

## 함정 탑재 V/UHF 안테나의 전계 특성 분석

Analysis of the Electric-field Characteristics  
of V/UHF Antennas Installed on a Shipboard

**이진호\***                      **권준혁\***                      **송기환\***  
Lee, Jin-Ho                      Kwon, Joon-Hyuck                      Song, Ki-Hwan

### ABSTRACT

Analysis of the electromagnetic environment on topside of a ship is needed for optimal arrangement of all kinds of antennas to be installed on the shipboard in order to minimize the probability of EMI of equipment and subsystems in real ship after construction phase.

In this paper we analyze the characteristics of electric-fields such as radiation patterns and near E-fields of V/UHF antennas installed on a shipboard. We compare simulated results with measurements on the real ship for near E-fields to verify the reliability of the computed electromagnetic environment. Although there are various factors causing errors such as cable loss and impedance mismatching etc. when measuring near E-field, both data show similar trends in the range of the acceptable tolerance.

주요기술용어(주제어) : ElectroMagnetic Interference(EMI, 전자기간섭), ElectroMagnetic RADiation HAZards (EMRADHAZ, 전자기 복사위해도), Ship Electromagnetic Design Framework(ShipEDF, 함정 전자기 설계 프레임 소프트웨어)

### 1. 머리말

최근 함정 무기체계는 전장 환경의 변화 및 통신/네트워크 기술, 레이더 기술의 발전에 따라 광역감시 및 정밀타격 등의 임무를 수행하기 위해 최첨단 통신/레이더 및 센서들을 탑재하고 있다. 하지만, 이러한 RF/MW 장비들의 증가는 함정 탑재 장비/부체계 상호간에 예상치 못한 EMI를 발생시켜 오동작을 일으키거나 민감한 장비/부체계의 손상을 초래하여 전투력

을 저하시킬 수 있다. 장비/부체계간 EMI 영향성 최소화화를 위해서는 함정 무기체계에 대한 EMC 통제가 이루어져야 하고, 이를 위해 전자파환경 분석은 함정의 기본 설계단계에서부터 필수적으로 수행되어야만 한다. 특히, 함정 상갑판은 구조가 복잡하고 탑재 통신기/레이더/센서 등 많은 RF/MW 장비들(전자파간섭원)이 배치되어 있어 전자파환경 분석이 수행되지 않는다면 적절한 EMC 통제가 어려울 뿐만 아니라 함정 건조 후 설계 변경에 따른 경제적 부담도 증가할 수가 있다<sup>[1]</sup>.

함정 상갑판의 주파수 영역에 대한 전자파환경 분석은 저주파 분석방법과 고주파 분석방법으로 나누어 수행된다.

† 2008년 9월 4일 접수~2008년 11월 14일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : jhlee75@add.re.kr

일반적으로 저주파 대역은 HF/VHF/UHF 대역 (~500MHz)을 의미하고 전자파환경 분석을 위해 모멘트법(MOM : Method of Moment)이 적용된다. 고주파 대역은 UHF(500MHz이상)/레이다 대역을 의미하고 전자파환경 분석을 위해 PO(Physical Optics), PTD(Physical Theory of Diffraction), GO(Geometrical Optics), GTD(Geometry Theory of Diffraction) 등 레이추적(Ray Tracing)법을 적용한다. 합정의 전자파환경 분석 영역은 원거리 전계특성과 근거리 전계특성 분석으로 구분할 수 있으며, 원거리 전계특성은 안테나 복사패턴(Radiation Pattern) 근거리 전계특성은 전자기 복사위해도(EMRADHAZ), RF Burn, 통신기/레이다 EMC 성능 등이 있다. 이 중에서 전자기 복사위해도는 통신기나 레이다로부터 복사되는 전자파가 인체(HERP), 병기(HERO), 연료(HERF), 장비(HERE)에 미치는 영향성을 분석하는 것이다. RF Burn은 전자파에 의해 금속 구조물에 전류가 유기되어 흐를 때, 금속 구조물에 신체 접촉시 인체에 미치는 영향성 분석이고, 통신기/레이다간 EMC 성능은 통신기/레이다들의 안테나 상호 결합량(Antenna Coupling)과 송신전력, 수신감도, IF 필터 성능 등 통신기/레이다 장비의 특성과 연동하여 EMI 여유치(Margin)를 도출하고 EMC 성능을 분석하는 것이다.

본 논문은 합정에 탑재된 V/UHF 안테나의 복사패턴 및 근거리 전계 특성을 분석하기 위해 합정 및 기동 무기체계에 대한 전자파환경 분석용 소프트웨어인 ShipEDF 이용하여 합정을 모델링하고 시뮬레이션 하였으며 실험에서의 근거리 전계 특성 측정값과 비교함으로써 분석 결과의 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 저주파 분석기법(MOM)

ShipEDF는 V/UHF 안테나의 전자파환경 분석을 위해 주파수영역 분석방법인 모멘트법(MOM)을 적용한다<sup>[2]</sup>. 모멘트법은 안테나 문제와 물체의 산란에 대한 문제를 해석하기 위한 기본적인 수치해석으로써, 맥스웰(Maxwell) 방정식으로부터 유도되며, 맥스웰방정식을 미소방정식으로 나타내면 식 (1)~식 (4)와 같다.

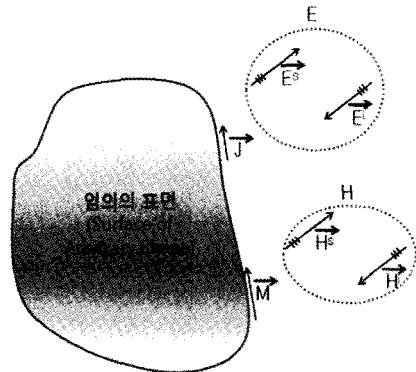
$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \vec{B} \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega \vec{D} \quad (4)$$

모멘트법을 수학적으로 표현하기 위해서 자유공간에 위치한 물체 표면에 흐르는 전류와 필드와의 개념도와 식은 그림 1과 식 (5), (6)에 각각 나타내었다. 합정 무기체계와 같은 도체를 해석하기 위해서는 합정 구조물을 완전도체(PEC)라고 가정하고 경계조건을 적용하여 전계(E)와 자계(H)를 구한다.



[그림 1] 물체 표면에 흐르는 전류 및 필드 표현

$$\vec{M} = \vec{E} \times \hat{n} \quad (5)$$

$$\vec{J} = \hat{n} \times \vec{H} \quad (6)$$

모멘트법의 물체 표면에 흐르는 전류와 필드와의 관계식에서 EFIE(Electric Field Integral Equation)를 적용하고 이를 푸리에 변환과정을 거쳐 행렬식으로 표현하면 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$[Z]_{MN} [I]_N = [V]_N \quad (7)$$

위의 각 행렬을 기본함수( $\vec{f}_i$ , Basis Function)와 테

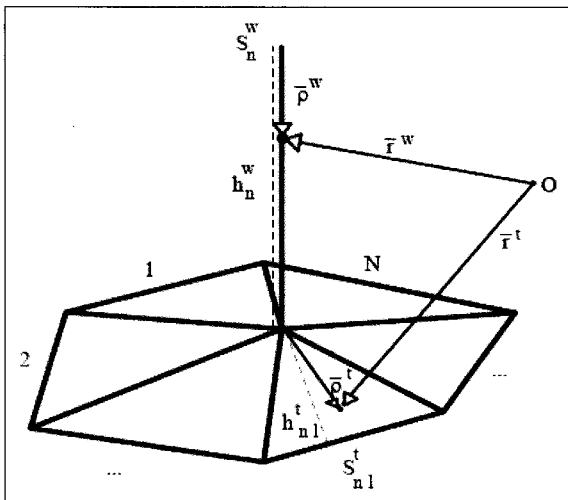
스트함수( $\vec{w}_j$ , Test Function)로 표현하면 식 (8)~식 (10)으로 나타낸다.

$$[Z]_{N \times N} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \langle \vec{w}_j, \zeta(\vec{f}_i) \rangle \quad (8)$$

$$[J]_N = \sum_{i=1}^N a_i \quad (9)$$

$$[V]_N = - \sum_{j=1}^N \langle \vec{w}_j, E_i^t \rangle \quad (10)$$

노플, 다이폴과 같은 와이어 안테나 형태인 합정용 V/UHF 안테나는 선으로 모델링하고, 합정 선체 표면은 삼각형들로 표현한다. 선과 삼각형에 대해 수학적 표현의 기본함수는 Piece-wise Linear와 RWG(Rio-Wilton-Glisson)를 적용하고, 선과 면이 접촉부는 식 (11)과 (12)가 이용한다.



[그림 2] 선과 면의 접촉부에 대한 기본함수 개념도

$$f_n(\vec{r}^w) = \frac{\vec{\rho}^w}{h_n^w} \quad (11)$$

$$f_{nm}(\vec{r}^t) = k_{nl} \left[ 1 - \frac{(h_{nl}^t)^2}{(\vec{\rho}^t \cdot h_{nl}^t)^2} \right] \frac{\vec{\rho}^t}{h_{nl}^t} \quad (12)$$

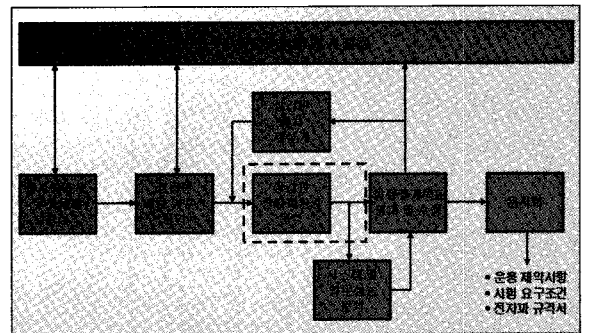
테스트 함수는 기본함수와 동일한 함수를 사용하는 Galerkin 방법을 이용하였다

$$\vec{w}_n = \vec{f}_n \quad (13)$$

### 3. 합정 상감판 전자파환경 분석

#### 가. 합정 전자파환경 분석 적용절차

합정 설계과정 중의 전자파환경 분석은 합정 상감판에 탑재되는 통신기/레이다/센서/병기 등의 장비 설계 배치에 중대한 영향을 미친다. 합정 무기체계의 EMC 설계 목표치 달성을 위해서는 탑재 장비의 다양한 배치 조건 상태에 대한 전자파환경 분석을 통해 EMI 영향이 최소화되는 배치 설계를 해야 한다. 그림 3은 합정 설계 과정에서 적용되는 전자파환경 분석 적용단계를 설명하고 있다<sup>[3]</sup>.



[그림 3] 합정 설계과정의 전자파환경 분석 적용단계

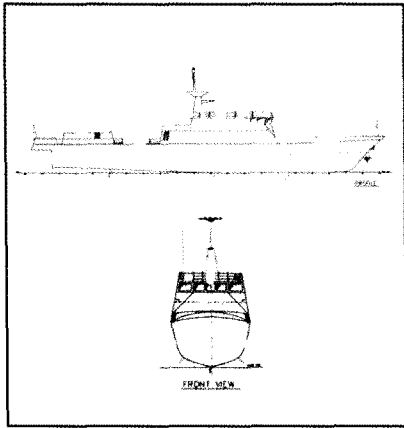
합정 무기체계 목표 성능을 위해 선정된 RF/MW 장비는 합정 상감판 배치 기준선 정의와 함께 전자파환경 분석이 수행이 이루어진다. 전자파환경 분석 결과는 합정 설계 목표와 시스템 및 임무성능을 비교/평가 후, 기준 미달 시 장비 상감판 재배치와 전자파환경을 재분석하게 되고, 기준 만족 시 운용제약사항, 시험요구조건, 전자파 규격서 등을 문서화하게 된다.

합정 상감판에 탑재된 통신기/레이다 안테나로부터 복사되는 전자파환경에 대한 분석은 안테나 및 탑재 장비의 위치를 알 수 있는 합정 3D CAD와 통신기/레이다의 안테나 및 송·수신기에 대한 데이터 정보

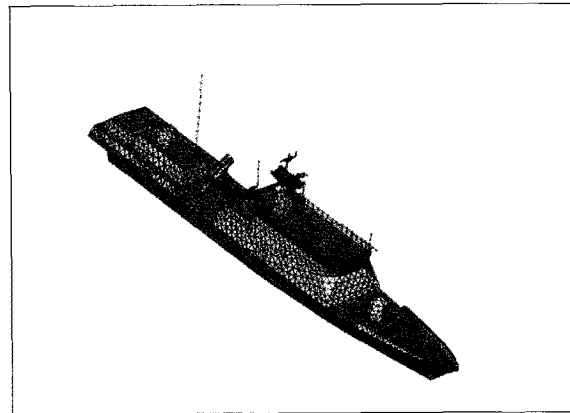
가 연동되어 수행된다. 그림 4는 3D 형상화 전의 2D 함정 도면을 보여주고 있고, 각 장비들의 탑재 위치 정보를 포함하고 있다. 그림 4의 2D 도면은 3D CAD 모델로 형상화하는 작업이 수행되며, 3D로 형상화된 CAD 파일은 다시 전자파환경 분석 조건에 맞도록 함정 구조물, 접촉면, 접촉라인 등에 대한 최적화 모델링 재작업이 이루어진다. 그림 5는 안테나 모델과 연동을 위해 필요한 통신기/레이다의 안테나 및 송·수신기 특성 목록을 나타내고 있다. 이 목록에는 안테나 형상 및 방사패턴, 송·수신기의 전력, 운용주파수, 민감도, 하모닉, IF 필터 특성 등이 포함된다.

나. 함정 탑재 V/UHF 안테나 분석  
V/UHF 통신기에 대한 함정 상갑판 전자파환경 분석을 위해서는 최적화된 함정 모델을 만들고, 분석 주파수 대역별 함정 메쉬(Mesh) 모델을 생성해야 한다<sup>[4]</sup>. 함정 메쉬 모델에 적용되는 선 및 삼각 패치의 길이는 일반적으로 분석 주파수에서  $\lambda/100 \sim \lambda/10$ 로 설정한다.

그림 6은 함정 선체와 V/UHF 안테나 모델이 서로 전자기적 방식으로 연결되어 적절한 메쉬가 적용되어 있는 모습이다. 안테나, 함정 전자기 모델은 분석주파수에서  $\lambda/10$ 의 길이로 구획이 나뉘어져 있고, 선과 면의 접촉부분은 그림 2와 같이 삼각형과 선의 꼭지점에 서로 일치하도록 모델링이 적용되었다.



[그림 4] 함정 2D 도면



[그림 6] 함정 전자파환경 분석을 위한 함정 메쉬 모델

Transmitter Identification
Tx Max Power (dBm)
Tx Max Frequency (MHz)
Tx Min Frequency (MHz)
Power (dBm)
Pulse Repetition Freq (Hz)
C, M, or Pulsed Emission
Antenna Name ID
Ant Type: L, R, S or C
Ant Manoeuvre Gain (dB)
Ant hor. Dia. and elev. Dia. (m)
Ant Radiation: V, H, S or C
Ant Pattern: Frequency (degrees)
Azimuth 1/3 dB Angle
Azimuth Sidelobe Angle
Ant AC Slope Reduction (dB)
Azimuth 2/3 dB Reduction (dB)
Elevation 1/3 dB Angle
Elevation Sidelobe Angle
Ant EL Slope Reduction (dB)
Elevation 2/3 dB Reduction (dB)
1/2 waveguide (impedance)
Rescaling Code
Tri 2 waveguide Reduction (dB)
Tri 3 waveguide Reduction (dB)
Tri 4 waveguide Reduction (dB)
Tri 5 waveguide Reduction (dB)
Ant Azimuth Elevation 1/4 m vs. Hz
Ant hor. 1/4 Rescaling Angle
Ant Azimuth Elevation Angle
Scale Angle direction
0.5 gainwidth

(a) 송신기 데이터목록

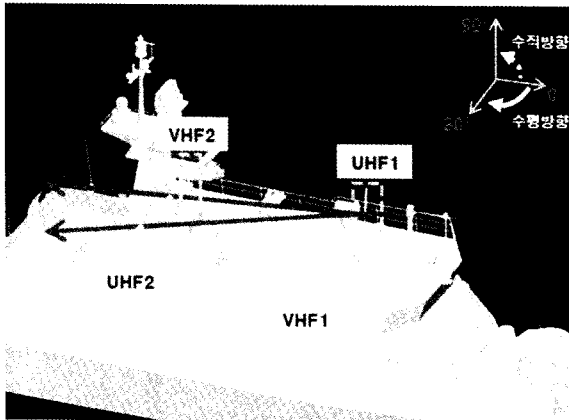
Receiver Identification
Rx Sensitivity (dBm)
Rx Max Frequency (MHz)
Rx Min Frequency (MHz)
Scale Width (dB)
Scale Repetition Freq (Hz)
C, M, or Pulsed Emission
Antenna Name ID
Ant Type: L, R, S or C
Ant Manoeuvre Gain (dB)
Ant hor. Dia. and elev. Dia. (m)
Ant Radiation: V, H, S or C
Ant Pattern: Frequency (degrees)
Azimuth 1/3 dB Angle
Azimuth Sidelobe Angle
Ant AC Slope Reduction (dB)
Azimuth 2/3 dB Reduction (dB)
Elevation 1/3 dB Angle
Elevation Sidelobe Angle
Ant EL Slope Reduction (dB)
Elevation 2/3 dB Reduction (dB)
Scalewidth (impedance)
Rescaling Code
Minimum Desired Signal (dBm)
Spurious Code
Spurious Peak (dBm)
Power to noise level (dB)
Ant Azimuth Elevation 1/4 m vs. Hz
Ant hor. 1/4 Rescaling Angle
Ant Azimuth Elevation Angle
Ant Elevation Elevation Angle
0.5 Bandwidth

(b) 수신기 데이터목록

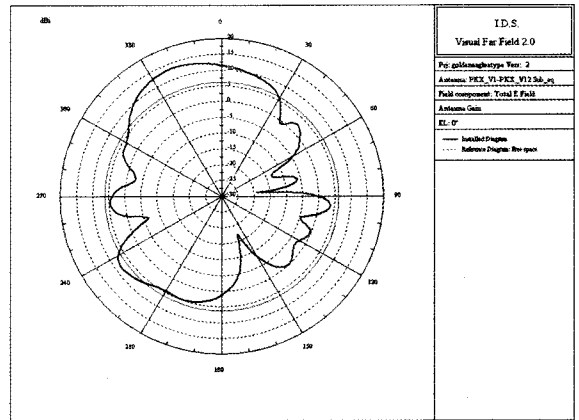
[그림 5] 안테나 및 송·수신기 특성 목록

본 논문은 그림 7과 같은 함정 상갑판에 탑재되어 있는 V/UHF 안테나의 복사패턴 및 근거리 전계 특성을 분석하였다<sup>[5]</sup>. 안테나 복사패턴은 근거리 전계값의 조합에 의해 이루어지므로 분석방법 및 분석기술의 신뢰성은 분석 및 측정 환경조건에 민감한 특성 변화를 보이는 근거리 전계 특성에 대한 분석결과를 실험 측정결과와 비교함으로써 입증하였다.

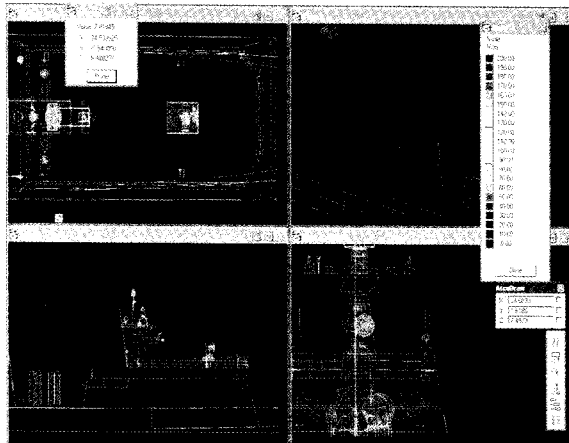
그림 7에서 기준각도 0°는 함수 방향이고 수평, 수직각도는 함수에서 시계 방향과 함수에서 함정의 마스터 방향으로 갈수록 증가한다. V/UHF 안테나들은 수직으로 94° 기울어져 있고 그림 8의 직사각형으로 표시된 위치에서 근거리 전계 특성의 분석과 측정이 수행되었다.



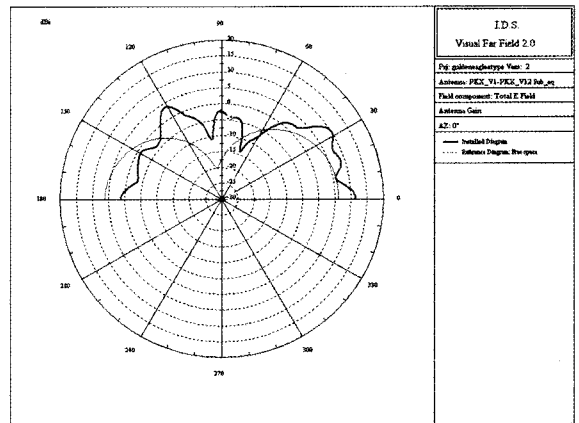
[그림 7] 합정 CAD 모델(UHF1 안테나)



(a) 수평패턴(수직 0°)



[그림 8] 근거리 전계특성 분석 및 측정 위치



(b) 수직패턴(수평 0°)

[그림 9] VHF2 안테나 복사패턴

송신출력 60W인 VHF2/UHF1 안테나에 대한 복사패턴 분석결과는 그림 9, 그림 10과 같다.

그림 9와 그림 10의 분석결과는 합정 탑재 시의 복사패턴(실선)이 자유 공간(점선)에서의 복사패턴보다 왜곡 현상이 크게 나타남을 보여주며, 이것은 합정 구조물로 인한 전자파 산란으로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 또한, 주파수가 증가할수록 파장이 짧아짐으로 UHF1 안테나 복사패턴(그림 10)이 VHF2 안테나 복사패턴(그림 9)보다 왜곡이 심하게 나타남을 알 수 있다. 그림 7을 볼 때, VHF2 안테나는 90° 부근에서 마스터가 위치하고 있고 마스터의 폭을 고려했을 때 30°~150° 근처에서 복사패턴이 마스터에 의해 가려지고, UHF1 안테나는 150°~170°에서 가려

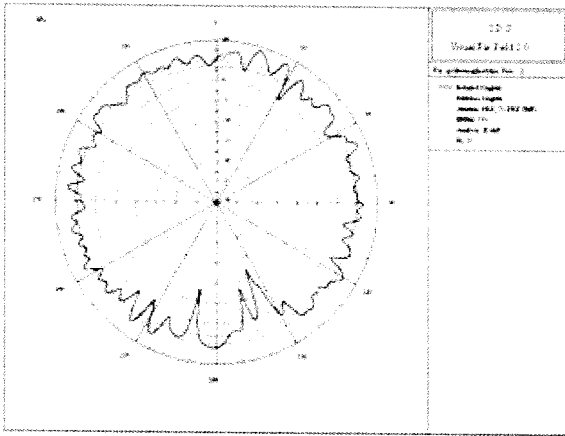
짐으로 이 각도 구간에서 합정 탑재시가 자유공간에서보다 안테나 이득이 적게 나타난다.

근거리 전계는 전자기적 복사구조가 매우 복잡하여 모멘트법과 같은 수치해석 방법으로는 분석가능하며, 근거리 조건식은 식 (14)와 같다.

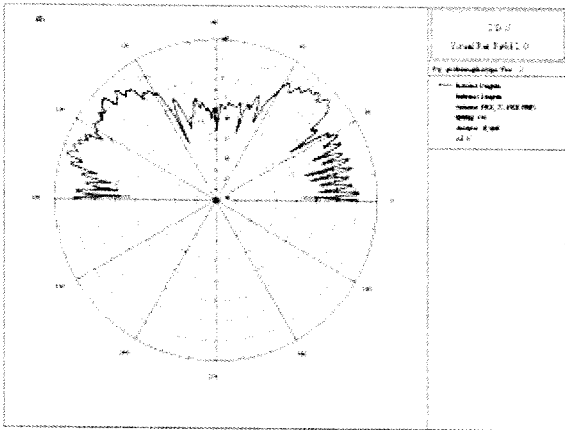
$$r < 2D^2/\lambda \tag{14}$$

그렇지만, 합정 상감판에서의 전자파환경 분석 시 합정 내에서 발생하는 모든 전계값은 근거리 조건으로 설정하는 것이 일반적이다<sup>[6]</sup>.

근거리 전계 분석 및 측정에는 3축( $E_x, E_y, E_z$ )의 합계인  $E_{tot}$ 로 나타나며, 측정 전계값은 6분 동안의 측

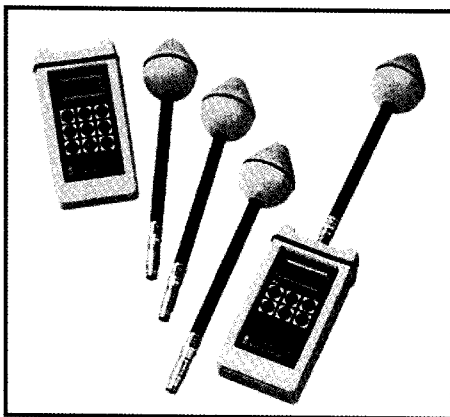


(a) 수평 패턴(수직 0°)



(b) 수직패턴(수평 0°)

[그림 10] UHF1 안테나 복사패턴



[그림 11] 측정장비(EMR-300)

정값 중 최고치를 기록하여 분석 전계 최고치와 비교하였다. 측정장비는 그림 11에 있는 Narda사의 EMR-300를 이용하였고 100kHz~3GHz 주파수 대역 측정이 가능한 Type 8 센서를 사용하였다.

각 안테나들에 대한 주파수별 분석 및 측정값은 표 1, 표 2에서 비교하였고, VHF1 50MHz, UHF2 295 MHz를 제외한 분석값과 측정값은 약  $\pm 3\text{dBV/m}$ ( $\pm 1.4$  배)의 허용 오차범위 안에 있고 그래프로 표현 시 서로 비슷한 곡선 경향을 나타냄을 확인 할 수 있다. 분

[표 1] VHF 통신기 결과비교

주파수	크 기	VHF1 (송신전력 : 50W)		VHF2 (송신전력 : 50W)	
		분석값 (dBV/m)	측정값 (dBV/m)	분석값 (dBV/m)	측정값 (dBV/m)
A MHz		10.6	12.2	11.7	11.1
B MHz		12.6	13.4	6.3	9.2
C MHz		13.4	11.3	8.7	8.7
D MHz		13.4	6.4	11.9	11.7
E MHz		11.5	9.6	12.1	12.8
F MHz		12.7	9.6	9.9	12.5
G MHz		12.8	9.5	9.9	10.9
H MHz		12.5	10	9.8	10.5
I MHz		11.1	8.3	9	9

[표 2] UHF 통신기 결과비교

주파수	크 기	UHF1 (송신전력 : 60W)		UHF2 (송신전력 : 60W)	
		분석값 (dBV/m)	측정값 (dBV/m)	분석값 (dBV/m)	측정값 (dBV/m)
J MHz		11.3	9	11.1	9.2
K MHz		12	9	11.3	10.3
L MHz		12.6	11.5	10.4	5.1
M MHz		10.8	9.3	11.9	11.5
N MHz		10	9.5	10.6	9.4

석값과 측정값의 차이는 분석/측정 위치 오차, 합정 모델링 구조물의 간단화, 케이블 손실, 케이블/안테나 임피던스 매칭 오차 등으로 인해 발생하는 것으로 판단된다.

#### 4. 맺음말

합정 상감판에 대한 통신기 및 레이더 안테나의 전자파환경 분석은 합정의 기본설계단계에서부터 필수적으로 수행되어야 하는 중요한 기술이다. 본 논문에서는 실함을 모델함으로 선정하여 V/UHF 안테나의 복사패턴과 근거리 전계특성을 분석하였고 분석/측정 조건에 따라 민감한 변화를 보이는 근거리 전계 특성 분석 결과를 실함 측정결과와 비교하였다. 측정/분석 위치의 오차, 합정 모델링 구조물의 간단화, 케이블 손실, 케이블/안테나 임피던스 매칭 차이 등 여러 가지 오차요인이 있음에도 불구하고 서로 유사한 비교 결과를 나타냈으며 두 값이 약  $\pm 3\text{dBV/m}$  ( $\pm 1.4$ 배)의 허용 오차범위 안에 분포하였다. 근거리 전계 특성값 비교로부터 복사패턴은 향후 고주파 대역(500MHz 이상)의 레이더에 대한 합정 상감판 전자파환경 분석 연구가 계속되어야 하고 이 연구가 완료되면 합정 및 기동 무기체계에 대한 전 주파수 대역의 전자파환경 분석/예측이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. W. Rockway, Douglas W. Du Brul, "Performance Prediction Analysis for Shipboard Antenna System", Naval Engineers Journal, 1997.
- [2] C. A. Balanis, "Advanced Engineering Electromagnetics", Wiley & Sons, 1989.
- [3] Harlow M., John W., Gerald R., John A., "Electromagnetic Engineering in Ship Design", Navel Design Ship Setting Course for the 21th Century, 1992.
- [4] EMSurfer-User's Manual, "Electromagnetic Surface Paver", Ingegneria Dei Sistemi S.p.A, 2006.
- [5] ShipEDF v.5.2-User's Manual, "ShipEDF Framework EME Section(V/UHF Band)", Ingegneria Dei Sistemi S.p.A, 2006.
- [6] IEEE Standard C95.1, "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz", 1999.