

[별표2]

인체에 근접하여 사용하는 휴대용 무선설비의 전자파흡수율(SAR) 측정절차

목 차

1. 개요	2
2. 표준의 구성 및 범위	2
3. 용어 정의	2
4. 기호 및 약어	6
4.1 물리량	6
4.2 상수	7
4.3 약어	7
5. 측정 시스템 규격	8
5.1 일반 요구 사항	8
5.2 모의인체 규격 - 모의인체 외피와 용액	9
5.3 측정 시스템 규격	12
6. 전자파흡수율 평가 프로토콜	14
6.1 측정 준비	14
6.2 수행되어야 할 측정	30
6.3 측정 절차	33
6.4 후처리	39
7. 불확정도 평가	40
7.1 일반적인 고려 사항	40
7.2 불확정도에 기여하는 성분	42
7.3 불확정도 추정	71
8. 시험 성적서	76
8.1 일반 사항	76
8.2 시험 성적서에 기재해야 할 항목	76
부록 A. 모의인체에 대한 이론적 근거	79
부록 B. 전자파흡수율 측정 시스템 검증	83
부록 C. 시스템 타당성 확인을 위한 표준 소스와 모의인체	96
부록 D. 모의인체 몸통 생체조직 등가용액 조성 권고사항	103
부록 E. 목표값의 복소 유전율의 편차에 대한 전자파흡수율 보정	107
부록 F. 생체 조직 등가 용액의 유전 특성 측정 및 측정 불확정도 평가	110
부록 G. 전력 스케일링 절차	112
부록 H. 프로브(Probe) 파라미터에 대한 근거	114

1. 개요

본 측정절차는 귀 이외의 인체에 근접하여 사용하는 휴대용 무선설비의 전자파흡수율 측정에 적용한다. 본 측정절차를 적용하는 휴대용 무선설비에는 인체 착용형 기기, 인체 지지형 기기, 탁상용 기기, 얼굴 전면 사용기기, 손에 쥐는 기기, 사지(四肢) 착용형 기기, 다중 대역 송신기기, 무전기(푸시 투 토크 기기), 의료 일체형 기기 등이 포함된다.

2. 참고규격

본 측정절차는 국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)의 국제 표준(IEC 62209-2)인 『Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)』를 참고하였다.

3. 용어 및 정의

다음 용어 및 정의는 본 측정절차에만 적용한다.

3.1. 부속품(Accessory)

휴대용 무선설비와 연결하여 사용할 수 있는 선택적 구성품.

3.1.2. 부속품의 예

이동 전화, 무선 송신기, 무선 수신기 또는 무선 송수신기, 또는 양방향 무선설비의 부속품에는 다음에 해당하는 것들이 포함된다.

가. 기기를 잡거나 붙이거나 그렇지 않으면 소지, 착용 또는 부착할 뿐만 아니라 인체와의 간격을 유지하기 위한 부속품(예: 벨트 클립, 손목 띠(Strap) 또는 다른 인체 착용 띠(Strap), 또는 기기를 목걸이로 착용하는 끈).

나. 어떤 기능을 수행하거나 제공하는 전자 부속품(예: GPS 모듈, 외부 프린터, MP3 플

레이어, 카메라, 관찰 기기).

다. 음향이나 영상을 입력하거나 출력하는 전자 부속품(예 : 헤드셋, 마이크로폰, 카메라).

라. 기기의 무선 주파수(RF) 성능을 개선하는 부속품(예 : 보조 안테나).

마. 배터리 및 이와 관련된 직류 전력 부품.

바. 부속품의 조합. 위에서 설명한 것 중 두 개 이상이 한 구성품 내에서 결합되는 경우를 말한다(예: 블루투스가 내장된 벨트 클립과 오디오 접속용 광섬유(Pigtail) 케이블).

3.2. 인체 부착형 기기, 인체 착용형 기기(Body-mounted device, body-worn device)¹⁾

정해진 용도로 사용하는 동안 또는 무선 기능이 동작하는 동안 부속품을 사용하여 사람의 몸통 또는 사지(四肢)(머리 이외) 가까운 곳에 놓이는 무선 송신기나 송수신기를 포함하고 있는 휴대용 기기.

3.3. 인체 지지형 기기(Body-supported device)

기기의 어떠한 부분이 신체에 의해 직접 지지되면서 송신하도록 만들어진 기기.

주) 이것은 부속품을 사용하여 신체에 부착하지 않는다는 점에서 인체 착용형기기와 다르다.

3.4. 탁상용 기기(Desktop device)

책상, 탁자 또는 유사하게 지지할 수 있는 구조물 위에 놓이는 기기로서 기기의 안테나는 인체로부터 200 mm 내에서 동작하는 상황이 있을 수 있다.

3.5. 피시험 기기(DUT)

1) 두 용어가 모두 사용됨. 일상적으로는 “인체-착용형”이 “인체-부착형”보다 흔히 쓰인다.

본 측정절차를 따르는 하나 이상의 송신기 또는 송수신기를 갖는 기기.

주) 피시험 기기는 인체 착용형, 인체 지지형, 탁상용, 얼굴 전면 사용, 손에 쥐고 사용하는 형태, 사지(四肢) 착용형, 의류 일체형, 또는 기타 일반 기기로 분류할 수도 있다.

3.6. 동작 계수(Duty factor)

주기적 펄스 열의 펄스 주기에 대한 펄스 폭의 비를 말한다.

3.7. 얼굴 전면(前面)에서 사용하는 기기(Front-of-face device)

사용자의 얼굴 전면에서 손에 쥐고 사용하는 기기.

예: 얼굴 전면에서 사용하는 기기의 예로는 무전기(푸시 투 토크 기기), 양방향 무선설비, 카메라가 장착된 기기 등을 들 수 있다.

3.8. 일반 기기(Generic device)

특정한 기기 형태로 분류할 수 없는 기기.

3.9. 손에 쥐고 사용하는 기기(Hand-held device)

정해진 용도에 따라 사용할 때 사용자의 손에 놓이는 휴대용 기기.

3.10. 의도적 사용(Intended use)과 의도된 목적(Intended purpose)

제조자가 제공하는 기기 규격, 지시 및 정보에 따라 제품, 절차 또는 서비스가 정해지는 사용. 또한 제조자가 제공하는 기기 규격, 지시 및 정보에 따른 기기의 모든 기능 사용.

주1) 사용자 지침의 지시 사항은 의도적 사용의 동작 위치와 방향을 포함할 수 있다.

주2) 의도적 사용, 즉 제조자가 규정한 기기 사용 방법은 가능한 사용을 모두 망라하지

않을 수도 있다.

3.11. 랩탑 기기(Laptop device)와 휴대용 컴퓨터(Portable computer)

하나 이상의 송수신기가 있는 휴대용 기기로서, 사용자의 무릎 위에 위치시킬 수 있으며, 손에 들고 사용하는 용도로 만들어진 것은 아니다.

주) 랩탑 기기에는 별도 키보드와 디스플레이 부분을 경첩으로 연결하여 구성하는 랩톱(노트북) 컴퓨터, 디스플레이 부분이 입력 인터페이스로 스타일러스(테블릿에서 쓰이는 좌표 입력용의 펜)나 가상 키보드를 사용하는 일체형 구성을 이루는 테블릿 컴퓨터가 있을 수 있다.

3.12. 사지 부착형 기기(Limb mounted device)

송신하는 동안(대기 모드 제외) 사용자의 팔이나 다리에 묶어서 사용하도록 제작된 기기.

예: 사지(四肢) 착용형 기기로는 손목 착용형, 발목 착용형 및 전박(前膊) 착용형 기기 등을 들 수 있다.

3.13. 다중대역 전송(Multi-band transmission)

몇 개의 무선 주파수의 신호를 동시에 송신하기 위한 동작 모드.

3.14. 1차 첨두 전자파흡수율 값(Peak SAR value, Primary)

표면 분포 측정에서 결정되는 최대 전자파흡수율 값.

3.15. 2차 첨두 전자파흡수율 값(SAR value, Secondary)

표면 분포 측정에서 1차 첨두 전자파흡수율 값보다 작은 국부 전자파흡수율 최대값.

3.16. 이격 거리(Separation distance)

피시험 기기와 모의인체 외부 표면 사이의 거리로서 의도적으로 사용하는 동안의 이격 거리를 나타냄.

3.17. 양방향 무선설비(Two-way radio)와 무전기(푸시 투 토크 기기(push to talk(PTT) device))

무선 송신 및 수신 간의 전환(Toggle)을 위해 스위치를 사용하며, 손에 쥐고 사용하는 무선 송수신기.

4. 기호 및 약어

4.1. 물리량

이 측정절차에서는 국제적으로 허용되는 SI 단위가 사용된다.

기호	량	단위	차원
E	전기장 세기	volt per metre	V/m
f	주파수	Hertz	Hz
H	자기장 세기	ampere per metre	A/m
J	전류 밀도	ampere per square metre	A/m ²
\bar{P}_{avg}	평균 흡수 전력	watt	W
SAR	전자파흡수율	watt per kilogram	W/kg
T	온도	kelvin	K
ϵ	유전율	farad per metre	F/m
λ	파장	metre	m
μ	투자율	henry per metre	H/m
ρ	질량 밀도	kilogram per cubic metre	kg/m ³
σ	전기 도전율	siemens per metre	S/m

주) 본 측정절차에서 온도의 단위는 °C이며, $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.16$.

4.2. 상수

기호	물리량	크기
c	진공에서의 빛의 속도	$2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$
η	자유공간 임피던스	120π 또는 377Ω
ϵ_0	자유공간 유전율	$8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
μ_0	자유공간 투자율	$4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

4.3. 약어

- 부호 분할 다중 접속(CDMA: code division multiple access)
- 연속파(CW: Continuous Wave)
- 실험 계획법(DOE: Design Of Experiments)
- 피시험 기기(DUT: Device Under Test)
- 전기장(E-field: Electric field)
- 전자파 적합성(EMC: ElectroMagnetic Compatibility)
- 시간 영역 유한 차분법(FDTD: Finite-Difference Time-Domain)
- 주파수 분할 다중 접속(FDMA: Frequency Division Multiple Access)
- 초고속 인터넷과 화상 통신 등이 가능한 2.5세대의 이동전화(GPRS: General Packet Radio Service)
- 세계무선통신시스템(GSM: Global System for Mobile communication)
- 다중 입출력(MIMO: Multiple Input Multiple Output)
- 변조(MOD: Modulation)
- 한 번에 한 개의 요인(OFAT: One-Factor-At-a-Time)
- 푸시 투 토크(PTT: Push To Talk)
- 무선 주파수(RF: Radio Frequency)
- 전자파흡수율 (SAR: Specific Absorption Rate)
- 시분할 다중 접속(TDMA: Time Division Multiple Access)

5. 측정 시스템 규격

5.1. 일반 요구 사항

전자파흡수율 측정 시스템은 모의인체, 전자 측정기기, 주사(走査) 시스템(Scanning system) 그리고 기기 지지대로 구성된다.

전자파흡수율 측정 시스템은, 무선설비에서 발생된 전기장에 노출된 모의인체 내부의 전기장 분포를 측정하며 자동으로 위치가 조정되는 소형 프로브(Probe)를 사용하여 측정한다. 측정된 전기장값으로부터 전자파흡수율 분포와 최대 공간평균 전자파흡수율 값을 산출한다.

전자파흡수율 측정은 다음 환경을 만족하는 실험실에서 수행해야 한다.

- 실험실 온도 및 용액 온도는 $18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 범위이어야 한다. 7.2.4절 ‘라’항을 참고하여 용액의 온도 불확정도를 결정한다.

- 피시험 기기, 시험 장비, 용액 및 모의인체의 온도는 실험실 온도에서 안정화되어야 한다.

- 측정 중의 용액 온도 변화는 유전 특성 측정 시 용액 온도에서 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 초과하지 않아야 한다. 그 이상의 오차는 $\pm 5\%$ 이내의 전자파흡수율 편차를 나타낼 것이다. 용액의 온도 불확정도를 결정하기 위해서는 7.2.4절 ‘라’항을 참고한다.

- 주변 잡음(예: 측정 시스템의 잡음, 로봇 전동기로 인한 잡음, 기타 무선 주파수(RF) 송신기 등)은 7.2.4절 ‘마’항에 따라 피시험 기기의 무선 주파수(RF) 송신기 전원을 끄고 전자파흡수율을 측정하였을 때 1g 평균 0.012 W/kg (<표 7-4>의 불확정도로 결정할 수 있는 하한 측정값 0.4 W/kg 의 3 %에 해당)보다 크지 않아야 한다.

- 피시험 기기를 측정하는 동안 무선 네트워크에 연결되어 있지 않아야 한다. 단, 실험실내 모의 기지국 장비(Simulator)에 연결하는 것은 허용한다.

- 송신기와 모의인체 이외의 산란체 영향(예를 들면 바닥, 로봇, 기타 기기 등)은 피시험 기기의 무선 주파수(RF) 송신기 전원을 켜 상태에서 7.2.4절 ‘마’항에 따라 측정된 전자파흡수율 값의 3 %보다 작아야 한다. 만일 산란체 영향이 3 %를 초과하면 이에 대한 불

확정도를 추가하여야한다(7.2.4절 ‘마’항).

새로운 시스템으로 변경되었거나, 소프트웨어 버전의 변경, 다른 종류의 데이터 판독 전자기기나 프로브의 교체 등 시스템에 변경 사항이 생겼을 경우에는 부록 B에 명시된 절차에 따라 최소 일 년에 한 번 시스템 타당성을 확인하여야 한다. 시스템 타당성 확인에 사용하는 표준 소스(예를 들면, 반파장 다이폴 안테나(Half-wavelength Dipole Antenna), 패치 안테나(Patch Antenna), 개방형 도파관(Open-ended Waveguide)은 부록 B의 절차에 따라 설계 및 검증되어야 한다. 부록 B의 요구 사항에 부합하는 부가적 소스(예를 들어, 현재 <표 B-1, C-1 및 C-2>에 있지 않은 특정 주파수에 대한 다이폴)를 표준 소스로 사용할 수도 있다.

본 측정절차에 측정 시스템과 측정 시스템의 기기에 대한 성능 특성을 명백히 규정하고 있는 사항은 시스템 제조자나 설치자가 본 측정절차의 규정에 따른 적합성을 문서화해야 한다.

5.2. 모의인체 규격 - 모의인체 외피와 용액

5.2.1. 일반적인 요구 사항

표준 평면형 모의인체의 물리적 특성은 인체 몸통을 모의실험 하기 위한 것이다. 평면형 모의인체는 얇은 유전체 외피의 상부가 개방된 용기로서, 생체 조직 등가 용액으로 채워져 있다. 이 용액의 유전 특성(유전율과 도전율)은 5.2.3절에 규정되어 있으며, 피시험 기기 사용자에게 흡수되는 전자파흡수율을 엄격하게 측정하기 위해 정해진 것이다(표준 용액 파라미터의 유도에 대한 이론적 근거는 부록 A 참조).

5.2.2. 모의인체 형상과 크기

모의인체의 외피는 밑면이 평편하고 상부가 개방된 용기의 형태로 제작되어야 한다. 이 측정절차에서 평면형 모의인체는 시스템 타당성 확인, 시스템 검사 및 6.1.4절에서 규정한 측정 위치에 따른 피시험 기기의 전자파흡수율 측정에 사용한다.

1 g 및 10 g 평균(용액의 밀도는 1000 kg/m^3 사용) 전자파흡수율 평가에서 평면형 모의인체는 크기로 인한 영향이 1 % 미만(부록 A 참조)이 되어야 한다.

주) 인체 착용형 및 인체 지지형 기기의 전자파흡수율 평가에 표준 모의인체로서 평면형 모의인체를 사용하는 것은 대부분의 노출 상황과 비교하였을 때 피시험 기기와 모의인체 간에 전자기적 결합이 최대가 되도록 하는 것이다. 이는 규정된 이격 거리에서 전자파흡수율의 엄격한 평가를 측정하도록 한다.

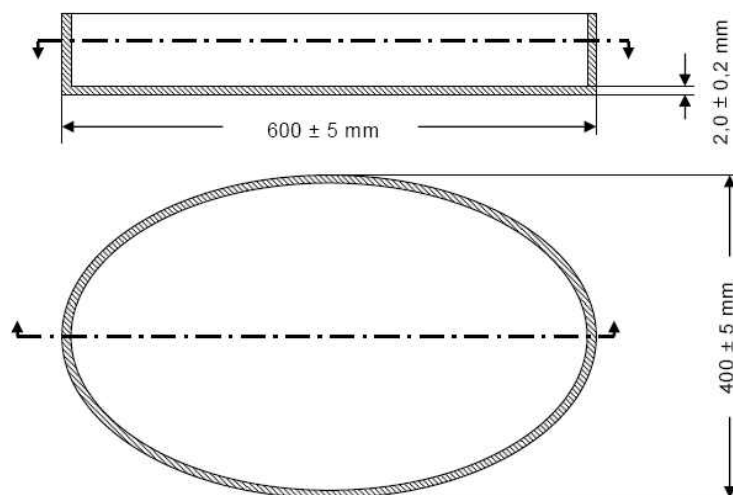
평면형 모의인체는 다음의 모양과 크기를 만족하여야 한다.

가) '나)' 규정을 제외하고, 모의인체의 모양은 길이가 $600 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 이고 폭이 $400 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ((그림 5-1) 참조)인 타원이어야 한다.

나) 주파수가 300 MHz를 초과하고 측정 거리가 모의인체 외피의 외부 바닥으로부터 25 mm 이하인 경우에는 아래와 같은 모양과 크기를 갖는 모의인체를 사용할 수 있다.

○ 300 MHz와 800 MHz 사이에서 모의인체는 길이가 $0.6\lambda_0$ 이고 폭이 $0.4\lambda_0$ 인 타원보다 크거나 같은 임의의 밀면 모양을 사용할 수 있다. 여기에서 λ_0 는 공기 중 파장이다.

○ 800 MHz와 6 GHz 사이에서 모의인체는 길이가 225 mm이고 폭이 150 mm인 타원보다 크거나 같은 밀면 모양을 사용할 수 있다.



(그림 5-1) 타원형 모의인체의 치수

모의인체에는 생체 조직 등가 용액을 최소 150 mm의 깊이 이상 채워야 한다. 주파수

범위가 3 ~ 6 GHz인 경우에도 150 mm 이상의 용액 깊이를 권고하지만, 상부 용액 표면에서 생긴 반사가 침투 공간평균 전자파흡수율 값을 1 % 이상 변화시키지 않는다면 그 깊이를 줄일 수 있다.

모의인체 외피는 손실이 작고 유전율이 낮은 재료로서 손실 탄젠트 $\tan\delta \leq 0.05$ 이고 상대 유전율은 다음과 같아야 한다.

$f \leq 3 \text{ GHz}$ 범위에 대해 $\epsilon'_r \leq 5$

$f > 3 \text{ GHz}$ 범위에 대해 $3 \leq \epsilon'_r \leq 5$

평면형 모의인체의 바닥면 두께는 기기가 놓이는 위치에서 2.0 mm 이어야 하며, 그 허용 오차는 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 이어야 한다.

위의 요구 사항을 충족하는 경우, 모양 및 두께가 전자파흡수율의 반복 측정에 미치는 영향은 1 % 미만이라고 가정할 수 있기 때문에 그 영향은 무시할 수 있다. 외피 파라미터와 두께로 인해 생긴 편차가 전자파흡수율에 미치는 영향을 불확정도 추정에 포함시켜야 한다.

모의인체 외피 재질은 생체 조직 등가 용액 화합물에 의한 반응하거나 손상이 없어야 한다.

5.2.3. 생체조직 등가용액 재료의 특성

모의인체 생체조직 등가용액의 유전 특성은 전자파흡수율 측정기준 별표1의 5.2.4절을 참조한다. 생체조직 등가용액의 매질 특성에 대한 이론적 근거는 부록 A에 명시되어 있다. 용액의 온도에 대한 상세 규격은 5.1절에 규정되어 있다.

5.3. 측정 시스템 규격

5.3.1. 일반 요구사항

주사 시스템과 프로브의 요구 사항은 각각 5.3.2절 및 5.3.3절에 자세히 기술되어 있으며, 프로브 교정과 피시험 기기 지지대의 요구 사항은 각각 5.3.4절 및 5.3.5절에 명시되어 있다.

5.3.2 주사 시스템

주사 시스템의 최소 요구 사항은 다음과 같다.

- 위치 정밀도: $-0.2\text{ mm} \sim +0.2\text{ mm}$
- 최소 분해능(Resolution) (스텝 크기): 1 mm 이하
- 스캔 범위: 모든 방향에 대하여 모의인체 크기의 90% 이상

5.3.3. 프로브

정확한 측정을 위해서 프로브 끝은 모의인체 내에 유도된 전자기장의 분포를 효과적으로 결정할 수 있을 만큼 크기가 작아야 한다. 프로브 직경이 용액 내 파장의 $1/3$ 미만이면 프로브는 전자기장 왜곡을 최소화할 수 있다. 외삽 오차를 가능한 한 낮게 유지하기 위해 프로브 끝을 모의인체 표면에 가능한 한 가깝도록 하여 정확한 측정이 이루어지도록 한다.

프로브는 다음의 요구 사항을 만족시키면 이러한 최소 상세 규격을 얻을 수 있다.

- 프로브 끝 직경
 - 2 GHz 이하의 주파수에서 8 mm 이하
 - 2 GHz 보다 높은 주파수에서 $\lambda/3$ 이하(λ : 생체 조직 등가 용액 내의 파장(mm)이다)
- 민감도: 0.01 W/kg 이하

5.3.4 프로브 교정

프로브는 관련 데이터 판독 전자장치와 가급적 함께 교정되어야 하므로 기타 동일하거나 기술적으로 동등한 형태의 데이터 판독 전자장치에 대해 유효해야 한다. 프로브 시스템은 본 고시 별표1의 부록 B(측정 기기의 교정(선형성, 등방성, 감도) 및 불확정도 평가)에 명시된 방법에 따라 적절한 동작 주파수와 온도에서 주어진 주파수에 대한 생체 조직 등가 용액 내에서 각각 교정되어야 한다.

5.3.5 측정 위치에서 피시험 기기를 고정시키는 지지대의 상세 규격

기기 지지대는 손실이 작고 유전율이 낮은 재료로 만들어야 한다.

- 손실 탄젠트($\tan\delta$): 0.05 이하
- 상대 유전율(ϵ'_r): 5 이하

기기 지지대는 피시험 기기가 정확하고 재현성 높은 위치에 올 수 있도록 해야 한다. 위치 불확정도는 7.2.3절 '라'항 '3)'목에 따라 산정해야 한다.

6. 전자파흡수율 평가 프로토콜

6.1. 측정 준비

6.1.1. 일반적 준비

생체 조직 등 용액의 유전 특성은 전자파흡수율 평가 전 24시간 이내에 측정하거나, 5.2.3절의 권고를 따를 수 있다면 1 주일 이내의 간격으로 측정할 수 있다. 측정된 도전율과 상대 유전율은 목표값과의 차이가 $\pm 10\%$ 이내여야 한다. 측정된 전자파흡수율 결과는 부록 E에 따라 보정해야 한다. 보정값 ΔSAR 이 음수(-)이면 측정된 전자파흡수율을 보정하지 않는다.

유전 파라미터의 측정 절차는 부록 F를 따라야 하며, 유전율과 도전율 편차가 전자파흡수율에 미치는 영향을 평가하는 방법은 부록 E에서 기술되어 있다.

6.1.2. 시스템 검사

피시험 기기에 대한 전자파흡수율 측정에 앞서 부록 B의 절차에 따라 시스템 검사를 완료해야 한다.

6.1.3 피시험 기기의 준비

가. 일반 사항

피시험 기기는 내장형, 일체형 또는 연결형 송신기를 사용해야 한다. 안테나 및 부속품

들은 시험 성적서에 명시하여야 한다.

무선 주파수(RF) 출력과 주파수(채널)는 내부 측정 프로그램이나 기지국 또는 네트워크 모의시험기(Simulator)의 무선 연결을 이용하여 조절한다.

피시험 기기는 최대 시간-평균 무선 주파수(RF) 출력 레벨로 송신하도록 설정되어야 하는데, 이 레벨은 피시험 기기의 송신 모드 및 동작 요구 사항으로 정의된다. 만약 이것이 불가능하나 현실적이지 않으면, 더 낮은 전력 레벨에서 측정하고 최대 전력 레벨에 대한 값으로 스케일링(Scaling)할 수 있다. 스케일링 계수는 시험 성적서에 문서화하여야 한다. 부록 G은 스케일링 절차의 예를 기술하고 있다.

정상 동작 모드에 고정 동작 계수가 없는 버스트(Burst)에서의 송신이 포함된 경우에 측정은 제어되는 고정 동작 계수에 대해 실시해야 하며, 전자파흡수율 결과는 해당 모드에 대한 최대 허용 동작 계수로 스케일링하여 시험 성적서에 문서화한다. 최대 허용 동작 계수를 확인할 수 없거나 고정 동작 계수를 생성하기 어려울 때에는 이용 가능한 동작 모드를 사용하고 적절한 스케일링을 선택하여 시험 성적서에 문서화해야 한다.

노출 측정은 피시험 기기의 특성(동작 모드, 동작 대역, 안테나 구성 등)을 토대로 해야 한다. 복수의 동작 모드를 사용할 수 있는 경우에 일부 모드가 다른 모드보다 더 낮은 시간 평균 출력 전력을 활용할 수 있음을 명확하게 보일 수 없으면 복수의 동작 모드를 모두 측정해야 한다. 예를 들면, 모든 모드에 대해 슬롯의 시간 평균 출력이 동일하다고 가정하는 경우, 피시험 기기에 다중의 송신 슬롯이 있으면, 가장 많은 슬롯을 이용하는 모드를 사용해야 하고 더 작은 수의 슬롯을 사용하는 모드는 측정할 필요가 없다. 일부 모드를 측정에서 제외하는 경우에는 사용한 전력 레벨, 동작 계수, 동작 주파수 및 사용 안테나에 대해 동작 모드와의 관계를 명확하게 설명해야 한다. 자세한 내용은 6.2절을 참조한다. 대기 모드의 시간 평균 출력이 전송 중의 출력보다 더 낮으면 대기 모드에서의 측정은 하지 않는다.

일반적으로 피시험 기기는 사용 설명서의 동작 구성을 이용하여 측정해야 한다. 의도한 동작 구성(예: 핸드프리 사용의 경우 헤드셋 케이블 또는 데이터 전송을 위한 데이터 케이블)에서 그 기능을 위해 케이블이 필요하지 않으면, 기기에 부착된 케이블이 없어야 한다. 기기에 케이블을 부착하면 기기 표면의 무선 주파수(RF) 전류 분포가 변할 수 있다. 의도된 동작 구성의 기능을 위해 필요하지 않은 케이블은 모의인체 표면에서 수직의 위치에 두어 전자파흡수율 측정에 미치는 영향을 최소화하도록 한다. 의도된 동작 구성의

기능에 필요한 케이블은 엄격한 전자파흡수율 결과를 산출하도록 위치하여야 한다. 케이블 위치를 시험 성적서에 기록해야 한다.

동작 모드가 동시 다중 전송을 할 수 있다면 이 동작 모드도 측정해야 한다(절차는 6.3.2절 참조).

피시험 기기가 오로지 외부 전력 소스로만 동작하도록 정해진 경우, 적절한 전력 소스에 연결하는 데 제조자가 제공한 케이블 접속(Cabling)을 사용해야 한다. 배터리가 의도된 전력 소스이면, 측정 전에 배터리를 완전히 충전해야 하고 외부 전력 공급은 없어야 한다. 전력 변동을 6.1.3절 ‘나’항에 기술한 바와 같이 산정하고 전자파흡수율 값을 본 측정절차에 따라 보정한다면, 배터리의 일회 충전으로 다수의 측정을 할 수 있다.

나. 배터리의 일 회 충전으로 다수의 전자파흡수율 측정

1) 일반 요구 사항

배터리의 일 회 충전으로 다수의 전자파흡수율 측정을 수행할 때 다음 세 가지 조건을 만족해야 한다:

- 측정된 전자파흡수율 값은 전력 변동 크기 이상의 인자를 가지고 보정되어야 한다.
주) 전력이 상승하는 방향으로 변동되었을 때에는, 즉 모의인체 내 전기장 (혹은 기기의 전도 전력)이 명백히 증가했을 때에는 측정 전자파흡수율 값을 보정하지 않아야 한다. 단지 전력에 감소가 있을 때에만 보정하도록 한다.
- 누적된 변동(즉, 첫 번째, 두 번째, 세 번째 등의 측정 후 전력 변동 크기)은 $-1.0 \text{ dB} \sim +1.0 \text{ dB}$ 이어야 한다.
- 누적된 전력 변동이 1.0 dB 보다 큰 측정 결과는 폐기하도록 한다.

전력 변동 크기는 아래 기술된 바와 같이 세 가지의 방법으로 산정할 수 있다.

2) 방법 1 - 배터리의 방전 특성 측정에 의한 전력 변동 산정²⁾

2) 배터리의 방전 특성을 측정에 사용하는 방법은 전자파흡수율 측정 시스템 구성 요소들로 인한 변화요인

이 전력 변동 산정 방법은 전자파흡수율 측정에서 사용되는 것과 동일한 주파수 및 동작 모드에 대해 측정된 배터리의 방전 특성을 이용한다³⁾. 방전 특성은 피시험 기기의 외부 무선 주파수(RF) 커넥터(사용할 수 있다면)를 사용하여 전도 전력을 측정하거나 용액으로 채워진 평면형 모의인체 내에서 전자파흡수율을 측정하여 평가될 수 있다. 두 가지의 측정 모두, 요구 주파수와 모드를 전송하도록 설정된 상태에서 전력 변동이 1.0 dB(26 %)를 초과할 때까지 피시험 기기의 출력을 지속적으로 관찰 추적해야 한다.

전도 전력 측정 시에는 직접 전력값을 읽는다. 전자파흡수율은 피시험 기기 배치 전에 무선 주파수(RF) 전력을 측정할 수 있는 장비를 사용하여 안테나 포트에 연결된 피시험 기기상에서 전도 전력 측정을 수행할 수 있다. 전도 전력은 전자파흡수율 측정 직전과 직후에 바로 수행되어야 한다.

복사 전기장을 측정하는 경우에는, 용액이 채워진 평면형 모의인체 내의 고정된 기준 점에서 단일 지점의 전기장 값을 연속적으로 측정하고, 측정 완료 후 결과를 전자파흡수율 값으로 전환한다. 단일 지점 전자파흡수율 값이 전자파흡수율 시스템의 검출 하한값을 초과하도록 기준점을 선택한다. 전자파흡수율 측정 직후 사용자가 정의한 지점에서 2차 측정이 수행되어야 한다.

시간 경과에 따른 단말기 전력 또는 전자파흡수율 감소 특성은 여러번 측정하여 오차를 보정하여야 한다. 측정 시작부터 끝까지의 지속 시간을 표기하고, 감소 곡선에서 그 시간에 대한 전력 또는 전자파흡수율의 해당 감소치를 판독하여 보정하도록 한다.

3) 방법 2 - 누적된 변동 계산으로부터 전력 변동 산정

이 방법은 개별 전자파흡수율 측정에서 일련의 앞선 측정 시 기록된 누적값에 전력 변동값을 더하는 것이다. 예를 들어, 3회의 연속 측정에서 초기 측정에 대한 전력 변동이 0.4 dB, 두 번째 측정에서 0.25 dB, 그리고 세 번째에서 0.31 dB라면, 전력 변동을 다음과 같이 보상한다.

○ 초기 측정 0.4 dB

을 포함할 수밖에 없다.

3) 모든 주파수와 모드의 배터리 방전 특성을 측정하는 대신 시간평균 출력이 가장 큰 주파수와 모드를 사용하여 1회 측정 할 수 있다. 이것은 단말기의 전력 변화로 인한 오차를 보상한 것으로 볼 수 있다.

- 두 번째 측정 0.65 dB(즉 0.4 dB + 0.25 dB)
- 세 번째 측정 0.96 dB(즉 0.4 dB + 0.25 dB + 0.31 dB)

6.1.3절 ‘나’항 ‘(2)’ 목에 기술되어 있는 바와 같이, 개별 전자파흡수율 측정에 대한 전력 변동 크기는 전자파흡수율 측정 전후에 모의인체 내 고정된 기준점에서 복사 전기장 세기(또는 단일 지점 전자파흡수율)를 측정함으로써 평가한다. 복사 전기장 세기 측정 방법이 민감하지 않으면 피시험 기기상의 외부 동축선 연결 단자에서 전자파흡수율 측정 전후에 전도 전력을 측정해야 한다. 만일 일련의 전자파흡수율 측정 사이에 피시험 기기가 계속하여 송신하는 경우, 이들 전자파흡수율 측정 간에 시간 지연은 5분을 넘지 않도록 최소화되어야 한다.

두 번째, 세 번째, 네 번째 등 여러 차례의 측정 후 누적 전력 변동이 1.0 dB를 초과하면 마지막 측정값은 폐기하도록 하며, 이전의 측정에 대한 일련의 전자파흡수율 값들은 변동 크기에 대해 보정되어야 한다.

4) 방법 3 - 누적된 변동 계산으로부터 전력 변동 산정(피시험 기기의 재설정)

이 방법은 피시험 기기가 고정된 위치에서 다수의 측정이 이루어지는 경우에만 적용할 수 있다.

6.1.3절 ‘나’항 ‘(3)’목의 경우와 유사하지만 각 측정 후에 피시험 기기를 초기 측정에서 사용한 주파수와 전송 모드로 재설정하고 초기 측정의 시작 전에 기록된 레벨에 상대적인 전도 전력 또는 복사 전기장 값(혹은 전자파흡수율 값)을 기록함으로써 누적 전력 변동을 계산한다.

누적 변동이 1.0 dB 이상이면 마지막 전자파흡수율 측정값은 폐기하도록 하며, 이전의 측정에 대한 일련의 전자파흡수율 값들은 변동 크기에 대해 보정되어야 한다.

6.1.4. 모의인체에 대한 피시험 기기의 위치

가. 일반적 고려 사항 및 요구 사항

6.1.4절은 다음의 기기 형태에 대한 측정 위치 절차를 기술한다.

- 일반 기기(6.1.4절 ‘다’항);
- 인체 착용형 기기(6.1.4절 ‘라’항);
- 접거나 회전할 수 있는 안테나를 갖는 기기(6.1.4절 ‘마’항)
- 인체 지지형 기기(6.1.4절 ‘바’항)
- 탁상용 기기(6.1.4절 ‘사’항)
- 얼굴 전면(前面) 사용기기(6.1.4절 ‘아’항)
- 사지(四肢) 착용형 기기(6.1.4절 ‘자’항)
- 의류 일체형 기기(6.1.4절 ‘차’항)

이 절은 부속품을 부착하거나 부착하지 않은 피시험 기기를 모의인체에 대한 위치, 방향 그리고 구성을 어떻게 할 것인지 설명한다. 규정한 측정 위치는 기기와 모의인체 간의 이격 거리가 200 mm 이하인 경우에 적용할 수 있다.

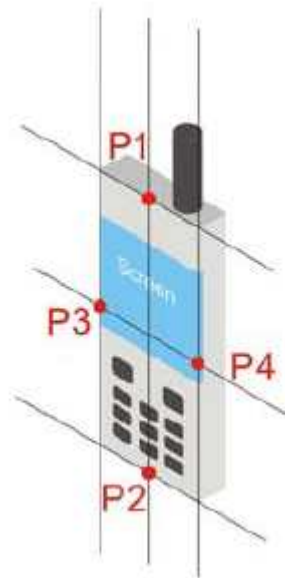
주) 이 절의 그림들은 스캔이 필요한 영역을 나타내거나 크기를 비교하기보다는 단지 설명을 위한 것이다.

만일 제조자가 기기 동작 위치와 방향 등에 관해 의도적 사용을 규정한다면 이에 대해 측정해야 한다. 만일 의도적 사용 위치가 규정되어 있지 않거나 어떠한 지시사항이 없다면, 일반 기기에 대한 측정 절차를 이용해야 한다.

모든 경우에 평면형 모의인체에 대하여 피시험 기기를 측정해야 한다. 피시험 기기는 모의인체의 중심 또는 첨부 최대 전자파흡수율을 측정할 수 있도록 위치시켜야 한다. 기기가 모의인체보다 큰 경우나 모의인체의 가장자리에서 최대값이 측정되는 경우에는 피시험 기기(케이블이 있다면 포함)의 투사(投射) 영역보다 최소 20 % 더 큰 치수의 모의인체를 사용하거나 또는 최대값이 스캔 영역 내에 완전히 포착되도록 피시험 기기의 위치를 이동하여 다시 측정해야 한다(6.1.4절 ‘나’항 참조).

제조자의 의도적 사용이 규정되어 있으면 피시험 기기를 그에 따라 위치시켜야 한다. 모의인체에 평행한 피시험 기기나 부속품의 방향에 대한 일반 지침은 다음과 같다. 이 지침이 제조자의 의도적 사용과 부합하는 한 따르도록 한다. (그림 6-1)에서 보는 바와 같이 피시험 기기의 각 모서리 중간 지점을 P1, P2, P3, 그리고 P4로 정의한다. 직선 P1-P2와 P3-P4는 모의인체 표면과 평행해야 하며, 모의인체 표면으로부터 P1 및 P2의 거리는 같아야 한다. 또한 모의인체 표면으로부터 P3 및 P4의 거리도 같아야 한다. 이격 거리는 상술한 바와 같이 피시험 기기를 위치시킬 때 모의인체 외피와 피시험 기기의 가

장 가까운 지점 사이의 거리로 정의한다. 실제 가장 가까운 지점은 P1과 P2, P3과 P4 또는 모의인체 외피와 피시험 기기의 가장 가까운 점 사이의 이격 거리로 정의된다.



(그림 6-1) 기준점 정의

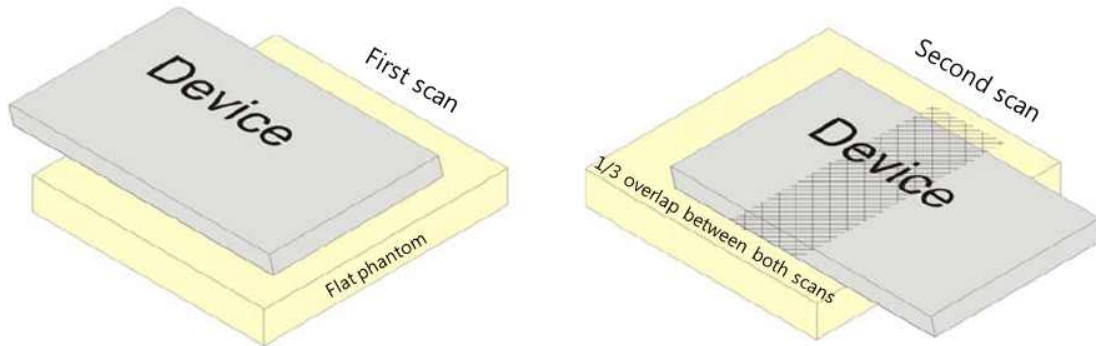
나. 모의인체보다 큰 기기의 위치 설정

피시험 기기가(그림 5-1)에서 정의한 최소 타원형 모의인체보다 큰 경우에는 피시험 기기 전체를 스캔할 수 있도록 피시험 기기를 이동시켜야 한다. 모의인체를 고려하는 피시험 기기를 이동하여 측정할 경우, 피시험 기기와 모의인체 간 결합이 변할 수 있기 때문에 피시험 기기 보다 큰 모의인체에서 측정한 결과와 다를 수 있다.

결합의 변화로 인한 전자파흡수율 측정 값의 차이를 제한하기 위해 두 번의 연속된 측정에 대한 피시험 기기의 스캔 영역은 (그림 6-2)와 같이 이동 방향으로 최소 1/3 이상 겹쳐야 한다.

각각의 중복된 스캔 영역에서 측정된 단일 지점 전자파흡수율 값의 최대 편차는 <표 7-6>의 재현성에 대한 확장 불확정도보다 작음을 입증해야 한다. 그렇지 않으면, 7장의 절차와 기법에 따라 결과적 불확정도를 산정하고 문서화해야 한다. 복사 구조물이 피시험 기기와 모의인체에 비해 작거나 첫 번째 영역 스캔에서 전자파흡수율 분포가 스캔 영역 내에 있으면, 피시험 기기를 이동할 필요가 없다. 이동을 생략하는 경우 그 이유를 시

험 성적서에 명확히 기술해야 한다.

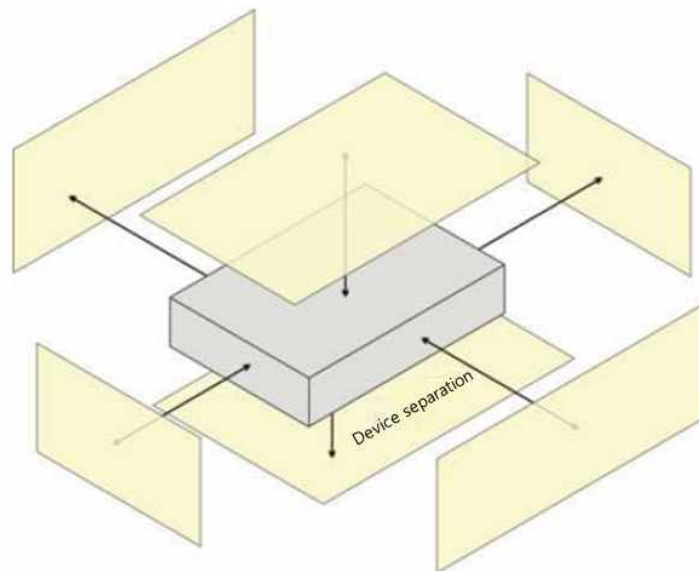


(그림 6-2) 모의인체에서 기기를 이동하여 측정

다. 일반 기기

6.1.4절 ‘가’항에 정의된 기기 형태로 분류할 수 없는 기기에 대해서는 일반 기기로 고려하며, 일반 기기는 적어도 하나의 내부 무선 주파수(RF) 송신기와 안테나를 결합한 밀폐 상자로 나타낸다.

(그림 6-3)에서와 같이 의도적으로 사용할 때 피시험 기기의 이용할 수 있는 모든 면에 대해 전자파흡수율을 측정해야 한다. 이격 거리는 제조자에 의해 제공되는 사용자 지침에 명시된 의도적 사용 거리에 따른다. 의도적 사용이 명시되어 있지 않으면, 평면형 모의인체에 피시험 기기의 모든 면을 직접 접촉시켜 측정해야 한다.



(그림 6-3) 일반 기기의 측정 위치

일반 기기의 측정위치는 모든 기기에 적용할 수 있다. 송신기가 본체에 장착되어 일체형으로 동작하는 경우, 6.1.4절 ‘라’항 ~ 6.1.4절 ‘카’항에 따라 측정 한다. 안테나나 부착된 무선 주파수(RF) 송신기가 본체 밖에 있고 안테나 또는 부착된 무선 주파수(RF) 송신기가 본체의 위치에 대해 독립적일 때에는(예를 들어, 송신기가 케이블로 연결되는 경우), 일반 기기의 절차에 따라 평가하도록 한다.

여러 개의 안테나를 갖는 피시험 기기에 대해서도 동일한 원리를 적용할 수 있고 안테나 위치에 대해 적절한 모든 조합을 측정해야 한다.

라. 인체 착용형 기기

인체 착용형 기기의 대표적인 예로는 휴대전화, 무선으로 동작하는 개인 휴대 정보단말기(PDA: Personal Digital Assistant) 또는 무선설비 제조자가 승인한 부속품을 사용하여 인체에 소지하는 동안 송신이 가능한 배터리로 동작하는 무선설비가 있다.

제조자가 제공한 사용 설명서에서 신체에 소지하기 위한 부속품(벨트 클립, 휴대폰 홀스터, 휴대용 케이스 또는 이와 유사한 것)과 함께 사용하도록 규정한 경우, 기기는 그 부속품에 장착하여 모의인체에 의도된 방향으로 위치시켜야 한다.

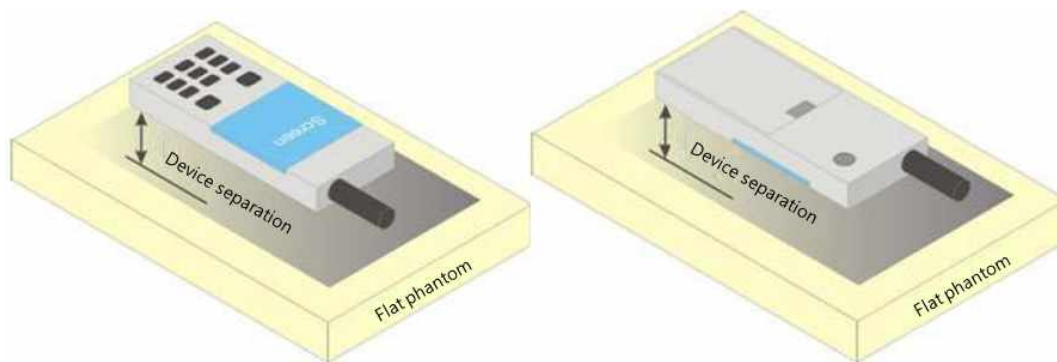
모의인체와 피시험 기기의 거리를 정하는 부속품들이 비전도성 재질로 구성된 경우, 최소 이격 거리를 제공하는 부속품이 가장 높은 전자파흡수율을 발생시킬 것이다. 그러므로 더 큰 이격 거리가 있는 부속품들의 측정은 불필요하다. 전도성 재질을 포함하지 않는 부속품은 모의인체 표면으로부터 그 부속품의 이격 거리 이하의 거리를 유지하도록 공기층이나 이격기로 부속품을 대체할 수 있다. 이격기는 저손실(손실 탄젠트 ≤ 0.005), 낮은 유전율(상대유전율 ≤ 1.1)을 갖는 재질로 이루어져야 한다. 유선 핸드프리 키트와 같이 무선 주파수(RF) 송신기를 포함하지 않거나 첨두 전자파흡수율 값을 5 % 이상 증가시키지 않는 부속품은 별도의 전자파흡수율 측정이 필요 없다.

주) 유선 핸드프리 키트는 케이블이나 선을 통해 이동기기에 연결하는 무선 송신 기능이 없는 이어폰 또는 헤드셋 부속품을 의미하며, 블루투스 이어폰이나 헤드셋 같은 ‘무선 핸드프리 키트’를 의미하지 않는다.

제조사가 사용자 설명서에 기기 사용시 신체와의 사용 거리를 유지하기 위해 적절한 부속품을 이용한 의도적 사용을 규정하고 있는 경우, 피시험기기는 의도적 사용시 신체와

이격되는 거리만큼 모의인체와 이격하여 측정하여야 한다.(그림 6-4) 이때 전자파흡수율은 제공되는 부속품 없이 측정하여야하며 이격거리는 25 mm를 초과할 수 없다. 평면형 모의인체를 향하는 기기의 표면은 모의인체 면에 평행하도록 한다. 그러나 모든 기기가 편평한 면을 갖지는 않으므로 기기와 모의인체 간 거리의 정의 및 물리적 관련성 등 위치설정에 대한 세부사항은 시험 성적서에 문서화하여야 한다(6.1.4절 ‘가’항 참조).

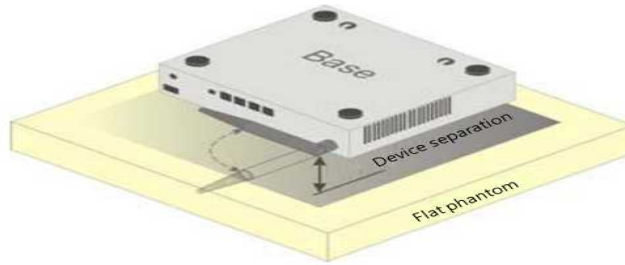
사용자 설명서에 의도적 사용이 명시되어 있지 않으면, 기기의 모든면에 대해 모의인체에 접촉하여 측정해야 한다. 기기 위치의 상세 사항, 특히 모의인체 표면의 접촉점을 시험 성적서에 문서화해야 한다. 만일 생각하는 측정조건이 있다면, 시험 성적서에 관련 근거를 문서화하도록 한다.



(그림 6-4) 인체 착용형 기기의 측정 위치

마. 접거나 회전 가능한 안테나를 가진 기기

안테나의 사용조건이 다양한(예: 안테나를 뽑거나, 넣거나, 혹은 회전) 기기들은 제조자가 제공하는 사용자 설명서에 준하여 배치하도록 한다. 안테나가 하나인 기기의 경우, 정해진 안테나의 위치가 명시되어 있지 않으면, 가능한 모의인체에 대해 수직 및 수평 위치와 피시험 기기 몸체에서 멀리 향하도록 안테나를 위치시켜 측정한다.(그림 6-5) 또한 가장 높은 노출 조건을 얻도록 안테나를 뽑거나 넣고 측정하도록 한다. 회전 가능한 안테나인 경우, 최고의 노출 조건에 대해 평가하고 문서화하여야 한다.



(그림 6-5) 회전식 안테나가 있는 기기(탁상용 기기의 예)

바. 인체 지지형 기기

인체 지지형 기기의 대표적인 예로는 앉아 있는 사용자의 허벅지 위에 놓고 무선 통신을 할 수 있는 랩톱 컴퓨터를 들 수 있다. 이 경우 기기는 바닥을 모의인체에 접촉한 상태로 위치시켜야 한다. 제조자가 사용 설명서에 다른 방향을 규정할 수도 있다. 의도적 사용이 명시되어 있지 않다면 그 기기는 모든 사용 가능한 방향에서 평면형 모의인체에 접촉하여 측정해야 한다.

기기의 스크린 부분은(그림 6-6a)(좌측)에서 나타낸 것처럼 90도 각도로, 또는 제조자가 작동 설명서에서 의도적 사용으로 규정한 동작 각도로 위치시켜야 한다. 인체 지지형 기기가 일체형 스크린을 갖는 경우, 스크린 면이 인체로부터 보통 200 mm를 유지하면, 스크린 면은 측정하지 않아도 된다. 그러나 스크린에 장착된 안테나가 있는 경우에, 그 위치가 의도적 사용에 부합하면, 스크린을(그림 6-6a)(우측)에 나타낸 대로 평면형 모의인체에 접촉한 상태에서 측정하여야 한다.

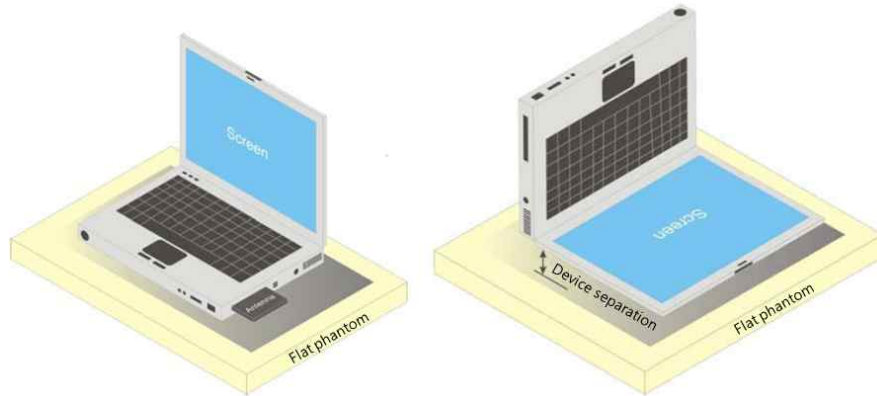
이 범주에 포함되는 그 밖의 기기로는 태블릿형 휴대용 컴퓨터와 신용카드 거래 승인 단말기, 판매정보 기록 장치 또는 재고 관리 단말기가 있다. 이러한 기기들이 몸통이나 사지(四肢)에 의해 지지될 수 있는 경우, 인체 지지형 기기에 대한 동일한 원리를 적용한다.

(그림 6-6b)는 태블릿 형태를 갖는 휴대용 컴퓨터의 전자파흡수율측정시 기기의 위치와 이격거리 예를 나타내고 있으며 제조자가 명시한 것에 부합하도록 모의인체에 배치하여 수행한다. 별도의 사용법이 사용자 설명서에 명시되어 있지 않으면, 기기는 사용할 수 있는 모든 방향에서 평면형 모의인체에 밀착하여 측정해야 한다.

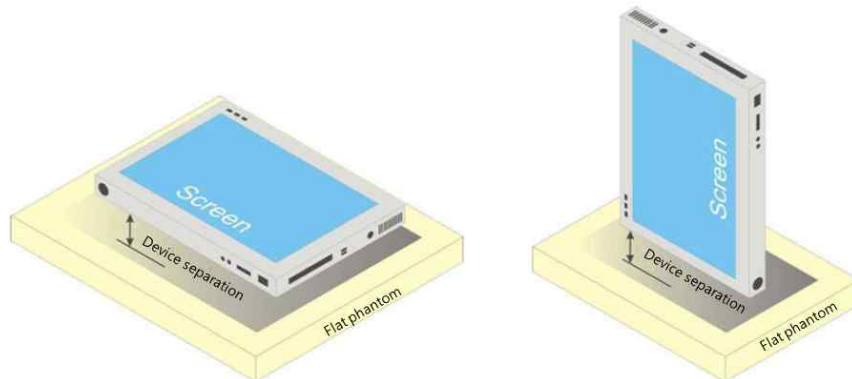
일부 인체 지지형 기기는 배터리의 보조용으로 외부 전원(예: 교류 어댑터)을 사용하여

측정할 수도 있다. 그러나 이 경우 전자파흡수율 평가가 보수적임을 시험 성적서에 입증하고 문서화해야 한다.

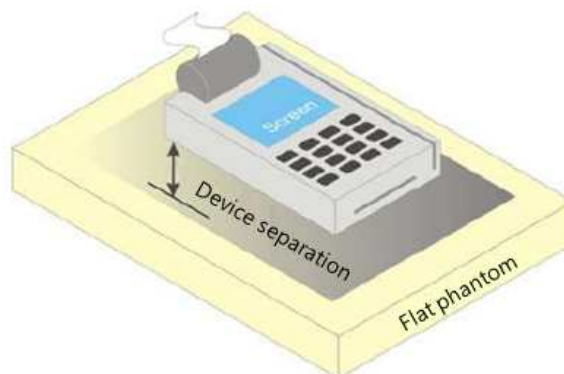
안테나의 사용조건이 다양한(예: 회전식 안테나) 기기는 6.1.4절 ‘마’항과(그림 6-5)를 참고한다.



a) 외장 안테나가 장착된 무선 카드(플러그인 형태)의 휴대용 컴퓨터(좌측)와 스크린 부분에 내장된 안테나가 있는 휴대용 컴퓨터(우측)



b) 태블릿 형태의 휴대용 컴퓨터



c) 무선 신용카드 처리 공인 단말기

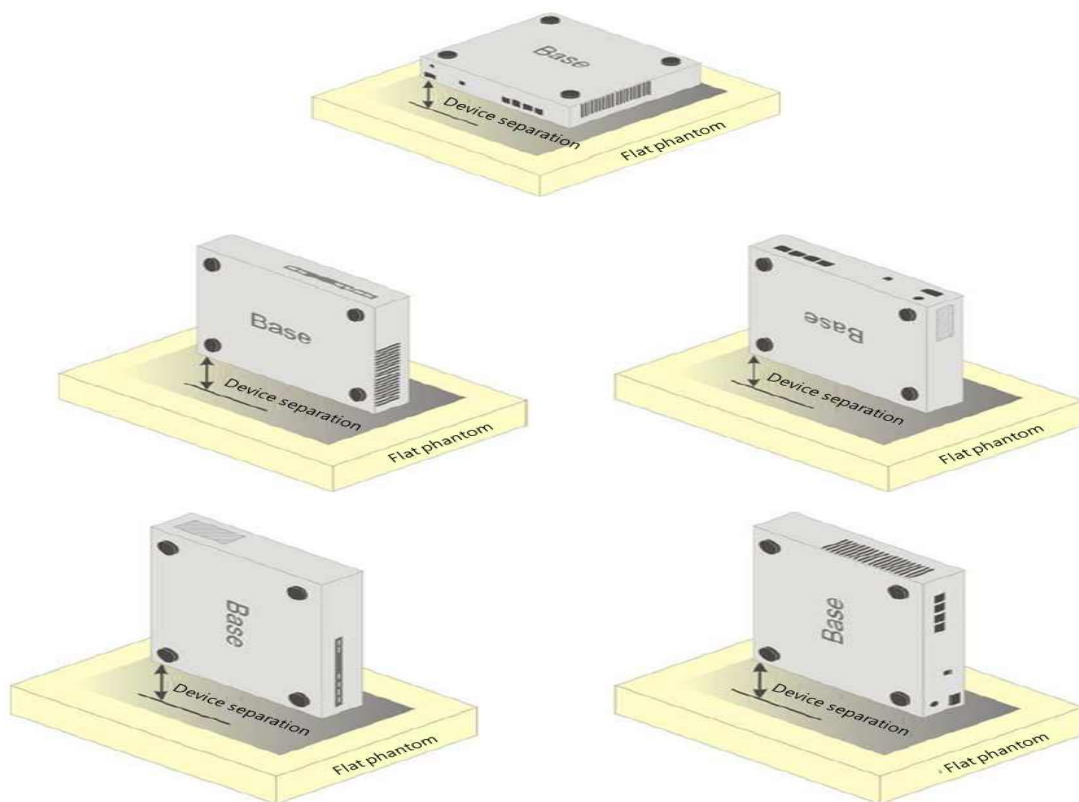
(그림 6-6) 인체 지지형 기기의 측정 위치

사. 탁상용 기기

탁상용 기기의 대표적인 예로 탁자 또는 책상 위에 놓고 사용하며 무선 통신이 가능한 탁상용 컴퓨터를 들 수 있다.

피시험 기기는 사용 설명서에 제조자가 규정한 사용 방법에 맞게 모의인체에 대한 이격 거리와 방향을 준수하여 배치해야 한다. 위치가 바뀔 수 있는 외장 안테나를 사용하는 기기의 경우에는 규정된 모든 안테나 위치에 대해 측정을 실시해야 한다.(그림 6-7)과 (그림 6-5)는 탁상용 기기에 대한 전자파흡수율 측정 위치를 나타내었다. 별도의 사용법이 규정되어 있지 않다면 이 기기는 평면형 모의인체에 밀착하여 측정해야 한다.

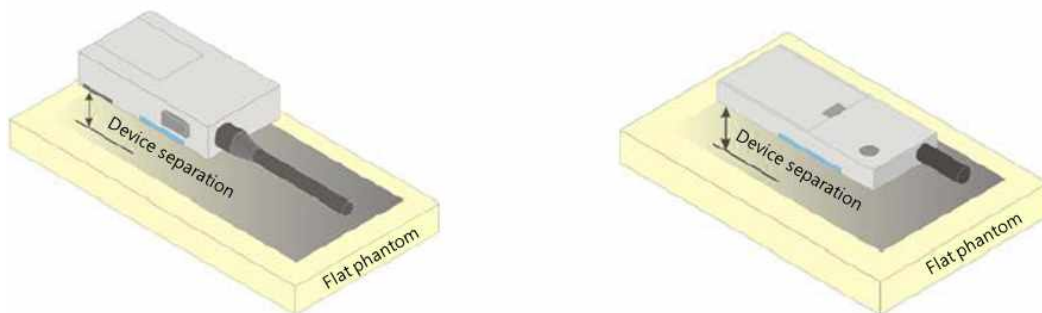
물리적 디자인으로 인해 기기의 일부 면(예를 들어 책상에 세워 있는 기기의 바닥면)은 측정이 필요하지 않을 수 있다.



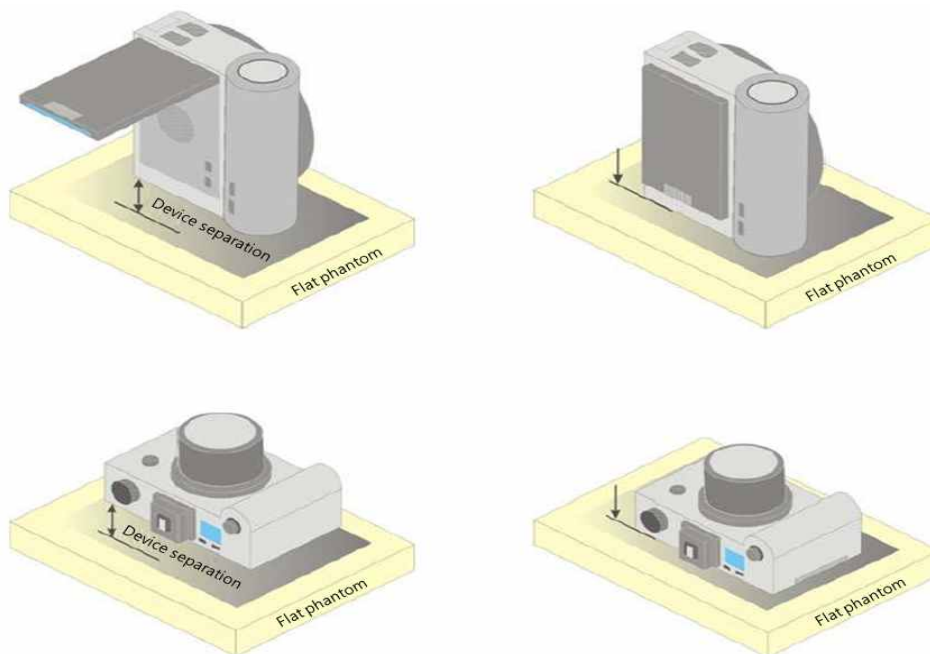
(그림 6-7) 탁상용 기기의 측정 위치

아. 얼굴 전면 사용 기기

얼굴 전면 사용기기의 대표적인 예로는 송신 시에 사용자 얼굴에서 일정 간격 떨어진 상태에 있는 무선설비를 들 수 있다. 이러한 경우에 피시험 기기는 제조자가 사용 설명서에 규정한 의도적 사용에 부합하도록 모의인체 표면과 일정한 거리를 두고 위치시켜야 한다(그림 6-8a). 의도적 사용이 규정되어 있지 않다면 모의인체 표면과 기기 사이에 25 mm의 이격 거리를 두어야 한다.



a) 양방향 무선설비



b) 스틸 카메라 및 비디오 카메라

(그림 6-8) 얼굴 전면 사용기기의 측정 위치

이 범주에 포함되는 그 밖의 기기로는 데이터를 네트워크나 다른 기기로 전송할 수 있

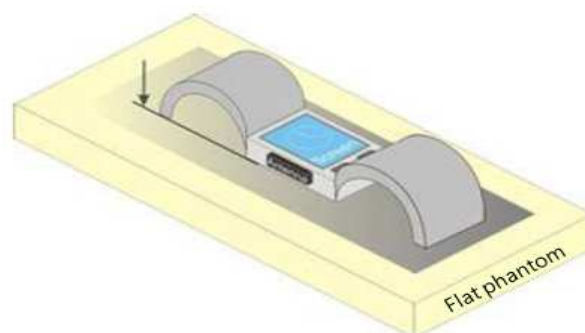
는, 무선 통신이 가능한 스틸 카메라와 비디오 카메라가 있다(그림 6-8b). 의도적 사용에서 사용자와의 이격 거리가 필요한 기기(예: 스크린이 있는 기기)의 경우에, 이 기기는 제조자가 사용 설명서에 규정한 대로 의도적 사용에 부합하도록 모의인체 표면과 일정한 거리를 두고 위치시켜야 한다(그림 6-8b, 좌측). 의도적 사용이 규정되어 있지 않다면 모의인체 표면과 기기 사이에 25 mm⁴⁾의 이격 거리를 두어야 한다.

의도적 사용에서 사용자의 얼굴, 머리 또는 몸통이 기기와의 접촉이 요구되는 기기(예: 광학적 뷰파인더(Viewfinder)가 있는 기기)의 경우에, 이 기기는 모의인체에 직접 접촉해서 놓아야 한다(그림 6-8b, 우측).

자. 사지 착용형 기기

사지(四肢) 착용형 기기는 송신(대기 모드 제외)하는 동안 사용자의 팔이나 다리에 띠(벨트)로 묶어 사용하는 장치이다. 이 기기는 인체 착용형 기기와 유사하므로 6.1.4절 ‘라’항의 측정 위치를 적용할 수 있다. (그림 6-9)에서 보는 바와 같이 두 부분으로 나누어지도록 끈을 개방해 둔다. 기기는 가능한 곧게 펴도록 하고 기기의 뒷면이 모의인체를 향하도록 하여 모의인체 표면에 직접 접촉하도록 배치해야 한다.

정상적으로 팔찌를 열어 기기를 모의인체 표면에 직접 접촉하도록 놓을 수 없는 경우, 기기의 끈을 파손시켜서 모의인체에 위치시켜야 하며, 이 때 안테나를 손상시키지 않도록 주의하여야 한다.



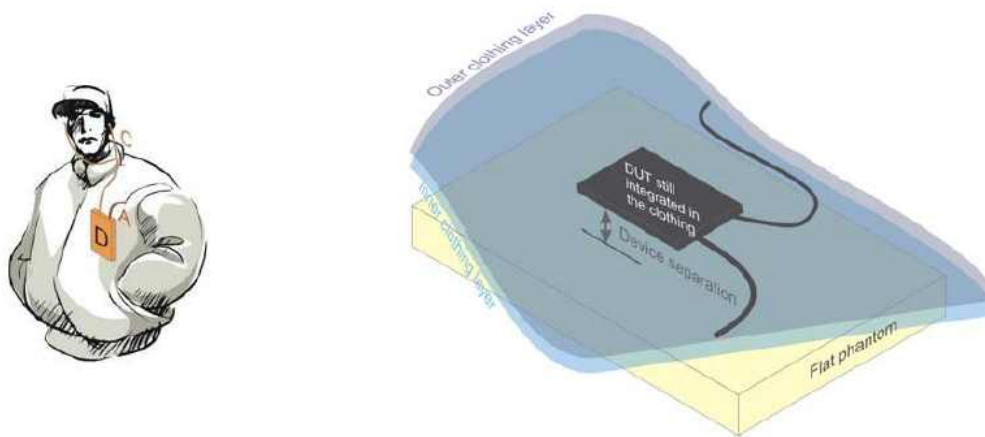
(그림 6-9) 사지(四肢) 착용형 기기의 측정 위치

4) 이 이격 거리는 Gordon외 인체 형상 조사에서 코 높이에 대한 상위 95 백분위수에 해당한다.

차. 의류 일체형 기기

의류 일체형 기기의 대표적인 예로는 내장 스피커와 마이크로폰을 통해 음성 통신을 제공하는, 재킷에 내장된 무선설비(이동 전화기)를 들 수 있다. 이 범주에는 일체형 무선설비가 있는 헤드기어도 해당한다.

모든 무선 또는 무선 주파수(RF) 송신 구성품이 의류에 내장되어 있는 기기의 의도적 사용에 따라 모의인체 표면의 방향과 이격 거리에 맞게 위치시켜야 한다(그림 6-10).



(그림 6-10) 의류 일체형 무선설비의 측정 위치

6.1.5. 측정 주파수

기기는 모든 송신 채널에 대한 해당 노출기준에 적합하여야 한다. 그러나 모든 채널에서 측정하는 것은 비현실적이며 불필요하다. 따라서 SAR 측정을 위한 측정 채널의 선택은 아래와 같이 정의된다. 측정 채널은 휴대단말기가 해당 노출기준에 적합하다는 특성을 보여줄 수 있도록 선택된 것이다.

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

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

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_c 는 항상 홀수가 된다. 측정 대상 채널들 간의 주파수 간격은 가능한 한 동일하여야 하며 최저주파수와 최고주파수를 포함하여야 한다.

6.2. 수행해야 할 측정

6.2.1. 일반 요구 사항

측정 절차는 다음과 같다.

○ 6.2.3절에서 기술된 일반 측정 절차를 사용하여 전자파흡수율을 평가한다. 필요에 따라 선택적으로 시험간소화 또는 고속 전자파흡수율 평가 방법을 이용할 수 있다.

위 단계에 따라 피시험 기기의 침투 공간평균 전자파흡수율의 최고값을 결정하기 위해, 각 주파수 대역에 대해 피시험 기기의 위치, 구성 및 동작 모드를 다음과 같이 측정해야 한다.

○ 기기의 모든 가능한 조건들(주파수, 주파수 대역, 동작 모드, 부속품, 기기 위치 등)을 확인한다.

○ 시험 간소화 방법(선택 사항, 6.2.2절)을 적용하여 측정할 경우 측정 조건을 선택한다.

○ 6.2.3절을 사용하여 선택한 조건을 측정한다.

시험 간소화(6.2.2절)를 실행하거나 적용한 모든 경우에, 시험 간소화를 위해 제외한 관련 기기 부속품이나 기기 방향 그리고 근거 등을 명백하게 시험 성적서에 문서화해야 한다.

6.2.2. 시험 간소화

가. 일반 요구 사항

시험 간소화를 실행하거나 적용한 경우, 시험 간소화를 위해 제외한 관련 기기 부속품이나 기기 방향 및 근거 등을 시험 성적서에 문서화해야 한다. 국립전파연구원장은 시험 간소화 방법에 대한 세부조건을 정하여 공고할 수 있다.

6.2.3. 일반 측정 절차

피시험기기의 첨두 공간평균 전자파흡수율의 가장 높은 값을 결정하기 위해 아래 1 ~ 3 단계에 따라 각 주파수 대역에 대해 적용할 수 있는 측정조건에서 측정하도록 한다. 측정 과정의 흐름도는 (그림 6-11)에 나타내었다.

가. 1단계: 아래 6.2.4절 또는 6.3.1절에서 설명하는 측정은 6.1절에 기술한 기기 위치에서 송신기와 안테나의 송신 주파수 대역 중심에서 가장 가까운 채널, 각 기기 위치에 대한 모든 구성 그리고 각 주파수 대역에서 각 기기 위치 및 구성에 대한 모든 동작 모드에 대하여 수행되어야 한다.

나. 2단계: 1단계에서 결정된 가장 높은 첨두 공간평균 전자파흡수율의 조건에 대하여 6.1.5절에 확인한 모든 다른 측정 주파수에서 6.3.1절의 측정을 수행한다. 또한 1단계에서 결정된 첨두 공간평균 전자파흡수율 값이 전자파흡수율 기준값의 3 dB 이내인 경우에는 각각의 기기 위치, 구성 그리고 동작모드들에 대하여 모든 측정 주파수에서 측정해야 한다.

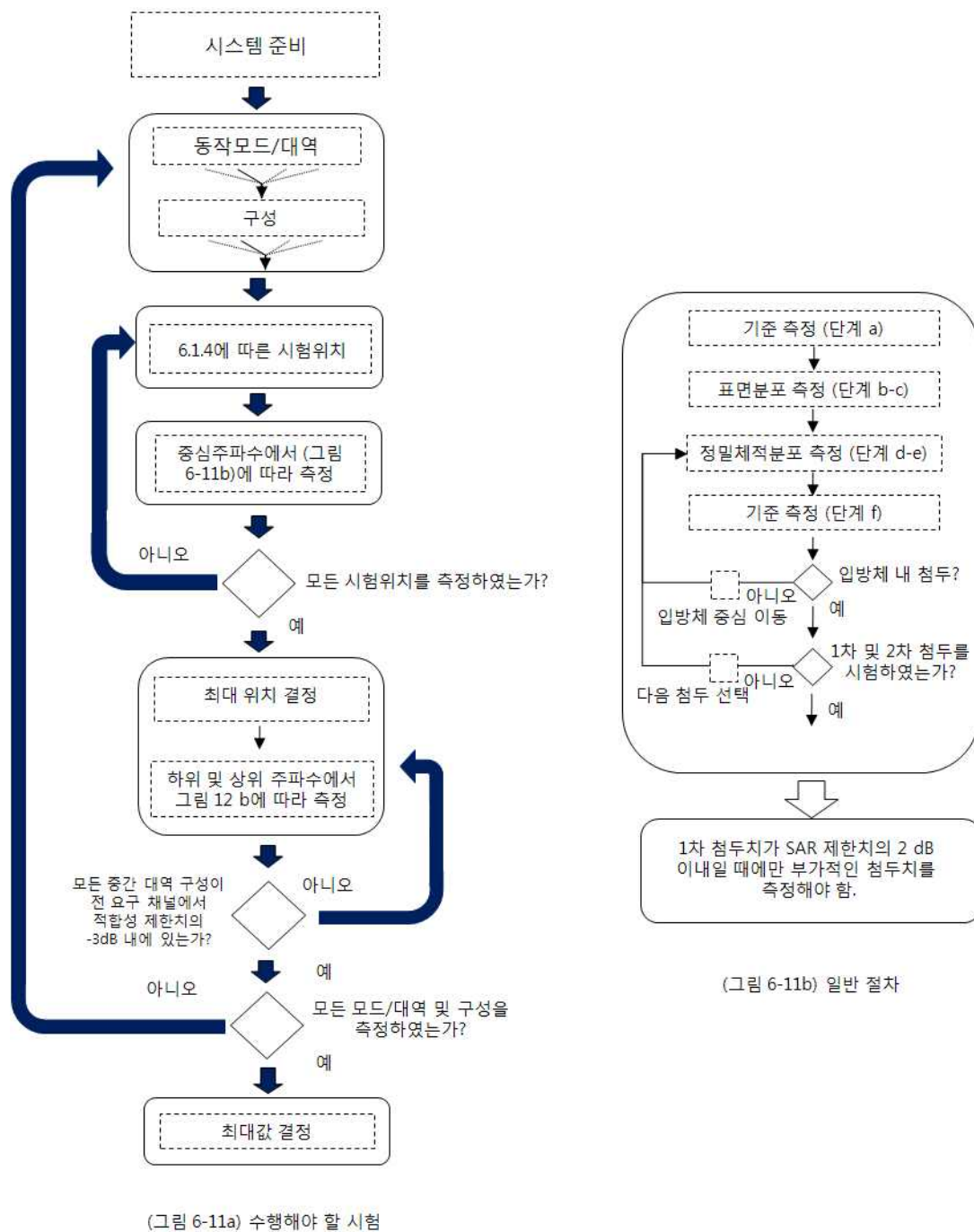
다. 3단계: 1 ~ 2 단계에서 측정한 첨두 공간평균 전자파흡수율 중 가장 높은 값을 결정한다.

라. 4단계: 다수의 분리된 안테나로부터 동시 전송이 가능한 기기들은 6.3.2절에 설명한 적절한 절차를 적용한다.

6.2.4 고속 전자파흡수율 평가

가장 높은 전자파흡수율 값을 발생시키는 측정 조건을 확인하기 위해서 고속 전자파

흡수율 측정방법을 이용할 수 있다. 고속 전자파흡수율 측정방법을 이용할 경우 평가 방법의 불확정도를 결정하고 문서로 작성해야 한다. 국립전파연구원장은 고속 전자파흡수율 측정방법에 대한 세부조건을 정하여 공고할 수 있다. 단, 모든 경우에 가장 높은 전자파흡수율 측정은 표준화된 측정법을 이용하여야 하며, 불확정도를 고려한 고속 전자파흡수율 측정값이 전자파흡수율 기준보다 클 경우에도 표준화된 측정법을 이용하여야 한다.



(그림 6-11) 측정 절차 흐름도

6.3. 측정 절차

6.3.1. 일반 절차

다음 절차는 6.2절에 기술한 측정((그림 6-11) 참조)에 대하여 실행해야 한다.

가. 피시험 기기에 가장 근접한 모의인체의 내부 표면으로부터 8 mm 이내의 측정 지점에서 국부 전자파흡수율을 측정하거나, 7.2.2절 ‘차’항에 설명한 전도 전력을 측정한다.

나. 모의인체 내부에서 2차원 전자파흡수율 분포를 측정한다(표면분포 측정절차). 측정 영역의 경계는 모의인체 측벽에서 20 mm 이상이어야 한다. 측정점 간의 거리는 내삽한 후 생체 조직 입방체의 선형 치수의 절반($1/2$)보다 더 좋은 정확도로 국부(Local) 최대값의 위치를 파악할 수 있는 정도라야 한다. 3 GHz 미만 주파수의 경우 최대 격자 간격은 20 mm, 3 GHz 이상 주파수의 경우, $(60/f[\text{GHz}])$ mm를 권고한다. 분해능은 7.2.5절 ‘나’항의 함수를 이용하여 측정할 수도 있다. 프로브 검출기의 기하학적 중심과 모의인체 내부 표면 사이의 최대 거리는 3 GHz 미만 주파수의 경우 5 mm이어야 하며, 3 GHz 이상 주파수의 경우 $\delta \cdot \ln(2)/2$ mm 이어야 한다. 여기서 δ 는 평면파의 표피 두께이고, $\ln(x)$ 는 자연 대수(對數)이다. 검출기와 모의인체 표면까지의 최대 변동은 3 GHz 미만 주파수의 경우 ± 1 mm이어야 하며, 3 GHz 이상 주파수의 경우는 ± 0.5 mm이어야 한다. 모든 측정점에서 표면에 수직한 선에 대한 프로브의 각은 5도 미만이어야 한다((그림 6-12) 및 부록 H참조). 모의인체 내부 표면까지의 측정 거리가 프로브 지름 미만인 경우에 이를 만족할 수 없다면 추가로 불확정도를 평가할 필요가 있다.

다. 스캔한 전자파흡수율 분포로부터, 최대 전자파흡수율 값의 위치를 확인하고, 최대값의 2 dB 이내의 전자파흡수율 값에 해당하면서 정밀 체적 분포 측정 영역 내에 있지 않는 국부 최대값들의 위치를 확인한다. 1차(Primary) 첨두값이 전자파흡수율 적합성 제한치의 2 dB⁵⁾이내 일 때만(예: 1 g 평균 1.6 W/kg 제한치인 경우 1 W/kg, 또는 10 g 평균 2 W/kg 제한치인 경우는 1.26 W/kg) 추가 첨두값들을 측정한다.

라. 정밀 체적 분포 측정 절차: 단계 c) 에서 파악한 국부 최대 위치에서 3차원 전자파흡수율 분포를 측정한다. 수평 격자 간격은 $(24/f[\text{GHz}])$ mm 이하이어야 하지만 8 mm를 초과하지 않아야 한다. 정밀 체적 분포 측정을 위한 체적의 최소 크기는 3 GHz 미

5) 이 제한치는 측정점 사이 최소 간격과 내삽 기법의 불확정도에 의해 주어진다.

만 주파수의 경우 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 이다. 주파수가 더 높은 경우에는 최소 크기를 $22\text{ mm} \times 22\text{ mm} \times 22\text{ mm}$ 로 줄일 수 있다. 수직 방향에서 격자 간격은 $(8 - f[\text{GHz}])\text{ mm}$ 이하이어야 하지만, 균일한 간격을 사용할 경우 5 mm 를 초과하지 않아야 한다(본 고시 별표 1 부록 C.3.3절(정밀 체적 분포 측정(Zoom scan))). 수직 방향에서 가변 간격을 사용한 경우에는 모의인체 외피에 가장 가까운 두 측정점 사이의 최대 간격은 $(12 / f[\text{GHz}])\text{ mm}$ 이하이어야 하지만, 4 mm 를 초과하지 않아야 하며, 더 먼 점 사이의 간격은 1.5 를 초과하지 않는 증분을 만큼 증가해야 한다. 가변 간격을 사용할 때에는 측정에서 사용했던 것과 동일한 간격으로 외삽 루틴을 측정해야 한다. 프로브 검출기의 기하학적 중심과 모의인체 내부 표면 사이의 최대 거리는 3 GHz 미만 주파수의 경우 5 mm 이어야 하며, 3 GHz 이상 주파수의 경우에는 $\delta \cdot \ln(2) / 2\text{ mm}$ 이어야 한다. 여기서 δ 는 평면파의 표피 두께이고, $\ln(x)$ 는 자연 대수(對數)이다. 매질 경계와 프로브의 유전체 외피 사이의 전자기장 왜곡으로 인한 불확정도도 최소화하는 것이 바람직하다. 이것은 모의인체 표면과 프로브의 물리적 끝 사이의 거리가 프로브 끝 지름보다 큰 경우라면 가능하다. 프로브 지름의 절반($1/2$)보다 더 가까운 고정밀 측정이 가능한 경우에는 이러한 경계 효과에 대한 보정 절차를 활용하는 방법도 있다. 표면에 수직인 선에 대한 프로브의 각은 모든 측정점에서 5° 미만이어야 한다. 이 값을 얻지 못한다면 7.2.2절 ‘바’항에 따라 불확정도를 추가로 평가할 필요가 있다.

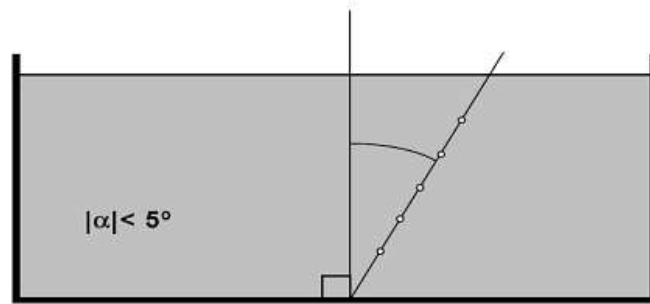
마. 질량 평균에 필요한 공간 해상도에서 국부 전자파흡수율 값을 결정하기 위해 6.4절에서 정의한 후처리(예를 들어, 내삽법과 외삽법) 절차를 사용한다.

바. 국부 전자파흡수율을 단계 a)와 동일한 위치에서 다시 측정한다. 그로부터 전자파흡수율 변동을 산정하여 7.2.1절 ‘차’항에서 설명한 불확정도 총괄표 <표 7-4>에 기재해야 한다.

측정 변동의 평가가 5% 허용 오차를 초과하는 경우에는 본 측정절차의 지침에 따라 전자파흡수율 값을 재평가해야 한다.

변동이 5% 를 초과하면, 측정 변동은 불확정도가 아니라 편향(Bias)으로 판단해야 한다. 이 경우 측정 전자파흡수율 값을 보정해야 하며, 이 변동을 불확정도 총괄표에 기록할 필요는 없다(즉, $u_i = 0\%$). 시험 성적서에 보고하는 불확정도 총괄표는 보고된 전자파흡수율 최대값(가능하다면 보정 후)에 부합해야 한다. 그렇지 않은 경우, 불확정도 총괄표는 모든 측정에 적용이 가능하도록 엄격한 값을 보고하도록 한다.

그러지 않으면, 대안으로 7.2.2절 ‘차’항에서 설명한 대로 전도 전력을 측정한다.



(그림 6-12) 모의인체 표면의 법선에 대한 프로브의 방향

6.3.2 동시 다중 대역 전송이 가능한 피시험 기기의 측정 절차

가. 일반 요구 사항

다음 절차는 동시에 여러 주파수(f_1 , f_2 등)에서 동작할 수 있는 다중 전송 모드를 갖는 기기에 적용할 수 있다. 이 주파수들은 프로브 교정이나 생체 조직 등가 용액의 최소 대역폭의 유효 주파수 범위보다 더 멀리 떨어져 있다(다시 말해 동일한 프로브와 용액을 이용하여 전자파흡수율을 동시에 측정할 수 없을 때). 현재 사용되는 대부분의 시스템에서 프로브 교정(5.3.4절)의 유효 주파수 범위는 전기장 프로브에 대해 일반적으로 좁은 편이다(예, ± 50 MHz). 또한, 현재 시스템에 사용되는 전기장 프로브는 출력단에서 직류 전압을 가지므로 프로브는 서로 다른 주파수에서 신호 간 구분을 할 수 없다. 생체 조직 등가 용액의 유효 주파수 범위는 유전 파라미터가 목표값(5.2절 참조)의 허용 오차 내에 있는 주파수 범위를 가리킨다. 이러한 제약으로 인해, 다중 전송 모드는 먼저 분리하여 평가한 뒤 산술적으로 결합한다.

일부 2차 송신기(예, 더 낮은 전력 송신기들)는 그 전력 레벨이 임계값 아래로 떨어지는 경우 평가에서 제외시킬 수 있다.

6.3.2절 ‘나’항 ~ 6.3.2절 ‘마’항은 대체 평가 절차를 설명한다. 대체 방법에 다음의 필수 전제 조건들을 적용한다.

- 표면 분포, 정밀 체적 분포 및 침투 공간평균 전자파흡수율은 다른 주파수의 모드는

모두 차단(OFF)하고 해당 주파수의 모드만 접속(ON)하여 6.3.1절에 따라 각 주파수에서 분리하여 평가한다.

-6.2절에 따라 두 개 이상의 모드가 동시에 동작하도록 의도하는 각 측정(기기 위치, 채널, 구성 및 부속품)에 대해 전자파흡수율 데이터를 결합한다.

대체 방법을 다음과 같이 요약한다.

- 1) 첨두 공간평균 전자파흡수율 값들의 합- 가장 간단하지만 상한값을 결정하는 가장 엄격한 방법임(6.3.2절 ‘나’항).
- 2) 측정된 최대 전자파흡수율 값들 중 최고값의 선택- 개별적 최대값들이 서로 멀리 떨어져 있어서 서로 간 영향이 5 % 이하이면 정확한 평가임(6.3.2절 ‘다’항).
- 3) 기존의 표면 분포 및 정밀 체적 분포로부터 다중 대역 전자파흡수율의 계산- 정확하고 신속한 방법이며, 항상 적용할 수 있음(6.3.2절 ‘라’항).
- 4) 체적 분포 스캔(Volumetric scanning)- 가장 정확하고 항상 적용할 수 있음(6.3.2절 ‘마’항).

가장 엄격한 대안 1)을 기준 방법으로 인정한다. 피시험 기기가 이 대체 평가 절차 중 하나를 사용하여 요구 사항을 만족하면, 그 기기는 이 측정절차의 요구 사항을 완전하게 따른다고 간주한다.

나. 대안 1: 첨두 공간평균 전자파흡수율 값의 합산에 의한 평가

이 절차는 다중 대역 전자파흡수율의 상한을 결정하는 가장 쉽고 가장 엄격한 방법이다. 다른 모드에 대한 첨두 공간평균 전자파흡수율 값들이 공간적으로 서로 다른 곳에 위치할 수 있음에 주의해야 한다. 이러한 경우, 이 방법은 다중 대역 전자파흡수율을 과대평가하게 된다.

- 1) 동시에 동작하는 각 측정 조건을 위해서, 각 주파수(f_1 , f_2 , 등)에서의 첨두 공간평균 전자파흡수율 값을 합산한다(아래 ‘주’ 참조).

2) 만일 합산된 최대 전자파흡수율 값이 적합성 제한치의 -3 dB 내에 있으면, 그 주파수의 위와 아래 주파수에서의 부가적인 측정은 이 조건에서 이루어져야 한다. 최대 전자파흡수율 값을 결정하는 데 이 부가적인 값들을 사용한다.

3) '1)' 또는 '2)'에서 합산된 최대 전자파흡수율 값이 다중 대역 전자파흡수율이다.

주) 주파수 f_1 에서의 모든 측정 중 가장 높은 침투 공간평균 전자파흡수율 값을 주파수 f_2 에서의 모든 측정 중 가장 높은 침투 공간평균 전자파흡수율 값에 더하고, 또 다른 주파수에 대해서도 반복한다. '2)'와 '3)'은 이 방법을 따라야 한다. 이 방법은 '1)'의 방법보다 더 엄격하다.

다. 대안 2: 가장 높은 최대 전자파흡수율 값을 선택하여 평가

개별적으로 측정한 정밀 체적 분포가 중복되지 않을수록, 이 절차는 다중 대역 전자파흡수율에 대한 더 정확한 추정값을 제공한다. 전자파흡수율 분포를 공간적으로 더했을 때 결과적인 최대 침투 전자파흡수율 값의 변화가 5 % 미만일 정도로 최대값들이 공간적으로 이격되어 있어야 한다.

1) 6.3.1절에 따라 각 주파수에서 분리하여 최대 질량 평균 전자파흡수율을 측정한다.

2) 모든 동일한 측정 조건에 대해 공간적으로 한 점씩(Point-by-point) 표면 분포 측정값을 합산하여 전자파흡수율 분포가 어느 정도로 중복되는 지 분석한다.

3) 더해진 분포 상의 결과적인 침투 전자파흡수율 값이 독립된 최대 침투 전자파흡수율 값들 가운데 최고값에서 5 % 미만의 편차라면, 다중 대역 전자파흡수율은 그 두 개의 독립된 질량 평균 전자파흡수율 값 중에 더 높은 값과 같다.

라. 대안 3: 계산된 체적 전자파흡수율 데이터로 평가

이 절차는 체적 전자파흡수율 데이터를 생성하기 위해 내삽법과 외삽법을 이용하여 얻은 표면 분포 측정 및 정밀 체적 분포 측정값을 사용하며, 다중 대역 전자파흡수율을 얻는 빠른 방법이다. 이 절차는 언제든지 적용할 수 있다.

- 1) 각 주파수에서 표면 분포 측정에 의해 투사된 영역상에서 체적 전자파흡수율 분포를 계산한다. 이를 위한 몇 가지의 알고리즘이 있다. 사용 방법의 불확정도는 정확하게 문서화되어야 한다.
- 2) 필요하다면 6.4.1절에 따른 내삽법을 사용하여 모든 주파수에서 체적 전자파흡수율 분포를 공간적으로 더한다.
- 3) '2)'의 전자파흡수율 분포에서 첨두 공간평균 전자파흡수율을 결정하기 위해 6.4절에 정의된 후처리 절차를 사용한다.

마. 대안 4: 체적분포스캔에 의한 평가

이 절차는 다중 대역 전자파흡수율을 평가하는 가장 정확한 방법으로, 언제든지 적용할 수 있다. 상기에 언급한 바와 같이, 6.2절에 따라 전자파흡수율 데이터를 두 개 이상의 모드가 동시에 동작하도록 의도된 각 측정(기기 위치, 채널, 구성 및 부속물)에 대해 결합한다.

- 1) f_1 , f_2 등 모든 주파수에서 정밀 체적 분포를 둘러싸는 체적 격자를 결정한다((주) 참조)
- 2) 각 주파수에서 '1)'에서 탐색한 체적에 대한 정밀 체적 분포를 측정한다. 이 정밀 체적 분포는 체적의 크기를 제외하고는 6.3.1절의 모든 요구 사항을 따른다.
- 3) 합산된 전자파흡수율 분포를 얻기 위해 '2)'에서 얻은 전자파흡수율 분포들을 공간적으로 더한다. 첨두 공간평균 전자파흡수율을 결정하기 위해 6.4절에 정의한 후처리 절차를 이용하여, 합산된 분포에서 다중 대역 전자파흡수율의 최대값을 계산한다.

전자파흡수율 분포의 합이 가능한 한 정확하도록 하기 위해 용액을 교환할 때 모의인체에 피시험 기기를 고정해야 한다. 기기의 배터리를 재충전해야 하면, 모의인체에 피시험 기기의 위치를 유지하면서 충전기 케이블을 피시험 기기에 부착할 것을 권고한다.

주) 상기 '1)'의 모든 주파수에서 정밀 체적 분포를 둘러싸는 체적이 큰 경우(예: 주파수 f_1 , f_2 등에서 정밀 체적 분포가 서로 떨어져 있는 경우) '2)'의 측정시간이 길 수 있다. 이러한 경우, 각 주파수에 대한 정밀 체적 분포 측정을 위한 체적들을 나머지 주파수

에서 이미 측정한 정밀 체적 분포의 체적들에 일치하도록 선택할 수 있다. '2)'에서 이것은 f_2 , f_3 등에서의 독립된 정밀 체적 분포를 사용하여 f_1 에서 전자파흡수율을 측정하게 되며, f_1 , f_3 등에서의 독립된 정밀 체적 분포를 사용하여 f_2 에서 전자파흡수율을 측정하게 된다.

6.4. 후처리

6.4.1. 내삽법

측정 격자가 주어진 질량에 대한 평균 전자파흡수율을 계산하는데 사용할 만큼 정밀하지 않으면, 측정 지점들 사이에서 내삽법을 사용한다. 내삽법에 대한 예는 본 고시 별표 1의 부록 C(후처리 기술 및 불확정도 평가)에 있으며, 불확정도를 7장에 따라 평가한다.

6.4.2 프로브 오프셋(Offset) 외삽법

전기장 프로브는 일반적으로 근접한 3 개의 직교 다이폴을 사용하며, 이 다이폴들은 보호관 속에 삽입되어 있다. 측정 지점은 프로브의 끝에서 수밀리미터 떨어진 곳에 위치하므로, 이 오프셋은 측정된 전자파흡수율의 위치를 정할 때 고려되어야 한다. 외삽법의 개요는 본 고시 별표 1의 부록 C에 기술되어 있으며 7장에 따라 불확정도를 평가한다.

6.4.3 평균하는 체적의 정의

평균하는 체적은 입방체 모양으로, 한 변의 길이는 1 g 및 10 g 질량에 해당하는 크기가 되어야 한다. 밀도는 모의인체 용액 밀도가 아닌 인체조직 밀도를 대표하는 1000 kg/m³을 사용한다. 즉, 1 g 입방체의 한 변의 길이는 10 mm가 되어야 하고 10 g의 경우에는 21.5 mm가 되어야 한다.

모의인체를 용액으로 채울 때, 외부 바닥면은 이상적인 평면에서 벗어날 수 있다. 곡선을 이루는 외피에 관해서 입방체 부피에 대한 평균 기법은 본 고시 별표 1의 부록 C에 규정되어 있다.

6.4.4 최대값 검색

본 고시 별표 1의 부록 C에 기술되어 있는 방법을 사용하여 입방체 체적을 국부 최

대 전자파흡수율에 가까운 모의인체의 내부 표면으로 옮긴다. 가장 높은 국부 최대 전자파흡수율을 가진 입방체는 스캐닝 체적의 가장자리에 있어서는 안 된다. 이런 경우라면, 스캐닝 체적을 이동시킨 후 측정을 반복해야 한다.

7. 불확정도 평가

7.1 일반적인 고려 사항

7.1.1. 불확정도 평가의 개념

무선설비에 대한 전자파흡수율 측정 시 불확정도 추정의 개념은 측정 불확정도 표준을 다루고 있는 ISO/IEC 지침 98-3(2008년)에서 제공되는 일반 규칙에 근거한다. 그럼에도 불구하고, 복잡한 측정에 대한 불확정도 추정은 여전히 어려운 작업이고, 전문적인 공학적 지식이 요구된다. 이러한 작업을 용이하게 하기 위해 본 절에서는 각 불확정도 요소를 추정할 수 있는 지침과 근사화 공식을 제공한다. <표 7-4>, <표 7-5> 및 <표 7-6>의 서식은 30 MHz ~ 6 GHz의 주파수 범위에서 피시험 기기와 시스템 고유의 불확정도를 제공하도록 고안된 것이다. 그러나 실제 불확정도 성분의 값과 양은 일반적으로 30 MHz ~ 6 GHz의 주파수 대역에 걸쳐 동일한 값을 유지하지는 않으므로 부분적인 주파수 대역에서 불확정도를 적절하게 수정해야 한다. 본 측정절차의 서식 및 표준 불확정도 성분값을 사용하면 일부 경우에 측정 불확정도를 과대평가할 수 있는 단점이 있지만, 이 절에서 제공되는 근사화 공식을 이용할 수 있는 이점이 있다.

전자파흡수율 측정 시스템 제조자는 시스템이 측정할 수 있는 동작 주파수 범위(예를 들어, 450 MHz ~ 1,900 MHz)를 명시해야 한다. 이렇게 하면, <표 7-4>에서 사용된 불확정도 양에 영향을 미치는 변수를 결정하기가 더 쉬워진다. <표 7-4>는 특정 주파수에 대한 고정값(예를 들어, 프로브 등방성(Isotropy), 경계 효과, 프로브 위치 제어기 등에 대해 갱신되어야 한다. 시스템 제조자가 명시한 주파수 범위를 넘어 측정이 확대되는 경우에는 사용자의 책임하에 불확정도에 관련된 양과 영향을 결정하고, 표를 이에 따라 적절하게 수정해야 한다. 광범위한 주파수 범위(예를 들어, 3 GHz ~ 6 GHz)를 포함하는 일련의 값을 사용한 경우에는 각 양의 추정, 영향, 방법을 상세히 설명한 문서를 추가할 필요가 있다. 어떤 시스템이 불확정도 표 내의 고정된 양에 대해 '0'의 값을 사용한 경우에 시스템 제조자나 사용자는 이에 대한 기술적 근거를 제공해야 한다.

7.1.2. A형 및 B형 평가

표준 불확정도에 대해 A형 및 B형 두 가지 형태의 평가가 사용된다. A형 분석을 수행할 때, 표준 불확정도 u_i 는 통계학적 관측에서 추정된 표준편차에서 구한다. B형 분석일 경우 u_i 는 $a = (a_+ - a_-)/2$ 를 정의하는 확률 분포 함수에 의해서 관심량의 상한 a_+ 와 하한 a_- 로부터 구한다.

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

여기서,

- a 영향량(量)(Influence quantity)의 한계치에 의해 결정된 구간 길이의 절반.
- k 보상 인자(Coverage factor).
- u_i 표준 불확정도.

동일한 측정 구성에서, 동일한 특정 기기 혹은 양에 대한 n 번의 반복 측정에 있어 평균에 대한 표준편차($= s/\sqrt{n}$)를 표준 불확정도에 사용할 수 있는데, 여기서 s 는 동일한 측정에서 좀 더 큰 집단에 대한 이전의 판독치에서 얻은 표준편차이다. 더 많은 수의 반복 측정에 근거를 두고, 사전 결정된 표준편차는 시스템, 방법, 구성, 조건 등이 특정 기기에 대한 측정에 대표성을 갖는 경우에 불확정도 요소들을 추정하기 위해 사용된다. 사전 결정은 특정 피시험 기기의 기여를 포함하지 않는다. 특정 기기에 대해서 평균의 표준편차에 사용되는 n 값은 그 기기에 대한 측정 횟수이지 사전 결정에 사용된 측정 횟수가 아니다.

7.1.3 자유도와 보상 인자

자유도가 30 이하일 때, 보상 인자 2는 95 % 신뢰 수준을 얻기 위해 쓰는 적합한 ‘곱하기 인자’는 아니다. 간단하지만 근사적으로 옳은 방법은 k 인자 대신에 t 를 사용하는데, t 는 Student’s- t 인자이다. t -분포의 표준편차는 가우스(Gaussian) 분포보다 좁지만, 높은 자유도에 대해서는 곡선이 정규 분포 형태에 접근한다. B 형식 평가를 근거로 한 대부분의 표준 불확정도에 대한 자유도는 무한대로 가정된다. 그리고 합성 불확정도

u_c 의 유효 자유도는 A형 기여의 자유도와 B형 기여에 관한 상대적 크기에 좌우된다.

작은 표본 집단의 보상 인자(k_p)는 다음과 같이 정의된다.

$$k_p = t_p(v_{\text{eff}})$$

여기서,

k_p 주어진 확률에 대한 보상 인자.

$t_p(v_{\text{eff}})$ t -분포.

v_{eff} 는 Welch-Satterthwaite 공식을 이용하여 추정된 유효 자유도

$$\text{공식: } v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{C_i^4 u_i^4}{v_i}}$$

첨자 p 는 근사 신뢰 수준(예, 95 %)이다.

예: 위치 불확정도를 7 %로 가정하여 <표 7-4>에 있는 모든 영향량(量)에서 계산된 합성 표준 불확정도 u_c 는 14.5 %라 가정한다. 또한 표본 또는 측정의 수를 5로 가정하면 $v_i = 4$ (표본 또는 측정의 수는 5), 그리고 모든 다른 성분에 대한 자유도는 $v_i = \infty$ 이다.

$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{C_i^4 u_i^4}{v_i}}$ 식으로부터, 합성 불확정도에 대한 유효 자유도 $v_{\text{eff}} = 74$ 이고, 이 경우

$k = 2$ 를 적용하며, 확장 불확정도 $U = 29$ %가 된다. 만약 위치 변화에 따른 표준 불확정도가 9 %가 되고, 측정 횟수는 4회까지 감소된다면($v_i = 3$), $v_c = 15.6$ %, $v_{\text{eff}} = 27$, $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2.11$ 이고, 확장 불확정도 $U = 2.11 \times 15.6 = 32.9$ %가 된다.

7.2. 불확정도에 기여하는 성분

7.2.1. 일반 사항

주파수에 의존하면서 불확정도에 기여하는 각 성분은 전자파흡수율 평가를 수행하는 주파수 대역에서 추정되어야 한다. 주파수 확산 동작 모드에 대해 불확정도 기여는 고려하는 대역폭 내의 최고값이다.

7.2.2 측정 시스템(프로브와 관련 전자기기)의 기여

가. 프로브 교정 불확정도

전기장 프로브의 교정 불확정도는 온도와 도파관 교정 기술에 대한 본 고시 별표 1의 부록 B(측정 기기의 교정(선형성, 등방성, 감도) 및 불확정도 평가)에 규정된 절차를 사용하여 예측한다. 민감도의 불확정도는 정규 확률 분포를 가정하여 예측하여야 한다.

나. 프로브 등방성 불확정도

전기장 프로브 등방성은 임의의 전자기장 편파에 대한 프로브 응답 편차에 대한 척도이다. 일반적으로 피시험 기기에서 방출된 전자기장은 임의의 편파를 가진다. 그러나 흡수 메커니즘에 의해 생체 조직 등가 용액 내부에 유기된 전자기장은 표면과 평행한 편파 성분이 주가 된다. 측정 시 프로브 방향이 대체로 모의인체 표면에 수직일 때($\pm 5^\circ$ 이내), 등방성 불확정도는 다음과 같이 계산된다.

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = \sqrt{0.5 \times dev_isotropy_{\text{axial}}[\%]^2 + 0.5 \times dev_isotropy_{\text{hemispherical}}[\%]^2}$$

$dev_isotropy_{\text{hemispherical}}[\%]$ $\phi : \pm 180^\circ, \theta > \pm 60^\circ$ 에 대해 산정했을 때, 등방성 응답의 최대편차.

$dev_isotropy_{\text{axial}}[\%]$ $\phi : \pm 180^\circ, \theta = 0^\circ$ 에 대해 산정했을 때, 등방성 응답으로부터의 최대편차.

여기서,

ϕ 는 프로브 축에 대한 회전각이고, θ 는 프로브 축의 법선(Normal line)에 대한 회전각이다. 등방성 편차에 의한 불확정도는 다소 높을 수 있으며, 세부적인 제조 사항에 의존한다. 따라서 각각의 프로브는 개별적으로 산정할 필요가 있다.

이러한 편차는 본 고시 별표 1의 부록 B에 기술된 절차에 의해 평가된다.

<표 7-4>의 프로브 등방성 불확정도는 직사각형 확률 분포를 가정한다.

다. 프로브 선형성 불확정도

다이오드 검출기는 일반적으로 진폭에 대해 비선형적이고 시변 전자기장 응답에 대해 비대칭성을 갖는다. 즉, 그 응답은 장 세기와 변조에 대해 비선형성을 갖는다. 실험 평균 전력(True mean power) 검출기에 대한 불확정도는 아래에서 설명한 절차로 결정할 필요가 있다.

측정 구성은 본 고시 별표 1의 부록 B에서 설명한 내용과 동일할 수 있다. 그 선형성 불확정도 효과는 검출기 소자(예를 들어, 다이오드, 센서, 라인(line))만의 함수이고, 주위 매질의 함수가 아니기 때문에, 평균 전력 응답으로부터의 편차는 공기를 포함하여 어떠한 매질에서도 결정될 수 있다.

불확정도 인자는 연속파 신호에 대해 평가되어야 한다. 불확정도는 또한, 시분할 다중 접속(TDMA) 시스템에서 사용되는 최저 및 최고 주파수에서 11 Hz 펄스 반복률(Repetition rate)을 갖는 10 % 동작 계수와 1000 Hz의 반복률을 갖는 4 % 동작 계수에 대한 펄스 신호들에 대해서도 평가되어야 한다.

연속파(부호 분할 다중 접속(CDMA) 포함)와 시분할 다중 접속(TDMA) 이외 변조의 경우, 선형성 편차는 개별적으로 평가되어야 한다.

전기장 프로브 선형성의 불확정도는 측정된 전기장 세기의 크기의 제곱값을 가지고 부록 B에 기술된 절차를 이용하여 산정한다. 평균 전력(Mean power) 응답에서 최대 편차는 3 dB 이하의 간격으로 0.01 W/kg ~ 100 W/kg까지의 등가 평균 전력 전자파흡수율 범위에 대하여 산정된다. 그 범위는 0.4 W/kg ~ 10 W/kg에서 적합성을 측정하기 위한 입방체 체적 내에서 발생하는 것이다.

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = \left| 100 \left(\frac{SAR_{\text{eval}}}{SAR_{\text{ref}}} - 1 \right) \right|_{\text{max}}, \quad 0.01 \text{ W/kg} \leq SAR_{\text{ref}}^{\text{rms}} \leq 100 \text{ W/kg: 변조(연속파, 펄스, 시스템 변조)}$$

여기서,

SAR_{eval} 은 측정된 전자파흡수율 값이고,

SAR_{ref} 는 기준 전자파흡수율 값으로 평균 전력(Average power) 측정기의 측정값으로써

결정한다.

비선형 응답에 의한 불확정도는 다소 높을 수 있고, 프로브의 구성품들에 따라 달라질 수 있다. 다시 말해, 각 프로브에 대해 개별적으로 결정해야 할 필요가 있다. 만일 특정 프로브에 대해 불확정도가 확립되지 않았다면, 불확정도 200 %를 사용해야 한다. <표 7-4>의 프로브 선형성에 대한 불확정도를 위해서는 직사각형 확률 분포를 가정하였다.

라. 프로브 변조 응답의 불확정도

다이오드는 비선형 소자이므로 다이오드 검출기를 기본으로 하는 프로브의 변조 신호 응답은 복잡할 수 있다. 특별한 변조에 대한 선형화 파라미터들을 두 가지 방법으로 결정할 수 있다. 1) 변조 포락선(Envelope)과 다이오드 및 기타 감지 소자들의 전기적 특성(실험적으로 구해야 한다)을 바탕으로 수치적으로 결정한다. 또는 2) 관련 실험적 교정, 즉 그 특별한 변조에서 전력-스weep(Sweep)을 통해 결정한다. 이들 변수들은 각 감지기에 대해 개별적으로 결정해야 한다. 일정한 포락선을 갖는 펄스 신호(GSM, 가우스 필터 최소 편이 방식(GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying), 블루투스, 무선전화기(DECT: Digital European Cordless Telephone))에 대해, 보상 함수의 파라미터는 프로브에 대한 한 가지 변수인 Crest factor로 줄일 수 있다.

불확정도는 부록 B(그림 B-1)에 나타낸 측정 구성과 동일하거나 등가의 구성을 갖는 어떠한 신호원(예, 도파관 또는 다이폴)을 이용하더라도 구할 수 있다. 신호 발생을 위한 장치 구성은 통신 시스템 표준의 상세 규격에 따라 불확정도를 구하는 변조를 모의 측정해야 한다. 조사된 감지기에 대해 100 mW/kg 미만부터 10 W/kg보다 큰 전자파흡수율에 해당하는 프로브 감지기 전압에 대해 5 dB 간격으로 전력을 증가시켜야 한다. 각 전력 레벨에서 변조 신호 및 연속파 신호에 대해 전자파흡수율을 측정하도록 한다(전력 측정기가 실제 평균 전력 탐지기이며, 증폭기는 신호의 전체 동적 영역에서 충분히 선형적임을 검증해야 한다). 절차는 각 전기장 감지기에 대해 반복해야 한다.

아래의 수식을 특정 변조 X에 대해 변조 불확정도를 유도하는데 사용한다.

$$SAR_{mod} X_{uncertainty} [\%] = \max_{i=x,y,z} \left(\max_{P_i=P_0}^{P_0+20\text{dB}} \left(100 \times \left| \frac{SAR(P_i)_{mod X_i}}{SAR(P_i)_{CW_i}} - 1 \right| \right) \right)$$

$SAR_{mod} X_{uncertainty}$ 특정 변조에 대한 불확정도(%).

$SAR(P_i)_{mod X_i}$

평균 전력에서 변조신호를 가지고 측정한 전자파흡수율.

$SAR(P_i)_{CW_i}$

동일한 평균 전력의 연속파로 측정한 전자파흡수율.

전자파흡수율 불확정도는 세 개의 모든 감지기에 대해 각 단계에서 모든 SAR_{modX} 중 최대값으로 결정된다. <표 7-4>의 프로브 변조 응답 불확정도에 대해 직사각형 확률 분포를 가정하였다.

마. 프로브 감도와 검출 한계

전자기장 프로브의 감도와 시스템의 검출한계 불확정도는 측정된 전자기장의 세기가 프로브와 관련 시스템 기기의 검출 한계에 아주 근접할 때 발생할 수 있다. 사용되는 장치는 본 고시 별표 1의 부록 B에 기술되어 있다. 이 불확정도는 연속파와 특정 전자파흡수율 측정 시스템에 허용되거나 지정된 최소 동작 계수에 해당하는 펄스 신호를 가지고 평가된다. 연속파와 펄스 신호는 이 평가에서 대략 0.1 W/kg, 2.0 W/kg, 10.0 W/kg의 시간 평균 전자파흡수율 값을 발생시켜야 한다. 예를 들어 10 %의 동작 계수에서 10 W/kg는 이 측정절차의 프로토콜에 의해 명시된 100 W/kg의 최대 침투 전자파흡수율 값에 해당한다. 이 평가에서 0.1 W/kg의 전자파흡수율 레벨은 충분한 신호 대 잡음비를 공급하기 위해서인데 이것은 10 %의 동작 계수일 경우의 1.0 W/kg에 해당된다. 또한, 0.1W/kg 미만의 전자파흡수율 레벨은 보통 침투 공간평균 전자파흡수율 값에 거의 영향을 미치지 못하기 때문에 이 레벨을 선택한다. 이 범위의 전자파흡수율 레벨은 전력에 대한 평균 전력의 비율 그리고 주파수 분할 다중 접속(FDMA), 시분할 다중 접속(TDMA) 그리고 부호 분할 다중 접속(CDMA) 모드에서 동작하는 보통의 피시험 기기의 침투치와 평균 전력의 비와 신호 요구 사항을 만족한다. DECT 시스템과 같은 10 % 동작 계수 이하에서 동작하는 기기에 대한 평가는 그 동작 범위를 포함할 수 있도록 수정해야 한다. 검출한계에 의한 불확정도는 직사각형 확률 분포를 가정하여 평가된다.

바. 경계 효과 불확정도

일부의 경우에는 내삽 및 외삽 불확정도를 줄이기 위해 프로브의 끝 반경 r_p 보다 더 가까운 곳에서의 측정에 프로브를 사용해야 할 경우도 있다. 그리고 경계 효과 불확정도는 본 고시 별표 1의 부록 B에 기술된 도파관 시스템을 사용하여 산정하도록 한다. 대안으로 온도 이용법이 사용될 수도 있다. 아래의 방법은 프로브의 축과 법선 간의 각도가 5 °보다 작다는 가정하에서 유효하다. 경계 효과는 특정 프로브의 하나의 특징이므로 프로브 교정 시(예를 들어 프로브의 r_p 값에 의거하여) 결정된다. 만일 경계 효과를 보상하

기 위한 알고리즘이 적용된다면 전자파흡수율 불확정도는 전자파흡수율 측정 수행 시 사용된 것과 동일한 평가용 하드웨어와 소프트웨어를 이용하여 결정하여야 한다. 경계 효과 오차는 표면에 거의 수직인 선상의 $d_{be} + d_{step}$ 와 표면 사이의 선형 및 지수 함수적 외삽법에 기반을 둔 다음의 오차 근사 공식에 의거하여 예측될 수 있다.

$$SAR_{uncertainty}[\%] = \Delta SAR_{be}[\%] \frac{(d_{be} + d_{step})^2}{2d_{step}} \frac{(e^{-d_{be}(\delta/2)})}{\delta/2}; \quad (d_{be} + d_{step}) < 10 \text{ mm}, f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$SAR_{uncertainty}[\%] = \Delta SAR_{be}[\%] \frac{\delta}{\delta - d_{be}}; \quad d_{be} < \delta, f > 3 \text{ GHz}$$

여기서,

$SAR_{uncertainty}$	프로브 경계 효과의 불확정도(%).
d_{be}	표면과 평균 과정에 사용된 가장 가까운 측정점 사이의 거리(mm).
d_{step}	두 번째 측정점에서의 경계 효과 불확정도를 무시할 수 있는 경우에 표면으로부터 첫 번째와 두 번째 측정점 간의 이격 거리(mm).
δ	생체 조직 등가 용액 내에서의 표피 두께(<표 5-1> 참조)로서, 예를 들어 6 GHz 에서는 $\delta = 6 \text{ mm}$.
ΔSAR_{be}	경계로부터 거리 d_{be} 에서 측정된 전자파흡수율 값과 도파관 해석값 또는 온도 프로브에 의해 평가된 값 SAR_{ref} 간의 편차.

프로브의 지름이 매질 내 파장의 1/3을 초과하면 경계 효과가 커서(>>1 dB) 정확한 측정값을 얻기 어렵다. 경계 효과가 두 번째 측정 점에서 미약하다는 조건은 성립되지 않을 수도 있다. 이런 경우에는 경계 효과의 불확정도에 대한 기본값 50 %를 사용하여야 한다(부록 H).

프로브 축과 표면의 법선 벡터 사이의 각도가 5 °보다 클 때 ΔSAR_{be} 는 측정 주파수에 대해 부록 B.3에 정의된 구성을 사용하여 다음과 같은 단계에 따라 평가하여야 한다.

단계 1: 표면 분포 측정을 수행하고 내삽된 최대값으로 이동한다(단계 2~8의 모든 측정은 이 내삽된 최대값을 포함하는 표면에 수직인 선상에서 행한다).

단계 2: 정밀 체적 분포의 z 방향의 격자점에 해당하는 모든 지점에서 z축 스캔을 수행한다. 이 값들은 기준값을 나타낸다. 기준 값은 수치값들과 비교하고 문서화되어야 하며, 시스템 타당성 확인을 위한 불확정도보다 더 크게 벗어나지 않아야 한다.

단계 3: 프로브 각의 경사를 10 °만큼 회전한다(최대각도 5 ° +5 °)

단계 4: 0 °까지 축 회전한다.

단계 5: z축 스캔을 수행하고 첫 번째 측정 점에 대한 기준값과 비교하여 편차를 산정한다.

단계 6: 360 ° 미만이 될 때까지 프로브를 축에 대해 15도 간격으로 회전하면서 단계 4~6을 반복한다.

단계 7: 회전각의 크기가 측정하는 동안 취할 수 있는 최대 경사각 미만이 될 때까지 프로브 각의 경사를 5 °만큼 회전하면서 단계 4~7을 반복한다.

단계 8: 모든 값을 기록한다. 단계 5에서 기록된 최대 편차는 상기 수식에서 사용되는 최대 경계 불확정도 ΔSAR_{be} 가 된다.

<표 7-4>에 있는 경계 효과 불확정도에 대해 직사각형 확률 분포를 가정하였다.

사. 데이터 판독 전자 장치의 불확정도

전자기장 프로브 데이터 판독 전자장치의 불확정도 성분은 증폭, 선형성, 프로브의 부하 효과와 평가 알고리즘 불확정도 등을 포함한다. 일반적으로 이러한 불확정도 성분들의 예상 범위는 전자기장 프로브 대신에 모의 종단을 사용하거나 전자 부품들에 대한 제조자 규격을 사용함으로써 산정할 수 있다. 이러한 불확정도들의 제곱 합 제곱근을 사용하여 데이터 판독 전자 장치의 전체 불확정도를 구하여야 한다. <표 7-4>의 데이터 판독 전자 장치의 불확정도에 대해서는 정규 확률 분포를 가정하였다.

아. 응답 시간

모의인체와 생체 조직 등 용액의 표면 근처에 적어도 2 W/kg을 생성하는 잘 정의된 전기장에 프로브를 노출시킨다. 신호 응답 시간은 전원의 계단 형태의 변동 또는 전원 스위치 계폐 후에 예상되는 최종값의 90 %에 도달하기 위해 측정 장비(프로브와 데이터 판독 전자장치)가 필요로 하는 시간으로 평가한다. 전자파흡수율 값이 측정되기 전 응답 시간의 두 배 이상의 시간 동안 프로브가 공간적으로 고정된다면 이 응답 시간에서 얻게 되는 전자파흡수율의 불확정도를 무시할 수 있다. 이러한 경우, <표 7-4>의 c열에 '0'을 입력한다. 프로브가 응답 시간의 두 배 이상 공간적으로 고정되지 않는다면 c열에 응답 시간의 실제 불확정도를 입력한다. <표 7-4>의 응답 시간 불확정도에 대해 직사각형 확률 분포를 가정하였다.

자. 적분 시간

프로브 적분 시간에 대한 불확정도는 측정기기가 연속 신호를 방출하지 않을 때(예를 들어, 일부 피시험 기기에 사용되는 디지털 변조) 발생할 수 있다. 프로브 전자 장치에 사용되는 적분 시간과 이산 샘플링 간격이 측정된 신호의 변조 특성과 동기화되어 있지 않았을 때, 각 측정 위치에서 무선 주파수(RF) 에너지는 완전히 또는 정확하게 포착되지 않을 수도 있다. 이러한 불확정도는 전자파흡수율 측정에 앞서 측정 기기의 신호 특성에 따라 평가해야 한다.

진폭 또는 펄스 변조 성분이 있고, 주기가 프로브 적분 시간의 1 % 이상인 신호의 경우에, 프로브 적분 시간이 가장 긴 주기 T의 정확한 배수가 아닐 때는 전자파흡수율 불확정도를 추가로 고려해야 한다. 이러한 불확정도는 직사각형 확률 분포로 가정된, 비동기화된 프로브 적분 시간에 예상되는 최대 불확정도에 따라 산정해야 한다. 포락선 $s(t)$ 이 나타나는 신호의 경우에, 시간 t_0 에서 시작하는 적분 시간 t_{int} 동안 프로브가 판독한 평균 신호는 $s_{int}(t_0, t_{int})$ 로 주어진다.

$$s_{int}(t_0, t_{int}) = \frac{1}{t_{int}} \int_{t_0}^{t_0 + t_{int}} s(t) dt \quad 0 \leq t_0 \leq T$$

s_{int} 는 프로브의 필터링이 신호 포락선 $s(t)$ 를 바꾸지 않는다고 가정한다. 만약 t_0 가 $s(t)$ 의 가장 긴 주기 T에 동기화되지 않는다면, 프로브 적분 시간의 불확정도는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$SAR_{\text{uncertainty_a}}[\%] = 100 \times \frac{\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})) - \min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))}{2 \times s_{\text{int}}(0, T)}$$

여기에서

$SAR_{\text{uncertainty_a}}$	적분 시간의 불확정도(%).
$\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$	$0 \leq t_0 \leq T$ 에서 구간 (t_0, t_{int}) 의 최대값.
$\min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$	$0 \leq t_0 \leq T$ 에서 구간 (t_0, t_{int}) 의 최소값.

$SAR_{\text{uncertainty_a}}$ 는 어떤 신호의 프로브 적분 시간 불확정도를 유도하는 데 사용할 수 있다. 시분할 다중 접속(TDMA) 신호 불확정도에 대한 간단한 대체 공식은 다음과 같다.

$$SAR_{\text{uncertainty_a}}[\%] = 100 \times \sum_{\text{all_frames}} \frac{t_{\text{frame}}}{t_{\text{int}}} \frac{\text{slot}_{\text{idle}}}{\text{slot}_{\text{total}}}, \quad t_{\text{int}} > t_{\text{frame}}$$

여기서,

$SAR_{\text{uncertainty_b}}$	적분 시간에 대한 불확정도(%).
t_{frame}	프레임 지속 시간.
t_{int}	적분 시간.
$\text{slot}_{\text{idle}}$	프레임 안에 있는 대기 슬롯의 개수.
$\text{slot}_{\text{total}}$	프레임 안에 있는 총 슬롯 개수.

위의 식은 시분할 다중 접속(TDMA) 신호가 다중 프레임 총으로 구성되어 있음을 의미한다. 예를 들어, 세계무선통신시스템(GSM)의 기본적인 하위 프레임(Sub-frame)은 프레임 지속 시간 $t_{\text{sub-frame}} = 4.6\text{ms}$ 이 있으며, 8개 슬롯으로 구성된 하위 프레임 내의 대기 슬롯은 7개이다. 반면, 전체 26개 슬롯 프레임 지속 시간 $t_{\text{frame}} = 120\text{ms}$ 이며, 하위 프레임 슬롯은 1개이다.

$SAR_{\text{uncertainty_b}}$ 는 전형적으로 불확정도를 과대평가하는 근사값이다. 여기에서 $\text{slot}_{\text{idle}}$ 은 총 슬롯 수 $\text{slot}_{\text{total}}$ 의 프레임 내 대기 슬롯의 수이다. 프레임 지속 기간은 t_{frame} 이고, t_{int} 는 t_{frame} 보다 크다. 총 프로브 적분 시간의 불확정도는 대기 슬롯을 가진 프레임 구조에서 모든 하위 프레임에 대한 불확정도의 합이다. 예를 들어, 프로브 적분 시간이 0.2초인 경우 그 불확정도는 s_{int} 와 $SAR_{\text{uncertainty_a}}$ 로 추정한다. 미국 시분할 다중 접속

(TDMA) (IS-136)의 경우 $t_{\text{frame}} = 20 \text{ ms}$ 이며 이 때 3개 슬롯 프레임에서 대기 슬롯은 2개이고 멀티프레임은 없다. 프로브 적분 시간이 0.2초인 경우 $\text{SAR}_{\text{uncertainty}_b}$ 는 6.67 %의 불확정도를 제공하는데 반해, s_{int} 와 $\text{SAR}_{\text{uncertainty}_a}$ 를 이용하여 유도한 실제 불확정도는 0 %이다(적분 시간은 프레임 시간의 정확한 배수다). 일반 패킷 무선서비스(GPRS)는 세계 무선통신시스템(GSM)과 동일한데, 다만 대기 슬롯의 개수는 6, 5, ...가 될 수 있다. 이 때 대기 슬롯이 7개인 것은 최악의 경우다.

불확정도 표에 이 값을 입력하면 직사각형 분포를 가정할 수 있다. 주파수 분할다중 접속(FDMA)와 부호 분할 다중 접속(CDMA) 기기는 연속적인 신호 혹은 등가 연속파 신호를 가지고 측정한다. 그러므로 0의 불확정도 값이 입력되어야 한다.

차. 측정 전자파흡수율 편차

측정된 전자파흡수율 편차가 5 % 이내에 해당하면, 그 편차를 불확정도(즉, 무작위 오류) 또는 편향으로 취급할 수 있다. 불확정으로 취급하는 경우 편차는 불확정도 표에 기록해야 한다. 만일 이를 편향으로 간주하면, 측정된 전자파흡수율 값(6.3.1절)을 보정하도록 한다. 이 경우 불확정도 총괄표에 편차를 기록할 필요는 없다(즉 $u_i = 0 \%$).

피시험 기기에 대한 전자파흡수율을 평가하는 동안 측정된 전자파흡수율 편차는 피시험 기기에 따라 다르며, 측정과정 상에서 기기에 안정된 전력이 공급되는지를 확인하기 위한 방법으로서 도출된다. 이것은 불확정도가 확립되었음을 의미한다. 측정된 전자파흡수율 편차를 고려하기 위하여 <표 7-4>에는 5 %의 표준 불확정도가 포함되어 있다. 이 5 % 오차는 두 가지 방법 중 하나를 이용함으로써 다른 값을 반영하여 갱신할 수 있다.

- 1) 우선적 방법으로서, 전자파흡수율 측정 시스템은 표면 분포 측정 전에 사용자가 지정한 생체 조직 내의 한 지점에서 동적(Dynamic) 전자파흡수율(단일 점)을 측정할 수 있다. 전자파흡수율 측정 후 사용자가 지정한 지점에서 두 번째 측정을 수행해야 한다. 그 측정된 전자파흡수율 값 간의 차이는 측정 불확정도의 <표 7-4>에 적용될 수 있다.
- 2) 대안으로 만일 1) 방법이 충분히 민감하지 않다면, 전자파흡수율 측정을 위해 기기를 배치하기 전에 무선 주파수(RF) 전력을 측정할 수 있는 장비를 이용하여 기기의 안테나 포트에서 측정을 수행할 수 있다. 사용자는 전자파흡수율 측정이 완료된 후, 전도성 무선 주파수(RF) 전력 측정을 반복해야 한다. 전도성 무선 주파수(RF) 전력 측정값의 차이를 산정하여 <표 7-4>의 오차 갱신에 이용할 수 있다.

<표 7-4>의 측정 전자파흡수율 변동 불확정도에는 직사각형 확률 분포를 가정하였다.

7.2.3. 기계적 제약의 기여

가. 주사 시스템

전기장 프로브 위치 제어기의 기계적 제약은 프로브의 위치 설정 정확성과 반복성의 편차를 발생시킬 수 있으며, 이것이 측정 전자파흡수율 값의 불확정도에 추가된다. 불확정도는 전기장 프로브 검출기의 기하학적 중심으로 정의되는 실제 측정 위치에 대한 프로브 위치 제어기의 규격을 고려하여 추정할 수 있으며, 최대 편차 d_{ss} 로서 표현된다. 직사각형 확률 분포를 가정함으로써, 프로브 위치 제어기의 기계적 제약에 기인하는 침투 공간평균 전자파흡수율 값의 불확정도 기여분 d_{ss} 는 1차오차의 근사값을 사용하여 계산할 수 있다.

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

여기서,

$SAR_{\text{uncertainty}}$ 불확정도(%).

d_{ss} 프로브 검출기 중심에 대한 계산된 위치와 시스템 제조사에 의해 정의된 기준 지점에 대한 실제 위치 사이의 최대 위치 불확정도.

δ 대상 주파수 범위에 대한 생체 조직 등가 용액의 mm로 나타낸 표피두께. 예컨대, 6 GHz에서 $\delta \approx 6 \text{ mm}$.

위치 제어기의 제조사가 프로브 위치 제어기의 기계적 제약에 대한 규격을 제공하지 않는 경우, 전자파흡수율 측정에 있어서의 불확정도에 대한 기여분을 결정하기 위해 기계적 제약으로 인한 불확정도를 평가하여야 한다. 이는 표면 분포 측정 시 실제로 불확정도를 취하는 소프트웨어를 사용하여 프로브 이동의 상대적인 정확도를 평가하고 명시된 위치 차이를 변환함으로써 간단히 수행할 수 있다. 이러한 전자파흡수율 불확정도는 직사각형 분포로 가정하여 <표 7-4>의 c열에 입력되어야 한다.

나. 모의인체 외피 불확정도

모의인체 외피에 대한 허용 오차 함수로서, 불확정도는 거리의 의존성 즉, 거리의 제곱에 따른 의존성에 따라 엄격하게 산정된다. 생체 조직 등가 용액과 등가 필라멘트 전류 밀도 위치 사이 거리 a 를 5 mm라고 가정한다.(등가 전류 밀도는 가장 근접한 전류원과 일치하지 않지만 국부 자기장 분포에 근접하는 전류 밀도이다.)

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}[\%] = \sqrt{\left(100 \times \left(\frac{(a+d+b/2s)^2}{a^2} - 1\right)\right)^2 + (5|\epsilon_{\text{rshell}} - 4|)^2}; \quad 3 \leq \epsilon_{\text{rshell}} \leq 5, f > 3 \text{ GHz}$$

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}[\%] = \sqrt{100 \times \left(\frac{(a+d+b/2s)^2}{a^2} - 1\right)}; \quad f \leq 3 \text{ GHz}$$

여기서,

$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}$ 불확정도(%).

a 인체 조직 등가 액체와 등가 필라멘트 전류 밀도 위치 사이의 거리.

b 안테나와 부속품을 포함하는 피시험 기기의 최대 범위; 대안으로 b 는 모의인체 중심과 정밀 체적 분포 입방체의 중심 간 거리.

d 외피 두께와 모의인체 형태의 최대 허용 오차.

s 모의인체 외피의 최대 처짐(%/distance).

$5 \times |\epsilon_{\text{rshell}} - 4|$ 유전율이 1을 벗어날 때 산정되며, 실제 모의인체 외피의 유전율에서 4를 빼고 5 % 불확정도를 곱한 절대값.

거리 오차 및 처짐과 비교하여, 외피의 상대 유전율($\epsilon_r = 4 \pm 1$)의 허용 오차로 인하여 발생하는 불확정도는 5 % 이내로 고려되어야 한다.

불확정도 표의 해당되는 행에 불확정도값(직사각형 분포)을 입력한다.

다. 모의인체 외피의 표면에 대한 프로브 위치

모의인체 외피 d_{ph} 에 대한 프로브 위치 제어기의 불확정도를 평가해야 한다. 직사각형 확률 분포를 가정함으로써, 침투 공간평균 전자파흡수율 불확정도 기여는 1차의 오차 근사값을 사용하여 계산한다.

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

여기서,

$SAR_{\text{uncertainty}}$ 불확정도(%).

d_{ph} 프로브 팁(Tip)과 모의인체 외피 사이의 거리를 결정하는 것에 대한 최대 불확정도. 즉, 프로브 팁에 대한 모의인체의 위치를 결정하는 불확정도.

δ 측정 주파수 대역에서 생체 조직 등가 액체로의 표피 두께(mm).

전자파흡수율 값 불확정도는 직사각형 분포를 가정하는 불확정도 <표 7-4>의 c열에 입력된다.

라. 기기의 위치와 지지대 불확정도

1) 일반 사항

기기 지지대는 전자파흡수율을 측정하는 동안 모의인체에 대한 피시험 기기의 측정 위치를 유지할 목적으로 사용된다. 기기 지지대가 피시험 기기의 특성에 영향을 줄 수 있기 때문에 기기 지지대로 인한 섭동에 기인하는 전자파흡수율 값 불확정도는 7.2.3절 ‘라’항 ‘2)’목의 절차를 사용하면서 산출될 수 있다. 기기 지지대의 기계적 오차가 원인이 되어 위치 변화에 의한 전자파흡수율 값 불확정도에 대한 추정 절차는 7.2.3절 ‘라’항 ‘3)’목’에서 기술 된다. 이 두 절에는 기기 고유의 불확정도 및 미리 결정된 불확정도에 대한 절차가 포함되어 있다. 만약 미리 결정된 불확정도가 사용되면, 대부분의 경우 기기 고유의 특성 측정들을 여러 번 반복함으로써 미리 결정된 표준 편차들을 더 줄일 수 있다.

2) 기기 지지대 섭동(Perturbation) 불확정도

가) 일반 사항

기기 지지대는 5 이하의 유전 상수와 0.05 이하 손실 탄젠트의 저 손실 유전체로 제작되어야 한다(이들 파라미터들은 예를 들어 동축 접촉 프로브 기법을 이용하여 결정될

수 있다). 그렇지만, 일부 지지대들은 여전히 출력원에 영향을 미칠 수 있으며, 지지대에 의해 발생하는 불확정도(즉, 지지대가 없는 장치구성과의 편차)가 평가되어야 한다. 특정한 측정 기기의 불확정도는 7.2.3절 '라'항 '2)' 목 '나)'에 기술된 타입 B 기법에 따라 추정되어야 한다. 7.2.3절 '라'항 '2)' 목 '다)'에 기술된 A 형식 기법은 비슷한 전자파흡수율 특성들을 가지며 같은 기기 지지대들로 측정된 피시험 기기 그룹의 불확정도를 산정하는 방법을 제공한다.

<표 7-4>에서 사용하는 전자파흡수율 불확정도는 다음과 같다.

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

여기에서

$SAR_{\text{uncertainty}}$ 불확정도(%).

$SAR_{w/\text{holder}}$ 기기 지지대가 있을 때의 전자파흡수율(W/kg).

$SAR_{w/o \text{ holder}}$ 기기 지지대가 없을 때의 전자파흡수율(W/kg).

나) 특정한 피시험 기기에 대한 기기 지지대 섭동 불확정도: B 형

특정한 구성에서 동작하는 특정한 피시험 기기의 불확정도는 평면형 모의인체를 사용하여 다음의 두 측정에 의해 측정되어야 한다.

(1) 기기를 몸통에 대하여 측정할 때와 같은 방법으로 지지대에 위치시키고 평면형 모의인체에 직접 접촉(피시험 기기의 수평 및 수직 중심선을 평면형 모의인체의 바닥에 평행하게)시켜 침투 공간평균 전자파흡수율($SAR_{w/\text{holder}}$)을 평가.

(2) 발포 폴리스티렌(Foamed polyethylene)이나 등가 저 손실 및 비반사 물질(유전율이 1.2 이하, 손실 탄젠트는 10^{-5} 이하)을 이용하여 동일 위치에서 기기를 지지하여 침투 공간평균 전자파흡수율($SAR_{w/o \text{ holder}}$)을 평가.

이 불확정도는 직사각형 확률 분포 및 $v_i = \infty$ 의 자유도를 가정한다.

다) 특정한 형태의 피시험 기기들의 기기 지지대 선통 불확정도: A형

A형 불확정도 해석은 형태와 전자파흡수율 분포가 유사한 피시험 기기류에 적용될 수 있다. 이 해석에서, 발생하는 불확정도는 유사한 전자파흡수율 특성을 가지고, 동일한 측정용 기기 지지대로 측정하는 피시험 기기에 적용될 수 있으며, 7.2.3절 '라'항 '2)' 목 '나)'에 기술된 측정들을 하지 않아도 된다. 다른 측정 구성에서의 N 개 다른 피시험 기기의 모델들에 대한 기기 지지대의 영향은 각각의 모델에 대해(N 은 적어도 6이 되어야 함) 7.2.3절 '라'항 '2)' 목 '나)'의 측정에 의해 추정되어야 한다.

<표 7-4>의 해당 불확정도는 개별적인 불확정도들의 실효값(Root-mean-square) 값과 $v_i = N-1$ 의 자유도를 사용하여 추정하여야 한다.

3) 모의인체에 대한 기기 위치 불확정도의 평가

가) 일반 사항

기기 지지대를 사용하여 단일 측정자가 설치하는 피시험 기기의 측정 위치는 6.1절에서 기술된 정확한 위치와 차이가 발생할 수 있다. 기기 위치 편차로 발생하는 전자파흡수율 불확정도는 피시험 기기 디자인과 사용되는 특정 지지대 또는 측정자에 따라 달라질 수 있으며, 이러한 영향은 일반적으로 분리할 수 없다. 7.2.3절 '라'항 '3)'목 '나)'의 과정은 각각의 피시험 기기 디자인에 대한 평가를 위해 사용될 수 있다. 7.2.3절 '라'항 '3)'목 '다)'에서는 동일한 형태와 대체로 동일한 크기를 가지고, 동일한 피시험 기기 지지대를 사용하여 측정될 수 있는 피시험 기기 디자인의 특정 시리즈 또는 그룹에 적용될 수 있는 과정이 기술된다. 7.2.3절 '라'항 '3)'목 '나)'에 기술된 과정은 이러한 요구가 충족되지 않을 경우, 각각의 기기에 대하여 평가하는데 사용되어야 한다. 만약 피시험 기기의 특정 그룹 측정 시 얻어진 특정 기기 지지대에 대해 미리 결정된 표준 편차를 적용할 수 있다면, 각각의 기기에 대해서는 7.2.3절 '라'항 '3)'목 '나)'의 반복 측정이 필요하지는 않을 것이다.

나) 특정 기기 지지대에서 특정 피시험 기기의 위치 불확정도

특정한 기기 지지대에서 측정되는 특정 피시험 기기의 위치 불확정도는 1 g 또는 10 g 전자파흡수율 측정을 반복하여 평가한다. 이러한 위치 불확정도는 모든 주파수 대역 중에서 가장 높은 전자파흡수율이 발생하는 동작 모드(6.3절 참조)에서 안테나 위치, 주

파수 채널, 기기 위치를 이용하여 평가되어야 한다. 최초의 전자파흡수율 측정 외에도, 피시험 기기를 다시 배치하여 측정은 최소 4회 반복되어야 한다. 자유도의 합리적인 값을 결정하기 위해서는 최소 5회 이상 측정을 해야 한다. 각 기기의 위치 불확정도가 크다고 의심되면 총 측정 불확정도에 미치는 영향을 줄이기 위해 더 많은 측정이 필요할 수도 있다. 측정 횟수가 증가하면 유효 자유도(v_{eff})가 증가할 것이고 보상 인자 (Coverage factor)는 감소할 것이다. 총 측정 횟수(N)에 대한 평균 전자파흡수율을 이용하여 실시한 측정 횟수의 자유도($v_i = N - 1$)와 표준편차에 따른 전자파흡수율 불확정도를 결정한다.

다) 특정 기기 지지대의 특정 형태 피시험 기기의 위치 불확정도

실질적으로 동일한 형태와 동등한 치수를 갖는 특정 그룹의 피시험 기기에 대해 특정 기기 지지대로 측정하는 경우, 위치 불확정도는 다음의 절차에 따라 평가한다. 측정은 적어도 6개의 기기들을 포함해야하고, 각각은 7.2.3절 ‘라’항 ‘(3)’목 ‘(나)’(각각 5 회 측정)의 절차에 따라 평가한다. 피시험 기기의 형상이 동일하고 치수와 전자파흡수율 분포 특성이 거의 동일한 경우에는, 특정한 기기 지지대를 사용하여 측정하는 특정 그룹의 그 기기에 대한 요구 사항을 만족시키기 위해, 해당 피시험 기기에 대해 7.2.3절 ‘라’항 ‘(2)’목에서 설명한 측정을 실시하는 대신 이 선택된 그룹의 장치에 대한 기기 위치 불확정도를 사용할 수도 있다. 전자파흡수율 불확정도는 각각의 기기들에 대하여 7.2.3절 ‘라’항 ‘(3)’목 ‘(나)’의 절차로부터 각 기기에 대해 결정된 불확정도의 평균 전력에 따라 <표 7-4>의 해당 행과 열에 기록한다. 자유도(v_i)는 특정 피시험 기기들의 그룹에 포함된 M 개의 기기들에 대하여 수행된 측정 횟수(N)에 따라 $v_i = (N \times M) - 1$ 의 방법으로 결정된다.

7.2.4. 물리적 파라미터들의 기여

가. 일반 사항

유전 파라미터 측정 기법들의 세부 내용이 본 고시 별표 1의 부록 J(액체의 유전 특성 측정 및 불확정도 평가)에 나타나 있으며, 불확정도 추정 기법들은 본 고시 별표 1의 J.7절(액체의 유전 파라미터 측정 불확정도에 대한 평가)에 주어져 있다. 부록 A는 30 MHz ~ 6 GHz 주파수 대역에 대한 파라미터를 제공한다.

주) 통상의 측정 실행 절차에 의한 각각의 유전 파라미터들에 대한 측정 불확정도는 측정된 유전 파라미터들의 목표값에서 허용할 수 있는 변화량 이하일 것을 권장한다.

나. 용액 밀도

생체 조직 등가 용액들은 1000 kg/m^3 의 밀도인 것으로 간주한다. 이 값과 관련된 불확정도는 없는 것으로 보고 전자파흡수율 평가를 위하여 이 용액 밀도 값을 사용하여야 한다.

다. 용액 유전율과 도전율

용액 유전율과 도전율로 인한 불확정도는 두 개의 상이한 원인으로부터 발생한다. 첫 번째 불확정도의 원인은 <표 5-1> 목표값(부록 E 참조)에서 $\pm 10 \%$ 의 허용 가능한 변동 내에 있는 유전 파라미터를 전자파흡수율 보정에 이용함으로써 인해 발생한다. 두 번째 불확정도의 원인은 이 절에 기술한 유전율과 도전율을 산정하는데 사용한 측정 절차에서 생긴다.

유전 특성 측정 절차에는 벡터 네트워크 분석기가 사용된다. 네트워크 분석기는 고유의 손실과 반사를 고려하여 제거하도록 교정한다. 유전 특성 측정에 대한 불확정도 총괄표는 교정 데이터, 분석기 편이와 무작위적 오류에서의 부정확성에서 도출된다. 나머지 가능한 오류원은 표본 지지대 하드웨어의 허용 오차와 주어진 주파수들에 대한 최적 치수에서 얻은 편차들이다. 이것은 표본 지지대의 유형과 측정되는 산란 파라미터의 성질에 상관없이 적용한다.

슬롯-선로 방법에서 직선 맞춤에 기인한 불확정도는 최소제곱 분석을 사용하여 평가될 수 있다.

<표 7-1> 불확정도 작성 서식 예와 상대 유전율(ϵ'_r)과 도전율(σ) 측정에 대한 수치 값의 예. ϵ'_r 과 σ 에 대해 각각의 개별적 표가 필요할 수 있다.

		a		b	c	d $u_i = (a/b) \times (c)$	e
	불확정도 성분	허용 오차 ($\pm \%$)	확률 분포	제수	c_i	표준 불확정도 ($\pm \%$)	v_i 또는 v_{eff}
1	ϵ'_r 또는 σ 의 반복률	5.2	N	1	1	5.20	4

	(N 반복)						
2	기준 용액 목표치 ϵ'_r 또는 σ 로 부터의 편차	3.0	R	$\sqrt{3}$	1	1.73	4
3	네트워크 분석기- 편이, 선형성 등	0.5	R	$\sqrt{3}$	1	0.29	∞
4	측정-포트 케이블 편차	0.5	U	$\sqrt{2}$	1	0.35	∞
5	합성 표준 불확정도					5.50	5
주) 1에서 5행 머리말과 열 머리말 a 에서 d는 기준에 대한 것이다.							

불확정도 작성 서식 예는 <표 7-1>에 보여주고 있다. 모든 영향량은 특정 측정 구성이나 절차에 적용되거나 적용되지 않을 수 있고, 기록되지 않은 나머지 성분들은 일부 다른 측정 설치와 관계될 수 있다. <표 7-1>에 포함되지 않은 표본-프로브 공기층 · 거품, 주파수 내삽, 검출기 치수 · 위치 고려 사항, 수치 분석·데이터 추출물, 동축 프로브 유한 플랜지(Flange) 효과 등과 같은 나머지 영향량도 고려할 필요가 있다. <표 7-1>는 또한 수치 값의 예도 포함한다. 측정 구성에 따라서 정확한 불확정도 추정치는 여기에 주어진 값들과 다를 수 있고, 또 달라야 한다. 특성화가 우수한 기준 물질의 측정은 다음 절차에서 기술된 것처럼 유전 특성 측정 불확정도 평가에 사용될 수 있다.

- 1) 네트워크 분석기는 관심 있는 중심 주파수 주변으로 주파수 스패를 충분한 크기로 설정하고 교정해야 한다. 예를 들면, 835 MHz가 관심 있는 중심 주파수라 할 때 835 MHz \pm 100 MHz에서 5 개 이상의 교정 포인트를 설정한다.
- 2) 각 기기 중심 대역과 인접 주파수 영역에서 상대 유전율과 도전율에 대한 평균과 표준 편차를 얻기 위해 최소 n 번 기준 물질을 측정한다.
- 3) 단계 2)부터 각 주파수에 대해 각 측정에 대해 단계 4) ~ 8)를 실행한다:
- 4) 표본의 표준 편차를 평균값으로 나눈 것으로서 반복률을 계산한다.

유전율에 대해, 다음처럼 주어진다.

$$\text{반복률}(\%) = 100 \times \frac{1}{\epsilon'_r} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (\epsilon'_{r,i} - \overline{\epsilon'_r})^2}$$

여기서 평균값은

$$\overline{\epsilon'_r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon'_{r,i}$$

이다. 도전율에 대해서도 동일하게 실행한다.

- 5) <표 7-1>의 1행과 a 열에 반복률을 입력한다. 자유도 $v_i = N-1$ 은 e 열에 입력한다. 목표 값, $\epsilon_{r,ref}$, σ_{ref} , 으로부터 유전 파라미터의 편차를 계산한다. 유전 상수에 대해 다음과 같이 주어진다;

$$\text{편차(\%)} = 100 \times \left| \frac{\overline{\epsilon'_r} - \epsilon'_{rref}}{\epsilon'_{rref}} \right|$$

<표 7-1>의 행 2와 열 a 에 편차를 입력한다. 자유도 $v_i = N-1$ 은 e 열에 입력한다. 도전율에 대해서도 같은 방법을 실행한다.

- 6) 고려하는 주파수 대역에서 <표 7-1>의 나머지 성분들(그리고 필요하다면 나머지 관련 성분들)에 대해 B형 불확정도를 추정한다.
- 7) 합성 표준 불확정도는 단계 3), 4) 및 5)에서 얻은 불확정도 성분의 제곱 합 제곱근으로 결정한다. <표 7-1>의 5행과 d 열에 이 값을 입력한다.
- 8) 상대 유전율에 대해, 단계 6)에서 결합된 기준 불확정도의 가장 큰 값이 주어진 주파수를 선택한다. 이 불확정도와 <표 7-4, 5, 6>의 적절한 행에 대응하는 v_i 를 입력한다. 도전율에 대해서도 같은 방법을 취한다.

<표 7-1>의 완성된 두 값을 측정 보고서에 영향량이 사용되었거나 제거된 이유와 함께 삽입한다. <표 7-1>의 그 두 값은 단계 6)와 7)에서의 최대 합성 표준 불확정도에 해당한다.

<표 7-4, 5, 6>에서, 용액 도전율과 유전율 측정 불확정도에 대한 f 와 g 열의 감도 계수 c_i 가 필요하다. 이 감도 계수는 도전율 c_σ 과 유전율 c_ϵ 이다. 이들은 부록 E의 (수식 E-1)에서 (수식 E-5)를 사용하여 계산된다. 300 MHz ~ 6 GHz 주파수 영역에서 가장 큰 민감도 계수는 1 g 평균에 대해 $c_\sigma=0.78$ (300 MHz에서)과 $c_\sigma=0.23$ (2000 MHz에서), 10 g평균에서 $c_\sigma=0.71$ (300 MHz에서)과 $c_\sigma=0.26$ (5500 MHz에서)이었다. 최대값은 <표

7-4, 5, 6>에 입력된다. 대안으로 특정 측정 주파수 영역에 대한 최대값을 입력할 수 있다.

라. 용액 온도

본 측정절차는 유전 파라미터가 측정되는 온도에서 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내이면서 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 사이에서 전자파흡수율 측정이 이루어져야 한다. 다음 평가는 온도 허용 오차에 의한 불확정도 기여도를 결정하기 위한 각 제조법에 대하여 수행되어야 한다.

용액 온도 $T_{\text{low}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 와 $T_{\text{high}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 유전 파라미터의 측정이 이루어지고 계산되어야 한다.

$$\epsilon_{\text{temp_liquid_uncertainty}}[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\epsilon_r(T_{\text{high}}) - \epsilon_r(T_{\text{low}})]}{\epsilon_r(T_{\text{high}}) + \epsilon_r(T_{\text{low}})} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right|$$

$$\sigma_{\text{temp_liquid_uncertainty}}[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{high}}) - \sigma(T_{\text{low}})]}{\sigma(T_{\text{high}}) + \sigma(T_{\text{low}})} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right|$$

여기서

$\epsilon_{\text{temp_liquid_uncertainty}}$	용액 유전율에 대한 온도 불확정도(%).
$\sigma_{\text{temp_liquid_uncertainty}}$	용액 도전율의 온도 불확정도(%).
$\epsilon_r(T_{\text{high}})$	온도 T_{high} 에서의 상대 유전율.
$\epsilon_r(T_{\text{low}})$	온도 T_{low} 에서의 상대 유전율.
$\sigma(T_{\text{high}})$	온도 T_{high} 에서의 도전율.
$\sigma(T_{\text{low}})$	온도 T_{low} 에서의 도전율.
T_{high}	유전 파라미터가 측정되는 최고 온도.
T_{low}	유전 파라미터가 측정되는 최저 온도.

이 식들은 특정 용액에 대한 온도 불확정도를 유도할 때 사용될 수 있다. T_{high} 와 T_{low} 의 불확정도는 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하이어야 한다.

$\epsilon_{\text{temp_liquid_uncertainty}}$ 와 $\sigma_{\text{temp_liquid_uncertainty}}$ 값들은 <표 7-4, 5, 7>의 적절한 행의 c열에 입력된다. <표 7-4, 5, 6>에서 용액 온도 불확정도에 대하여 직사각형 확률 분포를

가정한다. 용액 온도 불확정도에 대한 감도 계수는 도전율과 유전율에 대해 각각 c_σ 와 c_ϵ 이며, 7.2.4절 ‘다’항에 기술된 절차를 이용하여 계산한다.

마. 환경의 섭동

측정 불확정도들은 전자파흡수율 측정 중에 주변에 불요(Unwanted) 무선 주파수 신호들이 존재할 때 발생할 수 있다. 주변 무선 주파수 레벨은 피시험 기기 측정을 위해 사용되는 것과 동일한 장비 구성을 이용한 전자파흡수율 측정에 의해 평가될 수 있으나, 무선 주파수 전력 스위치는 차단 상태로 해야 한다. 무선 주파수 잡음은 실험실이 무선 주파수 출력원에서 침투치 1 g 전자파흡수율 측정에 0.012 W/kg 미만으로 영향을 받는다고 입증할 수 있다면 각 전자파흡수율 측정 전에 점검할 필요는 없을 것이다.

5.1절에서는 주변 무선 주파수 잡음 및 산란체의 영향으로 인한 전자파흡수율 불확정도가 시스템의 검출 하한값 3 % 미만일 것을 요구한다. 측정 장소에 인접한 물체로부터의 반사 영향을 산정하기 위해서 부록 B에 기술되어 있는 측정 구성이 이용된다. 또한 주변 무선 주파수 잡음은 근처의 모든 무선 주파수 출력원의 스위치를 끈 상태에서의 전자파흡수율을 측정하여 결정될 수 있다. 무선 주파수 반사 및 주변 전자기장의 영향은 본 측정절차에서 규정한 하한 동작 범위인 0.1 W/kg을 만족시킬 수 있는 0.4 W/kg의 3 %에 해당하는 0.012 W/kg 미만이 되어야 한다. 주변 전자기장의 영향에 대하여 전자파흡수율 허용 오차가 <표 7-4>의 해당 행에 있으며 직사각형 분포를 가정할 수 있다.

전자파 무반사실과 같은 통제된 환경에서 전자파흡수율을 측정할 때, 적어도 1년에 한번은 주변 무선 주파수의 영향을 평가해야 한다. 전자파흡수율 측정이 제어되는 환경에서 실행되지 않는다면, 무선 주파수(RF)의 주변 영향을 주기적으로, (예를 들면 4달에 한번 정도 평가하거나, 근처에 있는 워키토키(walkie-talkie)와 같은 고출력 간헐성 출력원들이 전자파흡수율 측정에 영향을 미치지 않는다는 것을 보증할 수 있도록) 측정이 진행되는 동안 주변 상태를 모니터 하여야 한다. 통제되지 않은 환경의 경우 실험실은 무선 주파수 주변 환경 적합성과 주변 잡음 점검 일자를 보고서에 기록해야 한다.

통제되지 않은 환경의 무선주파수 확인 평가에 대한 근거는, 무선 주파수 출력원이 전자파흡수율 측정 시스템 위치에서 충분히 멀리 떨어져 있다고 입증할 수만 있다면, 측정 시스템이 통제되지 않은 환경에 있더라도 전자파흡수율 측정이 근역장(Near field)에서 이루어지므로 전자파흡수율 측정 전에 이 불확정도 기여를 평가할 이유가 없다는 것이다. 전자파흡수율 측정에 대한 무선 주파수 주변 영향 평가의 주기성을 평가하도록 ISO

10012(2003년)에서는 교정 간격에 대한 이론적 근거를 권고하고 있다.

7.2.5. 후처리의 기여

가. 일반 사항

본 절에서는 1 g 과 10 g 침두 공간평균 전자파흡수율을 결정하기 위해 이산 측정 데이터의 후처리에 기인하는 불확정도의 추정 방법, 즉 내삽법, 외삽법, 평균법, 최대치 탐색 알고리즘의 합성 불확정도 등에 대해 기술한다. 이 알고리즘들은 전기장의 성질에 대한 일반적인 가정 때문에 불확정도를 부가할 수 있으며, 따라서 특정 피시험 기기에 대한 생체 조직 등가 용액에서의 전기장 분포를 완벽하게 예측할 수는 없을 것이다. 알고리즘 불확정도는 표면 분포 측정과 정밀 체적 분포 측정에서 사용된 측정 및 후처리 방법에서 선택된 해상도의 함수이다.

최대 침두 위치에서의 실제 전자파흡수율 분포는 피시험 기기의 동작 주파수와 디자인, 측정 위치, 그리고 생체 조직 등가 용액의 근접도에 크게 의존한다. 전자파흡수율 분포들은 저주파 출력원이 먼 거리에 있을 때 다소 완만한 변화가 있을 수 있고, 나선형 안테나와 같은 작은 고주파 출력원이 생체 조직 옆에 위치해 있을 때는 매우 급격한 변화가 있을 수 있다. 어떤 경우, 표면에서의 자기장 상쇄로 인해 최대 전자파흡수율이 모의인체의 표면에 존재하지 않을 수도 있다.

아래에 주어진 해석적 전자파흡수율 분포 함수들은 이런 조건들을 모의 실험하기 위한 것이며, 이러한 불확정도를 추정하는 것을 목적으로 개발되었다. 이러한 경험적으로 구한 기준 함수들은 시스템 소프트웨어 후처리 서브루틴들을 측정하기 위한 가공의 혹은 “더미(Dummy)” 전자파흡수율 데이터 세트들을 생성하기 위해 사용된다. 측정에서 사용된 것과 같은 표면 분포와 정밀 체적 분포 측정 격자 간격에서 계산된 기준 함수 값은 전자파흡수율 시스템 소프트웨어에 입력된다. 표면 분포 측정과 정밀 체적 분포 측정 격자에 해당하는 격자점에서 전자파흡수율 값은 7.2.5절 ‘나’항에 기술된 세 가지 전자파흡수율 분포에 따라 계산되고, 시스템 내삽, 외삽 및 적분 알고리즘으로 실제 측정된 것처럼 계산이 진행된다. 1 g 및 10 g 전자파흡수율 값의 결과는 7.2.5절 ‘나’항에 기술된 기준 전자파흡수율과 비교된다. 표면 분포와 정밀 체적 분포 후처리 알고리즘의 전자파흡수율 측정 불확정도 평가에 대한 절차는 7.2.5절 ‘다’항에 기술되어 있다. 측정 함수는 평면형 생체 조직 등가 용액과 모의인체가 상호작용을 한다는 것을 가정한다. 이러한 불확정도 개념은 해석적 분포 함수로 계산된 격자점의 위치에서는 오차가 없다고 가정하며, 프로

브 위치와 측정 불확정도는 포함되지 않는다.

후처리 불확정도는 직사각형 확률 분포를 사용하여 평가되어야 한다.

나. 측정 함수의 평가

본 측정절차에 따라 측정되는 피시험 기기에 대해 예상되는 전자파흡수율 분포 범위를 표현할 때는 세 개의 해석 함수, f_1 , f_2 , f_3 를 이용한다. 300 MHz ~ 3000 MHz 주파수 범위에서는 f_1 은 실제 무선설비의 전자파흡수율 분포에 대한 평가를 기반으로 한다. f_1 에는 단일과 두 개의 최대값을 갖는 전자파흡수율 분포를 평가할 수 있도록 두 파라미터 세트가 주어진다. 함수 f_2 는 모의인체/생체 조직 등가 용액 표면에서 자기장 상쇄로 노출 조건을 설명하는데 사용한다. 주파수 범위가 3 GHz를 초과하는 경우에는 훨씬 더 강한 감쇠를 설명하기 위해 f_3 를 추가한다. 이러한 주파수에서 잡음은 외삽에 영향을 미칠 수도 있기 때문에, 잡음 항이 추가되었다. 분포 함수는 $z = 0$ 에서 모의인체 표면에 대해 정의되며, 반공간(Half-space) 생체 조직 등가 용액은 모든 $z > 0$ 에 대해 정의된다.

$$f_1(x, y, z) = A_1 e^{-\left(\frac{(x' + x_d/2)^2}{2\sigma_{xpeak}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ypeak}^2} e^{-z/a} + A_2 e^{-\left(\frac{(x' - x_d/2)^2}{2\sigma_{xsec}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ysec}^2} e^{-z/a}$$

여기에서

$$\sigma_{xpeak} = \begin{cases} \sigma_{xpp}, x' \geq -x_d/2 \\ \sigma_{xpn}, x' < -x_d/2 \end{cases}, \quad \sigma_{ypeak} = \begin{cases} \sigma_{ypp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ypn}, y' < 0 \end{cases}$$

$$\sigma_{xsec} = \begin{cases} \sigma_{xsp}, x' \geq x_d/2 \\ \sigma_{xsn}, x' < x_d/2 \end{cases}, \quad \sigma_{ysec} = \begin{cases} \sigma_{ysp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ysn}, y' < 0 \end{cases}$$

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

$$f_3(x, y, z) = A \left(e^{-\frac{\left(x'^2 + \frac{y'^2}{2}\right)}{(a/4)^2}} \right) \left(e^{-\frac{8z}{a}} \right) + 0.4 \times \left[\frac{Nrms}{A} \times rnd(\zeta) \right]$$

여기서,

x, y, z 는 공간 좌표(mm)

$$x' = x + d(\text{mm})$$

$$y' = y + d(\text{mm})$$

x_d = 침두치가 두 개인 경우 전자파흡수율 최대값 사이의 이격 거리. <표 7-2> 참조

d = 오프셋 파라미터(mm)

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

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

N_{rms} 무선 주파수(RF) 신호가 없을 때 용액 내의 시스템 잡음의 크기(W/kg). 이 파라미터는 시스템 의존적이고 7.2.4절 ‘마’항에 따라 무선 주파수(RF) 신호가 없을 경우에 용액 내에서 측정된 잡음에 해당. 기준함수 f_3 의 평가에 대해서는 0.1 W/kg 값이 N_{rms} 를 위해 사용되어야 함.

$\text{rnd}(\zeta)$ 표준 편차가 1인 정규 분포의 확률 변수(Random numbers)를 반환하는 함수. 전형적인 수학적 응용에서 적절한 함수를 얻을 수 있음. 변수 ζ 는 임의 값이며, 함수 $\text{rnd}(\zeta)$ 는 측정 격자의 각 위치에서 평가해야 함.

상기의 파라미터 a 와 A 는 적당한 전자파흡수율 분포를 발생시키는 외에 어떤 특별한 물리적 의미는 없다.

함수 f_1 에 대한 파라미터는 1950 MHz에서 서로 다른 이동 전화기의 평가에서 선택되었으며, <표 7-2>에 나타내었다.

<표 7-2> 기준 함수 f_1 에 대한 파라미터

침두치 개수	A_1 W/kg	A_2 W/kg	a mm	x_d mm	σ_{xpp} mm	σ_{ypp} mm	σ_{xsp} mm	σ_{ysp} mm	σ_{xpn} mm	σ_{ypn} mm	σ_{xsn} mm	σ_{ysn} mm
1	1.2	0.0	11.9	n.a.	19.6	15.5	n.a.	n.a.	21.9	17.2	n.a.	n.a.
2	1.2	1.0	11.9	60.47	22.6	19.7	19.4	19.6	22.0	15.5	17.9	24.2

예를 들면, $d = 2.5 \text{ mm}$ 일 때 전자파흡수율 분포가 측면으로 이동하여 침두치 위치는 5 mm씩 증가하는 측정 격자와 일치하지 않는다. 이 차이는 소프트웨어의 침두 검색 서버루틴과 불확정도를 측정하는데 사용된다.

x, y, z 좌표축과 일치하는 1 g 및 10 g 입방체의 분포 함수 f_1, f_2, f_3 의 기준 전자파흡수율 값들은 <표 7-3>에 주어져 있다. f_1 에 대해서는, 침두치가 하나일 때와 두 개인

경우를 고려하여 얻어진 기준값의 최대 편차를 후처리 불확정도 계산에 사용해야 한다. 기준 값들은 다음 절의 다른 데이터 처리 함수 측정에 사용된다.

<표 7-3> 후처리 불확정도 추정을 위한 기준 전자파흡수율 값(W/kg)

함수	전자파흡수율 기준 값 W/kg		첨두 발생 경우 수
	1 g 입방체	10 g 입방체	
f_1	0.791	0.494	1
f_1	0.796	0.503	2, 1차 첨두가 입방체 중심
f_1	0.686	0.438	2, 2차 첨두가 입방체 중심
f_2	1.796	1.375	
f_3	0.157	0.0268	

다. 자료 처리 알고리즘 불확정도 평가

1) 표면 분포 측정의 평가

특정 불확정도의 첨두 공간평균 전자파흡수율 평가에 필요한 전제는 정밀 체적 분포 측정 대상 체적 내에 첨두 공간평균 전자파흡수율을 완전히 포함할 수 있을 정도로 정밀하게, 표면 분포 측정으로부터 최대 노출 위치를 결정할 수 있어야 한다는 것이다. 다시 말해 표면 분포 측정의 내삽 알고리즘은 첨두 전자파흡수율 위치를 $\pm L_z/2$ mm 또는 이보다 나은 정밀도로 위치시킬 수 있어야 한다. 여기서 L_z 는 정밀 체적 분포 측정 체적의 한 변의 길이이다. 이 절의 절차를 통해 측정되는 전제가 만족되면 표면 분포 측정의 평가는 불확정도 총괄표에 영향을 주지 않는다.

통상적인 표면 분포 측정 격자점에서 계산된 기준 함수값은 시스템 소프트웨어에 입력된다.

내삽 알고리즘은 이들 데이터를 마치 표면 분포 측정을 완전히 마친 것처럼 취급하여 첨두 전자파흡수율 위치(x_{eval}, y_{eval})를 결정한다. 이것은 $d = 2.5$ mm일 때 $(x_{ref}, y_{ref}) = (-2.5, -2.5)$ mm에서 해석적 함수에 의해 정의된 실제 첨두 위치와 비슷하다. 아래 첨자 “eval”과 “ref”은 각각 “evaluated”와 “reference”의 약자이다. 다시 말해 다음의 부등식이 만족되어야 한다.

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

전자파흡수율의 침두 좌표를 정확히 찾아내기 위한 2차원 표면 분포 측정 능력은 표면 분포 측정 격자의 공간 해상도($\Delta x, \Delta y$), 내삽된 값들의 공간 해상도($\Delta x_i, \Delta y_i$)와 사용된 내삽 함수 형태 $[g_i(x), g_i(y)]$ 에 의존한다. 이것은 또한 실제 침두 좌표 $(x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}})$ 와 평가에 사용된 평가 점의 수(N_x, N_y)에 의존한다.

침두 전자파흡수율 위치를 결정하기 위한 표면 분포 측정에 사용한 보간 알고리즘의 불확정도는 다음 절차에 따라 산정하여야 한다.

가) 측정 해상도($\Delta x, \Delta y$) 및 평가점(측정점에 해당)의 수(N_x, N_y)를 선택하고 표면 분포 측정의 중심은 $(x_0, y_0) = (0, 0)$ 으로 설정하여야 한다.

나) 전자파흡수율 값들은 아래 범위 내의 표면 분포 측정 격자점에서 함수 f_1, f_2, f_3 를 사용하여 구한다.

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

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

여기서 N_x 와 N_y 는 홀수로 가정하였다. 침두값의 위치가 이 세 가지 함수에 대해 z 와 무관하기 때문에 $z = 0$ 의 값을 가정하였다.

다) 침두 전자파흡수율 위치($(x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}})$)를 결정하기 위해서, 시스템에서 사용하는 내삽 함수 $[g_i(x), g_i(y)]$ 에 의한 공간 해상도($\Delta x_i, \Delta y_i$)를 가지고 3가지의 분포 함수에 의해 계산된 전자파흡수율 값이 전자파흡수율 측정 시스템에 의해 내삽된다. 만약 측정 시스템에서 평가를 위한 전자파흡수율 값을 읽어 들이는 것을 허용하지 않으면, 보간 및 침두치 탐색 불확정도를 결정하기 위해, 동일한 알고리즘을 다른 방법을 이용하여 독립적으로 구현하여야 한다.

라) 내삽 알고리즘에 의해 결정된 침두 전자파흡수율 값의 좌표는 아래의 조건을 만족해야 한다.

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

그렇지 않을 경우, 자료 처리를 위해 측정 시스템에서 더 정밀한 격자 또는 많은 수의 내삽 점들을 사용하여 b)단계부터 평가를 반복해야 한다.

마) 표면 분포 측정(x_0, y_0)의 중심은 $0 < x_0 \leq \Delta x/2$ 와 $0 < y_0 \leq \Delta y/2$ 범위에서 1 mm 단위로 이동하면서 각각의 이동된 점(x_0, y_0)에 대해 b)단계부터 평가를 반복하여야 한다.

2) 정밀 체적 분포 평가

정밀 체적 분포 측정은 7.2.5절 ‘나’항의 기준 전자파흡수율 값과 가장 높은 1 g 또는 10 g 값을 비교함으로써 평가된다. 7.2.5절 ‘다’항 ‘1)’목의 표면 분포 측정 절차에서 보듯이 실제 침두 위치($x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}}$)는 아래 부등식에 의해 주어지는 크기를 가지고 침두 위치($x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}}$)를 추정하므로 그 위치가 변할 것이다.

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

이러한 변위는 거리 d 로 구체화하여 7.2.5절 ‘나’항에서 정의된 기준함수 f_1, f_2, f_3 에 대해 설명된다. 이러한 변위는 사실상 가변적이므로 d 의 값은 아래의 범위 내에서 변화되어야 한다.

$$|d| \leq (L_z - L_c)/2$$

여기서, L_c 는 입방체의 한 변 길이(1 g에서 10 mm, 10 g에서 21.5 mm)이다. 각 거리 d 에 대해서, 3개 함수가 발생시키는 불확정도들 중 최대값을 기록한다. 몇몇 거리 d 에 대한 최대 불확정도 값의 실효값(Root-mean-square)은 외삽, 내삽 및 적분으로 인하여 발생된 불확정도로써 입력된다.

주) 표면 분포 측정에 대한 요구조건이 국부 침두 전자파흡수율 값을 $|d| \leq L_z/2$ 내에 위

치시키는 것일지라도, 더 작은 범위인 $|d| \leq (L_z - L_c)/2$ 는 첫 번째 시도에서 1 g 또는 10 g의 입방체를 계산할 수 있음을 확실히 하는 데 이용된다. $(L_z - L_c)/2 \leq |d| \leq L_z/2$ 이면, 측정 소프트웨어는 1 g 또는 10 g 입방체가 포착되지 않았다는 것을 알린 뒤 측정이 다시 수행되어야 한다. 이것은 불확정도에 영향을 미치지 않으므로 이런 경우를 고려할 필요는 없다.

가) 함수 f_1, f_2, f_3 의 평가를 위해 변위 d 를 선택한다. d 는 $-(L_z - L_c)/2$ 부터 $(L_z - L_c)/2$ 까지 작은 간격(예를 들면 1 mm 간격)으로 증가한다. 또, x, y 방향으로 각각 변한다.

나) 전자파흡수율 값들은 측정된 정밀 체적 분포의 체적점에 해당하는 평가 격자점에서 함수 f_1, f_2, f_3 에 따라 계산된다. 정밀 체적 분포의 체적의 중심은 $(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + z_d)$ 에 위치한다.

여기서,

L_h 정밀 체적 분포의 체적 높이.

z_d 내부 표면에 가장 가까운 측정점.

다) 프로브 제약 때문에 측정하지 못한 정밀 체적 분포의 체적 내에서의 추가점을 얻기 위해 계산된 전자파흡수율 값들은 $z = 0$ 에서 시스템 소프트웨어에 의해 모의인체 표면까지 외삽된다. 계산된 데이터 위치와 외삽된 데이터 위치는 시스템 소프트웨어에 의해 더 높은 정밀도로 내삽되고 이어서 1 g 혹은 10 g 평균 전자파흡수율의 최고값을 결정하기 위해 정밀 체적 분포의 체적 내의 침투 공간평균 전자파흡수율을 찾기 위한 검색 알고리즘뿐만 아니라 적분 알고리즘에도 적용된다. 다른 절차도 가능하다. 만약 시스템이 그 평가를 수행하기 위해 전자파흡수율 값을 읽어 오는 것을 허용하지 않는다면 외삽, 내삽과 적분 알고리즘을 측정하기 위하여 다른 방법으로 동일 알고리즘을 독립적으로 구현해야 한다.

라) 시스템 혹은 데이터 처리 소프트웨어에 의해 결정된 1 g 및 10 g 전자파흡수율 값 (SAR_{eval})을 7.2.5절 ‘나’항에 명시한 기준 전자파흡수율 값과 비교한다. 불규칙(Random) 잡음으로 인해 생긴 표준편차 $SAR_{stddev}(N_{rms})$ 는 f_3 를 상이한 불규칙 잡음 파라미터를 사용하여 100번 이상 평가하여 결정한다. f_1 과 f_2 분포에 대한 전자파흡수율 불확정도는 다음 식을 이용하여 계산한다.

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

분포 함수 f_3 에 대한 전자파흡수율 불확정도는 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{\text{eval}} - SAR_{\text{ref}}}{SAR_{\text{ref}}} \right| + 100 \sqrt{3} \times \left| \frac{SAR_{\text{stdev}}(N_s)}{SAR_{\text{stdev}}} \right|$$

마) 3개의 분포 함수에 의해 추정된 최고 전자파흡수율 불확정도를 기록한다.

바) 다른 변위값 d 에 대해 단계 나)~ 라)를 반복한다.

사)위의 각 변위 d 에 대하여 단계 d)에서 계산된 불확정도의 실효값 (Root-mean-square)을 계산한다. 이 값은 외삽, 내삽 그리고 적분으로 인한 불확정도로서 직사각형 확률 분포로 가정하고 <표 7-4>의 해당 행과 열에 입력해야 한다.

아) 정밀 체적 분포 측정 불확정도 추정에 이용된 다음 파라미터를 기록한다.

- 3차원상의 표본 수와 표본 간격의 향으로 된 기준 함수를 도출하는 데 이용한 격자의 크기
- 기준 함수에 대하여 2개의 측정 점들 사이에 포함된 내삽 점들의 수 또는 세 방향에 있어서 내삽 정밀도
- 외삽 영역의 치수 d_{be} , 즉, 첫 번째 측정 점에 위치한 프로브 검출기와 모의인체 표면 사이의 거리(측정 점은 프로브 끝의 뒤에 있음)
- 사용된 내삽, 외삽 그리고 평균 알고리즘
(격자점 수, 격자 간격, 3차원 상의 내삽 점의 수와 같은) 계산은 모든 함수에 대하여 동일해야 한다.

7.2.6. 표준 소스의 오프셋과의 허용 오차

시스템 타당성을 확인하기 위하여 사용하는 표준 소스의 전기적 오차와 기계적 오차, 예를 들어, 다른 급전점 임피던스, 거리의 함수로 주어지는 전류 분포, 모의인체 외피, 용액 등은 침투 공간 전자파흡수율 값의 결과에 영향을 준다. 또한 실제의 물리적 구조

도 목표 값 계산에 사용된 수치 모델과 다르다. 오프셋과 불확정도는 A형 또는 B형의 평가 방법으로 결정될 수 있다. A형은 다른 용액, 프로브 및 모의인체를 사용한 평가를 포함할 수도 있다. B형 평가를 위해서는 모든 파라미터가 실험적 또는 수치 해석적으로 산정될 필요가 있다.

7.3 불확정도 추정

7.3.1. 합성 및 확장 불확정도

불확정도의 각 구성 요소의 기여분은 확률 분포, 감도 계수 및 불확정도 값에 대한 설명과 함께 기록하여야 한다. 도표 형태를 <표 7-4>에 권고한다. 합성 표준 불확정도 u_c 는 아래의 공식에 의해 구해야 한다.

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

여기서,

c_i 감도 계수.

u_c 합성 표준 불확정도.

u_i 표준 불확정도.

확장 불확정도 U 는 95 %의 신뢰 구간을 사용하여 평가하여야 한다.

7.3.2. 최대 확장 불확정도

95 %가 신뢰 구간인 확장 불확정도는 0.4에서 10 W/kg 범위의 침투 공간평균 전자파 흡수율 값에 대해 30 %를 초과하지 않아야 한다. 불확정도가 30 % 보다 더 클 경우, 보고된 자료의 실제적인 불확정도와 30 % 목표 값의 백분율 차이를 고려할 필요가 있을 수도 있다. 예를 들면 IEC 62311 방법을 참조한다.

<표 7-4> 피시험 기기 전자파흡수율 측정을 위한 측정 불확정도 평가 작성 서식

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용 오차/불확정도값 $\pm \%$	확률 분포	Div	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%, (1g)$	표준 불확정도 $\pm \%, (10g)$	v_i 또는 v_{eff}
측정 시스템									
프로브 교정	7.2.2절 '가'항		N	1	1	1			∞
등방성	7.2.2절 '나'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
선형성	7.2.2절 '다'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
프로브 변조 응답	7.2.2절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
검출 한계	7.2.2절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
경계 효과	7.2.2절 '바'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
데이터 판독 전자 장치	7.2.2절 '사'항		N	1	1	1			∞
응답 시간	7.2.2절 '아'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
적분 시간	7.2.2절 '자'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF환경-잡음	7.2.4절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF환경-반사	7.2.4절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
프로브 위치 제어기 -기계적 제한	7.2.3절 '가'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정	7.2.3절 '다'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
후처리	7.2.5절		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
측정 표본 관련									
기기 지지대 불확정도	7.2.3절 '라'항 '(2)'목		N	1	1	1			$N-1$
측정 시료 위치 결정	7.2.3절 '라'항 '(3)'목		N	1	1	1			$N-1$
출력 스케일링	부록 G.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
전력 변동 (측정된 전자파흡수율 변동)	7.2.2절 '차'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체와 측정 구성									
모의인체 불확정도 (형상과 두께 허용 오차)	7.2.3절 '나'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
유전율과 도전율의 편차에 대한 전자파흡수율을 교정하는 알고리즘	7.2.4절 '다'항		N	1	1	0.84			∞
용액 도전율(측정)	7.2.4절 '다'항		N	1	0.64	0.43			N
용액 유전율(측정)	7.2.4절		N	1	0.6	0.49			N

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용 오차/불확정도값 $\pm \%$	확률 분포	Div	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%, (1g)$	표준 불확정도 $\pm \%, (10g)$	v_i 또는 v_{eff}
	‘다’항								
용액 유전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 ‘라’항		R	$\sqrt{3}$	0.78	0.71			∞
용액 도전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 ‘라’항		R	$\sqrt{3}$	0.23	0.26			∞
합성 표준불확정도	7.3.1절		RSS						
확장 불확정도(95 % 신뢰 구간)	7.3.2절								

<표 7-5> 시스템 타당성 확인을 위한 측정 불확정도 평가 작성 서식

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용차/불확정도값 $\pm \%$	확률 분포	Div.	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%, (1g)$	표준 불확정도 $\pm \%, (10g)$	v_i 또는 v_{eff}
측정 시스템									
프로브 교정	7.2.2절 ‘가’항		N	1	1	1			∞
등방성	7.2.2절 ‘나’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
선형성	7.2.2절 ‘다’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
변조 응답	7.2.2절 ‘라’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
검출 한계	7.2.2절 ‘마’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
경계 효과	7.2.2절 ‘바’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
데이터 판독 전자장치	7.2.2절 ‘사’항		N	1	1	1			∞
응답 시간	7.2.2절 ‘아’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
적분 시간	7.2.2절 ‘자’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF 환경 - 잡음	7.2.4절 ‘마’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
RF 환경 - 반사	7.2.4절 ‘마’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
프로브 위치 제어기 기계적 제한	7.2.3절 ‘가’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정	7.2.3절 ‘다’항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
후처리	7.2.5절		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
전자기장 신호원									
수치 해석용 신호원과	7.2.6절		N	1	1	1			∞

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용차/불확정도 값 $\pm \%$	확률 분포	Div.	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (1g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (10g)	v_i 또는 v_{eff}
실험용 신호원의 편차									
신호원과 용액 간 거리	7.2.3절 '라'항 '(3)'목		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
전력 변동 (측정된 전자파흡수율 변동)	7.2.2절 '차'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체와 측정 구성									
모의인체 불확정도 (형상과 두께 허용 오차)	7.2.3절 '나'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
유전율과 도전을 편차에 대한 전자파흡수율을 교정하는 알고리즘	7.2.4절 '다'항		N	1	1	0.84			∞
용액 도전율(측정)	7.2.4절 '다'항		N	1	0.64	0.43			N
용액 유전율(측정)	7.2.4절 '다'항		N	1	0.6	0.49			N
용액 유전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	0.78	0.71			∞
용액 도전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	0.23	0.26			∞
합성 표준 불확정도	7.3.1절		RSS						
확장 불확정도 (95 % 신뢰 구간)	7.3.2절								

<표 7-6> 시스템 반복성에 대한 측정 불확정도 평가 작성 서식

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용 오차/불확정도 값 $\pm \%$	확률 분포	Div.	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (1g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (10g)	v_i 또는 v_{eff}
측정 시스템									
변조 응답	7.2.2절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
검출 한계	7.2.2절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
경계 효과	7.2.2절 '바'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
데이터 판독 전자 장치	7.2.2절 '사'항		N	1	0	0			∞
응답 시간	7.2.2절 '아'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
적분 시간	7.2.2절 '자'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
RF 환경 - 잡음	7.2.4절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞

A	b	c	D	$e = f(d,k)$	f	g	$h = c \times f / e$	$i = c \times g / e$	k
불확정도 요인	설명	허용 오차/불확정도 값 $\pm \%$	확률 분포	Div.	c_i (1g)	c_i (10g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (1g)	표준 불확정도 $\pm \%$, (10g)	v_i 또는 v_{eff}
RF 환경 - 반사	7.2.4절 '마'항		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
프로브 위치기의 기계적 제한	7.2.2절 '가'항 7.2.3절 '가'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체 외피에 대한 프로브 위치	7.2.3절 '다'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
후처리	7.2.5절		R	$\sqrt{3}$	0	0			∞
전자기장 신호원									
실험 신호원 간의 편차	7.2.6절		N	1	1	1			∞
신호원과 용액 간 거리	7.2.3절 '라'항 '(3)'목		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
출력 변동 (측정된 전자파흡수율 변동)	7.2.2절 "차"항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체와 측정구성									
모의인체 불확정도 (형상과 두께 허용 오차)	7.2.3절 '나'항		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
유전율과 도전율 편차에 대한 전자파흡수율을 교정하는 알고리즘	7.2.4절 '다'항		N	1	1	0.84			∞
용액 도전율(측정)	7.2.4절 '다'항		N	1	0.64	0.43			N
용액 유전율(측정)	7.2.4절 '다'항		N	1	0.6	0.49			N
용액 유전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	0.78	0.71			∞
용액 도전율 - 온도 불확정도	7.2.4절 '라'항		R	$\sqrt{3}$	0.23	0.26			∞
합성 표준 불확정도	7.3.1절		RSS						
확장 불확정도(95 % 신뢰 구간)	7.3.2절								

<표 7-4, 5, 6>의 주석

주 1) 열의 제목 a~k는 참고 사항이다.

주 2) <표 7-4>에서 사용한 약어는 다음과 같다.

N.R.U - 정규, 직사각형, U형 분포(Normal, Rectangular, U-shape Probability distributions)

Div. - 표준 불확정도를 구하는데 사용되는 나누기 인자(divisor)

주 3) 본 표의 불확정도 성분은 본 측정절차를 위해 개발된 시험 절차와 프로토콜에 기반을 둔다. 측정 프로토콜과 절차가 변화할 때, 다른 불확정도 성분들, 예를 들어, 다른 모의인체 구조와 기기 위치 측정을 위해 정의되는 파라미터가 적용될 수 있다.

- 주 4) 나누기 인자는 확률 분포와 자유도(v_i 와 v_{eff})의 함수이다.
- 주 5) c_i 는 불확정도 성분의 변화를 전자파흡수율의 변화에 반영하기 위한 감도 계수이다.
- 주 6) 표준 불확정도의 자유도(v_i)와 확장 불확정도의 유효 자유도(v_{eff}) 검토를 위해서는 7.1.3절 참조.
- 주 7) v_i 열의 N 은 측정 횟수이다.
- 주 8) 일부 불확정도 영향량은 장비 제조사에서 제공하는 성능 규격으로부터 추정된다. 매 측정마다 바뀌는 어떤 성분들에 대한 불확정도는 각각의 측정 때마다 추정해야 한다.
- 주 9) 이 작성 서식의 모든 영향량은 측정 표본 관련 그룹의 3개항이 “다이폴과 용액 간 거리”와 “입력 전력과 전자파흡수율 변동”과 같은 2개 영향량으로 이루어지는 다이폴 그룹으로 대체될 수 있다는 것을 제외하면 시스템 타당성 확인 시에도 적용될 수 있다.
- 주 10) ISO/IEC 지침 99(2007년)에 설명된 것처럼, 측정의 반복성이라고 부를 수 있는 조건은 ‘동일 측정 절차, 동일 조작자, 동일 측정 시스템, 동일 동작 조건 및 동일 장소로 이루어진 측정 조건과 짧은 기간에 걸쳐 같거나 비슷한 대상에 대한 재현성 있는 측정’으로 정의한다. 그러므로 반복에 있어 어느 특정한 한 실험실 내에서만 측정되는 과 구성 성분들을 포함해야 한다는 점을 함축적으로 강조하고 있다. 이 맥락에서 시스템 반복 측정에 사용되는 다이폴은 측정 시스템의 부품이 아니다.

8. 시험 성적서

8.1. 일반 사항

모든 측정 결과를 시험 성적서에 기재해야 하며, 측정 결과에는 피시험 기기 구성을 해석하는데 필요한 모든 정보, 실시한 교정, 사용한 방법과 계측 장비에 필요한 모든 정보가 포함되어야 한다.

이 절에서는 시험 성적서에 포함시켜야 할 최소 요구 사항을 명시하며, 시험 성적서의 내용에 관한 자세한 지침은 ISO/IEC 17025(General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005.5.15)의 5.10절(Reporting the results)을 참조한다. ISO/IEC 17025를 준수하고 최소한 아래 기술된 항목을 포함하는 시험 성적서는 이 측정절차와도 부합할 것이다.

8.2. 시험 성적서에 기재해야 할 항목

필요한 교정 및 불확정도 제한치 내에서, 측정 결과를 얻는데 사용된 반복적인 측정, 계산 또는 측정을 수행하는 데 필요한 모든 정보를 기재하여야 한다. 시험 성적서에는

다음 사항이 포함되어야 한다.

가. 일반 개요

- (1) 시험기관의 식별
- (2) 하드웨어와 소프트웨어 개정 번호 등 피시험 기기의 식별, 일련 번호(예: 국제 이동 장비 식별 번호(IMEI: International Mobile Equipment Identity))
- (3) 적합성 요구 사항(예: 측정 표준, 지침, 권고안 등)
- (4) 적용 가능한 노출 제한치(예: ICNIRP, IEEE/ICES 등)
- (5) 위에 기술된 표준에 따라 측정을 수행하기 위한 국가 또는 국제 기관에서 제공하는 인정된 목록. 이것은 만료 일자를 포함해야 한다.

나. 측정 시스템

- (1) 측정 시스템 주요 구성품의 설명(예: 위치제어기, 프로브, 용액 등)
- (2) 관련 구성품에 관한 교정 데이터
- (3) 사용한 내삽·외삽 방법의 설명
- (4) 사용한 용액과 그 특성
- (5) 시스템 검사의 결과

다. 불확정도 추정

- (1) <표 7-4>의 측정 불확정도값을 포함시킨다.
- (2) 그 밖의 다른 관련 항목

라. 기기와 측정 세부 사항

- (1) 피시험 기기의 형상에 대한 설명과 그 정해진 기능의 간략한 설명
- (2) 기기와 모의인체 사이의 물리적 관계에 기반을 둔 이격 거리 정의의 타당성을 포함하여 측정할 위치와 방향에 대한 설명 및 시험 간소화에 대한 근거
- (3) 측정에 사용된 가용 안테나와 배터리를 포함한 부속품들에 대한 설명
- (4) 측정에 사용된 가용 동작 모드, 전력 레벨과 주파수 대역의 설명 및 시험 간소화에 대한 근거

(5) 측정 환경(예: 온도 등)

(6) 실시한 모든 측정 결과(각 측정에 대한 침투 공간평균 전자파흡수율 값, 각 모드의 최대 전자파흡수율 값을 얻기 위하여 기기에 대해 수행한 표면 분포 측정의 그래픽 표현)와 결과 스케일링에 대한 상세한 설명

마. 성적서 요약

(1) 측정 위치, 대역, 모드 및 구성에 대한 전자파흡수율 값을 표로 작성

(2) 노출 제한치에 대한 참고 문헌과 적합성에 대한 언급, 또는 기타.

부록 A

모의인체에 대한 이론적 근거

A.1 모의인체에 대한 이론적 근거

인체의 해부학적 구조를 나타내는 모의인체는 전자파 노출 평가에 필수적인 구성 요소이다. 모의인체에 해부학적 세부 사항을 그대로 나타내야 하는 것은 아니다. 그러나, 전자파흡수율 측정에 영향을 주는 관련 특징, 치수, 재료 특성을 정의하고 표준화하는 것은 중요한 일이다. 실제 모의인체 형상의 상세 규격을 구하기 위한 해부학적 형상과 크기의 통계적 분석은 인간 모집단의 인체 측정학적 연구에서 얻을 수 있다.

모의인체의 형상과 크기는 전자파흡수율을 정확하고 대표성 있게 측정하는 데에 중요하다. 인체 착용형 기기의 무선 주파수(RF) 신호 방출에 노출되는 신체 부위는 고정되어 있지 않으며, 제품 모델의 디자인 및 용도에 따라 달라질 수 있다.

모의인체는 실제 인체 몸통의 크기에 비해 과도하게 크지 않아야 한다. 큰 모의인체는 제작하기가 더 어렵고, 단면이 매우 크거나 깊이가 깊은 모의인체는 전자파흡수율 측정 시스템에서 실제 측정이 불가능할 수도 있다.

모의인체는 전자파흡수율을 쉽고 명확하게 측정하고 산출할 수 있는 간단한 공학적 구조를 나타낸다. 모의인체는 상부가 개방되어 있으며 하부 내벽을 구성하는 얇은 유전체 외피에 생체 조직 등이 용액이 가득 차 있다. 표준 모의인체의 물리적 특성은 인체 모의 실험을 위해 마련된 것이다.

밀면이 평평한 모의인체는 피시험 기기와의 표면 면적 접촉이 최대가 되기 때문에, 일반적으로 실제 인체에서의 전자파흡수율 값에 대한 엄격한 추정치를 제공한다. 아울러, 밀면이 편평한 모의인체는 다양한 크기의 장치를 수용할 수 있다. 평면형 모의인체는 무선 주파수(RF) 복사 안테나에 대한 전자기적으로 완전한 결합이 가능하고 1 g과 10 g에 해당하는 체적을 스캐닝할 수 있을 정도로 커야 한다.

몸통 부착형 기기의 전자파흡수율 평가에 대한 표준 모의인체인 평면형 모의인체의 사용은 생체 조직 경계면의 불균일성에 의한 편차와 왜곡에 대한 최대 결합 지수가 나타나

도록 의도한 것이다. 규정된 거리를 유지하면서 전체 경계면에서 그와 같이 결합된다면 엄격한 전자파흡수율 값을 평가할 수 있다.

기기의 의도된 용도가 몸통에서 200 mm 이내 또는 얼굴 정면에 있다면 그 손은 무시해야 한다. 기기의 정해진 용도가 몸통이나 머리에서 200mm 이상 떨어진 위치에서 손으로 들고 사용하는 경우에는 평면형 모의인체를 사용하여 모의시험 해야 한다.

A.2. 모의인체 외피 요구 사항

모의인체의 형상이 측정된 전자파흡수율 값에 미치는 영향을 방지하기 위해서는 공진 영향을 없애야 한다. 낮은 주파수(30 MHz ~ 300 MHz)에서, 자유공간 파장 λ 는 1 m에서 10 m까지 변하며, 모의인체의 크기가 $\lambda/2$ 의 값에 가까우면 공진이 발생할 가능성이 있다. 재현 가능한 측정은 모의인체의 형상과 크기가 엄격하게 규정된 경우에만 보증할 수 있다.

300 MHz 이상 모든 주파수의 경우에, 크기와 형상에 의존하는 영향은 모의인체의 최소 크기를 규정하고 모의인체와 장치 간의 거리를 25 mm 미만으로 제한한다면 피할 수 있다.

모의인체 외피는 손실이 낮고 유전율이 낮은 재료($\tan\delta \leq 0.05$ 및 상대 유전율 $\epsilon'_r < 5$ (주파수 $f \leq 3$ GHz), $\epsilon'_r = 4 \pm 1$ (주파수 $f > 3$ GHz))로 만들어져야 한다. 상대 유전율의 값은 오니시(Onishi)와 우에바시(Uebayashi)의 연구를 기초로 한다. 평면형 모의인체의 밀면 두께는 기기가 놓이는 위치에서 2.0 mm 이어야 하며, 그 허용 오차는 ± 0.2 mm이어야 한다. 이 최소 두께는 더 두꺼운 모의인체를 이용한 측정값에 비해 엄격한 전자파흡수율 추정값을 발생시킨다. 모의인체의 두께가 더 얇을 경우, 용액을 담았을 때 처짐 현상과 같은 문제가 발생할 수 있으므로 바람직하지 않다.

모의인체 외피가 상기 조건을 만족하고 모의인체 외피의 모양과 두께가 전자파흡수율 값에 1 %이내의 영향을 준다면 그 영향을 무시할 수 있다.

5.2.2.절에 규정된 높이로 용액을 채웠을 때 모의인체 용기의 밀면 아래 쪽 표면의 처짐은 2 mm 미만이어야 한다. 이것은 모의인체 용액과 피시험 기기의 표면적의 접촉이 최대가 되도록 해준다.

A.3 생체 조직 등가 용액에 대한 이론적 근거

5.2.3절에 기술된 것 같이 용액의 유전 특성(유전율과 도전율)은 비교할 수 있는 노출 상황에 대한 기기 사용자의 신체 특성과 상관없이 엄격한 전자파흡수율을 평가하도록 유도되었다.

머리의 전자파흡수율 측정을 위한 모의 생체 조직 용액(“머리 조직 등가 용액”)의 전기적 파라미터는 드로소서스(Drossos)가 제안하였다. 파라미터값은 평면파에 노출된 무한 반공간에 놓인 다층 구조의 생체 조직에 대한 해석적 모델을 이용하여 300 MHz에서 3000 MHz의 주파수 범위에서 10개 주파수에 대하여 유도된 것이다. 이 접근 방식은 임피던스 정합과 정재파가 침투 공간평균 전자파흡수율에 미치는 영향에 대한 연구를 가능하게 한다. 성인과 어린이(10번째와 90번째 백분위수 사이)를 포함하여 사용자 그룹을 포괄하면서, 노출된 머리 부위의 해부학적 차이를 나타낼 수 있도록 생체 조직 층의 성분과 두께를 변화시켰다. 각각의 주파수에서 흡수가 최대가 되는 머리의 생체 조직 구성 층을 토대로, 균질 모델링을 위한 머리의 조직 등가 용액의 유전 파라미터를 유도하였고, 그 결과는 동일하거나 약간 더 높은 공간 침투값을 얻을 수 있었다.

인체의 머리를 모델링하기 위해 사용한 생체 조직의 유전 특성은 4차 Cole-Cole 공식으로 계산하였다. 이 공식은 스케일링 방정식으로 예측한 단시간 결과를 단순히 외삽한 것이다. 머리의 근거리장 노출에 대한 이 접근방식의 타당성은 자기공명영상(MRI)을 토대로 한, 해부학적으로 대표성 있는 어린이와 성인의 머리에 대한 다층구조 모델을 이용하여 Kainz 등이 입증하였다.

드로소서스(Drossos)의 연구를 일반적인 생체 조직 성분에 대한 연구로 확장하였다. 피하지방 조직의 반사로 인한 정재파의 영향으로 인해, 드로소서스(Drossos)의 결과와 비교했을 때 전자파흡수율을 상당히 증가시킨다는 것이 밝혀졌다. 이와 같은 증가는 조직 등가 용액의 유전 파라미터를 수정해서는 보상할 수 없다. 결합 메커니즘에 대한 포괄적 분석에 의하면 프레넬 영역과 피시خم 기기의 원거리장 영역에서만 정재파의 영향을 고려할 필요가 있다. 가까운 거리에서, 엄격한 노출 추정치는 드로소서스(Drossos)가 제안한 대로 머리 조직 등가 용액 파라미터를 이용하면 얻을 수 있다. 따라서 본 고시 별표 1(휴대용 무선설비의 전자파흡수율(SAR) 측정 절차)에서 정의한 용액 파라미터를 손에 들고 사용하는 기기와 인체 부착형 기기의 적합성 측정에서도 그대로 사용하게 하였다.

생체 조직 등가 용액의 주파수 범위는 수분 함량이 높은 생체 조직의 Cole-Cole 분산

특성과 요구되는 허용 오차 내에서 용액의 재현성을 고려하여 5.8 GHz까지 확장하였다. 3 GHz ~ 5.8 GHz의 주파수 영역에서의 유전 상수와 도전율은 선형적으로 내삽 되었으며, 6 GHz 는 선형적으로 외삽 되었다.

30 MHz ~ 150 MHz 주파수 대역에서의 근육 조직 인자는 가브리엘(Gabriel. C.)가 발표하였다. 그러나 높은 상대 유전율값을 실제 구현하기는 어렵다. 상대 유전율이 감소하면 더 높은 전자파흡수율 값이 평가되므로, 더 낮은 유전 상수값이 있는 모의인체 용액이 선택되었을 때, 도전율은 거의 변하지 않고 남아 있다.

150 MHz에서, 도전율과 유전 상수는 머리 모의인체 용액과 같은 값을 선택한다. 시간 영역 유한 차분법(FDTD: Finite-Difference Time-Domain) 시뮬레이션은 <표 5-1>에서 제안한 모의 조직의 전기적 요소가 30 MHz와 150 MHz에서 신체 부착용 기기의 전자파 흡수율에 대해 과대 평가를 제공함을 보여준다.

전자파흡수율은 부록 E 에서 밝힌 대로, 생체 조직 등가 물질의 유전 파라미터에 크게 의존한다. 따라서 전자파흡수율 측정을 위한 모의인체에 사용하기 전에 이 파라미터들을 정확하게 측정하는 것이 중요하다.

해당 주파수에서 규정 허용 오차 내에서 요구되는 유전 파라미터를 갖는다면 생체 조직 등가 물질로 어떤 조합의 물질도 사용할 수 있다. 이 부록에서 설명한 조건에 따라 생체 조직 등가 물질의 전기적 파라미터를 적용하면 해당 주파수에서 1 g 및 10 g 평균 전자파흡수율을 엄격하게 추정할 수 있다.

부록 B

전자파흡수율 측정 시스템 검증(Verification)

B.1 개요

이 절에는 다음과 같은 절차에 대하여 정의한다.

- 시스템 검사(check)
- 시스템 타당성 확인(validation)

이들 다른 레벨의 타당성 확인 절차에 대한 목적과 용도는 다음과 같다.

시스템 검사는 매일 또는 전자파흡수율 측정 전에 수행될 수 있는 빠르고 신뢰성 있는 측정 방법이다. 그 목적은 측정에 사용되는 구성품들이 편차 효과를 포함해서 여전히 실험실 교정 한계 내에 있는지를 확인하는 것이다. 이 측정에는 평면형 모의인체와 반파장 다이폴 혹은 종단이 개방된 도파관이 필요하다.

시스템 타당성 확인은 시스템 레벨의 타당성 확인을 위한 것이다. 측정 장치는 평면형 모의인체, 기준 다이폴(부록 C 참조) 또는 종단이 개방된 도파관 소스로 구성된다. 그러므로 시스템 타당성 확인에서 해부학적인 모의인체 사용으로 인한 불확정도는 포함되지 않으며, 피시험 기기의 위치 변화에 따른 불확정도도 포함하지 않는다. 이 측정은 매년 (다이폴을 교정한 다음), 실험실 간 비교 측정(본 고시 별표 1의 부록 E(시험 기관 간 비교)과 관련된 측정 전, 그리고 소프트웨어의 새 버전, 데이터 판독 전자 장치, 프로브의 다른 형태와 같이 시스템에 변경이 발생하였을 때 수행된다.

주) 실험실 간 비교 측정은 기준 피시험 기기(본 고시 별표 1의 E.3절(기준 무선 휴대 단말기)와 표준 해부학적 모의인체를 사용함으로써, 실험실의 질적 수준에 대한 자격을 부여한다. 이러한 자격 부여 방법에서는 인체와 유사한 모의인체 및 기기 위치 영향으로 인해 데이터들이 산포된다. 이 측정은 여러 실험실의 정확도와 정밀도 성능을 비교하기 위해 사용된다.

B.2 시스템 검사

B.2.1. 목적

시스템 검사의 목적은 시스템이 상세 규격 내에서 동작하는지를 확인하기 위한 것이다. 시스템 검사는 적합성 측정을 할 때 시스템이 제대로 동작하는지를 확인하기 위해 반복성을 검사하는 것이다. 그러므로 시스템 검사는 다음과 같은 시스템의 단기 편차 및 불확정도를 탐지한다.

- 가. 물의 증발이나 온도의 변화로 인한 용액 파라미터의 변화
- 나. 측정 시스템 구성품의 고장
- 다. 측정 시스템 구성품의 편차
- 라. 설비나 소프트웨어 파라미터에 대한 조작자의 실수
- 마. 전자파 간섭과 같은 시스템 구성 내의 유해한 조건

시스템 검사는 표준 소스(부록 B.2.3절 참조)의 단순화된 측정 구성에서 완벽한 1 g 또는 10 g 평균 전자파흡수율을 측정하는 것이다. 시스템 검사에 사용하는 계측기와 절차는 적합성 측정에 사용하는 것과 동일하다. 시스템 검사는 적합성 측정에서 사용한 것과 동일한 용액을 사용하여 적합성 측정 중간 대역 주파수의 $\pm 10\%$ 또는 $\pm 100\text{ MHz}$ 중 더 큰 쪽 이내에 있는 선택된 고정 주파수에서 실시해야 한다. 시스템 검사는 적합성 측정 전에 실시하며 그 결과는 항상 부록 B.2.5절에서 규정한 허용 오차 이내에 있어야 한다. 목표값은 부록 B(그림 B-1)에 나타난 시스템 검사 장치 구성을 이용하여 현재 시스템 타당성 확인 및 교정 상태의 시스템에서 측정한 1 g 또는 10 g 평균 전자파흡수율 값이다. 이 목표 값은 표준 소스를 이용하여 결정되어야 한다.

시스템 성능은 그 시스템이 상세 규격 및 허용 오차 범위 내에서 동작하는 것을 확인하도록 시스템 검사 절차를 이용하여 확인하는 것이 바람직하다. 이 절차는 전자파흡수율 적합성 평가 전에 실시하는 것이 좋다.

B.2.2 모의인체 구성

평면형 모의인체는 시스템을 검사 및 시스템 타당성 확인을 위해 생체 조직 등가 용액과 함께 사용된다(5장 참조). 평면형 모의인체의 형상, 치수 및 그 밖의 상세 규격은 5.2.2절에 명시되어 있다.

다이폴 소스의 경우 급전점은 타원이나 직사각형의 모의인체 중심에 배치해야 하며, 다이폴 양은 주축과 일치해야 한다(다이폴 상세 규격은 부록 C 참조). 도파관 신호원의 경우에는 도파관의 긴 쪽을 주축과 일치시켜야 한다. 재료는 생체 조직 등가 용액 화학 물질 반응에 내성이 있어야 한다.

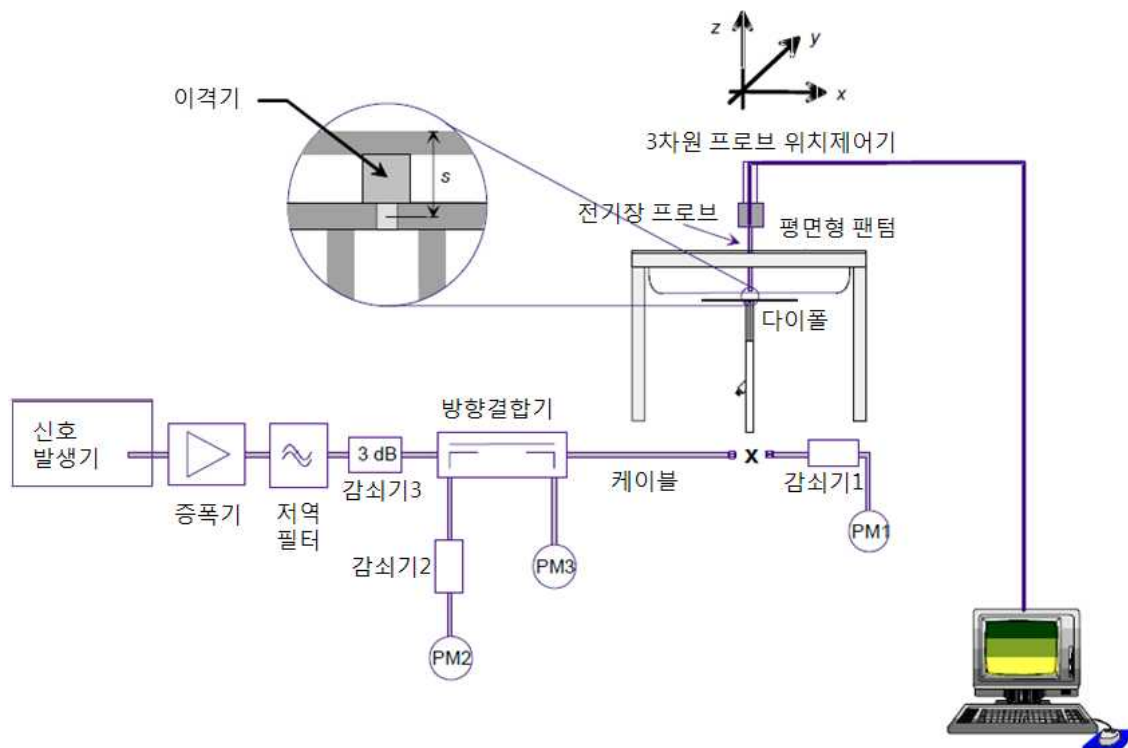
B.2.3 표준 소스

모의인체에 대한 전자파 조사(照査)는 필요한 주파수에 대해 표준 소스(예컨대, 반파장 다이폴, 패치 안테나 또는 종단이 개방된 도파관)를 이용한다. 시스템 타당성 확인(부록 C 참조)을 위해서는 기존 다이폴 소스를 사용할 수 있으나 시스템 검사에는 사용할 필요가 없다. 표준 소스는 좋은 위치 반복성, 기계적 안정성, 임피던스 정합을 가지는 것을 선택하여야 한다. 다음과 같은 위치 선정 지침에서 반파장 다이폴은 표준 소스의 예가 될 수 있다.

반파장 다이폴을 모의인체의 바닥 면 아래, 모의인체의 길이 방향과 평행한 축의 중심에 둔다. 용액으로 채워진 모의인체 내부 표면과 다이폴 중심 s (그림 B-1)과 <표 C-1> 사이의 거리가 각 측정 주파수에 대하여 자세히 명시되어야 한다. 다이폴의 상단 면과 모의인체의 하단면 사이의 정확한 거리를 유지하기 위해서는 저 손실(손실 탄젠트 < 0.5) 및 낮은 유전 상수(상대 유전율 < 5)의 이격기가 사용되어야 한다. 다이폴은 전력 측정에 있어 불확정도를 줄이기 위해 공진 주파수(측정구성에서 측정하였을 때)에서 -20 dB 보다 작은 반사 손실을 가져야 한다. 거리에 대한 허용 오차는 ± 0.2 mm 이내가 되어야 한다.

B.2.4 표준 소스 입력 전력 측정

소스로 전달되는 전력의 불확정도는 가능한 한 작아야 한다. 시스템 검사 시의 측정장치 구성은 방향성 결합기와 전력 측정기를 사용할 필요가 있다. 권장하는 장치 구성은(그림 B-1)과 같다(이것은 표준 소스의 한 예로서 반파장 다이폴을 이용한다).



(그림 B-1) 시스템 검사 장치 구성

먼저 다이폴 커넥터(X)의 위치에서 순방향 전력을 측정하기 위해 전력 측정기 PM1(감쇠기 Att1 포함)를 케이블에 연결한다. 다이폴 커넥터에서 원하는 순방향 전력(전력 측정기 PM1에서 읽힘)을 얻기 위해 신호 발생기를 조정한다(Att1의 감쇠 고려). 신호 발생기는 케이블을 다이폴에 연결한 후, 전력 측정기 PM2에서의 동일한 값을 얻기 위해 재조정된다. 신호 발생기가 0.01 dB 간격으로 조정이 안 되면 전력 측정기 PM2에서의 나머지 차이를 고려하여야 한다. 다이폴의 정합은 반사된 전력이 순방향 전력보다 최소한 20 dB 낮다는 것을 확인하기 위하여 네트워크 분석기를 사용하여야 한다.

구성품 및 계측 장비에 필요한 조건은 다음과 같다.

가. 신호 발생기와 증폭기는 (위밍업 후에) 안정화되어야 한다. 다이폴 소스로 향하는 순방향 전력은 프로브 시스템(본 고시 별표 1의 부록 B.5절(검출 하한치) 참조)의 검출 하한치를 초과하는 전자파흡수율을 발생할 수 있을 만큼 충분히 높아야 한다. 신호 발생기가 15 dBm이나 그 이상을 전달할 수 있는 경우, 증폭기는 일반적으로 필요하지 않다. 일부 고전력 증폭기는 최대 출력 전력에 비해 지나치게 낮은 레벨에서 작동되어

서는 안 된다. 예를 들면 100 W 전력 증폭기를 250 mW 출력 전력에서 작동하면 잡음이 심할 수 있다. 증폭기 입력단을 보호하기 위해 신호 발생기와 증폭기 사이에 감쇠기 사용을 권장한다.

나. 증폭기 후단에 삽입되는 저역 필터는 증폭기의 잡음과 고조파 영향을 감소시킨다. 정상 작동하는 대부분의 증폭기에 대해서는 필터가 필요하지 않다.

다. 증폭기 후단의 감쇠기는 신호원 정합과 전력 센서의 정확성을 향상시킨다.

라. 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 정합시키는 데 충분하다.

마. 전력 측정기 PM2와 PM3은 낮은 편차와 0.01 dBm의 분해능을 가져야 하지만, 그렇지 않다 하더라도 정확성은 전력 장치에 미미한 영향을 미친다.

바. 전력 측정기 PM1과 감쇠기 Att1는 고품질 기기를 사용하여야 한다. 이런 것들은 함께 교정하는 것이 좋다. 이는 감쇠기(-10 dB)가 전력 판독 정확성을 향상시키도록 한다(어떤 고전력 헤드는 교정된 감쇠기가 내장되어 있다). 측정 주파수에서의 감쇠기의 정확한 손실 계수를 알아야 한다. 대부분의 감쇠기는 명시값에서 0.2 dB까지 변화한다.

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

아. 다이폴은 케이블(X) 위치에 직접 연결되어야 한다. 전력 측정기가 다른 커넥터 형태라면 고품질 어댑터를 사용하여야 한다.

자. 케이블의 품질이 양호한지 확인하기 위해 케이블(특히 지향성 결합기를 다이폴 안테나에 연결하는 케이블)의 삽입 손실을 정기적으로 검사할 것을 권고한다. 삽입 손실은 낮은 것이 좋으며(예: 1 dB 이내. 케이블 길이와 주파수에 따라 달라진다), 주파수 전

체에서 안정한 것이 좋다. 더 낮은 주파수(예: 900 MHz)에서 잘 동작하는 케이블이 더 높은 주파수(예: 5 GHz)에서도 잘 작동할 것이라고 가정해서는 안 된다. 주파수가 높은 경우에는 품질이 더 좋은 케이블을 사용할 필요가 있다. 시스템 검사 중에 케이블을 옮기면 케이블이 손실될 수 있기 때문에 케이블을 옮기지 않는 것이 좋다.

B.2.5 시스템 측정 절차

시스템 측정은 완전한 1 g 및 10 g 평균 전자파흡수율을 측정하는 것이다. 측정된 1 g 및 10 g 평균 전자파흡수율 값을 표준 소스원의 목표 입력 전력에 대해 정규화하고, 측정 주파수, 표준 신호원 및 모의인체 유형에 해당하는 이전에 기록된 1 g 및 10 g 목표값과 비교한다. 시스템 검사에 유효성이 확인된 다이폴을 표준 복사원으로 사용하는 경우에, 목표값과의 차는 시스템 반복성 불확정도 내에 포함되어야 하며, $\pm 10\%$ 를 초과하지 않아야 한다.

다른 표준 소스원을 사용할 경우에는 실효값과 그 불확정도를 평가하고 문서에 기록해야 한다.

B.3 시스템 타당성 확인

B.3.1 목적

시스템 타당성 확인 절차는 기준 전자파흡수율 값, 프로브의 성능, 데이터 판독 전자 장치 및 소프트웨어를 측정하는 것이다. <표 B-1>에 주어진 기준 전자파흡수율 값에 대한 시스템 타당성 확인이다. 이를 위한 측정 구성은 평면형 모의인체와 기준 다이폴을 사용한다. 그러므로 이 타당성 확인 절차는 기기 위치 변동으로 인한 불확정도를 포함하지 않는다.

시스템 타당성 확인은 새로운 시스템이 적용될 때 또는 새로운 소프트웨어 출시 등, 다른 데이터 판독 전자 장치 또는 다른 유형의 프로브와 같은 시스템 변경이 이루어질 때 마다 매년 실시된다. 시스템 타당성 확인은 교정된 프로브로 수행되어야 한다.

본 절의 목적은 전자파흡수율 측정 시스템의 타당성 확인에 대한 방법론을 제공하는 것이다. 전자파흡수율 측정 장치, 교정 기술, 모의인체 및 생체 조직 등가 용액은 다양한 시험 기관 사이에서 폭 넓게 변화할 수 있기 때문에 타당성 확인 방법은 합리적인 측정

불확정도 내에서 일정한 결과가 얻어진다는 것을 확인하는데 필요하다. 시스템 타당성 확인에 사용할 수치 해석적으로 계산한 기준 전자파흡수율 값은 <표 B-1>에 나타내었다.

주) 시스템 타당성 확인 절차는 프로브 교정이나 7장의 불확정도 추정에 대한 대안은 아니다. 프로브와 데이터 판독 전자 장치는 본 고시 별표 1의 부록 B(측정 기기의 교정(선형성, 등방성, 감도) 및 불확정도 평가)에 주어진 절차에 따라서 정기적으로 교정되어야 한다. 프로브 반구 등방성은 시스템 타당성 확인을 위한 프로토콜에서 고려되지 않는다.

B.3.2. 모의인체 장치 구성

시스템 검사((그림 B-1)참조)를 위해 기술한 평면형 모의인체 장치 구성은 시스템 타당성 확인 측정에도 사용된다. 시스템 타당성 확인은 <표 5-1>에 정의된 유전 특성을 가지는 생체 조직 등가 용액을 이용하여 실시하여야 한다.

B.3.3. 기준 소스

B.3.3.1. 기준 다이폴 신호원

모의인체는 필요한 주파수를 부록 C에 명시된 기준 다이폴을 이용하여 조사(照射)되어야 한다. 기준 다이폴은 모의인체의 바닥 아래, 모의인체의 긴 변과 평행한 축의 중심에 위치하여야 한다. 저 손실 및 저 유전 상수를 갖는 이격기(Spacer)는 기준 다이폴의 상단 표면과 모의인체의 바닥 표면 사이의 정확한 거리를 확보하는데 이용할 수 있다. 용액으로 채워진 모의인체 바닥면과 기준 다이폴 중심(s로 지정됨) 사이 거리는 각 측정 주파수에 대해 0.2 mm 이내의 편차이어야 한다. 기준 다이폴은 전력 측정에서의 불확정도를 줄이기 위해서 공진 주파수에서 -20 dB(장치에서 측정됨)보다 더 좋은 반사 손실을 나타내야 한다..

부록 C에 설명한 기준 다이폴에 대해서는 이격 거리 s는 다음과 같다.

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

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

다. $3000 \text{ MHz} < f \leq 6000 \text{ MHz}$ 의 경우 $s = 10 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$

기준 다이폴 양은 ± 2 도 이하의 허용 오차 내에서 모의인체의 평면과 평행해야 한다 ((그림 B-1) 참조).

주파수가 5000 MHz를 초과하는 경우 기준값을 계산하기 위해 소형 다이폴의 제작 구조(내부와 외부 모두)를 고려할 필요가 있으며, 결국 수치값은 제조원의 다이폴에 특정한 수치를 드러낼 수밖에 없다. 또, 사용한 거리 이격기의 구조는 얻은 수치값에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 모델링해야 한다.

B.3.3.2. 기준 도파관 소스

<표 B-2>에 명시한 도파관 신호원에 대한 기준 전자파흡수율 값은 현재 5000 MHz를 초과하는 주파수에 대해서만 정의되어 있다. 그 이유는 더 낮은 주파수에 필요한 더 큰 도파관을 다루는데 어려움이 있기 때문이다. 5000 MHz 이상에서 도파관에 대해 계산한 기준 전자파흡수율 값은 다이폴의 경우보다 미묘한 구조적 차이에 덜 의존한다. <표 B-2>에 명시한 두 세트의 기준값이 되는 종단이 개방된 혹은 정합창 도파관을 사용하여 두 가지 절차를 개선하였다.

B.3.3.3 종단이 개방된 기준 도파관 소스

이 절의 목적은 전체 대역 구형(Rectangular) 도파관을 시스템 타당성 확인 및 시스템 검사를 위한 신호원으로 사용하는 절차를 제공하는 것이다. 이 절차는 5 GHz 이상의 주파수에 적용할 수 있는데, 다이폴 신호원을 사용하는 경우에는 기준값을 정확하게 계산할 수 있도록 이격기와 내부 구조를 상세하게 고려할 필요가 있다. 도파관 소스는 더 쉽게 모델링할 수 있는 기하학적 구조를 제공하므로 기준값은 제조 방법에 덜 의존하게 될 것이다.

평면형 모의인체에서 떨어져 있는 종단이 개방된 도파관과 모의인체 바로 맞은편에 놓인 정합창이 있는 도파관 두 경우에 대한 기준 도파관 신호원을 연구하였다. 각 연구에는 상이한 도파관 치수를 사용하였기 때문에, 기준값(<표 B-2>에 명시)은 각 경우마다 다르다. 방법의 선택은 장비 가용성에 따라 달라질 것이다. 정합창이 있는 도파관은 전자파흡수율 프로브 교정이 필요하며, 이 절차를 사용하면 신호원 위치결정이 더 쉬워지며 필요한 도파관 구성품의 수도 더 적어진다. 개방된 도파관 절차는 정합창이 필요 없으며 반사된 전력을 최소화하도록 도파관을 조정할 수 있다는 장점이 있다.

정합된 도파관 소스는 내부 치수가 40 mm × 20 mm인 직사각형 도파관(WR 137은

WG13으로도 알려져 있다)을 사용한다. 두께가 4.3 mm인 정합창은 비유전율 $K = 6$ 의 저손실 세라믹 재료를 함유한 착탈식 플랜지의 형태로 구현되어 있다. 플랜지 치수는 국제 전기 표준 회의(IEC: International Electrotechnical Commission)에서 지정한 PDR58 플랜지에 대한 것(전체 범위에서 81 mm × 62 mm)이다.

이 신호원의 기하학적 구조에 대한 기준값은 여러 그룹에서 시간 영역 유한 차분법(FDTD) 코드를 사용하여 5,200 MHz와 5,800 MHz 주파수에서 계산하였다. 그 값은 <표 B-2>에 열거되어 있다.

위의 절차를 따를 때 제안된 타당성 확인 기준값에는 박스 모의인체의 중심선 감쇠에 대한 데이터가 포함되어 있다. <표 B-2>에 주어진 식은 계산을 위해 유도된 시간영역 유한 차분법(FDTD) 데이터에 맞게 조정하였고, 기준값 중심선 프로파일을 나타내는데 사용할 수 있다.

중심선 스캔(도파관 정합창의 중심 위)은 프로브가 모의인체 박스의 밑면과 직접 접촉하는 상태에서 시작하여 0.2 mm의 간격으로 실시해야 한다. 전자파흡수율 값은 0.25 W 급전 전력으로 정규화하고, 기준 프로파일과 비교하기 위해 후처리하여 경계 교정을 적용해야 한다. 기준값에 대한 측정 데이터의 형상과 크기를 별도로 고려하여야 한다. 간섭 영향이 없고 적용한 경계 교정 방식이 타당한 것인지를 확인하기 위해 프로파일 형상이 기준 프로파일과 정합되는지 입증하여야 한다.

(그림 B-1)에 보인 도파관 장치에 대한 급전(그러나 다이폴 신호원 대신 도파관)을 이용하여, 그리고 5 장의 기준에 따라 수집한 3D 스캔 데이터를 이용하여, 0.25 W의 입력 전력으로 정규화된 1 g 전자파흡수율 값을 <표 B-2>에 명시된 기준값과 비교해야 한다.

3 GHz 이상의 시스템 타당성 확인을 위해 전 대역에 대한 특성이 잘 알려진 광대역 조사 장치로서 구형 도파관을 사용할 수 있다. 시중에서 구입할 수 있는 도파관은 대역폭이 1 GHz ~ 2 GHz인 광대역이다.

B.3.4. 기준 다이폴의 입력 전력 측정

시스템 검사용 입력 전력 측정 장치(B.2.4 참조)는 시스템 타당성 확인에도 사용된다.

B.3.5. 시스템 타당성 확인 절차

시스템 타당성 확인은 완전한 측정 시스템의 정확성과 소프트웨어의 성능을 입증하기 위해 사용된다. 기기 위치의 불확정도는 고려하지 않는다. 시스템 타당성 확인 절차는 5 단계로 구성된다. 단계 ‘가.’는 시스템 타당성 확인 절차의 가장 중요한 부분이며 매번 행해져야 한다. 단계 ‘나.’~‘마.’(권고)는 프로브, 데이터 판독 전자 장치 및 소프트웨어 성능의 신속하고 간단한 타당성 확인을 위한 수단을 제공한다. 시스템 구성품이 변경되었을 때(예를 들면 새로운 소프트웨어 출시, 새로운 데이터 판독 전자장치, 새로운 프로브 형태 등) 이러한 추가 측정이 항상 행하여져야 하지만, 각 시험 기관(예를 들면 교정 시험 기관 또는 전자파흡수율 측정 시스템 최종 사용 시험 기관)에서 의해서 동일한 시스템 버전에 대해서만 실시될 필요가 있다. 시스템 타당성 확인 절차는 다음과 같다.

가. 전자파흡수율 평가: 완전한 1 g 이나 10 g 평균 전자파흡수율 측정이 부록 C의 기준 소스를 사용하여 실시된다. 기준 다이폴 입력 전력은 0.4 W/kg ~ 10 W/kg의 범위에 해당하는 1 g 이나 10 g 평균 전자파흡수율 값을 측정할 수 있도록 조정된다. 1 g 이나 10 g 평균 전자파흡수율은 적합성 측정에 이용될 범위 내에서 <표 B-1>에 있는 주파수에서 측정된다. 결과를 1W 순방향 입력 전력에 대해 정규화하여 <표 B-1>의 3열과 4열에 나와 있는 기준 다이폴과 평면형 모의인체에 대해서 기준 전자파흡수율 값과 비교한다. <표 B-1> 또는 <표 B-2>에 주어진 기준 값과 측정값의 차이는 제조자 또는 설계자가 규정한 전자파흡수율 측정 시스템에 대해 명시한 허용 오차, 즉 <표 7-5>의 절차를 사용한 시스템 타당성 확인을 위한 확장 불확정도보다 적어야 한다.

나. 외삽 루틴: 국부 전자파흡수율 값은 침투 공간평균 전자파흡수율의 평가에 이용되는 것과 같은 간격으로 기준 다이폴 급전점 바로 위의 수직축(즉 다이폴 급전점이나 도파관의 중심선)을 따라서 측정된다. 측정된 값들은 모의인체 표면에서의 전자파흡수율 값을 외삽하며 적절한 값들(<표 B-1>의 5열 또는 <표 B-2>의 4열, $d = 0$)과 비교한다. 다이폴 소스를 이용했다면, 이런 측정은 기준 다이폴 급전점으로 부터 2 cm 수평 오프셋(y 방향 - (그림 B-1) 참조)이 있는 다른 수직 축을 따라서 반복된다. 모의인체 표면에서의 전자파흡수율 값을 외삽하며 <표 B-1>의 6열에 주어진 수치와 비교한다. 외삽값과 목표값과의 차이는 <표 7-5>의 절차를 사용한 시스템 타당성 확인을 위한 확장 불확정도보다 적어야 한다.

다. 프로브 선형성: 단계 ‘가.’의 측정을 서로 다른 기준 다이폴 입력 전력 레벨을 이용하여 반복한다. 각각의 주파수에 대한 전력 레벨을 약 10 W/kg, 2 W/kg, 0.4 W/kg, 0.08 W/kg 및 0.01 W/kg의 1 g 이나 10 g 평균 전자파흡수율 값을 측정할 수 있도

록 선택한다. 측정된 전자파흡수율 값을 1 W 순방향 입력 전력에 대해 정규화하여 단계 ‘가.’의 1 W 정규화된 값과 비교한다. 이 값의 차이는 <표 7-5>과 7.2.2절 ‘다’항의 절차를 사용한 선형성 소자의 확장 불확정도보다 적어야 한다.

라. 변조 응답: 단계 ‘가.’의 측정을 10 Hz의 펄스 반복률과 0.1의 동작 계수를 갖는 펄스 변조 신호에 대해 반복한다. 연속파 신호에 대해 약 8 W/kg의 1 g 이나 10 g 평균 전자파흡수율 값을 측정할 수 있거나, 침투값이 약 80 W/kg이 되도록 전력을 조정한다. 측정된 전자파흡수율 값을 1 W 순방향 입력 전력과 동작계수 1에 정규화하여 단계 ‘가.’의 1 W 정규화한 값과 비교한다. 이 값의 차이는 <표 7-5>의 절차를 사용한 시스템 타당성 확인을 위한 확장 불확정도보다 적어야 한다.

마. 프로브 축 등방성: 프로브를 모의인체 내부 표면으로부터 5 mm ~ 10 mm의 측정 거리에서 기준 다이폴 중심 바로 위에 위치시킨다. 프로브(또는 기준 신호원)는 15도보다 크지 않은 간격으로 축을 중심으로 최소한 180도 회전시킨다. 최대와 최소 전자파흡수율 값을 기록한다. 이 값의 차이는 <표 7-5>와 7.2.2.절 ‘나’항의 절차를 사용한 선형성 소자의 확장 불확정도보다 적어야 한다.

B.3.6. 기준 전자파흡수율 값

시스템 타당성 확인 측정에서, 주파수 f (부록 C에서 기술)에 대해 구성된 기준 다이폴은 시스템 타당성 확인 불확정도 내에서(<표 7-5> 주 10) 참조) <표 B-1>의 3열과 4열에 보인 수치 기준 침투 공간평균 전자파흡수율 값을 생성해야 한다. <표 B-1>의 5열과 6열은 본 부록 B.3.5절에서 설명한 대로, 시스템 외삽 루틴을 검증하는데 사용한다. 기준 전자파흡수율 값은 <표 C-2>의 모의인체의 파라미터에 대해 시간 영역 유한 차분법(FDTD) 수치 계산법을 이용하여 계산되었다. 300 MHz 와 6000 MHz 사이 주파수에 대한 값은 실험으로 입증되었다. 그러나 이 값은 일반적으로 3000 MHz 이하 주파수에서만 유효하다. 3000 MHz 이상 범위에 대한 값은 상세한 급전점 구성과 이격기의 특성 등 상세 사항에 의존하며, ± 10 %정도 변하게 된다. 그 이유는 다이폴 치수가 암 직경과 이격기 치수보다 짧기 때문이다. 즉 수치적 기준값은 일반적이지 않고, 각 구성에 따라 결정할 필요가 있다. 용액에 사용한 유전 특성은 <표 5-1>에 정의되어 있으며, 기준 다이폴의 치수는 <표 C-1>에 기술되어 있다. 서로 다른 기준 전자파흡수율 값은 부록 C에 규정된 기준 다이폴의 기계적 치수에서 시작된 다이폴들에 대해 적용된다.

<표 B-1> 기준 다이폴과 모의인체에 대한 수치적 기준 전자파흡수율 값 - 모든 값은 1 W의 순방향 전력으로 정규화

주파수 (MHz)	모의인체 외피 두께(mm)	1 g 전자파흡수율 (W/kg)	10 g 전자파흡수율 (W/kg)	표면에서의 국부 전자파흡수율(급전점 위)(W/kg)	표면에서의 국부 전자파흡수율(급전점에서 y = 2 cm 오프셋)(W/kg)
300	6.3	3.02	2.04	4.4	2.1
300	2.0	2.85	1.94	4.14	2.00
450	6.3	4.92	3.28	7.2	3.2
450	2.0	4.58	3.06	6.75	2.98
750	2.0	8.49	5.55	12.6	4.59
835	2.0	9.56	6.22	14.1	4.9
900	2.0	10.9	6.99	16.4	5.4
1450	2.0	29.0	16.0	50.2	6.5
1800	2.0	38.4	20.1	69.5	6.8
1900	2.0	39.7	20.5	72.1	6.6
1950	2.0	40.5	20.9	72.7	6.6
2000	2.0	41.1	21.1	74.6	6.5
2450	2.0	52.4	24.0	104	7.7
2585	2.0	55.9	24.4	119	7.90
2600	2.0	55.3	24.6	113	8.29
3000	2.0	63.8	25.7	140	9.5
3500	2.0	67.1	25.0	169.0	12.1
3700	2.0	67.4	24.2	178	12.7
5000	2.0	77.9	22.1	305	15.1
5200	2.0	76.5	21.6	310	15.9
5500	2.0	83.3	23.4	349	18.1
5800	2.0	78.0	21.9	341	20.3
<p>주 1) 부록 C에 주어진 기준 다이폴의 기계적 치수를 사용해야 한다. 3 GHz 이상에 대한 값은 다이폴의 이격기 및 세부 구조에 따라 달라지며, $\pm 10\%$ 정도 변할 수 있다. 그 이유는 다이폴 치수가 암(arm)의 지름과 이격기의 치수에 비해 짧기 때문이다. 즉, 수치 기준값은 일반적인 것이 아니며, 각 구성에 따라 결정할 필요가 있다.</p> <p>주 2) 5.2.2절에 명시한 모의인체 치수를 사용해야 한다. 3 GHz 이상에 대한 값은 다이폴의 이격기에 따라 달라지며, $\pm 10\%$ 정도 변할 수 있다.</p> <p>주 3) 다이폴 순방향 전력은 프로브의 동작영역 이상에서 측정된 전자파흡수율 값들이 도출되어야 하며, 낮은 전력들은 추가적인 불확정도를 도입할 필요가 없거나 프로브 손상이 없다.</p>					

<표 B-2>는 부록 C에서 기술된 기준 도파관 소스들을 사용한 시스템 점검 측정에 대한 기준 전자파흡수율 값을 보여주고 있다. <표 B-2>의 기준 전자파흡수율 값은 시간 영역 유한 차분법(FDTD)을 사용하여 계산되었다. 시뮬레이션에 사용된 도파관은 부록 C에 주어진 치수를 가진 완전 도체로 모델링되었다. 시뮬레이션에 사용된 모의인체는 높이 216 mm, 넓이 152 mm, 깊이 80 mm, 모의인체 외피 두께 2 mm, 그리고 모의인체 외피의 상대 유전율은 2.56이다. 모의인체 용액의 유전 상수는 <표 5-1>에 정의된 것을 사용한

다.

<표 B-2> 모의인체와 접촉하고 있는 정합된 도파관에 대한 수치적 기준 전자파흡수율
값

주파수 MHz	1 g 전자파흡수율 (W/kg)	10 g 전자파흡수율 (W/kg)	깊이 d(mm)에서 기준 중심선의 전자파흡수율 (W/kg)
5200	159	56.9	$548.4 \exp(-2d/6.25)$
5800	181.2	61.5	$682.0 \exp(-2d/5.57)$
<p>주 1) 모든 전자파흡수율 값들은 1 W의 순방향 전력으로 정규화되었다.</p> <p>주 2) 1 g과 10 g 기준 전자파흡수율 값은 부록 C 에 기술된 기준 도파관 치수를 사용하여 시스템 타당성 확인 절차를 거친 것만 검증한다.</p> <p>주 3) 다이폴 순방향 전력은 프로브의 동작영역 이상에서 측정된 전자파흡수율 값들이 도출되어야 하며, 낮은 전력들은 추가적인 불확정도를 도입할 필요가 없거나 프로브 손상이 없다.</p>			

부록 C

시스템 타당성 확인을 위한 표준 소스와 모의인체

C.1 다이폴

평면형 모의인체는 해당 주파수 대역의 기준 다이폴로 조사(照射)되어야 한다. 기준 다이폴은 <표 C-1>에서와 같이 특정한 유전 파라미터와 모의인체 외피의 두께에 적합하게 선정된다. 기준 다이폴은 모의인체의 바닥 아래, 모의인체의 가장 긴 면에 평행한 축의 중심에 배치해야 한다. 기준 다이폴의 윗면과 모의인체의 바닥면 간의 정확한 거리를 설정하기 위해 저손실 및 저유전 상수 이격기가 사용될 수 있다. 이 이격기는 측정된 1 g 및 10 g 평균 전자파흡수율 값을 1 % 이상 변화게 해서는 안 된다. 생체 조직 등가 용액이 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 측정 주파수에서 -20 dB(측정 시스템에서 측정된) 보다 양호한 반사 손실이 있어야 한다. 이 요구 사항을 충족시키기 위해서 다이폴의 끝에 저 손실의 유전체 또는 금속 조정 소자를 이용함으로써 기준 다이폴을 미세조정(fine-tune)할 수도 있다. 다이폴의 기계적 치수는 (그림 C-1)과 <표 C-1>에 보이고 있다.

3 GHz 이상 주파수에서, 다이폴 임피던스에서 이격기의 영향은 중요하다. 즉 이격기는 독립적이지 않지만 다이폴의 필수적인 부분처럼 고려되어야 한다. 그러므로 최적화된 다이폴과 같은 이격기가 항상 사용되어야 한다. 급전점에서 이격기의 위치 변화 영향은 다이폴의 불확정도 총괄표에서 고려되고 산정되어야 한다(7.2.6절).

C.2 목표 전자파흡수율 값

C.2.1 3 GHz 미만에서의 목표 전자파흡수율 값

다이폴의 기계적 치수는 $\pm 2\%$ 이내의 허용 오차여야 한다. 목표값은 <표 B-1>에 명시되어 있다. 이격기에 대해서는 측정된 1 g 및 10 g 평균 전자파흡수율 값을 1 % 이상 변화시키지 않는다는 것을 수치적 방법으로 입증하는 것이 중요하다.

C.2.2. 3 GHz 이상에서의 목표 전자파흡수율 값

3 GHz 이상에서의 목표값은 이격기, 모의인체 밀면, 기계적 허용 오차로 생기는 더 큰 영향 때문에 3 GHz 이하의 경우처럼 보편적으로 명시할 수 없다. 따라서 목표값은 다이폴마다 다를 수 있다. 시스템 타당성 확인을 위해 사용한 각 다이폴에 대해 수치 시뮬레이션을 토대로 완전히 문서화된 분석을 제공하는 것이 중요하다. 이 분석에는 기계적 허용 오차의 감도 분석, 급전점 모델링 및 모의인체 특성이 포함되어야 한다.

<표 C-1> 기준 다이폴의 기계적 치수

주파수 MHz	모의인체 외피 두께 mm	L mm	h mm	d_1 mm	d_2 mm
300	6.3	396.0	250.0	6.35	
300	2.0	420.0	250.0	6.35	
450	6.3	270.0	166.7	6.35	
450	2.0	290.0	166.7	6.35	
750	2.0	176.0	100.0	6.35	
835	2.0	161.0	89.8	3.6	
900	2.0	149.0	83.3	3.6	
1450	2.0	89.1	51.7	3.6	
1800	2.0	72.0	41.7	3.6	
1900	2.0	68.0	39.5	3.6	
1950	2.0	66.3	38.5	3.6	
2000	2.0	64.5	37.5	3.6	
2450	2.0	51.5	30.4	3.6	
2585	2.0	49.1	29.0	3.6	
2600	2.0	48.5	28.8	3.6	
3000	2.0	41.5	25.0	3.6	
3500	2.0	37.0	26.4	3.6	
3700	2.0	34.7	26.4	3.6	
5000	2.0	20.6	40.3	3.6	2.1
6000	2.0	20.6	40.3	3.6	2.1

주 1) L , h , d 에 관한 허용 오차는 $\pm 2\%$ 내에 있어야 한다.

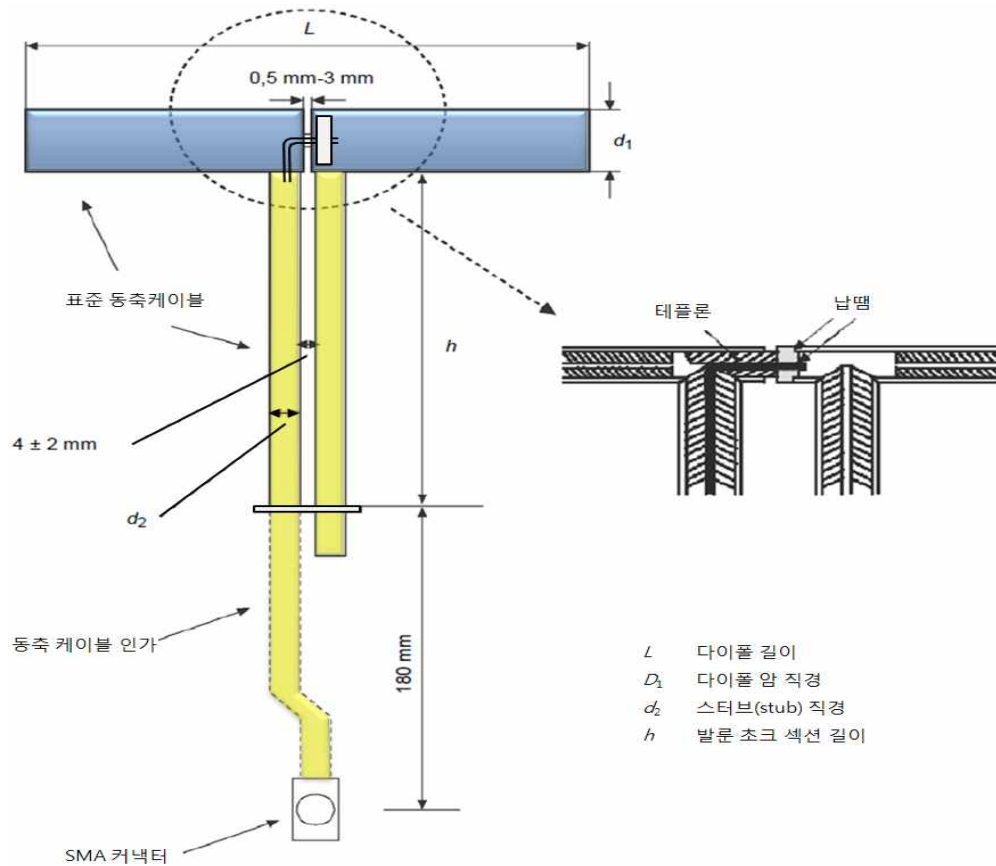
주 2) 5000 MHz에서 6000 MHz에 대한 값은 모의인체 외피 두께가 2 mm인 경우에만 유효하다. 반사 감쇠량은 20 dB 이상(-20 dB 이상)이어야 한다.

본 부록에서는 기준 다이폴의 이격 거리가 명기되어 있으며 아래와 같다.:

가. $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$ 에 대해 $s = 15 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$

나. $1000 \text{ MHz} < f \leq 6000 \text{ MHz}$ 에 대해 $s = 10 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$

기준 다이폴은 모의인체의 편평한 표면에 평행하게 위치되어야 하며 허용 오차는 $\pm 2^\circ$ 이내이다.((그림 C-2) 참조). 속이 빈 모의인체와 기준 다이폴을 수준계를 사용하여 정확하게 수평으로 위치시켜야 이러한 허용 오차를 보장할 수 있다.



(그림 C-1) 기준 다이폴의 상세도

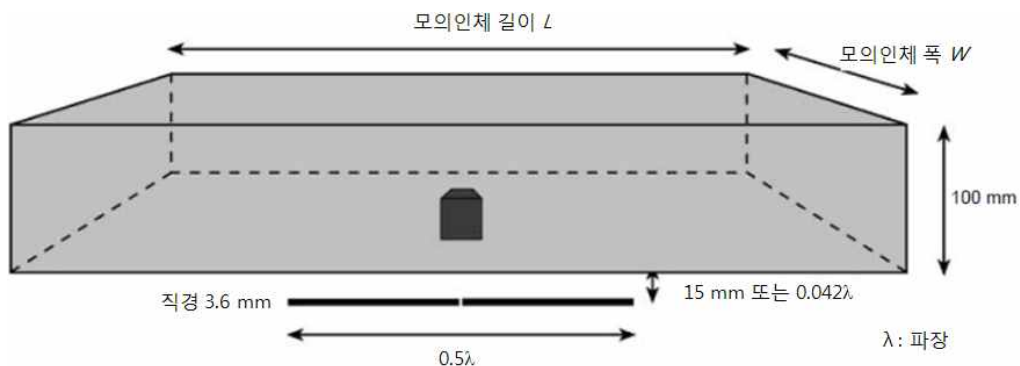
C.3 평면형 모의인체

평면형 모의인체의 치수((그림 C-2))가 용액만으로 된 모의인체(모의인체 외피 제외) 내의 10 g 입방체에 흡수되는 에너지에 미치는 영향을 상용 시간 영역 유한 차분법 (FDTD) 코드를 이용하여 수치 해석적으로 평가하였다. 모의인체는 15 mm(840 MHz에서 0.042λ)의 거리에서 정합된 다이폴 안테나로 조사(照射)하였다. 모의인체의 치수(W 와 L)는 0.4λ 와 3λ 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 C-3)에서 볼 수 있는 것처럼, 길이는 0.6λ , 폭은 0.4λ 보다 큰 평면형 모의인체 치수에 대해서 만족된다. 모의인체의 폭은 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 흡수된 전력의 편차를 1 %의 제한치 이내로 유지하기 위해서, 폭은 0.4λ 미만이 되어서는 안 된다. 모의인체의 크기는 자유공간 파장을 이용하여 나타낼 수 있다. 생체 조직 등 용액의 특성에 대한 의존성은 그것이 비교적 손실이 있는 만큼 중요하지 않다.

차이를 발생시키는 영향은 다이폴의 전류 크기와 공간 분포의 섭동에 따라서 좌우된다. 다이폴의 크기는 평균적으로 전자파를 흡수하는 체적에 비해 크기 때문에, 체적 크기에 따라서 섭동이 증가할 것이다. 이 연구에서 이용된 길이는 부록 C의 평면형 모의인체에 요구되는 15 cm가 아니라 10 cm이었지만, 이것은 840 MHz에서의 침투 깊이의 2.57배이며 따라서 용액 표면에서의 전력 반사는 무시해도 좋다(1 % 미만).

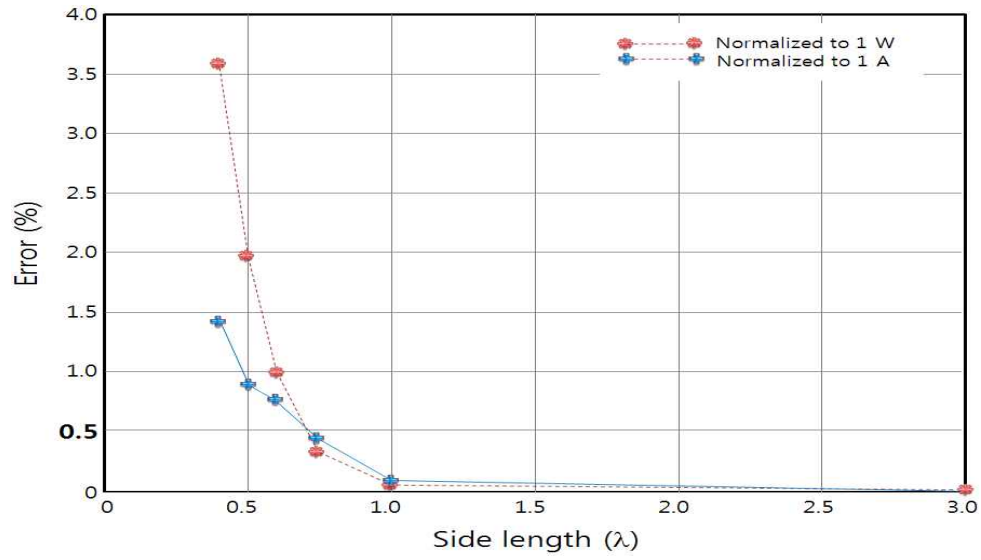
주1) 10 g 평균은 더 큰 크기로 인해 크기 변화에 대해 더 민감하다. 예를 들어, 1 g 평균 관련 불확정도는 10 g 평균 관련 불확정도보다 더 작다.

주2) 10 g 입방체는 평면형 모의인체의 바닥 중심에 표시되어 있다.



(그림 C-2) W 와 L 에 대한 최소 치수를 도출하는데 이용되는

평면형 모의인체 치수



(그림 C-3) 무한 평면 모의인체 대비 평면형 모의인체 치수의 함수로서 10 g
첨두 공간평균 전자파흡수율에서의 시간 영역 유한 차분법(FDTD) 예측 불확정도

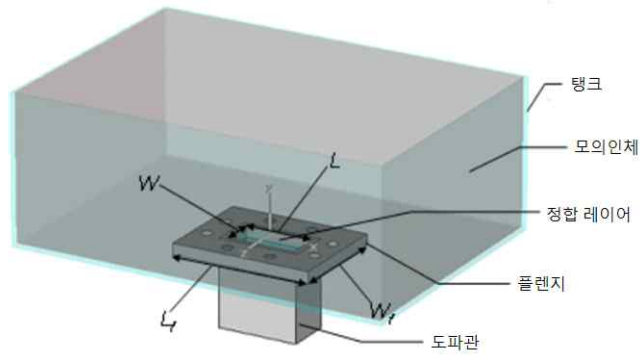
<표 C-2> <표 C-1>에서 기준 전자파흡수율 값을 산출하는데 사용한 파라미터

주파수 MHz	모의인체 외피 두께(mm)	모의인체 외피 유전율	시간영역유한차분법(FDTD) 모델에 사용한 모의인체 치수(mm) x, y, z	용액으로부터 기준 다이폴까지 거리 s(mm)
300	6.3	3.7	1000, 800, 170	15
450	6.3	3.7	700, 600, 170	15
750	2.0	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
2600	2.0	3.7	180, 120, 150	10
3000	2.0	3.7	180, 120, 150	10
3000	2.0	3.7	220, 160, 150	10
3500	2.0	3.7	174, 110, 150	10
3700	2.0	3.7	174, 110, 150	10
5000	2.0	3.7	90, 80, 35	10
6000	2.0	3.7	90, 80, 35	10

주) 이 표는 시간 영역 유한 차분법(FDTD) 수치 모델링에 사용한 파라미터를 나타낸 것이다.

C.4 기준 도파관 소스의 기계적 치수

<표 C-3>의 기계적 치수의 (그림 C-4)의 기준 도파관 소스(WR159 또는 UK WG-13에 대응하는)는 부록 B.3절의 시스템 타당성 확인 절차를 따를 때 <표 B-2>에 주어진 전자파흡수율 값을 나타낸다. <표 C-3>에 주어진 것과 다른 인자를 사용한 도파관이나 <표 C-3>에 주어진 주파수와 다른 영역에서 도파관이 사용되면, 이 소스에 대한 기준 전자파흡수율 값은 문서화되고 독립적으로 검증(예를 들면 측정과 수치 해석 시뮬레이션 비교)되어야 한다.



(그림 C-4) 기준 도파관 소스

<표 C-3> 기준 도파관의 기계적 치수

주파수 MHz	모의인체 외피 두께 mm	L mm	W mm	L_f mm	W_f mm	t mm	ϵ_r
5200	2	40.39	20.19	81.03	61.98	5.3	6
5800	2	40.39	20.19	81.03	61.98	5.3	6

주) L 과 W 는 도파관 내부 길이와 폭, t 와 ϵ_r 은 정합 레이어의 두께와 상대 유전율이다.
 L_f 와 W_f 은 테두리의 외부 길이와 폭이다. 정합 레이어는 도파관의 $L \times W$ 영역의 단면을 채우는 무손실 유전 판이다. 도파관과 정합 레이어는 모의인체 외피와 직접적으로 접촉한다.

부록 D

모의인체 몸통 생체조직 등가용액 조성 권고사항

모의인체 생체조직 등가용액의 조성비는 전자파흡수율 측정기준 부록 I를 참조한다.

부록 E

목표값의 복소 유전율의 편차에 대한 전자파흡수율 보정

E.1 개요

본 측정절차에서 전자파흡수율 측정에 사용하는 생체 조직 등가 용액의 유전 파라미터는 인체 노출에 대해 엄격한 전자파흡수율 값을 제공해야 한다. 목표값에서 유전 파라미터의 편차는 측정 불확정도에 기여할 수 있다. 측정 불확정도를 줄이는 한 가지 방법은 생체 조직 등가 용액의 유전 파라미터를 목표값의 허용차 내에서(예: $\pm 5\%$ 내에서) 유지하는 것이다. 그러나 특히 2 GHz 이상의 주파수에서 유전 파라미터가 목표값에 근접하는 적합하고 안정한 용액 제조법을 찾는 것이 어려울 수 있다. 이 문제에는 다음과 같은 세 가지 해법이 있다;

첫째, 이용 가능한 용액 제조법의 파라미터에 맞추어 목표 유전 파라미터를 변경한다.
둘째, (유전 파라미터에서의 편이에 대하여 전자파흡수율 보정 없이) 허용 오차를 넓힌다.
셋째, 측정된 유전 파라미터가 허용 오차에서 벗어난 편이만큼 전자파흡수율을 보정한다.

목표값을 변경하는 것은 표준을 특정 용액 제조법으로 제한할 수 있고, 단순히 허용 오차를 넓히는 것은 측정 불확정도를 높일 수 있기 때문에 세 번째 해결 방안이 가장 좋다.

전자파흡수율 보정값은 6.1.1절에 기술된 바와 같이 $\pm 10\%$ 의 범위가 선택되었다. 유전 파라미터가 프로브의 전환율(Conversion factor)에 영향을 미친다는 점을 고려할 때, 이처럼 $\pm 10\%$ 범위가 적용된다면 그 영향은 작을 것이다.

E.2 전자파흡수율 보정 공식

선형 관계는 전자파흡수율의 백분율 변화(ΔSAR 로 표시)와 <표 5-1>에 제시된 목표값의 유전율 및 도전율의 백분율 변화(각각 $\Delta \epsilon_r$ 과 $\Delta \sigma$ 로 표시) 사이에서 찾을 수 있다. 이러한 선형 관계는 다음과 같다.

$$\Delta SAR = c_\epsilon \Delta \epsilon_r + c_\sigma \Delta \sigma \quad (\text{수식 E-1})$$

여기에서, $c_\epsilon = \partial(\Delta \text{SAR})/\partial(\Delta \epsilon)$, $c_\sigma = \partial(\Delta \text{SAR})/\partial(\Delta \sigma)$ 는 각각 유전율과 도전율에 대한 전자파흡수율의 감도를 나타내는 감도 계수이다.

c_ϵ 와 c_σ 값은 주파수와 단순한 관계이며 이것은 다항식을 이용하여 설명할 수 있다. 1g 평균 전자파흡수율의 경우 다음과 같다.

$$c_\epsilon = -7.854 \times 10^{-4} f^3 + 9.402 \times 10^{-3} f^2 - 2.742 \times 10^{-2} f - 0.2026 \quad (\text{수식 E-2})$$

$$c_\sigma = 9.804 \times 10^{-3} f^3 - 8.661 \times 10^{-2} f^2 + 2.981 \times 10^{-2} f + 0.7829 \quad (\text{수식 E-3})$$

이때 f 는 GHz 단위의 주파수이다.

10 g 평균 전자파흡수율의 경우, 변수 c_ϵ 와 c_σ 는 다음과 같이 설정한다.

$$c_\epsilon = 3.456 \times 10^{-3} f^3 - 3.531 \times 10^{-2} f^2 + 7.675 \times 10^{-2} f - 0.8160 \quad (\text{수식 E-4})$$

$$c_\sigma = 4.479 \times 10^{-3} f^3 - 1.586 \times 10^{-2} f^2 - 0.197 \times 10^{-2} f + 0.7717 \quad (\text{수식 E-5})$$

이때 f 는 GHz 단위의 주파수이다.

E.3 보정 공식의 불확정도

공식에 의해 예상되는 전자파흡수율 편이값과 440번 이상 분석한 사례로부터 얻은 모의 편이값 사이에서 실효치(RMS: Root mean Square) 오류로 부록 D.2의 관계 수식에서의 평균 전력 불확정도는 첨두 1 g 평균 전자파흡수율 및 첨두 10 g 평균 전자파흡수율에 대한 <표 E-1> 과 같다.

<표 E-1> 유전율 또는 도전율의 최대 변화의 함수인 (수식 E-1)에서 (수식 E-3)까지의 실효값(RMS) 오차

ϵ_r 또는 σ 의 최대 변화	SAR _{1g} 에 대한 실효치(RMS) 오차(%)	SAR _{10g} 에 대한 실효치(RMS) 오차(%)
± 5 %	1.2	0.97
± 10 %	1.9	1.6

이러한 접근 방식을 이용하면 그 수정이 목표값에서 유전 파라미터의 편이를 야기하는

불확정성 항목에 대한 필요성을 제거하는 현상 때문에, 측정 불확정도가 감소한다. 그 대신, 수정 공식의 오류로 인한 불확정도 항목이 존재한다. 이 불확정도값은 <표 E-1>과 같다. 유전율과 도전율의 $\pm 10\%$ 편이에 대하여, 1 g과 10 g의 평균 전자파흡수율에 대한 불확정도로 1.9 %와 1.6 %를 각각 입력한다. 이러한 불확정성 값은 정규

부록 F

생체 조직 등가 용액의 유전 특성 측정 및 측정 불확정도 평가

본 고시 별표 1의 부록 J(액체의 유전 특성 측정 및 불확정도 평가)는 용액의 유전 특성을 측정하고 불확정도를 추산하는데 적용되고 있다. 30 MHz ~ 6 GHz 주파수 범위에 대하여 <표 F-1>과 <표 F-2>는 본 고시 별표 1의 <표 J.1> (다양한 기준 액체의 유전 특성 계산을 위한 파라미터)과 <표 J.2>(20 °C에서의 기준 액체의 유전 특성) 대신에 사용된다.

<표 F-1> 다양한 기준 용액의 유전특성 계산을 위한 파라미터

기준용액	온도 °C	모델	ϵ_s	ϵ_∞	$\tau(\text{ps})$	β
DI(Deionized) water	20	Debye	80.21	5.6	9.36	1
DI water	25	Debye	78.36	5.2	8.27	1
DMS(Dimethylsulfate)	20	Debye	47.13	7.13	21.27	1
DMS	25	Debye	46.48	6.63	19.18	1
DMS	25	Cole-Davidson	47	3.9	21.1	0.878
에탄디올	20	Cole-Davidson	41.5	3.8	157.18	0.82
에탄디올	20	Cole-Davidson	41.9	5.02	161.4	0.88
메탄올	20	Debye	33.9	4.7	53.2	1
메탄올	20	Debye	33.7	4.8	53.8	1
메탄올	20	Debye	33.64	5.68	56.6	1
메탄올	25	Debye	32.67	5.58	50.8	1
a: 5 GHz 주파수 대역에서 측정한 데이터 b: 130 MHz ~ 20 GHz 주파수 대역에 유효한 제조법 c: 30 MHz ~ 5 GHz 주파수 대역에 유효한 제조법						

<표 F-2> 20 °C에서의 기준 용액의 유전특성

주파수 MHz	메탄올		DMS		DI water		에탄디올	
	ϵ'_r	σ	ϵ'_r	σ	ϵ'_r	σ	ϵ'_r	σ
30	33.64	0.00050	47.13	0.00027	80.2	0.00022	41.87	0.0016
150	33.56	0.012	47.11	0.0067	80.2	0.0055	40.89	0.038
300	33.33	0.049	47.07	0.027	80.19	0.02	39.21	0.14
450	32.94	0.11	46.99	0.060	80.16	0.05	36.78	0.29
835	31.37	0.35	46.64	0.20	80.03	0.17	29.53	0.76
900	31.04	0.41	46.56	0.24	80.00	0.20	28.38	0.83
1450	27.77	0.92	45.68	0.60	79.67	0.51	20.63	1.36
1800	25.51	1.27	44.94	0.91	79.38	0.78	17.38	1.61
1900	24.88	1.37	44.71	1.01	79.29	0.87	16.64	1.66
2000	24.25	1.47	44.46	1.11	79.19	0.96	15.96	1.72
2450	21.57	1.89	43.25	1.61	78.69	1.44	13.53	1.92
3000	18.76	2.33	41.59	2.31	77.96	2.13	11.53	2.11
4000	15.17	3.12	38.24	3.70	76.30	3.70	9.36	2.34
5000	12.40	3.58	34.78	5.14	74.27	5.62	8.12	2.51
6000	10.51	3.89	31.48 ^a	6.52 ^a	71.95	7.81	7.33	2.64
a : 5 GHz 주파수 대역에서 측정된 데이터								

부록 G

전력 스케일링 절차

G.1 절차

전력 스케일링은 변조(modY)된 동일 기기의 전자파흡수율에 측정 신호(modX)로 결정되는 피시험 기기의 전자파흡수율의 외삽에 해당한다. 만일 다음과 같은 조건을 만족한다면 다른 변조 신호에 대한 수치 해석 또는 실험적 방법에 기초한 전력 스케일링이 가능하다.

- modX와 modY에 동일한 무선 주파수(RF) 증폭기 단이 사용될 경우
- modX와 modY에 동일한 안테나가 사용되고 다중입출력(MIMO) 기술이 적용되지 않았을 경우
- 전자파흡수율 프로브가 변조 신호 modX에 맞추어 교정되고 전자파흡수율이 modX에 대해 결정되었을 경우
- 무선 주파수(RF) 증폭단 변조 후 modX와 modY의 시간-평균 무선 주파수(RF) 출력 전력비 R_p 는

$$R_p = \left(\frac{P_{max_{modY}}}{P_{max_{modX}}} \right)$$

- modX의 무선 주파수(RF) 반송파 주파수가 modY에서와 같을 경우
- modX와 modY의 IF 신호 대역폭 비율(R_m)은

$$\left| \frac{BW_{modX}}{BW_{modY}} - 1 \right| \leq 30\%$$

- modX와 modY의 대역폭 $< 5\% \times f_c$

만일 위에서 언급한 요구가 만족된다면 modX로부터 modY까지 전자파흡수율에 대한

스케일링은 다음과 같은 공식에 따라 계산된다.

$$\text{SAR}_{\text{mod}Y} = R_p \times \text{SAR}_{\text{mod}X}$$

계수 R_p 는 수치 해석(증폭 특성과 변조 신호를 포함하는 P_{avg} 의 계산) 또는 실험적 방법(예를 들어 평균 전력의 측정)에 의해 결정된다. 두 경우 모두 증폭단에서의 안테나 임피던스 영향으로 불확정도가 증가된다. 만일 부록 G의 처리 방법을 따른다면 측정 보고서의 공정성을 보장받을 것이다.

G.2 사용 양상

무전기(푸시 투 토크 기기)에 대해서, 최대 동작 계수는 얼굴 앞이나 몸에 지닌 상태에서 동작될 때 0.5 정도로 생각된다.

G.3 전력 스케일링 불확정도

전력 스케일링의 불확정도는 신호와 무선 주파수(RF) 증폭단의 비선형성, 변조 신호 대역폭 및 안테나 임피던스와 관련이 있다.

전력 스케일링 불확정도는 다음과 같은 절차에 따라 전자파흡수율 좌표(x_p, y_p, z_p)의 최고치에서 modY의 전자파흡수율을 결정함으로써 평가된다.

- 6장에 따른 modX의 2-D 전자파흡수율 스캔 실행
- 프로브를 2-D 스캔의 최대 위치로 이동
- modX로 전자파흡수율 판독
- 기기를 modY로 전환(기기를 움직이지 않은 채)
- modY로 전자파흡수율 판독
- 측정되고 스케일링된 $\text{SAR}_{\text{mod}Y}$ 의 비율 계산

$$\text{SAR}_{\text{scaling uncertainty}} = \left| \left(\frac{\text{SAR}(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}Y}}{\text{SAR}(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}X} \times R_p} - 1 \right) \times 100\% \right|$$

- $\text{SAR}_{\text{scaling uncertainty}} > 5\%$: 스케일링 미사용 및 modY에 대한 전체 전자파흡수율 산정 방법 수행

부록 H

프로브(Probe) 파라미터에 대한 근거

H.1 프로브(Probe) 외형 치수

일반적으로 선량 측정용 프로브는 생체 조직 등가 용액(고 손실, 고 유전 물질)과는 상당히 다른 물질(저손실, 저유전 파라미터)을 사용하여 제작 및 보호된다. 이때 국부 전자 기장과 산란 전자기장에 대한 국부 왜곡이 발생한다. 이러한 영향을 줄이기 위해, 즉 공진점 이하로 조정하고 독립된 전자기장의 특성을 유지하기 위해, 프로브의 끝 직경은 파장에 비해 작아야 한다. 일반적으로, 프로브 끝 직경이 작을수록 교란 발생은 줄어든다. <표 H-1>과 같이 프로브 끝 직경을 중간 대역 파장의 1/3 이하로 유지하도록 권고하고 있다. 2 GHz 이하의 주파수에서 프로브 끝의 최대 직경은 8 mm이다.

<표 H-1> 생체 조직 등가 용액에 대한 주파수 함수 및 파라미터로서의 최소 프로브 요구 조건

1	2	3	4	5	6	7	8
주파수 MHz	상대 유전율	도전율 S/m	중간 대역 파장(λ) mm	평면파 표피 깊이 (δ) mm	(프로브 끝) 최대 직경 mm	M1에 대한 50 % 거리 ($Z_{50\%}=\delta \cdot \ln(2)/2$) mm	M1에 대한 최소거리 (Z_{M1}) mm
300	45.3	0.87	148.6	46.1	8.0	16.0	5.0
450	43.5	0.87	101.1	42.9	8.0	14.9	5.0
750	41.9	0.89	61.8	39.8	8.0	13.8	5.0
835	41.5	0.9	55.8	38.9	8.0	13.5	5.0
900	41.5	0.97	51.7	36.1	8.0	12.5	5.0
1450	40.5	1.20	32.5	28.6	8.0	9.9	5.0
1800	40.0	1.40	26.4	24.3	8.0	8.4	5.0
2000	40.0	1.40	23.7	24.2	8.0	8.4	5.0
2450	39.2	1.80	19.6	18.7	6.5	6.5	5.0
2600	39.0	1.96	18.5	17.2	6.2	5.9	5.0
3000	38.5	2.40	16.1	13.9	5.4	4.8	5.0
4000	37.4	3.43	12.3	9.6	4.1	3.3	3.3
5000	36.2	4.45	10.0	7.3	3.3	2.5	2.5
5200	36.0	4.66	9.6	7.0	3.2	2.4	2.4
5400	35.8	4.86	9.3	6.7	3.1	2.3	2.3
5600	35.5	5.07	9.0	6.4	3.0	2.2	2.2
5800	35.3	5.27	8.7	6.1	2.9	2.1	2.1
6000	35.1	5.48	8.4	5.9	2.8	2.0	2.0

H.2 프로브 검출기 변위

유도 전자기장 분포는 표피 깊이 δ 와 입사 자기장 분포의 함수이다. 즉, 이러한 전자기장은 모의인체 경계면으로부터 수직 위치에 있는 표피 깊이에서 보다 더 빠르게 감쇠할 수 있다. 이처럼 심한 감쇠로 인하여 외삽은 측정 지점의 불확정도, 즉, 국부 전자기장 왜곡, 경계 효과, 잡음 신호 등에 매우 민감해진다. 합리적인 경계면 내에서의 불확정도를 유지하기 위해서는 반드시 가장 근접한 측정지점 $M1$ 이 거리 $Z_{50\%} = \delta \ln(2)/2$ 에서 측정되어야 하며 그 거리 이내에서 전자파흡수율은 표면 전자파흡수율의 50%보다 커진다. 이러한 거리는 평면파 감쇠를 가정할 때 <표 H-1>의 7번째 열에 제공된 값과 같다. 몸통 표면에 근접한 안테나에 대한 감쇠는 평면파에 대한 감쇠보다 일반적으로 강하며, 특별히 3 GHz 이하의 최소 거리를 갖는 하위 주파수에서 $Z_{M1}=5$ mm 로 제한되었다. 그러나 3 GHz 이상의 주파수에서 피부 깊이가 보다 높은 주파수에서 평면파의 그것과 비슷하다는 점에서 Z_{M1} 을 $Z_{50\%}$ 로 정할 수 있다. 프로브가 모의인체와 직접 닿았을 때 정확한 결과를 측정할 수 없기 때문에, 그 거리는 모의인체 표면에 최소 프로브 끝의 거리를 합한 검출기 변위와 일치한다.

H.3 표면에 대한 프로브 경사도

주파수가 높을수록 프로브는 파장에 비해 더 커지는 경향이 있으며, 표면에 매우 근접한 측정이 보다 강조된다. 수긍할 만한 불확정도를 갖는 결과를 얻기 위해서는 프로브가 표면과 수직을 이루도록 위치시켜야 한다. 즉, 20 °보다 큰 편차에 대해서는 수긍할 만한 불확정도를 담보하기 위해서는 특별한 사전예방책과 고려가 필요하다. 기술적으로 5 ° 미만의 편각이 선호된다.

H.4 외삽법과 적분 불확정도

표면의 경사도가 수직이면 보다 높은 주파수에서 급격히 증대된다. 프로브의 바닥 잡음보다 큰 정밀 체적 분포의 체적 내의 측정 수치가 감소하면 외삽 및 적분 계산에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 하나의 전략은 비균질 격자망 (Graded mesh)을 사용하는 것이다. 그러나 불확정도는 프로브가 충분히 민감하지 않을 때 급격히 증가할 수 있다. <표 H-2>에서 오류값은 표면에서 데시벨값으로 표시되는 진폭, f_1 , f_2 , f_3 함수에 백색 잡음을 더하여 구할 수 있다. <표 H-2>는 시스템의 바닥 잡음에 대한 산정 오류의 확인이 가능토록 한다. 그 값은 4000번 반복 수행하여 얻은 것이다.

예를 들어 25 mW/kg의 잡음(N_{rms})에 대한 평가는 비균일 격자망(가장 밀착하여 측정 한 지점은 1.5 mm, 격자 단계는 1.5, 격자망은 $7 \times 7 \times 5$)에 대해 5 %의 불확정도를 가지며, 균일 격자(가장 밀착하여 측정한 지점 4 mm, 격자는 $11 \times 11 \times 7$)에 대해서는 30 %의 불확정도를 나타낸다.

<표 H-2> 10 g 침두 공간평균 전자파흡수율의 외삽법과 적분 불확정도

S/N	균일 격자(Homogeneous grid)					비균일 격자(Graded grid)				
	f1 _{1peak}	f1 _{2p.prim}	f1 _{2p.sec}	f2	f3	f1 _{1peak}	f1 _{2p.prim}	f1 _{2p.sec}	f2	f3
30 dB	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	17%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	1.3%
20 dB	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	18%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	1.9%
13 dB	0.6%	0.6%	0.6%	0.4%	27%	0.5%	0.5%	0.5%	0.3%	8.7%
10 dB	2.8%	2.7%	2.7%	1.8%	69%	2.4%	2.4%	2.2%	1.4%	39%