

[별표 1-14]

KN 61000-4-3

방사성 RF 전자기장 내성 시험방법

목 차

1. 적용 범위	3
2. 참조 규격	3
3. 용어 정의	3
4. 일반 사항	7
5. 시험 레벨	8
6. 시험 장비	9
7. 시험 배치	16
8. 시험 절차	18
9. 시험결과의 평가	20
10. 시험보고서	21
부록 A(정보) 디지털 무선전화기의 무선주파수 방출 방호	
관련 시험을 위한 변조 선택방법의 이론적 근거	26
부록 B(정보) 전기장 발생 안테나	31
부록 C(정보) 무반사실의 사용	32
부록 D(정보) 증폭기 비선형성과 6.2에 따른 교정절차 예	35
부록 E(정보) EMC기준전문위원회를 위한 시험 레벨	41
부록 F(정보) 시험방법의 선택	44
부록 G(정보) 환경의 설명	45
부록 H(정보) 1 GHz 이상의 주파수에 대한 대체 노출법(개별 윈도우법)	49
부록 I(정보) 전계 측정 프로브의 교정 방법	52
부록 J(정보) 시험 계측장비에 기인한 측정 불확도	70

1. 적용 범위

이 시험방법은 방사성 전자파에너지에 대한 전기, 전자 장비의 내성 **요구규격**에 관한 것이며, 시험레벨과 시험절차를 확립한다.

이 시험방법의 목적은 전기 및 전자 장비의 성능이 방사성 무선주파수 전자파에너지의 영향을 받을 때, 그 내성 평가에 대한 일반적인 기준을 확립하는 것이다. 본 KN 61000에서 문서화된 시험방법은 위에서 정의된 현상에 대한 장비나 시스템의 내성을 평가하기 위한 일관성 있는 방법을 설명하고 있다.

주1) IEC Guide 107에 설명된 바와 같이, 이 시험방법은 EMC 기준전문위원회가 사용하기 위한 기본 EMC 출판물이다. IEC Guide 107에서 언급한 바와 같이, EMC 기준전문위원회는 이 내성시험 **기준**의 적용 여부에 대한 결정에 책임이 있으며, 만약 적용한다면 적절한 시험레벨과 성능기준을 결정하는데 책임이 있다. TC-77에 해당되는 제품에 대한 특정 내성 시험값의 평가는 EMC 기준전문위원회에서 다룬다

이 시험방법은 임의의 신호원 또는 방해원으로부터 나오는 무선주파수 전자파의 방호와 관련된 내성시험을 다룬다.

주2) 이 시험방법에서는 해당 기기에서의 전자파 방사가 갖는 영향을 평가하기 위한 시험방법을 정의한다. 이 영향의 정량적 평가를 위한 전자파 방사의 시뮬레이션과 측정은 아주 정확하지는 않다. 따라서 여기서 정의된 시험방법은 이 영향의 정량적 해석을 위해 여러 시험시설에서 얻은 결과들의 합리적인 재현성을 확립할 목적으로 구성된 것이다.

이 시험방법은 독립적인 시험방법으로, 이 시험방법에 따른 적합성을 요구하기 위한 대응방법으로 다른 시험방법을 사용할 수 없다.

2. 참조 규격

다음의 참조규격은 이 시험방법의 적용에 반드시 필요하다. 출판년도가 표기된 참조규격에 대해서는, 인용된 판만을 적용한다. 출판년도가 표기되지 않은 참조규격에 대해서는, 해당 참조규격의 최신판(개정판도 포함)을 적용한다.

KN 61000-4-6 : 전도성 RF 전자기장 내성 시험방법

3. 용어 정의

이 시험방법의 용어정의는 다음과 같다. 이 시험방법에서 규정하는 것 외의 용어는 전파법, 전파법 시행령, 전자파 장애방지 기준 및 전자파 보호 기준, 전자파적합성 관련 국제표준 및 국가표준에서 정하는 바에 따른다.

3.1 진폭 변조 (Amplitude Modulation)

반송파의 진폭을 규정된 법칙에 따라 변화시키는 변조 과정

3.2 무반사실 (Anechoic Chamber)

차폐실의 내부 표면으로부터의 반사를 감소시키기 위해서 무선주파수 흡수체를 붙인 차폐실

3.2.1 완전 무반사실 (Fully Anechoic Chamber)

차폐실 내부 표면을 전부 무선주파수 흡수체로 붙인 무반사실

3.2.2 반무반사실 (Semi-Anechoic Chamber)

차폐실 바닥면(접지면)을 제외하고 내부 표면을 전부 무선주파수 흡수체로 붙인 무반사실.
이 바닥면에서는 반사가 일어난다.

3.2.3 보완형 반무반사실 (Modified Semi-Anechoic Chamber)

접지면 위에 부가적으로 흡수체를 설치한 반무반사실

3.3 안테나 (Antenna)

신호원으로부터 공간으로 무선주파수 전력을 방출하거나 공간에서 입사하는 전자파를 수신하여 전기적 신호로 바꾸는 변환기

3.4 발룬 (Balun)

불평형 전압을 평형 전압으로 변환하거나 또는 그와 반대로 변환하는 장치.[IEV 161-04-34]

3.5 연속파 (Continuous Wave)

정상상태 조건하에서는 동일한 진폭으로 연속 진동을 하는 전자파로, 정상상태를 차단하거나 또는 변조를 통해 여기에 정보를 실어 전달할 수 있다.

3.6 전자파 (Electromagnetic Wave)

전기장과 자기장의 변화에 따른 전하의 진동으로 발생한 방사에너지

3.7 원거리장 (Far Field)

안테나로부터의 전력속 밀도가 대략 거리의 제곱에 반비례하는 영역
다이폴 안테나에 있어서, 원거리장은 $\lambda/2\pi$ 이상의 거리에 해당한다. 여기서 λ 는 복사 전자기장의 파장이다.

3.8 전자기장의 세기 (Field Strength)

“전자기장의 세기”라는 용어는 원거리장에서 수행되는 측정에만 적용된다. 전기장 성분 또는 자기장 성분 중 어느 하나를 측정할 수 있으며, 단위는 V/m, A/m, W/m² 중의 하나로 표시될 수 있다. 이들 중의 어느 하나를 다른 값으로 변환시킬 수 있다.

주) 근거리장 측정에 있어서, 결과적으로 전기장이 측정되느냐 또는 자기장이 측정되느냐에 따라 “전기장의 세기” 또는 “자기장의 세기”라는 용어를 각각 사용한다. 이러한 근거리장 영역에서는 전기장 및 자기장 세기와 거리 사이의 관계가 복잡하고 예측하기 매우 힘들며, 근거리장 영역에 포함된 특정한 구조에 따라 달라진다. 복잡한 전자기장의 여러 성분들의 시간 및 공간 위상관계를 결정하는 것이 일반적으로 불가능하기 때문에, 이 전자기장의 전력선 밀도 역시 결정할 수 없다.

3.9 주파수 대역 (Frequency Band)

하한과 상한 두 주파수 사이의 연속적인 범위

3.10 E_c

교정을 위해 인가시킨 전기장 세기

3.11 E_t

시험을 위해 인가시킨 반송파 전기장 세기

3.12 완전 노출법 (Full Illumination)

피시험기기의 표면이 균일장 내에 완전하게 노출되도록 하는 시험법

3.13 인체부착형 장비 (Human Body-Mounted Equipment)

인체 가까이에서 부착하거나 휴대하여 사용되는 것을 목적으로 하는 장비. 이 용어는 작동 중에 휴대하는 휴대용 기기뿐만 아니라 환자보조용 및 인체이식형 전자기기도 포함한다.

3.14 개별영역 노출법 (Independent Window Method)

피시험기기의 표면이 균일장 내에 완전하게 노출되지 않는 ((0.5 x 0.5) m² 균일장을 사용하는) 시험법으로, 1 GHz 이상의 시험주파수에 적용할 수 있다.

3.15 유도장 (Induction Field)

$d < \lambda/2\pi$ 인 거리에 존재하는 우세 전기장 및/또는 자기장, 여기서 λ 는 파장이며, 신호원의 물리적 크기는 거리 d 에 비해 매우 작다.

3.16 의도성 무선주파수 방출기기 (Intentional RF Emitting Device)

의도적으로 전자파를 방사하는 기기. 예를 들면, 디지털 이동전화기와 기타 무선장치들이 있다.

3.17 등방성 (Isotropic)

모든 방향으로 똑같은 특성을 갖고 있다는 것을 의미하는 용어

3.18 최대 실효값 (Maximum RMS value)

변조 무선주파수 신호에서 한 번의 변조주기를 측정하는 중에, 관측되는 최대 단기 실효값. 단기 실효값은 단일 반송파 주기 동안 구해진다. 예를 들어, 그림 1b) 에서 최대 실효값 전압은 다음과 같다.

$$V_{\max \text{imum RMS}} = V_{p-p} / (2 \times \sqrt{2}) = 1.8 V$$

3.19 변동 포락선 변조 (Non-constant envelope modulation)

반송파의 진폭변화가 반송파 자체 주기에 비해 상대적으로 느린 무선주파수 변조 방법. 예를 들면, 일반적인 진폭변조와 TDMA가 여기에 해당된다.

3.20 P_c

교정용 전기장 세기를 만들기 위한 입사 전력

3.21 국부 노출 (Partial illumination)

피시험기기의 표면이 균일장 내에 완전하게 노출되지 않는 (최소 (1.5 x 1.5) m² 의 균일장을 사용하는) 시험법으로, 모든 시험주파수에 적용할 수 있다.

3.22 편파 (Polarization)

복사 전자기장의 전기장 벡터의 방향

3.23 차폐함체 (Shielded Enclosure)

외부의 전자파 환경으로부터 내부를 격리시킬 목적으로 설계된 차폐물이나 금속 재질의 하우징. 이것의 목적은 외부의 주변 전자기장이 장비의 성능을 떨어뜨리지 않도록 하고, 장비 자체에게서 방출된 전자기장이 외부 장비의 작동에 방해를 주지 않도록 하기 위해서이다.

3.24 소인 (Sweep)

주파수 범위의 하한에서 상한까지 연속적으로 또는 단계적으로 주파수가 이동하는 것.

3.25 시분할 다중접속 (Time Division Multiple Access: TDMA)

할당된 주파수에 있는 동일 반송파 내에 여러 통신채널이 존재하는 시간 다중변조 방법. 각각의 채널은 시간슬롯으로 할당되며, 만약 채널이 활성화되면 정보는 무선주파수 전력의 펄스형태로 전송된다. 채널이 활성화되지 않으면 펄스는 전송되지 않으며, 따라서 반송파의 포락선은 일정하지 않다. 펄스 동안에는 진폭은 일정하고 무선주파수 반송파는 주파수 또는 위상변조 상태가 된다.

3.26 송수신기 (Transceiver)

하나의 케이스 내에 수신기와 송신기를 조합시킨 기기

3.27 균일장 영역 (Uniform Field Area : UFA)

전기장 교정을 위한 가상의 수직면으로, 이 면 내에서는 전기장 변동이 허용오차 내에 있을 정도로 작다. 이 전기장 교정의 목적은 시험 결과의 유효성을 확인하는 것이다.(6.2 참조)

4. 일반 사항

대부분의 전자 장비는 어떤 식으로든 전자파 방출의 영향을 받는다. 이러한 방출은 다음과 같은 신호원이나 방해원에 의해 빈번히 발생된다. 즉 운전자, 유지보수자 및 보안요원들이 사용하는 휴대용 무선 송수신기, 고정무선국 및 텔레비전 송신기, 차량용 송수신기 및 다양한 목적의 산업용 전자파 발생원 등이다.

최근에 0.8 GHz ~ 6 GHz 대역의 주파수에서 동작하는 무선 전화기와 기타 무선주파수 방출기기의 사용이 현저히 증가하였다. 이런 서비스들의 대부분은 포락선이 일정하지 않은 변조기법(예를 들면, TDMA)을 사용한다.

고의적으로 발생하는 전자파 에너지 이외에 용접기, 싸이리스터, 형광등 및 유도성 부하를 작동시키는 스위치와 같은 장치에 의하여 부수적으로 발생하는 방출도 있다. 대부분 이와 같은 방해는 그 자체가 전도성 방해로 나타난다. 이에 대해서는 이 시험방법의 다른 문서에서 다루어진다. 또한 전자파 영향을 방지하는데 이용되는 방법은 보통 이러한 신호원이나 방해원 들을 줄이는 것이 될 것이다.

전자파 환경은 전자장의 세기에 의해 결정된다. 이 전자장은 정밀한 장비 없이는 쉽게 측정할 수 없고, 고전적 방정식이나 방법으로도 쉽게 계산할 수도 없다. 그 이유는 주위 환경 구조의 영향 또는 전자파를 왜곡하거나 또는 반사시키는 장비의 근처에서의 영향 때문이다.

5. 시험 레벨

시험 레벨을 표 1에 보였다.

표 1. 일반목적, 디지털 무선전화기 및 기타 무선주파수 방출기기에 대한 시험레벨

레벨	시험 전기장세기
1	1
2	3
3	10
4	30
X	특별한 값
(비고)	
X 는 미정 값이며, 이에 관련된 전기장세기는 임의의 값일 수 있다. 이 레벨은 제품규격에서 제공될 수 있다.	

이 시험방법에서는, 전체 주파수범위 상에서 단일 시험레벨을 인가시킬 수 있다고 제안하지는 않는다. EMC 기준전문위원회는 시험되어질(피시험) 각각의 주파수범위에 대해 적절한 시험레벨을 선정하여야 한다. 시험레벨 선정을 위한 EMC 기준전문위원회의 지침은 부록 E에 보인다.

표 1에서 시험 전기장세기 항은 변조되지 않은 반송파 신호의 값이다. 기기의 시험을 위해서 이 반송파 신호는 1 kHz 정현파로 80 % 진폭 변조함으로서 실제 상황을 모사한다(그림 1 참조). 이 시험을 시행하기 위한 상세한 사항은 8절에서 다룬다.

5.1 일반적인 목적에 관련된 시험레벨

시험은 80 MHz부터 1000 MHz 까지 주파수범위에서 간격없이 정상적으로 수행한다.

주1) EMC 기준전문위원회는 KN 61000-4-3과 KN 61000-4-6 사이의 80 MHz보다 더 낮거나 또는 높은 전이주파수를 선택할 수 있다.(부록 G 참조)

주2) EMC 기준전문위원회는 피시험기기에 대해 또 다른 변조방법을 선정할 수도 있다.

주3) 또한, KN 61000-4-6은 방사성 전자파 에너지에 대한 전기 및 전자기기의 내성 확립을 위한 시험방법을 정의한다. KN 61000-4-6은 80 MHz 이하의 주파수를 다룬다.

5.2 디지털 무선전화와 기타 무선주파수 방출 기기로부터 무선주파수 방출 방호에 관련된 시험레벨

시험은 80 MHz부터 960 MHz 까지, 그리고 1.4 GHz부터 6.0 GHz까지 주파수범위에서 정상적으로 수행한다.

시험하기 위해 선정된 주파수들이나 주파수대역은 이동무선전화기와 기타 의도성 무선주파수 방출기기를 실제로 운용하는 주파수에 제한한다. 1.4 GHz부터 6.0 GHz까지 전체 주파수 범위 상에서 연속적인 주파수로 시험을 적용할 필요는 없다. 이동무선전화기와 기타 의도성 무선주파수 방출기기에 사용된 이들 주파수대역에서, 해당 운용 주파수범위에서 특정 시험레벨을 적용할 수 있다.

또한, 만약 이 제품이 특정 국가의 요구규격만을 만족하도록 한 것이라면, 이들 국가에서 디지털 이동무선전화기와 기타 의도성 무선주파수 방출기기에 할당한 특정 주파수대역만을 포함하도록 1.4 GHz부터 6.0 GHz까지의 주파수범위를 줄일 수 있다. 이러한 경우에, 줄어든 주파수범위에서 시험하도록 결정한 내용을 시험보고서에 기록하여야 한다.

주1) 부록 A에서는, 디지털 이동무선전화기와 기타 의도성 무선주파수 방출기기로부터의 무선주파수 방호 관련 시험에 대한 정현파 변조 사용의 결정에 관한 설명을 포함한다.

주2) 부록 E에서는, 시험레벨 선택에 관한 지침을 포함한다.

주3) 표 2에 대한 측정범위는 일반적으로 디지털 무선전화기에 할당된 주파수 대역이다.(부록 G는 출판 당시의 디지털 무선전화기에 할당된 것으로 알려진 주파수의 목록을 포함한다.)

주4) 800 MHz 이상에서 주된 위험 요소는, 무선전화기의 출력과 유사한 레벨의 출력을 갖는 무선 전화시스템과 기타 의도성 무선주파수 방출기기에서 나온다. 이 주파수 대역에서 동작하는 다른 시스템들은, 예를 들면, 2.4 GHz 또는 그 이상에서 작동하는 무선 LAN, 일반적으로 전력이 매우 낮아서 (대체적으로 100 mW 이하) 심각한 문제를 거의 발생시키지 않는다.

6. 시험 장비

다음 형태의 시험장비를 추천한다.

- 전자파 무반사실 : 피시험기기와 관련되어 충분한 크기의 균일장 영역을 유지할 수 있는 크기를 가진다. 완전 무반사실이 아닌 실내에서 반사를 감소시키기 위해 부가적인 흡수체를 사용할 수 있다.
- EMI 필터 : 이 필터가 연결선로에 어떠한 부수적인 공진효과를 일으키지 않도록 주의해야 한다.
- 무선주파수 신호발생기 : 필요한 주파수 대역을 포함하고, 1 kHz 정현파를 80 % 깊이

로 진폭 변조할 수 있어야 한다. 주파수, 진폭, 변조도 등의 수동 제어가 가능하며, 무선주파수 신시사이저를 사용하는 경우에는, 주파수 스텝크기와 체재시간으로 프로그램 제어가 가능하여야 한다.

저역통과 필터 또는 대역통과 필터는 고조파에 의한 문제를 방지하기 위해 필요할 수가 있다.

- 전력 증폭기 : 안테나에서 필요한 전기장 레벨을 만들 수 있도록 신호(무변조 또는 변조)를 증폭하고 인가한다. 전력 증폭기에 의해 생기는 고조파들은 다음과 같다. 각각의 고조파 주파수들에서 균일장 영역내의 측정된 전기장세기가 기본파 주파수의 전기장세기보다 적어도 6 dB 이하가 되어야 한다. (부록 D 참조)
- 전기장 발생용 안테나 : (부록 B 참조) 주파수 요구규격을 만족하는 바이코니컬(Biconical), 대수주기(Log-periodic) 안테나 또는 다른 종류의 선형편파 안테나 시스템
- 등방성 전기장 센서 : 측정할 전기장에 대해 진단증폭기 및 광전자 소자가 적절한 내성을 가져야 하며, 챔버 밖의 지시계까지 광파이버가 연결되어 있어야 한다. 이 신호선로에는 적절한 필터를 사용할 수 있다. 부록 I에서는 전계 프로브의 교정 방법을 소개한다.
- 전력레벨을 기록하기 위한 관련장비 : 신호발생기 레벨조절과 요구되는 전기장세기를 기록하기 위한 기기

보조장비의 적절한 내성을 보장하도록 주의를 기울여야 한다.

6.1 시험시설의 설명

발생된 전기장세기로 인해, 무선통신에 대한 방해를 방지하기 위한 여러 국내법 또는 국제법을 만족하기 위해서는 차폐실 내에서 시험해야 한다. 또한, 데이터를 수집하는데 필요한 대부분의 시험장비가 내성시험을 하는 동안 생성된 국지적 주변전자파에 민감하기 때문에 피시험기와 필요한 시험장비 사이에 차폐벽을 만들어야 한다. 차폐막을 뚫고 지나가는 상호접속 선로는 전도성 및 방사성 방출을 적당히 감쇠시키고, 피시험기 신호와 전력응답 특성을 유지하도록 주의하여야 한다.

일반적으로 시험시설은, 전기장세기를 적절하게 제어하는 동안 피시험기기를 집어넣기에 충분한 흡수체 정렬 차폐실로 구성된다. 이러한 차폐실의 종류는 그림 2 에 보인 바와 같은 무반사실 또는 수정형 반무반사실 등이 있다. 관련 차폐실에는 전기장 발생장비, 모니터링 장비 및 피시험기기를 시험할 수 있는 장비를 수용하여야 한다.

무반사실은 저주파수 쪽에서는 비효율적이다. 이 저주파수 쪽에서 생성된 전기장의 균일성을 보장하기 위해 특히 주의해야 한다. 기타 보다 상세한 지침을 부록 C에서 보인다.

6.2 전기장의 교정

전기장 교정의 목적은 시험 샘플에 대한 전기장이 시험결과의 유효성을 보증하기에 충분히 균일하다는 것을 확실히 하는데 있다.

KN 61000-4-3은 균일장 영역(그림 3 참조)의 개념을 사용하며, 이 균일장 영역은 그 영역 내에서 전기장의 변화가 허용오차 내로 작은 가상의 수직면이다. 일반 전기장 교정과정에서, 이러한 균일장을 생성하는 시험시설과 시험장비의 성능을 조사한다. 동시에, 내성시험을 위해 요구되는 전기장세기에 대한 데이터베이스를 구하여야 한다. 피시험기기의 각 면이(부속 케이블을 포함하여) 균일장 영역 내에 완전히 포함되어 있으면 전기장 교정이 타당하다고 볼 수 있다.

전기장 교정은 피시험기기 없이 수행된다(그림 3 참조). 이 과정에서, 균일장 영역내의 전기장세기와 안테나에 인가된 전방 전력 사이의 관계를 조사한다. 시험 도중에, 이 관계와 목표 전지장세기로부터 요구된 전방 전력을 계산한다. 여기에 사용된 시험배치를 시험하는 중에 변경하지 않는 한 이 교정은 타당하므로, 이 교정의 배치상황(안테나, 부가 흡수체, 케이블 등)을 기록하여야 한다. 가능한 한, 전기장 생성 안테나와 케이블의 정확한 위치를 기록하는 것이 중요하다. 아주 작은 위치 변동이 전기장 분포에 큰 영향을 주기 때문에, 내성시험에서도 동일한 위치를 사용하여야 한다.

전체 전기장 교정과정은 1년마다, 그리고 시험장 구조(흡수체 재배치, 흡수체 위치 이동, 측정장비 교체 등)를 변경하였을 때 수행하도록 하여야 한다. 각 일련의 시험 전에(8절 참조), 교정의 유효성확인을 점검하여야 한다.

송신안테나는 균일장 영역이 이 송신안테나의 빔폭 내에 충분히 노출될 수 있는 거리에 위치하여야 한다. 전기장 센서는 전기장 발생 안테나로부터 적어도 1 m 떨어져 있어야 한다. 안테나와 균일장 영역 사이에 3 m 거리를 권장한다(그림 3 참조)

이 거리는 바이코니컬 안테나의 중심으로부터 또는 대수주기 안테나, 조합형 안테나의 끝단으로부터, 또는 혼이나 2중 리지드 도파관 안테나의 전면부로부터 측정된 거리이다. 교정 기록과 시험보고서에는 여기서 사용된 거리를 언급하여야 한다.

만약 피시험기기와 그에 부착된 배선들이 보다 좁은 표면 내에서 완전히 전기장에 노출되지 않는다면, 이 균일장 영역의 크기는 바닥 위 0.8 m 높이에 낮은 쪽 모서리를 갖고 적어도 1.5 m × 1.5 m 크기이어야 한다. 이 균일장 영역의 크기는 0.5 m × 0.5 m 보다 작아서는 안 된다. 내성시험 도중에, 피시험기기의 전면부와 균일장 영역 면이 일치하도록 하여야 한다(그림 5, 6 참조)

바닥(기준접지면) 가까이에 있는 피시험기기와 케이블 배선에 대한 시험의 가혹치 레벨을 이루기 위해, 0.4 m 높이에서의 전기장 진폭을 기록하여야 한다. 여기서 구한 데이터를 교정 기록부에 기록하여야 한다. 그러나 이를 시험시설의 적합성 판단이나 교정 데이터베이스에 사용하지는 않는다.

반무반사실의 바닥 반사 때문에, 기준접지면 가까운 높이에서 균일장 영역을 얻는 것이 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 기준접지면에 부가 흡수체를 배치하는 것이 가능하다(그림

2 참조)

균일장 영역을 0.5 m 간격의 그물망 형태로 나눈다(1.5m x 1.5m 균일장 영역의 예로서, 그림 4 참조). 각각의 주파수에서, 격자점들에서 측정된 전기장 진폭이 모든 점들의 75 % 이상에서 공칭값의 -0 dB ~ +6 dB 내에 있으면(예를 들면, 측정된 16개의 점들 중에서 적어도 12 점에서의 값이 허용오차 내에 있으면), 그 전기장을 균일하다고 간주한다. 0.5 m × 0.5 m의 최소 균일장 영역에 대해서는, 모두 4개의 격자점에서 전기장 진폭이 허용오차 내에 있어야 한다.

주1) 다른 주파수에서는, 다른 측정 점들이 허용오차 내에 있을 수 있다.

허용 오차는 전기장 세기가 허용확률을 갖는 공칭값 이하로 떨어지지 않도록 하기 위해 -0 dB ~ +6 dB로 표기되어 왔다. 6 dB의 허용오차는 실제의 측정시설에서 가능한 최소의 오차로 간주된다.

1 GHz까지의 주파수 범위에서, +6 dB ~ +10 dB 이상이고, -0 dB보다는 작지 않은 허용오차는, 실제 허용오차가 시험보고서에 언급되어 있으면 시험주파수의 최대 3 %까지 허용된다. 논쟁이 있을 경우에는, -0 dB ~ +6 dB의 허용오차를 우선으로 한다.

만약 실제 피시험기기의 면이 점유하는 영역이 1.5 m × 1.5 m 보다 크고, 충분한 크기의 균일장 영역을 실현할 수 없으면, 피시험기기의 면이 점유하는 영역을 차례로 노출시켜 시험할 수 있다(“부분 노출 시험방법”)

- 피시험기기의 면이 점유하는 영역을 위의 조합된 균일장 영역에 포함시키기 위해서는, 서로 다른 복사안테나 위치에서 교정하여야 한다. 이때 다음의 두 시험방법 중의 한 방법으로 안테나 각각의 위치에 따라 순서대로 피시험기기를 시험하여야 한다.
- 또는, 피시험기기를 서로 다른 위치로 이동시켜, 시험 중에 한번은 각 일부분이 균일장 영역에 들어오도록 한다.

주2) 각각의 안테나 위치에서 전체 전기장 교정이 필요하다.

아래 표 2에서는 전체노출 시험방법과 부분노출 시험방법의 개념과 적용 장소와 방법을 설명한다.

표 2. 전체노출 시험방법과 부분노출 시험방법, 개별 윈도우법에
대한 균일장 영역의 **요구규격**

주파수 범위	피시험기와 균일장 영역이 맞는 경우, 균 일장 영역 크기와 교정 요구규격 (전체노출 방법, 우선권장 방법)	피시험기와 균일장 영역이 맞지 않는 경 우, 균일장 영역 크기와 교정 요구규격 (부 분노출 방법, 개별 윈도우법, 대체 방법)
1 GHz 이하	최소 균일장 영역 크기 : 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 단계에서 균일장 영역 크기 (예를 들면, 0.5 m x 0.5 m, 0.5 m x 1.0 m, 1.0 m x 1.0 m 등). 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 스텝에서 교정. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 보다 크다면, 교정점들의 75 %가 규격내에 있어야 한다. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 이면, 교정점 들의 100 %가 규격내에 있어야 한다.	최소 균일장 영역 크기 : 1.5 m x 1.5 m 격자 크기 단계에서 균일장 영역 크기 (예를 들면, 1.5 m x 1.5 m, 1.5 m x 2.0 m, 2.0 m x 2.0 m 등). 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 스텝에서 교정. 교정점들의 75 %가 규격내에 있어야 한다.
1 GHz 이상	최소 균일장 영역 크기 : 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 단계에서 균일장 영역 크기 (예를 들면, 0.5 m x 0.5 m, 0.5 m x 1.0 m, 1.0 m x 1.0 m 등). 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 스텝에서 교정. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 보다 크다면, 교정점들의 75 %가 규격내에 있어야 한다. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 이면, 교정점 들의 100 % (4개의 점들 모두)가 규격내에 있어야 한다.	개별 윈도우법 0.5 m x 0.5 m 의 윈도우 (부록 H 참조) 부분노출 방법 1.5 m x 1.5 m 및 0.5 m 증분으로 보다 큰 크기의 윈도우들. (예를 들면, 1.5 m x 2.0 m, 2.0 m x 2.0 m 등). 0.5 m x 0.5 m 격자 크기 스텝에서 교정. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 보다 크다면, 교정점들의 75 %가 규격내에 있어야 한다. 균일장 영역이 0.5 m x 0.5 m 이면, 교정점 들의 100 %가 규격내에 있어야 한다.

만약 본 절의 **요구규격**이 임의의 한계 주파수(1 GHz 보다 높은)까지만 만족할 수 있다면, 예를 들면 안테나의 빔폭이 전체 피시험기기를 노출시키기에 불충분하기 때문에, 이때 이보다 높은 주파수들에서는, 두 번째 대체 방법인 “개별 윈도우법”(부록 H 참조)을 사용할 수 있다.

일반적으로, 무반사실과 반무반사실에서 전기장 교정은 그림 7에 보인 시험배치를 사용하여 수행하여야 한다. 이 교정은 아래에 주어진 단계에 따라 수평과 수직편과 양쪽에서 항상 변조되지 않은 반송파로 수행하여야 한다. 시험 중에 증폭기는 변조 신호를 다룰 수 있어야 하고 포화되지 않아야 한다. 시험 중에 증폭기가 포화되지 않았다는 것을 확인하는 우선 방법은 피시험기에 인가시킬 전기장세기보다 적어도 1.8배 높은 전기장세기로 교정을 수행하는 것이다. 이 교정 전기장세기를 E_c 로 두면, 이 E_c 가 오직 전기장 교정에만 인가시킬 수 있는 값이다. 이때 시험 전기장세기 E_t 는 $E_c/1.8$ 를 넘지 말아야 한다.

주3) 포화를 피하기 위한 또 다른 방법을 사용할 수 있다.

두 가지 서로 다른 교정법을 1.5 m x 1.5 m 균일장 영역 (16 격자점)을 예로서 아래에 설명한다. 이들 두 방법은 동일한 균일장을 제공할 것이다.

6.2.1 일정 전기장세기 교정법

각 특정 주파수에서 그리고 8에서 보인 스텝 간격의 각 16 격자점에서 순서대로(그림 4 참조) 교정된 전기장 센서를 사용하여, 해당 전방전력을 조절하여, 균일장의 일정 전기장세기를 만들고 측정하여야 한다.

선정된 전기장세기를 만들기 위해 필요한 전방전력은 그림 7 에 따라 측정하여야 하며, 각 16 격자점에서 dBm 단위로 기록하여야 한다.

수평과 수직편과 양쪽에서 교정절차는 다음과 같다.

- a) 전기장 센서의 위치는 16 격자점(그림 4 참조) 중 하나에 놓고, 신호발생기 출력의 주파수를 시험 범위 내의 최소주파수에 설정한다(예를 들면 80 MHz)
 - b) 전기장 생성안테나에서 전방전력을 조절하여 얻어진 전기장세기가 요구된 교정 전기장세기 E_c 와 같도록 한다. 이 전방전력을 기록한다.
 - c) 현재의 주파수의 증분을 최대 1 %로 하여 증가시킨다.
 - d) 시험 범위의 최고 주파수를 넘을 때까지 순서대로 다음 주파수까지 단계 b)와 c)를 반복한다. 마지막으로, 최고 주파수에서 단계 b)를 반복한다(예를 들면, 1 GHz)
 - e) 각 격자점에서 단계 a)부터 d)를 반복한다.
- 각각의 주파수에서,
- f) 위로 향한 순서대로 16개의 전방전력 지시치를 크기 순서대로 분류한다.
 - g) 가장 높은 값에서 시작하여, 위 지시치 중에서 최소 11개 지시치가 -6 dB부터 +0 dB의 허용오차 내에 있는지를 조사한다.
 - h) 만약 지시치들이 -6 dB부터 +0 dB의 허용오차 내에 있지 않다면, 처음으로 돌아가서 바로 아래의 지시치에서 출발하여 동일한 과정을 반복한다. (각각의 주파수에 대해 오직 5개의 가능성 밖에 없음에 유의한다.)
 - i) 적어도 12개의 수가 6 dB 내에 있으면 과정을 멈추고, 이들 수 이외의 전방전력을 기록한다. 전방전력을 P_c 라고 둔다.
 - j) 시험시스템(예, 전력 증폭기)이 포화되지 않았음을 확인한다. E_c 를 E_t 의 1.8배로 선정하였다고 가정하면, 각 교정 주파수에서 다음 절차를 수행한다.
 - j-1) 위 단계에서 결정한 바와 같이, 신호발생기 출력을 전방전력 P_c 를 만들기에 필요한 레벨보다 5.1 dB 감소시킨다. (5.1 dB 는 $E_c/1.8$ 과 같은 값이다.)
 - j-2) 안테나에 전달되는 새로운 전방전력을 기록한다.
 - j-3) P_c 에서 단계 j-2)에서 측정된 전방전력을 뺀다. 만약 그 차이가 3.1 dB에서 5.1 dB 사이에 있으면, 이 증폭기는 포화되지 않은 것이며 이 시험시스템은 시험에

적당한 것이다. 만약 그 차이가 3.1 dB 이하이면, 이 증폭기는 포화된 것으로 시험에 적당하지 않은 것이다.

주1) 특정 주파수에서, E_c 와 E_t 의 비가 R dB 이면, 즉 $R=20\log(E_c/E_t)$, 이때 시험전력은 $P_t=P_c-R$ (dB) 이다. 첨자 c 와 t 는 각각 교정(calibration)과 시험(test)를 의미한다. 이 전기장은 8에 따라 변조시킨다.

교정에 대한 예의 설명은 부록 D.4.1 에 주어진다.

주2) 각각의 주파수에서, 사용된 증폭기가 포화되지 않았다는 것을 확인하여야 한다. 이는 증폭기의 1 dB 억제를 조사함으로써 가장 잘 확인할 수 있다. 그러나 증폭기의 1 dB 억제는 시험용 안테나의 임피던스가 50 Ω 와 다를 때 50 Ω 종단으로 확인한다. 시험시스템의 포화는 단계 j)에서 설명한 2 dB 억제점을 확인하여 알 수 있다. 보다 상세한 정보는 부록 D 를 참조한다.

6.2.2 일정 전력 교정법

각 특정 주파수에서 그리고 8절에서 보인 스텝 간격의 각 16 격자점에서 순서대로(그림 4 참조) 교정된 전기장 센서를 사용하여, 해당 전방전력을 조절하여, 균일장의 전기장세기를 만들고 측정하여야 한다.

출발점에서 전기장세기를 만들기 위해 필요한 전방전력은 그림 7 과 그 주에 따라 측정하여야 한다. 모든 16 격자점들에 동일한 전방전력을 인가하여야 한다. 이 전방전력으로 생성된 각 16 격자점의 전기장세기를 기록하여야 한다.

수평과 수직편파 양쪽에서 교정절차는 다음과 같다.

- a) 전기장 센서의 위치는 16 격자점(그림 4 참조) 중 하나에 놓고, 신호발생기 출력의 주파수를 시험 범위 내의 최소주파수에 설정한다.(예를 들면 80 MHz)
 - b) 전기장 생성안테나에서 전방전력을 인가하여 얻어진 전기장세기가 E_c 와 같도록 한다.(시험 전기장이 변조될 것을 고려하여) 이 전방전력과 전기장세기 지시치를 기록한다.
 - c) 현재의 주파수의 증분을 최대 1 %로 하여 증가시킨다.
 - d) 시험 범위의 최고 주파수를 넘을 때까지 순서대로 다음 주파수까지 단계 b)와 c)를 반복한다. 마지막으로, 최고 주파수에서 단계 b)를 반복한다(예를 들면, 1 GHz)
 - e) 다른 격자점 위치에 센서를 이동시킨다. 단계 a)부터 d)에서 사용된 각각의 주파수에서, 단계 b)에서 기록된 해당 주파수의 전방전력을 인가하고 전기장세기 지시치를 기록한다.
 - f) 각 격자점에서 단계 a)부터 d)를 반복한다.
- 각각의 주파수에서,
- g) 위로 향한 순서대로 16개의 전방전력 지시치를 크기 순서대로 분류한다.
 - h) 하나의 전기장세기를 기준으로 선택하여, 이를 기준으로 다른 모든 위치에서의 편차를 dB 단위로 계산한다.
 - i) 가장 낮은 전기장세기 값에서 시작하여, 위 지시치 중에서 최소 11개 지시치가 최소값

의 -6 dB부터 +0 dB 의 허용오차 내에 있는지를 조사한다.

- j) 만약 지시치들이 -6 dB부터 +0 dB 의 허용오차 내에 있지 않다면, 처음으로 돌아가서 바로 아래의 지시치에서 출발하여 동일한 과정을 반복한다. (각각의 주파수에 대해 오직 5개의 가능성 밖에 없음에 유의한다.)
- k) 적어도 12개의 수가 6 dB 내에 있으면 과정을 멈추고, 기준으로서 최소 전기장세기가 얻어지는 위치의 개수를 계산한다.
- l) 이 기준점에서 요구된 전기장세기를 생성하기 위해 필요한 전방전력을 계산한다. 전방전력을 P_c 라고 둔다.
- m) 시험시스템(예, 전력 증폭기)이 포화되지 않았음을 확인한다. E_c 를 E_t 의 1.8배로 선정하였다고 가정하면, 각 교정 주파수에서 다음 절차를 수행한다.
 - m-1) 위 단계에서 결정한 바와 같이, 신호발생기 출력을 전방전력 P_c 를 만들기에 필요한 레벨보다 5.1 dB 감소시킨다. (5.1 dB 는 $E_c/1.8$ 과 같은 값이다.)
 - m-2) 안테나에 전달되는 새로운 전방전력을 기록한다.
 - m-3) P_c 에서 단계 m-2)에서 측정된 전방전력을 뺀다. 만약 그 차이가 3.1 dB에서 5.1 dB 사이에 있으면, 이 증폭기는 포화되지 않은 것이며 이 시험시스템은 시험에 적당한 것이다. 만약 그 차이가 3.1 dB 이하이면, 이 증폭기는 포화된 것으로 시험에 적당하지 않은 것이다.

주1) 특정 주파수에서, E_c 와 E_t 의 비가 R dB 이면, 즉 $R=20\log(E_c/E_t)$, 이때 시험전력은 $P_t = P_c - R$ (dB) 이다. 첨자 c 와 t 는 각각 교정(calibration)과 시험(test)를 의미한다. 이 전기장은 8에 따라 변조시킨다.

교정에 대한 예의 설명은 부록 D.4.2 에 주어진다.

주2) 각각의 주파수에서, 사용된 증폭기가 포화되지 않았다는 것을 확인하여야 한다. 이는 증폭기의 1 dB 억제를 조사함으로써 가장 잘 확인할 수 있다. 그러나 증폭기의 1 dB 억제는 시험용 안테나의 임피던스가 50 Ω 와 다를 때 50 Ω 종단으로 확인한다. 시험시스템의 포화는 단계 j)에서 설명한 2 dB 억제점을 확인하여 알 수 있다. 보다 상세한 정보는 부록 D 를 참조한다.

7. 시험 배치

기기의 모든 시험은 실제 설치된 상태에 가능한 유사한 구성으로 수행해야 한다. 배선은 제조업체에서 추천한 과정에 따라 수행해야 한다. 다른 언급이 없으면, 기기는 모든 케이스와 접근 패널의 하우징 상태로, 제자리에 놓여 있는 상태에 있어야 한다.

장비가 패널, 선반 또는 캐비닛 위에 부착하도록 설계되어졌으면, 그 구성으로 시험해야 한다.

금속 접지면은 필요하지 않다. 시험용 샘플을 지지할 방법이 필요할 때는 비금속성, 비전도성 재질로 해야 한다. 고체 폴리스티렌과 같은 낮은 유전상수(저 유전율)의 재질의 사용을 고려하여야 한다. 그러나 기기의 하우징이나 케이스의 접지는 제조업체가 추천하는 설치요

구규격과 같게 해야 한다.

피시험기기가 바닥설치형과 탁상설치형 부속품으로 구성되어 있으면, 정확한 상대적 위치가 유지되어야 한다.

전형적인 피시험기기 배치방법이 그림 5와 6에 제시되어 있다.

주1) 비전도성 지지물은 피시험기기의 갑작스런 접지와 이로 인한 전기장의 왜곡을 방지하기 위해 사용된다. 후자의 경우를 확실하게 하기 위해, 지지물은 금속성 재질에 절연재를 코팅한 것이 아니라 비전도성 단일 재질물로 하여야 한다.

주2) 보다 높은 주파수에서는(즉, 1 GHz 이상에서), 목재나 유리강화 플라스틱으로 만들어진 테이블이나 지지물이 전자파 반사체가 될 수 있다. 따라서 전기장 교란을 피하고 전기장 균일성을 유지하기 위해 고체 폴리스티렌과 같은 낮은 유전상수(저 유전율)의 재질을 사용하여야 한다.

7.1 탁상설치형 기기의 배치

피시험기기를 시험시설 내에 있는 0.8 m 높이의 비전도성 테이블 위에 놓는다.

적당한 설치 지침에 따라 이 기기를 전력선과 신호선에 연결한다.

7.2 바닥설치형 기기의 배치

바닥설치형 기기는 지지면 위로 0.05 m부터 0.15 m 의 비전도성 지지물에 올려야 한다. 비전도성 지지물을 사용하면 갑작스런 피시험기기의 접지와 이로 인한 전기장의 왜곡을 방지하게 된다. 후자의 경우를 확실하게 하기 위해, 지지물은 금속성 재질에 절연재를 코팅한 것이 아니라 비전도성 단일 재질물로 하여야 한다. 0.8 m 정도 높이의 지지물 위에 놓을 수 있는 바닥설치형 기기, 즉 너무 크거나 무겁지 않고 또 그의 높이가 안전에 위해를 주지 않으면, 그대로 배치할 수 있다. 표준시험 방법과 다른 점들을 시험보고서에 기록해야 한다.

주) 비전도성 물러를 0.05 m부터 0.15 m 지지물로 사용할 수 있다.

다음에, 관련 설치 지침에 따라 이 기기를 전력선과 신호선에 연결한다.

7.3 배선의 배치

피시험기기에는 케이블을 부착하여야 하며, 제조업체의 설치 지침에 따라 시험장에 정렬시켜야 하며, 대표적인 설치를 복제하고 가능한 한 많이 사용하여야 한다.

제조업체에서 규정한 배선 방법과 조건을 사용하여야 한다. 피시험기기 사이의 배선 방법이 규정되어 있지 않으면, 차폐되지 않은 평행 도선을 사용해야 한다.

제조업체 규격이 3 m 이하의 배선을 요구한다면, 규정된 길이를 사용해야 한다. 규정된 길이가 3 m 이상이거나 규정되어 있지 않으면, 사용되는 케이블 길이는 대표적인 실제 설치

에 따라 선택하여야 한다. 가능하면 최소 1 m 길이의 케이블을 전자파에 노출시킨다. 피시험기기의 유니트들을 상호접속하는 케이블의 초과된 여분의 길이는 유도성이 되지 않도록 케이블의 중간부분에서 30 cm에서 40 cm 정도의 다발로 묶어 둔다.

만약 EMC 기준전문위원회에서 초과된 여분의 케이블 길이가 감결합될 필요가 있다고 결정하면(예를 들면, 시험영역 밖으로 나가는 케이블들), 이때 사용된 감결합 방법은 피시험기기의 동작에 방해가 되지 말아야 한다.

7.4 인체부착형 기기의 정렬

인체부착형 기기는 탁상설치형 기기와 동일한 방법으로 시험할 수 있다. 그러나 이것은 인체의 특성이 고려되지 않았기 때문에 과도한 시험이나 부족한 시험이 될 수 있다. 이러한 이유로 적절한 유전체 특성을 갖는 인체 시뮬레이터의 사용을 규정하기 위해 EMC 기준전문위원회에 권고되어야 한다.

8. 시험 절차

시험절차에는 다음 사항을 포함한다

- 시험실 기준조건의 유효성확인
- 기기의 정확한 동작의 예비 유효성확인
- 시험의 수행
- 시험결과에의 평가

8.1 시험실 기준조건

시험결과에의 환경 파라미터 영향을 최소화하기 위해, 8.1.1 과 8.1.2에서 규정한 바와 같이 기 후 및 전자파 기준조건에 따라 시험을 수행하여야 한다.

8.1.1 기후조건

일반 표준규격 또는 제품 표준규격에 책임이 있는 위원회가 달리 규정하지 않는다면, 시험실의 기후조건은 피시험기기와 시험장비 각각의 제조업체가 이들 동작을 위해 규정된 허용한계 내에 있어야 한다.

만약 상대습도가 너무 높아 피시험기기와 시험장비에서 수분 응결이 발생하면, 시험을 수행하지 말아야 한다.

주) 이 시험방법에 포함된 현상들의 영향이 기후조건에 의한 영향이라는 충분한 증거가 있는 경우에는, 이 시험방법에 책임이 있는 위원회의 주의를 주지하여야 한다.

8.1.2 전자파 조건

시험실의 전자파 조건은 시험결과에 영향을 주지 않도록 피시험기기의 정확한 동작을 보장하여야 한다.

8.2 시험의 수행

기술 규격에 정의된 바와 같이 피시험기기 성능의 유효성확인을 포함하여야 하는 시험계획을 기초로 시험을 수행하여야 한다.

정상 동작조건 하에서 피시험기기를 시험하여야 한다.

시험계획에서는 다음을 규정한다.

- 피시험기기의 크기
- 피시험기기의 대표적인 동작조건
- 피시험기기를 탁상설치형 또는 바닥설치형, 또는 이들의 조합 방법 중에서 어느 쪽으로 시험할지의 방법
- 바닥설치형 기기인 경우에, 지지물의 높이
- 사용될 시험시설의 유형과 복사안테나의 위치
- 사용될 안테나의 유형
- 주파수 범위, 체재시간 및 주파수 스텝
- 균일장 영역의 크기와 모양
- 부분노출 방법의 사용 여부
- 인가되는 시험레벨
- 사용된 상호접속 케이블 및 연결되어야 하는 인터페이스 포트(피시험기기의)의 유형과 개수
- 허용가능한 성능기준
- 피시험기기를 동작시키기 위해 사용된 방법의 설명

이 절에서 설명되는 시험절차는 6절에서 정의된 바와 같이 전기장 생성 안테나의 사용에 대한 것이다.

교정된 전기장세기의 정도를 시험하기 전에, 교정에서 얻어진 값들을 사용하여 시험 전기장을 생성시킬 수 있다. (6.1 참조)

피시험기기는 처음에 교정 면과 일치하는 한 면에 위치시킨다. 전기장에 노출되는 피시험기기의 면은 부분노출 방법을 적용하지 않는다면 균일장 영역 내에 있어야 한다. 전기장 교정과 부분노출 방법에 대해서는 (6.2 참조)

필요한 경우에 무선주파수 신호레벨을 조절하거나 또는 발진기 및 안테나를 교환하기 위해

잠깐 멈추는 경우를 제외하고, 5.1과 5.2에 따라 시험 주파수범위 상에서 변조 신호로 소인하여야 한다.

주파수범위 상에서 충분하면서 소인하는 경우에, 스텝 크기는 전단계 주파수 값의 1 % 를 넘지 말아야 한다.

각각의 주파수에서 진폭변조 반송파의 체재시간은 피시험기기가 동작하고 응답하는데 필요한 시간보다 길어야 하며, 어떤 경우에도 0.5 s 이하가 되어서는 안된다. 민감한 주파수들(예, 클럭 주파수)에서는 제품 표준규격의 요구규격에 따라 개별적으로 분석하여야 한다.

피시험기기의 각 면을 지향하는 안테나로 정상적으로 시험을 수행하여야 한다. 서로 다른 방향(예, 수직과 수평)에서 기기를 사용할 수 있는 경우에는, 시험 중에 모든 면을 전기장에 노출시켜야 한다. 기술적으로 정당한 경우에, 어떤 피시험기기는 몇 개의 면만 안테나에 노출시킬 수 있다. 기타의 경우에, 피시험기기의 유형과 크기 또는 시험주파수로 예를 들어 결정된 바와 같이 4개 이상의 방위각 방향의 면을 노출시킬 필요가 있을 수도 있다.

주1) 피시험기기의 전기적 크기가 증가할 경우에, 그 안테나 패턴의 복잡성도 역시 증가한다. 안테나 패턴의 복잡성은 최소의 내성을 결정하기 위해 필요한 시험 방향 수에 영향을 줄 수 있다.

주2) 만약 피시험기기가 몇 개의 부품으로 구성된다면, 서로 다른 면으로부터 피시험기기를 노출시키는 동안에 피시험기기 내에 있는 각 부품의 위치를 수정할 필요는 없다.

각 안테나에 의해 발생된 전기장 편파로 인해 각 면에 대해 두 번의 시험이 필요하다. 한 번은 안테나를 수직으로 세워서, 다시 한 번은 안테나를 수평으로 세워서 수행한다.

시험을 하는 동안 피시험기기가 충분히 동작하도록 시도해야 한다. 그리고 내성시험을 위해 선정된 모든 임계 동작모드에 대하여 조사해야 한다. 특별한 동작 프로그램을 사용하는 것을 권장한다.

9. 시험결과의 평가

시험결과는, 제조업체 또는 시험 요청자에 의해 정의된 또는 제조업체와 구매자 사이에 합의된 성능레벨에 대하여 피시험기기의 기능상실 또는 성능저하의 향으로 분류하여야 한다. 권장되는 분류 방법은 다음과 같다:

- 가) 제조자, 요청자 또는 구매자에 의해 규정된 허용기준 내의 정상 성능
- 나) 방해(방전의 인가)가 중단된 후, 운용자의 개입 없이도 일시적 기능 손실이나 성능저하가 멈추며, 피시험기기의 정상성능이 회복되는 경우
- 다) 운용자가 개입하여 일시적 기능 손실이나 성능저하가 바로 잡히는 경우
- 라) 기능손실이나 성능저하가 회복될 수 없고, 이로 인해 하드웨어 또는 소프트웨어가 손상되고 데이터의 손실이 일어나는 경우

제조자의 규격에는 무시할 수 있다고 생각되는 피시험기기에의 영향을 정의할 수 있으며, 이러한 경우는 합격으로 간주한다.

이 분류 방법은, 일반기준, 제품기준 및 제품군 기준에 책임이 있는 위원회에 의해 성능기준을 형식화하는 지침으로서, 또는 제조자와 구매자 사이의 성능기준을 합의하기 위한 기본틀로서 사용할 수 있다. 예를 들면, 일반기준, 제품기준 및 제품군 기준이 존재하지 않는 경우에 사용할 수 있다.

10. 시험 보고서

시험 보고서에는 시험을 재현하기에 필요한 모든 정보가 포함되어 있어야 한다. 특히 다음 사항이 기록되어 있어야 한다.

- 이 시험방법의 8절에서 요구되는 시험계획에서 규정된 항목들
- 피시험기와 관련 기기의 확인, 예를 들면, 상표명, 제품형식, 생산일련번호
- 시험장비의 확인, 예를 들면, 상표명, 제품형식, 생산일련번호
- 시험이 수행된 특별한 환경조건, 예를 들면, 차폐함체
- 시험을 수행하기 위한 어떤 특별한 조건
- 제조자, 요청자 또는 구매자에 의해 정의된 성능레벨
- 일반규격, 제품규격 및 제품군 규격에 규정된 성능기준
- 시험 방해(방전)을 인가하는 동안 또는 인가 후에 관측되는 피시험기기에의 영향 정도와 이 영향이 유지되는 기간
- 적합/부적합 판정에 대한 합리적인 근거 (일반기준, 제품기준 및 제품군 기준에서 규정된 성능기준에 근거하여 또는 제조자와 구매자 사이의 합의에 근거하여)
- 적합성을 얻기 위해 필요한 특정 사용조건, 예를 들면, 케이블 길이 또는 유형, 차폐 또는 접지, 피시험기기의 동작 조건

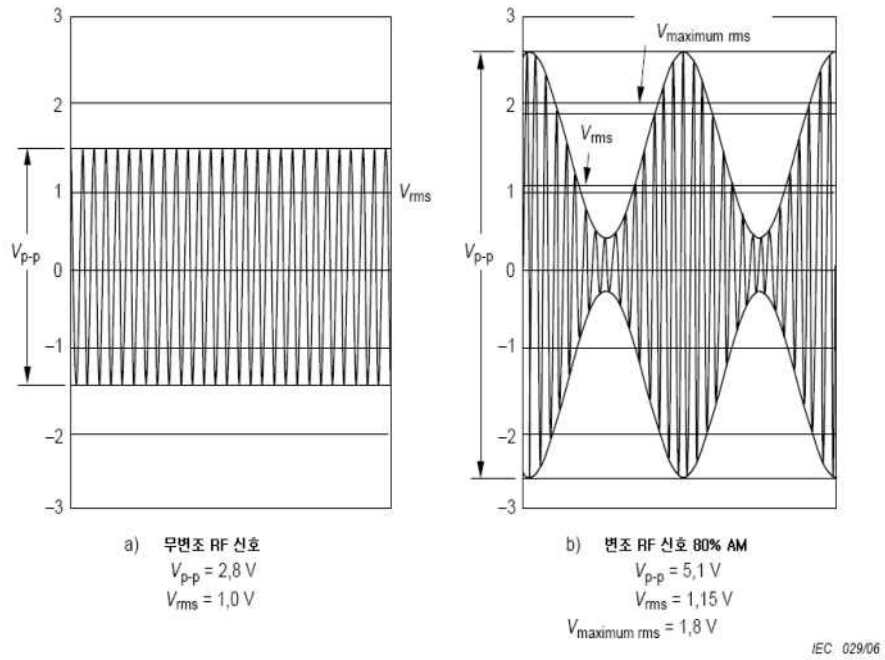
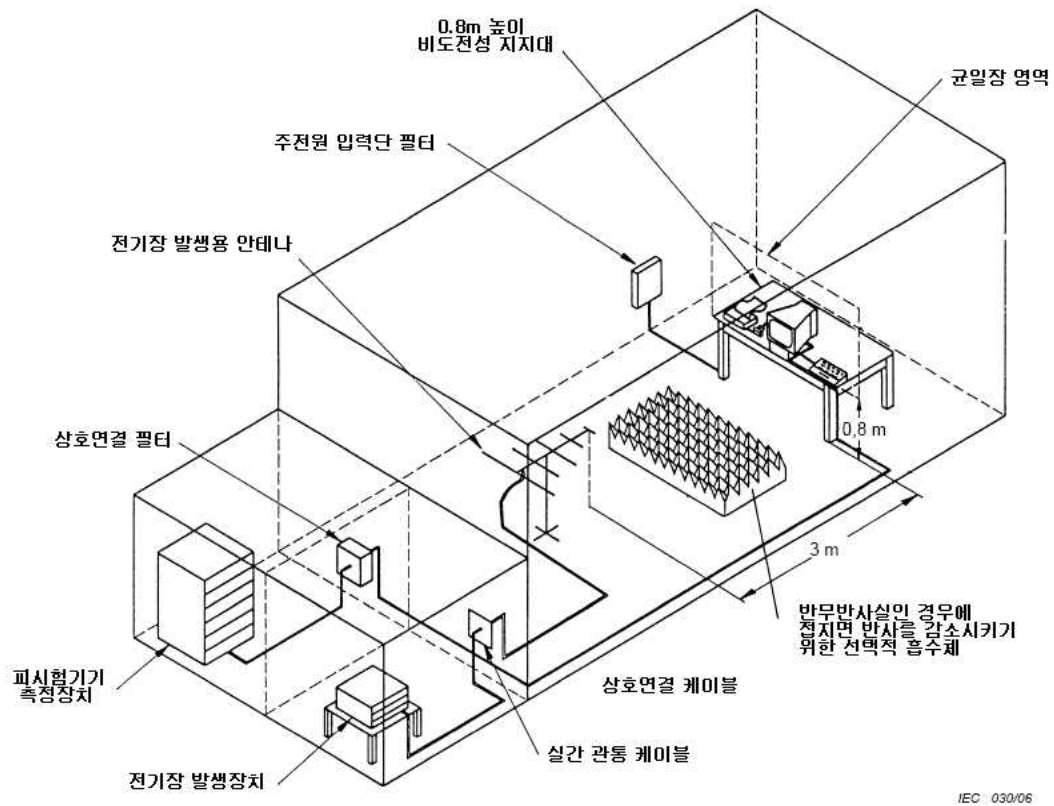


그림 1. 신호발생기 출력에서 발생하는 시험레벨과 파형의 정의



주) 벽면과 천정에 부착된 흡수체는 그림에서 생략하였다.

그림 2. 적절한 시험시설의 예

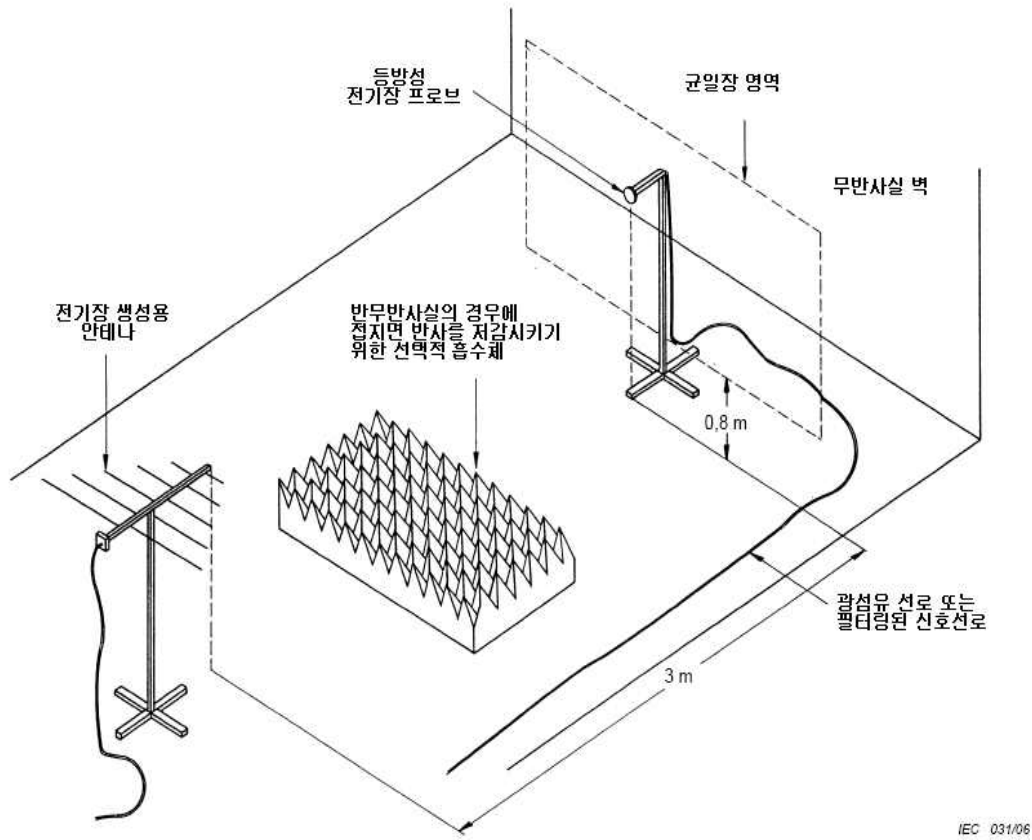


그림 3. 전기장 교정

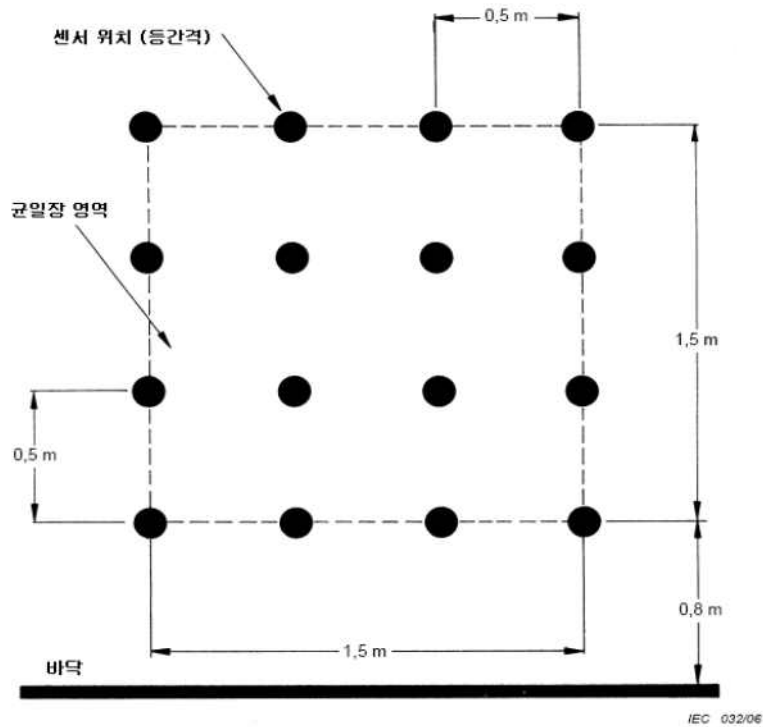
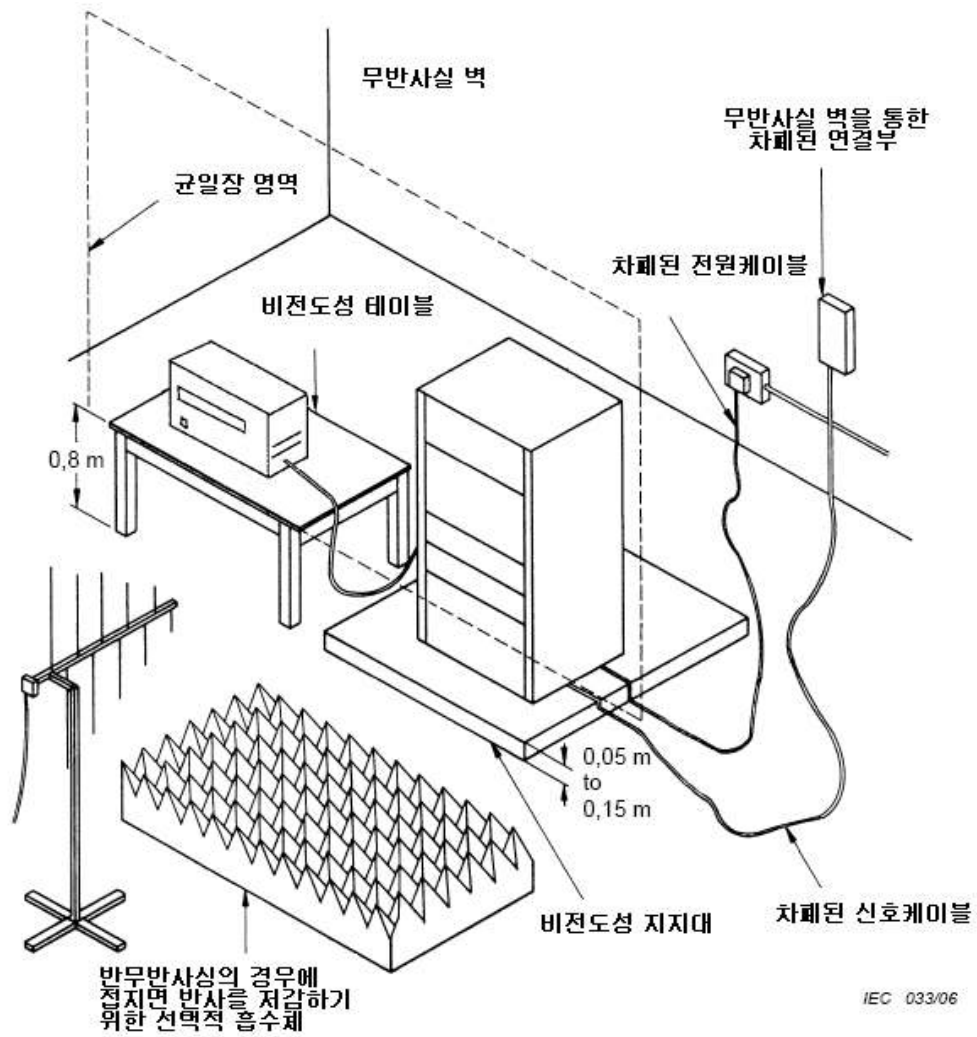


그림 4. 전기장 교정, 균일장 영역의 크기



주) 벽면에 부착된 흡수체는 그림에서 생략하였다.

그림 5. 바닥설치형 기기의 시험배치 예

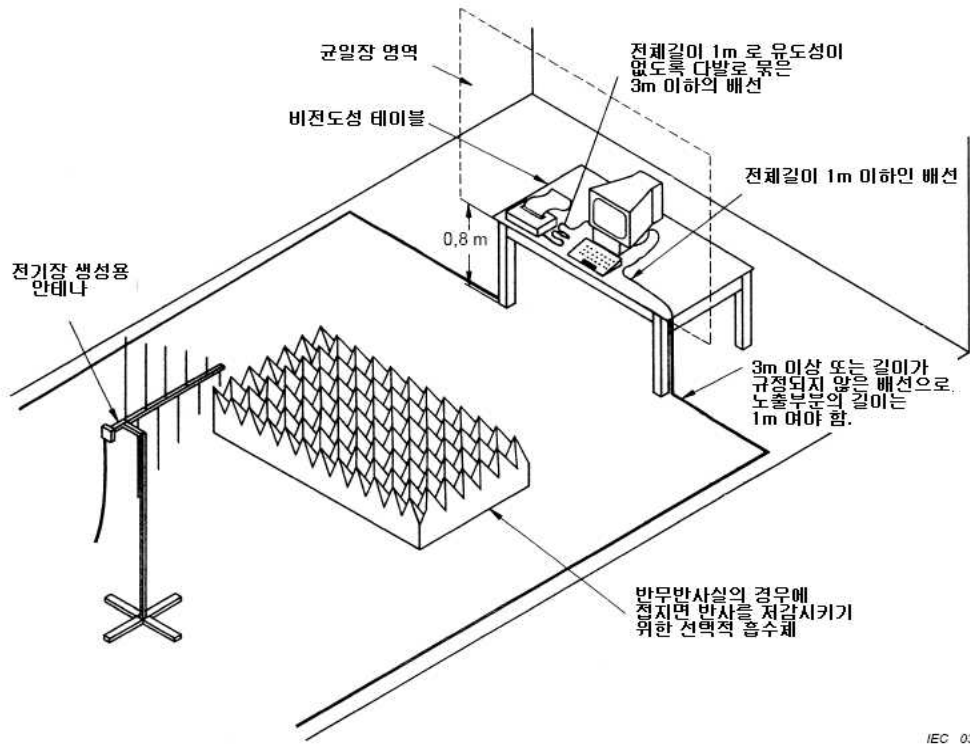
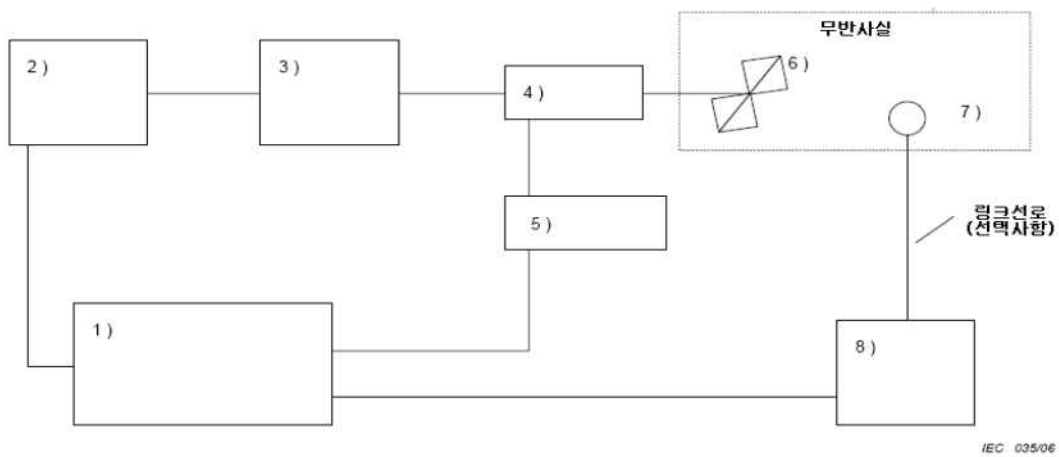


그림 6. 탁상설치형 기기의 시험배치 예



- | | |
|-------------------|---------------|
| 1) 제어장치, 예를 들면 PC | 2) 신호발생기 |
| 3) 전력 증폭기 | 4) 방향성 결합기 주) |
| 5) 측정장비 주) | 6) 송신안테나 |
| 7) 전기장 센서 | 8) 전기장 측정기 |

주) 방향성 결합기와 전력측정기는 증폭기 3)과 안테나 6) 사이에 전방 전력 탐지기 또는 모니터를 삽입하여 대체할 수 있다.

그림 7. 측정 배치

부록 A

(정보)

디지털 무선전화기의 무선주파수 방출 방호 관련 시험을 위한 변조 선택방법의 이론적 근거

A.1 이용 가능한 변조 방법의 요약

800 MHz 이상에서 주요 위해 요소는 일정치 않은 포락선 변조를 사용하는 디지털 무선전화기로부터 발생된다. 이 시험방법을 작성하는 동안에 전자파에 대한 다음의 변조방법들을 고려하였다.

- 정형파 진폭변조, 1 kHz 율에서 80 % AM
- 구형파 진폭변조, 1:2 동작주기, 200 Hz 율에서 100 % AM
- 개개의 시스템의 특성을 근사적으로 모사하는 무선주파수 펄스신호, 예를 들면, GSM에 대해 200 Hz에서 1:8 동작주기(Duty cycle), 휴대용 DECT에 대해 100 Hz에서 1:24 동작주기 등 (GSM과 DECT의 정의는 부록 G 를 참조)
- 개개의 시스템의 특성을 정확히 모사하는 무선주파수 펄스신호, 예를 들면, 200 Hz에서의 1:8 동작주기를 갖는 GSM에 대해서, 불연속 전송모드(2 Hz 변조 주파수)와 같은 이차효과 및 다중 프레임 효과(8 Hz 주파수 성분)

각각의 시스템의 장점은 표 A.1에 요약되어 있다.

표 A.1. 변조방법의 비교
(GSM과 DECT의 정의는 부록 G 를 참조)

변조 방법	장점	단점
정현파 AM	<ol style="list-style-type: none"> 1. 최대 실효값 레벨이 동일하게 유지되면, 서로 다른 유형의 변동 포락선 변조의 방해효과 사이에는 양호한 상관관계가 만들어질 수 있음이 실험을 통해 알려져 있다. 2. TDMA 펄스의 상승시간을 규정할(그리고 측정할) 필요가 없다. 3. 이 표준규격과 KN 61000-4-6에서 사용된다. 4. 전기장 발생원과 모니터링 장치는 이미 이용가능하다. 5. 아날로그 음성장치의 경우에, 피시험기기에서의 복조는 음성 응답을 발생시키고, 이것은 협대역 레벨 미터로 측정할 수 있으며, 따라서 배경잡음을 감소시킨다. 6. 이 변조방법은 저주파에서 다른 변조 방법(예를 들면, 주파수 변조, 위상 변조, 펄스 변조)의 효과를 모사하는데 효과적 인 것으로 이미 알려져 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. TDMA를 모사할 수 없다. 2. 2차 규칙 수신기에 대해서 약간의 초과시 험 3. 몇몇 불합격 메카니즘을 놓칠 수 있다.
구형파 AM	<ol style="list-style-type: none"> 1. TDMA와 유사 2. 전세계적으로 적용 가능하다. 3. 알려지지 않은 (무선주파수 포락선의 큰 변화율에 민감한) 불합격 메커니즘을 찾아낼 수도 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. TDMA를 정확히 모사할 수 없다. 2. 신호를 발생시키기 위해서 비표준 장비가 필요하다. 3. 피시험기기에서의 복조는 광대역 음성 응답을 발생시키고, 이것은 협대역 레벨 미터로 측정하여야 하며, 따라서 배경잡음이 증가한다. 4. 상승시간을 규정할 필요가 있다.
무선 주파수 펄스	<ol style="list-style-type: none"> 1. TDMA 의 모사가 양호함. 2. 알려지지 않은 (무선주파수 포락선의 큰 변화율에 민감한) 불합격 메커니즘을 찾아낼 수도 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 신호를 발생시키기 위해서 비표준 장치를 필요로 한다. 2. 변조의 세부사항은 개개의 다른 시스템(예를 들면, GSM, DECT 등)에 맞추기 위해서 변경할 필요가 있다. 3. 피시험기기에서의 복조는 광대역 음성 응답을 발생시키고, 이것은 협대역 레벨 미터로 측정하여야 하며, 따라서 배경잡음이 증가한다. 4. 상승시간을 규정할 필요가 있다.

A.2 실험 결과

방해신호를 위해 사용되는 변조방법과 발생된 방해 사이의 상관관계를 평가하기 위한 일련의 실험이 행해졌다.

시험된 변조방법은 다음과 같다.

- a) 1 kHz에서 80 % AM 정형파
- b) 200 Hz에서 동작주기가 1:8인 “GSM과 같은” 무선주파수 펄스
- c) 100 Hz에서 동작주기가 1:2인 “DECT와 같은” 무선주파수 펄스 (기지국)
- d) 100 Hz에서 동작주기가 1:24인 “DECT와 같은” 무선주파수 펄스 (휴대용)

결과는 표A.2와 A.3에 요약되어있다.

표 A.2. 상대 방해레벨 ^{주1)}

변조방법 ^{주2)}		1 kHz에서 AM 80 % 정형파 [dB]	200 Hz에서 동작주기(duty cycle)가 1:8인 “GSM과 같은” 경우 [dB]	100 Hz에서 동작주기가 1:24인 “DECT와 같은” 경우 [dB]
↓ 장치	↓ 음성 응답			
보청기 ^{주3)}	비가중치 21 Hz ~ 21 kHz	0 ^{주4)}	0	-3
	A-가중치	0	-4	-7
아날로그 전화 세트 ^{주5)}	비가중치	0 ^{주4)}	-3	-7
	A-가중치	-1	-6	-8
라디오세트 ^{주6)}	비가중치	0 ^{주4)}	+1	-2
	A-가중치	-1	-3	-7

주1) “음성응답 대 방해”가 방해레벨이다. 방해레벨이 낮다는 것은 내성레벨이 높음을 의미한다.
주2) 중요: 방해신호(노출)의 최대 **실효값**(3절 참조)가 모든 변조방법에서 동일하도록 반송파 진폭을 조절한다.
주3) 노출은 900 MHz의 입사 전자파로 만들어진다. DECT와 같은 변조방법에 대한 동작주기는 1:24 대신에 1:2 이다. 음성 응답은 0.5 m PVC 튜브를 통해 연결된 인공 귀로 측정된 음향 출력이다.
주4) 이 경우가 기준 음성 응답으로 선택된다. 즉 0 dB.
주5) 노출은 900 MHz에서 전화선에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다. 음성 응답은 전화선로에서 측정된 음성 주파수 전압이다.
주6) 노출은 900 MHz에서 주전원 케이블에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다. 음성 응답은 마이크로폰으로 측정된 확성기의 음성 출력이다.

표 A.3. 상대 내성레벨^{주1)}

변조 방법 ^{주2)}		1 kHz에서 AM 80 % 정현파 [dB]	200 Hz에서 동작주 기가 1:8인 “GSM과 같은” 경우 [dB]	100 Hz에서 동작 주기가 1:24인 “DECT와 같은” 경우 [dB]
↓ 장비	↓ 응답			
TV 세트 ^{주3)}	눈에 띄는 방해	0 (주 4)	-2	-2
	강한 방해	+4	+1	+2
	화면 소멸	~ +19	+18	+19
RS232 인터페이스를 갖는 데이터 단말기 ^{주5)}	비디오 영상에서 방해	0 ^{주4)}	0	-
	데이터 오류	> +16	> +16	-
RS232 모뎀 ^{주6)}	데이터 오류 (전화 인터페이스에 주 입된 경우)	0 ^{주4)}	0	0
	데이터 오류 (RS232 인터페이스에 주입된 경우)	> +9	> +9	> +9
시험인증기관의 전원공급장치 ^{주7)}	직류 출력전류의 2 % 오류	0 ^{주4)}	+3	+7
SDH 크로스 커넥터 ^{주8)}	비트 에러 임계치	0 (주 4)	0	-

주1) 표의 숫자들은 모든 변조에 대해서 같은 정도의 방해를 발생시키기 위해 필요한 방해 신호(노출)의 최대 **실효값** 레벨(3절 참조)의 상대적 척도이다. 데시벨 값이 높으면 내성이 높음을 의미한다.

주2) 모든 변조방법에서 동일한 응답(방해)이 나타나도록 방해신호를 조절한다.

주3) 노출은 900 MHz에서 주전원 케이블에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다. 화면 상에 발생된 방해 정도가 응답특성이다. 다른 경우에는 방해 패턴이 달라지므로 평가는 다소 주관적이다.

주4) 이 경우가 기준 내성레벨로 선택된다. 즉, 0 dB.

주5) 노출은 900 MHz에서 RS232에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다.

주6) 노출은 900 MHz에서 전화기 또는 RS232에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다.

주7) 노출은 900 MHz에서 직류 출력 케이블에 주입된 무선주파수 전류로 이루어진다.

주8) SDH= 동기 디지털 계층(Synchronous digital hierarchy). 노출은 935 MHz의 입사 전자파로 이루어진다.

디지털 장비의 다음 항목들을 30 V/m 까지의 전기장 세기로 정현파 AM, 펄스변조(동작주기 1:2)를 사용하여 시험한다.

- 마이크로프로세서로 제어되는 핸드 드라이어
- 75 Ω 동축케이블의 2 Mb 모뎀
- 125 Ω 라선쌍 케이블의 2 Mb 모뎀
- 마이크로프로세서, 비디오 디스플레이 및 RS485 인터페이스가 있는 산업용 제어장치
- 마이크로프로세서가 있는 열차용 디스플레이 시스템
- 모뎀 출력이 있는 신용카드 단말기
- 2/34 Mb 디지털 멀티플렉서
- 이더넷 중계기 (10 Mb/s)

모든 불합격은 장비의 아날로그 기능과 관련된다.

A.3 2차 변조 효과

디지털 무선전화시스템에 사용된 변조를 정확히 모사하려 할 때, 주 변조를 모사하는 것뿐만 아니라 나타날 수 있는 모든 2차변조의 효과를 고려하는 것이 중요하다.

예를 들면, GSM과 DCS 1800에서 버스트 120 ms(따라서 약 8 Hz의 주파수 성분을 만들어냄)의 억압에 의한 멀티 프레임 효과가 있다. 또한 임의의 불연속 전송(DTX) 모드로부터 2 Hz의 부가 변조가 있을 수 있다.

A.4 결론

연구 사례로부터 알 수 있는 것은, 시험된 항목들이 사용된 변조방법과 무관하게 방해에 응답하였다는 것이다. 서로 다른 변조방법들의 효과를 비교할 때, 방해신호의 최대 **실효값** 레벨과 같은 값을 사용하는 것이 중요하다.

다른 변조방법의 효과들 사이에 현저한 차이가 존재하면, 항상 정현파 AM의 인가가 가장 가혹하다.

정현파 변조와 TDMA에 대해 서로 다른 응답특성들이 관찰되면, 제품특성 차이는 제품규격 내의 적합성 기준을 적절히 조정하여 교정될 수 있다.

요약하며, 정현파 변조의 장점은 다음과 같다.

- 아날로그 시스템에서의 협대역 검파 응답특성이 배경잡음 문제를 감소시킴
- 일반적인 적용성, 즉, 방해 신호원의 작용을 모사할 어떤 필요도 없음
- 모든 주파수에서 동일한 변조
- 항상, 적어도 펄스변조만큼 가혹하다.

위에 언급된 이유들로, 이 규격에서 정의된 변조방법은 80 % AM 정현파이다. 오직 다른 형태의 변조방법이 필요한 특별한 이유가 있으면, EMC 기준전문위원회에서 변조방법을 바꿀 것을 권장한다.

부록 B
(정보)
전기장 발생 안테나

B.1 바이코니컬 안테나

이 안테나는 동축 밸런스로 구성되어 있고 송신과 수신 양쪽 다 사용할 수 있는 광대역을 제공하는 3차원 구조이다. 안테나 인자 곡선은 기본적으로 주파수에 비례하여 증가하는 완전한 곡선이다.

이 안테나는 크기가 소형이므로 근접 효과가 최소화되는 무반사실과 같은 제한된 영역에서 이상적이다.

B.2 대수주기 안테나

대수주기 안테나는 전송선로에 연결된 길이가 서로 다른 다이폴의 배열이다.

이 광대역 안테나는 상대적으로 높은 이득과 낮은 전압 정재파비를 갖는다.

전기장 생성을 위해 이 안테나를 선정하는 경우에, **발룬**이 필요 전력을 다룰 수 있도록 만들어야 한다.

B.3 혼안테나와 이중 리지드 도파관(Double ridged waveguide) 안테나

혼안테나와 이중 리지드 도파관 안테나는 선형 편파의 전자파를 발생시키며, 1000 MHz 이상의 주파수에서 일반적으로 사용된다.

부록 C (정보) 무반사실의 사용

C.1 일반 무반사실에 대한 정보

반무반사실은 벽과 천장에만 전자파 흡수체를 부착한 차폐실이다. 무반사실은 바닥면에도 흡수체를 부착한 경우이다.

흡수체 부착의 목적은 무선주파수 에너지를 흡수하여 무반사실 내로 다시 되돌아오는 반사파를 막기 위함이다. 이러한 반사는 직접 복사된 전기장과 간섭이 복잡하게 일어나므로 전기장세기의 공간 정재파를 형성하게 된다.

흡수체의 반사손실은 일반적으로 입사파의 주파수와 수직 방향의 입사각에 따라 다르다. 이 손실(흡수)은 수직 입사시 가장 크고, 입사각이 증가할수록 감소한다.

반사를 줄이고 흡수를 강화하기 위해 흡수체 구조는 썰기구조나 원뿔형으로 만든다.

반무반사실은 바닥에 추가적인 무선주파수 흡수체를 부착하여 전체 주파수 영역에서 균일한 전기장 특성을 얻는데 도움을 준다. 실험을 통하여 가장 최적의 부착위치를 결정한다.

안테나로부터 피시험기기까지의 직접 노출경로 상에 부가 흡수체를 놓지 말아야 한다. 그러나 교정과정 중에 사용된 것과 동일한 위치와 방향에 놓아야 한다.

전기장 발생 안테나를 무반사실의 축과 벗어나도록 위치시켜 모든 반사파가 서로 대칭이 되지 않도록 하여 균일장을 개선할 수 있다.

무반사실은 저주파수 쪽(30 MHz 이하)에서 효과적이지 않다. 반면에 페라이트 흡수체 정렬 무반사실은 1 GHz 이상의 고주파수 쪽에서 효과적이지 않다. 따라서 낮은 쪽과 높은 쪽 주파수들에서 균일장 생성에 주의를 기울여야 하며, 무반사실을 개선할 필요가 있다

C.2 1 GHz 이상 주파수에서 사용하기 위해 제안된 조절방법의 채택

1 GHz까지 주파수에서 사용하기 위해 설계된 페라이트 정렬 무반사실

페라이트 흡수체를 사용하는 기존의 모든 소형 무반사실은 대부분이 1 GHz 주파수까지에서 사용하도록 설계되었다. 따라서 이 시험방법의 6.2의 균일장 **요구규격**을 만족하는 것이 어렵거나 불가능할 수 있다.

본 절에서는 부록 H에서 설명된 방법을 사용하여 1 GHz 이상에서 시험 무반사실로 채택할 수 있는 절차에 대한 정보를 제공한다.

C.2.1 1 GHz 이상 주파수에서 방사성 전기장 내성시험을 위한 페라이트 정렬 무반사실의 사용으로 야기된 문제

예를 들면, 아래 설명한 문제가 페라이트 정렬 무반사실에서, 또는 페라이트와 탄소흡수체를 조합시킨 소형 무반사실(일반적으로 7 m 길이 x 3 m 폭 x 3 m 높이)에서 일어날 수 있다.

1 GHz 이상에서, 페라이트 타일은 일반적으로 흡수체이기보다는 반사체로 동작한다. 무반사실 내부 면으로부터의 다중 반사들로 인해 이 주파수에서 1.5 m x 1.5 m 영역 상의 균일장을 만드는 것이 매우 어렵다(그림 C.1 참조).

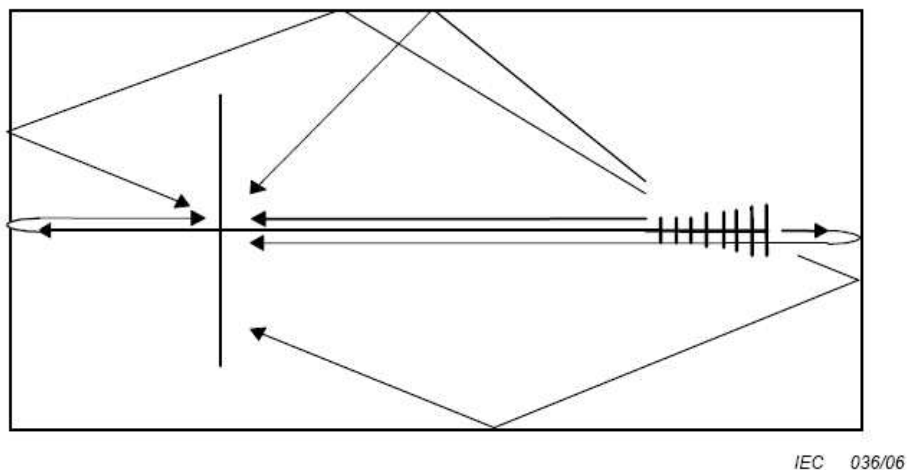


그림 C.1. 소형 무반사실 내에 존재하는 다중반사

무선전화 대역 주파수에서, 파장은 0.2 m 이하이다. 즉, 시험결과가 전기장 생성안테나와 센서 또는 피시험기기의 위치에 따라 매우 민감하다는 것을 의미한다.

C.2.2 가능한 해법

이 문제를 해결하기 위해, 다음 절차를 제안한다.

- 후방복사 전기장을 감소시키기 위해 혼안테나나 이중 리지드 도파관 안테나를 사용한다. 이로 인해 안테나 빔폭이 좁기 때문에 무반사실의 측벽으로부터 반사가 줄어든다.
- 측벽에서 반사를 최소화하기 위해 송신안테나와 피시험기기 사이의 거리를 줄인다(안테나와 피시험기기 사이의 거리를 1 m 까지 줄일 수 있다). 피시험기기가 균일장에 확실하게 노출되도록 0.5 m x 0.5 m 의 개별 윈도우법(부록 H 참조)을 사용한다.
- 직접 반사를 줄이기 위해 피시험기기 후방 벽에 중간 부하의 탄소흡수체를 부착한다. 이로 인해 피시험기기와 안테나 위치에 대한 시험 민감성이 줄어든다. 또한 1 GHz 이하 주파수에서의 균일장을 개선할 수 있다.

주) 높은 부하특성의 탄소흡수체를 사용하면, 1 GHz 이하에서 균일장 요구구역을 만족시키기 어려워

진다.

위의 절차를 따르면 대부분의 반사파를 제거할 수 있다(그림 C.2 참조).

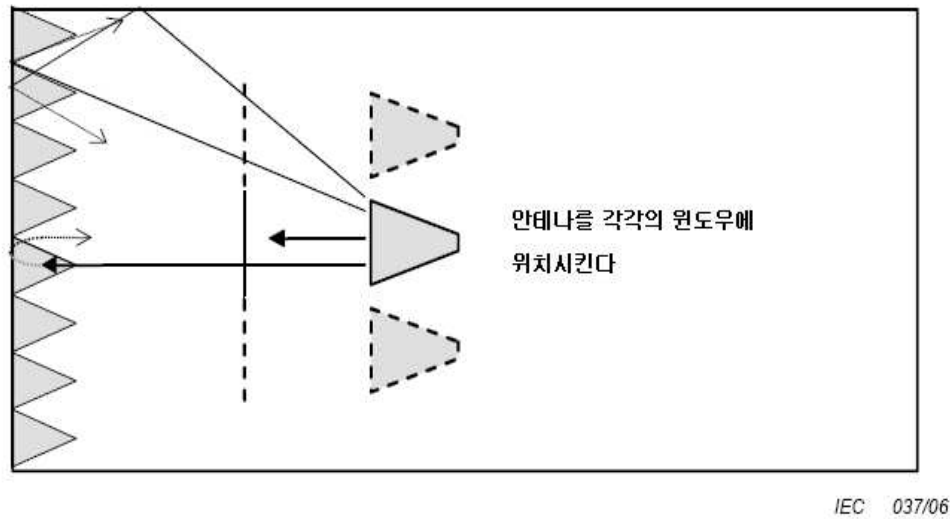


그림 C.2. 반사파의 제거

부록 D

(정보)

증폭기 비선형성과 6.2에 따른 교정절차 예

D.1 증폭기 왜곡 제한의 목적

전기장세기의 불확도에 가장 큰 영향을 미치는, 충분히 낮은 레벨에서도 증폭기 비선형성을 유지시키는 것이 목적이다. 따라서 증폭기의 포화효과를 이해하고 제한하여 시험실 시험에 도움이 되는 지침을 제공한다.

D.2 고조파와 포화에 의한 문제

증폭기의 과부하로 다음과 같은 문제들이 발생한다.

- a) 고조파가 전기장에 큰 영향을 미친다.
 - 1) 만약 이 문제가 교정 중에 발생하면, 광대역 전기장 프로브가 기본파와 고조파를 측정하기 때문에 이 시험 주파수에서 전기장세기가 잘못 측정된다. 예를 들면, 안테나 단자에서 제 3 고조파가 기본파보다 15 dB 낮고 다른 모든 고조파들은 없다고 가정한다. 또한 실효 안테나인자는 기본파에서보다 제 3 고조파에서 5 dB 낮다고 가정한다. 이때 기본파의 전기장세기는 제 3 고조파의 전기장세기보다 단지 10 dB 더 클 것이다. 만약 총 전기장세기가 10 V/m 로 측정되었다면, 기본파는 9.5 V/m 이다. 따라서 이는 전기장 프로브 진폭 불확도보다 작기 때문에 이는 허용오차 내에 있는 것이다.
 - 2) 만약 시험중에 고조파들이 크게 존재하면, 피시험기기가 기본파에는 강한 내성을 갖는다 할지라도 고조파들에는 강한 내성을 갖지 않는 것으로 나타나기 때문에 불합격 판정을 받을 수 있다.
- b) 또한 고조파들이 특수 상황에서 매우 잘 억제되었을지라도, 시험결과에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면, 900 MHz 수신기를 시험할 때, 300 MHz 의 매우 약한 고조파 신호조차도 수신기 입력에 과부하를 줄 수 있다. 신호발생기가 고조파와 관계없는 신호를 출력하는 경우에도 유사한 상황이 일어날 수 있다.
- c) 고조파 성분이 측정가능하지 않을 때도 포화가 일어난다. 이는 증폭기에 고조파를 억제하는 저역통과 출력필터가 달려 있을 때 발생한다. 이 상황으로 인해 역시 부정확한 결과가 일어날 수 있다.
 - 1) 이 상황이 교정 중에 발생하는 경우에, 6.2에서 설명된 알고리즘에 사용된 선형성 가정 때문에 잘못된 교정 데이터를 유도하게 된다.
 - 2) 시험 중에 발생하는 경우에, 이러한 유형의 포화에 의해 잘못된 변조도와 변조주파수(일반적으로 1000 Hz) 고조파가 유도된다.

위에서 보인 예들로부터, 증폭기 왜곡의 영향이 주로 피시험기기의 유형에 따르기 때문에 이 왜곡에 대한 수치적 한계가 제공되지 않을 수 있다는 것이 명확하다.

D.3 증폭기 비선형성을 제어하기 위한 선택사항

D.3.1 전기장 내의 고조파 성분 제한

전기장 내의 고조파 성분은 증폭기 출력단에 조절가능하고 트래킹 기능이 있으며 동조형인 저역통과 필터를 사용하여 제한할 수 있다.

증폭기 출력단에서 생성된 모든 고조파 성분에 대해, D.2 b)항에서 논의된 상황을 제외하고 기본파보다 6 dB이하로 고조파 성분들을 제거하는 것이 적절하다.

이로 인해 전기장세기 오차가 10 % 로 제한될 것이다. 예를 들면, 광대역 상에서 측정된 10 V/m 신호는 기본파로부터 9 V/m 와 고조파로부터 4.5 V/m 에 의할 것이다. 이 상황은 교정 불확도에 대해 허용가능한 상황이다.

증폭기 출력단에 고정형 저역통과 필터가 있으면, 관련 상측 기본파 주파수는 증폭기의 최대 규정주파수의 약 1/3 이다.

D.3.2 전기장의 고조파 성분 측정

전기장의 고조파 성분은 다음과 같이 선택성 전기장 프로브를 이용해 직접 측정할 수도 있고, 간접 측정할 수도 있다.

- 먼저, 실효 안테나인자(주어진 무반사실과 안테나 위치에서, 입력전력과 전기장세기의 비)를 결정한다. 다음에, 기본 주파수와 고조파에서 전방전력의 비를 구한다. 또는
- 안테나 제조업체에서 제공한 바와 같이, 고조파에서의 안테나인자를 고려한 결합기를 사용하여

저역통과 필터가 포화된 증폭기의 고조파를 억제하는 경우에, 증폭기의 2 dB 억제점을 초과할 어떤 상황(최악의 주파수에 대해 예를 들면, 변조된 최대 전기장세기)도 제시되지 못한다. 2 dB 억제점에서, 첨두 진폭(V 단위)이 20 % 정도까지 줄어들 것이다. 이로 인해 80 % 변조도가 64 %까지 줄어들게 된다. 즉, 피시험기 내에서 검파된 전압의 20 %가 줄어들게 된다.

D.4 2가지 등가 교정법의 예

그림 D.1은 균일장이 측정되어야 하는 16개의 격자점을 보인다. 각 16 격자점들 사이의 거리는 0.5 m 로 고정되어 있다.

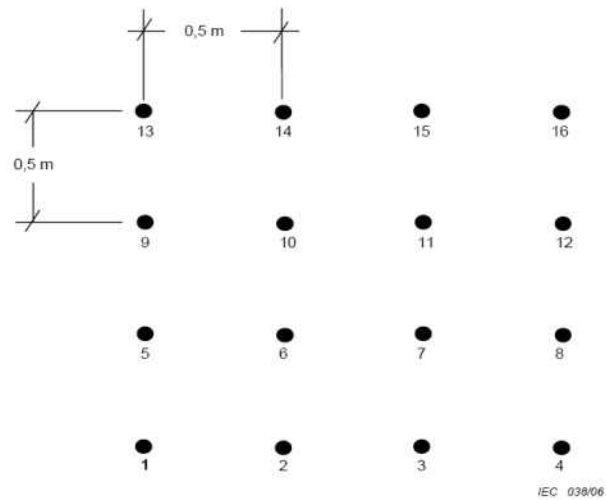


그림 D.1. 균일장 영역의 측정 격자점들

D.4.1 일정 전기장세기 교정법을 사용한 교정절차의 예 (6.2.1 참조)

일정 전기장세기 $E_c = 6 \text{ V/m}$ (예로서)를 만들기 위해, 다음 표 D.1 에 보인 전방전력 값들이 그림 7에 따른 측정배치를 사용하여 한 특정 주파수에서 측정되었다.

표 D.1. 일정 전기장세기 교정법에 따라 측정된 전방전력 값들

위치	전방전력 dBm
1	27
2	22
3	37
4	33
5	31
6	29
7	23
8	27
9	28
10	30
11	30
12	31
13	40
14	30
15	31
16	31

표 D.2. 측정결과로 발생한 값들과 평가에 따라 순서대로 분류된 전방전력 값들

위치	전방전력 dBm
2	22
7	23
1	27
8	27
9	28
6	29
10	30
11	30
14	30
5	31
12	31
15	31
16	31
4	33
3	37
13	40
(비고) 위치13: 40-6=34, 오직 2위치만 합격 위치3: 37-6=31, 오직 6위치만 합격 위치4: 33-6=27, 12위치 합격	

이 예에서, 측정점 2, 3, 7과 13은 -0 dB부터 +6 dB 기준 밖에 있으나, (이 예에서) 16 점들 중에서 적어도 12점들이 기준 내에 있다. 따라서 이 특정 주파수에서 기준에 합격이다. 이 경우에, 인가된 전방전력은 33 dBm 이다. 이는 12 개의 점들에서 전기장세기 E_c 가 최소 6 V/m 이며, 대부분이 12 V/m (위치 1과 8에서)이라는 것을 의미한다.

D.4.2 일정 전력 교정법을 사용한 교정절차의 예 (6.2.2 참조)

1번 점이 최초의 교정점으로 선택되었다. 여기서 6 V/m 의 목표 전기장세기가 생성되었다. 동일 전방전력에서, 다음의 표 D.3 에 보인 전기장세기가 그림 7에 따른 측정배치를 사용하여 한 특정 주파수에서 측정되었다.

표 D.3. 일정 전력 교정법에 따라 측정된 전방전력과 전기장세기 값들

위치	전방전력 dBm	전기장세기 V/m	전기장세기 위치1을 기준으로 한 (dB)
1	27	6.0	0
2	27	10.7	5
3	27	1.9	-10
4	27	3.0	-6
5	27	3.8	-4
6	27	4.8	-2
7	27	9.5	4
8	27	6.0	0
9	27	5.3	-1
10	27	4.2	-1
11	27	4.2	-3
12	27	3.8	-4
13	27	1.3	-13
14	27	4.2	-3
15	27	3.8	-4
16	27	3.8	-4

표 D.4. 측정결과로 발생한 값들과 평가에 따라 순서대로 분류된 전기장세기 값들

위치	전방전력 dBm	전기장세기 V/m	전기장세기 위치1을 기준으로 한 (dB)
13	27	1.3	-13
3	27	1.9	-10
4	27	3.0	-4
5	27	3.8	-4
12	27	3.8	-4
12	27	3.8	-4
16	27	3.8	-3
10	27	4.2	-3
11	27	4.2	-3
14	27	4.2	-2
6	27	4.8	-2
9	27	5.3	-1
1	27	6.0	0
8	27	6.0	0
7	27	9.5	4
2	27	10.7	5
주. 위치13: $-13+6=-7$, 오직 2위치만 합격 위치3: $-10+6=-4$, 오직 6위치만 합격 위치4: $-6+6=0$, 12위치 합격			

이 예에서, 측정점 13, 3, 7과 2는 -0 dB부터 $+6$ dB 기준 밖에 있으나, (이 예에서)16 점들 중에서 적어도 12점들이 기준 내에 있다. 따라서 이 특정 주파수에서 기준에 합격이다. 이 경우에, 전기장세기 $E_c = 6 \text{ V/m}$ 에 대해서 인가된 전방전력은 $27 \text{ dBm} + 20 \log \left(\frac{6 \text{ V/m}}{3 \text{ V/m}} \right) = 33 \text{ dBm}$ 이다. 이는 12 개의 점들에서 전기장세기 E_c 가 최소 6 V/m (위치 4)이나, 최대값은 12 V/m (위치 1과 8에서)임을 의미한다.

부록 E

(정보)

EMC 기준전문위원회를 위한 시험레벨 선택 지침

E.1 개요

무선 송수신기의 송신전력은 종종 반파장 다이폴을 기준으로 한 실효복사전력(Effective Radiated Power : ERP)으로 규정한다. 그러므로 원거리장에서 발생된 전기장세기는 다음의 다이폴 공식으로부터 직접 구할 수 있다.

$$E = k\sqrt{P}/d \quad (\text{식 E.1})$$

여기서,

E는 전기장세기(실효값) (V/m)

k는 상수, 원거리장에서 자유공간 전파전파인 경우에 7

P는 실효복사전력(ERP) (W)

d는 안테나로부터의 거리(m)

인접한 곳에 반사체나 흡수체가 있으면, 이 전기장세기가 변한다.

송수신기의 실효복사전력을 모른다면, 안테나의 입력 전력을 수식 E.1에 대신 사용될 수 있다. 이 경우에, 이동 무선송수신기에 대해서는 일반적으로 $k = 3$ 이다.

E.2 일반 목적에 관련된 시험레벨

시험레벨과 주파수 대역은 피시험기기가 최종적으로 설치되었을 때 노출될 수 있는 전자파 복사 환경에 따라 선정된다. 불합격 결과는 시험레벨 선택에 있었음을 명심해야 한다. 불합격의 결과가 심각하면 좀더 높은 시험 레벨이 고려되어야 한다.

피시험기기가 몇몇의 위치에만 설치되는 경우에, 그 지역의 무선주파수 신호원 및 방해원을 조사함으로써, 발생할 수 있는 전기장세기를 계산할 수 있다. 이들 신호원의 출력을 모르는 경우에는, 해당 위치에서 실제 전기장세기를 측정할 수도 있다.

다양한 위치에서 동작하도록 설계된 장비에 있어서, 인가 시험레벨을 선택하는데 다음의 지침을 사용할 수 있다.

다음의 등급들은 5 절에 있는 레벨들과 관련되어 있고, 해당 레벨 선택을 위한 일반적인 지침으로 간주한다.

- 등급1 : 저 레벨 전자파 복사환경. 지역 라디오/텔레비전 송신소와 1 km 이상 떨어져 있는 경우와 저출력의 송신기/수신기의 대표적인 레벨
- 등급2 : 중급 전자파 복사환경. 저출력 휴대용 송수신기(일반적으로 정격 1 W 미만)의

근접 사용을 제한하는 경우, 일반적인 상업 환경.

- 등급3 : 심각한 전자파 복사환경. 휴대용 송수신기(정격 2 W 또는 그 이상)를 상대적으로 가까이에서, 그러나 1 m 이상에서 사용하는 경우. 장비 아주 가까이에 고출력 방송 송신기들이 있고, ISM 장치가 가까이 위치할 수 있다. 일반적인 공업 환경.
- 등급4 : 제품의 1 m이내에서 사용 중인 휴대용 송수신기. 기기의 1 m 이내에 다른 중요한 장애의 소스가 있을 수 있다.
- 등급x : x는 EMC 기준전문위원회 또는 장비 규격에서 규정되며, 협의가 필요한 미정의 레벨이다.

E.3 디지털 무선전화기의 무선주파수 방출 방호에 관련된 시험레벨

시험레벨은 예상되는 전자파에 따라서 선택되어야 한다. 즉, 무선전화기 장비의 출력 및 그 송신안테나와 피시험기기 사이의 추정거리에 따라서 선택되어야 한다. 일반적으로 이동국은 기지국보다 더 엄격한 조건을 요구한다. (왜냐하면 이동국은 기지국보다 잠재적으로 영향받기 쉬운 장치들에 훨씬 더 가까이 위치할 수 있는 가능성이 있기 때문이다.)

불합격 결과와 요구되는 내성을 만족하기 위한 비용은 적용되는 시험레벨을 선택할 때 염두에 두어야 한다. 불합격의 결과가 크다면 더 높은 레벨을 고려하여야 한다.

선택된 시험레벨보다 높은 레벨의 노출은 실제에서는 발생 빈도가 보다 적다. 이러한 상황에서 허용할 수 없는 불합격을 방지하기 위해서 보다 높은 레벨에서의 2차 시험을 할 필요가 있고, 성능저하를 인정할 필요가 있다. (즉, 허용된 성능저하)

시험레벨, 성능기준 및 해당 보호거리의 예를 표 E.1에 보인다. 보호거리는, 지정된 시험레벨에서 시험을 수행할 때 디지털 무선전화기로부터 허용 가능한 최소 거리이다. 이 거리는 80 % 정현파 진폭변조에서 시험할 경우에 $k = 7$ 을 이용하여 식 E.1 으로 계산된다.

표 E.1. 시험레벨, 해당 보호거리 및 제안된 성능기준의 예

시험레벨	반송파 전기장의 세기 V/m	최대 실효값 전기장의 세기 V/m	보호 거리			성능 기준 ^{주3)}	
			2 W GSM (m)	8 W GSM (m)	$\frac{1}{4}$ W DECT m	범례 1 ^{주1)}	범례 2 ^{주2)}
1	1	1.8	5.5	1.1	1.9	-	-
2	3	5.4	1.8	3.7	0.6	a	-
3	10	18	0.6	1.1	$\sim 0.2^{1)}$	b	a
4	30	54	$-0.2^{1)}$	0.4	$\sim 0.1^{1)}$	-	b
주1) 불합격시의 결과치가 심각하지 않은 장비 주2) 불합격시의 결과치가 심각한 장비 주3) 9절을 따름							
1) 이 거리와 더 가까운 거리에서 원거리 전계 식 F.1은 정확하지 않다.							

다음의 항목들은 위의 표를 작성할 때 고려된 것이다:

- GSM에 있어서, 오늘날 시장에 있는 대부분의 단말기는 등급4의 것들이다(최대 ERP 2 W). 작동 중인 이동단말기는 등급3과 등급2에 있다(각각 최대 ERP 5 W와 8 W). GSM 단말기의 ERP는 수신이 잘 안되는 지역을 제외하고는 종종 최대치보다 작다.
- 실내의 통화 유효범위는 실외보다 나쁜데, 이것은 실내 ERP가 대개 등급의 최대치에 맞춰지는 것보다 더 클 수 있음을 의미한다. 이는 방해를 받는 장비 대부분이 실내에 집중되어 있기 때문에 EMC의 관점에서 가장 나쁜 상황이다.
- 부록 A에 기술된 것처럼, 장비 항목의 내성레벨은 변조된 전기장의 최대 실효값과 잘 연관된다. 이러한 이유 때문에 반송파 전기장세기 대신에 최대 실효값 전기장세기를 식 E.1에 대입하여 보호거리를 계산한다.
- 보호거리로 불리는, 안전한 동작을 위한 최소 예측거리를 식 E.1에서 $k = 7$ 로 계산하였으며, 여기서는 벽, 바닥 그리고 천장으로부터 반사되는 파로 인한 (± 6 dB 정도가 되는) 전기장세기의 통계적 변동은 고려하지 않는다.
- 식 E.1에 의한 보호거리는 디지털 무선전화기의 동작주파수가 아닌 실효복사전력에 의해 결정된다.

E.4 고정 송신국의 특별 조치

본 부록의 정보로부터 유도된 레벨들은 기술된 위치에서는 거의 초과되지 않을 대표적인 값들이다. 어떤 위치에서, 레이더 시설, 고출력 송신기 인접 또는 동일 건물내의 ISM 장비 등이 있는 위치에서 이 값들을 초과할 수도 있다. 이러한 경우에는, 모든 장비들이 이 레벨에 대해 내성을 갖도록 규정하기 보다는 시설이나 건물을 잘 차폐하고 장비의 신호선과 전원선을 필터링하는 것이 더 바람직하다.

부록 F
(정보)
시험방법의 선택

이 시험방법과 KN 61000-4-6의 본 절에서는 방사성 전자파 에너지에 대한 전기, 전자장비의 내성시험을 위한 두 가지 방법을 정의한다.

일반적으로, 전도성 신호에 대한 시험은 저주파에서 더 유용하며, 방사성 신호에 대한 시험은 고주파에서 더 유용하다.

둘 중 하나의 표준규격에서 나타나는 시험방법이 사용가능한 주파수 영역이 있다. KN 61000-4-6에서 정의된 방법은 230 MHz까지에서 사용가능하다. 본 절에서 정의된 방법은 또한 26 MHz 아래의 주파수에서 사용가능하다. 본 부록의 목적은 EMC기준전문위원회와 제품규격 작성자에게 피시험기기의 설계와 유형에 근거하여 재현성을 보장하는 가장 적당한 시험방법의 선택에 대해 그 지침을 제공하기 위함이다.

다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 피시험기기의 기계적 크기에 대한 상대적인 복사 전자파의 파장
- 피시험기기의 케비닛과 배선의 상대적 크기
- 피시험기기를 구성하는 배선과 함체의 수

부록 G
(정보)
환경의 설명

G.1 디지털 무선 전화기

표 G.1과 G.2는 EMC와 관련된 무선시스템의 파라미터 목록이다.

아래의 약어와 정의는 이들 표에서 사용될 것이다.

- CDMA (Code Division Multiple Access): 송신기에서 의사랜덤 코드열을 사용하여 신호를 부호화하고, 수신기에서는 미리 알고 있는 이 의사랜덤 코드열을 사용하여 역부호화하는 다중화 방법. 각각의 서로 다른 랜덤 코드열이 각각의 서로 다른 통신 채널에 해당된다.
- CT-2 (Cordless Telephone, second generation): 몇몇 유럽 국가에서 널리 사용되는 무선 이동전화시스템
- DCS 1800 (Digital Cellular System): 세계적으로 사용되는 저가의 셀룰러 이동통신시스템
- DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications): 유럽에서 널리 이용되는 저가의 무선 셀룰러 전화통신시스템
- DTX (Discontinuous Transmission): 전송될 정보가 없을 때에 전력을 절약하기 위해서 사용하는 현저히 감소된 버스트 반복 주파수
- ERP (Effective Radiated Power): 반파장 다이폴을 기준으로 한 실효복사전력
- FDD (Frequency Division Multiplexing): 송신기와 수신기 채널에 서로 다른 주파수를 할당한 다중화 방법
- FDMA(Frequency Division Multiple Access): 각각의 채널에 주파수 대역을 분리하여 할당하는 다중화 방법
- GSM (Global System of Mobile Communication): 세계적으로 사용되는 셀룰러 이동전화통신시스템
- IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000): 전송 속도와 크기로 분류되는 제3세대 셀룰러 전화 기술로 고품질의 컬러 동화상을 송,수신할 수 있음
- NADC (North American Digital Cellular) : 북미에서 널리 사용되는 디지털 셀룰러 이동통신시스템. 통신산업협회의 잠정 표준안-54를 따르는 디지털 셀룰러 시스템을 표현하는데 사용하는 보편적인 용어. D-AMPS라고도 알려짐
- PDC(Personal Digital Cellular System): 일본에서 널리 사용되는 셀룰러 이동전화통신시스템
- PHS(Personal Handy Phone System): 일본에서 널리 사용되는 무선전화시스템
- RFID (Radio Frequency Identification): 자동 항목 인식, 제품 추적, 경보시스템, 개인인식, 접속제어, 근접 센서 등을 포함하는 시스템
- RTTT (Road Traffic & Transport Telematics): 도로 통제시스템에 사용되는 시스템

스텝

- TDMA(Time Division Multiple Access): 4절 참조
- TDD(Time Division Duplex): 송신과 수신 채널에 다른 시간 슬롯이 할당되는 다중화 방법

표 G.1. 이동 및 휴대용 단말기

시스템 파라미터	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC
송신 주파수	890 MHz ~ 915 MHz	1.71 GHz ~ 1.784 GHz	1.88 GHz ~ 1.96 GHz	864 MHz ~ 868 MHz	940 MHz ~ 956 MHz 1.429 GHz ~ 1.453 GHz	1.895 GHz ~ 1.918 GHz	825 MHz ~ 845 MHz
접속기술	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA
버스트 반복주파수	217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz
동작주기 (duty cycle)	1:8	1:8	1:24 (또한 1:48과 1:12)	1:12	1:3	1:8	1:3
최대 ERP	0.8 W; 2 W; 5 W; 8 W; 20 W;	0.25 W; 1 W; 4W;	0.25 W	< 10 mW	0.8 W; 2 W	10 mW	< 6 W
이차 변조	2 Hz (DTX)와 0.16 Hz ~ 8.3 Hz(다중 프레임)	2 Hz (DTX)와 0.16 Hz ~ 8.3 Hz(다중 프레임)	없음	없음	없음	없음	없음
사용지역	전 세계	전 세계	유럽	유럽	일본	일본	미국
주) CT-3은 DECT에 포함된다고 간주됨							

표 G.1. 이동 및 휴대용 단말기 (계속)

시스템 파라미터	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
송신 주파수	1900 MHz ~ 1920 MHz	1900 MHz ~ 1920 MHz
접속기술	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
버스트 반복주파수	사용하지 않음	사용하지 않음
동작주기 (duty cycle)	연속	연속
최대 ERP	0.25W	0.25W
이차 변조	없음	없음
사용지역	유럽	유럽

표 G.2. 기지국

시스템 파라미터	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC
송신 주파수	935 MHz ~ 960 MHz	1.805 GHz ~ 1.88 GHz	1.88 GHz ~ 1.96 GHz	864 MHz ~ 868 MHz	810 MHz ~ 826 MHz 1.477 GHz ~ 1.501GHz	1.895 GHz ~ 1.918 GHz	870 MHz ~ 890 MHz
접속기술	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA
버스트 반복주파수	217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz
동작주기 (duty cycle)	1:8 ~ 8:8	1:8 ~ 8:8	1:2	1:12	1:3 ~ 3:3	1:8	1:3~3:3
최대 ERP	2.5 W ~ 320 W	2.5 W ~ 200 W	0.25 W	0.25 W	1 W ~ 96 W	10 mW~ 500 mW	500 W
이차 변조	2 Hz(DTX) 와 0.16 Hz ~ 8.3 Hz(다중 프레임)	2 Hz(DTX) 와 0.16 Hz ~ 8.3 Hz(다중 프레임)	없음	없음	없음	없음	없음
사용지역	전 세계	전 세계	유럽	유럽	일본	일본	미국
주) CT-3은 DECT에 포함된다고 간주됨							

표 G.2. 기지국 (계속)

시스템 파라미터	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
송신 주파수	1900 MHz ~ 1920 MHz	2110 MHz ~ 2170 MHz
접속기술	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
버스트 반복주파수	사용하지 않음	사용하지 않음
동작주기 (duty cycle)	연속	연속
최대 ERP	20 W	20 W
이차 변조	없음	없음
사용지역	유럽	유럽

표 G.3. 기타 무선주파수 기기

시스템 파라미터	RFID	RTTT	광대역 데이터전송 시스템 HIPERLANs	광대역 데이터전송 시스템 HIPERLANs	광대역 데이터전송 시스템 HIPERLANs	비정규 단거리기기
송신 주파수 MHz	2446~2454	5795~5815	2400~2483.5	5150~5350	5470~5725	2400~2483.5 5725~5875
변조방법	500 mW 이상인 경우에 FHSS	없음	FHSS	없음	없음	없음
동작주기 (duty cycle)	a) 100 %까지 b) 200 ms 주기내에서 < 15 %	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음
최대 ERP	a) 500 mW b) 4 W	2 W 또는 8 W	100 mW 및 스펙트럼 전력밀도 한계치	200 mW 평균	1 W 평균	10 mW 25 mW
채널간격	없음	어떤 주파수범위 내에서 5 MHz 또는 10 MHz	없음	없음	없음	없음
사용지역	전 세계	전 세계	전 세계	전 세계	전 세계	전 세계

부록 H

(정보)

1 GHz 이상의 주파수에 대한 대체 노출법
(“개별 윈도우법”)

H.1 개요

1 GHz 이상의 주파수에서 시험할 경우에, 개별 윈도우법을 사용할 때의 시험거리는 1 m 이어야 한다(예를 들면, 무선전화 대역). 선정된 시험거리에 대해서 균일장 요구규격과의 적합성의 유효성을 확인하여야 한다.

주1) 1 GHz 이상의 주파수에서, 페라이트 정렬 무반사실을 사용하여, 빔폭이 좁은 안테나를 사용하여, 3 m 의 시험거리에서, 1.5 m x 1.5 m 교정영역 상에서 균일장 요구규격을 만족하는 것은 매우 어렵다.

1 GHz 이상의 주파수에 대한 대체 시험방법은, 피시험기기의 면이 차지하는 전체 영역을 포함하도록 교정영역을 0.5 m x 0.5 m 윈도우의 적당한 배열로 나누는 것이다(그림 H.1a 와 H.1b 참조). 각 윈도우의 균일장은 아래에 주어진 절차에 따라 개별적으로 교정하여야 한다(그림 H.2 참조). 전기장 생성안테나는 교정영역으로부터 1 m 거리에 위치하여야 한다.

H.2 전기장의 교정

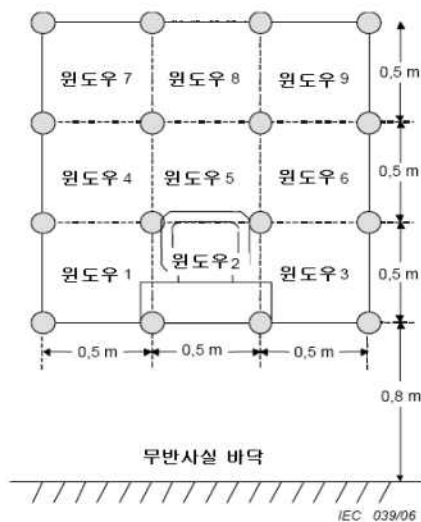
각 개별 윈도우에 대해 다음 단계를 수행하여야 한다.

- 윈도우의 4 개 모서리 중의 한 곳에 전기장 센서를 위치시킨다.
- 전기장 생성안테나에 전방전력을 인가하여, 시작 주파수의 1 % 단계로 주파수를 증분하여 전체 주파수에 걸쳐 전기장세기가 3 V/m부터 10 V/m 범위에 들도록 하며, 이때 각 지시치(전력과 전기장세기)를 기록한다.
- 동일한 전방전력 상태에서, 나머지 3 개 모서리에서 전기장세기를 측정하고 기록한다; 4 개의 모든 전기장세기는 0 dB부터 6 dB 범위 내에 있어야 한다.
- 최소 전기장세기를 갖는 위치를 기준으로 한다(이로써 -0 dB부터 +6 dB 요구규격을 만족하는 지를 확신할 수 있다).
- 전방전력과 전기장세기를 알면, 요구된 시험 전기장세기의 필요 전방전력을 계산할 수 있다(예를 들면, 주어진 한 점에서, 80 W 로 인해 9 V/m 가 생성된다. 따라서 3 V/m 를 생성하기 위해서는 8.9 W 가 필요하다). 이 계산값을 기록하여야 한다.
- 수평과 수직편파에 대해 위 단계 a)부터 e)를 반복한다.

균일장 교정에 사용된 안테나와 케이블을 시험 중에도 사용하여야 한다. 따라서 전기장 생성안테나의 케이블 손실과 안테나인자는 더 이상 고려하지 않아도 된다.

전기장 생성안테나와 케이블들의 위치는 가능한 한 정밀하게 기록하여야 한다. 아주 작은 위치 변경으로도 전기장에 큰 영향을 주기 때문에, 시험 중에도 동일한 위치를 사용하여야 한다.

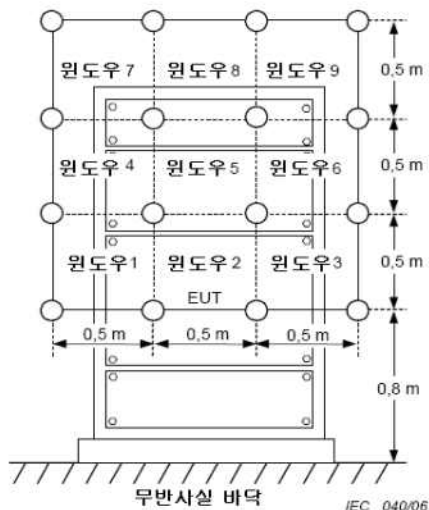
시험 중에, 각각의 주파수에서, 위의 단계 e)에서 생성된 전방전력을 전기장 생성안테나에 인가하여야 한다. 각각의 해당 윈도우를 노출시키기 위해 전기장 생성안테나의 위치를 변경하여 순서대로 이 시험을 반복하여야 한다(그림 H.1 과 H.2 참조).



윈도우의개념

1. 교정영역을 0.5m X 0.5m 윈도우로 분할.
 2. 실제 피시험기기 면과 케이블들을 모두 포함하는 전체 윈도우에 대해 교정하여야 한다.
- (이 예에서, 윈도우 1부터 3 과 5 는 교정과 시험을 위해 사용된다.)

그림 H.1a. 탁상설치형 기기를 위한 윈도우 분할 예



윈도우의개념

1. 교정영역을 0.5m X 0.5m 윈도우로 분할.
 2. 실제 피시험기기 면과 케이블들을 모두 포함하는 전체 윈도우에 대해 교정하여야 한다.
- (이 예에서, 윈도우 1부터 9 는 교정과 시험을 위해 사용된다.)

그림 H.1b. 바닥설치형 기기를 위한 윈도우 분할 예

그림 H.1. 교정영역을 0.5 m x 0.5 m 윈도우로 분할하는 예

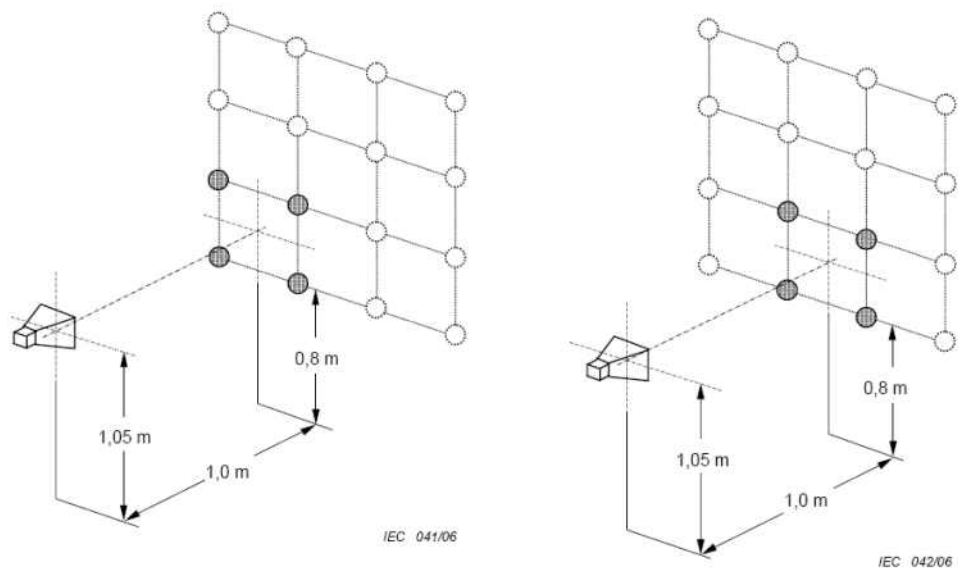


그림 H.2. 윈도우의 노출 순서 예

부록 I

(정보)

전계 측정 프로브의 교정 방법

I.1 개요

KN 61000-4-3에 따라 전계 균일성 교정 절차에는 주파수 범위가 넓고 동적 응답이 큰 전계 측정 프로브가 널리 사용된다. 다른 측면에서 보더라도 전계 측정 프로브 교정의 질은 방사성 내성 시험의 불확도 총괄표에 직접 영향을 미친다.

일반적으로 프로브는 KN 61000-4-3에 따르는 전계 균일성 교정 중에 비교적 낮은 전계 강도(예: 1 V/m ~ 30 V/m)를 갖는다. 따라서 KN 61000-4-3에서 사용하는 전계 측정 프로브의 교정에서는 본래의 주파수와 동적 범위를 고려하여야 한다.

현재의 프로브 교정 결과는 프로브가 각기 다른 교정 시험소에서 교정될 때 차이를 보일 수 있다. 따라서 전계 측정 프로브 교정 환경과 그 방법을 규정하여야 한다. 이 부록에서는 KN 61000-4-3에서 사용할 프로브의 교정에 관한 정보를 제공하기 위함이다.

수백 MHz에서 GHz 범위를 넘는 주파수에서, KN 61000-4-3에서 사용할 프로브를 교정하는 널리 사용되는 방법 중 하나는 기준 이득 혼 안테나를 사용하여 무반사실 내부에 기준 전계를 확립하는 것이다.

이 방법을 사용함으로써 교정 시험소 간의 차이를 확인할 수 있었으며, 그 차이는 보고된 측정 불확도를 초과하였다.

80 MHz에서 수백 MHz까지의 전계 측정 프로브 교정은 대개 TEM 도파관에서 실시하며, TEM 도파관은 재현성이 더 높은 것으로 알려져 있다.

따라서 이 부록에서는 무반사실에서 혼 안테나를 이용하여 프로브 교정 절차를 개선하는 것을 중점으로 다루며, 교정 절차를 포괄적으로 설명한다.

I.2 프로브 교정 요구규격

I.2.1 일반 사항

KN 61000-4-3에서 정의한 UFA 교정 절차에 사용할 전계 측정 프로브의 교정은 다음 요구규격을 충족하여야 한다.

I.2.2 교정 주파수 범위

주파수 범위는 통상적으로 80 MHz에서 6 GHz 범위이어야 하지만, 시험에서 요구한 주파수 범위로 제한할 수도 있다.

I.2.3 주파수 단계

교정 시험소 간의 시험 결과를 비교할 수 있으려면 고정된 교정 주파수를 사용할 필요가 있다.

80 MHz에서 1 GHz :

전계 측정 프로브를 교정할 때는 다음 주파수를 사용한다(일반적으로 주파수 단계 폭은 50 MHz).

80, 100, 150, 200,..., 950, 1000 MHz

1 GHz에서 6 GHz :

전계 측정 프로브를 교정할 때는 다음 주파수를 사용한다(일반적으로 주파수 단계 폭은 200 MHz).

1000, 1200, 1400,..., 5800, 6000 MHz

주1) GHz에서 프로브를 두 번 측정하려는 것은 아니지만, 1 GHz 이하 또는 이상을 사용하는 경우에는 프로브를 이 주파수에서 측정할 필요가 있다.

I.2.4 전계 강도

프로브를 교정하고자 하는 전계 강도는 내성 시험에 필요한 전계 강도를 토대로 하는 것이 바람직하다. 전계 균일장 교정에 대한 표준 방법은 시험품에 적용할 전계 강도의 최소 1.8배의 전계 강도에서 실시하므로, 프로브 교정은 본래의 시험 전계 강도에서 2회 실시하는 것이 바람직하다(표 I.1 참조). 프로브를 각기 다른 전계 레벨에서 사용하고자 한다면 그 선형성에 따라 여러 레벨에서, 적어도 최소 레벨과 최대 레벨에서 프로브를 교정해야 한다. (I.3.2참조)

주1) 여기에는 전력 증폭기의 1 dB 압축 요구구역이 포함된다.

주2) 교정은 변조 없이 CW 신호를 이용하여 실시한다.

표 I.1. 교정 전계 강도 레벨

교정 레벨	교정 전계 강도
1	2 V/m
2	6 V/m
3	20 V/m
4	60 V/m
X	Y V/m
비고) X, Y는 다른 레벨 1 ~ 4 중 하나보다 더 높거나 낮을 수 있는 개방된 교정 레벨이다. 이 레벨은 제품 시방 또는 시험소에서 제공할 수 있다.	

I.3 교정 측정장비에 대한 요구규격

I.3.1 고조파와 스퓨리어스 신호

전력 증폭기에서 나오는 고조파나 스퓨리어스 신호는 반송파 주파수의 레벨보다 적어도 20 dB 낮아야 한다. 이것은 교정 및 선형성 검사 중에 사용한 모든 전계 강도에 필요하다. 전력 증폭기의 고주파 성분은 대개 전력 레벨이 더 높을 때 더 나쁘므로 고조파 측정은 최고 교정 전계 강도에서만 실시할 수 있다. 고조파 측정은 교정된 스펙트럼 분석기를 감쇠기를 통해 또는 방향성 결합기를 통해 증폭기 출력에 연결하여 실시할 수 있다.

주1) 안테나는 고조파 성분에 추가로 영향을 미칠 수 있으므로 개별적으로 검사할 필요가 있다.

교정 시험소에서는 증폭기의 고조파나 스퓨리어스 신호가 모든 측정 장치 요구규격을 충족하고 있는지를 확인하기 위한 측정을 실시하여야 한다. 이 측정은 스펙트럼 분석기를 방향성 결합기의 포트 3에 연결하여 실시할 수 있다(전력계 센서를 스펙트럼 분석기 입력으로 대신하여 - 그림 I.2 참조).

주2) 전력 레벨이 스펙트럼 분석기의 최대 허용 입력 전력을 초과하지 않도록 하여야 한다. 감쇠를 사용할 수도 있다.

주파수 범위(span)에는 적어도 본래 주파수의 3차 고조파가 포함되어야 한다. 본래의 최고 전계 강도를 생성하는 전력 레벨에서 유효성 확인 측정을 실시하여야 한다.

고조파 억제 필터를 사용하여 전력 증폭기의 스펙트럼 순도를 개선시킬 수도 있다(부록 D 참조).

I.3.2 프로브의 선형성 검사

I.4.2.5에 따라 무반사실의 유효성 확인에 사용한 프로브의 선형성은 요구한 동적 범위에서 이상적인 선형 응답으로부터 ± 0.5 dB 내에 있어야 한다(그림 I.1 참조). 이 프로브가 복수의 범위 혹은 이득 설정값을 갖는다면 본래의 모든 범위 설정값에 대하여 선형성을 확인하여야 한다.

일반적으로 프로브 선형성은 주파수에 따라 크게 변하지 않는다. 선형성 검사는 주파수 범위의 중심 영역과 인접한 점 주파수에서, 그리고 프로브 응답 대 주파수가 비교적 편평한 곳에서 실시할 수 있다. 선택한 점 주파수를 교정 증명서에 기재하여야 한다.

프로브 선형성을 측정하는 전계 강도는 무반사실 유효성 확인 중에 사용한 전계 강도의 -6 dB에서 $+6$ dB 범위에 있어야 한다. 이때 스텝사이즈는 충분히 작은 것이 좋다(예: 1 dB). 20 V/m 응용 시에 검사하여야 할 전계 강도 레벨을 표 I.2에 나타내었다.

표 I.2. 프로브 선형성 검사의 예

신호 레벨 dB	교정 전계 강도 V/m
-6.0	13.2
-5.0	14.4
-4.0	14.8
-3.0	15.2
-2.0	16.3
-1.0	18.0
0	20.0
1.0	22.2
2.0	24.7
3.0	27.4
4.0	30.5
5.0	34.0
6.0	38.0

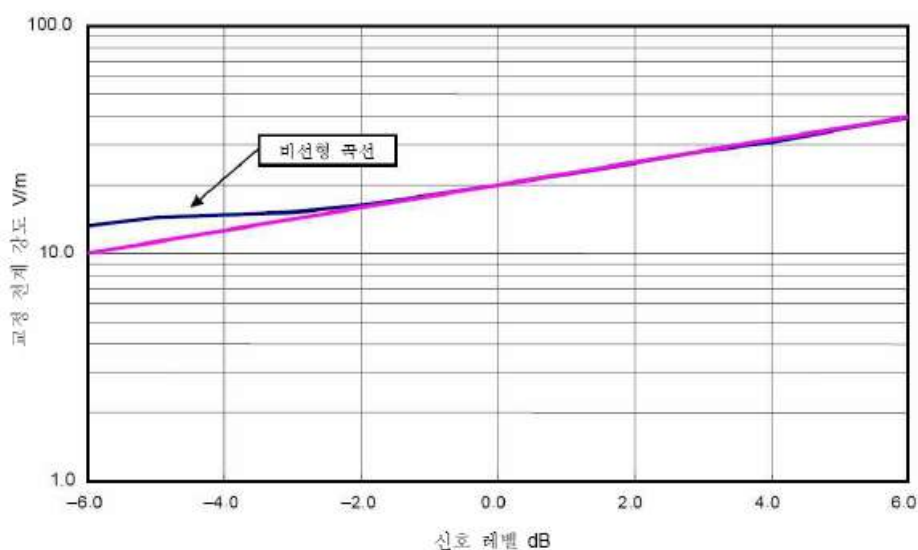


그림 I.1. 프로브 선형성의 예

I.3.3 혼 안테나의 이득 측정

피라미드형 혼 안테나의 원거리장 이득은 꽤 정확히 측정할 수 있다(0.1 dB 미만의 불확도가 [1]에 보고되었다). 원거리장 이득은 보통 $8D^2/\lambda$ (여기에서 D 는 혼 개구부의 최대 치수이며, λ 는 파장이다)를 초과하는 거리에서 유효하다. 이 거리에서 전계 측정 프로브의 교정은 대형 무반사실 때문에 실용적이지 않을 수 있으며 높은 전력 증폭기가 필요하다. 전계 측정 프로브는 대개 송신 안테나의 근거리장 영역에서 교정한다. 표준 이득 혼 안테나의 근거리장 이득은 [2]에서 설명한 공식 등을 사용하여 결정하였다. 이득은 피라미드형 혼 안테나의 물리적 치수를 토대로, 혼 개구부에서 2차 위상 분포를 가정하여 산출한다. 이 방법으로 측정한 이득은 챔버 VSWR 시험과 이후 프로브 교정을 실시하는데 사용하기는 부적합하다.

이 식 ([2]에 명시한)은 혼 안테나 개구부에서는 반사가 없으며 개구부에 입사하는 전계는 TE₁₀모드이며, 개구부 양단에 2차 위상 분포가 있다고 가정하여 개구부 적분을 이용하여 유도하였다. 근접한 결과를 얻기 위하여 적분 중에는 일부 근사를 적용하였다. 혼 에지에서의 다중 반사 등과 같은 그 밖의 영향과 개구에서의 고차 모드는 설명하지 않는다. 주파수와 혼 설계에 따라 오차는 대개 ± 0.5 dB의 차수를 갖지만 더 클 수도 있다.

정확도를 높이기 위해 전파 적분을 이용하는 수치법을 사용할 수 있다. 예를 들어, 수치법으로 이득을 산출할 때의 불확도를 5 % 미만으로 줄일 수 있다 [3].

혼 안테나의 이득은 실험으로도 측정할 수 있다. 예를 들어 그 이득은 [4]에서 설명한 방법이나 그 방법을 약간 변경하여 외삽법을 이용한 3안테나 방법을 적용하여 거리를 줄여 측정할 수 있다.

혼 안테나와 피시험 프로브 간의 거리는 교정 중에 적어도 $0.5D^2/\lambda$ 인 것이 바람직하다. 이득을 결정할 때 불확도가 크면 거리가 더 짧아질 수 있다. 거리가 짧아지면 안테나와 프로브 사이의 정재파가 커질 수 있다. 결국 교정에서의 측정 불확도가 커지게 된다.

I.4 무반사실에서의 전계 측정 프로브 교정

I.4.1 교정 환경

프로브 교정은 완전무반사실(FAR)에서 혹은 I.4.2의 요구규격을 충족하는 접지면 위에 흡수체가 놓여진 반무반사실에서 실시하는 것이 바람직하다.

FAR을 사용할 때 프로브 교정을 실시하기 위한 FAR 내부 작업 체적의 최소 크기는 5 m (길이) × 3 m (폭) × 3 m (높이)인 것이 바람직하다.

주1) 주파수가 수백 MHz 이상인 경우에, KN 61000-4-3 응용을 위한 전계 측정 프로브를 교정하는

데 가장 널리 사용하는 방법은 표준 이득 혼 안테나를 이용하여 무반사실 내부에 전계를 수립하는 것이다. 더 낮은 주파수, 80 MHz에서 수백 MHz에서는 무반사실 사용이 실용적이지 않을 수 있으므로 전자기장 내성 시험에 사용한 다른 설비에서 전계 측정 프로브를 교정할 수도 있다. 따라서 이 부록에는 낮은 주파수에 대한 대체 교정 환경으로서 TEM 도파관 등을 포함시켰다.

프로브 교정에 사용한 계통과 환경은 다음 **요구규격**을 충족시켜야 한다.

주2) 다른 방법으로, 전달 프로브를 사용하여 전계를 확립할 수도 있다(I.5.4참조).

I.4.2 전계 측정 프로브 교정을 위한 무반사실의 유효성 확인

프로브 교정 측정 환경은 자유 공간이라고 가정한다. 전계 측정 프로브로 챔버 VSWR 시험을 실시하여 그것이 차후 프로브/센서 교정에 허용되는지를 결정하여야 한다. 유효성 확인 방법에서는 챔버와 흡수 재료의 성능을 특징짓는다.

각 프로브에는 특정한 체적과 물리적 크기, 예를 들어 배터리 케이스나 회로기판이 있다. 다른 교정 절차에서는 전파반사가 작은 구형 구역이 교정 체적에 보장되어 있다. 이 부록의 특정 **요구규격**은 안테나 빔 축에 놓인 시험점에 대한 VSWR 시험에 집중되어 있다.

시험 치구와 그 영향(전자기장에 노출될 수 있으며 교정을 방해할 수도 있는, 프로브를 고정시키는 치수 등)은 완전히 평가할 수는 없다. 시험 치구의 영향을 확인하려면 개별 시험이 필요하다.

I.4.2.1 방향성 결합기를 사용하여 송신장치의 순전력 측정

송신 장치에 전달된 순전력은 4포트 양방향성 결합기로, 또는 두 개의 등맞대기형 3포트 단일 방향성 결합기(소위 "이중 방향성 결합기"를 형성)로 측정할 수 있다. 송신장치로 전달되는 순전력을 측정하기 위하여 양방향성 결합기를 사용하는 일반 구성을 그림 I.2에 나타내었다.

괄호 안의 숫자는 I.6항의 참고 문헌을 지칭한다.

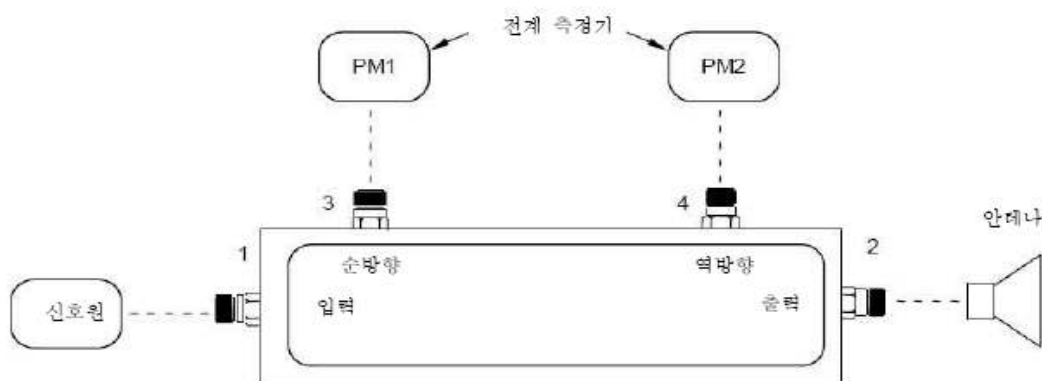


그림 I.2. 송신장치로 전달된 순전력을 측정하기 위한 구성

각 포트가 정합된 부하와 정합된 신호원으로 연결되어 있는 경우에 순방향 결합과 역방향 결합, 송신 결합은 다음의 식으로 정의된다.

$$C_{\text{fwd}} = \frac{P_3}{P_1}$$

$$C_{\text{rev}} = \frac{P_4}{P_2}$$

$$C_{\text{trans}} = \frac{P_2}{P_1}$$

여기에서 P_1, P_2, P_3, P_4 는 방향성 결합기의 각 포트에서의 각각의 전력이다.

따라서 송신장치에 전달된 순전력은 다음과 같다.

$$P_{\text{net}} = \frac{C_{\text{trans}}}{C_{\text{fwd}}} PM_1 - \frac{PM_2}{C_{\text{rev}}}$$

여기에서 PM_1 과 PM_2 는 전계측기 선형단위의 판독값이다.

안테나의 VSWR이 알려져 있는 경우에는 단일 3포트 결합기를 사용할 수 있다. 예를 들어 안테나의 VSWR이 1.5이면 이것은 전압 반사 계수(VRC)는 0.2가 된다.

정확도는 결합기의 지향성에 의해 영향을 받는다. 지향성은 결합기가 순방향 신호와 역방향 신호를 분리할 수 있는 능력의 척도다. 정합이 잘 된 송신 장치의 경우 역방향 전력은 순방향 전력보다 훨씬 더 작다. 따라서 지향성의 영향은 반사율을 적용했을 때보다 덜 중요해진다. 예를 들어, 송신 안테나의 VSWR이 1.5이고 결합기가 20 dB의 지향성을 갖는다면 유한 방향성으로 인한 순전력의 절대 최대 불확도는 $0.22 \text{ dB} - 0.18 \text{ dB} = 0.04 \text{ dB}$ 이며, U자형 분포를 갖는다(여기에서 0.22 dB는 VSWR 1.5로 인한 피상 입사 전력의 손실이다).

따라서 송신 장치로 전달되는 순전력은 다음과 같다.

$$P_{\text{net}} = C_{\text{fwd}} PM_1 (1 - VRC^2)$$

I.4.2.2 혼 안테나를 이용한 기준 전계 수립

혼 안테나 이득은 I.3.3에서 설명한 방법으로 측정한다. 축상(on-axis) 전계(V/m)는 다음으로 결정한다.

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{\text{net}} g}{4\pi}} \frac{1}{d} ,$$

자유 공간에 대한 $\eta_0=377 \text{ W}$ 인 경우, $P_{\text{net}}(\text{W})$ 은 I.4.2.1에서 설명한 방법으로 결정한 순전력이다. g 는 I.3.3에서 결정한 안테나 이득이며, $d \text{ (m)}$ 는 안테나 개구부에서의 거리다.

I.4.2.3 챔버 유효성 확인 시험 주파수 범위와 주파수 단계

챔버 VSWR 시험에는 프로브 교정을 실시할 주파수 범위가 포함되어야 하며, I.2.3에서 명시한 것과 동일한 주파수 단계를 사용하여야 한다.

VSWR 시험은 각 안테나의 최저 및 최고 운용 주파수에서 챔버 내에서 실시한다. 협대역 흡수체 (예: 페라이트)를 사용하는 경우, 더 많은 주파수 포인트를 측정할 필요가 있을 수 있다. 이 챔버는 VSWR 기준을 충족하는 주파수 범위에서만 프로브 교정에 사용하는 것이 바람직하다.

I.4.2.4 챔버 유효성 확인 절차

프로브 교정에 사용한 챔버는 다음 절차로 검증한다. 다만, 챔버의 물리적 조건 때문에 사용할 수 없는 경우에는 제외한다. 이러한 경우에는 I.4.2.7의 대체법을 적용할 수 있다.

그림 I.3과 그림 I.4에 따라 유전율이 낮은 지지물(예: 스티렌폼)을 사용하여 프로브를 측정 위치에 놓는다.

교정에 사용할 위치에 전개 측정 프로브를 놓는다. 송신 혼 안테나의 기준방향을 따라서 편파와 위치를 바꾸어 챔버 VSWR을 결정한다. 챔버 VSWR 시험과 프로브 교정에는 동일한 송신 안테나를 사용하여야 한다.

기준 이득 혼 안테나와 챔버 내 프로브의 배치를 그림 I.3에 나타내었다. 프로브와 혼 안테나는 동일한 수평축 위에 있어야 하며, 이격거리는 안테나의 정면에서부터 프로브의 중심까지 측정한다.

모든 경우에 전개 측정 프로브는 혼 안테나 면의 중심에서 좌우로 놓아야 한다.

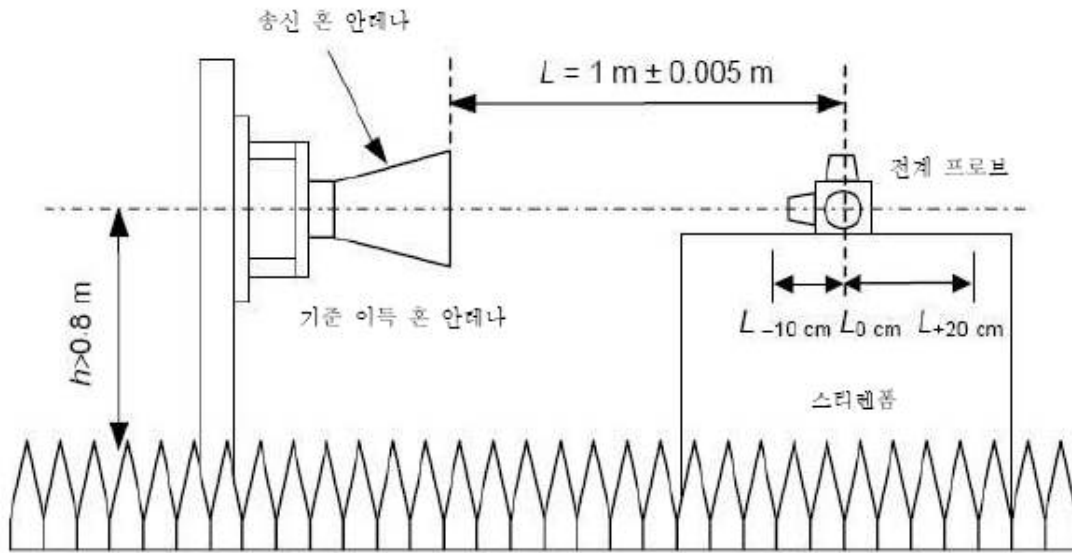


그림 I.3. 챔버 유효성 확인 시험을 위한 시험 배치

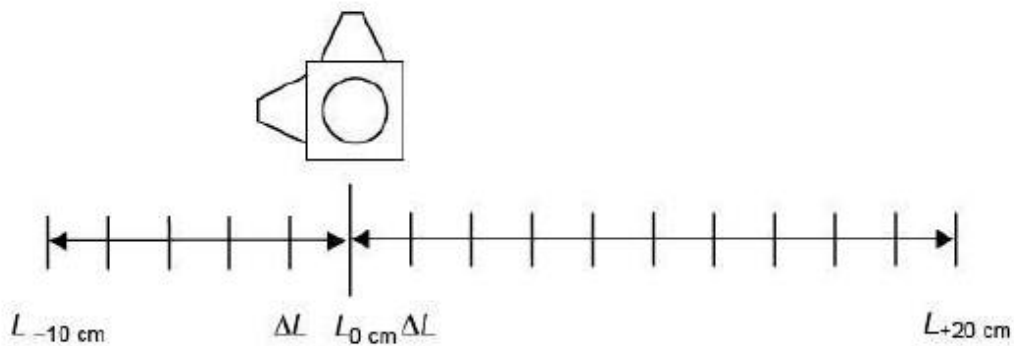


그림 I.4. 측정 위치 ΔL 에 대한 상세도

그림 I.3과 그림 I.4에 시험 구성을 나타내었다. 여기에서 $L - 10 \text{ cm}$ 에서 $L + 20 \text{ cm}$ 은 프로브 교정 거리이며, 이 거리는 혼 안테나의 면에서부터 전계 측정 프로브 중심까지 측정한다. $L_{0\text{cm}}$ 는 위치 0으로 정의한다.

그 위치는 $L - 10 \text{ cm}$, $L - 8 \text{ cm}$, $L - 6 \text{ cm}$, ..., L_0 , $L + 2 \text{ cm}$, $L + 4 \text{ cm}$, ..., $L + 20 \text{ cm}$, $\Delta L = 2 \text{ cm}$ 이다.

프로브가 송신 혼 안테나의 근거리장에 놓여 있다면(거리 $2 D^2/\lambda$ 미만, 여기에서 D 는 안테나의 최대 치수이고 λ 는 자유공간 파장이다), 송신 안테나의 이득은 일정하지 않으므로 각 위치에 대하여 결정할 필요가 있다.

1 m 거리에서 일정한 전계 강도(예: 20 V/m)을 생성하는 정전력을 모든 프로브 위치에 가

한다. 송신 안테나와 전계 측정 프로브가 모두 수직 편파되어 있는 상태에서 모든 주파수에서 모든 위치에 대한 프로브 판독값을 기록한다. 안테나와 프로브를 수평 편파시킨 상태에서 이 시험을 반복한다.

모든 판독값이 I.4.2.5에 명시한 요구규격을 충족하여야 한다.

I.4.2.5 VSWR 허용 기준

다음 절차에 따라서 VSWR 측정 결과를 비교한다. 전계 강도 산출은 I.4.2.2를 참조한다.

a) 전계 강도의 산출

거리 90 cm와 120 cm 사이에 있는 공간 영역에서의 전계 강도를 각 주파수에 대하여 2 cm 간격으로 산출한다.

이 산출은 검증에 사용한 1 m 거리의 전계 강도를 토대로 한다.

b) 데이터 조정

VSWR 측정에 사용한 프로브는 산출된 전계 강도와 동일한 판독값을 전달할 수 없으므로 다음 절차에 따라서 데이터를 조정한다.

- 1 m 거리에서 프로브의 전계 강도 지시값은 산출 1 m 위치로 조정한다. 프로브 지시값과 산출 강도 사이에서 얻은 차를 90 cm와 120 cm에서의 모든 데이터에 대한 보정값 k 로 사용한다. 예를 들어, 1 m 거리에서 프로브 측정값 V_{mv} (예: 21 V/m)과 산출값 V_{cv} (e.g. 20 V/m) 간의 비교. 이 경우에 보정값 k 는 $V_{cv} - V_{mv} = -1 \text{ V/m}$ 이다.
- 90 cm와 120 cm 측정 위치에서 관찰한 데이터에 보정값 k 를 추가한다.
- 측정된 모든 주파수의 모든 측정값에 동일한 산출을 적용해야 한다. 위의 예에서 $k = -1 \text{ V/m}$ 이다. 따라서 $k = -1$ 을 모든 프로브 측정값 데이터에 추가한다.

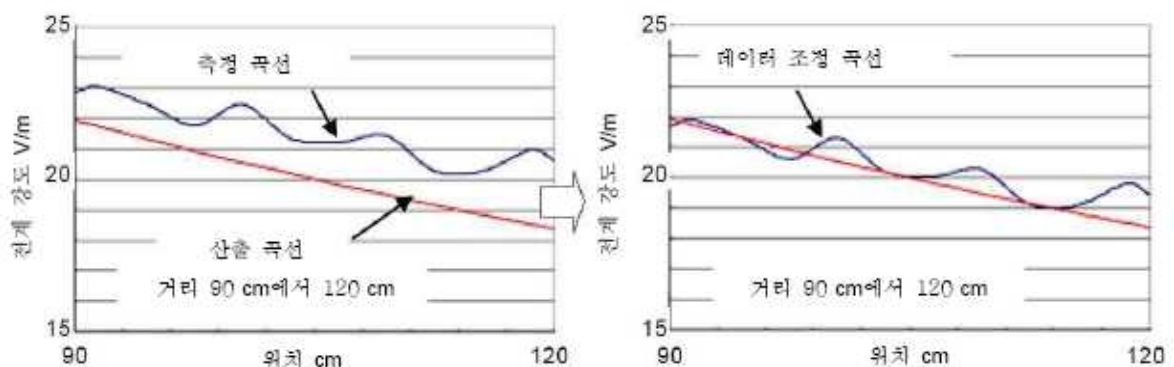


그림 I.5. 데이터 조정의 예

c) 측정 데이터와 산출 데이터의 비교

산출 곡선과 측정 곡선의 데이터 차이가 임의 측정 위치에서 $\pm 0.5 \text{ dB}$ 를 초과할 때는 이 참

버를 프로브 교정에 사용해서는 안된다.

주) 0.5 dB 기준은 측정 불확도 총괄표에 따라 정해진 것이며, 전계 측정 프로브 교정에 적합한 기준의 몇몇 챔버에서 검증되었다(적어도 하나의 국가 측정 협회 교정 시설 포함). 어쨌든 이것은 총 불확도에 기여하는 유일한 인자이다.

일부 전계 측정 프로브에는 금속함이나 배터리와 회로 등 하나의 극이 있다. 이러한 장치들은 특정한 거리와 주파수에서 반사 오차를 유발할 수 있다. 이러한 프로브를 사용할 때는 프로브를 회전시키거나 그 방향을 변경시켜 반사 영향을 최소화하여야 한다.

I.4.2.6 프로브 치구 유효성 확인

프로브 치구는 프로브 교정 중에 전자기장의 반사를 유발할 수 있다. 따라서 치수가 교정 결과에 미치는 영향을 미리 점검하여야 한다.

이 항에서 정의한 절차는 사용하고자 하는 새 프로브 치구에 대하여 실시한다.

절차:

- a) 상대 유전율이 1.2 미만이고 유전정접이 0.005 미만인 재료로 만든 기준 지지물 위에 프로브를 놓는다. 프로브의 위치는 교정 장치 구성시와 동일해야 한다. 기준 치구는 되도록이면 작은 것이 좋다. 다른 모든 지지 구조물은 되도록이면 비침입성이어야 하며, 프로브에서 적어도 50 cm 떨어져 있어야 한다. 프로브 정면(안테나와 프로브 사이) 또는 뒤에는 지지 구조물을 놓지 않는 것이 바람직하다.
- b) 교정 위치에서 프로브의 동적 범위 내에서 기준 전계를 발생시킨다.
- c) 교정 모든 주파수 포인트에 대한 프로브 판독값을 기록한다. 교정 구조에 필요한 대로 프로브를 회전시키거나 위치를 바꾸고(3축 등방성 전계 측정 프로브의 경우에는 각 축을 개별적으로 정렬시킬 필요가 있다), 단계 1과 2를 반복한다. 모든 방향에 대하여 프로브 판독값을 기록한다.
- d) 기준 치구를 제거하고 이를 교정 치구로 대체한다. 단계 2와 3을 반복한다.
- e) 단계 3과 4에서 얻은 결과를 비교한다. 프로브 방향이 동일한 상태에서 두 치수에서 얻은 판독값의 차는 ± 0.5 dB 미만이어야 한다.

I.4.2.7 챔버 유효성 확인 절차의 대안

이 챔버 유효성 확인 절차의 대안은 I.4.2.4의 유효성 확인 절차를 적용할 수 없을 때 적용할 수 있다.

교정에 사용할 위치에 전계 측정 프로브를 놓는다. 송신 혼 안테나의 기준방향을 따라서 편파와 위치를 바꾸어 챔버 VSWR을 결정한다. 챔버 VSWR 시험과 프로브 교정에는 동일한 송신 안테나를 사용하여야 한다.

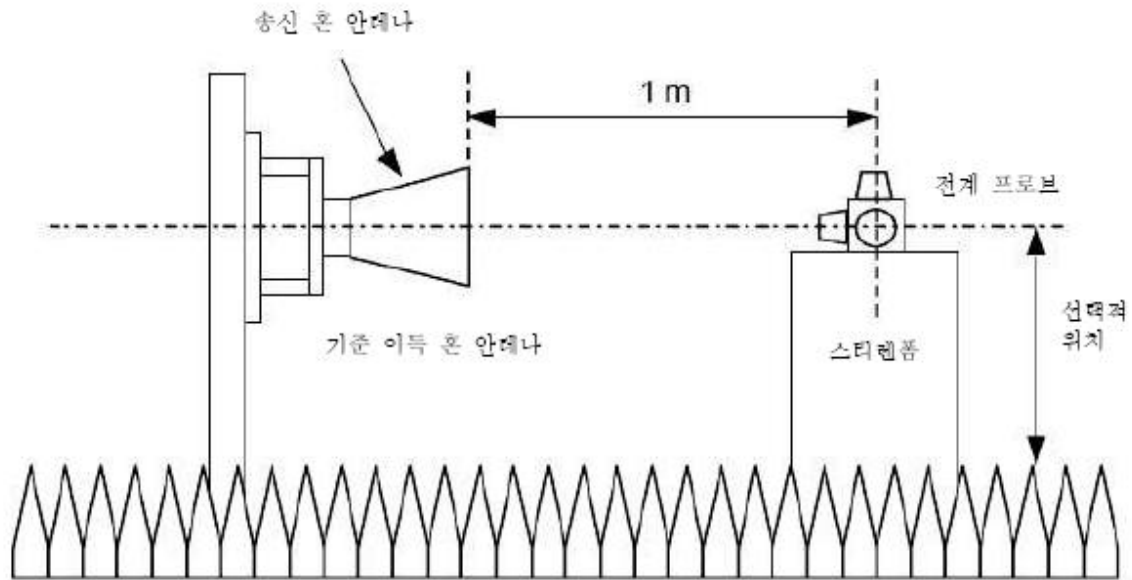


그림 I.6. 안테나와 프로브에 대한 시험 배치의 예

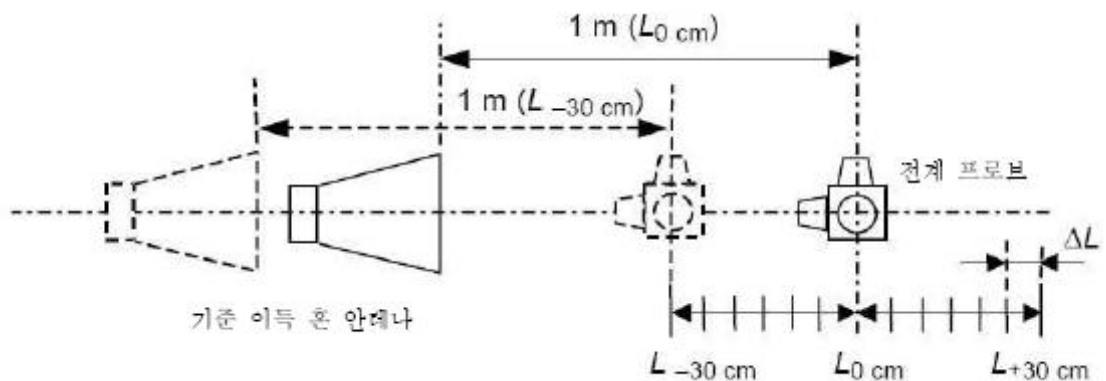


그림 I.7. 챔버 유효성 확인 시험에 대한 시험 배치

그림 I.6과 그림 I.7에 시험 구성을 나타내었다. 여기에서 혼 안테나의 면에서부터 전계 측정 프로브 중심까지 측정한 프로브 교정 거리는 고정 거리, 즉 1 m를 유지한다.

프로브 치구가 측정에 영향을 미치지 않도록 유전율이 낮은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 프로브 교정에 사용한 치구는 개별적으로 평가하여야 한다(I.4.2.6참조).

그 위치는 $L - 30 \text{ cm}$, $L - 25 \text{ cm}$, $L - 20 \text{ cm}$, ..., L_0 , $L + 5 \text{ cm}$, $L + 10 \text{ cm}$, ..., $L + 30 \text{ cm}$ 이고, ΔL 은 5 cm이다.

모든 위치에서 일정한 전자기장(예: 20 V/m)을 발생시킨다. 발생된 전계 강도는 전계 측정 프로브의 동적 범위 내에 있어야 한다. 송신 안테나와 전계 측정 프로브가 모두 수직 편파

된 상태에서 모든 주파수에서 모든 위치에 대한 프로브 판독값을 기록한다. 안테나와 프로브를 수평 편파시킨 상태에서 이 시험을 반복한다.

각 주파수에는 26개의 독립적 프로브 판독값이 있게 된다(13 위치, 2개의 편파). 각 주파수에서 판독값의 최대 확산은 ± 0.5 dB 미만이어야 한다.

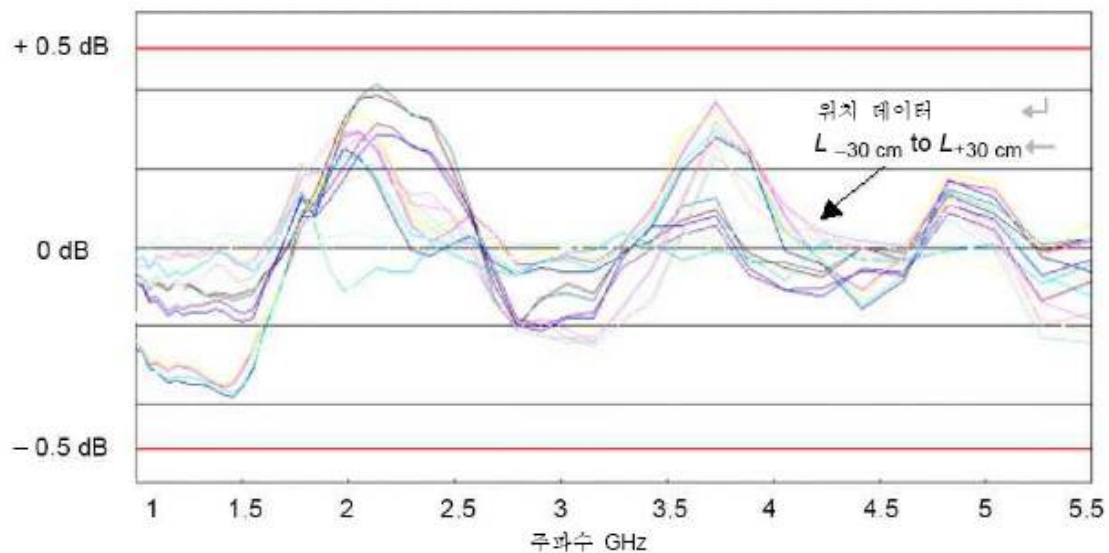


그림 I.8. 챔버 유효성 확인 대안 데이터의 예

I.4.3 프로브 교정 절차

대부분의 현대식 프로브에는 선형 응답을 제공하는 내부 보정 계수가 있다. 교정 시험소에서는 이상적인 응답으로부터 ± 0.5 dB의 프로브 응답을 제공하도록 교정 중에 계수를 조정할 수 있다. 조정을 할 경우 교정 시험소는 조정 전과 후의 응답을 보고하는 것이 바람직하다.

교정하고자 하는 프로브에 선형성 검사 절차를 실시하는 것이 좋다. 선형성이 교정 계통에 미치는 영향은 I.3.2를 참조한다.

비교 프로브 조정이 불가능할 때는 전계 균일성 교정을 실시할 때 사용자가 비선형성을 보상하는 것이 바람직하다.

프로브 교정시에는 I.4의 요구규격을 충족하는 측정 계통/환경을 사용하여야 한다.

I.4.3.1 시험 배치

I.4.2.6의 요구규격을 완전히 충족하지 못하는 치수는 커다란 측정 불확도를 야기할 수 있다.

따라서 I.4.2.6에 따라 유효성이 확인된 프로브 치구를 사용하여야 한다.

전계 측정 프로브의 교정은 프로브 방향에 관한 사용자 시방이나 제조자 시방에 따라 실시하는 것이 바람직하다. 시험소에서도 등방성의 영향을 제한하기 위하여 이 방향을 사용하여야 한다. 제조자가 기술자료에 전계 측정 프로브 방향을 규정하지 않았다면 프로브의 "통상 사용" 방향으로 간주할 수 있는 프로브 방향에서 또는 (프로브를 사용할) 시험소에서 정의한 기준 방향에 따라서 교정을 실시하는 것이 좋다. 어떤 경우에도 교정 보고서에는 교정을 실시한 전계 측정 프로브 방향을 기재하여야 한다.

측정 배치의 예를 그림 I.9와 I.10에 나타내었다.

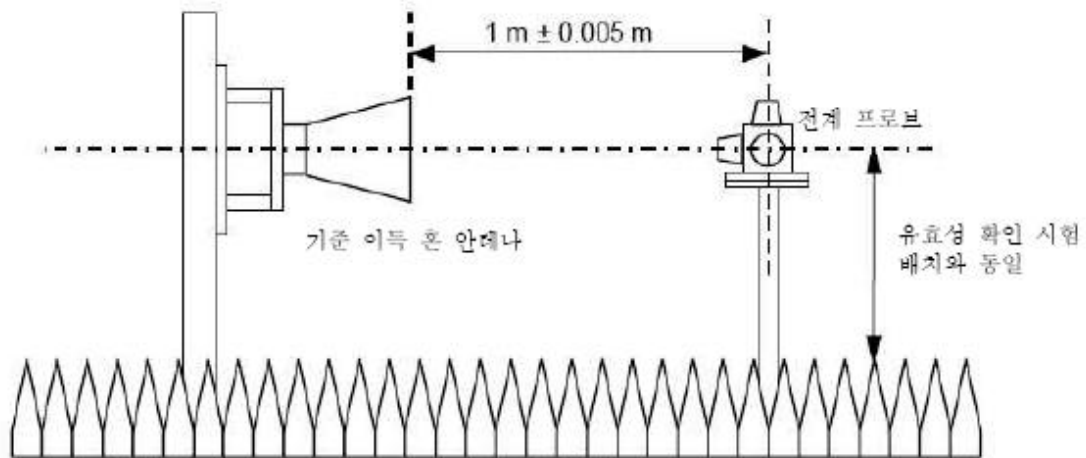


그림 I.9. 전계 프로브 교정 배치

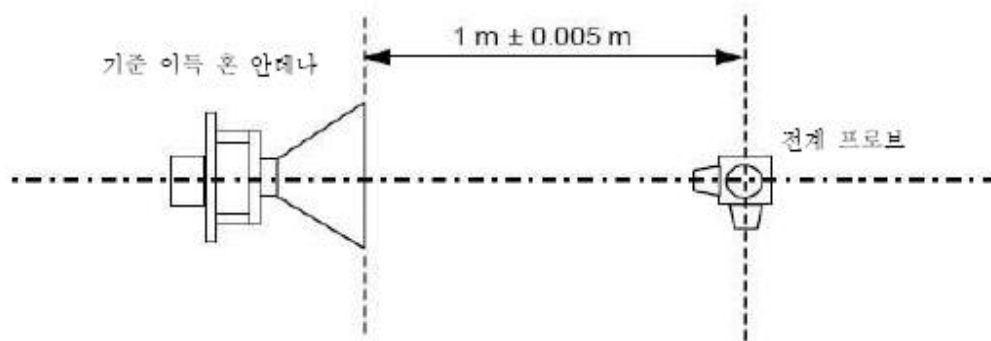


그림 I.10. 전계 프로브 교정 배치(평면도)

I.4.3.2 교정 보고서

I.4.3.1를 고려하여 얻은 측정 결과를 교정 보고서에 기록한다.

이 교정 보고서에는 최소 다음 사항을 기재하여야 한다.

- a) 교정 환경
- b) 프로브 제조자
- c) 형식 지정
- d) 일련번호
- e) 교정일
- f) 온도와 습도
- g) 상세 교정 데이터
 - 주파수
 - 인가된 전계 강도 (V/m)
 - 프로브 판독값 (V/m)
 - 프로브 방향
- h) 측정 불확도

주) IEEE Std 1309 [2]에는 프로브 교정 측정 불확도에 대한 지침이 일부 포함되어 있다.

I.5 프로브 교정 대체 환경과 방법

이 항에서는 대체 교정 시험장, 예를 들면 저주파수 범위에서 교정에 필요한 것에 대한 환경 요구규격을 설명한다.

교정은 KN 61000-4-3에서 설명한 시험 환경과 독립적인 것으로 정의된 환경에서 실시할 수 있다. 내성 시험을 하는 장비와 반대로 전계 측정 프로브는 보통 소형이며 도전 케이블이 구비되어 있지 않다.

I.5.1 TEM 셀을 사용하여 전계 프로브 교정

직사각형 TEM 셀을 사용하여 전계 측정 프로브 교정을 위한 기준 전계를 확립할 수 있다. TEM 셀의 상위 사용 주파수는 KS C IEC 61000-4-20의 5.1에서 설명한 방법에 따라 결정할 수 있다. TEM 셀의 상위 주파수는 대개 수백 MHz이다. 격벽과 상단/하단 판 사이 TEM 셀 중심에서의 전계는 다음 식으로 산출된다.

$$E = \sqrt{\frac{Z_0 P_{\text{net}}}{h}} \quad (\text{V/m})$$

여기에서 Z_0 는 TEM 셀의 특성 임피던스(대개 50 Ω)이고, P_{net} 은 I.4.2.1에 따라 결정된 순전력(W)이며, h 는 격벽과 상단/하단 판 사이 이격 거리(m)다.

TEM 셀의 VSWR은 측정 불확도를 최소로 하기 위하여 작게(예: 1.3 미만) 유지하는 것이 바람직하다.

P_{net} 을 측정하는 다른 방법은 TEM 셀의 출력 포트에 연결된 VSWR이 낮으며 교정된 감쇠기와 전력 센서를 사용하는 것이다.

I.5.3 도파관 챔버를 이용한 전계 프로브 교정

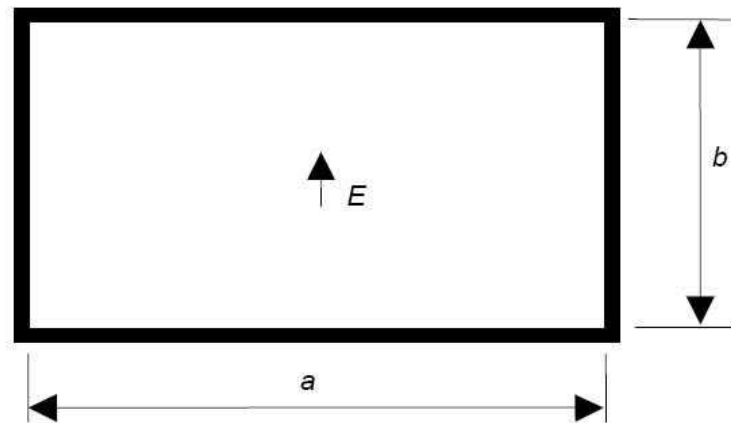


그림 I.11. 도파관 챔버의 단면적도

교정 시험소에서는 도파관 챔버가 지배적인 TE_{10} 모드에서 운영되도록 보장하여야 한다. 고차 모드를 여기시킬 수 있는 주파수는 피하여야 한다. 도파관 제조자는 지배적 모드가 존재할 수 있는 주파수 범위를 규정하여야 한다. 이 주파수 범위는 도파관의 치수로부터 결정할 수도 있다. 도파관 챔버의 사용은 일반적인 크기의 프로브일 때 약 300 MHz에서 1000 MHz로 제한된다.

내부 치수가 a (m) x b (m) ($a > b$)인 도파관의 경우, 지배적 TE_{10} 모드의 차단 주파수는 다음과 같다.

$$(\ell)_{10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}}$$

여기에서 μ 와 ϵ 은 도파관 매질의 투자율과 유전율이다. 공기가 채워진 도파관의 경우에는 $\mu = \mu_0 = 400\pi \text{ nHm}^{-1}$ 이며 $\epsilon = \epsilon_0 = 8854 \text{ pFm}^{-1}$ 이다. 공기가 채워진 도파관 챔버의 차단 주파수는 다음과 같다.

$$(\ell)_{10} = \frac{150}{a} \text{ MHz}$$

도파관 중심에서 실효값 전계는 다음과 같다.

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{\text{net}}}{ab\sqrt{1 - ((f_c)_{10}/f)^2}}} \quad (\text{V/m})$$

여기에서 f (MHz)는 운용 주파수이며, 공기가 채워진 도파관에 대한 $\eta_0 = 377$ 옴이다. P_{net} (W)은 도파관에 전달된 순전력이며 I.4.2.1에서 설명한 방법에 따라 결정된다. 도파관 챔버 내부의 전계는 TEM 파가 아니며, 그 전계는 도파관 중심에서 최대가 된다(정현 분포일 때 측벽에서 0으로 줄어든다). 전계 측정 프로브 교정은 도파관 중심에서 실시하는 것이 바람직하며, 이 때 전계 분포는 다른 위치에서보다 더 적게 변한다(더 균일하다). 다른 모드에서의 차단 주파수 산출 방법 등 도파관에 관한 자세한 내용은 [5]를 참조한다.

I.5.3 개방단 도파관을 이용한 전계 프로브 교정

개방단 도파관의 근거리장 이득에 대한 분석적 해와 경험적 해가 [6]에 명시되어 있다. 개방단 도파관의 근거리장 이득에 대한 이론적 해는 이용할 수 없으므로, 전파 수치기법으로 또는 [4]에서 설명한 측정 기법으로 개방단 도파관의 근거리장 이득을 결정하는 것이 바람직하다.

개방단 도파관의 근거리장 이득을 결정하였다면 I.4.3에 명시한 절차에 따라 교정을 실시하여야 한다.

I.5.4 이득 전달법에 의한 전계 프로브 교정

전달 프로브를 사용하여 전계발생장치(사용 기준 장치)에서 기준 전계를 확립할 수 있다. 전달 프로브 응답은 이론적 산출(다이폴 등의 프로브에 대하여)에 의하여, 또는 I.5.1이나 I.5.2에서 설명한 방법에 따라 실시한 교정에 의하여 결정할 수 있다. GHz TEM 셀 등 사용 표준의 전달 함수는 전달 프로브로 결정할 수 있다. 이 사용 표준 장치의 전계 분포는 전달 프로브로 나타내는 것이 바람직하다. 즉 시험 체적에서 전계 균질성을 평가하는데 필요한 여러 위치에서 측정하여야 한다. 사용 표준 장치의 전달 함수가 알려지면 사용 표준 장치가 선형이라고 가정하여 다른 전력 레벨에서 프로브 교정을 실시할 수 있다. 교정하고자 하는 프로브는 전달 프로브를 놓은 곳과 같은 위치에 놓아야 한다.

다음 조건을 충족할 경우 전달 방법은 정확하다.

- 전달 절차와 교정 절차 간의 시험 장치가 변하지 않는다.
- 측정 중 프로브 위치를 재현한다.
- 송신 전력을 동일하게 유지한다.
- 피시험 프로브의 구조가 전달 프로브의 구조(크기와 소자 설계)와 유사하다.
- 센서 헤드와 판독장치를 연결하는 케이블이 전계를 방해하지 않는다.

- 사용 기준 장치가 대개 무반사적이다.

이 방법에 관한 자세한 정보는 문서 [7] 과 [8]을 참조한다.

I.6 참고 문헌

- [1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H., LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J. D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Intercomparison of Horn Gain at X-Band. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, October 1996, Vol. 44, No. 10.
- [2] IEEE 1309, Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz
- [3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. IEEE Trans. On EMC, 1999, Vol. 41, No. 2.
- [4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, July 1973, Vol. AP-21, No. 4.
- [5] BALANIS, C. A.. Advanced Engineering Electromagnetics. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp 363-375.
- [6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open-ended rectangular waveguide. IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, November 1989, Vol. 31, No. 4.
- [7] GLIMM, J., MÜNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18-20, 1997, ISBN 3-9521199-1-1, pp. 611-613.
- [8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated-susceptibility testing. Frequenz 53 (1999) 9-10, Page 190-194.

부록 J

(정보)

시험 장비에 의한 측정 불확도

J.1 일반사항

이 부록에서는 이 표준의 본문에 포함된 시험 방법의 개별 요구규격에 따라 시험 레벨을 설정하였을 때 발생하는 측정 불확도(MU)에 관한 정보를 제공한다. 자세한 정보는 [1, 2]에서 확인할 수 있다.

이 부록에서는 레벨 설정에 근거하여 불확도 총괄표를 작성하는 방법의 예를 제시하고 있다. 시험소에서는 변조 주파수와 변조 깊이, 증폭기에 의해 생성된 고조파 등 양에 관한 그 밖의 파라미터를 적절한 방법으로 고려할 필요가 있을 수 있다. 본 부록에서 제시한 방법은 외란 양에 관한 모든 파라미터에 적용할 수 있다고 간주한다.

시험장 영향을 비롯해 전계 균질성의 불확도에 미치는 영향은 현재 논의 중이다.

J.2 레벨 설정을 위한 불확도 총괄표

J.2.1 측정량의 정의

측정량은 이 표준의 6.2.1 단계 a)와 6.2.2 단계 a)의 절차에 따라 선택한 UFA 지점에서의 가상 시험 전계 강도(EUT 없음)이다.

J.2.2 측정량의 불확도(MU) 기여 인자

다음의 영향도(그림 J.1)는 레벨 설정에 관한 영향의 예를 나타낸 것이다. 이 영향력 도표는 교정 절차와 시험 절차에 모두 적용하며, 이 영향력 도표는 완전한 것이 아니라고 이해하여야 할 것이다. 영향력 도표에서 가장 중요한 기여인자는 불확도 총괄표 표 J.1과 J.2에서 선택한 것이다. 각 시험장이나 시험소에 대해 비교 가능한 총괄표를 얻기 위해서는 적어도 표 J.1과 J.2에 제시된 기여를 사용하여 불확도 총괄표를 계산하여야 한다. 시험소에는 MU 계산시 그 개별 상황에 근거해 기여인자가 추가로 포함될 수도 있다는 점에 주의한다.

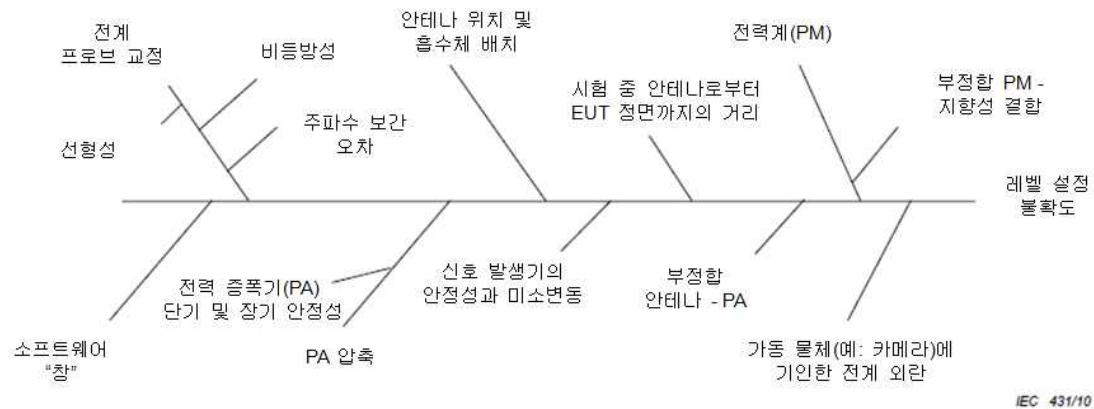


그림 J.1. 레벨 설정에 관한 영향의 예

J.2.3 확장 불확도의 계산 예

교정 및 시험에 적용하는 기여들이 동일하지 않을 수도 있다는 점을 인지하여야 한다. 이로 인해 각 과정의 불확도 총괄표는 달라지게 된다.

이 표준에서 챔버 내부의 전계는 EUT에 관한 시험을 실시하기 전에 교정된다. 시험 장치 구성에 따라 몇몇 기여인자들은 MU를 계산하는데 있어 요인이 되지 않을 수도 있다. 이러한 예로는 증폭기 출력 전력의 레벨 제어에 의해 보상된 것 또는 교정과 시험 사이에 변하지 않은 것(예: 안테나와 증폭기 간의 부정합) 등이 있다.

전계 프로브와 전력 모니터링 계측장비(절대 측정 정확도와 선형성이 아닌 반복성)는 증폭기 출력 전력의 레벨 제어에 포함되지 않으며, MU를 평가할 때는 이들의 기여를 고려하여야 한다.

표 J.1과 J.2는 레벨 설정을 위한 불확도 총괄표의 예를 나타낸 것이다. 불확도 총괄표는 두 부분, 즉 교정 불확도와 시험 불확도로 이루어져 있다.

표 J.1. 교정 절차

기호	불확도원 Xi	U(xi)	단위	분포	제수	u(xi)	단위	ci	ui(y)	단위	ui(y)²
FP	전계 프로브 교정	1.7	dB	정규 k = 2	2	0.85	dB	1	0.85	dB	0.72
PMC	전력계	0.3	dB	직사각형	1.73	0.17	dB	1	0.17	dB	0.03
PAC	PA 고주 이득 변동	0.2	dB	직사각형	1.73	0.12	dB	1	0.12	dB	0.01
SWC	SW 레벨링 정밀도	0.6	dB	직사각형	1.73	0.35	dB	1	0.35	dB	0.12
					$\sum u_i(y)^2$						0.88
					$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$						0.94
					확장 불확도 U(y) (CAL) k = 2						1.88 dB

표 J.2. 레벨 설정

기호	불확도원 Xi	U(xi)	단위	분포	제수	u(xi)	단위	ci	ui(y)	단위	ui(y)²
CAL	교정	1.88	dB	정규 k = 2	2.00	0.94	dB	1	0.94	dB	0.89
AL	안테나 위치 변동 및 흡수체 배치	0.38	dB	k = 1	1	0.38	dB	1	0.38	dB	0.14
PM _t ^{a)}	전력계	0.3	dB	직사각형	1.73	0.17	dB	1	0.17	dB	0.03
PA _t	PA 고속 이득 변동	0.2	dB	직사각형	1.73	0.12	dB	1	0.12	dB	0.01
SW _t	SW 레벨링 정확도	0.6	dB	직사각형	1.73	0.35	dB	1	0.35	dB	0.12
SG	신호 발생기 안정성	0.13	dB	직사각형	1.73	0.08	dB	1	0.08	dB	0.01
					$\sum u_i(y)^2$						1.20
					$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$						1.10
					확장 불확도 U(y) (CAL) k = 2						2.19 dB

a) 전력계에 기반하여 신호 발생기 출력 레벨을 제어하는 경우에는 이 표에 PM_t가 들어간다. 그렇지 않은 경우에는 신호 발생기뿐 아니라 전력 증폭기의 안정성과 미소변동을 고려하여야 한다. 이 예에서 전력 증폭기는 불확도 총괄표에 기여하지 않는다. 전력 증폭기 출력 제어의 일부이기 때문이다. 따라서 전력계 기여를 고려하는 것으로도 충분하다.

J.2.4 용어의 설명

FP는 교정 불확도, 전계 프로브 불평형(비등방성), 전계 프로브 주파수 응답 및 온도 민감도가 조합된 것이다. 통상적으로 이 데이터는 프로브 데이터시트 와/또는 교정 증명서에서 얻을 수 있다.

PM_c는 제조자의 시방서(와 직사각형 분포로 간주되는 것) 또는 교정 증명서(와 정규분포로 간주되는 것)에서 얻은 전력계(그 센서 포함)의 불확도이다. 교정과 시험에 모두 동일한 전력계를 사용한다면 이 기여는 전력계의 반복정밀도와 선형성으로 바꿀 수 있다. 이 표에서는 이 방식을 적용하였다.

PA_c에는 정상 상태에 도달한 후 전력 증폭기의 고속 이득 변동으로부터 유도한 불확도가 포함된다.

SW_c는 교정 절차 중에 레벨 설정을 위해 주파수 발생기와 소프트웨어 창의 개별 단계 크기로부터 유도한 불확도이다.

CAL은 교정 절차와 관련된 확장 불확도이다.

AL은 안테나와 흡수체의 제거 및 교체로부터 유도한 불확도이다. ISO/IEC Guide 98-3에서는 안테나 위치 변동 및 흡수체 배치는 A형 기여라고 언급하고 있다. 즉 그 불확도는 일련의 관찰 결과를 통계 분석하여 평가할 수 있다. A형 기여는 통상적으로 측정 장비의 불확

도의 일부는 아니지만 이러한 기여를 고려한 이유는 중요성이 크고 측정 장비와 밀접하게 관련되어 있기 때문이다.

PMt는 제조자의 시방서(와 직사각형 분포로 간주되는 것) 또는 교정 증명서(와 정규분포로 간주되는 것)에서 얻은 전력계(그 센서 포함)의 불확도이다. 교정과 시험에 모두 동일한 전력계를 사용한다면 이 기여는 전력계의 반복정밀도와 선형성으로 바꿀 수 있다. 이 표에서는 이 방식을 적용하였다.

시험 절차에서 (이 표준의 그림 7과 달리) 전력 증폭기 출력 제어가 없는 측정 장치 구성을 사용한다면 이 기여를 생략할 수 있다. 이 경우에는 신호 발생기와 전력 증폭기의 불확도를 검토해야 한다.

PAt에는 정상 상태에 도달한 후 전력 증폭기의 고속 이득 변동으로부터 유도한 불확도가 포함된다.

SWt는 교정 절차 중에 레벨 설정을 위해 주파수 발생기와 소프트웨어 창 의 개별 단계 크기로부터 유도한 불확도이다. 소프트웨어 창은 대개 시험소에서 조정할 수 있다.

SG는 체재시간 중에 생긴 신호 발생기의 미소변동이다.

J.3 적용

계산된 MU 숫자(확장 불확도)는 다양한 목적에 사용할 수 있다. 예를 들어 제품 표준에 명시된 목적이나 시험소 인정 등에 사용할 수 있다. 이 계산 결과는 시험 절차 중에 EUT에 적용된 시험 레벨을 조정하는데 사용하기 위한 것은 아니다.

J.4 참고문헌

- [1] IEC TC77 document 77/349/INF, General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and radiated r.f. immunity tests
- [2] UKAS, M3003, Edition 2, 2007, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. www.ukas.com에서 무료로 다운로드 할 수 있음
- [3] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)