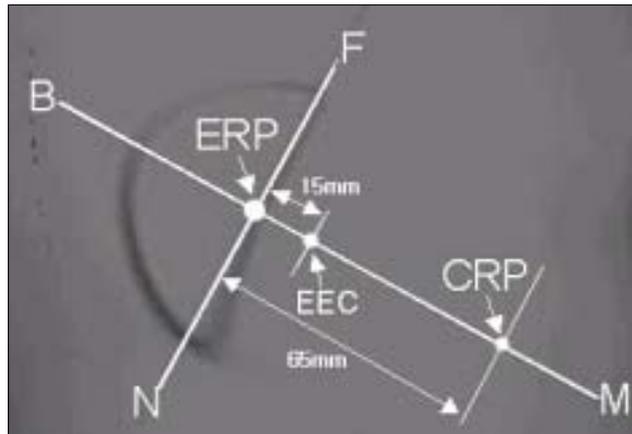
시험위치



[그림2] 접촉위치

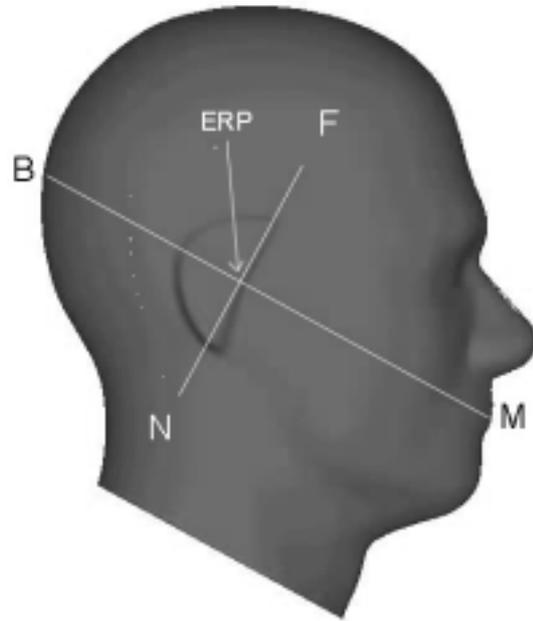


[그림3] 경사위치

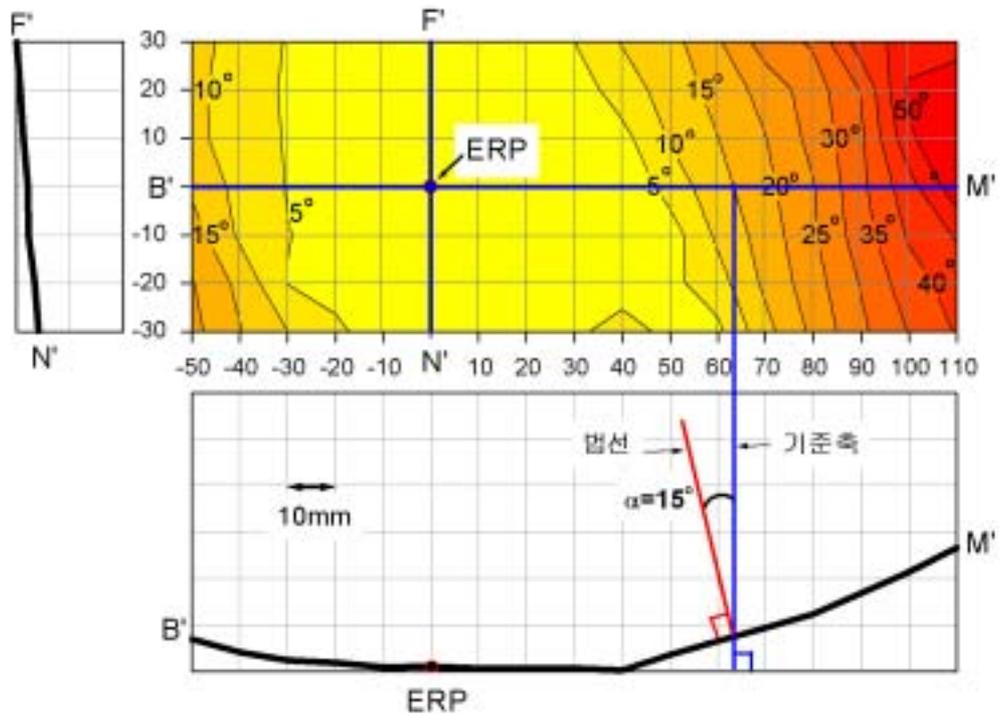


[그림 4] 귀기준점(ERP)과 이도(耳道, EEC) 및 뺨기준점(CRP) 위치

[별표 4]



[그림 5] 곡선 B-M, 곡선 F-N 및 귀기준점(ERP)의 위치



[그림 6] 모의인체 내부표면의 법선과 기준축 사이의 각도( $\alpha$ )

## 참고문헌

- [1] American National Standard-Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300 GHz, ANSI/IEEE C95.1-1992.
- [2] Douglas A. Hill, "Waveguide Technique for the Calibration of Miniature Implantable Electric-Field Probes for Use in Microwave-Bioeffects Studies", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-30, no. 1, January 1982.
- [3] DRAFT Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Body Due to Wireless Communications Devices: Experimental Techniques, IEEE SCC 34, Draft 6.5(IEEE Std 1528-200X), August 2001.[17] J. P. Bérenger, "A perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic waves", *Journal of Computational Physics*, vol. 114, no. 2, pp. 185-200, October 1966.
- [4] Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC OET Bulletin 65 (Edition 97-1).
- [5] 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.
- [6] Howard I. Bassen, and Glenn S. Smith, "Electric Field Probes-A Review", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-31, no. 5, September 1983.
- [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] Karls S. Kunz, and Raymond J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press Inc.,

Chapter 7, 1993.

- [9] Kari Jokela, Petri Hyysalo, and Lauri Puranen, "Calibration of specific Absorption Rate(SAR) Probes in Waveguide at 900 MHz", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 47, no. 2, April 1998.
- [10] Klaus Meier, Michael Burkhardt, Thomas Schmid, and Niels Kuster, "Broadband Calibration of E-Field Probes in Lossy Media", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 10, October 1996.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Niels Kuster, Quirino Balzano, and James C. Lin, *Mobile Communications Safety*, Chapman & Hall, pp. 17-19, 1997.
- [15] Niels Kuster, Ralph Kästle, and Thomas Schmid, "Dosimetric Evaluation of handheld Mobile Communications Equipment with Known precision", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, pp. 645-652, May 1997.
- [16] 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.
- [17] 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"<sup>††</sup>, *Bioelectromagnetics*, 20:93-101, pp. 93-101, 1999.
- [18] Probe Design and Calibration Requirements(SSI/DRB-TP-D01-032), *APREL Near Field Measurements Laboratory*, March 1998.
- [19] Qishan Yu, Magnus Aronsson, Ding Wu, and Om P. Gandhi, "Automated SAR Measurements for Compliance Testing of Cellular Telephones"<sup>††</sup>, *Proceeding of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 4, pp. 1980-1983, 1998.
- [20] Quirino Balzano, Oscar Garay, and Thomas J. Manning, Jr., "Electromagnetic Energy of Simulated Users of Portable Cellular Telephones"<sup>††</sup>, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 44, no. 3, pp. 390-403, August 1995.
- [21] Taki M, Watanabe S, and Nojima T, "FDTD Analysis of Electromagnetic Interaction between Portable Telephone and Human Head"<sup>††</sup>, *IEICE Transactions on Electronics*, vol. E79-C, no. 10, pp. 1300-1307, October 1996.
- [22] Yee, K. S., Shao, and J. G. Webster, "Impedance of skeletal muscle from 1 Hz to 1 MHz"<sup>††</sup>, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-14, 302, 1966.