전파흡수특성에 따른 전파무향실의 특성변화

김민석* · 김동일**

*부경대학교
**한국해양대학교

Ⅰ. 서 론

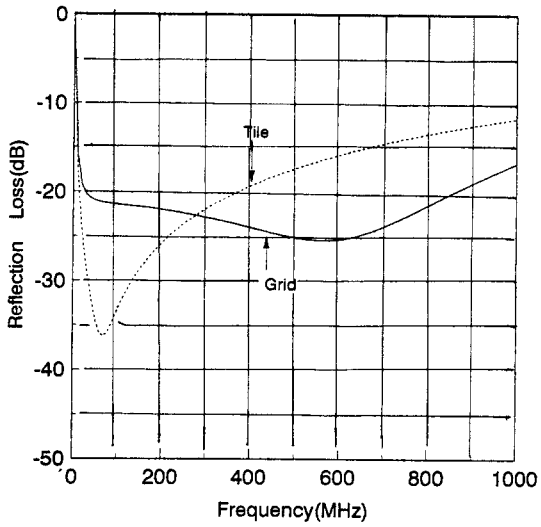
최근에 전자산업의 눈부신 발전으로 전기 · 전자 장비가 생필품화 되어 가고 공업사회에서 정보화 사회로 이행되는 과정에서 전자 정보 통신장비 사용의 급증은 전자파 밀집도를 더욱 높이면서 전자파환경을 악화시키고 있다. 또, 최근 의학계로부터 전자파가 인체에 노출되었을 때 나타나는 인체유해성의 연구 결과가 발표되면서 전자파에 관한 일반인 들의 관심도 점점 커지고 있다. 이와 같은 유해 전자파환경에 의한 피해를 막기 위해서 선진국에서는 이미 전자파에 대한 규제를 새로운 무역장벽으로 활용하고 있으며, 국내에서도 향후 공장 자동화의 추세가 더욱 본격적으로 이루어지고 이에 따라 유해 전자파에 의한 피해는 더욱 늘어날 것으로 예상됨으로 더욱 적극적인 대응책이 요구된다. 이와 같은 피해에 대한 대책으로는 불요전자파의 발생을 막는 것과 전파흡수체나 차폐재료를 개발하여 발생된 전자파로부터의 피해를 줄이는 것이다[1],[2]. 전자장비로부터 불요 방사파의 측정은 야외시험장에서 하는 것이 국제기준이나 이것은 현실적으로 여러가지 제약이 따르기 때문에 야외시험장과 같은 성능을 가진 시험장을 실내에 만들어서 그곳에서 전자파에 관한 여러가지 측정을 하게 된다. 이와 같은 시험장을 만드는데 사용된 전파흡수체는 그 종류나 모양에 따라서 시험장의 성능에 직접 영향을 주기 때문에 전파암실을 만들기 전에 미리 이들 전파흡수체에 대한 특성을 파악함으로써 보다 좋은 성능의 전파암실을 만들 수 있으리라 생각된다. 또 전파무향실의 성능을 평가하는 방법으로는 2개의 무한히 넓은 평판 사이에 전류원이 있을 때 전자계를 해석하는데 유용한 sommerfield의 수치해석법과 송 · 수신안테나의 위치가 전파의 반사면을 중심으로 대칭되는 곳에 있다고 생각하여 송신안테나로부터 수신안테나까지 전파의 경로장을 1회 반사파 5가지와 2회 반사파 10가지 도합 15가지 반사파의 반사 패턴에 대한 경로장을 구하여 평가한 영상법 등이 있는데 본 고에서는 영상법으로 평판타일형과 그리드형 전파흡수체를 이용하여 전파무향실의 특성을 계산 시뮬레이션한 결과와 실제로 그리드형 전파흡수체를 사용하여 만든 전파무향실의 특성의 실측치를 비교 분석하여 영상법의 정확도를 평가하고자 한다.

Ⅱ. 시뮬레이션에 사용한 전파흡수체의 특성

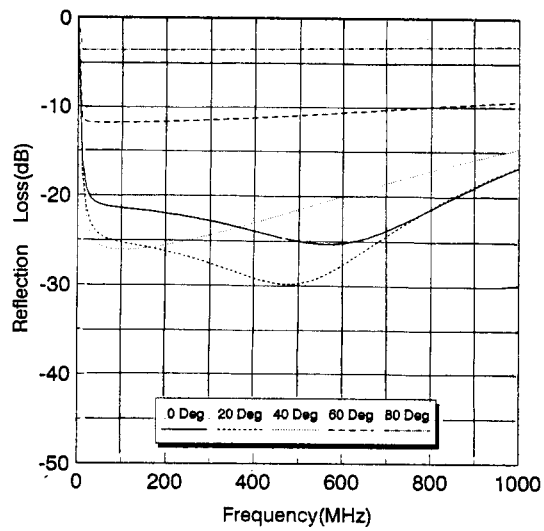
2-1 수직입사

전파가 전파흡수체에 수직으로 입사했을 경우 특성을 전파흡수체별로 [그림 1]에 나타내었다.

[그림 1]에서 타일형의 경우 30 MHz에서 반사감쇠량이 약 25 dB로 주파수가 높아짐에 따라 반사감쇠량도 커지기 시작하여 70 MHz에서 27.3 dB로 최대가 되었다가 작아지기 시작하여 380 MHz일 때 19.9 dB로 전파흡수체로서 충분한 성능으로 평가하고 있는 20 dB의 반사감쇠량을 가지는 상한 주파수는 370 MHz부근이었다. 그리드형의 경우 30 MHz에서 감쇠량이 20.3 dB로 주파수가 높아짐에 따라 반사감쇠량이 커지기 시작하여 590 MHz에서 25.4 dB로 최대가 되었다가 작아지기 시작하여 880 MHz부터 19.9 dB로 상한주파수가 타일형에 비하여 상당히 높다.



[Fig. 1] Reflectivity Frequency Characteristics According to Absorbing Materials.

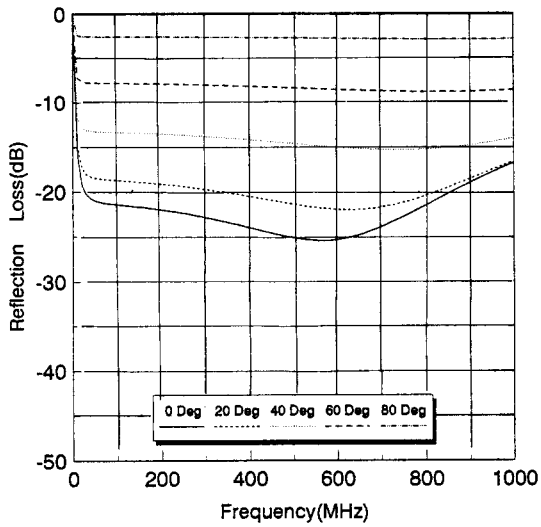


[Fig. 2] Reflectivity Characteristics by TM Mode for Ferrite Grid.

2-2 사입사

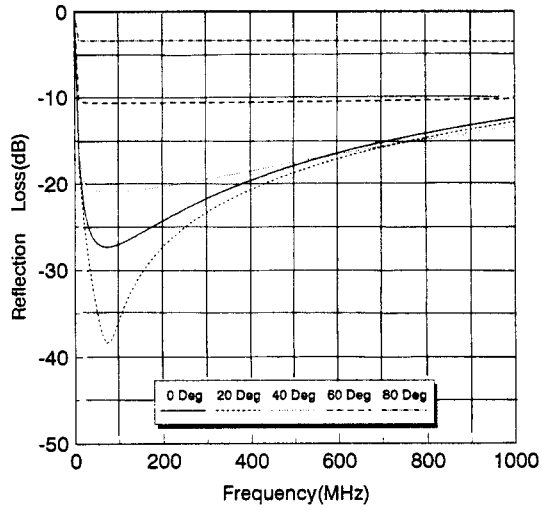
전파가 전파흡수체에 사입사할 경우의 특성을 전파흡수체의 종류와 전파의 mode별로 구분하여 그리드형에서 TM mode의 경우를 [그림 2]에, TE mode의 경우를 [그림 3]에 각각 나타내었다. 또, 타일형에서의 TM mode의 경우를 [그림 4]에, TE mode의 경우 [그림 5]에 각각 나타내었다.

[그림 2]에서 바와 같이 주파수가 높아짐에 따라 반사 감쇠량이 최대가 되는 주파수가 570 MHz이었으며, 570 MHz를 정점으로 주파수가 높아짐에 따라 반사감쇠량도 작아지기 시작하였다. [그림 3]에서 주파수가 같을 경우 입사각이 작을수록 반사감쇠량이 큰 것으로 나타났다. [그림 4]에서 입사각도가 20도에서 입사할 경우 반사 감쇠량이 가장 컸으며, 반사감쇠량의 변화가 그리드형의 TM mode와 비슷한 경향을 나타내었다. 또 타일형이고 TE mode인 경우를 나타낸 [그림 5]에서 입사각도가 작을수록 반사감쇠량은 크게 나타났으며, 주파수가

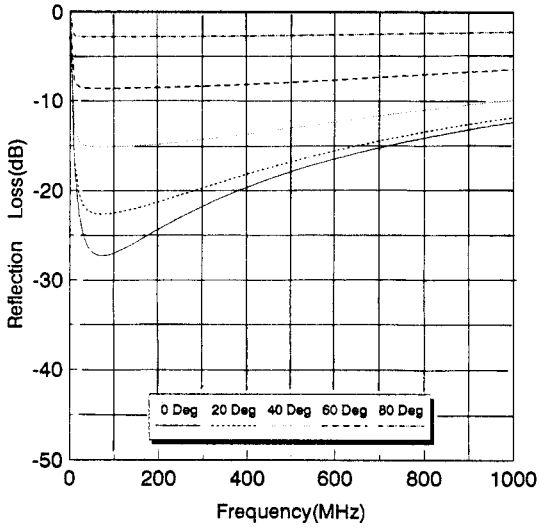


[Fig. 3] Reflectivity Characteristics by TM Mode for Ferrite Grid.

높을수록 반사감쇠량은 작아져서 그리드형의 TE mode와 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 전파가



〔Fig. 4〕 Reflectivity Characteristics by TM Mode for Ferrite Tile.



〔Fig. 5〕 Reflectivity Characteristics by TM Mode for Ferrite Tile.

전파흡수체에 비스듬하게 입사할 경우 30 MHz부터 1000 MHz까지 전주파수의 범위에 걸쳐서 반사감쇠량이 변화하는 모양은 전파흡수체의 종류가 달라도 전파 mode가 같을 경우 반사감쇠량의 변화하는 모양도 서로 비슷함을 알 수 있다[3],[4].

Ⅲ. 전파암실의 이론적 특성평가

3-1 시험장감쇠량

신호발생기를 접속한 송신용 다이폴 안테나를 이용하여 측정한 송·수신 안테나 사이의 전송손실을 야외시험장의 시험장감쇠량(Site Attenuation)이라 하고 수직편파의 경우 시험장감쇠량 A는

$$A=\frac{VAF_R 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2Vf_M CE_{vc}{}^{max}} \tag{1}$$

이며, 수평편파의 경우에는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[5],[6].

$$A=\frac{VAF_R 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2Vf_M CE_{Hc}{}^{max}} \tag{2}$$

단, V : 신호발생기의 개회로전압

f_M : 주파수(MHz)

AF_R : 수신안테나 인자

AF_T : 송신안테나 인자

$CE_{VC}{}^{max}$: 수직편파일 경우 전파반무향실의 전계강도의 최대치

$CE_{HC}{}^{max}$: 수평편파일 경우 전파반무향실의 전계강도의 최대치

3-2 입력임피던스

길이가 l인 다이폴 안테나의 입력임피던스 ZI는 식 (3)과 같다[7],[8].

$$ZI=K_a\frac{(K_a-M)\cos\beta l+j(Z_a+jwC_iK_a^2-jN)\sin\beta l}{(Z_a+jwC_iK_a^2+jN)\cos\beta l+j(K_a+M)\sin\beta l} \tag{3}$$

단, $K_a = 120(\log\frac{2l}{a} - 1)$

a : 안테나 끝 부분의 반경

$M(\beta l) = \beta\int_0^l [K_a - K(z,\rho)]\sin 2\beta z dz$

$N(\beta l) = \beta\int_0^l [K_a - K(z,\rho)]\cos 2\beta z dz$

$R_a(\beta l) = 60\mathrm{Cin}2\beta l + 30(2\mathrm{Cin}2\beta l - \mathrm{Cin}4\beta l)$
$\cos 2\beta l + 30(\mathrm{Si}4\beta l - 2\mathrm{Si}2\beta l)\sin 2\beta l$

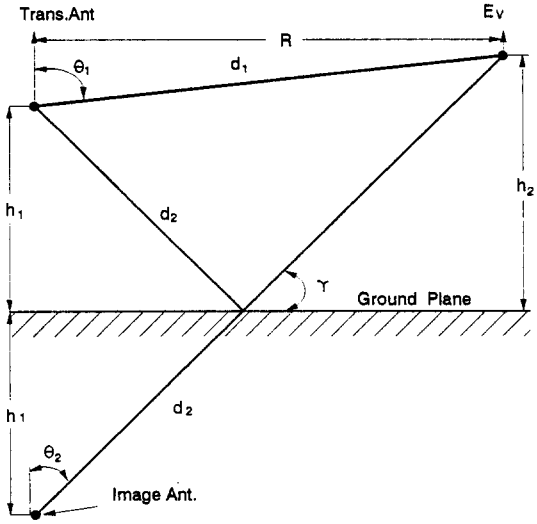
$X_a(\beta l) = 60\mathrm{Si}2\beta l - 30(\mathrm{Cin}4\beta l - \log 4)\mathrm{Sin}2\beta l$
$- 30\mathrm{Si}4\beta l\cos 2\beta l$

C_t : Capacitance

3-3 상호결합

[그림 6]에서 전압 V_{21}은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{21} = \int \frac{1}{I_2}\left(\int_h^{l_2+h} E_{z1}I_2(z)dz + \int_{l_2+h}^{2l_2+h} E_{z1}I_2(z)dz\right) dz \tag{4}$$



[Fig. 6] Propagation Geometry for Vertical Site Attenuation.

또 안테나의 전류분포 I_z는

$$I_z = I_2\sin\beta z dz \tag{5}$$

와 같다. 안테나 1의 전류 I_1에 의하여 안테나 2에 유도된 전장 E_{z1}은

$$E_{z1} = 30I_1\left[\frac{-je^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{-je^{-j\beta r_2}}{r_2} + 2j\cos\beta l_1\frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0}\right] \tag{6}$$

같다[9],[10]. 지금까지의 식을 정리하면 식 (7)과 같다.

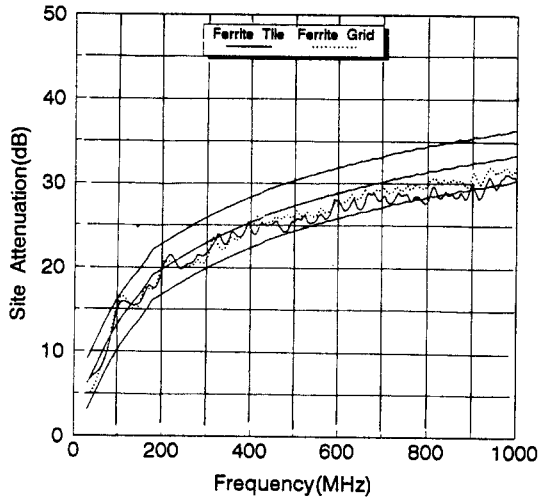
$$Z_{12} = -30\left[\left\{\int_h^{l_2+h}\sin\beta(z-h) + \int_{l_2+h}^{2l_2+h}\sin\beta(2l_2+h-z)\right\}\left(\frac{-je^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{-je^{-j\beta r_2}}{r_2} + \frac{2j\cos\beta l_1 e^{-j\beta r}}{r_0}\right)dz\right] \tag{7}$$

여기서, $r_0 = \sqrt{d^2+z^2}$, $r_1 = \sqrt{d^2+(l_1-z)^2}$, $r_2 = \sqrt{d^2+(l_1+z)^2}$ 이다.

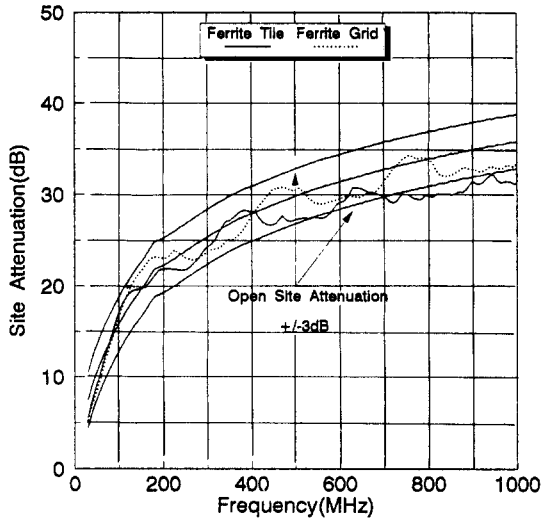
Ⅳ. 시뮬레이션 결과

수평편파의 경우 타일형과 그리드형의 전파흡수체를 가지고 전파무향실에서 감쇠량을 구하는 시뮬레이션한 결과를 [그림 7]에 나타내었다.

[그림 7]에서 그리드형의 경우 30 MHz에서 100 MHz까지 오픈사이트와 전파무향실에 있어서 감쇠량 차이의 평균치는 1.23 dB이었고, 타일형의 경우 1.76 dB로 전 주파수의 범위에 걸쳐서 그리드형으로 만든 전파무향실의 특성이 오픈사이트의 특성에 더 가까웠다. 또 타일형의 경우 760 MHz부터 오픈



[Fig. 7] Characteristics of Horizontal Polarization due to Absorbing Materials.



[Fig. 8] Characteristics of Vertical Polarization Due to Absorbing Materials.

사이트와 감쇠량의 차이가 ±3 dB의 범위를 벗어나기 시작하였으나 그리드형의 경우 전 주파수의 범위에 걸쳐서 모두 ±3 dB 이내의 범위에 있었다. 따라서 타일형으로 만든 전파무향실의 사용대역폭은 대략 760 MHz 정도이었고 그 이상의 대역폭은 그리드형 이상의 특성을 가지는 전파흡수체를 사용해야 함을 알 수 있다. 한편 수직편파에 대하여 시뮬레이션한 결과를 [그림 8]에 나타내었다.

[그림 8]에서 타일형의 경우 30 MHz부터 1000 MHz까지 오픈사이트와 전파무향실의 감쇠량 차이의 평균치는 2.25 dB이었고 510 MHz부터는 그 차이가 모두 ±3 dB의 범위를 벗어났다. 그리드형의 경우 30 MHz부터 1000 MHz까지 오픈사이트와 전파무향실의 감쇠량 차이의 평균치는 1.48 dB로 타일형보다도 오픈사이트의 특성에 더 가까웠다. 또 타일형의 경우 상한주파수는 대략 500 MHz 정도로 수평편파의 경우보다도 더 좁음을 알 수 있었다. 따라서 전파무향실에서 평판형 타일의 경우 사용대역폭은 대략 500 MHz이므로 그 이상의 주파수에서는 그리드형 이상의 특성을 가지는 전파흡수체를 사용해야 함을 알 수 있다.

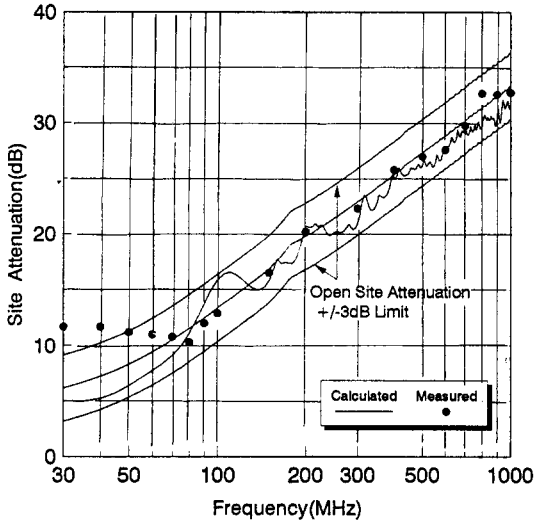
V. 실측결과 및 고찰

5-1 수평편파

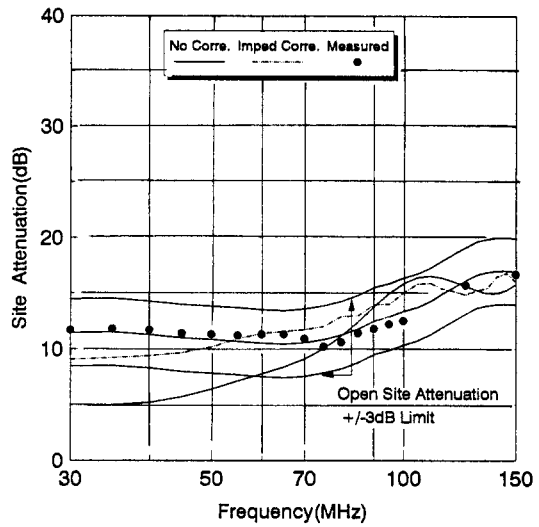
1) 계산치와 실측치의 비교

그리드형의 전파흡수체로 만든 전파무향실의 감쇠량을 계산 시뮬레이션한 결과와 실제로 그리드형 전파흡수체를 사용하여 만든 전파무향실의 감쇠량 실측치[11]를 [그림 9]에 나타내었다.

[그림 9]에서 주파수가 30 MHz에서 60 MHz까지 10 MHz 간격으로 계산치와 실측치의 차이는 각각 6.7, 6.5, 4.7, 3.4 dB이었고 100 MHz에서 3.4 dB로 100 MHz까지 계산치와 실측치의 차이가 ±3 dB의 범위를 벗어났으나 125 MHz부터 1000 MHz까지는 계산치와 실측치가 모두 ±3 dB의 범위 안에 있었다. 이와같이 100 MHz 이하의 낮은 주파수에서 계산치와 실측치의 차이가 ±3 dB의 범위를



〔Fig. 9〕 Horizontal Site Attenuation, Calculated and Measured.



〔Fig. 10〕 Comparison of Horizontal Site Attenuation with Mutual Impedance Correction or Not.

벗어난 것은 주파수가 낮을 경우 송·수신 안테나 사이의 상호결합 효과가 작용하기 때문이라 판단된다.

2) 상호결합을 고려한 계산치와 실측치의 비교

송·수신 안테나사이의 상호결합 효과를 고려하지 않았을 경우와 고려하였을 경우 계산 시뮬레이션에 의한 감쇠량의 계산치와 실측치를 [그림 10]에 나타내었다.

[그림 10]에서 상호결합을 고려하지 않았을 경우 30 MHz부터 100 MHz까지 계산치와 실측치의 차이는 모두 ±3 dB의 범위를 벗어났으나 상호결합을 고려하였을 경우 그 차이가 모두 ±3 dB 이내에 있었다. 따라서 100 MHz의 낮은 주파수에서 안테나 사이의 상호결합을 고려함으로써 실측치에 가까운 계산치가 얻어졌다.

5-2 수직편파

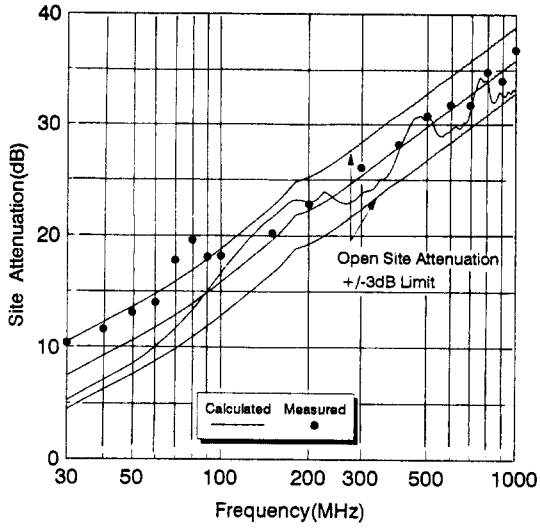
1) 계산치와 실측치의 비교

전파무향실에서 그리드형의 전파흡수체를 이용하여 시뮬레이션한 결과와 실제로 그리드형 전파흡수체를 사용한 전파무향실의 감쇠량을 측정한 결과를 [그림 11]에 나타내었다.

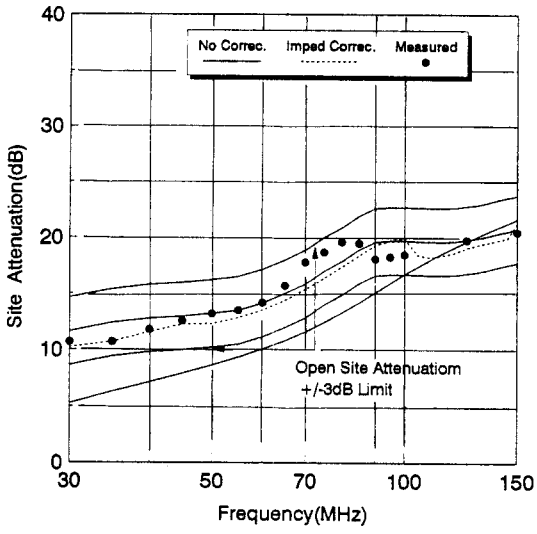
[그림 11]에서 시뮬레이션에 의한 전파무향실의 감쇠량은 30 MHz부터 10 MHz간격으로 100 MHz까지 각각 5.2, 7.1, 8.6, 10.0, 11.6, 13.3, 15.0, 16.7 MHz이었고 오픈사이트의 감쇠량은 각각 11.6, 12.7, 13.2, 14.1, 15.8, 17.8, 19.6, 19.7 dB로 그 차이는 모두 ±3 dB의 범위를 벗어났으나 그 이상의 주파수 대역에서는 모두 ±3 dB 이내의 범위에 있어서 주파수 변화에 따른 전파무향실의 특성변화도 수평편파의 경우와 비슷하였다.

2) 상호결합을 고려한 계산치와 실측치의 비교

전파무향실에서 안테나 사이의 상호결합 효과를 고려하지 않았을 경우와 고려했을 경우 감쇠량의



[Fig. 11] Vertical Site Attenuation, Calculated and Measured.



[Fig. 12] Comparison of Vertical Site Attenuation with Mutual Impedancs Correction or Not.

계산치와 실측치를 [그림 12]에 나타내었다. [그림 12]에서 상호결합을 고려하지 않았을 경우 30 MHz부터 95 MHz까지 계산치와 실측치의 차이는 모두 ±3 dB의 범위를 벗어났으나, 고려하였을 경우 계산치와 실측치의 차이가 모두 ±3 dB 이내에 있음을 확인하였다.

Ⅵ. 결 론

전자파장해와 관련된 여러가지 검사나 시험을 하는 야외시험장의 대용시험장으로서의 전파무향실의 성능평가 방법에 대하여 영상법을 예로들어 기술하였다. 본 고에서는 타일형 및 그리드형 전파흡수체를 적용하여 각각 전파반무향실을 구성한 경우에 대하여 영상법에 의하여 시뮬레이션을 하고 그 결과를 실측치와 비교, 검토하였다.

100 MHz 이상 1000 MHz까지 전 주파수의 범위에 걸쳐서 전파무향실 내에 있어서 감쇠량의 계산치와 실측치는 모두 ±3 dB의 범위 내에서 일치하였으며, 상호결합 효과가 작용하는 것으로 판단되는 100 MHz 이하의 낮은 주파수 대역에서 계산치와 실측치의 차이가 모두 ±3 dB의 범위를 벗어났으나 송·수신 안테나간의 상호결합을 고려함으로써 계산치와 실측치와의 차이가 모두 허용치인 ±3 dB 이내가 됨을 확인하였다.

따라서, 영상법은 송·수신 안테나간의 상호결합을 고려하면 전파반무향실의 평가방법으로서 편파에 관계없이 유효함을 입증하였으며, 이는 전파무향실의 설계 및 성능평가에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 김동일, 전상엽, "EMI /EMC 대책용 광대역화 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국항해학회지 제15권 제4호, pp. 13~26, 1991,. 12.

[2] 長谷川伸, 杉浦行, 剛村滿春夫, 黑沼弘, 電磁波障害, pp. 136-179, 産業圖書, 1991.

[3] Yoshiyuki Naito, Tetsuya Mizumoto, Hiroki Anzai, Michiharu Takahashi, "Anechoic Chamber Fitted with Ferrite Grid or Ferrite Multi-Layer Electromagnetic Wave Absorbers", *Int'l Symposium on EMC*, pp. 239-234, Sep. 13-16, 1994.

[4] 김동일, 정세모, 전상엽, "초광대역 특성을 가지는 Ferrite 전파흡수체의 설계법", 한국항해학회지, 제18권 제2호, pp. 151-158, 1994, 5.

[5] W. Scottebenn Eitt, "Comments on Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors", *IEEE Trans.* on vol. EMC-2S, no. 2, p. 121-124, May 1993.

[6] J. David Gavenda, "Near-Field Corrections to Site Attenuation", *IEEE Trans.* on EMC, vol. 36, no. 3, pp. 213-220, Aug. 1994.

[7] Sergei A. Schelkunoff, *Antennas Theory and Practice*, pp. 403-434, New York : willey, 1952.

[8] R. G. FitzGerrell, "Standard Linear Antennas, 30-1000 MHz", *IEEE Trans. on Antennas & Propagation*, vol. Ap-34, no. 12, p. 393-398, Dec. 1986.

[9] John. D, Kraus, *Antennas*, pp. 251-278, Mc-Graw Hill Book Company, 1950.

[10] *Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design*, pp. 283-303, Happer & Low Publishers, New York 1982.

[11] "Measured Technical Data Exhibiting Anechoic Chamber Lined by 'TOYO' FFG-1000 Ferrite Grid Absorber", *Toyo Corporation*, Japan, 1991.

■■■ 필자소개 ■■■

김 민 석

1971년 2월 : 부산수산대학교 어업학과(수산학사)
1976년 2월 : 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과(공학박사)
1986년 2월 : 부산수산대학교 대학원 수산물리학과(수산학석사)
1998년 현재 : 부경대학교 부교수

김 동 일
본지 1쪽 참조