

전자파 적합성 시험의 측정 불확도 규격 동향

강태원 · 이주광 ·
원성호 · 김정환

한국표준과학연구원
기반표준본부 전자기센터

I. 서 론

전자파 방출 시험에 대해서는 불확도 평가 방법이 확립되어 산업체나 시험기관 등의 측정 현장에서 사용되고 있다. 전자파 내성 시험의 측정 불확도(MU, Measurement Uncertainty)는 시험 신호에 노출된 피시험기기(EUT, Equipment Under Test)의 반응에 의하여 적합성(compliance)을 판단하는 부분이 포함되어 있다. 그래서 내성 시험의 MU와 적합성 평가시 MU를 구분하여 문서 제정 작업이 진행되고 있다.

최근의 TC 77/341/INF^[1]문서는 CISPR의 MU 관련 활동을 포함하여 CISPR 16-4-1: 표준화된 전자파 적합성(EMC, Electromagnetic Compatibility)시험에서의 불확도(Uncertainties of the Standardized EMC Test)^[2]와 CISPR 16-4-2: EMC 측정에서의 불확도(Uncertainty in EMC Measurements)^[3]를 다루고 있다.

현재 IEC TC77, SC77A, SC77B, SC77C에서 각각의 규격별로 진행되고 있는 불확도에 관한 정보 사항 제정 작업은 2003년 제 주회의의 결정에 따라 추진되고 있다. 2007년 9월 TC77 시드니 회의에서는 MU 관련 사항도 기본 규격(generic standard)이 필요하며, CISPR 16-4-1이나 TC 61000-1이 MU 기본 규격이 될 수 있다는 논의가 있었다. 작업 방향과 내용은 작업을 해 가면서 변경될 수도 있다.

전자파 내성 시험의 모든 시험 항목에 대하여 MU 문제를 논의하는 일은 매우 광범위하다. 여기서는 내성 시험 관련 MU 규격 제정 동향을 살펴보고, TC77에서 논의 중인 MU 일반 사항에 대해 기술한

다. 그리고 제주 회의 결정에 따라 진행되고 있는 특정 시험 항목에 적용될 MU 정보 사항의 작업 내용 중에서 전도 전자파 내성 시험 항목에 대하여 간단하게 살펴본다. 다만 이 글은 대부분 진행중인 문서들을 참고하여 작성되었으므로 최종 국제 규격은 달라질 수 있음에 유의해야 한다.

II. EMC 시험에서의 불확도 규격 제정 동향

EMC 시험에서 MU 도입 연혁은 77/341/INF^[1] 문서에 기록되어 있으며, 2003년 제주 IEC/CISPR 회의에서 MU 문제가 처음 제기되었다. 아래 내용은 2007년 8월 TC77/341/INF 문서의 내용을 요약한 것이며, 2007년 9월 21일 호주 시드니 회의에서 논의되었다. 아래에 77/341/INF 문서를 요약한다.

EMC 시험에서 처음으로 MU 문제를 다루면서 규격 제정의 의지를 밝힌 문서는 IEC 77/268/INF이다. CISPR 16-4 문서는 EMC 측정에서 MU 필요성을 강조하였다. 전문가들은 EMC 시험에서 MU가 다루어져야 함을 인식하고 있다. 과거 EMC 시험소(test laboratory)들은 각기 서로 다른 방법으로 MU를 다루어 왔으며, 소수 시험소들만이 MU 문제에 관심을 기울여 왔다. 결과적으로 시험소간 시험 결과는 서로 다르고, 이것은 EUT 설치 상의 차이뿐만 아니라 측정기기 자체의 MU 및 시험 방법 기술(記述)의 차이 등의 요인에 기인한다. 따라서 EMC 시험에서 시험 레벨 설정시 MU가 고려되어야 한다. 우리는 이미 EMC라는 용어를 사용하고 있으므로 MU는 전자파 방출 시험

과 전자파 내성 시험에 공통적으로 적용된다.

TC77 및 3개의 SC는 MU 문제를 다루고 있으며, 기존 EMC 시험 규격 내에서 MU 문제를 적절하게 다루는 공통 지침을 제안한다.

2-1 77/268/INF

MU 접근 방법은 측정 분야에 따라 다르다. 따라서 IEC TC77에서도 MU 지침이 제정되어야 한다. MU 지침은 다음 주제들을 포함해야 한다.

- 시험기기 제조자가 정한 측정 구성(measurement instrumentation)의 불확도
- 특정 시험소에서 발생하는 특수한 영향
- 각 시험 방법에서 고려할 물리량
- 시험 절차와 시험 기준에서 불명확하게 기술함으로써 인한 불확도
- 장비의 노후로 인한 영향
- 교정에 의한 영향(일/월/케이스별/우연)
- 수학적 배경 지식
- MU 다루는 방법
- 측정자 영향

이 목록은 현재 깊이 고려되지는 않지만 TC77 제주회의 중이나 후에 개선되어야 한다. 지침 초안 작업팀은 MU를 다루는 TC77 지침을 만들어야 하며, 이 지침 제정을 위하여 CISPR 16-4 문서와 ISO 17025 문서를 기본 문서로 사용할 수 있다. 제정 중인 지침은 모든 작업팀과 초안 유지팀에 배포하여 제정될 규격이나 기존 규격에 반영되어야 한다.

2-2 IEC 77/277/RM(제주 회의)

· TC77 및 SC 관할하의 EMC 측정 표준에서 MU를 다루는 방법

간사가 77/268/INF문서를 소개하고 나서 활발한 논의가 있었다. 이 주제에 대하여 다음 사항을 결정하였다.

- 이 작업은 측정 구성의 불확도에 한한다.

- 간사는 작업반(WG)에 알린다. 해당 EMC 규격의 각 작업반은 이 주제들을 다루며, 다음 회의에서 의제로 다룬다. 이는 모든 SC와 TC77에 적용된다.
- WG와 MT는 SC 간사에게 보고서를 제출한다. 이 보고서는 MU를 다루는 법과 진척 상황, 다른 SC에 도움이 될 만한 특정한 문제나 아이디어들을 포함한다. SC 간사는 2005 TC 회의 기간 동안 진척 상황을 보고한다.

2-3 IEC 77/314/RM(케이프타운 회의)

제주회의 결정에 따라 측정 구성에서의 MU 관련 규격 제정 작업이 시작되었으며, 현황은 다음과 같다.

TC77: TC77에서 다루는 시험 규격은 MU에 대한 기본 시험 절차를 포함하고 있지 않다. 따라서 MU는 이러한 시험 규격의 연구 주제가 아니다.

SC77A: 회의록(77/314/RM문서)의 부록 B 참조.

SC77B: WG10과 MT12가 연구 활동을 시작되었다. SC77B는 MU에 대한 최초로 CD를 발행할 예정이다. 그리고 이 CD 문서가 투표를 거쳐 가결되면 IEC 61000-4-3의 정보 사항이 될 것이다. WG11내의 활동은 초기 단계이다.

SC77C: MU 관련 문서 제정 작업이 거의 진행되지 않았다. 앞으로 TC77C 규격 유지시 MU를 다룬다. 2003년말 이후 SC77C 발행 문서의 경우, 관련 프로젝트가 상당히 진행된 상태에서 MU 사항을 포함하기에는 시기적으로 늦었다. 회의에 참석한 P-멤버들은 MU 작업 착수에 합의했다.

2-3-1 케이프타운 회의 이후의 진척 상황

· SC77B WG10: IEC 61000-4-3/프로젝트 IEC 61000-4-3 Ed. 3.0 Am.2

이 작업의 결과물은 해당 규격에 정보 사항으로 포함된다. 결과물은 당초 예상했던 것보다 훨씬 복잡하다. IEC 61000-4-3^[2]에서 MU를 다룬 77B/531/CDV 문서는 부결되었으며(77B/540/RVC 참조), WG10은

2007년 4월 회의에서 여타 CD문서와 함께 작업을 재개하기로 결의하였다.

· IEC 61000-4-6/프로젝트 IEC 61000-4-6 Ed. 2 Am.3

이 작업의 결과물은 해당 규격에 정보 사항으로 포함된다. IEC 61000-4-6^[3]에 대한 MU 문서 77B/532/CD는 2007년 4월 WG10 회의에서 논의되었다(77B/537A/CC참조, 이 문서는 각국 코멘트에 대한 WG10의 의견을 포함하고 있음).

· SC77B MT12

IEC 61000-4-2를 위한 문서 77B/538/CD가 발행되었으며, 최초로 ESD에서의 MU 고려 사항을 포함하고 있다. 문서 77B/545/CC는 호주 시드니의 MT12 차기회의에서 다루어질 것이다. 2007년 9월 시드니 회의가 열린다.

TC77은 제주 회의와 케이프타운 회의에서 합의된 대로 불확도 관련 문서 제정 작업을 계속하여 수행할 것인지를 고려해야 한다. 현재까지의 작업은 TC77 및 SC의 조직 능력과 부합된다. 다른 추진 방법을 고려한다면 적어도 새로운 WG이나 조직이 필요하다. 이러한 측면에서 77/332/INF 문서의 제안은 현실적이지 않은 듯하다. 이는 시드니 회의의 의제로 다룬다.

2-4 IEC 77/332/INF

IEC 77/332/INF^[4]에서 스위스 NC는 MU에 대한 통합된 접근 방법을 제안하였으며, 2007년 6월 회람되었다. 이 문서의 목적은 고객인 시험소에 MU 지침서를 제공하고 MU 관련 규격 제정에 있어서 IEC와 NC의 자원을 적절하게 활용하기 위함이다. 스위스 NC는 세 가지 방안 중 CISPR 16-4-1, "Uncertainties in standardized EMC tests"의 개정을 지지한다.

제주 및 케이프타운 회의의 결정에 따라 TC77 및 SC는 각각의 규격에 MU 관련 사항을 부록으로 포함하는 작업을 시작하였다. 이 작업을 진행하는 과정에서 이 부록은 기본 개념과 특정 시험 규격에 해당되는 부분으로 나누어짐이 밝혀졌다. 한편, MU 일반

사항의 상당한 부분이 포함된 문서 CISPR 16-4-1, "Uncertainties in standardized EMC tests"가 출판되었다.

MU 기본 규격 제정을 위한 새로운 접근 방법에서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- MU 기본 개념은 CISPR 16-4-1에 포함되어야 한다.
- MU 평가를 처음 접하는 초보자에게도 유용하도록 현재의 CISPR 16-4-1은 개정되어야 한다. CISPR SC도 이 개정 작업을 수행할 필요가 있다.

- CISPR 16-4-1을 개정하기 위한 JTF CISPR/77을 구성해야 한다. 이 JTF의 작업 절차는 문서 CISPR/1133/INF, 77/320/INF, 77B/516/INF을 참조한다.

- 전자파 방출 시험 및 전자파 내성 시험의 각 규격에서 MU 평가 기본 개념은 거의 같으므로 CISPR 16-4-1을 재구성할 필요가 있다(주로 현재 CISPR 규격 해당 절의 제목).

- 이 개정안은 다음 사항을 포함해야 한다.

- A형 불확도 평가: 표준 편차
- 나누기 인자(divisor): 각각의 불확도 기여분을 표준불확도로 변환하는 인자
- 교정 데이터 다루는 방법: 시험에 사용되는 소프트웨어, 내삽 등에서 보정을 한 경우와 하지 않은 경우

▪ 감도계수

▪ 상관성이 있는 양: 간단한 예를 들어서 문제를 언급하되 상세한 계산 과정은 포함하지 않는다. 부록에 수학 정보를 포함할 수 있다.

▪ 부정합 기여: 보통 1차 접근 방법, CISPR 16-4-2의 최악의 경우 수식 포함.

▪ One sided 신뢰도 수준 ($k=1.64$): 시험 결과를 규격 제한값과 비교할 때 사용한다.

CISPR와 TC77은 통일된 접근 방법을 사용해야 한다.

▪ 불확도 총괄표: 간단한 MU 평가 가이드가 필요하며, 불확도 총괄표를 포함한다. 데이터를 입력하면 자동으로 계산되는 엑셀 템플릿 파일도 포함되어야

한다.

· 사용자가 알기 쉽도록 설명해야 하며, GUM (ISO/IEC Guide on MU)^[5]보다는 요약되어야 한다.

2-5 호주 시드니회의 내용 중 불확도 관련 사항

2007년 9월 시드니 회의에서 MU 관련 주요 결정 사항은 다음과 같고, 전문은 TC77/347/RM^[6]에 수록되어 있다.

CISPR 16-4-1과 CISPR 16-4-2는 적합성(conformity) 불확도를 주로 다루며, 이것은 TC77의 MU 분야와는 다르다. 4년전 TC77은 내성 시험의 MU(측정기기의 MU)를 다루기로 결정하였다. 77/277/RM을 참조하기 바란다. 따라서 측정기기의 MU(내성 시험에 사용되는 측정기기의 MU)는 TC77만의 임무이다. 일부 회의 참석자는 MU 관련 규격 제정 작업은 CISPR과 연합하여 추진할 것을 주장하였다. MU 기본 사항 제정 작업을 위한 TC77 WG은 TC77만의 관할 하에 두며, IEC 61000-1 시리즈 내의 새로운 문서로 제정된다. SC77A, SC77B, SC77C는 이 의견을 지지하였다. 이 WG이 구성되면 CISPR은 전문가를 파견할 수 있다.

현재 SC77B WG10과 SC77 MT12에서 작업중인 MU 관련 개정안은 계속 추진되어야 함을 재확인하였다.

TC77 결정 사항 1: SC77A, 77B, 77C 내에서 MU 작업은 제주 회의 및 케이프타운 회의에서 결정한 대로 지속적으로 추진한다. 이는 MU 관련 기본 사항에 대한 단일 문서 제정의 작업 결과물을 현시점에서는 알 수 없고 개별 규격에서 요구하는 MU 관련 사항을 포함시키는 일을 지속해야 하기 때문이다.

TC77 결정 사항 2: 중국 NC는 NP 문서로 MU 기본 사항을 다루기 위하여 TC77 그룹(모종의 연구 그룹, WG이 최선일 것임) 결성을 추진한다. 이 NP 문서가 접수되면 간사인 Mr. Moehr는 CISPR/A가 연합 작업반(JWG, joint working group)에 참여하도록 요청한다. CISPR/A가 동의하면 JWG가 될 수 있다. 그렇

지 않으면 TC77 만의 작업반이 될 것이며, 이는 TC77의 우선적인 정책 방향이다.

각 SC별 논의 사항은 다음과 같다.

SC77A: 77/332/INF문서에 수록된 MU 관련 중국 측 제안 중에서 SC77A는 B제안을 지지한다. 즉, TC77은 MU를 다루는 WG 구성을 결정하며, 이 WG 활동의 결과물인 MU 사항은 IEC 61000-1 시리즈 내의 분리된 문서로 제정된다. 이 문서는 어떠한 경우에도 규격(normative)이 아닌 정보 사항이 되어야 한다. 이 문서는 TR 또는 TS가 될 것이다.

SC77B: 원칙적으로 SC77A의 결의 사항과 동일하며, 다음 사항이 추가되었다. 이 작업은 TC77 WG 또는 PT에 의해 추진되어야 한다.

SC77C: 본 위원회는 MU 관련하여 거의 추진 사항이 없다. 이는 SC77A와 SC77B에 의하여 제정된 내성 시험 방법을 준용하기 때문이다. 여하튼, SC77C는 IEC 61000-1 시리즈의 일부분이 될 MU 공통 지침을 지지한다. CISPR/A에서 추진 중인 작업 내용을 고려한다.

WG10의 활동: 방사 내성 및 전도 내성(Immunity to radiated fields and to conducted disturbances induced by these fields)

WG10 의장 Moehr씨가 77B/547/INF를 발표하였다.

개정(amendment) 3, IEC 61000-4-6의 시험 불확도는 차기 회의 후에 회람되며, 이는 단순히 WG10의 업무 과중 때문이다.

UK NC의 Colglough씨는 반대표를 던진 이유를 설명하고, 이를 계속 견지하겠다고 밝혔다. 그는 특히 모든 개별 규격에 MU 공통 부분(서기의 기록: 도입, 정의, 불확도 분석, B형 불확도 계산 과정, 불확도 총괄표)을 넣는 것이 필요하지 않는데도 불구하고 개별 규격에 MU 공통 사항을 삽입할 경우 과도한 면수 증가로 인한 가격 증가를 언급했다. 그의 주장에 따르면 개별 규격은 그 규격에만 해당하는 특정 사항만을 다루어야 한다. 의장인 Moehr씨는 현재 추진하고 있는 방

법은 제주 회의에서 결정된 사항, 즉 MU는 개별 WG에서만 다를 수 있다는 것에 부합됨을 설명하였다.

Colglough씨는 작업중인 규격안이 산업체에 적용되기 전에, 충분히 산업체와 관련이 있어야 하므로 MU 관련 SC77C의 작업을 반대한다고 덧붙였다. 이에 대해 Moehr씨는 우리가 과거에 그러한 접근 방식으로 추진하였다면 801 시리즈나 61000 시리즈는 만들어지지 않았을 것이라고 답변하였다. 회의에 참석하지 않은 필자가 회의록의 내용으로 미루어 보건대, 이상적인 방법을 추구하는 UK NC에 대하여 IEC가 약간은 부정적인 일침을 가하는 이 대목에서 회의장에 적지 않은 긴장감이 있었을 것으로 보인다.

MT12의 활동: 과도 전자파 내성 시험

<표 1>은 SC77B의 규격 유지 현황을 나타내었다.

IEC 61000-4-2: 이 문서의 개정 이유는 시험의 반복도를 높이기 위함이다.

<표 1> 2007년 9월 현재 SC77B의 규격 유지 현황

(* MU 관련 작업이 진행중인 규격임을 표시함)

기존 문서 번호	발행 연도	판 번호	유지 연도	작업반	새유지 연도
60816	1984	Ed. 1.0	2007	MT12	
61000-4-2*	2001	Ed. 1.2	2009	MT12	
61000-4-3*	2006	Ed. 3.0	2009	WG10	2011
61000-4-4	2004	Ed. 2.0	2009	MT12	2011
61000-4-5	2005	Ed. 2.0	2010	MT12	2012
61000-4-6*	2006	Ed. 2.2	2010	WG10	
61000-4-9	2001	Ed. 1.1	2010	MT12	
61000-4-10	2001	Ed. 1.1	2010	MT12	
61000-4-12	2006	Ed. 2.0	2012	MT12	
61000-4-18	2006	Ed. 1.0	2012	MT12	
61000-4-20	2007	Ed. 1.1	2009	JTF TEM	
61000-4-21	2003	Ed. 1.0	2010	JTF REV	

- ESD 파형 교정
- 77/277/RM 결정에 대한 리뷰
- 부록 E의 MU
- 다음 문서에 ESD 파형의 펄스폭 관련 사항도 포함할 것

MU에 대한 최종 결정 사항은 다음과 같다.

- 새로운 프로젝트팀이나 WG을 구성하여 IEC 61000-1 시리즈에 MU 문서 제정 작업을 수행한다. 이 문서는 전자파 방출(IEC 61000-3 시리즈)과 전자파 내성(IEC 61000-4 시리즈)를 커버할 수 있다.
- NWIP(New Work Item Proposal) 회람 예정이며, 이는 처음 제안한 스위스 NC에 의해 준비, 회람될 것이 유력하다. 스위스 NC는 MU 관련 작업 방법에 대한 훌륭한 방안을 가지고 있다. 여기까지는 규격 제정 동향을 다루었다. 앞으로의 두 장에서는 TC77 및 SC77B 내에서 작업 중인 MU 관련 사항을 요약하여 설명한다.

III. SC77B의 MU공통 규격 제정 동향과 내용

MU 공통 사항은 SC77B WG10이 방사 전자파 내성 규격(IEC 61000-4-3)과 전도 전자파 내성 규격(IEC 61000-4-6)에 정보 사항으로 포함될 MU 관련 사항 제정 작업 과정에서 공통 부분을 발췌한 것이다. SC77B WG10은 이 문서 제정 작업을 TC77 전체에서 활용할 MU 공통 지침을 목표로 추진하는 것이 아니다. 다만, 이는 TC77이 IEC 61000-1 시리즈에 포함될 MU 공통 지침 제정 작업을 하고자 할 때 기본 자료로 활용될 수는 있다.

아래에 최근 문서 77B/558/INF^[7] 및 77A/626/INF^[8]를 요약하였다. 문서 제목은 “전자파 전도내성 및 방사내성 시험에서 시험기기의 MU 일반 사항”(General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and radiated RF immunity tests)이다. 이 문서는

- 서론
- 용어 정의
- 약어 및 기호
- MU와 공차의 관계
- MU 분석
- MU 총괄표 예제
- 참고문헌

으로 구성되어 있다. 이 중에서 MU와 공차의 관계, 그리고 MU 분석 일반 사항 및 분석 예제를 살펴본다.

3-1 MU와 공차의 관계

전자파 내성 시험 기본 규격에 정의된 시험 신호의 파라미터는 공차(tolerance)로 표시된다. IEC 61000-4-6의 CDN(Coupling Decoupling Network)이 동반된 시험 신호 발생기의 임피던스를 예로 들 수 있다.

3-1-1 기본 규격에 시험 신호 공차가 명시되지 않은 경우

기본 규격에 시험 신호 q 의 공차가 명시되어 있지 않으면(예를 들면 IEC 61000-4-3^[8]의 전자기장의 세기), 측정량 q 의 불확도는 관련 장비의 교정 불확도와 다른 입력 사항(예를 들면 온도 드리프트, 장기 드리프트)에 의한 불확도로 나누어진다. 일반적으로 교정실(calibration laboratory)에서 측정중 표시값 q_i 와 교정실의 실현값 q_c 의 차이는 계통 오차(systematic error)이며, 해당기기를 사용할 때 보정할 수 있다. 이 경우 값의 차이($q_i - q_c$)는 불확도 총괄표에 포함되지 않는다.

교정실에서 교정 대상 장비를 교정할 때 그 대상 장비는 표시값 q_i 를 표시한다. 그 교정실에서 교정시 사용하는 장비는 q_c 를 실현한다. 교정실에서 사용하는 측정기기들도 불확도를 가지므로 참값(알 수 없는 경우가 대부분임) q_t 는 실현값 q_c 를 중심한 어떤 구간 안에 있게 된다.

보정 인자 c 를 표시값 q_i 에 적용하면 q_c 가 되어 $q_i = q_c$ 가 된다. 이 단계에서 교정실의 불확도 총괄표는 교정 성적서에 명시된 불확도만을 포함한다.

측정기기는 교정 수행 중에 없었던 또 다른 외부 요인에 의해서 영향을 받으므로 기타 입력량에 의한 불확도 요인이 추가되어야 한다.

3-1-2 기본 규격에 시험 신호 공차가 명시된 경우

기본 규격에 시험 신호 q 의 공차가 명시되어 있는 경우(예를 들면 IEC 61000-4-6)를 살펴보자. 만일 기본 규격에 시험 관련 량의 공차(tolerance)가 명시되어 있으면 MU를 고려해야 한다. 원칙적으로는 '기본 규격에 시험 신호의 공차가 명시되지 않은 경우'와 같으며, 보정/미보정시 시험 관련량의 값과 확장 불확도를 고려한 값이 공차 범위 내에 있는지를 확인해야 한다. 보정하기 전의 측정기기 표시값이 공차범위 내에 있으면 보정이 불필요하다.

3-2 MU분석 일반 사항

3-2-1 A형 및 B형 불확도

측정 오차는 우연 효과 및 계통 효과에 기인한 두 가지의 오차 성분을 갖는다. 우연 효과에 의한 불확도(우연 불확도, random uncertainty)는 예측이 불가능한 요인과 관계되며, 정의에 의하여 보정이 불가능하다. 계통 효과에 의한 불확도(계통 불확도, systematic uncertainty)는 측정에 사용되는 기기나 장비와 관련되며, 보정이 가능하여 따라서 불확도 성분을 줄일 수 있다. 주어진 측정 시스템 내에는 우연 효과 및 계통 효과에 의한 불확도 성분에 영향을 주는 여러 가지 요인이 있을 수 있다.

어떤 시험 방법의 우연 불확도가 다른 시험 결과에 적용되면 계통 불확도로 간주될 수 있는 경우가 발생할 수 있으므로 계통 불확도 또는 우연 불확도를 사용하는 것은 혼란의 여지가 있다(저자 주: ISO 불확도 지침^[9]은 계통 불확도 또는 우연 불확도라는 용어

를 사용하지 않으므로 IEC 규격에서도 이 용어들을 사용하지 않은 것이 전문가들 사이의 의사 소통 및 일관성을 위해 바람직하리라 생각된다. 그 대신 다음과 같이 A형 및 B형 불확도로 구분한다.

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. 예를 들면 교정 데이터에 대한 불확도, 제작자의 사양, 또는 전문가의 지식과 경험에 의하여 결정되는 불확도가 이에 해당된다.

A형 및 B형 불확도로 구분하는 것이 불확도의 본질이 다르다는 것을 의미하는 것이 아니다. 단지 평가 방법에 기초하여 나눈 것이다. 각 불확도는 확률 분포(probability distribution)를 가지며, 표준 편차로 표현될 수도 있다.

3-2-2 A형 불확도 평가

같은 측정량에 대하여 n 회의 독립된 측정에서, 결과에 대한 분산 특성을 나타내는 양은 표준편차는

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

이다. 여기서, x_j 는 j 번째 측정의 결과이며, \bar{x} 는 n 개 관측값의 산술 평균이다. 반복 측정을 하면 $s(x)$ 는 중심 극한 정리(central limit theorem)에 의하여

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

로 감소한다. 표본 크기가 충분히 크면 표본 평균은 정규 분포를 가진다. 반복 측정 횟수는 적어도 10회는 되어야 한다.

A형 평가에 의한 표준 불확도는 $u(x) = s(\bar{x})$ 이다.

A형 평가에 의하여 불확도를 구하는 과정은 다음과 같다. 여기서는 전파 무향실을 방사 전자파 방출 시험과 방사 전자파 내성 시험에 동시에 사용하는 경우를 설명한다. 이 때 안테나와 전파 흡수체의 배치 및 제거 과정이 포함된다. 전파 무향실 바닥에 반복해서 동일한 위치에 전파 흡수체를 설치할 수는 없다. 따라서 안테나 설치·제거와 전파 흡수체의 설치·제거를 분리하여 반복도를 평가할 수도 있다. 하지만 안테나와 전파 흡수체의 설치·제거를 한꺼번에 묶어서 반복도를 평가한다고 해서 불확도가 증가한다는 가정은 합리적이지 않다.

이 문서에서는 300~1,000 MHz 주파수 범위에서 1 개 이상의 주파수에서 반복도를 평가해야 한다. 시험기관에서는 1 % 또는 10 %의 스텝으로 주파수를 변화시켜가면서 반복도를 평가할 수도 있다.

실제 예는 다음과 같다. 주파수 300 MHz, 전기장의 세기 5.00 V/m, 10번 측정하였을 때 안테나 및 전파 흡수체의 설치·제거 반복도 $s(\bar{x})$ 는 +0.46 dB/-0.48 dB이다. 그러므로 확장 불확도 $U = k \cdot u(\bar{x})$, $k=1.96$. 통상 $k=2$ (신뢰수준 약 95 %)를 사용하며, $U=0.96$ dB가 된다. 이 불확도 값은 다음 단계에서 불확도를 구할 때 사용한다.

3-2-3 B형 불확도 평가

B형 불확도는 그 요인에 따라 교정 성적서나 장비 제조업체의 명세서에 주어진 값들을 <표 2>의 나누기 인자로 나누어서 계산한다. 확률 분포를 알지 못하는 경우에는 직사각형 분포를 가정하여 $\sqrt{3}$ 으로 나눈다.

합성 표준 불확도는 지금까지 구한 A형 및 B형 평가에 의해 구한 표준 불확도를 RSS(root-mean-square)법에 의하여 구한다. 이 과정에서 모든 입력량들이 같은 단위를 가지면서 서로 상관관계가 없어야 한다(uncorrelated). 각 표준 불확도는 dB로 표시된다. 불확도 모델식은 다음과 같다.

<표 2> B형 불확도 계산시 확률 분포별 나누기 인자

확률 분포	나누기 인자	설명
정규분포	포함 인자 k	약 95 %의 신뢰 수준에 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

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N x_i \quad (3)$$

여기서 N 은 입력량 추정치의 개수이다. 이 모델 식은 방사 및 전도 전자파 방해에 동일하게 적용된다. 입력량 x_i 와 관계된 표준 불확도에 의한 출력량 y 의 불확도 $u(y)$ 는

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (4)$$

의 관계를 가진다. 모델 함수를 각 입력량에 대해 편미분한 값은 감도계수(sensitivity coefficient)

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (5)$$

이며, 모델식 (3)에 의하여 c_i 는 모두 1이다. 이 조건은 측정량의 크기가 중요하게 다루어지는 전도 전자파 또는 방사 전자파 방출 시험에 대해서 만족한다. 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 는

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(x_i)} \quad (6)$$

와 같이 구한다. 합성 표준 불확도는 가우시안 확률 분포에 의하여 68.3 %의 신뢰 수준을 가진다. Student- t 분포는 불확도에 대하여 포함 인자(coverage factor)를 제공하며, 이 때 출력량 y 는 정규 분포를 따른다.

3-2-4 불확도 총괄표

불확도 총괄표는 불확도 요인과 값, 그리고 확률 분포를 목록화한 것이다. 이를 구하는 절차는 다음과 같다.

(가) 시험 장치에 의해 만들어지는 측정량의 특성 규정

(나) 불확도 요인과 해당값

(다) 각 기여분의 확률 분포 결정

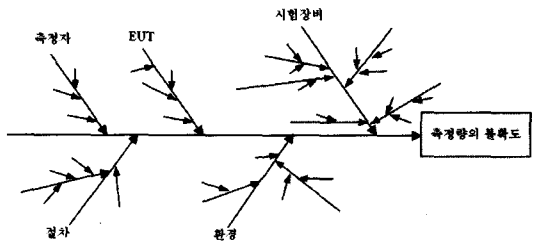
(라) 각 기여분에 대한 표준 불확도 $u(x_i)$ 구하기

(마) 합성 표준 불확도 $u(y)$ 와 확장 불확도 U

불확도 기여분을 표시하는데 편리하게 사용하는 도구는 특성 요인도(fishbone diagram)이다. [그림 1]에 전형적인 예제를 간략하게 보였다.

TC77 결정에 의하여 측정자(測定者)와 EUT에 의한 영향은 불확도 평가시 고려하지 않는다. 측정 환경 변화와 시험 절차 영향이 시험기와 관련이 있으면 고려할 수도 있다.

95 % 신뢰 수준의 불확도를 보고할 때 확장 인자



[그림 1] MU 기여분을 표현하는 특성 요인도

$k=1.96$ 을 적용한다. 그러나, 적합성(compliance) 표현에 있어서 95 % 신뢰 수준을 나타내고자 할 때는 $k=1.64$ 를 적용한다. 이를 [그림 2]에 보였다.

3-3 MU분석 예제

[그림 3]은 내성 시험 시스템의 일부이다. [그림 3]에서 #1은 신호 발생기, #2는 전력 증폭기라고 하자. 신호 발생기와 전력 증폭기는 S-파라미터로 표현되는 회로에 의해 서로 연결된다. 이 회로는 케이블, 감쇠기, 그리고 부가적인 회로로 구성된다. 신호 발생기 출력 포트와 전력 증폭기 입력 포트의 전파 반사로 인해 부정합이 발생할 때 보정인자(correction factor)는

$$\delta M = 20 \log_{10} [(1 - \Gamma_s S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21} \Gamma_s \Gamma_r] \quad (7)$$

이다. 여기서 Γ_s , Γ_r 은 각각 신호 발생기 출력 포

트와 전력 증폭기 입력 포트의 반사 계수로서 복소수이다. 장비 제조업체는 측정기기의 규격을 반사계수 대신 전압 정재파비(VSWR, Voltage Standing Wave Ratio)로 표시하므로 반사계수 크기 $|\Gamma_s|$, $|\Gamma_r|$ 만 알 수 있다. 그러므로 방사 전자파의 전기장 세기 또는 순 전력(net power)을 정확한 보정인자 δM 으로 보정할 수는 없다. 여기서 부정합 불확도는 반사계수의 위상을 모르는 데서 기인한다. 그러므로 부정합 불확도는 식 (7)의 최대값과 최소값

$$\delta M^{\pm} = 20 \log_{10} [1 \pm (|\Gamma_s| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_s| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)] \quad (8)$$

을 구함으로써 얻어진다. δM 은 U자 확률 분포를 가지며, 표준편차는

$$\sigma = \frac{\delta M^+ - \delta M^-}{2\sqrt{2}} \quad (9)$$

이고, 이것은 두 기기들, 여기서는 신호 발생기와 전력 증폭기 사이에 들어가는 회로의 삽입 손실의 부정합 표준 불확도이다. 실제 회로의 반사계수와 S-파라미터에 대하여 δM^+ 과 δM^- 의 절대값을 구하면 $|\delta M^-|$ 이 $|\delta M^+|$ 보다 항상 크다. 그러므로 부정합의 표준 불확도는

$$u(x_i) = \frac{|\delta M^-|}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

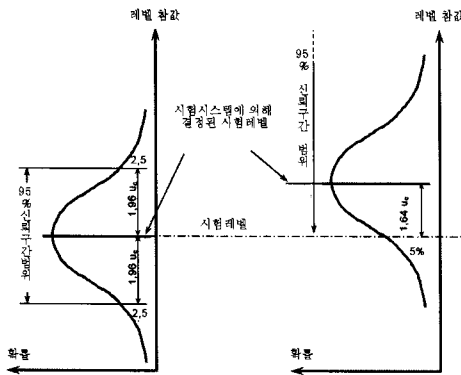
이다.

만일 전력 증폭기의 입력 포트에 연결된 케이블을 포함하여 반사계수를 측정하였으면 [그림 3]의 가운데 회로는 무시된다. $S_{11}=S_{22}=0$, $S_{12}=S_{21}=1$ 로 두면 식 (8)은

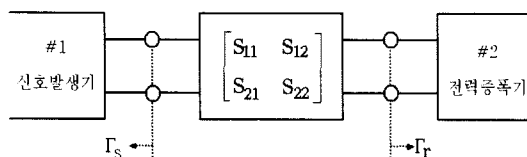
$$\delta M^{\pm} = 20 \log (1 \pm |\Gamma_s| |\Gamma_r|) \quad (11)$$

이다.

포함인자 $k=1.96$, 신뢰수준 95 % 포함인자 $k=1.64$, 시험레벨에 대한 신뢰수준 95 %



[그림 2] 95 % 신뢰 구간과 포함 인자



[그림 3] 회로 구성 예

IV. SC77B의 전도 내성 시험 MU 규격 제정 동향과 내용

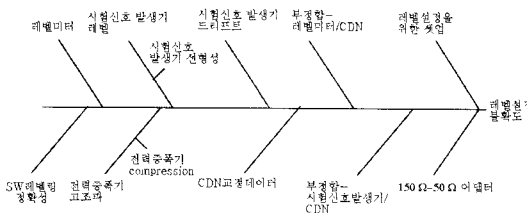
2006년 12월 77B/532/CD 문서^[9]가 회람되었으며, 각국 NC의 커멘트(77B/537A/CC문서^[10])를 반영하여 수정된 77B/559/CD 문서^[11]가 2007년 11월 회람 중이다.

77B/532/CD 문서는 평가된 불확도를 시험 신호 레벨 조정에 이용하는 방법을 제시하고 있으나, 77B/559/CD 문서는 불확도를 평가가 시험 신호 레벨을 조정하려는 의도가 아님을 밝혔다. 아직 작업 중에 있는 문서이므로 추이를 지켜보아야 할 것이다.

[그림 4]는 CDN을 이용한 시험 방법에서 불확도 평가시 사용할 수 있는 특성 요인도이다. 이 외에 EM 클램프(EM clamp), 전류 클램프(current clamp), 직접 주입 장치(direct injection instrument)를 이용한 시험 방법의 불확도 요인들은 77B/559/CD 문서^[11]를 참고하기 바란다. 이들은 측정 현장에서 불확도 평가시 유용하게 사용될 수 있다.

V. 요약

지금까지 전자파 적합성 규격 제정 및 유지를 담당하는 IEC TC77, SC77A, SC77B, SC77C에서 진행되고 있는 MU 관련 규격 제정 현황을 살펴보았다. 2003년 제주회의의 결정에 따라 각 SC는 담당 규격의 부록에 MU 관련 사항을 포함시키는 작업을 진행하여



[그림 4] CDN을 이용한 전도 전자파 내성 시험의 불확도

왔다. 이 과정에서 MU 관련 사항은 모든 규격에 포함되는 일반 사항과 특정 규격에만 해당되는 특이 사항으로 나누어진다는 사실을 자연스럽게 알게 되었다. 따라서 MU 관련 공통 규격 제정이 필요함을 인식하였다. 적절한 MU 공통 규격 제정 방법과 전문 인력의 효율적 활용을 도모하는 방안이 나오기를 기대한다.

현재 SC별로 진행 중인 작업 문서 중에서 방사전자파 방출 시험과 방사전자파 내성 시험에서의 MU 규격 작업 현황을 비교적 상세하게 다루었다. 이와는 별도로 CISPR에서는 적합성(conformity) 판정시 MU에 대해서 다루고 있다^[9].

각 나라에서 활동 중인 전문가들의 노력의 결실로 합리적인 방법으로 MU 관련 규격이 제정되고, 우리나라도 이 과정에서 지속적으로 의견을 제출하여 국제 규격 제정을 도울 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] IEC 77/341/INF, Measurement Uncertainty within TC 77, Aug. 2007.
- [2] IEC 61000-4-3, Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-3: Testing and measurement techniques- Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, IEC, Feb. 2006.
- [3] IEC 61000-4-6, Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-6: Testing and measurement techniques- Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields, IEC, Nov. 2000.
- [4] IEC 77/332/INF, Coordinated approach to documents on measurement uncertainty (MU), Proposal of the Swiss NC, Jun. 2007.
- [5] "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 1995.
- [6] IEC 77/347/RM, Preliminary Minutes for the mee-

ting held in Sydney, Australia, Sep. 2007.

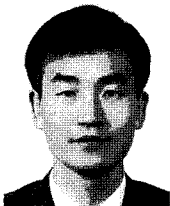
- [7] IEC77B/558/INF, Measurement Uncertainty within TC 77- General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and radiated RF immunity tests, Oct. 2007.
- [8] IEC77A/626/INF, Measurement Uncertainty within TC 77- General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and

radiated RF immunity tests, Nov. 2007.

- [9] IEC 77B/532/CDV, Amendment 3 to IEC 61000-4-6 Ed. 2: Measurement uncertainty, Dec. 2006.
- [10] IEC 77B/537/CC, Amendment 3 to IEC 61000-4-6 Ed. 2: Measurement uncertainty, Mar. 2007.
- [11] IEC 77B/559/CDV, Amendment 3 to IEC 61000-4-6 Ed. 2: Measurement uncertainty, Nov. 2007.

≡ 필자소개 ≡

강 태 원



1990년 2월~현재: 한국표준과학연구원
전자기센터 센터장, 책임연구원
[주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 전
력, 전자파흡수율), EMC 측정표준

원 성 호



1982년 4월~현재: 한국표준과학연구원
전자기센터 선임기술원
[주 관심분야] EMC 측정표준 및 시험
(MIL시험, EMC시설의 적합성시험,
전자파차폐 등)

이 주 광



1986년 7월~현재: 한국표준과학연구원
전자기센터 책임기술원
[주 관심분야] 전자파 측정표준(감쇠량,
펄스특성), EMC 측정표준

김 정 환



1981년 10월~현재: 한국표준과학연구
원 전자기센터 책임연구원
[주 관심분야] 전자파 측정표준(RF전압,
안테나, 전력, 물질상수 등)