
십자돌기형 전파흡수체로 구성된 전파암실의 특성평가

김민석*, 김동일**, 전상엽***, 민경식**

A Study on the Evaluation of the Characteristics of Semi-Anechoic Chamber Constructed by the Cross-Shaped Type Electromagnetic Absorbers

Min-Seok Kim*, Dong-Il Kim**, Sang-Yup Jun***, Kyung-Sik Min**

요 약

본 논문에서는 광대역 특성의 십자돌기형 페라이트 전파흡수체로 이루어지는 전파 반무향실의 특성을 영상법에 의하여 평가하였다. 그 결과, 그리드형 전파흡수체가 30 ~ 1,000 MHz의 주파수 대역폭을 가지는 데 대하여, 십자돌기형 페라이트 전파흡수체는 30 MHz ~ 3,000 MHz의 주파수 대역에서 우수한 특성을 가지는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the performance of the semi-anechoic chamber which is to be constructed by the cross-shaped ferrite absorbers with broadband frequency characteristics, has been evaluated by the image method.

As a result, it was confirmed that the cross-shaped absorber has excellent performance over the frequency range from 30 MHz to 3,000 MHz, while the tile and the grid-type ferrite absorbers have the bandwidth of 30 ~ 1,000 MHz.

* 부경대학교

** 한국해양대학교

*** 한국해양수산연수원

※ 이 연구는 '97년도 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : 97-01-01-04-01-2)의 연구지원에 의하여 이루어졌음.

접수일자 : 1999년 2월 13일

1. 서론

반도체 산업의 눈부신 발전으로 IC 소자는 고밀도화, 고집적화가 이루어지면서 전기·전자, 통신, 사무기기 제품은 값이 더욱 싸고 초소형화, 초경량화되면서 이들 장비의 이용도가 급격히 증가를 이루고 있다. 이와 같이 이들 장비의 사용의 급증으로 전자파의 밀집도가 높아지면서 전자파 환경은 날로 악화되어가고 이로 인한 여러 가지 피해사례는 사회문제가 되고 있다^{1),2)}. 각국은 전기전자 장비로부터 불요전자파의 발생에 대해 보다 엄격한 관리하에서 이 문제를 다루고 있으며 전자파 장애에 대한 규제 기준을 만족하지 못할 경우 이들 제품에 대해 수입을 규제하고 있다. 전자파 장애측정장소는 주위로부터 전파의 영향을 전혀 받지 않는 개방되고 평탄한 야외 시험장에서 하는 것을 국제적으로 기준으로 하고 있으나 이와 같은 이상적인 장소를 구하는 것은 어렵고 또 구해졌을 경우라도 실제로 그러한 시설을 이용하려 할 때는 시간적, 공간적인 제약이 따르며 이것은 바로 경제적인 손실로 이어진다.

통상 전자파장애 또는 전자파내성의 측정은 야외 시험장과 성능이 같은 시험장을 실내에 만들어서 대용시험장으로 사용하고 있다. 이러한 대용시험장을 전파무향실 또는 전파암실이라 하며 야외시험장과 특성의 차이가 3 dB 이내이면 시험장으로서 만족하는 것으로 하고 있다³⁾. 전파암실의 성능은 주로 전파 암실의 크기와 여기에 사용된 전파 흡수체의 성능에 좌우된다. 따라서 본 논문에서는 전파암실을 광대역형 전파흡수체인 십자돌기형 전파흡수체를 사용하여 만들었을 때의 전파암실 성능을 분석, 검토했다.

II. 계산 Model

1. 시험장 감쇠량 모델(Site Attenuation Model)

수신안테나의 등가회로는 그림 1과 같다. 그림 1에서 V_{oc} 는 전계강도 E 에 의해 유도된 개회로전압, Z_A 는 안테나 임피던스, V_R 은 50 Ω 전계강도 측정기로 수신한 전압이며, R_A 는 안테나 저항, X_A 는 안테나 리액턴스, I 는 안테나 전류를 나타내며,

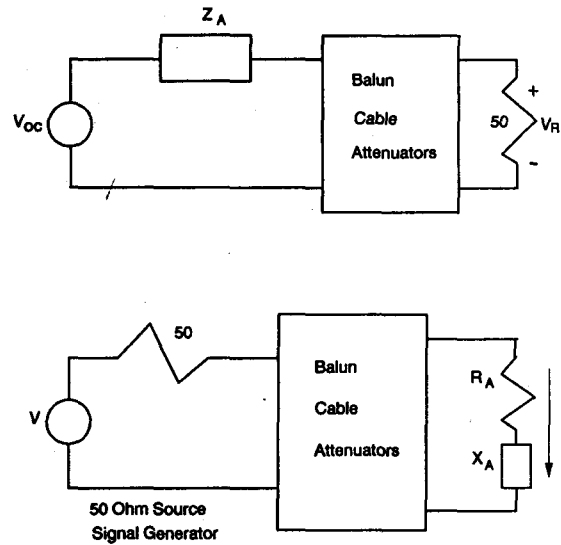


그림 1. 송·수신 안테나의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuits of receiving(upper) and transmitting(lower) antenna systems.

거리가 d 만큼 떨어졌을 때 자유공간의 전계강도 E 는 다음과 같다⁴⁾⁻⁷⁾.

$$E = \frac{Vf_M}{79.58 AF_T} \left(\frac{e^{-j\beta d}}{d} \right) \dots\dots\dots (1)$$

단, f_M : 주파수
 AF_T : 주파수

한편, 안테나 높이를 1 - 4 m까지 변화시켰을 때 수평편파인 경우 전계강도의 최대치 E_H^{\max} 는 식 (2)와 같다.

$$E_H^{\max} = \frac{Vf_M E_{DH}^{\max}}{79.58 AF_R \sqrt{49.2}} \dots\dots\dots (2)$$

단, E_{DH}^{\max} : 수평전계강도의 최대치

전파암실에서 전파암실의 성능에 영향을 미칠 수 있는 반사파를 2회 반사까지 고려하고, 이 때 반사파의 반사패턴을 15가지로 구분하여 전파의 경로장을 고려하여 각각의 감쇠량을 구하면

$$SA = \frac{VAF_R \cdot 79.58 AF_T \sqrt{49.2}}{2Vf_M E_V^{\max}} \dots\dots\dots (3)$$

로 나타낼 수 있다⁴⁻⁷⁾.

2. 등가재료 정수법

계산 시뮬레이션에 사용된 전파흡수체는 그림 2와 같이 제1층은 타일형 페라이트로 되어 있고 제2

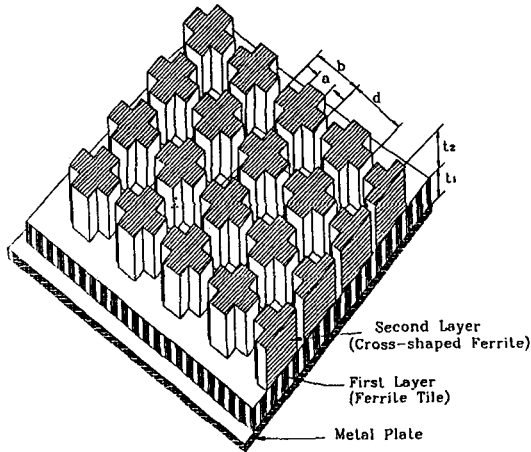


그림 2. 십자 돌기형 페라이트 전파흡수체
Fig. 2. A Cross Shaped Ferrite Absorber.

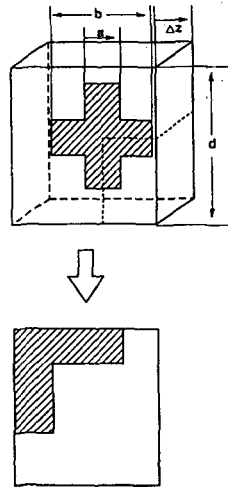


그림 3. 등가재료정수의 계산모델
Fig. 3. A Model for Calculation of Equivalent Material Constants.

층은 1층과 같이 페라이트의 재질에 형상만 달리함으로써 등가적인 유전율과 투자율이 다른 두 층을 적층한 것과 같은 효과를 얻게 된다.

그림 2와 같은 전파흡수체의 등가유전율과 등가 투자율은 그림 3과 같이 등가재료정수 모델을 이용하여 합성용량 모델을 만들어 총 합성용량 C를 다음 식으로 구할 수 있다⁸⁾.

$$C = \epsilon_0 \Delta z \left[\frac{\epsilon_r a}{\epsilon_r (d-b) + b} + \frac{\epsilon_r (b-a)}{\epsilon_r (d-b) + a} + \frac{(d-b)}{d} \right] \dots \dots \dots (4)$$

따라서 그림 3에서 두께가 ΔZ인 전파흡수체의 등가유전율 ε_{eq}는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\epsilon_{eq} = \frac{C}{\epsilon_0 \Delta z} \dots \dots \dots (5)$$

또 등가투자율은 등가유전율을 구할 때와 같은 방법으로 합성인덕턴스 모델을 만들어 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C = \mu_0 \Delta z \left[\frac{\mu_r a}{\mu_r (d-b) + b} + \frac{\mu_r (b-a)}{\mu_r (d-a) + a} + \frac{(d-b)}{d} \right] \dots \dots \dots (6)$$

ΔZ의 두께를 가지는 전파흡수체의 등가투자율은 μ_{eq}는 다음 식으로 구할 수 있다⁸⁾⁻¹⁰⁾.

$$\mu_{eq} = \frac{L}{\mu_0 \Delta z} \dots \dots \dots (7)$$

Ⅲ. 시뮬레이션 결과 및 고찰

1. 전파흡수체의 특성

시뮬레이션에 사용한 전파흡수체는 십자돌기형 전파흡수체로 그 특성을 타일형, 그리드형과 함께 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 전파흡수체로서 성능을 발휘할 수 있는 20 dB의 반사감쇠량을 가지는 상한주파수는 타일형의 경우 370 MHz, 그리드형의 경우 870 MHz인데 비해, 십자돌기형의 경우 4,000 MHz로 광대역화되어 있음을 알 수 있다.

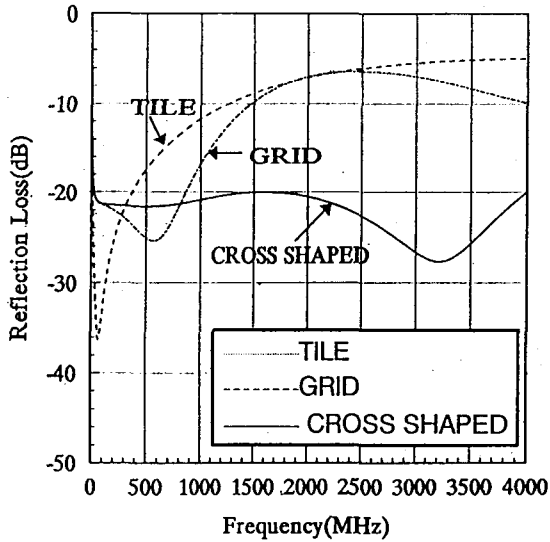


그림 4. 각종 전파흡수체의 전파흡수특성
Fig. 4. Reflectivity Frequency Characteristics of Some Electromagnetic Wave Absorbers.

2. Height Pattern

전파암실에서 송신안테나의 높이를 고정하고 수신안테나의 높이를 1 - 4 m 사이의 범위에서 이동하였을 때 전파암실에서 수신안테나는 송신안테나로부터의 직접파와 벽면으로부터의 반사파가 같이 수신된다. 즉, 직접파와 반사파의 합성파가 수신되는데 이는 송신안테나 높이를 일정하게 고정하고 수신안테나의 높이를 1 - 4 m의 범위에서 변화를 주었을 때 수신안테나 높이에 따라 변화한다. 이것을 하이트 패턴(Hight pattern)이라 한다. 송·수신안테나 사이의 거리를 3 m에 두고 수평편파이고 주파수가 200 MHz와 500 MHz일 때 오픈사이트와 전파암실에서 하이트 패턴을 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 주파수가 200 MHz 일 때 오픈 사이트와 전파암실의 하이트 패턴의 차이가 가장 크게 나타난 수신안테나의 높이는 1.4 m로 오픈 사이트의 감쇠량은 33.3 dB, 전파암실의 감쇠량이 29.4 dB로 그 차이는 3.9 dB이었다. 차이가 가장 작게 나타난 수신안테나의 높이는 3.1 m로 오픈 사이트의 감쇠량은 25.4 dB, 전파암실의 감쇠량은 25.4 dB로 차이가 없이 일치하였다. 또 500 MHz일 때 오픈 사이트와 전파암실과의 하이트 패턴의 차이가 가장

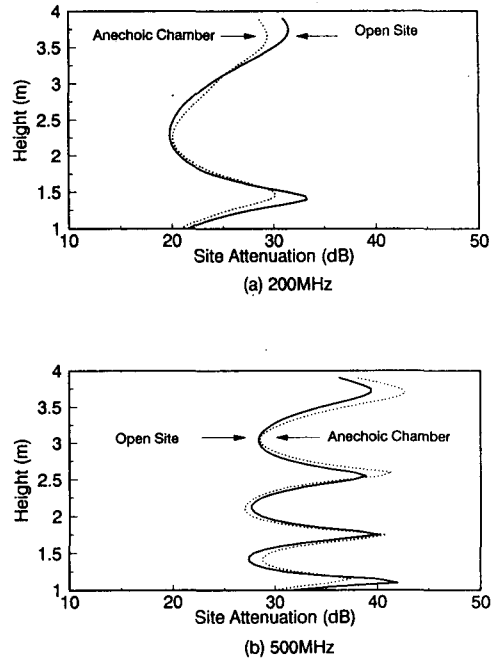


그림 5. 수평편파의 하이트 패턴
Fig. 5. Height Patterns for Horizontal Polarization.

크게 나타난 수신안테나의 높이는 1.1 m로 하이트 패턴은 각각 41.96 dB와 35.48 dB로 그 차이는 6.49 dB이었고, 하이트 패턴의 차이가 가장 작은 수신안테나의 높이는 3.05 m로 오픈 사이트의 하이트 패턴은 28.39 dB, 전파암실의 하이트 패턴은 28.5 dB로 그 차이는 0.11 dB이었다. 또 수직편파일 때의 하이트 패턴을 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 주파수가 200 MHz일 때 오픈 사이트와 전파암실의 하이트 패턴의 차이가 가장 크게 나타난 수신안테나의 높이는 3.9 m로 이 높이에서는 오픈 사이트의 감쇠량은 29.46 dB이었고 전파암실의 감쇠량은 25.78 dB로 그 차이는 3.68 dB이었다. 하이트 패턴의 차이가 가장 작게 나타난 수신안테나의 높이는 2.70 m로 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량은 각각 23.57 dB와 23.61 dB로 그 차이는 0.04 dB에 불과하였다. 또 500 MHz일 경우 수신안테나의 높이가 3.8 m일 때 오픈 사이트의 감쇠량은 37.0 dB이었다. 전파암실의 감쇠량은 43.61 dB로 그 차이는 6.61 dB로 하이트 패턴의 차

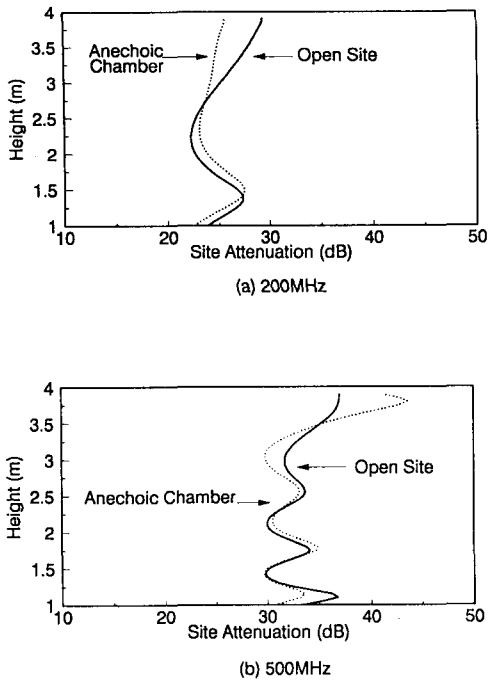


그림 6. 수직편파의 하이트 패턴
Fig. 6. Height Patterns for Vertical Polarization.

이가 가장 컸으며, 수신안테나 높이가 2,30 m일 때 오픈 사이트의 하이트 패턴은 31.27 dB, 전파암실의 하이트 패턴은 31.24 dB로 그 차이는 0.03 dB에 불과했다. 그림 4와 그림 5에서 수신안테나의 높이에 따른 하이트 패턴의 변화하는 모양은 오픈 사이트일 경우 그 변화하는 모양이 완만한 곡선을 이루고 있는데 비하여, 전파암실의 경우 부분적으로 찌그러지고 예리하게 변하고 있다. 이와 같이 오픈 사이트의 경우 주위가 개방되어 반사파의 영향을 받지 않으나 전파암실의 경우 벽면과 천장으로부터의 반사파가 완전히 흡수되지 못하여 그 영향을 받고 있기 때문이다. 한편 전파암실에서 안테나 높이를 변화시키면서 주파수별로 수평·수직편파일 경우의 이론적인 하이트 패턴을 구하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서와 같이 이론적인 하이트 패턴을 알고 있으면 전계강도 측정시 오차를 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

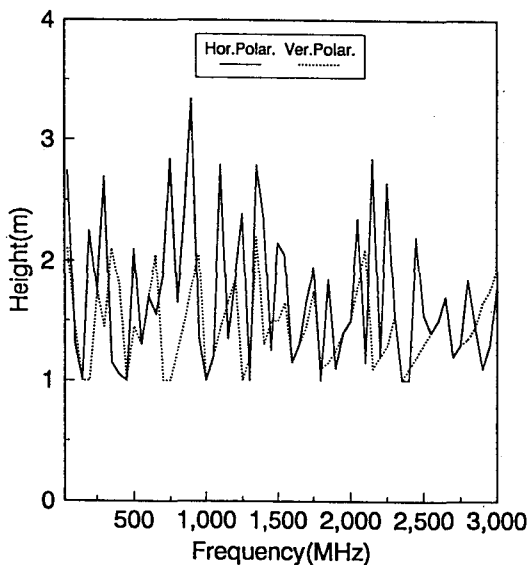


그림 7. 주파수에 따른 최대 수신점의 높이
Fig. 7. Height of Maximum Receiving Point according to Frequencies.

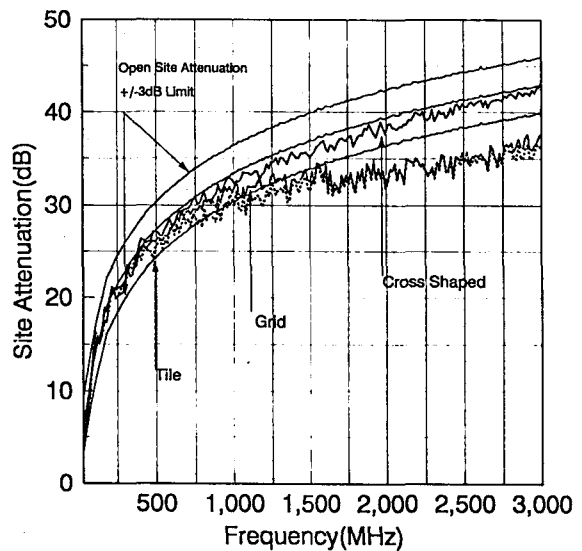


그림 8. 타일, 그리드, 돌기형흡수체의 수평편파 사이트 감쇠량
Fig. 8. Site Attenuation of Horizontal Polarization for Tile, Grid, and Cross-shaped Absorbers.

을 경우 수평편파에 대한 전파암실에서의 시험장 감쇠량을 오픈 사이트에 있어서의 감쇠량과 함께 그림 8에 나타내었다. 또한, 그림 8에서의 수평편파에 대한 오픈 사이트에서 시험장 감쇠량을 표로 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 수평편파에 대한 오픈 사이트와 전파암실의 시험장 감쇠량차

Table 1. Differences of Site Attenuations between Those of Open Test Area Site and Anechoic Chamber for Horizontal Polarization.

주파수 [MHz]	오픈 사이트 [dB]	전파암실 [dB]	감쇠량차 [dB]
30	6.16	4.04	2.13
40	7.22	5.02	2.21
50	8.32	6.90	1.42
60	9.44	9.11	0.34
70	10.52	10.57	0.04
80	10.54	11.72	0.17
90	12.49	12.94	0.45
100	13.36	14.06	0.7

표 1에서 30 MHz ~ 100 MHz 사이의 사이트 감쇠량차의 평균치는 0.74dB로 30 MHz부터 3,000 MHz까지 전 주파수의 범위에 걸쳐서 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량 차이의 평균치 0.84 dB보다 0.10 dB 정도 큰 것을 알 수 있다. 100 MHz 이하의 저 주파수대에서는 타일형이나 그리드형과 같이 오픈 사이트와의 감쇠량 차이가 크게 나타났다. 또 타일형의 경우 주파수가 760 MHz일 때 감쇠량은 27.95 dB이었고 이 때 오픈 사이트의 감쇠량은 31.36 dB로 ± 3 dB의 범위를 벗어났으며, 그리드형의 경우 주파수가 1,050 MHz일 때 오픈 사이트와 전파암실의 감쇠량 차이가 ± 3 dB의 범위를 벗어나서 수평편파일 경우 타일형과 그리드형의 상한 주파수는 각각 760 MHz와 1,050 MHz정도인데 비해 십자돌기형의 경우 상한 주파수는 3,000 MHz로 대역폭이 상당히 높아짐은 물론 주파수가 높을수록 오픈 사이트와의 차이가 타일형이나 그리드형에 비하여 작아짐을 알 수 있다.

한편, 수직편파의 경우 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량을 주파수별로 나타낸 것이 그림 9이

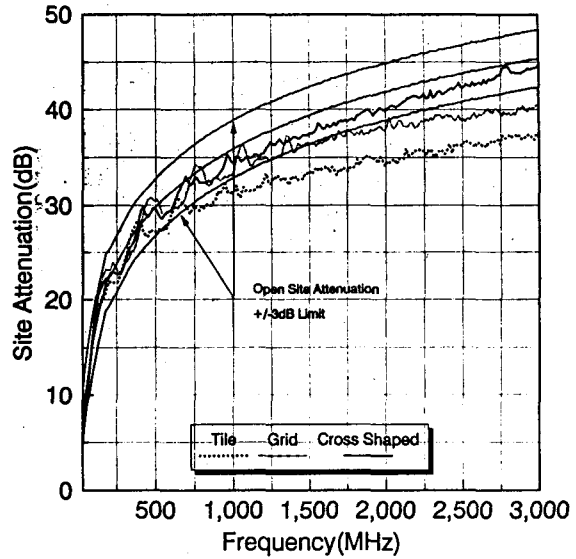


그림 9. 타일, 그리드, 돌기형흡수체의 수직편파 사이트 감쇠량

Fig. 9. Site Attenuation of Vertical Polarization for Tile, Grid, and Cross-Shaped Absorbers.

다. 그림 9에서 30 MHz로부터 100 MHz까지 10 MHz 간격으로 오픈 사이트 및 전파암실의 수직편파에 대한 감쇠량은 각각 표 2와 같다.

표 2에서 30 MHz ~ 100 MHz 사이의 사이트 감쇠량차의 평균치는 1.31 dB로 30 MHz부터 3,000 MHz 까지 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량 차이의 평균치인 1.10 dB 보다 0.21 dB 정도 큰 것을 알 수 있다. 또 타일형의 경우 주파수가 530 MHz일 때 감쇠량은 27.95 dB 이었고 이 때 오픈 사이트의 감쇠량은 31.36 dB로 ± 3 dB의 범위를 벗어났다. 그리드형의 경우 주파수가 1,185 MHz일 때 오픈 사이트와 전파암실의 감쇠량 차이가 ± 3 dB의 범위를 벗어나서 수직편파일 경우 타일형과 그리드형의 상한주파수는 각각 530 MHz와 1,100 MHz정도인데 비해 십자돌기형의 경우 상한 주파수는 수평편파의 경우와 같이 3,000 MHz로 대역폭이 상당히 높아짐은 물론 주파수가 높을수록 타일형이나 그리드형에 비하여 오픈 사이트와의 차이가 작아짐을 알 수 있다. 한편 30 MHz부터 3,000 MHz

표 2. 수직편파에 대한 오픈 사이트와 전파암실의 시험장 감쇠량차

Table 2. Differences of Site Attenuations between Those of Open Test Area Site and Anechoic Chamber for Vertical Polarization.

주파수 [MHz]	오픈 사이트 [dB]	전파암실 [dB]	감쇠량차 [dB]
30	7.46	4.85	2.61
40	9.23	6.88	2.35
50	10.59	8.80	1.89
60	11.77	10.42	1.35
70	12.87	12.05	0.82
80	13.92	13.63	1.28
90	14.91	15.21	0.30
100	15.84	16.75	0.91

까지 오픈 사이트와 전파암실에서의 시험장 감쇠량 차이를 수평, 수직편파에 대해 나타내면 그림 10과 같다.

그림 10에서 수평편파의 경우 전 주파수의 범위에 걸쳐서 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량 차이의 평균치는 0.85 dB 이었으며, 50 MHz 이하에서는 그 차이가 평균 1.95 dB로 전체 평균치보다 무려 2.5배 정도로 높게 나타나서 주파수가 낮을 때는 타일형이나 그리드형의 경우와 특성이 비슷함을 알 수 있다. 2,600 MHz부터 3,000 MHz까지는 평균 0.56 dB로 주파수가 높아 질수록 타일형이나 그리드형에 비하여 오픈 사이트의 특성에 가까워짐을 알 수 있다.

수직편파의 경우 전 주파수의 범위에 걸쳐서 오픈 사이트와 전파암실에서 감쇠량의 차이는 1.38 dB로 수평편파의 경우가 수직편파일 때보다도 오픈 사이트의 특성에 가까우며, 50 MHz 이하에서는 특성의 차이가 2.3 dB로 크게 나타나서 문헌^{11),12)}의 타일형이나 그리드형의 전파흡수체를 사용했을 때와 거의 비슷한 결과이었다. 따라서 전파암실에서 전파흡수체의 종류에 상관없이 수직편파는 수직편파보다도 오픈 사이트와의 감쇠량 변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 안테나가 수직방향으로 설치되고 수신안테나와 연결된 동축선을 비롯한 여러가지 전파 장애물과 안테나의 상호결합 현상이 수직편파의 경우보다도 크게 작용하기 때문이다.

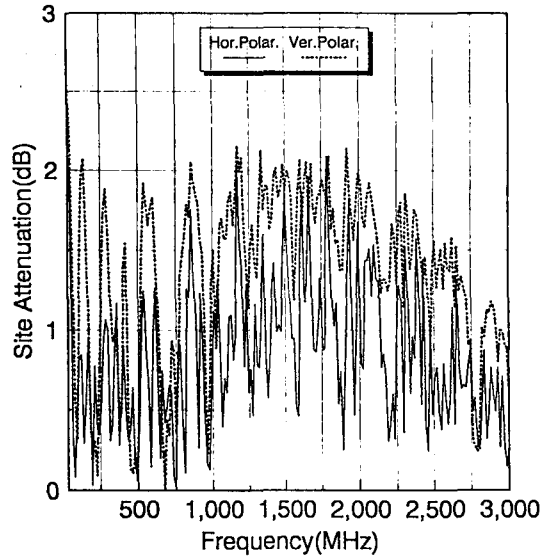


그림 10. 수평편파와 수직편파의 사이트 감쇠량 비교

Fig. 10. Comparison of Site Attenuations for Horizontal and Vertical Polarizations.

IV. 결 론

십자돌기형 전파흡수체를 사용하여 만든 전파암실의 특성을 평가한 결과 전파암실에서 수신안테나의 높이에 변화를 주어 측정한 하이트 패턴의 형상이 오픈 사이트에서 하이트 패턴의 형상과 잘 일치하였으며, 전파의 mode에 의한 변화도 유사함을 확인하였다. 또 전파암실에 타일형이나 그리드형의 전파흡수체를 적용했을 때 대폭 확대됨을 각각 500 MHz와 1,000 MHz 정도나, 십자돌기형의 경우 상한주파수가 3,000 MHz로 대폭 확대됨을 확인하였다. 따라서, 전파암실 또는 GTEM-Cell을 제작하거나 기타 EMC 대책용으로 십자돌기형의 전파흡수체가 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김동일, 전상엽, "광대역 페라이트 전파흡수체의 설계", 한국항해학회지 제9권 제3호, pp. 33~42, 1998. 6.

- [2] 長谷川伸, 杉浦行, 剛村滿春夫, 黒沼弘, 電磁波障害, pp. 136-179, 産業圖書, 1991.
- [3] 青水康敬, 杉浦行, 石野乾, 乾哲司, 電磁波の吸収と遮蔽, 日經技術圖書株式會社, pp. 27-548, 1989.
- [4] W. Scottbenn Eitt, "Comments on Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors", IEEE Trans. on EMC, Vol. EMC-2S, No.2, pp. 121-124, May 1983.
- [5] A. A. Smith, "Standard Site Method of Determining Antenna Factors", IEEE Trans. on EMC, Vol. EMC-24, No.3, pp. 316-322, Aug. 1982.
- [6] R. G. FitzGerrell, "Site Attenuation", IEEE Trans. on EMC, Vol. EMC-28, No.1, pp. 28-31, Feb. 1986.
- [7] A. A. Smith, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors", IEEE Trans. on EMC, Vol. EMC-24, No.3, pp. 301-316, Aug. 1982.
- [8] 김동일, 전상엽, 이창우, 정세모, "초광대역 특성을 갖는 정방향 기동구조의 전파흡수체의 설계법", 한국항해학회지, 제19권, 제2호, pp. 99-106, 1995. 5.
- [9] 内藤喜之, 情報電送入門, pp. 39-55, 沼光堂, 1976.
- [10] 전상엽, "초광대역 페라이트 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 박사학위논문, 한국해양대학교, 1997. 8.
- [11] 김동일, 김민석, "전파반무향실의 특성평가에 관한 연구 - 수평편파를 중심으로 -", 한국항해학회지 제19권 제1호, pp. 9 -16, 1995. 2.
- [12] 김동일, 정세모, 김민석, "전파반무향실의 특성평가에 관한연구 - 수직편파를 중심으로 -", 한국항해학회지, 제20권 제3호, pp. 107-116, 1996. 9.



김민석(Min-Seok Kim)
 1971년 2월 부산수산대학 어업학과(수산학사)
 1986년 2월 부산수산대학 대학원 수산물리학전공(수산학석사)
 1997년 2월 한국해양대학교 대학원 선박운항학전공(공학박사)
 1988년 8월~현재 : 부경대학교 수산과학대학 부교수

김동일(Dong Il Kim)
 1975년 2월 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사)
 1977년 2월 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)
 1984년 3월 일본 동경공업대학원 전기전자공학과(공학박사)
 1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 조교~부교수
 1993년 10월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수
 1990년 3월 10일 산학협동상 대상 수상
 1993년 12월 11일 한국전자파학회 학술상 수상
 1995년 4월 21일 과학기술진흥 대통령 표창 수상
 1998년 9월 30일 한국항해학회 우수논문상 수상
 * 주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

전상엽(Sang-Yup Jun)
 1982년 2월 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사)
 1992년 2월 한국해양대학교 대학원 선박 운항학 전공(공학석사)
 1997년 8월 한국해양대학교 해사수송과학부 교수
 * 주관심분야 : 전파흡수체, 항만선박운용 등



민경식(Kyung-Sik Min)
 1989년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1991년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 1996년 9월 : 동경공업대학 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사)

1993년 1월~1993년 9월 고등기술연구원 정보통신연구실 근무
 1996년 10월~1996년 3월 한국해양대학교 전파공학과 전임강사
 1994년~현재 한국해양대학교 전파공학과 조교수
 * 주관심분야 : 이동/위성통신용 평면안테나의 설계