

# EMC 관련 최근 기술 동향

## 전자파 내성시험의 측정 불확도

강태원 · 이주광 · 원성호 · 김정환
한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹

전자파 방출 시험 분야의 측정 불확도는 관련 전문가들의 노력에 의해 불확도 평가법이 확립되어 산업체나 시험기관 등의 측정 현장에서 사용되고 있다. 그러나 전자파 내성 시험 분야 측정 불확도의 경우, 시험 신호에 노출된 피시험기기(EUT: Equipment Under Test)의 응답을 관측하여 관련 규격 적합성을 판단하는 부분이 들어 있어 측정 불확도 문제를 논하기 어려운 측면이 있다. 그럼에도 불구하고 내성 시험에서도 측정 불확도가 고려되어야 한다는 점에 있어서는 국제적인 합의에 도달하였으며, 2003년 10월 제주에서 열렸던 IEC TC77/CISPR 국제표준화회의에서는 전문가들의 일치된 견해를 확인하였다.

최근 발행된 CISPR의 EMC 측정 불확도 기술 동향<sup>[1]</sup>에서는 CISPR 16-4-1: 표준화된 EMC 시험의 불확도(Uncertainties of the Standardized EMC Test)<sup>[2]</sup>와 CISPR 16-4-2: EMC 측정의 불확도(Uncertainty in EMC Measurements)<sup>[3]</sup>에 대하여 상세하게 다루었다.

전자파 내성 시험의 모든 항목에 대하여 측정 불확도 문제를 논의하는 일은 많은 노력을 필요로 한다. 따라서, 여기서는 내성 시험 관련 측정 불확도의 국제 동향을 간략하게 살펴보고, 방사성 전자파 내성시험과 정전기 방전 내성 시험의 불확도에 대하여 해당 규격의 개정을 담당하는 국제전기기술위원회(IEC)의 기술위원회 진행 문서를 중심으로 논의하고자 한다. 단, 진행 문서이므로 최종 국제 규격의 내

용은 약간 달라질 수 있음을 유의해야 한다.

### I. 개 관

내성 시험 측정 불확도는 해당 규격 제·개정을 담당하고 있는 기술위원회 별로 나누어서 진행되고 있다. CISPR 16-4-1 문서에는 전도성 및 방사성 전자파 내성 측정 항목에 대하여 ‘고려 중’(under consideration)이라고 기술하고 있다. 현재 진행 중인 내성 시험 불확도 관련 문서는 CISPR 16-4-1/TR, IEC TC77B/488/CD<sup>[4]</sup>, IEC TC77B/491/CD<sup>[5]</sup> 등이다.

IEC TC77B/488/CD는 방사성 전자파 내성 시험 불확도를 다루고 있으며, IEC TC77B/491/CD는 정전기 방전(ESD: Electrostatic Discharge) 내성 시험 불확도를 다루고 있다. 그런데 각 내성 시험 규격마다 불확도를 다루는 것은 바람직하지 않으며 일관성 유지를 위하여 전체 규격을 망라한 내성 시험 불확도 규격을 별도로 만들거나 또는 어느 한 규격에 기본 사항과 골격을 포함시킨 후 다른 각각의 규격에서는 특기 사항만 다루는 것이 옳다는 의견이 있다. 2장에서는 방사성 전자파 내성 시험의 불확도를, 3장에서는 ESD 내성시험의 불확도에 대하여 논한다.

### II. 방사성 전자파 내성시험의 불확도

#### 2-1 서 론

EMC 시험의 신뢰성은 시험 결과에 영향을 주는 다양한 요인들에 의해 좌우된다. 이러한 영향들은 우연 효과나 계통 효과에 의하여 측정량의 현시에 불확도를 유발한다. 측정량의 적합성(conformance)은 일련의 측정, 예를 들면 전기장 프로브에 의한 전자기장의 세기 측정, 오실로스코프에 의한 변조 깊이(modulation depth) 측정 등에 의하여 확인한다. 측정 결과는 측정량(measurand)의 근사값이며 측정값은 측정 불확도에 의하여 참값과는 다른 값을 갖는다. 시험 결과의 신뢰성을 높이려면 측정 시스템이 갖는 불확도 요인을 찾아내어 기술해야 한다.

일반적으로 내성 시험 결과는 측정값 자체로 표현되지 않고 측정값의 관련 규격 합·불합(pass/fail)으로 주어지므로, 방사성 또는 전도성 전자파 방출 시험에서와 같은 방식으로 다를 수는 없다. 내성 시험이 수행되는 동안 EUT에 시험 신호가 인가되며, 이 시험 신호는 다수의 파라미터에 의하여 그 특성이 결정된다. 시험자는 시험 신호가 인가되는 상태에서 EUT의 신호들을 관측하고 이것을 미리 합의된 기준과 비교하여 합·불합을 결정한다.

전도성 및 방사성 전자파 방출 시험의 측정 불확도 평가 방법을 EUT로부터 나오는 모니터링 신호의 측정에 적용할 수 있다. EUT 모니터링 신호는 각 EUT마다 다르므로 기본 기준(basic standard)에서는 EUT모니터링 시스템의 불확도를 다를 수 없다. 그룹에도 불구하고 시험자는 이 과정, 즉, EUT 모니터링 과정을 수행한다.

우리는 내성 시험 신호의 파라미터들에 대한 측정 불확도를 규정할 수 있으며, 여기에 근거하여 내성시험 시스템이 기본 규격의 조건을 만족하는지를 알 수 있다. 특정 시스템에 대한 측정 불확도가 기본 규격에 정의된 바대로 그 특정 시스템으로 시뮬레이션한 전자기 현상과 시험실 밖의 실제 전자기 현상과의 일치 정도를 나타내는 것은 아니다. 그러므로 내성 시험 신호의 정의에 대한 질문(예를 들면, 균일

전자기장 평면상의 최대 25 % 측정점을 삭제하는 것)은 내성 시험 시스템의 불확도와는 무관하다. 내성 시험 신호 파라미터가 EUT에 미치는 영향은 선험적으로 알 수 없으며 대부분의 경우 EUT는 시험 신호에 대해 비선형 응답을 가지므로, 하나의 불확도 숫자로 내성 시험 신호에 대한 총체적인 불확도를 정의할 수는 없다. 시험 신호의 각 파라미터는 불확도와 함께 포기하여야 하며, 방사성 전자파 내성 시험은 한 개 이상의 불확도 총괄표를 포함할 수 있다.

## 2-2 시험 신호 레벨의 불확도

이 글에서는 방사성 전자파 내성 시험 신호의 시험레벨 설정에 대한 불확도를 논한다. 전자기장의 균질성 및 변조도와 같은 내성 시험 신호의 다른 파라미터는 필요하다면 나중에 다룬다. 불확도는 출력값에 대한 확률 분포와 신뢰 수준을 포함한다.

## 2-3 용어 정의 및 약자

원래의 문서에 나온 용어들을 KRISS 불확도 표현 지침<sup>6)</sup>의 제2장 용어의 정의 및 약어를 참고하여 정리하였다.

- 측정 정확도: 측정 결과와 측정량의 참값이 서로 일치하는 정도
- 측정 기기의 정확도: 참값에 가까운 반응을 주는 측정 기기의 성능
- 신뢰 수준: 신뢰 구간 또는 통계적 포함 구간과 관련된 확률값
- 오차: 측정 결과에서 측정량의 참값을 뺀 값. 원칙적으로 오차를 알면 측정 결과에 보정을 가할 수 있다. 그러나, 실제로 오차를 알 수는 없다.

(주) 참값은 구할 수 없으므로 실제로는 협정 참값이 사용된다.

- 협정 참값(conventional true value): 어떤 특정량에 부여된 값으로서 주어진 목적에 적합한 불

- 확도를 가지는 것으로, 때로는 협약에 의하여 인정된 값
- 영향량(influence quantity): 측정량은 아니지만 측정의 결과에 영향을 주는 양
- 측정 기기의 허용 오차 한계(공차): 주어진 측정 기기에 대해 명세서, 규격 등에 의해 허용되는 오차의 최대값
- 측정량(measurand): 측정의 대상이 되는 특정한 양
- 측정 시스템(measuring system): 특정 측정을 수행하기 위해 조립된 측정 기기와 기타 장비의 완전한 조합
- 우연 오차(random error): 반복성 조건하에서 같은 측정량을 무한히 측정하여 얻은 모평균을 측정 결과에서 뺀 값
- 측정의 반복성(repeatability): 같은 측정 조건(예를 들면, 방법, 위치, 관측자, 측정기기, 조건)에서 같은 측정량을 연속적으로 측정하여 얻은 결과들 사이의 일치하는 정도
- 측정의 재현성(reproducibility): 변경된 측정 조건(예를 들면, 방법, 위치, 관측자, 측정기기, 조건)에서 같은 측정량을 측정하여 얻은 결과들 사이의 일치하는 정도
- 여러 번 측정시 표준 편차: 같은 측정량에 대한 일련의  $n$ 회 측정에서, 결과의 분산의 특성을 나타내는 양  $s(q_j)$ 이며 다음과 같이 주어진다.

$$s(q_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (1)$$

$q_j$ 는  $j$ 번째 측정의 결과이며,  $\bar{q}$ 는  $n$ 회 측정된 결과의 산술 평균이다.

- 계통 오차: 반복성 조건을 유지하면서 같은 측정량을 무한히 측정하여 얻은 모평균에서 측정량의 참값을 뺀 값. 계통 오차는 측정 조건이 같으면 여러 번 측정해도 변하지 않는다. 따라서, 보정할 수도 있다.

- 계통 불확도: 계통 오차를 구하여 보정할 수 없을 때 불확도를 추정할 수 있다.
- 참값: 주어진 특정량에 대한 정의와 일치하는 값. 이는 결코 알 수 없는 값이지만 국가 표준 소급에 의하여 어떤 불확도 범위 내에서 근사값을 얻을 수는 있다.
- 측정 불확도: 측정 결과와 관련하여 측정량을 합리적으로 추정한 값의 분산 특성을 나타내는 파라미터. 참값이 놓이는 구간을 표시하며 일반적으로 신뢰 수준과 함께 주어진다.
- 약자
  - dB: 데시벨
  - RF: 무선 주파수
  - RSS(Root of Sum of Squares): 제곱한 것을 합한 양의 제곱근
  - UFA: 균일한 전자기장 영역(IEC 61000-4-3에 기술된 16개 측정점)

## 2-4 불확도 평가

### 2-4-1 A형 및 B형 불확도

A형 불확도: A형 평가(Type A evaluation)에 의하여 구한 불확도. A형 평가는 일련의 관측값을 통계적으로 분석하여 불확도를 구하는 방법을 말한다.

B형 불확도: B형 평가(Type B evaluation)에 의하여 구한 불확도. B형 평가는 일련의 관측값의 통계적인 분석이 아닌 다른 방법으로 불확도를 구하는 방법을 말한다.

### 2-4-2 제한사항

다음의 제한사항과 조건은 제2장 전체에 적용된다.

- 불확도 총괄표는 주로 내성 시험 시스템에 의한 불확도 즉 B형 불확도를 고려한다. 그렇다고 하더라도 각 시험 기관은 반드시 A형 불확도를 포함하여 불확도 총괄표를 작성하여야

한다.

- 모든 불확도 요인은 서로 상관되어 있지 않다(uncorrelated).
- 95 % 신뢰 수준은 받아들여질 수 있다(acceptable)고 간주한다.

### 2-5 B형 불확도의 계산

B형 불확도는 그 요인에 따라 교정 성적서나 장비 제조업체의 명세서에 주어진 값들을 <표 1>의 나누기 인자로 나누어서 계산한다. 확률 분포를 알지 못하는 경우에는 직사각형 분포를 가정하여  $\sqrt{3}$ 으로 나눈다.

<표 1> B형 불확도 계산시 확률 분포별 나누기 인자

확률분포	나누기 인자	설명
정규분포	포함인자 $k$	약 95 %의 신뢰수준에 대하여 $k=2$ , 교정 성적서에 명시된 경우가 대부분임.
직사각형	$\sqrt{3}$	제조업체의 측정기기 명세서
U자 모양	$\sqrt{2}$	부정합 불확도, 한계치에서 불확도 기여량이 큼
삼각형	$\sqrt{6}$	분포의 중심에서 불확도 기여량이 큼

합성 표준 불확도는 A형 및 B형 불확도를 RSS 법에 의하여 구한다. 이 때 모든 불확도 성분의 단위는 같으며 서로 상관 없어야 한다(uncorrelated). 불확도 성분이 dB로 표시되면 각 항들을 제곱하여 합하며, 이 때 감도계수  $C_i$ 는 모두 1이다. 이 조건은 측정량의 크기가 중요한 전도성 또는 방사성 전자파 방출시험에 대해서 만족한다. 합성 표준 불확도  $u_c(y)$ 는

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} \quad (2)$$

와 같이 구한다. 출력량  $y$ 의 확률 분포가 정규 분포라고 가정하면 포함인자  $k$ 는 Student  $t$ -분포로부터 구

할 수 있다. 정규 분포 즉 가우시안 분포의 특성에 의하여 합성 표준 불확도의 신뢰 수준은 68.3 %이다. 확장 불확도  $U$ 는  $k \cdot u_c(y)$ 에 의하여 구한다.

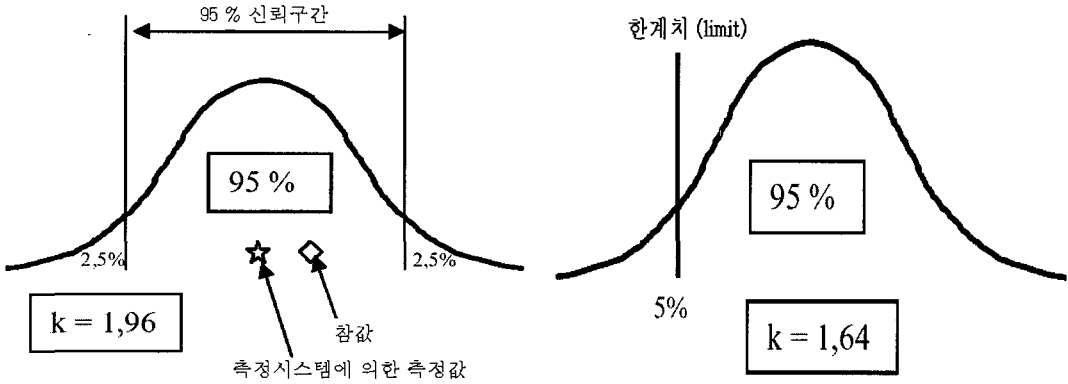
### 2-6 불확도 총괄표(Budget) 작성

불확도 총괄표는 모든 불확도 요인을 확률 분포 및 불확도 한계치와 함께 정리한 목록이다. 불확도 총괄표를 작성하는 순서는 다음과 같다.

- ① 측정량의 특성 명시
- ② 불확도 기여 성분과 그것의 크기 구하기
- ③ 각 불확도 성분의 확률 분포 구하기
- ④ 각 불확도 성분에 대한 표준 불확도  $u_i(y)$  구하기
- ⑤ 합성 표준 불확도  $u_c(y)$ 와 확장 불확도  $U=k \cdot u_c(y)$  구하기
- ⑥ 확장 불확도의 적용
- ⑦ 필요한 품질 문서에 확장 불확도 기재(별도로 요구하지 않는 한 시험기관에서 발행하는 시험 성적서에 확장 불확도를 표기해야 하는 것은 아님)

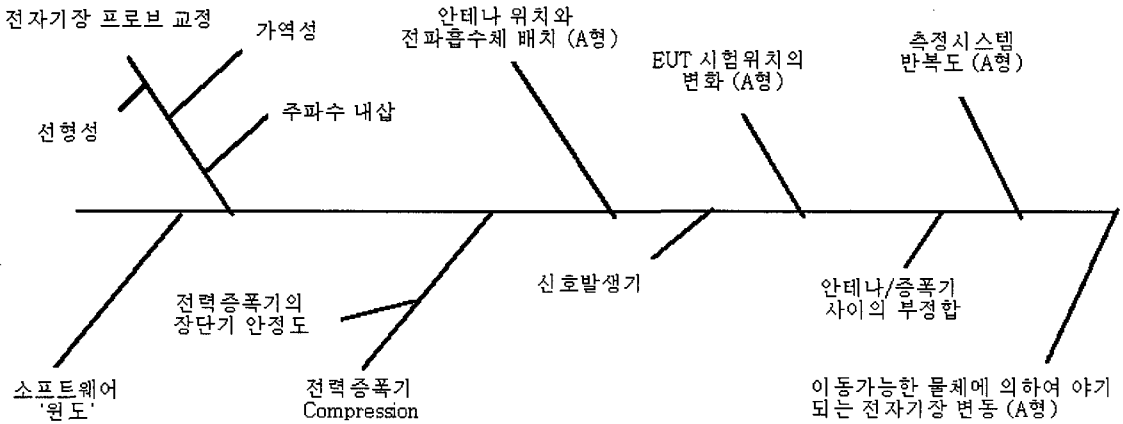
불확도 총괄표에 대한 구체적인 예는 다음 장에서 다룬다. 이 총괄표는 예제에 지나지 않으며 시험기관은 측정에 사용되는 실제 시스템에 대하여 불확도 요인을 찾아내어 확장 불확도를 구하여야 한다(최종 불확도 총괄표는 고려해야 하는 불확도 성분의 최소한의 목록을 기술한다. 시험 기관의 측정자는 추가적으로 불확도 요인을 찾아내는 것이 필요하다. 이렇게 하면 시험 기관 간 불확도 비교를 잘 할 수 있게 된다).

시험 신호의 시험 레벨에 대해서는 포함인자  $k=1.64$ 를 적용한다. 이에 대한 근거는 EUT의 관련 규격과의 적합성(compliance)이 시험 레벨 한계치(limit) 3 V/m, 10 V/m 등과 연관되어 있다는 점이다. [그림 1]은 이러한 관계를 보여준다. [그림 1(b)]에서 포함인자  $k$ 가 1.64(Student- $t$  분포에서 90 %의 신뢰 수준에 대한 인자이다.)이면 분포의 95 %가 한계치보다 큰 구간에 있게 된다.  $k=1.64$ 는 시험 레벨에 대하여 확장 불확도를 구할 때 사용할 것을 권고한다. 즉, 확



(a)상하 신뢰구간 95 %에 대한 포함인자  $k=1.96$  (b)한계치까지 95 % 신뢰구간에 대한 포함인자  $k=1.64$

[그림 1] 적합성(compliance) 고려시 포함인자  $k=1.64$ 의 결정



[그림 2] 방사성 전자파 내성 시험에서 불확도 요인에 대한 특성 요인도

장 불확도  $U = k \cdot u_c(y) = 1.64 \cdot u_c(y)$ 에 의하여 구한다.

2-7 에 제

[그림 2]의 특성 요인도(fishbone diagram)는 시험 방법에 미치는 영향 요인의 예를 보여준다. 이 예는 모든 영향 요인을 철저히 규명한 것이 아님을 주의해야 한다. 시험전 전자기장 교정 과정과 실제 시험 과정에 적용되는 불확도 요인은 서로 같지 않을 수도

있음을 유념해야 한다. 따라서 각 과정에 대한 불확도 총괄표 사이에는(약간의) 차이가 있을 수 있다.

기본 규격에 의하면 EUT에 대한 내성 시험을 수행하기 전에 전파 무향실 내의 일정한 교정면(calibration plane)에서 전자기장의 세기를 교정하여야 한다. 시험 셋업을 구성하는 기기들에 대한 제어 루프를 잘 활용하면 안테나와 연결 케이블 등의 요인이 불확도 요인에 포함되지 않도록 할 수 있다. 전자기장 측정

프로브와 전력 모니터링 기기(절대 측정정확도보다는 반복도가 중요함)는 이 제어 루프에 포함되지 않으며, 이들의 불확도 기여 성분은 측정 불확도 평가 시 별도로 고려되어야 한다.

EUT의 시험 위치와 같은 불확도 요인은 A형 불확도로 고려하되, 이는 일반적으로 본 규격(IEC 61000-4-3<sup>[7]</sup>)을 말함)의 정보 부속 규격(informative annex)에서는 다루지 않는다. 하지만, 다른 시험 방법을 사용

<표 2> 전력계를 사용한 (a) 교정 프로세스와 (b) 내성 시험 프로세스

(a) 전력계를 사용한 교정 프로세스

기호	불확도 요인	값	단위	확률분포	나누기 인자	$C_i$	$u_i(y)$	단위	$u_i^2(y)$
FP	전자기장 프로브 교정	1.7	dB	정규 ( $k=2$ )	2	1	0.85	dB	0.72
PMc	전력계	0.05	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.03	dB	0.00
PAC	PA 이득의 급격한 변화	0.2	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.12	dB	0.01
SWc	SW의 레벨링 정밀도	0.6	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.35	dB	0.12
$\sum u_i^2(y)$									0.86
$\sqrt{\sum u_i^2(y)}$									0.93
확장불확도 (CAL), $k=2$									1.85 dB

(b) 전력계를 사용한 시험 프로세스

기호	불확도 요인	값	단위	확률분포	나누기 인자	$C_i$	$u_i(y)$	단위	$u_i^2(y)$
CAL	교정	1.85	dB	정규 ( $k=2$ )	2	1	0.93	dB	0.86
AL	안테나 위치 변화와 전파 흡수체 배치	0.75	dB	정규 ( $k=2$ )	2	1	0.38	dB	0.14
Maa	안테나 증폭기 간 부정합	1.2	dB	U자	$\sqrt{2}$	1	0.85	dB	0.72
PMt	전력계	0.3	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.17	dB	0.03
PAt	PA 이득의 급격한 변화	0.2	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.12	dB	0.01
SWt	SW 레벨링 정밀도	0.6	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.35	dB	0.12
$\sum u_i^2(y)$									1.89
$\sqrt{\sum u_i^2(y)}$									1.37
확장불확도(TEST), $k=1.64$									2.25 dB

FP - 교정 불확도, 전자기장 측정 프로브의 불평형(비등방성), 전자기장 프로브의 주파수 응답과 온도 감도의 조합. 프로브 데이터 시트나 교정 성적서로부터 구한다.

PMc - 전력 감지기의 제조사 규격을 포함한 전력계 자체의 불확도. 교정할 때와 시험할 때 같은 전력계를 쓰면 이 불확도 요인은 무시할 수 있다.

PAC - 전력 감지기가 정상 상태에 도달한 후 급격한 이득 변화에 의한 불확도이다.

SWc - 전자기장의 세기 교정 프로세스가 진행되는 동안, 주파수 발생기의 이산 주파수 스텝 크기와 레벨 세팅을 위한 소프트웨어 원도에 기인하는 불확도.

CAL - 요구되는 시험 레벨의 전자기장의 세기를 만들기 위해 필요한 순방향 전력의 확장 불확도.

AL - 안테나와 전파 흡수체의 제거 및 재배치에 의하여 발생하는 불확도. GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) 참고문헌 [8]을 참고하면 안테나 위치 변화와 흡수체 배치에 의한 불확도 요인은 A형 불확도이다. 즉, 이 불확도는 여러 번의 연속적인 관측값들에 대한 통계분석으로부터 구할 수 있다. A형의 불확도 기여 성분은 보통 측정기에 기인한 불확도 부분이 아니다. 그러나, 이 불확도 성분은 매우 중요하고 측정기와 긴밀한 관계가 있기 때문에 고려해야 한다.

Maa - 큰 EUT에 의한 전자기적인 충격에 의하여 발생하는 안테나와 전력 증폭기 사이의 부정합에 의한 불확도이다. 이것은 시험거리를 3 m로 권고하면 무시할 수 있다.

PMt - 전력감지기의 제조사 규격을 포함한 전력계 자체의 불확도. 이 불확도 성분은 <표 2>에 주어진 것과 같이 교정 및 시험시 같은 전력계를 사용하면, 반복도와 전력계의 선형성에 의한 불확도가 된다.

SWt - EUT에 대한 내성 시험 프로세스가 진행되는 동안, 주파수 발생기의 이산 주파수 스텝 크기와 레벨 세팅을 위한 소프트웨어 원도에 기인하는 불확도. 소프트웨어 원도는 시험기관에서 상시 조정한다.

<표 3> 전력계를 사용하지 않은 (a) 교정 프로세스와 (b) 내성 시험 프로세스

(a) 전력계를 사용하지 않은 교정 프로세스

기호	불확도 요인	값	단위	확률분포	나누기 인자	$C_i$	$u_i(y)$	단위	$u_i^2(y)$	
FP	전자기장 프로브 교정	1.7	dB	정규( $k=2$ )	2	1	0.85	dB	0.72	
SGc	신호 발생기	1.5	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.87	dB	0.75	
PAc	PA 이득의 급격한 변화	0.2	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.12	dB	0.01	
SWc	SW의 레벨링 정밀도	0.6	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.35	dB	0.12	
									$\sum u_i^2(y)$	1.61
									$\sqrt{\sum u_i^2(y)}$	1.27
									확장불확도 (CAL), $k=2$	2.54 dB

(b) 전력계를 사용하지 않은 시험 프로세스

기호	불확도 요인	값	단위	확률분포	나누기 인자	$C_i$	$u_i(y)$	단위	$u_i^2(y)$	
CAL	교정	2.54	dB	정규( $k=2$ )	2	1	1.27	dB	1.61	
AL	안테나 위치 변화와 전파 흡수체 배치	0.75	dB	정규( $k=2$ )	2	1	0.38	dB	0.14	
Maa	안테나 증폭기 간 부정합	1.2	dB	U자	$\sqrt{2}$	1	0.85	dB	0.72	
SGt	신호 발생기 안정도	0.3	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.17	dB	0.03	
PAt	PA 이득의 급격한 변화	0.2	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.12	dB	0.01	
PA	PA 안정도	1	dB	직사각형	$\sqrt{3}$	1	0.58	dB	0.33	
									$\sum u_i^2(y)$	2.85
									$\sqrt{\sum u_i^2(y)}$	1.69
									확장불확도(TEST), $k=1.64$	2.77 dB

SGc - 제조자의 기기 명세서에서 구한 신호 발생기의 불확도. 이 불확도 성분은 교정 및 시험시 같은 전력계를 사용하면 무시할 수 있다.  
 SGt - 제조자의 기기 명세서와 성적서로부터 구한 신호 발생기의 불확도. 이 불확도 성분은 <표 3>에서와 같이 교정 및 시험시 같은 신호 발생기를 사용하면, 반복도와 신호 발생기의 선형성에 의한 불확도가 된다.  
 PA - 전력 증폭기 안정도

하기 위하여 전파 무향실을 사용하는 시험기관에서 안테나 위치 및 전파 흡수체 배치의 변화를 고려해야 하는 경우에는 예외로 한다.

<표 2>와 <표 3>은 내성 시험 레벨 설정, 예를 들면 3 V/m에 대한 불확도 총괄표의 한 예이다. 각각의 불확도 총괄표는 전자기장의 세기 교정 불확도(uncertainty for calibration)와 내성 시험 불확도(uncertainty for test)의 두 부분으로 나누어진다.

2-8 적용

CISPR 16-4-2의 방법에 따르면 확장 불확도가 한 계치를 넘으면 전자기장의 세기 시험 레벨을 증가시킬 것을 권고한다. 권고 한계치는 3 dB이다.

다음은 이것을 불확도에 적용한 예이다.

- 경우 1: 확장 불확도  $k \cdot u_c(y) = 2.25$  dB (<표 2>의 불확도 총괄표에서 계산되었음).  $2.25$  dB <  $3$  dB, 그러므로 시험 레벨을 증가시킬 필요 없음.
- 경우 2: 확장 불확도  $k \cdot u_c(y) = 4.5$  dB (이 예를 설명하기 위해 가정한 값임),  $4.5$  dB >  $3$  dB, 따라서 시험 레벨은 다음과 같은 방법으로 증가시킨다.
  - 허용 불확도는  $3$  dB 이다.  $4.5$  dB의 확장 불확도는  $3$  dB보다  $1.5$  dB를 초과한다.
  - 95 % 신뢰 수준의 시험 레벨 곱하기 인자 (multiplier): antilog ( $1.5$  dB/20)=1.2
  - 그러므로, 명목값  $10$  V/m에 대하여 증가시켜야 할 시험 레벨은  $10$  V/m $\times$ 1.2=12 V/m 이다.

### III. ESD 내성시험의 불확도

#### 3-1 서론

용어 정의, 불확도 평가, B형 불확도의 계산 등 일 반사항은 2장의 내용과 같다.

#### 3-2 ESD 내성시험의 불확도 요인

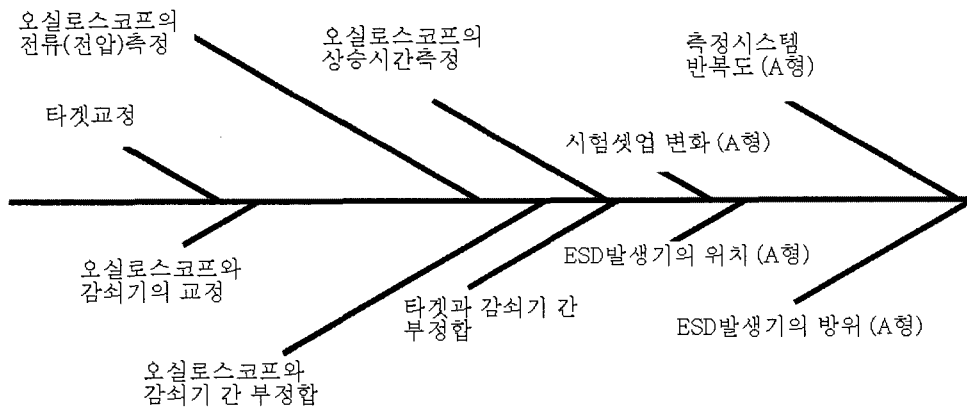
ESD 교정과 ESD 내성 시험의 불확도는 방사성 전자파 방출시험 혹은 다른 시험에서와 같은 방법으로 다룰 수는 없다. 왜냐하면 ESD 시험 결과는 적합성 규격에 대한 합·불합(pass/fail)으로 주어지기 때문이다. ESD 내성 시험이 수행되는 동안 몇 가지 파라미터에 의하여 특성이 표현되는 전자기 에너지가 EUT에 인가된다. 시험 신호가 EUT에 인가되는 상태에서, 한 개 또는 여러 개의 EUT 신호를 관측하여 EUT의 관련 규격에 대한 적합성을 판단한다. ESD 교정시 EUT는 교정 대상 ESD 발생기이다.

고전적인 의미의 측정 불확도 평가 방법을 EUT로부터 나오는 모니터링 신호의 측정에서 사용할 수 있다. 하지만, EUT 모니터링 신호는 각 EUT마다 다르므로 기본 규격에서는 EUT 모니터링 시스템의 불확도를 다룰 수 없으며 다루어서도 안 된다.

우리는 내성 시험 신호의 파라미터들에 대한 측정 불확도는 규정할 수 있으며, 여기에 근거하여 내성 시험 시스템이 기본 규격의 조건을 만족하는지를 기술한다. 특정 시스템에 대한 측정 불확도가 기본 규격에 정의된 바대로 그 특정 시스템으로 시뮬레이션한 전자기 현상과 시험실 밖의 실제 전자기 현상과의 일치 정도를 나타내는 것은 아니다. 그러므로 내성 시험 신호의 정의에 대한 질문(예를 들어 타겟면에 ESD 발생기의 방전 전극이 놓이는 위치)은 측정시스템의 불확도와는 무관하다.

[그림 3]은 ESD 내성 시험에서의 불확도 요인을 나타내는 특성 요인도이며 측정 장치와 측정 셋업이 불확도에 미치는 영향을 평가하기 위해 사용된다.

시험전 ESD 발생기 교정 과정과 실제 시험 과정에 적용되는 불확도 요인은 서로 같지 않을 수 있음을 유념해야 한다. 따라서 두 과정에 대한 불확도 총괄 표 사이에는 (약간의) 차이가 있을 수 있다. 프로브 타겟 연결과 오실로스코프 측정기기 (그것의 절대 측정 정확도보다는 반복도가 중요함)는 이 프로세스에 포함되어 있지 않으며 이것의 불확도는 평가시 별도로 고려해 주어야 한다. 일반적으로 ESD 발생기의 방위(orientation)와 같은 사항은 기본 규격에서 다루



[그림 3] ESD 내성 시험 불확도의 특성 요인도



<표 4> ESD 교정 프로세스의 불확도 총괄표 예

불확도 요인	확률분포	값(dB)	$u_i(y)$ (dB)	$u_i^2(y)$	비고
교정: 오실로스코프	정규 ( $k=2$ )	1.0	0.5	0.25	교정성적서에서 구함
교정: 타겟	정규 ( $k=2$ )	0.5	0.25	0.06	교정성적서에서 구함
교정: 프로브	정규 ( $k=2$ )	1.2	0.60	0.36	교정성적서에서 구함
부정합: 타겟-감쇠기	U자	0.28	0.2	0.04	
부정합: 감쇠기-오실로스코프	U자	0.57	0.4	0.16	
오실로스코프 전류 측정	직사각형	1.0	0.6	0.36	범위에 따라 다름
오실로스코프 시간 측정	직사각형	0.87	0.5	0.25	범위에 따라 다름
반복도	표준편차	-	0.3	0.09	A형, 매우 중요
주 1: <표 4>의 값들은 추정치이며 시험기관의 실제값을 반영하지 않을 수도 있다. $\sum u_i^2(y)$					1.57
주 2: 반복도는 통상 5회의 연속적인 측정값들로부터 구한다. $\sqrt{\sum u_i^2(y)}$					1.25
주 3: 이 파라미터들은 시간 관련 측정에만 기여한다. 주: 제품위원회나 인정업체는 이 표와는 다른 표현을 사용할 수 있다.					확장 불확도, $k=2$
					2.5 dB
					%
					8 %

<표 5> ESD 내성시험의 불확도 총괄표 예

불확도 요인	확률분포	값(dB)	$u_i(y)$ (dB)	$u_i^2(y)$	비고
교정: ESD 발생기	정규 ( $k=2$ )	2.5	1.25	1.56	교정 성적서에서 구함
교정: ESD 발생기 방위	직사각형	3.5	2.0	4.0	A형 (→ B형)
교정: ESD 발생기 위치	직사각형	3.5	2.0	4.0	A형 (→ B형)
EUT 위치	직사각형	0.8	0.5	0.25	A형 (→ B형)
모니터링	직사각형	0.8	0.5	0.25	A형 (→ B형)
검증용 기록	표준편차	-	1.0	1.0	A형
주 1: <표 5>의 값들은 추정치이며 시험기관의 실제값을 반영하지 않을 수도 있다. $\sum u_i^2(y)$					11.0
주 2: 반복도는 통상 검증용 기록값에서 취한다. $\sqrt{\sum u_i^2(y)}$					3.3
주 3: ESD 발생기 교정은 ESD 발생기의 각기 다른 파라미터 (예를 들면, $t_r$ , $I_p$ )들의 불확도 요인을 포함할 수 있다. 주: 제품위원회나 인정업체는 이 표와는 다른 표현을 사용할 수 있다. EUT 특성과 감도에 따라 실제 불확도는 전형적으로 20 % ~50 % 정도이다.					확장 불확도, $k=2$
					6.6 dB
					%
					16.4 %

지 않는다. 하지만 교정 프로세스에서만은 이 요인을 예외적으로 고려하여 주어야 한다.

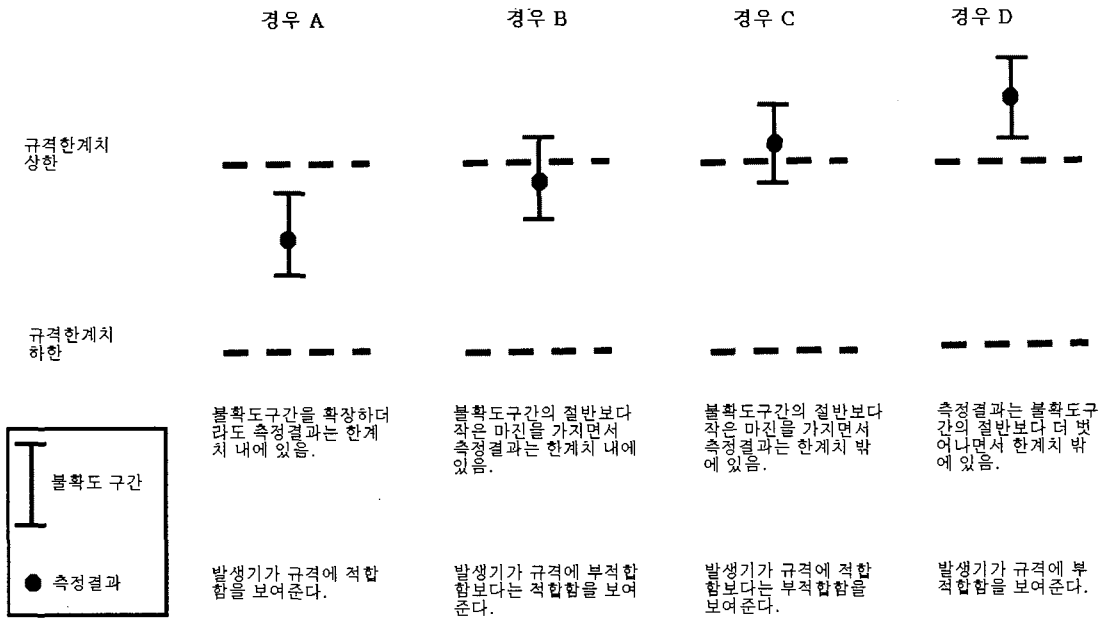
### 3-3 교정 결과의 불확도

측정량  $I_p$ ,  $I_{30}$ ,  $I_{60}$ ,  $W_s$ ,  $t_r$  에 대하여 불확도 총괄표를 각각 만들어야 한다. <표 4>는 ESD 교정 프로세스의 불확도 요인의 예이다.

### 3-4 시험 결과의 불확도

ESD 내성 시험이 수행되는 동안 몇 가지 파라미터들로 특성이 표현되는 전자기 에너지가 EUT에 인가된다. 한 개 또는 여러 개의 관측할 수 있는 EUT 신호를 모니터링함으로써 관련 규격에 대한 EUT의 적합성을 판정한다.

측정 불확도 평가 방법을 EUT로부터 나오는 모



[그림 4] 적합성 판정의 네 가지 경우에 대한 도식

니터링 신호의 측정에 적용할 수 있다. EUT 모니터링 신호는 각 EUT마다 다르므로 기본 기준(basic standard)에서는 EUT 모니터링 시스템의 불확도를 다룰 수 없으며 다루어서도 안된다. 그럼에도 불구하고 시험자는 이 과정, 즉, EUT 모니터링 과정을 수행한다. (필자 주: 이 내용은 3-2에서 이미 다루었지만 여기서도 같은 사항이 반복 기술되고 있다. 추후 검토과정을 거쳐 수정될 것으로 보인다.)

ESD 내성 시험의 불확도는 다수의 A형 불확도 요인들로 구성된다. (필자 주: A형이 아니라 B형으로 바뀌어야 하며 <표 5>의 A형으로 기재된 5개 항목 중 앞에 나오는 4개 항목은 모두 B형으로 바뀌어야 한다.) 따라서 시험 기관에서는 이러한 불확도를 포함시키도록 유의해야 한다. 여기서는 ESD 내성 시험에 초점을 맞추며, <표 5>는 ESD 내성 시험의 불확도 요인에 대한 예이다.

### 3.5 적합성 판정시 측정불확도 적용

일반적으로 ESD 발생기 특성이 규격 한계치 내에 있음을 확인하려면 교정 결과가 측정 불확도를 포함한 한계치 구간 사이에 있어야 한다([그림 4]의 '경우 A'에 해당). 불확도를 포함한 ESD 교정에서 [그림 4]의 '경우 B'를 만족하는 경우에도 ESD 발생기는 규격에 적합하다고 간주한다.

## IV. 요약

지금까지 방사성 전자파 내성 시험과 ESD 내성 시험의 불확도에 대하여 IEC TC77B의 위원회안 진행 문서를 중심으로 살펴보았다. 이 문서의 세부 내용에 대한 개정 작업이 진행 중이므로 최종 국제 규격은 수정되겠으나 전체적인 기조는 유지되리라 예상된다. 전자파 내성 시험 분야에서 불확도를 고려해야 하는 시기가 도래함에 따라 국내 전자파 적합성 시험 기관 및 산업체의 측정인(測定人)들이 한발 앞서 나가는데 본 내용이 도움이 되기를 바란다.

참 고 문 헌

- [1] 박정규, "CISPR의 EMC 측정 불확도 기술동향", 한국전자과학회지 전자파기술, pp. 19-32, 2006년 1월.
- [2] CISPR 16-4-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling-Uncertainties in standardized EMC tests, International Electrotechnical Commission(IEC), International Special Committee on Radio Interference(CISPR), Feb. 2005.
- [3] CISPR 16-4-2, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling-Uncertainty in EMC measurements, IEC CISPR, Nov. 2003.
- [4] IEC 77B/488/CD, Amendment 2 to IEC 61000-4-3 Edition 3: Measurement uncertainty, International Electrotechnical Commission(IEC) TC77B, Nov. 2005.
- [5] IEC 77B/491/CD, IEC 61000-4-2: Electromagnetic compatibility(EMC)-Part 4-2: Testing and measurement, techniques-Electrostatic discharge immunity test, Ed. 2.0, IEC TC77B, Mar. 2006.
- [6] KRISS-99-070-SP, 측정불확도 표현 지침, 한국표준과학연구원, 1999년 4월 수정판.

≡ 필자소개 ≡

강 태 원



1990년 2월~현재: 한국표준과학연구원  
전자기그룹 책임연구원, 전자파분야  
프로젝트리더  
[주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 전  
력, SAR 측정프로브 교정), EMC 측  
정표준

원 성 호



1982년 4월~현재: 한국표준과학연구원  
전자기그룹 선임기술원  
[주 관심분야] EMC 측정 표준 및 시험  
(MIL 시험, EMC 시설의 적합성 시  
험, 전자파차폐 등)

이 주 광



1986년 7월~현재: 한국표준과학연구원  
전자기그룹 책임기술원  
[주 관심분야] 전자파 측정 표준(감쇠량,  
필스특성), EMC 측정표준

김 정 환



1981년 10월~현재: 한국표준과학연구  
원 전자기그룹 책임연구원  
[주 관심분야] 전자파측정표준(RF 전압,  
전력, 안테나, 물질상수 등)