

전자파장해 측정용 야외시험장의 설치 및 평가 기준 고찰

孫 永 根
韓國通信 品質保證團

I. 서 언

요즈음 우리 주변에서는, 공업발전의 부산물로 등장한 공해 문제를 해결하기 위해 정부를 비롯해 민간차원에서도 다각적인 노력을 경주하고 있다. 이러한 움직임은 전자 및 통신분야도 예외가 아니어서, '제3의 공해'라고도 불리우는 전자파장해를 막고 줄이기 위해 규격의 제정이나 시험의 강화 등 대책마련에 부심하고 있다. 특히 그 동안 수출용 제품에 대해서만 규제에 신경을 써왔던 국내에서도 1990년 9월 체신부에서 '전자파장해 검정규칙'을 제정·공포함으로써 본격적인 규제에 돌입하게 되었다. 전자파장해를 효율적으로 막고 줄이기 위해서는 제품의 설계 단계부터 대책을 마련해야 하나, 이에 못지 않게 방사량을 정확히 측정하는 것도 중요하다. 이를 위해서는 보통의 측정실과는 달리 특별한 기준을 갖춘 시험실이 요구된다. 오늘날 많이 사용되고 있는 시험실로는 전자파 측정용 야외시험장(open field test site)과 전자파무반향실(anechoic chamber)이 있는데, 이 두 시험장은 측정에 있어 근본적인 차이는 없다. 다만, 야외시험장은 많은 공간을 필요로 하기 때문에 도심이나 건물 등이 밀집된 지역에서는 전자파무반향실이 더 많이 애용되고 있다. 그러나 전자파무반향실은 80MHz 이하의 주파수 대역에서는 정확한 측정값을 얻을 수 없다는 점과 국제무선장해특별위원회(CISPR)나 미연방통신위원회(FCC)등에서도 야외시험장에서의 측정을 원칙으로 한다는 점에서, 국내에서도 몇 군데 야외시험장이 이미 설치되었거나 설치중에 있다. 따라서 본고에서는 전자파장해 측정에 필수적인 야외시험장이 갖추어야 할 요건과 이 야외시험장의 평가기준이 되는 감쇠특성(site attenuation)에 대해 알아보고 그 문제점에 대해서도 살펴보기로 한다.

II. 전자파장해 측정용 야외시험장

현재 전자파장해 측정용 야외시험장을 설치할 때 기준이 되는 규정으로는 국제무선장해 특별위원회의 Pub. 16과 미연방통신위원회의 OST 55 및 독일의 전기기술자협회의 VDE 0877 part 2가 있다. 이들을 살펴보면 측정시 안테나의 높이를 비롯해 측정파가 수직편파나 수평편파 등 다소 차이는 있지만 기본 원리는 같기 때문에 현재 측정에 널리 이용되고 있는 미연방통신위원회의 방식을 중심으로 살펴보기로 한다. 참고로 미연방통신위원회에서는 주파수 범위를 25~1000MHz로 규정하고 있으며, 측정거리는 3m, 10m 및 30m로 되어 있다.

1. 야외시험장의 제원

야외시험장은 그림 1과 같은 형태를 갖게 되는데, 시험용 기기와 측정용 안테나간의 거리를 D 라고 하면, 장경이 $2D$ 이고 단경이 $\sqrt{3} D$ 인 타원의 형태가 된다. 물론 타원이 아닌 장방형이라도 관계는 없지만, 최소한 이 정도의 크기는 확보되어야 한다. 이러한 제원이 나오게 된 이유를 살펴보면 다음과 같다. 그림 1과 같이 주위에 아무런 반사물체가 없다고 가정하면 시험용 기기에서 나온 전파의 일부는 직접 수신용 안테나에 수신되고 나머지는 대지면에서 반사되어 안테나에 수신된다. 수신용 안테나에서는 이와 같이 여러 경로를 거쳐 합성된 전파들이 들어오게 되는데, 측정시에는 안테나의 높이를 바꾸어 가며 합성된 전파의 수신레벨이 최대가 되는 점에서 측정을 하게 된다. 이렇게 되면 어느 범위까지의 지면 반사파를 고려해야 되는지에 대한 의문이 생기게 되는데, 이는 그림 2와 같이 제1 프렐벨대(Fresnel zone)을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

그림에서 시험용 기기 A에서 나온 전파가 수신용 안

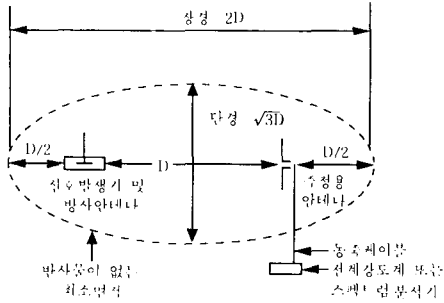


그림 1. 전자파장해 측정용 야외시험장

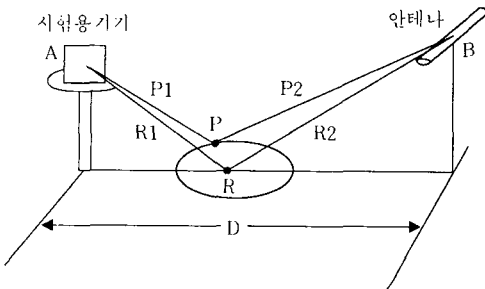


그림 2. 제1 프레넬대

테나 B에 수신될 때 지면상의 반사점 P와 기하광학적인 점 R을 생각하면, 전파의 경로는 각각(P_1+P_2)와 (R_1+R_2)가 된다. 이 때 두 경로의 차가 반파장 이하가 되면, 점 P에 의한 반사파도 수신전계에 영향을 미치게 된다.

따라서 야외시험장은 적어도 이와 같은 반사점들을 모두 포함하는 크기여야 한다. 그런데, 반파장이라고 하면 수파수에 따라 값이 달라지므로 이러한 반사점들을 포함하는 야외시험장의 크기도 달라져야 하지만, 대체로 그림 3에서 보는 바와 같이 $2D \times \sqrt{3} D$ 정도의 크기가 된다.

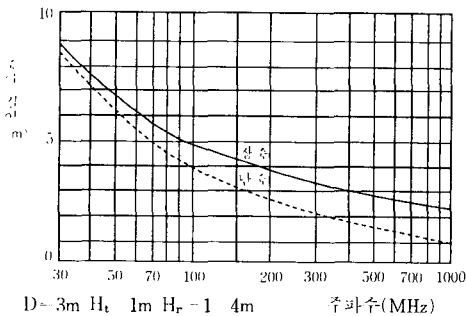


그림 3. 제1 프레넬대의 크기

2. 야외시험장의 조건

야외시험장은 앞에서 설명한 크기에 대한 조건 외에도 그 영역 안에 나무, 관목이나 철책 같은 반사물체가 없어야 하며, 영역 밖이라도 건물이나 주차된 자동차와 같이 측정에 영향을 미칠 수 있는 큰 물체나 금속체로부터 가능한 한 멀리 떨어져 있어야 한다.

지형적인 면에서는 충분히 평탄해야 하며 크기가 5cm 이상인 어떠한 물체도 지표에 있어서는 안된다. 야외시험장에는 기후 등의 영향을 받지 않는 안정된 반사면을 얻기 위해, 통상 금속 대지면(metal ground plane)을 설치하도록 권고하고 있는데, 특히 포장된 도로나 옥상 위에 야외시험장을 설치할 때에는 꼭 필요하다. 또한 이 금속 대지면은 제원 내에 반사물이 없어야 하는데, 토양이 모래나 암석이 아닌 균일한 토질인 경우에는 금속 대지면을 설치하지 않아도 무방하다. 금속 대지면으로는 보통 크기가 0.5인치나 0.25인치인 금속망(wire mesh)이 사용되는데, 값도 저렴할 뿐만 아니라 구하기 쉬운 이점이 있다. 그러나 금속망을 설치할 때에는 이음매 부분이 반드시 전기적으로 접속되도록 주의해야 한다.

금속 대지면이 작은 경우에는 설치시에 가능한 한 주위의 지면과 같은 높이가 되도록 해야 되는데, 이는 금속 대지면이 지면보다 높아지면 시험용 기기에서 나온 전파의 일부분밖에 반사시키지 못하기 때문이다.

3. 측정장치의 설치

대지면이 완성되면 측정에 필요한 장비들을 설치해야 하는데, 미연방통신위원회에서 권고하고 있는 방식을 살펴보면 그림 4와 같다.

1) 시험용 기기와의 접촉

시험용 기기에 접속되는 전원, 전선, 케이블 및 연관은 가능한 한 땅속 깊숙히 매설하거나 대지면 밑에 묻어야 한다. 야외시험장에 대지면이 마련된 경우에는 이러한 설비의 배치가 그다지 중요하지 않는데, 대지면이 없는 야외시험장이나 이러한 설비들이 매립되지 않은 야외시험장인 경우에는 시험장의 축을 따라 측정 안테나로부터 적어도 1.5m 떨어지도록 해야 한다.

2) 측정 안테나 마스트

측정시에는 안테나에 수신되는 전파의 수신레벨이 최대가 되어야 하므로, 측정 안테나의 높이를 연속적으로 가변시킬 수 있는 마스트가 필요하다. 종래에 널리 사용해 왔던 안테나용 삼각대는 연속적으로 높이를 가변시키기에 부적합하기 때문에 사용할 수 없으며, 마스트용 재료로는 로프와 트롤리가 붙은 목재나 가벼운 PVC 파이프와 같이 비금속성이어야 한다.

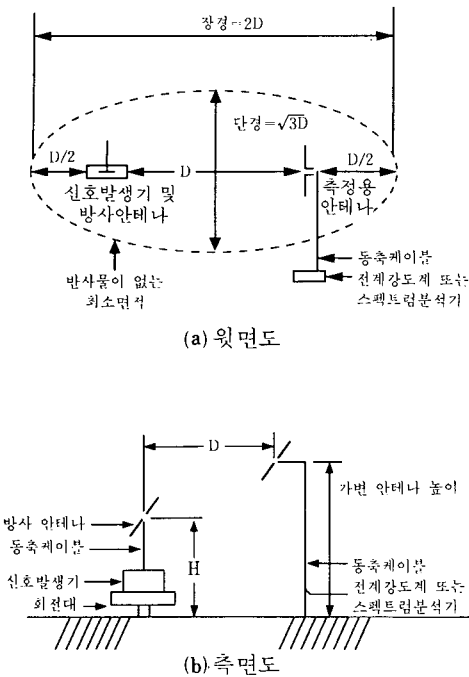


그림 4. 측정장치의 설치

3) 시험대

시험용 기기를 설치하는 시험대는 회전대로서 비금속성의 재질로 제작하며 수평면 내의 전방향으로 회전할 수 있어야 한다. 통상이 시험대의 높이는 1m로 한다.

4) 측정기기

전계강도를 측정하기 위해서는 적절한 측정기기가 필요한데, 통상 ANSI C 63.2(1980)에 일치하는 전계강도계가 사용된다. 이 규격을 만족시키는 경우에는 스펙트럼 분석기도 사용할 수 있으며, 이 기기들은 정해진 주기에 따라 반드시 교정을 받아야 한다.

5) 안테나

감쇠특성을 측정하거나 시험용 기기에서 방사되는 전파를 측정할 때에는 보통 측정주파수에 동조된 반파장 다이폴 안테나를 사용한다. 여기서 동조된 반파장 다이폴 안테나라는 자유 공간에서 입력 임피던스의 리액턴스 성분이 0이어서 순수 저항의 길이가 반파장보다 조금 짧은 직선상(狀) 안테나를 말한다.

동조된 반파장 다이폴 안테나로 측정한 결과와 상관관계가 있는 경우에 한해 광대역 안테나인 대수 주기 안테나와 바이코니컬 안테나를 사용할 수 있다.

6) 전천후용 덮개

측정시 날씨에 영향을 받지 않도록 하기 위해 야외시

험장의 전체 또는 일부에 덮개를 만들 수 있는데, 대지면보다 높게 하면서 금속재질을 사용할 경우에는 측정하고자 하는 최고주파수 파장의 1/10 이하가 되도록 한다. 적합한 덮개의 소재로는 화이버글래스, 플라스틱, 가공목재 혹은 직물재료 등이 있다.

III. 야외시험장의 평가

앞 절에서 설명한 바와 같이 야외시험장이 만들어졌다 해도 측정시마다 정확한 측정은 물론이고 재현성이 없으면 야외시험장으로서의 구실을 다할 수 없게 된다. 따라서 적절한 야외시험장의 평가방법이 필요한데, 그 방법으로서의 전파의 전파특성을 평가하는 감쇠특성이 사용된다. 이 감쇠특성의 측정방식은 미연방통신위원회가 최초로 제안했는데, 그림 4의 시험기대신에 표준 안테나에 신호발생기를 부착해 안테나에서 전파를 송출해 수신 안테나로 수신했을 때 어느 정도의 전파가 손실되었는가를 측정한다.

1. 감쇠특성의 이론적인 계산

미연방통신위원회에서 제안한 감쇠특성의 계산은 Friss의 최대전력 전송공식을 이용하고 있는데, 요즘에는 이론값에 대한 정확도를 높이기 위한 방법으로 모멘트법이 많이 사용되고 있다.

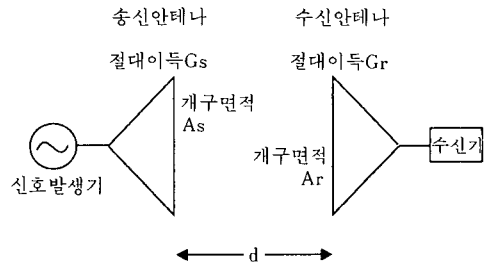


그림 5. Friss의 전송공식 모델

그림 5와 같이 측정하고자 하는 파장에 비해 충분히 먼 거리 d만큼 떨어진 위치에 송·수신 안테나가 놓여 있다고 가정하고, 두 안테나 사이의 전력전송 관계를 살펴보자.

송신 안테나 대신에 무지향성 안테나를 송신점에 놓고 Ps의 전력을 공급하면 수신점에서의 전력밀도는 Ps / 4πd²이 된다. 무지향성 안테나의 절대이득을 Gs, 실효

개구면적을 A_s 라 하고, 수신 안테나에 부착된 수신기 (부하)가 완전히 정합된 경우의 수신 최대전력을 P_r , 실효개구면적을 A_r 이라고 하면, 수신 최대전력 P_r 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_r = \frac{G_s P_s}{4\pi d^2} A_r$$

여기서 $G_s = 4\pi A_s / \lambda^2$ 이므로,

$$\frac{P_s}{P_r} = \frac{(\lambda d)^2}{A_s A_r} \text{ 이 된다.}$$

이 식을 Priss의 전송공식이라고 하는데, 이 식은 자유공간에 송·수신 안테나가 파장에 비해 상당히 멀리 떨어져 있고 정면으로 마주 보고 있는 경우에 한해 성립한다. 따라서 송·수신 안테나 사이의 거리가 매우 짧은 야외시험장에 이 식을 적용하기 위해서는 수정이 필요한다. 미연방통신위원회에서는 다음과 같이 대지면 반사에 의한 보정계수 k 를 식에 첨가하게 되었다.

$$\frac{P_s}{P_r} = \frac{(\lambda d)^2}{k A_s A_r} \text{ 이 된다.}$$

이 식을 데시벨로 표시하면

$$A = 10\log(P_s / P_r) = -10\log(k A_s A_r / (\lambda d)^2) \text{ 이 된다.}$$

앞에서 $A_s = G_s \lambda^2 / 4\pi$, $A_r = G_r \lambda^2 / 4\pi$ 을 대입하면,

$$\begin{aligned} A &= -10\log(k G_s G_r \lambda^2 / (4\pi d)^2) \\ &= 20\log d + 20\log(4\pi / \lambda) - 10\log k - 10\log G_s - 10\log G_r \\ &= 20\log d + 20\log f + 20\log(4\pi / 300) - 10\log k - 10\log G_s - 10\log G_r \\ &= 20\log d + 20\log f - 27.6 - 10\log k - 10\log G_s - 10\log G_r \end{aligned}$$

이 된다(단, $\lambda = 300/f[\text{MHz}]$).

이 식을 다시 쓰면

$$A = 20\log d + 20\log f - G_s - G_r - 27.6 - R \text{ 을 얻는다.}$$

단, d : 송신 안테나에서 수신 안테나 사이의 거리 (m)

f : 주파수 (MHz)

R : 대지면 반사파에 의한 보정계수

G_s : 무지향성 안테나를 기준으로 한 송신 안테나를 데시벨로 표시한 이득

G_r : 무지향성 안테나를 기준으로 한 수신 안테나를 데시벨로 표시한 이득

이 식이 바로 Middlekamp에 의해 이론적으로 계산된 감쇠량이다.

한편, 감쇠특성의 측정에 사용하는 송·수신용 반파장 다이폴 안테나의 절대이득은 자유 공간에서의 이득과 같으므로, $G_s = G_r = 2.15\text{dB}$ 를 대입하고 보정계수의

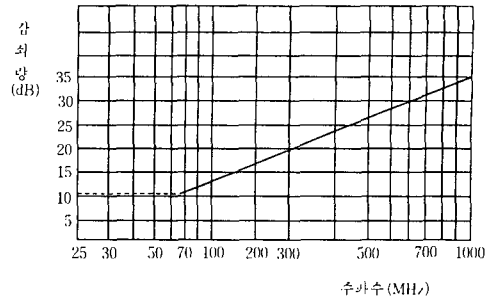


그림 6. 미연방통신위원회에 의한 감쇠특성

평균값 4.3dB를 대입하면 감쇠량은 $A = 20\log f - 26.7$ 이 된다.

이를 주파수 범위 80MHz~1000MHz까지 도시해보면 그림 6과 같다.

여기서 80MHz 이하는 점선으로 표시되어 있는데, 이는 이론적인 계산값이 아니라 실험을 통해 얻은 값이기 때문이다.

2. 감쇠량의 측정

현재 감쇠량의 측정에는 송·수신 안테나간의 거리 3m가 주류를 이루고 있으며, 주로 수평편파에 대해 측정하고 있다.

감쇠특성을 측정할 때에는 두 개의 반파장 다이폴 안테나가 필요하다. 측정하는 주파수 대역은 25MHz~1000MHz까지로 하며, 측정간격은 25MHz~100MHz까지는 10MHz, 100MHz~300MHz까지는 25MHz 그리고 300MHz~1000MHz까지는 50MHz로 한다.

(1) 먼저 그림 4의 시험대(회전대)에 신호 발생기를 올려놓고, 표준감쇠기로 조정된 신호발생기의 출력을 동축케이블을 사용해 반파장 방사 다이폴 안테나에 접속한다. 반파장 다이폴 안테나는 평형상태이므로, 평형 불평형 변성기(balun)를 사용한다. 이 때 임피던스가 정합되지 않는 경우에는 임피던스 정합용 트랜스포머를 사용한다.

(2) 그림 4에 표시된 높이 H로 수평 편파면이 되도록 방사 안테나를 설치하되, 측정기의 위치에 대해 최대의 방사방향이 되도록 한다. 이 방사 안테나는 측정 주파수에 따라 적절한 길이가 되도록 조정한다.

(3) 전계강도계 또는 스펙트럼 분석기를 동축케이블을 사용해 평형 불평형 변성기를 붙인 수신용 반파장 다이폴 안테나에 접속한다. 신호 발생기에서 나오는 신호의 주파수에 따라 안테나를 조절하고 전계강도계를 동

조시킨다.

(4) 다른 방해원에서 나온 방해신호나 주위의 잡음레벨보다 전계강도계의 지시가 충분히 높게 나오도록 신호 발생기의 출력레벨과 표준감쇠기를 세팅하고, 표준감쇠기의 세팅값을 기록한다.

(5) 전계강도계가 놓여 있는 위치에서 전계강도의 수평편과 성분을 측정한다. 그림 4에 표시된 가변거리 범위로 안테나를 상하로 이동시켜 전계강도가 최대가 되도록 한 후, 그 때의 전계강도값을 기록한다.

(6) 두 안테나 단자에서 동축케이블을 빼내 두 동축케이블을 함께 연결한다. 안테나 단자에서 평형 불평형 변성기를 빼어낼 수 있는 경우에는 동축케이블 → 평형 불평형 변성기 → 평형 불평형 변성기 → 동축케이블의 순서로 접속한다.

(7) (4)에서 기록한 지시값과 같아지도록 표준감쇠기를 조절하고 표준감쇠기의 세팅값을 기록한다.

(8) 야외시험장의 감쇠량은 (7)의 감쇠기값과 (4)의 감쇠기값의 차이를 데시벨로 표시한 것이다. 평형 불평형 변성기나 임피던스 정합용 트랜스포머가 빠졌거나 (6)의 측정시 포함되지 않는 경우에는, 이로 인한 손실을 고려해 주어야 한다.

3. 감쇠특성의 해석 및 문제점

앞에서와 같이 감쇠량을 측정하게 되면 이 실측값과 이론적으로 계산된 값을 서로 비교함으로써 야외시험장의 적부를 평가하게 된다. 현재 대부분의 규격에서는 이

두 값의 허용편차가 $\pm 3\text{dB}$ 나 $\pm 4\text{dB}$ 이내가 되면 그 야외시험장은 적합하다고 평가한다(국내에서는 $\pm 4\text{dB}$). 그러나 이러한 허용편차도 주파수가 80MHz 이상에서는 잘 일치하는 반면에, 그 이하의 주파수 범위에서는 허용편차를 넘는 경우도 있으며, 때로는 허용편차 내에 들어간다고 해도 야외시험장이 부적합한 것으로 판정되는 경우도 있으므로 허용편차에 대해서도 추후 엄밀한 검토가 필요하다. 또한 현재 야외시험장의 평가에 사용되는 규격들을 살펴보면 측정조건뿐만 아니라 표현 형식도 서로 상이하다. 따라서 표 1과 같이 측정거리가 같더라도 송신 안테나의 높이가 변하면 감쇠량이 서로 달라지고, 또 조건이 같더라도 표현형식이 달라 그 값이 달라지게 된다.

현재 감쇠특성의 측정시 나타나는 문제점을 살펴보면 표 1에서 알 수 있듯이 30MHz 이하의 주파수 범위에 대해서는 야외시험장의 소요조건과 성능평가에 대한 방법이 전혀 없는 상황이며, 측정하는 편파면도 수평에 대해서만 규정되어 있을 뿐 수직편파에 대해서는 전혀 규정이 없는 상태이다. 이러한 현용 규격상의 문제점을 해결하기 위해 국제무선장해특별위원회에서는 이를 고려한 개정규격(안)을 마련해 검토중에 있다. 즉 주파수 범위를 30MHz~1000MHz까지로 늘리고 수평편파 외에도 수직편파를 추가했으며, 감쇠량을 정규화한 값, 다시 말하면 실측값에서 측정 안테나의 안테나 계수를 뺀 값으로 표시함으로써 측정시 사용한 안테나의 영향을 배제해 여러 종류의 안테나를 사용할 수 있도록 배려하고 있다. 그러나 이 정규화한 감쇠량은 특히 주파수 대역이 낮은 부분에

표 1. 규격별 감쇠특성의 측정조건

규격	편파	측정거리 d	송신안테나 높이	수신안테나 높이	감쇠특성 표시	주파수범위 (MHz)	비고
CISPR (Pub. 13)	수평	3m	4.0m	1~4m	감쇠량 표시 $20\log f \cdot 24(\text{dB})$	80~1000	수신기에서의 측정값은 수신 안테나를 4m의 위치에서 내릴 때 첫번째 최대값
FCC (OST 55)	수평	3m 10m 30m	2.0m	1~4m 1~4m 2~6m	감쇠량 표시 $20\log d + 20\log f$ $-31.4 - R(\text{dB})$	80~1000	수신기에서의 측정값은 최대값 R값은 측정거리에 따라 3m, 10m, 30m에 대해 각각 4.3, 5.7, 5.9 (dB)
VDE (0877)	수평	3m 10m 30m	1.0m	0.5~1.5m 1~4m 1~4m	정규화한 감쇠량 표시 별도 도면	30~1000	수신기에서의 측정값은 최대값 공진다이폴 안테나의 계수는 $20\log(2\pi/\lambda) + 10\log(73/50)$

주) 정규화(normalized) 감쇠량 표시 : 감쇠량(A) - $A_s - A_r - A_{\text{rot}}$
 단, A_s : 송신 안테나의 안테나 계수 A_r : 수신 안테나의 안테나 계수
 A_{rot} : 송·수신 안테나간의 상호 임피던스

서 규격값과 큰 차이를 보이는 경우에 야외시험장의 성능을 어떻게 평가할 것인가하는 문제점을 안고 있어 개정에 어려움이 예상된다.

IV. 결 론

전자공업의 발달과 정보화 사회의 도래로 규모나 빈도에 있어 과거와는 비교할 수 없을 정도로 각종 전자 및 통신 기기들의 급속한 보급이 이루어짐으로써, 이제까지는 크게 문제되지 않던 전자파 장애문제가 해결해야 할 당면과제로 등장하게 되었다.

제품이 발생시킬 수 있는 전자파는 설계자의 노력과 제조기술로 어느 정도 줄일 수 있지만, 이를 위해서는 정확한 측정기술이 뒷받침되어야 하며 정확한 측정을 할 수 있는 시험실도 마련되어야 한다. 좁은 영역 내에서 이상적인 야외시험장을 갖추기란 쉬운 일이 아니며, 그렇게 만든 야외시험장을 설치기준에 적합하도록 하는 일은 훨씬 더 어렵다. 특히 이 측정분야는 동일한 야외시험장이라 해도 시험자의 숙련도와 지식 및 측정기술에 따라 상당한 차이가 발생하고, 한 쪽 규정에 적합하다고 해도 다른 쪽 규정에 적합하지 않는 경우도 발생하기 때문에 더욱 어렵다.

선진국에서는 앞서 지적한 문제점들을 해결하기 위해 새로운 측정기술에 대한 연구와 규격의 개정에 박차를 가하고 있다. 다소 늦은 감은 있지만, 국내에서도 이러

한 규격이 제정되었다는 것은 몹시 다행할 일이라 하겠다. 다만, 규격의 제정에만 그치지 말고 규격을 만족시킬 수 있는 측정기술에 대한 연구와 지원 및 보급이 뒤따라야 하며, 국내 업계측에서도 이에 대한 대비가 있어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Federal Communications Commission, FCC Bulletin OST 55, 1982.
- [2] CISPR Publication 16, 2nd Edition, CISPR Specification for Radio Interference Measuring Apparatus and Measurement Methods, 1987.
- [3] VDE, VD Normen DIN 57 877 Teil 2, 1982.
- [4] 체신부, 전자파장해검정규칙, 체신부령 제825호, 1990년 9월.
- [5] 佐藤 源貞, 川上 春夫, アンテナ(20), EMC, no. 20. pp. 89~95, 1989년 12월.
- [6] 不要電波問題對策協議會, 昭和63年度 測定調査報告書概要(1), EMC, no. 21, pp. 65~75, 1990년 1월.
- [7] 杉浦 行, 妨害波測定法の基礎, EMC, no. 24, pp. 29~35, 1990년 4월.
- [8] 佐藤 源貞, 川上 春夫, アンテナ(25), EMC, no. 25. pp. 152~159, 1990년 5월.
- [9] 郵政省, EMC測定の現状と問題点に関する調査(2), EMC, no. 30. pp. 69~79, 1990년 10월.

筆 者 紹 介



孫 永 根

1960년 12월 10日生

1984년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업

1986년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

1986년 4월~현재 한국통신 품질보증단 품질연구실 선임연구원