

# 복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템

1996년부터 유럽연합을 중심으로 전자파내성(electromagnetic immunity; 흔히 군사규격에서는 전자파감응성(electromagnetic susceptibility)이라 함) 규제가 본격적으로 시작될 전망이다. 이러한 전자파내성 규제는 우리가 과거 '80년대 초에 경험했던 전자파방출(electromagnetic emission; 흔히 electromagnetic interference 라고도 표현한다) 규제에 비해 규제주파수가 대폭 확장됨(9 kHz - 1 GHz → 50/60 Hz - 40 GHz)은 물론, 규제항목도 크게 늘어나기(2개 항목 → 11개 항목)때문에 본격 규제가 시작되면 우리 산업체에 큰 피해를 초래할 것으로 우려된다.

특히 “복사 전자기장에 대한 전자파내성 요구사항”은 일부 전자파내성 측정항목을 포함하고 있던 안전규격 등에서도 다루고 있지 않던 것으로서 우리에게만 매우 생소한 항목이다. 이 항목은 과거 미국의 군사규격 등에서 요구했던 항목인데, 앞으로 각국의 상용규격에도 대폭 추가될 것으로 보인다. 이러한 규제는 우리의 생활환경에서 결코 빼놓고 생각할 수 없는, 동시에 가장 큰 전자파장해원인 의도적 복사로서의 방송신호 및 각종 무선통신 신호에 대해 전기, 전자기기가 전자파내성을 갖고, 성능저하나 오동작을 유발하지 않아야 함을 요구하는 것이다.

이러한 항목의 평가를 위해서는 대형 시험환경(EMS chamber)과 표준 전자기장 발생장치(signal generators + high power amplifiers), 그리고 오동작 모니터링 장치(monitoring equipments) 등이 필요하기 때문에 평가시스템 구성에 막대한 비용이 소요된다. 따라서 시스템 구성에 매우 신중을 기해야 하며, 관련 국제표준화규격을 사전에 철저히 이해하여 관련 시험검사를 위한 투자계획을 수립하는 것이 바람직하다.

본 고에서는 복사 전자기장에 대한 대표적인 국제표준화규격을 소개하고, 나아가서 그러한 항목의 평가시스템의 설계 및 구현에 대해서 설명할 것이다.

정 언 춘

한국표준과학연구원 전자기연구부  
전자기환경그룹 그룹리더

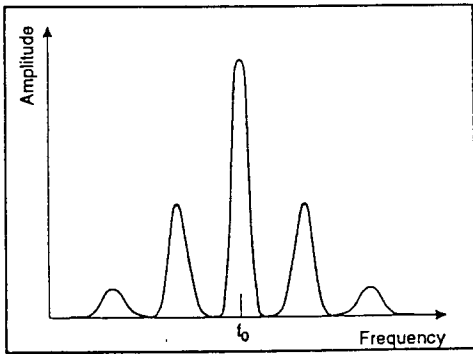
## II. 본 론

### 1. 진동파형(연속파) 복사 방해 현상

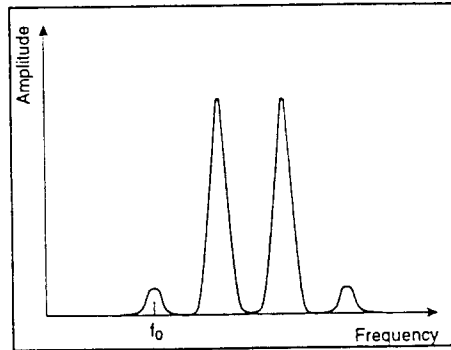
고주파 복사 현상(radiated high-frequency phenomena)의 파형은 다음의 세가지 형태의 전자파 방해와 관련한다: 진동파형 복사 방해(radiated oscillatory(continuous wave) disturbances), 펄스파형 복사 방해(radiated pulsed(transient) disturbances), 비간섭성 복사 방해(radiated non-coherent disturbances). 각각의 파형은 시간영역 및 주파수 영역에서의 몇가지의 파라미터로 특징지워지며, 어떠한 전자파현상도 이들 중 한가지 형태, 또는 다른 형태의 전자파방해에 속하는 몇가지 파형의 중첩으로 간주될 수 있다. 고주파 복사 현상에 의한 공간

중의 어떤 지점에서의 전자파환경(electromagnetic environment)은 이들 세가지 형태의 전자파방해 현상과 파동 임피던스(근거리장 및 원거리장 효과)를 고려하여 비교적 정확하게 기술할 수 있다. 이들 고주파 복사 방해 중에서 현재까지 작업된 전자파내성 규격에 포함되어 있는 것은 진동파형 복사 방해에 대한 내성요구사항이며, 나머지 두가지 방해 현상에 대한 작업은 향후에 추가될 것으로 보인다.

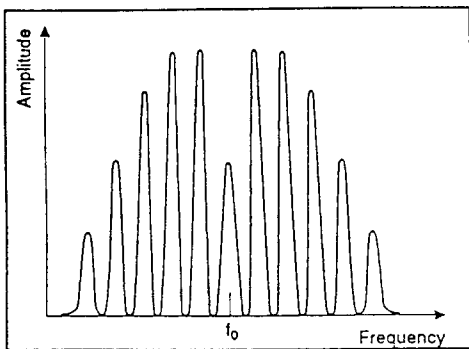
단발성 또는 다발성으로 발생하는 진동파형 복사 방해는 대개 변조된 반송파(modulated carrier)로 나타나며, 전기·전자기기의 의도적인 선택도(selectivity) 또는 비의도적인 공진 결합기구(resonant coupling mechanism)때문에 그들 기기와 강하게 결합하여 장애를 일으키는 경우가 흔히 있으며, 장애



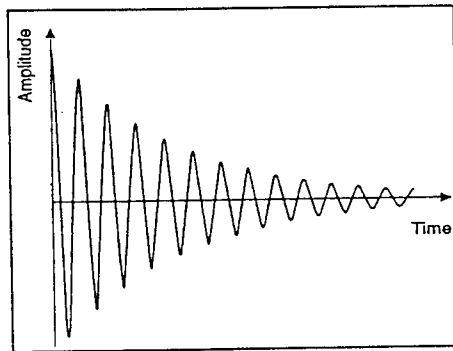
( a )



( b )



( c )



( d )

[그림 1] (a) 단일음조 진폭변조 신호

(b) 두 음조 진폭변조 단일 측파대 신호

(c) 주파수변조 또는 위상변조 신호

(d) 감쇠진동 정현파 신호

〈표 1〉 진동파형 복사방해 현상(ms V/ m)

Phenomena (Sources)	9 kHz ~ 27 MHz	27 MHz band	Amateur Radio	27 MHz ~ 1000 MHz	27 MHz ~ 1000 MHz	27 MHz ~ 1000 MHz Except CB, portable and mobile	1 GHz ~ 40 GHz
Disturbance Degrees	Any Source	CB	All band	Portable except CB	Mobile except CB	portable and mobile	All Sources
A(controlled)	case by case according to the equipment requirements						
1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
2	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	3	3	3
4	10	10	10	10	10	10	10
5	30	30	30	30	30	30	30
6	600	30	100	60	200	60	140
X(harsh)	case by case according to the situation						

의 정도는 전자파장해원(source)과 감응체(victim) 사이의 거리에 크게 의존한다. [그림 1](a)는 단일 음조(single tone) 변조를 가진 진폭변조(AM) 신호, [그림 1](b)는 두 음조 변조를 가진 단일 측파대(SSB; Single Side Band) 신호, [그림 1](c)는 주파수변조(FM) 또는 위상변조(ΦM) 신호, [그림 1](d)는 감쇠 정현파 신호의 전형적인 스펙트럼이다. 본고에서 다루고 있는 부분은 진동파형 복사 방해에 국한되며, 바로 이 부분이 IEC 1000-4-3(복사 전자기장에 대한 전자파내성) 항목이다. 이러한 진동파형 복사방해 현상에 기여하는 전자파장해원을 주파수대역별로 구분하여 아래의 〈표 1〉과 같이 전자파 환경을 분류하며, 피시험기기의 최종 사용환경을 고려하여 적합한 시험레벨을 결정한다.

2 복사 전자기장에 대한 규격 동향

대표적인 복사 전자기장에 대한 내성 관련 국제표준화규격은 IEC 801-3(현재 이 규격은 IEC 1000-4-3으로 IEC 1000 시리즈에 통합, 정리되고 있다)이다. IEC 801-3은 '84년에 처음으로 IEC 801 시리즈의 한 규격으로 발행(IEC Publication 801-3)되었으며, 그 당시의 규격에서 특기할 만한 사항은 시험신호가 27MHz~500MHz의 주파수대역의 연속파였고, 시험환경도 전자파차폐실, 평행판선로(strip line), 전

자파무반사실 등을 규정하고 있었다는 점이다[1]. 이후(1991. 7.), 그 규격은 개정(IEC 65A/77B (Sec.) 121/88)되어 1kHz 정현파로 80% 진폭변조된 신호가 시험신호로 변경되고, 시험 주파수대역도 26MHz~1000MHz로 확대되었으며, 변형된 전자파 무반사실(modified semi-anechoic chamber)이 우선되는 시험환경(preferred test facility)으로 제안되었다[2]. 이는 변조신호로 인한 오디오기기의 방해와 900MHz 대역의 citizen band와 각종의 레이더 등에 의한 방해가 많이 대두되었고, 표준 시험환경의 설정 및 평가기준 제시 등에 관한 요구에 의해 평행판선로, TEM Cell 등의 제안이 상당히 줄어들었기 때문이다. 그러나 이 개정안은 우선되는 시험환경으로 제안된 전자파무반사실이 시험주파수의 하한에서 특성이 크게 떨어지기 때문에 '92년 12월에 제안된 문서(IEC 65A/77B(Sec.) 135/100)에서는 시험주파수의 하한을 상향 조정하여 80 MHz~1000MHz로 변경하였고, 현재 이 문서가 IEC 1000-4-3으로 정리되고 있다[3]. 그러나 하한 시험주파수(80 MHz) 이하의 주파수에서는 복사 전자기장에 대한 내성 시험은 적절한 시험환경을 구축하기가 어렵기 때문에 복사 안테나법을 시험방법으로 적용하기가 어렵다. 따라서 현재 복사 안테나법의 대체 방법이 검토되고 있으며, 고주파 전류주입법(cur-

rent injection method)이 제안되어 IEC 801-6(IEC 1000-4-6) 규격에서 작업이 진행되고 있다. 이러한 IEC 801-6은 '89년 9월에 초안이 제안되었으며, 1 kHz 정현파로 80% 진폭변조된 방해신호를 0.15~230MHz의 주파수대역에서 피시험기기에 인가시키는 것을 주 내용으로 하고 있다. 이러한 시험방법은 간편한 반면에 복사 전자기장과의 상관관계 등의 해석이 어려워 약간의 문제점을 포함하고 있으며, 앞으로 제안된 몇가지 시험방법 중에 적절한 것이 선택되고, 세계 각국의 국내전문위원회의 합의를 얻어 구체적인 시험방법이 결정되면 작업이 크게 진전될 것으로 판단된다. 이 규격은 IEC 1000-4-3의 작업과 병행되어 진행될 것으로 보인다.

이러한 규격과 별도로 제품 규격(product standards)으로서 국제무선장해특별위원회(CISPR)의 SC (Sub-Committee)-G에서는 정보처리장치에 대한 내성 규격을 종합한 CISPR Pub.24의 발간을 준비 중에 있으며, 복사 전자기장에 대한 내성 요구사항을 Part 3에 포함시키고 있다. 규격은 내용은 앞의 IEC 1000-4-3과 거의 같으나, 앞으로 기기의 성능저하 등에 관한 판단기준이 정보처리장치의 특수성을 살려 보다 구체적으로 추가, 보완될 것으로 보인다.

### 3. IEC 65A/ 77B(Sec.) 135/ 100(1992) 규격의 주요 내용

#### ① 적용범위(scope)

복사전자기장에 대한 전기·전자기기의 전자파감응 시험에 적용

#### ② 목적(object)

전기·전자기기가 무선주파수의 복사 전자기장에 노출되었을 때의 효과를 평가하기 위한 공통기준을 확립하고, 재현성을 갖는 시험결과를 얻도록 하는데 기본 목적이 있다.

#### ③ 용어/정의

기본적으로 IEC 50(161)의 IEC-161에서 정의하고 있는 용어를 인용하고 있다.

#### ④ 허용값

〈표 2〉 인가 복사 전자기장의 크기

Level	Test Field Strength (V/m)
1	1
2	3
3	10
×	special

〈표 3〉 전자파환경의 종류에 따른 시험레벨 권고

Environments Disturbances	시골지역	도심지역	상업지역	경공업 지역	중공업지역, 발전설비, 변전소	교통지역	통신센터	병 원
9kHz~27MHz Any source	3	2	2	3	5	3	1	2
27MHz band CB	3	4	3	3	2	3	2	3
Amateur Radio All band	3	4	4	3	3	3	2	3
27~1000MHz Port. Exc. CB	3	3	3	3	4	3	1	2
27~1000MHz Mob. Exc. CB	2	2	2	2	2	5	2	2
27~1000MHz All Others	1	1	1	2	2	2	1	2
1~40GHz All Sources	2	2	3	2	3	2	2	2

〈표 4〉 복사 전자기장에 대한 내성 평가에 필요한 측정장치의 목록

시설 및 기기	특	성
전자파 무반사실	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 피시험기기에 비하여 균일장 영역이 충분히 커야 함</li> <li>○ 대응시설: TEM cell, 스트립라인을 이용한 장치, 야외에 설치된 안테나 시험장 등</li> </ul>	
신호원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1kHz의 정현파에 의해 80% 진폭변조가 가능해야 함</li> <li>○ 주파수 소인율을 <math>1.5 \times 10^{-3}</math> decade/s 또는 이 보다 느리게 조정할 수 있어야 함</li> <li>○ 수동조작이 가능할 것</li> <li>○ 고조파 방지를 위해 여파기를 쓸 수도 있음</li> </ul>	
고전력 증폭기	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시험레벨을 만족하는 전자기파를 발생시킬 수 있게 입출력 RF전력 정격이 충분히 클것</li> </ul>	
안테나	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이코나칼 안테나: 80-200MHz</li> <li>○ 대수주기형 안테나: 200-1000MHz</li> <li>○ 이 외의 선형편파 특성의 안테나도 사용가능</li> </ul>	
동방성 프로브	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장의 세기를 감지할 수 있는 총길이가 0.1m 이하인 다이폴</li> </ul>	
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장의 세기를 조절할 수 있으며 그 때의 전력레벨을 기록할 수 있는 부수 장비</li> </ul>	

허용값은 무변조 신호의 전자기장의 세기를 나타내며, 실제 시험에 있어서는 1 kHz 정현파로 80% 진폭변조된 신호를 80-1000 MHz의 주파수대역을 소인시킨다.

**참고사항)** 〈표 2〉에 보인 시험레벨은 피시험기가 최종 사용되는 전자파환경에 따라 선택된다. 〈표 1〉의 분류 기준에 따른 각 전자파환경의 시험레벨은 아래의 〈표 3〉과 같이 권고되고 있다(물론, 〈표 3〉의 레벨에 안전여유 폭을 추가하여 보다 높은 레벨의 시험을 요구할 수도 있다). 여기에서 〈표 3〉에 보인 등급은 〈표 1〉의 분류기준에 의한 등급이다.

⑤ 주요 시험설비

복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템 구성에 필요한 시설과 기기의 목록과 특성은 〈표 4〉와 같다.

⑥ 균일 전자기장의 평가

복사된 전자기장이 피시험기기 표면의 75%이상의 영역에서 규정된 허용값의 0~6dB 이내의 전자기장의 세기를 갖으면 균일한 전자기장으로 가정한다. 이것은 피시험기기의 적어도 3/4이상의 영역에 복사전자기장을 인가시켜 시험결과의 재현성을 얻기 위해 규정한 것으로서 전자파 무반사실이 전자파 방출 시험장소로 사용될 때의 평가 기준인 시험장감쇠량과 대별되는 것이다. 복사 전자기장의 균일도평

가는 [그림 2]의 시스템을 이용하여 바닥면으로부터 0.8m 높이에서 1.5m × 1.5m이상의 수직면에서 0.5m의 간격으로 측정함을 원칙으로 한다.

⑦ 시험설비의 구성

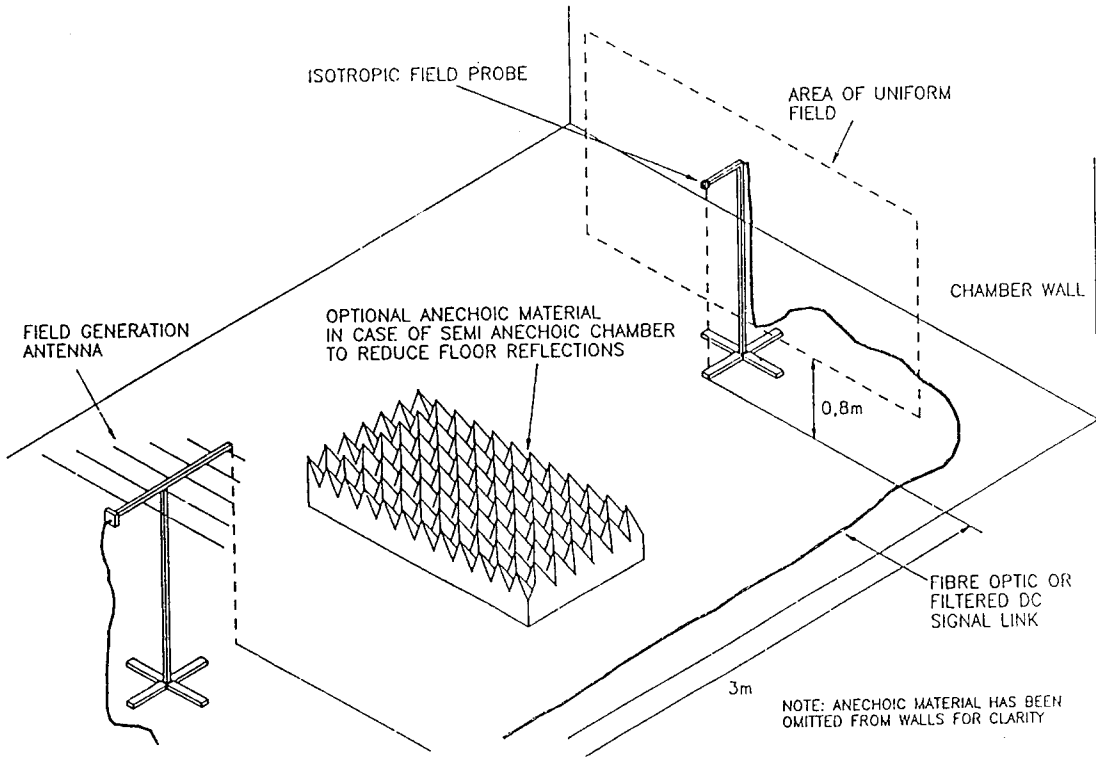
시험에 사용되는 기기와 피시험기기의 배치는 탁상형 피시험기기의 경우, [그림 3]과 같이 0.8m높이(바닥설치형 기기는 0.1m)의 비전도성 탁자 위에 설치한다.

⑧ 시험절차

시험은 일반적으로 피시험기기의 상, 하, 좌, 우, 4면(피시험기기가 다른 방향에서도 사용된다면 6면)에 1kHz의 정현파로 진폭 변조된 신호를 복사시켜 수행한다. 인가 신호는 피시험기기가 충분히 반응할 수 있도록 충분한 휴지기(dwell time)을 가져야 하며,  $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s 또는 이 보다 느리게 소인시키거나, 1 회의 주파수 증분이 기본주파수의 4%를 초과하지 않도록 해야 한다. 특별한 관심을 갖는 주파수에 대해서는 개별적인 시험을 수행한다. 이때 피시험기기는 그 장치가 실제로 설치되어 운용되는 조건과 가능한 한 유사하게 설치되어야 하며, 장비들 간의 연결은 제작자의 요구사항과 같아야 한다.

⑨ 시험결과의 평가

피시험기구나 시스템이 매우 다양하기 때문에 복사 전자기장에 대한 일반적인 평가기준을 정한다는



[그림 2] 복사 전자기장의 균일도 평가방법

것은 어려운 일이다. 시험결과는 다음의 성능기준에 따라 피시험기의 동작조건, 성능규격에 근거하여 분류될 수 있다:

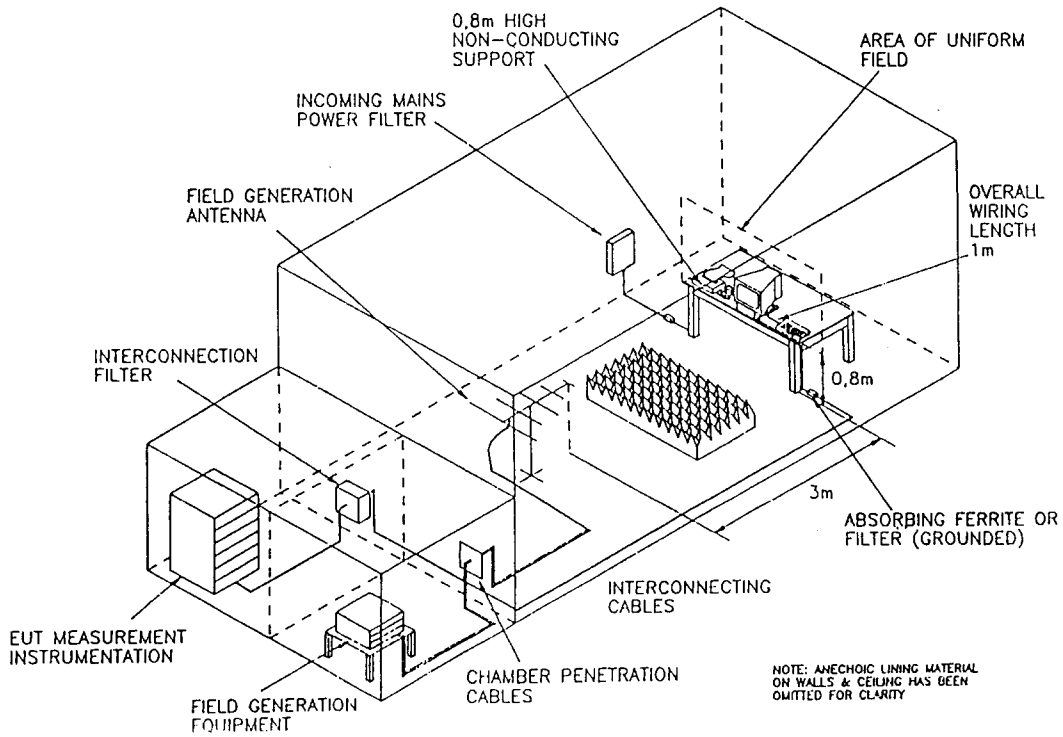
- 규정된 허용값 내에서의 정상적인 성능,
- 장애신호를 제거하였을 때 자체적으로 회복할 수 있는 성능이나 기능의 일시적 저하 또는 손실,
- 장애를 제거하였을 때 작업자의 개입이나 시스템의 리셋을 필요로 하는 성능이나 기능의 일시적 저하 또는 손실,
- 피시험기의 손상으로 회복할 수 없는 기능의 저하나 손실.

#### 4. 복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템

##### 4.1 표준 전자기장 구성 원리

공간 중의 한 지점에 표준 전자기장을 구성하는 방법에는 크게 두가지가 있다. 그 중 하나는 표준 전

자기장 방법(standard field method)이며, 다른 하나는 표준 안테나 방법(standard antennamethod)이다. 표준 전자기장 방법은 표준 송신안테나의 기하학적 구조로부터 결정되는 안테나 특성(실효길이(effective length), 안테나이득(gain), 안테나인자(antenna factor) 등)과 송신안테나에 가해지는 신호의 크기(송신안테나 상의 전류분포, 안테나 순 전달전력(net delivered power)), 그리고 송신안테나로부터 공간 중의 한 지점까지의 거리에 의해 표준 전자기장을 결정하는 방법이다. 따라서 적절한 표준 송신안테나를 결정하고, 그 안테나에 전달되는 순 전력을 측정하게 되면 일정한 거리만큼 떨어진 위치에 표준 전자기장을 발생시킬 수 있게 된다. 이 방법에서 가장 중요한 것은 송신안테나에 전달되는 순 전력을 측정하는 것이며, 대개 쌍방향성결합기(dual directional coupler)를 이용한다. 표준 안테나 방법은 표준 수신안테나의 기하학적 구조로부터 결정되



[그림 3] 탁상형 피시험기에 대한 시험장치의 구성

는 안테나 특성과 수신되는 신호의 크기로부터 수신 안테나가 놓여진 위치에서의 전자기장을 결정하는 방법이다. 이 방법에서 가장 중요한 것은 표준 수신 안테나의 특성이다[4, 5].

실제 복사 전자기장에 대한 내성 측정시스템에도 위의 두가지 방법 중 하나 또는 두 방법이 모두 응용될 수 있다. 흔히 표준 전자기장 방법에 의해 특정 위치에 요구되는 크기에 전자기장을 발생시키고, 표준 안테나 방법에 의해 그 전자기장의 특성을 확인 (monitoring)하는 방식으로서 두가지 방법이 모두 응용되는 것이 보다 일반적이다.

4.2 표준 전자기장 방법에 의한 측정시스템 구성  
안테나 이득이  $G_t$ 인 송신안테나에 전달되는 순 전력  $P_{net}$  이라면 거리  $d$ 만큼 떨어진 원거리 장(far field)의 한 지점에서의 단위면적당 전력(전력밀도)  $S$ 는

$$S = \frac{P_{net} G_t}{4\pi d^2} \quad (1)$$

이다. 또한 원거리장의 전력밀도는

$$S = |\vec{E} \times \vec{H}| = \frac{E^2}{120\pi} \quad (2)$$

로 표현된다. 여기에서 식 (1)과 (2)를 같게 놓으면 거리  $d$  떨어진 원거리장의 한 지점에서의 전기장의 세기는

$$E = \frac{\sqrt{30 P_{net} G_t}}{d} \quad (3)$$

이 성립한다. 따라서 이 등식으로부터 거리  $d$  떨어진 지점에서 일정한 크기의 전자기장의 세기  $E$ 를 발생시키기 위해서는 안테나 이득  $G_t$ 와 송신안테나로의 순 전달전력  $P_{net}$ 를 결정해야 함을 알 수 있다. 거리  $d$ 가 3m인 경우, 식 (3)을  $P_{net}$ 에 대해 다시 표현

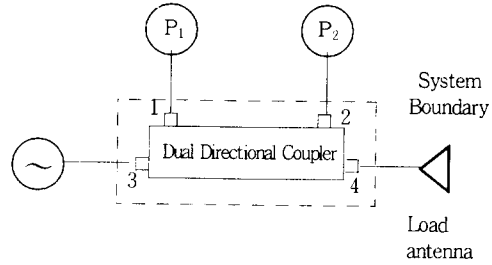
하면

$$P_{net}(dBm) = E(dB\mu V/m) - G_l(dB) - 95.2 \quad (4)$$

을 얻을 수 있다. 위의 식으로부터 주파수에 따른 송신안테나의 안테나이득을 미리 알 수만 있다면 각 주파수에서의 필요한 순 전달전력을 쉽게 결정할 수 있게 되고, 결과적으로 전력 전달시스템을 통해 순 전달전력을 일정하게 유지시킴으로써 송신안테나로부터 3m 거리에서의 시험면에 일정한 전자기장의 세기 E를 얻게 됨을 알 수 있다. 여기에서, 고이득 송신안테나를 사용하면 낮은 레벨의 전력증폭기를 사용할 수 있지만, 저이득 송신안테나를 사용하게 되면 높은 레벨의 전력 증폭기가 필요하게 된다. 초고주파 대역의 전력증폭기는 이득(power gain)이 클수록 값이 비싸지므로 송신안테나의 이득(antenna gain)을 적절하게 선택해야 한다. 그러나 주의해야 할 점은 송신안테나의 이득을 너무 증가시키게 되면 낮은 레벨의 전력이 필요한 장점은 있지만, 표준 전자기장의 교정면(calibration plane)에서 규격에서 정한 전자기장의 균일도(field uniformity)를 만족시키기 어렵게 될 수도 있다는 것이다. 따라서 인가하는 전자기장이 피시험기기의 전체 크기에 균일하게 분포할 수 있도록 적절한 이득의 송신안테나를 결정해야 함은 평가시스템 설계에 있어서 매우 중요하다.

### 4.3 전력 전달시스템

복사 전자기장에 대한 내성 평가시스템에서 가장 중요한 것은 송신안테나에 전달되는 순 전력을 측정하는 것이며, 이것은 전력 전달시스템(power delivery system)을 이용하여 구현할 수 있다. 전력 전달시스템은 쌍방향성을 결합기(dual directional coupler), 전력 감지기(power sensor)와 전력계(power meter), 신호발생기, 그리고 자체교정에 요구되는 정합부하(matching load)와 단락회로(shorted line) 등으로 구성되어 있다. [그림 4]에 보인 전력 전달시스템을 생각하자. 기본적으로는 측정포트 1과 2에 연결된 전력계로 전력을 읽어서 부하, 즉 안테나에



[그림 4] 전력 전달시스템

전달되는 순 전력을 계산한다. [그림 4]에서 측정포트 1에서는 순방향 입사전력을 측정하고, 측정포트 2에서는 부하에 의해 반사되는 전력을 측정한다. 또, 측정포트 3에는 RF 신호발생기가 연결되고, 4번 측정포트에는 전자기장을 발생하기 위한 안테나가 연결된다. [그림 4]에서 점선으로 그려진 부분은 4-포트 회로망해석을 위해 편의상 그린 것으로서 연결 케이블까지를 포함한다.

각 측정포트 간의 관계를 산란계수를 써서 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 + S_{13}a_3 + S_{14}a_4 \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 + S_{23}a_3 + S_{24}a_4 \\ b_3 &= S_{31}a_1 + S_{32}a_2 + S_{33}a_3 + S_{34}a_4 \\ b_4 &= S_{41}a_1 + S_{42}a_2 + S_{43}a_3 + S_{44}a_4 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $a_i$ 와  $b_i$ 는 포트 i에 입사되는 파와 포트 i로부터 나오는 파이다. 여기에서 가역정리( $S_{ij} = S_{ji}$ )를 적용하고, 각 포트에 연결된 기기의 반사계수( $a_1 = b_1 \Gamma_1$ ,  $a_2 = b_2 \Gamma_2$ ,  $a_4 = b_4 \Gamma_4$ )를 고려하여 실제적인 경우(directivity  $\neq \infty$ ,  $S_{14} \neq S_{23} \neq S_{12} \neq 0$ )에서  $P_1$ 과  $P_2$ 를 측정했을 때 부하에 전달되는 순 전달 전력을 계산하면

$$P_{net} = |g(S, \Gamma)|^2 - \frac{P_1}{1 - |\Gamma_1|^2} - |h(S, \Gamma)|^2 - \frac{P_2 |\Gamma_4|^2}{1 - |\Gamma_2|^2} \quad (6)$$



을 얻을 수 있다. 여기에서  $g(S, \Gamma)(= b_4/b_1)$ 와  $h(S, \Gamma)(= b_4/b_2)$ 를 정리하면

$$P_{net} = \frac{|S_{34}|^2}{|S_{13}|^2} (1 \pm \Delta g) \frac{P_1}{1 - |\Gamma_1|^2} - \frac{1}{|S_{24}|^2} (1 \pm \Delta h) \frac{P_2 |\Gamma_2|^2}{1 - |\Gamma_2|^2} \quad (7)$$

이 되며,  $\Delta g$ 와  $\Delta h$ 는 산란계수와 반사계수의 위상을 알지 못함에 기인하는 불확도이다. 식 (7)로부터 부하에 전달되는 전력을 구하기 위해서는 4-포트 시스템의 산란계수 중  $|S_{34}/S_{13}|^2$  및  $|1/S_{24}|^2$ 을 알아야 한다. 전력 전달시스템에서 전력계의 지시치와 안테나에 전달되는 전력의 관계를 아는데에 필요한  $|S_{34}/S_{13}|^2$  과  $|1/S_{13}|^2$ 을 구하는 과정이 전력전달 시스템의 자체교정이다. 자체교정에 관한 세부사항은 참고문헌[4, 6]을 참고하기 바란다.

이러한 순 전달전력  $P_{net}$ 에 대한 불확도는

$$\Delta P_{net} (\%) = \pm \frac{\Delta g + |\Gamma_4|^2 \Delta h}{1 - |\Gamma_4|^2} \times 100 \quad (8)$$

이다. 이러한 불확도는 쌍방향결합기의 순방향 및 역방향결합도와 방향성, 각 포트에서의 반사계수와 격리도(isolation), 입 출력포트 간의 삽입손실 등으로 나타나며, 부하의 반사계수가 커짐에 따라 불확도가 커짐을 알 수 있다. 또한 측정포트 1과 2에는 전력감지기와 전력계 또는 써미스터마운트와 전력계가 연결된다. 교정인자의 불확도는 전력감지기는 1%, 써미스터마운트는 1%이다. 전력계 오차는 전력계의 기종마다 조금씩 차이가 나지만 2%정도이다. 따라서, [그림 5]의 전력 전달시스템으로 부하에 전달되는 순전력을 측정할 때, 총 불확도는 식 (8)로 표현되는 쌍방향성 결합기와 전력감지기의 특성에 의한 불확도와 전력감지기 교정인자의 불확도, 그리고 전력계자체의 불확도 등을 합산해야 한다. 예를 들어, 당 연구원에서 복사 전자기장에 대한 내성 평가시스템은 300MHz의 측정주파수에서 총 측정불확도는 약 24%(-1.20 ~ +0.93dB)를 유지하

고 있다.

#### 4.4 표준 안테나법에 의한 측정시스템의 구성

표준 안테나법으로 측정시스템을 구성하기 위해서는 표준 수신안테나의 특성(안테나인자, 안테나이득 등)을 먼저 알고 있어야 한다. 수신안테나로 사용되는 것은 전형적인 3차원 등방성 프로브이며, 짧은 다이폴(short dipole)도 송신안테나와 같은 편파면으로 고정시켜 흔히 사용한다. 피시험기기가 놓이는 위치에서의 전자기장의 세기 E는

$$E(dB\mu V/m) = AF(dB/m) + V_r(dB\mu V) \quad (9)$$

으로 표현된다. 여기에서 AF는 수신안테나의 안테나인자이고,  $V_r$ 은 측정수신기 입력단에서의 전압이다. 안테나 인자는 안테나의 실효길이, 부정합손실, 전송손손실 등을 모두 포함하며, 전형적인 안테나 특성인 안테나이득과의 관계는 전송손 손실을 무시하고, 수신기에 수신되는 전력을 계산함으로써 쉽게 얻을 수 있다[7]. 수신기의 입력 임피던스가  $R_r$ , 수신 전압이  $V_r$ , 수신안테나의 실효개구(effective aperture)의 면적이  $A_e$ 이고, 입사파의 시간평균 전력 밀도를  $S_{av}$ 라 하면, 수신전력  $P_r$ 는

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_r} = A_e S_{av} = \left( \frac{MG_r(\theta, \varphi) \lambda^2}{4\pi} \right) \left( \frac{E^2}{Z_0} \right) \quad (10)$$

을 얻을 수 있고, 따라서 안테나인자 AF는

$$AF = \frac{E}{V_r} = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{\pi Z_0}{G_r(\theta, \varphi) R_r M}} \quad (11)$$

로 표현되며, 여기에서  $G_r(\theta, \varphi)$ 는 안테나이득(전력이득),  $Z_0$ 는 자유공간의 고유 임피던스로서  $120\pi \Omega$ 이며, M은 부정합 인자로서  $(1 - |\Gamma|^2)$ 의 값을 갖는다. 수신기의 입력 임피던스가 50Ω인 경우, 식 (11)을 대수 단위로 표현하면

$$AF(dB/m) = 19.76 - 20 \log \lambda - G_r(dBi) - M(dB) \quad (12)$$

이다. 따라서 만약 안테나 특성자료로서 안테나이득이 주어진다면 위의 식으로부터 안테나인자 값을 얻을 수 있으며, 결과적으로 수신안테나가 놓여있는 위치에서의 전기장의 세기를 결정할 수 있다.

이러한 표준 안테나법으로 측정시스템을 설계하는 경우, 앞에서 설명한 바와 같이 표준 수신안테나의 출력을 계속해서 모니터링하면서 필요한 전자기장의 세기를 얻기 위해 신호원과 전력증폭기의 출력을 서서히 증가시켜야 하는 불편함이 있다. 따라서 이방법은 매우 시간이 많이 소요되므로, 대개의 측정시스템에서는 표준 전자기장법으로 어느 정도의 요구되는 전기장의 세기를 피시험기가 놓이는 시험면에 발생시킨 다음, 표준 안테나법으로 확인해 나가는 방법을 사용하고 있다.

## 5. 측정시스템 설계 및 구성

### 5.1 측정시스템 설계시 고려사항

복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템을 설계할 때 고려하여야 할 사항은 다음과 같다: 1) 적용규격: 피시험기기의 종류, 시험환경과 시험신호 특성, 성능저하 판단기준 등; 2) 피시험기기의 특성: 피시험기기의 동작특성, 피시험기기의 물리적 특성(최대 크기 등) 및 전기적 특성(소비전력, 접지상태), 동작 환경조건(온, 습도); 3) 시험환경: EMS Chamber, Modified Semi-anechoic Chamber(복사 방출용 전파암실의 바닥에 전파흡수체를 부착하여 복사감응 측정용으로 겸용할 수 있도록한 것); 4) 표준 전자기장 발생시스템: 요구되는 전자기장의 세기 얻기 위해 적절한 안테나의 선택(이때, 안테나의 이득과 패턴을 반드시 확인해야 한다)과 적절한 전력 증폭기의 선택이 필요하고, 발생된 전자기장의 세기를 모니터링하기 위해 표준 전자기장 방법을 채택할 것인지 또는 표준 안테나 방법을 채택할 것인지를 결정해야 하며(두 방법을 모두 적용하는 것이 유리하다), 시험신호의 인가를 이산주파수 방법(discrete frequency method)으로 할 것인지 또는 소인주파수 방법(swept frequency method)으로 할

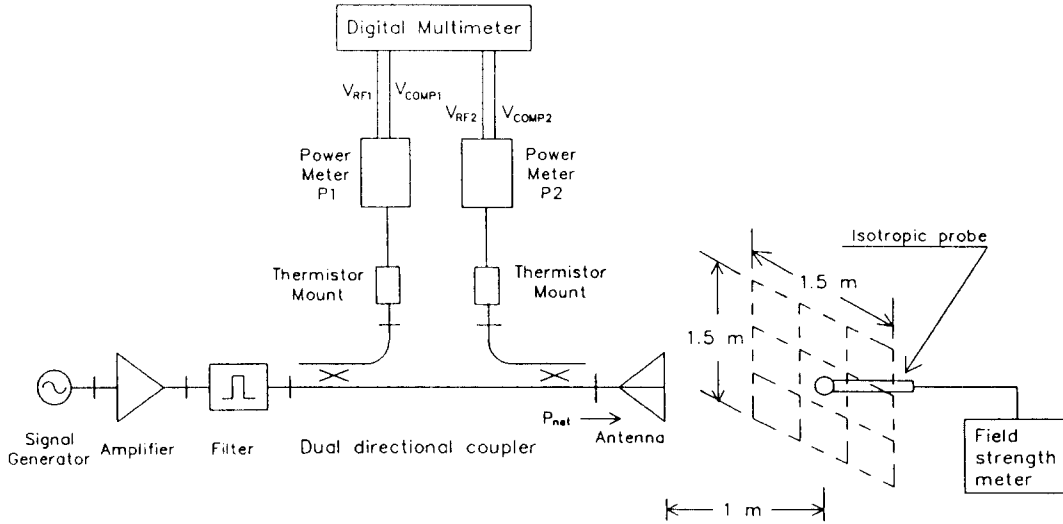
것인지를 결정해야 한다(대개의 on-off 시험에서는 소인주파수 방법을 사용하지만 피시험기기의 주파수에 따른 감응 문턱(susceptibility threshold)을 확인하기 위해서는 이산주파수 방법의 적용도 요구된다); 5) 피시험기기 모니터링 시스템: 성능저하 판단기준 및 판단방법, 모니터링 신호 특성(음성/영상신호, 디지털/아날로그 신호, 비트오율 등), 피시험기기의 일반 구동 프로그램의 사용여부(피시험기기는 시험 중에 일반적인 동작을 수행하고 있어야 한다).

### 5.2 측정시스템의 구성

복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템은 전력 전달시스템과 전자기장 발행 안테나를 조합하여 송신측을 구성하고, 수신측은 전자기장의 세기를 측정하는 등방성 프로브와 수신기로 구성된다. 이를 [그림 5]에 보였다. 송신측의 증폭기는 원하는 세기의 전자기장을 발행할 수 있을 만큼 고전력을 출력할 수 있어야 한다. 쌍방향성 결합기 역시 입력 전력의 정격이 충분히 커야 한다. 안테나에 전달되는 순 전력  $P_{net}$ 를 계산하기 위하여 써미스터마운트와 HP 432B 전력계를  $P_1$ 과  $P_2$ 를 측정한다. 이때 주위 온도 변화에 의한 영향을 보상하기 위하여 HP 432B 전력계에서 출력되는  $V_{RF}$ ,  $V_{comp}$  전압을 전압계로 측정한다. 다음에 아래의 식에 의하여 RF 전력을 계산한다. 이 방법을

$$P_{RF} = 1.25 (V_{comp}^2 - V_{RF}^2) \quad (13)$$

쓰면 전력계의 오차를 0.2%이하로 줄일 수 있다. 그리고, 표준 써미스터마운트의 반사계수  $\Gamma_1$ 과  $\Gamma_2$ 의 크기, 쌍방향성결합기의 자체교정상수를 식 (7)에 대입하여  $P_{net}$ 를 구한다. 전자기장 발생을 위한 송신안테나의 안테나인자 값 및 발생된 전기장의 세기를 감시하기 위한 수신안테나의 안테나인자는 국가표준기관에서 교정한 값으로 하고, 원역장을 가정하면 안테나로부터 3m 떨어진 지점에서의 전력밀도를 결정할 수 있다. 송신측의 중요한 부분인 전력 전달시



[그림 5] 복사 전자기장에 대한 내성 평가 시험장치의 구성

시스템은 일정한 세기의 전자기장을 발행하는 것이 주 목적이기는 하나, 측정하기 전에 수행되는 시스템의 자체교정이 끝난후, 실제 시험검사시 전자기장의 세기를 수시로 점검하는 데에 쓰이기도 한다.

### III. 결 론

전자파내성에 대한 전면적인 규제가 오는 '96년부터 유럽연합을 중심으로 시작될 전망이다. 특히 복사 전자기장에 대한 전자파내성 요구는 매우 새로운 것이며, 평가시스템 구축에 막대한 비용이 소요되기 때문에 우리 산업체에 큰 피해를 줄 것으로 우려된다. 따라서 관련 국제표준화규격의 내용을 파악해야 함은 물론이고, 앞으로의 동향까지도 예의 주시해야 할 것이다. 이렇게 함으로써 우리 산업체가 전자파 방출 규제가 시작되었을 때 겪었던 어려움을 재현하지 않고 보다 신속하게, 보다 효과적으로 외국의 관련규제에 대처해 나갈 수 있으리라 믿는다.

복사 전자기장에 대한 전자파내성 측정시스템은 전력 전달시스템과 전자기장 발생 안테나를 조합하여 송신측을 구성하고, 수신측은 전자기장의 세기를 측정하는 등방성 프로브와 수신기로 구성된다. 송신

측의 신호원과 전력증폭기는 원하는 세기의 전자기장을 발행할 수 있을 만큼 고전력을 출력할 수 있어야 하며, 쌍방향성결합기 역시 입력 전력의 정격이 충분히 커야 한다. 피시험기가 놓이는 시험평면에서의 전기장의 세기는 전력 전달시스템을 이용하여 순 전달전력을 모니터링함으로써 쉽게 결정되며, 이때 규격에서 정한 전기장의 균일도를 만족시킬 수 있도록 송신안테나의 안테나이득을 적절하게 선택해야 한다. 따라서 피시험기의 전체 크기에 알맞게 송신안테나의 안테나이득과 전력증폭기의 출력전력을 조화스럽게 조정하면 전체 측정시스템의 제작비용을 크게 낮출 수 있다. 또한 쌍방향성 결합기를 사용하고, 전력 전달시스템의 자체 교정기법을 적용하여 측정정확도를 개선할 수 있으며, 결과적으로 과잉설계 및 대책을 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEC Pub. 801-3, "Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 3: Radiated electro-

- magnetic field requirement," 1984.
- [2] IEC TC 65A/77B(Sec.) 121/88, "Draft-Electromagnetic compatibility for electrical and electronic equipment, Part 3: Immunity to radiated radio-frequency electromagnetic fields," Jul. 1991.
- [3] IEC TC 65A/77B(Sec.) 135/100, "Revision of IEC 801-3: Electromagnetic compatibility for electrical and electronic equipment, Part 3: Immunity to radiated radio-frequency electromagnetic fields," Dec. 1992.
- [4] 정 낙삼 외 5인, "전자기장의 세기 정밀측정 기술개발", KSRI-88-86-IR, Aug. 1988.
- [5] 정 낙삼 외 4인, "전자파장해 측정시스템 구성 및 평가기술 개발(제3차년도)", KRIS-92-097-IR, Jun. 1992.
- [6] M. Kanda, and R. David Orr, "A radio-frequency power delivery system: Procedures for error analysis and self calibration," NBS Tech. Note 1083. Aug. 1985.
- [7] W. S. Bennet, "Properly applied antenna factors," IEEE Trans. EMC, Vol.28, No.1, pp. 2~6, Feb. 1986.