

# 제 출 문

본 보고서를 「전자기장의 인체노출 측정기술  
개발 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 . 12 . 31 .

연구책임자 : 백정기 (충남대학교)

연구보조원 : 정남호 (충남대학교)

가원석 (충남대학교)

도현정 (충남대학교)

## 요 약 문

1. 과 제 명 : 전자기장의 인체노출 측정기술 개발 연구
2. 연 구 기 간 : 2003. 02. 01 ~ 2003. 12. 31
3. 연구책임자 : 백 정 기
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		
o 국제 표준화 활동 참여 - IEC/TC106 WG 회의 참여 - IEC/TC106 전체회의 참가  o IEC 기술문서에 대한 검토 - 심의문서에 대한 검토의견서 제출 - 현재 진행중인 과제 · Project 62209 · Project 62233 · Project 62226 · Project 62232 · Project 62311 · Project 62334 · Project 62369  o 표준화 문서 번역 - 주요 쟁점사항에 대한 기술문서 번역, 배포 등	연 구 책 임 자 외 8명													계 획  진 도	
분기별 수행진도(%)		20%			30%			30%			20%				

나. 세부 과제별 추진사항

(1) 국제 표준화 활동 참여

(가) IEC/TC106 전체회의 및 WG3 회의 참석

(나) BEMS 회의 참가

(2) IEC 심의 문서 검토 및 의견서 제출

(가) 5개 문서에 대한 검토의견서 제출

- 106/49/CD - 10건에 대한 검토의견서 제출
- 106/52/CDV - 검토결과 기술문서에 찬성 투표함
- 106/53/CDV - 검토결과 기술문서에 찬성 투표함
- 106/55/CD - 15건에 대한 검토의견서 제출
- 106/58/CD - 5건에 대한 검토의견서 제출

(나) 국제기준(IEC/TC106) 동향 파악

- 각 Working Group별 기준 제·개정 변화 동향 조사
- EMF인체노출위원회 회의 및 작업반 회의를 통하여 국제기준 동향을 전달

다. 표준화 문서 번역 및 감수

(1) 표준화 연구과제의 번역을 위하여 용어정의

(2) 6개 문서 번역 및 감수

- 106/41/NP - 기술문서 번역문 감수
- 106/55/CD - 기술문서 번역 및 감수
- 106/61/CDV - 기술문서 번역
- 106/52/CDV - 기술문서 번역
- 106/53/CDV - 기술문서 번역
- 106/58/CD - 기술문서 번역

## 5. 연구 결과

### 가. IEC TC106 기술문서 의건서 작성

- (1) 300MHz ~ 3GHz 주파수범위의 휴대폰에 대한 SAR측정 절차 (106/49/CD) - 10건에 대한 검토의견서 제출
- (2) 저주파 및 중간 주파수 범위에서의 전기장 또는 자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 밀도 및 전기장의 계산 방법 Part 1: 범위, 참고용어 및 용어정의(106/52/CDV) - 검토결과 기술 문서에 찬성 투표함
- (3) 저주파 및 중간 주파수 범위에서의 전기장 또는 자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 밀도 및 전기장의 계산 방법 Part 2: 자기장에 대한 노출 Section 1: 2D 모델(106/53/CDV) - 검토결과 기술문서에 찬성 투표함
- (4) 전자기장 인체노출에 관련된 기본 한계치에 대한 전자, 전기 기기의 적합성 평가에 대한 일반 제품 표준 (0 Hz ~ 300 GHz) - 15건에 대한 검토의견서 제출
- (5) 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 인체 노출량 측정 방법(106/58/CD) - 5건에 대한 검토의견서 제출

### 나. IEC의 표준화 기술문서 번역

- (1) 표준화 연구과제의 번역을 위하여 용어정의
- (2) Project 62369 : 0 ~ 300 GHz 주파수 범위에서 전자기장에 대한 인체 노출 평가 - 도난 방지, 전자 물류(EAS), 무선 식별(RFID), 유사한 기기, 보안, 자산/품목 추적 및 감시, 원격 지령, 제어, 원격 측정을 위하여 사용되는 장치, 유사한 단거리 및/또는 저 전력 무선 기기에서 발생하는 장(106/41/NP)
- (3) Project 62311 : 인체노출 관련, 전자기장(0 Hz ~ 300 GHz)의 전기 및 전자제품 적합성평가 승인을 위한 판정기준 (106/55/CD)

- (4) Project 62209 : 300 MHz ~ 3 GHz 주파수범위의 휴대폰에 대한 SAR 측정 절차(106/61/CDV)
- (5) Project 62226 : 저주파 및 중간 주파수 범위에서의 전기장 또는 자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 밀도 및 전기장의 계산 방법 Part 1: 범위, 참고용어 및 용어정의(106/52/CDV)
- (6) Project 62226 : 저주파 및 중간 주파수 범위에서의 전기장 또는 자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 밀도 및 전기장의 계산 방법 Part 2: 자기장에 대한 노출 Section 1: 2D 모델 (106/53/CDV)
- (7) Project 62233 : 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 인체 노출량 측정 방법(106/58/CD)

#### 다. 국제 표준화 회의 참가

##### (1) IEC TC106 전체회의 및 WG3 회의 참가

(가) 회의 장소 : 캐나다 몬트리올('03년 10월 12일 - 17일)

(나) 회의내용

- 1) IEC/TC106 전체회의 : 각 WG 별 연구과제 진행상황 보고, IEEE, CENELEC과의 협력활동 및 토의
- 2) WG3 회의 : PT62334(인체노출 관련, 고주파(100 kHz ~ 300 GHz) 전자기장의 측정 및 평가) 에 대한 연구방향 등에 대하여 토의

##### (2) BEMS 회의 참가

(가) 회의 장소 : 미국 하와이('03년 6월 19일 - 27일)

(나) 회의내용 : IEEE SCC34 및 ICES(이전의 SCC28)의 SG 회의에 참가하여 표준화 문서 검토 및 동향 분석, 인체영향 연구 동향 파악

※ IEEE와 IEC는 표준문서 공동로고 협정을 체결하였으며, IEEE의 SCC34와 ICES는 IEC/TC106에서의 표준화에 대한 영향력이 강화되고 있어 참가하는 것이 필요함)

## 라. 논문 발표

(1) 전파기술세미나('03년 6월 27일), 전파연구발표회('03년 12월 19일)

## 6. 기대효과

가. 전자기장 인체 노출량 측정기술 확보를 통한 국민건강보호 방안 제시

나. 전자기장의 인체영향 관련 정책지원 및 산업체 기술지원

## 7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
PC	Pentium IV	4	자료정리 및 분석			
노트북 PC	Pentium IV	1				

# SUMMARY

In this study, we analyzed and investigated the IEC/TC106 documents relevant to measurement and calculation methods for assessing human exposure to EMF in the low and high frequency range, and suggested our opinion for the document under review process. In addition, we also studied the policies and recent activities of IEC/TC 106.

More specifically, a generic standard for compliance test of electronic and electrical devices with respect to basic restrictions related to human exposure to EMF has been studied.

Regarding the measurement standard in low frequency range(power line frequency), measurement methods for magnetic and electric fields from domestic appliances with regards to human exposure have been investigated.

In the low and intermediate frequency range (up to 100 kHz), calculation methods of induced currents in human body by electric or magnetic fields in low and intermediate frequency range have also been studied, which are based on very simple analytical models of coupling between external fields and body.

For high frequency electromagnetic fields(100 kHz ~ 300 GHz), we studied measurement and evaluation method for SAR or EMF with regards to human exposure, including a number of representative cases, such as mobile phone, EAS, RFID, etc..

The results of our research would lead to development of EMF measurement technology, protection of people from EMF exposure, and more strong international competitiveness of domestic industry.

# 목 차

표 목 차 .....	x
그 립 목 차 .....	xii
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 IEC TC106의 동향 .....	3
제 1 절 IEC TC106의 연구동향 .....	3
제 2 절 IEC TC106의 회의 결과 .....	10
제 3 절 IEC TC106의 WG3 회의 결과 .....	18
제 4 절 국제 생체전자과학회 회의 결과 .....	20
제 3 장 106/53/CDV 기술문서의 내용 .....	25
제 1 절 해석적 모델 .....	25
제 2 절 수치 모델 .....	27
제 3 절 2D 모델 - 계산 가설 및 계산결과 .....	30
제 4 절 모델의 타당 검증 .....	60
제 4 장 106/58/CD 기술문서의 내용 .....	62
제 1 절 적용 범위.....	62
제 2 절 측정 방법.....	64
제 3 절 자속 밀도 측정을 위한 시험 조건.....	77
제 4 절 노출 제한치의 예.....	85
제 5 장 106/49/CD 기술문서의 내용 .....	88
제 1 절 측정시스템 규격 .....	88



제 2 절 SAR 평가 프로토콜 .....	105
제 3 절 불확정도 평가 .....	132
제 4 절 측정보고서 .....	161
 제 6 장 106/55/CD 기술문서의 내용 .....	163
제 1 절 전기 전자제품의 특성 파라미터 .....	163
제 2 절 적합기준 및 기준의 적합성 평가 .....	165
제 3 절 제품의 평가방법 .....	167
제 4 절 다중주파수를 소스로 가진 제품의 평가 .....	178
제 5 절 평가보고서 .....	186
 제 7 장 기술문서 심의 .....	187
제 1 절 106/49/CD 기술문서의 심의 .....	187
제 2 절 106/52/CDV 및 106/52/CDV 기술문서 투표 .....	191
제 3 절 106/55/CD 기술문서의 심의 .....	193
제 4 절 106/58/CD 기술문서의 심의 .....	197
 제 8 장 결 론 .....	199
 참고문헌 .....	201

## 표 목 차

표 2.1 분야별 발표 논문 현황 .....	22
표 3.1 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) ...	37
표 3.2 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) ...	38
표 3.3 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) ...	39
표 3.4 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) ...	40
표 3.5 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) ...	44
표 3.6 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) ...	45
표 3.7 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) ...	47
표 3.8 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) ...	48
표 3.9 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) .....	53
표 3.10 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) .....	55
표 3.11 원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ ) .....	56
표 3.12 원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ ) .....	58
표 4.1 측정 거리, 센서 위치, 동작 조건 .....	79
표 4.2 10 GHz 이하 주파수의 시변 전자기장에 대한 기본 한계 .....	85
표 4.3 직업인의 시변 전자기장에 노출에 대한 기준 레벨 ...	86
표 4.4 일반인의 시변 전자기장에 노출에 대한 기준 레벨.....	86
표 4.5 3 kHz 이상에서 신체의 여러 가지 영역에서 적용되는 제한치 .....	87
표 4.6 자기장 제한치 : 두부 및 몸통의 노출 .....	87
표 5.1 모의인체 외형과 관련된 머리 치수 .....	92
표 5.2 SAM 모의 인체와 CAD 파일의 설계를 위한 특정 지침 .....	93
표 5.3 액체 재료의 유전 특성 .....	98

표 5.4	기준 다이폴의 기계적 치수 .....	112
표 5.5	기준 다이폴 및 평면 모의인체를 위한 수치적 기준 SAR 값 .....	116
표 5.6	표 D.1에서 기준SAR 값의 교정을 위해 이용되는 파라미터 .....	117
표 5.7	온도프로브를 이용한 전달 교정에 대한 불확정도 분석 .....	137
표 5.8	도파관 내부의 분석적 전자기장 분포를 이용한 기법에 대한 불확정도 분석 .....	140
표 5.9	기준 안테나 이득 평가에 대한 불확정도 분석 .....	141
표 5.10	기준 안테나를 이용한 기법에 대한 불확정도 분석 .....	143
표 5.11	노출 평가의 측정 불확정도 문서화 .....	159
표 6.1	전신 SAR 배제 전력 레벨의 결정 .....	172

## 그 립 목 차

그림 3.1	디스크에서의 전류 밀도선 $J$ 와 $J$ 의 분포	31
그림 3.2	$J=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 스폿(spot)분포( $H=Cte$ ). 가장자리에 $J_{max}=0.390 \cdot 10^{-5} A/m^2$ .	32
그림 3.3	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포( $H=Cte$ ). $J_{imax}=0.375 \cdot 10^{-5} A/m^2$ .	33
그림 3.4	무한 직선 전선에 의해 생성되는 자기장에서의 디스크	34
그림 3.5	전류밀도 선 $J$ 와 디스크에서의 $J$ 의 분포	35
그림 3.6	디스크의 직경에 따라 유도 전류 밀도의 스폿 분포 (왼쪽) 및 적분분포(오른쪽)	35
그림 3.7	전류 밀도 선 $J$ 와 디스크에서의 $J$ 의 분포	36
그림 3.8	디스크의 직경에 따라 계산된 유도 전류 밀도의 적분분포	36
그림 3.9	한개의 무한 전선에서 $K$ 값( $R=100mm, 0 < d < 300mm$ )	37
그림 3.10	한개의 무한 전선에서 $K$ 값( $R=100mm, 0 < d < 1900mm$ )	38
그림 3.11	한개의 무한 전선에서 $K$ 값( $R=200mm, 0 < d < 300mm$ )	39
그림 3.12	한개의 무한 전선에서 $K$ 값( $R=200mm, 0 < d < 1900mm$ )	40
그림 3.13	두 개의 무한 길이 전선에 의해 생성되는 자기장에서의 도전성 디스크	41
그림 3.14	디스크 내에서의 전류 밀도 선 $J$ 와 $J$ 의 분포	42
그림 3.15	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경상에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포	42
그림 3.16	디스크 내에서의 전류 밀도 선 $J$ 와 $J$ 의 분포	42
그림 3.17	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포	43
그림 3.18	두개의 무한 전선에서 $K$ 값( $R=100mm, 0 < d < 300mm$ )	43

그림 3.19	두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ )	45
그림 3.20	두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ )	47
그림 3.21	두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ )	48
그림 3.22	코일에 의해 생성되는 자기장내에서의 도전성 디스크(코일반경 50mm)	50
그림 3.23	전류 밀도 라인 J와 디스크 내의 J의 분포 (코일반경 50mm, 거리 5mm)	51
그림 3.24	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포(코일반경 50mm, 거리 5mm)	51
그림 3.25	전류 밀도 라인 J와 디스크 내의 J의 분포 (코일반경 200mm, 거리 5mm)	52
그림 3.26	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포(코일반경 200mm, 거리 5mm)	52
그림 3.27	전류 밀도 라인 J와 디스크 내의 J의 분포 (코일반경 10mm, 거리 115mm)	52
그림 3.28	$J_i=f[r]$ :디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포(코일반경 10mm, 거리 115mm)	53
그림 3.29	원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ )	53
그림 3.30	원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ )	54
그림 3.31	원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<300\text{mm}$ )	56
그림 3.32	원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ , $0<d<1900\text{mm}$ )	57
그림 3.33	균일 자속 밀도에서의 도전성 디스크	60
그림 3.34	디스크의 유한 요소 메쉬(2차원 삼각형) 및 세부 내용	60
그림 3.35	연구된 시스템	61
그림 3.36	여러 다른자기장 소스에 대해서 결합 계수 K값과 소스 와의 거리의 파라미터 곡선	61

그림 4.1	기준 레벨에 대한 평가로부터 시작하는 시험 방법 선정 에 대한 권고 .....	74
그림 4.2	평화된 끝을 갖는 기준 레벨 주파수에 대한 의존성의 예 .....	75
그림 4.3	그림 2의 기준 레벨과 대응하는 전달 함수 A의 예 .....	75
그림 4.4	기준 방법의 회로도도 .....	76
그림 4.5	측정 위치 주변 .....	82
그림 4.6	측정 위치 : 윗면/정면, 3.2.7 참조.....	82
그림 4.7	유도 호브 및 가열기의 측정 거리.....	84
그림 5.1	표 4.1의 치수에 대한 설명 .....	91
그림 5.2	귀 부근을 보여주는 모의인체 측면의 확대도 .....	93
그림 5.3	관련 기호를 보여주는 모의인체의 측면도 .....	94
그림 5.4	확장된 경계를 가진 사상봉합을 따라 (sagittally) 이등분된 모의 인체 .....	95
그림 5.5	귀 기준점, 입 기준점 및 중앙 스트립을 보여주는 모의인체의 그림 .....	96
그림 5.6	관련 기호를 보여주는 모의인체의 측면도 .....	96
그림 5.7	기준면 B에서 M까지의 SAM 횡단면도 .....	97
그림 5.8	시스템 성능 검사용 장치 .....	108
그림 5.9	기준 다이폴의 기계적 세부 내용 .....	111
그림 5.10	장치에서의 기준선 및 기준면의 정의 - 고정된 경우 .....	118
그림 5.11	장치에서의 기준선 및 기준면의 정의 - 폴더형 ...	119
그림 5.12	두부 왼쪽에서 무선 기기의 “접촉” 위치 .....	119
그림 5.13	두부 왼쪽에서 무선 기기의 “경사” 위치 .....	120
그림 5.14	시험 절차도 .....	121
그림 5.15	3점법 .....	126

그림 5.16 접선 표면 방법 .....	126
그림 5.17 평균화 방법 .....	127
그림 5.18 평균화의 도출 방법 .....	128
그림 5.19 SAR 데이터 외삽 .....	130
그림 5.20 수직적으로 구형 도파관을 이용할 때의 변환 인자의 평가를 위한 실험장치 .....	138
그림 5.21 장치의 설명 .....	140
그림 5.22 액체 모의 조직에서 구면 등방성으로부터의 편차를 평가하는데 이용되는 장치 .....	144
그림 5.23 기준 안테나를 이용한 축 등방성 측정 .....	145
그림 5.24 기준 안테나를 이용한 반구 등방성 측정 .....	146
그림 6.1 최대 선형 크기 D를 갖는 안테나의 기하학(Geometry) .....	168
그림 6.2 구형 좌표의 원점에서의 전류 요소 $Id\sin(\omega t)$ .....	169
그림 6.3 $E^2$ , $H^2$ , $E \times H$ 등의 장 구성 요소의 비율 .....	170
그림 6.4 900 MHz 장 영역의 계산 결과 그래프 .....	171

## 제 1 장 서 론

최근 무선통신의 급격한 발달로 인하여 전자파는 시간과 장소의 제약을 받지 않고 무선통신을 가능케 하는 가장 유용한 수단으로 보급되고 있으며 또한 전자·전기기기의 사용증가로 인하여 의도적이든 비의도적이든 전자파에 대한 인체 노출이 증대되고 있다. 고주파대의 전자파를 이용하는 휴대폰의 경우 극도로 근접하여 사용하므로 그 피해 가능성이 더욱 크다고 볼 수 있으며, 각종 무선통신·방송을 위한 송신소 주변에는 고출력 전자파 방사로 인한 피해를 예상할 수 있다. 또한 변전소·고압선 주변의 주민들은 60 Hz 전자파에 장기간 노출되어 신체적 이상을 일으킬 가능성이 있기 때문에 전자파에 대해 무지한 송신소 및 변전소·고압선 주변 거주민들에 의한 민원이 끊임없이 발생하고 그 빈도도 급격히 증가하고 있다. 이와 같이 사람들은 현대 정보화사회의 필수요소인 전자파에 대한 막연한 불안감 때문에 통신기기 혹은 가전기기 등을 안심하고 사용할 수 없는 상황에 처해 있다.

이에 세계보건기구(WHO)에서는 2007년까지 어떤 주파수의 전자파가 어느 정도로 인체에 흡수되면 어떤 반응이 발생하는가에 대한 정량적인 분석기법을 개발하여 유해 전자파로부터 사람들을 보호하기 위하여 통일된 기준(노출에 대한 기본적인 및 기준레벨)을 제정하고자 국제 EMF 프로젝트를 수행하고 있다. 국제전기기술위원회(IEC)는 TC85/WG15의 하나의 작업반에서 소극적으로 추진하고 있던 전자기장 인체노출량을 평가하기 위한 측정방법 및 계산방법의 국제표준화 작업을 1999년 10월에 새로운 기술위원회로 독립시켜 TC106을 설립하였으며, 0 ~ 300 GHz의 주파수범위에서 기본적인 및 기준레벨에 적용하여 인체노출과 관련된 전자기장 환경의 특성 측정, 전자기장의 측정방법, 특정한 전자기장 발생원에 의해 발생하는 노출을 계산하여 평가하는 방법 등을 연구하고 있다.

IEC/TC 106에서는 전자기장의 인체노출량 평가와 관련한 측정과 해석에 대한 국제적인 표준을 제정하며, 기기간의 간섭을 다루는 CISPR와는 달리 건강과 밀접한 관계가 있어 전세계적으로 관심이 집중되고 있는 분야이다. 또한 0 - 300 GHz 대역의 모든 전자파 방출기기를 포함하고 있어 다루는 범위가 매우 방대하고, 기술적이 전문성을 요구하며, 대상기기별로 별도의 측정표준이 있어야 하는 특이성을 가지고 있다. 그리고 대상기기가 매우 다



양하여 그 시장규모가 방대하며 또한 관련산업에 미치는 파급효과도 매우 클 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 IEC/TC106에서 전자기장 인체 노출량 평가를 위한 측정방법 및 계산방법에 대한 국제 표준화 회의에 참석하여 우리나라의 입장을 강화하고 EMF인체노출표준위원회를 운영하여 표준화 기술문서를 연구 및 심의를 통하여 검토 의견서를 제출하였다. 또한 표준화 기술문서를 번역하고 감수하여 저주파·고주파 전자기장 인체노출량의 측정 및 평가에 대한 정책 및 기술을 산·학·연 관련 기관에 지원함으로써 국내 전자기장 측정기술의 발전을 도모함과 동시에 국민건강 보호 및 국내산업의 경쟁력 확보에 크게 기여할 것이다.

## 제 2 장 IEC TC106의 동향

### 제 1 절 IEC TC106의 연구동향

#### 1. IEC/TC 106 개요

##### 가. 개괄

IEC TC106은 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.

##### 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, 터키, 러시아, 영국, 미국의 총 25개국이 정식대표로 참가하고 있으며, 체코, 헝가리, 포르투갈, 슬로바키아, 슬로베니아, 타일랜드의 총 6개국이 옵저버로 참가하고 있다.

##### 라. 조직

IEC TC106의 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 TC106에는 현재 진행중인 과제 8개가 있으며 NP(New work item Proposal) 단계의 문서가 3개, CD(Committee Draft) 준비 단계의 과제가 2건, CDV(Committee Draft for Vote) 단계의 과제가 3건이 있다. 세부사항은 다음과 같다.

### 가. WG 1

: 저주파수(0 ~ 100 kHz) 전기장 및 자기장, 유도전류의 측정, 계산 방법. - 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 : Mr.F. Deschamps

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/5/NP	24 March 2000	
· ANW	106/12/RVN	25 August 2000	15 August 2000
· 1CD	106/26/CD	25 January 2002	30 June 2002
· ACDV	106/37/CC	30 August 2002	31 May 2002
· CCDV	106/52/CDV	7 March 2003	30 October 2002

- ADIS 15 November 2003
- DEC 15 March 2004

- 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 : Mr.F. Deschamps

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/5/NP	24 March 2000	
· ANW	106/12/RVN	25 August 2000	15 August 2000
· 1CD	106/27/CD	8 February 2002	
· ACDV	106/42/CC	18 October 2002	31 July 2002
· CCDV	106/53/CDV	7 March 2003	31 December 2002
· ADIS			15 November 2003
· DEC			15 March 2004

## 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

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
---------	----------	------	-------------

---

· PNW 106/4/NP	21 January 2000	
· ANW 106/16/RVN	15 September 2000	15 June 2000
· 1CD 106/34/CD	19 July 2002	30 June 2002
· A2CD 106/51/CC	17 January 2003	31 December 2002
· 2CD 106/58/CD	18 July 2003	24 October 2003

#### 다. WG 3

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

○ Project 62334 Ed 1.0 : 인체노출과 관련된 고주파(9 kHz ~ 300 GHz) 전자기장의 측정 및 평가.

- Project Leader : David Baron

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
---------	----------	------	-------------

---

· PNW	<u>106/25/NP</u>	25 January 2002	
· ANW	106/30/RVN	7 June 2002	15 June 2002
· MERGED		8 June 2002	(Merged from 62334 f1 Ed 1.0)
· 1CD			31 December 2003
· CDV			June 2004
· FDIS			December 2004

#### 라. WG 4

: 특정 소스에 의해 발생하는 전자기장 및 SAR의 특성 묘사 -  
 Vertical standards or Technical Specification(product and

product family standards)

- Project 62209 : 300 MHz ~ 3 GHz 주파수범위의 휴대폰에 대한 SAR측정 절차 - Part 1 : 휴대용 이동 무선 통신기기

- Project Leader : Matthias Meier

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/2/NP	24 December 1999	
· ANW	106/9/RVN	26 May 2000	15 May 2000
· 1CD	106/24/CD	14 December 2001	30 June 2001
· A2CD	106/31/CC	14 June 2002	31 May 2002
· 2CD	106/49/CD	21 November 2002	30 September 2002
· A3CD	106/57/CC	18 July 2003	18 July 2003
· CDV	106/61/CDV	1 August 2003	9 January 2004

- Project 62232 : 이동전화 기지국에서 발생하는 전자기장.

- Project Leader : Mr. B. Eicher

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/7/NP	5 May 2000	
· ANW	106/14/RVN	15 September 2000	30 September 2000
· 1CD			30 October 2003

- Project 62369-1 Ed 1 : 0 ~ 300 GHz 주파수 범위에서 전자기장에 대한 인체 노출 평가 - Part 1 : 보안, 도난 방지, 전자 물류(EAS), 무선 식별(RFID), 유사한 기기에서 발생하는 장

(Assessment of human exposure to electromagnetic fields in the frequency range 0-300 GHz - Part 1: Fields produced by devices used for Electronic Article Surveillance, Radio Frequency Identification and similar systems)

- Project Leader : Ian Brooker

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/41/NP	4 October	2002
· ANW	106/54/RVN	14 March 2003	28 February 2003
· 1CD			30 May 2003
· CDV			May 04
· FDIS			September 05

- Project 62369-1 Ed 1 : 0 ~ 300 GHz 주파수 범위에서 전자기장에 대한 인체 노출 평가 - Part 2 : 보안, 자산/품목 추적 및 감시, 원격 지령, 제어, 원격 측정을 위하여 사용되는 장치, 유사한 단거리 및/또는 저 전력 무선 기기에서 발생하는 장  
(Assessment of human exposure to electromagnetic fields in the frequency range 0 ~ 300 GHz - Part 2: Fields produced by devices used for Alarms; Alert; Asset tracking, monitoring and protection; Detection; Security; Telecommand and control; Telemetry and similar Short Range and/or Low Power Radio Devices)

- Project Leader : Ian Brooker

- HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/41/NP	4 October	2002

- ANW 106/54/RVN 14 March 2003 28 February 2003
- 1CD 31 May 2003
- CDV May 04

## 마. WG 5

: 일반표준(generic standard)

○ Project 62311 : 인체노출 관련, 전자기장(0 Hz ~ 300 GHz)의 전기 및 전자제품 적합성평가 승인을 위한 판정기준

– Project Leader : Ch. Verholt

– HISTORY OF THE PROJECT

· Stage	Document	Date	Target Date
-----			
· PNW	106/20/NP	16 March 2001	
· ANW	106/23/RVN	30 November 2001	31 July 2001
· 1CD	106/55/CD	16 May 2003	5 September 2003
· A2CD			30 October 2003
· CDV			December 2004
· FDIS			July 2005



## 제 2 절 2003 IEC TC106 회의 결과

1. 회의일자 : 2003. 10. 13

2. 장 소 : 캐나다 몬트리올

3. 회의결과

가. 개회

- TC 106 의장인 Mr. Ronald Peterson의 환영인사로 회의가 시작.
- 위원소개 : 미국, 캐나다, 터키, 멕시코, 일본, 덴마크, 독일, 남아공, 중국, 프랑스, 영국, 한국 등 총 44명 정도 참석함.

나. Draft agenda 의결

- 의장단에 의해 수정 제안된 agenda를 의결, 당초 106/60/DA코드로써 발표된 회의 일정에 따라 진행하는 것을 의결함.

다. Piscataway 전 회의에 대한 unconfirmed minutes 의결

- Piscataway 회의록 문서 106/56/RM에 대해 의결하여 약간의 수정 요함.

라. 2003년도 제네바에서 개최된 Chairman Advisory Group 회의 보고

- 다음과 같은 주요 Topic/Issue에 대해 언급함.
  - PT62232에 대한 팀 Leader 문제
  - ICNIRP, IEEE의 specific safety standard에 대한 TC106 standards의 중립성
  - WHO, CENELEC 등과 연락

마. WG 의장 보고 결과 요약

- WG 1 : 저 주파수(0 Hz ~ 100 kHz) 전기장, 자기장, 유도전류 측정 및 계산 방법

- Project 62226 : 저 주파수 및 중간 주파수 대역의 전기장 혹은 자기장에 의한 인체 유도전류 계산 방법
  - Part 1 (106/52/CDV) : positive votes
    - Scope, term, definition 부분 95 % 찬성
  - Part 2 (106/53/CDV) : 100 %
    - Exposure to magnetic field 2 D models
    - Ongoing work : Exposure to magnetic field 3D models
  - Part 3 : Exposure to electric field (interest of power utilities)
- WG 2 : 특정 소스에서 발생하는 저 주파수 전기장 및 자기장의 묘사
  - Project 62233 (Leader : Mr. Alain Roux)
    - 가전기기에서 발생하는 저 주파수 자기장 및 전기장의 인체 노출량 측정방법
  - 관련 문서
    - 106/4/NP, 106/16/RVN, 106/34/CD, 106/51/CC, 106/55CD
  - Project Team의 2번의 회의에서 2nd CD (106/55/CD)준비(2003년 7월)하고, 검토의견(2003년 10월 24일)까지 받기로 함.
  - 주요 관점
    - 측정 불확실성 평가는 IEC 61786을 참조
    - General and specific test condition : 부록 A
  - 이 프로젝트는 product standard에 대한 것임.
  - Current scope limited low frequency (up to 100 kHz)
    - 현재의 scope가 100 kHz까지이므로 고주파수대의 측정이 필요할 때 다른 표준을 적용할 수 있음.
    - 예 : 마이크로 오븐 경우 저주파수대와 고주파수대가 공존, 따라서 고주파수대의 경우 safety standard IEC 60335가 적용됨
    - 이것은 WG 1의 scope의 변화를 의미, 왜냐하면 low freq. 와 high freq. 가 공존. 따라서 이 문제 대해 comment를 기다리기로 함. (앞으로 scope등의 변화사항은 cover page에 기록하도록 함)
- ※ Project(CD)의 scope가 변하면 WG 자체의 scope가 변하므로 이것은 TC 106 전체 회의에서 논의하기로 함

- WG3 (Convenor : Dave Baron) : 고 주파수(9 kHz to 300 GHz) 전자  
기장의 인체 노출량 측정 및 평가
  - 위원 추가 : 영국 2명, Camelia Gabriel, Phil Chawick
  - Project Team(62334)
    - 고 주파수(9 kHz ~ 300 GHz) 전자기장에 대한 인체 노출량 측  
정 및 평가
  - Project 문서에 대한 source는 CENELEC TC 106X, IEC TC85/WG5  
Draft Document, IEEE C95.3-2002로 이를 근거로 작업함.
    - 3개의 document content를 비교 설명
  - 터키에서 base station을 포함해야 하는 것이 아닌가에 관하여 문의  
하였으며, WG4 PT62232에 포함되어 있으므로 여기의 Project에  
NC(National Committee)가 Member를 추천하여 참여하는 것이  
좋겠다고 권고함
  
- WG 4 (Convenor : Kathy MacLean) : 특정 소스에서 발생하는 고 주  
파수 전자기장 과 SAR의 묘  
사(characterization)
  - 의장이 개요를 설명
  - 9 kHz에서 300 GHz 까지의 Product Standard에 관한 것임.
  - 3개의 Project Team 운영
  
  - Project 62209 (leader : Matthias Meier) : 휴대전화의 SAR 결정 절차
    - 관련 문서 : 106/2/NP, 106/9/RVN, 106/24/CD, 106/31/CC,  
106/49/CD, 106/57/CC, 106/61/CDV
    - Phantom definition 문제가 있음.
    - Part 1은 CDV가 작성된 상태임.
    - Part 2 : 액세서리, 무선 body worn device, wireless등의 측정 방  
법에 대한 것으로 30 MHz ~ 6 GHz의 범위로까지  
주파수 확장함.
  
  - Project 62232 : 이동 무선통신에 이용하는 기지국 근처의 RF 전파환

### 정의 묘사(characterisation)

- Project Leader 지명 : Bernhard Eicher에서 P. Zoliman (Vodafone UK)으로 변경
  - 2004년 말 혹은 2005년 초에나 CD가 나올 수 있을 것으로 예상
  - 2004년 1월 혹은 1사분기 내에 Project team meeting(NC member)을 최대한 빨리 추진기로 함
- Project 62369 (Leader : I Brooker) : 0 에서 300 GHz 사이 주파수의 전자기장에 대한 인체 노출량 평가
- Part 1 : Fields produced by devices used for Electronic Article Surveillance, Radio Frequency Identification and similar systems.
- Part 2 : Fields produced by devices used for Alarms; Alert; Asset tracking, monitoring and protection; Detection; Security; Telecommand and control; Telemetry and similar Short Range and/or Low Power Radio Devices
- CENELEC 50357로부터 transfer
  - National Committee에서 멤버 추천해 줄 것을 요청
  - 2004년 1사분기 CD 예정
  - 62369와 62209의 part2사이의 scope에 대한 구분이 필요
- PT 62209 보고 (M. Meier)
- 2003년에 프로젝트 팀은 11개국, 24명이 참석, 6차례 회의를 가졌으며, 38개의 문서를 작성하였음.
  - 향후 추진 계획
    - Part 1 : 2003년 혹은 2004년 CDV
    - Part 2 : 2004년 CD, 2005년 CDV 혹은 2004년 CD, 2005년 2nd CD
  - Part 1의 현 상황을 보고함
    - CD 문서 : 106/49/CD
    - 한국을 비롯하여 NC로부터 Comments를 받음

- 106/61/CDV의 voting을 위한 위원회초안 작성
- Part 2 : 3 MHz에서 6 GHz영역에서 Two way radio, Wireless palmtop terminal, Wireless desktop terminal, Wireless body mounted devices에 대한 SAR 평가 절차
- 시험위치, 시험절차 최적화, 팬텀, 액체, 교정, 불확실성 분석 등에 대한 문제 등.
- 2004년 1월까지 Part 2에 대한 CD 작성 예정
- 차기 회의 : 2004년 2월 예정

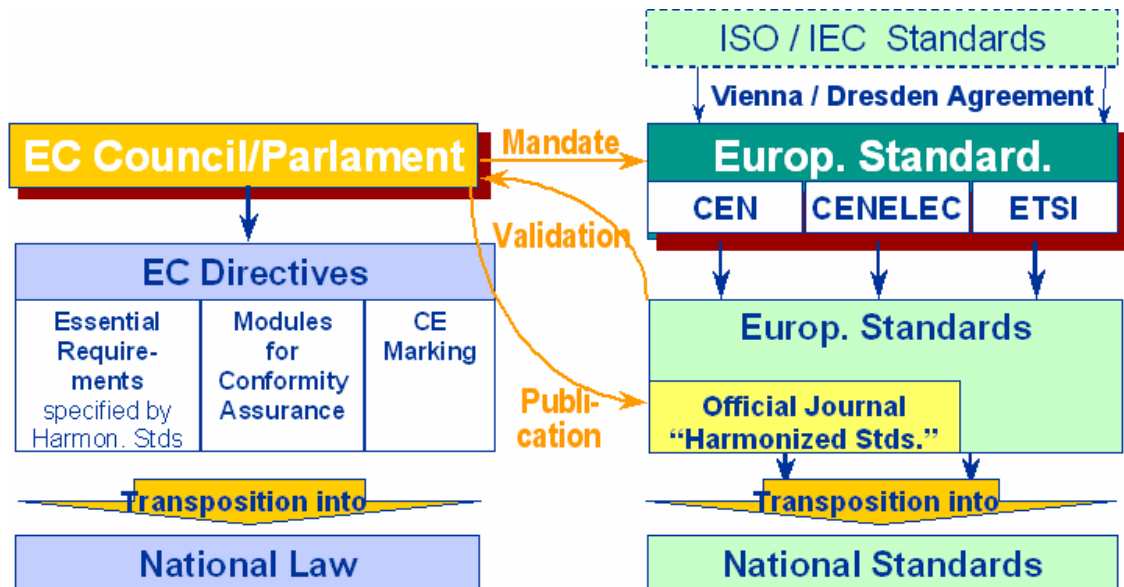
○ WG 5 (Convenor : Christian Verholt)

- Project 62311 : 전자기장(0 Hz ~ 300 GHz)의 인체노출 기본한계 (basic restrictions) 제한치에의 적합성 증명을 위한 일반 제품 표준
- 의장이 Project에 대해 간단히 언급하고 현재까지 진행사항을 설명함.
- 2003년, 1번의 meeting을 가졌으며, IEC/106/55/CD를 회람함
- 한국을 비롯하여 미국 등의 National Committee로부터 comment를 받음. → 많은 기술적 의견이 있었음.
- 다음 회의는 2004년 초 예정

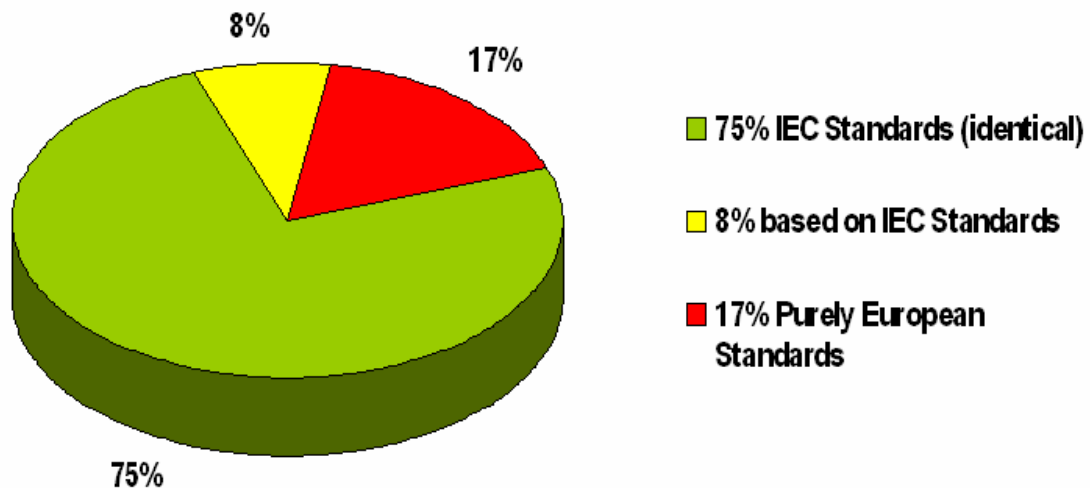
바. Coordination with CENELEC TC106X

○ CENELEC TC 106 X 표준화 활동

- 회의
  - 18th meeting, London, 2003년 4월 9~10일
  - 19th meeting, Athens, 2003년 10월 7~8일
  - Next meeting, Brussels, 2004-4월 6~7일
- CE marking
- Harmonized Standard



- CENELEC과 IEC Standard와의 관계



○ CENELEC TC106x WG

- WG 1: Mobile Phones and Basestations
- WG 2: EAS & RFID
- WG 3: Basic standards
- WG 4: Generic standards
- WG 7: Broadcasting
- WG 9: Inductive and dielectric heaters

- JWG 10/TC26a/TC106x: Arc welding
- JEG13/TC61/TC106x: Domestic appliances

○ WG의 Standard 및 Draft

- WG 1
  - EN 50360 Product standard for mobile phones
  - EN 50361 Basic Standard for mobile phones
  - EN 50383 Basic standard for base stations (general public)
  - EN 50384 Basic standard for base stations (workers)
  - EN 50385 Product standard for base stations (general public)
  - prEN50400 basic standard, prEN50401 Product standard, base station
  - proj. 14408 in situ measurement, base stations
  - proj. 14405 Mobile phones, body worn PS
  - proj. 13275 Mobile phones, body worn BS
  - Transferred to IEC TC106 PT 62209
- WG 2
  - EAS & RFID
  - EN 50357 Basic Standard containing assessment techniques
  - EN 50364 Product standard for harmonisation under R&TTED and LVD
  - Move EN50357 to IEC
- WG 3 : Basic standard
  - prEN 50413 Project number: 14409
  - “전기장, 자기장, 전자기장 (0 Hz ~ 300 GHz)의 인체 노출량 측정 및 계산 절차에 관한 basic standard”
- WG 4 : Generic standards
  - EN 50392 Generic standard to demonstrate compliance ...
  - replaced by IEC 62311

사. IEEE와의 관계

- 의장이 IEC TC 106 WG 4의 Project 62209와 IEEE SCC34 와 유사함을 언급하고 IEC가 앞서므로 IEEE에서 IEC를 따르기로 함.

아. 차기 회의

- General meeting : 2004년 10월, 서울
- 106 meeting : 2004년 10월초, 헬싱키  
(코펜하겐과 헬싱키 두 후보 지역에 대해 헬싱키로 결정)



### 제 3 절 2003 IEC TC106 WG3 회의 결과

1. 회의일자 : 2003. 10. 14 ~ 10. 15

2. 장 소 : 캐나다 몬트리올

3. 회의결과

○ 총 14명 참석

- 한국, 일본, 중국, 캐나다, 터어키, 네델란드, 미국, 독일

○ 위원을 safety group과 standard group으로 구성

- Dave Baron 의장이 National Committee에서 WG 3의 멤버를 추천해 줄 것을 요청

○ Project team setup : PT62334

- Ian Brooker(Ireland), Dave Baron(USA), C.K.Chou(USA), Martin Dahme(Germany), Ron Petersen(USA), Franck Placidet (Germany), Lauri Puranen(Finland), Arthus Varanelli(USA), Manfai Wong(France)

- Project Team member는 WG에서 지명하였음

- Source 문서

· CENELEC TC106X : Measurement and assessment of human exposure to high frequency (9kHz ~ 300 GHz) electromagnetic fields

· IEC TC85/WG5 Draft Document : 1st Draft Basic standard prEN50XX on measurement and calculation procedures to magnetic fields

· IEEE C95.3-2002 : IEEE Recommended Practice for Measurement and Computations of

Radiofrequency Fields with Respect to  
Human Exposure to Such Fields, 100  
kHz ~ 300 GHz

- WG/Project Scope : Measurement and Calculation Methods  
for High Frequency Electromagnetic  
Fields and SAR

○ 주파수 한계에 대한 이유를 논의

(9 kHz ~ 300 GHz or 100 kHz ~ 300 GHz)

- 9kHz 는 EMC로부터 근거한 것이라 설명하고, 참고로 미국의  
경우 3 kHz가 경계임을 언급함
- 100 kHz는 생체영향에 따른 메커니즘을 근거로 하는 경계임.  
(유도전류 vs SAR)
- IEEE C95.6 : 0 ~ 3 kHz까지 주파수 한계에 대한 이유 논의
- 한국에서 WG 2와의 주파수 경계에 대한 논의가 필요하다고  
제기하였으며, 의장도 이에 동의함.(예로 inductive cooking 등)

○ IEEE C95.3, IEC TC 85, CENELEC TC106X의 문서 목차 비교  
설명이 있었음.

- WG 4의 PT62209와의 SAR에 대한 차이점은 whole body  
exposure에 대해 다룬다는 점임.
- 세가지 문건에 대해 비교검토 후 WG 3의 Draft에 대한 목차를  
결정

○ 당일 IEC TC 106 WG 3, PT62234의 목차에 대해 논의하고 아  
래와 같이 잠정적으로 결정하여 CD 작업을 하기로 하였으며,  
CD는 2004년 2월로 예정하였음

## 제 4 절 국제 생체전자과학회(BEMS:Bioelectromagnetics Society) 회의 결과

### 1. IEEE ICES/SCC28 개요

#### 가. 전자파 안전 기준에 관한 표준화 기구

- 전자파 인체보호기준, SAR 기준 등을 제정
- 주파수 대역 : 3 kHz ~ 300 GHz

#### 나. 2003년 임시 회의

- 회의 장소 : 미국 하와이
- 회의 기간 : 2003년 6월 19일 - 6월 22일

### 2. IEEE ICES/SCC28 회의

#### 가. ICES(International Committee on Electromagnetic Safety)의 구성 및 임무

- 구성 : SCC28, SCC34
  - ※ SCC : Standards Coordinating Committee
- 임무 : 0 Hz에서 300 GHz 사이의 전자기장 에너지에 사람, 휘발성 물질, 그리고 폭발성 기기가 노출됨에 따른 잠재적 위험에 대한 전자기장의 안전 이용을 위한 표준 개발

#### 나. 회의 내용 : 기술문서 검토 및 토의

- 문서제목 : RF 전자기장의 인체노출에 대한 안전기준  
(IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz )
- 문서내용
  - 기본한계(SAR, 인체유도전류) 및 최대 허용 노출값(전자기장 세

기)

(3 kHz ~ 300 GHz)

- RF Safety Programs
- Safety factor
- 쟁점사항
  - SAR 평가 방법 (평균을 취하는 인체조직질량)
    - 1 gram 평균에서 10 gram 평균으로 수정
    - 이유 : ICNIRP(국제비전리복사방호위원회)와의 harmonization
- 향후전망
  - 본 문서(C95.1-200X Draft)에 10 gram 평균으로 수정되어 있으며,
  - FCC에서 이 draft를 채택하면 미국도 10 gram 평균 2 W/kg으로 SAR 기준이 변경될 것으로 추측됨.
  - 미국과 보조를 맞추고 있는 호주와 캐나다 등도 변경될 가능성이 큼.
- 향후계획
  - 미국 등 외국의 동향을 지속적으로 파악.
  - SAR 평가 방법이 10 gram 평균 2 W/kg으로 변경되었을 경우, 우리나라의 정책방향 및 대책을 사전 검토

### 3. BEMS(Bioelectromagnetics Society) 개요

가. 1978년부터 전자파의 “생체영향 분야”와 “인체 노출량 평가 분야”를 중심으로 매년 1회 회의 개최

나. BEMS2003은 제 25차 회의

- 회의 장소 : 미국 하와이
- 회의 기간 : 2003년 6월 22일 - 6월 27일

### 4. BEMS 회의 내용

가. 분야별 발표논문현황 : 총 323편

표 2.1 분야별 발표논문현황

	강 연		Poster		합 계
	RF	DC/ELF	RF	DC/ELF	
세포실험 (In vitro)	15편	11편	27편	49편	102
동물실험 (In vivo)	17편	8편	18편	13편	56
노출량 평가 (Dosimetry)	16편	2편	30편	7편	55
역학 (Epidemiology)	5편	3편	7편	3편	18
위험 및 안전기준 (Risk and Safety standards)	4편	2편	4편	2편	12
원리 (Mechanisms)	3편	3편	9편	9편	24
계측 및 방법 (Instrumentation and Methodology)	-	-	5편	3편	8
자원자 실험 (Human studies)	-	-	6편	12편	18
의료 응용 (Medical Application)	4편	2편	2편	-	8
기타	13편	12편	-	-	25
합계	77	43	108	98	326

#### 나. 세포실험(In vitro)

- 목적 : BBB(Blood Brain Barrier), 칼슘이온 등에 미치는 영향 조사
- Source 주파수 : ELF, RF, 381 MHz TETRA fields 등
- 결과 : 대부분 negative

#### 다. 동물실험(In vivo)

- 동물실험의 동향
  - EMF 노출과 암의 연관성 연구
    - 보통 2년 정도의 장기노출

- 암의 발생은 다단계이므로 initiator 또는 promotor로서 조사
- 행동 및 신경반응, 생식능력, 성장장애 등
- 노출량 평가기술(dosimetry)발달로 인한 실험의 정밀도 향상
- Source 주파수 : ELF, RF, millimeter wave 등
  - 밀리미터 파 : 42.2 GHz, 53.6 GHz, 61.2 GHz
- 러시아나 동유럽 국가에서 치료용으로 많이 사용
- 결과 : 대부분 negative

#### 라. 노출량 평가(Dosimetry)

- 대략적인 2차원 스캔을 이용한 SAR 평가 시간 단축(Motorola)
- SAR 시험시 사용하는 팬텀의 귓바퀴에 대하여 IEEE와 ICNIRP에서 권고하는 플라스틱 “귓바퀴(Pinna)”의 부적절.(미 유타대학)
- TETRA(Terrestrial Trunked Radio System), 블루투스 사용으로 인한 차량 내에 앉아있는 사람에서의 SAR 평가
- Body SAR 측정을 위한 인체 유사액체의 전기정수 제안.(Nokia)
- 차량에 설치된 mobile 안테나로부터의 안전거리 계산.(Motorola)
- 기지국 안테나로부터의 안전거리 계산.(이태리 “La Sapienza” 대학)
- 스파크 방전의 인체 조직과의 상호작용.(캐나다 Victoria대학)
- 도난정보장치(Anti-theft device)로부터의 전자파 인체 노출량 평가.(스웨덴 Chalmers대학)
- 전기면도기 등 가전기기에 의한 인체유도전류 계산.(일본 Utsunomiya대학)
- SAR 측정 시스템의 프로브 교정 관련 논문.
- SAR 측정 불확정도 평가 및 저감 방법.(이태리 di Pavia 대학)
- 휴대폰 SAR 분포의 통계적 분석.(미국 FCC, 일본 도쿄대학 및 CRL)
- 성인과 어린이에 있어서의 휴대폰 SAR 비교.(스페인)
- 전신 SAR 측정방법.(독일 Wuppertal 대학)
- 동물실험을 위한 각종 노출 장치의 설계와 관련한 논문이 다수.

#### 마. 역학(Epidemiology)

- 대상 : 이동전화 사용자, 기지국 주변 거주민, 전력선 주변 거주민
- 대부분의 논문 : 방법론적 논의
- 결과
  - 대부분 negative
  - 1건의 positive 결과 : ELF 노출이 알츠하이머병의 발병률 증가

#### 바. 자원자 실험(Human studies)

- 펄스 자기장 노출이 뇌파에 미치는 영향.(캐나다 Western Ontario대학)
  - 결과 : 영향 있음.(positive)
- 밀리미터파에 의한 인체 피부의 온도증가가 혈행(Blood flow)에 미치는 효과.(미국 Temple 대학)
  - 결과 : 변화 있음.(positive)
- VHF-UHF 대역 노출이 혈압에 미치는 효과.  
(폴란드 Nofer 직업의학연구소)
  - 결과 : 변화 있음.(positive)

#### 사. 원리(Mechanisms)

- 전자기장의 생체영향을 설명하기 위한 과학적 접근법
- RF 대역 주파수에서의 생물학적 분자의 진동 모드

#### 아. 의료 응용(Medical application)

- EMF 노출에 의한 혈행 증가
- 상처치료를 위한 전자기적 요법
- 자기장과 고통 경감: 물의 역할

## 제 3 장 106/53/CDV 기술문서의 내용

본 장은 "저주파수 및 중간주파수 범위에서의 전기장 또는 자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 밀도 및 전기장의 계산 방법"에서 자기장에 대한 노출의 2D 모델-106/53/CDV에 대하여 언급하고자 한다.

106/53/CDV는 106/27/CD에 대한 회원국의 의견(106/42/CC)을 반영하여 만들어진 문서이고, 106/27/CD에서 연구범위에 대한 내용이 추가되었으며 대부분은 편집상의 내용만 수정된 상태임

### 제 1 절 해석적 모델

#### 1.1 개요

자기장에 대한 인체 노출에 관한 지침은 일반적으로 유도 전류 밀도 또는 내부 전기장으로 표시된다. 이런 전기적 양은 직접 측정될 수 없으며, 본 문서의 목적은 외부 자기장으로부터 이러한 양을 평가하는 방법에 관한 지침을 제공하는 것이다.

유도 전류 밀도  $J$ 와 내부 전기장  $E_i$ 는 간단한 관계로 밀접하게 연결되어 있다:

$$J = \sigma E_i$$

여기서  $\sigma$ 은 도전율이다.

간소화를 위해, 본 표준의 내용은 유도 전류 밀도를  $J$ 로 표시하는 바, 내부 전기장의 값은  $J$ 로부터 앞의 공식을 이용하여 쉽게 도출될 수 있다.

해석적 모델은 단순 사례의 계산을 위해 또는 수치 계산을 검증하는데 이용될 수 있다.

일반적으로, 유도 전류, 내부 및 외부 전자기장 사이의 관계를 정량화하기



위해 해석적 모델을 이용하는 것은 몇 가지 이유로 비판을 받게 될 것이다:

- 인체는 비균질적인 구조이다.
- 관계는 전기 도전율과 평균 반경의 값에 직접적으로 의존한다.
- 자기장의 실제 분포는 소스가 코일과 자기 코어로 구성되거나 전류가 도전성 물질에서 유도될 경우 간단하게 계산될 수 없다.

## 1.2 균일 전자기장에 대한 기본 해석적 모델

가장 단순한 모델은 고려 대상 인체의 일부를 모델화하는데 이용되는 주어진 도전율의 균질적인 디스크 및 균일하고 단일 주파수에 있는 외부 자기장 사이의 결합이라는 가설에 기초한다. 그러한 모델은 예를 들면, ICNIRP 건강 물리학(vol. 74, n 4, 1998, 4, pp 496-522) 및 NRPB NRPB, 1993, 정전자기장 및 시변 전자기장 및 복사에 대한 인체 노출 제한치에 대한 위원회 보고서, Volume 4, No 5, 1 지침에서 이용된다.

이러한 모델링의 목표는 유도 전류와 내부 전자기장을 평가하기 위한 단순한 방법을 제안하는 것이다. 이러한 첫번째 접근법은 간단하며, 계산해야 하는 전기적 양의 엄격한 값을 제공한다.

교류 자기장에 대해서, 계산은 노출된 인체나 인체의 일부가 반경  $r$  인 원형 단면이며, 도전율을 갖는다고 가정한다. 계산은 최대 결합 조건 즉, 균일 자기장이 이 디스크에 수직인 상태에서 이루어진다. 이 경우, 반경에서의 유도 전류 밀도는 다음에 의해서 주어진다:

$$J(r) = \frac{r\sigma}{2} \frac{dB}{dt}$$

여기서  $B$ 는 자속 밀도이다.

주파수의 단일 주파수 자기장을 고려하면 다음과 같다:

$$J(r) = \sigma \pi f B$$

## 제 2 절 수치 모델

### 2.1 수치 모델에 관한 개요

전자기장 특성을 고려한 단순 모델은 균일 전자기장(해석적인 것)만을 고려하는 것보다 더 현실적이다.

알려진 바와 같이 전자기장은 맥스웰의 방정식에 의해 결정된다. 이러한 수식은 다음과 같은 다양한 수치 방법을 이용하여 2차원 또는 3 차원 구조로 정확하게 해결될 수 있다(2D 또는 3D 계산):

- 유한요소법(FEM)
- 경계 적분 방정식법(BIE 또는 BEM) 또는 모멘트법
- 차분법(FD)
- 임피던스법(IM)

다른 방법은 이것들로부터 도출된다. 예를 들면, 다음 방법은 차분법으로부터 도출된다:

- 시간 영역 차분법(FDTD)
- 주파수 의존 시간 영역 차분법((FD)2 TD)
- 스칼라 전위 차분법(SFPD)
- 혼성 방법 또한 모델링 향상을 위해서 개발되었다(예: FE+BIE).

이러한 방법은 전자기장 계산을 위한 업계 및 대학의 계획에 의해 타당성이 검증되었다. 상업적으로 이용할 수 있는 소프트웨어는 정상 상태 또는 과도 전류원 조건에서 뿐만 아니라 물질의 실제적인 기하학적 구조와 물리적인 특성을 감안함으로써 맥스웰 방정식을 정확하게 풀 수 있다.

수치법의 선택은 다음과 같은 많은 파라미터에 의존하는 정확성, 계산 효율성, 메모리 요구 사항 사이의 절충에 의해 이루어진다:

- 모의 전자기장 노출
- 모델화될 인체의 크기 및 외형
- 인체의 묘사 수준(voxel의 크기) 또는 메쉬의 세밀함
- 맥스웰 관계식의 일부를 무시하기 위한 주파수 범위(예: 저주파수에 대

한 변위 전류 항)

- 전기적 공급 신호(정현파적, 주기적 또는 과도)
- 분해능의 유형(2D 또는 3D)
- 수학 공식
- 선형 또는 비선형 물리 파라메타(도전율)
- 수치법의 성능 등

따라서, CPU 시간 계산은 상당히 달라질 수 있다.

모든 전자기장 값은 수치적으로 획득되며 다른 형태로 이용할 수 있다:

- 현상 및 가능한 핫 포인트의 시각적인 평가를 가능케 하는, 색 등방값 (color iso-value) 직선 또는 곡선의 형식으로 이루어진 자기장 H, 자속 밀도 B, 전기장 E, 전류 밀도 J의 분포.

H, B, E, J의 국부 또는 공간 평균 적분 값

- 전역 크기값: 활성 전력
- 이러한 방법은 특정 문제 해결에 많은 도움이 된다; 그러나, 그것은 일반적인 문제의 연구에는 편리하게 이용될 수 없다.

## 2.2 2D 모델 개요

전자기 현상을 이해하고 인체의 유도 전류에 관한 수치 정보를 신속하게 얻기 위해서는 자기장 분포를 갖는 단순한 인체(디스크)에 대해 2D 시뮬레이션이 실시될 수 있다.

맥스웰의 관계식(저주파 근사)으로부터 시작하여 한 수식만이 특정 수학 공식으로 얻어질 수 있다

$$\frac{1}{\sigma} \nabla^2 \bar{H}_r - \mu_0 \frac{\partial \bar{H}_r}{\partial t} = \mu_0 \frac{\partial \bar{H}_{ex}}{\partial t} \quad (4)$$

여기서

$H_{ex}$ 는 하나의 인덕터(전선, 코일)에 의해 생성되는 여기 전자기장

$H_r$ 은 다음에 의해 맴돌이 전류가 계산될 수 있는 유도 전자기장:

$$\vec{J} = \text{Curl}(\vec{H}_r) \quad (5)$$

수식 (4)는 그림 2에서 설명한 유한 요소법에 의해 해석되는 2D가 될 수 있다.

여기 자기장  $Hex$ 는 단순 전자기장 소스에 대해 해석적 관계로부터 계산된다(직접 계산 또는 수치 적분).

X, Y, Z 좌표가 이용된다. XY면은 유도 전류가 발생하는 디스크의 연구대상면이다.  $Hex$ 가 상수인 특별한 경우를 제외하고는 인덕터 코일은 동일한 면에 있다. Z축을 따라서는  $Hex$ 의 한 구성요소만을 감안한다. 디스크의 유도 전류는 두 구성요소  $J_x, J_y$ 를 갖는다.

전형적인 수치 결과는 RMS 전류 밀도, 전류 밀도 분포, 디스크의 직경에 대해 계산된 전류 밀도의 국부 분포 및 적분 분포로 제시된다.

## 2.3 생체 조직의 도전율

인체 모델링에 이용될 전기적 파라미터의 값은 계산 결과와 관련하여 아주 중요하다. 이런 파라미터의 직접적인 평가는 특히 저주파수 범위에 있어서 매우 민감하다. 나중에 본 문서에서 주어지는 모든 다른 수치 결과는 도전율에 선형적으로 의존하므로 필요한 경우 간단한 교정을 할 수 있다.

인체에 대한 도전율의 평균값은 일반적으로  $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 이다. 보다 최근의 실험 데이터에 기초하여 어떤 전문가들은  $\sigma = 0.22 \text{ S/m}$ 를 제안하였다.

기존의 참고 문헌과 일치하도록 하기 위하여 본 문서에서는  $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 의 값을 선택하였다.

### 제 3 절 2D 모델 - 계산 가설 및 계산 결과

장의 비균일성을 감안하기 위해, 기본 해석적 모델은 다음과 같이 정의된 결합 계수  $K$ 인 추가 파라미터를 수식(3)에 도입함으로써 조정될 수 있다:

$$K = \frac{J_{nonuniform}}{J_{uniform}}$$

여기서

$J_{nonuniform}$ 은 비균일 자기장에 노출된 디스크에서의 최대 유도 전류 밀도이다.

$J_{uniform}$ 은 균일 자기장에 노출된 디스크에서의 최대 유도 전류 밀도이다.

$J_{uniform}$ 은 수식(3)으로부터 도출된다:

$$J_{uniform} = J(r = R) = \sigma \pi R f B$$

균일 전자기장에 대해서  $K = 1$ 임을 주목하여야 한다. 자기장의 몇몇 특정 공간적인 배열에 대해서는 수치법으로서 결합 계수  $K$ 를 계산할 수 있다.

실제 경우에 있어서, 전자기장의 공간 배열은 수식으로 쉽게 설명할 수 없으며, 결합 계수  $K$ 는 추정만 할 수 있을 뿐이다.

주 1 계산된 유도 전류 밀도의 한 지점에서의 값은 본 문서에서 평균화되었다. 따라서, 위에 주어진  $J_{uniform}$ 과  $J_{nonuniform}$ 의 값은 전류 방향에 수직인  $1\text{cm}^2$ 의 횡단면에서 평균화된 값이다.

주 2  $K$ 의 값은 50 Hz의 주파수에서 계산된다. 이 값은 60 Hz의 주파수에 대해서도 유효하다.

### 3.1 균일 전자기장에서의 디스크

유도 전류는 도전율이 균일한 디스크에서 계산된다. 여러 가지 전자기장 소스 배치 사이의 비교(소스의 기하학적 배치 및 디스크와의 거리에 의존)를 위해 다음과 같은 표준 값을 선택하였다:

- $f$ , 주파수 = 50 Hz
- $B$ , 균일 자기장 = 1.25 T
- $R$ , 도전성 디스크의 반경 = 10 mm
- $\sigma$ , 도전율(균일) = 0.2 S/m

수식(3)의 값을 이용하면 디스크 가장자리에서는 다음과 같다.

$$J_{\max} = 0.395 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2 \quad (\text{해석적 계산})$$

유한 요소법을 이용한 수치 계산의 결과를 아래에 나타내었다:

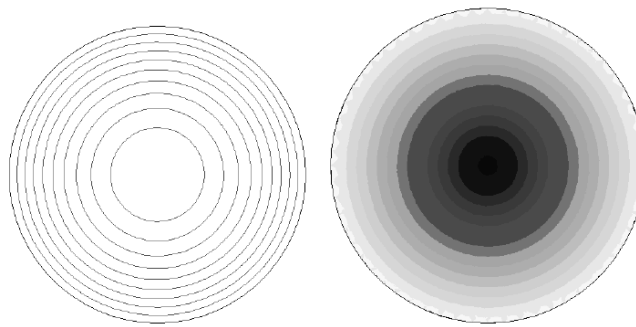


그림 3.1 디스크에서의 전류 밀도 선  $J$ 와  $J$ 의 분포

이 계산 결과, 디스크의 가장자리에서의 값은 다음과 같다:

$$J_{\max} = 0.390 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$$

$J_{\max}$ 의 이러한 수치 값은 해석 값과 같은 것으로 간주될 수 있다(수치 모델의 매칭 효과를 고려하여). 따라서 해석적 접근법 및 수치 접근법은 이런 단

순 사례에 유사한 결과를 제공한다.

유도 전류 밀도의 재분할은 디스크의 직경을 따르는 계산점 위치의 선형 함수이다.

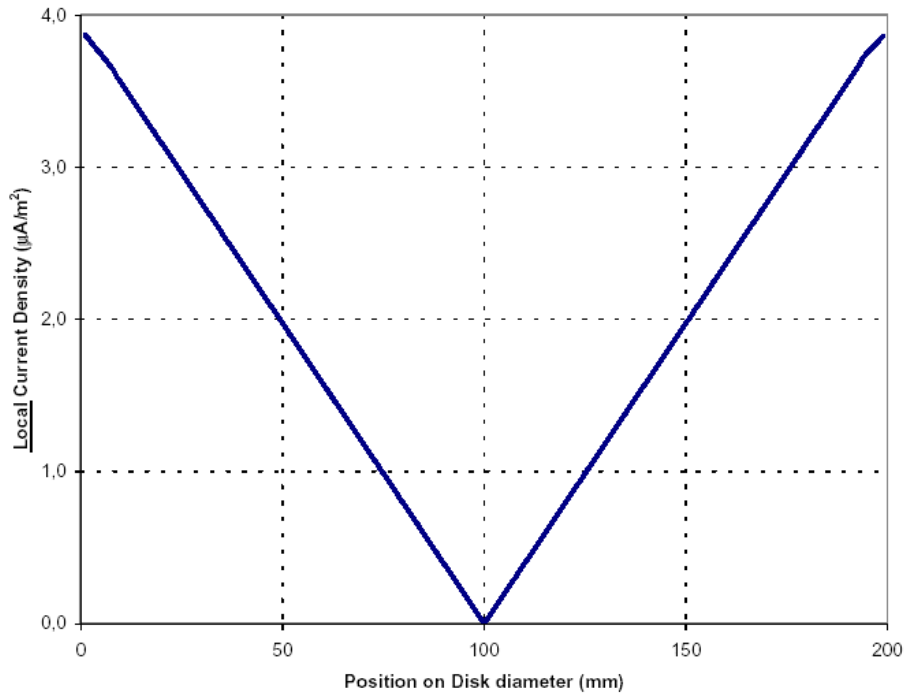


그림 3.2  $J = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 스폿(spot) 분포( $H = Cte$ ), 가장자리에서  $J_{max} = 0.390 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$ .

수치 매칭으로 인한 어떤 바이어스를 피하기 위해서는 계산된 스폿 값이 평균화되어야 한다. 본 문서에 포함된 계산에서, 전류 방향에 수직인  $1 \text{ cm}^2$ 의 정사각형 단면이 이용되었다.

대응하는 해석적 공식은 수식(3)의 적분이다:

$$J_i(r) = 1/r_m \int_{r-r_m/2}^{r+r_m/2} \sigma \pi f \alpha B d\alpha$$

여기서  $m$ 은  $1 \text{ cm}$ 와 같은 적분의 길이이다.

앞서 정의된 수치 값을 이용하면, 수식의 해석적 해는 다음과 같다:

$$J_{i_{\max}} = 0.375 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$$

이것은 수치 값:  $J_{\max} = 0.374 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$ 와 매우 유사하다. 적분으로 인해, 이 값은 스폿 값보다 더 낮다.

수치 적분 유도 전류 밀도 분포는 또한 특성이 같은 디스크의 직경에서의 계산점의 반경 위치의 선형 함수이기도 하다.

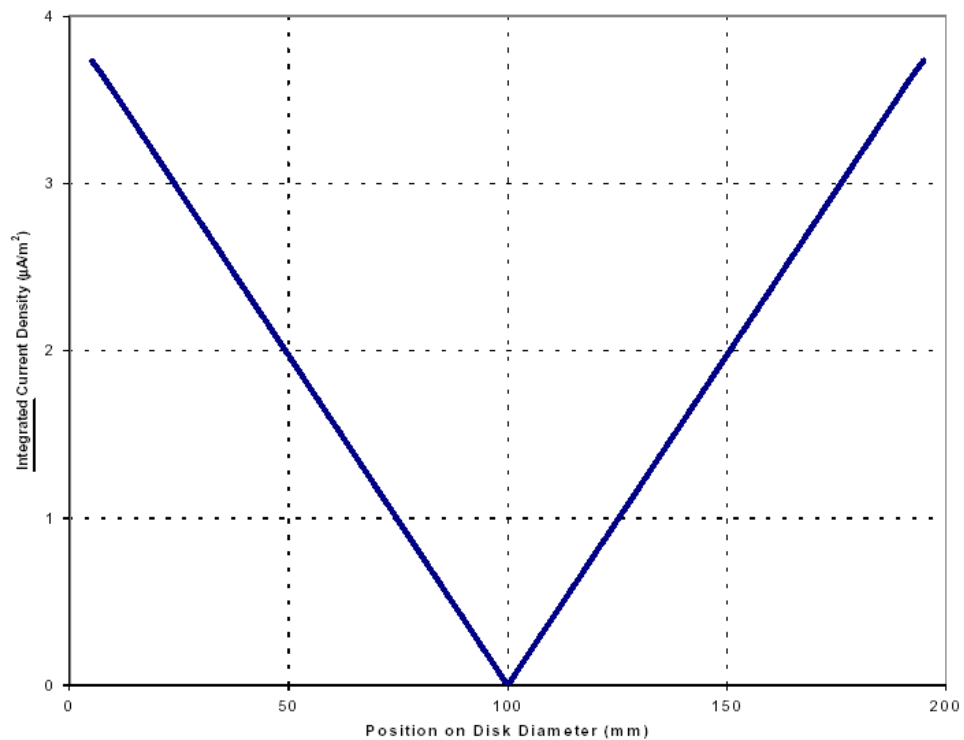


그림 3.3  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분 분포( $H = \text{Cte}$ ),  $J_{\max} = 0.375 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$ .



### 3.2 무한 길이 전선에 의해 생성되는 전자기장 내의 디스크

유도 전류는 도전율이 상수인 디스크에서 계산된다. 여러 다른 전자기장 소스 구성 사이의 비교(소스 대 디스크의 거리 기하학에 의존)를 가능케 하기 위해 다음과 같은 표준 값이 선택되었다:

- $f$ , 주파수 = 50 Hz
- $B$ , 균일 자기장 = 1.25 T
- $R$ , 도전성 디스크의 반경  $R = 100$  mm 또는 200 mm
- $\sigma$ , 도전율(균일) = 0.2 S/m

여기에서 전자기장 소스는 무한 직선 전선이다. 도전성 디스크와 전자기장 소스는 거리  $d$ 에서 동일한 면에 위치한다. 50 Hz 주파수 교류 전류는 전선을 통해 흐른다.

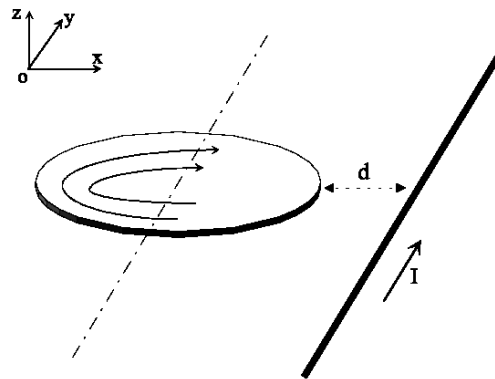


그림 3.4 무한 직선 전선에 의해 생성되는 자기장에서의 디스크

거리  $d$ 는 디스크의 가장자리와 소스의 더 가까운 부분 사이의 최소 거리이다. 계수  $K$ 의 전개는 다음에 대해서 거리  $d$ 와 비교하여 연구되었다:

- 소스에 가까운 노출:  $0 < d < 300$  mm
- 더 먼 거리에서의 노출:  $0 < d < 1900$  mm

유도 전류 계산의 결과를 위해 예에 대해서는  $d = 10$  mm, 100 mm, 1000 mm 3개의 거리에서 연구되었다.

### 3.2.1 $R = 100 \text{ mm}$ , $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 일때의 계산

#### 3.2.1.1. 계산결과 예

##### 3.2.1.1.1. 거리 $d = 10 \text{ mm}$

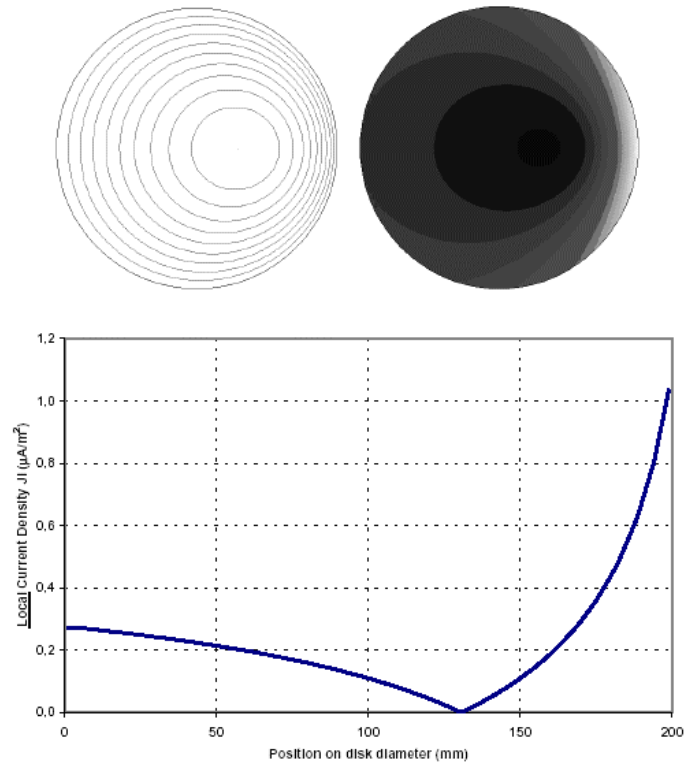


그림 3.5 - 전류 밀도 선  $J$ 와 디스크에서의  $J$ 의 분포  
(1개의 전선,  $d = 10 \text{ mm}$ )

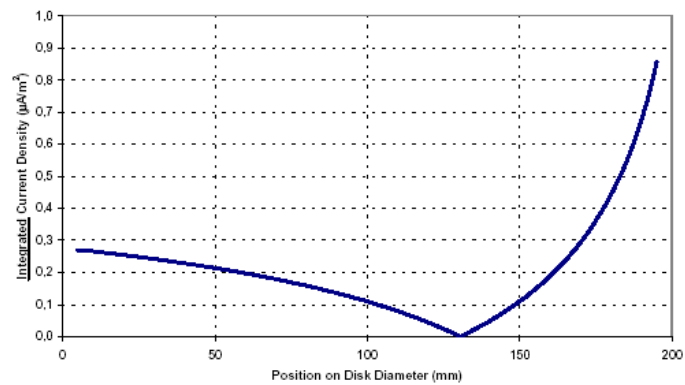


그림 3.6 - 디스크의 직경을 따라 계산된 유도 전류 밀도의 스폿 분포(왼쪽)

및 적분 분포(오른쪽) (1개의 전선,  $d = 10 \text{ mm}$ )

#### 3.2.1.1.1. 거리 $d = 100 \text{ mm}$

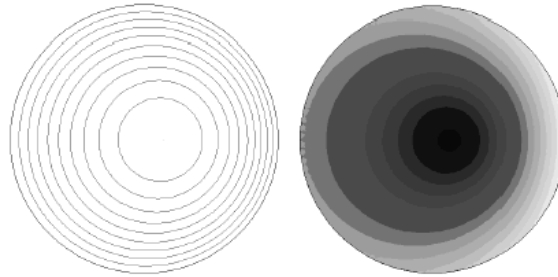


그림 3.7 - 전류 밀도 선 J와 디스크에서의 J의 분포  
(1개의 전선,  $d = 100 \text{ mm}$ )

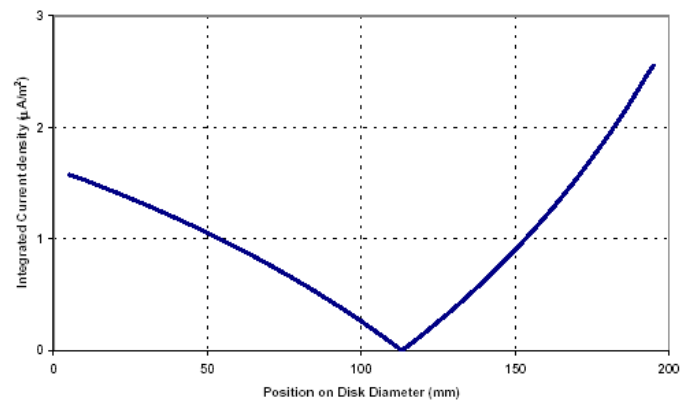


그림 3.8 - 디스크의 직경을 따라 계산된 유도 전류 밀도의 적분 분포  
(1개의 전선,  $d = 100 \text{ mm}$ )

#### 3.2.1.1.1. 거리 $d = 1000 \text{ mm}$

디스크의 직경상에서 계산된 유도 전류 밀도의 분포와 디스크에서의 전류 밀도 라인 J, J의 분포는 균일 장의 경우에 계산된 것과 유사하다.

소스와 디스크 사이의 거리  $d$ 가 멀면 멀수록 균일 장의 가설과의 차이점이 더 낮다:  $J_{\text{max}} = 0.353 \cdot 10^{-5} \text{ A/m}^2$

### 3.2.1.2. 결합 계수 K의 계산된 값

#### 3.2.1.2.1. 소스까지의 최단거리: $0 < d < 300 \text{ mm}$

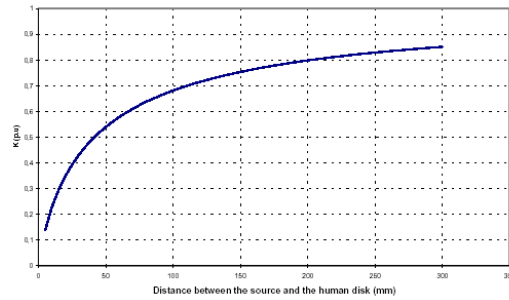


그림 3.9 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

표 3.1 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K
10	0.229	110	0.700	210	0.806
20	0.350	120	0.716	220	0.813
30	0.432	130	0.730	230	0.819
40	0.492	140	0.743	240	0.824
50	0.540	150	0.754	250	0.830
60	0.579	160	0.765	260	0.835
70	0.611	170	0.775	270	0.839
80	0.638	180	0.783	280	0.844
90	0.661	190	0.792	290	0.848
100	0.682	200	0.799	300	0.852

### 3.2.1.2.1. 더 먼 거리에서의 노출: $0 < d < 1900 \text{ mm}$

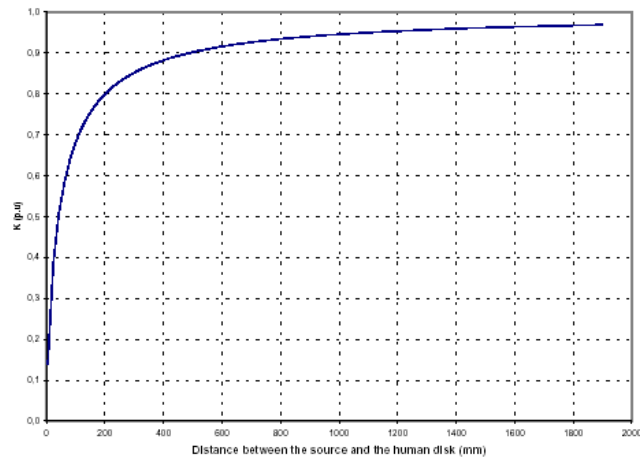


그림 3.10 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

표 3.2 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K
5	0.139	656	0.922	1307	0.957
43	0.509	694	0.926	1345	0.958
82	0.642	732	0.929	1383	0.959
120	0.715	771	0.932	1421	0.960
158	0.763	809	0.935	1460	0.961
196	0.797	847	0.938	1498	0.962
235	0.821	886	0.940	1536	0.963
273	0.841	924	0.942	1575	0.964
311	0.856	962	0.944	1613	0.964
350	0.869	1000	0.946	1651	0.965
388	0.879	1039	0.948	1689	0.966
426	0.888	1077	0.949	1728	0.966
464	0.896	1115	0.951	1766	0.967
503	0.903	1153	0.952	1804	0.968
541	0.908	1192	0.954	1843	0.968
579	0.914	1230	0.955	1881	0.969
618	0.918	1268	0.956		

### 3.2.2 $R = 200 \text{ mm}$ , $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 일때의 계산

#### 3.2.2.1. 소스에 가까운 노출 : $0 < d < 300 \text{ mm}$

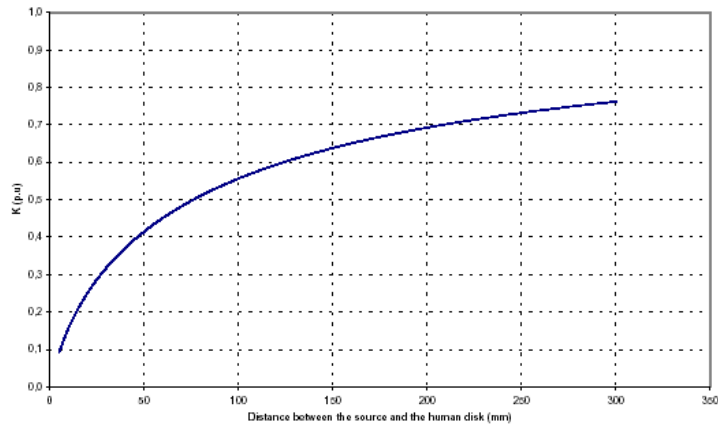


그림 3.11 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

표 3.3 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K
10	0.158	110	0.576	210	0.701
20	0.250	120	0.594	220	0.710
30	0.318	130	0.610	230	0.718
40	0.371	140	0.625	240	0.725
50	0.415	150	0.638	250	0.732
60	0.451	160	0.651	260	0.739
70	0.483	180	0.673	270	0.745
80	0.510	190	0.683	280	0.751
90	0.535	200	0.693	290	0.757
100	0.556			300	0.762

### 3.2.2.1. 더 먼 거리에서의 노출: $0 < d < 1900 \text{ mm}$

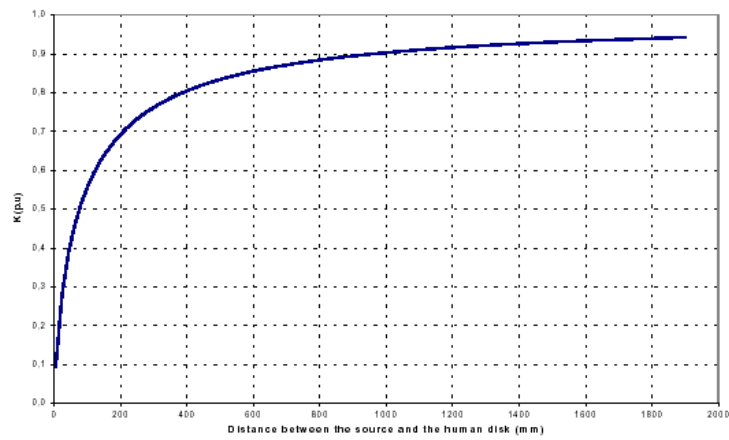


그림 3.12 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

표 3.4 한개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K	disk까지 거리(mm)	K
43	0.386	771	0.881	1345	0.924
120	0.593	809	0.885	1383	0.925
196	0.689	847	0.889	1421	0.927
273	0.747	886	0.893	1460	0.929
330	0.777	924	0.897	1498	0.930
350	0.785	962	0.900	1536	0.931
369	0.793	1000	0.903	1575	0.933
388	0.800	1039	0.906	1594	0.933
426	0.813	1077	0.909	1651	0.935
464	0.825	1115	0.911	1689	0.937
503	0.835	1153	0.914	1709	0.937
541	0.843	1192	0.916	1766	0.939
579	0.851	1211	0.917	1804	0.940
618	0.858	1230	0.918	1843	0.941
656	0.865	1249	0.919	1881	0.942
694	0.871	1268	0.920		
732	0.876	1307	0.922		

### 3.3 평형 전류를 가진 서로 가까운 두개의 무한 길이 평행 전선에 의해 생성되는 전자기장 내의 디스크

유도 전류는 도전율이 일정한 디스크에서 계산된다. 여러 다른 전자기장 소스 구성 간의 비교(소스의 기하학적 구조와 디스크까지의 거리에 의존)를 가능케 하기 위해 다음과 같은 표준 값이 선택되었다:

- $f$ , 주파수 = 50 Hz
- $B$ , 균일 자기장 = 1.25 T, 전자기장 소스에 더 가까운 디스크의 가장 자리에서
- $R$ , 도전성 디스크의 반경  $R = 100$  mm 또는  $200$  mm
- $\sigma$ , 도전율(균일) = 0.2 S/m

여기에서 자기장은 평형 전류를 갖는 두개의 무한 직선 평행 전선 세트(전기 송배전 전선의 간략화된 표현)에 의해 생성된다. 도전성 디스크와 전자기장 소스는 거리  $d$ 에서 동일한 면에 위치하며, 두 개의 전선은 거리  $e$ 만큼 떨어져 있다(그림 C.1 참조). 50 Hz 교류 평형 전류가 전선을 통해 흐른다.

결합 계수  $K$ 의 전개는 다음의 거리  $d$ 에 따라 연구되었다:

- 소스에 가까운 노출:  $0 < d < 300$  mm
- 더 먼 거리에서의 노출:  $0 < d < 1900$  mm

거리  $d = 5, 10, 20, 40, 80$  mm 각각에 대해서 계수  $K$ 는 두 전선 사이의 다른 거리  $e$ 에 대해 계산되었다. 이 계산결과 중, 다음 세 개의 거리에 대해서만 나타낸다:  $e = 5$  mm 인 7.5 mm, 97.5 mm, 900 mm.

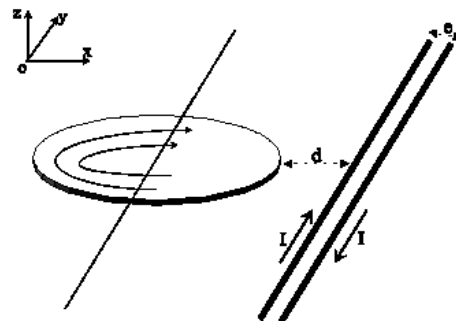


그림 3.13 두개의 무한 길이 전선에 의해 생성되는 자기장에서의 도전성 디스크



### 3.3.1 $R = 100 \text{ mm}$ , $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 일때의 계산

#### 3.3.1.1. 계산결과 예

##### 3.3.1.1.1. 소스와의 거리 $d = 7.5 \text{ mm}$

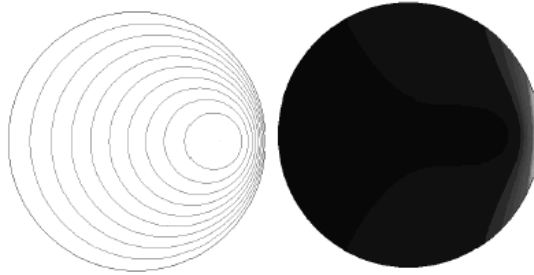


그림 3.14 디스크 내에서의 전류 밀도 선  $J$ 와  $J$ 의 분포  
(2개 전선,  $d = 7.5 \text{ mm}$ )

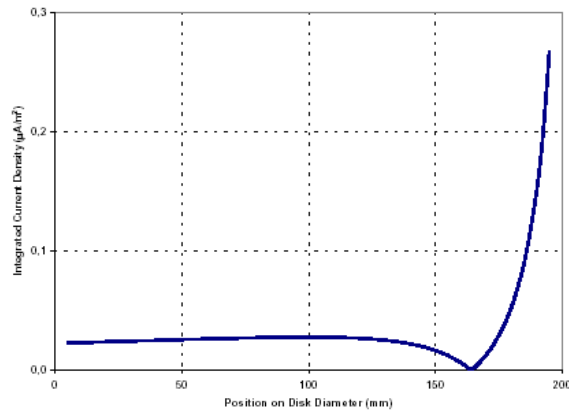


그림 3.15  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경상에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분  
분포(2개 전선,  $d = 7.5 \text{ mm}$ )

##### 3.3.1.1.2. 소스와의 거리 $d = 97.5 \text{ mm}$

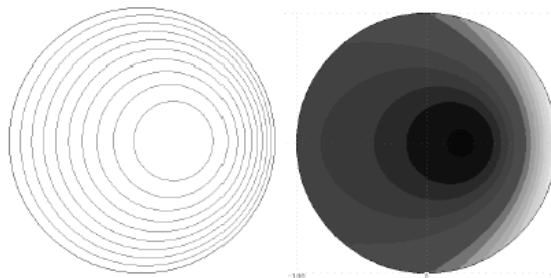


그림 3.16 - 디스크 내에서의 전류 밀도 선  $J$ 와  $J$ 의 분포  
(2개 전선,  $d = 97.5 \text{ mm}$ )

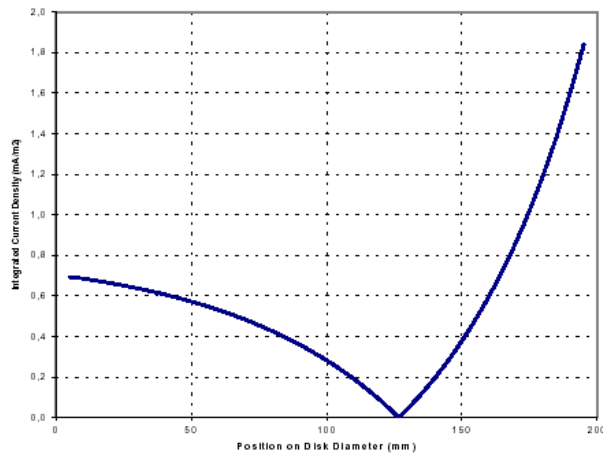


그림 3.17  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산한 유도 전류 밀도의 적분  
분포(2개 전선,  $d = 97.5$  mm)

### 3.3.1.1.3. 소스와의 거리 $d = 900$ mm

3.2.1.1.3(한 개 전선 구성)에서 주어진 경우와 유사한 계산 결과

### 3.3.1.2. 결합 계수 $K$ 의 계산 값

#### 3.3.1.2.1. 소스와 가까운 거리: $0 < d < 300$ mm

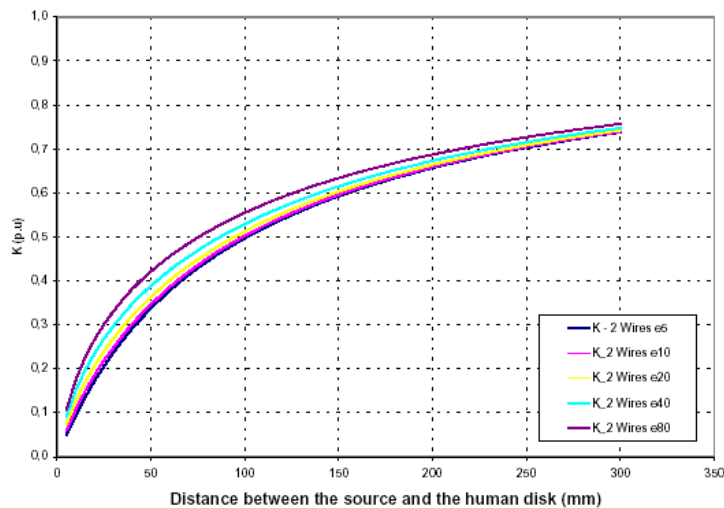


그림 3.18 두개의 무한 전선에서  $K$  값( $R=100$ mm,  $0 < d < 300$ mm)

표 3.5 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0<d<300\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	소스: 거리 e만큼 분리된 2개의 평행 전선				
	e = 5 mm	e = 10 mm	e = 20 mm	e = 40 mm	e = 80 mm
10	0.094	0.108	0.127	0.151	0.175
20	0.172	0.186	0.207	0.235	0.267
30	0.237	0.249	0.269	0.297	0.331
40	0.291	0.302	0.320	0.347	0.381
50	0.337	0.347	0.363	0.388	0.421
60	0.378	0.386	0.401	0.424	0.456
70	0.413	0.420	0.434	0.455	0.485
80	0.444	0.451	0.463	0.483	0.511
90	0.472	0.478	0.489	0.507	0.534
100	0.497	0.502	0.513	0.530	0.555
110	0.520	0.525	0.534	0.550	0.574
120	0.540	0.545	0.553	0.568	0.591
130	0.559	0.563	0.571	0.585	0.606
140	0.576	0.580	0.588	0.600	0.620
150	0.592	0.596	0.603	0.615	0.634
160	0.607	0.610	0.617	0.628	0.646
170	0.621	0.624	0.630	0.640	0.657
180	0.634	0.636	0.642	0.652	0.668
190	0.645	0.648	0.653	0.663	0.678
200	0.657	0.659	0.664	0.673	0.687
210	0.667	0.669	0.674	0.682	0.696
220	0.677	0.679	0.683	0.691	0.704
230	0.686	0.688	0.692	0.700	0.712
240	0.695	0.697	0.701	0.708	0.720
250	0.703	0.705	0.708	0.715	0.727
260	0.711	0.712	0.716	0.722	0.733
270	0.718	0.720	0.723	0.729	0.740
280	0.725	0.727	0.730	0.736	0.746
290	0.732	0.733	0.736	0.742	0.751
300	0.738	0.739	0.742	0.748	0.757

### 3.3.1.2.2. 소스와 원거리 : $0 < d < 1900 \text{ mm}$

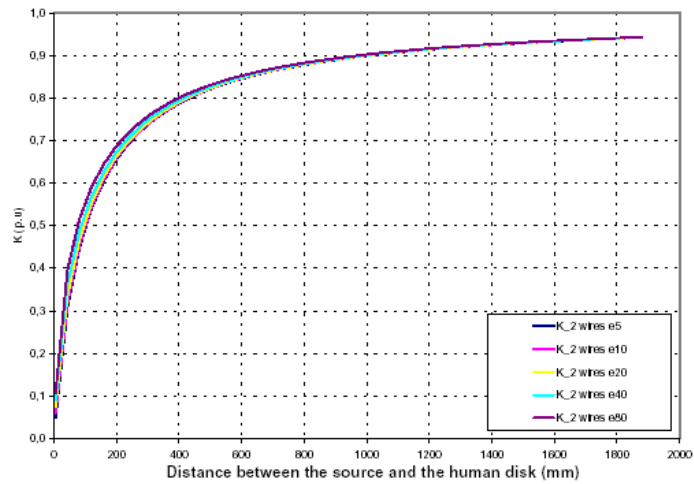


그림 3.19 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

표 3.6 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	소스: 거리 e만큼 분리된 평행 전선				
	e = 5 mm	e = 10 mm	e = 20 mm	e = 40 mm	e = 80 mm
5	0.049	0.060	0.075	0.091	0.107
43	0.307	0.317	0.335	0.361	0.395
82	0.449	0.455	0.467	0.487	0.515
120	0.540	0.545	0.553	0.568	0.590
158	0.604	0.608	0.614	0.626	0.644
196	0.653	0.655	0.660	0.669	0.684
235	0.690	0.692	0.696	0.703	0.716
273	0.720	0.722	0.725	0.731	0.741
311	0.745	0.746	0.749	0.754	0.763
350	0.765	0.766	0.769	0.773	0.781
388	0.783	0.784	0.786	0.789	0.796
426	0.798	0.799	0.800	0.804	0.809
464	0.811	0.811	0.813	0.816	0.821

503	0.822	0.823	0.824	0.827	0.831
541	0.832	0.833	0.834	0.836	0.840
579	0.841	0.842	0.843	0.845	0.848
618	0.849	0.850	0.851	0.852	0.856
656	0.856	0.857	0.858	0.859	0.862
694	0.863	0.863	0.864	0.866	0.868
732	0.869	0.869	0.870	0.871	0.874
771	0.874	0.875	0.875	0.877	0.879
809	0.879	0.880	0.880	0.881	0.884
847	0.884	0.884	0.885	0.886	0.888
886	0.888	0.889	0.889	0.890	0.892
924	0.892	0.892	0.893	0.894	0.896
962	0.896	0.896	0.897	0.897	0.899
1000	0.899	0.900	0.900	0.901	0.902
1039	0.903	0.903	0.903	0.904	0.905
1077	0.906	0.906	0.906	0.907	0.908
1115	0.908	0.909	0.909	0.910	0.911
1153	0.911	0.911	0.911	0.912	0.913
1192	0.913	0.914	0.914	0.915	0.916
1230	0.916	0.916	0.916	0.917	0.918
1268	0.918	0.918	0.918	0.919	0.920
1307	0.920	0.920	0.921	0.921	0.922
1345	0.922	0.922	0.923	0.923	0.924
1383	0.924	0.924	0.924	0.925	0.926
1421	0.926	0.926	0.926	0.927	0.927
1460	0.928	0.928	0.928	0.928	0.929
1498	0.929	0.929	0.929	0.930	0.931
1536	0.931	0.931	0.931	0.931	0.932
1575	0.932	0.932	0.932	0.933	0.934
1613	0.934	0.934	0.934	0.934	0.935
1651	0.935	0.935	0.935	0.936	0.936
1689	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937
1728	0.938	0.938	0.938	0.938	0.939
1766	0.939	0.939	0.939	0.939	0.940
1804	0.940	0.940	0.940	0.940	0.941
1843	0.941	0.941	0.941	0.941	0.942
1881	0.942	0.942	0.942	0.942	0.943

### 3.3.2. $R = 200 \text{ mm}$ , $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 에 대한 계산

#### 3.3.2.1. 소스와 가까운 거리: $0 < d < 300 \text{ mm}$

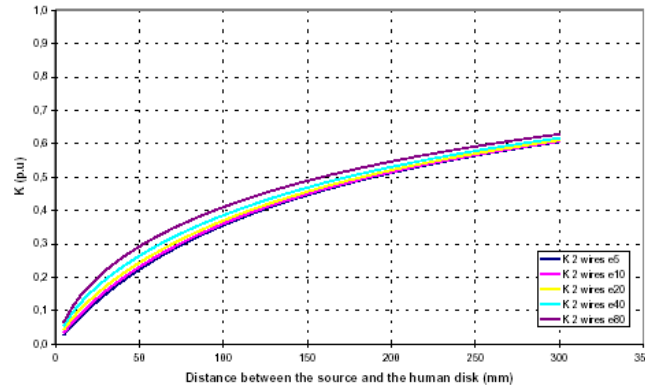


그림 3.20 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0<d<300\text{mm}$ )

표 3.7 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0<d<300\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	소스: 거리 e만큼 분리된 평행 전선				
	e = 5 mm	e = 10 mm	e = 20 mm	e = 40 mm	e = 80 mm
10	0.056	0.065	0.078	0.093	0.111
20	0.106	0.115	0.130	0.150	0.174
30	0.150	0.159	0.173	0.194	0.221
40	0.189	0.197	0.211	0.232	0.260
50	0.224	0.231	0.244	0.264	0.293
60	0.255	0.262	0.274	0.294	0.321
70	0.284	0.290	0.301	0.320	0.347
80	0.310	0.316	0.326	0.344	0.370
90	0.334	0.339	0.349	0.366	0.391
100	0.356	0.361	0.370	0.386	0.411
110	0.377	0.381	0.390	0.405	0.428
120	0.396	0.400	0.408	0.423	0.445
130	0.414	0.418	0.425	0.439	0.461
140	0.430	0.434	0.442	0.454	0.475
150	0.446	0.450	0.457	0.469	0.489
160	0.461	0.465	0.471	0.483	0.502
170	0.475	0.478	0.485	0.496	0.514
180	0.488	0.491	0.497	0.508	0.526
190	0.501	0.504	0.509	0.520	0.537
200	0.513	0.516	0.521	0.531	0.547
210	0.524	0.527	0.532	0.541	0.557
220	0.535	0.537	0.542	0.551	0.566

230	0.545	0.548	0.552	0.561	0.575
240	0.555	0.557	0.562	0.570	0.584
250	0.564	0.566	0.571	0.579	0.592
260	0.573	0.575	0.579	0.587	0.600
270	0.582	0.584	0.588	0.595	0.608
280	0.590	0.592	0.596	0.603	0.615
290	0.598	0.600	0.603	0.610	0.622
300	0.605	0.607	0.611	0.617	0.629

### 3.3.2.2. 소스와 원거리 : $0 < d < 1900 \text{ mm}$

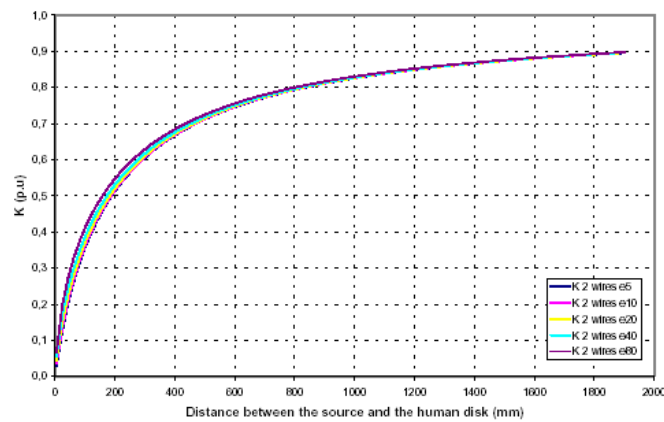


그림 3.21 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

표 3.8 두개의 무한 전선에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

disk까지 거리(mm)	소스: 거리 e만큼 분리된 평행 전선				
	e = 5 mm	e = 10 mm	e = 20 mm	e = 40 mm	e = 80 mm
5	0.029	0.036	0.045	0.056	0.066
43	0.201	0.209	0.222	0.243	0.271
82	0.314	0.319	0.330	0.347	0.373
120	0.395	0.400	0.408	0.422	0.445
158	0.458	0.462	0.468	0.480	0.499
196	0.509	0.511	0.517	0.527	0.543
235	0.550	0.552	0.557	0.565	0.579
273	0.584	0.586	0.590	0.597	0.610
311	0.614	0.615	0.619	0.625	0.636
350	0.639	0.640	0.643	0.649	0.659
388	0.661	0.662	0.665	0.670	0.678
426	0.680	0.682	0.684	0.688	0.696

464	0.698	0.699	0.701	0.705	0.712
503	0.713	0.714	0.716	0.719	0.726
522	0.720	0.721	0.723	0.726	0.732
541	0.727	0.728	0.729	0.733	0.738
579	0.739	0.740	0.742	0.745	0.750
618	0.751	0.751	0.753	0.756	0.760
656	0.761	0.762	0.763	0.766	0.770
694	0.771	0.771	0.772	0.775	0.779
732	0.780	0.780	0.781	0.783	0.787
771	0.788	0.788	0.789	0.791	0.795
790	0.791	0.792	0.793	0.795	0.798
809	0.795	0.796	0.796	0.798	0.802
847	0.802	0.803	0.803	0.805	0.808
886	0.809	0.809	0.810	0.811	0.814
924	0.815	0.815	0.816	0.817	0.820
962	0.820	0.821	0.821	0.823	0.825
1000	0.826	0.826	0.827	0.828	0.830
1039	0.831	0.831	0.832	0.833	0.835
1077	0.835	0.836	0.836	0.837	0.840
1115	0.840	0.840	0.841	0.842	0.844
1153	0.844	0.844	0.845	0.846	0.848
1192	0.848	0.848	0.849	0.850	0.852
1230	0.852	0.852	0.852	0.853	0.855
1268	0.855	0.856	0.856	0.857	0.859
1307	0.859	0.859	0.859	0.860	0.862
1345	0.862	0.862	0.863	0.863	0.865
1383	0.865	0.865	0.866	0.866	0.868
1421	0.868	0.868	0.869	0.869	0.871
1460	0.871	0.871	0.871	0.872	0.873
1498	0.873	0.874	0.874	0.875	0.876
1536	0.876	0.876	0.876	0.877	0.878
1575	0.878	0.879	0.879	0.880	0.881
1613	0.881	0.881	0.881	0.882	0.883
1651	0.883	0.883	0.884	0.884	0.885
1689	0.885	0.885	0.886	0.886	0.887
1709	0.886	0.886	0.887	0.887	0.888
1728	0.887	0.887	0.888	0.888	0.889
1766	0.889	0.889	0.890	0.890	0.891
1804	0.891	0.891	0.892	0.892	0.893
1843	0.893	0.893	0.894	0.894	0.895
1881	0.895	0.895	0.895	0.896	0.897



### 3.4. 원형 코일에 의해 생성되는 자기장 내의 디스크

유도 전류는 도전율이 일정한 디스크에서 계산된다. 서로 다른 전자기장 소스 구성 사이의 비교(소스의 기하학적 측면과 디스크의 거리에 의존하는)를 가능케 하기 위해 다음과 같은 표준 값이 선택되었다:

- $f$ , 주파수 = 50 Hz
- $B$ , 균일 자기장 = 1.25 T, 전자기장 소스에 더 가까운 디스크의 가장자리에서의 자기장
- $R$ , 도전성 디스크의 반경  $R = 100$  mm 또는  $200$  mm
- $\sigma$ , 도전율(균일) =  $0.2$  S/m

여기에서 자기장은 원형 코일(국부화된 소스중 단순화된 대표 소스)에 의해 발생된다. 도전성 디스크와 코일은  $d$ 만큼 떨어진 거리의 동일면에 위치한다(그림 D.1 참조). 50 Hz 교류 전류가 코일을 통해서 흐른다.

거리  $d$ 는 디스크의 가장자리와 소스에 보다 근접한 부분 사이의 최단 거리이다.

결합 계수  $K$ 는 다음에 대해 거리  $d$ 에 따라서 연구된다:

- 소스에 가까운 노출:  $0 < d < 300$  mm
- 더 먼 거리에서의 노출:  $0 < d < 1900$  mm

계수  $K$ 는 각 거리  $d$ 에 대해서, 여러 다른 소스에 대해 계산된다(즉, 여러 다른 코일 반경:  $r = 5, 10, 20, 40, 80, 160$  mm). 유도전류를 설명하기 위해서는 코일 반경 값이 5 mm와 850 mm인 서로 다른 단 두 거리에서만 연구되어졌다.

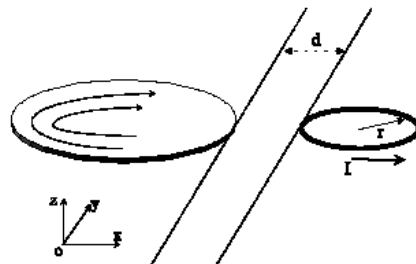


그림 3.22 코일에 의해 생성되는 자기장내에서의 도전성 디스크(코일반경 50mm)

### 3.4.1. $R = 100 \text{ mm}$ 및 $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 에 대한 계산

#### 3.4.1.1. 계산결과

##### 3.4.1.1.1 코일 반경 = 50 mm, 거리 = 5 mm

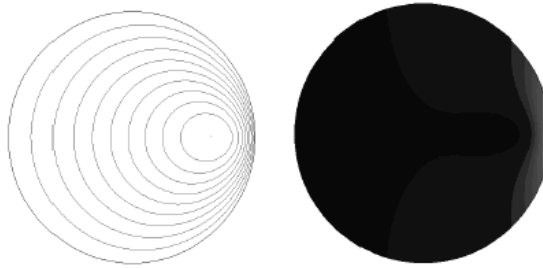


그림 3.23 전류 밀도 라인 J와 디스크 내의 J의 분포  
(코일 반경 = 50 mm, 거리 = 5 mm)

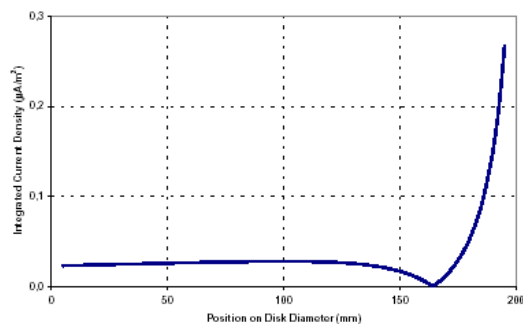


그림 3.24  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산된 유도 전류 밀도의 적분  
분포(코일 반경 = 50 mm, 거리 = 5 mm)

##### 3.4.1.1.2 코일 반경 = 50 mm, 거리 = 850 mm

동일한 거리 d에 대해 1개 전선 또는 2개 전선에서와 동일한 결과: 균일 전자기장의 경우와 유사한 결과.

#### 3.4.1.1.3 코일 반경 = 200 mm, 거리 = 5 mm

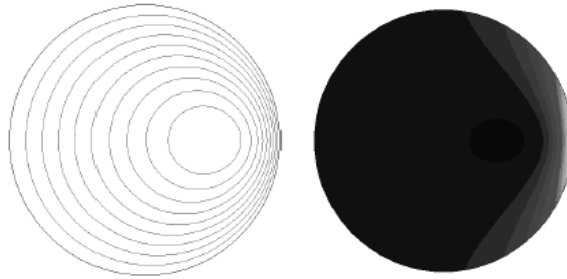


그림 3.25 전류 밀도 라인 J와 디스크내 J의 분포  
(코일 반경 = 200 mm, 거리 = 5 mm)

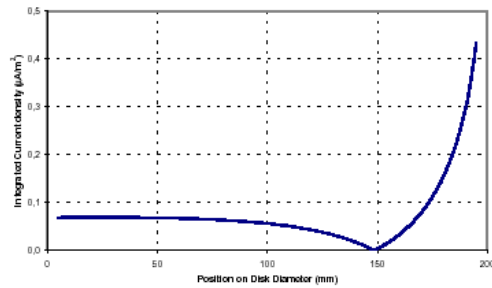


그림 3.26  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산된 유도 전류 밀도의 적분  
분포(코일 반경 = 200 mm, 거리 = 5 mm)

#### 3.4.1.1.4. 코일 반경 = 10 mm, 거리 = 115 mm

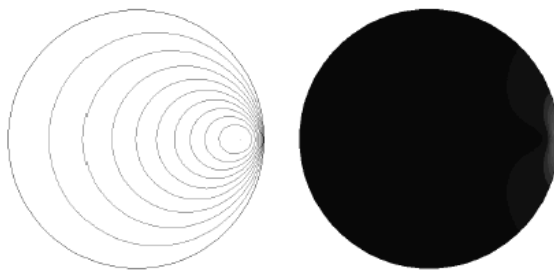


그림 3.27 전류 밀도 라인 J와 디스크 내 J의 분포  
(코일 반경 = 10 mm, 거리 = 115 mm)

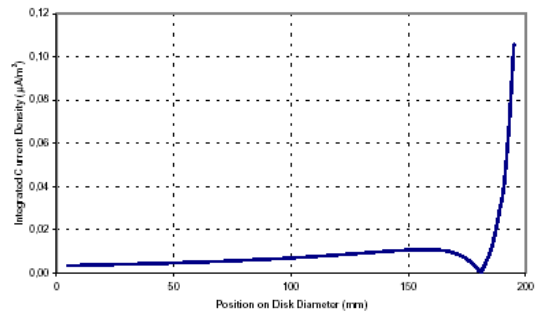


그림 3.28  $J_i = f[r]$ : 디스크의 직경에서 계산된 유도 전류 밀도의 적분  
분포(코일 반경 = 10 mm, 거리 = 115 mm)

### 3.4.1.2 결합 계수 K의 계산 값

#### 3.4.1.2.1. 소스 근처에서의 노출: $0 < d < 300$ mm

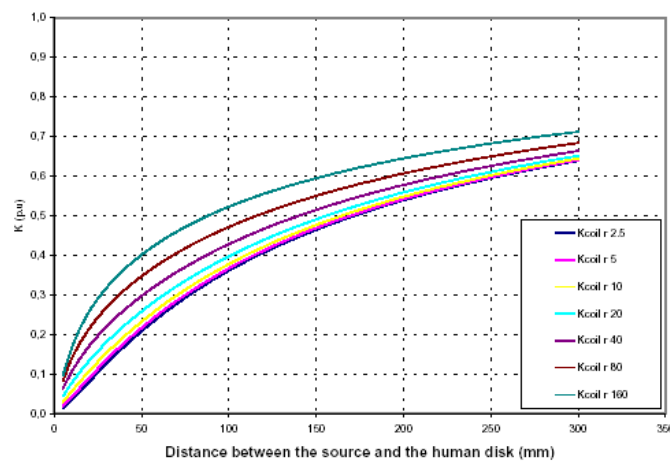


그림 3.29 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

표 3.9 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 300\text{mm}$ )

디스크까지 거리(mm)	코일 반경(mm)						
	2.5	5	10	20	40	80	100
70	0.277	0.285	0.298	0.322	0.358	0.405	0.460
80	0.308	0.315	0.327	0.349	0.383	0.430	0.483

90	0.336	0.342	0.354	0.374	0.407	0.452	0.504
100	0.361	0.367	0.378	0.397	0.428	0.472	0.523
50	0.208	0.217	0.233	0.259	0.297	0.347	0.401
60	0.244	0.252	0.267	0.292	0.329	0.378	0.433
70	0.277	0.285	0.298	0.322	0.358	0.405	0.460
80	0.308	0.315	0.327	0.349	0.383	0.430	0.483
90	0.336	0.342	0.354	0.374	0.407	0.452	0.504
100	0.361	0.367	0.378	0.397	0.428	0.472	0.523
110	0.385	0.391	0.401	0.419	0.448	0.490	0.540
120	0.407	0.412	0.422	0.439	0.467	0.507	0.555
130	0.428	0.433	0.442	0.458	0.484	0.523	0.570
140	0.447	0.451	0.460	0.475	0.500	0.537	0.583
150	0.465	0.469	0.477	0.491	0.515	0.551	0.595
160	0.482	0.486	0.493	0.507	0.529	0.563	0.606
170	0.497	0.501	0.508	0.521	0.543	0.575	0.617
180	0.512	0.516	0.522	0.534	0.555	0.586	0.627
190	0.526	0.529	0.536	0.547	0.567	0.597	0.636
200	0.539	0.542	0.548	0.559	0.578	0.607	0.645
210	0.552	0.555	0.560	0.571	0.589	0.617	0.654
220	0.563	0.566	0.572	0.582	0.599	0.626	0.662
230	0.575	0.577	0.582	0.592	0.608	0.634	0.669
240	0.585	0.588	0.593	0.602	0.617	0.642	0.676
250	0.595	0.598	0.602	0.611	0.626	0.650	0.683
260	0.605	0.607	0.612	0.620	0.634	0.658	0.689
270	0.614	0.616	0.620	0.628	0.642	0.665	0.696
280	0.623	0.625	0.629	0.636	0.650	0.671	0.702
290	0.631	0.633	0.637	0.644	0.657	0.678	0.707
300	0.639	0.641	0.645	0.652	0.664	0.684	0.713

#### 3.4.1.2.2. 원거리에서의 노출: $0 < d < 1900$ mm

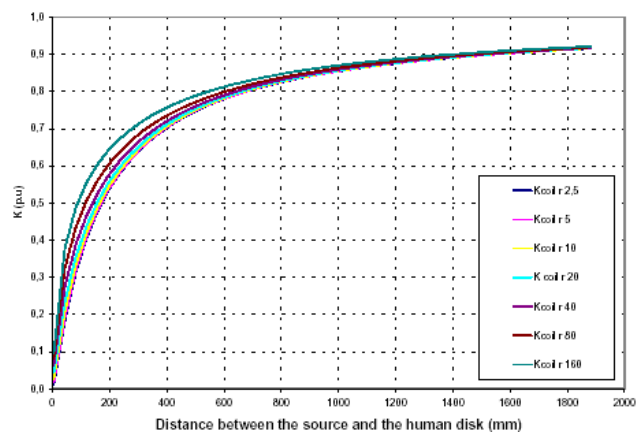


그림 3.30 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

표 3.10 원형 코일에서 K 값( $R=100\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

디스크까지 거리(mm)	코일 반경(mm)						
	2.5	5	10	20	40	80	100
5	0.013	0.019	0.029	0.044	0.064	0.083	0.096
43	0.182	0.191	0.208	0.234	0.274	0.324	0.377
82	0.312	0.319	0.331	0.353	0.387	0.433	0.487
120	0.407	0.412	0.422	0.439	0.467	0.507	0.555
158	0.479	0.483	0.490	0.504	0.527	0.561	0.604
196	0.535	0.538	0.544	0.555	0.574	0.604	0.642
235	0.580	0.582	0.587	0.597	0.613	0.638	0.672
273	0.617	0.619	0.623	0.631	0.645	0.667	0.697
311	0.648	0.650	0.653	0.660	0.672	0.691	0.719
350	0.674	0.676	0.679	0.684	0.695	0.712	0.737
388	0.697	0.698	0.701	0.706	0.715	0.730	0.752
426	0.716	0.717	0.720	0.724	0.732	0.746	0.766
464	0.733	0.734	0.737	0.740	0.748	0.760	0.778
503	0.749	0.750	0.751	0.755	0.761	0.772	0.789
541	0.762	0.763	0.765	0.768	0.774	0.784	0.799
579	0.774	0.775	0.777	0.779	0.785	0.794	0.808
618	0.785	0.786	0.787	0.790	0.795	0.803	0.816
656	0.795	0.796	0.797	0.799	0.804	0.811	0.824
694	0.804	0.805	0.806	0.808	0.812	0.819	0.831
732	0.812	0.813	0.814	0.816	0.820	0.826	0.837
771	0.820	0.821	0.821	0.823	0.827	0.833	0.843
809	0.827	0.827	0.828	0.830	0.833	0.839	0.848
847	0.834	0.834	0.835	0.836	0.839	0.844	0.853
886	0.839	0.840	0.841	0.842	0.845	0.850	0.858
924	0.845	0.845	0.846	0.847	0.850	0.855	0.862
962	0.850	0.850	0.851	0.852	0.855	0.859	0.867
1000	0.855	0.855	0.856	0.857	0.859	0.863	0.870
1039	0.860	0.860	0.860	0.861	0.864	0.867	0.874
1077	0.864	0.864	0.865	0.866	0.868	0.871	0.878
1115	0.868	0.868	0.869	0.869	0.871	0.875	0.881
1153	0.872	0.872	0.872	0.873	0.875	0.878	0.884
1192	0.875	0.875	0.876	0.877	0.878	0.881	0.887
1230	0.878	0.879	0.879	0.880	0.881	0.884	0.890
1268	0.882	0.882	0.882	0.883	0.884	0.887	0.892
1307	0.885	0.885	0.885	0.886	0.887	0.890	0.895
1345	0.887	0.888	0.888	0.889	0.890	0.893	0.897
1383	0.890	0.890	0.891	0.891	0.893	0.895	0.899
1421	0.893	0.893	0.893	0.894	0.895	0.897	0.901
1460	0.895	0.895	0.896	0.896	0.897	0.900	0.904
1498	0.898	0.898	0.898	0.899	0.900	0.902	0.906
1536	0.900	0.900	0.900	0.901	0.902	0.904	0.907
1575	0.902	0.902	0.902	0.903	0.904	0.906	0.909
1613	0.904	0.904	0.904	0.905	0.906	0.908	0.911
1651	0.906	0.906	0.906	0.907	0.908	0.909	0.913

1689	0.908	0.908	0.908	0.909	0.910	0.911	0.914
1728	0.910	0.910	0.910	0.910	0.911	0.913	0.916
1766	0.911	0.911	0.912	0.912	0.913	0.914	0.917
1804	0.913	0.913	0.913	0.914	0.914	0.916	0.919
1843	0.914	0.915	0.915	0.915	0.916	0.918	0.920
1881	0.916	0.916	0.916	0.917	0.918	0.919	0.922

### 3.4.2. $R = 200 \text{ mm}$ 및 $\sigma = 0.2 \text{ S/m}$ 에 대한 계산

#### 3.4.2.1. 소스와 가까운 노출: $0 < d < 300 \text{ mm}$

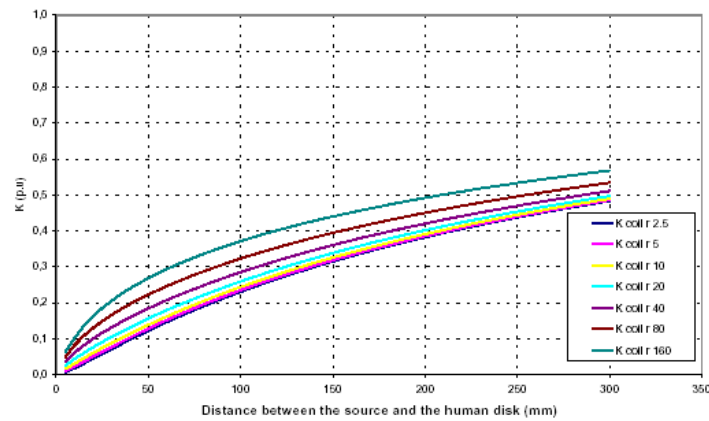


그림 3.31 원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0<d<300\text{mm}$ )

표 3.11 원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0<d<300\text{mm}$ )

디스크까지 의 거리(mm)	코일 반경(mm)						
	2.5	5	10	20	40	80	100
10	0.018	0.023	0.031	0.043	0.060	0.082	0.102
20	0.044	0.050	0.060	0.076	0.099	0.129	0.163
30	0.071	0.077	0.087	0.105	0.131	0.165	0.205
40	0.097	0.103	0.113	0.131	0.159	0.196	0.239
50	0.122	0.128	0.138	0.156	0.184	0.222	0.268
60	0.146	0.151	0.161	0.179	0.207	0.246	0.293
70	0.169	0.174	0.183	0.201	0.228	0.267	0.315
80	0.190	0.195	0.204	0.221	0.248	0.287	0.336
90	0.211	0.215	0.224	0.240	0.267	0.305	0.354
100	0.230	0.235	0.243	0.259	0.284	0.322	0.371

110	0.249	0.253	0.261	0.276	0.301	0.338	0.386
120	0.266	0.270	0.278	0.293	0.317	0.353	0.401
130	0.283	0.287	0.295	0.308	0.332	0.368	0.415
140	0.299	0.303	0.310	0.323	0.346	0.381	0.427
150	0.315	0.318	0.325	0.338	0.360	0.394	0.440
160	0.329	0.333	0.339	0.352	0.373	0.406	0.451
170	0.343	0.347	0.353	0.365	0.385	0.418	0.462
180	0.357	0.360	0.366	0.377	0.397	0.429	0.472
190	0.370	0.373	0.379	0.390	0.409	0.440	0.482
200	0.382	0.385	0.391	0.401	0.420	0.450	0.491
210	0.394	0.397	0.402	0.412	0.430	0.460	0.500
220	0.405	0.408	0.413	0.423	0.441	0.469	0.509
230	0.416	0.419	0.424	0.434	0.451	0.478	0.517
250	0.437	0.439	0.444	0.453	0.469	0.495	0.533
240	0.427	0.429	0.434	0.444	0.460	0.487	0.525
260	0.447	0.449	0.454	0.462	0.478	0.503	0.540
270	0.456	0.459	0.463	0.471	0.486	0.511	0.547
280	0.465	0.468	0.472	0.480	0.495	0.519	0.554
290	0.474	0.476	0.481	0.488	0.503	0.526	0.561
300	0.483	0.485	0.489	0.497	0.510	0.533	0.567

#### 3.4.2.2. 먼 거리에서의 노출: $0 < d < 1900$ mm

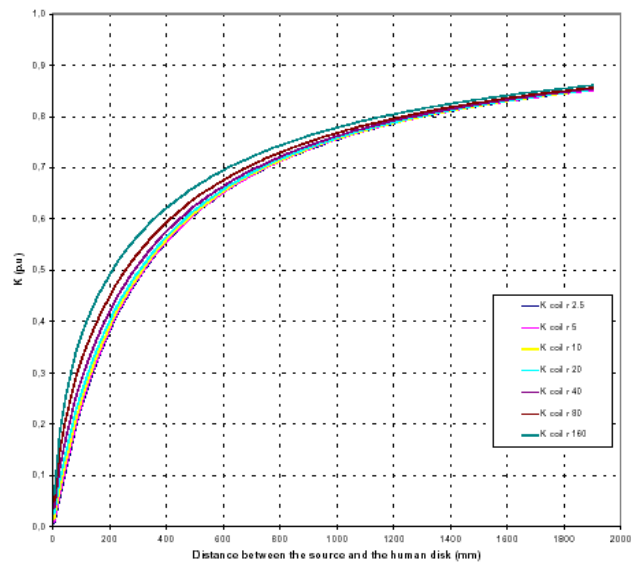


그림 3.32 원형 코일에서 K 값( $R=200$ mm,  $0 < d < 1900$ mm)



표 3.12 원형 코일에서 K 값( $R=200\text{mm}$ ,  $0 < d < 1900\text{mm}$ )

disk까지의 거리(mm)	코일 반경(mm)						
	2.5	5	10	20	40	80	100
5	0.006	0.010	0.015	0.024	0.036	0.048	0.062
43	0.105	0.111	0.122	0.139	0.167	0.205	0.249
82	0.193	0.198	0.208	0.224	0.251	0.290	0.339
101	0.232	0.236	0.245	0.260	0.286	0.323	0.372
139	0.298	0.301	0.309	0.322	0.345	0.380	0.426
158	0.327	0.330	0.337	0.349	0.370	0.404	0.449
196	0.378	0.381	0.386	0.397	0.416	0.446	0.488
235	0.421	0.424	0.429	0.438	0.455	0.482	0.521
273	0.459	0.461	0.466	0.474	0.489	0.514	0.550
311	0.492	0.494	0.498	0.505	0.519	0.541	0.574
350	0.521	0.523	0.527	0.533	0.545	0.565	0.596
388	0.547	0.549	0.552	0.558	0.569	0.587	0.616
426	0.570	0.572	0.575	0.580	0.590	0.607	0.633
464	0.591	0.593	0.595	0.600	0.609	0.625	0.649
503	0.610	0.611	0.614	0.618	0.626	0.641	0.664
541	0.628	0.629	0.631	0.635	0.642	0.655	0.677
579	0.643	0.644	0.646	0.650	0.657	0.669	0.689
618	0.658	0.659	0.660	0.664	0.670	0.682	0.700
656	0.671	0.672	0.673	0.677	0.682	0.693	0.711
694	0.683	0.684	0.685	0.688	0.694	0.704	0.720
732	0.695	0.695	0.697	0.699	0.704	0.714	0.729
771	0.705	0.706	0.707	0.710	0.714	0.723	0.738
809	0.715	0.715	0.717	0.719	0.724	0.732	0.746
847	0.724	0.725	0.726	0.728	0.732	0.740	0.753
886	0.733	0.733	0.734	0.736	0.740	0.748	0.760
924	0.741	0.741	0.742	0.744	0.748	0.755	0.767
962	0.748	0.749	0.750	0.752	0.755	0.762	0.773
1000	0.755	0.756	0.757	0.758	0.762	0.768	0.779
1039	0.762	0.763	0.763	0.765	0.768	0.774	0.784
1077	0.768	0.769	0.770	0.771	0.774	0.780	0.789
1115	0.774	0.775	0.776	0.777	0.780	0.785	0.794
1153	0.780	0.781	0.781	0.783	0.785	0.790	0.799
1192	0.786	0.786	0.787	0.788	0.790	0.795	0.804
1230	0.791	0.791	0.792	0.793	0.795	0.800	0.808
1268	0.796	0.796	0.796	0.798	0.800	0.804	0.812
1307	0.800	0.801	0.801	0.802	0.804	0.809	0.816
1345	0.805	0.805	0.806	0.807	0.809	0.813	0.820
1383	0.809	0.809	0.810	0.811	0.813	0.817	0.823
1421	0.813	0.813	0.814	0.815	0.817	0.820	0.827
1460	0.817	0.817	0.818	0.819	0.820	0.824	0.830
1498	0.821	0.821	0.821	0.822	0.824	0.827	0.833
1536	0.824	0.824	0.825	0.826	0.827	0.831	0.837
1575	0.828	0.828	0.828	0.829	0.831	0.834	0.839
1613	0.831	0.831	0.831	0.832	0.834	0.837	0.842

1651	0.834	0.834	0.835	0.835	0.837	0.840	0.845
1689	0.837	0.837	0.838	0.838	0.840	0.843	0.848
1728	0.840	0.840	0.840	0.841	0.843	0.845	0.850
1766	0.843	0.843	0.843	0.844	0.845	0.848	0.853
1804	0.845	0.846	0.846	0.847	0.848	0.850	0.855
1843	0.848	0.848	0.849	0.849	0.850	0.853	0.857
1881	0.851	0.851	0.851	0.852	0.853	0.855	0.860

## 제 4 절 모델의 타당성 검증

유도 전류 밀도의 계산에 이용되는 수치 툴의 타당성 검증은 3장에 주어진 결과와의 비교를 통해 이루어져야 한다. 이러한 결과는 국제적인 수준에서 타당성이 검증되었다.

수치 계산의 타당성 검증에 이용되는 소프트웨어에 관한 추가 정보는 본 표준의 Part 1의 참고 문헌에서 찾을 수 있다.

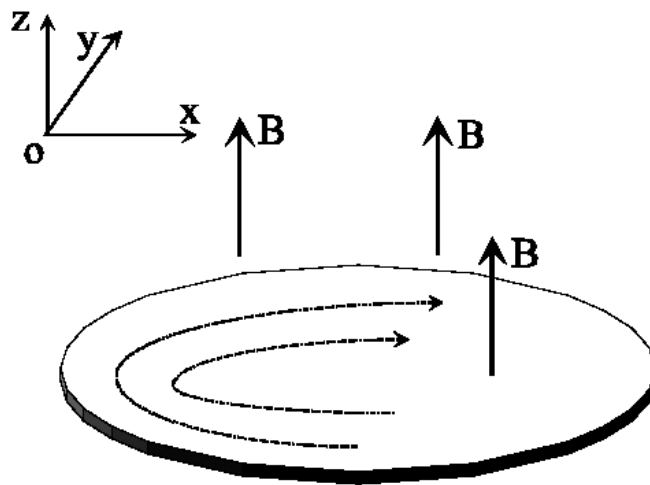


그림 3.33 균일 자속 밀도에서의 도전성 디스크

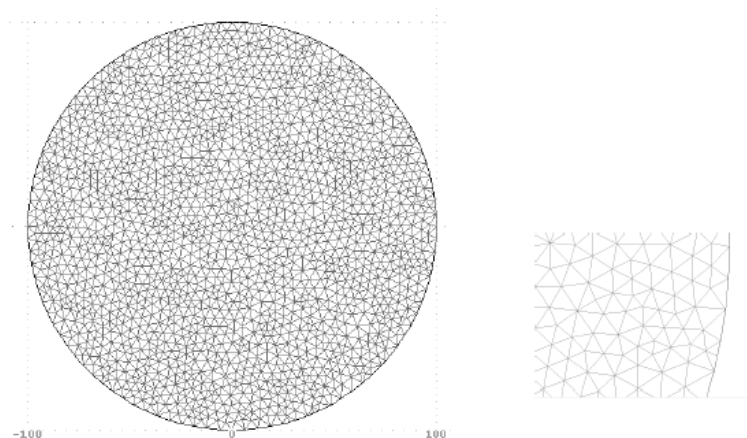


그림 3.34 디스크의 유한 요소 메쉬(2차원 삼각형) 및 세부 내용

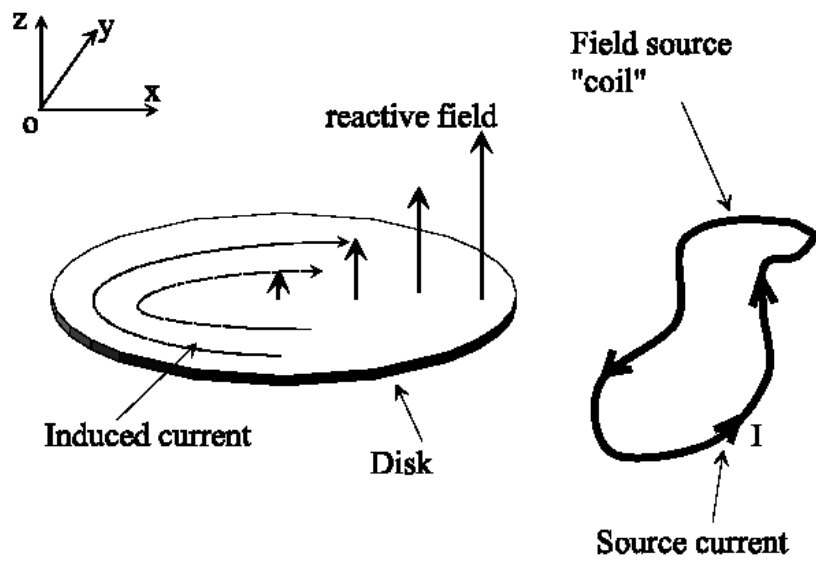


그림 3.35 연구된 시스템

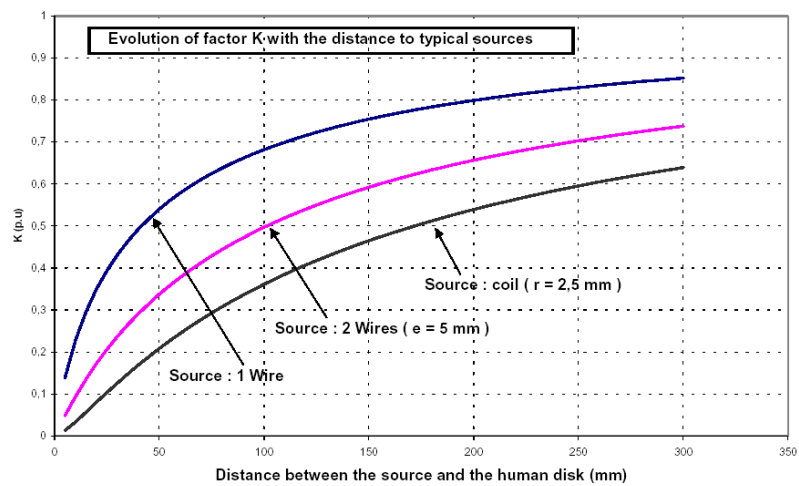


그림 3.36 여러 다른 자기장 소스에 대해서, 결합 계수  $K$  값과 소스와의 거리의 파라미터 곡선

## 제 4 장 106/58/CD 기술문서의 내용

본 장은 “인체노출 관련, 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 측정방법”-106/58/CD에 대하여 언급하고자 한다.

106/58/CD는 106/34/CD에 대한 회원국의 의견(106/51/CC)을 반영하여 만들어진 문서이고, 106/34/CD에서 서론, 5장의 자기장의 측정절차 및 부록에 대한 내용이 수정되었으며 특히 “부록A 자속밀도를 측정하기 위한 시험조건”에서 다양한 종류의 가전기기를 시험하는 거리가 단순 명료하게 제시되고 있다.

### 제 1 절 적용범위

106/58/CD 기술문서는 300 GHz 이하의 전자기장에서 가전제품 및 이와 유사한 전기기구 주변에서의 전기장세기(electric field strength)와 자속밀도(magnetic flux density)를 측정하기 위한 거리, 위치 등의 시험 조건에 대하여 설명한다

이 문서는 전자기장세기 및 자속밀도 측정을 10 Hz 내지 400 kHz에서 실시되어야 한다. 400 kHz를 초과하는 주파수 및 10 Hz 미만의 주파수 범위에서, 본 표준의 적용 범위에 속하는 제품은 IEC60335 시리즈 규정에 의해 별도로 명시되어 있지 않는 한 적용되지 않는다.

이 문서에 적용되는 제품은 모터, 발열체(heating element) 또는 이를 응용한 제품이 있을 것이며, 전기·전자 회로가 포함될 수도 있다 또한 전원은 주 전원, 배터리 또는 기타 전원에 의해 동작될 수도 있다.

가전제품 및 이와 유사한 가전제품은 가정용 전기 기구, 전동 공구, 전동 장난감, 기타 상점, 경공업 및 농장에서 일반인이 이용할 수 있는 장치 등과 같은 기기가 포함된다.

본 표준은 다음과 같은 기구에는 적용되지 않는다:

- 중공업 목적으로만 설계된 장치
- 고정 건축 전기 설비의 일부가 되는 장치 퓨즈 회로 차단기 케이블 스

위치 등과 같은

- 라디오 및 텔레비전 수신기, 오디오 및 비디오 기기, 전자 악기
- 의료용 전기 기구
- 개인용 컴퓨터 및 이와 유사한 기기;
- 무선 송신기;
- 차량에만 이용되도록 설계된 장치;

해당 기기가 본 기술문서 및 기타 기술문서의 상이한 조항에 동시에 적용을 받는 다기능 기기는 각각의 동작 기능에 맞는 각 조항 또는 표준 규정을 이용하여 평가되어야 하며, 제품의 이상 동작(abnormal operation)은 고려되지 않는다. 인체 노출을 평가하기 위해서는 다음과 같은 구체적인 요소가 포함된다:

- 센서의 정의
- 측정 방법의 정의
- 시험 대상 기구의 동작 방식에 대한 정의
- 측정 거리 및 위치의 정의.

## 제 2 절 측정방법

### 1. SAR 측정 기기의 규격

#### 1.1 전기장

일반 측정 방법은 IEC61786 표준에 기술되어 있다. 기기가 저전압에서 동작하고 있는 경우에는 시험이 없이도 적합한 것으로 간주된다.

#### 1.2 주파수 범위

주파수 범위는 10 Hz 내지 400 kHz인 것으로 간주된다. 적용 범위를 참조하기 바란다.

한 측정에서 이 주파수 범위를 다루는 것이 실행 불가능 할 경우, 각 측정 주파수 범위에 대해 가중 결과가 추가되어야 한다.

#### 1.3 측정 거리, 위치 및 동작 방식

측정 거리, 센서 위치, 동작 조건 등은 부속서 A에 명시되어 있다.

측정 동안의 구성 및 동작 방식은 시험 보고서에 언급되어야 한다.

#### 1.4 자기장 센서

자속 밀도(flux density)의 측정값은 각 방향에서의 100 cm 면적 상에서 평균된다. 기준 센서는 등방성 민감도(isotropic sensitivity)를 제공하기 위해 100 cm × 5 cm의 측정 면적을 갖는 3 개의 상호 수직 동심 코일(perpendicular concentric coil)로 구성된다. 기준 센서의 외부 직경은 13 cm 를 초과해서는 안된다.

연결 계수를 결정하는 경우, 부속서 C에 명시되어 있는 바와 같이 3 cm<sup>2</sup> 0.3 cm의 측정 면적을 갖는 등방성 센서(isotropic sensor)가 사용되어야 한다.

주: 자속 밀도의 최종값은 각 방향에서 측정된 값의 벡터합(vector addition)이다. 이것은 측정값이 자기장 벡터의 방향과는 독립적이라는 것을 보장한다.

## 1.5 자기장 측정 절차

### 1.5.1 일반

측정 신호는 주파수에 따라서 평가되어야 한다. 독립적인 전자기장 소스를 고려할 경우, 최고 측정값이 얻어져야 한다. 스위칭 이벤트(switching event) 동안, 200 ms 미만의 지속 시간을 갖는 과도 자기장(Transient magnetic field)은 무시된다. 측정이 진행되고 있는 동안에 스위칭 액션(switching action)이 이루어지는 경우에는 측정은 반복되어야 한다. 측정 기기는 제한값의 5%라는 최대 잡음 레벨을 가져야 한다. 최대 잡음 레벨 미만의 측정값은 무시된다. 백그라운드 레벨(background level)은 제한값의 5% 미만이어야 한다.

측정 기기가 최종값의 90%에 도달하는데 걸리는 응답 시간은 1초를 초과해서는 안된다. 자속 밀도는 평균하는 시간 1초를 이용하여 결정된다.

### 1.5.2 시간 영역 평가

이것은 기준 방법이며, 의심스러운 경우에 이용된다. 자속 밀도값의 시간 영역 측정은 신호의 유형과는 독립적으로 실시될 수 있다. 몇 가지 주파수 비율(frequency proportion)을 갖는 전자기장의 경우, 주파수 함수라고 표현되는 기준 레벨의 역함수인 전달 함수  $A$ 를 구현함으로써 기준 레벨 주파수에 대한 종속성이 고려된다. 그림 2에서는 기준 레벨의 주파수 종속성(frequency dependency)에 대한 예를 보여준다.

전달 함수  $A$ 는 기준 레벨  $B_{RL}$ 의 역함수이며  $B_0$  상에서 정규화(normalize)된다. 정규화는 주파수  $f_{C0}$ 에서 이루어져야 한다.

주: 정형화를 위해서는 주 주파수(mains frequency)를 사용하는 것이 바람



직하다(예를 들면,  $f_{c0} = 50\text{Hz}$  또는  $60\text{Hz}$ ).

전달 함수  $A$ 는 1차 필터를 이용하여 입증된다. 그림 3에서는 전달 함수의 특성에 대한 예를 보여준다.

전달 함수의 일반식(general formula)은 다음과 같다:

$$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{c0})}{B_{RL}(f)} \quad (1)$$

전달 함수의 시작점은  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ 이어야 한다. 전달 함수의 끝점은  $f_n = 400 \text{ kHz}$ 이어야 한다.

주 : 전달 함수의 수치값(numerical value)에 대한 예는 표 D.1과 표 D.2를 참조하라.

다음과 같은 순서가 측정에 이용된다:

- 각 코일 신호의 개별적인 측정
- 전달 함수에 의한 코일 신호의 가중치 부여;
- 신호를 제공;
- 제공된 신호를 합산;
- 합계를 평균;
- 평균의 제곱근을 구함.

이 결과는 자속 밀도의 실효치(r.m.s. value)가 되며 이 절차는 그림 4에 도식으로 나타나 있다.

주: 전달 함수  $A$ (그림 4에서의 점선)에는 상이한 특성을 갖는 코일이 포함되며, 필요한 적분을 제공하는 뒤짐-앞섬 소자(lag-lead element)를 갖춘 저역 필터(low-pass filter)가 포함된다. 이 결과는  $B(t)$ 에 정비례하며 그림 3에서 볼 수 있는 전달 함수  $A$ 에 의해 평가되는 신호이다. 뒤짐-앞섬 소자(lag-lead element)의 코너 주파수는 그림 3의 전달 함수에서와 동일하다.

실제 측정값은 자속 밀도의 지정된 값(기준 레벨  $B_{RL}$ ), 또는 부속서 C에 있는 연결 계수  $a_c(r_1)$ 를 고려한 다음 매우 국부적인 전자기장을 갖는 기기와

는 직접 비교되어야 한다.  $f_{C0}$ 에 있는  $B_{RL}$ 이 이용되어야 한다. 최종값인 가중 결과  $W$ 는 다음 수식으로부터 도출될 수 있다:

$$W_n = \frac{B_{rms}}{B_{RL}} \quad (2)$$

또는 연결 계수  $a_c(r_1)$ 를 적용할 경우에는 다음 수식으로부터 도출된다.

$$W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad (3)$$

여기서

$W_n$  : 한 측정에 있어서의 가중 결과

$B_{rms}$  : 자속 밀도의 실효치

$B_{RL}$  :  $f_{C0}$ 에서의 자속 밀도의 기준 레벨

$a_c(r_1)$  : 부속서 C 또는 표 D.3.에 의거한 연결 계수

$W_{nc}$  :  $a_c(r_1)$ 을 적용함으로써 불균일 전자기장의 결함을 고려하는 측정에서의 가중 결과이다. 결정된 가중 결과값( $W$ )은 1을 초과해서는 안된다.

### 1.5.3 선 스펙트럼 평가

이 방법은 예를 들면, 기본 주파수와 일부 조파를 갖는 자기장과 같이 선 스펙트럼만이 존재하는 경우에 이용될 수도 있다. 자속 밀도는 각 관련 주파수에서 측정된다.

이것은 자속 밀도의 시간 신호(time signal)를 기록하고, 스펙트럼 성분을 평가하는 경우 푸리에 변환을 이용함으로써 이루어질 수 있다.

다음과 같은 순서가 측정에 이용된다:

- 각 코일 신호  $x, y, z$  의 개별적인 측정
- $B(t)$ 에 정비례하는 값을 구하기 위해 신호를 적분
- 실효치를 나타내는 추정된 스펙트럼  $B_i$ 를 구하기 위해 각 코일에 푸리에 변환

- 주파수  $j$ 와 모든 스펙트럼선의 크기  $B(x,y,z)_j$ 를 제공해 주는 각 전자기장 구성 요소의 이산 스펙트럼선(discrete spectral line)을 계산
- 모든 이산 스펙트럼선  $B_j$ 에 대한 3 개 방향의 벡터합

$$B_j = \sqrt{B_{xj}^2 + B_{yj}^2 + B_{zj}^2} \quad (4)$$

주: 알고리즘 중 마지막 두 가지 연산은 상호 교체될 수 있다.

결과는 탐지되는 각 주파수에 대한 자속 밀도의 양이다. 측정값을 제한치와 비교하기 위해서는 기준 레벨  $B_{RLj}$ 가 이용되어야 한다. 매우 국부적인 전자기장을 갖는 기구의 경우, 부속서 C에 있는 연결 계수  $a_c(r_1)$ 가 고려될 수 있다. 몇 가지 주파수 비율을 갖는 전자기장의 경우, 주파수 가중 합계를 계산할 필요가 있다.

가중 결과는 다음과 같은 공식으로부터 구할 수 있다:

$$W_n = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left( \frac{B_j}{B_{RLj}} \right)^2} \quad (5)$$

또는 연결 계수  $a_c(r_1)$ 를 적용할 경우에는 다음 수식으로부터 구할 수 있다:

$$W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad (6)$$

주. 연결 계수는 주파수와는 독립적이며, 세부 사항에 대해서는 부속서 C를 참조하면 된다.

여기서

$B_j$  : 측정되는 스펙트럼의 주파수 선(frequency line)인  $j$  차원에서의 자속 밀도

$B_{RLj}$  : 주파수  $j$  차원에서의 자속 밀도의 기준 레벨

$a_c(r_1)$  : 부속서 C 또는 표 D.3.에 의거한 연결 계수

$W_n$  : 한 측정에 있어서의 가중 결과

$W_{nc}$  :  $a_c(r_1)$ 를 적용함으로써 불균일 전자기장의 결합을 고려하는 측정에서의 가중 결과. 결정된 가중 결과값( $W$ )은 1을 초과하여서는

안된다. 1에만 비교하는 경우, 근(root)을 구할 필요는 없다.

#### 1.5.4 고조파 데이터를 기준으로 한 시험 방법

주파수와 고조파에서 자기장만을 생성할 수 있도록 구성된 기기는 2 kHz 미만의 주파수 범위에서만 시험될 필요가 있다. 선정된 일련의 기준 레벨에 따라서 이러한 기기에 대한 간이 시험 절차가 적용될 수 있다.

주: 이러한 방법은 모두 보수적인 방법이며, 예/아니오 기준 이외에는 어떤 측정값도 제공해 주지 않는다. 이러한 절차가 결함이 있다는 것은 아니지만, 본 표준의 요구 사항에는 충족되지 않는다.  
이 경우 1.5.2 또는 1.5.3에 있는 정확한 방법이 이용될 수 있다.

주: 고조파 전류는 IEC 61000-3-2 표준에 의거하여 측정될 수 있다. 대부분의 경우, 이러한 값은 이미 알려져 있다.

가. 기준 레벨은 한정된 기울기로 감소한다.

조사되는 주파수 범위에서의 기준 레벨이  $1/f$  미만의 기울기로 감소하는 경우, 다음과 같은 두 가지 방법 중 하나가 적용될 수 있다:

주: 예를 들면 부속서 B에 있는 시변 전자기장에의 일반인 노출에 대한 ICNIRP 가이드라인의 기준 레벨과 같은 경우, 이러한 사실이 해당된다.

##### (1) 한정된 기울기, 첫번째 절차

다음 두 조건이 충족되는 경우, 기기는 본 표준의 요구 사항에 적합하다:

- 비가중 광대역을 측정하는 동안 자속 밀도는 (실행된 전달 함수가 없는 상태에서) 주 주파수 기준 레벨의 30% 미만이다.
- 주파수 상에서의 진폭을 10% 초과하는 진폭을 갖는 모든 고

조파 전류는 조사되는 주파수 범위 상에서 지속적으로 감소한다.

첫번째 조건( $B < \text{기준 레벨의 } 30\%$ )이 충족되지 않는 경우, 다음 절차와의 적합성이 검사될 수도 있다.

## (2) 한정된 기울기, 두 번째 절차

다음 3 가지 조건이 모두 충족되는 경우, 기구는 본 표준의 요구 사항에 적합하다:

- 주파수에서의 자속 밀도가 주 주파수에서의 기준 레벨의 50% 미만이다.
- 비가중 광대역을 측정하는 동안, 조사되는 주파수 범위 상에서 측정되는 자속 밀도가 (구현된 전달 함수가 없는 상태에서) 주 주파수에서의 입력이 억압된다 하더라도(능동 노치 필터(active notch filter)), 주 주파수에서의 기준 레벨의 15% 미만이다.
- 주파수 상에서의 진폭을 10% 초과하는 진폭을 갖는 모든 고조파 전류는 조사되는 주파수 범위 상에서 지속적으로 감소한다.

## 나 고정 기준 레벨

기준 레벨이 주 주파수의 최소한 10번째 고조파까지 지속되고 조사되는 주파수 범위에서 더 높은 주파수가 지속되거나  $1/f$  미만의 기울기로 감소하는 경우, 고조파 전류의 추가적인 측정 없이도 본 문서 5.5.4.1항에 있는 방법이 적용될 수 있다.

주: 예를 들면 부속서 B에 있는 0 내지 3 kHz 전자기장예의 인체 노출에 대한 IEEE의 안전 레벨 표준과 같은 경우, 이러한 사실이 해당된다.

이 경우 간이 시험 방법이 다음과 같이 적용되어야 한다:

### (1) 고정 기준 레벨, 첫 번째 절차의

다음 조건이 충족되는 경우, 기구는 본 표준의 요구 사항에 적합하다:

- 비가중 광대역을 측정하는 동안 자속 밀도는 (구현된 전달 함수가 없는 상태에서) 주 주파수에서의 기준 레벨의 30% 미만이다.

이 조건이 충족되지 않는 경우, 다음 절차와의 적합성이 검사될 수도 있다:

### (2) 고정 기준 레벨, 두 번째 절차

다음 두 가지 조건이 충족되는 경우, 기구는 본 표준의 요구 사항에 적합하다:

- 주파수에서의 자속 밀도가 주 주파수에서의 기준 레벨의 50% 미만이다.

- 비가중 광대역을 측정하는 동안, 조사되는 주파수 범위 상에서 측정되는 자속 밀도가 (구현된 전달 함수가 없는 상태에서) 주 주파수에서의 입력이 억압된다 하더라도(능동 노치 필터(active notch filter)), 주 주파수에서의 기준 레벨의 15% 미만이다.

## 1.6 측정 불확정도

최대 전체 측정 불확정도는 제한치의 25%를 초과해서는 안된다.

주: 불확정도 평가 가이드는 IEC 61786에 수록되어 있다.

주: 전체 측정 불확정도에는 센서 위치, 동작 조건, 잡음 배경 또는 측정 계기의 동작 범위를 초과하는 신호 등과 같은 형상이 포함될 수 있다.

결과가 제한치와 비교되어야 하는 경우, 측정 불확정도는 다음과 같이 구현되어야 한다:

- 기구가 제한치 미만의 전자기장만을 생성하는지 여부를 입증하기 위해서는 측정 불확정도가 결과에 추가되어야 하며 이 합계가 제한치와 비교되어야 한다;

주: 이것은 예를 들면 제조업자에 의해 실시되는 측정의 경우에 적용된다.

- 기구가 제한치를 초과하는 전자기장을 생성하는지 여부를 입증하기 위해서는 측정 불확정도를 결과로부터 감하여야 하며 그 차(difference)가 제한치와 비교되어야 한다.

주: 이것은 예를 들면 시장 감시 목적으로 당국에 의해 실시되는 측정의 경우에 적용된다.

## 1.7 시험 보고서

시험 보고서에는 최소한 다음과 같은 항목이 포함되어야 한다:

- 제한 선정 예를 들면, 부속서 B를 참조하기 바란다.
- 기구 식별;
- 측정 기기의 규격
- 부속서 A에 명시되어 있는 것 이외의 동작 방식, 측정 위치 및 측정 거리
- 측정 방법
- 해당될 경우 연결 계수를 이용하여 가중치가 부여되어 측정된 최대 전자기장 값
- 정격 전압 및 주파수
- 측정 결과가 75 %를 초과하는 경우 제한치의 측정 불확정도.

## 2. 결과의 평가

본 표준의 요구 사항은 다음과 같은 경우 충족된다:

- 고려되는 측정 불확정도를 갖는 측정값이 기준 레벨을 초과하지 않는 경우 또는;
- 측정값이 기준 레벨을 초과하는 경우, 기본 한계가 충족된다는 것을 증

명하기 위해 연결 계수가 고려될 수 있다. 특정 장치의 경우, 부속서 C에 기술되어 있는 바와 같이 대응하는 연결 계수  $a_c(r_1)$ 가 결정될 수 있거나;

- 이 값이 연결 계수를 이용하는 경우에도 여전히 기준 레벨을 초과한다 하더라도, 반드시 기본 한계가 초과되지는 않을 것이다. 예를 들면 계산법을 통해 기본 한계가 충족되는지 여부가 검증되어야 한다.



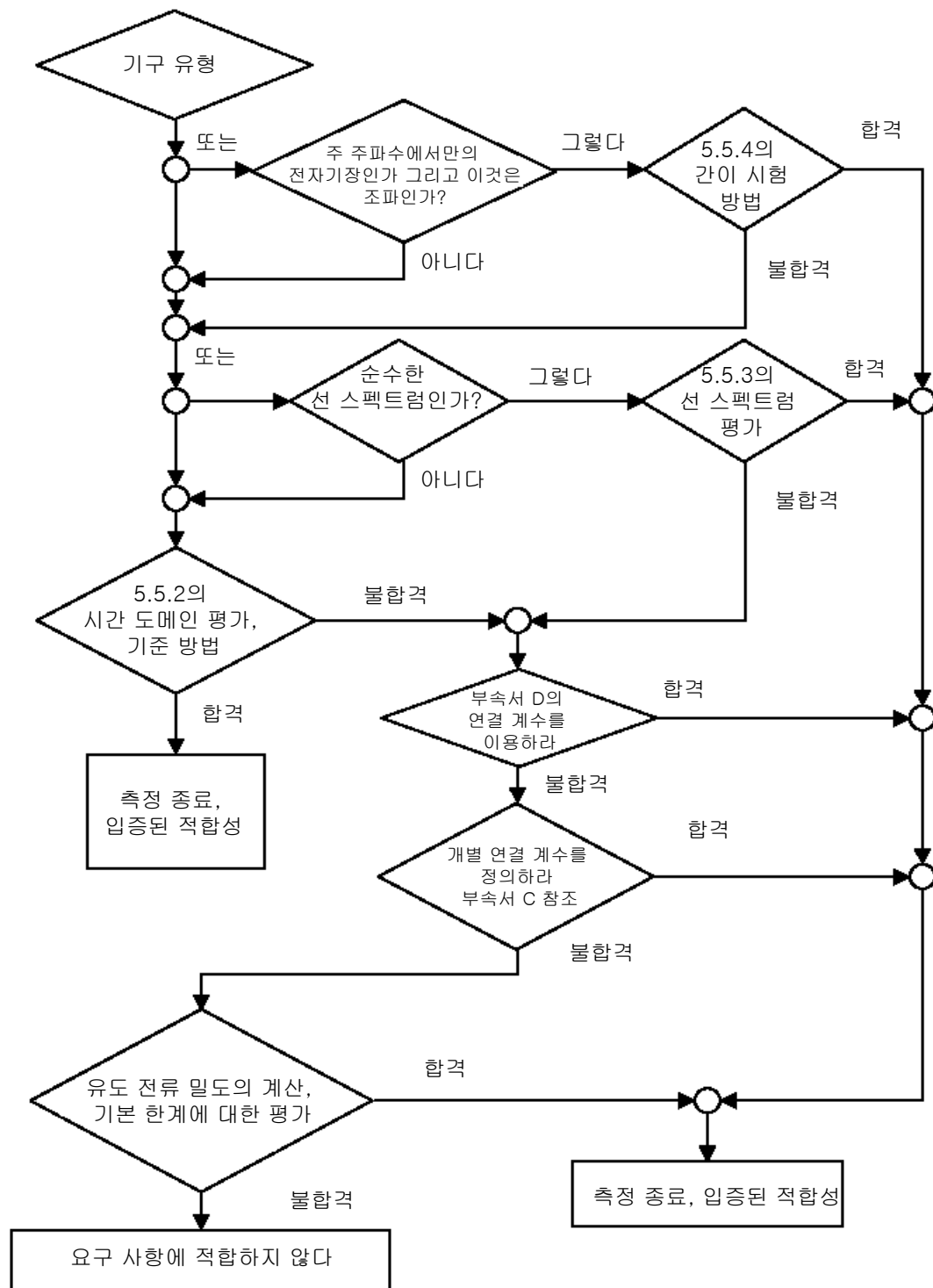


그림 4.1 기준 레벨에 대한 평가로부터 시작하는 시험 방법 선정에 관한 권고

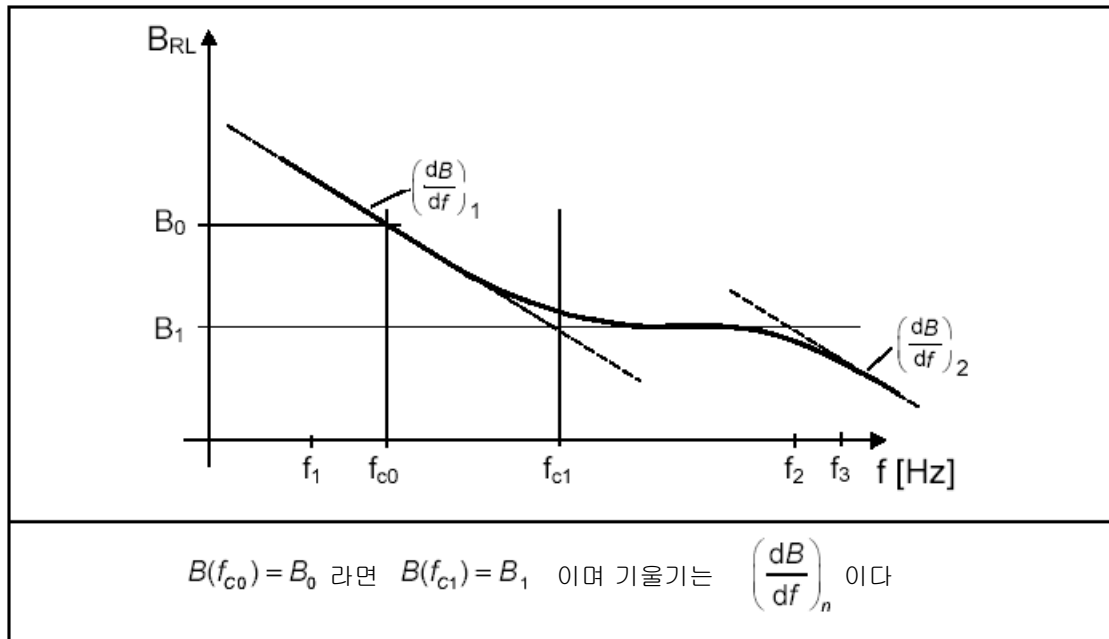


그림 4.2 평화된 끝을 갖는 기준 레벨 주파수에 대한 의존성의 예

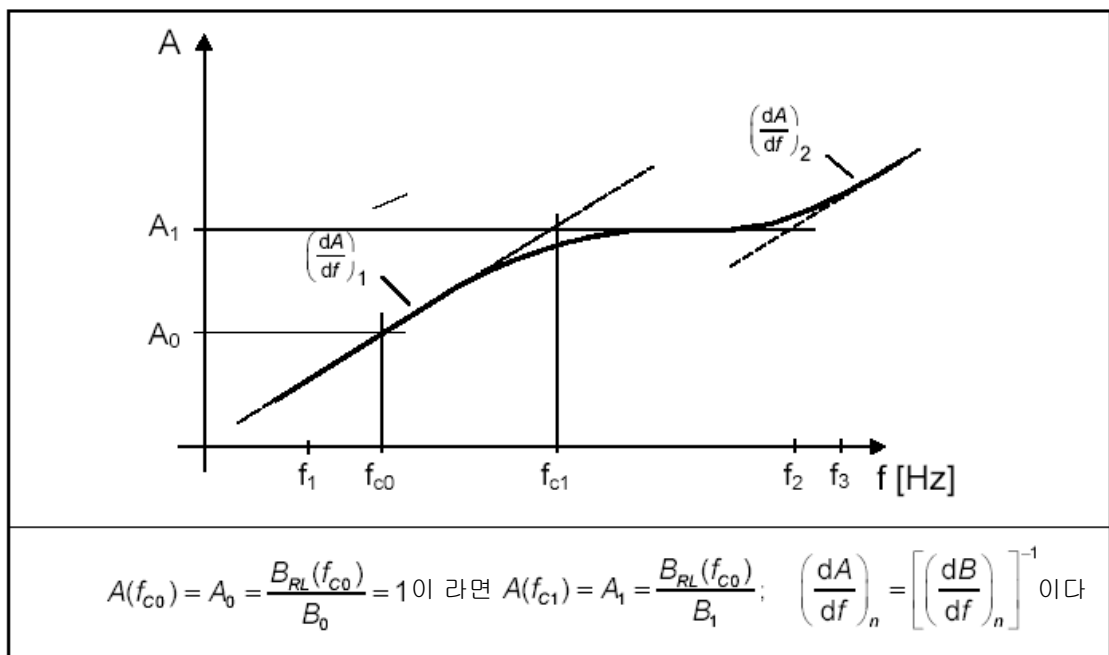


그림 4.3 그림 2의 기준 레벨과 대응하는 전달 함수 A의 예

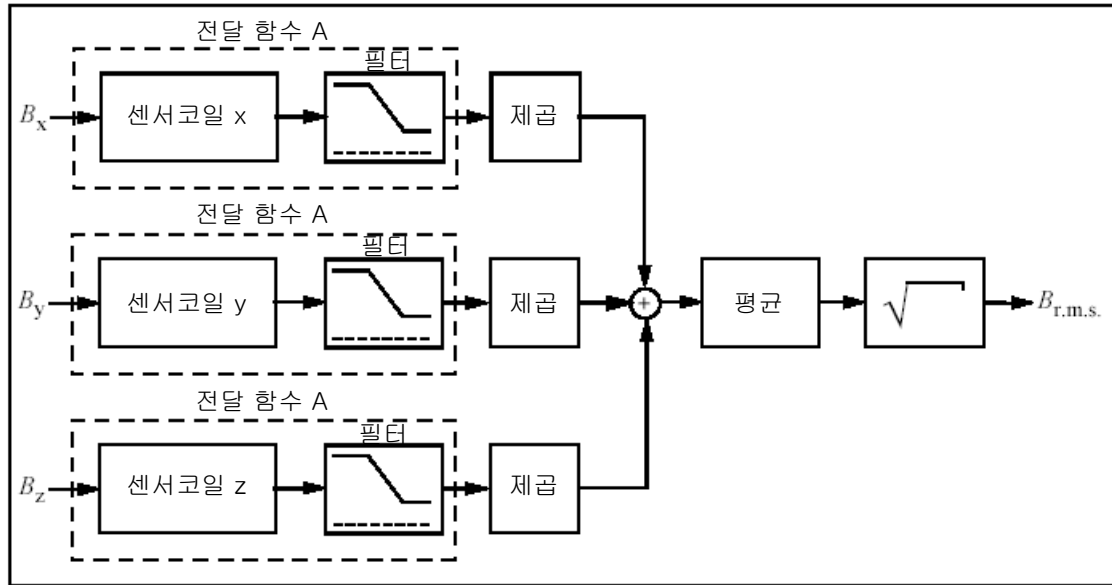


그림 4.4 기준 방법의 회로도

### 제 3 절 자속 밀도 측정을 위한 시험 조건

#### 1. 일반

측정은 기구가 정상적인 사용시와 동일하게 배치되는 표 4.1에 명시된 조건하에서 실시된다.

기구가 표 4.1에 기재되어 있지 않거나 표 4.1과 사용 방식이 다른 경우에는 신체의 두부 및 몸통에 있는 중추 신경계 조직에 미치는 영향으로부터 보호하기 위해 동작 조건, 측정 거리, 센서 위치 등은 다음과 같도록 한다. 사용자 설명서에 동작 조건, 설치 및 동작 위치가 명시적으로 정의되어 있는 경우, 측정은 당해 조건 하에서 실시되며 기타 경우에는 아래의 사항을 참조하라.

##### [동작 조건]

- a) 최대 설정
- b) 관련 국제 무선 장애 특별 위원회(CISPR) 14-1 시리즈(CISPR 14-1 series)에 명시되어 있는 동작 조건 또는 가능한 경우 무부하(without load) 동작 조건.

##### [측정 거리]

- a) 몸통 또는 두부와 접촉하여 사용되는 기구: 0cm
- b) 기타 기구: 30cm.

##### [센서 위치]

- a) 신체 또는 두부와 접촉하는 기구: 사용자 방향(접촉면)
- b) 이동 불가능한 대형 기구: 정면(동작면)과 기타 사람이 접촉할 수 있는 면
- c) 기타 기구: 주변

단기간 동작에 관한 제조업자의 명세서가 고려되어야 한다.

시험 전에 실행 시간(running-in time)은 명시되지 않지만, 기구는 동작 조

건이 전형적인 정상 사용 동안의 동작 조건이라는 점을 보증하기 위해 충분한 시간 동안 동작된다.

기구는 정격 전압 2%와 정격 주파수 2%를 공급하는 전원에서부터 정상적인 사용에서와 동일하게 동작되어야 한다.

전압 범위 및/또는 주파수 범위가 표시되어 있는 경우, 공급 전압 및/또는 주파수는 기구가 사용되도록 고안된 해당 국가 또는 지역의 공칭 전압 및/또는 주파수이어야 한다.

표 4.1에 달리 명시되어 있지 않은 한, 제어는 최고 설정으로 조정되어야 한다. 그러나, 사전 설정된 제어는 의도된 위치에서 이용된다. 측정은 기구에 전압이 가해지는 동안 이루어진다. 시험은 주위 온도  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 에서 실시된다.

## 2. 특정 기구의 동작 조건

### 2.1 다기능 기기

기기를 내부적으로 변경시키지 않고 이루어질 수 있다면, 동시에 본 표준의 상이한 조항의 적용 대상이 되는 다기능 기기는 동작하는 각 기기에 대해 개별적으로 시험되어야 한다.

실질적으로 동작하는 각 기능에 대해 개별적으로 시험할 수 없는 기기 또는 특정 기능을 분리하면 주 기능을 수행할 수 없게 되는 기기의 경우, 이 기기는 동작하는데 필요한 최소 기능으로 동작하여야 한다.

### 2.2 배터리를 이용하여 동작하는 기기

기구가 주전원에 연결될 수 있는 경우, 이 기구는 각 허용 모드에서 동작하는 동안 시험되어야 한다. 배터리 전원으로 동작하는 경우, 시험 시작 전에 배터리가 충전되어야 한다.

표 4.1 측정 거리, 센서 위치, 동작 조건

장치 형식	측정 거리( $r_1$ ) 사용설명서에 없는 경우	센서 위치	동작 조건
공기 청정기	30 cm	주변	지속
에어컨	30 cm	주변	냉방 모드: 최저 온도 설정, 주위 온도 $30 \pm 5$ °C 난방 모드: 최고 온도, 주위 온도 $15 \pm 5$ °C 주위 온도는 실내기로 들어오는 공기 흐름의 온도에서 정의된다.
배터리 충전기	30 cm	주변	제조업자가 명시한 최고 용량으로 빈 축전지(accumulator)를 충전하는 동안
음료 제조기	30 cm	주변	지속, 무부하
전기 담요	0 cm	윗면	열절연 시트위에 펼쳐서 깔아놓은 상태
블렌더(Blender)	30 cm	주변	지속, 무부하
과일 압축기	30 cm	주변	지속, 무부하
시계	30 cm	주변	지속
커피 메이커	30 cm	주변	IEC 60335-2-15의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
커피 분쇄기	30 cm	주변	IEC 60335-2-15의 3.1.9.108에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
대류식 히터	30 cm	주변	최대 출력
튀김 프라이팬	30 cm	주변	IEC 60335-2-13의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
치과 위생 기구	0 cm	주변	IEC 60335-2-52의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
탈모기	0 cm	날	지속, 무부하
식기 세척기	30 cm	윗면, 정면	세척 모드에서 물이 있는 상태 및 식기가 없는 상태, 가능한 경우 건조 모드
계란 반숙기	30 cm	주변	IEC 60335-2-15의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
얼굴 사우나 기구	10 cm	윗면	지속
선풍기	30 cm	주변	지속
온풍기	30 cm	주변	지속, 최대 열 고정
바닥 폴리셔	30 cm	주변	광택 브러시에 기계적 하중이 없는 상태로 지속
푸드 프로세서	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
식품 보온 저장고	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
발 보온기	30 cm	윗면	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
가스 점화 장치	30 cm	주변	지속
그릴	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
헤어 클리퍼	0 cm	날	무부하 상태로 지속
푸드 프로세서	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
식품 보온 저장고	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정

장치 형식	측정 거리(r <sub>1</sub> ) 사용설명서에 없는 경우	센서 위치	동작 조건
발 보온기	30 cm	윗면	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
가스 점화 장치	30 cm	주변	지속
그릴	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
헤어 클리퍼	0 cm	날	무부하 상태로 지속
헤어 드라이어	10 cm	주변	지속, 최대 열 고정
전기 장판	30 cm	윗면	열절연 시트위에 펼쳐서 깔아놓은 상태
전기 방석	0 cm	윗면	열절연 시트위에 펼쳐서 깔아놓은 상태
호브	30 cm	윗면, 정면	IEC 60335-2-6의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일 하지만, 각 열 장치에 대해 개별적으로 최대 설정
아이스크림 메이커	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 냉각 설정
전기 침액 히터	30 cm	주변	발열체가 완전히 물에 잠긴 상태
유도 호브 및 가열기			3. 참조
다리미	30 cm	주변	IEC 60335-2-3의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
다림 기계	30 cm	주변	IEC 60335-2-3의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
착즙기	30 cm	주변	무부하 상태로 지속
전기 주전자	30 cm	주변	물이 절반 정도 충만된 상태
주방 저울	30 cm	주변	무부하 상태로 지속
나이프	30 cm	주변	무부하 상태로 지속
주방용 기계 및 절단기	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
마사지 기구	0 cm	마사지 헤드 부분	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
전자 레인지(IEC 60335-2-25에 의해 다루어지는 RF 부품)	30 cm	주변	최대 마이크로파 전력 상태로 지속. 가용한 경우, 관 용 발열체들은 최대 설정 상태에서 동시에 작동되어 야 한다. 내용물은 수돗물 1 리터이며, 선반의 중앙에 배치되어야 한다. 물을 담은 용기는 유리나 플라스틱 과 같은 비도전성 재료로 제작된 것이어야 한다.
믹서	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
유입 라디에이터	30 cm	주변	최대 열 고정 상태로 지속
오븐	30 cm	윗면, 정면	오븐은 도어가 닫혀 있고 내부가 비어 있으며, 자 동 온도 조절기가 최고로 설정되어 있어야 한다. 또한 가용한 경우, 세척 모드에서는 사용 설명서에 기술된 것과 동일한 상태를 유지하여야 한다
레인지	30 cm	윗면, 정면	각 기능이 개별적으로 동작
레인지 후드	30 cm	바닥, 정면	최대 설정으로 한 제어
냉장 기구	30 cm	윗면, 정면	도어가 닫힌 상태로 지속. 자동 온도 조절기가 최대 냉각으로 조절되어야 한다. 내부는 비어 있어야 한다. 측정은 안정된 조건이 갖추어진 후에 이루어지지만, 모든 구획에 있어서 능동 냉각(active cooling)이 이루어져야 한다.

장치 형식	측정 거리(r1) 사용설명서에 없는 경우	센서 위치	동작 조건
밥솥	30 cm	주변	물이 절반 정도 충만되어 있으며, 최대 열 고정 상태
면도기	0 cm	날	무부하 상태로 지속
절삭기	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 속도 설정
일광욕실	내부 0 cm 외부 30 cm	정면	지속, 최대 설정
원심 분리식 탈수기	30 cm	윗면, 정면	무부하 상태로 지속
축열 난방기	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
티 메이커	30 cm	주변	무부하 상태로 지속
토스터	30 cm	주변	무부하 상태로 지속, 최대 열 고정
휴대용 공구	30 cm	주변, 동일한 면이	예를 들면 속도 등과 같은 모든 설정을 무부하 상태에서 최대로 유지한다
수유도 공구	30 cm	항상 사용자 방향으로	예를 들면 속도 등과 같은 모든 설정을 무부하 상태에서 최대로 유지한다
발열체가 있는 공구	30 cm	향하지 않는 경우에 한함	최대 온도 설정, 작업 위치에 있는 경우 글루스틱이 부착되어 있는 글루 건
이동식 공구	30 cm	사용자 방향의 윗면 및 정면	예를 들면 속도 등과 같은 모든 설정을 무부하 상태에서 최대로 유지한다
세탁물 건조기	30 cm	윗면, 정면	건조 상태에서 크기가 약 0.7 m x 0.7 m이고 부피가 140 g/m <sup>2</sup> 내지 175 g/m <sup>2</sup> 인 사전 세탁된 2단 면시트 형태의 섬유 소재를 갖는 세탁물의 건조 모드에서 측정한다
휴대형 진공 청소기	30 cm	주변	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
몸에 부착하는 진공 청소기	0 cm	주변 사용자 방향	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
기타 진공 청소기	30 cm	주변	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 기술되어 있는 것과 동일한 상태
세탁기,세척기,건조기	30 cm	윗면, 정면	최대 속도 회전 모드에서 직물이 없는 상태
물침대 히터	10 cm	윗면	열절연 시트위에 펼쳐서 깔아놓은 상태
온수기	30 cm	주변	필요한 경우, 물이 흐를 때 제어를 최대로 설정
와류 욕조	내부 0 cm 외부 30 cm	주변	지속



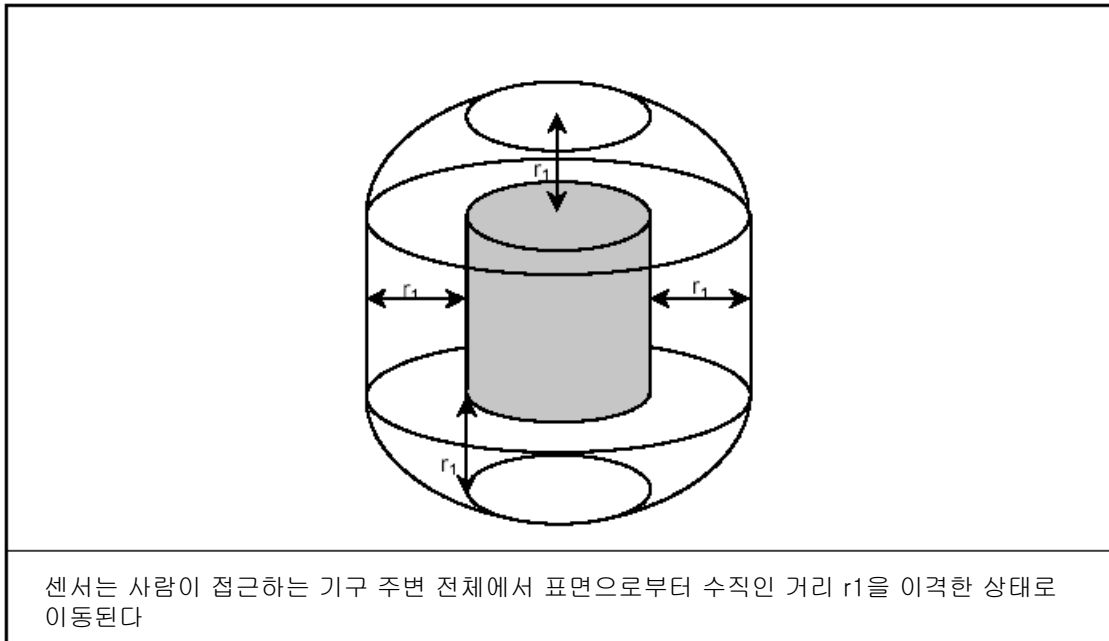


그림 4.5 측정 위치: 주변

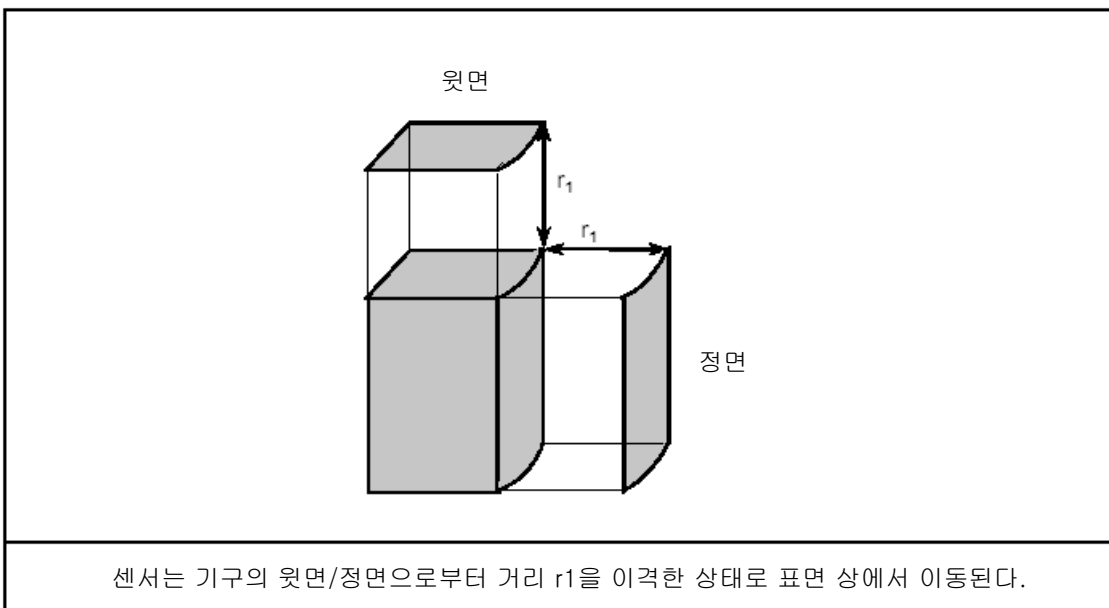


그림 4.6 측정 위치: 윗면/정면, 3.2.7 참조

### 3. 유도 호브(induction hob) 및 가열기의 시험 조건

#### 3.1 측정 거리

각 조리 장소에 대한 측정은 기구의 가장자리로부터 센서 표면까지 30 cm 거리를 이격한 4 개의 수직선(A, B, C, D)을 따라서 이루어진다(그림 4.7 참조). 측정은 조리 장소 위로 1 m 까지, 조리 장소 아래로 0.5 m 까지에서 이루어진다. 벽 가까이 배치하여 사용하고자 한 경우, 기구의 뒷면(수직선 D)에서는 측정이 이루어지지 않는다.

### 3.2 동작 방식

에나멜을 입힌 강철 용기를 수돗물로 용량의 50%를 채운 다음 각 조리 장소에 차례로 배치한다.

사용 설명서에서 권고된 가장 작은 용기가 사용된다. 어떤 권고도 제공되지 않는 경우, 지시된 조리 장소에서 사용되는 가장 작은 표준 용기가 사용된다. 표준 용기의 바닥 직경은 110 mm, 145 mm, 180 mm, 210 mm, 300 mm 등이다.

사용되지 않는 조리 장소에서는 유도 가열 장치가 차례로 동작된다. 에너지 컨트롤러 설정은 최대 입력 전력을 부여하도록 선정되어야 한다. 측정은 물이 끓을 때 이루어진다. 물이 끓지 않는 경우, 측정은 최대 설정 전력이 공급된 다음 1 분 후에 이루어진다.

주 : 관찰 시간(예를 들면, 30초)은 변동 전자기장 소스(fluctuating field source)에서 확실히 최대값을 얻도록 정의되어야 한다.

주 : 유도 가열 장치 간의 공유 전원으로 인해, 각 가열 장치가 개별적으로 동작하는 경우 최고 자기장 및 연속 자기장이 얻어진다.

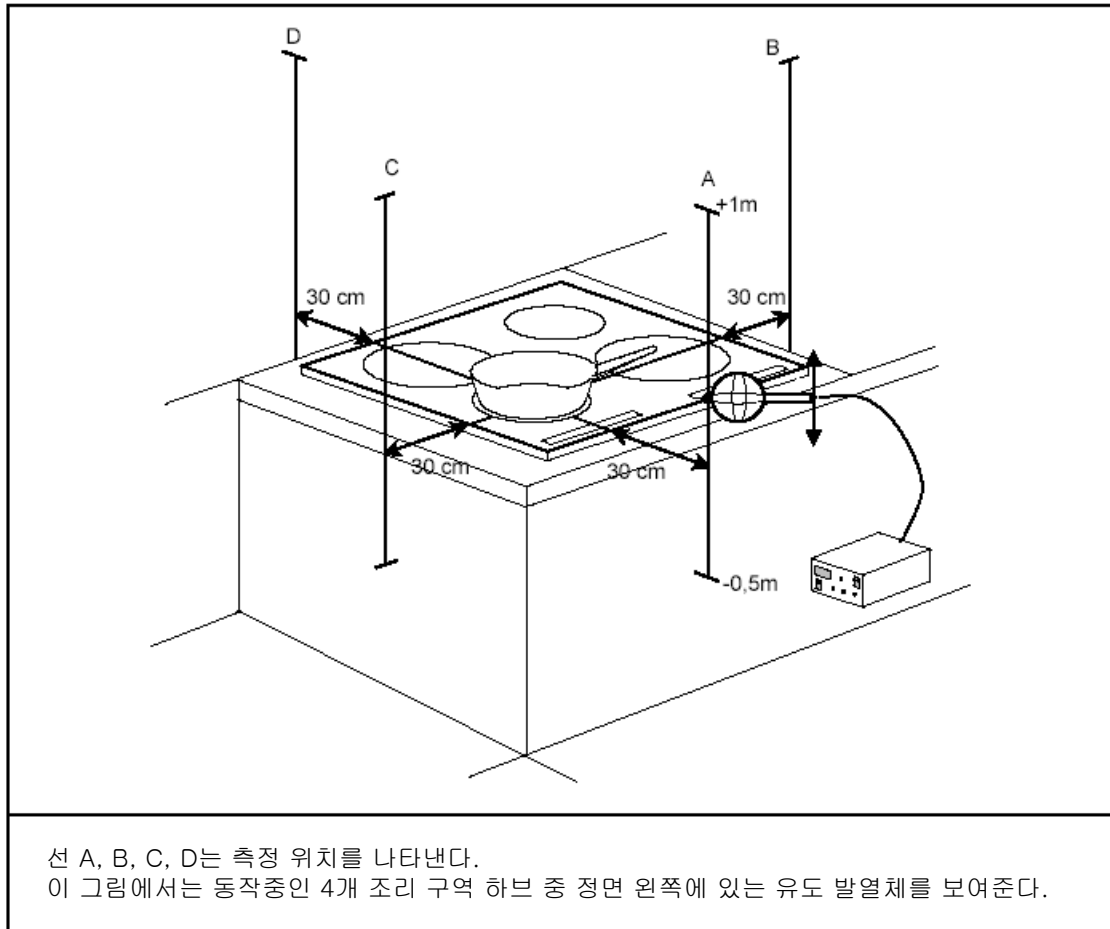


그림 4.7 유도 호브 및 가열기의 측정 거리

## 제 4 절 노출 제한치의 예

아래에 주어져 있는 제한치는 정보용일 뿐이며, 포괄적인 목록은 아니다.

제한치가 국가 주관청이 명시한 최신 버전의 제한을 사용한다는 점을 보장하는 확인하는 것은 본 표준 사용자의 책임이다.

### 1. 국제 비전리성 복사 방호 위원회의 가이드라인(ICNIRP Guideline)

표 4.2 10 GHz 이하 주파수의 시변 전자기장에 대한 기본 한계

노출 특성	주파수 범위	두부 및 몸통의 전류 밀도 (mA/m <sup>2</sup> ) (rms)	전신 평균 SAR (W/kg)	국부 비 SAR (두부 및 몸통) (W/kg)	국부 SAR (사지) (W/kg)
직업인 노출	1 Hz 이하	40			
	1-4 Hz	40/f			
	4-1 000 Hz	10			
	1-100 kHz	f/100			
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz		0.4	10	20
일반인 노출	1 Hz 이하	8			
	1-4 Hz	8/f			
	4-1 000 Hz	2			
	1-100 kHz	f/500			
	100 kHz-10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz		0.08	2	4

주 f는 헤르츠 단위의 주파수이다

표 4.3 직업인의 시변 전자기장에 노출에 대한 기준 레벨

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

비고: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다.

표 4.4 일반인의 시변 전자기장에 노출에 대한 기준 레벨

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 ( $\mu\text{T}$ )	전력밀도 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
1Hz 이하	–	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$	
0.025kHz 이상 ~ 0.8kHz 미만	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	
0.8kHz 이상 ~ 3kHz 미만	$250 / f$	5	6.25	
3kHz 이상 ~ 150kHz 미만	87	5	6.25	
		$0.73 / f$	$0.92 / f$	
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	2
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	28	0.073	0.092	
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	61	0.16	0.20	

비고: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다.

## 2 미국 전기 전자 기술자 협회의 표준(IEEE Standard)

표 4.5 3 kHz이상에서 신체의 여러 가지 영역에서 적용되는 제한치

노출된 조직		일반인	관리 환경
	$f_e$	$E_o$	$E_o$
	(Hz)	(V/m-rms)	(V/m-rms)
뇌	20	$5.89 \times 10^{-3}$	$1.77 \times 10^{-2}$
심장	167	0.943	0.943
손, 손목, 발, 발목	3350	2.1	2.1
기타 조직	3350	0.701	2.1

표의 해석은 다음과 같다:  
 $f \leq f_e$  일 경우  $E_i = E_o$  이고;  $f > f_e$  일 경우  $E_i = E_o(f/f_e)$  이다.  
 기재된 한계 이외도, 10 Hz 미만의 자기장에 대한 두부 및 몸통의 노출은 일반인의 경우에는 침투값 167 mT, 관리 환경에서는 500 mT로 제한되어야 한다.

표 4.6 자기장 제한치: 두부 및 몸통의 노출

주파수 범위	일반인		관리 환경	
(Hz)	$B$ (mT-rms)	$H$ (A/m-rms)	$B$ (mT-rms)	$H$ (A/m-rms)
< 0.153	118	$9.39 \times 10^4$	353	$2.81 \times 10^5$
0.153 - 20	$18.1/f$	$1.44 \times 10^4/f$	$54.3/f$	$4.32 \times 10^4/f$
20 - 759	0.904	719	2.71	$2.16 \times 10^3$
759 - 3000	$687/f$	$5.47 \times 10^5/f$	$2060/f$	$1.64 \times 10^6/f$
3000 - 100 kHz		164		164

3 kHz를 초과하는 IEEE 표준(IEEE, 1991년)과의 일관성을 입증하기 위해 3 kHz를 초과하는 주파수에 대한 제한치가 포함된다.

## 제 5 장 106/49/CD 기술문서의 내용

본 장은 “300 MHz에서 3 GHz 주파수 범위의 휴대용 이동 전화에 대하여 전자파 흡수율(SAR) 결정 절차 - 106/49/CD”에 대하여 언급하고자 한다.

106/49/CD는 106/24/CD 1차 CD(의견을 받기 위한 위원회 안)에서 회원국의 의견을 받아 2차 CD로 만들어진 문서이고 106/49/CD는 전반적으로 IEEE SCC34의 IEEE Std 1528-200X(2002. 9.)의 내용이 많이 인용되어 수정된 상태임. 특히 IMT-2000용 모의조직의 추가되고 모의 조직 측정방법의 장단점 삭제되었다.

### 제 1 절 측정 시스템 규격

휴대폰 전자파의 인체 유해 여부는 아직 입증되지 않았지만 사회적인 관심 사항으로 대두됨에 따라 실제 인체와 유사한 전기정수를 갖는 모의인체를 이용하여 휴대폰으로부터 방출된 전자파가 실제로 인체에 흡수되는 정도를 평가하는 방법으로 전자파흡수율(SAR)을 측정한다.

전자파흡수율(Specific Absorption Rate : SAR)은 단위 질량에 흡수되는 전력(W/Kg)으로 표시되는 양이다.

SAR은 질량 증분(dm)에 의해 흡수되는 에너지증분(dW)의 시간 미분에 대한 식과 질량밀도( $\rho$ )인 미소체적(dV)에서 에너지증분(dW)의 시간 미분에 대한 식은 다음과 같이 표현된다.

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

온도변화에 대한 SAR의 관계와 전기장과 SAR과의 관계는 다음 식으로 표현된다.

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

단,  $c$ 는 비열용량[J/g/°C],  $\Delta T$ 는 온도 변화[°C],  $\Delta t$ (s) 노출 지속시간,  $E$ 은 전기장 세기[V/m],  $\sigma$ 는 전기전도도[S/cm] 그리고  $\rho$ 는 질량밀도[Kg/m<sup>3</sup>]이다.

위 식에서, 휴대폰 전자파에 의한 영향은 모의인체의 전기장  $E$ [V/m]를 측정하여 SAR을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법으로 측정하기 위하여 시스템은 모의인체, SAR 측정 기기, 주사 시스템 및 무선 장치 홀더로 구성되어 있다.

## 1.1 일반 요구 사항

무선 기기에 의해서 발생하는 전자기장에 노출되는 사람의 머리를 나타내는 모의인체 모델에서의 내부 전기장 분포를 측정하기 위해 자동적으로 위치 제어되는 축소형 프로브를 이용하여 시험을 실행하여야 한다. 측정된 전기장 값으로부터 SAR 분포 및 최대질량 평균 SAR 값을 계산하여야 한다. 시험은 다음과 같은 환경 조건을 만족하는 시험실에서 수행하여야 한다:

- 주위 온도는 18°C 에서 25°C 범위에 있어야 하며, 시험 중의 온도 변화는  $\pm 2^\circ\text{C}$ 를 초과해서는 안된다.
- 0.012W/kg 이하는 주변의 노이즈다.
- 무선 장치는 구내 이동망과 상호 작용하여서는 안된다.
- 주위의 전자기 발생원이 SAR 측정에 심각한 영향을 미치지 않도록 주의하여야 한다.
- 환경(바닥, 장치 홀더, 액체의 표면 등)으로부터의 반사가 SAR 측정에 심각한 영향을 미치지 않도록 주의하여야 한다.

## 1.2 모의인체 규격(외피 및 액체)

### 1.2.1 모의인체 외형에 대한 이론적 근거



모의인체 몸통 부분은 전자기 노출량 측정의 필수 구성 요소이다. 그것이 나타내는 몸통 부분의 해부학적인 세부 사항을 모방하는 것이 바람직하지만, 그렇게 하는 것이 항상 필요하거나 실용적인 것은 아니다. 그러므로, SAR 측정에 영향을 미치는 관련 특징, 치수 및 재료적 특성을 정의하고 표준화하는 것이 중요하다.

귀 뒤 돌출부는 머리에 대한 이동기와 안테나의 근접성을 결정하는데 직접적인 영향을 미치며, SAR 결정에 있어서 중요한 파라미터이다. 귀의 돌출부는 귀에 대한 기기의 눌림을 모의하기 위해 조정되어야 한다. 귀의 모양은 이동기기 위치 결정에 한 인자이며 정확하고 위치가 재현 가능하도록 설계되어야 한다.

해부학적인 외형과 크기의 통계적인 분석은 현실적인 모의인체 외형 규격의 기준이 되기 위한 인간 집단에 대한 인체 측정 연구로부터 얻을 수 있다. 1988년 미 육군 군인을 대상으로 한 인체 측정 연구는 혼합된 연령, 인종 및 민족 동질성의 한 샘플에 기초한 데이터를 제공한다. 머리의 외형은 그림 4.1에 설명한 바와 같이 다수의 선과 곡선으로 정해진다.

노출량 연구는 비교적 큰 머리(성인, 남성 사용자)는 보다 많은 에너지를 결합하고 비교적 작은 머리(여성과 어린이)에 비해 최악의 노출 시나리오를 나타낸다는 사실을 암시한다[2]. 90 백분위수 크기(성인 남성)의 머리 치수는 모든 사용자의 90% 이상이 더 작은 머리를 가지고 있고, 따라서 이것이 더 낮은 노출을 유지한다는 것을 보증하는데 이용되어야 한다.

손 모델링에 관해서는 모든 이동기기에 적용할 수 있는 독특한 손 홀딩 위치를 명시하는데 실질적인 어려움이 있다. 더욱이, 노출량 연구에 따르면 손을 모델링하지 않는 것이 두부에서의 SAR에 대한 보수적인 사례 시나리오를 구성한다는 사실을 암시한다[3]. 이런 이유로 본 표준에서 이동기기는 손으로 잡지 않는다.

### 1.2.2 SAM 모의인체 규격

Gordon 보고서로부터 치수를 도출하였다. 그것은 그림 4.1에 나타내었으며 표 4.1에 보고되어 있다. 귀와 볼 가까이에서 이동기기를 사용하는 특별한

조건을 고려하기 위해, 특정 기준을 추가하였다. 그것은 표 4.1에 보고되어 있다. 특히 귀 기준점(ERP)에서 2mm 외피를 포함하는 6mm의 두께는 외이(外耳, 귓바퀴)를 모델화 하기 위해 고려된 것이다.

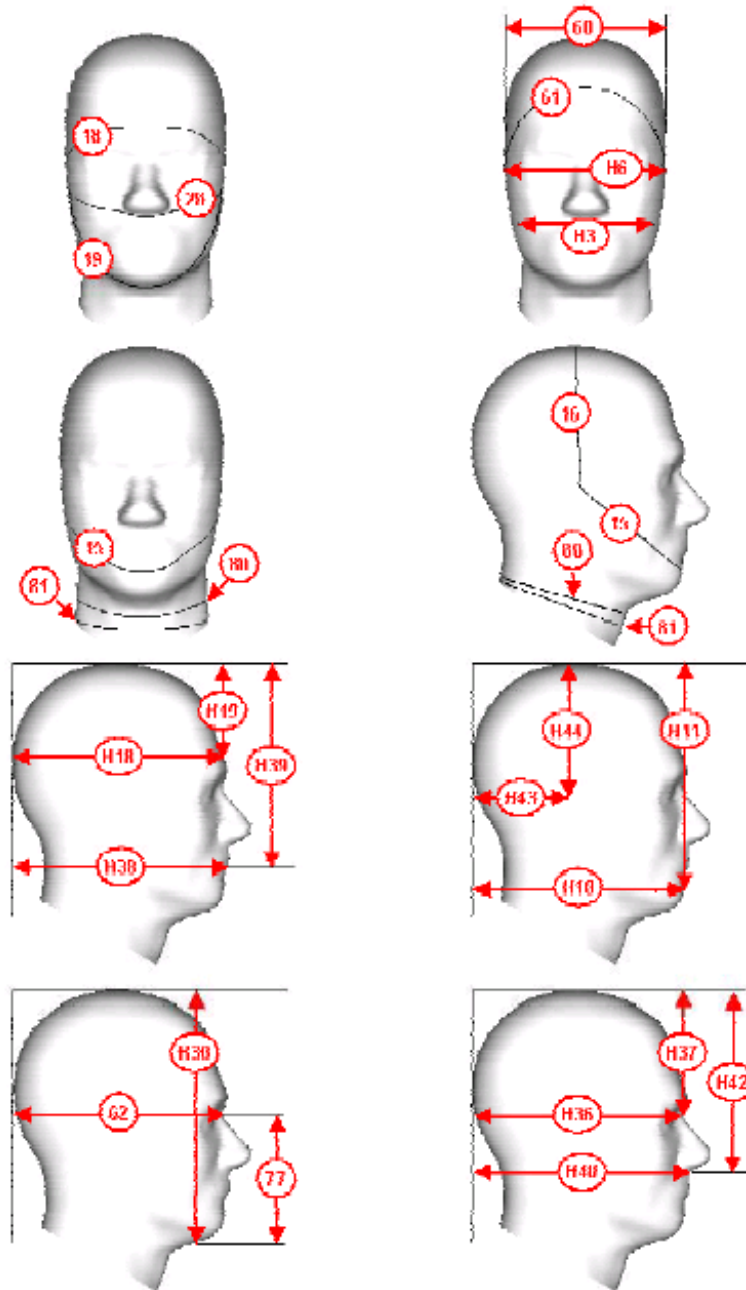


그림 4.1 - 표 4.1의 치수에 대한 설명

표 4.1 - 모의인체 외형과 관련된 머리 치수: Gordon 보고서로부터의  
성인 남성 머리의 90 백분위수 크기와 SAM 치수의 비교

참고 번호	해부학	Gordon 보고서(mm)			SAM (mm)	차이 (%)
		중앙값	표준편차	90 백분위수		
H3	Bigonial Breadth	118.9	7.9	129.2	130.0	0.6
H6	Bitracion Breadth	144.8	6.0	152.3	152.7	0.2
H10	Chin-Back of Head	194.2	10.3	207.3	206.5	-0.4
H11	Chin-Top of Head	216.8	8.9	228.3	220.4	-3.5
H18	Glabella-Back of Head	199.7	7.2	208.5	209.2	0.3
H19	Glabella-Top of Head	96.2	7.3	105.6	104.4	-1.1
H36	Sellion-Back of Head	197.0	7.1	205.9	205.3	-0.3
H3	Sellion-Top of Head	112.0	6.9	120.9	121.7	0.7
H38	Stomion-Back of Head	199.4	9.6	211.9	211.4	-0.2
H39	Stomion-Top of Head	186.3	7.8	196.3	196.3	0.0
H40	Subnasale-Back of Head	203.5	8.3	213.6	213.0	-0.3
H42	Subnasale-Top of Head	161.9	7.7	171.8	177.6	3.4
H43	Tragion-Back of Head	98.9	8.5	106.4	106.4	0.0
H44	Tragion-Top of Head	131.0	5.7	138.2	138.2	0.0
15	Bitracion Chin Arc	325.8	13.4	343.1	329.3	-4.0
16	Bitracion Coronal Arc	353.3	12.9	369.7	367.3	-0.6
18	Bitracion Frontal Arc	304.3	10.6	318.2	314.1	-1.3
19	Bitracion Submandibular Arc	304.2	14.5	323.2	333.5	3.2
20	Bitracion Subnasale Arc	292.0	11.1	306.3	305.3	-0.3
60	Head Breadth	151.7	5.4	158.6	158.4	-0.1
61	Head Circumference	567.7	15.4	587.3	594.8	1.3
62	Head Length	197.1	7.1	206.0	206.0	0.0
77	Menton-Sellion Length	121.9	6.5	130.4	125.0	-4.1
80	Neck Circumference	379.6	19.7	405.3	395.4	-2.5

표 4.2 SAM 모의인체와 CAD 파일의 설계를 위한 특정 지침

참조	SAM 지침
SG1	기준면은 Stomion(입) 뿐만 아니라 왼쪽과 오른쪽 Tragion으로 정해진다.
SG2	ERP는 Tragion으로부터 15 mm의 거리에 있는 기준면에 있다.
SG3	ERP의 위치에서의 외피의 두께는 6 mm이다.
SG4	외부 표면상의 NF 선은 60 mm 길이의 직선이며 기준면에 직각을 이루는 면에 포함된다.
SG5	외부 표면상의 NF 선은 기준면에 직각을 이루는 면에서 기울어져 있으므로 평면 장치와 외부 표면 사이의 볼 위치에 있는 접촉점은 기준선상에 있다.
SG6	외부 표면상의 MB 선은 ERP로부터 귀의 상위 부분까지 직선이고 이 선을 따르는 외피 두께는 6 mm 미만이다.
SG7	귀의 외부 표면은 평면이며 NF 선으로 정해지며 외피의 MB 선 총 두께는 귀 부위를 제외하고 2 mm이다.
SG8	H-30 mm에서 H+30 mm까지의 기준면에 평행한 절단면의 볼 부위에는 S-모양이 없어야 한다.
SG9	외피의 두께는 내부 표면과 수직인 거리로 측정하여야 한다.
SG9	외피의 두께는 내부 표면과 수직인 거리로 측정하여야 한다.

기준점과 기준선의 시스템은 위치 결정 시스템을 모의인체와 상호 관련시키는데 이용되어야 한다(그림 4.2). M 점은 입의 중앙에 대한 기준점이며 LE는 왼쪽 귀 기준점(ERP)이고 RE는 오른쪽 귀 기준점이다. ERP는 B-M 선(후면-입)을 따르는 귀구멍(EEC)으로 들어가는 입구의 15 mm 후부이다(그림 4.2).

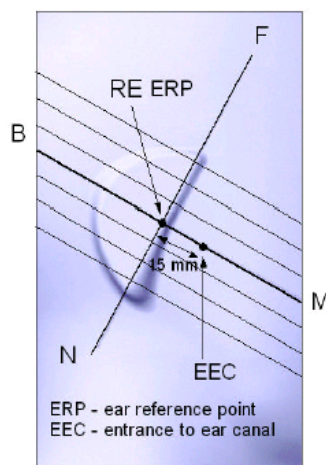


그림 4.2 - 귀 부근을 보여주는 모의인체 측면의 확대도

두개의 귀구멍과 M을 통과하는 면은 기준면으로 정의된다. 기준면과 직각을 이루고 RE(또는 LE)를 통과하는 N-F(목-전면)선은 기준 회전축 선이라 불린다. B-M 선은 N-F 선에 직각을 이룬다. N-F와 B M 선은 모두 휴대단말기 위치 결정을 용이하게 하기 위해 외부의 모의인체 외피에 표시하여야 한다. N-F 선의 후면에서 귀의 모양을 가진 모의인체 외피의 두께는 ERP에서 6 mm 두께의 편평한 표면이다. N-F 선 전면에서 귀는 그림 4.2에서 설명한대로 끝이 절단되어 있다. 귀 끝을 절단하는 이유는 장치가 귓볼에 닿지 않도록 하기 위해서 도입되는데, 장치가 귓볼에 닿으면 볼에서 장치 위치 결정의 불안정을 야기할 수 있다.

기준선 MB와 기준선 NF의 돌출부는 모의인체에 그려져야 한다. 추가 선은 편의에 따라 선택할 수 있다. 추가 선은 선택적이다.

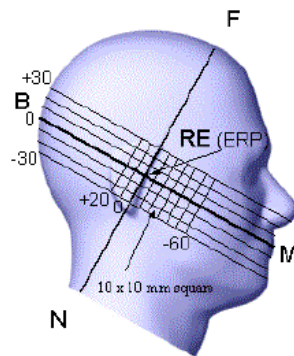


그림 4.3 - 관련 기호를 보여주는 모의인체의 측면도(단위: mm)

그림 4.3에서의 선택적인 기호는 규격에 영향을 주지 않으며, 모의인체의 외부 표면으로 선명하게 그려 넣을 수 있다.

### 1.2.3 모의인체 외피의 특성

모의인체 모델의 물리적 특성(크기 및 외형)은 외형이 노출을 위한 우세한 파라미터이므로 사용자의 머리를 시뮬레이션한다. 모의인체는 두부 조직의 특성과 유사한 유전 특성이 있는 재료로 만들어져야 한다. 모의인체 내의 전자기장 주사를 가능케 하기 위해서는 그 재료가 두부 모양의 외피 모델에 들어있는 액체가 되어야 한다. 외피 모델은 외형을 갖춘 용기의 역할을 하

며, 아래에 설명한 바와 같이 가능한 한 조심스럽게 다루어야 한다. 손은 모델화해서는 안된다

모의인체 외피는 본 문서에 명시된 조직 구성에 있는 모든 성분에 내성이 있어야 한다. 귀 공간 이격자를 포함하는 모의인체의 외피는 저 유전율과 저 손실 재료로 만들어져야 하며, 상대 유전율 5 이하이고 손실 탄젠트가 0.05 이하이어야 한다. 모의인체 외피 외형은 SAM의 CAD 파일에 대해  $\pm 0.2$  mm 미만의 허용 오차를 가져야 한다. 휴대단말기의 돌출부 내의 어떤 부분에서도 외피 두께는 귀와 확장된 돌출부를 제외하고  $2 \pm 0.2$  mm가 되어야 한다. 저 손실(두부 외피와 같은 재료) 귀 공간 이격자는  $\pm 0.2$  mm 미만의 허용 오차 내에서 귀 기준점(ERP)에서 조직 경계로부터 6 mm의 이격 거리를 제공하여야 한다. 중심 시상 봉합면의  $\pm 1.0$  cm 이내의 중앙 스트립에서 허용 오차는  $\pm 1.0$  mm가 되어야 한다(그림 4.4).

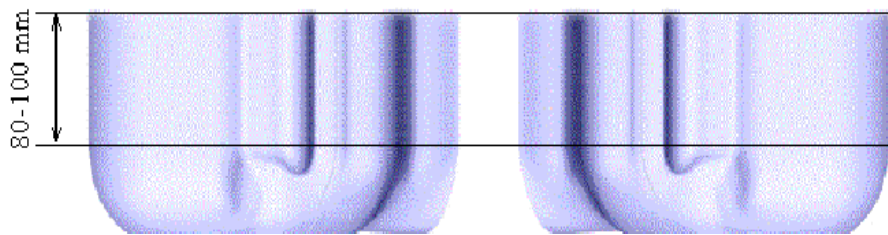


그림 4.4 - 확장된 경계를 가진 사상봉합을 따라 (sagittally) 이동분된 모의인체 (SAR 측정을 위해 그 측면에서 본 그림)

모의인체에서의 기준점은 최소한 모의인체의 3개 점이 위치 결정 시스템을 모의인체와 상호 관련시키는데 이용되어야 한다.

입에 대해서는 점 M, 왼쪽 귀 기준점 ERP에 대해서는 LE, 오른쪽 ERP에 대해서는 RE가 모의인체에서 정의되어야 한다(그림 4.5 참조). 이런 점들은 모의인체와 관련하여 무선 기기의 재현성 있는 위치 결정을 가능케 하는데 이용되어야 한다.

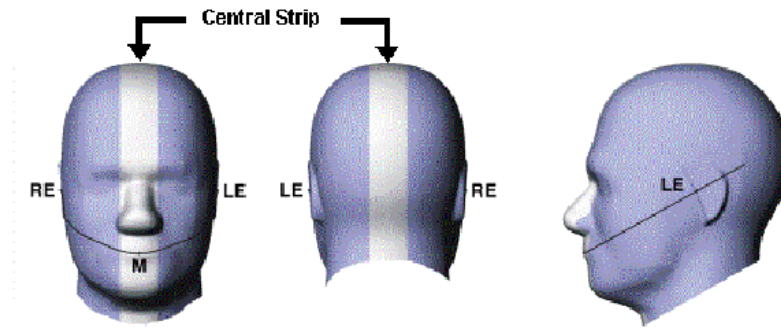


그림 4.5 - 귀 기준점, 입 기준점 및 중앙 스트립을 보여주는  
모의인체의 그림(기준선 추가)

선 NF는 휴대단말기의 배치를 용이하게 하기 위하여 기준면에 수직으로 정의된 ERP를 통해 그린 직선이 되어야 한다. 기준선 MB와 기준선 NF의 돌출부는 모의인체에 표시하여야 한다. 휴대단말기의 음성 출력측의 중심 레벨은 모의인체의 ERP에 반대가 되도록 위치를 결정하여야 한다(그림 4.6). 기준면 MB에 대한 횡단면은 그림 4.7에 나타내었다.

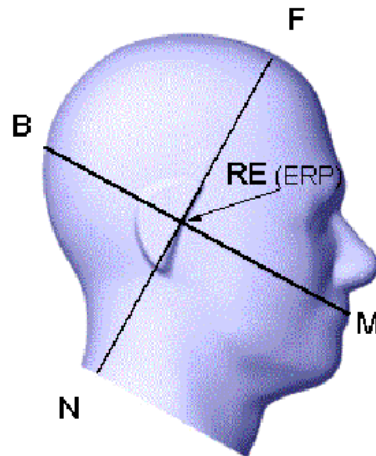


그림 4.6 - 관련 기호를 보여주는 모의인체의 측면도

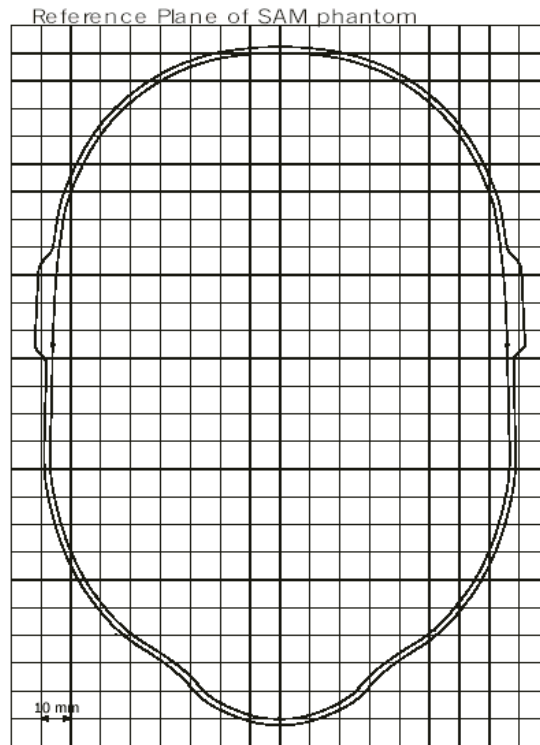


그림 4.7 - 기준면 B에서 M까지의 SAM 횡단면도

#### 1.2.4 액체 재료 특성

일차적인 연구로서 평면파에 노출되는 무한한 반공간 계층 조직 모델의 간단한 분석적 모델은 공간 침투 SAR 에 미치는 임피던스 정합, 정재파 등의 영향을 조사하기 위해 활용되었다. 조직 계층은 성인과 어린이(10번째와 90번째 백분위수 사이)를 포함하는 사용자 집단을 포함하여 노출된 머리 부위의 해부학적인 변화를 표시하기 위해서 구성 성분과 두께에 있어서 변화를 주었다. 각 주파수에서의 흡수율에 관한 최악의 조직 계층 구성 성분에 기초하여, 동질적인 모델링을 위한 두부 조직 등가 유전 파라미터가 도출되어 동일한(또는 약간 더 높은) 공간 침투 흡수율을 도출하였다. Cole-Cole의 해석적인 유전 특성 데이터가 이용되었고 Gabriel의 데이터로부터 얻을 수 있다. 근거리장 노출에 대한 이런 접근법의 타당성은 문헌으로부터의 성인과 어린이의 MRI에 기초한 비균질한 인간 두부 모델로부터의 결과와의 비교뿐만 아니라 계층 구조에 가장 가깝게 근접한 곳에 평면파를 반파장 다이폴과



1/4 파장 단극 소스로 교체하는 것에 의해서 증명되었다.

표 4.3은 Drossos et al. 에 발표된 등가 두부 조직의 유전 상수와 도전율을 보여준다. 주파수 범위 내의 다른 주파수에서의 등가 두부 조직의 유전 특성에 대해서는 선형 내삽법이 이용되어야 한다.

표 4.3 - 액체 재료의 유전 특성

주파수 (MHz)	상대 유전율 ( $\epsilon_r$ )	도전율 ( $\sigma$ ) (S/m)
300	45.3	0.87
450	43.5	0.87
835	41.5	0.90
900	41.5	0.97
1450	40.5	1.20
1800	40.5	1.40
1900	40.0	1.40
1950	40.0	1.40
2000	40.0	1.40
2450	39.2	1.80
3000	38.5	2.40

### 1.2.5 조직 등가 재료의 준비

다음 조성은 중량 비율로 주어진다. ( $\epsilon_r$  : 비 유전율,  $\sigma$ : 전도도)은 조성은 중량 비율로 주어진다.

설탕(순도 > 98%)

증류수(최소 저항 16 M $\Omega$ 이상)

NaCl (순도 >99% 소금)

Hydroxyethyl Cellulose (HEC)

방부제

Diethylene Glycol Butyl Ether (DGBE 순도 >99% )

Triton X 100 (ultra pure)

NaCl (소금)

Frequency (MHz)	300	450	835	900				1450	1800				1900	1950	2000	2100		2450		3000	
Recipe #	1	1	3	1	1	2	3	1	1	2	2	3	1	2	4	1	1	2	2	3	2
Ingredients (% by weight)																					
1,2-Propanediol							64.81														
Diacetin			48.9					49.2					49.43							49.75	
Bactericide	0.19	0.19	0.5	0.10	0.10			0.5					0.50							0.50	
DGBE								45.51	47.00	13.84	44.92		44.92	13.84	45.0	50.0	50.0	7.99	7.99		7.99
HEC	0.98	0.98		1.00	1.00																
NaCl	5.95	3.95	1.7	1.45	1.48	0.79	1.1	0.67	0.36	0.35	0.18	0.64	0.18	0.35				0.16	0.16		0.16
Sucrose	55.32	56.32		57.00	56.50																
Triton X-100											30.45				30.45			19.97	19.97		19.97
Water	37.56	38.56	48.9	40.45	40.92	34.40	49.2	53.82	52.64	55.36	54.90	49.43	54.90	55.36	55.0	50.0	50.0	71.88	71.88	49.75	71.88
Measured dielectric parameters																					
$\epsilon_r'$	46.0	43.4	44.3	41.6	41.2	41.8	42.7	40.9	39.3	41.0	40.4	39.2	39.9	41.0	40.1	37.0	36.8	41.1	40.3	39.2	37.9
$\sigma$ (S/m)	0.86	0.85	0.90	0.90	0.98	0.97	0.99	1.21	1.39	1.38	1.40	1.40	1.42	1.38	1.41	1.40	1.51	1.55	1.88	1.82	2.46
Temp. (°C)	22	22	20	22	22	22	20	22	22	21	22	20	21	21	20	22	22	20	20	20	20
Target values (from Table 5.1)																					
$\epsilon_r'$	45.3	43.5	41.5	41.5				40.5	40.0								39.8		39.2	38.5	
$\sigma$ (S/m)	0.87	0.87	0.90	0.97				1.20	1.40								1.49		1.80	2.40	

## 1.2.6 액체의 유전 특성 측정 방법

본 단원은 SAR 특성 측정 절차의 일부로서 조직 등가 재료의 유전 특성 측정을 다룬다.

### 1.2.6.1 측정 기법

모의조직의 전기적 특성은 유전율  $\epsilon'$ 과 도전율  $\sigma$ 을 측정함으로써 실험적으로 결정된다. 유전 파라미터는 온도와 주파수에 따라서 변화한다. 조직 등가 재료의 유전 특성 측정은 몇 가지 잘 확립된 기법 중 하나를 이용하여 실시할 수 있다.

다음 또는 등가 계측기기가 요구된다:

- (a) 벡터 망 분석기와 S-파라미터 시험 세트
- (b) 샘플 홀더
- (c) 측정 결과를 샘플의 유전 특성으로 변환하기 위한 특별한 방법론과 응용 소프트웨어.

액체 재료에 적합한 세가지 유형의 샘플 홀더를 설명한다.

### 1.2.6.2 슬롯 선로

이동하는 프로브와 함께 제공되는 종단된 동축 슬롯 선로는 샘플 홀더로

이용될 수 있다. 회로망 분석기는 슬롯 선로를 따르는 함수(function) 위치로서, 슬롯 선로의 입력에 RF 소스를 제공하며, 이동하는 프로브를 통해, 샘플에서 송신되는 신호의 크기와 위상을 기록되게 해준다.

회로망 분석기 교정 및 설정은 요구되는 주파수 범위, 시작 측정 위치, 슬롯을 따르는 단계 크기 및 후속적인 측정의 총수에 대한 측정방법에서 명시하여야 한다. 해석 소프트웨어는 샘플의 유전 특성을 산출하기 위한 측정 결과를 해석하여야 한다.

일반 예방 조치(측정 실시 전):

- 슬롯 선로의 내외부가 깨끗하도록 하고 필요하다면 압축공기를 사용하라.
- 프로브가 깨끗하고 손상되지 않도록 하라.
- 슬롯 선로를 공기 방울이 없이 액체 샘플로 완전히 채우기 위한 절차를 고안하라. 그렇게 하는 한가지 방법은 유연한 튜브와 꼭 끼는 큰 주사기를 사용하는 것이다. 공기 방울은 선로 바닥에서 선로를 천천히 튜브로 채우기 전에 쉽게 제거될 수 있다.
- 슬롯 선로의 눈금 크기는 첫번째 정확한 측정 점의 위치와 단계별 크기를 고려하는 방법론이 되어야 한다.
- 샘플의 온도를 기록하고 유전 특성이 이 온도에서 적용될 수 있다는 것을 유의하라.
- 시험을 실시하는 사람이 측정의 성격과 각 단계에서 무엇이 기대되는지 잘 아는 것은 필수적이다. 장치가 작동하는 것을 보증하기 위해서 샘플 측정 이전에 기준 액체를 측정하는 것은 좋은 관행이다.

### 1.2.6.3 접촉 프로브

접촉 프로브는 임피던스 정합에 의한 무 손실 면과 접지면에 의해 개방 종단의 전송선로 구역으로 종단되었다. 프로브가 샘플과 접촉하도록 위치시키고, 회로망 분석기나 등가 계측기기를 이용하여 그 반사 계수를 측정함으로써 측정이 이루어진다. 액체 샘플은 적절한 크기의 비금속 컨테이너에 올려

놓는다.

특별한 방법론과 소프트웨어는 요구되는 주파수 범위에 대해서 프로브 치수, 샘플 양, 회로망 분석기 교정 및 설정을 명시하고 주파수의 함수로서 샘플의 유전 특성을 산출하기 위한 측정 결과를 해석한다.

이런 기술을 이용하기 위해서는 회로망 분석기에 대한 프로브/소프트웨어 패키지를 취득하여 샘플의 유전 특성을 구하기 위한 절차를 따르도록 하라.

일반 예방 조치(측정 실시 전):

- 프로브가 깨끗하고 손상되지 않게 하라.
- 프로브 아래에 공기 방울이 있지 않게 하라. 유리 용기를 이용하는 경우, 육안 검사로도 충분하다.
- 샘플의 온도를 기록하고 유전 특성이 이 온도에서 적용될 수 있다는 점을 유의하라.
- 시험을 실시하는 사람이 측정의 성격과 각 단계에서 무엇이 기대되는지 잘 아는 것은 필수적이다. 장치가 작동하도록 보증하기 위해 샘플 측정 이전에 기준 액체(시스템 교정에 이용되는 것)를 측정하는 것은 좋은 습관이다.

#### 1.2.6.4 TEM 선로

이 방법은 액체로 채워진 TEM 선로의 복소 전송 계수(Complex Transmission Coefficient) 측정에 기초한다. 전송 측정은 회로망 분석기(VNA)를 이용하고, 산란 계수  $S_{21}$ 의 크기와 위상을 기록하여 행한다. 액체의 복소 유전율은 신호 흐름 그래프 기법에 의해 도출되는 전송 계수의 수치 해법으로 풀어서  $S_{21}$ 의 크기와 위상으로 부터 계산한다.

$$S_{21} = \frac{(1 - \Gamma^2) \exp(-jkd)}{1 - \Gamma^2 \exp(-j2kd)}$$

$$\Gamma = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0} \sqrt{\epsilon_r}$$

여기서  $k$ 는 액체 표면에서의 반사 계수이고,  $k$ 는 액체에서의 전파 상수이며,  $d$ 는 샘플의 길이이고,  $f$ 는 주파수이며,  $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ 는 샘플의 상대 복소 유전율이다.

전송 센서는 한 개의 원형의 중심 전도체, 두 개의 평면 접지 전도체, 한 개의 투명한 플라스틱 벽 및 온도 센서로 구성되는 스트립 선로이다.

길이  $d$ 는 일정 주파수 범위에 대해 조정되기 때문에

- (1) 센서내의 다수의 반사의 영향이 작으며
- (2) 센서의 총 감쇠는 회로망 분석기(VNA)의 동작 범위를 초과하지 않는다.

중심과 접지 전도체  $D$ ,  $b$ 의 치수를 선택하기 때문에

- (1) 센서의 임피던스가 50 이고
- (2) 이 구조는 원하는 측정 주파수 범위에서 스퍼리어스 전파 모드를 지원하지 않는다.

### 1.3 SAR 측정 기기의 규격

측정 기기는 하나의 전체 시스템으로서 교정되어야 한다. 프로브는 증폭기, 측정 장치 및 데이터 취득 시스템과 함께 교정되어야 한다. 측정 기기는 부록 B에 정의된 방법론에 따라 적절한 운용 주파수와 온도에서 각각의 조직 등가 액체에서 교정되어야 한다.

최소 검출 제한치는 0.02 W/kg보다 낮아야 하며, 최대 검출 제한치는 100 W/kg보다 높아야 한다. 선형성은 0.02 에서 100 W/kg의 SAR 범위에서  $\pm 0.5$  dB내에 있어야 한다. 등방성은  $\pm 1$ dB내에 있어야 한다. 민감도, 선형성 및 등방성은 조직 등가 액체에서 결정되어야 한다. 반응 시간이 명시되어야 한다.

이런 요구 사항에 맞추기 위해, 보호 덮개의 외부 치수가 8 mm를 초과해서는 안된다는 것을 권고한다.

측정된 신호가 펄스 신호 예를 들면, 디지털 프레임인 경우 SAR 측정 기기의 통합 및 평균하는 시간(rms 검출에 기초함)은  $\pm 5\%$ 내로 재현성 있는 결과를 산출할 수 있어야 한다.

## 1.4 주사 시스템 규격

### 1.4.1 일반 요구 사항

프로브를 수용하고 있는 주사 시스템은 3차원 SAR 분포를 평가하기 위해 모의인체의 노출된 전체 부피를 주사할 수 있어야 한다. 그것은 상단에 구멍이 있는 모의인체나 절개된 모의인체에 의해 달성될 수 있다. 주사 시스템의 기계적 구조는 SAR 측정을 방해하여서는 안된다.

### 1.4.2 기술 요구 사항

#### 1.4.2.1 정확성

측정 부위에서의 프로브 끝 위치 결정의 정확성은  $\pm 0.2$  mm 이상이 되어야 한다.

#### 1.4.2.2 위치 제어 분해능

위치 제어 분해능은 측정 시스템이 측정을 수행할 수 있는 정도이다. 위치 제어 분해능은 1 mm나 그 미만이 되어야 한다.

## 1.5 무선 기기 홀더 규격

환경(바닥, 기기 홀더, 액체의 표면)으로부터의 어떤 반사와 흡수가 SAR 측정에 심각한 영향을 무치지 않도록 주의하여야 한다.

무선 기기 홀더는 경사각  $\pm 1^\circ$ 의 허용오차로 기기가 위치 제어되도록 하여

야 한다. 그것은 저손실 및 저 유전율 재료로 이루어져야 한다: 손실 탄젠트는 0.05 이하, 유전율은 5 이하이어야 한다.

SAR이 홀더에 의해서 교란되지 않는다는 것을 입증하기 위해서 홀더를 저밀도의 상대 유전 폼(foam) 블록으로 교체하거나, 테잎이나 실 등을 이용하여 휴대단말기를 모의인체에 부착시킴으로써 시험을 대체하여야 한다.

## 제 2 절 SAR 평가 프로토콜

### 2.1 측정 준비

#### 2.1.1 일반적인 준비

조직 등가 재료의 유전 특성은 SAR 측정 이전에  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 허용 오차를 갖는 동일한 온도에서 측정하여야 한다. 측정된 값은 상대 유전율 및 도전율에 대해  $\pm 5\%$ 의 허용 오차 내에서 5.2.4에 정의된 값을 따라야 한다. 측정 절차는 부록 A에 설명되어 있다. 모의인체 외피는 요구 사항을 만족시키기 위해서 조직 등가 액체로 채워져야 한다. 액체 모의 조직의 두께는 본 표준에 명시된 대로 모의 인체 구성의 ERP 이상 최소한 15 cm이어야 한다. 액체는 측정 전에 조심스럽게 교반하여야 하며 공기 방울이 없어야 한다.

액체 표면으로부터의 반사를 피하기 위해서 주의하여야 한다. 이 조건은 주파수 범위 300 MHz 에서 3 GHz까지 15 cm 두께로 달성된다.

액체의 점도는 움직이는 프로브에 기계적으로 영향을 주어서는 안된다.

#### 2.1.2 SAR 측정 시스템의 타당성 검증

##### 2.1.2.1 서 론

본 절은 다음과 같은 두 레벨의 SAR 측정 시스템 타당성 검증을 위한 절차를 제공한다:

- 시스템 성능 검사
- 시스템 타당성 검증

이러한 여러 다른 레벨의 타당성 검증 절차의 목적과 적용은 다음과 같다: 시스템 성능 검사(시스템 검사)는 일상적으로 또는 모든 SAR 측정 전에 실시할 수 있는 빠르고 신뢰할 수 있는 시험 방법을 제공한다. 여기서의 목표는 장치 구성 요소가 편이 효과를 포함하여 시험기관 교정 제한치 내에 있다는 것을 확인하는 것이다. 이런 시험은 반파장 다이폴 등의 평면 모의인체



및 표준 소스를 필요로 한다.

시스템 타당성 검증은 시스템 레벨의 타당성 검증 수단을 제공한다. 이 장치는 평면 모의인체와 기준 다이폴을 활용한다. 그러므로 시스템 타당성 검증은 해부학적인 두부 모의인체의 이용으로 인한 불확정도를 포함하지 않고 장치 위치 결정 가변성으로 인한 불확정도도 포함하지 않는다. 이런 시험은 매년(예를 들면 프로브 교정 후에) 시험 기관간의 비교와 관련된 측정 전에, 또한 한 개 이상의 구성 요소를 교체하는 것과 같은 장치 변경이 발생할 때 마다 실시된다.

시험 기관간의 비교는 기준 휴대단말기와 표준 해부학적인 모의인체를 이용하여 시험기관의 자격을 부여한다. 이런 자격 부여는 인간과 같은 모의인체로 인한, 또한 장치 위치 결정 효과로 인한 데이터 분산을 포함한다. 이런 시험은 다양한 시험기관의 정확성과 정밀한 성능 비교에 이용된다.

## 2.1.2.2 시스템 성능 검사

### 2.1.2.2.1 목 적

시스템 성능 검사(시스템 검사)의 목적은 시스템이 그 규격 내에서 동작한다는 것을 입증하는 것이다. 시스템 검사는 시스템이 적합성 시험 시 정확히 동작한다는 것을 확인하기 위한 재현성 검사이다. 그것은 외부 표준에 대한 시스템의 타당성 검증이 아니다.

시스템 검사는 다음과 같은 시스템에서의 가능한 단시간 편이와 불확정도를 검출한다:

- a) 액체 파라미터에서의 변화(예를들면 물 증발이나 온도변화로 인한 것)
- b) 부품 고장
- c) 부품 편이
- d) 장치나 소프트웨어 파라미터에서의 운용자 불확정도
- e) 시스템에서의 악조건 예를 들면 RF 간섭

시스템 검사는 표준 소스 있는 간략화된 장치에서의 완전한 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정이다. 시스템 검사에서의 측정기와 절차는 적합성 시험

에 이용되는 것과 같다. 시스템 검사는 적합성 시험 중간 대역 주파수의  $\pm 10\%$  내에 있는 선택된 고정 주파수에서 적합성 시험에서와 같은 액체를 이용하여 실시하여야 한다. 시스템 검사는 적합성 시험 전에 실시하며 결과는 항상 이용되는 소스와 시험 주파수에 상응하는 목표값의  $\pm 10\%$  내에 있어야 한다. 목표값은 시스템 검사 장치를 이용하여 시스템 타당성 검증이 실시되었던 시스템에 의해 측정된 1 g 또는 10 g 평균 SAR이다. 이 목표값은 제어된 표준 소스를 이용하여 결정하여야 한다.

#### 2.1.2.2.2 모의인체 장치

평면 모의인체는 시스템 성능 검사와 시스템 타당성 검증 목적으로만(7항 참조) 권고하는 조직 등가 재료와 함께 이용되어야 한다. 최소의 횡축 치수(폭과 길이)는 SAR 측정이 1.0% 이상 영향을 받지 않도록 되어야 한다. 반파장 다이폴 소스에 대해서는 길이와 폭이 최소한 파장의 0.6배가 되어야 한다. 모의인체 플라스틱 재료의 상대 투자율은 5이하가 되어야 하며, 손실 탄젠트는 0.05이하가 되어야 한다. 이 재료는 화학 모의 조직으로의 반응이나 손상에 저항력이 있어야 한다.

평면 모의인체 바닥의 두께는 800 MHz 에서 3000 MHz까지의 주파수 범위에서 2 mm가 되어야 하며, 800 MHz 이하의 주파수에 대해서는 6.5 mm이하가 되어야 한다. 두께는  $\pm 0.2$  mm의 허용 오차 내에서 일정하여야 한다. 15 cm의 최소 두께까지 액체로 채워질 때 액체 인터페이스에서 소스(예를 들면 다이폴) 바로 위에 있는 바닥의 내부 표면 일부의 처짐은 800 MHz 에서 3000 MHz까지의 주파수 범위에서 파장의 1% 이하가 되어야 하며, 800 MHz 이하의 주파수에서는 파장의 0.5% 이하가 되어야 한다.

#### 2.1.2.2.3 표준 소스

모의인체는 요구되는 주파수에 대한 표준 소스(예를 들면 반파장 다이폴이나 패치 안테나)를 이용하여 조사하여야 한다. 시스템 타당성 검증에 이용되는 기준 다이폴은 시스템 검사에도 이용될 수 있지만 요구되는 것은 아니다. 표준 소스는 양호한 위치 결정 재현성, 기계적 안정성 및 임피던스 정합 특

성을 가진 것으로 선택하여야 한다. 다음의 위치 결정 지시사항에서 반파장 다이폴은 표준 소스의 한 예로서 이용된다.

반파장 다이폴은 모의인체의 바닥 아래에 위치하고 모의인체의 가장 긴 축과 평행한 축을 중심으로 하여야 한다. 액체로 채워진 모의인체 바닥 표면과 다이폴 중심  $s$  사이의 거리는 각 시험 주파수에 대해 명시되어야 한다. 저손실 및 저 유전 상수 공간이격자는 다이폴의 상단 표면과 모의인체의 바닥 표면 사이의 정확한 거리를 설정하는데 이용되어야 한다. 다이폴은 전력 측정에서의 불확정도를 줄이기 위해서 공진 주파수에서 20 dB(장치에서 측정)보다 반사 손실이 좋아야 한다.

양호한 재현성을 보증하기 위해서는 동일한 다이폴(또는 기타 제어되는 소스) 및 공간이격자가 항상 시스템 검사에 이용되어야 한다. 거리  $s$ 의 수용 가능한 허용 오차는  $\pm 0.2$  mm내에 있어야 한다.

#### 2.1.2.2.4 표준 소스 입력 전력 측정

전원의 불확정도는 가능한 한 작아야 한다. 그것은 시스템 검사 중에 방향성 결합기와 전력 측정기기가 있는 시험 장치 이용을 요구한다. 권장하는 장치는 그림 4.8에 나와있다(그것은 표준 소스의 한 예로서 반파장 다이폴을 이용한다).

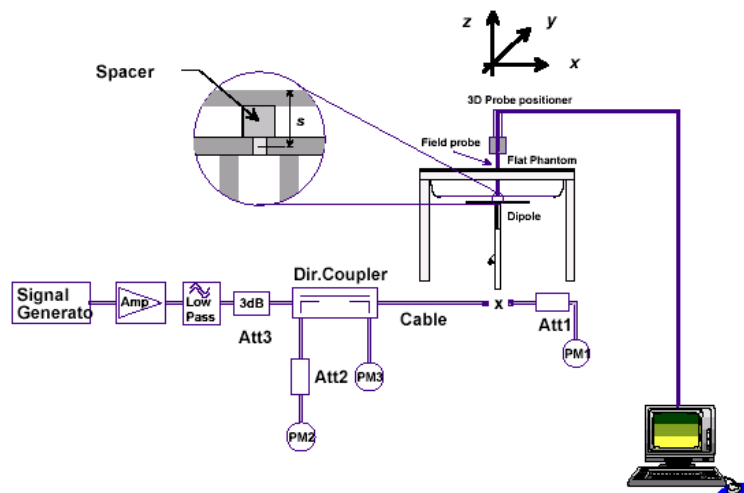


그림 4.8 - 시스템 성능 검사용 장치

먼저 전력 측정기기 PM1(감쇠기 Att1 포함)은 다이폴 커넥터(X)의 위치에서 순방향 전력을 측정하기 위해 케이블에 접속된다. 신호 발생기는 전력 측정기기 PM2에 의해 읽혀진 다이폴 커넥터에서의 원하는 순방향 전력에 대해 조정된다(Att1의 감쇠를 감안하여). 신호 발생기는 케이블을 다이폴에 접속한 후 전력 측정기기 PM2에서의 같은 판독값에 대해서 재조정된다. 신호 발생기가 0.01 dB 간격에서의 조정을 허용하지 않으면 PM2에서의 나머지 차이를 고려하여야 한다. 값이 이전의 값으로부터 변경되지 않도록 보증하기 위해 PM3는 다이폴로부터의 반사된 전력을 기록한다. 반사된 전력은 순방향 전력보다 최소한 20 dB 낮아야 한다.

구성 요소 및 측정기 요구 사항은 다음과 같다:

- (a) 신호 발생기와 증폭기는 안정적이어야 한다(워밍업 후에). 다이폴로의 순방향 전력은 프로브 시스템(부록 B5 참조)의 검출 하한치를 초과하는 SAR을 산출할 만큼 충분히 높아야 한다. 신호 발생기가 15 dBm이나 그 이상을 전달할 수 있는 경우, 증폭기는 일반적으로 필요하지 않다. 어떤 고전력 증폭기는 최대 출력 전력보다 훨씬 낮은 레벨에서 작동되어서는 안된다. 예를 들면 250 mW 출력 전력에서 작동되는 100 W 전력 증폭기는 잡음이 매우 심할 수 있다. 신호 발생기와 증폭기 사이의 감쇠기는 증폭기 입력을 보호하기 위해 권장한다.
- (b) 증폭기 이후에 삽입되는 저역 필터는 증폭기로부터의 잡음과 고조파의 효과를 감소시킨다. 정상 작동하는 대부분의 증폭기에 대해서는 필터가 필요하지 않다.
- (c) 증폭기 이후의 감쇠기는 소스 정합과 전력 센서의 정확성을 향상시킨다(전력 측정기기 설명서 참조).
- (d) 방향성 결합기(권장하는 20 dB 결합 계수)는 순방향 전력을 감시하고 불변의 순방향 전력에 대한 신호 발생기 출력을 조정하는데 이용된다. 중간 품질 결합기는 부하(다이폴과 전력 헤드)가 모두 잘 맞기 때문에 충분하다.
- (e) 전력 측정기기 PM2와 PM3는 낮은 편이와 0.01 dBm의 분해능을 가져야 하지만, 그렇지 않다 하더라도 정확성은 전력 장치에 미미한

영향을 미친다(절대 교정은 요구되지 않는다).

- (f) 전력 측정기기 PM1과 감쇠기 Att1은 고품질 구성 요소가 되어야 한다. 이런 것들은 이왕이면 함께 교정하여야 한다. 감쇠기(-10 dB)는 전력 판독값의 정확성을 향상시킨다. (어떤 고전력 헤드는 내장된 교정 감쇠기와 함께 있다). 시험 주파수에서의 감쇠기의 정확한 감쇠를 알아야 한다. 대부분의 감쇠기가 명시된 값으로부터 0.2 dB까지 변화한다.
- (g) 전력 측정기기 PM2와 PM3에서의 선형성 및 범위 전환 불확정도를 피하기 위해서 실제 측정에 이용되는 것과 같은 전력 레벨을 PM1 시험에 이용한다. 전력 레벨이 변경되면 전력 레벨 설정 절차를 반복하여야 한다.
- (h) 다이폴은 위치 X에서 케이블에 직접 접속되어야 한다. 전력 측정기가 다른 커넥터 시스템을 가지면 고품질 어댑터를 이용한다.

#### 2.1.2.2.5 시스템 검사 절차

시스템 검사는 완전한 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정이다. 측정된 1 g 또는 10 g 평균 SAR 값은 표준 소스의 목표 입력 전력으로 표준화되며 측정 주파수와 표준 소스에 해당하는 이전에 기록된 목표 1 g이나 10 g 값과 비교된다. 수용 가능한 허용 오차는 각 시스템 검사에 대해 결정되어야 하며, 이전에 기록된 시스템 검사 목표값의  $\pm 10\%$ 내에 있어야 한다.

#### 2.1.2.2.6 유효성검사 다이폴

##### 가. 기계적 세부 내용

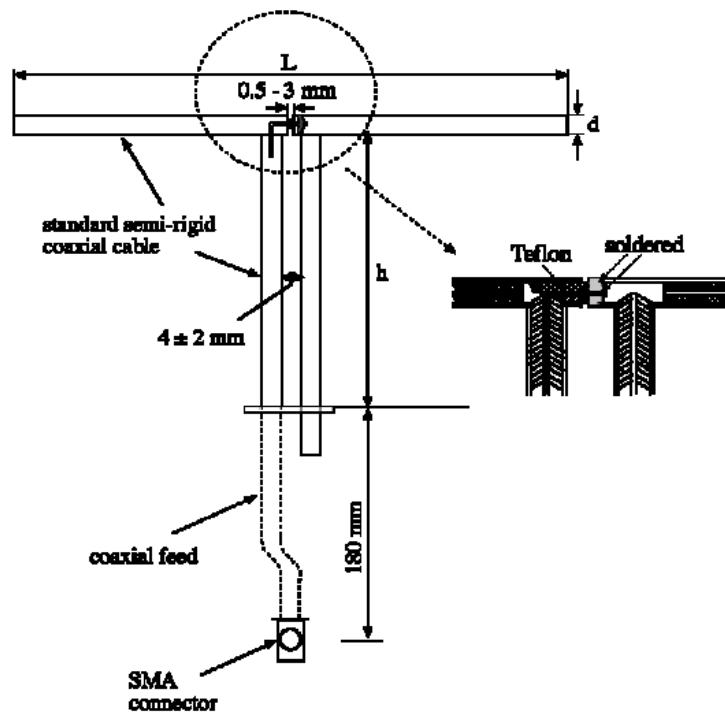


그림 4.9 - 기준 다이폴의 기계적 세부 내용

#### 나. 기계적 치수

기준 다이폴의 기계적 치수는 표 4.4에 나타내었다. 이 때 300 MHz와 450 MHz 에 대한 값은 6.3 mm의 모의인체 표피 두께에 대해 유효하다; 835 MHz 내지 3000 MHz 에 대한 값은 2 mm의 모의인체 표피 두께에 대해 유효하다. L, h, d의 허용 오차는  $\pm 1\%$  이내여야 한다.

표 4.4 기준 다이폴의 기계적 치수

주파수(MHz)	L (mm)	h (mm)	d (mm)
300	396.0	250.0	6.0
450	270.0	166.7	6.0
835	161.0	89.8	3.6
900	149.0	83.3	3.6
1450	89.1	51.7	3.6
1800	72.0	41.7	3.6
1900	68.0	39.5	3.6
1950	66.3	38.5	3.6
2000	64.5	37.5	3.6
2450	51.5	30.4	3.6
3000	41.5	25.0	3.6

### 2.1.2.3 시스템 타당성 검증

#### 2.1.2.3.1 목적

시스템 타당성 검증 절차는 기준 SAR 값에 대한 시스템, 프로브의 성능, 판독 전자 및 소프트웨어를 시험한다. 그것은 외부 표준에 관한 시스템의 타당성 검증이다. 이 장치는 평면 모의인체와 기준 다이폴을 활용한다. 그러므로 이런 타당성 검증 프로세스는 해부학적인 모의인체의 이용으로 인한 데이터 분산이나 장치 위치 결정 가변성으로 인한 불확정도를 포함하지 않는다.

시스템 타당성 검증은 새로운 시스템이 작동될 때 또는 새로운 소프트웨어 출시, 다른 판독 전자 또는 다른 유형의 프로브와 같은 시스템 변경이 이루어질 때마다 매년 실시된다. 시스템 타당성 검증은 프로브 교정이 발생한 후 행하여져야 한다.

본 단원의 목적은 SAR 측정 타당성 검증에 대한 방법론을 제공하는 것이다. SAR 측정 기기, 교정 기술, 모의인체 및 두부 조직 등과 액체는 다양한 시험 기관 사이에서 폭 넓게 변화할 수 있기 때문에 타당성 검증 방법론은 적당한 측정 불확정도내에서 일정한 결과가 얻어진다는 것을 확인하는데 필

요하다.

#### 2.1.2.3.2 모의인체 장치

시스템 성능 검사를 위해 설명하는 평면 모의인체 장치는 시스템 타당성 검증 시험에도 이용된다. 시스템 타당성 검증은 유전 특성을 가지는 두부 조직 등가 액체를 이용하여 실시하여야 한다.

#### 2.1.2.3.3 기준 다이폴 소스

모의인체는 요구되는 주파수에 대해서 기준 다이폴을 이용하여 주사되어야 한다. 기준 다이폴은 모의인체의 바닥 아래에 위치하고 모의인체의 가장 긴 측면과 평행한 축을 중심으로 하여야 한다. 저손실 및 저 유전 상수 공간 이격자는 기준 다이폴의 상단 표면과 모의인체의 바닥 표면 사이의 정확한 거리를 확립하는데 이용될 수 있다.

액체로 채워진 모의인체 바닥 표면과 기준 다이폴 중심(s로 지정됨) 사이의 거리는 각 시험 주파수에 대해 0.2 mm내에 명시된다. 기준 다이폴은 전력 측정에서의 불확정도를 줄이기 위해서 공진 주파수에서 20 dB(장치에서 측정됨)보다 나은 반사 손실이 있어야 한다.

기준 다이폴에 대해서는 이격 거리 s는 다음에 의해서 주어진다:

a)  $300\text{MHz} \leq f \leq 1000\text{MHz}$  에서  $s = 15\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

b)  $1000\text{MHz} < f \leq 3000\text{MHz}$  에서  $s = 10\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

기준 다이폴 암은  $\pm 2^\circ$ 나 그 미만의 허용 오차 내에서 모의인체의 평평한 표면과 평행하여야 한다

#### 2.1.2.3.4 기준 다이폴 입력 전력 측정

시스템 성능 검사를 위해 기술하는 입력 전력 측정 장치는 시스템 타당성 검증 시험에도 이용된다.



### 2.1.2.3.5 시스템 타당성 검증 절차

시스템 타당성 검증은 소프트웨어의 성능과 완전한 측정 시스템의 정확성 입증에 이용된다. 장치 위치 결정과 두부 모의인체 외형 불확정도는 고려하지 않는다.

시스템 타당성 검증 절차는 6단계로 구성된다. 단계(a)는 시스템 타당성 검증 절차의 가장 중요한 부분이며 매번 행해져야 한다. 단계(b)-(f)(권장함)는 프로브, 판독 전자 및 소프트웨어 성능의 신속하고 간단한 타당성 검증을 위한 수단을 제공한다. 이런 추가 시험은 시스템 구성 요소가 변경될 때 (예를 들면 새로운 소프트웨어 출시, 새로운 판독 전자, 새로운 프로브 유형 등) 언제든지 행하여져야 하지만 한 시험 기관에 의해서 (예를 들면 교정 시험 기관에 의해 또는 SAR 측정 시스템 최종사용자 시험 기관에 의해) 동일한 시스템 버전에 대해서만 실시될 필요가 있다.

시스템 타당성 검증 절차는 다음과 같다:

- a) SAR 평가: 완전한 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정이 실시된다. 기준 다이폴 입력 전력은 0.4 W/kg - 10 W/kg의 범위에 해당하는 1 g 또는 10 g 평균 SAR 값을 산출하도록 조정된다. 1 g이나 10 g 평균 SAR은 적합 시험에 이용될 범위 내에서 측정된다. 결과는 1W 순방향 입력 전력으로 표준화되며 기준 다이폴과 평면 모의인체에 대해서 기준 SAR 값과 비교된다. 기준 값으로부터의 차이는 표준 불확정도보다 작아야 한다.
- b) 외삽 루틴: 국부 SAR 값은 공간 평균 침투 SAR의 평가에 이용되는 것과 같은 점 간격을 이용하여 기준 다이폴 급전점 바로 위의 수직축을 따라서 측정된다. 이런 측정은 기준 다이폴 급전점으로부터 2 cm 수평 오프셋이 있는 다른 수직 축을 따라서 반복된다. 모의인체 표면에서의 SAR 값은 외삽되며주어진 수치와 비교된다. 주어진 기준 값과의 차이는 외삽 표준 불확정도 항목보다 작아야 한다.
- c) 프로브 선형성: 단계(a)의 측정은 다른 기준 다이폴 입력 전력 레벨을 이용하여 반복된다. 전력 레벨은 각 주파수에 대해서 선택되고 약 10 W/kg, 8 W/kg, 2 W/kg, 1.6 W/kg 및 0.4 W/kg의 1 g 또는 10

- g 평균 SAR 값을 산출하도록 선택된다. 측정된 SAR 값은 1 W 순방향 입력 전력으로 표준화되고 단계(a)로부터 1 W 표준화된 값과 비교된다. 이 값의 차이는 표2에 있는 프로브 선형성 표준 불확정도 항목보다 작아야 한다.
- d) 변조 반응: 단계(a)의 측정은 10 Hz의 펄스 반복율과 0.1의 듀티 인자를 갖는 펄스 변조 신호로 반복된다. 전력은 CW 신호로 대략 8 W/kg의 질량 평균 SAR을 산출하도록 조정된다. 측정된 SAR 값은 1 W 순방향 입력 전력과 1이라는 듀티 인자로 표준화되며 단계(a)의 1 W 표준화 값과 비교된다. 이런 값의 차이는 표2에 있는 선형성 표준 불확정도 항목보다 작아야 한다.
- e) 시스템 오프셋: 단계(a)의 측정은 대략 0.05 W/kg의 1 g 또는 10 g 평균 SAR을 산출하는 기준 다이폴 입력 순방향 전력으로 반복된다. 측정된 SAR 값은 1 W 순방향 입력 전력으로 표준화되며 단계(a)의 1 W 표준화 값과 비교된다. 이런 값의 차이는 표2에 있는 프로브 선형성 표준 불확정도 항목보다 작아야 한다.
- f) 프로브 축 등방성: 프로브는 모의인체 내부 표면으로부터 5 mm의 측정 거리에서 기준 다이폴 중심 바로 위에 위치한다. 프로브(또는 기준 프로브)는 15도보다 크지 않은 단계에서 최소한 180도 축을 중심으로 회전하여야 한다. 최대와 최소 SAR 판독값이 기록된다. 이런 값의 차이는 표2에 있는 프로브 축 등방성 표준 불확정도 항목보다 작아야 한다.

주 시스템 타당성 검증은 프로브 교정을 위한 선택적 절차도 아니며 7항의 불확정도 평가를 위한 선택적 절차도 아니다. 프로브와 판독 전자는 부록 B에 주어진 절차에 따라서 규칙적으로 교정되어야 한다. 프로브 반구 등방성은 시스템 타당성 검증을 위한 장치에서 고려하지 않는다.

#### 2.1.2.3.6 기준 SAR 값

시스템 타당성 검증 시험에서 주파수  $f_i$ 에 대해서 구성된 기준 다이폴은 시스템의 불확정도 내에서 기준 공간 평균 침투 SAR 값을 산출하여야 한다.

표 4.5의 3과 4행은 2.1.2.3.5에 설명한대로 시스템 외삽 루틴을 타당성 검증하는데 이용된다.

기준 SAR 값은 유한한 차이 시간 영역 방법을 이용하여 계산되었다. 800에서 3000 MHz의 주파수에 대한 값은 4번째 순서 다항식 외삽을 이용함으로써 실험적으로 입증되었다. 300과 450 MHz 사이의 주파수에 대한 값은 표준의 다음 개정판에서 실험적으로 입증될 것이다. 시뮬레이션에 이용되는 무손실 모의인체 모델에 대한 파라미터(치수, 외피 두께 및 투자율) 및 기준 다이폴과 액체 사이의 거리  $s$ 는 표 4.6에 주어져있다.

**표 4.5 - 기준 다이폴 및 평면 모의인체를 위한 수치적 기준 SAR 값.**  
모든 값은 1 W의 순방향 전력으로 정규화 된다.

주파수 (MHz)	1g SAR	10g SAR	표면에서의 국부 SAR(급전점 위)	표면에서의 국부 SAR (급전점으로부터 $y=2\text{cm}$ 오프셋)
300	3.0	2.0	4.4	2.1
450	4.9	3.3	7.2	3.2
835	9.5	6.2	14.1	4.9
900	10.8	6.9	16.4	5.4
1450	29.0	16.0	50.2	6.5
1800	38.1	19.8	69.5	6.8
1900	39.7	20.5	72.1	6.6
1950	40.5	20.9	72.7	6.6
2000	41.1	21.1	74.6	6.5
2450	52.4	24.0	104.2	7.7
3000	63.8	25.7	140.2	9.5

표 4.6 - 표 D.1에서 기준 SAR 값의 교정을 위해 이용되는 파라미터

주파수 (MHz)	모의인체 표피 두께(mm)	모의인체 표피 투자율	모의인체 크기(mm) x, y, z	액체로부터의 기준 다이폴 거리 s(mm)
300	6.3	3.7	1000,800,170	15
450	6.3	3.7	700,600,170	15
835	2.0	3.7	360,300,150	15
900	2.0	3.7	360,300,150	15
1450	2.0	3.7	340,200,150	10
1800	2.0	3.7	220,160,150	10
1900	2.0	3.7	220,160,150	10
1950	2.0	3.7	220,160,150	10
2000	2.0	3.7	160,140,150	10
2450	2.0	3.7	180,120,150	10
3000	2.0	3.7	220,160,150	10

### 2.1.3 시험대상 무선 기기의 준비

피시험 무선 기기는 그 내부 소신기를 이용하여야 한다. 안테나, 전지 및 액세서리는 제조자가 명시한 것이어야 한다. 전자는 각 측정 전에 충분히 충전되어야 하며 외부 접속이 없어야 한다.

출력 전력과 주파수(채널)는 내부 시험 프로그램을 이용하거나 적절한 시험기기(기지국 시뮬레이터)를 이용함으로써 제어되어야 한다. 무선 기기는 그것을 귀 가까이에서 이용할 때 최고 출력 첨부 전력 레벨에서 송신하도록 설정되어야 한다. 무선 링크가 이용되는 경우, 안테나는 기지국 에뮬레이터의 출력으로 접속되어야 한다. 안테나는 무선기기로부터 최소한 50 cm 이격하여 배치하여야 한다. 안테나 급전점에서 에뮬레이터에 의해 복사되는 신호는 무선기기의 출력 레벨보다 최소한 30 dB가 더 낮아야 한다.

### 2.1.4 모의인체에 대한 무선 기기의 위치

무선 기기는 모의인체의 오른쪽과 왼쪽에서 접촉(Cheek) 및 경사(Tilt) 위치에서 시험하여야 한다.

#### 2.1.4.1 접촉(Cheek) 위치의 정의

- a) 필요하다면, 토크(talk) 동작을 위한 휴대단말기를 준비하라. 예를 들면, 덮개가 있는 휴대 단말기에 대해서는 덮개를 열어라.(덮개가 닫혀진 상태에서도 기기가 이용 가능한 경우 두 구성 모두 시험하여야 한다.)
- b) 수직적으로 위치 결정된 휴대단말기에 두개의 가상 선 즉, 수직 중앙선과 수평선의 경계를 정하라. 수직 중앙선은 휴대단말기의 전면에 있는 두 점을 통과한다. 즉, 음성 출력 위치에서의 휴대단말기의 폭  $W_t$ 의 중간점과 휴대단말기의 바닥의 폭  $W_b$ 의 중간점. 수평선은 수직의 중앙선과 직각을 이루며 음성 출력의 중앙을 통과한다

두 선은 점 A에서 교차한다. 대부분의 휴대단말기에 대해서 점 A는 음성 출력의 중앙과 일치한다는 점을 주의하라. 그러나 음성 출력은 수평선의 다른 곳에 위치할 수 있다. 또한 수직 중앙선은 특히 폴더형 휴대단말기, 플립형 휴대단말기 및 기타 불규칙한 모양의 휴대단말기에 있어서는 휴대단말기의 전면과 반드시 평행한 것은 아니라는 점을 주의하라.

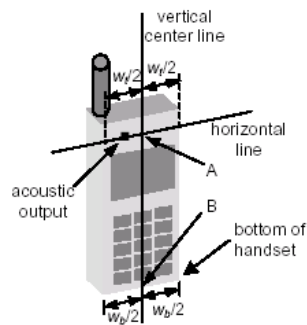


그림 4.10 장치에서의 기준선 및 기준면의 정의 - 고정된 경우

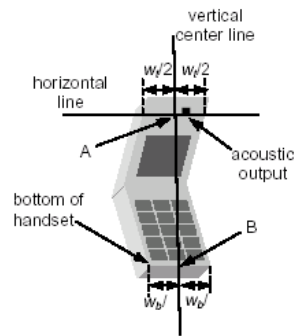


그림 4.11 장치에서의 기준선 및 기준면의 정의 - 폴더형

- c) 점 A가 모의인체의 RE와 LE 점을 통과하는 확장선 (가상)상에 있고 장치의 수직 중앙선 및 수평선으로 경계가 정해진 면이 모의인체의 시상 봉합면과 대략적으로 평행하도록 휴대단말기를 모의인체의 표면에 가깝게 위치하도록 하라.
- d) 휴대단말기가 귀에 닿을 때까지 RE와 LE를 통과하는 선을 따라 모의인체 쪽으로 휴대단말기를 이동하라.
- e) 휴대단말기를 이 면에 있도록 유지시키면서 수직 중앙선이 MB 선을 포함하는 MB-NF에 직각인 면(기준면이라 불림)에 들어갈 때까지 LE-RE 선 주위로 휴대단말기를 회전시켜라.
- f) 무선 기기(수평선)가 NF 선에 대하여 대칭적이 될 때까지 수직 중앙선 주위로 그 장치를 회전시켜라.

휴대단말기의 중앙선이 기준 MB 선과 일직선이 되도록 정렬상태를 유지하고, 점 A가 ERP와 일직선이 되도록 하며, 장치와 NF 선과의 접촉을 유지하면서 장치가 귀(볼) 아래의 모의 인체와 접촉하는 곳으로 장치를 이동시킨다. 그림 4.12 참조.

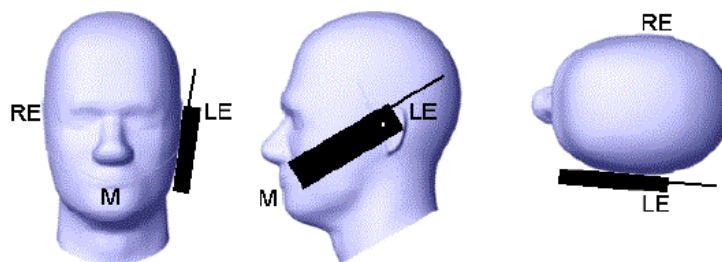


그림 4.12 두부 왼쪽에서 무선 기기의 "접촉" 위치

#### 2.1.4.2 경사(Tilt) 위치의 정의

- a) 2.1.4.1의 a에서 f까지의 단계를 반복하면서 기기를 볼 위치에 놓는다.
- b) 기기의 방위를 유지하면서 15도 정도의 기기 회전이 충분히 가능하도록 기기를 기준면과 평행하게 집어넣는다.
- c) 기기를 수평선 주변으로 15도 정도 회전시킨다.

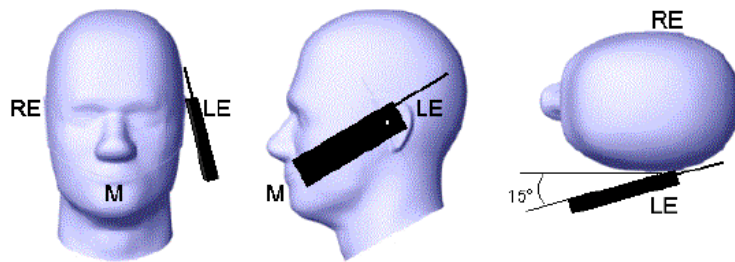


그림 4.13 두부 왼쪽에서 무선 기기의 "경사" 위치

- d) 기기 위치의 방위를 유지하면서 기기를 모의인체 쪽으로 이동시키고 기기의 어떤 부분이 모의인체 표면에 닿을 때까지 기기의 중앙선과 수평선을 각각 모의인체 선 MB와 NF와 일직선을 유지시킨다. 안테나가 먼저 모의인체와 접촉하게 되면 기기가 귀와 접촉하고 안테나가 모의인체와 접촉할 때까지 각도가 줄어들어야 한다.

## 2.2 실시할 시험

두 기기의 위치가 2.1.4에 설명한대로 두부의 왼쪽과 오른쪽에 놓이고, 각 운용 대역의 중심 주파수를 이용하여 시험을 실시하여야 한다. 최대의 질량 평균 SAR을 발생시키는 구성(즉, 최대 값을 1 dB 내의 모든 구성)이 송신 대역의 하한 및 상한 주파수를 시험하는데 이용되어야 한다. 무선 기기가 수납형 안테나를 가지는 경우, 위에서 설명한 모든 시험은 안테나를 뺀 상태와 수납한 상태 두 가지로 실시하여야 한다. 다중 모드 및 다중 대역 무선 기기를 고려할 경우, 위의 시험 모두는 해당하는 최대 침투 전력 레벨로 귀에 가깝게 대고 이용하기 위한 각각의 분리된 송신 모드/대역에서 실시하여야 한다.

## 2.3 측정 절차

다음 절차(그림 4.14 참조)를 2.2에서 설명하는 시험 조건 각각에 대해 실시하여야 한다:

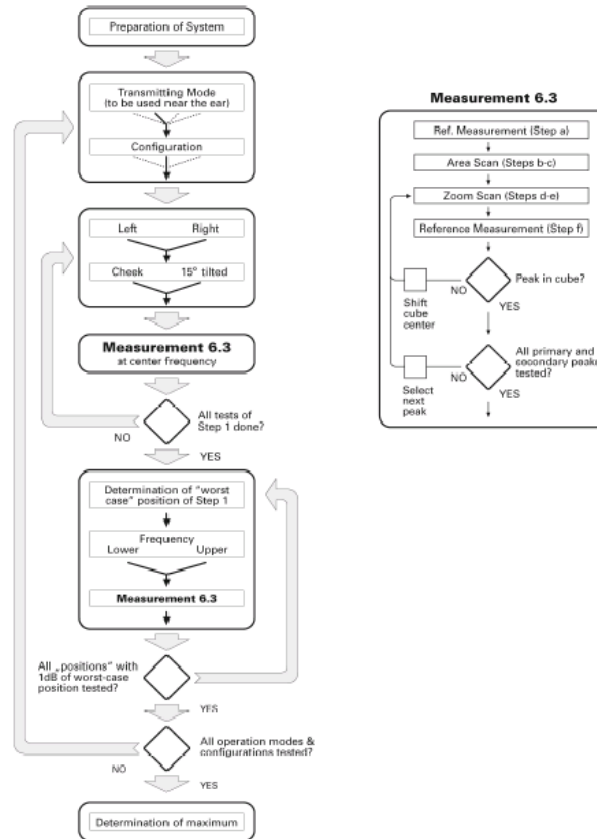


그림 4.14 시험 절차도

- 모의인체의 내부 표면 10 mm내의 시험 점에서 국부 SAR을 측정하라. 시험점은 귀에서 가까워야 한다.
- 공간 격자 간격은 20 mm 또는 매질내에서 한 파장 또는 그 이하 중에서 가장 작은 값이어야 한다. 표면분포측정(coarse scan)의 경우, 프로브 검출기의 기하학적 중심과 모의인체의 내부 표면 사이의 거리는  $\pm 0.5$  mm의 허용오차로서 8 mm 이내이어야 한다. 체적분포측정(fine scan)의 경우, 주사하는 체적은 모의인체의 내부 표면에 가능한 한 가까워야 하며(8 mm), 수직 격자(혹은 측정) 간격은 5 mm 이하로서 25 mm 깊이까지 측정한 다음 e)절로 진행하여야 한다.
- 주사된 SAR 분포로부터 최대 값의 60% 이상의 SAR 값을 갖는 어떤



국부적 최대 위치 뿐만 아니라 최대 SAR 값의 위치도 확인하라.

- d) 최소한 30 mm 30 mm 30 mm의 체적내에서 8 mm나 그 이하의 격자간격으로 SAR을 측정하라.
- c) 질량 평균 계산에 필요한 공간 분해능에서 국부 SAR 값을 결정하기 위해, 부록 C에 정의된 내삽 및 외삽 절차를 이용하라.
- f) a)절에서 이용된 최초의 시험점에서 SAR 측정을 반복하라. 두 결과가 b)절에서 얻은 최종 값과 5% 이상 차이가 나는 경우, 측정을 완전히 충전된 전지로 반복하여 하거나 실제 편이가 불확정도를 평가에 포함되어야 한다.

## 2.4 후처리 기술 및 불확정도 평가

### 2.4.1 외삽 및 내삽 기법

#### 2.4.1.1 서론

모의인체 내의 국부 SAR은 프로브 본체나 함체 내의 작은 다이폴 감지 요소를 이용하여 측정된다. 프로브 교정과 그에 따르는 전기장 측정은 보통 내부의 프로브 세트의 기하학적 중심에 대하여 행해진다. 측정 위치를 정할 때 다이폴가 프로브의 물리적인 끝으로부터 몇 mm 떨어져있다는 사실을 설명하는 것이 필요하다.

프로브 끝은 측정 불확정도를 최소화하기 위해 모의인체 표면과 접촉하여서는 안되지만, 최고 국부 SAR은 보통 모의인체의 표면에서 발생한다. 이런 최고의 국부 SAR 값은 공간 평균 침투 SAR을 결정하는데 필수적이며 외피로부터 떨어진 몇몇 거리에서의 측정으로부터 외삽으로 얻어져야 한다.

공간 평균 침투 SAR의 정확한 평가는 3차원의 주사 데이터 배열에서 매우 미세한 분해능을 요구한다. 측정은 전지 수명 지속 시간 등으로 인해 제한된 시간 주기에서 실시되어야 하기 때문에 측정된 데이터는 충분한 분해능을 배열에 제공하도록 보간되어야 한다.

내삽, 외삽, 통합 및 평균화 절차로부터 비롯되는 불확정도는 측정 지점의 위치에서의 불확정도를 가정하지 않고 도출된다.

#### 2.4.1.2 내삽 기법

내삽은 통계, 기초 함수 곡선피팅, 푸리에 분석 및 웨이브렛 또는 다항식이나 스플라인 피팅 등과 같은 다양한 수학적 기술을 이용하여 실시할 수 있다. 다양한 수치 해석 교과서는 이런 방법을 구현하는 방법을 설명한다.

#### 2.4.1.3 외삽 기법

외삽은 스플라인, 바이하모닉 스플라인, 웨이브렛, 다항식 또는 유리 함수를 이용하여 실시할 수 있다. 계산 수학 서적은 이런 방법을 구현하는 방법을 설명한다.

외삽의 정확성이 거리 및 외삽 중인 전자기장 분포에 의존하기 때문에 외삽과 관련된 불확정도는 신중하게 추정하여야 한다.

#### 2.4.1.4 외삽 및 내삽 불확정도 평가

첨두 SAR 위치에서의 실제 SAR 분포는 휴대단말기의 운용 주파수와 설계, 휴대단말기 위치 및 액체 모의 조직에 대한 근접성에 크게 의존한다. SAR 분포는 저주파 소스가 멀리 떨어져 있을 때 매우 완만한 기울기를 가지거나, 나선과 같은 작은 고주파 소스가 조직 옆에 놓여져 있을 때 매우 가파른 기울기를 가질 수 있다. 경우에 따라서는 최대의 SAR은 모의인체 표면에서의 자기장 상쇄로 인해 모의인체의 표면에 있지 않다. 아래에 제시되는 해석적 분포 함수는 이런 조건을 시뮬레이션하기 위한 것이다. 공간적으로 가파른 분포는 f1으로 표시된다. 모의인체 외피 옆에 있는 조직 표면에 위치한 최대 SAR이 있는 분포는 f2로 표시된다. 모의인체 체적은  $z > 0$ 에 있고 평면 표면은 두 함수에 대해서  $z = 0$ 에 있다. 구현된 외삽과 보간 루틴은 정밀 주사(표면 위치)의 중심이  $x, y, z = (0, 0, 0)$ 에 놓인 상태에서 정밀 주사 중에 측정될 모든 지점에서 이런 함수의 값을 이용함으로써 시험하여야 한다.

3D 기준 데이터의 네 가지 세트(본 표준에 첨부된 CD-ROM에서 공개적으로 이용할 수 있음)를 이용하여야 한다. 이 중 두 가지 데이터 세트는 계산 방법에 의해 추정된 대로 SAM 모의인체 옆에 있는 두개의 일반 휴대단

말기에 의해 유도되는 SAR을 나타낸다. 다른 두개의 데이터 세트는 본 표준에 있어서 도출된 다음과 같은 해석적 함수  $f_1$ ,  $f_2$ 에서 나온다:

$$f_1(x, y, z) = A \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{y'}{3a} \right) e^{-\frac{z}{a}} \left( 3 - e^{-\frac{2\pi}{a}} \right)$$

$$f_2(x, y, z) = A \frac{a^2}{\frac{a^2}{4} + x'^2 + y'^2} \left( e^{-\frac{2z}{a}} + \frac{a^2}{2(a+2z)^2} \right)$$

$$x' = x + 2mm$$

$$y' = y + 3mm$$

$$a = 20mm$$

$$A = 1W / kg$$

외삽, 내삽의 불확정도는 다음과 같이 결정되어야 한다. 정밀주사의 중심이  $[0,0,0]$ 에 있다고 가정하여 입력은 측정 지점에서의 기준 데이터 세트의 국부 SAR 값이다. 이 값을 이용하면 공간 침투 SAR 값은 측정 과정에서 이용되는 것과 같은 외삽 및 보간 루틴을 이용함으로써 평가된다. 그 다음으로 이런 값은 해석적인 값과 비교된다:

$$SAR(f_1)_{1g} = 1.796W / kg, \quad SAR(f_1)_{10g} = 1.383W / kg$$

$$SAR(f_2)_{1g} = 3.048W / kg, \quad SAR(f_2)_{10g} = 1.391W / kg$$

네 개의 데이터 세트 각각에 대한 불확정도는 다음과 같이 결정된다:

$$U_{extra/int \quad erpol} \% = 100 \cdot \frac{|SAR_{extrap/int \quad erp} - SAR_{ref}|}{SAR_{ref}}$$

불확정도는 네 가지 평가의 최고 값을 택하고, 사각분포를 취함으로써 결정된다. 보간과 외삽 루틴의 불확정도를 평가하기 위한 이런 접근방법이 적

용 가능한 이유는 각각의 주어진 분포 함수가 휴대단말기로부터의 가능한 SAR 분포 범위 내의 예상된 최고 편차를 나타내기 위해 선택되었기 때문이다. 그것은 또한 평균 기법과 최대 조사 결과의 불확정도도 포함한다.

#### 2.4.2 부피 평균의 정의

평균하는 부피는 입방체 형태로 되어 있어야 하며, 1 g이나 10 g의 질량의 측정 치수는 노출 질량 표준에 따른 조직을 나타내는 액체의 밀도에 달려있다. 1000 kg/m<sup>3</sup>의 밀도는 액체의 유전 특성의 정의와 일치하기 위해서 모의 인체 액체 밀도가 아니라 두부 조직 밀도를 나타내는데 이용되어야 한다. 즉, 1 g 입방체의 측면 길이는 10 mm이어야 하며, 10 g 입방체의 측정 길이는 21.5 mm이어야 한다.

입방체가 모의인체의 표면과 교차하는 경우 그것은 3개의 정점이 외피의 표면에 닿거나 한 면의 중심이 표면에 접하도록 방위가 정해져야 한다. 표면에 가장 가까운 입방체의 면은 표면과 일치하도록 수정되어야 하며 추가된 부피는 입방체의 반대면으로부터 제거되어야 한다.

#### 2.4.3 평균화 기법과 최대값 찾기

##### 2.4.3.1 서론

외삽과 내삽 후에 점 SAR 측정이 평균되는 입방체 체적은 국부 SAR의 최고 값을 포함하기 위해 모의인체 표면에 가까워야 한다. 그러므로 입방체는 표면과 일치할 때까지 회전시켜야 한다.

##### 2.4.3.2 입방체의 선택

###### 2.4.3.2.1 3점법

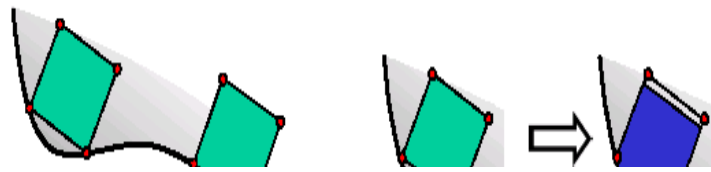


그림 4.15 3점법

입방체의 면은 그 꼭지점 중 세 개가 표면과 일치하도록 방위를 정함으로써 모의인체 표면에 맞출 수 있다. 입방체의 나머지 5개 꼭지점의 위치는 그 다음에 식별할 수 있다.

입방체와 모의인체 표면 사이의 공간은 그것이 국부화된 높은 SAR의 영역이 될 가능성이 있기 때문에 평균 체적에 포함되어야 한다. 그것은 모의인체의 오목한 내부 표면과 일치하도록 입방의 표면을 조정함으로써 얻어질 수 있다. 그 다음으로 입방체의 깊이를 줄이기 위해 입방체의 반대 표면을 조정함으로써 입방체의 체적을 바로잡고 1 또는 10 g의 평균 질량을 복원할 수 있다.

세 개의 배치 점은 1 또는 10 g의 입방체에서 발생하는 최대 SAR의 값을 구하기 위해 모의인체 표면에서 주사하여야 한다.

#### 2.4.3.2.2 접선 표면 방법



그림 4.16 접선 표면 방법

또 다른 방법은 모의인체 표면상의 한 점을 선택하여 이것이 한 입방면의 중심과 일치하도록 정하는 것이다. 그에 따라 두 개의 접선 벡터 값이 구하여지고, 이것들은 모의인체 표면의 접선에서 입방의 표면을 정하는데 이용될 수 있다. 그 다음으로 평균이 구해진 최대 질량 SAR의 값을 구하기 위해 모의인체 표면에 수직인 벡터를 중심으로 입방체를 회전시키기 전에 입방체의 나머지 면들을 회전시킨다.

이전의 방법에서처럼 모의인체 외피와 접촉하는 입방체의 표면은 최고 국부 SAR 영역을 완전히 포함시키기 위해 등각으로 만들어져야 한다. 그 다음으로 입방체의 반대면은 1 또는 10 g의 평균 질량을 유지하기 위해 확장되거나 수축된다.

1 또는 10 g 입방체에서 최대 SAR을 리턴하기 위해 모의인체의 표면상의 점에서 입방체를 주사하고 회전시켜야 한다.

#### 2.4.3.2.3 평균화 방법



그림 4.17 평균화 방법

주요 목표는 1 또는 10 g의 평균화 질량을 얻는 것이다. 그 목표를 달성하기 위해 입방체의 질량이 1 또는 10 g을 초과할 때까지 입방체가 커지도록 하기 위하여 SAR 점은 계층마다 추가할 수 있다. 그 다음으로 흡수된 해당 전력은 선형 보간에 의해 추론 가능하다.

주 보통 측정점이 보간된 격자로 인해 평균화 입방체는 계단 형태로 묘사된다. 특히 고려한 입방체에 대해서 내삽을 할 수는 있지만 그런 방법은 내삽이 각 평균화 입방체에 대해서 다르기 때문에 시간을 낭비하는 방법이다.

#### 2.4.3.3 평균화의 도출 방법

체적의 주사는 모의인체의 표면과 평행하게 행해질 수 있다. 이 방법에서 평균화를 위한 가장 쉬운 방법은 215 mm의 두께에서 모의인체의 표면을 도출시키는 하는 것이다. 그러면 확실히 도출된 체적은 외형에 있어서 입방체에 가깝고 표면과 일치하게 된다.

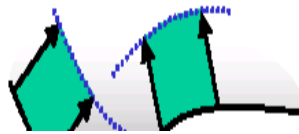


그림 4.18 평균화의 도출 방법

평균화 방법은 입방체가 본질적으로 측정 격자와 일치하거나 최소한 외삽되고 내삽된 데이터 격자와 일치하기 때문에 본질적으로 간단하다. 평균화된 최대 질량 SAR은 선택된 영역, 예를 들면 어떤 기준을 넘어서는 국부 SAR이 있는 영역에서 평균화 입방체를 이동시킴으로써 찾을 수 있다.

#### 2.4.3.4 평균화 기법 및 최대값 찾기의 불확정도 평가

국부화된 침투 SAR은 모의인체의 내부 표면에서 발생하므로 최대 공간 평균 SAR은 모의인체의 표면에서 입방체 조직 체적내에서 발생하여야 한다. 그러므로, 높은 분해능 측정 주사는 모의인체 내부 표면의 주사로부터 결정되는 국부 침투 SAR을 중심으로 수행되어야 한다. 이러한 주사 표면은 질량 평균화에 이용되는 조직 입방체의 선형 치수의 최소한 두 배 만큼 후방으로 확장되어야 한다. 컴퓨터 제어 알고리즘이 질량 평균화 입방체의 국부 SAR 변화율에 따라 최고 SAR을 결정하는데 이용되어야 한다.

평균화 기법 및 최대값 찾기의 불확정도 기여는 이미 2.4.1.4의 평가에 포함되어 있는데 그 이유는 그것이 외삽과 내삽뿐만 아니라 평균화 및 최대값 찾기 기법도 벤치마킹하기 때문이다.

## 2.4.4 주사 및 데이터 평가 구현을 위한 예

### 2.4.4.1 서론

다음의 예는 SAR 주사 및 데이터 평가 절차가 구현될 수 있는 방법을 설명한다. 그것은 한가지 특별한 구현만을 설명하기 위한 것이며 다른 구현도 가능하다.

### 2.4.4.2 최대를 검색하기 위한 영역 주사

균질의 두부 모델로 평가되는 300 MHz 이상에서 동작하는 휴대단말기에 대해서, SAR 분포는 모의인체 외피의 표면으로부터 8 mm 미만의 고정된 이격 거리에서 2차원의 거친 격자에서 측정된다. 주사 지역은 휴대단말기의 돌출부까지 노출되고 둘러싼 모든 영역을 포함하여야 한다.

측정 프로토콜이 요구하는 대로  $\pm 5\%$  mm 이내로 표면으로부터 8 mm 미만의 고정된 거리를 유지하기 위해서는, 모의인체 내부 표면의 정확한 외형과 치수를 알아야 하며, 사전에 교정하거나 또는 SAR 측정 중에 프로브 위치 결정 요구 사항에 맞는 기계적 또는 광학적 표면 검출 메커니즘을 사용하여 검출하여야 한다. 이러한 평가 기술은 격자점 사이의 최대 간격을 결정한다. 즉, 두 개의 엇갈린 1차원 입방체 스플라인[20]이 최대 SAR 위치를 찾는 데 이용되는 경우 20 mm 20 mm 격자는 요구되는 정확성을 얻기에 보통 충분하다는 사실을 발견하였다.

### 2.4.4.3 정밀 주사

최대 국부 SAR은 정밀 주사 중에 1 mm에서 2 mm의 분해능에서 내삽된 격자에서 값을 구한다. 영역 주사 중에 결정되는 침투 SAR 위치에 중심을 둔 557개의 점으로 구성되는 32 mm 32 mm 30 mm의 정밀 주사 체적이 선택될 수 있다. 8 mm의 주사 분해능은 표면에 평행한 방향에서는 충분하지만 요구되는 외삽 정확성을 얻기 위해서는 모의인체의 표면과 수직인 방향에 5 mm가 필요하다.



#### 2.4.4.4 외삽

전자기장 프로브의 실제 측정 위치가 프로브의 끝에서 변위된, 다이폴 센서의 기하학적인 중심과 일치하기 때문에 모의인체의 표면과 가장 가까운 측정 가능한 점 사이의 1 g 또는 10 g SAR를 계산하는데 요구되는 SAR 값은 외삽으로 결정하여야 한다. 기본적인 지수함수 피팅이 휴대단말기 평가에서 발생하는 많은 전형적인 SAR 분포를 외삽하는데 적합하지는 않지만, 측정된 데이터의 4차 최소 자승 다항식 피팅은 보통 만족스런 결과를 제공한다. 그림 4.19에 나와있는 삼각점은 측정할 수 없는 모의인체 표면 옆에 있는 점에 대해서 1 mm 단계에서 외삽된 SAR 값을 나타낸다.

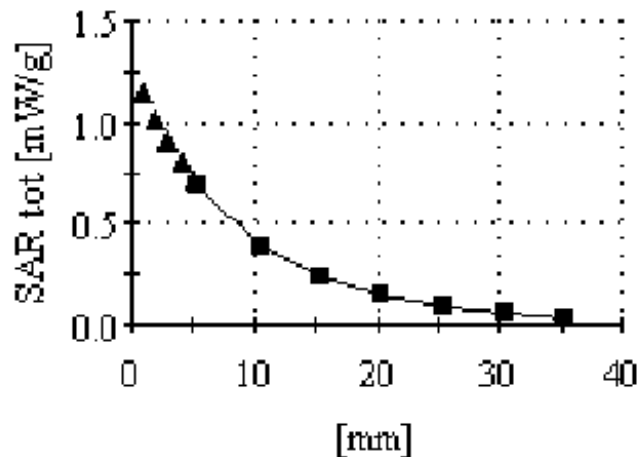


그림 4.19 SAR 데이터 외삽.

#### 2.4.4.5 내삽

정밀 주사 영역내에서 측정되고 외삽된 SAR 값은 예를 들면 세개의 엇갈린 1차원 입방체 스플라인에 의해 1 또는 10 g 체적 평균 SAR를 결정하기 위해 1 mm 격자에서 내삽된다.

#### 2.4.4.6 통합

1 g이나 10 g 입방체에서 SAR을 적분하기 위한 한가지 방법은 일반적인

사다리꼴 알고리즘에 의한 것이다. 최대 공간 평균 침투 SAR은 정밀 주사 체적내의 가능한 모든 1 g 또는 10 g 입방체의 수적인 적분 또는 더욱 복잡한 검색 알고리즘 적용으로 값을 구할 수 있다.

1g이나 10 g 입방체의 표면이 정밀 주사 지역의 경계에 닿으면 전체 정밀 주사는 이전의 1 g 또는 10 g 공간 침투 측정으로 표시된 최대 SAR 위치에서 그것의 새로운 중심이 위치한 상태에서 반복되어야 한다.

## 제 3 절 불확정도 평가

### 3.1 일반 요구 사항

무선 기기에 의해서 발생하는 SAR 값의 측정의 불확정도 평가는 IEC 측정에서의 불확정도의 표현 가이드, Ed.1, 1995에서 명시된 일반 규칙에 기초하여야 한다.

표  $a = (a_+ - a_-)/2$ 을 정의하는 분포법에 따라 문제가 되는 수량의 상한치  $a_+$ 와 하한치  $a_-$ 로부터 나온다. 그때에는준 불확정도의 B형 뿐만 아니라 A형 평가도 이용되어야 한다. A형 분석이 실시될 경우, 표준 불확정도  $u_i$ 는 통계 관찰 결과로부터의 추정치로부터 도출되어야 한다. B형 분석이 실시될 경우,  $u_i$ 는

사  $u_i = a/\sqrt{3}$  각법:

삼각법:  $u_i = a/\sqrt{6}$

법선법(Normal law):  $u_i = a/k$  여기서  $k$ 는 포함 인자이다.

U형(비대칭):  $u_i = a/\sqrt{2}$

## 3.2 불확정도에 기여하는 구성 요소

### 3.2.1 측정 시스템의 기여

#### 3.2.1.1 서 론

측정 기기는 프로브, 증폭기 및 측정 장치로 구성되어 있다. 현재 이용할 수 있는 프로브는 Schottky 다이오드 검출기에 기초한다. 측정된 신호, 프로브의 출력은 RF 노출 수준에 따라 다른 E 또는 E2에 비례하는 전압이다. 대부분의 등방성 프로브는 센서 간격에 직교하는 지향성 패턴과 검출기 다이오드가 있는 세 개의 작은 센서로 구성된다. 그에 따라 전체 전기장이 세 개의 전기장 구성 요소의 RSS(Root Sum Square)로서 값을 구할 수 있다. 다이오드 특성의 자승 법칙 영역에서 센서 출력 전압은 상응하는 전자기장 구성 요소의 평균 제곱과 비례한다. 그 범위를 넘어서서는 출력 전압이 압축되므로 동작 범위의 선형화를 필요로 한다. 센서와 다이오드 사이의 제조 허용 오차는 각 센서에 대해 다른 민감도를 생성한다.

#### 3.2.1.2 다이폴 센서의 민감도 평가

민감도 인자는 두 단계 절차를 적용하거나 한 단계 절차를 이용함으로써 결정될 수 있다.

##### 3.2.1.2.1 두 단계 절차

총 전기장은 다음에 따라서 값을 구하여야 한다:

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(v_i)}{\eta_i \gamma_i}$$

여기서  $f_i(v_i)$ 은 정류된 센서 신호  $V_i$ 의 선형 함수이고,  $\eta_i$ 는 자유 공간에서의 다이폴 센서의 절대민감도  $[\mu V/(V/m)^2]$ 이며,  $\gamma_i$ 는 자유 공간에서의 프로

브 센서의 민감도에 대한 매질에서의 프로브 센서의 민감도의 비율이다.

두 인자( $n_i$ 와  $y_i$ )에서의 프로브 민감도를 분리함으로써, 표준화된 절차의 부분적 이용이 가능하고, 프로브 성능과 교정 장치의 추가적인 타당성 검증이 가능하다. 이런 교정은 매질의 경계로부터 충분히 멀리 떨어져야만 유효하다. 아주 가까운 거리에서는 민감도가 변화할 수 있다. 이런 효과는 경계 효과로 불리며, 등방성과 같이 별도로 평가하여야 한다.

### 3.2.1.2.1.1 자유 공간에서의 민감도(첫번째 단계)

자유 공간에서의 잘 정의된 표준 전자기장의 생성에 이용되는 가장 정확한 장치는 도파관이다. 이유는 다음과 같다:

- 도파관 장치는 그리 크지 않은 전력만 있으면 되고, 원거리장 교정 장치보다 적은 공간을 요한다.
- 전력 관독값에 따라 갈 수 있는 가장 정확한 전자기장의 생성이 가능하다.
- 작은 근거리장 프로브에 대하여, 도파관의 치수가 프로브의 치수보다 상당히 더 클 때 프로브 삽입으로 인한 전자기장 교란에 의해 발생하는 불확정도는 미미하다.
- 이 장치에서는, 장치 내의 전자기장 편파에 수직이거나 평행하도록 프로브 축 방위를 용이하도록 놓을 수 있다.
- 그 밖에도 동작 주파수가 겹치는 도파관 세트를 사용하여 전자기장 세기 측정치의 검정이 가능하다.

비교적 높은 주파수(3000 MHz 초과)에서는 프로브의 존재로 인한 도파관에서의 전자기장 교란이 중요하게 되며, 자유 공간 표준 전자기장 방법이 교정에 이용되어야 한다. 비교적 낮은 주파수(750 MHz 미만)에서는 도파관이 너무 커지게 되어 쉽게 이용할 수 없으므로, TEM 셀이 대신에 이용될 수 있다. 그러나 셀 내 전자기장의 균일분포가 덜 좋다. 즉, 예상된 균일한 전자기장 분포로부터 꽤 큰 편차가 있다.

예를 들어, 어떤 시판되는 TEM 셀에서는 전자기장이 격벽으로부터 외부 벽까지의 중심축을 따라서 이동할 때,  $\pm 6\%$ 만큼 변화한다. 그러나 TEM 셀 내부와 도파관 내부에서의 프로브 반응 사이의 비교를 통해 TEM 셀 내 특정 측정 위치의 교정이 가능하다.

프로브는 일반적으로 각 장치의 벽에 있는 작은 구멍을 통해 삽입되며, 전자기장이 프로브 전체 크기에 걸쳐 거의 균일한 그런 중앙에 배치된다. 각 센서는, 센서와 평행한 전기장 성분에 대하여 평가된다.

주 - 각 센서는 입사 전자기장에 따라 최대 결합을 가진다는 점을 주의하여야 한다. 예를 들면, 프로브 좌표계와 나란한 센서를 가진 프로브에 대해서는 프로브 축에 관한 입사 전자기장의 두 편파가 이용되어야 한다.

프로브의 저항선이 다이폴 안테나 - 다이오드의 결합된 센서의 부하로 작용하지 않고, 프로브가 파장에 비해 작은 한은 민감도는 주파수와 독립적이다. 이런 점은 교정 장치의 추가적인 타당성 검증을 제공하고, 프로브에 의한 결과적인 전자기장 교란을 검사한다. 고품질의 도파관 결합기 및 매칭된 소스가 이용되면 입사 전력에 미치는 영향이 미미하다. 도파관 장치에서의 추가적인 불확정도 소스는 종단부의 부하로부터 반사되어 나오는 것인데, 그것은 장치 내의 정재파 패턴을 가져올 수 있다. 고품질의 도파관 로드가 이용되면 반사는 1% 이하로 유지될 수 있다. 더욱이  $\lambda/4$  변이부하로 보충 측정을 실시하고 두 판독값을 평균함으로써 불확정도를 보상할 수 있다.

#### 3.2.1.2.1.2 매질에서의 민감도(두 번째 단계)

매질에서의 민감도는 매질 내에서 국부적으로 알려진 전자기장 값을 생성함으로써 결정된다. 두 가지 방법이 이용될 수 있다:

- 온도 프로브를 이용한 전달 교정
- 분석적 전자기장을 이용한 교정

##### 가. 온도 프로브를 이용한 전달 교정

손실있는 액체에서 SAR은 액체의 전기장(E)과 온도 변화율 모두와 관련된다. 따라서, 이 관계에 기초하여:

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} = c \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$$

손실있는 액체에서의 전기장은 액체의 온도 변화율을 측정함으로써 간접적으로 측정할 수 있다. 높은 공간 분해능(1 - 2mm 미만)과 빠른 반응 시간(1초 미만)을 가진 교란하지 않는 온도 프로브(저항선이 있는 서미스터 프로브나 광 프로브)를 이용할 수 있고 높은 정확성으로 쉽게 교정할 수 있다.

장치 및 여기 소스는 교정에 아무런 영향을 미치지 않는다. 교정할 전기장 프로브와 표준 온도 프로브의 상대적인 위치 결정 불확정도만 고려하여야 한다. 그러나, 온도 프로브를 이용한 프로브 교정의 정확성을 몇 가지 문제가 제한한다:

- 온도 변화율은 직접 측정할 수 없고 여러 시간 단계에서 온도 측정으로부터 값을 구하여야 한다. 액체에서의 에너지 等化 효과나 액체의 대류로 인한 온도 변화율에 의해서 야기되는 측정 불확정도를 피하기 위해서는 특별한 사전 조치가 필요하다. 그런 효과는 완전히 피할 수 없는데 측정된 전자기장 자체가 액체에서의 온도 평형 상태를 파괴하기 때문이다. 신중한 설정을 통해 이런 불확정도는 작게 유지될 수 있다.
- 온도 프로브 주위의 측정된 부피는 잘 정의되지 않는다. 주위의 傾渡 (경도)된 장으로부터 온도 프로브로의 에너지 전달을 계산하기 어렵다. 온도 프로브가 균일한 온도를 가진 액체에서 교정되기 때문에, 이런 효과를 고려하여야 한다.
- 교정은 매질의 비중, 열 용량 및 도전율의 평가치에 의존한다. 비중과 열 용량은 표준화된 절차로 정확히 측정될 수 있지만(열용량은  $\sim \pm 2\%$ , 비중은 더 정확히 측정됨) 도전율의 측정을 위한 표준은 없다. 방법과 액체에 따라서 불확정도는  $\pm 5\%$ 를 초과할 수도 있다.
- 온도 상승 측정은 민감하지 않기 때문에 전기장 측정보다 높은 전력

레벨에서 종종 실시된다. 시스템의 비선형성(예를 들면 전력 측정, 여러 다른 구성 요소 등)을 고려하여야 한다.

이런 문제를 고려하여 신중하게 설계된 장치에서의 온도 변화율 측정을 이용한 전기장 프로브의 교정의 정확성은 약  $\pm 10\%$  로 가능하다(표준 불확정도). 최근에 도파관 기술과 온도 측정을 결합한 장치가 제시되었다. 이 장치의 추정된 표준 불확정도는, 동일한 액체가 교정과 실제 측정에 이용될 때  $\pm 5\%$ 이고, 그렇지 않을 때  $\pm 7-9\%$ 인데 그것은 추정치와 잘 일치한다.

온도 프로브를 이용하여 전달 교정의 불확정도 분석을 실시할 경우, 최소한 표 4.7에 포함된 파라미터를 고려하여야 한다.

**표 4.7 온도 프로브를 이용한 전달 교정에 대한 불확정도 분석**

불확정도 소스	불확정도 값 $\pm\%$	확률 분포	계수	cI	표준 불확정도 $U_i \pm\%$	$v_i$ 또는 $v_{eff}$
전기장 프로브의 위치 결정		정규	1	1		$\infty$
온도 프로브의 위치 결 정		정규	1	1		$\infty$
액체 도전성		4角	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
액체의 비열		4角	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
전자기장 프로브 선형성		4角	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
온도 프로브 정확도		4角	$\sqrt{3}$	1		$\infty$

주1 ci는 민감도 계수이다.

주 2  $v_i$  는 각각  $tp(v_{eff})$ 를 얻기 위해 이용된, 입력 추정치( $x_i$ )에 대한 표준 불확정도  $u(x_i)$ 에서의 자유도이고 결합된 표준 불확정도  $u_c(x_i)$ 에서의 사실상의 자유도이다.

#### 나. 해석적 전자기장을 이용한 교정(도파관)

이 방법에서 다른 물리적인 크기(예를 들면 입력 전력)의 측정으로부터 전자기장을 분석적으로 계산할 수 있는 기술 장치가 이용된다. 그것은 공기중에서의 프로브 교정을 위한 표준 전자기장 방법에 일치한다. 그러나, 손실있



는 액체에서의 전자기장에 대해 정의된 표준은 없다.

프로브 교정을 위해 손실있는 액체에서의 계산된 전자기장을 이용할 때 불확정도의 평가에서 몇 가지 요점을 고려하여야 한다:

- 장치는 입사 전력의 정확한 결정을 가능케 하여야 한다.
- 계산된 전자기장 세기의 정확성은 액체의 유전 파라미터 값에 의존한다.
- 유전율이 높은 액체에서는 파장이 짧기 때문에 작은 장치라 하더라도 공진 차단 주파수 이상이 될 것이다. 이 장치에서의 전자기장 분포가 이론적인 전자기장 분포와 일치하는지 신중하게 검사하여야 한다.

구형 도파관은 횡단면의 전자기장 분포가 반사에 의존하지 않는 자폐적 시스템이다. 그것은 액체 모의 조직, 예를 들면 장치 내에서 해석적으로 알려진 전자기장 생성에 활용될 수 있다. 이 장치(그림 4.20 참조)에서 서 있는 개방된 도파관의 상위 부분은 액체로 채워져 있다. 급전 결합기로부터의 한 파장( $\lambda$ ) 이상 떨어져 있는 유전 박판(dielectric slab)은 공기와 액체 사이의 임피던스 정합을 (반사 손실 10 dB 이상)을 제공한다. 대칭적 구조와 액체에서의 높은 손실에 의하여 모의 액체 조직 내의 전자기장 분포가 TE<sub>10</sub> 패턴을 따르도록 해주지만 고차 모드도 이론적으로는 존재 할 수 있다. 그것은 Kuster 및 Balzano 및 Eds.의 “이동통신의 안전”이라는 책에서 액체 체적내를 완전히 스캔하여 엄밀하게 타당성 검증을 받았는데, 그것은 이론적인 TE<sub>10</sub> 패턴으로부터  $< \pm 1-2\%$ 만의 편차를 보여주었다.

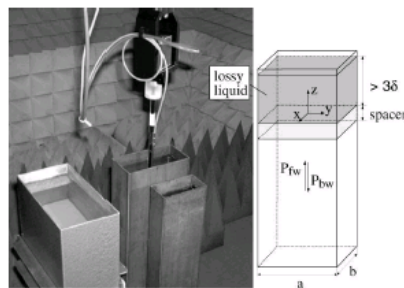


그림 4.20 수직적으로 구형 도파관을 이용할 때의  
변환 인자의 평가를 위한 실험 장치

액체 내에서, 낮은 차단 주파수로 인해 장은 거의 TEM 파처럼 전파된다. 액

체의 상위 표면에서의 반사가 미미하도록 매질 깊이(표피 두께의 3배 이상)가 선택되었다. 액체에 흡수된 전력은 도파관 내의 순방향 전력과 반사 전력을 측정함으로써 평가된다.

$$SAR^V = \frac{4(P_{fw} - P_{bw})}{ab\delta} \cos^2[\pi \frac{y}{a}] e^{-(2z/\delta)}$$

여기서  $ab$ 는 도파관의 횡단면 영역,  $P_{fw}$ 와  $P_{bw}$ 는 도파관 내의 순향 및 역방향 전력,  $\delta$ 은 손실있는 액체 내의 표피 두께이다.

이 기법은 주파수와 매질에 따라서  $\pm 3.6\%$  미만의 표준 불확정도로서 우수한 정확성을 제공한다. 교정 그 자체는 표준 교정 절차로再現이 가능한 전력 측정으로 단순화된다. 800 이상 2500 MHz 사이의 주파수 범위에서, 도파관 크기 때문에 주어지는 실제적 한계는 적합성 시험의 상황에서는 심하다고 할 수 없는데, 그 이유는 이동 통신 시스템에 대한 운용 주파수 대부분이 포함되기 때문이다. 800 MHz 미만의 주파수에 대해서는 온도 프로브에 의한 전달 교정은 그런대로의 정확성을 가진 교정을 얻기 위한 가장 실제적인 방법으로 남아있다.

해석적 전자기장을 이용하여 교정의 불확정도 분석을 실시할 경우, 최소한 표 4.8에 포함된 파라미터를 고려하여야 한다.

표 4.8 도파관 내부의 분석적 전자기장 분포를 이용한 기법에 대한  
불확정도 분석

불확정도 소스	불확정도 값 ±%	확률 분포	계수	cI	표준 불확정도 $U_i \pm \%$	$v_i$ 또는 $v_{eff}$
입사 전력		사각	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
부정합의 불확도		사각	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
액체 도전성		사각	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
프로브 위치 결정		정규	1	1		$\infty$
전자기장 균일성		사각	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
결합된 표준 불확정도		RSS				

### 3.2.1.2.2 한 단계 절차

전체 전자기장은 다음에 따라 평가하여야 한다:

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

여기서  $K_i$ 는 매질에서의 다이폴 센서의 절대 민감도이다.

기준 안테나는 적절한 조직 등과 액체와 함께 작동하기 위해 설계된 소형 안테나이다. 900 에서 1800 MHz 범위에서 개발된 안테나는 그림 4.21과 같이 제시되었다.

최소한 두개의 동일한 안테나가 기준 안테나의 主葉(주엽) 이득을 평가하는데 필요하다.

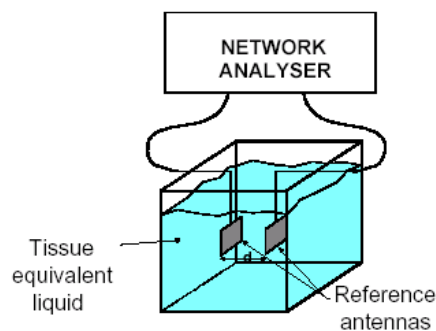


그림 4.21 장치의 설명

이득 평가는 다음 절차에 따라 실시된다:

- 안테나들의 수직 축들이 잘 맞게하고 잘 정의된 거리  $d$ 만큼 떨어진 곳에 두 안테나를 설치한다. 여기서  $d \geq 2D^{2/3}/\lambda$ 이다.  $D$ 는 기준 안테나의 최대 크기이면,  $e$  은 액체내에서의 파장이다. 안테나는 액체 컨테이너의 벽으로부터 최소한 10 cm 의 거리에 떨어져 있어야 한다.
- 각 안테나의 입력 포트에서 반사 계수  $\rho_1$ 과  $\rho_2$ 를 측정한다.
- 동일한 포트에서 두 안테나  $S_{21}$ 을 측정한다.

$$d) \text{ 이득은 } G = |S_{21}(d)| \times e^{ad} \frac{4\pi d}{\lambda_1 \sqrt{(1-|\rho_1|^2)(1-|\rho_2|^2)}} \text{ 이다..}$$

$$\text{여기서 감쇠 계수는 } \alpha = \frac{2\pi f}{c} \times \left[ (\epsilon_r'^2 + \epsilon_r''^2) \right]^{1/4} \times \sin \left[ \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right) \right] \text{ 이다.}$$

기준 안테나 이득 평가에 대한 불확정도 분석을 실시할 때, 최소한 표 4.9에 기재된 파라미터를 고려하여야 한다.

표 4.9 기준 안테나 이득 평가에 대한 불확정도 분석

불확정도 소스	설 명	불확정도 값 ±%	확률 분포	계수	cI	표준 불확정도 U <sub>i</sub> ±%
입사 전력			사각	√3	1	
반사 계수			사각	√3	1	
거리			사각	√3	1	
액체 유전율			사각	√3	1	
표준 불확정도의 총합						
확장된 불확정도 (95%의 신뢰 구간)						

프로브의 민감도 계수 평가에는 다음 프로토콜이 될 것이다:

- 조직 등가 액체에 한 안테나를 배치한다. 안테나는 액체 컨테이너의 벽으로부터 10 cm의 최소 거리에 있어야 한다;
- 기준 안테나의 입력 포트에 전원을 연결한다. Pin은 입력 전력이고  $\rho$ 는 안테나의 반사 계수이다. 안테나로부터 거리  $d$ 에서 전기장  $E_{th}$ 는:

$$E_{th} = \left[ \left( \frac{P_{in}(1-|\rho|^2)Ge^{-\alpha d}}{4\pi d^2} \right) \times \left( \frac{120\pi}{\text{Re}\sqrt{\epsilon_r}} \right) \right]^{1/2}$$

여기서  $d \geq 2D^2 / \lambda_l$  이  $E_{th}$  가  $30V.m^{-1}$  가 되도록 입력 전력을 조정한다; 약  
고, D는 기준 안테나의 최대 치수이며, l은 액체에서의 파장이다. 입력  
전력을 제어하기 위해서 양방향성 결합기를 접속할 것을 권고한다.

- c) 검출기의 중심이 안테나로부터 거리 d 에 있도록 액체에 프로브를  
배치한다;
- d) 다이폴의 방향을 기준 안테나의 편파와 맞추기 위해서 프로브의 방  
위를 맞춘다;
- e) 노출된 다이폴에 관련된 프로브의 포트에서 전압 신호  $V_{mes}$ 를 측  
정한다;
- f) 이 다이폴에 대한 민감도  $K_1 = \frac{V_{mes}}{E_{th}^2}$  이다. 계수 K1은
- g) 다른 두 다이폴에 대해 단계 4-6을 반복하고 K2와 K3의 값을 구한  
다.

프로브의 민감도 계수를 이용하면 그것은  $SAR = \frac{\sigma}{\rho_l} \left( \frac{V_1}{K_1} + \frac{V_2}{K_2} + \frac{V_3}{K_3} \right)$  이 된다.

여기서  $\rho_l$  은 밀도( $1000 \text{ kg/m}^3$ )이다.

기준 안테나를 이용하여 교정의 불확정도 분석을 실시할 때, 최소한 표  
4.10에 포함된 파라미터를 고려하여야 한다.

표 4.10 기준 안테나를 이용한 기법에 대한 불확정도 분석

불확정도 소스	설 명	불확정 도 값 $\pm\%$	확률 분포	계수	cI	표준 불확정도 $U_i\pm\%$
입사 전력			사각	$\sqrt{3}$	1	
반사 계수			사각	$\sqrt{3}$	1	
안테나 이득			정규	1 또는 k	1	
액체 투자율			사각	$\sqrt{3}$	0	
프로브 위치 결정			사각	$\sqrt{3}$	1	
결합된 표준 불확정도						
노출된 불확정도 (95%의 신뢰 간격)						

### 3.2.1.3 등방성

#### 축 등방성

프로브는 프로브의 축에 대해 정상 입사각을 가진 기준파에 노출되어야 한다. 축 등방성은 15도 미만의 단계로 0도에서 360도까지 주축을 따라서 프로브를 회전시킴으로써 결정된다.

#### 반구 등방성

프로브는 입사각이 변화하는 기준파에 노출되어야 한다. 반구 등방성은 기준 파장의 편파나 프로브를 회전시킴으로써 결정되어야 한다. 입사각은 30도 미만의 단계로 90도(축)에서 0도(수직)까지 변화하여야 한다. 각 입사각에 대해 프로브는 360도의 범위와 15도 미만의 단계로 회전되어야 한다.

다음과 같은 두 프로토콜이 이용될 수 있다:

- 평면 모의인체가 있는 다이폴
- 기준 안테나

#### 3.2.1.3.1 다이폴과 평면 모의인체를 이용한 등방성

장치는 시험 주파수에서 작동하는 반파장 공진 다이폴에 노출된 액체 모

의 조직으로 채워진 얇은 플라스틱 상자로 구성된다.

프로브의 구면 등방성의 평가에는 다음과 같은 프로토콜이 이용되어야 한다.

- 턴테이블에 다이폴 안테나를 장착하고 그것을 평면 모의인체와 평행하게 배치한다(그림 4.22 참조). 안테나는 액체 컨테이너의 근접한 벽으로부터  $e=10$ 의 최대 거리에 배치되어야 한다.
- 세 개의 프로브 센서의 중심이 다이폴 축의 연장선에 위치하도록 프로브를 액체에 수직으로 삽입한다.
- 프로브의 수평 위치는 가능한 한 모의인체/액체 인터페이스로부터의 거리  $d$ 에서 상자의 뒤쪽에 가까운 최대 정재파에 있어야 하는데 여기서 전기장은 부분적으로 균일하며 자기장은 최소에 이다. 측정은 기울기가 있는 전자기장에서 실시할 수도 있다(최대 전기장은  $x$  방향에서 라인 주사를 실시함으로써 평가될 수 있다).
- 다이폴은 30도 이하의 증가 단계로 최소한 0도에서 90도까지 그 축 모양 주위에서 회전되어야 한다.
- 프로브는 각 단계에서 로봇에 의해 0도에서 360도까지 그 축상에서 회전되며, 측정 데이터는 15도 이하의 단계로 기록된다.
- 그러면 구면 등방성으로부터의 편차는 측정된 모든 프로브 위치 중에서 평균 값으로부터의 최대 SAR 편차로 표시된다.

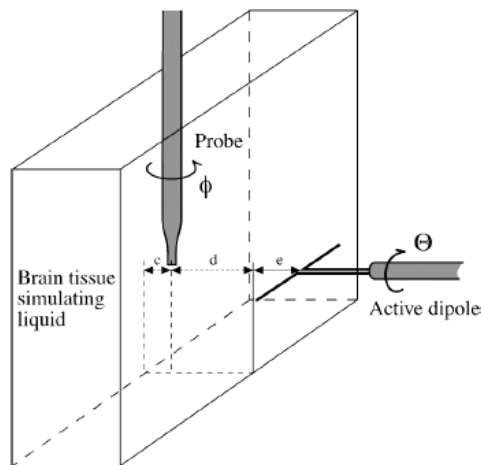


그림 4.22 액체 모의 조직에서 구면 등방성으로부터의 편차를 평가하는데 이용되는 장치

### 3.2.1.3.2 기준 안테나를 이용한 등방성

프로브의 등방성 평가에는 다음의 프로토콜을 사용하여야 한다:

- 한 안테나를 조직 등가 액체에 배치한다. 안테나는 액체 컨테이너의 벽으로부터 최소한 10 cm의 거리에 있어야 한다.
- 검출기의 중심이 안테나로부터  $d \geq 2D^2 / \lambda_{media}$  의 조건을 만족시키는 거리 d에 있도록 액체에 프로브를 배치한다. 여기서 D는 기준 안테나의 최대 치수이고 media는 액체에서의 파장이다. SAR 값이 이 위치에서 0.5와 1 W/kg 사이에 있을 것을 권고한다.
- 주축이 안테나로부터의 노출 방향과 직교하도록 프로브 축의 방위를 맞춘다(그림 4.23 참조).
- 15도 이하의 단계로 0도에서 360도까지 그 주축을 따라 프로브를 회전시킨다. SAR 값을 기록한다. 축 등방성은 rms 값으로부터의 SAR 편차로 정의된다.
- 15도 또는 30도의 단계로 0도에서 90도까지 프로브 축(그림 4.24 참조)이나 기준 안테나를 회전시킴으로써 기준 신호의 입사각을 변경한다.
- 각 입사각에 대해서 15도 이하의 단계로 0도에서 360도까지 그 주축을 따라서 프로브를 회전시킨다.
- 반구 등방성은 프로브의 비수직적 노출 가운데에서 rms 값으로부터의 SAR 편차로 정의된다.

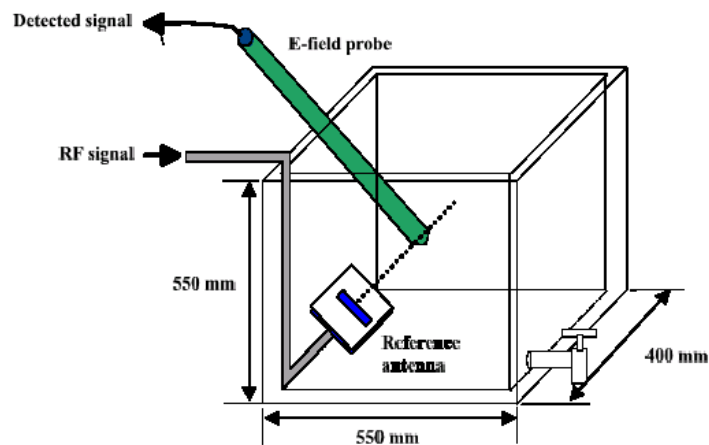


그림 4.23 기준 안테나를 이용한 축 등방성 측정



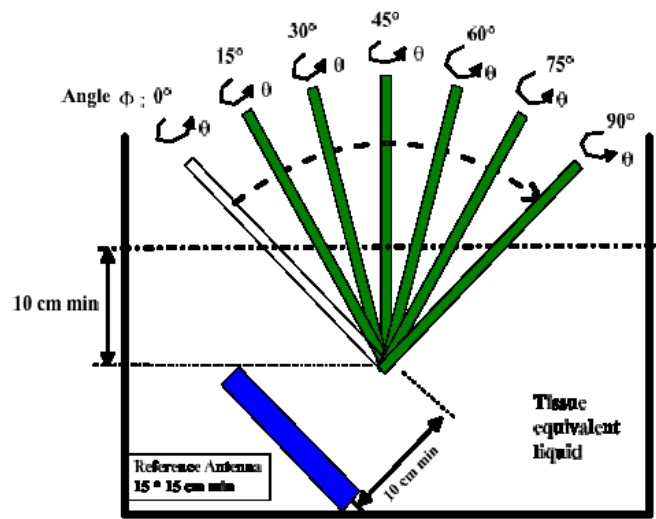


그림 4.24 기준 안테나를 이용한 반구 등방성 측정

#### 3.2.1.4 선형성

프로브의 비선형 반응이 다이폴의 특성에만 의존하기 때문에 선형화 함수의 평가는 자유 공간이나 조직 등 액체에서 행해질 수 있다. 그것은 요청된 검출 범위를 포함하는 전력 소인(sweep)으로 실시한다. 소형 TEM 셀, 도파관 또는 기준 안테나가 이용될 수 있는데 높은 전자기장 세기가 중간 전력 증폭기에 의해 생겨날 수 있기 때문이다.

선형성은 0.02 W/kg ~ 100 W/kg 간격에서 정의된 가장 가까운 선형 기준 곡선으로부터 측정된 수량의 측정 범위에서의 최대 편차로 정해진다. B.2나 D.1에 설명한 장치 중 하나를 이용함으로써 평가를 실시할 수 있다. 전력은 0.01 ~ 100 W/kg 간격에서 1 dB이하의 단계로 증가시켜야 한다.

#### 3.2.1.5 검출 제한치

국부 측정치가 이러한 제한치를 벗어나는 경우, 불확정도가 개입될 수 있다. 측정치가 검출 하한치보다도 낮은 경우 검출 제한치의 값을 이용하여야 한다. 측정치가 검출 상한치보다 높은 경우 측정치는 널(null)로 간주되어야 한다.

검출 제한치로 인한 불확정도는 0.1이라는 최대 듀티 인자를 가정하여 0.4 W/kg 내지 10 W/kg의 범위에 대해서 평가하여야 한다. 특정한 불확정도 추정은 국부 SAR 측정치가 이런 범위를 벗어나고, 비교적 작은 듀티 인자인 것으로 발견되는 경우 이루어져야 한다. 검출 제한치로 인한 불확정도는 그것이 사각 확률 분포를 갖는다고 가정하고 평가하여야 한다.

#### 3.2.1.6 경계 효과

프로브 경계 효과는 외피와 프로브에서의 중간 경계 사이의 결합 효과로 인해 경계 부근에서 발생한다. 이 효과는 본 문서의 부록 B에서 설명한 도파관 장치를 이용하여 결정할 수 있다. 프로브 경계 효과 불확정도는 경계 효과를 나타내는 선형 함수와 결합된 지수 감쇠의 일차 근사로부터 도출되며 다음과 같이 결정된다:

$$(d_{be} + d_{step}) < SAR_{tolerance} [\%] = \delta SAR_{bound\ effect} 1 \frac{(d_{be} + d_{step})^2}{2d_{step}} \frac{(e^{-d_{be}/(\delta/2)})}{\delta/2} 0 \text{ mm에 대해}$$

여기서

$d_{be}$ 는 mm로 표시되는 입방체 평균화 과정에 이용되는 표면과 가장 가까운 측정점 사이의 거리이다.

$d_{step}$ 은 두 번째 위치에서의 경계 효과가 미미하다고 가정할 때, mm로 표시되는 모의인체 표면에 가장 가까운 첫번째와 두 번째 측정점 사이의 이격 거리이다.

$\delta$ 는 본 표준에 정의된 두부 조직 등가 액체의 mm로 표시되는 최소의 침투 깊이이다. 예를 들면 3 GHz에서  $\delta = 14 \text{ mm}$

SAR의  $\delta \% SAR_{boundary\ effect}$ 는 경계로부터의 거리  $d_{be}$ 에서 측정된 SAR 값과 해석적인 SAR 값 사이의 편차이다.로 표시되는 불확정도 표의 적절한 열과 행에 프로브 경계 효과의 허용 오차를 입력하라.

### 3.2.1.7 판독 전자기기(readout electronic)

프로브와 평가 알고리즘 불확정도의 증폭, 선형성, 장하를 포함하는 전자기장 프로브 판독 전자기기의 불확정도 구성 요소는 최악의 상황에서 평가하여야 한다. 판독 전자 구성 요소가 동일한 크기의 허용 오차를 갖는 경우, 각 허용 오차는 정규 확률 분포를 이용하여 불확정도로 전환되어야 한다. 그 다음으로 이런 불확정도의 RSS 값을 구하여 종합적인 판독 전자기기의 불확정도를 얻어야 한다.

### 3.2.1.8 반응 시간

프로브는 조직 매질의 표면에서 2 W/kg보다 큰 잘 제어된 전기장 생성에 노출되어야 한다. 신호 반응 시간은 전원의 스위치 on/off나 한 단계 변화 이후에 예상되는 최종 값의 90%에 도달하기 위해 측정 기기(프로브 및 판독 전자기기)에 의해서 요구되는 시간으로 평가된다. 이런 반응 시간에서 비롯되는 SAR 불확정도는 SAR 값이 측정되기 전에 반응 시간의 두 배보다 큰

시간 동안 프로브가 공간적으로 정지되어있는 경우 무시될 수 있다. 이 경우 표 2의 3행에 0을 입력하라. 프로브가 반응 시간의 두 배 이상 동안 공간적으로 정지되어있지 않은 경우, 3행에 반응 시간의 실제 허용 오차를 입력하라.

### 3.2.1.9 적분 시간

특정 점에서의 전기장을 측정하는데 적용되는 적분 시간은 휴대단말기가 연속파(CW) 신호를 복사하지 않거나 판독 시스템이 신호로 로킹되지 않는 경우 개별성으로 인한 추가적인 불확정도를 가져올 수 있다. 이런 불확정도는 신호 특성에 의존하며 모든 SAR 측정 이전에 평가되어야 한다. 비연속파 신호가 이용되는 경우, 적분 시간 불확정도로 인한 불확정도는 총 불확정도 평가에서 감안하여야 한다. 적분 시간 불확정도를 평가하기 위해서 사각 확률 분포를 가정한다.

주 - TDMA 신호( $t_{frame}$ =프레임 기간)에 대해서는 정의된 적분 시간( $t_{int}$ )에 대한 최대 허용 오차가 다음 식에 의해 주어진다:

$$SAR_{tolerance}[\%] = \frac{t_{frame}}{t_{int}} \cdot (0.5 + n) \cdot 100, t_{int} > t_{frame}$$

n은 유틸리티 프레임, 예를 들면 GSM 다중 프레임의 26번째 프레임의 수와 동등하다. 불확정도 표에 이 값을 입력하라. 여기서 사각 분포가 가정될 수 있다.

## 3.2.2 기계적 제약의 기여

### 3.2.2.1 주사 시스템

전자기장 프로브 위치 제어기의 기계적 제약은 프로브 위치 결정의 정확성과 재현성의 편차를 가져올 수 있고 그것은 측정된 SAR의 불확정에 기여한다. 불확정도는 전자기장 프로브 센서의 기하학적인 중심에 의해 정의된 실제 측정 위치에 의해 요구되는 위치에 상대적인 프로브 위치 제어기의 규

격에 대해 평가할 수 있으며, 최대 편차  $d_{ss}$ 로 표시된다. 프로브 위치 제어기의 기계적 제약으로 인한 공간 평균 침투 SAR 불확정도 기여  $d_{ss}$ 는 사각 확률 분포를 가정함으로써 일차 근사를 이용하여 계산할 수 있다:

$$SAR_{tolerance} [\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100$$

여기서,

$d_{ss}$  는 귀 기준점에 대한 실제 위치와 프로브 센서 중심의 계산된 위치 사이의 최대 위치 허용 오차이다.

$\delta$  는 본 표준에서 정의된 두부 조직 등가 액체의 최소 침투 깊이이다. 예를 들면 3 GHz 에서  $\delta = 14$  mm.

위치 제어기의 제작자가 프로브 위치 제어기의 기계적 제약을 명시하지 않은 경우, 기계적 제약은 SAR 측정 불확정도에 대한 기여를 결정하기 위해 평가되어야 한다. 이것은 단순히 표면분호 측정 영역에서의 이동의 상대적인 정확성을 평가하고 소프트웨어에 의해 명시된 위치의 차이를 실제로 허용 오차까지 얻어진 차이로 전환함으로써 실시할 수 있다.

SAR 허용 오차는 가정된 사각분포를 이용하여 불확정도 표의 3행에 입력하여야 한다.

### 3.2.2.2 모의인체 외피

모의인체 불확정도는 프로토콜에 의해 요구되는 모의인체내에 있는 조직 등가 액체의 목표 유전 파라미터로부터의 모의인체 제작 허용 오차와 편차로 인해 유도된 공간 평균 침투 SAR의 불확정도로 정의된다. 모의인체 제작 허용 오차는 다음을 포함한다:

- 모의인체 외피의 내부 및 외부 모형에 있어서 본 표준에 이용되는 CAD 파일에 의해서 정의된 것과의 편차
- 모의인체 외피 두께에 있어서 이 CAD 파일에 의해 정의된 것과의 편차

불확정도는 거리에 대한 최악 의존도, 즉, 거리의 제곱에 대한 의존도에 따라, 두부 액체 모의 조직 및 등가 필라멘트 전류 밀도의 위치 사이의  $a = 10 \text{ mm}$ 의 거리를 가정하여 평가한다(등가 전류의 밀도는 가장 가까운 전류 원이 아니라 국부 자기장 분포를 개선하는 전류 밀도와 일치한다).

$$SAR_{tolerance}[\%] = 100 \times \left( \frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right)$$

$$SAR_{tolerance}[\%] = 100 \times \frac{2d}{a}$$

여기서

$d$ 는 외피 두께와 모의인체 모양의 최대 허용 오차이다.

불확정도 표의 해당 열에 허용 오차 값을 입력하라.

### 3.2.2.3 모의인체 외피 표면에 대한 프로브 위치

모의인체 외피의 모양 및 두께는 적절한 표준에서 명시된다. 모의인체 외피  $d_{ph}$ 에 대한 프로브 위치 제어기의 불확정도를 계산하는데 이용되는 사각 확률 분포를 결정하여야 한다. 사각 확률 분포를 가정함으로써 공간 평균 침투 SAR 불확정도 기여는 본 표준에 정의된 두부 조직 등가 액체의 최소 침투 깊이를 적용함으로써 일차 근사를 이용하여 계산한다. 예를 들면  $3 \text{ GHz}$ 에서  $\delta = 14 \text{ mm}$ :

$$SAR_{tolerance}[\%] = \frac{d_{ph}}{\delta/2} \times 100$$

여기서

$d_{ph}$ 은 프로브 끝과 모의인체 외피 사이의 거리를 결정하는 허용 오차, 즉, 프로브 끝에 대한 모의인체 위치를 결정하는 허용 오차이다.

$\delta$ 는 본 표준에 정의된 두부 조직 등가 액체의 최소 침투 깊이이다. 예를 들면  $3 \text{ GHz}$ 에서  $\delta = 14 \text{ mm}$

SAR의 사각분포를 가정하여 불확정도 표의 3행에 SAR 허용 오차를 입력하여야 한다.

### 3.2.2.4 피 시험기기의 위치 결정

#### 3.2.2.4.1 피 시험기기 지지대로 인한 소스 교란의 불확정도

피시험기기 지지대는 5 미만의 유전 상수와 0.05 미만의 손실 탄젠트( $\delta/2\pi f \epsilon$ ) (이 파라미터는 오픈 동축 방식(open coaxial method)으로 결정될 수 있다)가 있는 저손실 유전 재료로 이루어져야 한다. 그럼에도 불구하고, 홀더는 소스에 영향을 미칠 수 있기 때문에 홀더로부터 비롯되는 불확정도는 (즉 홀더가 없는 상황과의 편차) 5.3.1.1에 설명한 방법에 따라서 결정되어야 하는데, 그것은 각 휴대전화기에 대해 실시할 B형 방법이다. 5.3.1.2에 설명한 방법은 휴대전화기의 전체 범위에 대한 불확정도를 평가하기 위한 A형 방법을 제공한다.

#### 가. 피 시험기기 지지대의 특정 휴대단말기 구성 불확정도

시험을 위한 특정 작동 상태에서 작동하는 특정 휴대단말기에 대한 불확정도는 평면 모의인체를 이용하여 다음과 같은 두 가지 시험을 실시함으로써 평가하여야 한다.

- 1) 사용자 매뉴얼에 따라서 지지대에 휴대전화를 실장하고 평면 모의인체와 직접 접촉하도록 휴대전화를 위치시킴 (평면 모의인체의 바닥에 평행한 휴대전화기의 수평, 수직 중앙선) 으으로써 공간 침투 SAR을 평가함
- 2) 휴대전화를 동일한 위치에 위치시키지만 폼(foam) 또는 동등한 등가 저손실 및 비반사 재료를 이용함으로써 공간 침투 SAR을 평가함

불확정도 표에서 이용할 SAR 허용 오차는:

$$SAR_{tolerance}[\%] = \left( \frac{SAR_{w/holder} - SAR_{wo/holder}}{SAR_{wo/holder}} \right) \times 100$$

#### 나. 피 시험기기 지지대의 전체 불확정도

SAR에 미치는 피 시험기기 지지대의 효과에 관한 충분한 데이터를 얻을 수 있는 경우, 불확정도는 A형과 같이 결정될 수 있고 7.2.2.4.1.1에 설명한 추가 시험을 피할 수 있다. 상이한 구성을 갖는 N개의 상이한 휴대단말기 모델에 대한 지지대의 효과는 평면 모의인체에서 다음과 같은 시험을 실시함으로써 평가해야 한다(N은 가능한 한 커야 하며 최대한 다양한 휴대전화기를 포함하여야 한다) .

- 1) 사용자 매뉴얼에 따라 지지대에 휴대전화를 실장하고, 평면 모의인체와 직접 접촉하도록 위치 시킴(평면 모의인체의 바닥과 평행한 휴대전화기의 수평, 수직 중앙선)으로써 공간 침투 SAR을 평가함
- 2) 휴대전화를 동일한 위치에 위치시키지만 폼(foam) 또는 동등한 저손실 및 비반사 재료를 이용함으로써 공간 침투 SAR을 평가함

각각의 시험에 대해 SAR에 미치는 효과는 다음과 같이 계산한다.

$$SAR_{tolerance}[\%] = \left( \frac{SAR_{wholder} - SAR_{w/oholder}}{SAR_{w/oholder}} \right) \times 100$$

해당 불확정도는 적절한 데이터 분석을 적용함으로써(즉, 탐구 데이터 분석을 적용함으로써) 결정되어야 한다. 그것은 참고절에 있어야 한다. 불확정도 표에 채워질 값은 상응하는 95% 신뢰성 레벨을 2로 나눈 것보다 작아서는 안된다. 휴대단말기의 설계 변경을 설명하기 위해 데이터베이스가 매년 확장될 것을 권고한다.

#### 3.2.2.4.2 모의인체에 대한 휴대단말기 위치 결정 불확정도의 평가

표준에 설명한 위치와 실제 휴대단말기 위치의 편차는 시험을 수행하는 사람의 해석과 취급 뿐만 아니라 배치된 휴대전화기의 정확성에도 의존한다. 더욱이 공간 침투 SAR 값에 대한 이런 편차의 크기는 휴대전화기 구조에 의존한다. 이런 파라미터는 분리될 수 없기 때문에 다음과 같은 A형 시험이 실시되어야 한다.



### 가. 특정 휴대단말기 구성에 대한 휴대단말기 위치 결정의 불확정도

최대 공간 침투 SAR 값에 대한 평가는 평가되는 장치 구성 및 위치에 대해 표준화된 프로토콜에 따라 M번 평가를 실시하는 K개의 다른 사용자에게 의해서 반복되어야 하는데 여기서 KM은 최소한 10이 되어야 한다.

평균 값의 %로 표시되는 표준 편차를 계산하여야 하는데, 여기서 자유도는 KM-1인 것으로 추정된다. 이 참고는 수로만 인용하는 참고절에 있을 필요가 있다.

### 나. 휴대단말기 위치 결정의 전체 불확정도

공간 침투 SAR 위치에 있어서 상당히 다른 SAR 분포를 제공하는 N개의 장치 구성을 이 시험에 이용하여야 한다. 이 분포는 안테나, 표시 영역 및 표시 영역 아래에서 최고의 침투 SAR을 생성하는 휴대전화기를 포함하는 것이 바람직하다. N은 5보다 커야 한다. 휴대전화기가 표준 프로토콜에서 정의된 대로 위치가 결정될 때, 평면 모의인체에서 표면분포 주사를 실시함으로써 분포의 범위를 입증하고 문서화할 것을 권고한다.

시험은 표준 프로토콜에서 정의된 절차를 M번 실시하는 K명의 다른 사용자가 실시하여야 하는데, 여기서 KM은 최소한 10( $K \geq 3$ ,  $M \geq 1$ )이 되어야 한다. 각 값은 동일한 시험 위치에서 동일한 장치 구성으로 KM번 측정에 의해 얻어지는 평균 값으로 정규화 되어야 한다.

해당 불확정도는 KN개의 측정으로 4N개 집단에 대한 적절한 데이터 분석(변화의 분석 ANOVA)을 적용함으로써(예를 들면 탐구 데이터를 적용함으로써) 결정되어야 한다. 불확정도 표에 채워질 값은 상응하는 95% 신뢰성 레벨을 2로 나눈 것보다 더 작아서는 안된다.

휴대단말기의 설계 변화를 설명하기 위해 데이터베이스를 매년 확장할 것을 권고한다.

## 3.2.3 물리적 파라미터의 기여

### 3.2.3.1 액체 밀도

조직 등가 액체의 전자기적 파라미터는 그것이 1000 kg/m<sup>3</sup>의 밀도를 갖는다고 추정하여 평가되었다. 이 밀도가 SAR 평가에 이용되어야 하며, 가정에 의해서 도입된 불확정도는 무시해도 좋은 것으로 간주되어야 한다.

#### 3.2.3.2 액체 도전율

액체 도전율로 인한 불확정도는 두개의 다른 소스로부터 발생한다. 불확정도의 첫번째 소스는 그 목표값(최대  $\pm 5\%$ )으로부터의 액체 도전율의 편차이며 불확정도의 두 번째 소스는 도전율 평가에 이용되는 측정 절차에서 발생한다. 불확정도는 사각 확률 분포를 이용하여 평가하여야 한다.

#### 3.2.3.3 액체 유전율

액체 유전율로 인한 불확정도는 두개의 다른 소스로부터 발생한다. 불확정도의 첫번째 소스는 그 목표값(최대  $\pm 5\%$ )으로부터의 액체 유전율의 편차이며 불확정도의 두 번째 소스는 유전율 평가에 이용되는 측정 절차에서 발생한다. 불확정도는 사각 확률 분포를 이용하여 평가하여야 한다.

### 3.2.3.4 장치, 프로브, 온도 및 습도의 출력 전력에서의 편이

온도와 습도 뿐만 아니라 측정 기기 및 장치의 전자로 인한 편이는 6.3에 정의된 측정 과정의 처음 단계와 마지막 단계에 의해서 제어되며, 결과적인 불확정도는  $\pm 5\%$  미만이다. 불확정도는 사각 확률 분포를 가정하여 평가되어야 한다.

### 3.2.4 후처리의 기여

본 절은 1 g 또는 10 g 체적 평균 SAR을 결정하는데 있어서 위치 제어 전자 기기와 위치 제어기 자체의 제조자에 의해서 제공되는 소프트웨어 프로그램을 이용하여 계산되는 내삽, 외삽, 적분 및 평균 절차로부터 비롯되는 SAR 불확정도를 설명한다. 평가는 본 문서에 있어서 개발되는 해석적 전자 기장 분포에 기초한다. 소프트웨어에 대한 입력 값은 모의인체 내의 평가 격자에 프로브를 정확하게 위치시키는 것에 대한 지식과 0 %의 측정 허용 오차를 가정하여 측정 위치에서의 SAR 값이 되어야 한다.

휴대단말기에 있어서 예상되는 가능한 SAR 분포의 전체 범위에 대해 수행된 외삽, 내삽, 적분 및 평균 절차(위치 결정 시스템의 제조자에 의해서 공급되는 소프트웨어에 의해서 제공됨)의 불확정도를 확실하게 평가하기 위해, 세가지 해석적 SAR 분포가 SAR 분포의 예상되는 범위를 나타내기 위한 이 기준의 목적을 위해 도출되었다. 공간적 평면인 분포는 f1으로 표시된다. 모의인체 외피 옆에 있는 조직 표면에 위치한 최대 SAR이 있는 분포는 f2로 표시된다. 공간적으로 가파른 분포는 f3으로 표시된다. 모의인체 부피는 모든 세가지 함수에 대해  $z=0$ 일 때를 표면으로 하여  $z>0$  위치를 기준으로 추정된다.

$$f_1(x, y, z) = A \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\sqrt{y'^2 + x'^2}}{5a} \right) e^{-\frac{z}{2a}}$$

$$f_2(x, y, z) = A \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \cdot \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{y'}{3a} \right) e^{-\frac{z}{a}} \cdot \left( 3 - e^{-\frac{2z}{a}} \right)$$

$$f_3(x, y, z) = A \frac{a^2}{\frac{a^2}{4} + x^2 + y^2} \cdot \left( e^{\frac{2z}{a}} + \frac{a^2}{2(a+2z)^2} \right)$$

$$x^i = x + 3 \text{ mm}$$

$$y^i = y + 3 \text{ mm}$$

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$A = 1 \text{ W/kg}$$

여기서 위의 파라미터  $a$ 와  $A$ 는 적절한 SAR 분포에서 발생하는 것 이외에는 어떤 특별한 물리적 의미도 갖지 않는다.

최대 공간 침투 SAR을 검색하기 위한 알고리즘을 시험하기 위해 중앙으로부터의 3 mm 변이가 도입되었다. 함수가 평면인 표면에 기초한다는 사실은 그 절차가 표면으로부터의 격자의 등가 거리에 근거한다면 시험에 대한 적용 가능성에 대해 어떤 제한도 제공하지 않는다. 이것은 그림 9에 설명한 입방체를 낳는다.

수치적 계산(불확정도  $\ll 104$ )을 통해 얻어진 위의 세 함수의 공간 침투 전자와 흡수율(SAR<sub>ref</sub>)의 기준 값은 다음과 같으며 더 이상의 연구 없이도 이용된다.

$$SAR_{ref}(f_1)_{1g} = SAR_{ref}(f_1)_{10g} = 0.764 \text{ W/kg} \quad 0.881 \text{ W/kg} ;$$

$$SAR_{ref}(f_2)_{1g} = SAR_{ref}(f_2)_{10g} = 1.383 \text{ W/kg} \quad 1.796 \text{ W/kg} ;$$

$$SAR_{ref}(f_3)_{1g} = SAR_{ref}(f_3)_{10g} = 1.391 \text{ W/kg} \quad 3.048 \text{ W/kg} ;$$

수행된 외삽, 내삽 및 최대값을 찾는 일련의 과정에 의해 도입된 불확정도는 다음과 같은 방식으로 시험한다:

- 1) 표면분포 측정은  $x, y, z = (0,0,0)$ 에서 최대 SAR 값의 위치에서 초래된 것으로 추정된다.
- 2) 소프트웨어의 입력값(측정값)은 미세 분포 측정의 격자 점에서 위의 함수의 값이다.
- 3) 세 가지 함수  $f_1, f_2, f_3$  각각에 대해 1g 및 10g에 대한 공간 침투 SAR 값을 초래하는 구현된 소프트웨어를 이용하여 데이터를 평가한

다(이미 계산한 위의 값 참조).

4) 각 함수에 대한 SAR 허용 오차는 다음에 따라서 계산한다.

$$SAR_{tolerance} [\%] = \left| \frac{SAR_{evaluated} - SAR_{ref}}{SAR_{ref}} \right| \times 100$$

세 가지 값 중 최고 값은 사각 분포를 가정한 불확정도 표에 입력하는데 이용된다.

### 3.3 불확정도 평가

#### 3.3.1 합성 불확정도와 확장 불확정도

불확정도의 각 구성 요소의 기여분은 그 명칭, 확률 분포, 민감도 계수 및 불확정도 값과 함께 등록되어야 한다. 그 결과는 다음과 같은 서식의 표에 결과를 기록하여야 한다. 그 다음으로 합성 불확정도를 다음 공식에 따라 평가하여야 한다:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2}$$

여기서  $c_i$ 는 가중 계수이다.

확장 불확정도는 95%의 신뢰 구간을 이용하여 평가하여야 한다.

표 4.11 노출 평가의 측정 불확정도 문서화

불확정도 소스	불확정 도 값 ㎍	확률 분포	제수	$c_i$ (1g)	$c_i$ (10 g)	표준 불확정도 ㎍, (1g)	표준 불확정도 ㎍, (10g)	$v_i$ 또는 $v_{eff}$
<b>측정 시스템</b>								
프로브 교정		정규	1	1	1			$\infty$
등방성		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
경계 효과		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
선형성		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
검출 제한치		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
판독 전자		정규	1	1	1			$\infty$
반응 시간		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
적분 시간		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
환경의 섭동		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
프로브 위치제어기 의 기계적 제약		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
모의인체 외피에 대 한 프로브 위치 결 정		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
후처리		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
<b>시험 샘플 관련</b>								
시험 샘플 위치 결 정		정규	1	1	1			N

피시험기기 홀더 불확정도		정규	1	1	1			N
출력 전력의 편이		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
<b>모의인체 및 설정</b>								
모의인체 불확정성 (외형 및 두께 허용 오차)		사각	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
액체 도전율(목표)		사각	$\sqrt{3}$	0.7	0.5			$\infty$
액체 도전율(측정)		사각	$\sqrt{3}$	0.7	0.5			$\infty$
액체 비유전율(목표)		사각	$\sqrt{3}$	0.6	0.5			$\infty$
액체 비유전율(측정)		사각	$\sqrt{3}$	0.6	0.5			$\infty$
합성 표준 불확정도		RSS						
확장 불확정도 (95% 이상)								

주 1  $c_i$ : 는 민감도 계수이다: 0.6은 1g 평균에 대한 최대 민감도이다; 0.5는 액체 도전율과 액체 투자율 모두에 대해 10g에 대한 최대 민감도이다.

주 2  $v_i$ ,  $v_{eff}$ 는 각각 입력 추정치( $x_i$ )에 대한 표준 불확정도  $u(x_i)$ 에서의 자유도이며  $tp(v_{eff})$ 를 얻는데 이용되는 합성 표준 불확정도  $u_c(x_i)$ 에서의 유효 자유도( $n$ )의 정도이다.  $n$ 에 대해서는 포함 인자의 반대가 되는  $t$  분포에 의해 제수  $d(n)$ 을 얻을 수 있다.

### 3.3.2 최대 확장 불확정도

95 %의 신뢰구간을 갖는 확장 불확정도는 0.4 내지 10 W/kg의 범위에서 질량 평균 SAR 값에 대해서 30 %를 초과해서는 안된다.

## 제 4 절 측정 보고서

### 4.1 개요

결과는 일반적으로 시험 보고서에 기록하여야 하며, 사용하는 방법이 요구하는 모든 정보와 시험 또는 측정 결과의 해석에 필요한 모든 정보를 포함하여야 한다.

요구되는 측정 및 불확정도 제한치 내의 결과를 제공하는 재현 가능한 시험, 계산 또는 측정을 실시하는데 필요한 모든 정보를 기록하여야 한다. 8.2 참조.

시험 보고서에 관한 더 상세한 지침은 ISO/IEC 17025의 5.10에서 찾을 수 있다.

### 4.2 시험 보고서에 기록할 항목

#### 4.2.1 일반적 개요

- EUT 에 대한 설명
- 요구 사항
- 사용된 표준

#### 4.2.2 측정 시스템

- 측정 시스템
- 위치 제어기
- 내삽/외삽 기법에 대한 설명

#### 4.2.3 불확정도 평가

3.3.1에 제시된 표2의 보고서



#### 4.2.4 결과

- 장치/일련번호에 대한 설명, 예를들면 IMEI(국제 이동기기 식별정보)
- 시험 조건(온도 등)
- 사용 액체 및 그 특성
- 시스템 타당성 검증 검사 결과
- 실시한 시험의 결과(각 시험에 대한 공간 평균 침투 SAR 값 및 각 모드의 최대 SAR 값에 대한 장치에 관한 표면분포 측정과 체적 분포 측정의 그래픽 표시)

#### 4.2.5 보고서 요약

- 시험 위치, 대역, 모드 및 안테나 구성에 대한 SAR 값
- 해당하는 경우 제한 권고 및 적합성에 대한 진술서 등 관련 참고문헌

## 제 6 장 106/55/CD 기술문서의 내용

본 장은 “인체노출과 관련된, 전자기장( $0\text{ Hz} - 300\text{ GHz}$ )의 기본 한계를 이용하여 전기 전자제품의 적합성을 인증하기 위한 일반 제품 표준 - 106/55/CD”에 대하여 언급하고자 한다.

### 제 1 절 전기 전자제품의 특성 파라미터

**주파수 :** 방사의 주파수

**파형 :** 첨두 및/또는 평균 방사의 설정을 위한 듀티 인자 등과 같은 파형 및 기타 정보

**다중 주파수 발생원 :** 장치가 하나 이상의 주파수에서 장(field)을 생성하거나, 높은 고조파 함량을 가진 장을 생성하는가? 방사는 동시적인 것인가?

**전기장의 방사 :** 전압차 그리고 전위 전압이 가해진 금속 표면 등과 같은 결합 부분

**자기장의 방사 :** 전류 흐름 그리고 코일, 변환기, 루프 등과 같은 결합 부분

**전자기장의 방사 :** 고주파 신호의 생성 및 전송 그리고 안테나, 루프, 변환기, 외부 케이블 등과 같은 복사 부분

**접촉 전류 :** 표면 또는 사람이 전자기장에 노출될 경우 도전성 표면의 접촉 가능성

**전신 노출 :** 장치에 의해 생성된 장은 전신에 의해 점유된 영역으로 확장된다.

**국부 노출 :** 장치에 의해 생성된 장은 신체의 일부 또는 사지에 의해 점유

된 영역으로만 확장된다.

**지속 시간/시간 변동** : 방사의 듀티 사이클, 장치에 의해 사용되거나 방사되는 전력의 켜지는 시간/꺼지는 시간. 생성 과정 동안의 전력 사용 또는 방사의 변동

**균일성** : 장 세기가 노출된 신체 또는 신체의 영역에서 변하는 정도. \* 신체가 없는 상태에서 측정되어야 한다.

**원거리 근거리 장** : 유도 근거리 장 또는 반응성 근거리 장에서의 노출인가? 근거리 장 전파(Propagating)인가? 원거리 장인가?

**펄스 장/과도(transient) 장** : 방사는 펄스 변조인가 또는 트루(true) 펄스인가? 장에서 우발적이거나 주기적인 과도가 있는가?

**물리적 크기** : 상당한 노출이 신체 일부에 존재할 정도로 장치가 작은가? 과장(동작 주파수)과 관련하여 상이한 부품이 노출에 독립적으로 기여할 정도로 장치가 큰가?

**전력** : 방사된 전력은 어떤 것인가? 소비 전력은 어떠한가? 안테나 시스템이 있는 경우, 등가 등방 복사 전력(EIRP)은 무엇인가?

**거리(소스⇒사용자)** : 장치가 정상적으로 작동될 경우, 장치와 운용자 또는 사용자 간의 공간 관계는 어떠한가? 평가에 이용되는 거리는 제조업체에 의해 명시되고, 장치의 의도된 용도에 일치하여야 한다.

**의도된 용도** : 장치는 일반적으로 어떻게 사용되는가? 최고 방사 또는 흡수를 생성하는 의도된 사용 조건은? 동작 조건은? 의도된 용도는 장치와 사용자 간의 공간 관계에 어떻게 영향을 미치는가? 용도는 장치의 방사 특성에 영향을 미칠 수 있는가? 장치가 시스템의 일부분이 될 수 있는가?

**소스/사용자 간 상호 작용** : 장치가 신체에 근접하는 경우, 방사된 장은 변하는가? 장치는 사용되는 동안 신체와 결합되는가?

## 제 2 절 적합기준 및 기준의 적합성 평가

### 1. 적합기준

전기장, 자기장, 전자기장 등에 대한 일반인 노출 기준 레벨(최대 허용 노출치, 조사 레벨 등)은 노출에 대한 최악의 가정을 이용하여 기본 한계로부터 도출된다. 기준 레벨이 충족되는 경우에는 기본 한계도 충족될 것이지만, 기준 레벨이 초과되는 경우에는 반드시 기본 한계가 초과된다는 것을 의미하지는 않는다. 상황에 따라서는, 직접적으로 기본 한계의 준수를 증명하는 것이 가능할 수도 가능하다. 기본 한계의 적합성을 증명하기 위한 간이 측정 또는 계산을 가능하게 하는 적합 기준을 도출하는 것도 가능하다. 적합 기준은 종종 기준 레벨의 기초가 되는 보수적인 가정과는 달리, 장치로부터 노출이 발생할 수 있는 조건에 대한 사실적인 가정을 이용하여 도출될 수도 있다.

정상적인 사용자의 입장에서 볼 때, 장치에 사용된 기술이 전기장, 자기장, 또는 접촉 전류 등을 기준 레벨의 1/2 이상 레벨로 생성할 수 없는 경우, 당해 장치는 전기장, 자기장, 또는 접촉 전류 등에 대한 더 이상의 평가가 없더라도 이 표준의 요구 사항을 준수하는 것으로 간주된다.

### 2. 제한치 적합성에 대한 평가

측정값이 제한치 미만이거나 같고 평가 불확정도가 적용되는 평가 방법에 대해 명시된 측정 불확정도보다 낮을 경우, 이러한 기기는 이 표준의 요구 사항을 이행한 것으로 간주된다. 평가 불확정도\*가 명시된 불확정도의 값(%)보다 클 경우, 그 차이는 제한치와 비교되기 전에 평가 결과에 첨부되어야 한다.

평가 방법의 측정 불확정도가 30% 이상일 경우 아래의 수식을 사용하여야 한다

$$L_m \leq \left( \frac{1}{0,7 + \frac{U(L_m)}{L_m}} \right) L_{lim}$$

여기서  $L_m$  은 측정값,  $L_{lim}$  은 노출 제한치,  $U(L_m)$ 은 확장 불확정도이다.

예를 들어, 어떤 전자기장(EMF) 시험의 상대 불확정도가 55%라고 가정해 보자. 그러면,

$$\frac{U(L_m)}{L_m} = 0,55 \text{ 이다.}$$

위의 수식에서 측정값에 대한 조건은 다음과 같다.

$$L_m \leq \left( \frac{1}{0,7 + \frac{U(L_m)}{L_m}} \right) L_{lim} = \left( \frac{1}{0,7 + 0,55} \right) L_{lim} = \frac{1}{1,25} L_{lim} = 0,8 L_{lim}$$

불확정도의 벌칙(penalty)은 다음과 같다:

$$U_{pen} \leq 0,2 \quad L_{lim}$$

각 평가 방법 하에서 명시된 불확정도의 값은 최대 허용 불확정도이다. 불확정도의 값이 명시되지 않은 경우, 30%의 기본값이 사용되어야 한다.

### 제 3 절 제품의 평가방법

제품의 적합성 평가방법으로는 원거리 장 계산, 근거리 장 계산, 모의 인체를 사용하거나 사용하지 않는 모의 실험, 수치 모델링, 생체 전류의 측정, 비흡수율(SAR), 전기장(E) 및 자기장(H) 측정, 소스 모형화, 물리적 속성의 직접 측정, 접촉 전류, 입력 전력, 생체 전류 등이 있다.

본 절에서는 간단하게 원거리장 및 근거리장 계산, SAR 측정, 전기장(E) 및 자기장(H) 측정에 대하여서만 언급하고자 한다.

#### 1. 원거리장 및 근거리장 계산

원거리장 및 근거리장 계산법에서 사용되는 공식의 몇 가지를 소개한다. 이에 전자기장 계산에 관한 배경을 포함한다.

##### 가. 원거리 장 영역

장 계산은 점파원인 것으로 가정되는 안테나 크기를 감안하지 않는다. 이상적인 등방성 안테나는 실제 안테나의 성능을 비교하기 위한 기준으로 사용된다: 한 점으로부터 P 와트(watt)는 반경 r 로 이루어진 구(sphere)의 표 면상에서 균일하게 복사된다.

포인팅 벡터(POINTING VECTOR)에 의한 전력 밀도는 아래 식과 같이 표현된다.

$$S = E \wedge H = \frac{E^2}{\eta} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$\text{자유 영역에서 : } E = \eta_0 H = \frac{\sqrt{30PG(\theta, \phi)}}{r}$$

G=등방성 안테나와 관련된 안테나 이득

$\theta, \phi$ =조사점에 대한 고도 및 방위각

$r$ =관찰점으로부터 안테나까지의 거리

$\eta_0$ =자유 공간의 특성 임피던스

## 나. 복사 근거리 장 영역

실제 안테나는 유한한 크기를 갖고 있다.

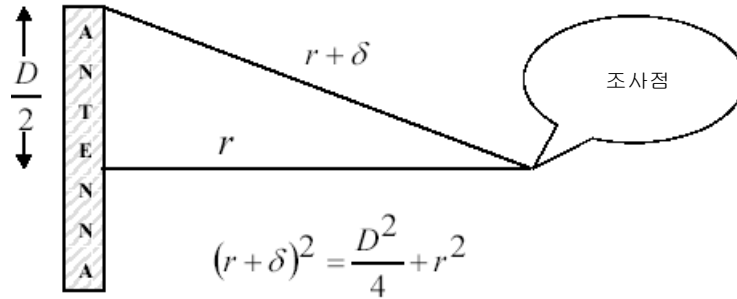


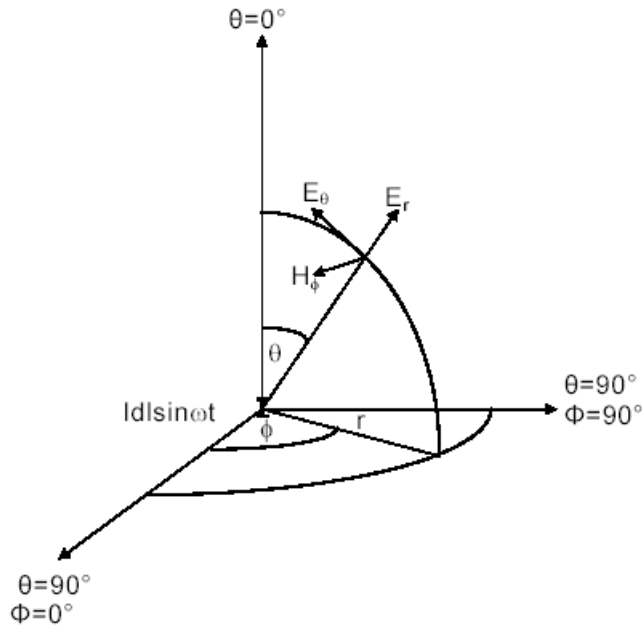
그림 6.1 최대 선형 크기  $D$ 를 갖는 안테나의 기하학(Geometry)

안테나의 끝으로부터의 신호와 중심으로부터의 신호간의 위상차는 경로차  $\delta$ 의 함수이다.,  $\delta$ 가  $\lambda/16$ 인 레일리 기준 이상일 경우, 이 위상차는 조사점에 서의 신호 레벨을 상당히 변경시킬 것이다. 따라서,  $r \leq \frac{2D^2}{\lambda}$ 인 경우에는 점 파원으로부터의 자유 영역 조건이 더 이상 적용되지 않는다.  $r$ 이 매우 작은 경우에는 반응성 근거리 장 조건이 중요하다. 아래 그림 5.3을 참조하라.

이것은 복사 근거리 장 영역에 대한 경계가  $\frac{\lambda}{4} < r \leq \frac{2D^2}{\lambda}$ 에 의해 정의되는 것을 필요로 한다. 안테나가 매우 짧은 경우,  $2D^2/\lambda$ 는  $\lambda/4$  미만이 될 수도 있다. 이 경우, 복사 근거리 장 영역은 반응성 근거리 장 영역 내에 존재하게 될 것이다.

## 다. 반응성 근거리 장 영역

복잡한 안테나 시스템에 대한 전자기장 수식은 짧은 선형 소자에서 발진 전류  $I \sin \omega t$ 에 의해 생성되는 장을 알면 도출될 수 있다.



$$\begin{aligned} H_\phi &= \psi(1 - \alpha) \\ E_\theta &= \eta\psi(1 - \alpha + \alpha^2) \\ E_r &= 2\eta_0\psi\cot(\theta)(\alpha - \alpha^2) \end{aligned}$$

여기서  $\Psi = \frac{Idl\sin\theta}{2\lambda r} e^{-j\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)}$  및  $\alpha = \frac{j}{\beta r}$

$H_\phi$  = 자기장  
 $E_\theta$  = 전기장  
 $E_r$  = 방사상 전기장  
 $I$  = 소자 전류(elemental current), A  
 $dl$  = 소자의 길이, m  
 $\omega = 2\pi f$ , rads/s ( $f$  = frequency, Hz)  
 $\beta = 2\pi/\lambda$ ,  $m^{-1}$

그림 6.2 구형 좌표의 원점에서의 전류 요소  $Idl\sin(\omega t)$

$\alpha$ 는 유도를 나타내며,  $\alpha^2$ 은 반응성 근거리 장 용어 중 정전 근거리 장을 나타낸다. 이러한 용어에 의해 표현되는 에너지는 소스 주위에서 순환한다(되튀한다/흐른다), 즉 무한대를 향해 외부로 전파하지 않는다.

비방사 구성 요소와 방사 구성 요소 간의 차이를 결정하기 위해서는, 다음 분석이 수행될 수 있다.

$H^2$  값만인 경우, 실제 구성 요소와 가상 구성 요소를 합하고 복사 구성 요소로 나눔으로써 다음을 구한다:

$$\left\| \frac{\psi(1-\alpha)}{\psi} \right\|^2 = \|1-\alpha\|^2 = \left\| 1 - j\left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right) \right\|^2 = 1 + \frac{\lambda^2}{4\pi^2 r^2}$$

$E^2$  값만인 경우,  $\theta \Rightarrow 90^\circ$ 이고(즉, 안테나 중심 소자 보어 사이트(bore



sight))  $E_r \Rightarrow 0$ 인 경우,  $E_\theta$ 의 실제 구성 요소 및 가상 구성 요소를 복사 구성 요소로 나눔으로써 다음을 구한다:

$$\left\| \frac{\eta \psi^2 (1 - \alpha + \alpha^2)}{\eta \psi} \right\|^2 = \|1 - \alpha + \alpha^2\|^2 = \left\| 1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 r^2} - j \left( \frac{\lambda}{\pi r} + \frac{\lambda}{2\pi r} \right) \right\|^2 = 1 - \frac{\lambda^2}{4\pi^2 r^2} + \frac{\lambda^4}{16\pi^4 r^4}$$

$E \times H$  값인 경우,

$\theta \Rightarrow 90^\circ$ 이고(즉, 안테나 중심 소자의 보어 사이트(bore sight))  $E_r \Rightarrow 0$ 인 경우,  $E_\theta$  및  $H_\phi$ 의 실제 구성 요소 및 가상 구성 요소를 복사 구성 요소로 나눔으로써 다음을 구한다

$$\left\| \frac{\eta \psi^2 (1 - \alpha)(1 - \alpha + \alpha^2)}{\eta \psi} \right\|^2 = \|1 - 2\alpha + 2\alpha^2 - \alpha^3\|^2 = \left\| 1 - \frac{\lambda^2}{2\pi^2 r^2} - j \left( \frac{\lambda}{\pi r} + \frac{\lambda^3}{8\pi^3 r^3} \right) \right\|^2 = \sqrt{1 + \frac{\lambda^6}{64\pi^6 r^6}}$$

보는 바와 같이,  $\eta$  및  $\psi$  항은 위 비율에서 약분되며, 따라서 어떤 시간 항 또는 임피던스 항도 없게 된다.

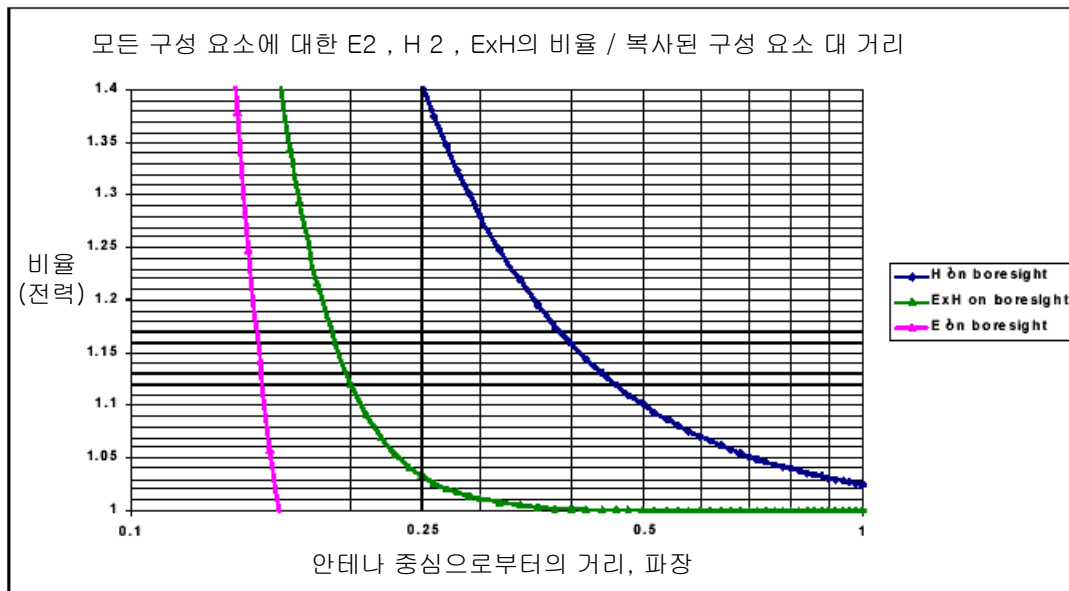


그림 6.3 -  $E^2$ ,  $H^2$ ,  $E \times H$  등의 장 구성 요소의 비율

라. 900 MHz 장 영역 내에서의 계산 예

수직으로 편파되는 100와트에서 길이가 2 m이고 900 MHz인 안테나 예를 그림 5.5에 나타내었다.

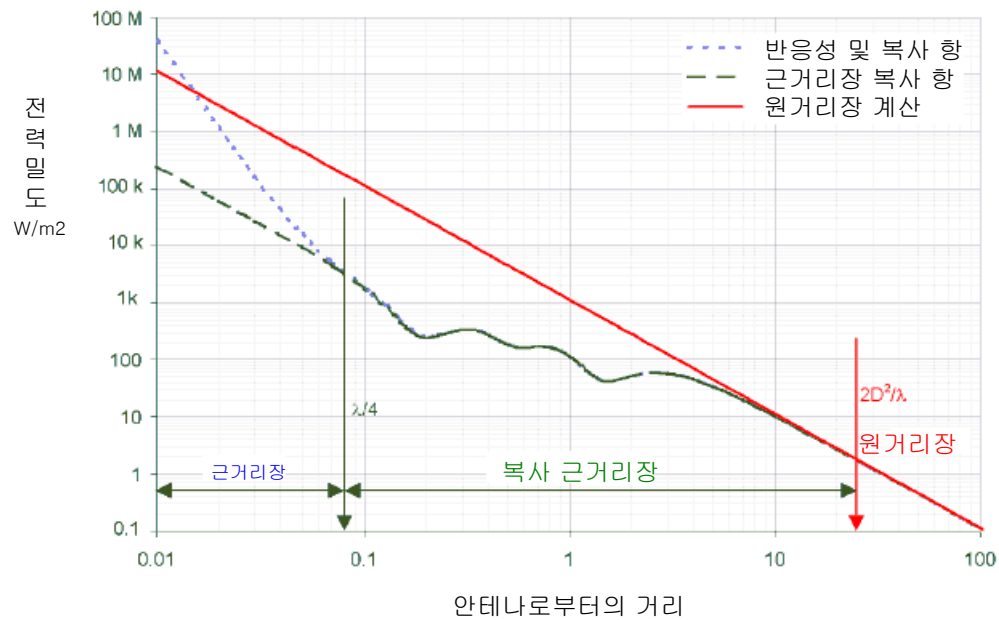


그림 6.4 900MHz 장 영역의 계산 결과 그래프

## 2. SAR 적합성 평가

### 가. 전신 SAR

전신 SAR 측정에 대한 규격을 포함하지 않는다. 전신 SAR 측정은 연구가 더 필요하며, 이 표준의 추후 개정판에서 기술될 것이다.

전신 SAR 측정에서는 어떤 조건 하에서도 전신 SAR의 적합성 제한치에 도달할 수 있는 노출 레벨을 산출하기에는 너무 낮은 최대 출력 전력 레벨을 갖는 송수신기가 필요하지 않다. 본 섹션에서는 전신 SAR 배제 기준을 명시한다.

시험 대상 기기(EUT)에 의해 방사되는 최대 복사 rms 전력이 표 5.1에 명시된 값 미만일 경우, 최대 노출은 어떤 조건 하에서도 전신 평균 SAR 적합성 제한치를 초과하지 않을 것이며 따라서 전신 평균 SAR 측정은 필수적이다.

표 6.1 전신 SAR 배제 전력 레벨의 결정

노출 분류	최대 복사 rms 전력(W)
어린이	최대 전력= $SAR_{Wblimit} * 12.5$
성인	최대 전력= $SAR_{Wblimit} * 42$

전신 SAR 배제 전력 레벨은 다음 가정에 근거하여 도출되었다:

- 1) 안테나로부터 방사되는 모든 전력은 신체에 흡수된다(최악의 경우 가정);
- 2) 4세의 어린이 및 16세의 직업인의 체중은 각각 12.5 kg 및 42 kg으로 간주되었다. 이것은 여아 및 여성의 경우에는 3 번째 백분위수이다(보수적 접근법)( EN 50383 참조)

## 나. 국부 SAR

본 항에서는 안테나에 의해 방사된 무선 주파수 장에 노출된 사람을 모의 실험하는 모의 인체 모형에서의 최대 국부 SAR에 대한 측정 절차를 기술한다. 여기에 기술된 측정 프로토콜은 시험 대상 기기(EUT)가 명시된 거리에서 국부 SAR 제한치를 준수한다는 것을 입증하기 위해 사용될 것이다. 이 측정 프로토콜은 특정 출력 전력 레벨에 대한 적합한 거리를 결정하거나 적합한 거리 요구 사항을 충족시킬 수 있는 최대 출력 전력 레벨을 결정하는 데도 사용될 수 있다.

기지국 안테나에 있어서는 국부 SAR 측정 방법론에 대한 가용 정보가 제한되기 때문에, 이 표준의 현행 판에 기술되어 있는 절차는 다음의 조건에서만 유효하다:

- 1) 모의 인체와 복사 구조물의 외부 표면 간의 이격 거리는 40 cm 이하로 되어야 한다;
- 2) 복사 구조물 표면의 크기는 60 cm × 30 cm 미만이어야 한다.
- 3) 주파수는 30 내지 3,000 MHz 범위이어야 한다.

이러한 조건이 충족될 경우, 공기중에서의 장 세기 또는 전력 밀도에 대한 평가가 수행되어야 한다.

사지에 대해 권고된 SAR 제한치는 두부 및 몸통보다 5배 이상이기 때문에, 사지에서의 SAR 측정은 검토되지 않는다. 본 섹션에서 기술된 모의 인체의 크기는 성인 남자의 몸통에 해당하는 크기로 선정되었다. 모의 인체는 측정 및 모의 인체의 제조를 단순화 하기 위해 상자와 같은 형태로 되어 있다. 상자 형태의 모의 인체에 의한 흡수는 적어도 해부학적 구조 형태의 인체 모형과 같은 정도로 높다.

휴대용 이동 전화의 SAR 측정을 위해 명시된 동일한 조직 모의 액체(tissue-simulating liquids)[는 이 표준을 위해서도 선정되었다. 그 이유는 일반적으로 가장 많이 노출되는 피부 조직 및 근육 조직의 유전체 파라미터가 두부 조직에 대해 명시된 것과 가깝기 때문이다. 이것은 측정 결과가 두부 노출의 경우에도 관련된다는 것과, 이동 또는 고정 시험 대상 기기에 대한

SAR 시험을 위해서는 조직 조성의 세트가 하나만 있으면 된다는 것을 의미하기도 한다.

균일한 모의 인체 모형이 비균질 및 실제 해부학적 인체 모형의 최대값보다 더 낮은 국부 SAR 값을 제공해 준다는 것을 지적한다. 이러한 결과를 입증하고 현실적인 최대 국부 SAR에 대한 더 정확한 추정치를 제공하는 모의 인체 개발이 가능하도록 하기 위해서는 연구가 더 필요하다.

### 3. 전기장 및 자기장의 측정

#### 가. 외부 전자기장의 측정

인체의 노출 평가에 관한 외부장 측정은 목적에 따라 달라진다. 첫 번째의 경우, 외부장 측정은 단순히 노출 가이드라인에 포함된 외부장 세기의 기준 레벨 값과의 적합성을 평가하는 것이 될 수 있다. 일부 가이드라인의 경우에는 불균일 장 분포에서 공간 평균의 계산이 가능하도록 하기 위해 추가적인 정보가 요구될 수도 있다. 기타의 경우, 특정 가이드라인을 뒷받침하는 기본 양을 이용하여 적합성을 평가하기 위한 기타 분석 및 계산 기법에 입력 자료를 제공하기 위해 상세한 장 분포 데이터가 필요할 수도 있다. 이러한 테스트를 수행하는데 사용되는 접근법 및 계기의 공간 분해능은 상당히 다를 수도 있다.

측정하기 전에, 예상되는 장 세기를 추정하고 요구되는 계기의 형식을 결정하여야 한다. 다양한 상황에서 장 세기를 계산하기 위한 추가적인 접근법 및 수식은 부속서 A에 주어져 있다. 사용되는 측정 절차는 가용한 소스 및 전파(propagation) 정보에 따라 다를 수도 있다.

정보가 적절할 경우, 조사자는 예상되는 장 세기의 추정 및 계기의 선택 후에 조사를 진행할 수도 있다. 조사자는 가장 민감한 척도로 설정된 범위 스위치를 갖춘 고전력 프로브를 사용하여야 한다. 지향성 안테나의 주빔(main beam) 등과 같은 고강도 장 영역은 프로브가 연소되는 것을 피할 수 있는 거리에서부터 접근되어야 한다. 그런 다음 조사자는 점차 단계적으로 더 높은 장 세기의 영역에 더 가까이 이동한다. 조사자 및 측정기의 과도 노

출을 피하기 위해서는 극도의 주의를 기울여야 한다.

한편, 정보가 잘 정의되어 있지 않은 경우에는(예를 들면 강하고 간헐적인 간섭에 대한 보고서) 우선 경험적인 유해성 평가를 실시하지 않고 유해성 조사를 하는 것은 어렵다. 영역 내에서 알려지지 않은 주파수, 변조, 분포 등 잠재적으로 유해한 장에 대한 조사는 몇 가지 계기의 사용을 필요로 할 수도 있다.

측정을 수행할 때에는, 전체 측정 불확정도가 예측되고 평가될 수 있어야 한다. 계기의 명세서 및 특정 상황 파라미터 등을 포함한 불확정도에 대한 가능한 모든 소스가 검토되어야 한다.

#### 나. 전기장 세기

전자기장의 전기 구성 요소는 쌍원뿔 안테나, 대수 주기 안테나 등과 같은 적절한 안테나를 이용하여 쉽게 측정될 수 있다. 그러나, 노출 평가의 경우 장을 최소한으로 섭동하고, 양호한 공간 분해능을 보증하기 위해 센서로서 소형 요소 다이폴 안테나가 일반적으로 사용된다. 등방성 프로브가 3 개의 직교 다이폴을 포함하는 반면, 지향성 프로브는 하나의 다이폴만 포함한다.

단일 다이폴이 사용되는 경우, 장의 상이한 구성 요소를 얻기 위해 3 가지 직교 방향에서 3가지 측정이 수행되어야 한다. 총 전기장은 다음 공식에 의해 주어질 것이다:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

#### 다. 자기장 세기

루프에 유도되는 전류는 루프 전체에 걸쳐 자기장 세기에 비례하기 때문에, 전자기장의 자기 구성 요소는 일반적으로 루프 센서를 이용하여 측정된다. 여기에서도, 노출 평가의 경우 가능한 한 적게 장을 섭동하고 양호한 공간 분해능을 보증하기 위해 센서로서 소형 루프가 일반적으로 사용된다. 지향성 프로브가 널리 사용되지만, 3 개 직교 루프를 갖춘 등방성 프로브도 많이 사용된다.

단일 루프가 사용되는 경우, 상이한 장 구성 요소를 얻기 위해 3 개 직교 면에서 3 가지 측정이 수행되어야 한다. 총 자기장은 다음 공식에 의해 주어질 것이다:

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

#### 라. 광대역 측정

몇 가지 주파수(와 다양한 변조)가 관찰되는 주파수 범위에 존재할 경우, 그리고 도출된 레벨이 이러한 각 주파수에 대해 동일한 경우에는 첨두치 또는 RMS 값(신호 형태에 상관없이)은 적절한 광대역 측정 기기를 이용하여 직접 측정될 수 있다. 그러나, 모든 관련 주파수를 기록하기 위해서는 계기의 대역폭이 충분히 넓도록 보증되어야 한다. 더욱이, 선택된 관찰 기간은 보충된 주파수 구성 요소의 적분 결과로서 생성되는 최대 첨두/ RMS 값을 기록할 수 있을 정도로 충분히 길어야 한다.

현실적인 이유 때문에, 대부분의 상용 측정 계기는 광대역 시스템인 바, 이러한 경우에는 정확한 결과를 보증하기 위해 위에서 언급된 예방 조치가 취해져야 한다.

#### 마. 협대역 측정

몇 가지 주파수(와 다양한 변조)가 관찰되는 주파수 범위에 존재하는 경우, 그리고 도출된 레벨이 동일한 경우에는 각 주파수에서의 첨두치 및/또는 RMS 값은 주파수 선택적 측정 기기를 이용하여 직접 측정될 수 있다. 이러한 경우, 총 RMS 값을 결정하기 위해서는 개별 주파수에 대한 RMS 값이 기하학적으로 더해져야 하는 반면, 총 첨두치를 결정하기 위해서는 개별(각각에 대해 독립적인) 주파수가 선형적으로 부가되어야 한다는 점을 유의하여야 한다.

주 - 제한치가 rms 단위로 표현되고 재현성에 문제가 있기 때문에 첨두치의 측정은 권고되지 않는다.

도출된 레벨이 평가되는 모든 주파수 구성 요소에 대해 동일하지 않은 경우, 계기에 의해 다루어지는 주파수 범위 내에서 도출된 값에서의 변경이 미

치는 영향이 무시해도 좋은 정도라는 것을 보증하기 위해서는 충분히 좁은 대역폭이 선택되어야 한다.

측정이 시간 영역에서 수행되고(순간 기록계) 주파수 스펙트럼이 푸리에 변환(Fourier transformation)에 의해 계산되는 경우, 제한값의 평가를 용이하게 하도록 하기 위해서는 적절한 주파수 분해능이 보증되어야 한다(주파수가 서로에 대해 독립적인 경우 이것은 적용 가능하지 않다).



## 제 4 절 다중 주파수를 소스로 가진 제품의 평가

소스가 독립적인(위상 비동기 소스) 경우, 이러한 노출이 부가적인 영향을 미칠 수 있는 가능성이 검토되어야 한다. 저주파 범위에서 불안정 신호로부터 발생하는 영향을 감안하기 위해서는, 측정 시간이 충분히 길어야 한다. 이러한 가법성에 근거한 계산은 각 영향에 대해 개별적으로 수행되어야 한다: 따라서 신체에 관한 열 및 전기 모의 실험의 효과에 대한 개별적인 평가가 이루어져야 한다. 소스가 독립적이지 않거나(위상 가간섭성 소스) 주파수가 한 소스만으로 구성된 있는 고조파인 경우의 모의 실험에서는, 위상 정보가 관련된다. 1 Hz 내지 10 MHz 및 100 kHz 내지 300 GHz의 상이한 주파수 장에 대해 동시에 발생하는 노출에 대한 두 가지 분리된 합계 레짐(summation regime)이 있다. 100 kHz 미만의 주파수를 갖는 장에 대한 노출은 10 MHz 를 초과하는 주파수를 갖는 장에 대한 노출에 가산되어서는 안 된다.

### 1. 1 Hz - 10 MHz의 주파수 범위

#### 가. 주파수 영역 평가

주파수 영역에서의 조사를 위해서는 상대 위상을 포함하는 것이 가장 현실적이다. 사후 비교(*post hoc*) 푸리에 분석을 이용한 파형 포착 접근법(waveform capture approach)을 이용하여 수행될 수 있다. 이 절차는 기본 주파수 및 일부 고조파를 갖는 자기장과 같이 신호에 선 스펙트럼(line spectra)만이 있는 경우에 적용될 수 있다.

이 주파수 범위에서, 기초가 되는 기본 한계는 유도 전류 밀도 또는 직접 관찰 전기장(*in situ electric field*)이다. 기본 한계 기반 합계는 위상의 검토를 포함하거나 포함하지 않을 수도 있다. 가장 보수적인 것은 위상을 전혀 무시하는 것이다.

따라서, 최악의 가정으로서 상이한 주파수 또는 측정된 장 값에서의 다중 전류 밀도/직접 관찰 전기장은 다음 공식에 따라 평가되어야 한다.

$$\sum_{i=1Hz}^{10MHz} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1$$

여기서  $J_i$ 는  $i$ 에서의 전류 밀도; 주파수,  $J_{L,i}$ 는  $i$ 에서의 전류 밀도 기본 한계이다. 주파수 전기장 세기 및 자기장 세기가 측정될 때, 노출은 다음 공식에 따라 합산되어야 한다.

$$\sum_{i=1Hz}^{150KHz} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>150KHz}^{10MHz} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

그리고

$$\sum_{j=1Hz}^{150KHz} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>150KHz}^{10MHz} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

여기서

$E_i$ 는 주파수  $i$ 에서의 전기장 세기;

$E_{L,i}$ 는 주파수  $i$ 에서의 전기장 세기 기준 레벨;

$H_j$ 는 주파수  $j$ 에서의 자기장 세기;

$H_{L,j}$ 는 주파수  $j$ 에서의 자기장 세기 기준 레벨

$a$ 는 87 V/m;

$b$ 는 5 A/m (6,25  $\mu$ T) 이다.

접촉 전류의 경우, 다음의 요구 사항이 적용되어야 한다.

$$\sum_{n=1Hz}^{110MHz} \frac{I_n}{I_{C,n}} \leq 1$$

여기서

$I_n$ 은 주파수  $n$ 에서의 접촉 전류 구성 요소;

$I_{C,n}$ 은 주파수  $n$ 에서의 접촉 전류에 대한 기준 레벨이다.

위에 제시된 모든 값 및 공식은 국제 비전리성 복사 방호 위원회(ICNIRP)에 근거한 것이다.

미국 전기 전자 학회(IEEE) 노출치와 관련하여 사용될 수 있는 더 일반적인 표현식은 다음과 같다:

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{ME_i} \leq 1$$

여기서,  $N_i$ 는  $ME$ 와 동일한 양을 갖고 있는 노출 파형의  $i$  번째 푸리에 구성 요소의 크기이다.

$ME_i$ 는 주파수  $f_i$ 에서 단일 정현파 파형을 갖고 있는 최대 허용 노출치이다. 이것은 전류 밀도, 직접 관찰 전기장, 자속 밀도 또는 전기장 세기 등으로 주어질 수 있다.

$k$ 는 검토되는 최대 주파수이다.

순수 합계는 항상 노출을 과대 예측하도록 하며, 더 높은 주파수의 고조파 구성 요소 또는 잡음으로 구성되는 광대역 장의 경우에는 진폭이 동일한 위상에 있지 않기 때문에 모의 실험 공식에 근거한 제한치가 매우 보수적이다. 대부분의 측정 기기를 이용한 상대 위상이 측정되지는 않지만(예를 들면, 스펙트럼 분석기가 사용되지 않는 경우), 주파수 구성 요소의 rms 합계는 보증될 수 있다.

이것은 일반적으로 위상을 완전히 무시하는 것보다 더 현실적인 결과를 얻도록 할 것이다. rms 평가에 대한 예는 다음과 같다.

$$H = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=k} \left( \frac{H_n}{H_{L,n}} \right)^2} \quad \text{및} \quad E = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=k} \left( \frac{E_n}{E_{L,n}} \right)^2}$$

여기서

$H_n, E_n$ 은 노출 파형의  $n$  번째 푸리에 구성 요소이다.

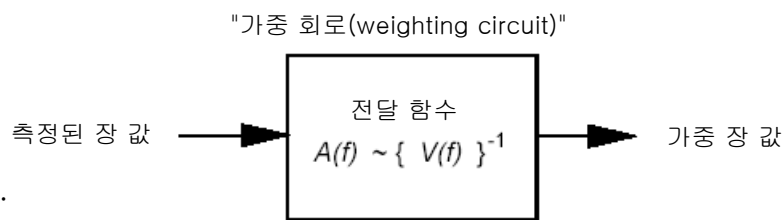
$H_{L,n}, E_{L,n}$ 은 주파수  $f_n$ 에서의 단일 정현파 파형을 갖는 최대 허용 노출치이다.

$k$ 는 검토되는 최대 주파수이다.

#### 나. 시간 영역 평가

일반적으로 모든 종류의 신호(광대역, 비정현파 등)에 있어서 가중 회로 (weighting circuit)를 통합한 물리적 측정 시스템이 적용 가능하다. 광대역 소스에 대한 대표적인 예로는 전기 모터 및 파워 스테플러(power stapler) 등을 들 수 있다.

주어진 노출 레벨과의 비교를 위해서는, 가중 회로는 스펙트럼 구성 요소의 가중 및 합계가 시간 영역에서 발생하도록 하기 위하여 주파수 응답이 노출 표준(함수  $V$ )의 주파수 응답과 정합하는 주파수 응답(전달 함수  $A$ )을 가져야 하는 바, 됴으로써 한다



주 - 가중 장 값(weighted field value)의 제한에 관한 더 상세한 가이드는 국제 비전리성 복사 방호 위원회(ICNIRP)의 ICNIRP 가이드라인을 이용한 100 kHz 미만 펄스 및 복소 비정현파 파형에 대한 노출의 적합성 결정에 관한 가이드선(Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines) (Health Physics, vol 84, No 3, pp. 383-387, 2003) 보고서에서 찾아 볼 수 있다. 이 접근법은 광대역 장(broadband field)의 가중 침투치에 대한 제한을 근거로 한다. 가중 함수는 주파수 함수로서의 기준 레벨로부터 도출되었다. 고조파 구성 요소의 상호 위상이 매우 현저하게 바뀌지 않는 경우, 가중 침투치 제한은 주기적 비정현파 파형에 적용될 수 있다.

그림 2는  $V(f_{c0}) = V_0$ ,  $V(f_{c1}) = V_1$  및 기울기  $\left(\frac{dV}{df}\right)_n$ 를 갖는 제한치의 주파수  $V$ 에 대한 종속으로부터 도출된 전달 함수  $A$ 의 예를 보여준다. 전달 함수  $A$ 는 기준 레벨  $V$ 의 역으로 정규화 된(normalized)  $V_0$ 에 관한 것이다. 정규화는 주파수  $f_{c0}$ 에서 이루어져야 한다.

전달 함수  $A$ 는 이중 로그 눈금으로 나타낸 그림 3에 표시된 특성을 가져야 하며, 1차 필터(first order filter)를 이용하여 나타내어져야(realize) 한다:

$$A(f) = \frac{V(f_{c0})}{V(f)}$$

전달 함수의 경우, 다음 수식에 적절하여야 한다:

$$A(f_{c0}) = A_0 = \frac{V(f_{c0})}{V_0} = 1, \quad A(f_{c1}) = A_1 = \frac{V(f_{c0})}{V_1} = 1,$$

그리고 기울기의 경우에는  $\left(\frac{dA}{df}\right)_n = \left[\left(\frac{dV}{df}\right)_n\right]^{-1}$  에 적절하여야 한다.

자속 밀도 측정 예(다른 양의 경우 유사한 절차가 적용 가능하다):

ICNIRP에 기반을 둔 기준 레벨 BRL(f)은 다음과 같이 전달 함수를 계산하는데 사용될 수 있다:

$$V(f) := BRL(f)$$

$$(f_1=10 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=800 \text{ Hz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{5000/f \mu T s} = \frac{f}{50\text{Hz}}$$

$$(f_{C1}=800 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_2=150 \text{ Hz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{6.25 \mu T} = 16$$

$$(f_2=150 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_n=3=400 \text{ kHz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{920000/f \mu T s} = \frac{f}{9.2\text{kHz}}$$

IEEE 기준 레벨 BRL(f)는 다음과 같이 전달 함수를 계산하는데 사용될 수 있다:

$$(f_1=10 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=20 \text{ Hz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=60\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904\text{mT}}{18.1/f \text{mT s}} = \frac{f}{20\text{Hz}}$$

$$(f_{C1}=20 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_2=759 \text{ Hz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=60\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904\text{mT}}{0.904\text{mT}} = 1$$

$$(f_2=759 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_3=3.35 \text{ kHz}) : \quad A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=60\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904\text{mT}}{687/f \text{mT s}} = \frac{f}{759\text{Hz}}$$

$$(f_3=3.35 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_4=100 \text{ kHz}) : A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=60\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904mT}{0.205mTs} = 4.41$$

$$(f_4=100 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_n=5=400 \text{ kHz}) : A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=60\text{Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904mT}{20.5/f Ts} = \frac{f}{22.68kHz}$$

주 = 위에서 사용된 모든 주파수  $f$  의 단위는 Hz 이다.

자속 밀도  $B$  의 실제 측정값은 주파수  $f_{C0}(A_0=1)$ 에서의 최대 허용 노출치  $B_{RL}(f)$  과 비교되어야 한다:

$$\frac{B}{B_{RL}} \leq 1$$

여기서

$B$  는 정규화 된 노출 파형 측정값의 크기이다.

$B_{RL}$  은  $B$  와 동일한 양을 가진 주파수  $f_{C0}$  에서의 최대 허용 노출치이다.  $B$  가 rms 값일 경우  $B_{RL}$  는 rms 여야 하며, 그렇지 않은 경우 첨두치여 한다.

주 - 짧은 지속 시간인 장(<1초)에 대한 측정의 경우, 첨두치 유지 기능을 갖춘 기기가 권고된다. 스위치가 꺼져야 할 경우, 자동 범위 선택이 권고된다.

## 2. 100 kHz - 300 GHz의 주파수 범위

이 주파수 범위에서, 노출 표준은 열 효과의 회피에 근거한다.

기본 한계는 SAR 및 전력 밀도에 관한 것이며, 이러한 양의 합계는 다음 공식을 따라야 한다.

$$\sum_{i=100kHz}^{10GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10GHz}^{300GHz} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

여기서,  $SAR_i$  는 주파수  $i$  에서의 노출에 의해 유발된 SAR,  $SAR_L$  은 SAR의 기본 한계,

$S_i$  는 주파수  $i$  에서의 전력 밀도,  $SL$ 은 전력 밀도 기본 한계이다.

$SAR$  는 전신 또는 국부에 대한 것이 될 수 있다. 국부  $SAR$  는 함께 합계되어야 하며, 전신  $SAR$  도 함께 합산되어야 한다. 국부값는 전신값과 합산되어야 한다.

노출장 세기는  $rss$ 를 기준으로 기준 레벨과 비교될 수 있다:

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left( \frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left( \frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

그리고

$$\sum_{i=100kHz}^{150kHz} \left( \frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>150kHz}^{300GHz} \left( \frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

여기서,  $E_i$  는 주파수  $i$  에서의 전기장 세기

$E_{L,i}$  는 전기장의 기준 레벨

$H_i$  는 주파수  $i$  에서의 자기장 세기

$H_{L,i}$  는 자기장의 기준 레벨

$c$  는  $87/f_{\frac{1}{2}}$  V/m (kHz 단위의 주파수)

$d$  는  $0.73/f$  A/m (kHz 단위의 주파수)이다.

사지 전류에 대한 합계 공식은 다음과 같다:

$$\sum_{k=10MHz}^{110MHz} \left( \frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1$$

여기서

$I_k$  는 주파수  $k$  에서의 사지 전류 구성 요소,

$I_{L,k}$  는 사지 전류 45 mA 에 대한 기준 레벨이다.

모든 값 및 공식은 ICNIRP에 근거하고 있다.

IEEE 노출값과 관련하여 사용될 수 있는 더 일반적인 수식은 아래와 같다:

$$\sum_{i=100kHz}^k \frac{N_i}{ME_i} \leq 1$$

여기서,  $N_i$  는  $ME$  와 동일한 양을 가진 노출 파형에 대한  $i$  번째 푸리에 구성 요소의 크기이다.

$ME_i$  는 주파수  $f_i$ 에서 단일 정현파 파형을 갖는 최대 허용 노출치이다. 이것은 전류 밀도, 직접 관찰 전기장, 자속 밀도, 또는 전기장 세기 등으로 주어질 수 있다.

$K$  는 검토되는 최대 주파수이다.

주 -  $k$  에 대한 최대값은 2002년 12월 6일자, IEEE C95.1-1991 Revision  
- Draft SCD-1.1에 기반을 둔 5 MHz 이다.

이러한 열 합계 레짐(thermal summation regime) 하에서는, 스펙트럼 구성 요소의 상대 위상이 무시될 수 있다.



## 제 5 절 평가보고서

### 1. 개요

수행된 각각의 평가, 시험, 계산, 또는 측정 결과는 정확하고 명백하며 모호하지 않고 객관적이며 요구되는 방법에서의 특정 지시사항에 따라 보고되어야 한다.

결과는 일반적으로 평가 보고서에 기록되어야 하며, 평가, 시험 또는 교정 결과, 사용되는 방법에서 필요한 모든 정보 등의 해석을 위해 필요한 모든 정보를 포함하여야 한다.

재현 가능한 평가, 시험, 교정, 또는 측정 등의 수행을 위해 필요한 모든 정보가 기록되어야 한다.

### 2. 평가 보고서에 기록되는 항목

평가보고서에는 평가방법, 결과의 표현 및 외부 안테나를 사용하는 기기 등에 대한 내용이 포함되어야 한다.

**평가 방법** : 선정된 평가 방법은 선정 이유(제 5 항 참조)를 포함하여 기록되어야 한다.

**결과의 표현** : 해당될 경우 장치/일련 번호의 기술, 해당될 경우 시험 조건(온도 등), 동작 조건, 평가 방법에 대한 타당성 검증 결과, 수행된 각 평가 결과

**외부 안테나를 사용하는 기기** : 외부 안테나의 기술 명세서는 기본 한계가 충족되는 경계를 문서화 된 복사 패턴 등에 의해 식별할 수 있을 정도로 상세하게 문서화 되어야 한다. 송수신기의 특성도 문서화 되어야 한다 (출력 전력, 주파수, 변조 등).

## 제 7 장 기술문서 심의

### 제 1 절 106/49/CD 기술문서 심의

#### 1. 106/49/CD의 개요

106/49/CD의 제목은 “300 MHz ~ 3 GHz 주파수범위의 휴대폰에 대한 SAR측정 절차”이고 이 문서는 제품 및 제품군 표준(product and product family standards)에 대한 내용이며 0Hz ~ 300 GHz 주파수범위에서 이동 전화, 코드리스 전화 등을 포함하여 인체의 두부에 근접한 위치에서 작동하는 기기와 같이 의도적으로 전자기장(EMF)을 방사하는 모든 송신 장치에 적용된다. 본 표준의 목적은 이러한 기기가 SAR 제한치를 만족하고 있다는 것을 증명하기 위한 방법에 관하여 설명하고 있다.

#### 2. 심의결과

106/49/CD 기술문서는 106/24/CD 기술문서의 2차 의견을 받기 위한 위원회(안)이고 IEEE Std 1528-200X Draft 6.5 - 2002년 9월의 내용과 매우 유사하고 추가적으로 부록 C의 후처리 기술 및 불확정도 평가 부분은 외삽 및 내삽 기법, 평균화 기법과 최대값 찾기, 주사 및 데이터 평가 구현을 위한 예의 내용이다.

이 기술문서의 심의를 위하여 EMF인체노출위원회 회의를 개최하였으며 그 결과 일반적인 사항 1건, 편집상의 내용 4건, 기술적인 내용 5건으로 총 10건에 대한 기고문을 최종 작성하였으며 그 내용은 아래와 같다.

##### 가. Whole Document

Comment : Change notations for decimal points

Proposed Change : Change , to . for all decimal point representations, because it is more general in most of the countries

##### 나. 5.2.4 Table 1

Comment :

The target values of dielectric constant and conductivity for 2100 MHz is missing, which is given in the Table I.1 in the section I.2.

Proposed Change :

Put the target values 39.8 and 1.49 for 2100 MHz in the Table 1

#### 다. 5.3

Comment :

It seems that more deliberations are necessary for the expressions of the second paragraph in section 5.3. For example, it would be clearer to put linearity in the 3rd sentence of that paragraph, because the linearity must also be determined in the tissue equivalent liquid.

Proposed Change :

Appropriate changes for more clarification

#### 라. 5.4.2.1

Comment : It is mentioned that the accuracy of the probe tip positioning error must be better than  $\pm 0.2$  mm. In most of commercial systems,  $\pm 0.1$  mm is possible. Is there any special reason for that?

#### 마. 7.2.1.8

Comment :

The definitions of tframe and slotidle must be added

Proposed Change :

Here  $t_{\text{frame}}$  is a frame duration, and  $\text{slot}_{\text{idle}}$  is the number of idle slots in a frame with  $\text{slot}_{\text{total}}$  being the total number of slots

바. 7.2.2.4.1.1

Comment :

Need more clarification

Proposed Change :

1)assessment of the  $\cdot$  needs to be modified as With device holder :  
Assessment of the  $\cdot$

assessment of the  $\cdot$  needs to be modified as Without device holder :  
Assessment of the  $\cdot$

사. 7.2.2.4.1.1

Comment :

Typographic error

Proposed Change :

Change  $\text{SAR}_{\text{wholder}}$  to  $\text{SAR}_{\text{w/holder}}$

아. 7.2.4.2.2

Comment :

Equation numbers (1) ~ (5) are referred, but such equation numbers are not found in the preceding sentences

Proposed Change :

Put equation numbers or change the sentences appropriately

자. 부록 I.2의 Table1

Comment :

Typographic error

Proposed Change :

In the sentence, Target values (from Table 5.1), Table 5.1 must be changed to Table 1

차. 부록 J.5의 Table I.1

Comment :

Data for 1950 MHz and 2100 MHz are missing while the suggested recipes and the target values are given for those frequencies in the Table I.1 in the section I.2.

Proposed Change :

Put the relevant data for 1950 MHz and 2100 MHz if available

## 제 2 절 106/52/CDV 및 106/53/CDV 기술문서 투표

### 1. 106/52/CDV 및 106/53/CDV의 개요

106/52/CDV의 제목은 “저주파수 및 중간 주파수 범위의 전자기장에 의한 인체에서의 유도전류 계산 방법. Part 1 : 범위, 참고문서의 용어와 정의”이고 106/53/CDV의 제목은 “저주파수 및 중간 주파수 범위의 전자기장에 의한 인체에서의 유도전류 계산 방법. Part 2: 자기장에 대한 노출 - Section 1: 2D 모델”이다. 이 문서는 기본적인 표준(basic standards)으로 저주파수 및 중간 주파수 범위의 전자기장에 의한 인체 유도전류를 계산하는 방법에 관하여 설명하고 있다.

### 2. 심의결과

106/52/CDV 및 106/53/CDV 기술문서는 106/26/CD 및 106/27/CD 기술문서의 투표를 하기 위한 위원회(안)이다.

이 기술문서의 심의를 위하여 EMF인체노출위원회 회의를 개최하였으며 그 결과 각각의 문서의 투표에 찬성하였다.

기술문서 106/52/CDV의 투표요지 및 검토의견은 아래와 같다.

- 투표요지 : 위 규격은 106/26/CD에서 106/37/CC의 의견을 반영한 내용으로 기술위원회에서 투표를 위한 위원회안 과정인 CDV(Committee Draft for Vote)단계에 있으며, 내용의 정확성과 적절성을 묻는 투표임.
- 검토의견 : 위 규격안은 저주파 및 중간 주파수 범위의 전자기장에 의한 인체에서의 유도 전류 계산 방법에 대한 연구범위, 용어, 정의 및 참고문헌에 대한 언급이 적절히 제시하였다고 보며 이의사항 없이 찬성함.

기술문서 106/53/CDV의 투표요지 및 검토의견은 아래와 같다.

○ 투표요지 : 위 규격은 106/27/CD에서 106/42/CC의 의견을 반영한 내용으로 기술위원회에서 투표를 위한 위원회안 과정인 CDV(Committee Draft for Vote)단계에 있으며, 내용의 정확성과 적절성을 묻는 투표임.

○ 검토의견 : 위 규격안은 자기장에 대한 인체 노출량에 대한 기준은 일반적으로 유도 전류 밀도 또는 내부 전기장으로 표시되나 직접 측정될 수 없어, 외부 자기장으로부터 이러한 양을 평가하는 방법에 관하여 제시하고 있음.

위의 안은 유도 전류, 내부 및 외부 전자기장 사이의 관계를 정량화하기 위해 해석적 모델을 이용하는 방법을 적절히 제시하였다고 보며 이의사항 없이 찬성함.

### 제 3 절 106/55/CD 기술문서 심의

#### 1. 106/55/CD의 개요

106/55/CD의 제목은 “인체노출과 관련된, 전자기장(0 Hz - 300 GHz)의 기본 한계를 이용하여 전기 전자제품의 적합성을 입증하기 위한 일반 제품 표준”이며 이 문서는 일반적인 표준(Generic standards)으로 0Hz - 300 GHz 주파수범위에서 전기 전자제품의 적합성 평가를 위한 일반적인 내용에 관하여 설명하고 있다.

#### 2. 심의결과

106/55/CD 기술문서는 106/20/NP 기술문서의 의견을 받기 위한 위원회 (안)이고 전기장, 자기장, 전자기장, 유도 전류, 접촉 전류 등과 관련된 일반적으로 생활환경에 전자파 노출에 관한 기본 한계 또는 기준 레벨을 이용하여 전기 전자제품의 적합성을 입증하는 것이 목적이다.

이 기술문서의 심의를 위하여 EMF인체노출위원회 회의를 개최하였으며 그 결과 편집상의 내용 12건, 기술적인 내용 4건으로 총 16건에 대한 기고문을 최종 작성하였으며 그 내용은 아래와 같다.

##### 가. editorial:

Through the whole document, proper and consistent vector notations should be used.

##### 나. technical: pp. 9, Clause 6 (Evaluation of compliance to limits)

Need to modify the denominator in the equation (1), in order to cover a more general case, that is an arbitrary value of the specified uncertainty,  $p(\%)$ , other than 30 %. In this case the following changes are necessary

- (1) Change 0.7 to  $(1 \pm p/100)$  in the denominator in the equation (1)
- (2) Remove the NOTE above the equation (1)



- (3) The sentence in the second paragraph in the clause 6, “... the specified uncertainty value (%)... “ must be changed to “... the specified uncertainty value p (%)... “.

**다. editorial: pp. 12. the last paragraph**

It is unclear that what (Clause 7) means.

**라. editorial: pp. 13. the first paragraph**

It is unclear that what (Clause 3) means.

**마. editorial: pp. 13, the fourth paragraph**

The whole sentence, “This process is summarized in the flowchart below” , seems to be removed.

**바. editorial: pp. 13, the first line of the fifth paragraph**

The sentence, “... in stages 3) and 5)...” , needs to be corrected as “... in stages 3) and 4)...” .

**사. technical: pp. 13 – 14, Clause 8.2 (Frequency range from 1 Hz ? 10 MHz)**

The title of the sub-clause 8.2 says that this clause deals with the method of a compliance test in the frequency range of 1 Hz ? 10 MHz. For contact currents on page 14, the relevant frequency range is from 1 Hz to 110 MHz. So, we might need a separate sub-clause for contact currents, or some other modification.

**아. editorial: pp. 14, the first equation**

In the denominator, “L” must be a subscript.

**자. editorial: pp. 15, the explanation of the notations in the first equation**

“K” must be “k”

차. editorial: pp. 16, the first line

“... dependency on frequency  $V$ ...” must be “... dependency on frequency  $f$ ...” .

카. editorial: pp. 16, the first line of the second paragraph

The sentence must be rewritten.

타. technical: pp. 17, the explanation of the notations in the first equation

The explanation for “B” is very confusing. For someone, it might read as the value normalized after measurement. The real meaning of “B” is the actual measured value with proper normalization. Thus, it seems to be better to modify that sentence to “is the measured value of the exposure waveform with the proper normalization” .

파. editorial: pp. 17, the explanation of the notations in the second equation

In the explanation for Si, “.. at frequency  $I$ ” must be “.. at frequency  $i$ ” .

하. editorial: pp. 18, the explanation of the notations in the first and the second equations

“c” at the end of the line for “H L,i” must be moved to the beginning of the following. In the sentence, “... (f in);” explaining “c” , the unit of  $f$  is missing. It seems to be kHz.

가. editorial: pp. 18, the explanation of the notations in the last equation

“Ni” and “NEi” must be “ $N_i$ ” and “ $NE_i$ ” . “K” must be

corrected as “k” .

ۛ. technical: pp. 45, the sentences below the first equation, and pp. 49

On pp. 8 in the document IEC 106/53/CDV, the recommended value for the conductivity of the homogeneous human body is 0.2 S/m. In this document, however, 0.1 S/m is also allowed, on the basis that the conductivity of homogeneous human hand model is 0.1 S/m and that the field maximum point is located on the surface of the body. If this is the case, the calculated values of the coupling factor  $k$  would be lowered, which results in the lower value of the induced current estimated from the measured magnetic flux density.

The usual concept of a compliance test is that it must cover the worst case. In order for this document being more strict and for being consistent with the document IEC 106/53/CDV, it seems to be more proper to use 0.2 S/m for the conductivity of the homogeneous human body.

## 제 4 절 106/58/CD 기술문서 심의

### 1. 106/58/CD의 개요

106/58/CD의 제목은 “인체노출 관련, 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 측정방법”이고 이 문서는 제품 및 제품군 표준(product and product family standards)에 대한 내용이며 300 GHz 이하의 전자기장에서 가정용 기구 및 이와 유사한 전기기구 주변의 전기장세기(electric field strength)와 자속밀도(magnetic flux density)를 측정하기 위한 거리, 위치 등의 시험 조건에 대하여 설명한다

### 2. 심의결과

106/58/CD 기술문서는 106/34/CD 기술문서의 의견을 받기 위한 위원회(안)이고 이 문서는 전자기장세기 및 자속밀도 측정을 10 Hz 내지 400 kHz에서 실시되어야 한다. 400 kHz를 초과하는 주파수 및 10 Hz 미만의 주파수 범위에서, 본 표준의 적용 범위에 속하는 제품은 국제 전기 기술 위원회 60335 시리즈(IEC 60335 series)에 달리 명시되지 않으면 적용되지 않는다.

이 기술문서의 심의를 위하여 EMF인체노출위원회 회의를 개최하였으며 그 결과 편집상의 내용 2건, 기술적인 내용 3건으로 총 5건에 대한 기고문을 최종 작성하였으며 그 내용은 아래와 같다.

#### 가. pp. 5, Scope, 1st line (Technical)

The reason why the frequency of this document has to be up to 300 GHz cannot be found, even though the example of exposure limits given in Appendix B covers the frequency range up to 300 GHz.

→ Change this to from 10 Hz to 400 kHz, because the measurement methods in this document cover only this frequency range, and leave out the last sentence in the same page.

**나. pp. 12 ~13, 5.5.4 Test method based on harmonic data (Technical)**

The methods described in the section 5.5.4.1 and the section 5.5.4.2 are essentially the same.

→ Remove the contents from 5.5.4.1 to the sentence just before 5.5.4.2.1, and keep the contents in 5.5.4.2.1 and 5.5.4.2.2. by changing the section numbers and the titles as: 5.5.4.1 First procedure, 5.5.4.2 Second procedure.

**다. pp. 13, 5.6 Measurement uncertainty (Technical)**

According to the first sentence, the maximum overall measurement uncertainty shall not exceed 25 % of the limit, but in the last item regarding test report described in 5.7, the measurement uncertainty is supposed to be included in a test report if it exceeds 75 % of the limit. This does not seem to be consistent.

→ One of the sentences must be modified properly.

**라. 99. 19, Table A.1 (Editorial-spelling)**

Change “continously “ to “Continuously”

**마. pp. 36, Secretary note below Table D.3 (Editorial)**

This expression is not appropriate for the final document. -> Remove the whole sentence, or change “Secretary note” to “NOTE”

## 제 8 장 결 론

본 연구에서는 IEC/TC106에서 전자기장 인체 노출량 평가를 위한 측정방법 및 계산방법에 대한 국제표준화 작업과 관련한 연구동향, 기술문서의 추진현황을 언급하였으며, 기술문서에 대한 우리나라의 의견서 제출 및 투표를 하기 위하여 기술문서의 심의 등의 활동을 수행하였다.

제 2 장에는 IEC/TC106의 전략적인 정책, 즉 설립 배경과 기술위원회의 환경, 업무계획 등과 WG별 Project의 추진계획 등에 대한 동향을 살펴보았고 국제 표준화 활동으로 TC106 전체회의, WG3 회의 및 BEMS 회의 참가한 내용을 수록하였다. 이 내용은 IEC TC106에서 추진되고 있는 국제 표준화의 동향을 한눈에 파악할 수 있다.

제 3 장에는 106/53/CD 기술문서 “저주파수 및 중간 주파수 범위의 전자기장에 의한 인체에서의 유도전류 계산 방법”에 대한 내용을 수록하였으며, 저주파수 및 중간주파수 범위에서 유도전류를 계산하기 위한 연구에 도움이 될 것이다.

제 4 장의 106/58/CD 기술문서 “인체노출 관련, 가전기기에서 발생하는 저주파수 자기장 및 전기장의 측정방법”은 가전제품에 대한 전자파 강도를 측정함에 있어서 측정위치 등에 대한 내용으로 향후 가전제품의 인체보호기준 적용에 대한 측정방법 마련에 큰 도움이 될 것이다.

제 5 장의 106/49/CD 기술문서 “300 MHz에서 3 GHz 주파수 범위의 휴대용 이동 전화에 대하여 전자파 흡수율(SAR) 결정 절차”에 대한 내용은 전자파흡수율 측정방법에 대한 내용이 전반적으로 수록되어 있으므로 국내의 제조업체에 기술적으로 많은 도움이 될 것이다.

제 6 장의 106/55/CD 기술문서 “인체노출과 관련된, 전자기장(0 Hz - 300 GHz)의 기본 한계를 이용하여 전기 전자제품의 적합성을 인증하기 위한 일반 제품 표준”에 대한 내용은 전기 전자제품에 대한 형식등록에 대한 기준 마련에 큰 도움이 될 것이다.

제 7 장에는 기술문서 심의를 통해 IEC에 제출한 의견서 및 투표결과에 대한 내용을 추가하였고 그 내용은 106/49/CD에 대한 10건의 의견서, 106/52/CD 및 106/53/CD에 투표, 106/55/CD에 대한 15건의 의견서, 106/58/CD에 대한 5건의 의견서 등이다.

이러한 전자파의 인체 노출에 대한 노출량 평가방법과 관련된 국제동향 파악 및 지속적인 연구를 바탕으로 IEC의 표준화 활동에 적극적으로 참여함으로써 국내 전자기장 측정기술의 발전과 국민건강 보호 및 국내 산업의 경쟁력 강화를 위한 기틀을 마련하여야 하겠다.

## 참고 문헌

- [1] F.Schoenborn,M.Burkhardt,and N.Kuster,The difference of EM energy absorption between adults and children, *Health Physics*, vol.74, no.2, Feb.1998, pp.160--168.
- [2] N.Kuster,R.Kaestle,and T.Schmid,Dosimetric evaluation of mobile communications equipment with known precision (invited paper), *IEICE Transactions on Communications* vol. E80-B,no.5,May 1997, pp.645-652
- [3] Ae-Kyoung Lee and Jeong-Ki Pack, "Effect of head size for cellular telephone exposure on EM absorption," *IEICE Trans. On Commun.*, vol.E85-B, no. 3, pp 698-701, Mar. 2002.
- [4] A.K. Lee, H.D. Choi, H.S. Lee, and J.K. Pack, "Human head size and SAR characteristics for handset exposure," *ETRI Jour.* vol. 24, no. 2, pp 176-179, Apr. 2002.
- [5] Drossos, A, V.Santomaa, and N.Kuster, The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* vol.48, no.11, pp.1988-1995, Nov.2000.
- [6] Gabriel,S.,R.W.Lau and C.Gabriel, The dielectric properties of biological tissues:3. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues, *Physics in Medicine and Biology* vol.41, no.11, pp.2271-2293, 1996.
- [7] N.S.Nahman,M.Kanda,E.B.Larsen,and M.L.Crawford,"Methodology for standard electromagnetic field measurements",*IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements* vol.IM-34, no.4, pp.490-503, Dec.1985.
- [8] Christ,A.,N.Chavannes,K.Pokovic,H.-U.Gerber and N.Kuster, "Numerical and Experimental Comparison of Human Head Models for SAR Assessment,"in *Proceedings of Millenium Workshop on*



Biological Effects of Electromagnetic Fields, pp.234-240, Heraklion, Kreta, Greece, October 2000.

- [9] Dawson, Stuchly, High Resolution organ dosimetry for human exposure to low frequency magnetic fields , IEEE Magnetics, vol. 34, n° 3, p. 708-718, 1998.
- [10] Mouchawar, Nyenhuis,..., Magnetic stimulation of excitable tissue : calculation of induced eddy-currents with a three dimensional finite element model , IEEE Magnetics, vol. 29, n° 6, p. 3355-3357, 1993.
- [11] Nyenhuis, Mouchawar,..., Energy considerations in the magnetic (eddy current) stimulation of tissues , IEEE Magnetics, vol. 27, n° 1, p. 680-687, 1991.
- [12] Renhart, Magale,..., Modelling and calculation of influences of RF fields on the human body using finite elements method , IEEE Magnetics, vol. 30, n° 5, p. 3092-3095, 1994.
- [13] IEC/TC 106, "106/24/CD"
- [14] IEC/TC 106, "106/31/CC"
- [15] IEC/TC 106, "106/49/CD"
- [16] IEC/TC 106, "106/57/CC"
- [17] IEC/TC 106, "106/34/CD"
- [18] IEC/TC 106, "106/51/CC"
- [19] IEC/TC 106, "106/58/CD"
- [20] IEC/TC 106, "106/26/CD"
- [21] IEC/TC 106, "106/37/CC"
- [22] IEC/TC 106, "106/52/CDV"
- [23] IEC/TC 106, "106/27/CD"
- [24] IEC/TC 106, "106/42/CC"
- [25] IEC/TC 106, "106/53/CDV"
- [26] IEC/TC 106, "106/55/CD"

### 주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소의 연구개발사업비 재정 지원으로 이루어진 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다

※ 뒷표지 안쪽에 가운데 인쇄