

제 출 문

본 보고서를 「전계프로브 표준교정절차에 관한 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 . 12. .

연구책임자 : 곽진교 (이천분소 기술과)

연 구 원 : 고흥남 (이천분소 기술과)

박정규 (이천분소 기술과)

박종렬 (이천분소 기술과)

차기남 (이천분소 기술과)

요 약 문

1. 과제명 : 전계프로브 표준교정절차에 관한 연구
2. 연구 기간 : 2003.1 - 2003.12
3. 연구책임자 : 이천분소 기술과장 박진교
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
oIEC61000-4-3 규정분석	박정규													
o자료수집	차기남													
• GTEM Cell관련 자료 등														
o전계프로브 교정방법에 대한 비교 분석	박정규													
• NIST, NPL 등의 프로브 교정방법 비교분석														
oGTEM Cell을 이용 프로브 교정시스템 구축	박정규													
o측정불확도 산출	박종렬													
o전계프로브 표준교정절차 연구	박정규													
o 표준교정절차서 작성	박정규													
o 연구 총괄	고홍남													
분기별 수행진도(%)		25%			25%			25%			25%			100%

나. 세부 과제별 추진사항

- ☐ 전계프로브 교정방법에 대한 비교 분석 연구
 - o 전계프로브의 각종 교정 방법에 대한 분석
 - o 각국의 교정 표준기관에서 이용되는 프로브 교정방법 비교
 - o 전파연구소에 적절한 프로브 시스템 및 교정방법 도입
- ☐ GTEM Cell을 이용하는 전계프로브의 교정시스템에 대한 측정불확도 연구
 - o IEC61000-4-3 규정 전계프로브의 교정 방법 연구
 - o GTEM Cell 및 전계프로브 시스템을 분석하고 관련된 측정 불확도 요인을 밝혀내어 측정불확도 산출
- ☐ TEM Cell 이용 전계프로브 교정시스템의 표준교정절차연구
 - o GTEM Cell 이용 전계프로브 교정절차의 국내외 동향 분석
 - o 측정불확도를 도입한 전계프로브의 표준교정절차 마련

5. 연구 결과

- ☐ GTEM을 이용한 전계프로브 교정 시스템 구축
 - o Shaffner GTEM 1275 및 부대시스템 구축
 - o 프로브 대체법 사용하는 교정방법 마련
 - o 소프트웨어 제어 시스템 구축
- ☐ 측정 불확도 요인 분석 및 산출
 - o Amp와 GTEM의 부정합 불확도
 - o 프로브 Positioning 및 프로브 대체 불확도
 - o Septum 높이의 불확도
 - o VSWR 및 전계 왜곡에 따른 불확도
- ☐ GTEM을 이용한 전계프로브 표준교정절차 마련

6. 기대효과

- o 정보통신지정시험기관에 대한 전계프로브의 신뢰성 있는 교정 서비스 제공
- o EMC의 국가교정기관으로서의 위상 확립
- o 국가간상호인정협정(MRA)에 대비

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
GTEM	1750-L	1	전계형성		신규확보	
Amplifier	50WD1000	1	신호증폭		신규확보	
S/G	SMGL	1	신호발생	보유		
Power Meter	NRVZ	1	전압측정	보유		
Power Sensor	RVZZ5	1	전압센서	보유		
Directional Coupler	DCP 0100	1	전압분배		신규확보	

8. 기타사항

없음

SUMMARY

EMC tests for information equipments are inevitably performed in domestic from 2000. But the reliance of EMC test is difficult to guarantee because the test equipments are not normally calibrated. We should begin to study EMC calibration and construct of EMC calibration system with Such a pretext

In this report, we described the standard procedure of electro field probe, construction of calibration system using GTEM cell, reference probe's substitution calibration method in GTEM, and measurement uncertainty.

목 차

제 1 장 서 론	
제 2 장 방사내성	
제 1 절 방사내성과 관련된 주요 문제	
제 2 절 전계 강도의 모니터링(전계프로브)	
제 3 장 프로브 교정의 표준	
제 1 절 표준 교정 방법.....	
제 2 절 주파수영역 교정에서 전계프로브의 방향.....	
제 3 절 주파수 영역의 전계 생성 설비.....	
제 4 절 교정할 물리량.....	
제 4 장 프로브 교정 설비의 구축.....	
제 1 절 GTEM을 이용한 프로브 교정시스템.....	
제 2 절 GTEM 셀	
제 3 절 전계 프로브 교정 절차.....	
제 5 장 측정불확도.....	
제 1 절 GTEM에서 생성되는 전계의 불확도.....	
제 2 절 전계프로브로 측정되는 전계강도의 불확도.....	
제 3 절 합성표준불확도.....	
제 4 절 확장불확도.....	
제 6 장 결 어.....	
* 참고문헌	

제 1 장 서 론

전자파가 인체에 미치는 영향뿐만 아니라 정보통신기기인 전기전자 장비의 내성 시험을 위한 전자파의 방사 한계치와 비교를 위하여 전자파의 전계세기의 측정 결과를 비교하여야 한다. 장비의 제조자의 스펙과 교정기관의 교정 결과 그리고 장비의 사용자 사이에 일관된 측정 결과를 얻기 위하여 전계프로브의 국가표준에 소급하는 교정이 필요하다.

전계프로브 교정에는 두가지 방법을 선호한다.

첫째, 시스템의 기하학적 구조에 의하여 정확하게 계산된 전계를 이용하는 방법으로서 교정대상이 되는 프로브는 전계 소스의 기하학적 구조와 측정되는 입력 파라미터(즉, 자유공간에서의 다이폴안테나, 전자파무반사실에서의 피라미드형 혼 안테나, 평행판 그리고 TEM 셀)를 기초로 하는 정확하게 계산될 수 있는 기준 전계에 놓여짐으로서 교정된다.

둘째, 전달 표준(교정될 프로브와 유사한 전계 센서나 전계 프로브)을 사용하는 방법으로서 그것은 한국표준과학연구원 같은 국가표준기관(국제적으로는 미국의 NIST, 영국의 NPL, 독일의 PTB, 일본의 NMIJ)에 소급이 유지되는 것이어야 한다. 전달표준은 피측정기기인 전계프로브나 전계센서를 교정하기 위하여 사용되는 전계를 교정하고 측정하는데 사용된다.

본 보고서에서 도입하고자 하는 교정시스템은 소급성이 유지된 전계강도를 생성하기 위한 장치로서 GTEM 셀을 이용하는데, 형성된 전계의 소급을 전달해 주는 전계프로브로서 특별히 제작된 샤프너사의 MEB-Transfer-Sensor 타입 TFS를 이용한다.

GTEM 셀은 80MHz에서 1GHz의 전계 및 자계를 생성하는 장치로서 선호되는데 본 보고서에서는 GTEM 셀을 이용한 전계프로브의 교정시스템을 구축하고 측정불확도를 산출하여 전계프로브의 표준교정절차를 연구하였다.

제 2 장 방사 내성

제 1 절 방사내성과 관련된 주요 문제

그림 1은 핸드폰 등으로부터 나오는 전자파가 타 장비에 영향을 미칠 가능성이 있는 전형적인 모습을 보여주고 있다. 그러한 이유 때문에 정보통신 관련 장비들은 이동통신의 주파수 영역에서 형성되는 전계와 비슷한 형식과 전자파의 세기에 노출되어도 정상적으로 작동되는지를 시험받아야 한다. 전기전자 장비(특히 제어부분과 제어면)는 그림 1에서 보는 거리보다 더 짧은 거리에 이동통신용 전송 안테나가 더 가깝게 위치하게 하여 각각의 전송 주파수에 따라 30V/m와 100V/m나 더 높은 전계에서 시험하여도 정상적으로 작동 하도록 요구된다.

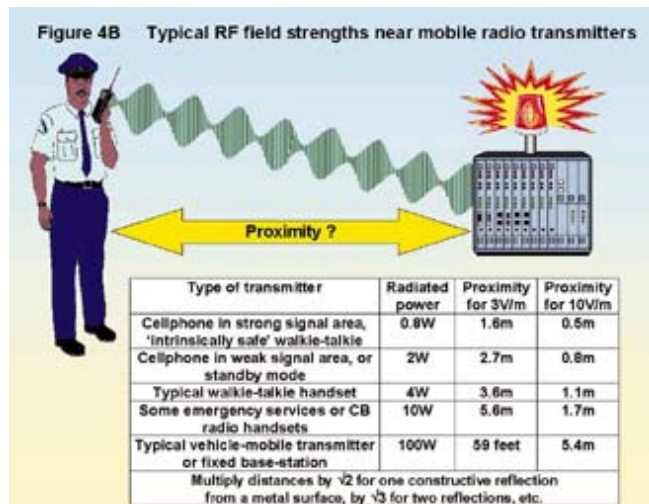


그림 1 이동통신 송신기 가까이에 형성되는 전계의 전형적인 모습

여기서 그 장비들은 EMC 내성시험의 작업은 표준적인 EMC 내성 지침 시험에 따라 행해지고 그 결과가 신뢰성 있거나 기능적으로 안전하다는 것이 보장되어야 하는데, 표준 지침은 다음과 같다:

- 모든 종류의 전자과장해에 노출될 가능성이 낮은 상태와 장비의 정상상태를 결정한다.
- 이러한 전자과장해에 대해 장비의 모든 중대한 기능의 민감도 및 장비의 신뢰도와 안정성에 대한 기능적 성능저하를 결정한다.
- 장비성능의 신뢰성 및 안정성을 믿을만한 수준으로 개선하기 위하여 장비나 시스템을 EMC의 가혹한 상태에 얼마나 들것인지 결정한다.
- 그러한 절차에 따라 장비나 시스템을 시험한다.

바로 IEC 61000-4-3이 아니더라도 모든 시험 방법과 관련하여 방사내성 시험에 있어서 5가지 큰 문제가 있다:

- 시험할 방사 전계의 누설 및 다른 장비로의 간섭을 차단하는 것.
- 시험할 장비를 일정한(uniform) 전계(electromagnetic field)에 합리적으로 노출 시키는 것.
- 아날로그 및 디지털 회로의 RF 전계에 대한 높은(high) 민감성(sensitivity) 및 비선형 민감성.
- 합리적인 ‘공학적인 여유치(margin)’를 결정하는 것.
- 장비의 성능이 저하되었을 때 그 결과를 보고할 수 있도록 장비를 모니터링 하는 것.

제 2 절 전계 강도의 모니터링(전계프로브)

시험할 피시험체(EUT)에 올바른 전계 강도가 형성된다는 것을 보장할 수 있는 것이 방사내성 시험에 있어서 필수적인 사항이다. 피시험체 및 무반사실의 벽에 의해 유발되는 반사나 전계의 왜곡현상은 자유공간에서 기대되는 것과는 다른 전계값을 나타내게 될 것이고, 이러한 값은 주파수 밴드가 스윕될 때 변화하게 될 것이다.

RF 전계는 광대역 전계프로브로 결정할수 있는데, 그것은 일반적으로 조그만 크기의 다이폴이거나, 어떠한 형태의 편파도 민감하게 잡아내는 직각삼축평면을 가진 일종의 검출기이다. 가장 간단하게 말하면, 국소적 계측기를 포

합하는 그 검출기는 배터리로 파워를 공급받는 장치로써, 기능에 있어서 연속적으로 전계 강도를 관찰해야 하며 출력 레벨을 수동적으로 교정해야만 한다.

좋은 데이터를 얻기 위한 좀 더 정교한 장치는 프로브에 광섬유 케이블을 연결하는 것이고 그렇게 함으로써 전계는 외부의 케이블에 의한 교란을 받지 않게 된다. 전계프로브는 그것의 간단함으로 말미암아 특성에 있어서 선형적이지 못하기 때문에 가장 널리 사용하는 환경의 전계 강도에서 교정해야 할 필요가 있다. 또한 그 프로브들은 변조된 신호에 대해 잘못된 값을 읽을 것이라는 것을 아는 것이 중요하다; 정확한 레벨 세팅은 비변조된 전계에 대해서만 시도되어져야 한다.

KN 61000-4-3(IEC 61000-4-3)은 전력제어 대체법의 이용을 이야기하고 있다. 이것은 주어진 전계강도의 생성에 필요한 파워를 각각의 주파수에 따라 측정함으로써 빈 무반사실이나 셀에 대하여 본교정에 앞선 예비 교정을 포함한다. 그리고 나서 피시험체가 놓이고 똑같은 파워가 각각의 주파수에 따라 공급된다.

이러한 방법의 합리성은 피시험체가 형성된 전계에 일으키는 어떠한 교란도 직접적인 값으로 취하여 피시험체에 형성된 실제적인 전계를 모니터링 함으로써 그 전계를 교정할 필요가 없다는 것이다; 대신에 피 시험체에 현재하고 있는 전계는 제어되는 파라미터로서 이용된다. 이러한 방법은 전계의 일정성(uniformity)이 거의 그림 2와 같이 정의되었을 때만 실제로 가능하고 이것은 챔버의 무반사성에 대한 요구에 큰 강조점을 두지만 어떤 훌륭한 전자파 무반사실이 주어지면 그것은 훨씬더 선호되는 방법이 된다.

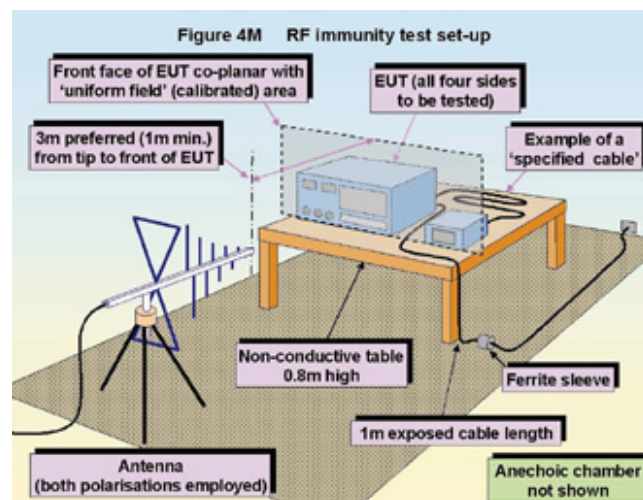


그림 2 시험 설치에 대한 전계의 일정성(uniformity)

전계의 예비교정에서 가장 좋게 제어되는 파라미터는 안테나에 공급되는 순 전력이 아니라 증폭기(amplifier)의 출력 전력이다; 이것은 피시험체를 들어 놓음으로 해서 안테나의 특성이 크게 변화하지 않는다면 받아들일 만한 사실인데, 안테나와 피시험체사이가 가능한 한 커다란 분리 거리로 되어야한다. 고주파에서 챔버의 공진에 의해 야기되는 정재파는 피시험체가 점유하고 있는 부피보다도 더 아주 작은 부피내에서 전계강도의 아주 커다란 변동을 일으킬 수 있다. 무반사실의 효과를 실제적으로 측정함으로서 그리고 실제 시험에서 이용될 전계강도를 교정하기 위하여, KN 61000-4-3은 그림 3에서 보여주는 평면의 16포인트의 격자에 만들어지는 전계의 일정성에 대해 규정해 놓고 있다. 그 측정은 피시험체가 없을 때 그 피시험체의 앞면 위치에 대응되는 격자에서 이루어진다. 그 측정 포인트의 75%(즉 12 포인트)에서 전계강도의 한계치가 0dB/6dB 내에 놓여야 받아들여지는데, 비록 그 한계치가 6dB를 넘는다고 하더라도 시험보고서에 보고되는 조건으로 허락될 수 있다. 그 한계치는 가해진 전계강도가 진술된 레벨보다 결코 작지않다는 것을 보증하기 위하여 반대칭적인 방식으로 인용되지만, 두 개의 요인까지 오버 테스팅 함으로써 가능해진다는 것을 뜻한다. 그림 3은 전계 일정성의 판단 기준의 권고사항에 대한 기하구조를 보여주고 있다. 피시험체의 크기가 작으면 작을수록 더 작은 일정성 영역으로도 충분하며, 예를 들어 1평방미터에 주어지는 3×3이면 충분히 받아들여지는 격자이다.

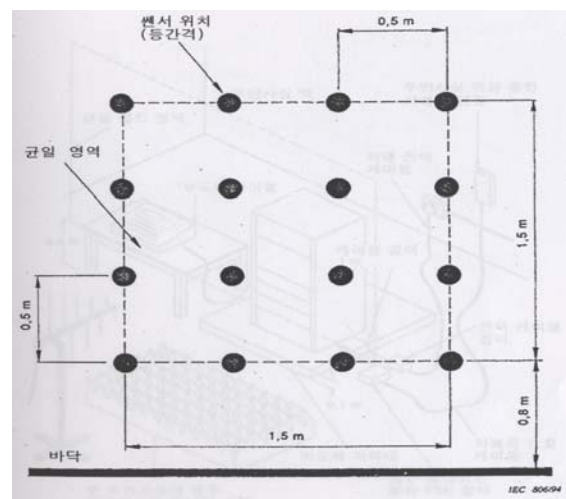


그림 3 전계강도 일정성(uniformity) 격자

제 3 장 프로브 교정의 표준

제 1 절 표준 교정 방법

IEEE Std 1309-1996은 기본적인 교정방법과 절차에 있어서 몇가지 중요한 요구사항 등을 제공한다. 전계프로브가 교정되고 특성화 되어 하는 범위는 의도된 사용범위에 의존하는데, 교정의 등급은 다음과 같은 사항등에 맞추어 결정된다;

- 교정의 방법
- 시간 상수
- 시간영역 또는 주파수 영역
- 측정할 강도 레벨
- 반응시간
- 변조 반응
- 등방성(isotropy)
- 전계내에서의 프로브의 방위
- 불확도

IEEE Std 1309-1996은 세 가지 교정방법을 제시하지만 그 중에 더 선호되는 방법은 없다. 교정기관은 전계프로브를 교정하기 위하여 다음에 제시하는 방법들 중 어느 것을 사용해도 무관하다:

방법 A : 전달표준(교정되어야 할 프로브와 유사한 프로브나 센서)을 사용하는 방법, 그것은 표준과학연구원과 같은 국가표준기관에 소급되어야 한다. 전달표준은 피시험체인 전계프로브의 전계센서를 교정하기 위한 전계를 교정하거나 측정하는데 사용된다.

방법 B : 계산된 전계강도를 이용하는 방법. 교정해야할 피시험체는 전계 소스의 기하구조와 측정되는 입력 파라미터를 기초로하여 계산된 기준 전계내에 놓여지게 된다.

방법 C : 1차표준센서를 사용하는 방법, 1차표준 센서는 능동 또는 수동 전자 소자를 포함하지 말아야 하며, 국제 표준에 근거하는 국가표준에 소급이 유지되어야 한다. 그것은 교정되어야 할 피시험체를 교정하기 위한 전계의 세기를 결정하는데 이용된다.

교정 결과는 교정에 사용된 방법뿐만 아니라 정량적으로 표시된 측정불확도를 보고하여야 한다.

제 2 절 주파수영역 교정에서 전계프로브의 방향

교정의 한 부분으로서, 전계의 측정 레벨에 대한 프로브의 방향이나 위치에 의한 효과를 찾아내는 것이 필수적이다. 추가해서, 정상적인 운용에 맞추어 프로브에 부가 장치가 구비되었다면, 계측용 모듈이나 케이블같은 부가 장치는 교정의 유효성에 영향을 미치지 않는다는 것을 증명해야 한다.

정확도는 케이블이나 계측기등에 의한 손실과 전계의 교란에 의해 영향을 받을 수 있다; 각각은 방향과 위치에 따른 영향 및 측정에 있어서의 정확도에 미치는 영향등도 확인해야 한다.

각각 독립된 전계 프로브는 형성된 전계 벡터의 최대한의 방향으로 배치되어야 한다. 전계를 잡아내는 용도로서 다이폴을 사용하는 프로브에 대해 그 다이폴은 그 장치의 독립된 요소로 고려한다.

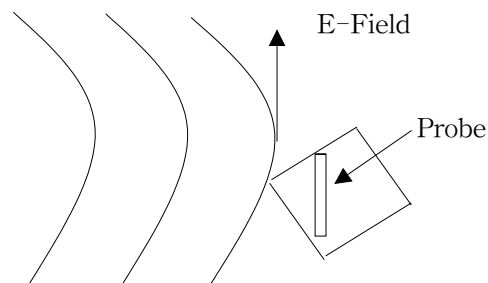


그림 4 최대의 전계 측정 배치

이러한 배치는 전체적인 전계의 측정에 있어서 프로브의 엘리먼트에 독립된 각 전계프로브의 기본적인 기여량에 대한 데이터를 제공한다. 그 배치는 또한 각 전계프로브 엘리먼트의 실행 특성을 제공해 준다.

전계프로브의 물리적 주축은 형성된 전계벡터에 수직으로 놓여져야 한다. 만일 그 전계프로브가 물리적 주축을 갖고 있지 않다면, 어떤 방향이 선택되어지고 정상적인 사용이 예측되는 위치를 표시하도록 문서화 되어야 한다. 전계프로브의 위치가 결정되고 전계가 형성되면, 그 프로브는 주축을 따라 360° 회전해야 한다. 측정한 최대 전계값, 최소 전계값과 투사되는 전계에 대한 전계의 방향은 기록되어야 한다.

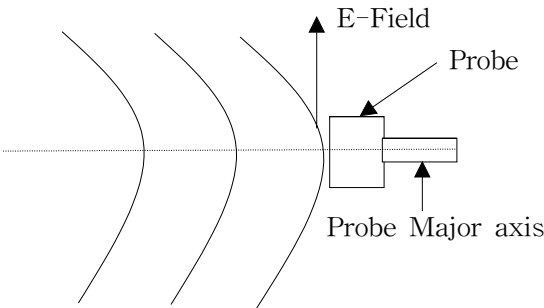


그림 5 프로브 주축방향의 배치

전계프로브의 물리적인 단축도 형성된 전계 벡터에 수직이 되도록 위치가 정해져야 한다. 만일 그 전계프로브의 물리적인 단축이 존재하지 않으면 어떤 방향이 선택되어 지고 정상적인 사용이 예측되는 위치를 표시하도록 문서화 되어야 한다. 이 방향은 물리적 주축에 수직해야만 한다.

전계프로브의 위치가 결정되고 전계가 형성되면, 그 프로브는 주축을 따라 360° 회전해야 한다. 측정한 최대 전계값, 최소 전계값과 투사되는 전계에 대한 전계의 방향은 기록되어야 한다.

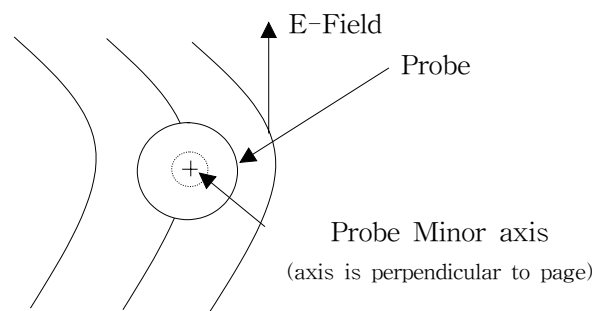


그림 6 프로브의 물리적 단축 배치

제 3 절 주파수 영역의 전계 생성 설비

방법 A와 방법 B에 따라 교정을 위한 표준 전계를 생성하는데 사용되어질 장치 및 설비들이 표 1에 나열 되어 있다.

Field type	Frequency range	Field generation facility and device type	Controlling reference or standard	IEEE Std 1309-1996
E&H	9kHz-200MHz	TEM cell	IEEE Std C95.3-1991, 4.5.3	B.1
H	9kHz-10MHz	Helmholtz coil	IEEE Std C95.3-1991, 4.5.4	B.2
E&H	9kHz-1GHz	GTEM	-	B.6
E	200MHz-450MHz	Anechoic chamber/ open-ended waveguide	IEEE Std C95.3-1991, 4.5.1.3	B.3
E	450MHz-40GHz	Anechoic chamber/ pyramidal horn antennas	IEEE Std 291-1991, 2.5	B.4
E	300MHz-2.6GHz	Waveguide chamber	IEEE Std C95.3-1991, 4.5.2	B.5

표 1 주파수 영역에서 전계를 생성하는 장치 및 설비

제 4 절 교정할 물리량

1. 진폭 (다이내믹 레인지)

교정은 적용 범위에 따라 하나 이상의 전계 강도에서 수행될 수도 있다. 한 예로, 하나의 합격/불합격 전계 강도만이 필요한 마이크로파 오븐으로부터 나오는 전계강도를 측정하는데 이용되는 프로브에 대한 교정은 정확한 측정값을 제공하기 위하여 한개의 전계세기에 대해서만이 필요하다. 다른 예로서, EMI 시험과 관계되는 프로브의 교정은 또한 정확한 측정 결과를 담보하기 위하여 주파수당 세 개의 진폭에 대한 교정이 요구 될 수 있다. 교정시 각 주파수에서 측정할 전계강도 진폭의 수는 교정기관과 교정의뢰 고객 사이의 합의에 따라 결정 될 수 있으며 그러한 사항은 교정 성적서에 기재되어야 한다.

2. 주파수 응답

프로브의 용도에 따라서 교정은 한개 이상의 주파수에서 수행될 수 있다. 한 예로, 프로브를 한주파수와 관련된 마이크로파 오븐으로부터 나오는 전계의 세기를 측정하는 용도로 사용하는 경우, 교정은 정확한 측정을 기하기 위하여 한 주파수에서만 필요하다. 프로브를 EMI 용도로 사용하는 경우는(여기서 프로브는 광대역의 주파수 영역에서 이용된다), 정확한 측정을 보장하기 위하여 몇 개의 주파수에서 교정이 이루어 질 수도 있다. 교정시 각 측정의 주파수의 수는 교정기관과 교정의뢰 고객 사이의 합의에 따라 결정 될 수 있으며 그러한 사항은 교정 성적서에 기재되어야 한다.

3. 등방성(Isotropy)

모든 등방성 전계는 등방성 응답으로 평가될수 있다. 전계프로브의 등방성은 측정하기가 곤란하기 때문에 보통 부등방성(anisotropy)을 측정한다. 전계프로브는 유효한 데이터를 얻기위한 선형 영역이나 혹은 제곱 법칙의 영역에서 동작되어야만 한다. 부등방성에 대한 방정식은 다음과 같다:

S가 파워에 비례하는 진폭의 크기로 측정되면,

$$A=10\log_{10}\left[\frac{S_{\max}}{\sqrt{S_{\max}S_{\min}}}\right]$$

이 되고, S가 전계강도의 단위로 측정되면

$$A=20\log_{10}\left[\frac{S_{\max}}{\sqrt{S_{\max}S_{\min}}}\right] \text{ 이 된다.}$$

제 4 장 프로브 교정 설비의 구축

제 1 절 GTEM을 이용한 프로브 교정시스템

GTEM을 이용한 전계프로브 교정 시스템은 그림 7에서 보여지고 전계 프로브를 교정하기 위하여 필요한 장비 등은 표 2에서 나타나 있다

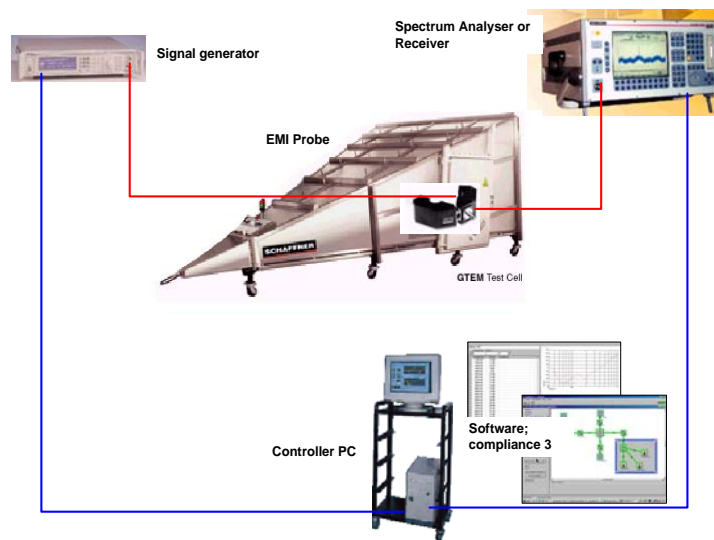


그림 7 GTEM을 이용한 전계프로브 교정 시스템

Equipment	Manufacturer	Manufacturer Part Number
GTEM	Schaffner MEB	GTEM 1250-L
Amplifier	AR	50WD1000
S/G	R/S	SMGL
Power Meter	R/S	NRV
Power Sensor	R/S	NRV-Z5
Directional Coupler	Schaffner MEB	DCP 0100
S/W	Schaffner	Compliance 3

표 2 전계프로브 교정시스템 구성 장비 목록

제 2 절 GTEM 셀

GTEM 셀은 전통적인 TEM(Transversal Electro-Magnetic) 셀에서 주파수를 확장한 것으로서 원리상 공기를 유전체로 하고 특성 임피던스가 $Z=50\Omega$ 이며 septum 판을 옹셋으로 하는 테이퍼된 동축선이다. 그 동축선은 이산적인 저항기와 광대역 정합을 얻을수 있는 RF 흡수체와의 결합에 의해 중단되는 구조를 가지고 있다. 이러한 “동축선”의 외부 도체는 내부 및 외부의 전자파를 차폐하게 하는 GTEM 셀의 금속벽으로 만들어 졌다. 고주파 신호가 입력될 때, TEM 파가 septum 주위로 전파될 것이다. TEM 파의 전파에 대해 전자파 임피던스는 377Ω 이다. 생성된 전자파의 강도는 입력된 전압(전력) 및 내부도체와 접지 사이의 거리에 비례한다. 그림 7에서 보듯, GTEM은 훌륭한 전계 일정성(uniformity)을 형성하며 주어진 시험 공간에 좋은 재현성을 나타낸다.

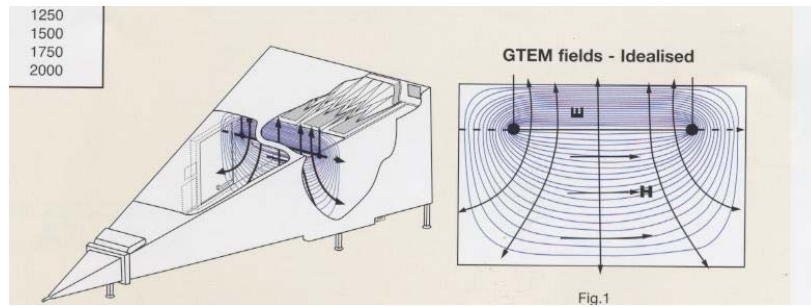


그림 8 GTEM 내부와 내부 형성 전계의 uniformity

1. GTEM의 특성

GTEM의 특성 임피던스와 준정적 전계는 반대칭 TEM 셀 이론을 이용하여 근사적으로 계산 할 수 있다. 그 이론에 따르면 특성 임피던스는 다음과 같은 방정식 이고

$$Z_0 = \frac{0.25}{\frac{w}{b} + \frac{2}{\pi} \ln(1 + \coth \frac{\pi a}{2b})}$$

시험위치 즉 septum과 바닥사이의 기하학적 중심에서의 전계는 다음 방정식 으로부터 계산된다.

$$E = \frac{V}{b} = \frac{\sqrt{P_{net} Z_0}}{b}$$

$$H = \frac{E}{377}$$

여기서 파라미터를 나타내는 GTEM의 단면은 그림 9에서 보여주고 있으며, V는 입력부에서의 전압을 나타내고 Z₀는 GTEM 셀의 특성 임피던스의 실수 부이다.

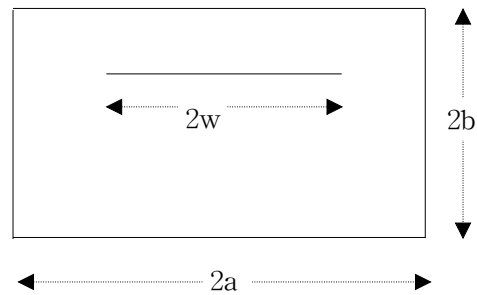


그림 9 특성임피던스 계산을 위한 GTEM의 단면

전계 생성 설비로서 우리가 구축한 GTEM의 제원은 다음과 같다.

- 크기(L×W×H) 7.95m×4.10m×2.90m
- 명목 임피던스 50Ω
- 주파수 범위 0.01MHz - 18GHz
- 정재파비 1 : 1.2
- 최대 입력 전력 1000W
- 피시험체의 최대크기 1.32m×1.32m×1.16m

그림 10 GTEM의 리턴로스

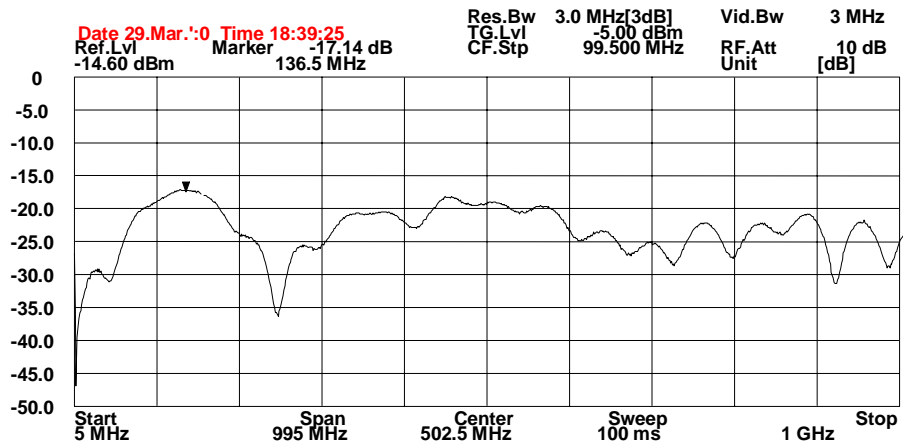
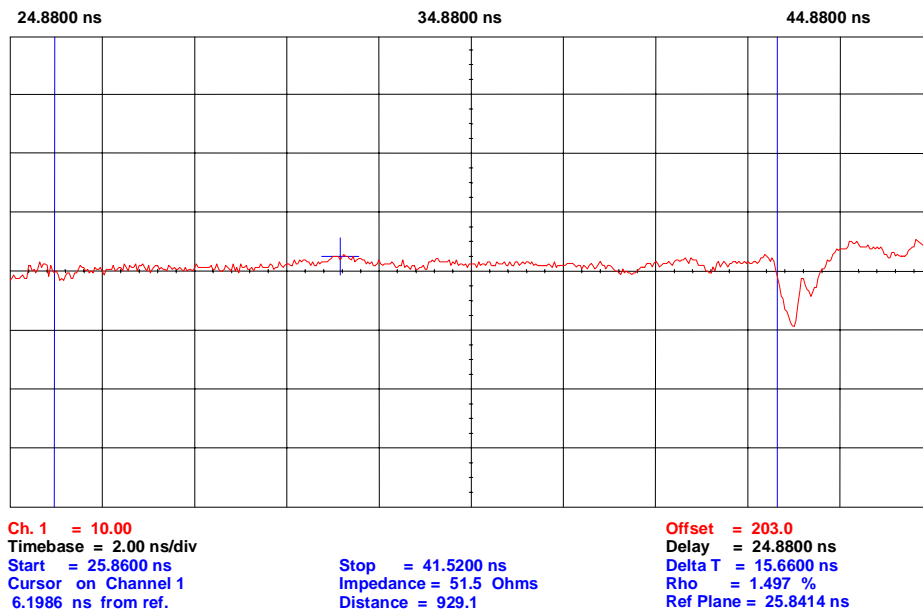


그림 11 임피던스 대 길이 특성



제 3 절 전계 프로브 교정 절차

전달 표준 방법의 원리는 정확하게 교정된 안정하고 신뢰성 있는 전계 프로브를 갖고 있어야 한다는 것이다. 이 표준 프로브는 전달표준 프로브가 점유하고 있던 똑같은 위치에서 표준교정 전계에 대해 GTEM에 의해 생성된 전계강도를 측정하는데 이용하며, 교정되지 않은 전계프로브가 읽은 전계 값은 전달표준 프로브로 얻어진 데이터에 근거하여 알고 있는 전계값과 비교된다. 이 과정 동안 이용되는 GTEM은 의도한대로 시간에 따라 일정한 크기의 전계를 생성해야 하고, 그렇게 생성된 전계는 피 교정 프로브가 놓여있는 영역에서 일정성(uniformity)을 가져야 한다. 이런 방식의 접근의 장점은 편리하고, 신뢰성이 있으며 단순하다는 것이다.

다른 프로브를 교정하기 위하여 전달표준을 이용할 때, 오차의 잠재적 요인은 두 프로브의 전계 측정 패턴에 있어서 차이가 있을 수 있다는 데 있다. 또한, 방사체의 근접 전계에 있어서 프로브가 감지하는 영역의 효과적 크기가 중요하다. 이상적으로, 전달표준과 피교정 프로브는 동등성이 있어야 하고, 교정은 프로브와 GTEM 그리고 근접 전계 기울기 사이의 다중 경로 상호작용에 의한 공간적 편차가 비교적 없는 전계내에서 행해져야 한다. 실제로는, 전달표준과 피교정 프로브는 동등하지가 않다. 이것은 교정불확도를 결정하는데 설명되어질 필요가 있다. GTEM 셀에서, 프로브와 septum 및 셀의 벽 사이에서 용량성 결합은 교정 오차를 유발할 수 있다.

전달표준 프로브는 안정하고 튼튼하며 쉽게 손상되지 않아야 한다. 그것은 넓은 다이내믹 범위를 가져야 하고 광대역의 주파수 영역을 망라해야 한다.

1. 주파수 영역 측정 절차

정확한 측정 및 반복 측정에 대해 다음과 같은 구속조건을 권고 한다:

- a) 정재파비는 최소가 되어야 한다. 이것은 듀얼 방향성 결합기와 파워 미터로 측정 가능하다.
- b) 사용하는 주파수 영역에서 장비의 임피던스는 전형적으로 50Ω 이어야 한다. 그렇지 않다면 장비 제조자가 지정한 임피던스여야 한다. 이 임피던스는 시간영역 반사 미터나 네트워크 분석기로 측정이 가능하다.
- c) GTEM은 단일 모드 주파수 영역에서 사용되어야 한다

- d) 피시험체의 최대 크기는 GTEM 셀의 바닥으로부터 septum 까지의 높이의 삼분의 일이어야 한다.
- e) 순 공급전력 중에 하아모닉 성분은 유효한 CW 측정에 대해 기본적인 량 아래로 최소 30dB 되어야 하고, 이는 스펙트럼 분석기나 RF 수신기로 측정이 가능하다.
- f) 접지면 센서와 프로브는 GTEM 셀의 접지면과 적절하게 접합되어야 한다.
- g) 측정을 위하여 전계프로브를 고정하는 구조물은 전계의 교란을 최소화 하도록 설치되어야 한다.

2. 주파수 범위 및 다이내믹 범위 측정 절차

이 측정은 적절하게 배치된 전계프로브로 수행될수 있다. 그 측정에 대한 절차는 다음과 같다:

- a) 이 시험을 위해 필요한 장비의 기능과 교정사항 등을 확인함으로써 전계 생성 설비를 준비한다. 표준절차 및 제어 차트등을 점검함으로써 시스템 점검을 수행한다.
- b) 모든 시험 요건을 만족하는지를 확인하기 위하여 전계프로브를 검사한다. 예를들면, 전계프로브가 GTEM의 최대크기 제한 요건을 초과하는지 등을 점검한다.
- c) 투사 전계와 나란한 방향으로 피교정 전계프로브를 놓는다. 전계프로브의 방향은 선택될수 있고 그러한 사항은 문서화 되어야 한다. 그 선택된 방향은재현 가능해야 하고 정상적인 운용시에 행하던 방향이어야 한다.
- d) 각각 이전에 선택된 주파수 및 전계강도 레벨에 대하여, 요구하고 있는 주파수와 전계강도 레벨에 맞추고 특정한 주파수와 전계강도에 대한 전계프로브의 반응을 기록한다.

제 5 장 측정불확도

제 1 절 GTEM에서 생성되는 전계의 불확도

GTEM에서 특성임피던스 Z_0 와 전계강도 E 다음 방정식으로부터 계산이 가능하다:

$$Z_0 = \frac{0.25}{\frac{w}{b} + \frac{2}{\pi} \ln(1 + \coth \frac{\pi a}{2b})}$$
$$E = \frac{V}{b} = \frac{\sqrt{P_{net} Z_0}}{b}$$

여기서 a, b, w 는 그림 9에서 보여주는 GTEM 단면의 파라미터이다. 우리는 P_{net} , Z_0 와 b 는 다음과 같은 불확도 성분으로 결정될 수 있다고 가정한다.

○ GTEM으로의 전력공급

우리는 신호발생기로부터 증폭기를 거쳐서 GTEM으로 전력을 공급하다. 증폭기 및 신호발생기는 표준과학연구원으로부터 소급이 유지되고 그 결과는 교정성적서에 표기되어 있다.

GTEM으로 전력공급에 따른 불확도 성분의 기여분은 다음과 같다:

- 국가표준기관으로부터 소급이 유지된 신호발생기의 교정성적서에서 표기한 불확도 결과로부터 $u_{S/G} = 0.1 \text{ dB (k=2)}$
- 증폭기 제조자가 제시한 스펙으로부터 얻은 불확도 $u_{amp} = 0.08 \text{ dB(직각분포)}$.

○ line 임피던스

GTEM의 특성 line 임피던스는 $50 \pm 1 \Omega$ 범위에서 변화할수 있다. 이것에 의한 불확도 성분 $u_z = 0.03 \text{ dB(직각분포)}$.

○ 바닥으로부터 septum 까지의 반 높이 b

우리의 GTEM cell은 시험영역 공간이크기에 대해 5mm 이하의 오차를 갖는다. 이에의한 불확도는 $u_b = 0.006 \text{ dB(직각분포)}$.

- 증폭기와 GTEM cell 사이의 부정합

증폭기의 출력단은 GTEM cell 입력단과 직접 연결되어 있고 그 정재파비는 증폭기 VSWR = 1.1 : 1,

GTEM cell VSWR = 1.2 : 1이며 U자형 확률분포를 가지면 그에 대응한 불확도 성분은 다음과 같다:

$$u_{mis} = \frac{(1 \pm |\Gamma_{amp}| |\Gamma_{GTEM}|)^2 - 1}{\sqrt{2}} = 0.15$$

- 전계생성에 대한 전체 불확도 (RSS)

$$u_{gp} = \sqrt{\left(\frac{u_{S/G}}{2}\right)^2 + u_{amp}^2 + u_z^2 + u_b^2 + u_{mis}^2} = 0.18dB$$

제 2 절 전계프로브로 측정되는 전계강도의 불확도

- power meter

전계측정에 있어서 우리는 파워센서를 갖고있는 파워미터를 사용한다. 파워미터의 정확도는 국가표준기관으로부터 소급이 유지된 교정성적서의 결과를 이용한다. 전력 측정에 있어서 파워미터에 의해 유발되는 불확도 기여도는 다음과 같다:

- 국가표준기관으로부터 소급이 유지된 교정 성적서에 주어진 파워센서의 불확도 $u_{meter} = 0.1dB$.
- 파워미터의 선형성 에러의 불확도 $u_{linear} = 0.002dB$.

- 프로브의 교정위치(positioning) 오차

프로브의 교정위치 오차는 $\pm 2mm$ 내에서 쉽게 조정된다. GTEM내의 전계강도는 높이에 따라 변화한다. 형성된 전계의 정확한 값은 GTEM 바닥과 septum 사이의 중심에서 찾을수 있는데 우리의 GTEM은 $b=60cm$ 이다. 그러므로 이에의한 불확도는 직각분포를 갖으며 다음과 같다:

$$u_{position} = \frac{20 \log \frac{b+0.002}{b-0.002}}{2\sqrt{2}} = 0.02dB.$$

○ 전계 왜곡

우리의 전달표준 프로브는 GTEM의 외부도체인 바닥과 septum 사이의 거리의 1/10보다 더 적은 부피를 차지하고 있다. GTEM 내부에 프로브를 놓게 되면 GTEM의 line 임피던스의 변화를 초래하게 되고 그 결과 전계강도의 변화를 주게 된다. 이것은 프로브가 없을때와 프로브가 놓여 있을때의 GTEM cell의 정재파비를 측정함으로써 확인할 수 있고 그에 의한 불확도 기여분은 $u_{fdisto} = 0.001\text{dB}$ 로 주어진다.

○ 전달표준 프로브의 불확도

우리의 전달표준 프로브는 독일 PTB로부터 소급받아서 독일 교정 서비스 기관인 DKD로부터 인증받은 전달표준 프로브의 성적서로부터 불확도를 추정 $u_{ref} = 0.2\text{dB}$ ($k=2$).

○ 전계강도 측정에 의한 총 불확도 기여분

$$u_{gp} = \sqrt{\left(\frac{u_{meter}}{2}\right)^2 + u_{lin}^2 + u_{position}^2 + 2u_{fdisto}^2 + \left(\frac{u_{ref}}{2}\right)^2} = 0.07\text{dB}$$

제 3 절 합성표준불확도

GTEM내에 형성되는 전계의 불확도성분과 그 전계를 측정할 때 발생하는 불확도 성분의 불확도전파법칙에 따라서 합성표준 불확도를 산출할 수 있고 다음과 같이 주어진다:

$$u_c = \sqrt{u_{gp}^2 + u_{mE}^2} = 0.19\text{dB}.$$

제 4 절 확장불확도

ISO나 IEC등의 국제기구들은 불확도를 보고할 때 신뢰수준을 고려하여 확장불확도를 표기하도록 권고하고 있다. 관례적으로 95%의 신뢰수준을 요구하며 정규분포의 확률분포에 대하여 보상계수 $k=2$ 이다. 그러므로 3절에서 산출한 합성표준불확도로부터 확장불확도는 $U = 2 \times u_c = 2 \times 0.19\text{ dB} = 0.38\text{dB}$ 가된다.

제 6 장 결어

본 보고서에서 전계프로브를 교정하는 표준절차와 GTEM을 이용한 전계 프로브 교정시스템 구축 및 GTEM 내에서의 전달표준 프로브를 이용한 교정법 그리고 측정불확도에 대하여 논의하였다. 이러한 방법을 통하여 상당히 높은 정도의 정확도로 프로브 교정을 이루었으며 1GHz 까지의 모든 주파수 범위에서 0.38 dB 정도의 불확도로 교정이 가능하였다.

이러한 올해의 연구와 교정시스템의 구축으로 적어도 내년 하반기 부터는 정보통신기기지정시험기관에 대하여 전계프로브의 교정서비스를 제공할수 있게 되었다. 그리고 향후 측정불확도를 줄이는 연구를 진행하고 그에대한 서비스를 강화함으로써 국내외적으로도 손색이 없는 교정기관으로서 위상을 구축할 것이다.

* 참고문헌

1. IEEE Electromagnetic Compatibility Society, "IEEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9kHz to 40GHz" 1996.6
2. IEC 61000-4-3, "Radiated RF immunity" 1998.11
3. John C. Tippet, David C. Chang, "Characteristic Impedance of a Rectangular Coaxial Line with Offset Inner Conductor" IEEE Transaction on Microwave Theory and Technique, Vol. MTT-26, NO. 11, 1978.11
4. P. Wilson "On correlating TEM Cell and OATS Emission Measurement" IEEE Transaction on Electromagnetic Compatability, Vol. 37, NO. 1, 1995.2
5. Heinrich Garn, Max Buchmayer, Wolfgang Mullner, "Precise Calibration of Electric Field Sensors for Radiated-Susceptibility Testing", Frequenz 53, 1999 9-10.
6. "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", first edition 1993, ISO
7. "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration" 1999.12, EA-4/02
8. Schaffner, "Test cells for EMC Radiated & Immunity Testing DC to 18GHz", Sales Subsidiaries,