

## 야외시험장의 시험장감쇠량

## (Site Attenuations of the KSRI Open Area Test Site)

鄭然春\* · 姜泰遠\*\* · 姜燦求\*\* · 金基采\* · 金丁煥\*\*\* · 鄭樂三\*\*

(Y.C. Chung · T.W. Kang · C.K. Kang · K.C. Kim · J.H. Kim and N.S. Chung)

## 要 約

자기공진 이극안테나와 안테나 밸런을 제작하여 시험장감쇠량 측정시스템을 구성하고, 건설된 한국표준연구소의 야외시험장의 시험장감쇠량을 측정하였다. 측정결과는 계산된 이론치와  $\pm 3\text{dB}$  이내에 일치되며, 따라서 한국표준연구소의 야외시험장은 전자파장해(EMI/EMC) 시험검사 및 안테나 교정에 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

## Abstract

A site attenuation measurement system has been developed and evaluated. The system uses self-resonant dipole antennas and baluns. Using the system we measured the site attenuations of the KSRI open area test site. The measured results agree with calculated data within  $\pm 3$  dB, so the site can be used for EMI/EMC measurements and antenna calibrations.

## I. 서 론

라디오파 대역의 안테나 교정과 전기·전자기기의 전자파 장해(EMI/EMC, Electromagnetic Interference/Compatibility) 특성 평가에 사용되는 기본 시설인 야외시험장(Open Area Test Site)은 시험장 감쇠량(Site Attenuation)을 측정함으로써 시험장으로서의 적합성을 평가할 수 있다.

이는 이상적인 야외시험장에 대한 이론적인 시험장 감쇠량을 기준으로 실제의 야외시험장에서 측정된 시험장감쇠량을 비교함으로써 시험장소에 인접한 전파 반사체의 존재, 전송선 및 측정시스템의 이상 유무, 부적절한 접지평면(ground plane) 등을 알 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 시험장감쇠량 측정을 위해 설계·제작한 자기공진 이극안테나(self-resonant dipole antenna)와 안테나 밸런(balun), 그리고 하이트 패턴(height pattern)을 측정하여 시험장감쇠량을 결정하는 측정자동화시스템을 소개하고, 표준연구소에 설치된 3m법 야외시험장의 시험장감쇠량 측정결과와 이미 발표된 바 있는 이론곡선<sup>(1)</sup>을 비교함으로써

\* 正會員, 韓國標準研究所 電磁波研究室 前任研究員.

\*\* 韓國標準研究所 電磁波研究室 研究員.

\*\*\* 正會員, 韓國標準研究所 電磁波研究室 室長.

\*\*\*\* 正會員, 韓國標準研究所 電氣研究部長.

설치된 야외시험장의 적합성을 평가하였다.

## II. 시험장감쇠량 측정시스템

### 1. 시험장감쇠량(Site Attenuation)

야외시험장의 시험장감쇠량은 무한한 접지평면 위에 놓여 있는 송·수신안테나 사이의 전달 전력의 손실로 표시될 수 있으며, 실제로 전력보다 전압측정이 편리하므로 전압으로 대체한 시험장감쇠량을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_v = \frac{V_c}{V_a} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서  $V_c$ 와  $V_a$ 는 그림 1로부터 각각 신호발생기와 수신기를 바로 연결하였을 때와 송, 수신안테나를 거쳤을 때 수신기에 나타나는 전압을 표시한다. 따라서 시험장감쇠량은 수송소자의 삽입손실(insertion loss)을 측정하는데 사용되는 방법을 이용하여 쉽게 측정할 수 있다.

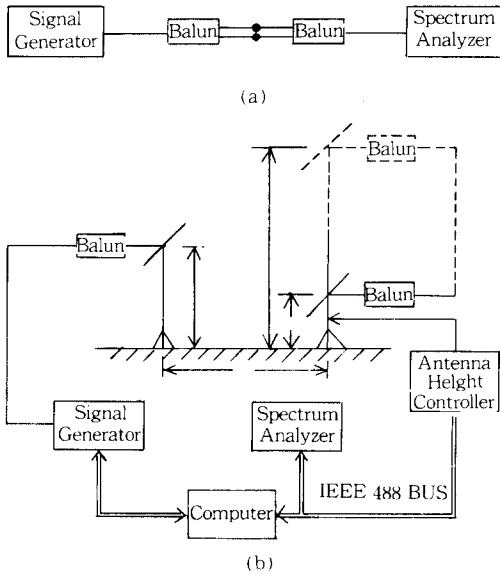


그림 1. 시험장감쇠량 측정절차  
Fig. 1. Test procedures for site attenuation measurements

### 2. 야외시험장(Opne Area Test Site)

FCC(Federal Communications Commission, 미국 연방통신위원회), VDE(Verband Deutscher Elek-

rotechnicker, 독일전기기술협회) 등에서는 방사성 방출잡음 측정에 사용되는 야외시험장으로 장축이 측정거리의 2배, 단축이 측정거리의  $\sqrt{3}$  배인 타원의 넓이에 전파반사체가 전혀 없는 장소를 규정하고 있다. 또한, 시험장 지표면의 특성(비투자율, 전도도 등)이 지역 및 기후환경에 따라 다르기 때문에 이러한 지표면에 의한 불확도를 줄이기 위해서 시험장의 지표면에 접지평면을 설치하도록 적극 권장하고 있으며, 최소한 1차 Fresnel 구역을 포함할 수 있는 크기와 상한 측정주파수(대개, 1000 MHz)와 측정거리를 고려한 Rayleigh 기준이 만족되는 편평도를 가지도록 설계되어야 한다.<sup>[2]</sup> 표준연구소에 설치된 야외시험장은 연구소 본관으로부터 동쪽으로 약 150 m 떨어져 있으며, 35×45 m의 편평하게 다져진 부지위에 5×5 mm의 철망으로 된 9×15 m의 접지평면이 설치되어 있다. 그림 2에 설치된 야외시험장의 전경을 보였다.

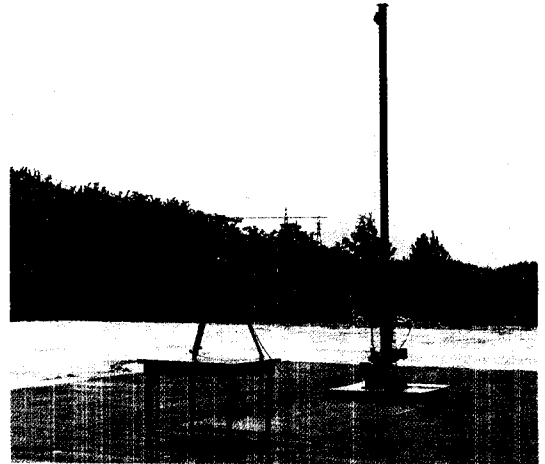


그림 2. 한국표준연구소 야외시험장  
Fig 2. KSKI open area test site

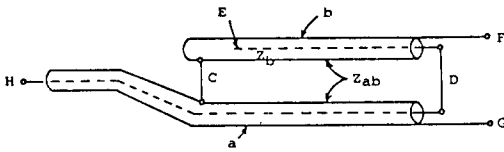
### 3. 자기공진 이극안테나와 안테나 밸런

반파장 이극안테나가 굽기를 가지고 있을 때, 안테나의 양쪽 끝면에서의 용량성 효과(capacitive end effect)에 의하여 공진주파수가 변하게 되므로 안테나 길이를 반파장보다 약간 줄여야 원래 설계한 주파수에서 공진하게 된다. Schelkunoff<sup>[3]</sup>에 의해 유도된 이극안테나의 입력 임피던스( $Z_i=R_i+jX_i$ ) 관계식으로부터 입력 임피던스의 허수부분이 0이 되는 길이를 구하면 자기공진 이극안테나의 길이를 결정할 수 있게 된다.

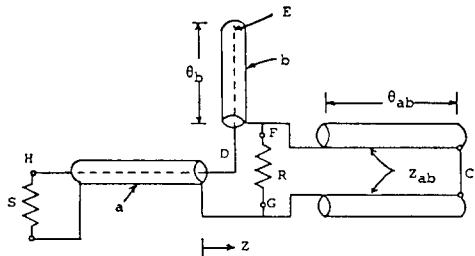
실제 안테나 제작에는 70~100 MHz의 주파수대역에서 직경 5.0 mm의 알루미늄관을 사용하였으며, 30,

40, 50, 60 MHz의 주파수대역에서는 급전점에 직경 8.0mm의 알루미늄관을 사용하고 양쪽 끝에 휩 안테나를 붙여 사용하도록 하였으며, 끝 부분의 직경은 각각 3.6, 5.6, 6.9, 8.0 mm이다. 이러한 휩 안테나 부분은 안테나의 급전점에서 안테나 끝 부분까지 안테나의 굽기가 선형적으로 변한다고 가정하고 자기공진 이극 안테나의 길이를 결정하였다. 안테나 입력리액턴스를 없애기 위해 반파장 이극안테나의 길이를 약간 줄인다면 이론적인 안테나 입력저항( $R_{in}=Z_{in}$ )은 안테나 굽기에 대한 안테나 길이 비에 의존하며, 표 1로부터 주파수에 따라 안테나의 길이가 반파장보다 4.0~14.4% 정도 짧아지게 되고, 입력저항은 65.6~43.0 Ω이 됨을 알 수 있다. 제작된 자기공진 이극안테나를 50 Ω 신호원으로 구동시키기 위해서는 안테나 밸런이 필요하다. 밸런의 종류에는 transformer형, bazooka형, bazooka형을 개량한 것 등이 있으며, transformer 형은 대역폭은 넓게 잡을 수 있으나 비교적 낮은 주파수에 국한되고, bazooka형은 주파수대역이 좁다. bazooka 형을 개량하여 광대역 밸런<sup>[4]</sup>을 만들 수 있으며 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 전송선로 b와 ab의 전기적 길이가 같다고 하고,  $Z_{ab}=R$ ,  $Z_b=S$ 라 하면

$$Z=R\sin^2\theta+j\cot\theta(R\sin^2\theta-S) \dots\dots\dots (2)$$



(a)



(b)

그림 3. (a) 안테나 밸런 (b) 밸런의 등가회로  
Fig. 3. (a) Antenna balun  
(b) Equivalent circuit of the balun

이 성립한다. 식(2)에서 보면 입력 임피던스  $Z$ 는  $\cot\theta=0$  또는  $\sin^2\theta=S/R$ 일 때 허수부분이 0이 됨을 알 수 있다. 여기에서,  $Z_a=Z_b=50 \Omega$ 이고,  $Z_{ab}=70 \Omega$ 이라 하면  $\sin^2\theta=S/R=50/70$ ,  $\theta=58^\circ, 122^\circ$ 이다. 따라서 주파수 대역은 1 옥타브를 약간 넘으며 중점에서 부정합이 가장 크고 이 때의 전압 정재파비 (VSWR)는 1.4이다.

실제 제작된 밸런은 RG 141A / U, RG 402 / U 동축선을 사용하였으며, 전송속도  $V_p$ 은 진공 중에서의 속도  $c$ 에 비해 공히 69.5%이고, 시험장감쇠량 측정에 사용할 수 있도록 30~60 MHz, 60~120 MHz, 120~240 MHz, 240~480 MHz, 480~1000 MHz의 주파수대역으로 나누어 제작되었다. 또한 안테나 밸런의 입력단에 50 Ω 종단을 연결하고 안테나 단자에서 들여다 본 밸런의 전압 정재파비는 각각의 밸런이 사용주파수대역에서 1.2 이하였다.

표 1. 자기공진이극안테나의 길이와 입력저항  
Table 1. Half length and input resistance of self-resonant dipoles.

Freq. (MHz)	Half length of antenna (mm)	Input resistance (ohm)
30	2399.1	65.59
70	1016.8	63.19
125	563.3	60.85
225	308.1	57.49
350	194.9	54.09
550	121.3	49.67
750	87.3	46.04
950	67.8	42.96

### III. 측정결과 및 오차요인 분석

그림 1은 시험장감쇠량 측정에 사용되는 절차를 보여 준다. 그림 1(a)에서 볼 수 있는 것처럼 신호원과 수신기를 직접 연결하였을 때 수신기에 나타나는 전압은 신호원의 출력, 밸런과 전송선로의 손실에 의존함을 알 수 있다. 신호원의 출력은 측정이 진행되는 동안 일정해야 하며, 수신되는 전자기장의 세기가 외부 주위 잡음에 비해 충분히 커야 한다.

송신 이극안테나의 높이는 2 m, 송, 수신안테나 간의 거리는 3 m로 고정되어 있다. 수신 이극안테나의 높이는 안테나 제어시스템에 의해 1~4 m의 범위에서

10.16 cm/s의 속도로 상승 또는 하강하게 되며, 수신기로 사용한 스펙트럼 분석기의 주사시간(sweep time)을 30 ms로 단축시켜 첨두치를 측정하고 그때의 수신안테나의 높이를 읽어 수신안테나의 높이에 따라 변화하는 전자기장의 세기, 즉 하이트 패턴을 측정하게 된다. 시험장감쇠량은 그림 1(a)에서 측정되는 기준전압과 그림 1(b)에서 측정되는 최대 수신전압과의 차로서 결정되기 때문에 하이트 패턴에서

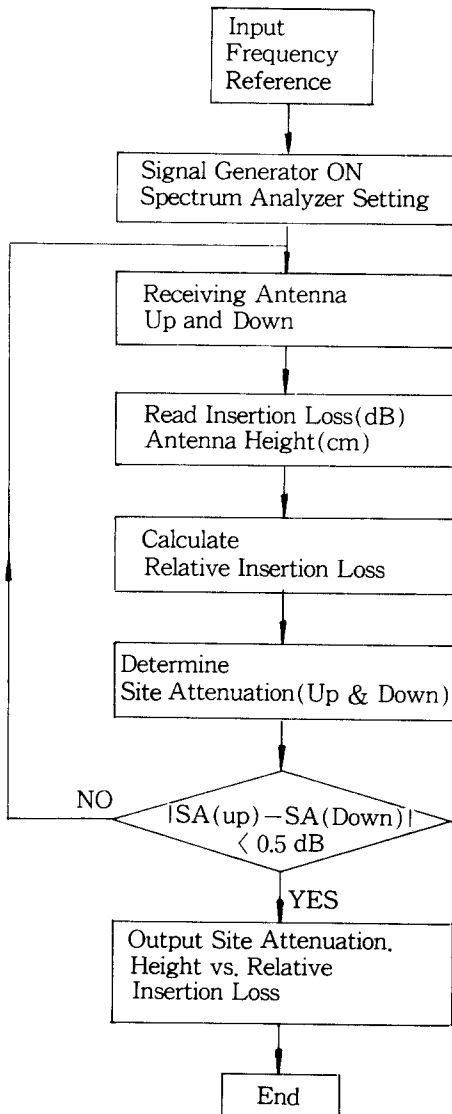


그림 4. 시험장감쇠량 측정 흐름도  
Fig. 4. Flow chart of site attenuation measurements

나타나는 상대적인 최소삽입손실(relative insertion loss)이 바로 시험장감쇠량이 되며, 그림 4에 시험장감쇠량 측정의 흐름도를 보였다. 몇개의 측정 주파수에서 하이트 패턴에 의해 결정된 시험장감쇠량을 그림 5, 6에 보였으며, 정확한 수치는 표 2와 같다. 이러한 방법은 수신기를 첨두치 홀드(maximum hold) 상태에 고정시켜 규정된 수신안테나의 높이 변화에 따른 최대 전자기장의 세기만을 측정하는 종래의 방법과는 달리, 측정된 하이트 패턴을 이론적으로 정확히 계산된 하이트 패턴과 비교함으로써 제2, 제3 등의 전자기장의 세기 수신점에서 측정을 하게 되는 측정상의 실수를 비롯한 측정시스템의 오차를 사전에 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 야외시험장의 결합 판정에도 유용하게 사용할 수 있는 장점이 있다.

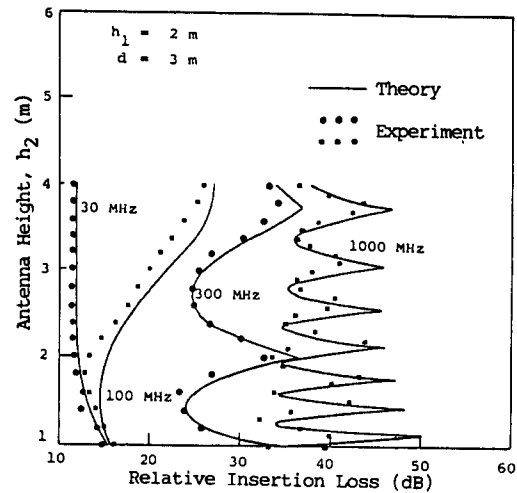


그림 5. 표준연구소 야외시험장의 하이트패턴  
Fig. 5. Height Patterns of the KSRI open area test site

안테나의 높이와 간격은 접지평면이 편평하다고 가정할 때  $\pm 1\text{cm}$  이내에서 설치되었으며, 안테나의 높이는 안테나 급전부에서 측정하였다. 60 MHz 아래의 주파수에서 이극안테나의 끝부분이 아래로 처짐에 따른 영향은 무시될 수 있고, 따라서 측정 안테나의 배치에 따라 발생 가능한 오차는  $\pm 0.09\text{dB}$ 이다. 수신기, 신호발생기, 안테나 밸런, 전송선로 등의 안정성

(stability)은 측정 주파수대역에 따라 안테나 벨런을 교체하는 전후에 반복적으로 측정된 기준 전압에 의해 결정되는데, 측정값들의 차이는 최대  $\pm 0.12$  dB이며 대개  $\pm 0.08$  dB 이내로 일치한다. 이러한 측정값의 변화는 신호발생기의 출력에서의 변화, 전송선로의 배치, 그리고 연결기의 결합상태, 안테나 벨런의 연결상태 등에 기인한다. 시험장감쇠량은 삽입손실의 상대적인 값을 측정하는 것이기 때문에 주된 오차요인은 수신기로 사용된 스펙트럼분석기의 누적 충실도(cummulative fidelity)에 기인한다고 볼 수 있으며, 사용된 HP 8566A 스펙트럼분석기의 경우 0~80 dB의 영역, 20~30°C의 조건에서  $\pm 1.0$  dB 이하의 불확도를 가지고 있다. 따라서 최악의 경우, 측정시스템의 오차는  $\pm 1.21(= \pm 0.09 \pm 0.12 \pm 1.0)$  dB이다.

(dB)

Freq.(MHz)	theoretical value	experimental value
30	11.63	10.75
70	10.31	10.09
150	17.81	16.87
300	24.10	23.35
500	28.77	27.68
750	31.97	31.20
1000	34.41	32.67

표 2. 표준연구소 야외시험장의 시험장감쇠량 특성  
Table 2. Site attenuations of the KSRI open area test site

야외시험장의 시험장감쇠량 측정결과와 참고문헌<sup>[1]</sup>의 계산 결과와의 차이의 평균은  $-1.35$ dB이고, 표준편차는  $0.68$ dB이며, 전 측정주파수에서 계산결과와의 차이가 국제적으로 전자파장해 시험장으로 인정되는  $\pm 3$ dB 한계<sup>9)</sup> 내에 있다. 따라서 설치된 야외시험장은 3m법 전자파장해시험에 적합한 것으로 판단된다. 그러나 측정결과가 측정시스템의 오차범위 내에서 계산결과와 일치하지 않은 것에 대해서는 야외시험장의 불완전한구성이나 오차요인에 관한 부정확한 분석 등에 기인하는 것으로 판단되며, 계산에 사용된 반파장 이극안테나와 측정에 사용된 자기공진 이극안테나 사이의 길이를 고려하면  $\pm 1$  dB 한계 이내에서 잘 일치할 것으로 생각된다. 보다 정확한 분석을 위해서

는 유한한 크기를 가지는 접지평면과 안테나의 실제 굵기 및 길이 등이 고려된 계산도 필요할 것으로 여겨진다.

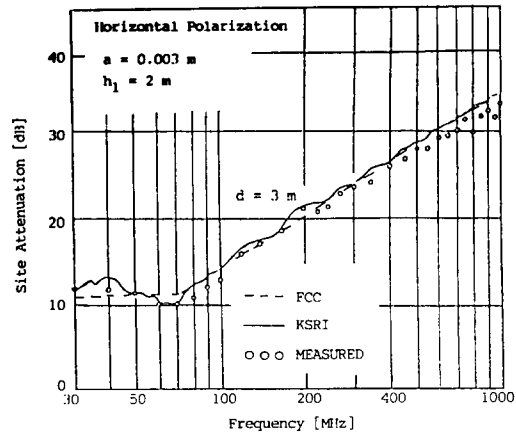


그림 6. 표준연구소 야외시험장의 시험장감쇠량  
Fig. 6. Site attenuations of the KSRI open area test site.

#### IV. 결 론

자기공진 이극안테나와 안테나 벨런을 제작하고, 측정자동화 프로그램을 개발하여 시험장감쇠량 측정 시스템을 구성하고 설치된 야외시험장의 시험장감쇠량을 평가하였다. 구성된 측정시스템은 하이트패턴으로부터 시험장감쇠량을 결정하기 때문에 종래의 방법에 비해 측정오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

설치된 3m법 야외시험장은 계산된 결과와 비교하여 30~1000 MHz의 주파수대역에서  $\pm 3$  dB 이내에서 잘 일치하며, 따라서 표준연구소의 야외시험장은 전자파장해 평가에 적합한 시험장소인 것으로 판단된다.

앞으로 야외시험장의 환경 및 측정시스템의 정확한 분석을 통해 보다 엄밀한 측정오차 요인을 분석하고, 정확히 교정된 광대역 안테나를 이용한 전 측정주파수대역에서의 시험장감쇠량 평가기술 및 수직편파 시험장감쇠량에 대해서도 연구할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] K.C. Kim, Y.C. Chung, and N.S. Chung, "On the theoretical curves of site attenuations at frequencies below 80 MHz", CPEM-90 Digest, pp.422~423, 1990. 6. Ottawa-Canada.
- [2] ANSI c63.7-1988, "American National Standard guide for construction of open area test site for performing radiated emission measurements".
- [3] S.A. Schelkunoff and H.T. Friis, Antennas, Theory and Practice. New York : Wiley 1952, pp.431~434.
- [4] W.K. Roberts, "A New wide-Band Balun", Proc. IRE, Dec. 1957.
- [5] FCC Bulletin OET-55, "Characteristics of open area test sites", Aug. 1982.