

시험장감쇠량 이론곡선의 모멘트 법 해석

(Method of Moments Analysis for Theoretical Site Attenuation Curves)

金 基 采*

(Ki Chai Kim)

要 約

안테나의 전류분포 적분방정식을 모멘트 법으로 해석하여, 급전점 및 수신점에서의 전류분포 전개계수를 구하는 것만으로 야외시험장의 시험장감쇠량 기준 이론곡선을 간편하게 계산하였다. 시험장감쇠량의 계산에는 반파장 공진다이폴 안테나를 사용하였으며, 안테나에 72/50 Ω 의 변환회로를 접속하여 급전선로와 정합을 취한 경우 및 50 Ω 의 수신 시스템을 직접 연결한 경우의 각각에 대한 시험장감쇠량을 구하였다. 계산결과는 모멘트 법을 적용한 기존의 연구결과 및 실험결과와도 비교하여 본 수법의 유효성을 명백히 하였다.

Abstract

This paper showed that theoretical site attenuation curves were obtained simply by the method of moments analysis for current integral equations on antennas. Since the expansion coefficients of driving and receiving points were calculated from the method of moments procedure, site attenuations were evaluated simply using these basic antenna parameters. Theoretical site attenuations were calculated with half-wave resonant dipoles connected directly to a 50 ohm receiving system and connected to a 72/50 ohm matching network, respectively. Results were compared with other theoretical studies reported so far. Also included were experimental results for site attenuations to prove the validity of theoretical analysis.

I. 서 론

디지털 기기 등의 전기 전자기기에서 방사되는 불요전자파의 크기는 야외시험장 위에 놓여진 피시험 기기로부터 적절히 떨어진 거리에 설치한 수신 안테나로 측정한다. 이러한 방사성의 불요전자파를 측정

하는데 사용하는 야외시험장은 피측정기기로부터 나오는 불요전자파의 크기만을 측정할 수 있어야 할뿐만 아니라, 측정의 재현성도 보증할 수 있어야 한다.

야외시험장이 방사성 방해파의 측정환경으로 적절할지 어떤지는 야외시험장 위의 두 지점에 놓여진 송수신 안테나 사이의 전자파 전송손실을 평가하여 확인할 수 있다. 이와 같은 전송손실을 시험장감쇠량(site attenuation)이라 한다.

사용자가 실제로 건설한 야외시험장의 적합성은 측정된 시험장감쇠량을 이론적으로 계산한 시험장감쇠량과 비교하여 판정한다. 일반적인 관련 규격에 의하

*正會員, 韓國標準科學研究院 電磁波研究室
(Korea Research Institute of Standards and Science Electromagnetics Lab.)
接受日字: 1992年 4月 22日

면, 시험장감쇠량의 측정치가 이론치와 비교하여 + / - 3 dB이내에 들어가면 적합한 것으로 판정한다.

판정의 기준이 되는 시험장감쇠량의 이론치는 야외시험장이 이상적이라고 가정된 상태 - 주위에 전파 산란체가 없고 접지판이 무한히 넓은 반무한 공간 - 에서 계산한 값을 사용하며, 이론계산의 수법에 따라서 시험장감쇠량 이론치의 근사도가 달라지게 된다.

시험장감쇠량의 이론계산은 Maxwell 방정식의 경계치 문제에 속하지만, 계산의 간편함 때문에 초기에는 기하광학(GO)근사¹⁾ 또는 기전력(EMF)법²⁻⁴⁾을 사용하여 계산했다. 이 방법들은 모두 송, 수신 안테나 및 접지판과의 상호결합효과를 완전히 평가할 수 없다는 문제점을 갖고 있다.

EMF법을 사용한 문헌에 의하면, 일견 상호결합효과가 모두 고려된 것처럼 보이나, 자세히 검토해보면 그렇지 않다는 것을 알 수 있다. 왜냐하면, EMF법은 안테나에 흐르는 전류분포를 미리 가정해야 하기 때문에, 고립 임피던스(isolated impedance)와 자기임피던스(self impedance)가 서로 일치해버린다는 치명적인 결함을 갖고 있기 때문이다.

그 후, GO근사 및 EMF법이 갖고있는 문제점을 해결하고, 보다 엄밀한 시험장감쇠량의 이론치를 구하기 위해 Fukuzawa 등⁵⁾은 CISPR Pub. 13의 3 m법 시험장감쇠량의 검토에 모멘트 법을 사용했으며, Kawana⁷⁾, Sugiura⁸⁾등도 여러가지 종류의 대지 상태에 대한 시험장감쇠량을 모멘트 법으로 계산하고 있다.

최근에는 4단자회로망의 영상파라미터를 이용한 시험장감쇠량의 표현식도 보고되어 있으나⁹⁾, 이들은 모두 시험장감쇠량 측정계에 관한 등가회로의 회로정수 또는 영상파라미터를 모멘트 법으로 구하여 시험장감쇠량을 계산하고 있으므로, 모멘트 법을 적용하는 관점에서는 모두 동일한 수법이라고 할 수 있다.

그러나, 모멘트 법을 사용하면 4단자회로망의 회로정수 또는 영상파라미터 등을 이용한 복잡한 표현식을 사용하지 않고도 시험장감쇠량을 간단히 계산할 수 있다.

본 논문에서는 송, 수신 안테나에 흐르는 전류분포에 관한 적분방정식을 모멘트 법으로 해석하여, 안테나의 특성을 나타내는 기본정수만을 구함으로써 시험장감쇠량을 간편하게 계산하였다. 시험장감쇠량의 계산에는 한국 표준과학연구원에서 표준 안테나로 개발한 반파장 공진다이폴 안테나¹⁰⁾를 사용하였으며, 안테나에 72/50 Ω 변환회로를 접속하여 안테나를 급전선로와 정합을 취한 경우 및 안테나에 50 Ω의 수신 시스템을 직접 연결한 경우의 각각에 대한 시험

장감쇠량을 구하였다. 계산결과는 모멘트 법을 적용한 기존의 연구결과들과 비교하였고, 이미 발표된 문헌의 실험결과와도 비교하여 본 수법의 유효성을 명백히 하였다.

본 논문의 결과는 상호결합효과를 완전히 평가하지 못하는 기하광학 근사 및 EMF법의 치명적인 결함을 극복한 것이므로, 보다 정밀한 시험장감쇠량의 기준 이론곡선으로서 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 시험장감쇠량의 정의

그림1과 같이 야외시험장 위에 설치한 송, 수신 안테나 사이의 전자파 전송손실을 야외시험장의 시험장감쇠량이라고 하고, 야외시험장의 적합성을 확인하는 평가정수로 사용한다.

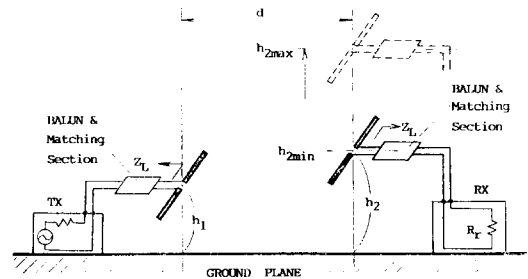


그림 1. 시험장감쇠량의 정의
Fig. 1. Definition of site attenuations.

그림1에서 송신 안테나를 h_1 의 높이에 고정하고, 이로부터 거리 d 의 위치에 수신 안테나를 설치한다. 송신 안테나로부터 P_t 의 전력이 방사될때, 수신 안테나의 높이를 $h_2 = h_{2min}$ 에서 $h_2 = h_{2max}$ 까지 가변시켜, 수신 안테나의 단자에 나타나는 전계의 세기가 최대가 되는 높이 $h_2 = h_2^{max}$ 에서의 수신전력을 P_r 이라 하면, P_t 와 P_r 의 비가 곧 시험장감쇠량을 나타낸다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S = \frac{P_t}{P_r} = \frac{Re\{Z_{11}\} |I_1|^2}{Re\{Z_L\} |I_2|^2} \quad (1)$$

여기에서, Z_{11} 은 수신 안테나에 부하 임피던스 Z_L 이 연결되었을 때 송신안테나의 단자에서 안테나 계를 바라본 입력 임피던스이며, I_1 및 I_2 는 각각, 송신안테나 및 수신 안테나 단자에서의 전류치이다. $Re(X)$ 는 복소변수 X 의 실수부를 나타낸다.

시험장감쇠량의 식(1)은 송신 안테나의 높이 h_1 및 수신 안테나의 높이 h_2 그리고 송, 수신 안테나 사이의 거리 d 와 안테나의 편파상태에 따라서 변화하므로, 야외시험장의 전자기적 특성을 규정하고 있는 관련규격에서는 수평 및 수직편파에 대한 시험장 감쇠량을 다음과 같이 자세하게 규정하고 있다.

수평편파인 경우

주파수 범위 : 30~1000 MHz

사용 안테나 : 반파장 공진다이폴 안테나

송신 안테나의 높이 : $h_1=2m$

수신 안테나의 높이 : $h_2=1-4 m(d=3 m, 10 m인 경우)$
 $2-6 m(d=30 m인 경우)$

시험장감쇠량 : $S=$ 수신 안테나의 높이를 지정한 범위내에서 가변시켰을 때, 전계의 세기가 최대가 되는 높이에서의 전송손실

수직편파인 경우

송신 안테나의 높이 : $h_2=2.75 m$

그의 수평편파인 경우와 동일함

III. 전류분포에 관한 적분방정식

그림2는 그림 1과 같은 시험장감쇠량 측정계를 해석하기 위한 좌표계를 나타낸다. 무한히 넓은 완전도체의 접지면 위에 반경 a , 길이 $2l_1$ 인 송신안테나(#1) 및 $2l_2$ 인 수신 안테나(#2)가 각각 높이 h_1 및 h_2 의 위치에 간격 d 로 배치되어 있으며, 송신 안테나에는 전압 V_1 으로 급전되고 수신 안테나에는 부하 Z_L 이 연결되어 있다.

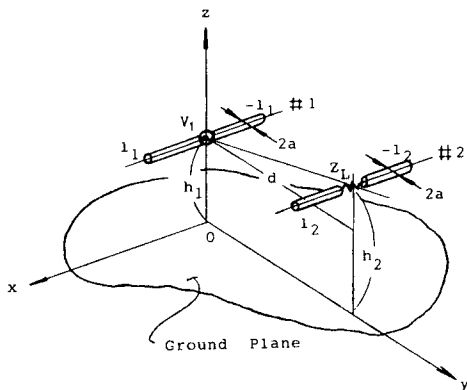


그림 2. 시험장감쇠량 측정계
 Fig 2. Measurement system of site attenuations.

그림2의 안테나 계에 영상정리를 적용하면, 그림 2의 안테나 계는 자유공간 중에 놓여진 4개의 안테나 계와 등가가 된다. 이 때 영상 안테나의 전류는 원래 안테나의 전류와 크기가 같고 부호가 반대이다.

따라서, 송, 수신 안테나의 전류분포 I_1, I_2 에 관한 적분방정식은 다음과 같이 주어진다.

수평편파인 경우

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_1}^{l_1} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{11}(r, r') - G_{13}(r, r') \right] I_1(x') dx' + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_2}^{l_2} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{12}(r, r') - G_{14}(r, r') \right] I_2(x') dx' = -V_1 \delta(x) \quad (2)$$

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_1}^{l_1} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{21}(r, r') - G_{23}(r, r') \right] I_1(x') dx' + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_2}^{l_2} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{22}(r, r') - G_{24}(r, r') \right] I_2(x') dx' = Z_L I_2(0) \delta(x) \quad (3)$$

수직편파인 경우

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left[G_{11}(r, r') + G_{13}(r, r') \right] I_1(z') dz' + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left[G_{12}(r, r') + G_{14}(r, r') \right] I_2(z') dz' = -V \delta(z) \quad (4)$$

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left[G_{21}(r, r') + G_{23}(r, r') \right] I_1(z') dz' + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left[G_{22}(r, r') + G_{24}(r, r') \right] I_2(z') dz' = Z_L I_2(0) \delta(z) \quad (5)$$

여기서, ω 는 각주파수, ϵ_0 는 진공의 유전율이며 $\delta(x), \delta(z)$ 는 Dirac의 delta함수, $I_2(0)$ 는 안테나 #2의 단자전류이다.

식(2)~(5)의 적분핵에 나타나는 $G_{ij}(i, j=1, 2, 3, 4)$ 는 자유공간의 전기형 Green 함수이며 다음과 같다.

$$G_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{e^{-jk_0 R_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')}}{4\pi R_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')} \quad (6)$$

단, $k_0 = \omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ 이며, μ_0 는 진공의 투자율이다. R_{ij} 는 안테나 # i 와 # j 와의 거리이며, \mathbf{r} 및 \mathbf{r}' 는 각각 관측 점 및 파원점의 위치벡터를 나타낸다. 그리고, 첨자 $i, j=1, 2, 3, 4$ 는 각각 안테나 #1, #2, #3, #4를 나타내고, #3 및 #4는 안테나 #1 및 #2의 영상 안테나를 나타낸다.

전류분포에 관한 연립 적분방정식(2), (3) 및 (4), (5)의 해를 모멘트 법을 사용하여 구하도록 한다.

먼저, 전류분포를 기지의 함수로 다음과 같이 전개한다.

수평편파인 경우

$$I_1(x) = \sum_{m=1}^M a_m f_m(x) \quad (7)$$

$$I_2(x) = \sum_{n=1}^N b_n f_n(x) \quad (8)$$

수직편파인 경우

$$I_1(z) = \sum_{m=1}^M a_m f_m(z) \quad (9)$$

$$I_2(z) = \sum_{n=1}^N b_n f_n(z) \quad (10)$$

여기서, a_m 및 b_n 은 미지의 전개계수이며 전개함수는 다음과 같은 구분적 정현파함수(piecewise sinusoidal function)를 사용한다.

수평편파인 경우

$$f_m(x) = \begin{cases} \frac{\sin k_0(x-x_{m-1})}{\sin k_0 \Delta x_m}, & x_{m-1} \leq x < x_m \\ \frac{\sin k_0(x_{m+1}-x)}{\sin k_0 \Delta x_{m+1}}, & x_m \leq x < x_{m+1} \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (11)$$

$$f_n(x) = \text{식(11)에서 } m \text{ 을 } n \text{ 으로 바꿈} \quad (12)$$

수직편파인 경우

$$f_m(z) = \begin{cases} \frac{\sin k_0(z-z_{m-1})}{\sin k_0 \Delta z_m}, & z_{m-1} \leq z < z_m \\ \frac{\sin k_0(z_{m+1}-z)}{\sin k_0 \Delta z_{m+1}}, & z_m \leq z < z_{m+1} \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (13)$$

$$f_n(z) = \text{식(13)에서 } m \text{ 을 } n \text{ 으로 바꿈} \quad (14)$$

단, $\Delta x_m, \Delta x_{m+1}$ 및 $\Delta x_n, \Delta x_{n+1}$ 은, 각각 $x_{m-1} \sim x_m, x_m \sim x_{m+1}$ 및 $x_{n-1} \sim x_n, x_n \sim x_{n+1}$ 까지의 구간 길이이며, 또한 $\Delta z_m, \Delta z_{m+1}$ 및 $\Delta z_n, \Delta z_{n+1}$ 은 각각 $z_{m-1} \sim z_m, z_m \sim z_{m+1}$ 및 $z_{n-1} \sim z_n, z_n \sim z_{n+1}$ 까지의 구간 길이이다.

식(7)~(10)을 연립 적분방정식(2)~(6)에 대입하고 Galerkin법을 적용하면 연립 적분방정식은 다음과 같은 연립 일차방정식으로 변환된다.

$$\left[\begin{array}{c} \sum_{m=1}^M a_m z_{m' m}^{H V} + \sum_{n=1}^N b_n z_{m' n}^{H V} = v_{m'}^{H V} \\ \sum_{m=1}^M a_m z_{n' m}^{H V} + \sum_{n=1}^N b_n z_{n' n}^{H V} = v_{n'}^{H V} \end{array} \right] \quad (15)$$

$$(m'=1, 2, \dots, M, n'=1, 2, \dots, N)$$

단, 일반화 임피던스 및 일반화 전압비는 다음과 같이 주어진다.

수평편파인 경우

$$z_{m' m}^{H H} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_1}^{l_1} \int_{-l_1}^{l_1} f_m(x) \left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{11} - G_{13} \right] f_m(x') dx' dx \quad (16)$$

$$z_{n' n}^{H H} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_2}^{l_2} \int_{-l_2}^{l_2} f_n(x) \left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{12} - G_{14} \right] f_n(x') dx' dx \quad (17)$$

$$z_{n' m}^{H H} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_1}^{l_1} \int_{-l_2}^{l_2} f_n(x) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{21} - G_{23} \right] f_m(x') dx' dx \quad (18)$$

$$z_{m' n}^{H H} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{-l_2}^{l_2} \int_{-l_1}^{l_1} f_n(x) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \left[G_{22} - G_{24} \right] f_m(x') dx' dx \quad (19)$$

$$v_{m'}^{H H} = -2\pi a v_1 \int_{-l_1}^{l_1} \delta(x) f_m(x) dx \quad (20)$$

$$v_{n'}^{H H} = 2\pi a Z_L I_2(0) \int_{-l_2}^{l_2} \delta(x) f_n(x) dx \quad (21)$$

수직편파인 경우

$$z_{m' m}^{V V} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} f_m(z) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left[G_{11} + G_{13} \right] f_m(z) dz' dz \quad (22)$$

$$Z_{m'n}^v = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} f_m(z) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) [G_{12} + G_{14}] f_n(z') dz' dz \quad (23)$$

$$Z_{nm}^v = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} f_n(z) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) [G_{21} + G_{23}] f_m(z') dz' dz \quad (24)$$

$$Z_{nn}^v = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} f_n(z) \left(k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) [G_{22} + G_{24}] f_n(z') dz' dz \quad (25)$$

$$v_m^v = -2\pi a \nu_1 \int_{h_1-l_1}^{h_1+l_1} \delta(z) f_m(z) dz \quad (26)$$

$$v_n^v = 2\pi a Z_L I_2(o) \int_{h_2-l_2}^{h_2+l_2} \delta(z) f_n(z) dz \quad (27)$$

전류분포의 식(7)~(10)을 제 II 장의 식(1)에 대입하면 시험장감쇠량은 다음과 같이 전류분포의 전개계수만으로 표현된다.

$$S = \frac{Re\{a_m^{-1}\} a_m a_m^* |_{m=\text{급전점}}}{Re\{z_L\} b_n b_n^* |_{n=\text{수전점}}} \quad (28)$$

(* : 복소공액)

여기서, Z_L 은 수신 안테나의 단자에 연결된 부하임피던스이다. BALUN 및 정합회로를 사용하여 안테나와 정합을 취했을 경우에는 $Z_L = 72 \Omega$ 이며, 50Ω 의 수신 시스템을 직접 안테나에 접속할 경우에는 $Z_L = 50 \Omega$ 이다.

모멘트 법으로 정식화한 식(15)로부터 전류분포의 전개계수 a_m 및 b_n 을 구하면 위의 식으로부터 시험장감쇠량을 계산할 수 있다. 즉, 모멘트 법을 사용하면 급전점 및 수전점에서의 전류분포 전개계수를 구하는 것만으로도 시험장감쇠량을 간단히 계산할 수 있게 된다. 본 논문에서는 식(15)의 M, N을 45로 택하였다.

IV. 계산결과 및 검토

그림2의 시험장감쇠량 측정계에서 사용할 송, 수신 안테나 #1, #2는 문헌 [10]에서 설계한 반파장 공진 다이폴 안테나를 사용한다. 이 안테나는 한국 표준과 학연구원에서 사용할 표준 안테나로 설계, 제작된 것이다.

안테나의 제원에 대한 상세한 내용은 문헌 [10]에 나와 있으므로 간략히 주요사항만을 적어보면 다음과 같다.

- 안테나 반경 : $a = 3.175 \text{ mm}$ for 30 ~ 300 MHz
 $a = 0.794 \text{ mm}$ for 400 ~ 1000 MHz
- 안테나 길이 : 2l = 사용 주파수에 대한 반파장 부근의 공진길이
- 입력 임피던스 : $Z_{in} = R_{in} + j 0 = 72 \Omega$

본 논문에서는 이 안테나의 단자에 $72/50 \Omega$ 변환기(BALUN)를 접속하여 안테나를 전송선로(급전선로 및 수전선로)와 정합을 취한 경우 및 50Ω 의 수신 시스템을 안테나에 직접 연결한 경우의 각각에 대하여, 제 III 장의 식(28)로부터 시험장감쇠량을 계산하였다.

1. 하이트 패턴

그림2와 같이 무한히 넓은 접지판 위에 놓여 있는 안테나 계에서, 수신 안테나 #2에는 송신 안테나 #1 으로부터의 직접파 이외에, 접지판에서 반사되는 반사파도 함께 수신된다. 즉, 직접파와 반사파의 합성파는 수신 안테나의 높이 h_2 에 따라서 변화하는데 이 관계를 나타내는 것이 하이트 패턴(height pattern)이다.

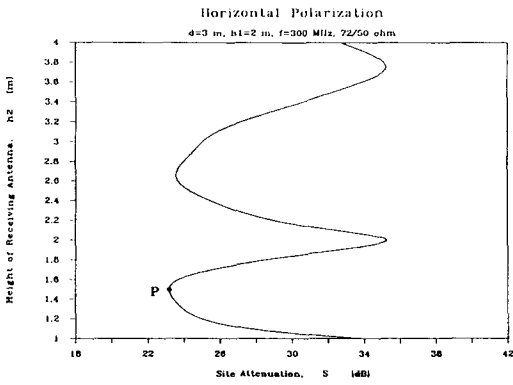
그림3은 안테나가 전송선로와 완전히 정합되었을 때, $d = 3 \text{ m}$ 인 경우 주파수 300 MHz에서의 수평 및 수직편파에 대한 하이트 패턴의 계산예를 나타낸다. 그림3에서 전송손실(시험장감쇠량)이 최소가 되는 높이에서의 전송손실 P점들, 각각의 주파수마다 플로트하여, 제1최소 시험장감쇠량의 주파수 특성을 나타낸 것이 관련 규격에서 규정하고 있는 일반적인 시험장감쇠량 이론곡선이다.

2. 시험장감쇠량

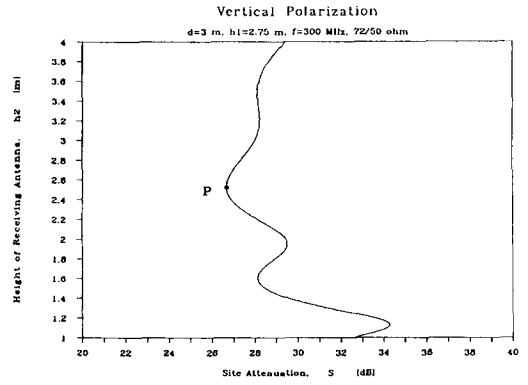
그림4는 안테나가 전송선로와 완전히 정합되었을 때의 수평 및 수직편파에 대한 시험장감쇠량의 주파수 특성을 나타낸다. 표1 및 표2는 수평 및 수직편파에 대한 시험장감쇠량의 구체적인 계산치를 나타낸다. 그리고, 이 때의 수신 안테나의 높이도 함께 나타내었다.

임피던스가 50Ω 인 수신 시스템을 안테나에 직접 연결했을 경우에 대한 계산결과를 문헌[8]의 실험결과와 비교해보면 서로 잘 일치한다는 것을 그림 5에서 확인 할 수 있다.

시험장감쇠량의 측정에서는 BALUN을 사용하여 안테나와 정합을 취한 상태에서 수행하는 것이 일반적이므로, 본 논문에서는 전송선로와 안테나가 정합



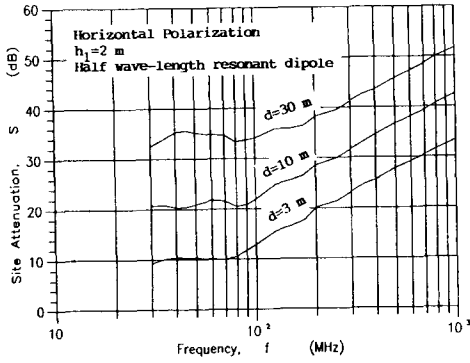
(a)



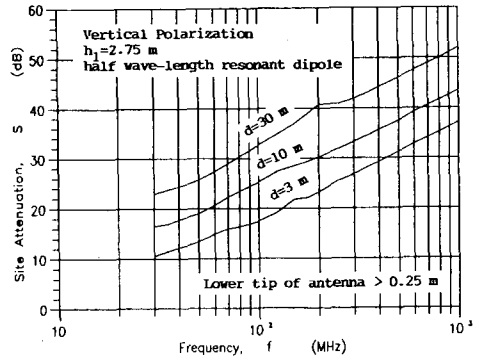
(b)

그림 3. 하이트 패턴

Fig. 3. Height patterns.



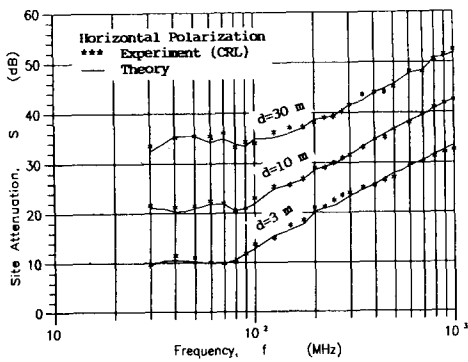
(a)



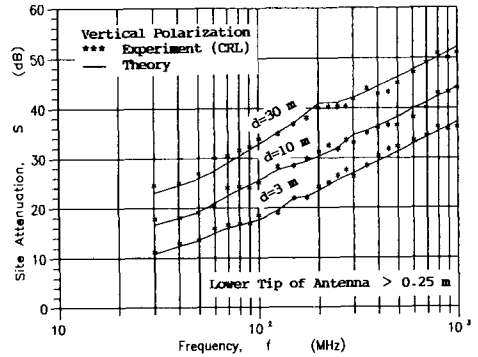
(b)

그림 4. 시험장감쇠량의 주파수 특성

Fig. 4. Frequency characteristics of site attenuations.



(a)



(b)

그림 5. 시험장감쇠량의 계산치와 측정치

Fig. 5. Comparison of theoretical site attenuation and experiments.

표 1. 시험장감쇠량의 계산치(수평편파)

Table 1. Theoretical site attenuations (Horizontal polarization)

Pol.	Horiz.		Horiz.		Horiz.	
	d [m]	h ₁ [m]	d [m]	h ₁ [m]	d [m]	h ₁ [m]
	3	2	10	2	30	2
	1 - 4		1 - 4		2 - 6	
f [MHz]	S(72) [dB]	h ₂ max	S(72) [dB]	h ₂ max	S(72) [dB]	h ₂ max
30	9.320	4.00	20.67	4.00	32.40	6.00
35	10.19	4.00	20.72	4.00	33.85	6.00
40	10.42	4.00	20.28	4.00	35.19	6.00
45	10.37	4.00	20.37	4.00	35.57	6.00
50	10.40	3.65	20.86	3.96	35.10	6.00
60	10.20	2.97	21.80	3.32	34.71	6.00
70	10.06	2.45	21.56	4.00	34.68	6.00
80	10.63	2.08	20.41	4.00	33.25	6.00
90	11.79	1.88	20.81	3.77	33.60	6.00
100	12.79	1.72	21.83	3.39	33.92	6.00
125	15.49	1.33	24.83	2.72	35.76	6.00
150	16.53	1.11	25.70	2.26	35.85	6.00
175	17.70	1.00	26.58	1.94	36.41	6.00
200	20.09	2.38	28.49	1.70	38.11	5.44
250	21.27	1.84	29.71	1.36	39.33	4.35
300	23.17	1.49	31.55	1.13	41.16	3.63
350	24.73	2.21	33.14	1.00	42.71	3.11
400	25.49	1.88	34.45	3.05	43.46	2.72
500	27.74	2.14	36.67	2.43	45.71	2.18
600	29.12	1.16	38.09	2.01	47.24	2.05
700	30.35	1.42	39.30	1.59	48.60	4.97
800	31.58	1.22	40.62	1.39	49.94	4.34
900	32.43	1.08	41.52	1.24	50.84	3.72
1000	33.27	1.26	42.35	1.11	51.67	3.35

표 2. 시험장감쇠량의 계산치(수직편파)

Table 2. Theoretical site attenuations (Vertical polarization)

Pol.	Verti.		Verti.		Verti.	
	d [m]	h ₁ [m]	d [m]	h ₁ [m]	d [m]	h ₁ [m]
	3	2.75	10	2.75	30	2.75
	1 - 4		1 - 4		2 - 6	
f [MHz]	CSA(72)[dB]	h ₂ max	CSA(72)[dB]	h ₂ max	CSA(72)[dB]	h ₂ max
30	10.61	3.08	16.43	3.26	22.87	4.53
35	11.49	2.88	16.84	2.88	23.65	4.08
40	12.14	2.75	17.73	2.56	24.36	3.37
45	12.73	2.67	18.34	2.30	24.97	3.00
50	13.40	2.59	18.90	2.00	25.72	2.80
60	14.90	2.75	20.61	1.75	27.29	2.34
70	15.89	3.15	22.23	1.51	28.90	2.00
80	16.32	3.03	23.39	1.30	30.26	2.00
90	16.90	3.00	24.41	1.16	31.50	2.00
100	17.41	2.86	25.26	1.02	32.59	2.00
125	19.31	2.29	27.45	1.00	34.92	2.00
150	21.76	1.86	28.34	3.93	36.87	2.00
175	22.14	2.92	29.24	3.36	38.88	2.00
200	23.22	2.60	30.15	2.91	40.77	2.00
250	25.49	3.06	31.81	2.31	40.90	6.00
300	26.68	2.51	33.24	1.92	41.89	5.49
350	28.05	2.95	34.43	1.64	43.02	4.77
400	29.18	2.51	35.60	1.42	44.17	4.12
500	31.12	2.49	37.47	1.14	45.99	3.29
600	32.74	2.48	39.19	1.00	47.56	2.74
700	34.03	2.48	40.52	1.63	48.83	2.35
800	35.15	2.48	41.58	1.42	49.93	2.06
900	36.13	2.83	42.56	1.26	51.07	3.64
1000	37.09	2.79	43.50	1.14	52.03	3.30

된 상태에서의 시험장감쇠량을 표1 및 표2에 나타내었으나, 임피던스가 50 Ω인 수신 시스템을 안테나에 직접 연결한 경우에 대한 시험장감쇠량의 구체적인 계산치는 문헌[11]을 참조하기 바란다.

다음절에서는 이경우에 대한 각연구자들의 계산결과와 본논문의 계산 결과를 비교해 보도록 한다.

3. 시험장감쇠량 계산치의 비교

시험장감쇠량의 정량적인 값을 최초로 제시한 것은 FCC⁽¹⁾이다. 이 계산치는 기하광학 근사에 의한 것이므로 기준 이론곡선으로 사용하기에는 실측치와의 일치도가 그다지 좋지 않다는 의견이 있었다. 이 때문에 시험장감쇠량의 정밀계산이 검토되기 시작했고 서론에서도 언급한 것처럼 종종 정밀계산이 수행되기에 이르렀다.⁽²⁻⁴⁾

이들 계산에서는 무한히 넓은 완전도체의 접지판을 사용하고 있는 것은 동일하지만, 시험장감쇠량 측정계의 해석에 사용한 안테나는 연구자에 따라서 제각기 다르다. 따라서, 이들의 계산치를 엄밀하게 서로 비교한다는 것은 불가능하다.

그러나, 필자의 계산⁽¹⁾ 및 문헌[9]에 의하면 안테나의 직경 및 길이가 시험장감쇠량에 큰 차이를 발생시키지 않는다는 사실이 확인되었으므로, 이들의 계산결과들을 비교 검토해 볼 필요성은 충분히 있다고 생각된다. 실제로 야외시험장에서 실측할 경우에는 대단히 정밀한 값이 요구되므로 실측에 중사하는 관계자들 사이에서는 기준 이론곡선에 대한 의견들이 많은 것도 비교검토 필요성 중의 하나이다.

임피던스가 50 Ω인 수신 시스템이 안테나에 바로 연결되어 있을 경우에 대하여, 각 연구자들이 사용한 안테나의 종류와 시험장감쇠량의 계산치를 본 논문의 계산결과와 비교한 것을 이하의 그림6~그림9에 나타내었다.

그림6은 EMF법으로 계산한 Fitzgerald⁽⁵⁾의 계산결과와 본 논문의 결과(그림에서는 Kim으로 표시하였음)를 비교한 것이며, 그림 7은 모멘트 법으로 계산한 Kawana 등⁽⁷⁾의 계산치와 본 논문의 계산치를 비교한 것이다. 그리고, 그림8은 모멘트 법에 의한 Sugiura 등⁽⁸⁾의 계산치와 본 논문의 결과를 비교한 것이

며, 그림9는 영상파라미터를 모멘트 법으로 구하여 계산한 Sato 등^[9]의 계산결과와 본 논문의 계산결과를 비교한 것이다.

이들 비교를 통하여 알 수 있는 것은 최근에 발표된 Sato 등^[9]의 계산치와 본 논문의 계산치는 0.05 dB 이내에서 아주 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있으나 그 외는 그림6~그림8에서 보는 것처럼 부분적으로 최대 1.0 dB이상의 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

본 논문의 결과는 그림5에서 나타난 것처럼 실험치와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이 결과들로부터 현재로서는 본 논문의 결과 및 Sato 등^[9]에 의한 결과가 가장 정밀한 것으로 생각된다.

야외시험장의 적합성 평가에 종사하는 종사자들은 이상과 같은 계산치들의 비교로부터 기준 이론곡선으로서 어느 것을 선택해야 할까를 결정할 수 있을 것으로 생각된다.

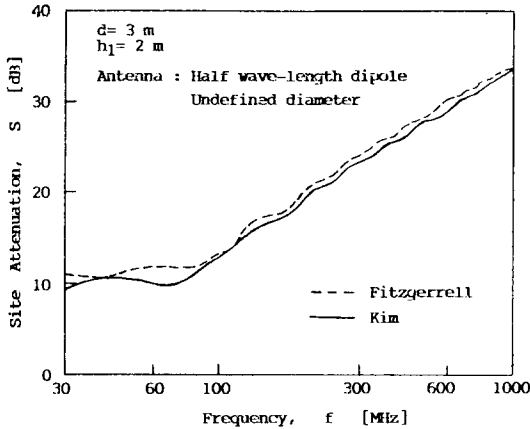


그림 6. Fitzgerald의 계산치와 필자의 계산치와의 비교
 Fig. 6. Comparison of Fitzgerald's result and Kim's result.

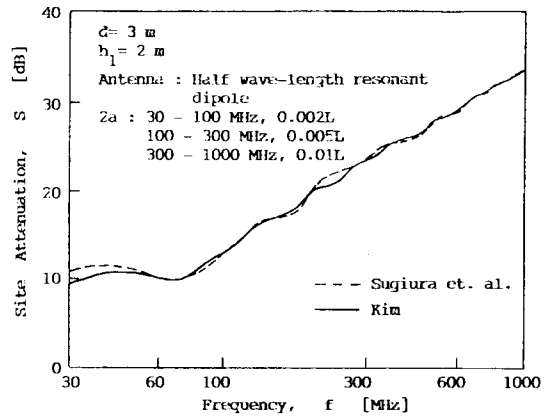


그림 8. Sugiura 등의 계산치와 필자의 계산치와의 비교
 Fig. 8. Comparison of Sugiura's result and Kim's result.

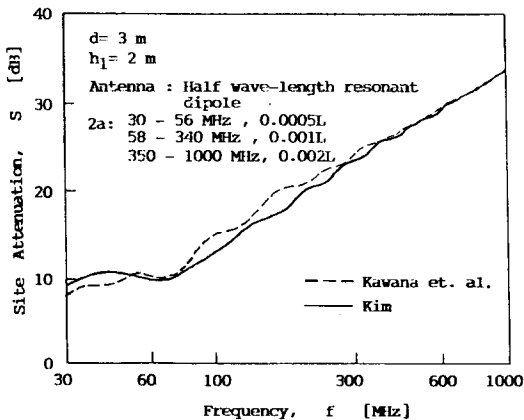


그림 7. Kawana 등의 계산치와 필자의 계산치와의 비교
 Fig. 7. Comparison of Kawana's result and Kim's result.

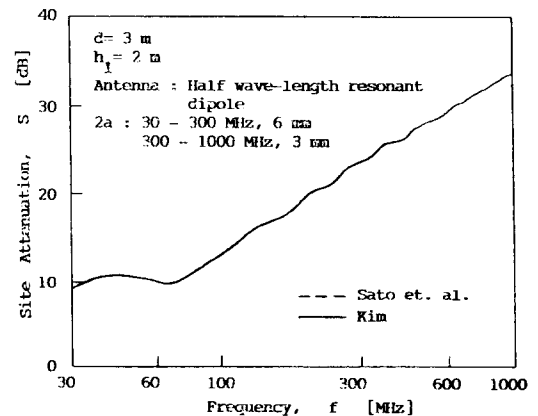


그림 9. Sato 등의 계산치와 필자의 계산치와의 비교
 Fig. 9. Comparison of Sato's result and Kim's result.

V. 결 론

방사성 방해과의 측정시설로 사용하는 야외시험장이 방해파 측정환경으로 적합한지 어떤지를 평가하기 위한 기준이 되는 시험장감쇠량의 이론치를 모멘트 법을 적용하여 계산하였다. 이 방법을 사용하면 상호결합효과를 완전하게 평가할 수 없는 EMF법의 치명적인 결함을 완전히 극복할 수 있다.

본 논문에서는 안테나의 급전점 및 수신점에서의 전류분포 전개계수만을 모멘트 법으로 구하면 간편하게 시험장감쇠량을 계산할 수 있음을 보였고, 모멘트 법을 적용한 기준의 연구결과 및 실험치와도 비교하여 본 수법의 유효성을 확인하였다.

본 논문의 결과는 보다 정밀한 시험장감쇠량의 기준 이론곡선으로서 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술처 특정연구비(91-0500-402)의 지원에 의해 수행 되었습니다. 연구의 기회를 제공해 주신 한국표준과학연구원 전기연구부장 정낙삼 박사님 및 과학기술처 관계자 여러분들에게 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] FCC Bulletin OET-55, "Characteristics of open area test site", Aug. 1982.(Formerly OST-55).
 [2] T. Kawana, S. Miyajima, "Theoretical investigations of site attenuation by means of mutual

impedance between antennas," in 3rd. Symp. Tech. Exhibition EMC(Rotterdam) 17D3, 1979.

[3] R.G. Fitzgerrell, "Site attenuation", *IEEE Trans.*, EMC-28, 1, pp. 38-40, 1986.
 [4] 前田, 竹谷, 上, "オーフンサイトのサイト 減衰量の精密測定と高近似解について(その4)", 電子情報通信學會, 技術研究報告, EMCJ86-23, 1986.
 [5] 김기채 등, "야외시험장의 시험장감쇠량", 대한전자공학회논문지, 제27권, 제9호, pp. 1336-1343, 1990.
 [6] K. Fukuzawa, et. al., "A new method of calculating 3-meter site attenuation", *IEEE Trans.*, EMC-24, 4, pp. 389-397, 1982.
 [7] T. Kawana, S. Horiguti, and Y. Yamanaka, "Evaluation of 3-meter site attenuation by the moment method", *IEEE Traas.*, EMC-28, 3, pp. 117-124, 1986.
 [8] A. Sugiura, Y. Shimizu and Y. Yamanaka, "Site attenuation for various ground conditions", *The Trans.*, of the IEICE, E-73, 9, pp. 1517-1524, 1990.
 [9] 若林, 島田, 川上, 佐藤, "4端子回路理論によるサイト減衰量測定系の解析", 電子情報通信學會 論文誌 B-II, J74-B-II, No. 3, pp. 113-117, 1991.
 [10] 김기채, 정낙삼. "반과장 공진다이폴 안테나의 설계와 안테나 치수가 안테나 인자에 미치는 영향", 한국통신학회논문지, 제16권, 제8호, pp. 785-792, 1991.
 [11] 金基采, 鄭樂三, "規格化サイト減衰量と相互結合補正係數について", 電子情報通信學會, 技術研究報告, EMCJ91-26, pp. 21-28, 1991.

著 者 紹 介



金 基 采(正會員)

1959年 10月 19日生. 1984年 영남대학교 전자공학과 졸업. 1986年 일본게이오대학(Keio Univ.) 대학원 전기공학과 공학석사. 1989年 일본게이오대학(Keio Univ.) 대학원 전기공학과 공학박사. 1989年 ~현재 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원 1988年 일본전자정보통신학회 Outstanding Young Engineer Award 수상. 주관심분야는 안테나공학, 전자파이론 등임.