

KRISS 전자파 반무향실의 수직편파 시험장감쇠량

(Site Attenuation of the KRISS Semi-Anechoic Chamber for Vertical Polarization)

강태원* · 정연춘* · 정낙삼**

(Tae Weon Kang, Yeon Choon Chung, Nak Sam Chung)

요 약

수직편파에 대한 시험장감쇠량을 기전력법에 의해 이론적으로 계산하고 KRISS에 설치된 전자파반무향실에서 3-m법에 대하여 그 값을 측정하였다. 이론값과 실험값은 30 MHz에서 1000 MHz의 주파수 범위에서 100 MHz부근과 250 MHz를 제외하고 ± 4 dB이내에서 일치하였다.

ABSTRACT

The site attenuation for vertical polarization was theoretically calculated using EMF(electromotive force) method and measured for 3-m method in the KRISS semi-anechoic chamber. Agreement within ± 4 dB has been obtained between measured and calculated values in the frequency range of 30 MHz to 1000 MHz except 250 MHz and around 100 MHz.

I. 서 론

전자전기기계가 널리 쓰이고 있는 현대산업사회에서 불필요한 전자파의 복사로 인한 전자파장해 문제는 여타의 환경오염문제와 더불어 그 심각성이 가중되고 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 EMI(Electromagnetic interference)의 측정이 선행되어야 하는데 이를 위한 측정시설로는 야외시험장, 전자파반무향실, TEM 셀, 전자파차폐실 등이 있다.

야외시험장은 전파원으로부터 복사되는 전자기장의 세기측정, 안테나의 교정 등의 표준확립연구 및

전자파장해 시험검사에도 이용된다. 이상적인 야외시험장은 주위에 전자파방해물이 없는 평탄한 대지와 그 위의 반공간으로 구성된다. 그러나, 실제로는 시험장 안팎에 건축물이나 수목등의 전자파산란체들이 존재하므로 건설된 야외시험장을 이상적인 경우의 것과 비교할 필요가 있다. 이 때 사용되는 척도가 시험장감쇠량이다.

선진외국에서는 전자파 장해문제를 일찍부터 인식하여 이와 관련한 문제들을 연구하여 왔다. 또한 야외시험장의 시험장감쇠량에 관한 이론과 측정에 대해서도 많은 연구가 있어 왔다^(1,2,3). 우리나라에서는 수년전부터 전자파장해 문제가 선진외국에 의한 산업체의 수출규제와 일상생활에서의 건강문제 등과 관련하여 이에 대한 연구가 수행되어 왔다. 우리나라를 비롯하여 선진각국에서 이미 규정한 각종 전자파

*한국표준과학연구원 전자파연구실

**한국표준과학연구원 전자기기술부

장해 관련규격들은 수평편파 시험장감쇠량에 대해서만 주로 규정하고 있다. 반면에 시험장 주변의 전자파산란체, 예를 들면, 수목, 건축물 등은 지면에 대하여 수직방향으로 존재한다. 따라서, 규격에 규정된 수평편파 뿐만 아니라 수직편파에 대해서도 시험장의 특성을 평가하는 일이 필요하다는 인식이 고조되어 왔다.

시험장감쇠량은 주로 이극안테나에 의해 측정된다. 지면에 대하여 안테나가 수평방향으로 놓여져 있는지 수직방향으로 놓여져 있는지에 따라 수평편파 혹은 수직편파 시험장감쇠량으로 불리워진다. 본 논문에서는 이상적인 야외시험장에 대한 수직편파 시험장감쇠량을 이론적으로 계산하고, 당면구소에 설치된 전자파반무향실에서의 측정결과와 비교하여 그 차이에 대한 원인과 문제점에 대해 고찰하고자 한다.

II. 이 론

대지를 완전도체라고 가정하고, 송신 및 수신안테나가 지면에 대하여 수직으로 놓여져 있는 것을 생각하자. 여기에 전기영상법을 적용하여 각 안테나에 대한 영상안테나를 고려하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 송신측 안테나에서 신호를 보내고 수신측에서 받아 들일 때, 측정되는 전송손실을 상대적 인 삽입손실이라고 한다. 이 양은

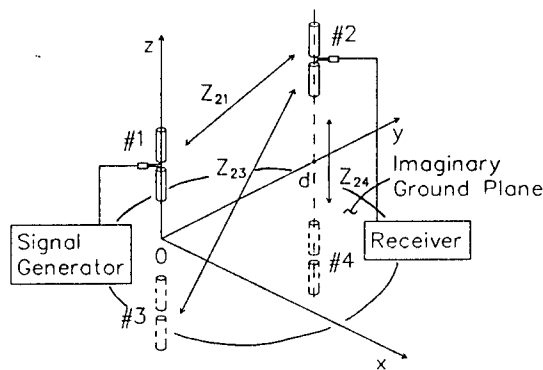


그림 1. 시험장 및 안테나 임피던스관계.
Fig. 1. Site geometry and impedance relationships.

안테나의 높이, 안테나 사이의 거리, 측정주파수 그리고 안테나의 편파형태에 따라 달라진다. 송신안테나를 일정한 높이에 두고, 수신안테나의 높이를 규정

된 범위 안에서 변화시키면 수신측 안테나에 의해 수신되는 신호의 크기는 변한다. 이 중에서 가장 큰 신호가 수신될 때의 안테나 간의 삽입손실을 그 주파수에서의 시험장감쇠량(site attenuation)이라고 정의한다. 즉, 시험장감쇠량은

$$SA=10 \log_{10} \left[\frac{P_r}{P_{r,max}} \right] \quad (1)$$

이다. 여기서, P_r 는 송신안테나에 전달되는 입력전력이고, $P_{r,max}$ 는 정해진 범위에서 수신안테나의 높이를 변화시켰을 때 수신되는 전력 중에서 가장 큰 값이다.

수신안테나에 의한 수신전력을 계산기 위해서는 이극안테나 자체의 임피던스 뿐만 아니라 그림 1에 표시된 안테나들 사이의 상호 임피던스(mutual impedance)를 계산해야 한다. 안테나의 자체임피던스는 Schelkunoff의 관계식⁽⁴⁾에 의하여 계산하였으며, 계산된 자체임피던스의 허수부가 영이 되는 안테나의 길이를 수치해석적인 방법에 의하여 결정하였다. 안테나 사이의 상호임피던스 $Z_{ij}(i,j=1,2,3,4, \text{단}, i \neq j)$ 는 EMF(electromotive force)법을 적용한 다음의 식에 의하여 계산된다⁽⁵⁾.

$$Z_{ij} = -\frac{1}{I_j(0) I_i(0)} \int_{-l_i}^{l_i} E_{zi}(z) I_i(z) dz \quad (2)$$

이다. 여기서 $E_{zi}(z)$ 는 안테나 j 에서 복사되는 전자기장 중에서 안테나 i 와 평행인 방향의 성분이며, 이는 안테나 i 가 없을 때의 값이다. $I_i(z)$ 는 안테나 i 상의 한 점에서의 전류값으로서 그 전류분포는 정현함수 분포를 가정하였다. $I_i(0), I_j(0)$ 는 안테나 i 와 안테나 j 의 급전점에서의 전류이다. 식(2)는 다음과 같이 설명된다. 우선 원천이 되는 안테나와 시험안테나 상의 전류분포를 가정한다. Maxwell 방정식에 의하여 원천 안테나로부터 발생하는 전자기장을 계산한다. 이제 원천으로부터 임의의 거리만큼 떨어진 공간 내의 한 위치에 시험안테나를 둔다. 원천안테나에 의한 전기장에 미소길이 dz 를 곱하면 유도전압 또는 유도기전력(induced electromotive force)을 얻는다. 그런데 시험안테나 상의 각 지점에서의 전류분포값이 다르므로 식(2)에서 보인 것과 같이 $E_{zi}(z)$ 를 z 에 따라 적분할 때, 시험안테나 상의 각 점에서의 전류분포값 $I_i(z)$ 를 곱하여 적분한다음, $I_i(0)$ 로 나눈다. 시험장감

쇠량을 계산하기 위하여 상호임피던스를 구할 때 유도기전력이라는 개념을 이용하였으므로 본 논문에서 계산된 값을 EMF법에 의하여 계산한 시험장감쇠량이라고 부른다.

III. 계산결과

송수신안테나 간의 거리가 3m, 10m, 30m인 경우의 시험장감쇠량을 수직편파에 대하여 계산하였다. 계산할 때에 송수신안테나는 지면으로부터 2m의 높이에 두고, 수신안테나의 높이는 3m법과 10m법일 때에는 1m에서 4m까지, 30m법일 때에는 2m에서 6m까지의 범위에서 가변시켰다. 이 때, 75 MHz이하로 측정주파수가 낮아지면 이극안테나의 아랫부분이 지면에 닿아서 측정을 할 수 없게 된다. 그러므로, 송수신안테나의 아랫 끝과 지면과의 거리가 최소한 25cm가 되도록 하였다. 주파수가 30 MHz에서 1000 MHz까지 변할 때의 시험장감쇠량 계산결과를 그림 2에 보였다. 이 그림 2에서 보는 바와 같이 주파수가 높을수록 높이에 따른 상대적인 삽입손실의 물결모양진동이 더 촘촘하게 나타난다.

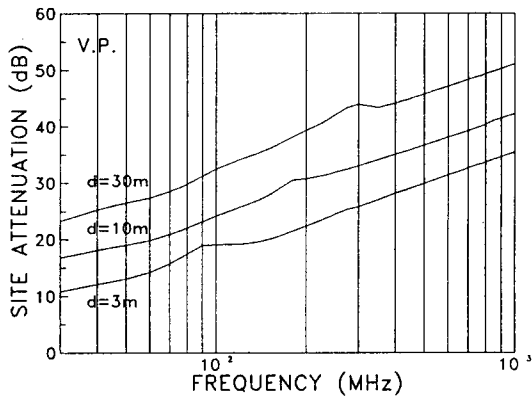


그림 2. 계산된 시험장감쇠량.
Fig. 2. Calculated site attenuation.

수신 안테나의 높이를 변화시키면서 안테나 간의 상대적인 삽입손실을 계산하여 그래프로 그린것을 높이패턴(height pattern)이라고 하는데, 안테나 간의 거리가 3m이고, 주파수가 50, 100, 200, 700 MHz 일 때의 높이패턴을 그림 3에 보였다. 실험으로부터 얻어진 높이패턴은 다음 장에서 설명한다. 어느 주파

수에서의 높이패턴을 알고 있으면 측정 도중의 실수를 미연에 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 야외시험장의 결함판정도도 요긴하게 이용될 수 있다. 특히 대용시험장으로 쓰이는 전자파 반무향실의 경우, 같은 값의 시험장감쇠량을 가진다 하더라도 이상적인 시험장의 높이패턴과는 다른 모양의 높이패턴을 보일 수 있다. 이 때, 이상적인 시험장과 실제 시험장의 전파전파특성을 비교하기 위하여 높이패턴을 이용한다.

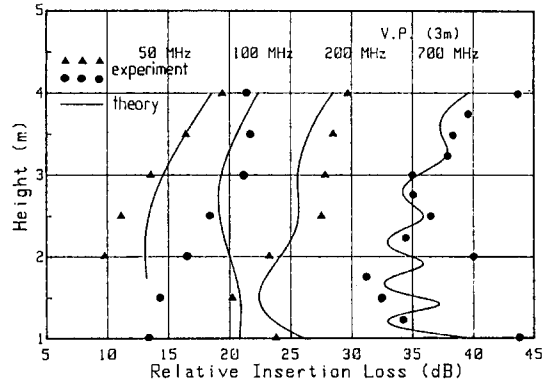


그림 3. 높이패턴.
Fig. 3. Height pattern.

IV. 실험 및 결과

전자파장해측정에 사용되는 전자파 반무향실은 시험장감쇠량을 측정함으로써 시험장소로서의 적합성을 평가할 수 있다. 이는 이상적인 시험장에 대하여 계산된 시험장감쇠량과 실제로 설치된 시험장에 측정된 시험장감쇠량을 비교하고, 이 두 값 사이의 차를 고찰하여 적합성을 평가할 수 있기 때문이다. 시험장감쇠량을 측정하는 방법은 야외시험장에서와 동일하다⁽⁶⁾.

주어진 주파수에 대해 측정되는 시험장감쇠량은 수신안테나를 정해진 범위에서 상하로 움직여가면서 얻을 수 있는 최대수신전압 $V_{r,max}(dB\mu V)$ 와 송수신안테나를 떼어 내고 송수신측의 밸런스를 포함한 동축선로를 직접 연결했을 때의 전압 $V_{ref}(dB\mu V)$ 와의 차이이다. 즉,

$$SA(dB) = V_{ref} - V_{r,max} \quad (3)$$

이다. 측정주파수는 국내 전자파장해 검정규격과 미국 표준규격협회의 규격(ANSI C63-4)등에서 규정하고 있는 주파수를 적용하여 주파수대역별로 간격을 달리하여 선택하였다. 즉, 주파수가 낮을 수록 더 촘촘한 주파수간격으로 측정하였다. 이것은 시험장감쇠량의 주파수특성이 30MHz에서 100MHz까지의 주파수대역에서 종전보다 세밀하게 특성을 평가할 필요가 있기 때문이다. 따라서 FCC규격의 주파수에는 들어 있지 않은 120, 140, 160, 180 MHz의 공진이극안테나를 추가로 제작하였다. 실험에 사용한 안테나의 길이는 표 1에 보인 바와 같다. 여기서, 30 MHz에서 60 MHz까지의 주파수대역에서는 외경이 8.0 mm인 알루미늄관에 whip안테나(whip antenna)를 붙여서 길이를 조절할 수 있게 하였고, 70 MHz에서 1000 MHz까지는 외경 5.0 mm의 알루미늄관을 사용하여 안테나를 제작하였다⁽⁶⁾.

표 1. 실험에 사용된 공진이극안테나의 길이.
Table 1. Lengths of resonant dipole antennas used.

주파수 (MHz)	(안테나길이) /2(mm)	주파수 (MHz)	(안테나길이) /2(mm)
30	2396.8	160	437.5
35	2049.2	180	387.6
40	1787.1	200	347.8
45	1585.1	250	276.3
50	1422.6	300	228.7
60	1179.8	400	169.5
70	1016.8	500	134.2
80	887.8	600	110.7
90	787.5	700	94.0
100	707.3	800	81.5
120	587.3	900	71.9
140	501.6	1000	64.2

앞 장에서 설명한 바와 같이 수직편파 시험장감쇠량 측정시, 수직으로 세워진 이극안테나의 아래 끝과 접지면과의 간격은 25cm가 되도록 하였다. 수신안테나에 연결된 동축선로은 안테나 뒷쪽으로 2m이상 떨어뜨려 안테나와의 상호결합을 가능한 한 줄였다. 송신안테나 또는 피측정시험기로부터 복사되는 전자기에너지에 의해 수신측 안테나에 연결된 동축선로에 원하지 않은 전류가 유도될 수 있다. 이 문제는 중심동축을 통해 원하는 신호를 전달하고 외피가

Faraday차폐로 동작하는 삼축(triaxial)선을 사용하여 크게 개선할 수 있었다. 수신안테나의 높이 제어기, 신호발생기, 스펙트럼분석기 등을 제어신호전송 버스를 통하여 컴퓨터로 제어함으로써 측정시스템을 자동화하였다. 측정주파수에서 수신안테나의 높이를 바꾸어 가면서 해당높이에서 두 안테나 간의 상대적인 삽입손실을 측정하여 높이패턴을 얻는다. 이 높이패턴으로부터 최소삽입손실을 찾아서 시험장감쇠량을 결정한다. 수신안테나가 상승할 때와 하강할 때의 시험장감쇠량 값들의 차이가 0.5 dB를 초과하면 다시 실험하여 값을 결정하였다. 높이패턴을 관찰하여 실험 도중에 발생할 수 있는 안테나지대에서의 문제 발생 여부, 스펙트럼분석기의 인터페이스 오류, 안테나와 동축선의 연결상태의 불안정성 등을 쉽게 확인할 수 있다. 측정에는 HP 8341B 신호발생기와 HP 8566B 스펙트럼분석기, EMCO 1050 안타네 지지대 등이 이용되었다.

실험할 때에 측정용안테나는 접지면과 수직방향으로 설치된다. 수신안테나로부터 바닥에 늘어뜨려지는 동축선을 비롯한 여러 가지의 전자파장애물과 신호를 받기 위한 수신안테나 사이의 상호 결합이 수평편파의 경우와 비교하여 볼 때, 현저하게 나타난다. 그러므로, 수평편파 시험장감쇠량의 측정실험에 비해 측정이 어렵고 이론값과 큰 편차가 발생한다. 실제 실험에서도 이 현상을 확인할 수 있었다. 전자파장해 특성검사에 수평편파에 대해서 뿐만 아니라 수직편파에 대해서도 측정하게 되어 있으므로 시험장의 수직편파에 대한 평가는 매우 중요하다.

전자파 반무향실 내의 접지면의 한 지점(제어실쪽 벽으로부터 485cm, 반대쪽 벽으로부터 492cm, 회전 시험대쪽 벽으로부터 525cm, 그리고, 수신안테나쪽 벽으로부터 785cm만큼 떨어진 지점)에 송신안테나를 설치하고 긴 쪽 벽면과 평행한 방향으로 3m 떨어진 곳에 수신안테나를 설치하였다. 이들 송수신안테나의 거리를 3m로 유지하면서 송수신안테나를 그림 4에서 보는 바와 같이 5개의 지점을 옮겨 가면서 실험하였다. 실험결과는 그림 5에 보였다. 이 그림에서 이론곡선을 따라 그린 점선들은 계산값으로부터의 편차가 ± 4 dB임을 나타내는 상한선 및 하한선이다. 그림 5로부터 100 MHz부근과 250 MHz에서 이론값과의 편차가 ± 4 dB보다 큰 측정점이 있음을 알 수 있다. 이는

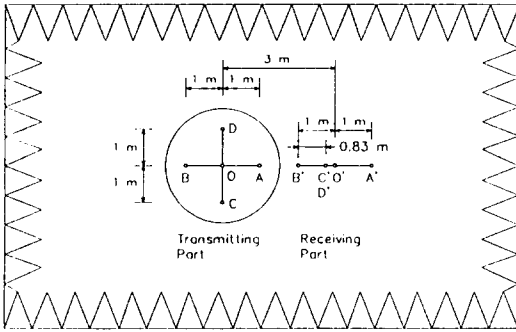


그림 4. 전자파반무향실 내부의 측정점.
Fig. 4. Measurement points in the KRISS semi-anechoic chamber.

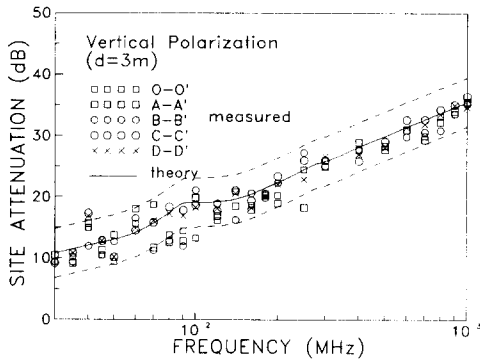


그림 5. 수직편파시험장감쇠량의 측정값과 계산된 값과의 비교.
Fig. 5. Comparison between measured and calculated site attenuation for vertical polarization.

전자파 반무향실 내에서 측정된 높이패턴이 그림 3에서 보는 바와 같이 이론계산으로부터 얻은 높이패턴과 크게 다름으로 인하여 발생하는 현상이라 판단되며, 수평편파의 경우보다 훨씬 크다⁽⁶⁾. 이러한 이유는 당 연구원의 전자파 반무향실이 안테나의 특성평가를 주목적으로 건설되었기 때문에 사용된 전파흡수체의 특성(100 MHz에서 반사율이 -20~25 dB임)이 100 MHz이하의 주파수에서 전파를 효과적으로 흡수하지 못함에 따라 실내에 잔여 반사에너지가 존재하기 때문이다.

V. 결 론

시험장감쇠량은 전자파장애 시험에 이용되는 시험

장의 특성을 평가하기 위한 지표로서 수평편파와 수직편파 시험장감쇠량이 있다. 특히, 시험장 주변의 전파장애물이 접지면과 수직인 경우가 많으므로 수직편파에 대한 시험장의 특성을 평가하는 일은 수평편파의 경우에 못지않게 중요하다.

본 논문에서는 수직편파 시험장감쇠량을 기전력법에 의하여 이론적으로 계산하고, 당 연구원에 건설되어 있는 전자파 반무향실에서 실험하여 두 값을 비교하였다. 그 결과 30 MHz에서 1000 MHz의 주파수대역에서 100 MHz부근과 250 MHz를 제외하고는 ± 4 dB이내에서 일치하였다. 이 편차는 수평편파의 경우보다 상당히 큰 값으로서 당 연구원의 전자파 반무향실이 안테나특성평가를 주목적으로 건설되었기 때문이라고 판단된다. 현재 건설 중인 야외시험장이 완공되면 그 특성을 평가하고, 전자파 반무향실의 특성과 서로 비교하는 연구를 수행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. R. G. Fitzgerrel, "Site Attenuation," IEEE Trans. EMC, vol. EMC-28, no. 1, pp.38-40, 1986.
2. A. A. Smith, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors," IEEE Trans. EMC, vol. EMC-24, no.3, pp.301-316, 1982.
3. W. S. Bennett, "An Error Analysis of the FCC Site-Attenuation Approximation," vol.EMC-27, no.3, pp.107-114, 1985.
4. S. Schelkunoff and H. Friis, *Antennas, Theory and practice*, New York: Wiley, pp.431-434, 1952.
5. C. A. Balanis, *Antenna Theory*, Harper & Row Publishers, pp.296-304, 1982.
6. 정연춘 외 5인, "야외시험장의 시험장감쇠량," 전자파기술협회지, pp.14-18, 1990.