

# 복사 전기장 및 자기장 내성시험 기술 분석

## Analysis of Technology for RF Radiated E/H Fields EMS Tests

윤재훈(J.H. Yun)

전자파환경연구팀 책임연구원

최형도(H.D. Choi)

전자파환경연구팀 선임연구원, 팀장

채종석(J.S. Chae)

전파기반연구부 책임연구원, 부장

ISO/IEC14443-1[1], ISO/IEC10536-1[2], 그리고 ISO/IEC15693-1[3]에서 정의하고 있는 비접촉식 카드의 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성력 시험에 대해 살펴보고자 한다. 상기 규격은 ISO/IEC JTC1 기술위원회의 SC17에서 다루고 있으며, 아직 상기 표준 규격은 초안 상태에 있어 상세한 시험 방법에 대한 규격이 마련되어 있지 않은 실정이다. 그럼에도 불구하고 칩 카드 수입국은 수출업자에게 교류 전기장 및 교류자기장 내성시험을 요구하고 있다. 따라서 업계에서는 시험 시설, 시험 방법, 시험 절차, 시험 평가 부분에서 많은 혼란이 발생되고 있다. 이러한 시험에 대한 대응책이 국가적 차원에서 시급히 마련되어야 할 것이다. 본 고에서는 이를 위한 일련의 과정으로서, 칩 카드 관련 국제 규격[1]-[5] 동향을 살펴보고, 교류전기장 및 교류자기장 내성력 시험 절차를 마련하기 위한 관점에서 IEC61000 시리즈 중에서 RF 복사 내성시험인 IEC61000-4-3[6], IEC61000-4-8, IEC61000-4-9, IEC61000-4-10, IEC61000-4-23[7]에 대한 분석을 동시에 실시하였다.

## I. 서 론

일반적으로 전기·전자장비가 노출되어 있는 전자파의 특성은 주파수(frequency), 크기(amplitude), 전파방향(direction of wave propagation), 편파(polarization), 전파임피던스(wave impedance)에 의해 독립적인 관계로 영향을 받게 된다. 그러나 IEC61000-4-3[6]처럼 원역장(far fields)에 의한 복사전자파내성시험을 정의하는 경우, 전파임피던스가  $377\Omega$ 으로 고정되므로 전파임피던스에 의한 영향을 다루기가 어려운 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 자기장(전파임피던스가 영)에 대한 복사내성시험인 IEC61000-4-8,9,10(International Electro-technical Commission: IEC, 국제전자기술위원회)과 같은 시험이 별도로 정

의되고 있다. IEC61000-4-8에서는 전력주파수의 자기장에 대한 복사내성시험을, IEC61000-4-9에서는 펄스자기장에 대한 복사내성시험을, 그리고 IEC61000-4-10에서는 감쇠진동자기장에 대한 복사내성시험을 정의하고 있다[7]. 그러나 이러한 시험항목을 추가하였다고 해도, 임의의 전파임피던스를 갖는 복사내성에 대한 시험을 충분히 지원할 수 있는 것은 아니다. 임의의 전파임피던스를 갖는 복사 전자파는 복사원에 가까이 놓인 공간에서 발생하는 전자기장이다. IEC61000-4-23에서는 임의의 전파임피던스에 노출되고 있는 일반 피시험체의 물리적인 현상에 대해 잘 나타내고 있다. (그림 1)처럼 동일 저주파수에서 자기장과 전기장의 차폐효과를 살펴보면, 자기장의 차폐효과가 매우 저조한 특성을 보이는 반면 전기장은 차폐효과가 큼을 볼 수가 있

어 서로 다른 성격의 전자파 간섭을 야기함을 볼 수가 있다. 따라서 이러한 근역장에 대한 전자파 내성 시험에 대한 연구가 보다 구체적으로 선행되어야 할 것으로 사료된다.

2000년 4월 ISO/IEC14443-1(International Standard Organization: ISO, 국제표준기구)[1], ISO/IEC10536-1[2], 그리고 ISO/IEC15693-1[3]에서 비접촉식 카드에 대한 교류자기장 및 교류 전기장에 대한 내성시험항목이 추가되고 있다. 카드는 다른 종류의 카드/휴대폰/PDA 등을 함께 들고 다녀야 하고 변전소, 공장지대, 방송국, 차량, 기지국 등 많은 전자파 환경에 노출되어 있는 장소에서도 소지해야 하기 때문에 시험의 요구는 매우 합리적인 것이라 여겨진다. 2000년 이후 국내의 칩 카드관련 산업은 국내 관련 업체(삼성반도체(주), 시큐어피아(주), 제이씨텍(주), 스마트카드시스템(주), 동성정보통신, 인컴카드솔루션, 씨그마테크(주), 스팍스컴(주), 제이디씨텍(주) 등)의 현격한 진출로 시장 점유율이 매우 높아 가고 있다. 전세계 칩 카드의 출하량은 2002년도 메모리카드가 18억 개, 스마트카드(CPU가 내장되는 카드)는 8억 개 가량이 될 예정이며, 2004년에는 메모리카드가 25억 개, 스마트카드가 20억 개 가량 출하할 것으로 전망되고 있다. 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험이 초안상태에 있음에도 불구하고 국외 수출에 있어서는 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험 결과를 요구하는 경우도 있다(예,

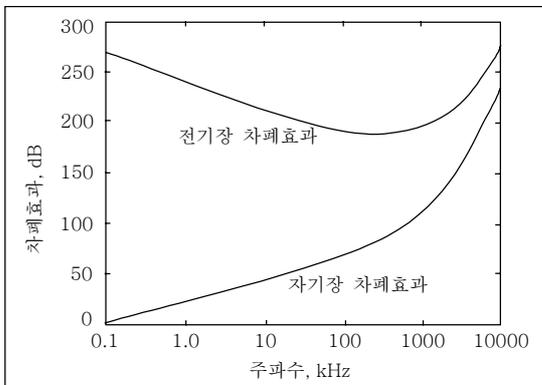
중국은 2002년 칩 카드에 대한 ISO/IEC14443-1/ISO10373-6[4]의 시험을 모두 포함하여 수출할 것을 국내 S사에 요청). 따라서 전자파장해 및 내성 규격[8],[9]을 관장하고 있는 정보통신부는 보다 능동적으로 대처하여 IT 산업 수출에 혼선을 줄 수 있는 국제 표준 규격을 적극적으로 수용하여 관련 시설 및 시스템 개발을 국가적 차원에서 시급히 해결해야 할 것으로 보인다. 또한 측정 방법 및 측정 절차에 대한 연구를 병행함으로써 세계 표준화를 리드하여 관련 산업의 부가가치성을 높여주고 관련 산업을 보호 육성해야 할 것으로 사료된다.

다음 장에서는 카드관련 국제 표준화 규격에 대해 살펴보고, 교류전기장 및 교류자기장에 대한 시험 절차를 마련하기 위한 일련의 과정으로서 IEC 61000-4 시리즈 중에서 RF 복사내성시험인 IEC 61000-4-3, IEC61000-4-8, IEC61000-4-9, IEC61000-4-10, IEC61000-4-23에 대한 면밀 분석을 실시하고자 한다.

## II. 교류전기장 및 교류자기장의 내성 시험에 대한 분석

### 1. 접촉/비접촉 카드 관련 ISO/IEC 규격

카드에 대한 규격을 살펴보면 <표 1> 처럼 ISO/IEC14443-1,2,3,4는 비접촉식 proximity 카드(교통카드처럼 신호원 인접에서 사용되는 비접촉식 카드)의 물리적인 특성, 초기화 및 데이터 충돌 방지, 전송 프로토콜에 대해 규정하고 있다. ISO/IEC 10536-1,2,3은 비접촉식 close-coupled 카드(전화카드처럼 특정 개구에 카드를 집어넣고 사용되는 비접촉식 카드, AT&T사에서 제작되었으나 현재 사장된 제품임)에 대한 물리적인 특성, 결합 영역의 크기 및 위치, 전기 신호 및 reset 처리 과정에 대해 나타내고 있다. 또한 ISO/IEC15693-1,2,3,4에서는 비접촉식 카드에 중에서 vicinity 카드(물류 바코드 처럼 일정거리 이상에서 사용되는 카드)에 대한 시험 규격을 정의하고 있다. ISO/IEC15693-1,2,3,4



(그림 1) 0.5mm 알루미늄판에서의 전기장 및 자기장의 차폐효과(IEC61000-4-23)

<표 1> 카드 관련 국제 표준 규격(초안)

규격명칭	내 용
ISO/IEC14443[1]	-1 비접촉식 proximity 카드의 물리적인 특성시험
	-2 RF 주파수 전력 및 신호주변장치
	-3 초기화 및 데이터 충돌 방지
	-4 전송 프로토콜
ISO/IEC10536[2]	-1 비접촉식 close-coupled 카드의 물리적인 특성시험
	-2 카드 크기 및 결합영역 위치
	-3 전기신호 및 reset 처리
	-4 Reset 응답 및 전송 프로토콜
ISO/IEC15693[3]	-1 비접촉식 vicinity 카드의 물리적인 특성시험
	-2 주변장치 초기화
	-3 데이터 충돌 방지 및 전송 프로토콜
	-4 확장된 명령 및 보안성 특성
ISO/IEC[5]	7810 Identification 카드의 물리적인 특성시험
	7811 저장 기술
	7812 발행인의 확인사항(신청 및 등록사항 등)
	7813 금전취급카드(ISO9992: 집적회로와 카드주변기기 신호)
7816 접촉식 집적회로 카드	
ISO/IEC10373[4]	-1 물리적인 특성 시험
	-2 MS(Magnetic Stripes) 카드 시험
	-3 IC(Integrated Circuit) 카드 시험
	-5 광 메모리카드 시험
	-6 Proximity 카드 시험
	-7 Vicinity 카드 시험

각각에서는 물리적인 특성 시험, 주변 장치 초기화, 데이터 충돌 방지 전송 프로토콜, 보안특성에 대한 규격을 정의하고 있다. 이 외에도 관련된 규격으로 ISO/IEC7810, ISO/IEC7811, ISO/IEC7812, ISO/IEC7813, ISO/IEC7816이 있으며, 이들 규격 중에서 ISO/IEC7816이 접촉식 카드에 대한 규격을 정의한다. 이 규격에서는 IC 카드와 MS 카드가 겹쳐서 보관되는 경우를 고려하여 이들간의 전자파 간섭에 대한 시험이 규정되어 있다. 산발적으로 존재하는 카드에 대한 규격을 한 시리즈로 모으려는 작업이 현재 ISO/IEC JTC1 기술위원회의 SC17 WG8에서

이루어지고 있는데, 이들 규격이 ISO/IEC10373 이다. 현재 ISO/IEC10373-1,2,3,5,6,7이 출판되었으며, 이들은 각각 일반 카드 전반에 걸친 시험방법으로서 물리적인 특성 시험, MS(Magnetic Stripes) 카드 시험, IC 카드 시험, 광 메모리카드 시험, proximity 카드, vicinity 카드 시험 방법에 대해 규격화하고 있다.

이들 중에서 특히 ISO/IEC14443-1, ISO/IEC10536-1, ISO/IEC15693-1 내용은 거의 일치하고 있다. 이들은 모두 비접촉식 카드에 대한 규격으로 2000년 4월부터 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성력 시험을 요구하고 있다. ISO/IEC14443-1 (ISO/IEC10536-1 그리고 ISO/IEC15693-1 내용 동일)은 ISO/IEC10373과 함께 ISO/IEC JTC1 기술위원회의 SC17에서 다루고 있으며, 현재 초안(draft) 상태이다. 이 규격에서는 교류전기장 및 자기장에 대한 내성력 시험 이외에도 내성력을 갖추어야 할 물리적 특성을 명기하고 있으며, Ultra-violet light, X-rays, Dynamic bending stress, Dynamic torsional stress에 대해 명기하고 있다. 이 외에도 정전기 내성시험은 IEC61000-4-2의 내성시험을 따르고 시험전압은 6kV를 조사하도록 하였으며, 정자기에 대한 시험 레벨은 640kA/m 대해서도 시험할 것을 규정하고 있다[1]-[3].

교류자기장 및 교류전기장에 대한 주파수별 평균 세기를 <표 2>와 <표 3>에 나타내었다. 카드에 이러한 전기장 및 자기장을 조사한 후 정상 동작해야 함

<표 2> 자기장 시험 강도

주파수 범위(MHz)	평균 자기장 세기(A/m, rms)
0.3 ~ 3.0	1.63
3.0 ~ 30	4.89/f
30 ~ 300	0.163

<표 3> 전기장 시험 강도

주파수 범위(MHz)	평균 전기장 세기(V/m, rms)
0.3 ~ 3.0	614
3.0 ~ 30	1842/f
30 ~ 300	61.4

<표 4> IEC61000-4 내성시험

기본규격	내 용	적용상태		
		가정/일반기기	산업기기	특별기기
61000-4-2	정전기(ESD) 내성시험	1	1	1
61000-4-3	RF 복사전자기장 내성시험	1	1	1
61000-4-4	EFT/버스트(burst) 내성시험	1	1	1
61000-4-5	RF 도전전자기장 내성시험	1	1	1
61000-4-6	서지(surge) 내성시험	1	1	1
61000-4-7	고조파, 내부고조파(interharmonic) 측정장치	4	4	4
61000-4-8	전원주파수자기장(50/60Hz) 내성시험	3	3	1
61000-4-9	펄스자기장 내성시험	2	2	1
61000-4-10	자기장감쇠진동 내성시험	2	2	1
61000-4-11	급강전압(dips), 차단전압(interruption) 내성시험	1	1	1
61000-4-12	링진동전자파(1MHz) 내성시험	3(2)	3	3(2)
61000-4-13	주신호, 고조파, 내부고조파 내성시험	2	2	2
61000-4-14	전압 요동(fluctuation) 내성시험	2	2	2
61000-4-15	명멸계(flickermeter)	4	4	4
61000-4-16	0~150kHz 도전성 교란(disturbance) 내성시험	2	3	2
61000-4-17	DC 전력리플 내성시험	2	3	2
61000-4-20	TEM 셀	-	-	-
61000-4-21	잔향실	-	-	-
61000-4-23	HEMP 복사성 교란 내성시험	2	2	2
61000-4-24	HEMP 도전성 교란 내성시험	2	2	2
61000-4-25	HEMP 장비 및 시스템 시험	2	2	2
61000-4-27	3상의 비대칭위상 내성시험	3	3	3
61000-4-28	전력주파수의 변동 내성시험	2	2	2
61000-4-29	DC 전력단에서 급강, 차단, 변동전압	3	3	3
61000-4-30	전력 특성 파라미터 측정	4	4	4

\* 1: 특별한 경우를 제외한 일반적용, 2: 특별한 경우를 제외하고는 적용치 않음, 3: 특정환경에서 적용할 수 있음, 4: 내성규격 아님

을 규정하고 있으며, 평균시간은 6분이며, 전기장 및 자기장의 최대 실효치(rms, root means square) 레벨은 평균치의 33배를 초과하지 말아야 한다. 부가적으로 카드의 전원 주파수인 13.56MHz에서는 10A/m로 연속적으로 조사한 후 정상적으로 동작해야 함을 명기하고 있으며, 이러한 특별한 주파수에서 평균 시간은 30초이며 최대 실효치 레벨은 12A/m 이내이어야 한다. <표 2> 및 <표 3>의 레벨은 국제 비전리 복사 보호 위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protec-

tion: ICNIRP)의 권고(안)과 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineer, 미국 전기전자 엔지니어협회) Std C95.1 권고(안)을 참조한 듯 싶다. 카드에 대한 이러한 시험들은 현재 초안으로 상세 시험 방법 및 절차에 대해서는 언급이 없다.

## 2. RF 복사 내성시험

가. IEC61000-4-3

교류전기장 및 교류자기장의 내성력 시험은 전자

가장 적합성 시험의 일종이다. 그런데 전자기장 적합성 시험 규격은 IEC61000 시리즈에서 다루고 있다. 이러한 규격은 <표 4> 처럼 매우 다양한 종류의 내성력 시험을 규정하고 있다. 교류전기장 및 교류 자기장의 내성력 시험은 복사 내성시험이다. IEC 61000 시리즈 중에서 RF 복사 내성시험으로는 IEC61000-4-3,8,9,10,23이 있다. 이러한 내성시험 방법 및 절차를 면밀하게 살펴보면 카드에 대한 시험 방법 및 시험 절차를 마련할 때에 감안해야 할 기술적인 내용이 무엇인지를 알 수가 있다. 전기·전자기기의 전자파 내성시험은 EN(European Norms, 유럽표준) 규격에서 유럽 전역에 걸쳐 강제적으로 시행하고 있으며, 이들의 시험항목을 국제 표준 규격인 IEC 및 CISPR(International Special Committee on Radio Interference, 국제무선장해특별위원회)에서 제안하는 항목을 그대로 받아 들이고 있다. 따라서 IEC 및 CISPR에서 제안하는 측정 레벨, 측정 방식, 측정 과정 등을 주시해야만 측정 기술의 흐름을 정확히 파악할 수가 있다. 특히 IEC 61000-4-3에서는 RF 근역장(교류전기장 및 교류자기장) 복사내성에 대한 근간을 이룰 수 있으므로 이들의 기술적 흐름을 면밀히 파악하고자 한다. 본 절에서는 근래의 IEC에서 RF 복사내성시험의 기술적 동향을 1990년도부터 2002년도까지 약 10여 년간에 걸쳐 개정된 판[6]을 기술적인 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

첫째로 26MHz~1000MHz까지의 측정 주파수 대역이 1992년 12월 이후로 80MHz~1000MHz로 개편되었다. 이러한 변동으로 RF 전도 내성 측정 분야인 IEC1000-4-6(측정 주파수: 150kHz~230MHz)과의 공유 주파수 대역이 26MHz~230MHz였던 것이 80MHz~230MHz로 줄어들게 되었다. 또한 1998년 11월 이후로 디지털 무선전화기의 주파수(800MHz~960MHz, 1.4GHz~2.0GHz)에 대한 전자파 내성시험이 확대 실시되고 있다. 주로 일본과 유럽에서 사용되고 있는 TDMA(Time Division Multiple Access)에 관한 무선전화기를 기준으로 작성되어 있다. TDMA의 협대역 통신 방식과

는 달리 CDMA(Code Division Multiple Access)는 광대역 통신 방식을 채택하고 있어, 곧 CDMA에 관한 무선전화기에 대한 기준이 필요함을 나타내고 있다. 3GHz 이하의 주파수대역 이동통신을 우리 일상 생활에서 많이 접하고 있으므로 이러한 이동통신 전자파환경에 따른 전자파 내성시험이 우선적으로 시급히 정립되어야 할 것으로 사료된다. 주파수에 대한 확대는 곧 고주파 대역의 표준 안테나 개발 기술이 필요함을 의미한다. RF 복사내성시험에 국한한 표준안테나가 아니라, 일반 공간에서 전자기장의 절대치를 정확히 측정해 낼 수 있는 표준안테나의 개발이 반드시 필요하다. 현재 1GHz 이상의 안테나로 혼안테나와 더블리지 도파관 안테나의 사용을 권장하고 있으나, 표준안테나로 사용하기 다소 복잡한 구조이며, 게다가 높은 지향성으로 인해, 안테나의 자세에 따라 영향을 많이 받고 있어 새로운 표준 안테나 개발이 필요함을 보여주고 있다. 높은 지향성으로 인해 RF 내성시험에서 균일영역(uniform area)의 전자기장 균일도(field uniformity) 평가시 16점 측정법을 적용하기 어렵게 하고 있다. 상기 안테나를 사용할 경우, 부분 조사에 의한 RF 복사내성 시험을 수행해야만 하는 문제점이 발생할 수도 있기 때문에 새로운 안테나 개발이 필요하다. IEC14443-1에서 정의되고 있는 주파수 대역도 변화할 수 있음을 시사하고 있는 것이다. 교류전기장 그리고 교류자기장 발생 시설에 균일도 평가를 위한 프로브에 대한 정의가 반드시 필요함을 보여주고 있다. 또한 교류자기장 및 교류전기장에 대한 내성시험에 있어서, 디지털 무선기기의 등장으로 인해 칩 카드가 그대로 노출 가능성이 있으므로 연속파(Continuous Wave: CW)와 함께 체계적으로 고주파 펄스신호에 대한 내성력도 시험해야 할 것이다. 또한 균일도 평가방법에 있어서 16점 측정법을 사용해야 할 것인지의 여부를 검토해야 할 것이다. 즉 카드의 크기가 규정(ISO/IEC10536-2)되어 있는 점을 고려한다면 넓은 크기의 균일영역이 필요하지 않기 때문이다. 보다 적은 지점의 측정으로 평가하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

두번째로 주파수 스텝 크기의 변화이다. 1990년 1월에는 스텝 크기가 앞의 주파수의 2%를 초과하지 않아야 한다는 규정이 1991년 7월 이후에는 1%로 바뀌었다. 이로써 측정주파수의 수가 많아졌음을 볼 수가 있다. 즉 1990년 1월에는 26MHz~1000MHz까지 이므로 130개이던 것이 1992년 12월에는 80MHz~1000MHz로 측정 주파수 대역이 줄어들었음에도 불구하고 반드시 측정해야만 하는 주파수가 253개로 늘어났다. 1998년 11월에는 무선전화기에 대한 주파수대역이 첨가되고 있다. 사용 주파수의 확장에 따라 반드시 측정해야 하는 주파수가 증가하고 있음을 볼 수가 있다. 그리고 1995년 2월에 대응 측정 방식으로 인정했던 “레벨을 2배로 유지하고 4% 주파수 스텝 크기로 조사하던 방식”을 삭제시킨 점은 시험의 재현성 및 현실성을 높였다는 점에서 매우 고무적인 것으로 사료된다. 1998년 11월 디지털 무선전화기에 대한 측정 방식에 대해 명기하고 있다는 점은 주시해야 할 것이다. 게다가 측정 레벨의 종류가 증가하고 있다. 즉 레벨4(30V/m)에 대한 부분이 첨부되었다. 이는 무선단말기가 놓이는 곳이 일상적으로 전기·전자기기 가까이 놓여 사용되므로, 이로 인해 전기·전자기기가 강한 전기장 노출에 준한 것으로 보인다. 그러나 이러한 전기장의 경우 평면파의 성격을 갖는 것이 아니라, 고임피던스 전자파 특성을 갖고 있음을 주시해야만 한다. 즉 서로 성격이 다른 전자파를 갖고 전자파내성시험을 실시하고 있는 누를 범하고 있음이다. 앞으로는 표준 원역장에 대한 시험 방식에서 벗어난 표준 근역장(교류전기장 및 교류자기장)에 대한 내성시험이 정립되어야 할 것임을 본 규격을 통해서도 알 수가 있다.

세번째로 1990년 1월에는 피시험체 전면과 후면 2면에 대해서만 측정하도록 하던 것이 1991년 7월에는 양측면을 포함한 4면에 대해 조사하여 측정되, 피시험체가 다른 방향에서 사용되는 제품에 대해서는 위아래를 포함한 6면 측정을 원칙으로 한다고 규정하고 있다. 이러한 변화는 내성시험의 현실성 및 객관성을 높이기 위한 것으로 사료되며, 1998

년도 11월에는 여러 장비로 구성되는 제품에 대해 시험중에 제품의 위치를 바꿀 필요가 없음을 명기하고 있다. 이는 측정의 재현성을 높이기 위한 조치라고 사료된다. 1995년도 2월 부록에 원형 편파에 대해 언급함으로써 피시험체에 독립적으로 영향을 주는 전자파 분극 변화에 따른 영향을 시험항목에 첨가하기 위한 것이라고 판단되고 있으나, 이에 대한 구체적인 측정 방식에 대한 언급이 없다. 1998년 11월에는 이전보다 피시험체에 대한 분류방식을 더 세세하게 다루고 있다. 종전의 탁상설치 피시험체와 바닥설치 피시험체로 구분하던 방식에서 첨가하여 사람 몸에 장착하는 피시험체에 대한 시험 설치 방법에 대해서도 명기하고 있다. 보다 현실적으로 가까운 상황을 적용한 내성시험방법으로 접근하고 있음을 볼 수가 있다. 따라서 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험 역시 이러한 현실적인 시험 방법이 제시되어야 하며, 감응이 잘되는 자세(orientation)에 대해 규격상의 명기를 통해 시험을 수행하는 수행자에게 도움을 줄 수 있도록 규격이 작성되어야 할 것으로 사료된다.

네번째로 균일장 영역의 균일도 조건이 1990년에는  $\pm 3$ dB인 dB 편차를 기준으로 평가하였으나 1991년에는 0~6dB 점유 영역비가 75% 이상 확보되면 균일하다고 보는 평가 방식으로 바뀌었다. 규격이 완화된 셈이다. 또한 1992년에는 균일영역에서 등 간격으로 위치하는 16개 지점에 등방성 프로브를 놓고 균일도를 평가하는 16점 측정의 원칙이 제기되었다. 그리고 1995년도 개정에서는 교정 절차가 매우 상세히 수록되었고 종전의 주파수 스텝의 크기를 최대 크기인 1%에서 10%로 확대시키고 있으나 1998년도 11월에 1%로 다시 복귀하였다. 균일도가 떨어지는 주파수 대역이 특정 주파수 대역에서 발생할 수 있기 때문에 1% 주파수 스텝으로 면밀히 점검해야 옳을 것이라는 의견을 반영한 것으로 보인다. 그러나 1998년 11월 개정판에서는 시험 주파수가 1GHz 이상에 이르고 있다. 과연 종전의 방식인 16점 측정 방식에 의한 균일도 평가 방식이 맞는지에 대한 점검이 필요하다. 또한 주파수 스텝에

대한 점검도 동시에 필요하다. 주파수가 높을수록 1% 주파수 스텝은 매우 넓은 주파수 폭을 갖고 있기 때문에 이에 대한 점검이 반드시 필요하다. 이러한 문제점은 교류전기장 및 교류자기장 시험에서도 동일하게 다루어져야 할 것이다.

2002년 3월에는 균일영역의 최소크기인 0.5m×0.5m를 규정하고 있으며, 1GHz 이상의 주파수대역에 대한 대응 조사방법인 부분조사법을 정의하고 있다. 시중에서 많이 사용하고 있는 페라이트 전자파 무반사실의 1GHz 이상의 주파수대역에서 성능 저하가 급격하게 발생함에 따라, 후면 및 측면의 반사파에 의한 영향을 최소화하기 위해 지향성 안테나를 권장할 수 밖에 없는 현실을 반영한 것이다. 지향성 안테나에 의해 기존 균일영역 크기인 1.5m×1.5m에 균일한 전자파조성이 어려운 현실을 감안한 것으로 사료된다. 아직은 주파수 대역이 디지털무선전화기에 의한 영향을 고려하여 2GHz 이하에 대한 레벨만을 정의하고 있으나 무선 LAN(Local Area Network), UWB(Ultra Wideband) 시스템, 4세대이동통신 등의 발달로 전자파환경이 고주파대역에서도 심각하게 발생할 확률이 높아져가고 있다. 이러한 기술에 대비한 균일도 평가방식을 마련하였다는 점에서 매우 고무적이라 사료된다. 교류전기장 그리고 교류자기장 내성시험에 있어서도 상기와 같은 논란의 소지가 없도록 주파수 스텝의 크기가 정해져야 할 것이며, 주파수대역이 높은 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험에 대해서도 상기와 같은 방법이 응용될 수 있으리라고 여겨진다. 즉 사용주파수 대역이 높아지는 경우, 부분적으로 전기장 및 자기장을 발생시켜 조사하는 방법에 대해 검토될 수도 있을 것이다.

이렇듯 IEC61000-4-3의 모든 시험 방법 및 시험 절차는 지속적으로 변화하면서 정착되어 가고 있다. 오랜 기간동안 정착되어 온 상기 측정 방법 및 절차를 토대로 하여 비접촉식 카드에 대한 교류전기장 및 자기장에 대한 시험 방법이 정착되어야 할 것으로 보인다. 이러한 기술 동향 관점에서 ISO/IEC 규격에 비접촉식 카드의 교류전기장 및 자기장에 의

한 내성시험 방법이 수용되어야 할 부분을 살펴보면 다음과 같다.

주파수 스텝에 대해서는 특히 상기 측정 방법을 인용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 즉 1% 주파수 스텝이 바람직할 것으로 사료된다.

측정주파수의 경우 현재 카드의 동작주파수가 13.56MHz을 유지하고 있다고 하면 300MHz 이하에 대한 시험 주파수가 합당하나, 동작주파수가 보다 높아지는 경우 주파수의 변화에 대한 기술적인 검토가 바람직할 것이다.

내성 측정 방식은 카드의 넓고 평평한 구조를 감안하되, 전기장 및 자기장에 대한 감응도가 가장 높은 안테나의 자세를 반드시 포함할 수 있도록 해야 할 것이다. 예를 들면 자기장의 경우 카드의 평평한 면이 자기장 방향에 수직이 되도록 해야 한다.

시험시설에 대한 균일도 조건은  $\pm 3\text{dB}$  영역이 75%를 유지하는 것보다도 IEC61000-4-8,9,10처럼 100%를 유지하는 균일영역을 확보하도록 해야 할 것으로 사료된다. 이는 시험의 재현성을 보다 높이기 위함이다.

세기(amplitude)에 대한 균일도 평가는 당연히 해야 하며, 전자파의 전파임피던스에 대한 평가도 동시에 해야 할 것으로 사료된다.

#### 나. IEC61000-4-8,9,10

ISO/IEC14443-1의 교류전기장 및 자기장에 대한 시험 레벨과는 다르게 IEC61000-4-8,9,10의 자기장에 대한 복사내성시험은 시험레벨을 보통 6단계로 구분하여 시험할 것을 권장하고 있다. 이는 시험 기종 및 사용 환경에 의해 구분되어 질 수가 있다. 따라서 추후 카드의 종류에 따라 이러한 시험 레벨도 검토될 것으로 사료된다. 일단 현재의 시험 레벨 기준을 따르는 것을 감안할 때, IEC61000-4-8,9,10처럼 전원주파수 자기장, 자기장감쇠진동, 펄스자기장에 대한 시험의 종류가 있듯이, 교류전기장 및 교류자기장에 대한 시험 종류로서, CW 이외에 어떠한 종류의 펄스전자파에 대한 내성시험을 포함할 것인지를 고려해야 할 것으로 사료된다. 현

재 각 주파수별 레벨과 평균시간 및 최대 실효치를 정의한 복사내성만을 정의하고 있다. 그러나 칩에서 동작하는 펄스 파형에 대한 영향을 고려하여 특정 펄스 종류에 대한 내성 정의도 반드시 필요하다고 사료된다.

IEC61000-4-8,9,10에서는 전자기장 발생 시설로 루프안테나를 활용하여 구현하는 방법을 나타내고 있으며, 피시험체가 놓이는 균일영역의 균일도가  $\pm 3\text{dB}$ 인 것으로 정의되고 있다. 보다 전자파의 균일도를 유지하기 위해서는 루프소자와 피시험체 간의 결합량을 줄이기 위해 일정거리를 유지시켜야 한다. 따라서 내부 1/3인 중심 영역으로 정의되는 것이 바람직하다. 이러한 조건이 ISO/IEC14443-1에서도 검토되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 자기장에 대한 내성력 시험은 그대로 칩 카드의 교류자기장 내성력 시험에 바로 사용이 가능하다. 현재 ISO/IEC14443-1, ISO/IEC10536-1, ISO/IEC15693-1에서 규정하고 있는 교류자기장 내성력 시험은 300 MHz 이하로 규정하고 있다. 그리고 피시험체는 크기(예, 비양각 카드는  $8.5\text{cm} \times 5.4\text{cm} \times 0.076\text{cm}$ )가 고정되어 있다. 따라서 본 규격에서 사용되는 루프안테나로 사용되는 경우, 시험이 가능한지 여부를 쉽게 알 수 있을 것으로 사료된다.

#### 다. IEC61000-4-23

IEC61000-4-23에서는 HEMP(High-altitude Electromagnetic Pulse)와 그 외 복사 교란에 의한 전자파 내성시험에 대해 규정하고 있다. 상기 규격에 대한 분석은 ISO/IEC14443-1에서 정의하고 있는 시험레벨 자체가 거의 HEMP에 가까운 레벨이므로 이들에 대한 측정 방법 및 절차에 대한 분석이 필요하다고 사료된다. 특히 발생시설에 대한 고찰이 필요할 것이다. 왜냐하면, 일반적인 안테나를 활용한 조사 방식에서는 시험장 주변의 전자파 영향이 심각하게 발생하여 일반적인 생산라인 공간 혹은 실험실에서 이에 대한 시험을 권장할 수는 없는 실정이다. 이러한 시험 방식은 전자파무반사실 혹은 차폐실과 같이 외부와 격리된 공간이 필요하다. 즉, 시

설비의 단가가 매우 높아지는 문제점을 지니고 있으며, 교류자기장의 경우는 루프안테나의 중심 개구면을 활용하는 방식으로 소요 전력에 큰 문제는 없으나 전기장의 경우는 일반 다이폴 안테나를 활용하는 경우 큰 소요전력이 필요하고, 피시험체의 위치로 인한 전기장의 균일도가 저하되는 문제점을 내포하고 있기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기술 개발이 HEMP 분야에서는 많은 연구가 있었다. 따라서 본 장에서는 발생시설 분야에 대한 보다 면밀한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 앞서서도 잠시 언급하였듯이 복사전자파 내성시험은 일반 CW에 대한 내성시험과 펄스에 대한 내성시험 분야로 나누어 고찰할 수가 있다. 펄스전자파도 역시 CW처럼 자기장펄스, 전기장 펄스와 평면파 펄스로 구분이 가능하다. 평면파 펄스는 전기장에 대한 자기장의 비 377인 펄스 파형을 의미한다. 우선 HEMP 발생시설에 대해 살펴보면 다음과 같다.

우선 IEC61000-4-23에서 소개하고 있는 수직편파 발생용 BWS(Bounded-Wave Simulator)는 방송기기 및 차량용 복사내성시설로 많이 활용되고 있는 스트립라인 셀을 활용하여 구현된 시설로서 내부에 공진주파수의 발생으로 사용주파수대역이 제한을 받는다. 또한 상단 도체와 하단 도체로 구성되어 이들 사이에 전위차를 시간적으로 변화시켜 이들 사이에 유기되는 TEM 모드 전자파를 활용하는 기술이다. 이러한 시설에 있어서, 피시험체가 놓이는 영역에서는 평면파 CW와 평면파펄스를 발생시키기에 탁월한 시설이다. 그러나 이들을 활용하여 전기장 CW와 자기장 CW를 발생시키기 위해서는 종단부(terminator) 부분을 단락 혹은 개방을 통해 발생이 가능하나 입력단 부분의 반사 전력에 대한 아이솔레이션 기술이 반드시 필요하다. 또한 사용 주파수가 공진주파수 이외에도 전체 길이에 제한을 받게 된다. 전기장 펄스와 자기장 펄스를 발생시키기 위해서는 종단부분의 단락 혹은 개방을 통한 기술 구현은 불가능하다. 왜냐하면 피시험체와 종단부의 물리적인 길이가 고정되므로 입력된 전자파의 전기적인 거리가 주파수에 따라 각기 달라 원하는 펄스파

형을 발생시킬 수가 없다. 또한 수직편파로 고정된다는 점이다. 따라서 상기 모델을 활용하는 기술의 경우는 피시험체의 자세를 바꾸는 기술을 구현하거나 혹은 또 다른 수평편파발생시설이 별도로 필요한 문제점을 지니고 있는 것이다.

두번째로는 수직 편파 발생용 대응 BWS 시설이 있다. 전자파무반사실 내부에서 차량용 복사내성시설로 많이 활용되고 있는 테이퍼 셀을 활용하여 구현된 시설로서 내부에 공진주파수의 발생이 약하게 나타나 사용주파수대역을 높은 시설이다. 또한 상단 도체와 접지면으로 구성되어 이들 사이에 전위차를 시간적으로 변화시켜 이들 사이에 유기되는 구면파를 활용하는 기술로서 피시험체가 놓이는 영역을 입력단자와 원거리를 유지시킬 경우 평면파 CW와 펄스를 발생시키기에 탁월한 시설이다. 그러나 이들을 활용하여 전기장 CW와 자기장 CW를 발생시키기 위해서는 종단부 부분을 단락 혹은 개방을 통해 발생 기술 구현 자체가 불가능하다. 또한 전기장펄스와 자기장펄스의 발생 기술 구현은 불가능한 구조를 지니고 있다. 왜냐하면 이러한 구조는 입력단자가 1개인 구조를 지니고 있기 때문이다. 또한 수직편파로 고정된다는 문제점이 있다. 따라서 평면파 CW와 펄스의 수평편파를 발생시키기 위해서는 피시험체의 자세를 바꾸는 기술이 구현되거나 혹은 또 다른 수평편파 발생시설이 별도로 필요한 문제점을 지니고 있다.

세번째로는 루프안테나를 절반을 잘라 다이폴 안테나로 활용하여 구현하는 시설이 있다. 이러한 시설의 경우 안테나 길이에 따른 공진주파수에 의해 사용주파수대역이 제한을 받는다. 이러한 구조에 있어 사용 대역폭은 안테나 굵기에 의해 영향을 받는 구조이다. 안테나가 굵으면 굵을수록 광대역 특성을 나타내게 될 것이다. 그러나 안테나가 접지면 위에 설치됨으로 인해 피시험체가 놓이는 영역에서 자기장의 성격을 갖는 고임피던스 전자파가 발생할 가능성이 많은 시설이다. 이러한 구조에 있어 펄스파형은 중심주파수의 위치에 따라 각기 다른 공간장을 발생할 가능성이 많은 시설이다. 이들

구조는 안테나의 복사 여기영역(exiting area)과 접지면의 위치가 고정되어, 즉 접지면을 중심으로 이미지 자체가 대칭적으로 위치하여 장의 성격이 결정된다. 따라서 반사면을 활용한 자기장 CW/펄스를 얻기 용이한 구조를 지니고 있다. 그러나 평면파 CW/펄스를 얻기는 다소 어려운 구조이다. 이러한 파형을 얻기 위해서는 바닥에 전파흡수체를 설치하여 구현하는 것이 바람직하다. 전기장 CW/펄스 파형을 얻기 어려운 구조이며, 수평편파만을 얻을 수 있는 구조이다.

네번째로 광대역 통신분야에서 송수신안테나로 활용하고 있는 원추형 모노폴 안테나에서 안테나 소자 인근에서 발생하는 전기장을 활용하여 HEMP 시설로 사용되는 시설이 있다. 이들의 구조에서 소자의 길이와 소자의 테이퍼 각도에 의해 주파수 특성이 달라진다. 만일 시설에 있어서, 넓은 각도를 유지하는 경우 저주파에 대한 제한만을 받는 구조이다. 이러한 구조는 원추형으로 놓인 소자와 접지면 사이에 전위차를 시간적으로 변화시켜 이들 사이에서 유기되는 전기장을 활용하는 기술이다. 이러한 시설은 피시험체가 놓이는 영역에서는 전기장 CW와 전기장펄스를 발생시키기에 탁월한 시설이다. 그러나 이들을 활용하여 평면파 CW와 평면파 펄스를 발생시키기 위해서는 피시험체를 안테나소자로부터 원거리를 유지시켜야 발생이 가능하나 이들 복사전자파 발생영역 자체가 외부에 노출됨으로 인해 시설 주변에 전자파영향을 많이 줄 수 있는 구조이다. 게다가 자기장 CW와 자기장펄스를 구현하기 어려운 구조이다.

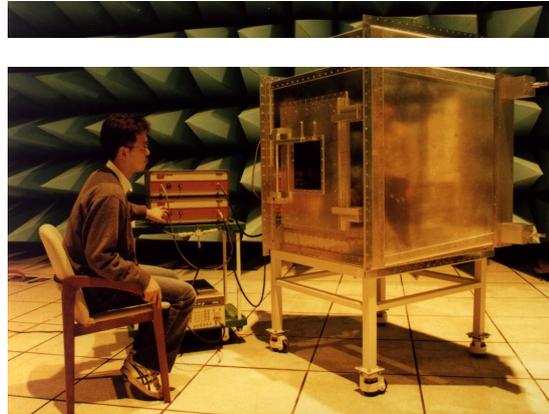
다섯번째로 광대역 통신분야에서 송수신안테나로 활용하고 있는 다이아몬드 타입의 다이폴 안테나를 활용하여 HEMP 시설로 사용되는 시설이 있다. 이는 헬리콥터를 이용하여 다이폴 안테나를 지상에 설치하여 구현하는 기술이다. 이들의 구조는 안테나 소자 길이와 안테나소자의 굵기에 의해 주파수 특성이 달라지는 구조로서 넓은 주파수를 유지하기 위해서는 보다 굵은 구조를 지니고 있어야 하며, 길이의 제한으로 저주파 대역 HEMP를 발생시키기 어려운

구조이다. 이러한 구조는 양쪽으로 놓인 안테나소자 간에 전위차를 시간적으로 변화시켜 이들 사이의 가까이서 유기되는 장의 발생을 활용하는 기술이다. 그러나 피시험체가 바닥에 놓임으로 인해 피시험체가 놓이는 영역에서는 수평성분의 전기장이 강한 성분의 펄스 및 CW 발생 기술 구현에는 문제점이 항상 존재한다. 이들을 활용하여 평면파 CW와 평면파 펄스를 발생시키기 위해서는 피시험체를 안테나 엘리먼트로부터 원거리를 유지시키고 바닥에 전파흡수체를 설치하여 구현할 수가 있다. 또한 이들 복사전자파 발생영역(exiting area) 자체가 외부에 노출됨으로 인해 시설 주변에 전자파영향을 많이 줄 수 있는 구조이다.

이 외에도 IEC61000-4-23에서는 TEM cell (Transverse Electromagnetic cell)[10] 과 GTEM cell(Giga hertz Transverse Electromagnetic cell)을 활용한 복사내성시험에 대해 언급하고 있는데, GTEM cell은 평면파 발생이 용이하나 전기장 및 자기장에 대한 전자파 발생 구현 기술이 불가능하다. 또한 TEM cell은 전기장 및 자기장 발생에 있어서는 전력 손실이 매우 큰 문제점을 피할 수가 없다. IEC61000-4-23에서 소개되는 HEMP 시설을 통해 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험 분야에서 추구해야 할 시설에 대한 기술적인 과제를 유추할 수가 있다. 그 결과는 다음과 같다.

- 경제적인 측면에서 한 시설내에서 평면파/전기장/자기장 CW 및 펄스 발생기술 구현이 필요하다.
- 균일도가 높은 표준 전기장/자기장 연속파(CW)와 펄스 발생기술 구현이 필요하다.
- 외부전자파 환경에 노출되지 않는 전자파 발생 기술이 필요하다.
- 피시험체가 놓이는 균일 영역에 표준전자파를 조사할 수 있는 기술 구현이 필요하다.

이러한 조건을 구비할 수 있는 모델이 오래 전부터 ETRI에서 연구되었다. 상기 조건을 구비할 수 있는 가장 적합한 모델은 CTL(Coupled Transmission Line) cell이다[11],[12]. 이러한 시설을 이용



(그림 2) CTL cell을 이용한 전자파 내성시험

하여 RF 복사내성시험(IEC61000-4-3)의 시험을 지원하는 사진을 (그림 2)에 나타내었다. 이는 현재 국내는 물론 국제 특허를 득하고 있는 시설이다. 이러한 시설을 활용할 경우, 매우 경제적으로 상기와 같은 교류전기장 및 교류자기장에 대한 시험 지원이 가능할 것으로 사료된다.

### III. 결 론

본 보고서에서는 교류전기장(E-fields)과 교류자기장(H-fields)에 대한 복사내성시험에 대해 조사된 결과와 분석된 결과를 나타내었다. 2000년 4월에 ISO/IEC14443-1, ISO/IEC10536-1, 그리고 ISO/IEC15693-1에서는 칩 카드에 대한 교류전기장 및 교류자기장에 대한 내성시험의 정의에 대한 초안이 작성되었다. 그러나 이 규격에서는 시험 레벨에 대해서만 언급되었을 뿐 관련 측정 시설, 측정 방법, 측정 절차에 대해서는 언급되어 있지 않다. 따라서 관련 규격에 대한 면밀한 분석을 통해 상세 시험 규격(안)이 정립되어야 할 것으로 보인다. 이의 일환으로 교류전기장 및 교류자기장에 대한 복사내성시험 방법, 절차 안을 도출하기 위해 칩 카드관련 국제 표준화 규격을 살펴보았으며, 이와 관련이 있는 IEC61000-4-3,8,9,10,23에 대해 분석하였다. 그 결과 IEC14443-1, ISO/IEC10536-1, 그리고 ISO/IEC15693-1에서 명기되어 있지 않는 시험 주

파수 스텝에 대해서는 특히 IEC61000-4-3 측정 방법에서 도용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 즉 1% 주파수 스텝이 바람직할 것으로 사료된다. 측정 주파수의 경우 현재 카드의 동작 주파수가 13.56MHz을 유지하고 있다고 하면 300MHz 이하에 대한 시험 주파수가 합당하나, 동작주파수가 보다 높아지는 경우 주파수의 변화에 대한 기술적인 재검토가 바람직할 것이다. 내성 측정 방식은 카드의 넓고 평평한 구조를 감안하되, 전기장 및 자기장이 감응도가 가장 높은 안테나의 자세를 반드시 포함할 수 있도록 해야 할 것이다. 예를 들면 자기장의 경우 카드의 평평한 면이 자기장 방향에 수직이 되도록 해야 할 것이다. 시험 시설에 대한 균일도 조건은  $\pm 3\text{dB}$  영역이 75%를 유지하는 것 보다도 IEC61000-4-8,9,10처럼 100%를 유지하는 균일 영역을 확보하도록 해야 할 것으로 사료된다. 시험의 재현성을 높일 수 있을 것이다. 크기에 대한 균일도 평가는 당연히 해야 하며, 반드시 전기장과 자기장의 비율인 전파임피던스에 대한 평가도 동시에 수행해야 할 것으로 사료된다. IEC61000-4-3에서 전자기장의 균일도 평가는 16점 측정법을 근간으로 하여 평가하고 있으나, 카드의 크기로 인해 균일영역이 작아지므로 9점 측정법과 같은 보다 적은 측정지점으로 평가하는 것이 바람직할 것이다. 이때 사용되는 프로브는 IEC61000-4-3에서 제시되고 있는 전기장 프로브의 크기가 10cm 급이므로, IEC61000-4-23에서 제시되고 있는 일반적인 프로브를 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. ISO/IEC14443-1, ISO/IEC10536-1, 그리고 ISO/IEC15693-1의 교류전기장 및 교류자기장에 대한 시험레벨과는 다르게 IEC61000-4-8,9,10의 자기장에 대한 복사내성시험은 시험레벨을 보통 6단계로 구분하여 시험을 권장하고 있다. 이는 시험 기종 및 사용 환경에 의해 구분되어 질 수가 있다. 따라서 추후 칩 카드의 종류에 따라 이러한 시험 레벨도 재검토되어야 할 것이다. 현재의 시험 레벨 기준을 따르는 것을 감안할 때, IEC61000-4-8,9,10처럼 전원주파수자기장, 자기장감쇠진동, 펄스자기장에 대

한 시험의 종류가 있듯이 교류전기장 및 교류자기장에 대한 시험종류로서, 어떤 종류의 CW 변조 방식 및 어떤 종류의 펄스전자파에 대한 내성시험을 포함할 것인지를 고려해야 할 것으로 사료된다. 현재 각 주파수별 레벨 및 평균시간과 최대 실효치만을 정의하고 있다. CW의 변조방식을 IEC61000-4-3처럼 10kHz의 80% AM 변조 신호에 대한 내성을 시험에 포함할 것인지 그리고 칩에서 구동하는 펄스 파형에 대한 영향을 고려하여 어떠한 종류의 펄스 전자파를 내성시험에 포함할 것인지에 대한 검토가 필요하다.

교류전기장 및 교류자기장 내성시험 시설은 경제적인 측면에서 한 시설 내에서 평면파/전기장/자기장 CW 및 펄스 발생기술 구현이 필요하며, 균일도가 보장되는 표준 전기장/자기장 발생기술 구현이 필요하다. 또한 외부전자파 환경에 노출되지 않는 전자파 발생 기술이 필요하며, 피시험체가 놓이는 중심 영역에서 표준 전기장/자기장을 조성할 수 있는 기술 구현이 필요하다.

이미 오래 전부터 ETRI에서는 이러한 시설들에 대한 연구를 수행하여, 많은 지적재산권을 확보하고 있는 중이다. 특히 CTL cell은 표준 원역장 내성시설로 활용할 경우, 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology, 미국국립표준기술원)가 개발한 TEM cell[10] 보다도 균일도가 4배, 사용주파수대역이 1.3배이며, 전력유효도는 2배임이 입증된 시설이다[11]. 이러한 시설을 표준 근역장(교류전기장 및 교류자기장) 내성시설로 활용할 경우, 순환파(circulating wave)가 발생하지 않아 약 20dB 이상의 전력유효도가 증가할 것으로 사료된다[13]. 이러한 시설을 국제 표준 모델로 활용할 수 있도록 보다 체계적으로 연구가 선행되어야 할 것이다. 복사 전기장 및 복사 자기장에 대한 내성력 시험은 비록 초안상태이지만, 칩 카드관련 국외 수출에 있어서는 이러한 시험이 요구되고 있다. 전자파 내성시험을 권장하고 있는 정보통신부는 시급히 이러한 시험 분야의 상세 시험 규격(안)을 마련하여 관련 산업을 보호 육성해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] ISO/IEC14443-1(2000. 4), 14443-2(2001. 7), 14443-3(2002. 2), 14443-4(2002. 2)
- [2] ISO/IEC10536-1(2000. 4), 10536-2(1995. 12), 10536-3(1996. 12)
- [3] ISO/IEC15693-1(2000. 7), 15693-2(2001. 10), 15693-3(2001. 4), 10536-1(2000. 4), 10536-2(1995. 12), 10536-3(1996. 12)
- [4] ISO/IEC10373-1(1998. 12), 10373-2(1998. 12), 10373-3(2001. 2), 10373-5(1998. 12), 10373-6(2001. 5), 10373-7(2001. 5)
- [5] ISO/IEC7810(1995. 8), 7813(2001. 5), 7816-3(1997. 12)
- [6] IEC 61000-4-3(1990. 1, 1991. 7, 1992. 1, 1995. 2, 1998. 11, 2001. 4)
- [7] IEC 61000-4-8(2001. 3), 61000-4-9(2001. 3), 61000-4-10(2001. 3), 61000-4-23(2000. 10)
- [8] 전자과장해에 관한 법령, 체신부고시 제100호 제 1장 시험조건, 1991. 3.
- [9] 전자과 적합 등록, 정보통신부령 제 39호, 1997. 5. 8.
- [10] M.L. Crawford, "Generation of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells," *IEEE Trans. on EMC*, Vol. 16, 1974, pp.189 - 195.
- [11] J.H. Yun, "Variable Wave Impedance for Testing Electric and Magnetic Field Calibration of Electronic Equipment," United States Patent Number: 5910729, June 8, 1999.
- [12] J.H. Yun, J.S. Kim, W.S. Cho, and J.K. Kim, "Performance of Coupled Transmission Line Cell for Generating Standard EM Fields," *Electron. Lett.*, Vol. 34, No. 12, June 1998, pp. 1210 - 1211.
- [13] J.H. Yun, H.J. Lee, and J.K. Kim "Generation of the Standard EM Fields with Arbitrary Wave Impedance at the Center of a TEM Cell," *IEICE Trans. Commu.*, Vol. E81-B, No. 6, 1998.