[별표 1]

귀에 근접하여 사용하는 휴대용 무선 설비의 전자파흡수율 측정절차

목차

1 범위 ····· 1

2 참고규격 ····· 1

3 용어 및 정의 ····· 1

4 기호 및 약어로 표시되는 용어 ····· 9

5 측정 시스템 규격 ····· 10

5.1 일반 요구 사항 ····· 10
5.2 모의인체 규격(외피 및 액체) ····· 10
5.3 SAR 측정 기기의 규격 ····· 15
5.4 주사 시스템 규격 ····· 15
5.5 기기 거치대 규격 ····· 15
5.6 액체의 유전 특성 측정 ····· 16

6 SAR 평가 프로토콜 ····· 16

6.1 측정 준비 ····· 16
6.2 시험 항목 ····· 21
6.3 측정 절차 ····· 24
6.4 SAR 측정 데이터의 후처리 ····· 25

7 불확정도 평가 ····· 26

7.1 일반 고려 사항 ····· 26
7.2 불확정도에 기여하는 구성 요소 ····· 28
7.3 불확정도 평가 ····· 38

8 측정 보고서 ····· 41

8.1 일반 사항 ····· 41
8.2 시험 보고서에 기록할 항목 ····· 41

부록 A 모의인체 규격 ····· 43

부록 B SAR 측정 시스템의 교정 및 불확정도 평가 ····· 49

부록 C 후처리 기술 및 불확정도 평가 ····· 71

부록 D SAR 측정 시스템의 유효성 검사 ····· 76

부록 E 시험기관간 비교 ····· 83

부록 F 모의인체 좌표계 및 피시험기기 좌표계의 정의 ····· 85

부록 G 유효성 검사용 다이폴 ····· 87

부록 H 평면 모의인체 ····· 89

부록 I 모의인체 머리 생체조직 등가용액 조성 권고사항 ····· 91

부록 J 액체의 유전 특성 측정 및 불확정도 평가 ····· 93

1 범위

본 측정절차는 인체의 머리에 근접하여 사용되는 휴대용 무선기기에 적용된다. 적용주파수 범위는 300 MHz에서 3 GHz 사이이다. 또한 전자파흡수율 측정대상 휴대용 무선기기가 전자파흡수율(SAR) 제한치에 적합하다는 것을 증명하기 위한 시험방법을 규정하고 있다.

2 참고규격

본 측정절차는 국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)의 국제표준(IEC 62209-1)인『Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures - Part 1: Procedure to determine the Specific Absorption Rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity of the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)』를 참고하였다.

3 용어 및 정의

다음 용어 및 정의는 본 측정절차에만 적용한다.

3.1 감쇠 계수

신호원과 특정 지점 사이에서 인체 머리나 몸통 조직으로 인한 감쇠를 고려한 계수를 말한다.

3.2 시평균 흡수 전력

전달되는 에너지의 시평균값으로서 다음에 의해서 주어진다.

$$\overline{P}_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} p(t)dt$$

여기서
t1은 노출 시작 시각[sec]
t2는 노출 정지 시각[sec]
t2-t1은 노출 지속 시간[sec]

3.3 축 등방성

프로브의 축방향으로 기준파를 입사시킬 때 프로브를 회전시켜 얻은 SAR값의 최대 편차를 말한다.

3.4 기본 한계

인체에 직접적으로 영향을 주는 물리량으로서 시변 전기장, 자기장 및 전자기장에 대한 인체 노출 한계치를 말한다.

주) 본 측정절차의 주파수 범위에서 이용된 기본한계는 전자파흡수율(SAR)이다.

3.5 경계 효과(프로브)

프로브가 매질 경계 가까이(프로브 팁의 직경 미만) 있을 때 전기장 프로브의 민감도 변화를 말한다.

3.6 복소 유전율

임의지점에서 전기장 세기와 매질내 전속밀도와의 비. 생체조직의 유전율은 주파수에 의존한다.

$$\varepsilon = \frac{\vec{D}}{\vec{E}} = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

여기서

$\vec{D}$ 는 전속 밀도[C /m ^{2}]

$\vec{E}$ 는 전기장 세기[V/m]

ε_0 은 자유 공간의 유전율[8.85 × 10 $^{-12}$ F/m]

ε_r 은 복소 상대 유전율: ($\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} - j\varepsilon_r^{''} = \varepsilon_r^{'} + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon_0}$)

주) 등방성 매질에 있어서 유전율은 스칼라량이고 비등방성 매질에서는 텐서량이다.

3.7 전도전력

정상 동작 조건의 변조신호 평가시 최저 주파수 주기에 비해 충분히 긴 시간 간격 동안 송신기에 의해 안테나 전송로에 공급되는 평균 전력을 말한다.

3.8 도전율(전기전도도)

매질내에서 전기장 세기($\vec{E}$)와 전도 전류 밀도($\vec{J}$)와의 비

$$\sigma\vec{E} = \vec{J}$$

여기서

$\vec{E}$ 은 전기장 세기[V/m]

$\vec{J}$ 은 전류 밀도[A/m]

σ 는 도전율[S/m]

주) 도전율은 등방성 매질에서 스칼라량이고 비등방성 매질에서는 텐서량이다.

3.9 검출제한치

응답 가능한 최소(또는 최대)치에 의해 정의된 측정기기의 하(상)한 검출 제한치를 말한다.

3.10 동작계수

주기적 펄스 열의 펄스 주기에 대한 펄스 폭의 비를 말한다.

3.11 전기전도도

도전율(conductivity) 참조.

3.12 전기장

정지하고 있는 전하에 전기력을 작용하게 하는 벡터장으로서 전기력($\vec{F}$)은 전기장($\vec{E}$)과 전하량(q)의 곱과 같다.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

여기서

$\vec{F}$ 는 전하에 작용하는 힘[N]

q는 전하량[C]

$\vec{E}$ 는 전기장[V/m]

3.13 전속 밀도(변위)

유전체 내부 임의 지점에서 전기장($\vec{E}$)과 유전상수(ε_0)의 곱에 전기적 분극($\vec{P}$)의 합으로 주어지는 벡터량:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

여기서

$\vec{D}$ 는 전속 밀도[C/m^2]

ε_0 은 자유 공간의 유전율[F/m]

$\vec{E}$ 는 전기장 강도[V/m]

$\vec{P}$ 는 전기 분극[C/m^2]

3.14 휴대단말기

인체 머리의 귀 부근에서 사용하는 휴대용 무선기기를 말한다.

3.15 반구 등방성

기준파가 반구 외부표면을 따라 입사각이 변화할 때의 프로브 등방성을 말한다.

3.16 등방성

축 등방성, 반구 등방성 및 프로브 등방성 참조

3.17 선형오차

측정구간에서 구해진 최근접 기준선과 측정값의 최대 편차를 말한다.

3.18 손실 탄젠트

물질의 복소 유전 상수의 실수부에 대한 허수부의 비율:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_r'\varepsilon_0}$$

여기서

tan δ는 손실 탄젠트

ε_r'' 은 복소 상대 유전율의 허수부

ε_r' 은 복소 상대 유전율의 실수부

ε_0 은 자유 공간의 유전율[8.85× 10 $^{-12}$ Farads/m]

ω는 각주파수(ω = 2πf) [radians/s]

σ는 매질의 도전율[S/m]

3.19 자기장

주어진 지점에서의 자속 밀도 $\vec{B}$ 를 자기 상수(투자율) μ_0 로 나눈 값에서 자화도 $\vec{M}$ 을 빼서 얻어지는 벡터량:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_o} - \vec{M}$$

여기서,

$\vec{H}$ 는 자기장[A/m]

$\vec{B}$ 는 자속밀도[T]

μ_0 는 진공에서의 투자율[H/m]

$\vec{M}$ 은 자화도[A/m]

3.20 자속밀도

속도 v로 움직이고 있는 전하에 힘을 작용하게 하는 벡터장으로서 힘($\vec{F}$)은 속도와 자속밀

도의 벡터곱($\vec{v} \times \vec{B}$)에 전하량 *q*를 곱한 것과 같다:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

여기서

$\vec{F}$ 는 입자에 작용하는 힘[N]

q는 입자의 전하량[C]

$\vec{v}$ 는 입자 속도[m/s]

$\vec{B}$ 는 자속밀도[T]

3.21 투자율

매질의 자기장 $\vec{H}$ 와의 곱이 자속 밀도 $\vec{B}$ 와 같게 되는 스칼라량 또는 텐서량:

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

여기서,

$\vec{H}$ 는 자기장[A/m]

μ 는 매질에서의 자기 상수(투자율)[H/m]

$\vec{B}$ 는 자속밀도[T]

3.22 측정 범위

검출 제한치의 하한치와 상한치 범위 이내의 측정 시스템 작동 구간을 말한다.

3.23 이동(무선) 기기

인체 머리의 귀 부근에서 사용하는 무선 통신기기를 말한다.

3.24 다중 대역 무선 기기

두 개 이상의 주파수 대역에서 동작하는 무선 기기를 말한다.

3.25 다중 모드 무선 기기

두 개 이상의 모드(예를 들면, 아날로그, TDMA 및 CDMA)에서 작동할 수 있는 무선 기기를 말한다.

3.26 공간평균 첨두 SAR

특정 질량을 갖는 공간 내에서 평균 SAR값 중 최대값을 말한다.

3.27 침투깊이(penetration depth)

표피깊이(skin depth) 참조.

3.28 유전율

복소 유전율 또는 상대 유전율 참조.

3.29 머리 모의인체

단순화된 형상(simplified representation)이거나 인체 해부학적 구조의 외형과 유사한 모형이며, 인체의 해당조직과 유사한 전기적 속성을 갖는 물질로 구성된다.

3.30 귓바퀴

헬릭스(helix), 소엽(lobule), 안티헬릭스(anti-helix) 등으로 구성되는 외이 연골 조직에서 크게 돌출된 부분으로 외이라고도 한다.

3.31 전력

시평균 흡수 전력, 전도전력 참조.

3.32 프로브 등방성

전기장 또는 자기장 프로브의 응답특성이 입사파의 편파와 전파 방향에 대해 얼마나 독립적인가를 나타내는 정도를 말한다.

3.33 상대 유전율

복소 유전율과 자유공간 유전율과의 비를 말한다. 등방성 매질에서의 복소 상대유전율은

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

이고, 선형 손실 특성을 갖는 유전체에서는 다음과 같이 주어진다.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} - j\varepsilon_r^{''} = \varepsilon_r^{'} + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon_0} = \varepsilon_r^{'}\left(1 - j\frac{\varepsilon_r^{''}}{\varepsilon_r^{'}}\right) = \varepsilon_r^{'}(1 - j\tan\delta)$$

여기서

ε 은 복소 유전율[F/m]

ε_r 은 복소 상대 유전율

$\varepsilon_r^{'}$ 은 복소 상대 유전율의 실수부로 유전상수라고도 함

$\varepsilon_r^{''}$ 은 복소 상대 유전율의 허수부로 유전손실을 나타냄

σ 는 도전율[S/m]

ω 는 각주파수[radians/s]

$\tan\delta$ 는 손실 탄젠트

3.34 응답 시간

입력 신호 변화 후 측정기기가 최종값의 90 %까지 도달하는데 걸리는 시간을 말한다.
SAR 값 측정시, 프로브는 각 측정 지점에서 최소한 응답 시간의 2 배 이상 시간동안 정지된 상태로 계측하여야 한다.

3.35 주사 시스템

프로브의 위치를 자동으로 제어할 수 있는 시스템을 말한다.

3.36 (측정 시스템의) 민감도

측정대상 물리량의 크기(예, 전기장 세기의 제곱)에 대한 시스템 응답 크기(예, 전압)의 비를 말한다.

3.37 침투깊이

매질 경계로부터 전자기장의 세기 또는 유도전류밀도가 경계 값의 1/e로 감소하는 지점까지의 거리를 말한다.

매질의 침투깊이(δ)는 전자파의 전파상수(γ)에 따라 달라진다. 전파상수는 매질의 유전 특성과 전파모드의 특성에 의존한다.
침투깊이는 다음과 같이 정의된다:

$$\delta = \frac{1}{\mathrm{Re}[\gamma]}$$

$\gamma = \alpha + j\beta$, 여기서 α 는 감쇠 상수이며 β 는 진행파의 위상 상수이다.

그리고 $\gamma^2 = -\omega^2\mu\varepsilon + k_c^2$

여기서 μ 와 ε 는 각각 매질의 투자율과 유전율이며, k_c^2 는 전파 방식의 횡(橫)전파 상수이다.
따라서

$$\delta = \frac{1}{\mathrm{Re}\{\sqrt{-\omega^2\mu\varepsilon + k_c^2}\}}$$

자유 공간 전파 k_c^2 = 0 인 경우, 침투깊이의 방정식은 다음과 같다:

$$\delta = \frac{1}{\omega}\left[\left(\frac{\mu_0\varepsilon_r^{'}\varepsilon_0}{2}\right)\left(\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_r^{'}\varepsilon_0}\right)^2}-1\right)\right]^{-1/2}$$

여기서
δ 는 침투깊이[m]

ω 는 각주파수[radians/s]

ε_r 는 상대 유전율

ε_0 는 자유공간 유전율[F/m]

μ_0 는 자유공간 투자율[H/m]

σ 는 도전율[S/m]

주) 횡단면의 긴 변 길이가 ***a*** 인 직사각형 도파관에서 TE_{10} 모드 전파의 경우:

$$k_c^2 = \left(\frac{\pi}{\mathrm{a}}\right)^2$$

3.38 전자파흡수율(SAR)

생체조직에 흡수되는 단위 질량당 에너지 율을 말한다.

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

주) SAR은 다음의 수식으로 계산할 수 있다:

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

$$SAR = c_h \left.\frac{dT}{dt}\right|_{t=0}$$

여기서

SAR은 전자파흡수율[W/kg]

E 는 인체 조직에서 전기장 세기의 실효치[V/m]

σ 는 인체 조직의 도전율[S/m]

ρ 는 인체 조직의 밀도[kg/m^3]

c_h 는 인체 조직의 비열용량[J/(kg·K)]

$\left.\frac{dT}{dt}\right|_{t=0}$ 는 조직에서 온도의 초기 시간 미분[K/s]

3.39 합성 불확정도

측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정결과의 표준불확정도를 합성 표준불확정도라 한다. 합성표준불확정도는 각 입력량의 변화가 측정결과에 미치는 영향에 따라 가중된 분산과 공분산의 합의 양의 제곱근과 같다.

3.40 확장 불확정도

측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정결과 주위의 어떤 구간을 정의하는 양을 말한다.

3.41 표준 불확정도

측정값의 추정 표준 편차를 말하며, 추정 분산의 제곱근과 같다.

3.42 파장

파동에서 같은 위상을 가진 서로 이웃한 두 점 사이의 거리.

$$\lambda = \frac{V_p}{f}$$

4 기호 및 약어로 표시되는 용어

4.1 물리적 양

기호	양	단위	차원
α	감쇠 계수	미터의 역수	1/m
B	자속 밀도	테슬라	T, Vs/m^2
D	전속 밀도	평방미터 당 쿨롱	C/m^2
c_h	비열용량	킬로그램 켈빈 당 주울	J/(kg K)
E	전기장 세기	미터 당 볼트	V/m
F	주파수	헤르츠	Hz
H	자기장 세기	미터 당 암페어	A/m
J	전류 밀도	평방미터 당 암페어	A/m^2
P_{avg}	시평균 흡수 전력	와트	W
SAR	전자파흡수율	킬로그램 당 와트	W/kg
T	온도	켈빈	K
ε	유전율	미터 당 패러드	F/m
λ	파장	미터	m
μ	투자율	미터 당 헨리	H/m
ρ	질량 밀도	입방미터 당 킬로그램	kg/m^3
σ	전기 도전율	미터 당 지멘스	S/m

주) 온도는 섭씨 단위이며, T(℃) = T(K) - 273.16이다.

4.2 상수

기호	물리적 상수	크기
c	진공에서의 빛의 속도	$2.998 \times 10^8\ m/s$

ε_0	자유 공간의 유전율	$8.854\times10^{-12}\ F/m$
μ_0	자유 공간의 투자율	$4\pi\times10^{-7}\ H/m$

4.3 약어

CAD = Computer Aided Design; 일반적인 포맷은 IGES와 DXF이다.
DXF = Digital Exchange File
ERP = Ear Reference Point(귀기준점)
DUT = Device Under Test(시험 대상기기)
IGES = International Graphics Exchange Standard(국제 그래픽 변환 표준)
RF = Radio Frequency(무선 주파수)
SAM = Specific Anthropomorphic Mannequin(특수 해부학적 인체모형)

5 측정 시스템 규격

5.1 일반 요구 사항

측정 시스템은 모의인체, SAR 측정기기, 주사 시스템 및 무선기기 거치대로 구성되어 있다.

무선기기에 의해 발생되는 전자기장이 사람의 머리에 노출되는 것을 나타내는 모의인체 모델 내에서의 내부 전기장 분포 측정 시험은 자동적으로 위치가 제어되는 소형 프로브를 사용하여 수행되어야 한다. SAR 분포 및 공간평균 첨두 SAR값은 측정된 전기장 값으로부터 계산되어야 한다.

시험실은 다음의 환경조건을 만족하여야 한다.

- 시험실 온도는 18 ℃ 에서 25 ℃ 범위에 있어야 하며, 시험 중의 온도 변화는 ±2 ℃를 초과해서는 안 된다.
- 시험실의 전자파 잡음은 0.012 W/kg (0.4 W/kg의 3 %) 이내이어야 한다.
- 무선기기는 주변 지역의 이동통신망과 연결되지 않아야 한다.
- 반사, RF 2차 송신기 등의 영향은 SAR 측정값의 3 %보다 작아야 한다.

부록 D에 정의된 프로토콜에 따른 시스템 타당성 검증은 최소한 일년에 한번 수행하여야 하며, 새로운 시스템이 적용될 경우도 수행하여야 한다. 또한 새로운 소프트웨어, 다른 전자 판독기 또는 다른 형태의 프로브 사용 등 시스템 변경사항이 발생할 때도 타당성 검증 시험을 수행하여야 한다.

5.2 모의인체 규격(외피 및 액체)

5.2.1 일반 요구 사항

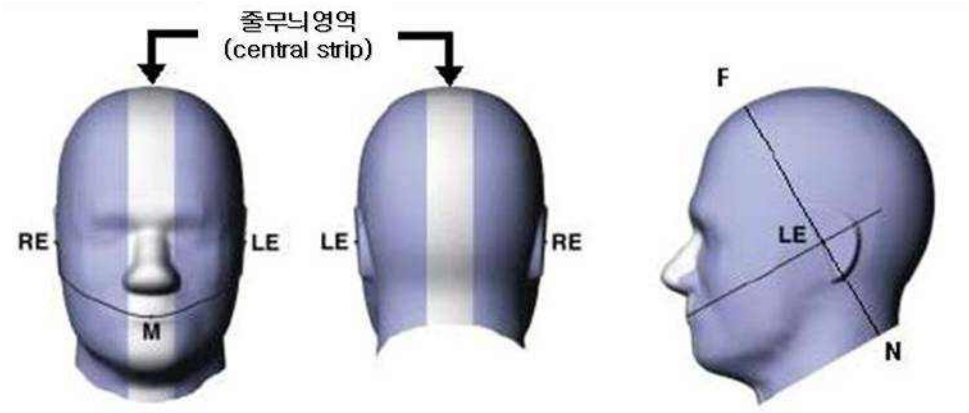
전기장 프로브는 이등분된 모의인체나 윗부분이 개방된 완전한 머리 모양을 갖는 모의인체의 내부에서 전기장 분포를 측정한다. 머리의 형상은 노출 평가에 대해 중요한 파라미터이기 때문에 휴대단말기 시험에 사용되는 모의인체 모델의 물리적 특성(크기 및 외형)은 휴대단말기 사용상태의 머리 모양을 나타낸 것이다. 모의인체 모델은 머리 조직과 유전(誘電) 특

성이 유사한 물질을 사용하여야 한다. 모의인체 내의 전자기장 분포를 측정하기 위해 액체 상태의 인체 머리 물질을 모의인체 외피에 담는다. 모의인체 외피는 아래에 설명한 것처럼 가능한 한 기기의 방사에 대해 영향을 주지 않아야 한다. 모의인체 제조자는 주사 시스템과 연계하여 모의인체 상에 최소한 3개 이상의 기준점을 정의하여야 한다. 기기를 거머쥔 손의 모델은 배제한다(부록 A 참조).

5.2.2 모의인체의 외형 및 크기

모의인체 외형은 인체 측정 연구에서 보고된 성인 남성의 90 백분위수(百分位數) 크기와 치수로부터 구해지며, 휴대단말기 사용자의 납작해진 귀를 표시하도록 하였다(부록 A 참조). 이런 요구 사항에 맞는 그림을 그림 1에 나타내었다.

그림 2에서 보여주는 SAM 표준 모의인체는 본 측정절차의 휴대단말기 SAR 측정에 사용되어야 한다. 모의인체 외피 제조자는 제품이 본 측정절차에 기술된 모의인체 외피의 형상과 두께 특성에 맞는 제품인지 확인할 수 있는 자료를 첨부하여야 한다.



RE : 오른쪽 귀기준점(ERP)
LE : 왼쪽 귀기준점(ERP)
M : 입기준점
F : N-F 선의 앞쪽 끝점
N : N-F선의 목쪽 끝점

그림 1 - 귀기준점인 RE와 LE, 입기준점 M, 기준선 N-F와
중앙줄무늬영역(central strip)을 보여주는 모의인체 그림

5.2.3 모의인체 외피

모의인체 외피는 생체조직 등가용액 조성에 사용되는 모든 성분에 대해 내성이 있어야 한다. 귀 공간 이격자를 포함하는 모의인체의 외피는 상대 유전율 5 이하이고 손실 탄젠트가 0.05 이하의 저(低)유전율과 저(低)손실 재료로 만들어야 한다. 모의인체 외피 형상은 SAM 모의인체의 CAD 파일과 비교하여 허용오차가 ±0.2 mm 미만이어야 한다. 귀와 연장된 돌출부 주변을 제외한 휴대단말기가 위치하는 부분에서의 외피 두께는 2±0.2 mm가 되어야 한

다(그림 2 참조). 저손실 귀 공간 이격자(머리 외피와 같은 재료)는 귀기준점(ERP)에서 조직 경계로부터 6 mm의 이격 거리를 확보 할 수 있어야 하며 ±0.2 mm 미만의 허용 오차 미만이어야 한다. 중심 시상 봉합면의 ±1.0 cm 이내의 중앙줄무늬영역(그림 1)에서 허용 오차는 ±1.0 mm이다.

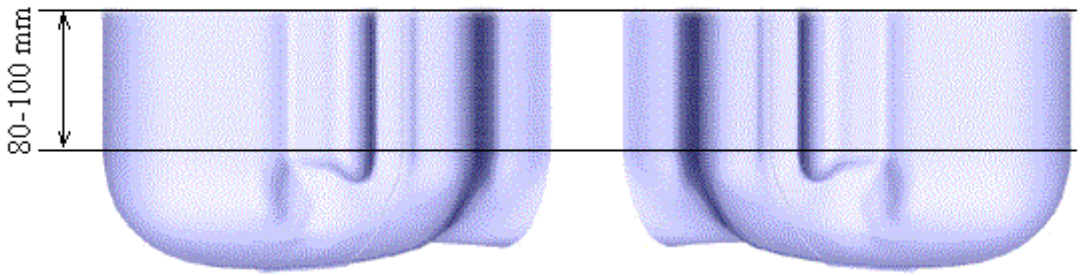


그림 2 - 사상봉합을 따라 이등분되어 확장된 경계를 갖는 모의인체

그림 1에서 “M”점은 입기준점, “LE”는 왼쪽 귀기준점, 그리고 “RE”는 오른쪽 귀기준점(ERP)이다. 이런 점들은 모의인체와 무선 기기의 상대위치를 재현할 수 있도록 모의인체의 바깥 부분에 표시되어 있어야 한다. 두 귀기준점과 M점을 포함하는 면을 기준면으로 정의하며 B-M(back-mouth) 선을 포함한다. 그림 3은 기준면에 대한 CAD 파일의 단면을 나타낸 것이다. 이 그림은 실제 크기인 26 cm × 18 cm를 1.3배 축소한 것이다. 기기의 위치 설정을 용이하게 하기 위해 N-F선은 양쪽 귀의 단면 끝을 지나 각 ERP를 통과하는 직선이다. B-M선과 N-F선은 모의인체 외피 상에 투사하여 표시하여 기기 배치를 용이하게 한다(그림 4 참조). 휴대단말기의 수화부 중심은 모의인체의 ERP에 위치하여야 한다. 모든 기준점의 위치는 CAD 파일에 명시되어있다.

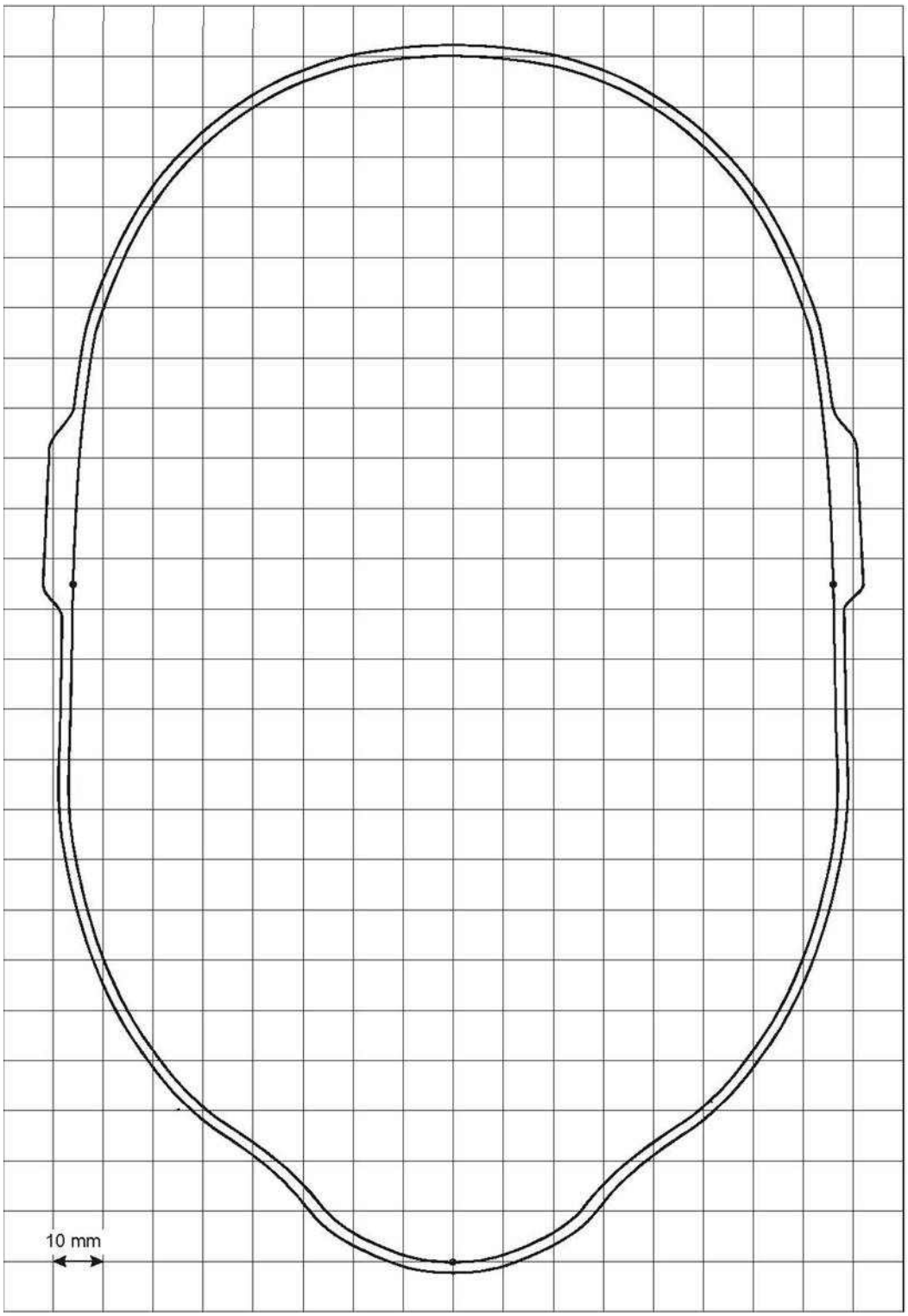


그림 **3 - B-M**선을 포함하는 기준면에 대한 **SAM**의 단면도

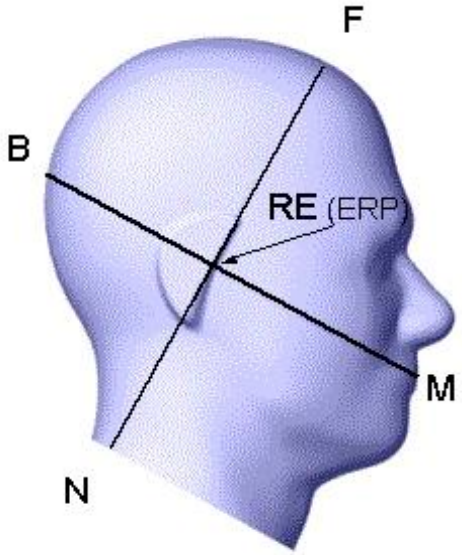


그림 4 - 모의인체의 측면도

5.2.4 생체조직 등가용액 재료의 특성

모의인체 생체 조직 등가 용액의 유전율 값은 30 MHz ~ 6 GHz 범위의 주파수에 대하여 표 1에 규정되어 있다. 이 범위 내에 있는 다른 주파수의 유전율 값은 가장 근접한 상하 두 값의 선형 내삽(Linear interpolation)을 통해 얻어야 한다. 30 MHz ~ 6 GHz 대역의 일부 주파수에서 유전 특성을 갖는 생체 조직 등가 용액의 제조법은 부록 I에 명시되어 있다.

표 1 - 생체 조직 등가 용액의 유전 특성

주파수(MHz)	상대 유전율 (εr)	도전율 σ(S/m)
30	55.0	0.75
150	52.3	0.76
300	45.3	0.87
450	43.5	0.87
750	*41.9*	*0.89*
835	41.5	0.90
900	41.5	0.97
1450	40.5	1.20
1800	40.0	1.40
1900	40.0	1.40

1950	40.0	1.40
2000	40.0	1.40
2100	*39.8*	*1.49*
2450	39.2	1.80
2600	*39.0*	*1.96*
3000	38.5	2.40
3500	*37.9*	*2.91*
4000	*37.4*	*3.43*
4500	*36.8*	*3.94*
5000	36.2	4.45
5200	*36.0*	*4.66*
5400	*35.8*	*4.86*
5600	*35.5*	*5.07*
5800	35.3	5.27
6000	*35.1*	*5.48*

이탤릭체로 표기한 값들은 그렇지 않은 값들 사이에서 내삽된 것이다. 단, 6000 MHz에서의 값들은 3000 MHz와 5800 MHz에서의 값에서 외삽(Extrapolation)된 것이다.

전자파흡수율 평가를 위한 생체 조직 등가 용액의 질량 밀도는 1000 kg/m^{3}라고 가정한다.

5.3 SAR 측정 기기의 규격

측정 장비는 하나의 완전한 시스템으로서 교정되어야 한다. 프로브는 같은 종류이거나 기술적으로 동등한 종류의 증폭기, 측정기기 그리고 데이터 수집 시스템을 사용하여 교정하여야 한다. 측정 장비는 부록 B에 기술된 방법에 따라 적절한 동작 주파수와 온도에서 각각의 생체조직 등가용액에서 교정되어야 한다. 프로브 커넥터의 부하조건이 명시되어 있고 측정시 적용될 경우, 시스템과는 별도로 프로브를 교정할 수 있다.

최소 검출 제한치는 0.02 W/kg이하이어야 하며, 최대 검출 제한치는 100 W/kg보다 높아야 한다. 선형 오차는 0.02 W/kg과 100 W/kg 사이의 SAR 범위 내에서 ±0.5 dB이내에 있어야 한다. 민감도와 등방성은 조직등가액체 내에서 측정되어야하며 프로브의 등방성(축등방성, 구등방성) ±0.5 dB이내에 있어야 한다. . 응답 시간이 명시되어야 한다. 프로브 외부 직경은 8 mm 이하이어야 한다.

5.4 주사 시스템 규격

5.4.1 일반 요구 사항

프로브가 장착되어 있는 주사 시스템은 3차원의 SAR 분포를 얻기 위해 노출된 모의인체의 모든 부분을 주사할 수 있어야 한다. 주사시스템의 기계적 구조는 SAR 측정에 지장을 주어서는 안 된다. 모의인체 상에 최소 3개의 기준점을 두어 주사 시스템과 모의인체를 상호 연

계시켜야 하며, 그 기준점은 사용자나 시스템 제조자가 정할 수 있다.

5.4.2 기술적 요구 사항

5.4.2.1 정확도

측정 영역에서 프로브 끝의 위치 제어 정밀도는 ±0.2 mm 보다 좋아야 한다.

5.4.2.2 위치 분해능

위치 분해능은 측정 시스템이 측정 가능한 최소 위치 증가분으로 1 mm 이하가 되어야 한다.

5.5 기기 거치대 규격

주변 환경(바닥, 기기 거치대, 액체의 표면)에서 발생한 반사나 흡수가 SAR 측정에 영향을 주지 않도록 주의하여야 한다.

기기 거치대는 6.1.4에 정의된 위치 설정시 경사각 허용오차를 ±1°로 제한 한다. 거치대는 손실 탄젠트가 0.05 이하이고 상대 유전율이 5 이하인 저손실, 저유전율 특성을 갖는 재료로 만들어야 한다. 거치대의 위치 설정 불확정도는 7.2.2.4.2에 설명한 절차에 따라 평가해야 한다.

예를 들면, 거치대 대신 상대 유전율과 손실이 적은 폼 블록(foam block)을 이용하거나 모의 인체에 휴대단말기를 테이프나 실로 부착시켜 거치대가 SAR에 영향을 주지 않는다는 것을 확인하여야 한다(7.2.2.4.1 참고).

5.6 액체의 유전 특성 측정

생체조직 등가용액의 유전 특성은 SAR 측정과 관련된 주파수와 온도에서 측정되어야 한다. 유전 특성 파라미터는 표 1에 선형 내삽법을 적용한 값과 비교 평가하여야 한다. SAR 계산에는 표 1의 값(목표값)이 아닌 측정값을 사용하여야 한다. 이 측정은 부록 J에 명시된 기기와 절차에 따라 측정할 수 있다.

6 SAR 평가 프로토콜

6.1 측정 준비

6.1.1 일반 준비 사항

시험 기관은 생체조직 등가용액 유전특성 확인 주기를 늘려도(예, 일주일 주기) 적합하다는 것을 입증하지 못할 경우, 액체의 유전 특성은 SAR 측정 이전 24시간 이내에 측정되어야 한다. 생체조직 등가용액의 유전 특성 측정 온도는 SAR 측정 온도와 같아야 하며 측정 허용오차는 ±2 ℃이다.

2~3 GHz 범위에 대한 액체 제조 조성비가 검증(측정된 두 유전 파라미터가 표 1의 목표값에 대해 ±5 % 이내)될 때까지 다음 사항을 따라야 한다.

a) 300 MHz에서 2 GHz까지의 주파수에 대해, 도전율과 유전상수의 측정값은 표 1 목표값의 ±5 %이내이어야 한다(액체 파라미터의 측정 불확정도는 별도로 다루어진다 - 7.2.3 참조).

b) 2 GHz에서 3 GHz 범위의 주파수 대역에 대해, 도전율의 측정값은 표 1 목표값의 ±5 % 이내이어야 한다. 상대 유전율 측정값의 허용 오차는 10 % 이하로 완화될 수 있지만, 이용 가능한 조성비를 사용하여 가능한 한 표 1의 목표값에 근접하여야 한다. 목표값에 대한 유전상수의 편차가 SAR값에 주는 영향은 불확정도 평가에 포함되어야 한다.

모의인체는 ERP를 기준으로 최소한 15 cm가 되도록 생체조직 등가용액을 채워야 한다. 액체는 측정 전에 조심스럽게 저어주어야 하며 기포가 없어야 한다. 300 MHz ~ 3 GHz의 주파수 영역에서는 액체의 깊이를 15 cm가 되도록 채워 액체 표면에서의 반사를 없앤다. 액체의 점도가 프로브의 움직임을 방해해서는 안 된다.

6.1.2 시스템 검사

부록 D에 따른 시스템 검사는 휴대단말기의 SAR 측정 전에 수행하여야 한다. 시스템 검사의 목적은 시스템이 그 규격 내에서 동작하는지를 검증하는 것이다. 시스템 검사는 적합성 시험 중에 시스템이 정확하게 동작하는지 확인하기 위한 재현성 시험이다. 시스템 검사는 다음과 같이 짧은 기간에 있을 수 있는 변화나 시스템의 기타 불확정도를 검출하기 위해 수행되어야 한다:

- 수분 증발이나 온도 변화 등으로 인한 액체 파라미터 변화
- 부품 고장
- 부품 편차
- 시스템 설정 또는 소프트웨어 파라미터에 관한 운용자의 오류
- RF 간섭 등 시스템상의 악조건

시스템 검사는 전적으로 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정이다. 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정값은 표준 신호원의 목표 입력값으로 정규화시키고, 측정 주파수, 표준 신호원 및 특정 평면 모의인체에 상응하는 기존에 알려진 1 g 또는 10 g 평균 목표 SAR값과 비교한다. 매 시스템 검사로 결정되는 허용 오차는 기존에 보고된 시스템 검사에 대한 목표값의 ±10 % 이내가 되어야 한다. 시스템 검사는 DUT의 중간 대역 주파수의 ±10 % 이내의 주파수에서 수행하여야 한다.

6.1.3 무선 피시험기기의 준비

피시험 무선기기는 내장 송신기를 사용하여야 한다. 안테나, 배터리 및 액세서리는 제조자가 명시한 것이어야 한다. 배터리는 각 측정 전에 충분히 충전되어야 하며 외부와의 연결이 없어야 한다.

기기의 출력 전력과 주파수(채널) 제어는 내장된 시험 프로그램이나 안테나가 장착된 기지국 시뮬레이터와 같은 적당한 시험 장비를 이용하여야 한다. 무선 기기는 귀 가까이에서 사용하는 조건에서 최고 출력 레벨로 설정하여 송신하도록 하여야 한다. 노출 시험은 동작 방식, 안테나 구성 등과 같은 시험 기기의 기능과 노출 특성에 근거하여야 한다.

일반적으로 상용 제품은 케이블이 연결되지 않은 상태와 같이 통상적인 동작 구성 상태에서

시험되어야 한다. 제품에 케이블을 연결하면 송신기에 의해 기기의 금속 및 전도 재질에 분포하는 RF 전류를 변경시킬 가능성이 크다. 또한, 프로토타입을 이용하여 시험하는 경우, 시험된 프로토타입이 상용제품과 기계적, 전기적 특성이 정확히 동일함을 입증하여야 한다. 만약 그렇지 못할 경우, 변경되지 않은 상용 제품으로 다시 시험하여야 한다.

주) DUT를 시평균 최고 전력 레벨로 동작시키는 것이 불가능할 경우, 낮은 전력에서 수행한 후 송수신기의 SAR 응답이 선형적이라면 최대 출력 전력으로 조정될 수도 있다.

6.1.4 모의인체에 대한 무선 기기의 위치

6.1.4.1 일반사항

본 측정절차에서는 머리 모의인체에 대한 휴대단말기의 시험 위치를 “접촉(cheek)” 위치와 “경사(tilt)” 위치로 규정하고 있다. 이 두 시험 위치는 아래 항목에 정의되어 있다. 휴대단말기는 SAM 모의인체의 왼쪽과 오른쪽 양쪽 모두에서 시험하여야 한다. 휴대단말기의 구조가 6.1.4.1과 6.1.4.2에 기술되어있는 정상사용 조건으로 시험할 수 없는 경우(예를 들면 휴대단말기가 비대칭 구조를 가질 때)는 다른 시험위치로 대체할 수 있으며, 대체된 시험위치에 대한 정보를 시험 보고서에 자세히 기술하여야 한다. 단, 대체되어 사용한 시험위치는 본 항에 기술되어 있는 시험위치 조건에 가능한 한 근접하도록 설정하여야 한다.

6.1.4.2 접촉(Cheek) 위치의 정의

접촉위치는 다음 a)에서 i)까지의 항에 의해 정해진다.

a) 가능하면 통화가 되는 휴대단말기를 준비한다. 덮개(플립)가 있는 휴대단말기의 경우는 덮개를 연다. 만일 덮개가 닫힌 상태에서도 통화가 가능하면 두 조건 모두 시험하여야 한다.

b) 그림 5a와 5b에 나타낸 바와 같이 수직으로 위치 결정된 휴대단말기에 두 개의 가상 선인 수직 중앙선과 수평선을 정한다. 수직 중앙선은 휴대단말기 전면의 두 점을 지난다. 한 점은 수화부 위치에서 휴대단말기 폭 w_t의 중간점(그림 5a와 5b에서 점 A)이고 다른 한 점은 휴대단말기 하단에서 폭 w_b의 중간점(점 B)이다. 수평선은 수직 중앙선과 직교하며 수화부의 중앙을 지난다(그림 5a와 5b 참조). 두 선은 점 A에서 교차한다. 대부분의 휴대단말기의 경우 점 A와 수화부의 중심이 일치한다는 점을 주의한다. 그러나 수화부는 수평선상의 다른 곳에 위치할 수도 있다. 또한 수직 중앙선은 휴대단말기의 전면과 항상 평행한 것은 아니다(그림 5b 참조). 특히 폴더형 휴대단말기, 플립형 휴대단말기 그리고 기타 불규칙한 모양의 휴대단말기가 그렇다.

c) 점 A가 모의인체의 RE와 LE 점을 지나는 (가상의)확장선 상에 있도록 휴대단말기를 모의인체의 표면에 가까이 위치시킨다(그림6 참조). 이때 기기의 수직 중앙선과 수평선으로 이루어지는 면은 모의인체의 시상봉합면과 평행이어야 한다.

d) 휴대단말기가 귀에 닿을 때까지 RE와 LE를 지나는 선을 따라 모의인체 쪽으로 휴대단말기를 이동한다.

e) DUT의 수직 중앙선이 기준면에 들어갈 때까지 휴대단말기를 (가상의)선 LE-RE를 중심으로 회전시킨다.

f) DUT의 수직 중앙선과 수평선으로 이루어지는 면이 선 N-F와 평행이 될 때까지 기기를 수직 중앙선을 중심으로 회선시키고, DUT의 점 A가 ERP에서 귀에 닿을 때까지 휴대단말기를 선 LE-RE를 따라 이동시킨다.

g) 점 A가 RE와 LE를 지나는 선상에 있으면서 휴대단말기가 귓바퀴에 접촉되도록 유지시키고, 휴대단말기의 아래쪽 임의의 점이 귓바퀴 아래의 모의인체 상의 한 점(뺨)에 접촉할 때까지 NF 선을 중심으로 휴대단말기를 회전한다(그림 6 참조). 이때 회전된 각도를 기록하여야 한다.

h) DUT의 점 A를 ERP에 접촉시킨 상태에서, DUT의 수직 중앙선이 기준면에 들어올 때까지 휴대단말기를 DUT의 점 A를 지나면서 DUT의 수직 중앙선과 수평선으로 이루어지는 면에 수직인 선을 중심으로 회전시킨다.

i) 접촉위치가 맞는지는 아래 항목으로 검사한다.

- 선 N-F는 DUT의 수직 중앙선과 수평선으로 이루어지는 면에 있고,

- DUT의 점 A는 ERP의 귓바퀴에 접촉하며,

- DUT의 수직 중앙선은 기준면에 있다.

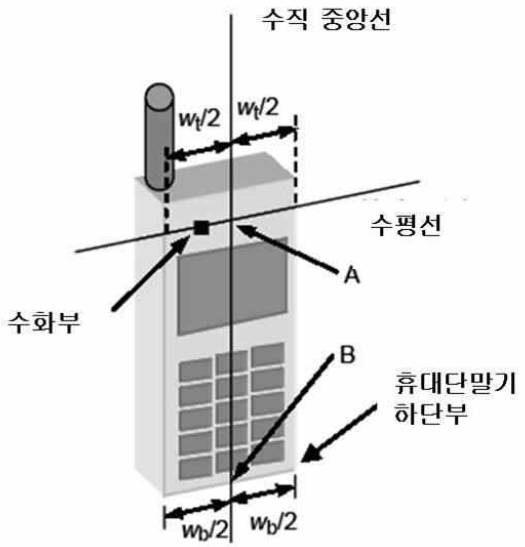


그림 5a – 일반적인 바형(bar-type) 휴대단말기

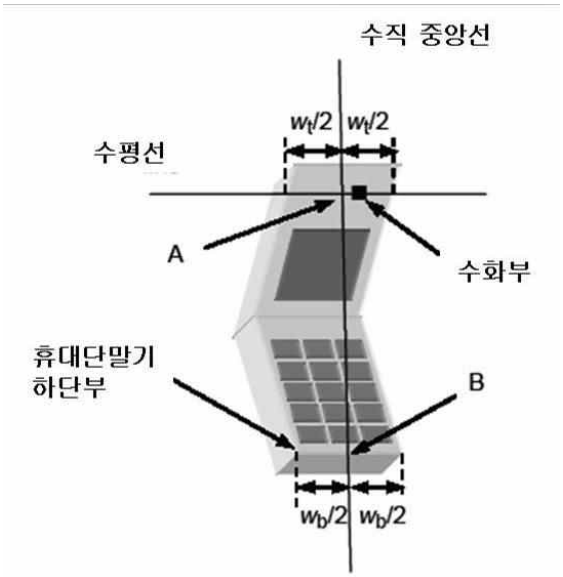
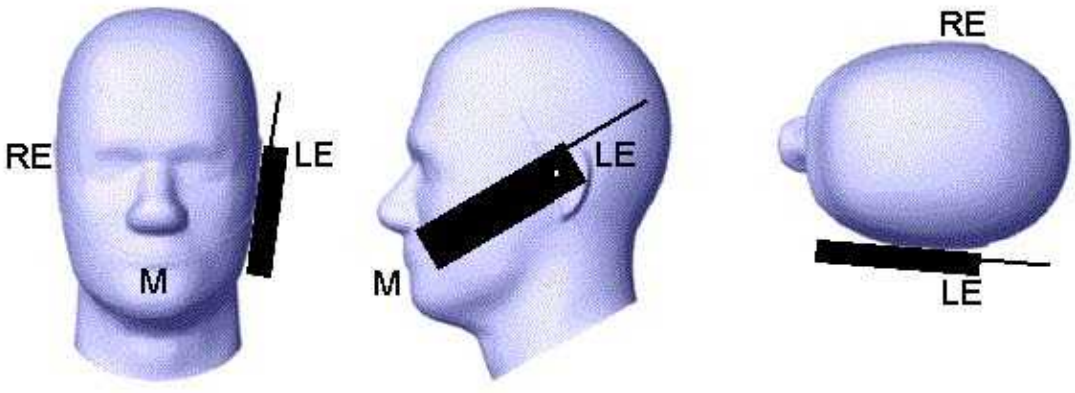


그림 5b – 일반적인 폴더형 휴대단말기

W_t 수화부 위치에서 휴대단말기의 폭
W_b 휴대단말기 하단 부분의 폭
A w_t의 중간점
B w_b의 중간점

그림 5 – 휴대단말기의 수직 및 수평 기준선과 기준점 A, B



M 입기준점
LE 왼쪽 귀기준점(ERP)
RE 오른쪽 귀기준점(ERP)
주) 실제 기기의 위치 설정은 그림 2의 시험용 모의인체를 대상으로 한다.

그림 6 – SAM의 왼쪽 머리에 대한 무선 기기의 접촉위치

6.1.4.3 경사(tilt) 위치의 정의:

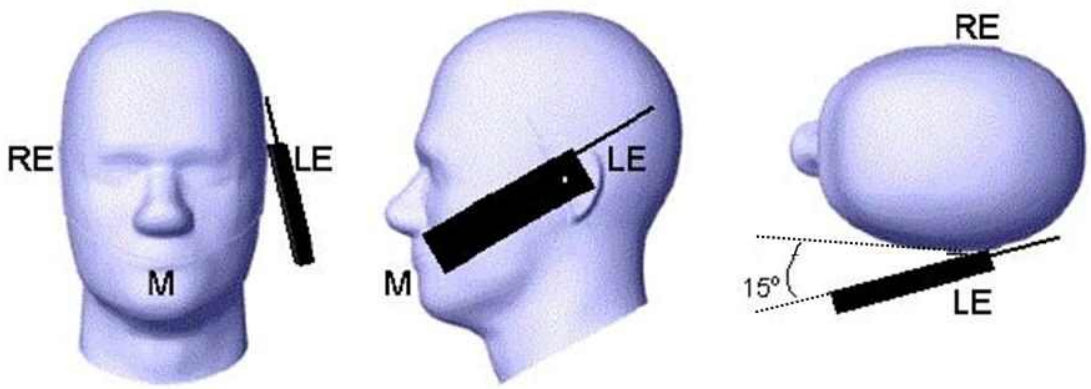
경사위치는 다음 a)에서 d)까지의 항에 의해 정해진다.

a) 6.1.4.2항의 a)에서 i)까지의 단계를 수행하여 기기를 접촉위치에 놓는다(그림 6 참조).

b) 기기의 설정 상태를 유지시키면서, 기기를 15도 회전이 가능하도록 모의인체로부터 기준면과 평행 이동하여 떨어뜨린다.

c) 기기를 수평선을 중심으로 15도 회전시킨다(그림 7 참조).

d) 휴대단말기의 설정 상태를 유지시키면서, 휴대단말기의 임의 부분이 귀와 접촉할 때까지 휴대단말기를 RE와 LE를 지나는 선을 따라 모의인체 방향으로 이동시킨다. 휴대단말기가 귓바퀴에 접촉하면 경사위치가 된다. 만약 귓바퀴 이외의 다른 부분에 접촉이 될 경우(예를 들면 안테나가 모의인체 머리의 뒤편에 접촉되는 경우), 휴대단말기의 회전 각도를 줄인다. 이러한 경우, 경사위치는 휴대단말기가 귓바퀴에 접촉되는 경우뿐만 아니라 안테나가 모의인체 머리 뒤편에 접촉되는 것과 같이 휴대단말기의 다른 부분이 접촉되는 것으로도 설정된다.



M 입기준점
LE 왼쪽 귀기준점(ERP)
RE 오른쪽 귀기준점(ERP)
주) 실제 기기의 위치 설정은 그림 2의 시험용 모의인체를 대상으로 한다.

그림 7 - SAM의 왼쪽 머리에 대한 무선 기기의 경사위치

6.1.5 시험 주파수

기기는 모든 송신 채널에 대한 해당 노출기준에 적합하여야 한다. 그러나 모든 채널에서 시험하는 것은 비현실적이며 불필요하다. 따라서 SAR 측정을 위한 측정 채널의 선택은 아래와 같이 정의된다. 이 측정 채널은 휴대단말기가 해당 노출기준에 적합하다는 특성을 보여

줄 수 있도록 선택된 것이다.

휴대단말기의 각 통신모드 중, 송신주파수 대역의 중심주파수에 가장 근접한 채널에서 시험한다. 송신주파수의 대역폭($\Delta f = f_{high} - f_{low}$)이 중심주파수($f_c$)의 1 %를 초과한다면, 송신주파수 대역의 최저주파수와 최고주파수에 해당하는 채널에서도 시험한다. 또한 송신주파수의 대역폭이 중심주파수의 10 %를 초과한다면, 아래 공식을 사용하여 측정될 채널 수를 정하여야 한다.

$$N_c = 2 \times ROUNDUP[10 \times (f_{high} - f_{low})/f_c] + 1$$

여기서

f_c 중심주파수[Hz];

f_{high} 최고주파수[Hz];

f_{low} 최저주파수[Hz];

N_c 채널 수

Δf 송신주파수의 대역폭[Hz].

주) 함수 ROUNDUP (x)는 변수 x를 올림 한 정수이다. 따라서 채널 수 N_c는 항상 홀수가 된다. 시험 대상 채널들 간의 주파수 간격은 가능한 한 동일하여야 하며 최저주파수와 최고주파수를 포함하여야 한다.

6.2 시험항목

휴대단말기의 최대 공간평균 첨두 SAR값을 결정하기 위해서는 아래 1 단계에서 3 단계에 따라 각 주파수 대역에 대한 모든 기기의 위치, 구성 그리고 동작모드에서 측정하여야 한다. 그림 8은 측정절차를 보여주고 있다.

1 단계: 다음 각 시험항목들은 송신주파수 대역의 중심주파수(f_c)에 가장 근접한 채널에서 6.3에 기술된 절차대로 시험되어야 한다.

a) 모든 기기 위치 조건(6.1.4에 기술되어 있는 SAM 모의인체의 왼쪽과 오른쪽에 대한 접촉 위치와 경사 위치),

b) 안테나를 뺀 조건과 넣은 조건과 같은, a)에 기술된 각각의 기기 위치 조건에 대한 모든 구성 조건, 그리고

c) 아날로그와 디지털과 같이, 각각의 주파수 대역에서 a)에 기술된 각각의 기기 위치 조건에 대한 모든 동작모드와 b)의 구성에 대한 모든 동작모드.

6.1.5에 의해 시험 주파수의 수가 4개 이상이라면((즉, $N_c > 3$), 모든 주파수, 구성 조건 및 동작모드에서 위 모든 시험조건으로 측정하여야 한다.

2 단계: 1 단계에서 결정된 최대 공간첨두 SAR을 갖는 조건에 대해 다른 모든 시험 주파수, 즉 최저 및 최고주파수에서 6.3에 기술된 모든 시험을 수행한다(6.1.5 참조). 또한, 1 단계에서 결정된 공간첨두 SAR값이 해당 SAR 제한치의 3 dB 이내인 다른 모든 조건(기기 위치, 구성, 동작 모드 등)에 대해 다른 모든 시험 주파수도 시험되는 것이 바람직하다.

3 단계: 1~2단계에서 측정된 모든 데이터를 검토하여 공간첨두평균 SAR의 최대값을 결정한다

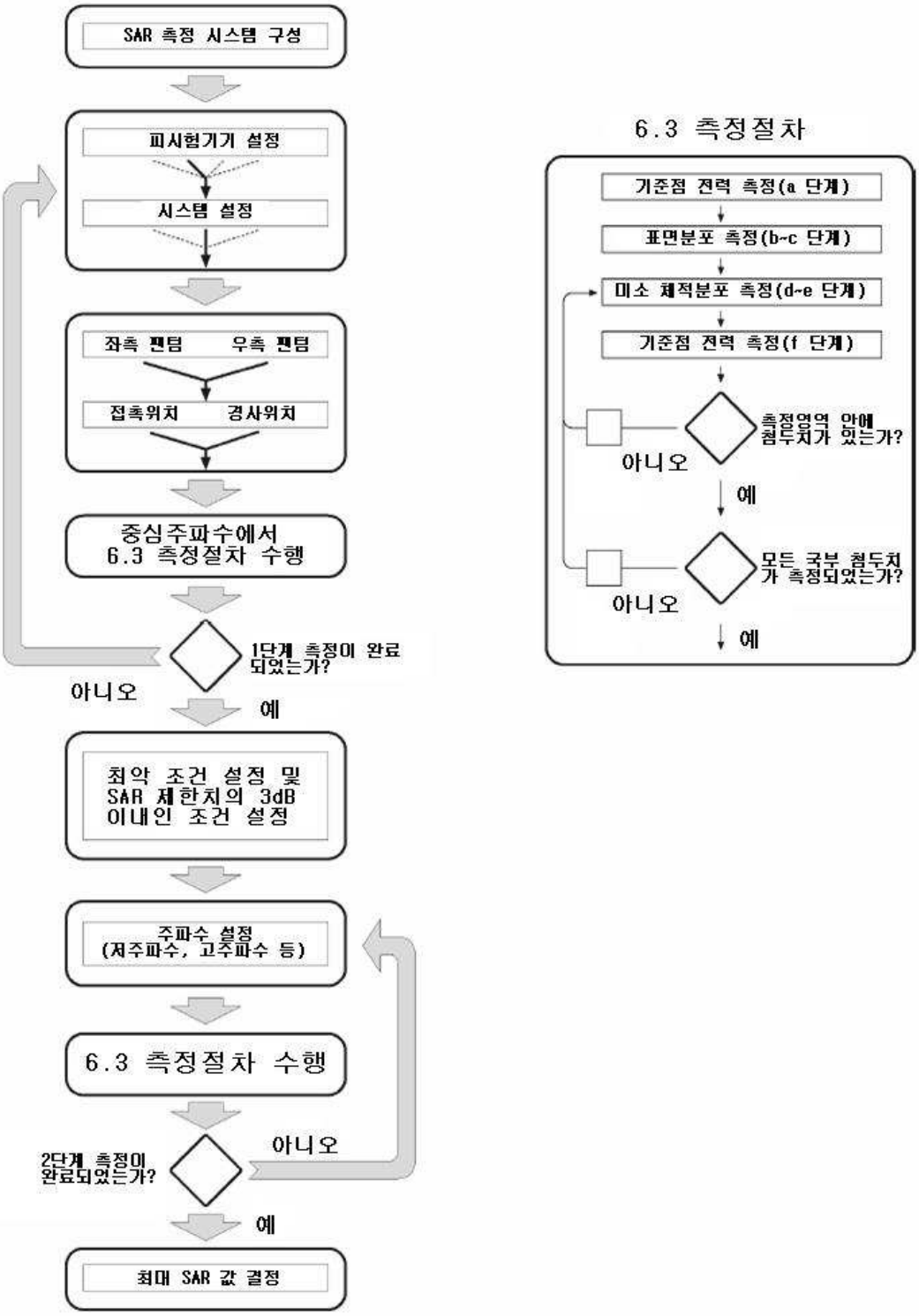

SAR 측정 시스템 구성
피시험기기 설정
시스템 설정
좌측 핀팀
우측 핀팀
접촉위치
경사위치
중심주파수에서
6.3 측정절차 수행
1단계 측정이 완료
되었는가?
아니오
예
최악 조건 설정 및
SAR 제한치의 3dB
이내인 조건 설정
주파수 설정
(저주파수, 고주파수 등)
6.3 측정절차 수행
2단계 측정이
완료되었는가?
아니오
예
최대 SAR 값 결정
6.3 측정절차
기준점 전력 측정(a 단계)
표면분포 측정(b~c 단계)
미소 체적분포 측정(d~e 단계)
기준점 전력 측정(f 단계)
측정영역 안에
첨두치가 있는가?
아니오
예
모든 국부 첨두치
가 측정되었는가?
아니오
예

그림 8 – 시험 절차도

6.3 측정 절차

6.2에 기술된 각 시험조건(그림 8 참조)은 다음 측정절차에 따른다:

a) 모의인체의 내부 표면으로부터 수직 방향으로 10 mm 내의 시험점에서 국부 SAR을 측정한다. 측정점은 되도록 귀에서 가까워야 한다.

b) 모의인체 내부의 SAR 분포를 측정한다(표면분포측정). SAR 분포는 머리 모의인체의 한쪽 내부 표면을 따라 측정되며, 측정영역은 적어도 휴대단말기와 안테나의 투사(projection) 영역보다 커야 한다. 공간 격자 간격은 20 mm보다 작아야 한다. 또한 7.2.4의 기준 함수를 이용하여 분해능 정확도를 평가할 수 있다. 표면분포 측정시, 프로브 다이폴 안테나들의 기하학적 중심과 모의인체 내부표면 사이의 거리는 8.0 mm(±1.0 mm) 이하가 되어야 한다. 모든 측정지점에서, 프로브와 모의인체 표면의 법선이 이루는 각은 가급적 30 °보다 작은 것이 바람직하다(그림 9 참조);

주) 프로브 각이 30 °보다 크고 측정 거리가 프로브 직경보다 작다면, 경계효과는 더 커지며 편파에 의존하게 된다. 따라서 이에 대한 추가적인 불확정도 분석이 필요하다.

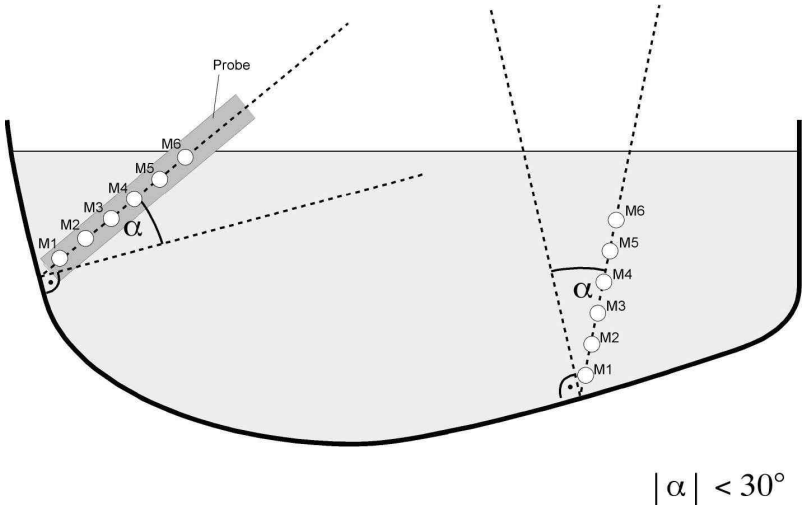
c) SAR 분포 측정으로 최대 SAR값을 갖는 위치뿐 만 아니라 정밀체적분포 측정 영역 내에 있지는 않지만 최대값의 2 dB 이내에 있는 국부 최대 지점들의 위치도 확인하여야 한다. 단, 이 추가 첨두치들은 최대첨두치가 SAR 기준치의 2 dB(즉, 1 g 평균 1.6 W/kg에 대해서는 1 W/kg, 10 g 평균 2 W/kg에 대해서는 1.26 W/kg) 이내일 경우에 한해 측정한다;

d) 정밀체적분포 측정의 격자간격은 8 mm 이하이고 최소한의 측정 부피는 30 mm × 30 mm × 30 mm이다. 수직방향의 격자 간격은 5 mm 이하(C.3.3 참조)로 하여야 한다. c)에서 얻은 각 국부 SAR 최대점들은 각각을 중심으로 하는 독립된 격자를 사용한다. 또한 매질 경계와 프로브의 유전체 케이스(또는 덮개) 간의 전자기장 왜곡으로 인한 불확정도는 최소가 되어야 하며, 그러기 위해서는 모의인체 표면과 프로브 끝단 사이의 거리가 프로브 끝단 직경의 절반 보다 커야 한다. 모든 측정지점에서, 프로브와 모의인체 표면의 법선이 이루는 각은 가급적 30 °보다 작은 것이 바람직하다(그림 9 참조);

주) 프로브 각이 30 °보다 크고 측정 거리가 프로브 직경보다 작다면, 경계효과는 더 커지며 편파에 의존하게 된다. 따라서 이에 대한 추가적인 불확정도 분석이 필요하다.

e) 부록 C에 기술된 내삽과 외삽의 정의를 이용하여 질량 평균시 필요한 공간 해상도를 확보하여 국부 SAR값을 계산한다.

f) 국부 SAR는 a)에서 사용한 위치와 정확하게 동일한 위치에서 측정되어야 한다. f)와 a) 사이의 측정 편차의 절대값은 불확정도 평가표(표 3)에 기록되어야 한다. 측정편차는 ±5 % 이내가 되어야 한다. 시험을 반복해도 이것이 불가능하다면, 기기의 출력 변화가 시험하는 동안 적절하다는 것을 보여 줄 수 있는 추가 정보(예를 들면, 시간에 따른 국부 SAR의 변화 데이터)를 제공하여야 한다. 기준점 전력 측정은 정밀체적분포측정이 2번 이상 필요한 경우 각 정밀체적분포측정 이후 할 수 있다. 그러나 출력의 편차는 항상 배터리가 완전하게 충전된 초기 상태에서의 전력 측정값과 연속하여 측정되는 모든 전력 측정값들 사이의 차이로 고려되어야 한다.



M1, ..., M6 표면의 외삽을 위해 사용한 측정 지점 예
α 표면의 법선과 프로브가 이루는 각

그림 9 – 서로 다른 위치에서 표면의 법선에 대한 프로브의 방향

6.4 SAR 측정 데이터의 후처리

6.4.1 내삽법

측정 격자의 해상도가 주어진 질량에 대한 평균 SAR을 계산할 수 있을 만큼 정밀하지 않다면, 측정 지점들 사이는 내삽한다. 부록 C에 내삽법을 예시하였다.

6.4.2 외삽법

전기장 프로브는 일반적으로 근접해 있는 세 개의 직교 다이폴로 구성되어 있으며, 이것은 보호 케이스(또는 덮개)로 덮여있다. 측정(또는 교정) 지점은 프로브의 끝으로부터 수 mm 떨어져 있으며 이 오프셋은 SAR 측정 지점 확인시 고려되어야 한다. 부록 C에 외삽법을 예시하였다.

6.4.3 평균 부피의 정의

평균 부피는 1 g 또는 10 g의 질량으로 이루어진 입방체 형태이어야 한다. 머리 조직 밀도는 1000 kg/m^{3}를 사용한다(실제 모의인체 액체의 밀도를 사용하지 않음). 1 g 입방체의 측면 길이는 10 mm이어야 하며, 10 g 입방체의 측면 길이는 21.5 mm이어야 한다.

입방체가 모의인체의 표면과 교차하는 경우, 입방체를 3개의 꼭지점이 외피의 표면에 닿게 하거나(C.2.2.1) 한 면의 중심이 표면에 접하도록(C.2.2.2) 위치시킨다. 외피에 가장 가까운 입방체의 면은 표면의 모양과 일치하도록 수정하고 이로 인해 더해진 부피만큼 입방체의 반대면에서 제거한다. 입방체 부피를 평균하는 방법은 부록 C에 있다. 앞서 정의된 질량 평균

SAR을 평가하는 방법은 부록 C에 기술되어 있다.

6.4.4 최대값 검색

부록 C에 주어진 바와 같이 몇 가지를 고려하면, 입방체 모양의 평균 부피는 최대 국부 SAR 부근에서 모의인체 내부 표면 근처의 정밀체적분포체적 안으로 이동되어야 한다. 가장 큰 최대 국부 SAR을 갖는 입방체는 정밀체적분포 측정 부피의 가장자리(또는 주변)에 있어서는 안 된다. 만약 그렇게 된다면, 정밀체적분포 측정 부피를 이동하고 측정을 반복한다.

7 불확정도 평가

7.1 일반 고려 사항

7.1.1 불확정도 평가의 개념

무선 기기의 SAR값 측정에 대한 불확정도 평가의 개념은 ISO/IEC의 “측정결과의 불확정도 산정 및 표현을 위한 지침”에 명시된 일반 규칙에 근거한다. 그럼에도 불구하고 복잡한 측정에 대한 불확정도 평가는 여전히 어려운 작업이며 높은 수준의 전문 공학 지식을 필요로 한다. 이 작업을 용이하게 하기 위해, 본 절에서는 각 개별 불확정도 요소를 평가할 수 있도록 지침과 근사 공식을 제공한다. 이 개념은 300 MHz에서 3 GHz까지의 전체 주파수 범위와 시험 대상 기기에 대한 시스템 불확정도를 제공하기 위한 것이다. 이것은 경우에 따라서 불확정도가 과대평가될 수도 있는 단점이 있지만 그 경우 이 절에서 제공하는 근사법을 사용할 수 있다. 게다가 시스템 설치 후 표 3을 시스템 제조업자가 제공할 수 있는 것처럼 불확정도 평가는 제3자에 의해 수행될 수 있다는 장점도 있다. 특정 주파수 대역의 불확정도 평가도 가능하지만 피하여야 한다. 이 경우, 지침이 어떤 영향량으로 인해 목표값과 X %의 편차를 허용한다면 표 3에는 특정 개별 편차가 아닌 최대 편차 X %로 기술되어야 한다. 데이터 집합으로부터 불확정도를 유도하는 방법뿐만 아니라 방법론, 각 요소에 대한 데이터 평가를 포함하는 각 영향량에 대한 세부 문서 없이 표 3만을 제공하는 것은 충분하지 않다는 것을 유의하여야 한다.

7.1.2 A형 평가와 B형 평가

A형 평가와 B형 평가 모두 표준 불확정도 평가에 사용되어야 한다. A형 분석이 수행될 때, 표준 불확정도 u_i 는 통계적 관측으로 추정된 표준편차를 사용하여 유도하여야 한다. B형 분석이 수행될 때, u_i 는 해당 양의 상한 a_+ 와 하한 a_- 로 도출되며 이때 확률분포함수는 다음과 같다. 여기서 $a = (a_+ - a_-)/2$로 정의된다:

- 직사각형 분포: $u_i = a/\sqrt{3}$
- 삼각형 분포: $u_i = a/\sqrt{6}$
- 정규 분포: $u_i = a/k$
- U형(비대칭) 분포: $u_i = a/\sqrt{2}$

여기서

a 영향량의 제한치로 정해지는 구간의 반

k 포함인자
u_i 표준 불확정도

같은 시험 장비에서 동일한 특정 기기 또는 같은 양을 n 회 반복 측정할 때, 평균 표준편차 ($= s/\sqrt{n}$)는 표준불확정도에 사용될 수 있다. 여기서 s는 같은 시험조건에 대해 이전에 기록된 더 큰 집합에서 얻은 표준편차이다. 더 큰 재시험 횟수에 근거하여 이전에 결정된 표준편차는 시스템, 방법, 구성 및 조건 등이 측정기기 시험을 나타내는 경우 불확정도 구성요소를 평가하기 위해 사용될 수 있다. 이전에 결정된 것에는 개별 EUT의 기여도가 포함되어있지 않다. 특정 기기에 대하여, 평균 표준편차의 n 값은 이전에 결정된 것에 사용된 시험횟수가 아니라 측정기기에 대한 시험 횟수이다.

7.1.3 자유도와 포함인자

자유도가 30보다 작을 때, 포함인자 2는 95 %의 신뢰수준에 도달하기 위해 사용되기에 적합한 승수(multiplier)는 아니다. 간단하지만 근사 보정 방법은 포함인자 k 대신 t를 사용하는 것이다. 여기서 t는 스튜던트의 t 인자이다. t 분포의 표준 편차는 정규(가우시안) 분포보다 좁지만, 곡선은 자유도가 큰 가우시안 모양에 가깝다. B형 평가에 근거하는 대부분의 표준불확정도에 대한 자유도는 무한대로 가정할 수 있다. 합성표준불확정도 유효 자유도 u_c는 A형 기여의 자유도와 B형 기여와 관련한 크기에 크게 의존한다.

작은 표본 집단에 대한 포함인자(k_p)는 다음 식으로 정해진다.

$$K_p=t_p(v_{eff}),$$

여기서

K_p는 주어진 확률 p에 대한 포함인자;
$t_p(v_{eff})$ 는 t 분포;
v_{eff}는 Welch-Satterthwaite 공식을 사용하여 평가된 유효 자유도:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^{m} \frac{c_i^4 u_i^4}{v_i}}$$

.

아래첨자 p는 근사 신뢰수준(예를 들면 95 %)을 나타낸다. $t_p(v_{eff})$ 도표는 NIST TN1279 참조.

주) 예를 들어, 위치 불확정도가 7 %일 때 표 3의 모든 영향량으로부터 계산된 합성 표준불확정도에서 v_c = 14.5 %이다. 또한 표본수나 시험 횟수가 5라고 가정하면, v_i = 4이고 다른 모든 구성요소

$$v_{eff} = u_c^4 \Big/ \sum_{i=1}^{m} \frac{c_i^4 u_i^4}{v_i}$$

의 자유도 $v_i = \infty$ 이다. 식 에서 k = 2이고 확장 불확정도 U = 29 %인 경우 v_{eff} = 74이다. 위치 분산에 대한 표준 불확정도가 9 %가 되고 시험 횟수가 4(v_i = 3)로 감소하면, v_c = 15.6 %, v_{eff} = 27, k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2.11, 그리고 확장불확정도 U = 2.11 × 15.6 = 32.9 % 이다.

7.2 불확정도에 기여하는 구성 요소

7.2.1 측정 시스템의 기여

7.2.1.1 측정 장비의 교정

부록 B에 설명된 민감도의 평가(또는 교정)를 위한 프로토콜은 불확정도 평가에 대한 접근법을 포함한다. 민감도에서의 불확정도는 정규 확률분포를 가정하여 평가되어야 한다.

7.2.1.2 프로브 등방성

프로브의 등방성은 부록 B에 정의된 프로토콜에 따라 측정하여야 한다. 등방성으로 인한 불확정도는 직사각형확률분포로 평가되어야 한다.

$$\text{총등방성불확정도} = \sqrt{(1-w_i)\times[\text{축등방성}]^2 + w_i \times[\text{반구등방성}]^2},$$

여기서 w_i는 프로브 끝단을 감싸는 가상의 구에 대한 전자기장 입사각의 가중치이다.

측정 중의 프로브 방향이 표면과 수직이면(±30°이내), w_i=0.5이고 그렇지 않으면 w_i=1이다.

7.2.1.3 프로브 선형성

프로브 선형성은 부록 B에 정의된 프로토콜에 따라 측정된 전기장 세기의 제곱으로 평가되어야 한다. 그 다음 선형성을 확립하기 위해 수정한다. 불확정도는 이러한 수정 후에 고려한다. 다이오드 센서는 펄스 전자기장에서 첨두치를 검파할 수 있기 때문에, 선형성은 두 가지 신호에서 - 연속파와 500 Hz(예를 들면, 11 Hz 또는 217 Hz 보다 더 보수적인 불확정도)의 반복률을 갖는 10 %의 동작계수에 대한 펄스 신호 - 평가되어야 한다. 평가는 3 dB 이하의 간격으로 0.4 W/kg에서 100 W/kg까지의 범위에서 수행되어야 한다. SAR 불확정도는 전체 평가 중 측정된 전자기장 세기의 제곱과 실제 전자기장 세기의 제곱 사이의 최대 편차로 평가된다. 불확정도는 직사각형확률분포를 가정하여 평가되어야 한다.

7.2.1.4 검출 한계값

검출 한계값은 부록 B에 정의된 프로토콜에 따라 평가되어야 한다. 7.2.1.3의 선형성 시험은 0.4 W/kg의 검출 하한치와 100 W/kg의 검출 상한치에 대한 불확정도 평가를 제공하며, 이 때 제공된 동작계수는 10 %와 100 %에 있다. 만약 이 범위를 벗어난다면, 7.2.1.3에 기술된 평가도 이에 따라 확장되어야 한다. 불확정도는 직사각형확률분포를 가정하여 평가되어야 한다.

7.2.1.5 경계 효과

프로브 경계 효과는 모의인체 외피에서 프로브 다이폴과 매질 경계 사이의 결합 효과에 의해 발생한다. 경계 효과의 특성은 부록 B에 기술된 바와 같이 도파관을 이용하여 평가될 수 있다. 프로브 경계 효과의 불확정도는 경계 효과를 나타내는 선형함수와 결합된 지수 감쇠

의 일차 근사로부터 도출되며 다음과 같다:

$$SAR_{unserta\,\mathrm{int}\,y}[\%] = \delta SAR_{be} \quad \frac{(d_{be}+d_{step})^2}{2d_{step}} \frac{(e^{-d_{be}/(\delta/2)})}{\delta/2} \; for \;\; (d_{be}+d_{step}) < 10 \;\; mm$$

여기서

$SAR_{uncertainty}$ 프로브 경계 효과의 불확정도[%];

d_{be} 표면과 정밀체적분포 측정시 표면과 가장 가까운 점 사이의 거리[mm];

d_{step} 두 번째 지점에서의 경계 효과가 무시할 수 있을 정도라고 가정할 때, 모의인체 표면과 가장 가까운 첫 번째와 두 번째 측정점 사이의 이격 거리[mm];

δ 본 측정절차에 정의된 머리 조직등가액체의 최소 침투 깊이[mm], 3 GHz에서는 δ = 14 mm이다;

$\delta\, SAR_{be}$ 경계면으로부터의 거리 d_{be}에서 측정된 SAR값과 이론적으로 계산된 SAR 값 사이의 편차[%].

직사각형분포를 사용하여 불확정도 표의 행과 열에 프로브 경계 효과의 불확정도를 입력한다.

7.2.1.6 전자 판독기(readout electronics)

증폭, 선형성, 프로브 장착과 평가 알고리즘 불확정도를 포함하는 전자기장 프로브 전자 판독기의 불확정도 구성요소들은 최악조건 상황에서 평가되어야 한다. 전자 판독기 구성요소들이 같은 크기의 허용오차를 갖는다면, 각각의 허용오차는 정규 확률분포를 사용한 표준 불확정도로 환산되어야 한다. 전체의 전자 판독기 불확정도를 얻기 위해 이들 불확정도들의 제곱 합의 제곱근(RSS : root sum square) 값을 이용한다.

7.2.1.7 응답 시간

프로브는 생체조직 등가용액 내의 모의인체 경계면에서 최소한 2 W/kg을 형성하는 잘 정의된 전기장에 노출되어야 한다. 신호 응답 시간은 측정 장비(프로브와 전자 판독기)가 전력 신호원의 단계 변화나 스위치 on/off 후 예상 최종값의 90 %에 도달하기까지 필요한 시간으로 평가된다. 이런 응답 시간에서 비롯되는 SAR 불확정도는 SAR값이 측정되는 동안 응답 시간의 두 배보다 긴 시간 동안 프로브가 공간적으로 정지되어있는 경우 무시될 수 있다. 이 경우 표 3의 3열에 0을 입력한다. 프로브가 응답 시간의 두 배 이상 동안 공간적으로 정지되어 있지 않은 경우, 3열에 응답 시간의 실제 불확정도를 입력한다.

7.2.1.8 적분 시간

휴대 단말기가 연속파(CW) 신호를 방사하지 않거나 판독 시스템이 신호를 제대로 추적하지 못한다면, 특정 점에서의 전기장을 측정하는데 적용되는 적분 시간은 이러한 불연속성으로 인한 추가의 불확정도를 가져올 수 있다. 이 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 평가할 때 직사각형확률분포로 가정한다.

주) TDMA 신호(t_{frame}=프레임 주기)에 대해서는 정의된 적분 시간(t_{int})에 대한 최대불확정도는 다음 식으로 주어진다:

$$SAR_{uncertainty}[\%] = 100 \times \sum_{all\ sub-frame} \frac{t_{frame}}{t_{int}} \frac{slot_{idle}}{slot_{total}}$$ $t_{int} > t_{frame}$ 인 경우,

여기서
$SAR_{uncertainty}$ 적분 시간 불확정도[%];
t_{frame} 프레임 지속 시간;
$slot_{idle}$ 한 프레임에서의 유휴 슬롯의 수;
$slot_{total}$ 한 프레임에서의 총 슬롯의 수.

직사각형분포로 가정하여 이 값을 불확정도 표에 기입한다.

7.2.2 기계장치 제약의 기여

7.2.2.1 주사 시스템

전자기장 프로브 위치 제어기의 기계장치 제약은 프로브 위치 결정의 정확성과 재현성의 편차를 가져올 수 있고 그것은 측정된 SAR의 불확정도에 기여한다. 불확정도는 전자기장 프로브 센서의 기하학적인 중심으로 정의되는 실제 측정 위치에 대한 프로브 위치제어기의 규격에 의한 상대 위치와 비교되어 평가되며, 이 때 최대 편차는 d_{ss}로 표시한다. 직사각형확률분포로 가정하면, 프로브 위치 제어기의 기계장치 제약으로 인한 공간 평균 첨두 SAR 불확정도 기여 d_{ss}는 다음과 같이 일차 근사를 이용하여 계산할 수 있다:

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

여기서
$SAR_{uncertainty}$ 불확정도[%];
d_{ss} 시스템 제조자가 정의하는 기준점에서 계산된 프로브 센서의 중심점의 위치와 실제위치 사이의 최대 위치 불확정도;
δ 본 측정절차에 정의된 머리 생체조직 등가용액의 최소 침투 깊이[mm], 3 GHz에서는 δ = 14 mm이다.

위치 제어기의 제조자가 프로브 위치 제어기의 기계장치 제약을 명시하지 않은 경우, 기계장치 제약은 SAR 측정 불확정도에 대한 기여를 결정하기 위해 평가되어야 한다. 이것은 실제로 불확정도를 얻기 위해 단순히 표면분포 측정 영역에서의 상대적인 이동 정확성을 구하고 소프트웨어로 정해진 위치에서의 차이를 변환하여 수행할 수 있다. SAR 허용 오차는 직사각형분포를 가정하여 표 3의 3열에 입력한다.

7.2.2.2 모의인체 외피

모의인체 불확정도는 모의인체 제조상의 오차로 인해 발생하는 공간평균 첨두 SAR의 불확정도와 팬텀 내부 생체조직 등가용액내의 전기정수 불확정도로 정의된다(7.2.3.3, 7.2.3.4 참조). 모의인체 제조상의 오차는 다음을 포함한다:

- 본 측정절차에 이용되는 CAD 파일에 대한 모의인체 외피의 내부 및 외부 모양의 편차

- CAD 파일에 대한 모의인체 외피 두께의 편차

불확정도는 신호원으로부터의 거리에 대한 SAR의 의존도가 최악조건일 때 평가된다. 즉, 머리 생체조직 등가용액과 불확정도는 거리에 대한 최악 의존도, 즉, 거리의 제곱에 의존하며 머리 액체 모의 조직 및 신호와 등가인 필라멘트 전류 밀도 사이 a = 10 mm의 거리를 가정한다(등가 전류 밀도는 가장 가까운 전류원이 아니라 국부 자기장 분포를 근사한 전류

밀도이다.).

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

$$SAR_{uncertainty}[\%] = 100 \times \frac{2d}{a} \qquad \text{if } d << a$$

여기서

$SAR_{uncertainty}$ 불확정도[%];

d 외피 두께와 모의인체 모양의 최대 허용 오차;

a 머리 생체조직 등가용액과 등가 필라멘트 전류 밀도 발생 위치 사이의 거리.

불확정도는 직사각형분포를 가정하여 표 3의 해당 행에 입력한다.

7.2.2.3 모의인체 외피 표면에 대한 프로브 위치

모의인체 외피 d_{ph}에 대한 프로브 위치 제어기의 불확정도는 평가되어야 한다. 직사각형확률분포로 가정하며, 공간 평균 첨두 SAR 불확정도 기여는 일차 오차 근사식을 사용하여 계산한다.

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

여기서

$SAR_{uncertainty}$ 불확정도[%];

d_{ph} 프로브 끝단과 모의인체 외피 사이의 거리를 정하기 위한 불확정도. 즉, 프로브 끝단에 대한 모의인체 위치를 정하는 허용 오차이다;

δ 본 측정절차에 정의된 머리 생체조직 등가용액의 최소 침투 깊이[mm], 3 GHz에서는 δ = 14 mm이다.

SAR 불확정도는 직사각형분포를 가정하여 표 3의 3행에 입력한다.

7.2.2.4 기기의 위치와 거치대 불확정도

기기 거치대는 SAR 측정시 모의인체에 대한 휴대단말기의 시험위치를 정하는데 사용된다. 기기 거치대는 피시험 휴대단말기의 특성에 영향을 줄 수도 있기 때문에, 기기 거치대의 섭동으로 인한 SAR 불확정도는 7.2.2.4.1의 절차를 이용하여 평가되어야 한다. 기기 거치대의 기계장치 허용 오차로부터 초래되는 위치 변동으로 인한 SAR 허용 오차에 대한 절차는 7.2.2.4.2에서 기술되어있다. 두 절에는 기기 고유의 불확정도와 사전에 결정된 불확정도에 대한 절차가 포함되어 있다. 사전에 결정된 불확정도가 이용된다면, 대부분의 경우 사전에 결정된 표준편차를 좀 더 감소시키기 위한 기기 고유의 시험이 반복될 수 있다.

7.2.2.4.1 피시험기기 거치대로 인한 섭동 불확정도

피시험기기 거치대는 5 미만의 유전 상수와 0.05 미만의 손실 탄젠트(이 물질의 파라미터는 오픈 동축 접촉 프로브 방식으로 측정될 수 있다)의 저손실 유전 물질로 이루어져야 한다. 그렇지만, 거치대는 여전히 신호원에 영향을 줄 수 있으므로 거치대로부터 초래되는 불확정

도(즉, 거치대가 없는 상황과의 편차)가 평가되어야 한다. 특정 시험 기기의 불확정도는 B형 방법인 7.2.2.4.1.1에 기술되어 있는 방법에 따라서 결정되어야 한다. 7.2.2.4.1.2에 기술되어 있는 방법은 유사한 SAR 특성을 갖고 있으며 동일한 기기 거치대를 이용하여 시험되는 휴대단말기에 대한 불확정도를 평가하는 A형의 방법을 제공한다.

7.2.2.4.1.1 특정 시험기기에 대한 기기 거치대의 섭동 불확정도: B 유형

시험을 위한 특정 상태에서 동작하는 특정 송수화기에 대한 불확정도는 평면 모의인체를 이용하여 다음과 같은 두 가지 시험을 실시함으로써 평가하여야 한다.

a) 머리에 대해 시험하였던 방법과 동일하게 거치대에 휴대단말기를 장착하고 휴대단말기를 평면 모의인체와 직접 접촉하도록 송수화기를 위치시켜(휴대단말기의 수평, 수직 중앙선을 평면 모의인체의 바닥과 평행하게 함) 공간평균 첨두 SAR($SAR_{w/\ holder}$)을 평가함.

b) 스티로폼 또는 등가 저손실 및 비(非)반사 재료를 이용(1.2 미만의 유전율 및 10^{-5} 미만의 손실 탄젠트)하여 동일한 위치에 기기를 장착하여 공간평균 첨두 SAR($SAR_{w/o\ holder}$)을 평가함.

표 3에 사용되는 SAR 허용오차는:

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

여기서

$SAR_{uncertainty}$	불확정도[%]
$SAR_{w/\ holder}$	기기 거치대를 사용했을 때의 SAR[W/kg]
$SAR_{w/o\ holder}$	기기 거치대를 사용하지 않았을 때의 SAR[W/kg]

이 불확정도는 직사각형확률분포와 $v_i = \infty$의 자유도를 가지는 것으로 가정한다.

7.2.2.4.1.2 특정 시험기기에 대한 기기 거치대의 섭동 불확정도: A 유형

A 유형의 불확정도 분석은 모양과 SAR 분포가 유사한 휴대단말기에 적용될 수 있다. 이 분석에 기인하는 불확정도는 유사한 SAR 특성을 갖고 있으며 동일한 기기 거치대를 이용하여 시험하는 다른 휴대단말기에 적용할 수 있으며, 7.2.2.4.1.1에 기술된 특정 시험은 피할 수 있다. 서로 다른 구조를 갖는 N개의 휴대단말기 모델에 대한 거치대의 영향은 각 모델에 대해 7.2.2.4.1.1의 시험을 수행하여 평가되어야 한다 (N 은 최소한 6 이상이어야 한다).

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

여기서

$SAR_{uncertainty}$	불확정도[%]
$SAR_{w/\ holder}$	기기 거치대를 사용했을 때의 SAR[W/kg]
$SAR_{w/o\ holder}$	기기 거치대를 사용하지 않았을 때의 SAR[W/kg]

표 3의 해당 불확정도는 각 개별 불확정도의 실효치(RMS)를 사용하여 평가되어야 하며 이때 자유도는 $v_i = N - 1$이다. 휴대단말기 설계 변경을 고려하여 일년에 한번 불확정도 자료를 갱신하는 것이 바람직하다.

7.2.2.4.2 특정 시험기기 거치대를 사용하는 휴대단말기 위치 불확정도: A 유형

본 측정절차에 기술된 위치와 휴대단말기의 실제 위치 사이의 편차는 시험원의 판단과 취급 뿐만 아니라 휴대단말기 거치대의 정밀도에도 의존한다. 또한 공간평균 첨두 SAR값에 대한 편차의 크기는 휴대단말기의 디자인에도 의존한다. 이 파라미터는 분리될 수 없기 때문에 다음과 같은 A 유형 시험을 수행하여야 한다.

7.2.2.4.2.1 특정 기기 거치대에 대한 특정 휴대단말기의 위치 불확정도

최대 공간 첨두 SAR값을 위한 기기의 구성과 위치가 표준화된 프로토콜에 따라 평가될 때, 그 평가는 총 $N \geq 5$인 시험에 대해 최소한 4회 이상 반복하여야 한다. 표준편차는 퍼센트 단위로 계산하여야 하며, 이에 따른 자유도는 $v_i = N - 1$로 가정한다.

7.2.2.4.2.2 특정 기기 거치대에 대한 특정 형태를 갖는 휴대단말기의 위치 불확정도

A 유형의 불확정도 분석은 모양과 SAR 분포가 유사한 휴대단말기에 적용될 수 있다. M은 최소한 6이어야 하며, 각 M개의 시험은 7.2.2.4.2.1에 따라(N회) 수행되어야 한다. M개 시험의 반은 접촉위치에서 시험하고 나머지 반은 경사위치에서 시험하여야 한다. 해당 불확정도는 M개의 개별 표준편차의 실효치(RMS)값을 적용하여 평가되어야 한다. 불확정도 표에 채워진 값은 68 %의 신뢰구간에 해당하는 k = 1을 갖는 표준편차가 되어야 한다. 자유도는 $v_i = (N \times M) - 1$이다. 이 절차가 불확정도를 결정하는데 적용된다면, 개별 휴대단말기에 7.2.2.4.2.1을 적용할 필요가 없을 수도 있다. 휴대단말기 설계 변경을 고려하여 일년에 한번 불확정도 자료를 갱신한다.

7.2.3 물리적 파라미터의 기여

7.2.3.1 서론

조직 유전 파라미터 시험 방법에 대한 세부사항은 부록 J를 참고하고, 불확정도 평가방법은 J.7을 참고한다.

주) 평소 계측 연습을 통해, 각 유전파라미터의 측정 불확정도가 측정된 유전 파라미터의 목표값에 대한 허용범위에 들도록 하는 것이 바람직하다.

7.2.3.2 액체 밀도

조직등가액체의 전자기적 파라미터는 밀도가 1000 kg/m^{3}이라고 가정한 값이다. SAR 평가에서는 이 밀도값을 사용한다.

7.2.3.3 액체 도전율

액체 도전율로 인한 불확정도는 서로 다른 두 원인으로 인해 발생한다. 불확정도의 첫 번째 원인은 표 1의 목표값과 ±5 %의 허용편차이고 불확정도의 두 번째 원인은 도전율 평가에 이용되는 측정 절차에서 발생한다. 이 불확정도는 직사각형확률분포를 이용하여 평가해야 한다.

7.2.3.4 액체 유전율

액체 유전율로 인한 불확정도는 서로 다른 두 원인으로 인해 발생한다. 불확정도의 첫 번째

원인은 표 1의 목표값과 ±5 %의 허용편차이고 불확정도의 두 번째 원인은 도전율 평가에 이용되는 측정 절차에서 발생한다. 이 불확정도는 직사각형확률분포를 이용하여 평가하여야 한다(J.7절 참조).

7.2.3.5 기기, 프로브, 온도 및 습도에 의한 출력의 편이(偏移)

온도와 습도뿐만 아니라 시험기기와 측정 장비의 전자장치로 인한 출력의 편차와 편이는 6.3에 정의된 측정 과정의 처음 단계와 마지막 단계에 의해서 정해지며 허용범위는 ±5 % 미만이다. 이 불확정도는 직사각형확률분포로 가정하여 평가되어야 한다.

7.2.3.6 환경의 섭동(攝動)

환경 섭동에 기여하는 요소는 다양하다.
- 실험실 내부의 반사파,
- 모의인체 외피와 무선기기 거치대로 인한 전자기적 특성의 영향,
- 전자기장의 배경 잡음 레벨.

허용오차는 ± 3 % 이내이어야 하며, 불확정도는 직사각형확률분포로 가정하여 평가한다.

7.2.4 후처리의 기여

7.2.4.1 서론

본 항에서는 공간평균 첨두 1 g 및 10 g SAR값을 결정하기 위해 불연속적으로 측정된 데이터를 후처리할 때 발생하는 불확정도(내삽, 외삽, 평균 및 최대값 찾기 알고리즘의 합성불확정도)의 평가에 대해 기술하고 있다. 이러한 알고리즘에는 전자기장 반응에 대한 일반적인 가정으로 인한 불확정도가 추가될 수도 있다. 따라서 이러한 알고리즘이 특정 휴대단말기에 대한 생체조직 등가용액에서의 전기장 분포를 완벽하게 예측하지 못할 수도 있다. 알고리즘 불확정도는 표면분포측정 및 정밀체적분포측정에서 사용되는 측정 및 후처리 방법을 위해 선택된 분해능의 함수이다.

첨두 위치에서의 실제 SAR 분포는 동작 주파수와 휴대단말기의 디자인, 시험 위치, 그리고 생체조직 등가용액에 대한 유사성에 강하게 의존한다. SAR 분포는 낮은 주파수 신호원이 먼 거리에 있는 경우 다소 평탄한 기울기를 가질 수 있거나, 헬리컬 안테나와 같은 소형의 높은 주파수 신호원이 조직 근처에 놓일 때 매우 가파른 기울기를 가질 수 있다. 그러한 경우, 최대 SAR은 표면에서의 자기장 소멸로 인해 모의인체의 표면에 분포하지 않는다.

아래에 나타난 분석적 SAR 분포 함수는 이러한 조건을 모의 실험하기 위한 것이며, 이 불확정도를 평가하기 위한 목적으로 개발되었다. 실험적으로 도출된 이 기준 함수는 시스템 소프트웨어의 후처리 서브루틴을 시험하기 위해 인위적이고 “가상”의 SAR 데이터 집합을 생성하는데 이용된다. 측정에서 사용된 것과 동일한 표면분포측정과 정밀체적분포 측정 격자에서 계산된 기준 함수값을 SAR 시스템 소프트웨어에 입력한다. 측정시 사용된 표면분포 및 정밀체적분포 격자에 대응하는 격자점에서의 SAR값은 7.2.4.2에 있는 3 가지 SAR 분포에 따라서 계산되며, 마치 실제로 측정된 것처럼 시스템의 내삽, 외삽 및 적분 알고리즘에 의해 처리된다. 1 g 및 10 g SAR값 결과는 7.2.4.2에 기록되는 SAR 기준값과 비교한다. 표면분포 및 정밀체적분포 주사(走査)의 후처리 알고리즘에 의한 SAR 불확정도 평가 절차는 7.2.4.3에 기술되어 있다. 시험 함수는 조직(tissue)과 모의인체 접촉면이 평면임을 가정한다. 이 함수를 곡면에 적용하는 방법은 7.2.4.4에 기술되어 있다. 이 불확정도 개념은 분석적 분

포 함수를 이용하여 계산되는 격자점 위치에서 오류가 없으며, 프로브 위치 결정 및 측정의 불확정도는 포함되지 않는다고 가정한다.

7.2.4.2 평가 시험 함수

세 해석 함수 f_1, f_2, f_3은 본 문서의 절차에 따라서 시험되는 휴대단말기에 대한 예상 SAR 분포의 범위를 나타내기 위해 이용된다. 공간적으로 평탄한 분포인 f_1과 공간적으로 가파른 분포인 f_3은 휴대단말기의 SAR 측정시 전자기장 기울기의 예상 범위를 포함하기 위해 사용된다. 함수 f_2는 모의인체/생체조직 등가용액 표면에서 자기장이 소멸하는 노출 조건을 고려하기 위해 이용된다. 이 분포 함수들은 $z = 0$인 모의인체 표면에 대해 정의되며, 모든 $z > 0$인 반공간(half-space)의 생체조직 등가용액에 대해서도 정의된다.

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

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

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

여기서
$x' = x + d$ mm;
$y' = y + d$ mm;
d = offset parameter;
a = 20 mm;
A = 1 W/kg.
위 파라미터 a와 A는 적절한 SAR 분포의 생성 이외에는 특별한 물리적 의미를 갖지 않는다. 예를 들면 d = 2.5 mm라는 값은 SAR 분포를 옆으로 이동시키라는 의미이며, 그리하면 첨두 위치는 5 mm 간격의 측정 격자와 일렬로 배열되지 않는다. 이 오프셋은 소프트웨어의 첨두치 탐색 서브루틴과 불확정도를 시험하기 위해 이용된다. (x, y, z) 좌표축에 일렬로 정렬되는 1 g 및 10 g 입방체에 대한 분포 함수 f_1, f_2, f_3 의 기준 SAR값은 아래 표 2에 주어져있다. 이 기준값은 다음 세부항에서 기타 데이터 처리함수를 시험하기 위해 사용된다.

표 2 – 후처리 불확정도 평가를 위한 기준 SAR값[단위: W/kg]

함수	기준 SAR값 [W/kg]	
	1 g 입방체	10 g 입방체
f_1	0.881	0.759
f_2	1.796	1.375
f_3	3.049	1.385

7.2.4.3 데이터 처리 알고리즘의 불확정도 평가

7.2.4.3.1 표면분포측정의 평가

주어진 불확정도를 갖도록 하는 공간평균 첨두 SAR 평가의 전제조건은 공간평균 첨두 SAR이 정밀체적 입방체에 완전하게 둘러싸일 정도의 정밀도를 갖춘 표면분포 측정 데이터로부터 최대 노출 위치가 결정될 수 있는 것이다. 즉, 표면분포 측정 내삽 알고리즘은 첨두 SAR 위치를 $\pm L_z/2$ mm 이상의 정확도로 결정할 수 있어야 한다. 여기서 L_z 는 정밀체적 입방체의 측면 길이이다. 이 전제 조건이 충족된다 하더라도, 본 세부항의 절차를 이용하여 시험하여 이 전제조건이 충족된다면, 표면분포 측정 평가는 불확정도 성분에 기여하지 않는다.

일반적인 표면분포 측정 격자점에서 계산된 기준 함수값은 시스템 소프트웨어에 입력된다. 내삽 알고리즘에서는 이러한 데이터 포인트를 마치 표면분포 주사를 완료하고 첨두 SAR 위치(x_{eval}, y_{eval})를 결정하기 위해 측정된 것처럼 다룬다. 이것은 d = 2.5 mm인 경우, (x_{ref}, y_{ref}) = (-2.5, -2.5) mm에서 해석 함수에 의해 정의된 실제 첨두 위치와 비교된다. 아래첨자 "*eval*"과 "*ref*"는 각각 evaluated와 reference를 나타낸다. 즉, 다음과 같은 부등식을 만족하여야 한다:

$$\left| x_{ref} - x_{eval} \right| \le L_z / 2 \ \ mm$$

$$\left| y_{ref} - y_{eval} \right| \le L_z / 2 \ \ mm$$

SAR 첨두치의 위치를 정확하게 결정할 수 있는 2차원 표면분포 측정은 표면분포 주사 격자의 공간 분해능(Δx, Δy), 내삽값의 공간 분해능(Δx_i, Δy_i) 그리고 사용된 내삽 함수[$g_i(x)$, $g_i(y)$]의 유형에 의존한다. 또한 실제 첨두 위치에 대한 평가 격자의 위치(x_{ref}, y_{ref})와 사용된 평가점의 수(N_x, N_y)에도 의존한다.

다음 절차는 첨두 SAR 위치를 결정하기 위해 표면분포 측정에서 사용되는 내삽 알고리즘의 불확정도를 평가하는데 이용되어야 한다:

a) 측정 분해능(Δx, Δy)과 (측정점과 대응하는) 평가점의 수(N_x, N_y)를 선정한다. 표면분포 영역의 중심을 (x_0, y_0) = (0, 0)으로 설정하여야 한다.

b) SAR값은 아래 범위의 표면분포 측정 평가 격자점에서 함수 f_1, f_2, f_3 을 사용하여 계산된다:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \le x \le x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2],$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \le y \le y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2],$$

여기서 N_x 와 N_y 는 홀수 정수라고 가정한다. 첨두 SAR의 위치는 이들 함수에서 z와 독립적이므로 z = 0으로 가정한다.

c) 세 분포 함수에 의해 계산된 SAR값은 첨두 SAR 위치(x_{eval}, y_{eval})를 결정하는 시스템이 사용하는 내삽 함수 [$g_i(x)$, $g_i(y)$]에 따라 (Δx_i, Δy_i)의 공간 분해능을 갖는 SAR 측정 시스템에 의해 내삽 된다. 측정 시스템이 평가 수행을 위해 가져온 SAR값을 허용하지 않는다면, 동일한 알고리즘은 내삽 및 첨두 탐색 불확정도를 결정하기 위한 다른 방법을 사용하여 독립적으로 실행되어야 한다.

d) 내삽 알고리즘에 의해 결정되는 첨두 SAR 위치는 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\left|x_t - x_e\right| \le L_z / 2 \quad mm$$

$$\left|y_t - y_e\right| \le L_z / 2 \quad mm$$

그렇지 않은 경우, 데이터 처리 및 측정 시스템은 b) 단계에서 시작하는 평가를 반복하기 위해 더 미세한 격자 분해능 그리고/또는 더 많은 수의 내삽점을 사용하여야 한다.

e) $0 < x_0 \le \Delta x/2$ 와 $0 < y_0 \le \Delta y/2$ 범위에서 이동된 각 (x_0, y_0)에 대해 b) 단계에서 시작하는 평가를 반복하기 위해 표면분포 측정의 중심 (x_0, y_0)은 이 범위 내에서 1 mm 간격으로 이동되어야 한다.

7.2.4.3.2 정밀체적분포측정의 평가

정밀체적분포측정은 가장 큰 1 g 또는 10 g SAR값과 7.2.4.2의 기준 SAR값과 비교하여 평가된다. 7.2.4.3.1의 표면분포 측정 절차로부터, 실제 첨두 위치(x_{ref}, y_{ref})는 다음 식에 의해 주어진 추정 첨두 위치(x_{eval}, y_{eval})로 바뀔 것이다.

$$\left|x_{ref} - x_{eval}\right| \le L_z / 2 \quad mm$$

$$\left|y_{ref} - y_{eval}\right| \le L_z / 2 \quad mm$$

이 변위는 7.2.4.2의 기준 함수 f_1, f_2, f_3 에서 거리 d와 개념을 단일화하여 고려된다. 이 변위는 사실상 변수이므로, d 값은 다음 범위 내에서 변동되어야 한다:

$$|d| \le (L_z - L_c)/2.$$

여기서 L_c 는 입방체의 측면 길이(1 g에 대해 10 mm, 10 g에 대해 21.5 mm)이다. 각 거리 d 에 대해, 3 가지 함수에 의해 생성되는 최대 불확정도가 기록된다. 여러 가지 거리 d에 대한 최대 불확정도 값의 실효치는 외삽, 내삽 그리고 적분으로 인한 불확정도로 기입된다.

주) 표면분포 측정의 요구 조건은 국부 첨두 SAR이 $|d| \le L_z/2$의 범위 내에 있어야 하는 것이지만, 여기서는 첫 번째 시도에서 1g 또는 10g 입방체가 계산될 수 있도록 하기 위해 더 작은 범위인 $|d| \le (L_z - L_c)/2$가 이용된다. $(L_z - L_c)/2 < |d| \le L_z/2$ 값에 대해서는, 측정 소프트웨어가 1 g 또는 10 g 입방체를 검출하지 못하여 측정을 다시 해야 한다는 문제점이 있다. 이것은 불확정도에는 영향을 미치지 않을 것이므로, 여기서는 이러한 경우를 고려할 필요가 없다.

a) 함수 f_1, f_2, f_3 평가를 위한 변위 d는 적은 증분(예, 1 mm 간격)으로 $-(L_z - L_c)/2$에서 $+(L_z - L_c)/2$까지의 범위에서 변하도록 선택한다. 또한 d는 x 방향 및 y 방향에 대해 서로 독립적이다.

b) SAR값은 정밀체적분포측정점과 대응하는 평가 격자점에서 함수 f_1, f_2, f_3 에 따라 계산된다. 정밀체적분포 중심점은 다음으로 정해진다.

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + d_{be})$$

여기서
L_h 정밀 주사 체적의 높이,

d_{be} 내부 표면에서 가장 가까운 측정점까지의 거리.

c) 정밀체적분포 측정시 프로브의 구조적 제약으로 측정될 수 없는 영역에서 추가 데이터를 구하기 위해, 계산된 SAR값은 시스템 소프트웨어에 의해 z = 0인 모의인체 표면까지 외삽 된다. 그런 다음 계산된 데이터와 외삽된 데이터 모두 시스템 소프트웨어에 의해 더 미세한 분해능을 갖도록 내삽 된다. 그 다음 최대 1 g 또는 10 g SAR을 결정하기 위해 정밀체적분포 영역에서 공간평균 첨두 SAR을 찾기 위한 검색 알고리즘뿐만 아니라 적분 알고리즘을 적용한다. 다른 절차도 가능하다. 측정 시스템이 평가 수행을 위해 가져온 SAR값을 허용하지 않는다면, 동일한 알고리즘은 내삽 및 첨두 탐색 불확정도를 결정하기 위한 다른 방법을 사용하여 독립적으로 실행되어야 한다.

d) 시스템이나 데이터 처리 소프트웨어에 의해 결정된 1 g 및 10 g SAR값(SAR_{eval})은 7.2.4.2에서 주어진 기준 SAR값과 비교된다. 각 분포 함수에 대한 SAR 불확정도는 다음 식으로 계산된다.

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

e) 세 분포 함수 중 어느 쪽을 사용하든 평가된 최대 SAR 불확정도를 기록한다.
f) 기타 변위값 d 에 대해 b)부터 d)까지의 단계를 반복한다.
g) 위의 각 변위 d 에 대해 d) 단계에서 계산된 불확정도의 실효치 값을 계산한다. 이 값은 외삽, 내삽, 적분에 의한 불확정도와 같이 표 3의 해당 행과 열에 기입되어야 한다.

h) 정밀체적분포의 불확정도를 평가하기 위해 사용되는 다음 파라미터들을 기록한다:

- 3차원의 다수의 격자점들과 표본 간격을 가지며 기준 함수를 표본화하기 위해 사용되는 격자의 크기;
- 기준 함수에 대해, 두 시험 점 사이에 속한 내삽점의 수 또는 세 방향의 내삽 분해능;
- 외삽영역의 크기(d_{be}). 즉, 첫 번째 측정 지점에서 프로브 센서의 위치와 모의인체 표면 사이의 거리(여기서 측정 지점은 프로브 끝단 이전 부분이다.);
- 내삽, 외삽 및 사용된 평균화 알고리즘.

계산조건(세 방향에 대한 격자점의 수, 격자 크기 및 내삽점의 수 등)은 모든 함수에 대해 동일하여야 한다.

7.2.4.4 곡면의 평가

7.2.4.3의 절차는 생체조직 등가용액과 모의인체 경계가 평면이라고 가정한 것이다. 그러나 평면 생체조직 등가용액과 모의인체 경계에 대하여 이들 함수로 평가된 불확정도는 평탄한 곡면에 대해서도 유효하다. 이 평면에 근거한 함수는 표면으로부터 격자까지의 거리가 동일하게 하도록 하는 절차에 준하는 시험에 적용할 때 어떠한 제한도 주지 않는다. 이 절차는 그림 10에 나타난 바와 같이 평균화된 체적을 만들어낸다. 그러나 평평한 생체조직 등가용액과 모의인체 경계에 대해 이러한 함수를 사용하여 평가한 불확정도는 평탄한 곡면에 대해서도 유효하다. 그림 10은 SAR 후처리시 적절한 입방체 모양설정 방법을 나타내고 있다. 조직/액체 접촉면에 접하는 체적의 앞면은 모든 SAR 첨두치가 확실하게 포착되도록 곡면 경계와 맞아야 한다. 후면은 정확한 평균 질량을 유지하도록 동일한 모양으로 형성되어야 한다. 나머지 4개 면의 평평도와 방향은 불변이다.

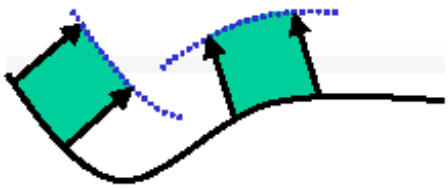


그림 10 - 모의인체 표면에 대한 평균 체적의 방향 및 표면

7.3 불확정도 평가

7.3.1 합성 및 확장 불확정도

불확정도의 각 구성 요소의 기여분은 그 명칭, 확률 분포, 민감도 계수 그리고 불확정도 값과 함께 기록되어야 한다. 표 3은 표로 만들어 기록된 예이다. 합성 불확정도는 다음 식에 따라 평가되어야 한다:

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

여기서 c_i는 민감도 계수이고 u_i는 표준 불확정도이다. 확장 불확정도 U는 95 %의 신뢰 구간으로 평가되어야 한다.

7.3.2 최대 확장 불확정도

95 %의 신뢰구간을 갖는 확장 불확정도는 0.4 내지 10 W/kg의 범위에서 공간평균 첨두 SAR값의 30 %를 초과해서는 안 된다. 불확정도가 30 %를 초과하는 경우, 기록된 데이터가 실제 불확정도와 30 % 목표값 사이의 퍼센트 차를 설명하도록 고려될 필요가 있다.

표 3 – 휴대단말기의 SAR 측정에 대한 측정 불확정도 평가표

A	*b*	*c*	*d*	*e= f(d, k)*	*f*	*g*	*h= c×f/e*	*l= c×g/e*	*k*
불확정도 소스	설명	불확정도값 ±%	확률 분포	제수	c_i (1 g)	c_i (10 g)	표준 불확정도 ±%,(1g)	표준 불확정도 ±%,(10g)	v_i 또는 v_{eff}
측정 시스템									
프로브 교정	7.2.1		N	1	1	1			∞
등방성	7.2.1.2		R	√3	1	1			∞
경계 효과	7.2.1.5		R	√3	1	1			∞
선형성	7.2.1.3		R	√3	1	1			∞
검출 제한치	7.2.1.4		R	√3	1	1			∞
전자 판독	7.2.1.6		N	1	1	1			∞
응답 시간	7.2.1.7		R	√3	1	1			∞
적분 시간	7.2.1.8		R	√3	1	1			∞
RF 환경조건 - 잡음	7.2.3.6		R	√3	1	1			∞
RF 환경조건 - 반사	7.2.3.6		R	√3	1	1			∞
프로브 위치제어기의 기계적 제약	7.2.2.1		R	√3	1	1			∞
모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정	7.2.2.3		R	√3	1	1			∞
후처리	7.2.4		R	√3	1	1			∞
시험 샘플 관련									
시험 샘플 위치 결정	7.2.2.4		N	1	1	1			M-1
피시험기기 거치대 불확정도	7.2.2.4.2		N	1	1	1			M-1
출력 전력의 편이	7.2.3.5		R	√3	1	1			∞
모의인체 및 설정									
모의인체 불확정도 (외형 및 두께 오차)	7.2.2.2		R	√3	1	1			∞
액체 도전율(목표값)	7.2.3.3		R	√3	0.64	0.43			∞
액체 도전율(측정값)	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			M
액체 유전율(목표값)	7.2.3.4		R	√3	0.6	0.49			∞
액체 유전율(측정값)	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			M
합성 표준 불확정도			RSS						
확장 불확정도 (95 % 신뢰구간)									

표 3 (계속)

주1) 열 제목 a~k는 참고용임.

주2) 이 표에 사용된 약어:

RSS – root sum square(제곱합의 제곱근)

N, R, U – normal(정규), rectangular(사각), U-shaped(U형) 확률 분포

Div. – 표준 불확정도를 구하기 위해 이용되는 제수(除數)

주3) 이 표에서 나타낸 불확정도 구성 요소는 본 문서의 시험 절차 및 프로토콜을 기준으로 한다. 시험 프로토콜 및 절차가 변동되었을 때, 다른 불확정도 구성 요소(예를 들면, 다른 모의인체 구성과 기기 위치를 시험하기 위해 정의된 파라미터)가 적용될 수도 있다.

주4) 제수(除數)는 확률 분포와 자유도(v_i 및 v_{eff})의 함수이다.

주5) c_i 는 불확정도 구성 요소의 변동을 SAR 변동으로 전환하기 위해 적용되어야 하는 민감도 계수이다.

주6) 표준 불확정도의 자유도(v_i)와 확장 불확정도의 유효 자유도(v_{eff})에 대한 내용은 7.1.3을 참조한다.

주7) v_i 열에서의 M은 시험 횟수이다.

주8) 10 %라는 잠정 유전 상수 오차는 2 GHz를 초과하는 주파수에서 글리콜 조성 액체에 대해 적용될 수 있다.

주9) 일부 불확정도 영향량은 기기 제조자가 제공하는 성능 규격으로부터 결정될 수도 있다. 시험에

따라서 변하는 어떤 다른 구성 요소의 불확정도는 각 측정에 대해 평가될 필요가 있을 수 있다.

주10) 이 표의 모든 영향량은 “시험 샘플 관련” 항목을 다이폴 축과 액체간 거리, 입력 및 SAR 편이로 기술되는 두 가지 영향량을 포함하는 “다이폴” 항목으로 바꾸어 시스템 유효성 시험에 적용할 수 있다.

8 측정 보고서

8.1 일반사항

결과는 일반적으로 시험 보고서에 기록하여야 하며, 시험 또는 교정 결과의 해석에 필요한 모든 정보와 사용된 방법에 필요한 모든 정보를 포함하여야 한다.

8.2 시험 보고서에 기록할 항목

반복시험, 계산, 또는 측정의 결과가 요구되는 교정과 불확정도 제한 범위에 있도록 하는 필요한 모든 정보는 기록되어야 한다.

a) 일반사항

1) DUT에 대한 설명
2) 요구사항
3) 적용기준

b) 측정 시스템

1) 측정 시스템
2) 위치 제어기
3) 내삽/외삽 기법에 대한 설명

c) 불확정도 평가 - 7.3절의 표 3 기록

d) 결과

1) 기기/일련번호, 예를 들면 IMEI(국제 이동 장치 식별 정보)
2) 시험조건(온도 등)
3) 사용 액체와 특성
4) 시스템 유효성 검사 결과
5) 수행 시험 결과(각 시험에 대한 공간평균 첨두 SAR값 그리고 각 모드의 최대 SAR 값에 대한 표면분포 측정의 그래픽 표시)

e) 보고서 요약

1) 시험 위치, 대역, 모드 및 안테나 구성에 대한 SAR값
2) 해당 기본한계 권고와 적합여부 등의 참고 문헌

부록 A
모의인체 규격

A.1 모의인체 형상에 대한 이론적 근거

모의인체 몸통 부분은 전자기장 노출량 측정을 위한 필수 구성 요소이다. 이것은 인체의 해부학적 세부사항을 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.

실제적인 모의인체 외형 규격의 기준이 되는 인간 집단에 대한 인체 측정 연구로부터 해부학적인 외형과 크기의 통계적인 분류를 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 A.1에 설명한 바와 같이 다수의 선과 곡선으로 정해진다.

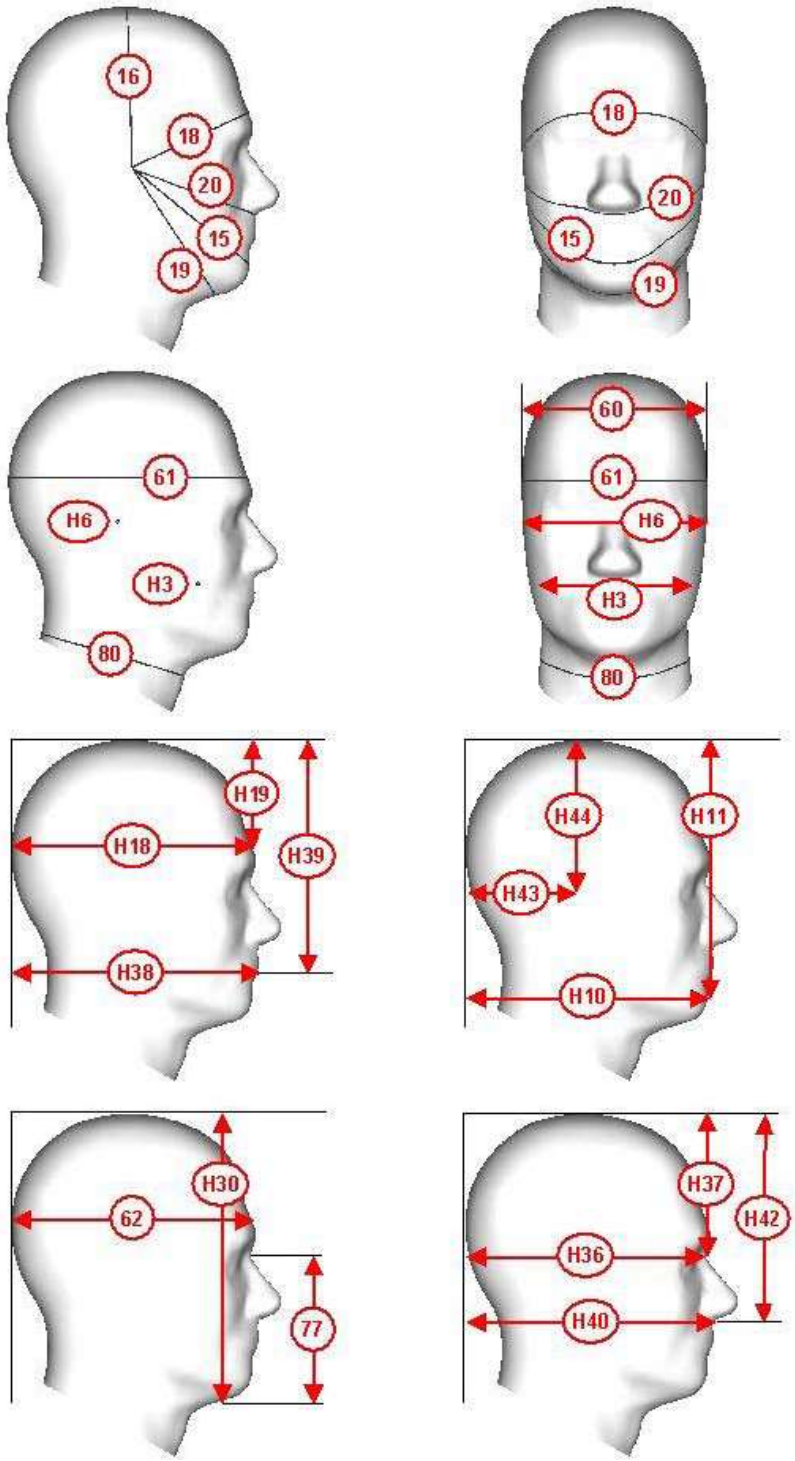
노출량 연구에 의해서 머리 크기가 큰 경우(성인, 남성 사용자)가 작은 경우(여성과 어린이)보다 많은 에너지와 결합하기 때문에 최악의 노출 시나리오를 나타낸다는 사실이 알려져 있다. 90 백분위수 머리크기(성인남성)는 모든 사용자의 90 % 이상이 이 치수보다 크기가 작음을 의미하며, 따라서 이 치수보다 작은 90 %이상의 사용자 머리에 대한 노출량도 작기 때문에 이 치수를 사용한다.

귀 뒤 돌출부는 머리에 대한 이동통신기기 안테나의 근접성을 결정하는데 직접적인 영향을 미치며, SAR 결정에 있어서 중요한 파라미터이다. 귀 돌출부는 기기가 귀를 누르는 상황을 반영할 수 있어야 한다. 귀의 모양은 이동통신기기 위치 결정을 위한 하나의 인자이며 위치가 정확하게 재현 가능하도록 설계되어야 한다.

손 모델링에 관해서는 기기를 잡는 손의 모형을 모든 이동통신기기에 적용할 수 있도록 독특하게 구현하는데 실질적인 어려움이 있다. 더욱이, 노출량 연구에 따르면 손을 모델링 하지 않는 것이 머리에서의 SAR에 대한 보다 엄격한 상황을 구현한다는 사실이 알려져 있다. 이러한 이유로 본 측정절차에서 이동통신기기의 SAR를 평가할 때는 손 모형을 고려하지 않는다.

A.2 SAM 모의인체 규격

모의인체의 치수는 Gordon 보고서로부터 도출하였으며, 그림 A.1과 표 A.1에 나타내었다. 표 A.1의 치수가 그림 A.1에 우선한다. 귀와 뺨 가까이에서 이동통신기기를 사용하는 특별한 조건을 고려하기 위해, 표 A.2에 보고된 것과 같이 상세한 기준을 추가하였다. 특히 귀 기준점(ERP)에서 2 mm 외피를 포함하는 6 mm의 두께는 외이(外耳, 귓바퀴)를 모델링하기 위해 고려된 것이다. 또한 이 얇은 귀 이격자는 귀가 작은 사용자를 모델링 한 것이며, 이것은 보다 엄격한 SAR 상황을 구현한다. 모의인체의 기준점과 기준선은 측정시스템과 피시험기기의 위치를 결정하는데 이용되어야 한다(그림 A.2). “M”점은 입의 중앙에 대한 기준점이며 “LE”는 왼쪽 귀기준점(ERP)이고 “RE”는 오른쪽 귀기준점이다. ERP는 B-M 선(후면-입)을 따르는 귓구멍(EEC)으로 들어가는 입구의 15 mm 뒤쪽에 있다(그림 A.2).



주) 각 부위에 대한 치수는 표 A.1에 나타내었다.

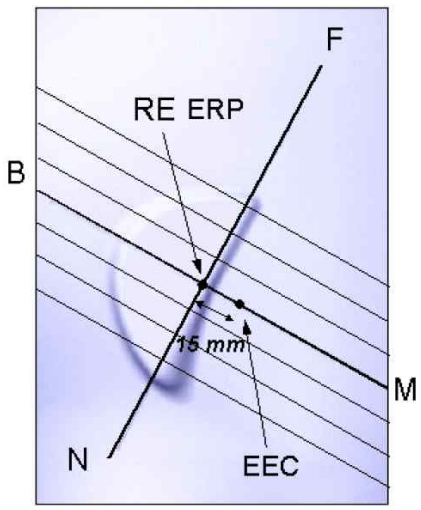
그림 A.1 - 표 A.1의 치수에 대한 설명

표 A.1 - 모의인체 모양과 관련된 머리 치수: Gordon 보고서로부터의 성인 남성 머리의 90 백분위수 크기와 SAM 치수의 비교

부위	해부학적 명칭	Gordon 보고서의 치수 (mm)			SAM 치수(mm)	편차(%)
		평균값	표준편차	90 백분위수		
H3	양하악간 너비(Bigonial Breadth)	118.9	7.9	129.2	130.0	0.6
H6	양귀구슬점 너비(Bitragion Breadth)	144.8	6	152.3	152.7	0.2
H10	턱-머리뒤(Chin-Back of Head)	194.2	10.3	207.3	206.5	-0.4
H11	턱-머리위(Chin-Top of Head)	216.8	8.9	228.3	220.4	-3.5
H18	눈살점-머리뒤(Glabella-Back of Head)	199.7	7.2	208.5	209.2	0.3
H19	눈살점-머리위(Glabella-Top of Head)	96.2	7.3	105.6	104.4	-1.1
H30	턱끝점-머리위(Menton-Top of Head)	232.0	8.8	243.3	246.7	1.4
H36	코뿌리점-머리뒤(Sellion-Back of Head)	197	7.1	205.9	205.3	-0.3
H37	코뿌리점-머리위(Sellion-Top of Head)	112	6.9	120.9	121.7	0.7
H38	구열중앙점-머리위 (Stomion-Back of Head)	199.4	9.6	211.9	211.4	-0.2
H39	구열중앙점-머리위 (Stomion-Top of Head)	186.3	7.8	196.3	196.3	0.0
H40	비하점-머리뒤 (Subnasale-Back of Head)	203.5	8.3	213.6	213.0	-0.3
H42	비하점-머리위 (Subnasale-Top of Head)	161.9	7.7	171.8	177.6	3.4
H43	귀구슬점-머리뒤 (Tragion-Back of Head)	98.9	8.5	106.4	106.4	0.0
H44	귀구슬점-머리위(Tragion-Top of Head)	131	5.7	138.2	138.2	0.0
15	양귀구슬점과 턱을 지나는 호 (Bitragion Chin Arc)	325.8	13.4	343.1	329.3	-4.0
16	양귀구슬점과 머리마루점을 지나는 호 (Bitragion Coronal Arc)	353.3	12.9	369.7	367.3	-0.6
18	양귀구슬점과 눈살점을 지나는 호 (Bitragion Frontal Arc)	304.3	10.6	318.2	314.1	-1.3
19	양귀구슬점과 하악골을 지나는 호 (Bitragion Submandibular Arc)	304.2	14.5	323.2	333.5	3.2
20	양귀구슬점과 비하점을 지나는 호 (Bitragion Subnasale Arc)	292	11.1	306.3	305.3	-0.3
60	머리 너비(Head Breadth)	151.7	5.4	158.6	158.4	-0.1
61	머리 둘레(Head Circumference)	567.7	15.4	587.3	594.8	1.3
62	머리 두께(Head Length)	197.1	7.1	206	206.0	0.0
77	턱끝점-코뿌리점 길이 (Menton-Sellion Length)	121.9	6.5	130.4	125.0	-4.1
80	목 둘레 (Neck Circumference)	379.6	19.7	405.3	395.4	-2.5

표 A.2 – SAM 모의인체와 CAD 파일의 설계를 위한 세부 지침

참조	SAM 지침
세부지침 1	기준면은 구열중앙점(Stomion)과 왼쪽 및 오른쪽 귀구슬점(Tragion)으로 정해진다.
세부지침 2	ERP 는 귀구슬점으로부터 15 mm 의 거리에 있는 기준면에 있다.
세부지침 3	ERP 의 위치에서 외피 두께는 6 mm 이다.
세부지침 4	외부 표면상의 NF 선은 60 mm 직선길이이며 기준면에 직각을 이루는 면에 포함된다.
세부지침 5	외부 표면상의 NF 선은 기준면에 직각을 이루는 면에서 기울어져 있으므로 평면 장치와 외부 표면 사이의 볼 위치에 있는 접촉점은 기준선상에 있다.
세부지침 6	외부 표면상의 MB 선은 ERP 로부터 귀의 상위 부분까지 직선이고 이 선을 따르는 외피 두께는 6 mm 미만이다.
세부지침 7	귀의 외부 표면은 평면이며 NF 선으로 정해지며 외피의 MB 선 총 두께는 귀 부위를 제외하고 2 mm 이다.
세부지침 8	H-30 mm 에서 H+30 mm 까지의 기준면에 평행한 절단면의 볼 부위에는 S-모양이 없어야 한다.
세부지침 9	외피의 두께는 내부 표면과 수직인 거리로 측정하여야 한다.



ERP – 귀 기준점(Ear Reference Point)

EEC – 귓구멍 입구(Entrance to Ear Canal)

B : B-M선 뒤쪽 끝점의 방향

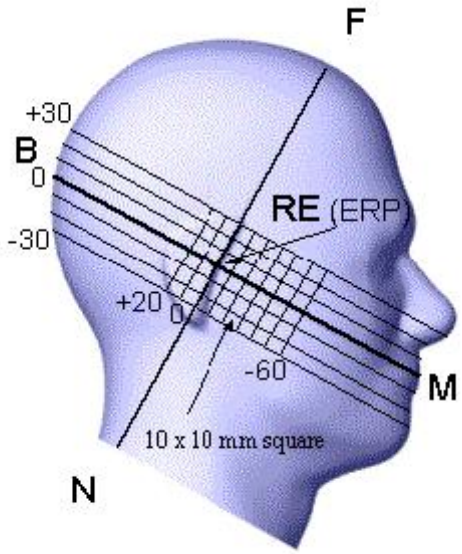
F : N-F선 앞쪽 끝점의 방향

N : N-F선 목 끝점 방향

M : 입기준점

RE : 오른쪽 귀기준점**(ERP)**

그림 A.2 - 모의인체 측면의 귀 부분 확대 그림



B : B-M선 뒤쪽 끝점(참고-모의인체에 표시할 필요는 없음)

F : N-F선 앞쪽 끝점(참고-모의인체에 표시할 필요는 없음)

N : N-F선 목 끝점(참고-모의인체에 표시할 필요는 없음)

M : 입기준점(참고-모의인체에 표시할 필요는 없음)

RE : 오른쪽 귀기준점**(ERP)**

그림 A.3 - 모의인체의 측면도

기준면은 두 개의 귀기준점과 M을 지나는 면으로 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 휴대단말기의 위치를 결정하는데 용이하게 하기 위해 모의인체 외피의 외부에 표시하여야 한다. N-F 선의 후면에서 귀의 모양을 가진 모의인체 외피의 두께는 ERP에서 6 mm 두께의 편평한 표면이다. 그림 A.2와 같이 귀의 N-F 선 전면 부분(귓불)은 절단된다. 이것은 휴대단말기가 귓불에 닿으면 볼에서의 위치 설정이 불안정하므로 휴대단말기를 기울일 때 방해 받지 않도록 하기 위함이다.

기준선 “B-M”과 “N-F”는 모의인체 표면에 투사시켜 그려야 하며, 편의를 위해 기준선을 추가하여 표시할 수 있다. 그림 A.3에서 “B-M”과 “N-F” 선을 제외한 모든 선은 규격에 영향을 주지 않으며 모의인체의 외부 표면에 표시할 수 있다.

A.3 생체조직 등가용액

균질 액체에 대한 적절한 파라미터를 도출하기 위하여, 평면파에 노출되는 무한 반공간(half-space) 층 조직 모델의 간단한 해석적 모델을 활용하여 공간 첨두 SAR에 미치는 임피던스 정합, 정재파 등의 영향을 조사하였다. 조직의 층들은 노출된 머리 영역에 대해 해부학적인 변화를 나타내기 위해 구성성분과 두께에 변화를 주었고, 이것은 성인과 어린이를 포함하는 사용자 그룹(10 백분위수와 90 백분위수 사이)에 적용한다. 각 주파수에서의 흡수

율에 관한 최악의 조직 계층 구성 성분에 기초하여, 동일한(또는 약간 큰) 공간 첨두 흡수율을 갖도록 균질 모델에 대한 머리 생체조직 등가용액의 유전 파라미터를 도출하였다. 이 때 유전 특성에 대한 Cole-Cole의 분석 데이터를 이용하였다. 이러한 근거리장 노출에 대한 접근법의 타당성은 MRI에 근거한 성인과 어린이의 비균질 인체 머리 모델에 대한 여러 문헌의 결과를 비교하였을 뿐만 아니라, 평면파를 계층 구조에 가장 근접한 반파장 다이폴과 1/4 파장 모노폴 신호원으로 대체하여 증명되었다.

5.2.4절의 표 1은 머리 생체조직 등가용액의 유전 상수와 도전율을 보여준다. 주파수 범위 내의 다른 주파수에서 머리 생체조직 등가용액의 유전 특성은 선형 내삽법을 이용하였다. 이 때 사용된 수식은 부록 I에 있다.

부록 B
전자파 흡수율(SAR) 측정 시스템의 교정(선형성, 등방성, 감도) 및 불확정도 평가

B.1 서론

전자파흡수율 측정기기는 프로브, 증폭기 및 측정 장치로 구성되어 있다. 현재 이용되는 프로브는 Schottky 다이오드 검출기를 기반으로 한다. 이때 프로브의 출력은 노출된 전자파 세기에 비례하는 전압으로 나타난다.

대부분의 등방성 프로브는 서로 직교하는 지향성 패턴을 가진 세 개의 소형 다이폴 센서들로 구성되어 있으며 센서들 사이에는 다이오드 검출기가 있다. 총 전기장은 세 전기장 성분의 제곱합의 제곱근(RSS, Root Sum Square)으로 계산될 수 있다. 다이오드 응답 특성의 제곱 법칙 영역에서, 센서 출력 전압은 전자기장 성분의 평균 제곱에 비례한다. 그 범위 이상에서는 출력 전압이 압축되므로 동작 범위의 선형화가 필요하다. 센서와 다이오드 사이의 제작상 오차 때문에 각 센서는 다른 민감도를 가지게 된다.

여기서는 Schottky 다이오드 검출기를 기반으로한 프로브 시스템의 교정 인자 및 교정 절차를 설명한다. Schottky 다이오드 검출기를 기반으로한 프로브의 교정 인자로는 다이오드 압축점(Diode Compression Point : DCP), 민감도, 변환인자, 프로브의 검출 범위 및 선형성, 등방성(축등방성, 반구등방성 포함), 경계 효과, 응답 시간이 있으며, 이에 대한 측정 방법을 규정함을 목적으로 한다.

B.2 다이오드 압축점(DCP)

다이오드 검출기를 기반으로 하는 프로브 시스템은 다이오드의 응답 특성이 제곱법칙인 영역, 즉 프로브의 출력 전압이 전자기장 성분의 평균 제곱에 비례하는 영역에서 이용된다. 그러나 그 범위 이상의 전기장 강도에서는 다이오드의 응답 특성이 제곱법칙 영역을 벗어나며 프로브의 출력전압이 압축되어 실제 전기장 세기보다 낮게 측정된다. 이는 프로브를 센서로 사용하는 시스템의 운용 범위를 제한하는 역할을 한다. 따라서 이러한 다이오드의 비선형 특성을 아래 식과 같이 보상함으로써 프로브를 센서로 사용하는 시스템의 동작 범위를 보다 넓게 적용할 수 있다.

$$V_{comp} = V_{out} + \frac{V_{out}^2}{DCP}$$

여기서

V_{comp} 는 다이오드의 비선형 특성이 소프트웨어에 의해 수학적으로 보상된 출력 전압;

V_{out} 은 다이오드의 비선형 특성이 보상되지 않은 실제의 물리적 출력 전압;

DCP는 다이오드의 압축점으로 실제 출력 전압(V_{out})이 보상된 전압(V_{comp})의 50 % 가 되는 전압값을 말한다.

B.2.1 다이오드 압축점(DCP) 측정 방법

1) 그림 B.1과 같이 측정 장비를 구성한다.

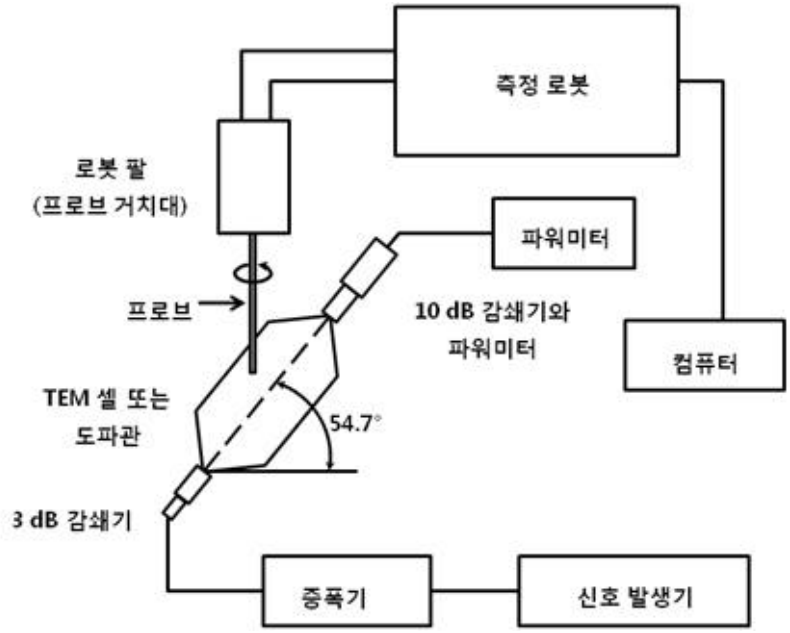


그림 B.1 - 다이오드 압축점 측정 장비 구성도

o 균일한 전기장을 얻기 위해 도파관 또는 TEM 셀을 이용한다. 이때 측정주파수가 750 MHz 이하일 경우 TEM 셀을, 750 MHz 이상일 때는 도파관을 이용할 수 있다. 소형 다이폴 센서와 평행한 전기장 성분을 얻을 수 있도록 도파관(또는 TEM 셀)을 위치시킨다 (예를 들면, 그림 B.1과 같이 도파관을 수평면에서 54.7도 기울여 설치할 수 있다. 그러나 도파관(또는 TEM 셀)을 54.7도 기울여 설치하는 것이 어려울 경우 도파관을 수평면으로 하여 측정할 수 있으며, 이러한 경우 그 차이는 보상되어야 한다.)

o 그림 B.1에서 신호발생기는 도파관(또는 TEM 셀)에 전력을 공급하는 역할을 하며 전력 측정기는 도파관내에 형성된 전기장 강도를 측정하는 역할을 한다. 신호발생기나 전력 측정기 만으로 이러한 기능을 충분히 수행할 수 있는 경우, 측정 장비 구성도 상의 감쇄기나 증폭기 등은 생략할 수 있다.

2) 도파관(또는 TEM 셀) 내부에 적절한 전기장의 세기가 형성되도록 신호발생기의 출력을 조정한다.

3) 프로브를 도파관내 삽입한 후 프로브 축을 중심으로 2도 간격으로 360도 회전하면서 3개 다이폴 센서에 유기되는 전압의 최대값이 측정되는 각도를 각각 찾는다.

4) 3) 단계에서 측정한 값을 참조하여 도파관내 전기장 성분이 프로브의 첫번째 다이폴과 평행하도록 프로브를 회전시킨다.

5) 다이오드 프로브 센서가 도파관내 전기장 강도를 감지할 수 있는 최소값에서 포화상태에 이를 때까지 입력신호를 1 dB 간격으로 변화시키며 프로브 센서에 유기되는 실제 전압 (V_{out})을 측정하여 기록한다.

6) 5) 단계에서 측정한 결과중 다이오드 유기 전압이 입력전압에 따라 선형적으로 증가하는

구간에서 도파관내 전력밀도가 증가함에 따라 다이오드에 유기되는 전압 증가를 가장 잘 나타내는 1차 함수를 구한다.

7) 5) 단계에서 측정한 전압(V_{out})이 6)단계에서 구한 함수에 의해 계산된 전압값의 50 %가 되는 전압값을 첫번째 다이오드의 압축점(DCP)으로 한다.

8) 앞의 3) 단계에서 측정한 값을 참조하여 도파관내 전기장 성분이 프로브의 두번째 다이폴과 평행하도록 프로브를 회전시킨후 5) ~ 7) 단계를 반복 측정하여 두번째 다이오드의 DCP값을 구한다.

9) 앞의 3) 단계에서 측정한 값을 참조하여 도파관내 전기장 성분이 프로브의 세번째 다이폴과 평행하도록 프로브를 회전시킨후 5) ~ 7) 단계를 반복 측정하여 세번째 다이오드의 DCP값을 구한다.

B.3 다이폴 센서의 민감도

다이폴 센서의 민감도 평가방법은 생체조직 등가액체 내의 전기장 세기를 프로브에 유기되는 전압으로 직접 측정하여 구하는 "직접 평가 방법"과 공기 중에서의 민감도를 먼저 구한 후 변환인자(공기 중에서 민감도와 생체조직 등가액체 내에서의 민감도의 비) 곱하여 전체 민감도를 구하는 "간접 평가 방법"이 있다.

B.3.1 간접 평가 방법

간접 평가 방법으로 민감도를 구하는 경우 총 전기장은 다음 식으로 표현된다:

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

여기서

$f_i(V_i)$ 은 정류 신호 V_i의 선형화 함수;

η_i 는 공기 중에서 다이폴 센서의 민감도 $\left[\mu V/(V/m)^2\right]$;

γ_i 는 변환인자로서 공기 중에서 다이폴 센서의 민감도에 대한 매질에서 다이폴 센서의 민감도 비를 말함.

즉 다이폴 센서의 민감도는 공기 중에서의 민감도(η_i)와 변환 인자(γ_i)로 각각 분리하여 구한다.

프로브의 민감도를 두 인자(η_i, γ_i)로 분리함으로써, 어떤 표준화된 공기 중에서의 프로브 교정 절차를 이용할 수 있고, 프로브 성능과 교정 장비의 유효성 시험을 추가로 수행할 수 있다. 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.

B.3.1.1 공기 중에서의 민감도(η_i) 측정 (제1단계)

공기 중에서 잘 정의된 표준 전자기장을 생성할 수 있는 가장 정확한 장치는 도파관이다. 그 이유는 다음과 같다:

- 도파관 장치는 전력 소모가 적고, 원거리장 교정 장치보다 적은 공간을 차지한다,
- 정확한 전자기장의 세기를 생성할 수 있다,
- 도파관의 크기는 프로브에 비해 상당히 크기 때문에, 소형 근거리장 프로브를 삽입했을 때 발생하는 전자기장의 왜곡에 의한 불확정도는 무시할 수 있다,
- 이 장치에서 프로브의 축을 전자기장 편파에 수직 또는 평행으로 설정하기가 쉽다,
- 그 밖에도 주파수가 겹치도록 도파관을 사용하여 일반적인 전자기장 세기를 상호 비교하여 검증할 수 있다.

저주파(약 750 MHz 이하)에서는 도파관 대신 TEM 셀을 사용할 수 있다. 그러나 TEM 셀 내부의 전자기장은 잘 정의되지 않는다. 즉, 예상되는 균일 전자기장 분포와는 편차가 다소 있을 수 있다. 예를 들어, 어떤 상용 TEM 셀의 경우 내부도체(septum)에서 바깥벽까지 중심축을 따라서 이동할 때 전자기장은 ±6 % 변화한다. 그러나 TEM 셀 내부와 도파관 내부에서의 프로브 응답 특성을 비교하여 TEM 셀 내 특정 측정 위치에서의 전달 교정이 가능하다.

프로브는 일반적으로 각 장치의 벽면에 있는 작은 구멍을 통해 삽입되며, 전자기장이 가장 균일한 부분의 중심에 놓인다. 각 센서는 센서와 평행한 전기장 성분에 대하여 평가된다.

프로브의 저항선이 다이폴의 다이오드 센서에 직접 연결되지 않고 프로브가 파장에 비해 작으면 민감도는 주파수와 독립적이다. 이런 점 때문에 교정 장치의 유효성 검사를 추가로 수행하여야 하며, 프로브로 인한 전자기장의 섭동 가능성을 검사하여야 한다. 고성능의 도파관 결합기와 정합된 신호를 사용한다면 일반적으로 프로브 삽입으로 인한 영향은 무시할 수 있다. 도파관 장치에서 또 다른 불확정도의 원인은 종단부의 부하로부터 반사로 인한 것인데, 그로 인해 장치 내에 정재파 패턴이 발생될 수 있다. 고성능의 도파관 부하를 이용하면 반사는 1 % 이하로 유지할 수 있다. 또한 λ/4 변이부하(shifted load)로 보충 측정을 실시하고 두 판독값을 평균함으로써 불확정도를 보상할 수 있다.

B.3.1.1.1 측정 방법

1) B.2.1 절의 그림 B.1과 같이 측정 장비를 구성한다.

2) 도파관(또는 TEM 셀) 내부에 적절한 전기장의 세기가 형성(즉 다이오드 센서 출력이 전기장 세기의 제곱에 비례하는 영역)될 수 있도록 신호발생기의 출력을 조정한다.

3) 프로브 축에 대하여 프로브를 5도 이하의 간격으로 0 ~ 360도까지 회전하면서 3개 다이오드 센서의 전압값을 각각 측정하여 기록한다. 이때 측정된 전압값은 DCP에 의해 보상된 전압값이다.

4) 3) 단계 측정결과에서 3개 다이오드 센서의 최대 전압값을 각각 구한 후 이를 도파관내 전기장 세기의 제곱으로 나누어 주어 공기 중에서의 프로브를 구성하는 각 다이오드의 민감도(η_i)를 각각 구한다.

B.3.1.2 변환 인자 (γ) 측정 (제2단계)

변환인자는 매질 내부에 국부적으로 알려진 전자기장 값을 발생시켜 결정한다. 여기에는 다음과 같이 두 가지 방법이 사용될 수 있다:

- 온도 프로브를 이용한 교정;
- 전자기장을 이용한 교정.

B.3.1.2.1 온도 프로브를 이용한 교정

온도 프로브를 이용한 교정에서는 상대적으로 높은 공간 분해능과 빠른 응답시간을 갖는 온도 프로브를 이용하여야 한다. 800 MHz 이하의 주파수에서는 도파관을 이용한 시스템 구성이 어려우므로 이 방법을 적용할 수 있다
손실 있는 액체에서 SAR은 액체내의 전기장(E)과 온도 변화율(d*T*/d*t*) 모두 관련 있으며 관계식은 다음에 근거한다:

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

손실 있는 액체에서의 전기장은 액체의 온도 변화율을 측정하여 간접적으로 측정될 수 있다. 높은 공간 분해능(1 mm 내지 2 mm 미만)과 빠른 응답 시간(1 초 미만)을 갖는 비섭동 온도 프로브(저항선이 있는 광 프로브나 서미스터 프로브)가 이용 가능하며, 높은 정확성으로 쉽게 교정할 수 있다. 장치와 여기된 신호원은 교정에 영향을 주지 않는다. 단, 교정된 표준 온도 프로브와 전기장 프로브의 상대 위치 불확정도는 고려하여야 한다. 그러나 온도 프로브를 이용하여 정확히 교정하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 조건이 있다.

- 온도 변화율은 직접 측정하는 것이 아니라 시간 단계별로 온도를 측정하여 평가하는 것이다. 액체 내에서 등온이 되려고 하는 효과(equalizing effects)나 대류로 인한 온도 변화율 때문에 발생하는 측정 불확정도를 피하기 위해서는 특별한 사전 조치가 필요하다. 이러한 영향은 액체 내에서 측정된 전자기장이 온도 평형 상태를 교란시키기 때문에 완전히 없앨 수 없다. 장치 설정에 주의한다면 이러한 불확정도를 작게 할 수 있다.
- 온도 프로브 주위의 측정된 부피는 잘 정의되지 않는다. 프로브 주위의 온도 기울기 분포로부터 프로브 내로 전달되는 에너지를 계산하기는 어렵다. 온도 프로브가 균일한 온도를 가지는 액체에서 교정되기 때문에, 이런 효과를 고려되어야 한다.
- 교정은 매질의 비중, 비열용량 및 도전율의 평가에 의존한다. 비중과 비열용량은 표준화된 절차로 정확히 측정될 수 있지만(비열용량 c_h는 약 ±2 %; 비중은 더 정확히 측정됨) 열도전율의 측정 표준은 없다. 측정방법과 액체에 의존하므로 불확정도는 ±5 %를 초과할 수도 있다.
- 온도 상승 측정은 민감하지 않기 때문에 일반적으로 전기장 측정보다 높은 전력 레벨에서 실시 한다. 시스템에서 비선형성(예를 들면 전력측정, 여러 다른 구성요소 등)은 고려되어야 한다.

이런 문제들 때문에, 잘 설계된 장치에서의 온도 변화율 측정을 이용한 전기장 프로브의 교정에 대한 정확성은 약 ±10 %(합성 표준 불확정도)까지 가능하다. 온도 프로브를 이용하여 전달 교정에 대한 불확정도를 분석할 때, 최소한 표 B.1의 인자는 고려되어야 한다.

표 B.1 – 온도 프로브를 이용한 전달 교정에 대한 불확정도 분석

불확정도 신호원	불확정도값 ± %	확률 분포	제수	c_i	표준불확정도 u_i ± %	v_i 또는 v_{eff}
전기장 프로브의 위치 설정		N	1	1		∞
온도 프로브의 위치 설정		N	1	1		∞
전기장 프로브의 선형성		R	$\sqrt{3}$	1		∞
온도 프로브 편이 및 잡음		R	$\sqrt{3}$	1		∞
온도 프로브 선형성		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체 도전율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체의 비열		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체의 밀도		R	$\sqrt{3}$	1		∞
온도 프로브의 정확도		R	$\sqrt{3}$	1		∞
합성 표준 불확정도		RSS				

주1) c_i는 민감도 계수이다.
주2) v_i는 표준 불확정도 $u(x_i)$에서의 입력 추정치(x_i)에 대한 자유도이고, V_{eff} 는 $t_p(v_{eff})$를 얻기 위해 사용되는 합성 표준 불확정도 $u_c(x_i)$에서의 유효 자유도이다.

B.3.1.2.2 전자기장을 이용한 교정(도파관)

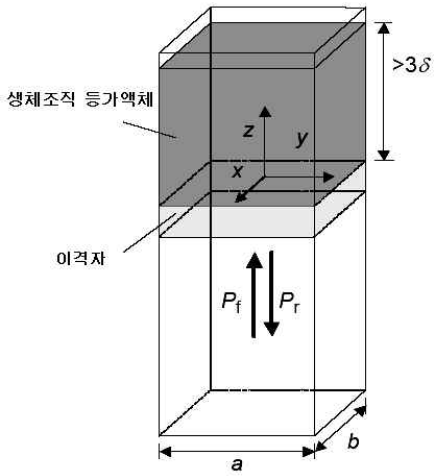
이 방법에서는 다른 물리량(예, 입력 전력)을 측정하여 전자기장을 해석적으로 계산할 수 있는 시험 장치를 이용한다. 이것은 공기 중에서 수행하는 프로브 교정을 위한 표준 전자기장 방법이다. 그러나 손실이 있는 액체에서의 전자기장에 대해 정의된 표준은 없다.

프로브 교정을 위해 손실성 액체에서 계산된 전자기장을 사용할 때, 다음과 같이 몇 가지 사항들이 불확정도의 평가시에 고려되어야 한다:

- 장치는 입사 전력을 정확히 결정할 수 있어야 한다;
- 계산된 전자기장 세기의 정확성은 액체의 유전 파라미터 평가에 의존한다;
- 유전율이 높은 액체에서는 파장이 짧기 때문에, 물리적 크기가 작은 소형 장치라 하더라도 공진 모드의 차단 주파수 이상이 될 수도 있다. 이 장치에서 전자기장 분포가 이론적인 전자기장 분포와 일치하는지 주의 깊게 검사하여야 한다.

직사각형 도파관은 횡단면의 전자기장 분포가 반사에 의존하지 않는 독립적인 시스템이다. 그것은 생체조직 등가용액 내에서 해석적으로 알려진 전자기장 생성에 활용될 수 있다. 이 장치(그림 B.2 참조)에서 수직개방형 도파관(Open-ended Waveguide)의 윗 부분은 액체로 채워진다. 급전점으로부터 한 파장(λ) 이상 떨어져 있는 유전체 판(dielectric slab)은 공기와 액체 사이의 임피던스를 정합(반사 손실이 10 dB보다 큼)시킨다. 대칭적 구조와 액체에서의 높은 손실로 인해 생체조직 등가용액 내의 전자기장 분포가 TE_{10} 패턴을 따르도록 해주지만

고차 모드도 이론적으로는 존재할 수 있다. 도파관내 전자기장에 대한 3차원 분포 측정을 통해 고차 모드가 존재하지 않는 것이 검증되었는데 이때, 이론적인 TE_{10} 분포와의 편차는 단지 ±1 % ~ ±2 % 미만이었다.



x, y, z 좌표의 축
3δ 액체 깊이(침투 깊이의 3배이상)
a 도파관 단면의 가로 길이
b 도파관 단면의 세로 길이
P_f 입사 전력
P_r 반사 전력

그림 B.2 – 수직개방형 직사각 도파관을 이용한 변환 인자 평가용 실험 장치

액체 내부에서는 차단 주파수가 낮아서 전자기장은 거의 TEM파처럼 전파한다. 액체 표면에서의 반사를 무시할 수 있을 정도로 액체의 깊이를 정한다(침투깊이의 3배이상). 액체에 흡수된 전력은 도파관 내의 순방향 전력과 반사 전력을 측정함으로써 평가된다:

$$SAR(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho ab\delta} e^{-2z/\delta}$$

여기서

*ab*는 도파관의 단면적;
P_f는 도파관의 순방향 전력;
P_r는 도파관으로부터의 반사 전력;
*z*는 다이폴 중심의 세로 축 좌표;
*ρ*는 액체 밀도;
*δ*는 손실이 있는 액체 내부에서의 침투 깊이이다.

주) 본 측정절차에서 밀도 *ρ*는 1000 kg/m^{3}으로 정의한다.

이 기법은 주파수와 매질에 따라서 ±3.6 % 미만의 합성 표준 불확정도를 가질 정도로 정확도가 우수하다. 교정은 그 자체가 표준 교정 절차에 기인하는 전력 측정으로 단순화된다.

800 MHz 와 2500 MHz 사이의 주파수 범위에서, 도파관 크기에 의해 주어지는 실질적 제한은 적합성 시험에서 엄격하지 않으며, 그 이유는 이동 통신 시스템에 대한 동작 주파수 대부분이 이 범위에 포함되기 때문이다. 800 MHz 미만의 주파수에 대해서는 온도 프로브에 의한 전달 교정이 불확정도가 가장 적은 가장 실질적인 교정 방법이다. 해석된 전자기장을 이용한 교정에 대한 불확정도를 분석할 경우, 최소한 표 B.2에 포함된 인자는 고려되어야 한다.

표 B.2 – 도파관 내부의 해석된 전자기장 분포를 이용한 교정에 대한 불확정도표

불확정도 신호원	불확정도 값 ± %	확률 분포	제수	c_i	표준불확정도 u_i± %	v_i 또는 v_{eff}
입사전력 또는 순방향전력		R	$\sqrt{3}$	1		∞
반사 전력		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체 도전율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체 유전율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
전자기장 균일성		R	$\sqrt{3}$	1		∞
전자기장 프로브 위치 설정		R	$\sqrt{3}$	1		∞
전자기장 프로브 선형성		R	$\sqrt{3}$	1		∞
합성 표준 불확정도		RSS				

B.3.1.2.2.1 측정 방법

1) 그림 B.3과 같이 측정 장비를 구성한다.

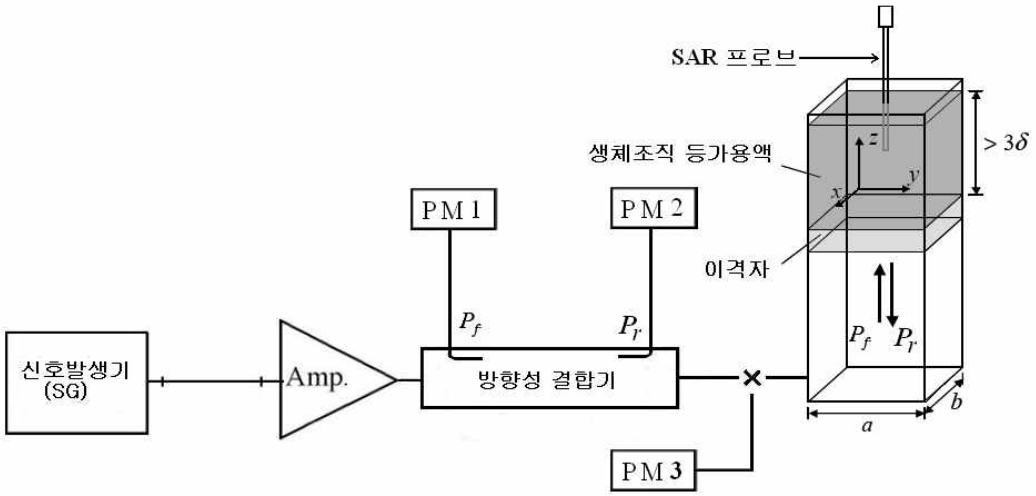


그림 B.3 - 변환인자(γ) 측정을 위한 측정 장비 구성도

o 여기서 사용되는 수직 개방형 도파관은 측정 주파수에 따라 다음 사양의 도파관을 이용한다.

주파수 (MHz)	도파관	이격자	
	a (mm)	ε_r'	두께 (mm)
300	584.2	5.5	106.0
450	457.2	6.0	66.1
835-900	247.6	5.6	34.8
1450	129.5	4.7	24.8
1800-2000	109.2	4.8	19.4
2450	109.2	5.7	12.6
3000	86.4	5.7	10.3

o 도파관 횡단면의 길이 *b*는 *a*의 1/2을 적용한다. 여기서 명시하지 않은 세부 사항은 IEEE 1528 최신 표준문서에서 정한 기준을 적용한다.

o 수직 개방형 도파관의 윗 부분은 생체조직 등가용액으로 채운다. 이때 생체조직 등가용액의 높이는 침투 깊이의 3배 이상(>3δ)이 되도록 한다.

o 전력 측정기 PM1, PM3는 도파관에 공급되는 순방향 전력 측정용이며 PM2는 도파관에서 반사되는 역방향 전력 측정용으로 이용한다. 이때 필요한 경우, 전력 측정기 앞에 감쇄기나 증폭기를 추가로 설치할 수 있다.

2) 방향성 결합기에 전력 측정기 PM1, PM2, PM3를 연결한 후 도파관 내부에 적절한 전기장의 세기가 형성(즉 다이오드 센서 출력이 전기장 세기의 제곱에 비례하는 영역)될 수 있도록 신호발생기의 출력을 조정한다. 이때의 전력 측정기 PM1 값을 기록한다.

3) 방향성 결합기의 출력단자를 전력 측정기 PM3에서 떼어낸 후 수직 개방형 도파관 입력단에 연결한다. 이때 PM1값에 변화가 있으면 신호발생기의 출력을 조정하여 2) 단계에서 측정한 값과 동일하게 한다.

4) 수직 개방형 도파관의 중심 부근으로 SAR 프로브를 생체조직 등가용액에 삽입하여 프로브 센서 부분이 유전체 판 상단에서 5 mm 떨어지도록 한다.

5) 프로브를 유전체 판 상단 5 mm 지점에서 60 mm 지점까지 1 mm 간격으로 이동하면서 각 지점에서의 SAR값을 측정하여 기록한다.

6) 수직 개방형 도파관에서 반사되는 전력은 전력 측정기 PM2를 이용하여 측정한다.

7) 5) 단계에서 구한 SAR 측정값과 부록 C 에서 기술한 외삽법을 이용하여 유전체 판 상단 0 ~ 4 mm까지의 SAR값을 후처리 기법으로 구한다. 5) 단계 측정과 외삽법으로 구한 SAR값은 아래 수식에서 변환인자를 1로 가정했을 때의 0 ~ 60 mm 까지 SAR값이다.

$$SAR(z) = \frac{\sigma \cdot E^2(z)}{\rho} = \frac{\sigma}{\rho \cdot \gamma} \sum_i \frac{f_i(V_i(z))}{\eta_i}$$

여기서 γ는 변환인자로서 3개 다이폴 센서에 대하여 그 값이 동일하다고 간주한다.

8) 도파관에 공급한 순방향 전력과 6) 단계에서 측정한 반사 전력을 이용하여 아래 식에 따라 도파관 내에서의 SAR값을 해석적 방법으로 구한다.

$$SAR(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho ab\delta} e^{-2z/\delta}$$

여기서 Pf 는 도파관에 공급한 순방향 전력, Pr 은 반사된 역방향 전력을 말한다.

9) 5) 및 7) 단계를 통해 측정 및 후처리 기법으로 구한 SAR값과 8) 단계의 해석적 방법에 의해 구한 SAR값을 비교하여 변환 인자(γ)를 구한다. 이때 변환인자 값을 변화시켰을 때 측정에 근거하여 구한 SAR값 변화 곡선이 해석적 방법에 의한 SAR값 변화 곡선과 일치하도록 하는 과정을 통해 변환인자를 구할 수 있다.

B.3.2 직접 평가 방법

민감도를 측정하는 직접 평가 방법에서는 기준 안테나를 사용하여 매질 내에서 다이폴 센서의 절대 민감도를 직접 측정한다.

기준 안테나를 이용하는 직접 평가 방식에서 총 전기장은 다음 식에 따라 평가된다:

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

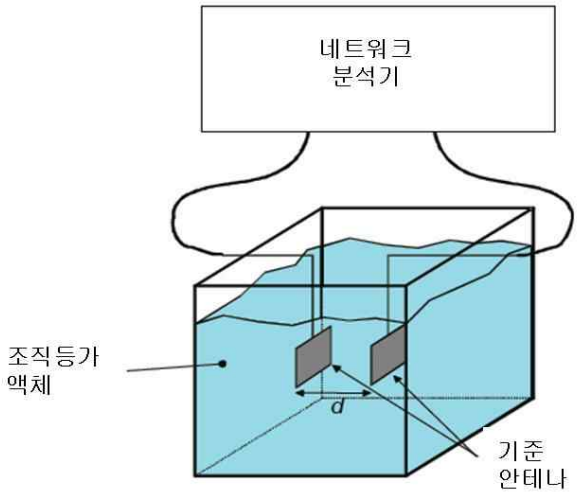
여기서 K_i는 액체에서 다이폴 센서의 절대 민감도이다.

기준 안테나는 적절한 생체조직 등가용액에서 동작하도록 설계된 소형 안테나이다. 프로브 교정에 사용하기 위해 주엽(main lobe)의 이득을 평가하기 위해서는 최소한 두 개의 동일한 안테나가 필요하다.

이 방법에서는 먼저 기준 안테나의 이득을 구한 후 다이폴 안테나의 절대 민감도를 구하는 절차를 따른다. 기준 안테나 이득과 절대 민감도를 구하는 절차는 각각 다음과 같다.

B.3.2.1 기준 안테나 이득 측정 방법

1) 그림 B.4와 같이 측정 장비를 구성한다.



그림B.4 – 안테나 이득 측정을 위한 장비 구성도

2) 안테나들의 수직 축들이 잘 정렬되고 잘 정의된 거리 d만큼 떨어지도록 액체 내에 두 안테나를 설치한다. 여기서 $d \geq 2D^2 / \lambda_{liquid}$ 이다. D는 기준 안테나의 최대 크기이며, λ_{liquid} 은 액체 내에서의 파장이다. 안테나는 액체 용기의 벽으로부터 최소한 10 cm 떨어져야 한다.

3) 각 안테나의 입력 포트에서 반사 계수 ρ_1과 ρ_2를 측정한다.

4) 동일한 포트에서 두 안테나 사이에 전달계수 S_{21}을 측정한다.

5) 이득은

$$G = \left|S_{21}(d)\right| \times e^{\alpha d}\left(\frac{4\pi d}{\lambda_{liquid}}\right) \times \frac{1}{\sqrt{(1-\left|\rho_1\right|^2)(1-\left|\rho_2\right|^2)}}$$

여기서 감쇠 계수는

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c} \times \left(\varepsilon_r^{'2} + \varepsilon_r^{''2}\right)^{1/4} \times \sin\left[\frac{1}{2}\arctan\left(\frac{\varepsilon_r^{''}}{\varepsilon_r^{'}}\right)\right]$$

기준 안테나의 이득의 불확정도를 분석할 때, 최소한 표 B.3에 포함된 파라미터는 고려되어야 한다.

표 B.3 - 기준 안테나 이득 평가에 대한 불확정도표

불확정도 신호원	불확정도 값 ±%	확률 분포	제수	c_i	표준불확정도 u_i ±%	v_i 또는 v_{eff}
입사전력		R	$\sqrt{3}$	1		∞
반사계수		R	$\sqrt{3}$	1		∞

거리		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체전도율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체전도율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
합성표준 불확정도		RSS				

B.3.2.2 액체에서 다이폴 센서의 절대 민감도(Ki) 측정 방법

1) 그림 B.4와 유사하게 측정 장비를 구성한다. 단, 그림 B.4의 기준 안테나중 하나를 프로브로 대치한다. 안테나는 액체 용기 벽으로부터 최소 10 cm 떨어뜨린다.

2) 기준 안테나의 입력단에 전력원을 연결한다. 안테나로부터 거리 d 만큼 떨어진 곳에서 이론적인 전기장 E_{th}는:

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

여기서
d는 안테나로부터의 거리, $d \geq 2\ D^2/\lambda_{liquid}$;
G는 안테나 이득;
D는 기준 안테나의 최대 크기;
P_{in}은 입력 전력;
ρ는 안테나의 반사 계수;
λ_{liquid}는 액체 내에서의 파장이다.

입력 전력을 제어하기 위해서 양방향성 결합기를 사용하며, E_{th}가 약 30 V/m가 되도록 입력 전력을 조정한다;

3) 검출기의 중심이 안테나로부터 거리 d에 있도록 액체 내에 프로브를 위치시킨다;

4) 다이폴 방향을 기준 안테나의 편파와 일치하도록 하기 위해서 프로브의 방향을 맞춘다;

5) 노출된 다이폴에 연결된 프로브의 포트에서 전압 신호 $V_{1,meas}$를 측정한다;

6) 이 다이폴에 대한 민감도 계수 K_1은 $K_1 = \frac{V_{1,meas}}{E_{th}^2}$ 이다;

7) 다른 두 다이폴에 대해 단계 4) - 6) 단계를 반복하여 K_2와 K_3의 값을 구한다.

SAR은 프로브의 민감도 계수를 사용하여 다음 식으로 결정한다:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho}\left(\frac{V_1}{K_1} + \frac{V_2}{K_2} + \frac{V_3}{K_3} \right)$$

여기서 ρ는 밀도(1000 kg/m^3)이다.

기준 안테나를 이용하여 교정의 불확정도를 분석할 때, 최소한 표 B.4에 포함된 파라미터를 고려하여야 한다.

표 B.4 – 기준 안테나를 이용한 교정의 불확정도표

불확정도 신호원	불확정도 값 ±%	확률 분포	제수	c_i	표준불확정도 u_i ±%	v_i 또는 v_{eff}
입사 전력		R	$\sqrt{3}$	1		∞
반사 계수		R	$\sqrt{3}$	1		∞
안테나 이득		N	1 또는 k	1		∞
액체 도전율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
액체 유전율		R	$\sqrt{3}$	1		∞
프로브 위치 설정		R	$\sqrt{3}$	1		∞
합성 표준 불확정도		RSS				

B.4 등방성

B.4.1 축 등방성

축 등방성 평가를 위해서 프로브는 프로브 축에 대해 수직으로 입사하는 기준파에 노출되어야 한다. 축 등방성은 15 ° 이하의 간격으로 0 °에서 360 °까지 주축을 따라서 프로브를 회전시켜 결정하며, 제곱평균제곱근(r.m.s.) 값에 대한 SAR 편차로 축 등방성을 정의한다.

프로브의 축 등방성은 다음 절의 절차에 따라 측정한다. 그러나 B.4.2.4절에서 규정하는 기준 안테나를 이용하여 측정할 경우, B.4.2.4절의 1) ~ 4) 단계의 절차만을 적용하여 축 등방성을 평가할 수 있다.

B.4.1.1 측정 방법

1) 그림 B.5와 같이 측정 장비를 구성한다.

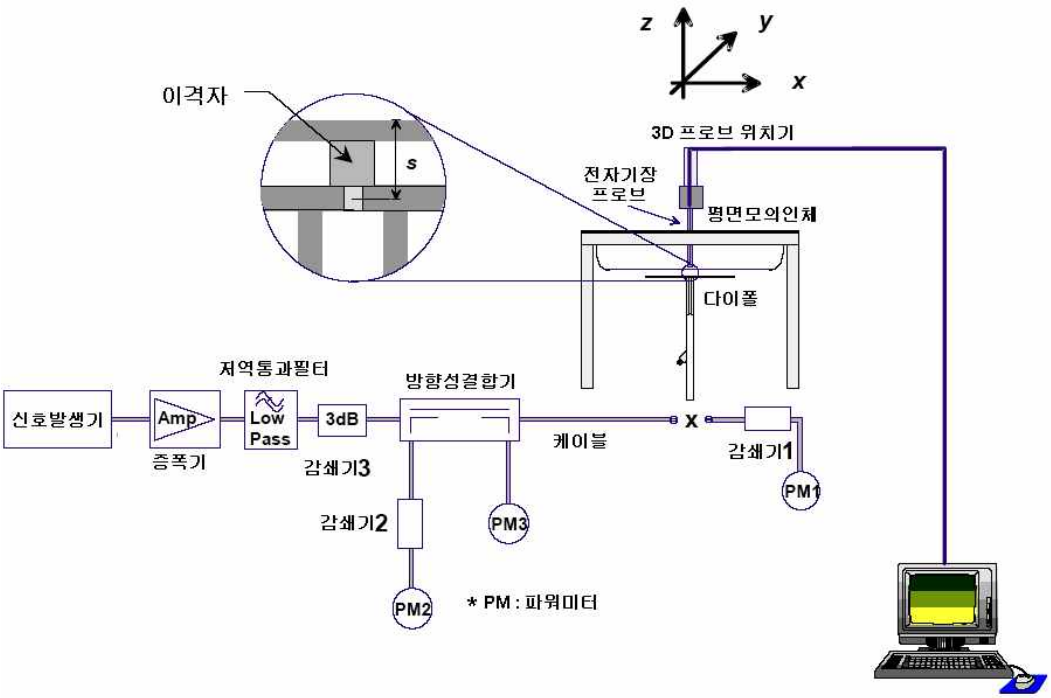


그림 B.5 – 축 등방성 측정을 위한 측정 장비 구성도

o 이때 평면모의인체는 최소 15 cm 이상의 생체조직 등가용액으로 채운다.

2) 방향성 결합기의 출력 단자를 평면 모의인체 하단에 위치하는 다이폴 안테나에 연결한다.

3) SAR 프로브를 생체조직 등가용액 내로 삽입하여 프로브 센서 부분이 평면 모의인체 바닥으로부터 5 mm 이격시켜 다이폴 안테나 중심 바로 위에 위치하도록 한다.

4) SAR값이 0.5 W/kg ~ 1 W/kg 사이가 되도록 다이폴 안테나에 공급되는 전력을 조정한다.

5) 프로브 축에 대하여 프로브를 15도 이하의 간격으로 0 ~ 360도까지 회전하면서 SAR값을 측정하여 기록한다.

6) 측정된 SAR 평균값에 대하여 최대 SAR 측정편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다.

B.4.2 구 및 반구 등방성

프로브의 구 또는 반구 등방성은 기준파의 편파와 프로브를 회전시키면서 측정한다. 이때 입사각은 30 ° 이하의 간격으로 90 ° (축)에서 0 ° (수직)까지 변화되어야 하며 각각의 입사각에 대해 프로브는 360 °의 범위에서 15 ° 이하의 간격으로회전하면서 측정하여야 한다.

다음 네 가지 방법은 반구 등방성을 평가하기 위하여 사용될 수 있으며, 각각의 결과는 유사하다:
- 평면모의인체의 측면에 다이폴을 위치시켜 측정하는 방법,
- 평면모의인체의 밑에 다이폴을 위치시켜 측정하는 방법,

- 구형 모의인체에 다이폴을 위치시켜 측정하는 방법.
- 기준 안테나를 이용하여 측정하는 방법

B.4.2.1 평면모의인체의 측면에 다이폴을 위치시킨 등방성 측정 방법

생체조직 등가용액으로 채워진 얇은 플라스틱 상자로 구성된 장치를 시험 주파수에서 동작하는 반파장 공진 다이폴에 노출시킨다. 프로브의 구 등방성은 다음 절차에 따라 평가한다:

1) 턴테이블에 다이폴 안테나를 장착하고 평면 모의인체와 평행하도록 설정한다(그림 B.6 참조). 안테나와 액체 용기의 근접한 면 사이의 거리가 최대 e = λ/10가 되도록 한다.

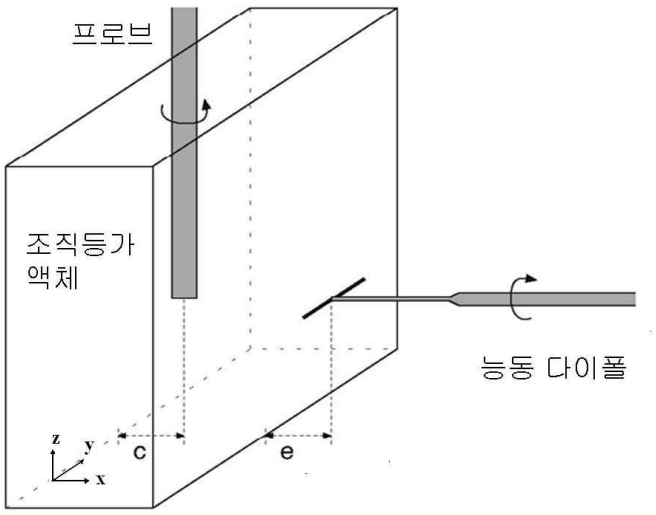
2) 세 개의 프로브 센서 중심이 다이폴 축의 연장선에 위치하도록 프로브를 액체 내에 수직으로 삽입한다.

3) 프로브의 수평 위치는 가능한 한 모의인체의 뒷부분 근처에서 정재파가 최대인 곳에 있어야 하며, 모의인체와 액체의 경계면으로부터 거리 C 만큼 떨어져 있어야 한다. 이 때 전기장은 부분적으로 균일하며 자기장은 최소값을 가져야 한다. 전기장이 변화하는 공간에서도 측정 가능하다(전기장의 최대값은 x축 방향으로 이동하며 선 분포측정을 통해 평가될 수 있다).

4) 다이폴 안테나에 24 dBm(필요시 조정 가능)의 전력을 공급한다.

5) 다이폴 안테나를 30 ° 이하의 간격으로 최소 0 °에서 90 °까지 그 축을 중심으로 회전할 때 각 단계에서 프로브를 15 ° 이하의 간격으로 0 °에서 360 °까지 프로브 축을 중심으로 회전하면서 SAR값을 측정하여 기록한다.

6) 측정된 SAR 평균값에 대하여 최대 SAR 편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다.



c : 용기의 뒤 면에서 프로브까지 거리
e : 액체 용기의 측면에서 최대 거리
주) 평가는 가급적 정재파에 의해 전자기장 기울기가 작은 c 위치에서 수행한다. 거리 e는 액체 표면과 다이폴 안테나 축 사이의 거리이다.

그림B.6 – 구 등방성 평가를 위한 장치 구성도(1)

B.4.2.2 평면모의인체의 밑면에 다이폴을 위치시킨 등방성 측정 방법

그림 B.7은 구 등방성을 평가하기 위한 또 다른 장치를 나타낸 것이다. 반파장 다이폴은 생체조직 등가용액으로 채워진 평면 모의인체 밑에 바닥과 평행하게 설치한다. 그림 B.7과 같이 프로브를 다이폴 급전점 위에 수직으로 삽입한다. 회전하는 프로브의 모든 위치는 정밀하게 제어한다. 다이폴을 회전(θ : 0 ° ~ 180 ° 회전)시키고 프로브 경도(ϑ : 0 ° ~ 75 °)를 변화시키면서 프로브를 그 축을 중심으로 회전(ϕ : 0 ° ~ 360 ° 회전)하면 반구의 수신 패턴에서 중요한 부분에 대한 3차원 평가를 얻는다. 평면모의인체의 밑면에 다이폴을 위치하여 프로브의 구 등방성을 평가하는 절차는 다음과 같다:

1) 그림 B.7과 같이 측정 장비를 구성한다.

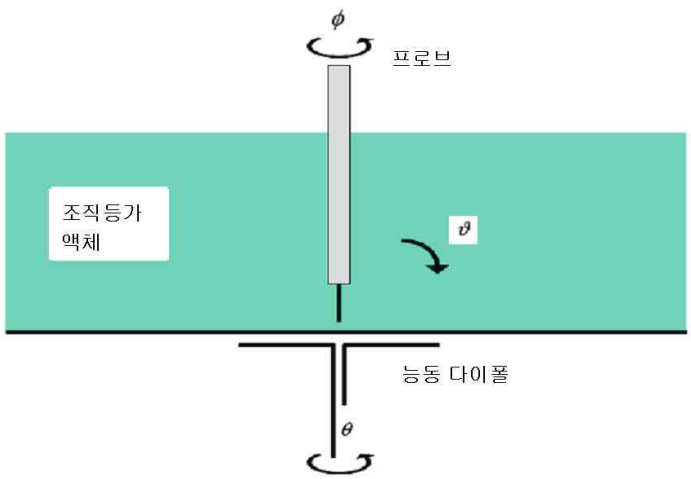
2) SAR값이 0.5 W/kg ~ 1 W/kg 사이가 되도록 다이폴 안테나에 공급되는 전력을 조정한다.

3) 다이폴 안테나 각도 θ = 0 °, 프로브 경도 ϑ = 0 °으로 두고 프로브를 축을 중심으로 ϕ = 15도 이하의 간격으로 0 ° ~ 360 ° 회전하면서 SAR값을 측정하여 기록한다.

4) 프로브 경도 ϑ를 15 ° 이하의 간격으로 0 ° ~ 75 °까지 변화시키면서 3) 단계 과정을 반복한다.

5) 다이폴 각도 θ를 30 ° 이하의 간격으로 0 ° ~ 180 °까지 회전하면서 3), 4) 단계 과정을 반복하여 SAR값을 측정, 기록한다.

6) 측정된 SAR 평균값에 대하여 최대 SAR 편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다.



ϑ 프로브 축의 경사각
θ 다이폴 축의 회전각
ϕ 프로브 축의 회전각

그림 B.7 –구 등방성 평가를 위한 장치 구성도

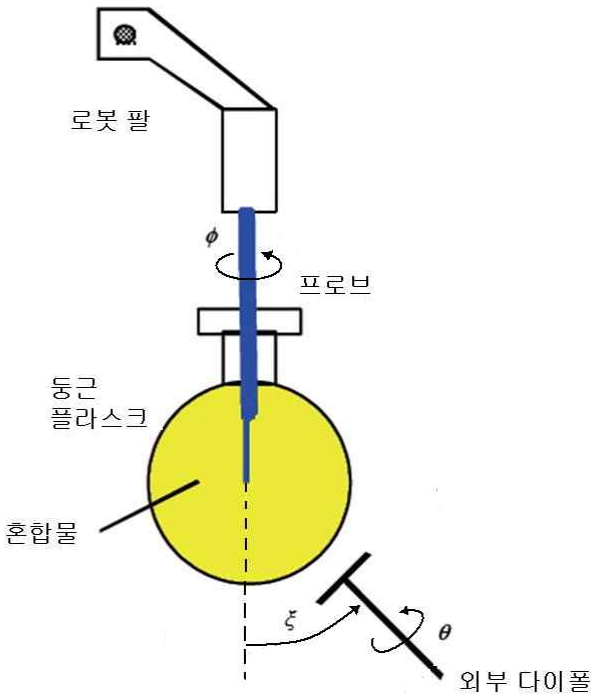
B.4.2.3 다이폴과 구형 모의인체를 이용한 등방성 측정 방법

완전한 반구에서의 프로브 수신 패턴의 등방성은 생체조직 등가용액을 채운 구형 플라스크와 외부 다이폴을 이용하여 평가할 수 있다. 프로브의 반구에서 수신 패턴은 구면 플라스크

의 기하학적 중심에 프로브 센서를 위치시키고 외부 다이폴 안테나에 의해 제공되는 몇 가지 상이한 여기 조건(입사 각도와 편파에 영향을 주는)에 따라 축 주위로 프로브를 완전히 회전시킴으로써 구해진다. 이 구성에서 프로브 위치 제어기를 기울이고 프로브를 동시에 회전시킬 필요는 없다.

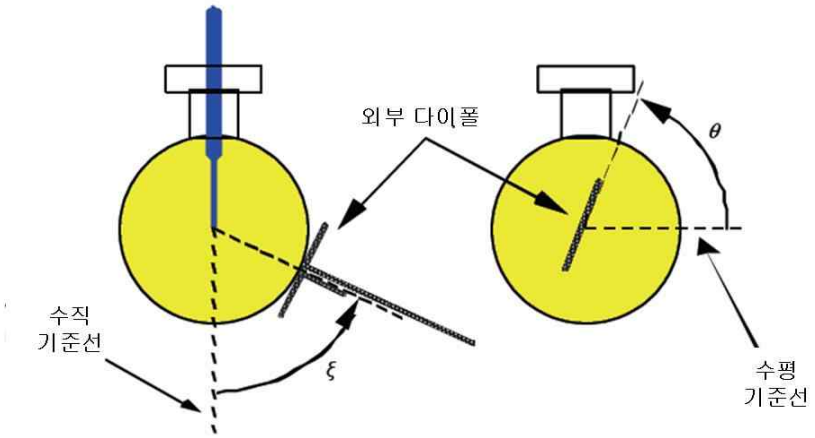
그림 B.8에 묘사되어 있는 실험 장치는 생체조직 등가용액을 채운 둥근 플라스크로 구성되어 있다. 프로브는 구의 부피 중심에 센서와 함께 수직으로 놓는다. 다이폴은 구형 플라스크의 가장 가까운 접합 평면에 평행하게 설치한다.

주) 생체조직 등가용액의 도전율 또는 동작 주파수가 높아지면 프로브에 전달되는 전파에 대한 경로 손실이 더 커지기 때문에, 상대적으로 작은 플라스크가 좋은 수도 있다. 그러나 상대적으로 큰 플라스크는 국부적으로 거의 평탄한 평면(곡률(曲率) 반경이 큼)의 형태를 가지므로 프로브 끝단으로 들어오는 파면이 국부적으로 더 평탄하게 되어 다이폴의 위치에 의한 허용오차를 줄여줄 수 있다.그림 B.9는 안테나 위치와 편파를 설명하기 위해 사용된 약속사항을 보여준다. 반구에서 프로브 수신 패턴에 대한 3차원 측정은 $0\ ° \le \xi \le 360\ °$ 각에서 외부 다이폴의 위치를 결정하는 한편 프로브 축에 대해 프로브를 360°회전시킴으로써 이루어진다. 요구되는 입사파의 편파는 축을 중심으로 다이폴을 $0\ ° \le \theta \le 180\ °$로 회전시켜 얻는다. $\xi = 0\ °$일 때, 여러 개의 θ 위치가 필요하지 않다. 이 장치를 이용하는 경우 측정점이 많이 필요하지만, 일반적으로 ξ는 30 °, θ는 15 ° 간격으로 특성을 측정하면 충분하다.



ξ 다이폴 축의 앙각
θ 다이폴 축의 회전각
ϕ 프로브 축의 회전각

그림 B.8 – 반구 등방성 평가를 위한 실험 장치



ξ 다이폴 축의앙각
θ 다이폴 축의 회전각

그림 B.9 – 다이폴 위치(*ξ*)와 편파(*θ*)에 대한 약속사항

예비 측정에서는 센서 다이오드가 다이폴에 의해 방사되는 특정 전력에 대하여 제곱 법칙 영역에서 동작하는지 확인하여야 한다. 측정은 각 다이폴 위치와 편파(*ξ, θ*)에 대하여 프로브를 완전히 360 °회전시킴으로써 이루어진다. 회전하는 동안 복사전력은 프로브의 모든 *ø* 위치에서 모니터링 되고 기록되어야 하며, SAR 표본은 공칭값(nominal value)에 대하여 정규화 되어야 한다. 이것은 우선적으로 배제될 수는 없지만, 여기서 고려되는 것 이외에 더 나쁜 등방성 성능을 갖게 하는 외부 다이폴의 위치와 편파가 고려될 필요는 없다. 그러나 시험 매트릭스는 예를 들면 일부 프로브에서 센서 방향을 충족시키는 편파 조건과 같은 특정한 경우를 포함하도록 확장될 수 있다.

평면 모의인체의 등방성 시험에서와 마찬가지로, 사각 불확정도 분포가 가정된다. 그러나 적절한 실험적 실행(experimental practice)이 이루어진다면 입사파의 특정 편파 및 방향에 따라서 프로브 교정이 수행되는 경우 이 불확정도가 상당히 감소될 수 있으며, 그 이후 SAR를 측정하는 동안 본질적으로 동일한 조건이 유지된다.

다이폴과 구형 모의인체를 이용한 프로브의 구 등방성은 다음 절차에 따라 평가한다:

1)그림 B.8과 같이 측정 장비를 구성한다.

2) SAR값이 0.5 W/kg ~ 1 W/kg 사이가 되도록 다이폴 안테나에 공급되는 전력을 조정한다.

3) 다이폴 안테나 각도 *ξ* = 0 °, *θ* = 0 °로 두고 프로브를 축을 중심으로 *ø* = 15도 이하의 간격으로 0 ° ~ 360 ° 회전하면서 SAR값을 측정하여 기록한다.

4) 다이폴 안테나 각도 *θ* 를 15 ° 이하의 간격으로 0 ° ~ 180 °까지 변화시키면서 3) 단계 과정을 반복하여 측정한다.

5) 다이폴 각도 *ξ* 를 30 ° 이하의 간격으로 0 ° ~ 360 °까지 회전하면서 3), 4) 단계 과정을 반복하여 SAR값을 측정, 기록한다.

6) 측정된 SAR 평균값에 대하여 최대 SAR 편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다.

B.4.2.4 기준 안테나를 이용한 등방성 측정 방법

기준 안테나를 이용한 프로브의 등방성 평가는 다음과 같이 수행한다.

1) 그림 B.10과 같이 한 안테나를 생체조직 등가용액 내에 위치시킨다. 안테나는 액체 용기 벽으로부터 최소한 10 cm의 거리에 있어야 한다.

2) 검출기의 중심이 안테나로부터 $d \geq 2D^2 / \lambda_{liquid}$ 의 조건을 만족시키는 거리 d에 있도록 액체 내에 프로브를 위치시킨다. 여기서 D는 기준 안테나의 최대 치수이고 λ_{liquid}는 액체에서의 파장이다. SAR값이 이 위치에서 0.5 W/kg과 1 W/kg 사이가 되도록 기준 안테나에 공급되는 전력을 조정한다.

3) 프로브의 주축이 안테나로부터의 노출 방향과 직교하도록 프로브 축의 방위를 맞춘다 (그림 B.10 참조).

4) 15 ° 이하의 간격으로 0 °에서 360 °까지 그 주축에 대해 프로브를 회전시키고 SAR값을 기록한다. 축 등방성은 r.m.s. 값에 대한 SAR 편차로 정의된다.

5) 15 ° 이하의 간격으로 0 °에서 90 °까지 프로브 축(그림 B.11 참조)이나 기준 안테나를 0 ° 에서 90 °까지 회전시킴으로써 기준 신호의 입사각을 변경한다.

6) 각각의 입사각에 대해서 15 °이하의 간격으로 0 °에서 360 °까지 그 주축에 대해 프로브를 회전시켜 SAR값을 기록한다.

7) 측정된 SAR 평균값에 대하여 최대 SAR 편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다.

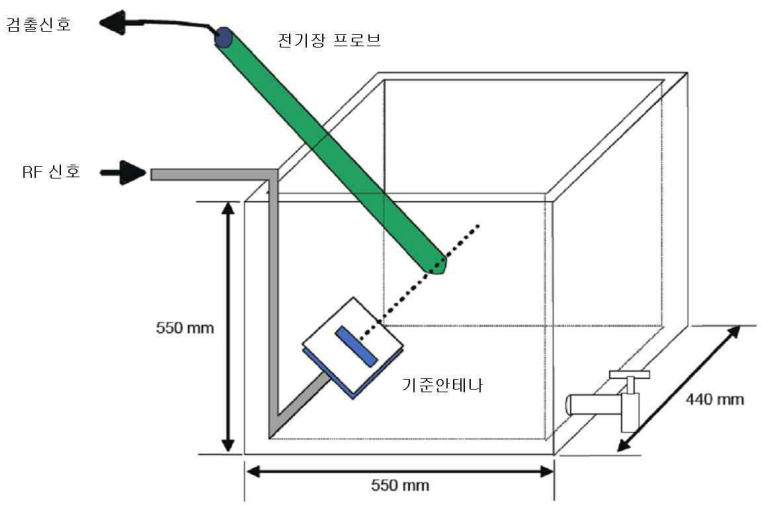
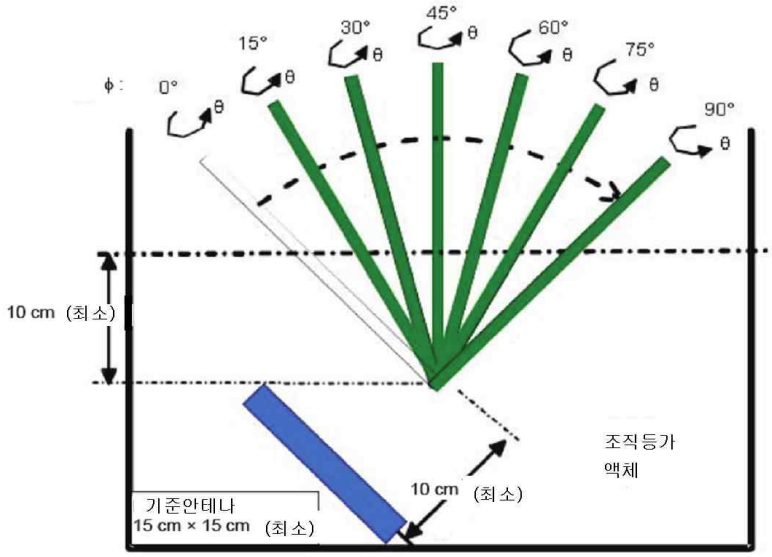


그림 B.10 – 기준 안테나를 이용한 축 등방성 측정



θ : 프로브 축의 회전각
ϕ : 프로브 축의 경사각

그림 B.11 – 기준 안테나를 이용한 반구 등방성 측정

B.5 선형성 및 프로브 검출 제한치

프로브의 비선형성은 다이폴 특성에만 의존하기 때문에 프로브의 선형성 평가는 공기 중이나 생체조직 등가액체 내 어디에서도 평가할 수 있다. 프로브 선형성은 프로브 검출 범위를 포함하는 전력을 스윕(sweep)함으로서 수행된다. 높은 세기의 전자기장이 중간 전력 증폭기에 의해 발생할 수 있기 때문에 소형 TEM 셀, 도파관 또는 기준 안테나가 이용될 수 있다.

선형성 오차는 0.02 W/kg ~ 100 W/kg 범위에서 정의된 가장 근접한 선형 기준 곡선으로부터 측정치의 최대 편차로 정의된다. 프로브 선형성이나 프로브 검출 제한치는 그림 B.3 또는 그림 B.5에 설명한 장치 중 하나를 이용하여 평가할 수 있다. 이때 전력은 0.02 W/kg ~ 100 W/kg 범위에서 1 dB 이하의 간격으로 증가시켜야 한다.

프로브의 SAR값 검출 범위는 프로브 응답이 선형성으로부터 ±0.5 dB 이내에 있는 최저 SAR값 및 최고 SAR값으로 정의할 수 있다.

프로브의 선형성 및 검출 범위는 연속파와 펄스파(반복율 500 Hz, 동작계수 10 %) 두 가지에 대하여 각각 평가되어야 한다.

B.5.1 연속파에 대한 선형성 및 검출 제한치 측정 방법

1) 그림 B.5와 같이 측정 장비를 구성한다.

2) SAR 프로브를 생체조직 등가용액에 삽입하여 프로브 센서 부분이 평면 모의인체 바닥으로부터 5 mm 이격되도록 한다.

3) 신호 발생기의 출력을 연속파로 하여 매우 낮은 세기로부터 점차 높여가며 SAR 프로브가 전기장 세기 변화를 인식할 수 있는 최소 SAR 검출 하한치를 구한다.

4) SAR 측정값이 하한치에서 포화상태에 이를 때까지 신호 발생기의 출력값을 1 dB 이하의 간격으로 높여가며 각 단계에서의 SAR 측정값을 측정하여 기록한다.

5) 4) 단계에서 측정한 결과에서 다이폴 안테나 공급 전력 변화에 대한 SAR 측정값 변화를 1차 직선 형태로 맞출 때, 0.02 ~ 100 W/Kg SAR값에 대하여 그 편차가 ±0.5 dB 이내에 있는지 확인한다. 이는 SAR 프로브가 규정된 선형성을 만족함을 의미한다.

6) 이때 1차 직선으로 추정한 SAR값과 실제 측정값 간의 차이가 ±0.5 dB 이내를 만족하는 최소값과 최대값을 구한다. 이 값이 프로브의 검출 하한치와 검출 상한치이다.

B.5.2 펄스파에 대한 선형성 및 검출 제한치 측정 방법

1) 그림 B.5와 같이 측정 장비를 구성한다.

2) SAR 프로브를 생체조직 등가용액 내로 삽입하여 프로브 센서 부분이 평면 모의인체 바닥으로부터 5 mm 이격되도록 한다.

3) 신호 발생기를 이용하여 반복율 500 Hz, 동작 계수 10 %인 펄스파를 입력한다. 펄스 신호 세기를 매우 낮은 값으로부터 점차 높여가며 SAR 프로브가 전기장 세기 변화를 인식할 수 있는 최소 SAR 검출 하한치를 구한다.

4) SAR 측정값이 하한치에서 포화상태에 이를 때까지 신호 발생기의 출력값을 1 dB 이하의 간격으로 높여가며 각 단계에서의 SAR 측정값을 기록한다.

5) 4)단계에서 측정한 결과에서 다이폴 안테나 공급 전력 변화에 대한 SAR 측정값 변화를 1차 직선 형태로 맞출 때, 0.02 ~ 100 W/Kg SAR값에 대하여 그 편차가 ±0.5 dB 이내인 있는지 확인한다. 이는 SAR 프로브가 규정된 선형성을 만족함을 의미한다.

6) 이때 1차 직선으로 추정한 SAR값과 실제 측정값 간의 차이가 ±0.5 dB 이내를 만족하는 최소값과 최대값을 구한다. 이 값이 프로브의 검출 하한치와 검출 상한치이다.

B.6 경계 효과

모의인체 외피의 내부 표면과 가장 가까운 곳에서의 민감도는 정상적인 교정 조건에 의해 평가된 결과와 차이가 난다. 이런 편차는 대략 평면파 노출의 전자기장 분포에 대응하는 평면 모의인체 내부의 전자기장 분포를 이용함으로써 평가하여야 한다. 이런 효과를 결정하기 위해 그림 B.3이나 그림 B.5와 같이 구성된 장치가 사용될 수 있는데, 그림 B.1 장치가 이용되는 경우, 경계 효과는 프로브가 경계면에 수직인 방향일 때 액체에서 지수함수적 감소하는 컴퓨터 시뮬레이션 데이터와 SAR 측정 데이터 사이의 편차로 결정된다. 절차에 대한 불확정도는 7.2.1.5절에 따라 평가하여야 한다.

B.6.1 경계 효과 측정 방법

1) B.3.1.2.2.1 절의 그림 B.3과 같이 측정 장비를 구성한다.

2) 방향성 결합기에 전력 측정기 PM1, PM2, PM3를 연결한 후 도파관 내부에 적절한 세기의 전기장이 형성(즉 다이오드 센서 출력이 전기장 세기의 제곱에 비례하는 영역)될 수 있도록 신호발생기의 출력을 조정한다. 이때의 전력 측정기 PM1 값을 기록한다.3) 방향성 결합기의 출력단자를 전력 측정기 PM3에서 떼어낸 후 수직 개방형 도파관 입력단에 연결한다. 이때 전력 측정기 PM1값에 변화가 있으면 신호발생기의 출력을 조정하여 2) 단계에서 측정한 값과 동일하게 한다.

4) 수직 개방형 도파관의 중앙 부근에서 SAR 프로브를 생체조직 등가용액 내로 삽입하여 프로브 센서 부분이 유전체 판 상단부 표면에서 프로브 팁 직경의 1/2 지점으로부터 프로브가 접근할 수 있는 최소 바닥지점까지 1 mm 간격으로 이동하면서 각 지점에서의 SAR값을 측정하여 기록한다.

5) 유전체 판 상단부 표면에서 프로브 팁 직경의 1/2 거리만큼 떨어진 지점까지 이론적으로 구한 SAR값과 4) 단계에 의해 실제 측정값을 비교하여 그 차이를 %로 기록한다.

B.7 응답 시간

프로브 응답 시간은 신호 입력이나 스위치 개폐 후 프로브 응답 최종값의 90 %에 도달하는 시간을 말한다. 이때 입력신호의 세기는 국부 SAR값이 최소 0.5 W/kg 이상이 되도록 입력 신호의 세기를 조정하여야 한다.

B.7.1 응답시간 측정 방법

1) 그림 B.5와 같이 측정 장비를 구성한다.

2) SAR 프로브를 생체조직 등가용액 내로 삽입하여 프로브 센서 부분이 평면 모의인체 바닥으로부터 5 mm 이격시켜 다이폴 안테나 중심 바로 위에 위치하도록 한다.

3) SAR값이 0.5 W/kg ~ 1 W/kg 사이가 되도록 다이폴 안테나에 공급되는 전력을 조정한다.

4) 신호발생기를 이용하여 펄스 주기가 2초이고 펄스 폭이 1초인 주기적인 펄스 신호를 다이폴 안테나에 공급하여 시간 변화에 따른 프로브의 SAR값 변화를 측정한다.

5) 펄스 신호가 인가되는 동안 SAR값이 증가하기 시작하는 시간과 최종 SAR값의 90 %에 도달하는 시간의 차를 구하여 이를 응답시간으로 기록한다.

부록 C
후처리 기술 및 불확정도 평가

C.1 외삽 및 내삽 기법

C.1.1 서론

모의인체 내의 국부 SAR은 프로브 커버/케이스에 들어있는 작은 다이폴 감지 소자를 이용하여 측정된다. 프로브 교정과 전기장 측정은 보통 내부의 다이폴 세트의 기하학적 중심을 기준으로 하여 수행된다. 측정 위치를 정할 때 다이폴이 프로브의 물리적인 끝단으로부터 수 mm 떨어져 있다는 것을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 모의인체 표면에서 최고 국부 SAR이 발생하고 이 값은 공간평균 첨두 SAR을 결정하는데 필수적이지만 프로브 끝에 의한 측정불확정도를 최소화하기 위해 모의인체 표면과 접촉하여 측정하지는 않는다. 따라서 외피로부터 떨어진 거리에서 측정된 값을 외삽하여 모의인체 표면의 SAR값을 구한다. 매우 섬세한 분해능으로 3차원 주사 데이터 배열을 얻어야 정확한 공간 평균 첨두 SAR를 평가할 수 있다. 예를 들어 전지 수명 등으로 인해 측정은 제한된 시간 주기에서 실시되어야 하기 때문에 측정된 데이터는 충분한 분해능을 갖는 배열이 되도록 내삽되어야 한다. 내삽, 외삽, 적분 및 평균화 절차에 의한 불확정도는 측정점 위치에서의 불확정도가 없다고 가정하여 도출된다.

C.1.2 내삽 기법

통계, 기저 함수 곡선피팅, 푸리에 분석 및 웨이브렛 또는 다항식이나 스플라인 피팅 등과 같은 다양한 수학적 기술을 이용한 내삽 기법이 있다.

C.1.3 외삽 기법

스플라인, 바이하모닉 스플라인, 웨이브렛, 다항식 또는 유리 함수를 이용한 외삽기법이 있다. 이것은 다양한 수학적인 계산방법으로 어떻게 구현하는가를 설명한다. 외삽의 정확성은 거리 및 외삽될 전자기장 분포에 의존하기 때문에 외삽과 관련된 불확정도는 신중하게 평가하여야 한다.

C.2 평균화 기법과 최대값 찾기

C.2.1 서론

외삽과 내삽 후에 국부 SAR 측정이 평균되어 평가된 입방체 체적은 국부 SAR 최대값을 포함하기 위해 모의인체 표면에 가까워야 한다. 그러므로 후처리에서 평균 체적은 표면과 일치할 때까지 수학적으로 계산되어야 한다.

C.2.2 입방체의 선택

C.2.2.1 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 입방체의 표면을 조정함으로써 얻어질 수 있다. 그 다음으로 입방체의 깊이를 줄이기 위해 입방체의 반대 표면을 조정함으로써 입방체의 체적을 바로잡고 1 g 또는 10 g의 평균 질량을 복원할 수 있다. 세 개의 배치 점은 1 g 또는 10 g의 입방체에서 발생하는 최대 SAR의 값을 구하기 위해 모의인체 표면에서 주사하여야 한다. 그림 C.1은 3점법을 나타내고 있다.

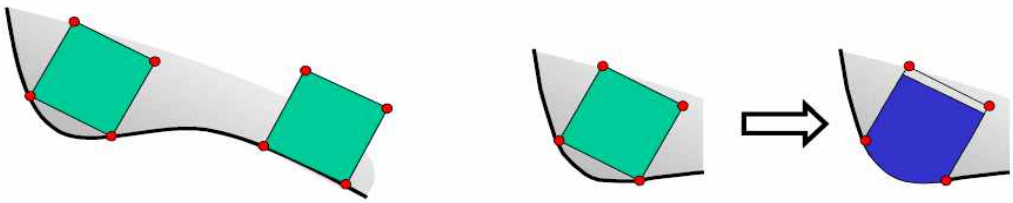


그림 C.1 - 3점법

C.2.2.2 접면법

또 다른 방법은 모의인체 표면상의 한 점을 선택하여 이것이 한 입방체 면의 중심과 일치하도록 정하는 것이다. 그에 따라 두 개의 접선 벡터 값이 구하여지고, 이것들은 모의인체 표면의 접선에서 입방체 표면을 정하는데 이용될 수 있다. 그 다음으로 질량 평균 최대 SAR 값을 구하기 위해 모의인체 표면에 수직인 벡터를 중심으로 입방체를 회전시키기 전에 입방체의 나머지 면들을 위치시킨다. 이전의 방법에서처럼 모의인체 외피와 접촉하는 입방체의 표면은 최고 국부 SAR 영역을 완전히 포함시키기 위해 등각으로 만들어져야 한다. 그 다음으로 입방체의 반대면은 1 g 또는 10 g의 평균 질량을 유지하기 위해 확장되거나 수축된다. 1 g 또는 10 g 입방체에서 최대 SAR을 산출하기 위해 모의인체의 표면상의 점에서 입방체를 주사하고 회전시켜야 한다. 그림 C.2는 접선면 방법을 나타내고 있다.

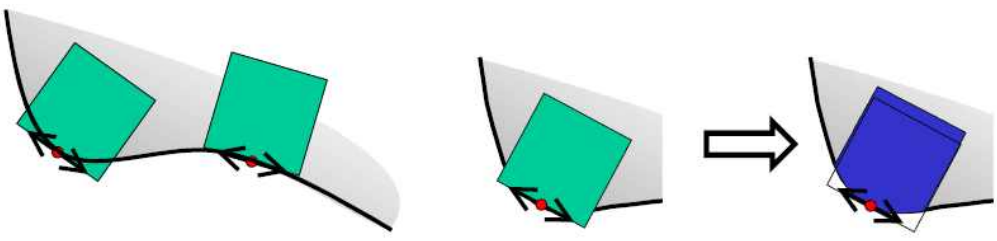


그림 C.2 - 접면법

C.2.2.3 평균 방법

주요 목표는 1 g 또는 10 g의 평균하는 질량을 얻는 것이다. 그 목표를 달성하기 위해 입방체의 질량이 1 g 또는 10 g을 초과할 때까지 입방체가 커지도록 하기 위하여 SAR 점을

한 층 한층 더할 수 있다. 그 다음 흡수된 해당 전력은 선형 내삽에 의해 추론 가능하다. 그림 C.3은 평균 방법을 나타내고 있다.

주) 보통 평균하는 입방체는 측정점이 내삽된 격자로 인해 계단 형태로 묘사된다. 특히 입방체에 대해서 각각 내삽을 할 수도 있지만 그런 방법은 내삽으로 평균하는 입방체에 따라서 다르기 때문에 좋은 방법이 아니다.

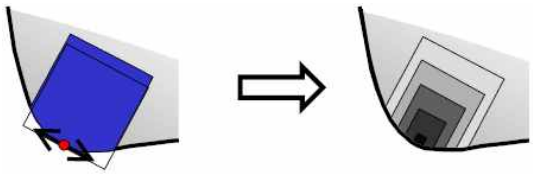


그림 C.3 - 평균 방법

C.2.3 평균 돌출 방법

평균화 방법은 입방체가 본질적으로 측정 격자와 일치하거나 최소한 외삽 및 내삽된 데이터 격자와 일치하기 때문에 간단하다. 질량 평균한 최대 SAR은 선택된 영역, 예를 들면 어떤 기준을 넘어서는 국부 SAR이 있는 영역에서 평균하는 입방체를 이동시킴으로써 찾을 수 있다. 그림 C.4는 평균의 돌출 방법을 나타내고 있다. 체적의 주사는 모의인체의 표면과 평행하게 행해질 수 있다. 이 방법에 의해 돌출된 체적은 형상에 있어 입방체에 가깝고 표면에 일치하게 된다.

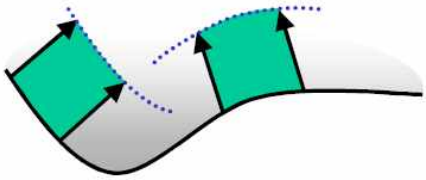


그림 C.4 - 평균 돌출 방법

C.2.4 평균 기법 및 최대값 검색의 불확정도 평가

첨두 국부 SAR은 모의인체의 내부 표면에서 발생하므로 최대 공간 평균 SAR은 모의인체의 표면에 존재하는 입방체 조직 체적 내에서 발생하여야 한다. 그러므로 고정밀 분포측정은 모의인체 내부 표면의 주사로부터 결정되는 첨두 국부 SAR을 중심으로 수행되어야 한다. 이러한 주사 표면은 질량 평균에 이용되는 조직 입방체의 선형 치수의 최소한 1.5 배만큼 모든 방향으로 확장되어야 한다. 컴퓨터 제어 알고리즘이 질량 평균 입방체의 국부 SAR 변화율에 따라 가장 높은 SAR을 결정하는데 이용되어야 한다.

평균 기법 및 최대값 검색의 불확정도 기여는 7.2.4의 평가에 포함되어 있는데 그 이유는 그것이 외삽과 내삽뿐만 아니라 평균 및 최대값 검색 기법도 기준을 정하기 때문이다.

C.3 주사 및 데이터 평가에 대한 예

C.3.1 서론

다음의 예는 SAR 주사 및 데이터 평가 절차가 수행될 수 있는 방법을 설명한다. 그것은 한 가지 특별한 수행만을 설명하기 위한 것이며 다른 수행도 가능하다.

C.3.2 최대값을 찾기 위한 영역 주사

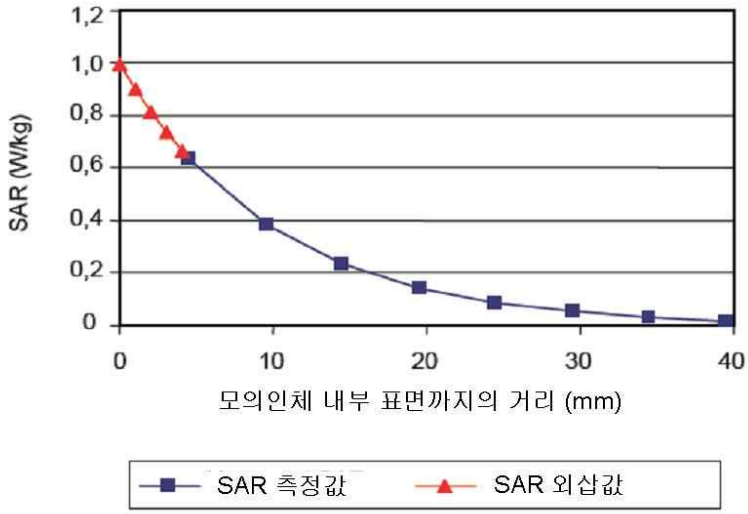
균질한 머리 모델을 이용하여 평가되는 300 MHz 이상에서 동작하는 휴대단말기에 대해서, SAR 분포는 모의인체 외피의 표면으로부터 8 mm 미만의 고정된 이격 거리를 유지하며 2 차원 표면분포 측정 격자에서 측정된다. 주사 영역은 휴대단말기의 투사에 의해 노출되고 둘러싸인 모든 영역을 포함하여야 한다. 측정 프로토콜이 요구하는 대로 ±1 mm 이내로 표면으로부터 8 mm 미만의 고정된 거리를 유지하기 위해서는, 모의인체 내부 표면의 정확한 외형과 치수를 알아야 하며, 사전에 교정하거나 또는 오히려 SAR 측정 중에 프로브 위치 결정 요구 사항에 맞는 기계적 또는 광학적 표면 검파 메커니즘을 사용하여 검출하여야 한다. 이러한 평가 기술은 격자점 사이의 최대 간격을 결정한다. 즉, 두 개의 엇갈린 1차원 입방체 스플라인(spline)이 최대 SAR 위치를 찾는 데 이용되는 경우 20 mm × 20 mm 크기의 격자는 요구되는 정확성을 얻기에 충분하다.

C.3.3 정밀체적분포 측정(Zoom scan)

최대 국부 SAR은 정밀체적분포 측정 중에 1 mm에서 2 mm의 분해능으로 내삽된 격자에서 값을 구한다. 표면분포측정으로 결정되는 첨두 SAR 위치에 중심을 둔 5×5×7개의 점으로 구성되는 32 mm × 32 mm × 30 mm의 정밀체적분포 측정이 선택될 수 있다. 이것은 모의인체의 표면과 평행한 가로와 세로 방향으로 8 mm의 주사 분해능으로 충분하지만 모의인체의 표면과 수직인 방향으로는 충분한 외삽 정확도를 얻기 위해서 5 mm의 분해능이 필요하다.

C.3.4 외삽

전자기장 프로브의 실제 측정 위치가 프로브의 끝에서 떨어져 있는, 다이폴 센서의 기하학적인 중심과 일치하기 때문에 모의인체의 표면과 가장 가까운 측정 가능한 점 사이의 1 g 또는 10 g SAR를 계산하는데 요구되는 SAR값은 외삽으로 결정하여야 한다. 기본적인 지수 맞춤(fit)이 휴대단말기 평가에서 발생하는 많은 전형적인 SAR 분포를 외삽하는데 적합하지 않을 수도 있지만, 측정된 데이터의 4차 최소 자승 다항식 맞춤은 보통 만족스런 결과를 제공한다. 그림 C.5는 모의인체 표면 수직으로 측정된 사각점을 이용하여 모의인체 표면까지 1 mm 간격으로 외삽한 SAR값을 삼각점으로 나타낸다.



주) 삼각형은 1 mm 간격으로 외삽된 값을 나타낸다.

그림 C.5 – 측정된 SAR값을 모의인체 내부 표면으로 외삽한 SAR값.

C.3.5 내삽

정밀체적분포 측정 부피 내에서 측정 및 외삽된 SAR값은 세 개의 엇갈린 1차원 입방체 스플라인에 의해 1 g 또는 10 g 질량 평균 SAR를 결정하기 위해 1 mm 격자로 내삽된다.

C.3.6 적분

일반적인 사다리꼴 알고리즘을 이용하여 1 g 이나 10 g 입방체에서 SAR을 적분하는 방법이 있다. 최대 공간 평균 첨두 SAR은 정밀체적분포 측정 부피내의 가능한 모든 1 g 또는 10 g 입방체의 수치 적분 또는 더욱 복잡한 검색 알고리즘 적용으로 값을 구할 수 있다. 1 g이나 10 g 입방체의 표면이 정밀체적분포 측정 부피의 경계에 닿으면 전체 정밀체적분포 측정 이전의 1 g 또는 10 g 공간 첨두 측정으로 나타난 최대 SAR 위치를 중심으로 반복해서 적분하여야 한다.

부록 D
SAR 측정 시스템의 유효성 검사

D.1 서론

본 절은 SAR 측정시스템 유효성 검사에 관한 다음의 두 가지 표준절차를 제공한다.

a) 시스템 검사

b) 시스템 유효성 검사
이러한 서로 다른 유효성 검사 절차에 관한 목적과 적용은 다음과 같다:

시스템 검사는 모든 SAR 측정 전 또는 매일 실시할 수 있는 빠르고 신뢰할 수 있는 시험 방법이다. 이 검사의 목적은 장치 구성 요소가 편이 현상을 포함하여 시험기관의 교정 한계값 내에 있다는 것을 확인하는 것이다. 이 시험에는 평면 모의인체와 표준 신호원, 즉, 반파장 다이폴을 필요로 한다.

시스템 유효성 검사는 시스템 수준의 유효성을 검사하는 방법이다. 이 검사 장치는 평면 모의인체와 기준 다이폴로 구성되어있다(부록 G 참조). 그러므로 시스템 유효성 검사는 해부학적인 모의인체의 이용으로 인한 불확정도를 포함하지도 않고 피시험기기 위치 가변성으로 인한 불확정도도 포함하지 않는다. 이 검사는 매년(예를 들면 프로브 교정 후에) 시험 기관 간의 비교와 관련된 측정 전에(부록 E 참조), 새로운 소프트웨어의 출시, 다른 전자 판독기 또는 상이한 프로브와 같은 장치 변경이 발생할 때 마다 실시된다.

주) 기준 휴대단말기(E.3 참조)와 표준 해부학적 모의인체를 이용한 시험기관간 비교를 통해 시험 기관의 자격이 주어진다. 이 자격에는 인체와 흡사한 모의인체와 피시험기기 위치 결정 영향으로 인한 데이터 분산이 포함된다. 이 시험은 다양한 시험 기관의 정확도와 정밀 성능을 비교하기 위해 이용된다.

D.2 시스템 검사

D.2.1 목적

시스템 검사의 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 유효성 검사가 아니다. 시스템 검사는 다음과 같은 시스템에서 발생할 수 있는 단시간 편이와 불확정도를 검출한다:

a) 액체 파라미터의 변화(예를 들면 물 증발이나 온도 변화로 인한 것)
b) 부품 고장
c) 부품 편이
d) 장치구성이나 소프트웨어 파라미터에서 발생할 수 있는 운용자에 의한 불확정도
e) 시스템에서의 악조건, 예를 들면 RF 간섭

시스템 검사는 표준 신호원(D.2.3 참조)을 사용한 간략화된 구성에서의 완벽한 1 g 또는 10 g 평균 SAR 측정이다. 시스템 검사에서의 측정기기와 절차는 적합성 시험에 사용되는 것과 같다. 시스템 검사는 적합성 시험 중간 대역 주파수의 ±10 %내에 있는 선택된 고정 주파수에서 적합성 시험에서와 동일한 액체를 사용하여야 한다. 시스템 검사는 적합성 시험 전에 실시하며 그 결과는 항상 이용되는 신호원과 시험 주파수에 상응하는 목표값의 ±10 %내에 있어야 한다. 목표값은 그림 D.1에 있는 시스템 검사 구성을 이용하여 시스템 유효성 검사가 실시되었던 시스템에 의해 측정된 1 g 또는 10 g 평균 SAR이다. 이 목표값은 제어된 표준 신호원을 이용하여 결정하여야 한다.

D.2.2 모의인체 장치구성

평면 모의인체는 시스템 검사와 시스템 유효성 검사 목적으로(7절 참조) 권고된 생체조직 등가용액과 함께 사용되어야 한다. 최소의 횡축 치수(폭과 길이)는 SAR 측정이 1 % 이상 영향을 받지 않아야 한다. 평면 모의인체 바닥 표면의 최소 크기는 장축 a와 단축 b를 갖는 타원체에 의해 정의된다. 외피의 두께는 d 이다. 각 상수의 판단 기준은 다음과 같다.

f < 800 MHz인 경우, a ≥ 0.6 λ; b ≥ 0.4 λ; 6.0 mm ≤ d ≤ 6.3 mm

f ≥ 800 MHz인 경우, a ≥ 225 mm; b ≥ 150 mm; d = 2 mm

여기서 파장 λ는 자유공간에 대해 정의되며, 두께 d 는 ±0.2 mm 허용 오차 내에서 균일하여야 한다. 다이폴의 급전점은 타원체의 중심에 위치되어야 하며, 다이폴 암은 주축 방향으로 정렬되어야 한다(다이폴의 규격은 부록 G 참조). 플라스틱 재료인 모의인체 외피의 상대 유전율은 5 미만이어야 하며, 손실 탄젠트는 0.05 미만이어야 한다. 이 물질은 생체조직 등가용액과의 손상과 반응에 대해 내성이 있어야 한다. 최소 15 cm 깊이로 액체가 채워지는 경우, 액체 접촉면에서 신호원 바로 위에 있는 내부 표면 부분의 처진 정도는 800 MHz 내지 3000 MHz 주파수 범위에서는 공기 중의 파장의 1 % 미만이어야 하며, 800 MHz 미만의 주파수에서는 공기 중의 파장의 0.5 % 미만이어야 한다.

D.2.3 표준 신호원

모의인체는 필요한 주파수에 대한 표준 신호원(예를 들면 반파장 다이폴이나 패치 안테나)을 사용하여 조사(照射)하여야 한다. 시스템 유효성 검사(부록 G 참조)에 이용되는 기준 다이폴은 시스템 검사에도 이용될 수 있지만 필요사항은 아니다. 표준 신호원은 양호한 위치 결정 재현성, 기계적 안정성 및 임피던스 정합 특성을 가진 것으로 선택하여야 한다. 다음의 위치 결정 지시사항에서 반파장 다이폴은 표준 신호원의 한 예로서 이용된다.

반파장 다이폴은 모의인체 바닥 아래, 모의인체의 가장 긴 면과 평행한 축을 중심으로 하여 위치되어야 한다. 액체로 채워진 모의인체 내부 표면과 다이폴 중심 s(그림 D.1 참조) 사이의 거리는 각 시험 주파수에 대해 명시되어야 한다. 다이폴의 상단 표면과 모의인체의 바닥 표면 사이의 정확한 거리를 설정하기 위하여 저손실(손실 탄젠트 < 0.5) 및 저 유전상수(상대유전율 < 5) 공간이격자를 이용하여야 한다. 다이폴 안테나는 전력 측정에서의 불확정도를 줄이기 위해서 공진 주파수에서 20 dB(장치에서 측정)보다 좋은 반사 손실을 가져야 한다. 거리 s의 수용 가능한 허용 오차는 ±0.2 mm 이내 이어야 한다.

D.2.4 표준 신호원 입력 전력 측정

신호원 전력의 불확정도는 가능한 한 작아야 한다. 시스템 검사 시의 시험장치 구성은 방향성 결합기와 전력측정기를 사용할 필요가 있다. 권장하는 장치 구성은 그림 D.1과 같다(이것은 표준 신호원의 한 예로서 반파장 다이폴을 이용한다).

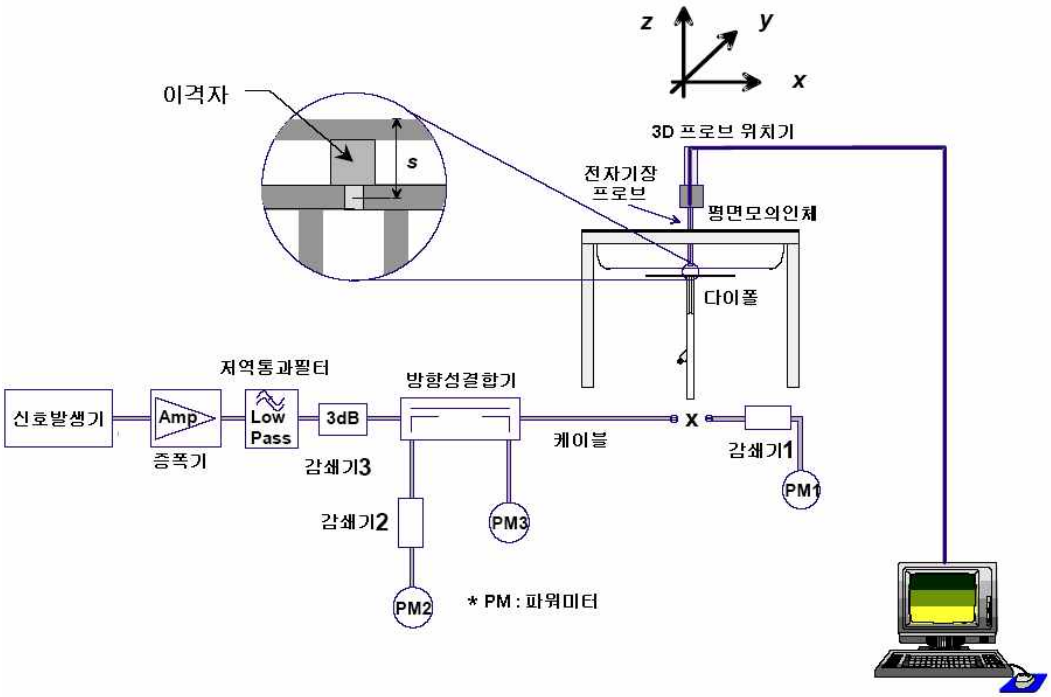


그림 D.1 - 시스템 검사를 위한 장치구성

먼저 전력측정기 PM1(감쇠기 Att1 포함)은 다이폴 커넥터(X)의 위치에서 순방향 전력을 측정하기 위해 케이블에 연결된다. 신호 발생기는 전력측정기 PM1에 의해 읽혀지는 다이폴 커넥터에서의 원하는 순방향 전력을 얻기 위해 조정된다(Att1의 감쇠 고려). 신호 발생기는 케이블을 다이폴에 연결한 후, 전력측정기 PM2에서의 같은 판독값을 얻기 위해 재조정된다. 신호 발생기가 0.01 dB 간격으로 조정이 안 되면 PM2에서의 나머지 차이를 고려하여야 한다. 다이폴의 정합은 반사된 전력이 순방향 전력보다 최소한 20 dB 낮음을 확실하게 하기 위하여 네트워크 분석기를 사용하여 확인하여야 한다.

구성 요소 및 측정기의 필요조건은 다음과 같다:

a) 신호 발생기와 증폭기는 워밍업 후에 안정적이어야 한다. 다이폴에 대한 순방향 전력은 프로브 시스템(부록 B5 참조)의 검출 하한치를 초과하는 SAR을 발생할 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 안 된다. 예를 들면 250 mW 출력 전력에서 작동되는 100 W 전력 증폭기는 잡음이 매우 심할 수 있다. 증폭기 입력을 보호하기 위해 신호 발생기와 증폭기 사이의

감쇠기가 권장된다.

b) 증폭기 후단에 삽입되는 저역 필터는 증폭기로부터의 잡음과 고조파 영향을 감소시킨다. 정상 작동하는 대부분의 증폭기에 대해서는 필터가 필요하지 않다.

c) 증폭기 후단의 감쇠기는 신호원 정합과 전력센서의 정확성을 향상시킨다.

d) 방향성 결합기(–20 dB 결합 계수 권장)는 순방향 전력을 감시(monitor)하고 안정된 순방향 전력을 얻기 위해 신호 발생기 출력을 조정하는데 사용된다. 중간 수준의 성능을 가진 결합기(coupler)만으로도 양쪽 모두(다이폴과 전력 헤드)의 부하를 정합시키기에 충분하다.

e) 전력측정기 PM2와 PM3은 낮은 편이와 0.01 dBm의 분해능을 가져야 하지만, 그렇지 않다 하더라도 정확성은 전력 장치에 미미한 영향을 미친다(절대 교정은 필요 없다).

f) 전력측정기 PM1과 감쇠기 Att1에는 고품질 기기를 사용하여야 한다. 이런 것들은 이왕이면 함께 교정하여야 한다. 감쇠기(-10 dB)는 전력 판독의 정확성을 향상시킨다. (어떤 고전력 헤드는 교정된 감쇠기가 내장되어 있다.). 시험 주파수에서의 감쇠기의 정확한 감쇠를 알아야 한다. 대부분의 감쇠기가 명시된 값으로부터 0.2 dB까지 변화한다.

g) 전력측정기 PM2와 PM3에서의 선형성 및 범위 변환 불확정도를 피하기 위해서 실제 측정에 이용되는 것과 같은 전력 레벨을 PM1 시험에 이용한다. 전력 레벨이 변경되면 전력 레벨 설정 절차를 반복하여야 한다.

h) 다이폴은 케이블(X) 위치에 직접 연결되어야 한다. 전력측정기가 다른 커넥터 형태를 가진다면 고품질 어댑터를 사용하여야 한다.

D.2.5 시스템 검사 절차

시스템 검사는 완벽한 1 g 그리고/또는 10 g 평균 SAR 측정이다. 측정된 1 g 그리고/또는 10 g 평균 SAR값은 표준 신호원의 목표 입력전력에 대해 규격화되며 측정주파수와 표준 신호원에 해당하는, 이전에 기록된 목표 1 g 그리고/또는 10 g 값과 비교된다. 수용 가능한 허용오차는 각 시스템 검사에 대해 결정되며, 이전에 기록된 시스템 검사 목표값의 ±10 % 내에 있어야 한다.

D.3 시스템 유효성 검사

D.3.1 목적

시스템 유효성 검사 절차는 기준 SAR값에 대한 시스템, 프로브의 성능, 전자 판독 및 소프트웨어를 시험한다. 그것은 외부 표준에 관한 시스템의 유효성 검사다. 이 유효성 검사 장치구성은 평면 모의인체와 기준 다이폴을 사용한다. 그러므로 이런 유효성 검사 과정은 해부학적인 모의인체의 이용으로 인한 데이터 분산이나 기기 위치 결정 가변성으로 인한 불확정도를 포함하지 않는다.

시스템 유효성 검사는 동작에 새로운 시스템이 적용될 때 또는 새로운 소프트웨어 출시, 다른 전자 판독기 또는 다른 유형의 프로브와 같은 시스템 변경이 이루어질 때마다 매년 실시

된다. 시스템 유효성 검사는 프로브 교정 후 행하여져야 한다.

본 부록의 목적은 SAR 측정 유효성 검사에 대한 방법론을 제공하는 것이다. SAR 측정 장치, 교정 기술, 모의인체 및 머리 생체조직 등가용액은 다양한 시험 기관 사이에서 폭 넓게 변화할 수 있기 때문에 유효성 검사 방법론은 합리적인 측정 불확정도내에서 일정한 결과가 얻어진다는 것을 확인하는데 필요하다. 수치 해석적으로 계산한 기준 SAR값은 표 D.1에 나와 있다.

주) 시스템 유효성 검사는 프로브 교정이나 7절의 불확정도 평가의 대안적 방법은 아니다. 프로브와 전자 판독기기는 부록 B에 주어진 절차에 따라서 정기적으로 교정되어야 한다. 프로브 반구 등방성은 시스템 유효성 검사를 위한 프로토콜에서 고려되지 않는다.

D.3.2 모의인체 장치구성

시스템 검사(그림 D.1 참조)를 위해 언급되는 평면 모의인체 장치구성은 시스템 유효성 검사 시험에도 사용된다. 시스템 유효성 검사는 표 1에 정의된 유전 특성을 가지는 머리 생체조직 등가용액을 이용하여 실시하여야 한다.

D.3.3 기준 다이폴 신호원

모의인체는 요구되는 주파수에 대해서 부록 G에 명시된 기준 다이폴을 이용하여 조사(照射)되어야 한다. 기준 다이폴은 모의인체의 바닥 아래, 모의인체의 가장 주축과 평행한 축의 중심에 위치하여야 한다. 저손실 및 저유전 상수 공간이격자는 기준 다이폴의 상단 표면과 모의인체의 바닥 표면 사이의 정확한 거리를 확보하는데 이용될 수 있다. 액체로 채워진 모의인체 바닥 표면과 기준 다이폴 중심(s로 지정됨) 사이 거리는 각 시험 주파수에 대해 0.2 mm이내로 명시된다. 기준 다이폴은 전력 측정에서의 불확정도를 줄이기 위해서 공진 주파수에서 –20 dB(장치에서 측정됨)보다 더 좋은 반사 손실을 가져야 한다.

부록 G에 설명한 기준 다이폴에 대해서는 이격 거리 s는 다음과 같다:

a) 300 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz에서 s = 15 mm ± 0.2 mm
b) 1000 MHz < f ≤ 3000 MHz에서 s = 10 mm ± 0.2 mm
기준 다이폴 암(dipole arm)은 ±2 ° 이하의 허용 오차 내에서 모의인체의 평평한 표면과 평행하여야 한다(그림 D.1 참조).

D.3.4 기준 다이폴 입력 전력 측정

시스템 검사를 위해 기술하는 입력 전력측정기(D.2.4) 구성은 시스템 유효성 검사 시험에도 이용된다.

D.3.5 시스템 유효성 검사 절차

시스템 유효성 검사는 소프트웨어의 성능과 완전한 측정 시스템의 정확성 검증에 사용된다. 장치 위치 결정과 머리 모의인체 외형 불확정도는 고려하지 않는다. 시스템 유효성 검사 절차는 6단계로 구성된다. 단계 a)는 시스템 유효성 검사 절차의 가장 중요한 부분이며 매번

행해져야 한다. 단계 b) - f)는 프로브, 전자 판독기 및 소프트웨어 성능의 신속하고 간단한 유효성 검사를 위한 수단으로 제공한다. 이런 추가 시험은 시스템 구성 요소가 변경될 때 (예를 들면 새로운 소프트웨어 출시, 새로운 전자 판독기, 새로운 프로브 유형 등) 언제든지 행하여져야 하지만 한 시험 기관(예를 들면 교정 시험 기관 또는 SAR 측정 시스템 최종 사용 시험 기관)에 의해서 동일한 시스템 버전에 대해서만 실시될 필요가 있다. 시스템 유효성 검사 절차는 다음과 같다:

a) **SAR 평가:** 완벽한 1 g 그리고/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 SAR값을 산출하도록 조정된다. 1 g 그리고/또는 10 g 평균 SAR은 적합성 시험에 이용될 범위 내에서 표 D.1에 있는 주파수에서 측정된다. 결과는 1W 순방향 입력 전력에 대해 정규화되며 표 D.1의 2와 3열에 나와 있는 기준 다이폴과 평면 모의인체에 대해서 기준 SAR값과 비교된다. 표 D.1에 주어진 기준 값으로부터의 차이는 표 3의 절차를 사용하여 시스템 유효성을 위한 확정 불확정도 내에서 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다(표 3의 주 10 참조).

b) **외삽 루틴:** 국부 SAR값은 공간 평균 첨두 SAR의 평가에 이용되는 것과 같은 점 간격(point spacing)을 이용하여 기준 다이폴 급전점 바로 위의 수직축을 따라서 측정된다. 이런 측정은 기준 다이폴 급전점으로부터 2 cm 수평 오프셋(y 방향 – 그림 D.1 참조)이 있는 다른 수직 축을 따라서 반복된다. 모의인체 표면에서의 SAR값은 외삽되며 표 D.1의 4와 5열에 주어진 수치와 비교된다. 표 D.1에 주어진 기준 값으로부터의 차이는 표 3의 절차를 사용하여 시스템 유효성을 위한 확정 불확정도 내에서 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다(표 3의 주 10 참조).

c) **프로브 선형성:** 단계 a)의 측정은 서로 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 그리고/또는 10 g 평균 SAR값을 산출하도록 선택된다. 측정된 SAR값은 1 W 순방향 입력 전력에 대해 정규화되고 단계 a)로부터 1 W 정규화된 값과 비교된다. 이 값의 차이는 표 3과 7.2.1.3의 절차를 사용하여 선형 부품을 위한 확정 불확정도 내에서 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다.

d) **변조 반응:** 단계 a)의 측정은 10 Hz의 펄스 반복률과 0.1의 동작계수(duty factor)를 갖는 펄스 변조 신호로 반복된다. 전력은 CW 신호로 질량 평균 SAR값이 대략 8 W/kg이 산출되거나 최대 전력이 대략 80 W/kg이 되도록 조정된다. 측정된 SAR값은 1 W 순방향 입력 전력과 1 이라는 동작계수에 대해 정규화되며 단계 a)의 1 W 정규화된 값과 비교된다. 이 값의 차이는 표 3의 절차를 사용하여 시스템 유효성을 위한 확정 불확정도 내에서 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다(표 3의 주 10 참조).

e) **시스템 오프셋:** 단계 a)의 측정은 대략 0.05 W/kg의 1 g 그리고/또는 10 g 평균 SAR을 산출하는 기준 다이폴 입력 순방향 전력으로 반복된다. 측정된 SAR값은 1 W 순방향 입력 전력에 대해 정규화되며 단계 a)의 1 W 정규화된 값과 비교된다. 이 값의 차이는 표 3의 절차를 사용하여 시스템 유효성을 위한 확정 불확정도에 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다(표 3의 주 10 참조).

f) **프로브 축 등방성:** 프로브는 모의인체 내부 표면으로부터 5 mm의 측정 거리에서 기준 다이폴 중심 바로 위에 위치한다. 프로브(또는 기준 프로브)는 15 °보다 크지 않은 간격

으로 축을 중심으로 최소한 180 ° 회전시켜야 한다. 최대와 최소 SAR 판독값이 기록된다. 이 값의 차이는 표 3과 7.2.1.2의 절차를 사용하여 선형 부품을 위한 확정 불확정도에 제조자 또는 설계자가 SAR 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차보다 작아야 한다.

D.3.6 기준 SAR값

시스템 유효성 검사 시험에서 주파수 f_i(부록 G에서 설명)를 위해서 만들어진 기준 다이폴은 시스템 유효성의 불확정도 내에서 표 D.1의 2와 3열에 나와 있는 수치 해석한 기준 공간 평균 첨두 SAR값을 산출하여야 한다. (표3의 주 10 참조) 표 D.1의 4와 5열은 D.3.5에 설명한대로 시스템 외삽 루틴의 유효성 검사에 사용된다. 기준 SAR값은 FDTD(finite-difference time domain) 수치해석 방법을 이용하여 계산되었다. 800 에서 3000 MHz 사이의 주파수에 대한 값은 4차 다항식 외삽을 이용함으로써 실험적으로 입증되었다. 시뮬레이션에 이용되는 무손실 모의인체 모델에 대한 파라미터(치수, 외피 두께 및 유전율) 및 기준 다이폴과 액체 사이의 거리 s는 표 H.1에 주어져 있다. 액체의 유전 특성은 표 1에 정의되어 있으며, 기준 다이폴의 치수는 표 G.1에 나타내었다.

표 D.1 - 기준 다이폴 및 평면 모의인체를 위한 수치해석 기준 SAR값.

주파수 [MHz]	1 g SAR [W/kg]	10 g SAR [W/kg]	급전점 위 표면에서의 국부 SAR [W/kg]	급전점에서 y=2cm 떨어진 표면에서의 국부 SAR [W/kg]
1	2	3	4	5
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
모든 값은 1 W의 순방향 전력에 대해 정규화된다.				
주) D.2.2 에서 주어진 모의인체 크기가 사용되어 계산되었다.				

부록 E
시험기관간 비교

E.1 목적

시험기관간 비교의 목적은 여러 다른 시험 기관들의 결과를 비교하여 다양한 SAR 측정 시스템의 유효성을 검증하는 것이다. 일반적인 개념은 5.2항에 명시된 유전 특성을 갖는 머리 생체조직 등가용액으로 채워진 SAM 모의인체와 기준 휴대단말기를 이용하는 것이다. 6절에 설명한 SAR 평가 방법이 사용된다.

다양한 시험기관의 측정 데이터가 비교되어야 한다. 또한 측정 불확정도 분석들도 비교하여야 한다. 측정 데이터 사이의 차이와 불일치가 측정 불확정도 때문이라면, 시험기관간 비교는 성공적인 것으로 본다. 그렇지 않으면 모든 불확정도의 원인은 7절에 따라 조사되어야 한다. 또한 7절에 정의된 것 이 외의 다른 불확정도의 가능한 원인도 고려하여야 한다.

E.2 모의인체 구조

해부학적인 모의인체는 5절과 부록 A에 설명되어 있다. 모의인체는 유전율이 낮고(5미만) 손실 탄젠트가 낮은(0.05 미만) 튼튼한 재료로 만들어진 설치 구조를 가져야 한다. 구조물로부터 50 cm이내에서의 금속 부품은 피하여야 한다.

모의인체는 6.1에 설명한 시험 위치에 따라서 장착된 기준 휴대단말기를 이용하여 조사(照射)하여야 한다.

E.3 기준 무선 휴대단말기

유통되는 상용 무선 휴대단말기로 당사자 간의 합의에 기초한다.

E.4 출력 설정

출력 설정은 시험기관간의 비교에 이용되는 기준 휴대단말기의 출력 전력 측정의 정확성에 의존한다. 참여하는 시험기관은 각 휴대단말기의 전도 전력이 기준값의 ±0.3 dB 이내의 범위에 들어오게 하여야 한다. 측정된 출력전력은 주관 시험기관에 통보하여야 한다.

출력 전력은 시험 소프트웨어를 이용하여 미리 결정된 값으로 조정되어야 한다. 피시험기기의 배터리는 완전히 충전되어야 한다.

정확한 출력 전력 측정을 위해서 신중한 노력을 기울여야 한다. 어떤 휴대단말기는 안테나 포트에서 쉽고 정확한 출력 전력 측정이 가능하다. 비교 시험에 이용하기 위한 기준 휴대단말기를 지정할 경우, 출력 전력 측정의 용이성을 고려하여야 한다. 필요하다면 기준 휴대단말기는 출력과 주파수 검증을 위해서 비교시험 기간 동안 주기적으로 주관 시험기관에 반납하여야 한다. 또한 주관 시험기관에서는 재현성이 좋은 측정방법을 이용하여 기준 휴대단말기에서 방출되는 전력을 검증하고, 모든 시험기관에서의 균일한 출력 전력을 위해서 배터리의 상태도 점검하여야 한다.

E.5 시험기관간 비교 - 절차

시험기관간 비교에 이용되는 SAR 평가를 위한 측정 절차는 6절에 따른 적합성 시험을 위한 절차와 동일하다. 시험 기관간 비교는 교정된 프로브와 유효성이 검증된 시스템을 통해 이루어져야 한다. 각 시험기관은 시스템 유효성 검증, 모의조직 측정, 시스템 불확정도 데이터, 측정된 출력 전력 데이터를 포함하여 7절과 8절의 필요 사항에 따르는 완전한 시험 보고서를 제출하여야 한다.

시험기관간 비교 결과는 7절의 노출 평가에 대한 확장 불확정도 내에 들어야 한다.

각 시험기관으로부터 나온 결과는 주관 시험기관에서 비교 평가하여야 한다.

부록 F
모의인체 좌표계 및 피시험기기 좌표계의 정의

모의인체와 관련되는 피시험기기 위치에 대한 분명한 설명을 위해 이러한 선택적 기준 좌표계 간의 오프셋과 회전을 이용할 수 있다.

모의인체 좌표계의 정의:

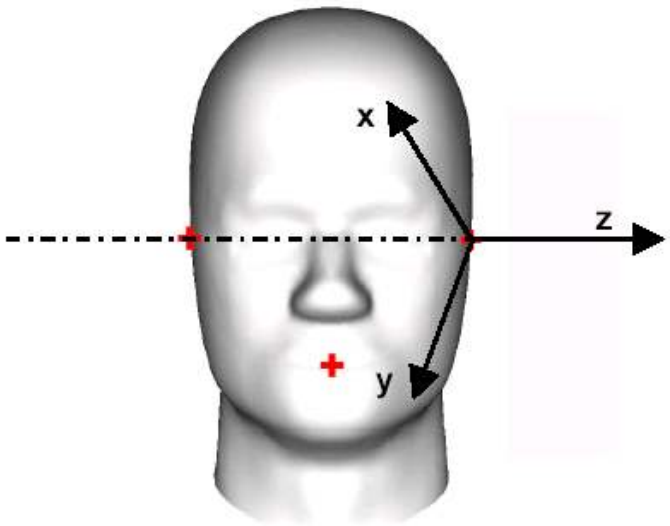


그림 F.1 – 모의인체 상에서의 좌표계

x, y, z 축은 오른손 좌표계를 구성한다. 축은 다음과 같이 정해진다:

- z-축은 왼쪽과 오른쪽 귀기준점 사이의 연결선으로 정해지며, 왼쪽에서 오른쪽으로 향한다. z=0 값은 왼쪽 귀기준점이다.
- y-축은 기준면에 있고 z-축과 직각을 이룬다.
- x-축은 기준면에 수직이고 귀기준점에서 기준면을 절단한다.

피 시험기기 좌표계의 정의는 아래와 같다.

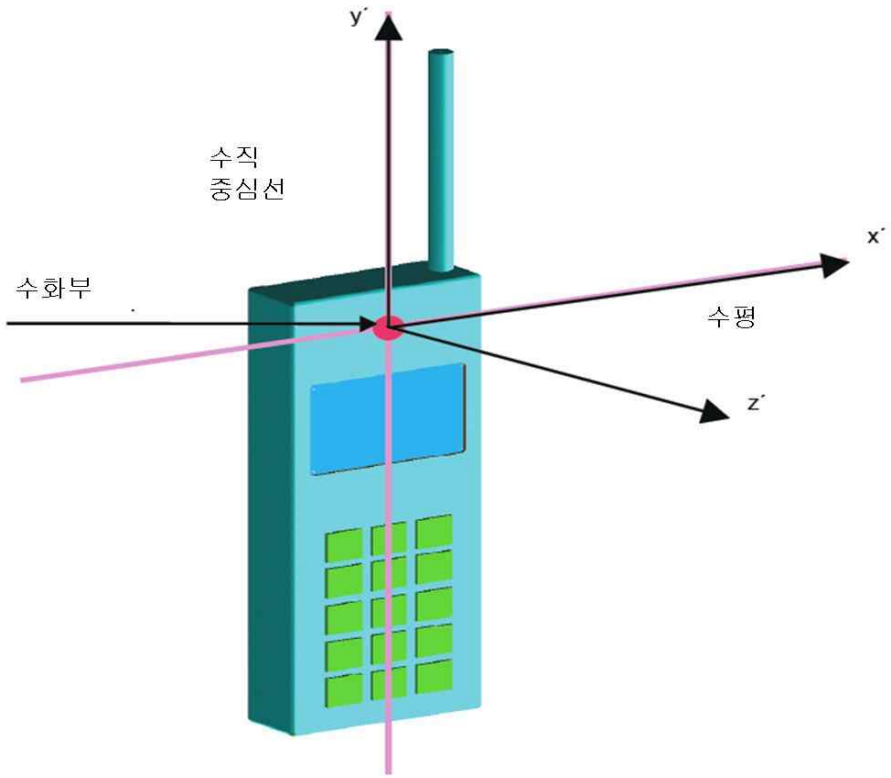


그림 F.2 - 피시험기기의 좌표계 예

부록 G
유효성 검사용 다이폴

모의인체는 필요 주파수에 대해 부록 D에 명시되어 있는 기준 다이폴을 이용하여 조사(照射)되어야 한다. 기준 다이폴은 표 G.1에 나타낸 특정 모의인체 외피의 유전 파라미터와 두께에 적합하게 정의된다. 기준 다이폴은 모의인체의 바닥 아래, 모의인체의 가장 긴 면에 평행한 축의 중심에 위치되어야 한다. 기준 다이폴의 윗면과 모의인체의 바닥면 간의 정확한 거리를 설정하기 위해 저손실 및 저 유전상수의 공간 이격자가 사용될 수 있다. 이 공간 이격자는 측정된 1 g 및 10 g 평균 SAR값을 1 % 이상 변하게 해서는 안 된다. 모의 조직이 채워진 모의인체 바닥면과 기준 다이폴 중심(*s* 로 지정) 간의 거리는 각 주파수에 대해 0.2 mm 이내로 명시되어야 한다. 기준 다이폴은 전력 측정에서의 불확정도를 감소시키기 위해 시험 주파수에서 –20 dB(시험 시스템에서 측정된) 보다 양호한 반사 손실을 가져야 한다. 이 요구 사항을 충족시키기 위해서 다이폴의 끝에 저손실의 유전체 또는 금속 조정 소자를 이용함으로써 기준 다이폴을 미세조정할 수도 있다(그림 G.1 참조).

표 G.1 – 기준 다이폴의 물리적 크기

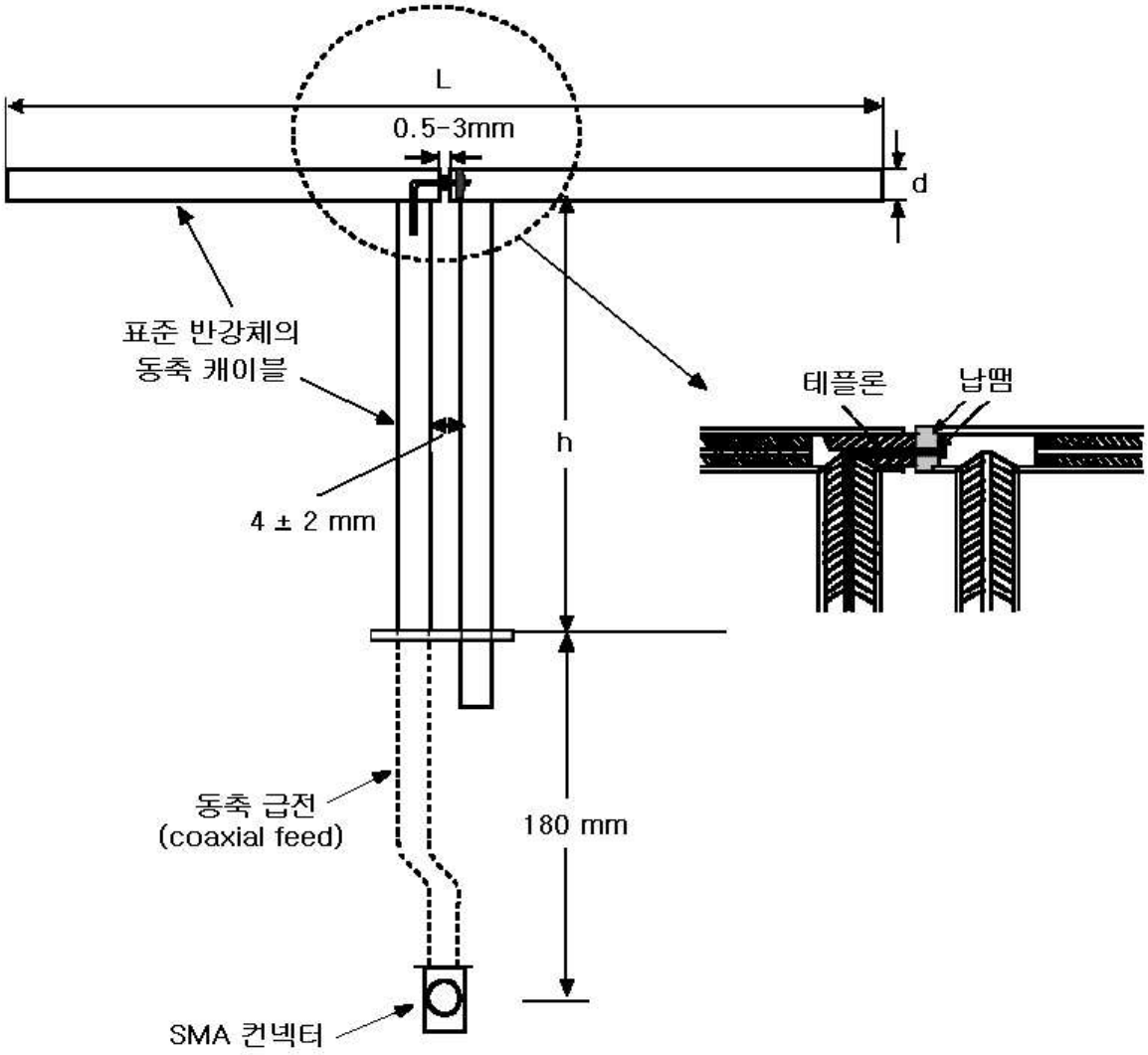
주파수 (MHz)	*L* (mm)	*h* (mm)	*d* (mm)
300	396.0	250.0	6.35
450	270.0	166.7	6.35
835	161.0	89.8	3.6
900	149.0	83.3	3.6
1450	89.1	51.7	3.6
1800	72.0	41.7	3.6
1900	68.0	39.5	3.6
1950	66.3	38.5	3.6
2000	64.5	37.5	3.6
2450	51.5	30.4	3.6
3000	41.5	25.0	3.6
주) 300 및 450 MHz에 대한 값은 모의인체 외피 두께가 6.3 mm인 경우 유효하다; 835 - 3000 MHz에 대한 값은 모의인체 외피 두께가 2 mm인 경우 유효하다. *L*, *h, d* 에 대한 허용 오차는 ±2 % 이상이어야 한다.			

부록 D에 기술되어 있는 기준 다이폴의 경우, 이격 거리 ***s*** 는 다음과 같다.

a) 300 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz인 경우, ***s*** = 15 mm ± 0.2 mm

b) 1000 MHz < *f* ≤ 3000 MHz인 경우, ***s*** = 10 mm ± 0.2 mm

기준 다이폴 암(reference dipole arm)은 ±2° 이하의 허용 오차 내에서 모의인체의 평탄면과 평행하여야 한다(그림 D.1 참조). 이것은 알코올 레벨(spirit level)을 이용하여 비어 있는 모의인체와 기준 다이폴을 수평레벨에 신중하게 위치시킴으로써 가능하다.



여기서
L : 다이폴의 길이
D : 다이폴의 직경
H : 벌룬 초크 섹션(balun choke section)의 길이

그림 G.1 - 기준 다이폴의 세부 구조

부록 H
평면 모의인체

상용 FDTD 코드를 이용하여 평면 모의인체의 치수(그림 H.1)가 액체로 된 모의인체(상자 제외)내부의 10 g 입방체내에 흡수되는 에너지에 미치는 영향을 수치 해석적으로 평가하였다. 모의인체는 15 mm(840 MHz에서 0.042 λ)의 거리에서 매칭된 다이폴 안테나로 조사(照射)하였다. 모의인체의 치수(W와 L)는 0.4 λ와 3 λ 사이에서 변화시켰다. 입방체에 흡수된 전력은 1 A의 급전점 전류나 1 W의 급전점 전력에 대해 규격화시켰다. 급전점 전력이나 급전점 전류에 대해 규격화될 때 입방체의 흡수 전력에서 편차가 발생하지만 불확정도를 1 % 미만으로 유지하는데 필요한 최소 치수는 두 가지 규격화 방법으로 결정되었다. 위의 조건은 그림 H.2에서 볼 수 있는 것처럼, 길이는 0.6 λ, 폭은 0.4 λ 보다 큰 평면 모의인체 치수에 대해서 만족된다. 모의인체의 폭은 별로 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 흡수된 전력의 편차를 1 %의 제한치 이내로 유지하기 위해서, 폭은 0.4λ미만이 되어서는 안 된다. 모의인체의 크기는 자유공간 파장을 이용하여 나타낼 수 있다. 모의 조직의 특성에 대한 의존성은 그것이 비교적 손실이 있는 만큼 중요하지 않다.

주) 더 큰 크기 때문에, 10 g 평균은 크기 변화에 대해 더 민감하다. 예를 들어, 1g 평균 관련 불확정도는 10 g 평균 관련 불확정도보다 더 작다.

차이를 발생시키는 영향은 다이폴의 전류 크기와 공간 분포의 섭동에 따라서 좌우된다. 다이폴의 크기는 SAR을 평균하는 체적에 비해 크기 때문에, 체적 크기에 따라서 섭동이 증가할 것이다. 이 연구에서 이용된 깊이는 부록 D의 평탄한 모의인체에 요구되는 15 cm가 아니라 10 cm이었지만, 이것은 840 MHz에서의 침투 깊이의 2.57배이며 따라서 액체 표면에서의 전력 반사는 무시해도 좋다(1 % 미만).

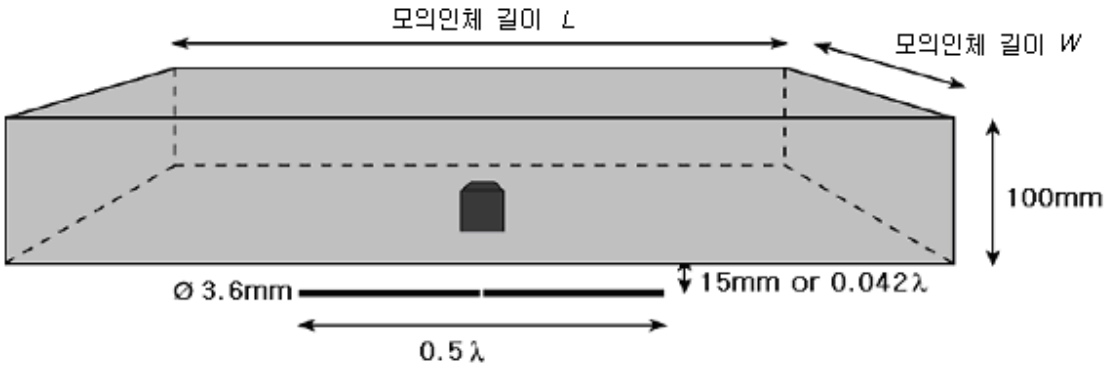


그림 H.1 – W와 L에 대한 최소 치수를 도출하는데 이용되는 평면 모의인체의 치수

주) 10 g 입방체는 평면 모의인체의 바닥 중심에서 볼 수 있다.

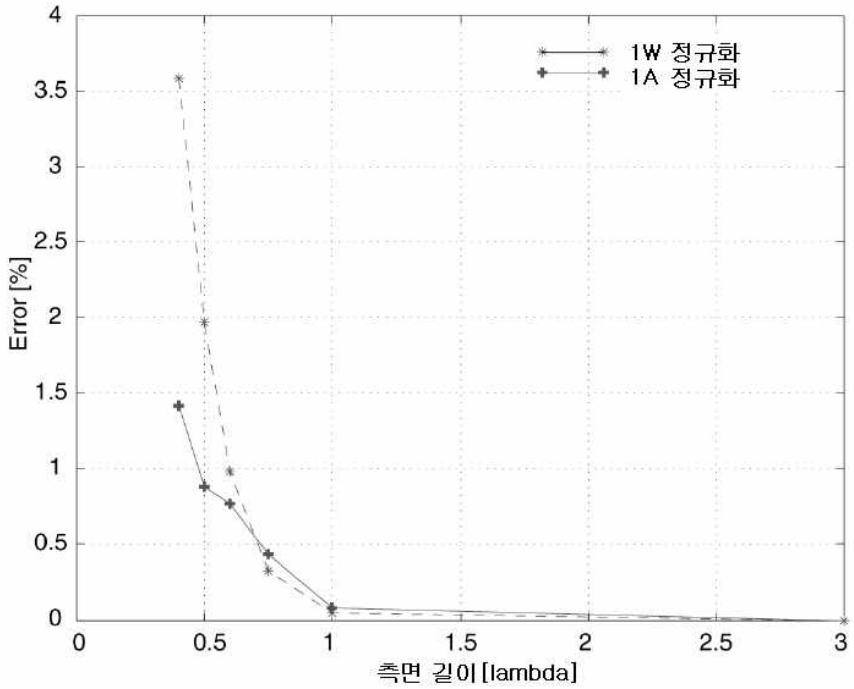


그림 H.2 – 무한 평면 모의인체 대비 평면 모의인체의 치수의 함수로서 10 g 공간 평균 첨두 SAR에서의 FDTD 예측 불확정도.

표 H.1 – 표 D.1의 기준 SAR값 계산에 이용되는 파라미터

주파수 (MHz)	인체 모형의 외피 두께 (mm)	인체 모형 외피의 유전율	FDTD 모델에 이용되는 인체 모형의 크기(mm) x, y, z	액체로부터 기준 다이폴까지의 거리 *s* (mm)
1	2	3	4	5
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	240, 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
이 표에서는 수치적인 FDTD 모델링에 이용되는 파라미터를 나타낸다.				

부록 I
모의인체 머리 생체조직 등가용액 조성 권고사항

I.1 서론

모의인체에 사용되는 용액 재료의 유전 특성은 표 1에 기술되어 있다. 표 1에 표시된 주파수 영역 사이의 다른 주파수에서의 생체 조직 등가 용액의 유전 특성에 대하여는 선형 내삽법이 이용되었다. 표 I-1은 표 1에서 정의된 것과 같은 파라미터를 나타내는 용액에 대한 조성비의 예를 제시하고 있다.

경고

사용자는 안전을 위해 물질에 대한 산업안전보건법 또는 물질안전자료집(MSDS)에 규정되어 있는 지시에 따라야 한다.

I.2 재료

생체조직 등가용액을 만들기 위해 다음과 같은 물질이 이용된다.

a) 자당(Sucrose, 설탕) (> 98 % 순도)

b) 소디움 클로라이드(Sodium Chloride, 소금) (> 99 % 순도)

c) 증류수(최소 저항 16 MΩcm)

d) 하이드록시 에틸 셀룰로스(HEC, Hydroxy Ethyl Cellulose)

e) 살균제(Bactericide)

f) 다이에틸렌 글리콜 부틸 에터(DGBE, Diethylene Glycol Butyl Ether) (> 99 % 순도)

g) 다이에틸렌 글리콜 모노헥실 에테르(DGMHE, Diethylene Glycol Mono-Hexyl Ether)

h) 폴리에틸렌 글리콜 모노(Polyethylene Glycol Mono) [4-(1.1.3.3-Tetra-methyl-butyl) Phenyl Ether]. 이것은 Triton X-100으로 대신할 수 있다. Triton X-100의 품질은 염기합성을 만족시키는 고순도이어야 한다.

i) 디아세틴(Diacetin)

j) 1.2-프로판디올(1.2-Propanediol)

k) 폴리옥시에틸렌(20) 솔비탄 모놀로레이트(Polyoxyethylene(20) sorbitan monolaurate; Tween 20 [1])

l) 유화제(Emulsifiers)

m) 광물성 기름(Mineral Oil)

주 1) HEC 기반 생체 조직 등가 용액의 점도는 전기장 프로브 이동에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 낮아야 한다.

주 2) 식염수를 만들기 위해서는 물에 소금을 먼저 넣은 다음 Triton X-100을 추가한다.

주 3) 실제 결과와 혼합비는 이용되는 구성 요소의 등급 및 유형에 따라 달라질 수 있다.

주 4) Triton X-100을 포함한 공식은 현재 검토 및 검증 중이다.

1) Tween은 Uniqema라는 미국 회사에서 만든 상품명. 주로 poly(ethylene glycol)의 친수성 그룹과 탄화수소의 소수성 그룹이 섞여있는 합성세제로서, 물과 기름을 섞이게 하는 용도, 또는 세포의 막을 파괴하는 용도 등으로 사용. Tween 20, 40, 60, 80 등이 있음

I.3 생체조직 등가용액 공식(유전율/도전율)

표 I.1 – 목표 유전 파라미터를 얻기 위해 제안된 조성비

주파수(MHz)	30	50		144		300	450				835		900				
레시피 번호	7	7	6	6	7	1	1	3	6	8	1	6	1	2	3	6	8
성분(중량 백분율)																	
1.2-프로판디올														64.81			
디아세틴	50.00	50.00			50.00			48.9							49.2		
살균제						0.19	0.19	0.5			0.10		0.10		0.5		
DGBE																	
HEC						0.98	0.98				1.00		1.00				
소금(NaCl)	1.60	1.60	1.77	1.57	1.60	5.95	3.95	1.7	1.96		1.45	1.25	1.48	0.79	1.1	1.35	
자당						55.32	56.32				57.00		56.50				
Triton X-100																	
증류수	48.30	48.30	53.53	55.12	48.30	37.56	38.56	48.9	48.53	56	40.45	50.36	40.92	34.40	49.2	50.31	56
산화 광물성 기름										44							44
Dielthylen Glycol Mono-Hexyl Ether(DGMHE)																	
Tween(표면활성 세정제)			44.70	43.31					49.51			48.39				48.34	
첨가제와 염	0.10	0.10			0.10												
측정된 유전 파라미터																	
ϵ'_r	54.2	53.1	54.54	52.81	51.0	46.0	43.4	44.3	43.56	42.3	41.6	41.6	41.2	41.8	42.7	41.0	40.6
σ(S/m)	0.75	0.75	0.76	0.76	0.77	0.86	0.85	0.90	0.87	0.84	0.90	0.90	0.98	0.97	0.99	0.98	0.98
온도(℃)			21	21		22	22	20	21	20	22	21	22	22	20	21	20
ϵ_temp_liquid$_{uncertainty}$(%)	0.8	0.1			0.1				0.1			0.04				0.04	
σ_temp_liquid$_{uncertainty}$(%)	2.8	2.8			2.6				4.2			1.6				1.6	
목표값(<표 5-1>에서 발췌)																	
ϵ'_r	55.0	54.5		52.4		45.3	43.5				41.5		41.5				
σ(S/m)	0.75	0.75		0.76		0.87	0.87				0.90		0.97				

표 I.1 – 목표 유전 파라미터를 얻기 위해 제안된 조성비 (계속)

주파수(MHz)	1450	1800						1900		1950	2000	2100		2450			3000	4000	5000	5200	5800	6000
레시피 번호	1	1	2	2	3	6	8	1	2	4	1	1	2	2	3	8	2	8	8	5	5	8
성분(중량 백분율)																						
1.2-프로판디올																						
디아세틴					49.43										49.75							
살균제					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																						
소금(NaCl)	0.67	0.36	0.35	0.18	0.64	0.50		0.18	0.35				0.16	0.16			0.16					
자당																						
Triton X-100			30.45						30.45				19.97	19.97			19.97			17.24	17.24	
증류수	53.82	52.64	55.36	54.90	49.43	54.23	56	54.90	55.36	55.0	50.0	50.0	71.88	71.88	49.75	56	71.88	56	56	65.53	65.53	56
산화 광물성 기름							44									44		44	44			15
Dielthylen Glycol Mono-Hexyl Ether(DGMHE)																				17.24	17.24	
Tween(표면활성 세정제)						45.27																
첨가제와 염																						
측정된 유전 파라미터																						
ϵ'_r	40.9	39.3	41.0	40.4	39.2	40.2	38.9	39.9	41.0	40.1	37.0	36.8	41.1	40.3	39.2	37.9	37.9	35.8	34	36.8	35.2	32.2
σ(S/m)	1.21	1.39	1.38	1.40	1.40	1.41	1.42	1.42	1.38	1.41	1.40	1.51	1.55	1.88	1.82	1.83	2.46	3.18	4.29	4.60	5.29	5.44
온도(°C)	22	22	21	22	20	21	20	21	21	20	22	22	20	20	20	20	20	20	20	22	22	20
ϵ_temp_liquid$_{uncertainty}$(%)						0.4														1.7	1.8	
σ_temp_liquid$_{uncertainty}$(%)						2.3														2.7	2.6	
목표값(<표 5-1>에서 발췌)																						
ϵ'_r	40.5	40.0										39.8		39.2			38.5	37.4	36.2	36.0	35.3	35.3
σ(S/m)	1.20	1.40										1.49		1.8			2.40	3.43	4.45	4.66	5.07	5.27

주 1) 단일 주파수 하에 하나 이상의 열(column)은 선택적 조성을 나타낸다.

주 2) 조성 번호 참조 : [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

[1] KANDA, M.Y., BALLEN, M., CHOU, C.K., Formulation and characterization of tissue simulating liquids used for SAR measurement (500-2000 MHz). *Asia-Pacific Radio Science Conference*, Tokyo, Japan, Aug. 1-4, 2001, pp. 274.

[2] VIGNERAS, V., *Elaboration and characterization of biological tissues equivalent liquids in the frequency range 0.9-3 GHz, final report*. France: PIOM Laboratory, University of Bordeaux, Nov. 2001.

[3] PEYMAN, A. and GABRIEL, C., Tissue equivalent liquids for SAR measurement at microwave frequencies. *Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting*, Quebec, Canada, June 2002, poster P-53.

[4] FUKUNAGA, K., WATANABE, S., WAKE, K., and YAMANAKA, Y. Time dependence of tissue-equivalent dielectric liquid materials and its effect on SAR. *EMC Europe Symp.*, Sorrento, Italy, Sep. 2002.

[5] 다른 랩에서 검증

[6] Fukunaga K., Watanabe S, Hiroyuki A, Sato K; Dielectric Properties of Non-Tocic Tissue-Equivalent Liquids for Radiowaves Safety Tests; Proceedings 2005 IEEE International Conference on Dielectric Liquids, P 425 - 428, 2005.

[7] Peyman, A. and Gabriel, C., Development and characterisation of a broadband tissue equivalent materials for the frequency range of 0.3 - 6 GHz, Submitted to Electronics Letters, 2007.

[8] Pokovic, K., "Advanced Electromagnetic Probes for Near-Field Evaluations," PhD Thesis, Diss. ETH Nr. 13334, Zurich, 1999.

주 3) $\epsilon_temp_liquid_{uncertainty}$ 와 $\sigma_temp_liquid_{uncertainty}$ 의 값은 위와 같은 적용 가능한 용액 제조법에 관한 측정에 기초하여 전자파흡수율 측정기준 별표2의 7.2.4절에 기술된 용액 온도 불확정도이다.

부록 J
액체의 유전 특성 측정 및 불확정도 평가

J.1 서론

본 부록의 세항 J.2에서는 SAR 특성 측정 절차의 일부로서 생체조직 등가용액의 유전 특성 측정에 대해서 기술한다. 이것은 사용자가 편리성 및 성능을 기초로 하여 측정 절차를 선정할 수 있도록 충분한 세부 사항을 제시하기 위한 것이다. 일부 기준 액체의 유전(dielectric) 특성은 측정 절차의 성능을 평가하기 위해 이용되는 표 J.3에 수록되어 있다. 유전 파라미터 불확정도를 평가하는 일반 절차는 J.7에 실어 놓았다.

J.2 측정 기법

요구되는 유전 파라미터는 특정 시험 주파수 및 온도에서의 생체조직 등가용액의 복소 상대 유전율 $\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\sigma/\omega\varepsilon_0$ 이다. 몇 가지 잘 정비된 기법이 생체조직 등가용액의 유전 특성 측정에 이용될 수 있다.

J.2.1 장치(Instrumentation)

다음과 같거나 이에 상당하는 장치(instrumentation)가 필요하다:

a) 벡터 네트워크 분석기(vector network analyzer) 및 *S* 파라미터 측정 장치
b) 유전체 시험 셀(dielectric test cell) 또는 유전체 프로브(dielectric probe)라고도 알려진 시료 파지물(sample holder)
c) *S* 파라미터 측정으로부터 시료 유전 특성을 추출하는 시험 절차 및 응용 소프트웨어

3 가지의 시료 파지물과 이에 상응하는 시험 방법론은 J.3부터 J.5까지에 걸쳐 기술되어 있다. 달성할 수 있는 정밀도는 시험 셀의 제조 정밀도에 따라서 좌우되며 시험 셀의 크기는 측정 주파수 범위에 상응한다. 이 절차는 기준 액체의 측정에 의해 검증된다. 다음과 같은 일반 원칙은 모든 절차에 적용되어야 한다:

a) 시료 파지물의 철저한 청결 확보.
b) 모든 셀(cell), 프로브, 케이블, 커넥터 등이 손상되지 않도록 한다.
c) 시료 파지물을 액체 시료로 채우는 절차가 기포를 생성하지 않고 해당 부피를 완전하게 채우도록 한다.
d) 시료의 온도를 기록하고, 유전 특성이 그 온도에만 해당된다는 것을 기록한다.
e) 측정자가 측정의 성격과 절차의 각 단계에서 예상되는 것에 정통하도록 한다.
f) 시료를 측정하기 전에 시스템을 검증하기 위해 교정 이후 기준액체에 대해 측정이 이루어지도록 한다. 몇 가지 권고되는 기준액체의 데이터는 J.6에 수록되어 있다.
g) 복소 반사 계수와 복소 유전율을 연관시키기 위한 자료 선별 방법이 정확하고, 이용되는 시료 파지물의 기하학적 구조에 적합하도록 한다.

J.3 슬롯티드 라인(slotted line)

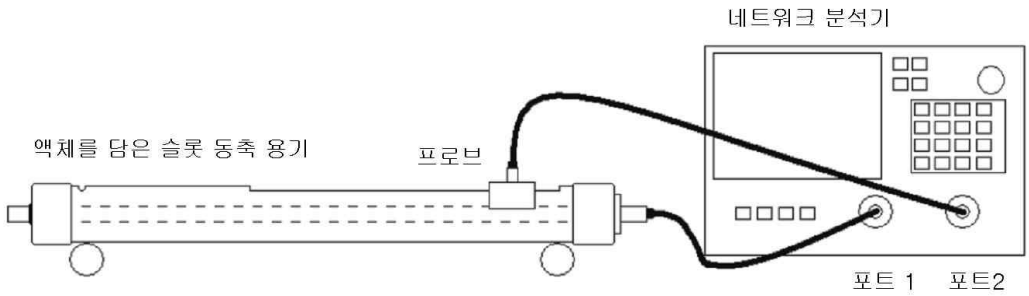
이동 가능한 프로브를 갖는 종단 슬롯 동축 선로(terminated slotted coaxial line)가 시료 파지물로서 이용될 수 있다. 네트워크 분석기(network analyzer)는 슬롯티드 라인의 입력부에

RF 신호를 인가하며, 시료에 송신되는 신호의 크기 및 위상이 이동 가능한 프로브에 의해 슬롯티드 라인상의 위치 함수로서 결정될 수 있게 한다.

시험 절차에는 요구되는 주파수 범위에 대한 네트워크 분석기의 교정 및 설정, 측정 시작 위치, 슬롯상의 스텝 폭(step size), 연이은 측정 위치의 총수 등이 명시되어야 한다. 응용 소프트웨어는 시료의 유전 특성을 산출하기 위해 측정 데이터를 해석하여야 한다. 예시 절차는 다음 절에 수록되어 있다.

J.3.1 기기 설정

시험기기는 그림 B.1에서 볼 수 있는 바와 같이 벡터 네트워크 분석기에 연결되는 프로브를 갖춘 슬롯 동축 전송선로(slotted coaxial transmission line)로 이루어진다. S_{21} 의 로그 크기 및 위상은 동시에 디스플레이 되어야 한다. 소스 전력은 신호 대 잡음비가 양호하도록 충분히 높은 레벨로 설정되어야 한다. 시스템을 검증하기 위해 기준 액체에 대한 측정이 정기적으로(매년 또는 선로 길이상의 측정 범위가 변경될 때마다) 이루어진다. 측정량은 거리에 대한 크기 및 위상 변화이기 때문에, 측정 범위의 정확도는 매우 중요하다.



주) 그림에 나타나 있지는 않지만, 시료의 온도 모니터링을 위한 기기가 권고된다.

그림 J.1 – 슬롯티드 라인 설정(set-up).

네트워크 분석기는 슬롯 동축 전송선로의 한쪽 끝에 신호를 인가한다. 슬롯을 통해 생체조직 등가용액에 삽입되는 프로브는 선로 길이상의 각 측정 위치에 대한 RF 진폭과 위상을 검출한다. 네트워크 분석기의 전체 두 개의 포트 교정은 시료 파지물에 연결되기 전에 실시되어야 하며, 다음과 같은 예방 조치가 준수되어야 한다:

a) 기포 생성을 피하기 위해 건조된 슬롯티드 라인을 조심스럽게 채운다. 이 조작은 슬롯티드 라인이 수평인 상태에서 수행되어야 한다.
b) 프로브는 생체조직 등가용액이 슬롯티드 라인의 내부 표면과 인접하며 슬롯티드 라인의 거리 눈금 상의 잘 정의된 위치에 정렬되도록 함으로써, 슬롯티드 라인의 입력 커넥터에 가장 가까운 끝에 있는 슬롯에 삽입되어야 한다.
c) 안정적이고 적절한 진폭 응답이 이루어질 때까지, 프로브는 슬롯티드 라인의 장축(longitudinal axis)에 수직으로 삽입되어야 한다. 전자기장 분포를 과도하게 섭동시킬 수 있으므로, 프로브를 동축 선로에 너무 깊이 삽입하지 않도록 하여야 한다.

J.3.2 측정 절차

a) 네트워크 분석기를 설정(configure)하고 교정한다.
b) 슬롯티드 라인상에서 약 30 dB의 크기 변화에 대한 10 내지 20 로그 크기 및 위상 데이터 포인트를 측정한다.
c) 측정 거리에 따른 S_{21} 로그 크기와 위상을 그래프로 그린다.

d) 상관 계수 또는 유사한 통계적 측정을 기초로 하여 그래프로 도식한 점이 직선형 근사(straight-line approximation)를 엄밀하게 따르는지 여부를 결정한다. 데이터는 양호한 선형 커브핏(curve fit) (손실이 있는 물질의 경우 $r^2 > 0.99$인 상관 계수가 예상되는)을 산출하여야 한다. 그렇지 않은 경우, 30 내지 40 dB까지 크기 변화를 확장하기 위해 표본점을 증가시켜 액체를 재 측정한다.
주) 저 손실 물질인 경우, 슬롯티드 라인이 부하 종단 끝(load-terminated end)으로부터의 반사를 피할 수 있을 정도로 충분히 길어야 한다.

e) 생체조직 등가용액의 도전율과 상대 유전율을 계산한다.

$$\overline{\alpha} = \frac{m_m In(10)}{20} \qquad Np/cm$$

$$\overline{\beta} = \frac{m_p \pi}{180} \qquad rad/cm$$

$$\varepsilon_r' = \frac{(\overline{\beta})^2 - (\overline{\alpha})^2}{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0}$$

$$\sigma = \frac{2\overline{\alpha}\overline{\beta}}{\omega \varepsilon_0}\left(\frac{100cm}{m}\right) \qquad S/m$$

여기서 m_m 과 m_p 는 각각 로그 크기와 위상 선도(phase plot)의 최소 제곱 선형핏(least-squares linear fit)의 기울기이며, $\overline{\alpha}$ 와 $\overline{\beta}$ 는 선로상의 평균 감쇠 및 전파 계수이다.

J.4 접촉 프로브

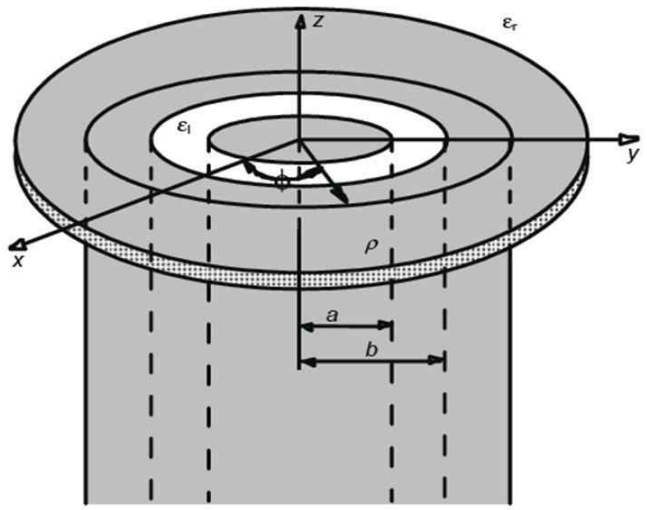
접촉 프로브는 주변 전자기장에 대해 일반적으로 지면 역할을 하는 끝 이음쇠를 갖춘 종단 개방 동축 전송로 부분이다. 측정은 프로브를 시료에 접촉하도록 배치하고, 네트워크 분석기 또는 이에 상응하는 계기를 이용하여 개회회로 끝에 대해 어드미턴스(admittance) 또는 반사 계수를 측정함으로써 이루어진다. 동축 프로브는 예를 들면 시험 대상 기기 거치대 또는 모의인체를 구성하는데 이용되는 물질의 큰 부피 시료와 같은 고체 유전체를 시험하는 데에 이용할 수 있다. 접촉 프로브에서의 오류를 최소화하기 위해, 고체 표면은 상당히 매끄럽게 처리되어야 한다.

시험 절차에는 필요한 주파수 범위에 대한 네트워크 분석기의 교정 및 설정이 명시되어야 한다. 응용 소프트웨어는 시료의 유전 특성을 산출하기 위해 주파수 함수로서 측정 데이터를 해석하여야 한다. 이 기법을 이용하기 위해서는 네트워크 분석기용 프로브와 소프트웨어 패키지를 개발하거나 상용 제품을 구하여야 한다. 이 방법론에는 프로브 크기와 해당 주파수 범위가 명시되어야 한다. 예시 절차는 B.2.2에 있다.

J.4.1 기기 설정

기기는 벡터 네트워크 분석기의 한 포트에 연결되는 프로브로 구성된다. 프로브는 그림 J.2에서 볼 수 있는 바와 같이 종단 개방 동축 선로이다. 원기둥 좌표(ρ, $\varnothing$, z)가 이용되는데, 여기서 ρ는 축으로부터의 방사상 거리(radial distance), $\varnothing$ 는 축 주위의 각 변위, z 는 축상의 변위, a 는 내부 도체의 반경, b 는 외부 도체의 내부 반경이다.

시료 파지물은 비금속 용기로서, 이 용기에 담기는 프로브의 크기에 비해 크다. 2 내지 4 mm의 외부 직경을 갖는 프로브가 300 MHz 내지 3 GHz 주파수 범위에서의 생체조직 등가 용액 측정에 적합하다. 이 프로브 크기는 50cc 이상의 시료 부피에 상응한다. 외부 직경 *b* 가 7 mm 이하인 더 큰 프로브는 더 큰 부피의 시료에 이용될 수도 있다. 이음쇠는 전형적으로 어드미턴스 계산에 이용되는 무한 지면 가정을 더 잘 나타내기 위해 포함된다.



a 는 내부도체의 반경

z 는 축 상의 변위

b 는 외부도체의 반경

*ρ*는 축으로부터의 방사상 거리

Ø 는 축 주위의 각 변위

(x, y, z) 는 직교 좌표계

그림 J.2 – 내부 및 외부 반경이 각각 *a* 와 *b*인 종단 개방 동축 프로브

단락 회로 측정의 정확도는 각각의 다양한 주파수에서의 교정을 위하여 검증되어야 한다. 단락 회로는 개구부에 알루미늄 호일을 가볍게 압착함으로써 구현할 수 있다. 최선의 전기적 접촉을 위해서는 프로브 끝이 평탄하여야 하며 산화가 없어야 한다. 일반적으로 센서가 클수록 호일 단락 회로의 재현성이 더 좋다. 한 벌(kit)로 공급되는 금속 디스크 단락 회로를 이용하는 일부 상용 4.6 mm 프로브를 사용하여 양호한 접촉을 얻는 것이 가능하다. 최고의 재현성을 위해서는 손으로 디스크를 압착하는 것이 필요할 수도 있다.

"이음쇠 공명(flange resonance)"으로 인한 큰 측정 오차는 이음쇠의 직경이 유전체 매질에서 약 반파장인 경우에 발생한다. 이러한 효과는 약 0.25 미만의 손실 탄젠트를 갖는 높은 유전율의 액체에서 가장 현저하게 나타난다(이동통신 주파수에서 이러한 것으로는 물, 메탄올, 디메틸 설프옥사이드(dimethyl sulphoxide) 등이 포함된다). 따라서 에탄올과 같은 높은 손실 탄젠트를 갖는 액체를 이용하는 교정은 보다 큰 센서에 대해 실시하는 것이 매우 바람직하다. 일부 주파수에서 물을 이용하여 7 mm 이음쇠 동축 센서를 교정하는 경우에는 문제가 있을 수 있다. 생체조직 등가용액은 약 0.5의 손실 탄젠트를 갖는 바, 이것은 이용되는 센서의 크기와는 상관없이 공명 효과가 실제로 나타나지 않을 만큼 충분히 높은 값이다.

네트워크 분석기는 어드미턴스(admittance)의 크기 및 위상을 측정하기 위해 설정된다. 1-포트 반사 교정은 반사 계수가 프로브와 접촉하여 계산될 수 있는 액체를 배치함으로써 프로브 표면에서 수행된다. 교정, 전형적인 단락 회로, 공기, 잘 정의된 온도에서의 탈이온수 등에 대해서는 3 가지 표준이 필요하다(교정에는 메탄올 또는 에탄올 등과 같은 기타 기준 액체가 사용될 수도 있다). 교정은 측정 절차의 핵심 부분이며, 따라서 정확하게 수행되었다는 것을 확인하는 것이 중요하다. 이것은 Γ = -1.0(선형 단위(linear unit))이라는 반사 계수가 일관되게 얻어지도록 하기 위해 단락 회로를 재 측정하여 검사될 수 있다.

J.4.2 측정 절차

a) 네트워크 분석기 및 프로브 시스템을 구성하고 교정한다.

b) 비금속 용기에 시료를 넣고 프로브를 담근다. 프로브의 안전성을 유지하기 위해서는 프로브 표면이 액체 표면에 대해 이음쇠 아래에서 생성되는 기포를 최소화하는 각을 이루도록 혼합물이나 클램프를 설치하는 것이 바람직하다.

c) 프로브 개구면에 대한 복소 어드미턴스를 측정한다.

d) 복소 상대 유전율 $\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\sigma/\omega\varepsilon_0$ 을 계산한다.

$$Y = \frac{j2\omega\varepsilon'_r\,\varepsilon_0}{\left[\ln(b/a)\right]^2}\int_a^b\int_a^b\int_0^\pi \cos\phi' \frac{\exp\left(-j\omega\left(\mu_0\varepsilon'_r\,\varepsilon_0\right)^{1/2} r\right)}{r} d\phi' d\rho' d\rho$$

마지막 표현식은 수치적으로 계산되거나 급수로 확장되며 단순화될 수 있다. 이 방정식은 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 또는 기타 반복적 근사법을 이용하여 처음에 시료 파수(wave number) k를 구하고, 그 다음에 시료의 복소 유전율을 구한다. 응용 소프트웨어가 기준 액체 측정을 통해 완전하게 시험되고 검사된 경우 기타 수치적 접근법이 이용될 수도 있다. 상용 종단 개방 동축 프로브 킷은 전형적으로 이러한 이론과 방법을 이용한다.

J.5 TEM 전송선로

이 방법은 시험 액체로 채운 TEM-모드 동축 전송선로의 복잡한 투과 계수 측정을 기초로 한다. 투과 측정은 복소 유전율이 계산되는 산란 계수 S_{21}의 크기 및 위상을 결정하기 위해 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 실시되었다. 시험 절차에는 필요한 주파수 범위에 대한 네트워크 분석기의 설정과 교정이 명시되어야 한다. 응용 소프트웨어는 주파수 함수로서 시료의 유전 특성을 산출하기 위해 측정 데이터를 해석하여야 한다.

J.5.1 기기 구성

측정 장치 구성은 그림 J.3에 도시하였다. 시료 파지물은 원형 중심-도체, 두 개의 평면형 수직 (면) 접지 도체, 상부가 개방된 광학적으로 투명한 플라스틱 바닥 벽, 온도 센서 등으로 구성되는 개방-벽 스트립라인(open-wall stripline)이다. 길이 d 는 특정 주파수 대역에 대해서 센서 내부에서의 다중 반사 효과가 작고 전체 감쇠가 네트워크 분석기의 동작 범위를 초과하지 않도록 선정한다. 예를 들면, 상이한 길이를 갖는 두 개의 센서는 800에서 2000 MHz까지의 주파수 범위를 다룰 수 있다. 시료는 청결한 벽을 통하여 기포가 발생하는지를 검사하면서 시료 파지물에 신중하게 주입한다.

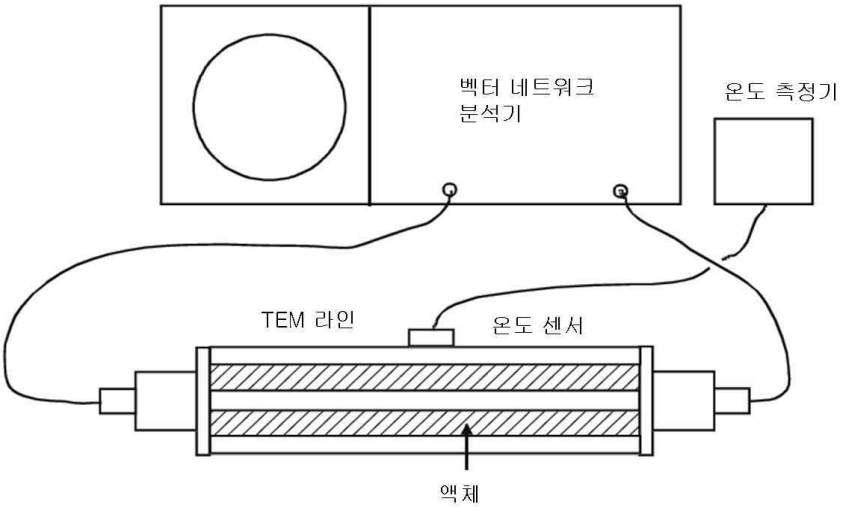


그림 J.3 – TEM 라인 유전체 시험 장치 구성

J.5.2 측정 절차

a) 네트워크 분석기를 구성하고 교정한다.

b) 희망 주파수에서 비어있는 셀의 S_{21}^{0}의 크기 및 위상을 기록한다.

c) 시료 액체를 셀에 주입하고 표본 S_{21}^{S}을 이용하여 투과 계수를 구하기 위해 측정을 반복한다.

d) TEM 라인으로부터 액체를 제거하고, 물로 내부를 완전히 씻어내며, 조심스럽게 건조시킨다.

e) 동축 선로를 네트워크 분석기에 다시 연결한다. S_{21}^{0}의 크기 및 위상이 변하지 않는지를 확인한다(크기에 있어서 0.1 dB, 위상에 있어서 0.5 ° 보다 작은 편차). 이 단계는 다수의 시료를 측정하는 경우에만 필요하다.

f) 다음과 같은 방정식의 수치해(numerical solution)에 의해 S_{21}^{S}/S_{21}^{0}의 크기 및 위상으로부터 액체의 복소 유전율을 계산한다. 자유공간 전파계수

$$\frac{S_{21}^{S}}{S_{21}^{0}} = \frac{(1-\Gamma^2)\exp(-j(k-k_0)d)}{1-\Gamma^2\exp(-j2kd)} \quad ,$$

$$\Gamma = \frac{1-\sqrt{\varepsilon_r}}{1+\sqrt{\varepsilon_r}} \ ,$$

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

k_0 = *자유공간 전파계수*

여기서 Γ는 TEM 라인 한쪽 끝에서의 반사 계수, k는 액체에서의 파수(wave number), k_0은 자유공간 파수, d는 시료 파지물의 길이(TEM 라인), f는 주파수, c_0은 빛의 자유공간 속도, $\varepsilon_r = \varepsilon_r - j\sigma/\omega\varepsilon_0$는 시료의 복소 상대 유전율이다.

J.6 기준 액체의 유전 특성(dielectric properties)

J.2의 절차에서는 시스템을 검증하기 위해 잘 정비된 유전 특성을 갖는 기준 물질의 측정에 대해 권고한다. 두 가지의 기준 액체가 요구되는데, 한 가지는 교정을 위한 것이며 나머지 하나는 교정 검사를 위한 것이다. 주파수 의존성 유전 특성을 계산하기 위한 일반적인 방정식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1+(j\omega\tau)^{1-\alpha})^\beta} + \frac{\sigma_i}{j\omega\varepsilon_0}$$

이것은 $\alpha = 0$ 및 $\beta = 1$인 경우의 Debye 방정식, $\beta = 1$ 및 $0 < \alpha < 1$인 경우의 Cole-Cole 방정식, $\alpha = 0$ 및 $0 < \beta < 1$인 경우의 Cole-Davidson 관계식 등과 일치한다. 여기서 ε_s 는 정적 유전율 또는 저주파 유전율, ε_∞는 점근적 고주파 유전율, τ는 완화 시간(relaxation time), σ_i는 이온 전도도이다. 이 방정식을 이용하여 몇 가지 기준 액체의 속성을 계산하기 위한 파라미터는 표 J.1에 수록되어 있다. 이들 액체로는 디메틸 설프옥사이드, 메탄올, 에탄디올, 탈이온수 등이 있다. 표 J.1에 기재되어 있는 모든 액체에 대한 파라미터 α 와 σ_i는 영(zero)이다. 모델 파라미터는 문헌에 기술되어 있는 다양한 시험 방법을 이용하여 구해진다. 일반적으로, 두 개의 포트(port)를 가진 닫힌 전송 선로 셀(transmission-line cell)에 의해 얻어지는 결과는 통상 가장 정확하다고 예상되지만, 표에 기재되어 있는 모든 소스로부터의 결과가 비교적 잘 일치한다. 표 J.2에는 20 °C의 목표 상대 유전율 및 도전율 값이 포함된다. 다른 기준 액체가 사용되는 경우, 목표값과 문헌 참조가 시험 보고서에 제시되어야 한다.

생체조직 등가용액과 유사한 유전 특성을 갖는 기준 물질을 선택하는 것이 모범적인 사례이다. 기준 액체 혼합 조성은 정확하게 준수되어야 하며, 유전 특성은 명시된 온도에서 측정되어야 한다. 오염 및 증발을 피하기 위해, 혼합물은 공기에 노출되어서는 안 된다. 기준 물질은 예를 들면 분석용 등급 이상의 고순도 등급이어야 한다. 시약병은 개봉 후에는 권고되는 보관 수명 기간 동안 제조업자의 권고에 따라서 보관되어야 한다.

주) 모든 직원은 각각의 특정 액체에 대한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet)에 따른 특별한 처리 절차를 잘 알고 적용하여야 한다.

표 J.1 – 다양한 기준 액체의 유전 특성 계산을 위한 파라미터

기준물질	온도 °C	모델	ε_s	ε_∞	τ(ps)	β
증류수	20	Debye	80.21	5.6	9.36	1
증류수	25	Debye	78.36	5.2	8.27	1
DMS	20	Debye	47.13	7.13	21.27	1
DMS	25	Debye	46.48	6.63	19.18	1
DMS	25	Cole-Davidson	47.0	3.9	21.1	0.878
에탄디올	20	Cole-Davidson	41.4	3.7	164	0.8
메탄올	20	Debye	33.7	4.8	53.8	0
메탄올	20	Debye	33.64	5.68	56.6	0
메탄올	25	Debye	32.67	5.58	50.8	0
* 5 GHz에서의 측정으로만 도출된 데이터						

표 J.2 – 20 °C에서의 기준 액체의 유전 특성식염수/메탄올 항목 삭제

주파수	메탄올		DMS		증류수		에탄디올	
MHz	ε_r'	σ	ε_r'	σ	ε_r'	σ	ε_r'	σ
300	33.33	0.05	47.07	0.03	80.19	0.02	39.01	0.14
450	32.94	0.11	46.99	0.06	80.16	0.05	34.49	0.30
835	31.37	0.35	46.64	0.20	80.03	0.17	29.15	0.75
900	31.04	0.41	46.56	0.24	80.00	0.20	28.00	0.83
1450	27.77	0.92	45.68	0.60	79.67	0.51	20.38	1.34
1800	25.51	1.27	44.94	0.91	79.38	0.78	17.23	1.58
1900	24.88	1.37	44.71	1.01	79.29	0.87	16.51	1.63
2000	24.25	1.47	44.46	1.11	79.19	0.96	15.85	1.69
2450	21.57	1.89	43.25	1.61	78.69	1.44	13.49	1.89
3000	18.76	2.33	41.59	2.31	77.96	2.13	11.56	2.07

J.7 액체의 유전 파라미터 측정 불확정도에 대한 평가

이 부록에 기술되어 있는 측정 절차에서는 유전 특성 측정을 위해 벡터 네트워크 분석기를 이용한다. 네트워크 분석기는 고유 손실과 반사를 밝히고 제거하기 위해 교정이 필요하다. 유전체 측정을 위한 불확정도 성분표(budget)에서는 교정 데이터, 분석기 편이, 임의 오류 등에 있어서의 부정확성을 도출한다. 기타 오류 소스로는 시료 파지물 하드웨어 상의 허용 오차, 명시된 주파수에 대한 최적 크기로부터의 편차, 시료 속성 등을 들 수 있다. 이것은 시료 파지물의 유형, 측정되는 산란 파라미터(scattering parameter)의 특징과는 상관없이 적용된다. 슬롯티드 라인 방법에서의 직선형 핏(straight-line fit)으로 인한 불확정도는 최소 제곱 분석(least-squares analysis)을 이용하여 평가할 수 있다.

불확정도 템플릿(uncertainty template)의 예는 표 J.3에서 볼 수 있다. 모든 영향량은 구체적인 시험 구성 또는 절차에 적용되거나 그렇지 않을 수도 있으며, 기재되어 있지 않은 기타 구성 요소가 일부 시험 구성에 연관될 수도 있다. 표 J.3에는 예시 수치값도 포함된다. 시험 구성에 따라서 실제 불확정도 추정값은 여기서 볼 수 있는 값과 다를 수도 있으며 달라야 한다. 특성이 잘 기술된 기준 액체의 측정은 다음 절차에 기술되어 있는 바와 같이 유전 특성 측정 불확정도를 추정하기 위해 이용될 수 있다.

a) 관심 대상 중심 주파수 주위의 충분히 큰 주파수 범위에서 네트워크 분석기를 설정하고 교정한다(예: 기기 전송 대역내의 5 또는 그 이상의 주파수들에서 835 MHz ± 100 MHz).

b) 각 장치의 중심 대역 및 주변 주파수에서의 상대 유전율 및 도전율에 대한 평균 및 표준 편차를 구하기 위해 기준 물질에 대한 측정을 최소한 n 회 반복한다.

c) b)로부터 실행되는 각 시험에 있어서, 다음과 같은 방정식을 이용하여 기기 전송 대역내의 5 가지 이상의 주파수에서 측정 데이터와 이에 대응하는 기준 데이터(J.5 표 J.1 참조) 간의 차이를 계산한다:

$$\varepsilon'_{r\ tolerence}[\%] = 100 \times \left| \frac{\varepsilon'_{r\ measured} - \varepsilon'_{r\ reference}}{\varepsilon'_{r\ reference}} \right|$$

$$\sigma_{tolerence}[\%] = 100 \times \left| \frac{\sigma_{measured} - \sigma_{reference}}{\sigma_{reference}} \right|$$

d) 만일 유전율과 도전율에 대하여 사전에 결정된 표준편차를 이용 가능하다면 c)의 *n* 회 각각의 유전율 및 도전율 허용 오차에 대한 최대값 대 주파수를 이용하여 해당 평균의 표준 편차(*s*/√*n*)를 계산한다. 또는 현재 표 J.3의 a 열에 있는 일련의 시험에 대한 표준 편차를 이용한다.

e) 검토하고 있는 주파수 영역 내에서 표 E.3의 다른 성분(그리고 필요하다면 다른 관련 성분)들에 대한 유형 B의 불확정도를 추정한다.

f) ε'_r 및 σ 에 대한 각각의 합성 표준 불확정도는 표 3의 허용 오차 열과 액체 시험 행에 들어간다. 표 J.3의 완성된 버전을 영향량이 사용되거나 누락된 이유와 함께 시험 보고서에 삽입한다.

g) 관련 교정의 타당성을 검증하기 위하여 두 번째 기준물질을 측정하고, 측정된 데이터가 단계 c)에서처럼 기준값(J.6 참조)과 일치하는지를 확인한다. 만일 기기의 편이(drift)가 의심되면 단계 b)의 기준 액체 시험으로 되돌아간다.

표 J.3 – 유전 상수(ε'_r)와 도전율(σ) 측정에 대한 불확정도 템플릿 및 수치값의 예

	a		*b*	*c*	$u_i=(a/b)\times(c)$	
불확정도 구성 요소	허용 오차 (±%)	확률 분포	제수	c_i	표준 불확정도(±%)	v_i 또는 v_{eff}
재현성 (*n* 반복, 중간 대역)		N	1	1		n-1
기준 액체 ε'_r 또는 σ		R	√3	1		∞
네트워크 분석기 편이, 선형성 등		R	√3	1		∞
시험 포트 케이블 변동		U	√2	1		∞
합성 표준 불확정도						
주) 열 제목 *a*, *b*, *c* 는 참고. 일반적으로 ε'_r 와 σ 각각에 대한 별도의 표가 필요하다.						