

EMI/EMC 측정기술 개요

정 연 준* · 김 정 환* · 정 낙 삼**

(*한국표준연구소 전자파연구실 연구원, **전기연구부장)

1. 서 론

EMI/EMC (Electromagnetic Interference / Electromagnetic Compatibility) 연구의 궁극적 목표는 복잡 다양해지는 전자파환경에 질서를 부여하여 조화를 이루도록 하는 것이다[1]. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 방해전자파의 발생을 억제하고, 방해전자파 배제능력을 향상시켜야 한다. 전자는 일종의 가해방지기술이고, 후자는 일종의 방해제거기술, 즉 피해방지기술에 해당되며, 이러한 기술 모두 정확한 측정과 완전한 대책을 필요로 한다. 따라서 EMI/EMC 연구는 크게 방해전자파의 정밀 정확한 측정과 분석, 그리고 방해전자파의 완전한 제어에 귀결됨을 알 수 있다.

이와 관련된 측정에는 1) 시험대상기기(EUT, Equipment Under Test)의 EMI/EMC 성능을 평가하는 일, 2) 측정시설 및 측정기기의 성능을 평가하는 일, 그리고 3) 방해전자파 제어를 위한 대책 부품의 성능을 평가하는 일 등이 포함된다. 이러한 측정을 위해서는 기본적인 마이크로파 및 전자기 이론은 물론 안테나 및 전파전파 등에 관한 이해가 요구되며, 제품의 품질 인증업무는 물론 제품 설계단계에서도 적절히 적용될 측정기술의 개발이 필요하다.

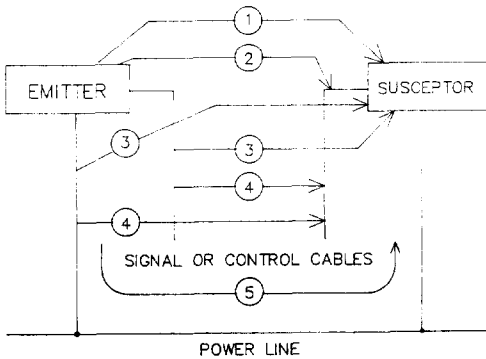
본 해설에서는 EMI/EMC 구성요소와 측정대상에 관한 간단히 살펴보고, 측정시 고려해야 할 일반조건과 측정시설, 그리고 관련 측정오차 등에 대해 살펴보기로 하겠다.

2. EMI/EMC 측정개요

2.1 EMI/EMC 구성요소

EMI(전자파방해)관계를 성립시키는 기본적인 요소는 잡음원(source), 매개경로(coupling path), 감응체(susceptor)이다. 잡음원은 전파잡음 및 시스템에서 이용하고 있는 모든 형태의 전자기에너지의 발생체로 볼 수 있으며, 이들이 각종의 매개경로를 통하여 감응체(전자기기, 생물체, 사회 등)에 방해를 주고 있는 상태가 바로 기본적인 전자파방해 관계가 성립한 상태이다. 그림 1에 이러한 전자파방해를 성립시키는 구성요소와 각종의 매개경로를 보였다. 현대적 개념의 EMC(전자기 적합성)는 우리가 동작시키려는 기기의 입장에서 보는 것으로, 어떤 기기가 설치될 위치의 전자파환경에서 의도된 성능을 제대로 발휘하며 동작할 수 있는 능력을 뜻하며, 뿐만 아니라 더 나아가 이 기기가 새로이 추가됨에 따라 기존의 전자파환경에 변화를 가져와 거기에 이미 있었던 다른 기기에 영향을 주지 않아야 하는 뜻도 포함하는 것이다.

바람직한 전자파환경을 확립하기 위해서는 우선 기기로 부터 방출되는 잡음을 줄여 다른 기기에 방해를 주지 않도록 하여야 하고, 어느 정도의 전자파환경 내에서도 기기가 의도된 동작을 할 수 있도록 내성(immunity)을 강화시켜 주어야 한다. 이러한 전자기적합성은 엄격한 법적 규제는 물론 잡음원과



- A. RADIATION FROM SOURCE CASE TO SUSCEPTOR CASE AND CABLES(1 and 2)
- B. RADIATION FROM SOURCE CABLES (ESPECIALLY THE POWER CABLE) TO SUSCEPTOR CASE AND CABLES (3 and 4)
- C. DIRECT CONDUCTION FROM SOURCE TO SUSCEPTOR VIA A COMMON CONDUCTOR, FOR EXAMPLE, THE POWER LINE (5).

그림1. 전자파 방해 구성요소와 매개경로

매개경로, 그리고 감응체로 대표되는 전자파간섭 구성요소의 각각에 대해 명확히 그 특성을 평가하고 여러가지 경우의 대책을 수립하여 전자파방해를 제어함으로써 획득될 수 있는 것이다.

2.2 EMI/EMC 측정 대상

대부분의 방해전자파는 공간 중으로 방사되거나 또는 기기에 연결된 전원선이나 신호선을 통하여 전도된다. 매개경로의 형태에 따라 이러한 방해전자파의 종류는 크게 방사성 방해전자파(radiated EMI)와 전도성 방해전자파(conducted EMI)로 나뉘어 진다. 방사성 방해전자파(또는 방사성 잡음)는 다시 방사성잡음 방출(radiated emission)과 방사성잡음감응(radiated susceptibility)으로 구분되며, 전도성 방해전자파(또는 전도성 잡음)역시 전도성잡음 방출(conducted emission)과 전도성잡음 감응(conducted susceptibility)으로 분류할 수 있다. 여기에서 '감응'이란 어떤 장비나 시스템 등이 방해전자파에 쉽게 영향을 받는 것을 뜻하는 것으로, 전자파방해를 배제하고 제기능을 발휘하며 동작할 수 있는 특성, 즉 내성이 결여된 상태에 있는 것을 말한다.

앞의 경우와는 다르게, 전자기적합성을 확립하기

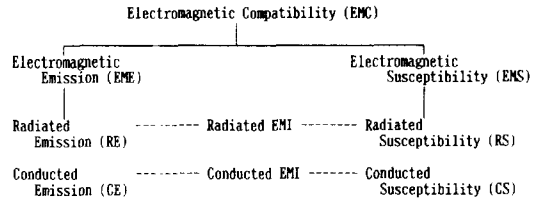


그림2. EMI/EMC 측정대상

위해 요구되는 접근방식에 의하여 방해전자파를 먼저 방해전자파방출(electromagnetic emission, EME, 또는 잡음방출)과 방해전자파 감응(electromagnetic susceptibility, EMS, 또는 잡음감응)으로 나눈 다음 매개경로의 형태에 따라 다시 구분하는 경우도 있다. 이러한 측정대상의 구분을 정리하여 그림2에 보였다. 그림2에서 알 수 있는 것과 같이 EMI/EMC 측정대상은 크게 4가지 방사성잡음 방출(RE)과 전도성잡음 방출(CE), 그리고 방사성잡음 감응(RS)과 전도성잡음 감응(CS)으로 분류될 수 있다.

잡음방출 특성을 평가하기 위해서는 시험대상기기로부터 전도되거나 방사되는 방출잡음을 잡아내어 정확히 그 스펙트럼 특성(진폭 주파수 등)을 측정해야 한다. 그리고 잡음감응특성은 정확히 특성을 알고 있는 전자기 신호를 발생시켜 시험대상기기에 가해주고 이 기기의 성능 저하나 오동작, 그리고 명시된 규격에 벗어나는 지를 관찰 함으로써 평가할 수 있다. 이러한 측정에서 어려운 점은 시험대상기기의 성능저하나 오동작을 객관적으로 평가해야만 하는 것인데, 시험대상기기가 어떠한 전자파환경에서 어떤 목적으로 사용되는 가를 충분히 고려하여 평가되어야 하기 때문이다. 여기에서는 EMI/EMC의 매우 광범위한 측정대상 중에서 특히 방사성 방해전자파를 중심으로 살펴보고자 한다.

2.3 측정방법

우리는 앞절에서 EMI/EMC 측정대상과 기본적인 개념에 대해 간단히 살펴보았다. 이러한 EMI/EMC 측정에 우선 시험대상기기가 정해지면 이에 대한 적용규격을 알아야 하고 그 규격에 따른 측정방법과 시스템이 결정되어야 한다. 적용규격은 측정의 재현성과 표준화를 위해서 반드시 필요하며, 측정장비와 측정방법, 규제치 등에 관한 내용을 포함한다. 이러

한 규제를 실시하고 있는 규제기구는 대개 CISPR(Comite International Special des Perturbations Radioelectriques, 국제무선장해특별위원회)에서 권고하는 내용을 중심으로 규격을 제정하며, 대표적인 규제 기구에는 FCC(Federal Communications Commission, 연방통신위원회, 미국), VDE(Verband Deutscher Elektrotechniker : 독일전기기술협회, 서독), 및 일본의 VCCI(Voluntary Control Council for Interference by Data Processing Equipment and Electronic Office Machines, 정보처리장치 등 전자파장해 자주규제 협의회)가 있다.

EMI/EMC 규격에 정해진 규제치는 앞에서 설명한 측정대상에 따라 각기 다른 단위로 표현되며, 광대역(broadband)신호는 항상 기준 대역폭에 대한 진폭을 측정하는 반면에, 협대역(narrowband)신호는 본질적으로 단일 주파수를 가지는 것과 같은 것으로서 단지 진폭을 측정한다. 여기에서 광대역신호 또는 협대역신호라 함은 신호의 대역폭(bandwidth)이 어떤 기준 대역폭(대개 수신기의 통과대역폭)에 비해 넓거나 또는 좁은 신호를 말하는 것으로서 잡음을 측정하고 분석할 때 흔히 사용되는 구분이다.

방사성잡음은 항상 전자기장의 세기(field strength) 단위를 기반으로 측정되며, 전도성잡음은 전압 또는 전류, 때로는 전력의 단위를 기반으로 측정이 이루어진다. 이러한 측정량들은 매우 넓은 주파수대역에 걸쳐 표현되어야 하기 때문에 일반적으로 대수항(logarithmic terms)으로 기술된다. 이러한 측정량과 관계된 단위를 표1에 보였[2].

또한 측정시스템은 측정기기로 나누어 생각할 수

있는데, 방출잡음 측정장비는 대개 센서(sensor)와 수신기(receiver)로 구성되며, 잡음감응 측정장비에는 신호발생기와 고출력증폭기, 그리고 고이득송신 안테나 등이 사용된다. 측정시스템에 대해서는 다음 절에서 보다 상세히 살펴보도록 하겠다.

3. 일반 측정조건

유효하고, 반복적인 측정결과를 얻기 위해서는 수행하고자 하는 시험의 종류에 관계없이 다음의 일반적인 측정조건을 반드시 고려해야 한다: 시험장소(test sites), 측정기기(measurement instrumentation), 측정주파수 대역, 시험대상기기(EUT)의 배열, 시험 환경(test environments), 시험대(test platform), 접지면(ground plane) 등[3].

3.1 측정시설

CISPR의 권고안에 근거한 대부분의 상용규격은 방사성잡음 시험장소로서 야외시험장(open area test site)의 사용을 원칙으로 하고 있으며, 전자파 반무향실(semi-anechoic chamber)과 같은 여타의 장소는 야외시험장과의 상관관계를 명확히 제시할 수 있어야만, 그곳에서 측정된 시험결과를 인정하고 있다. 단, 전자파차폐실(shielded enclosure)에서의 측정은 시험대상기기의 주파수 프로필을 얻기 위해서만 사용되며, 방사성 방출잡음의 크기를 결정하는 데는 사용하지 않는다. 군용규격의 경우, 방사성잡음 시험장소로서 전자파 차폐실을 사용하고 있으나, 차폐실 벽면으로 부터의 다중반사에 의한 영향을 줄이기

표 1. 측정단위

Detector Type	Measurement Parameter		
	Voltage	Field Strength	Power
Average	dB(μ V)	dB(μ V/m)	dB(pW)
QuasiPeak	dB(μ V)	dB(μ V/m)	dB(pW)
Peak			
Impulse noise	dB(μ V/MHz)	dB(μ V/(m·MHz))	dB(pW/MHz)
Random noise	dB(μ V)	dB(μ V/m)	dB(pW)

註 (1) 측정단위 dB(μ V)와 dB(pW)는 각기 μ V과 pW로 표현될 수 있다.

(2) 각각의 장치요건이 무선잡음미터(radio noise meter) 대역폭을 포함하는 곳에서는 전압, 전자기장의 세기, 전력에 대한 측정단위가 각각 dB(μ V), dB(μ V/m), dB(pW) 가 될 수 있다.

위해서 점차 전자파 반무향실을 사용하는 방향으로 나가고 있는 실정이다.

전도성잡음 시험장소로서는 두 규격 모두 전자파 차폐실을 사용하고 있다. 실제로 시험장소를 건설하는 데 막대한 비용이 소요되고, 큰 측정오차를 유발시킬수 있기 때문에 매우 신중하게 설계, 구성하여야 한다.

대표적인 측정시설에는 접지평면(ground plane)을 갖춘 야외시험장(open area test site), 전자파 반무향실(semi-anechoic chamber), TEM(Transverse Electromagnetic) cell, 평행판선로(parallel plate line), 헬름홀츠코일(Helmholtz coil), 전자파잔향실(reverberating chamber) 등이 있으며, 이러한 시설은 시험대상기기의 크기, 주파수대역, 적용규격의 규제치, 측정하고자 하는 전자기장의 형태 및 편파면, 그리고 시험신호의 전기적 특성(주파수영역 또는 시간영역) 등을 고려하여 선택되고 구성되어야 한다[4].

3.1.1 야외시험장

FCC와 VDE 등에서는 방사성방출잡음 측정에 사용되는 야외시험장으로 그림 3과 같은 최소한의 넓이에 전파반사체가 전혀 없는 장소를 규정하고 있다. 시험장소 지표면의 특성(비투자율, 전도도 등)이 지역 및 기후환경에 따라 다르기 때문에 이러한 지표면에 의한 불확도를 줄이기 위해서 시험장소의

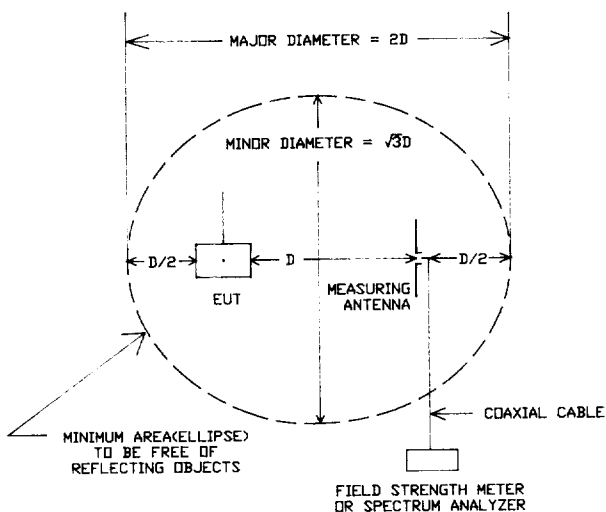


그림3. 야외시험장의 개략도

바다에 접지평면을 설치하도록 적극 권장하고 있으며, 최소한 1차 Fresnel 구역을 포함 할 수 있는 크기와 상한 측정주파수(대개 1000 MHz)와 측정거리를 고려한 Rayleigh 기준이 만족되는 평평도를 가지도록 설계되어야 한다[5].

이러한 규정은 시험대상기로부터 방출되는 방사잡음이 측정용 안테나에 직접 전달되는 경우와 접지평면을 통해서 전달되는 경우의 두 경로만에 의해서 측정이 이루어 지도록 하기 위함이다. 따라서 이러한 두 경로 이외의 다른 경로에 의해 방출잡음이 측정 안테나에 전달되는 경우 측정결과에 영향을 미칠수 있다는 것을 염두에 두고 야외시험장을 구성하여야 하며, 그림 3과 같은 최소한의 필요면적 뿐만 아니라 측정거리의 3배 내지 8배 정도의 넓은 거리내에 큰 전파반사체가 없는 지역을 선택하는 것이 바람직하다.

이러한 측정시설은 시험장감쇠량(site attenuation)을 측정함으로써 시험장소로서의 적합성을 평가할 수 있는데, 이는 무한한 크기의 전도성 평면을 가지는 이상적인 야외시험장에 대한 이론적인 시험장감쇠량을 기준으로 실제의 야외시험장에서 측정된 시험장감쇠량을 비교함으로써 시험장소에 인접한 전파반사체의 존재, 전송선 및 측정시스템의 이상 유무, 부적절한 지표반사면 등을 알 수 있기 때문이다. 여기에서 시험장감쇠량은 수신안테나 종단에서의 최대 출력전압에 대한 송신안테나 입력단자의 입력전압의 비로 정의되는 양이며, 수동소자의 삽입손실(insertion loss)을 측정하는데 사용되는 방법을 이용하여 쉽게 측정할 수 있다.

흔히 비교기준으로 사용되는 이론치는 FCC에서 제안한 것인데, 이것은 무한한 크기의 전도성 평면과 그리고 원역장 조건을 만족하는 자유공간에서의 안테나 임피던스 등을 가정하고, 인접한 안테나 상호간의 상호결합(mutual coupling)을 무시한 모델을 적용한 것이다. 이러한 모델은 Friis의 자유공간에서의 전력 전달에 관한 관계식에 지표반사에 의한 기여만을 더해준 것에 불과한 것으로서 80MHz 아래의 주파수에서는 실험치와 잘 일치하지 않는다.

따라서 이러한 불일치를 해결 할 수 있는 보다 정확한 이론치를 구하기 위해 많은 연구가 수행되어, 송·수신안테나 사이 및 안테나와 접지평면 사이의 상호결합을 고려한 모델, 고정된 높이의 송·수신안

테나를 사용하여 평가하는 방법, 송·수신안테나의 안테나인자로 표현된 모델 등이 제시되었다[6]. 안테나의 상호 임피던스로부터 계산된 안테나인자 보정계수를 사용하여 인접 안테나간의 상호결합효과를 보정하는 방식이 요즘 많이 적용되고 있다. 또한 시험장소에서의 주변의 영향은 수직 편파인 때에 현저하게 나타나는 경우가 많으므로 시험장소의 적합성을 평가하는데 수직 편파에 대한 시험장감쇠량 측정의 필요성이 증대되어 가고 있다.

3.1.2 전자파반무향실 및 전자파차폐실

전자파무향실(anechoic chamber)은 실내공간에 자유공간 상태를 만들어 주어 안테나특성 및 레이다 단면적 측정 등에 널리 사용되는 시설이다. 특히 방출잡음 특성 평가에 사용되는 전자파무향실은 야외 시험장과 같은 효과를 가지도록 구성되어야 하므로 바닥에 전파흡수체를 부착하지 않아, 흔히 전자파반무향실(semianechoic chamber)이라고 부른다.

이러한 시설은 전자파차폐 기능과 내부반사 흡수 기능을 가지고 있으며, 야외시험장이 가지는 외부환경에 대한 노출의 단점을 극복할 수 있으나, 저주파 대역에서의 사용이 제한되고 매우 값이 비싼 결점이 있다. 전자파반무향실을 구성하려면 먼저 외부 전자파환경의 특성을 파악하고, 적용할 규격의 규제치 한계와 비교하여 요구되는 전자파차폐 성능을 결정한 다음, 전송선 길이(transmission line length), 전파반사가 적은 구역(quiet zone)의 크기와 위치, 사용 주파수대역에 따른 반사율(reflectivity), 사용되는 안테나의 위치와 방향성, 방출전력의 크기 등을 고려하여야 한다. 특히 반사율은 전파경로 길이의 차, 전파경로 방향에 따른 안테나 이득의 차, 입사각에 따른 전파흡수체의 효율 등에 의존하기 때문에 앞의 고려사항을 충분히 검토하여 결정하여야 할 것이다.

이러한 전자파반무향실의 성능을 평가하기 위해서는 전자파차폐효과(shielded effectiveness)의 측정과 시험장감쇠량의 측정이 필요하다. 전자파차폐효과는 외부로부터의 불요전파 출입을 막아주는 것은 물론, 잡음감응 특성평가지 시설 내부에 발생시키는 강한 전자파가 밖으로 새어나가지 않도록 하는데 필히 요구되는 성능이다. 또한 시험장감쇠량은 전자파반무향실의 성능이 야외시험장의 그것에 얼마나 가

까운가를 보기 위해 필요한데, 전자파 반무향실의 경우, 유한한 크기의 접지평면과 잔여반사에너지, 공동(cavity)공진 등의 문제가 있기 때문에 이상적인 야외시험장과 같은 성능을 얻기 위해서는 많은 노력이 요구된다.

전자파차폐효과의 측정은 전자파 누설의 가능성이 큰 부분(door, filter, vents, all penetrations, accessible joints)을 중심으로 이루어지는데, 삽입손실 측정방법을 이용하여 송·수신안테나 사이에 전자파차폐 물질이 놓여있는 경우와 없는 경우에 측정수신기에 수신되는 전자기장의 세기 차이를 측정 함으로써 평가된다. 이때 측정 수신기 내부로 부터의 누설전자파, 신호증폭 장치의 포화상태, 측정수신기의 이득감소등을 확인하여 요구된 측정을 하기에 충분한 동작영역(dynamic range)을 갖도록 측정시스템을 구성하여야 하며, 측정하는 동안 이러한 동작영역과 기준(reference)에서의 변화를 주기적으로 확인하면서 측정을 수행하여야 한다. 전자파 반무향실에서의 시험장감쇠량 측정은 야외시험장의 경우와 같은 방법을 사용하여 이루어지며, 측정결과를 기준 야외시험장에서의 결과와 비교하여 두 측정시설 간의 상관관계를 구함으로써 전자파반무향실에서 측정된 방출잡음의 크기를 기준 야외시험장의 값으로 변환시킬 수 있다.

3.1.3 기 타

TEM Cell은 보통의 안테나가 제한된 대역폭을 가지며, 원역장 조건을 보장하기 위해 충분히 큰 거리가 요구됨에 따른 문제를 극복하기 위해 고안된 시설로서 양쪽끝이 가늘게 되어있고, 가운데 부분이 장방형 동축 전송선(rectangular coaxial transmission line, RCTL)의 모양을 하고 있는 측정시설이다. 특히 TEM Cell 자체가 변환기의 역할을 하고 안테나의 사용이 필요없기 때문에 매우 강한 전자기장이 요구되는 잡음감응 특성시험은 물론, 임펄스 및 과도현상에 관한 시험이 가능하다. 이러한 시설은 사용 주파수대역의 상한이 최소 고차 모우드가 발생하는 주파수로 제한되며, 시험가능한 체적이 상한주파수 한계에 반비례하기 때문에 시험대상기기의 크기가 크게 제한되는 단점이 있다. 그러나 전기적으로 작은 기기의 잡음감응특성 뿐만 아니라 잡음방출 특성 측정이 가능하고, 쉽게 이동시킬 수 있는

며, 주파수 주사방법에 의한 광대역 측정에 용이하고, 만들기가 비교적 쉬운 장점이 있고, 내부에 발생하는 전자기장이 TEM 모우드로 형성되기 때문에 자유 공간에서의 원역장 특성을 가지며, 수 $\mu\text{V}/\text{m}$ 에서 약 $1000\text{V}/\text{m}$ 에 이르는 전자기장을 만들 수가 있고, 제작 비용이 싸기 때문에 산업체에서 매우 유용하게 응용할 수 있는 측정시설이다.

헬름홀츠 코일은 코일의 중심에 코일의 감은 횟수와 가해진 전류에 비례하는 강한 자기장을 발생시키는 시설로서 주로 자동차의 전자장비에 대한 저주파 방사감응 특성시험에 사용된다. 평행판 선로는 DC에서 대개 30MHz 정도까지의 주파수대역에서 비교적 큰 전기장을 얻을 수 있으므로 기기의 방사감응 특성 평가에 사용되는 시설인데, 시험대상기기의 크기, 최대 측정주파수, 요구되는 전자기장의 세기 등을 고려하여 제작되어야 하고, 선로의 입사전력이나 출력전력을 측정할때 반드시 선로의 임피던스를 고려하여야 하며, 임피던스 정합회로망(matching network)에서의 손실을 보정해 주어야 한다.

전자파잔향실은 비교적 높은 주파수에서 시험대상기기의 잡음방사 특성 및 잡음 감응특성을 평가하는데 사용되는 시설로서, 전자파 차폐실내에 발생된 전자기장의 편파 특성을 모우드 교반기(stirrer)를 이용하여 무작위로 변화 시킴으로써 최대 반응을 찾기 위해 시험대상기기의 방향을 바꿔가면서 측정해야 할 필요가 없는 새로운 측정시설이다.

3.2 측정장비

방해전자파 측정에 사용되는 주요 측정기기에는 수신기(test receiver)와 안테나, LISN(Line Impedance Stabilization Network, 전원임피던스 안정화 회로망), 전류프로브(current probe), 흡수클램프(absorbing clamp) 등이 있다. 수신기는 방사성잡음은 물론 전도성잡음 측정에 필수적으로 사용되는 기기이며, 안테나와 LISN, 전류프로브는 일종의 변환기(transducer)로서 잡음 신호를 감지하여 분석하기 쉬운신호를 바꿔주는 역할을 한다. 안테나와 LISN은 각기 방사성잡음 측정과 전도성잡음 측정에 사용되고, 전류프로브는 주로 군용규격에서 규정하고 있는 기기로서 전도성잡음 측정에 이용된다.

3.2.1 측정수신기

대표적인 측정수신기로 방해전자파수신기와 스펙트럼분석기가 있다. 스펙트럼분석기는 임펄스 신호(impulsive signal)에 대해 방해 전자파수신기 보다 좁은 동작영역(dynamic range)을 가지고 있으나, 충분한 감도(sensitivity)와 과부하(overload)방지에 관한 부속장치가 부가될 때 측정수신기로 적절히 사용될 수 있으며, 넓은 주파수대역을 한눈에 볼 수 있어 문제점을 쉽고 빠르게 파악할 수 있고, 동시에 매우 다양한 용도로 사용될 수 있는 장점이 있다. 이러한 측정수신기의 기본 규격에 대해 CISPR에서는 표 2와 같이 권고하고 있다[7].

이러한 방해전자파수신기는 다양한 검파방식(첨두치검파, 준첨두치검파, 평균치검파, 실효치검파 등)을 이용하고 있으나, 대부분의 상용규격은 CISPR에서 권고하는 준첨두치검파 방식을 채택하고 있으며, 반면 MIL-STD-461, 462와 같은 군용규격은 첨두치검파 방식을 이용하고 있다. 준첨두치검파 방식은 임펄스(impulse)의 반복률(repetition rate)에 따라 각기 다르게 반응하는 방식으로서 우리들이 라디오 방송을 들을때 매우 자주 잡음이 섞여 들어오는 경우에 비해, 같은 크기의 잡음이라 할지라도 가끔 섞여 들어오는 경우가 비교적 덜 혼란스럽다는 것을 생각하면 임펄스의 반복률을 고려하는 준첨두치검파의 효과를 쉽게 이해 할 수 있을 것이다.

각각의 검파방식은 각기 다른 반응을 가지며, 준첨두치검파 방식이 평균치검파와 실효치검파 방식과 마찬가지로 임펄스 반복률에 의존하고, 여타의 다른 방식에 비해 첨두치 검파에 가장 가깝다. 또한 각각의 반복률에 있어서 같은 반응값을 얻기 위해서는 높은 반복률을 가지는 임펄스에 비해 낮은 반복률을 가지는 임펄스가 훨씬 높은 진폭을 가져야하며, 첨두치검파 방식은 임펄스 반복률에 무관하다.

3.2.2 센서류

방해전자파 측정에 널리 사용되는 센서에는 안테나, 전류프로브, LISN, 흡수클램프 등이 있다. 이들 기기는 각각 기기입력에 존재하는 양(전자기장의 세기, 전력 등)을 전압값으로 변환시켜 측정수신기의 입력에 전달하는 결합기구(coupling devices)로서 측정기의 입력 임피던스와 측정지점 사이의 모든 손실을 고려하여 정확히 교정된 변환인자(conversion

표 2. CISPR 방해전자파 측정기 기본규격

Parameter	Frequency Range		
	10~150 kHz	0.15~30 MHz	30~1000 MHz
Input impedance [Ω]	50	50	50
Bandwidth (at -6 dB) [kHz]	0.2	9	120
Quasi-peak detector time constant			
—of charge [ms]	45	1	1
—of discharge [ms]	500	160	550
Time constant of indicator [ms]	160	160	100
Overload factor of the:			
—selective unit [dB]	24	30	43.5
—indicator unit [dB]	12	12	6
Unwanted signal attenuation at			
—intermediate frequency [dB]	≥ 40	≥ 40	≥ 40
—image frequency [dB]	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Attenuation of intermodulation products [dB]	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Sine voltage measurement accuracy [dB]	± 2	± 2	± 2
Field strength measurement accuracy [dB]	± 3	± 3	± 3
Calibration parameters:			
—standard pulse area [μV_s]	13.5	0.316	0.044
—pulse repetition frequency [Hz]	25	100	100
—equivalent sine-wave input voltage [dB]	60 ± 1.5	60 ± 1.5	60 ± 1.5

표 3. 각 주파수대역에서 사용되는 센서류

Sensors	Frequency Range(MHz)				
	0.010-0.015	0.15-30	30-515	470-1000	1000-40000
Rod antenna	Yes	Yes	No	No	No
Dipole Antenna	No	No	Yes	Yes	No
Biconical Antenna	No	No	Yes**	No	No
Log Periodic	No	No	Yes*	Yes	No
Conical Log Spiral	No	No	Yes*	Yes	Yes**
Loop Antenna	Yes	Yes	No	No	No
Voltage Probe	Yes	Yes	Yes	No	No
Current Probe	Yes	Yes	Yes	No	No
Absorbing Clamp	No	No	Yes	No	No
Waveguide Horn	No	No	No	No	Yes

* 대개 200~1000MHz 주파수대역에서 사용된다.

** 상한주파수는 약 220MHz

** 상한 주파수는 약 10000MHz

factor)를 가지고 사용되어야 한다. 표 3에 ANSI에서 권고하는 각 주파수 대역에 대한 센서의 종류를 보였다[8].

안테나는 전자기장의 세기를 측정하는 센서로 사

용되며, 주요한 측정용 안테나에는 표준안테나로 사용되는 이극안테나(30~1000 MHz)와 표준이득 혼(horn) 안테나(1~40 GHz), 그리고 각종의 광대역 안테나가 있다. 광대역안테나는 표준안테나에 비해 쉽게 넓은 주파수대역을 빠르게 측정할 수 있다는

점에서 산업체에서 널리 사용되고 있으나, 8 dB 정도의 측정오차 범위내에서 시험하려면 표준안테나를 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 광대역안테나는 30~80 MHz의 주파수대역에서 접지면과의 결합이 적기 때문에 이극안테나 보다 더 정확하다고 주장하는 그룹도 있으나, 반면에 높은 정재파비(VSWR)을 갖기 때문에 부적절하다는 그룹도 있다. 아 물론 이러한 측정용 안테나는 큰 측정오차를 유발시킬 수 있으므로 안테나인자(antenna factor)를 정확히 교정하여 사용하여야 한다. 대부분의 상용규격은 선형편파된 안테나를 규정하고 있으며, 반면에 균용규격은 원형편파된 안테나에 대해서도 규정하고 있다.

일반적으로 사용되는 전원의 임피던스가 모두 같지 않기 때문에 어떠한 시험대상기에 연결된 외부 전기회로에서의 잡음전압을 측정하기 위해서는 표준화된 조건이 요구된다. 따라서 특정한 값의 전원 임피던스를 제공하고, 외부회로 임피던스의 임의적인 변동과 그러한 회로내에서 생길 수 있는 고주파신호로부터 측정회로를 격리시킬 수 있어야 하고, 균일한 동작전류의 흐름을 가능케 하는 기기가 필요하다. 바로 이러한 기기가 LISN이며, 주로 전원과 시험대상기 사이에서 사용된다. 이러한 LISN은 임피던스의 주파수특성이 약 50Ω이 되는 주파수 부분에서만 사용된다. 전류프로브와 흡수클램프는 각기 전도성 잡음전류와 잡음전력을 측정하는데 사용되는 기기로서 30 Hz~1000 MHz, 30~300 MHz의 주파수대역에서 각각 사용된다. 전류프로브는 시험대상기의 전원선이나 신호선을 1차권선이라고 생각하고, 1차권선에 흐르는 잡음전류를 강자성 코아에 감겨진 2차권선(프로브)에 유도된 전압으로 측정하는 기기로서, 기기의 전달 임피던스(transfer impedance)를 정확히 교정하여 사용해야 한다. 이러한 전달 임피던스는 보통 두 권선사이에 인덕턴스 결합만 있다고 가정하고 평가되며, 주로 2차 권선의 인덕턴스와 부유 전기용량(stray capacitance)에 의존하는 주파수 특성을 가진다. 이때 전류프로브의 출력에 유기되는 전압은 토로이드(toroid)의 투자율과 단면적, 2차권선의 권선수, 전선에 흐르는 전류, 측정주파수 등에 비례한다. 흡수클램프는 기본적으로 전류프로브와 같은 원리를 사용하는 기기로서 약 60개의 강자성 코아가 실린더 모양으로 나란히 배열되어 있다. 이러한 클램프를 가지고 전원선으로 부

터 방출되는 잡음을 측정하기 위해서는 먼저 클램프를 사용하여 전원선을 둘러싼 후에 전원선의 정재파에 따른 최대값을 찾기 위해 전원선을 이동시키면서 측정해야 한다.

3.3 측정주파수 대역

전자파방해는 어떠한 주파수에서도 일어날 수 있으며, 방해원과 전달경로의 특성에 따라 측정 주파수대역도 달라지게 된다. 전도성잡음의 스펙트럼은 대개 측정될 수 있는 가장 낮은 주파수에서부터 대개 1 GHz 정도의 주파수에 분포되어 있으며, 주파수가 높아질수록 방사될 가능성이 훨씬 커지고 따라서 전도성 경로 보다는 방사성 경로에 의해 보다 쉽게 인접기에 전달된다. 또한 방사성잡음 스펙트럼은 수 Hz의 낮은 주파수는 물론 100 GHz에 이르는 매우 높은 주파수를 포함하는데, 대개의 상용규격에서는 9 kHz 이하의 방사성잡음은 규제하지 않고 있다.

3.4 기 타

측정에 요구되는 다른 일반 조건에는 측정 결과 보고양식과 시험대상기기의 배열, 시험환경, 시험대, 접지평면 등이 있다. 이러한 일반조건 역시 측정대상과 적용규격에 따라, 약간씩 다르게 그 기준을 제시하고 있으므로 시험을 준비할 때 면밀히 검토하여야 한다.

시험대상기기는 동작조건, 전원 공급형태, 접속기구의 연결방식, 접지 등을 고려하여 기기가 일반적으로 사용되는 형태로 배열되어야 하며, 이때 방출잡음이 최대가 되도록 시험대상기기를 위치시켜야 하고, 동작 가능한 모든 기능을 수행시키면서 최대 방출잡음을 찾아야 한다.

시험장소의 주위 전자파환경은 시험대상기기에 전력을 공급치 않는 상태에서 주변잡음의 크기가 적용규격의 규제치보다 6dB이하로 적어야 한다. 이러한 조건이 만족되지 않을 때, 규정된 측정거리보다 가까운 거리에서 측정하고 거리에 따라 줄어드는 감쇠량($20 \log(\text{시험거리}/\text{규정거리})$)을 고려하여 규정된 측정거리에서의 값으로 환산하거나, 실제 주변잡음의 영향을 받는 것으로 인정되는 신호는 규정된 수

신기의 대역폭을 좁혀서 측정함으로써 비교적 정확한 방출잡음의 크기를 알 수 있다. 또한 시험장소의 온도의 대개 10°C에서 40°C 범위내에서 유지시키는 것이 바람직하다.

4. 측정오차

방출잡음 측정과 관련된 오차는 크게 측정기기에 의한 오차와 시험장소에 의한 오차, 그리고 시험대상기기의 동작상태, 측정시스템의 배열 등에 의한 오차로 대표될 수 있다[9].

측정기에 의한 오차는 측정기기 자체가 전자장치의 세기 및 잡음전류, 전압을 측정하기 위해 고안된 것이기 때문에 비교적 낮은 오차를 가지고 있으나, 때때로 잘못 사용된 안테나인지, 수신기의 임피던스부정합, 수신기내의 감쇠기, 보조기기 등에 의한 오차가 크게 나타나는 경우도 있다. 역시 측정기기와 관련된 가장 큰 오차는 측정시스템 내의 부적절한 임피던스 정합에 의한 것이다. 안테나, 전송선, 수신기가 임피던스 정합이 되었다면 큰 문제가 없겠지만 그런 경우는 그리 흔치않기 때문에 적절한 RF(Radio Frequency) 연결기(connector)가 사용된 좋은 품질의 동축선을 사용하고, 수신기의 전단부에 RF 감쇠기를 적절히 사용함으로써 임피던스 부정합에 의한 오차를 줄일 수 있다. 또한 안테나가 근역장내에서 사용될 경우 오차를 유발시킬 수 있는데 그 이유는 대개의 안테나가 원역장 조건에서 교정이 되기 때문이다. 따라서 원역장 조건하에서 교정된 안테나를 근역장 내에서 사용할 때는 반드시 근역장 보정인자를 고려하여 사용하여야 한다.

안테나 교정에 사용되는 기법에는 표준 전자기장 방법(standard field method)과 표준안테나 방법(standard antenna method) 등이 있으며, 주로 표준 전자기장 방법은 환상 안테나 및 로드 안테나(rod antenna), 혼(horn) 등의 교정에 사용되며, 표준 안테나방법은 이극안테나(dipole antenna)의 교정에 사용된다. 이러한 방법 외에도 표준 시험장방법(standard site method)과 기준 안테나 방법(reference antenna method) 등이 있으나, 본 해설에서는 자세한 설명을 생략하겠다.

시험장소에 의한 오차로서는 야외시험장의 구성에 있어서 앞에서 설명한 조건을 만족시키지 못할 때에

도 큰 측정오차를 발생시키는데, 주로 경계지역 주변의 반사체에 의한 오차와 기후조건(보통 대기인 경우, 비가 오기 전과 온 후 등)과 관련된 오차를 포함한다. 때에 따라서 야외시험장의 전천후 덮개에 잘못 사용된 금속성 물체, 내부배선의 노출, 기타 조명기구 및 공조시설의 노출 등에 의해 서로 오차가 발생할 수 있다. 전자파차폐실은 벽면에서의 전파반사가 가장 큰 오차 요인이며, 이러한 오차는 내부 벽면반사에 의한 공동모우드 주파수 이하의 주파수 보다 공동모우드 주파수 이상의 주파수에서 더욱 큰 오차를 일으킨다. 이러한 오차를 줄이기 위해서 사용되는 전자파 무향실의 경우, 측정오차는 배열된 전자파 흡수체의 반사율에 의한 잔여 반사파에너지의 크기에 따라 의존하며, 따라서 충분한 반사율을 갖는 전자파흡수체를 사용함으로써 벽면반사파에 의한 오차를 크게 줄일 수 있다.

시험대상기기의 동작상태 및 측정시스템의 배열에 의한 오차는 대개 시험변수(안테나높이 조절결이, 회전시험대의 회전각, 편파면의 수 등)에 의한 오차, 전원선 및 신호선의 배열에 의한 오차, 시험대상기기의 동작모우드에 의한 오차, 시험자에 따른 인위적인 오차등을 포함한다. 시험변수에 의한 오차는 시험장소 및 측정용 안테나의 특성에 따라 변할 수 있는데, 이는 시험변수에 따라 측정용 안테나에 직접 전달되는 경로와 접지평면에 반사되어 전달되는 경로의 위상차가 발생되어 오차를 유발시키기 때문이다.

5. 결 론

국내 EMI/EMC 연구는 이제 태동기에 접어들고 있다고 생각된다. 이 연구는 크게 측정과 대책에 관한 연구로 구분될 수 있을 것이나, 두 분야가 상호 보완적으로 접근 되어야만 보다 효과적으로 연구를 수행할 수 있으리라 여겨진다. EMI/EMC 측정기술과 측정표준에 관련된 분야만 하더라도, 매우 넓은 범위의 다양한 대상이 있기 때문에 제한된 지면으로 충분히 다루기 못한 부분들이 많고, 본 해설에서 보는 시각과 다른 각도에서 보는 경우도 많이 있으리라 생각된다. 아무튼 EMI/EMC 측정기술의 이해에 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바램이다.

끝으로 국내 EMI/EMC 측정기술의 향상과 국제

적인 측정 신뢰도를 확보하기 위해서 미국립표준기술원(NIST)에서 시행하고 있는 프로그램을 소개하면서 본 해설을 끝맺고자 한다.

NVLAP(National Voluntary Laboratory Accreditation Program)은 제품성능 관련 시험기관들의 자율적으로 특정시험 분야에 있어 특정시험을 수행하기에 충분한 능력을 갖추고 있음을 인정하는 제도로서 1976년에 시행되어 오늘에 이르고 있는데, EMI/EMC 관련 시험기관들이 많이 참여하고 있다. 이 프로그램에 의해 미 국립표준기술원의 감독하에서 시험기관들의 측정능력을 평가하고, 측정기술의 협의가 이루어지고 있으며, 주어진 시험 방법에 대한 시험절차의 일치, 시험자의 능력인정, 시험장치와 측정시설의 적합성, 시험기관간의 상호연관성, FCC와 NIST의 인정된 시험기관으로서의 승인 등이 이루어지고 있다[10] [11]. 국내에서도 이러한 프로그램이 진행되어 국내 관련시험기관의 측정수준을 향상시키고 국제적인 측정신뢰도를 확보할 수 있으면 한다.

참 고 문 헌

- [1] 정낙삼, 김기채, 정연춘, "EMI/EMC 현황과 전망" 대한전자공학회지, 1989. 9.
- [2] ANSI C63.4-1988, "American National Standard Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 10 kHz to 1 GHz".
- [3] FCC/OET TP-5, "FCC Procedure for Measuring Electromagnetic Emissions from Digital Devices," Mar. 1989.
- [4] M.T.Ma, M. Kanda, "Electromagnetic Compatibility and Interference Metrology," NBS Tech. Note 1099, Jul. 1986.
- [5] ANSI C63-7-1988, "American National Standard guide for construction of open area test sites for performing radiated emission measurements".
- [6] A.A.Smith, Jr., et. al, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors," IEEE Trans. on EMC, EMC-25-, no.3, pp. 301-316, Aug. 1982.
- [7] CISPR Publication 16, "CISPR specification for radio interference measuring apparatus and measurement methods," 1979.
- [8] ANSI C63.2-1987, "American National Standard Specifications for Electromagnetic Noise and Field Strength Instrumenta Tron 10 kHz~40GHz".
- [9] D.R.J.White, M. Mardiguian, "Errors in EMC Compliance Testing and Their Control," EMC Technology, pp. 14-22, Oct. 1982.
- [10] H.E.Taggart D.M.Staggs, J.A.Lenk, "National Voluntary Laboratory Accreditation program," ITEM, pp. 112-116, 1987.
- [11] D.M.Staggs, H.E.Taggart, J.A.Lenk, "National Voluntary Laboratory Accreditation Program:an update," ITEM, pp. 288-290, 1988.