

수상함 MIL-SATCOM과 ES간의 전자기 간섭 개선을 위한 EMI 차폐판 최적설계 연구

장호성^{*,1)} · 함영훈¹⁾ · 조관준²⁾

¹⁾ 국방기술품질원 부산센터

²⁾ 국방기술품질원 국방신뢰성팀

A Study on EMI Shield Optimization for Improvement of EMI between MIL-SATCOM and ES on a Surface Ship

Hoseong Chang^{*,1)} · Younghoon Ham¹⁾ · Kwanjun Jo²⁾

¹⁾ Busan Center, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

²⁾ RAM Team, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

(Received 13 June 2016 / Revised 21 October 2016 / Accepted 6 January 2017)

ABSTRACT

During the sea trial test, we discovered EMI(Electromagnetic Interference) between MIL-SATCOM parabolic antenna and ES(Electronic Warfare Support) omni antenna. Emitted side lobe of CW(Continuous Wave) from MIL-SATCOM raises the threshold level of ES omni antenna. Therefore detection rate of ES is decreased. To solve this problem, the path of side lobe of CW from MIL-SATCOM should be blocked using EMI shield. This paper presents the method how to calculate the size of EMI shield, material, and optimized deployment. The test of the EMI shield effect was performed on a surface ship. After installing EMI shield, EMI has been decreased significantly. This paper will provide a method how to design EMI shield and a way to verify the result.

Key Words : EMI(Electromagnetic Interference, 전자기 간섭), EMI Shield(EMI 차폐판), MIL-SATCOM(군위성통신체계), ES(Electronic Warfare Support, 전자전 장비), CW(Continuous Wave, 지속파), Side Lobe(부엽)

1. 서론

함정에 탑재되는 통신장비들은 장비 성능에 따라 전자기 간섭 최소화 위치에 배치된다. 그러나 협소한 공

간 내 고출력 및 고감도 통신장비의 밀집, 장비간 주파수 대역 간섭, 구조물로 인한 반사파 등 다양한 원인으로 인하여 전자기 간섭이 발생하게 된다¹⁾.

함정의 MIL-SATCOM은 해상에서 무궁화 위성과 전파 신호를 송수신하여 군 작전 수행을 위한 음성 및 데이터를 교환하는 통신체계이다. 36,000 km 상공에 위치한 무궁화 위성과 송수신하기 위해 고출력, 고주

* Corresponding author, E-mail: hschang@daq.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

과수(GHz 대역)를 사용하며, 지향성이 좋은 파라볼릭 안테나를 통해 위성을 추적한다^{2,3}. 위성통신 안테나의 빔폭은 좁고 에너지 밀도가 높으며 고지향성을 띄고 있어 주변 안테나와의 전자기 간섭을 최소화 할 수 있는 위치에 배치한다.

ES는 함정의 전술적인 임무 지원을 위한 체계로 함정을 공격하는 대함 미사일, 대함 레이더의 펄스폭, 펄스간격, 주파수, 스캔 특성 등을 신속하게 탐지, 분석 및 식별하여 운용자에게 경보하는 전자전 지원 임무를 수행한다. 수신단은 전방향 수신 안테나(ES omni), 방향 탐지 안테나(ES Direction Finding)로 구성되며 음영구역 최소화를 위해 마스트 상부에 설치된다⁴. 본 연구는 수상함 상부 갑판에서 발생한 MIL-SATCOM과 전방향 수신 안테나인 ES omni 안테나 간의 전자기 간섭을 대상으로 하였다.

수상함에서 발생하는 전자기 간섭은 안테나 절체, 전자기 간섭 발생 장비의 동시운용 금지, 안테나 설치 높이가 변경, 안테나 재배치 등을 통해 개선될 수 있다. 그러나 MIL-SATCOM은 이중화배치 되지 않으므로 절체가 불가능하며 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나의 동시운용을 제한하는 것은 함정 임무를 고려할 때 근본적인 대책이 될 수 없다. 또한 설계 초기단계에서 여러 전파 환경을 분석하여 이미 배치된 통신장비를 재배치하는 것은 많은 제한사항이 따르며 다른 통신장비간의 전자기 간섭을 초래할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전자기 간섭 원인을 분석하여 개선을 위한 대책으로 EMI 차폐판을 제시하였다. 함정 운용 중 EMI 차폐판에서 발생하는 응력과 불요파 반사를 위한 기하학적 조건, 차폐율, 중량 및 인장강도를 고려하여 EMI 차폐판 재질, 두께, 최적 크기를 도출하였으며 이에 대한 실선 시험을 수행하여 차폐판의 전자기 간섭 개선효과를 알아보려고 하였다.

2. 전자기 간섭 개선 대책

Fig. 1은 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나의 배치, MIL-SATCOM의 주엽, 부엽 및 후엽을 나타내었다.

본 연구의 경우, 전자기 간섭은 MIL-SATCOM으로부터 방사되는 CW의 부엽이 ES omni 안테나와 간섭되어 발생하였다. 이때, MIL-SATCOM의 CW 신호가 잡음으로 작용하여 ES omni 안테나 수신단의 문턱 레벨을 높임에 따라 ES omni 안테나의 정상적인 레이더

신호 탐지가 이루어지지 않았다. 이러한 전자기 간섭 개선은 간섭 안테나의 위치 조정과 간섭 유발 안테나의 부엽 및 후엽과 같은 불요파 송신 억제를 통하여 이루어질 수 있다.

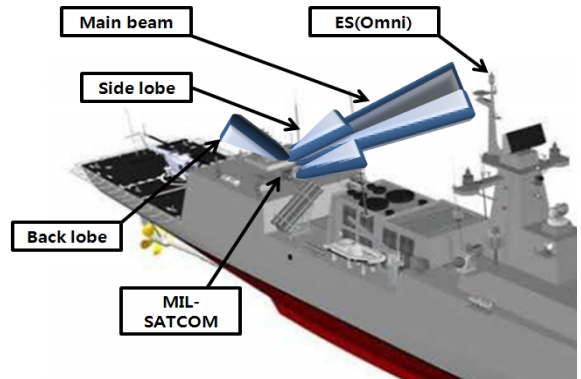


Fig. 1. EMI between MIL-SATCOM and ES omni

전자기 간섭 발생 안테나 간 이격거리는 원거리 조건을 만족하므로 식 (1)과 같이 Friis 전송 방정식에 따라 안테나 상호 결합량을 계산하여 ES omni 안테나의 위치 조정에 따른 전자기 간섭 완화 효과를 검증하였다. ES omni 안테나의 설치 높이를 증가시켜 안테나 상호 결합량 감소를 유도한다. 여기서, f 는 MIL-SATCOM 송신 주파수, G_T 는 송신 안테나의 이득, G_R 는 수신 안테나의 이득, c 는 빛의 속도, d 는 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나 간 이격 거리이다^{5,6}.

$$\text{Ant.Coupling} = 10 \log_{10} \left[G_T G_R \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \right] \quad (1)$$

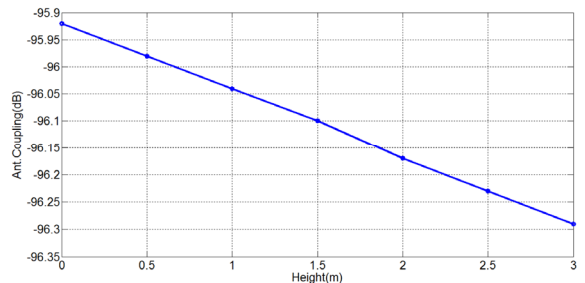


Fig. 2. Value of antenna coupling for ES omni height

Fig. 2는 식 (1)에 따라 계산된 ES omni 안테나 설치 높이별 안테나 상호 결합량이다. ES omni 안테나의 설

치 높이를 증가시킬수록 d가 증가하며 안테나 상호 결합량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 설치위치를 3 m 높였을 경우와 최초 상태의 안테나 상호 결합량을 비교할 때, 변화율이 약 0.38 %로 효과적이지 않다.

따라서 ES omni 안테나로 유입되는 불요파 수신 억제를 위해 MIL-SATCOM이 ES omni 안테나를 지향하는 경로에 EMI 차폐판을 설치하여 전자기 간섭 개선을 유도한다. 함정의 최초 설계에 미치는 영향성이 적으므로 효과적인 대책이라고 할 수 있지만, 그 효과성을 최대로 하기 위해서는 EMI 차폐판 재질, 두께, 크기 등의 최적 설계값 도출이 반드시 수반되어야 한다.

3. EMI 차폐판 최적 설계값 도출

3.1 EMI 차폐판 재질 선정

EMI 차폐판 재질은 MIL-SATCOM에서 방사되는 고주파 대역의 빔을 차단해야 하므로 도전율이 높아야 한다. Table 1은 EMI 차폐판 선정대상에 대한 구리 기준의 상대도전율(σ_r)과 상대투자율(μ_r)을 나타내었다. 재질별 물성치를 바탕으로 Schelkunoff 이론을 적용하여 전도체의 차폐효과를 예측하였다⁷⁾.

Table 1. Characteristic of conductor

Material	Conductivity ($\sigma_r / (\sigma)$)	Permeability (μ_r) above GHz
Copper	1 / (5.80×10 ⁷)	≃ 1
Iron	0.17 / (1.03×10 ⁷)	
Aluminum (6061-T6)	0.61 / (3.54×10 ⁷)	
Galvanized steel(Zinc)	0.18 / (1.06×10 ⁷)	
STS316	0.017 / (1.03×10 ⁶)	

식 (2)는 차폐율 계산식이다. 여기서, SE_{dB}는 고주파에 대한 차폐율, A_{dB}는 흡수손실, R_{dB}는 반사손실, B_{dB}는 다중반사손실이다.

$$SE_{dB} = A_{dB} + R_{dB} + B_{dB} \quad (2)$$

MIL-SATCOM은 GHz 대역에서 운용되며 차폐 물질이 도체이므로 A_{dB}, R_{dB}에 비해 현저히 작은 B_{dB}는 무시한다⁸⁻¹⁰⁾. 식 (3)은 흡수손실을 나타내며 식 (4)는 반사손실을 나타낸다. 여기서 f_{MHz}는 MIL-SATCOM 송신 주파수, t는 EMI 차폐판 두께, λ는 MIL-SATCOM 송신 주파수 파장이다. R_{dB}의 경우 λ/2π의 값이 차폐판과 MIL-SATCOM의 간격 r보다 현저하게 작기 때문에 원거리 조건에 해당하여 식 (4)를 적용한다.

$$A_{dB} = 131.4t \sqrt{f_{MHz} \sigma_r \mu_r} \quad (dB) \quad (3)$$

$$R_{dB} = 108.1 - 10 \log\left(\frac{\mu_r f_{MHz}}{\sigma_r}\right) \quad (dB), \text{ for } r \gg \lambda/2\pi \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)로부터 A_{dB}는 EMI 차폐판의 두께 t에 따라 영향을 받으나, R_{dB}는 그 영향이 없는 것을 확인할 수 있다. Table 1에 나타난 자성체의 μ_r은 GHz 대역 이상에서 1에 근사되므로 R_{dB}는 σ_r에 비례하는 것을 알 수 있다. Table 2는 차폐판 선정대상에 대한 두께별 A_{dB}, R_{dB}, SE_{dB}를 나타내었다.

Table 2. Value of A_{dB}, R_{dB} and SE_{dB} for thickness

Material	Thickness	A _{dB}	R _{dB}	SE _{dB}
Copper	1 mm	11.75	69.07	80.82
	2 mm	23.50		92.57
Iron	1 mm	4.85	61.37	66.22
	2 mm	9.69		71.06
Aluminum (6061-T6)	1 mm	9.18	66.92	76.10
	2 mm	18.36		85.28
Galvanized steel(Zinc)	1 mm	4.98	61.62	66.60
	2 mm	9.97		71.59
STS316	1 mm	1.53	51.37	52.90
	2 mm	3.06		54.43

Table 2와 같이 GHz 대역에서 차폐효율은 A_{dB}보다 전도체에 의한 R_{dB}에 종속되므로 구리, 알루미늄, 아연도금강판, 철, STS316 순으로 유리하다.

Table 3은 EMI 차폐판 선정대상에 대한 밀도를 나

타내었다. 운용성 및 합정 무게 변화율 최소화, 설치 안전성을 고려할 때 중량 역시 EMI 차폐판 재질 선정에 있어 중요한 요소이며 알루미늄, 아연도금강판, 철, STS316, 구리 순으로 유리하다.

Table 3. Density(g/cm³) of conductor

Material	Copper	Iron	Aluminum (6061-T6)	Galvanized steel(Zinc)	STS 316
Density	8.96	7.87	2.70	7.86	7.98

철과 아연도금강판은 앞서 살펴본 차폐효율과 중량 측면에서 거의 유사한 특성을 보이나, EMI 차폐판은 해상 환경에서 취급된다는 점을 고려할 때 내식성에 있어 아연도금강판이 철에 비해 월등히 유리하다.

전기적 측면과 물리적 측면을 동시에 고려할 때, 알루미늄과 아연도금강판이 EMI 차폐판 재질로 적합함을 확인할 수 있다.

Table 4. Boundary condition between air and conductor

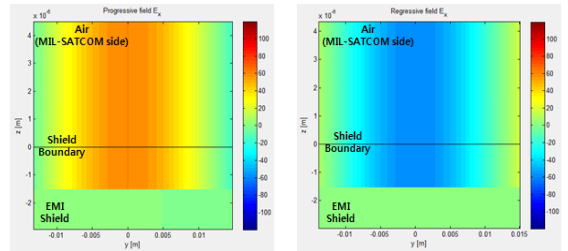
Medium 1 (Air)	Medium 2 (Conductor)
$E_{1t} = 0$	$E_{2t} = 0$
$a_{n2} \times H_1 = J_s$	$H_{2t} = 0$
$D_{1n} = \rho_s$	$D_{2n} = 0$
$B_{1n} = 0$	$B_{2n} = 0$

Table 4는 시변상황에서 두 매질이 각각 공기와 완전도체일때 각 매질에서의 E, H, D, B 값을 나타내었다^[11]. 여기서, E는 전계, H는 자계, D는 전속밀도, B는 자속밀도이다. Maxwell 방정식을 통하여 E의 접선성분과 B의 법선 성분은 두 매질 사이의 경계조건에서 연속임을 알 수 있다.

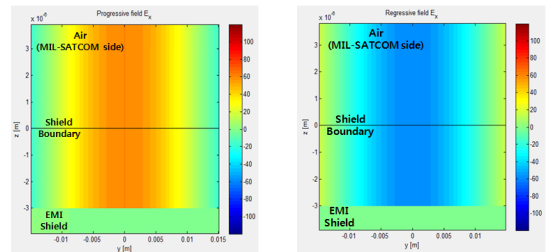
알루미늄과 아연도금강판의 차폐성능에 대한 이론적 효율성을 검토하기 위해 MATLAB 해석을 수행하였으며 적용된 해석조건은 다음과 같다. 매질 1은 공기, 매질 2는 도체, 매질 2의 두께 1 mm, 매질 2 도체 표면은 구조적 특이성이 없는 평면형, MIL-SATCOM 부엽 입사각도는 30°, MIL-SATCOM 운용주파수는 GHz 대역, Table 1에 따른 알루미늄과 아연도금강판의 도전율, 투자율, 공기 및 도체 유전율을 적용하여 해석을 수행하였다. 이때, 도체 내부에는 분극에 관련된 구속

전하는 생기지 않으므로, 알루미늄과 아연도금강판의 유전율은 진공중의 유전율인 $\epsilon_0(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})$ 를 적용하였다.

Fig. 3은 알루미늄과 아연도금강판 각각의 경우 TE Wave에 대해 해석된 E-field를 나타내었으며, Fig. 4는 TM Wave에 대해 해석된 H-field를 나타내었다. x축은 EMI 차폐판의 가로길이에 대한 해석범위이며, y축은 MIL-SATCOM측 공기층과 EMI 차폐판과의 위치를 나타내며 '0'을 지시하는 지점이 두 매질의 경계면이다. 알루미늄과 아연도금강판에 입사되는 고주파 해석결과, 두 재질은 거의 동일한 차폐 성능을 지니는 것을 확인하였다. 단, 도전을 차이로 인하여 아연도금강판의 경우 EMI 차폐판 내로의 MIL-SATCOM 부엽 침투가 상대적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

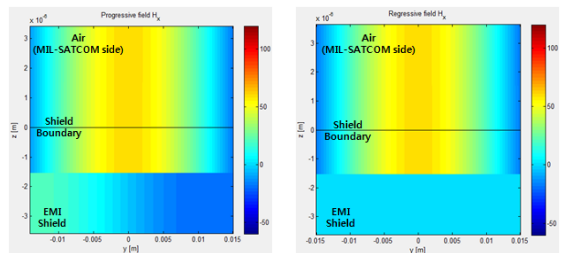


(a) E-field of aluminum(6061-T6)

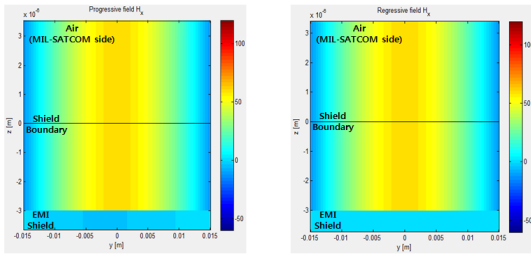


(b) E-field of galvanized steel(Zinc)

Fig. 3. Progress and regress E-field at EMI shield



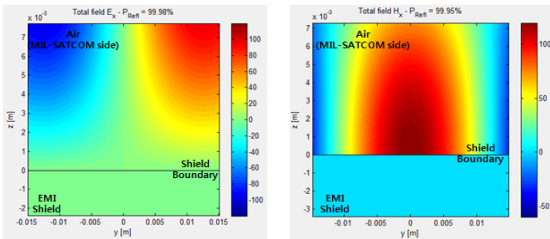
(a) H-field of aluminum(6061-T6)



(b) H-field of galvanized steel(Zinc)

Fig. 4. Progress and regress H-field at EMI shield

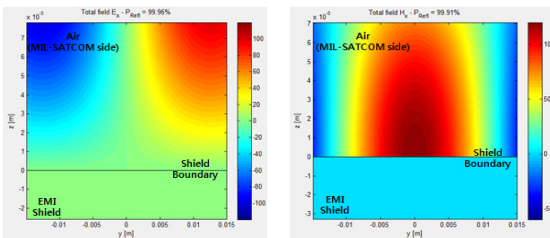
Fig. 5 및 Fig. 6은 진행파와 반사파를 포함한 Total Field를 나타내었다. E-field에 대한 효율은 알루미늄 99.98 %, 아연도금강판 99.96 %이며 H-field에 대한 효율은 알루미늄 99.95 %, 아연도금강판 99.91 %임을 해석 결과를 통해 알 수 있다. 알루미늄이 아연도금강판에 비해 더 큰 차폐율을 가지나 큰 차이가 없으므로 중량 또는 인장강도 등의 요소를 고려하여 유리한 재질을 선정하는 것이 타당하다.



(a) Total field of E

(b) Total field of H

Fig. 5. Total field at aluminum(6061-T6)



(a) Total field of E

(b) Total field of H

Fig. 6. Total field at galvanized steel(Zinc)

Table 5는 EMI 차폐판 선정대상에 대한 인장강도가 다르다. 앞서 SE_{db} , 중량 및 내식성을 고려하였으며, 알루미늄과 아연도금강판의 차폐효율에 차이가 없음을

MATLAB 해석을 통해 확인하였으므로 인장강도가 상대적으로 더 큰 아연도금강판을 EMI 차폐판 재질로 최종 선정하였다.

Table 5. Tensile strength(MPa) of conductor

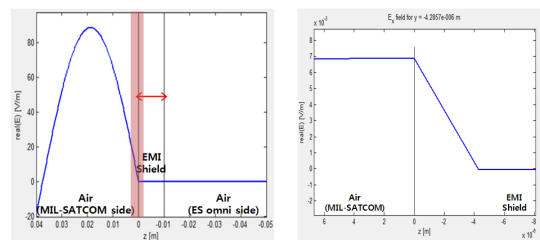
Material	Copper	Iron	Aluminum (6061-T6)	Galvanized steel(Zinc)	STS 316
Tensile Strength	220	760	300	540	515

3.2 EMI 차폐판 두께 선정

EMI 차폐판 두께 선정에 앞서 본 연구에 적용되는 평면형 EMI 차폐판은 완전 도체가 아님에 따라 표피 두께만큼 송신전파가 침투되므로 이에 대한 영향성을 검증할 필요가 있다. 식 (5)은 EMI 차폐판 내로 침투되는 전파의 표피두께 계산식이다^[12].

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (5)$$

식 (5)에 따라 계산된 MIL-SATCOM 운용 주파수 (GHz 대역)에서 알루미늄의 표피두께는 약 2.67×10^{-6} mm, 아연도금강판의 표피두께는 약 5.03×10^{-6} mm이다. 두께 가공 최소단위인 1 mm를 기준으로 하여 두께에 따른 차폐 영향성 검토를 하였고, 이론적 검증을 위해 MATLAB 해석을 수행하였다. Fig. 7은 아연도금강판재질의 EMI 차폐판 두께 1 mm 적용 시 TE Wave 및 TM Wave 해석 결과를 나타내었다. 해석 결과, 그림과 같이 표피두께는 약 4.29×10^{-6} mm로 산출되었으나, EMI 차폐판의 두께 1 mm에 비해 표피두께는 무시할만한 수준이므로 차폐판의 두께는 차폐 성능에 영향이 없다고 할 수 있다. 따라서 EMI 차폐판 중량, 설치 안정성 및 구조적 지지를 받을 수 있는 최소두께를 고려하여 1 mm를 선정하여 중량을 최소화 했다.



(a) E-field(1 mm)

(b) E-field expansion

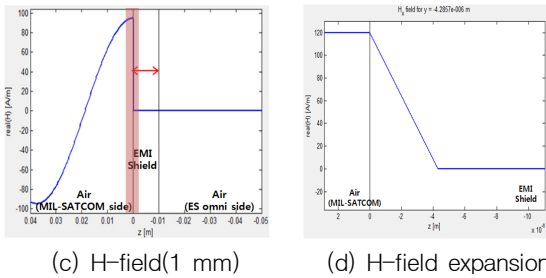


Fig. 7. Penetration depth of EMI shield

3.3 EMI 차폐판 크기 선정

본 장에서는 EMI 차폐효를 극대화하고 운용성을 고려한 중량 최소화를 위해 EMI 차폐판 최적 x, y를 도출하였다. 여기서 x, y는 각각 EMI 차폐판의 세로길이, 가로길이이다. EMI 차폐판이 MIL-SATCOM 주엽에 미치는 영향을 최소화하고 EMI 차폐판의 정비성 및 설치성을 고려하여 EMI 차폐판과 MIL-SATCOM의 이격거리 r은 750 mm로 적용하였다.

Fig. 8은 원거리 조건에 따라 MIL-SATCOM 송신파를 평면파로 근사하여 MIL-SATCOM 부엽 차단을 위한 EMI 차폐판을 적용한 개념도이다.

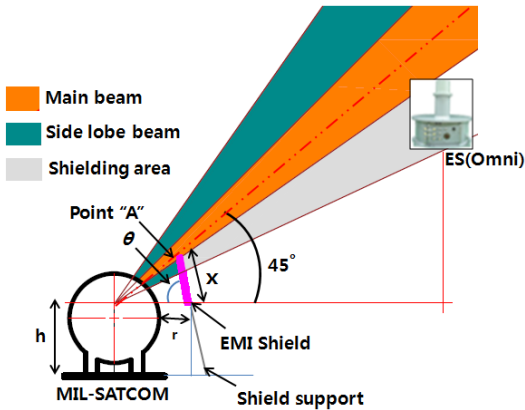


Fig. 8. Side view of the concept drawing

전자기 간섭 현상은 MIL-SATCOM 부엽의 영향으로 발생하고 있으므로, x는 주엽이 방사되는 높이인 h지 점을 시작점으로 하여 주엽에 영향을 미치지 않는 구간인 지점 "A"까지의 거리이다. 본 연구 대상 수상함의 설계치수 h는 1780 mm 이다.

Fig. 9는 EMI 차폐판의 기울기 각도 θ 에 따른 차폐판 세로길이 x를 나타내었다. 이때, 한국해역에서 무

궁화 위성을 지향하는 고각은 45°로 가정하였다. θ 가 작아질수록 풍압으로 인한 차폐판에 작용하는 응력이 작아지나, MIL-SATCOM과 EMI 차폐판의 거리가 가까워지거나 간섭되어 주엽에 영향을 미칠 수 있으므로 θ 는 75° ~ 85°가 적용 가능하다. 본 연구에서는 평균값인 80°를 적용하여 x를 1180 mm로 선정하였다.

가로길이 y를 선정하기 위해서는 차폐판에 작용하는 응력 및 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나 간 LOS (Line of Sight)를 고려해야 한다. 고주파 장비들 간에 LOS가 형성되면 전자기 간섭 발생 가능성이 높아진다. MIL-SATCOM 부엽의 고각, EMI 차폐판 및 MIL-SATCOM 및 ES omni 안테나의 기하학적 위치를 고려할 때 ES omni 안테나로 방사되는 불요파를 억제하는 최소 y는 1940 mm임을 확인할 수 있다.

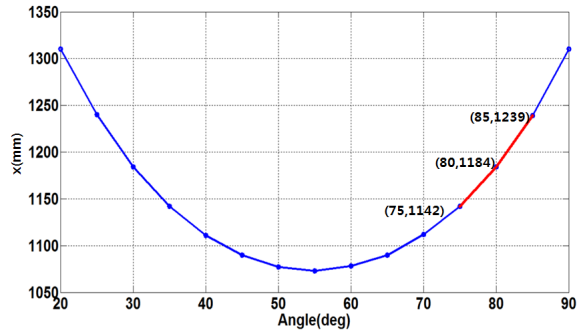


Fig. 9. x value of EMI shield

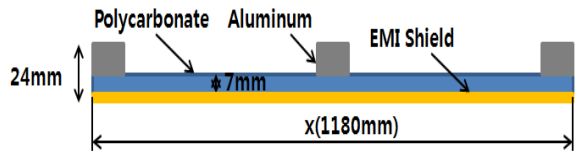


Fig. 10. Drawing of EMI shield support structure

EMI 차폐판의 최대 y를 결정하기 위해 지지구조물의 최대 휨모멘트와 인장강도를 분석하였다. 외력으로 인한 EMI 차폐판 파단 측면에서 살펴볼 때, 세로방향이 취약하므로 세로방향의 단면이차 모멘트를 고려하였다. Fig. 10은 알루미늄과 폴리카보네이트를 이용한 EMI 차폐판 지지구조를 나타내었다. Fig. 10 형상에 따른 단면 이차모멘트 I는 289089 mm⁴ 이다. 식 (6)에 따라 계산된 P는 473 kg/m·s² 이다. 여기서 P는 동압, ρ 는 공기밀도, v는 풍속이며 약 28 m/s로 가정하였다. Table 6는 식 (8) 및 식 (9)에 따라 계산된 알루미늄과

폴리카보네이트에 대한 M_{max} , σ_{max} 이다. 이때, W 는 일, M_{max} 는 최대 휨모멘트, σ_{max} 는 인장강도, a 는 지지구조 재질별 두께이다.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (6)$$

$$W = P \cdot y \quad (7)$$

$$M_{max} = \frac{Wy^2}{8} \quad (8)$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot a}{4I}, \quad (a_{Al} = 17, a_{PC} = 7) \quad (9)$$

Table 6. Stress of EMI shield support structure

Material	Aluminum	Polycarbonate
M_{max}	$0.05912y^3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{mm}$	
$\sigma_{max}(y)$	$0.869y^3 \cdot 10^{-9}$	$0.358y^3 \cdot 10^{-9}$
σ_{max}	90 N/mm ²	40 N/mm ²

Fig. 11은 $\sigma_{max}(y)$ 를 나타내었으며 지지구조 재질별 인장강도 90 N/mm², 40 N/mm²를 초과하지 않는 최대 y 는 각각 알루미늄 4696 mm, 폴리카보네이트 4820 mm로 계산된다. 앞서 LOS를 바탕으로 추정된 최소 y 값을 고려할 때, 두 재질 모두 만족하는 조건은 1940 mm < y < 4696 mm 이다.

효율적인 EMI 차폐를 위해서 y 가 증가되어야 하고 풍압하중에 대한 안정성을 고려할 때 y 가 감소되어야 하는 상충조건이 있기 때문에 최대, 최소의 평균값인 3300 mm을 y 로 선정하였다.

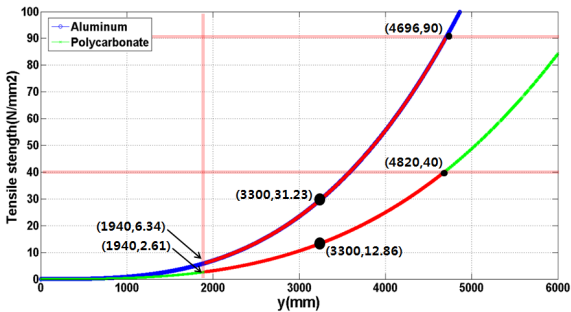


Fig. 11. Tensile strength curve for y

4. 시험 및 결과

4.1 시험방법 및 EMI 판단기준

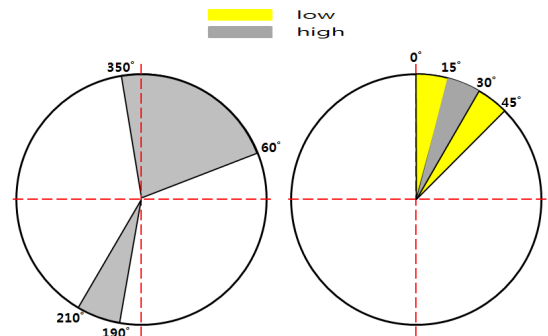
함정의 전 방위에 대한 전자기 간섭 개선효과를 확인하기 위해 함속 10 knot로 선회를 실시하였으며, 함수 방위각 5° 마다 ES omni 안테나 탐지율을 계측하였다. EMI 차폐관 설치/미설치 조건에서 각각 선회시험을 실시하였고, 전자기 간섭 영향에 있는 방위를 분석하였다. Table 7은 문제점 개선을 입증하기 위한 전자기 간섭 판단 기준이다. ES omni 안테나에서 탐지하는 표적개수는 해상 상태, 함정의 위치와 시험구역, 표적의 움직임에 따라 그 변화량이 크다. 따라서 탐지되는 표적개수의 절대량이 전자기 간섭 판단의 기준이 될 수 없으므로 탐지율을 고려하였다. 이때, 선회가 완료되는 시간동안 해상상태 및 주변상태의 조건이 동일한 것으로 가정하였다.

Table 7. EMI criterion of sea trial test

Range	Level
Detection rate ≤ 20 %	high
20 % < Detection rate ≤ 50 %	low
50 % < Detection rate	-

4.2 시험 계측결과

선회 시 계측 신뢰성 확보를 위해 좌선회 및 우선회 시험을 각각 수행하였다. Fig. 12 및 Fig. 14는 각각 우선회 시험 1차 및 2차 시험결과를 나타내었으며, Fig. 13 및 Fig. 15는 각각 좌선회 시험 1차 및 2차 시험결과를 나타내었다.



(a) Before EMI shield (b) After EMI shield

Fig. 12. EMI azimuth of clockwise turning(1st)

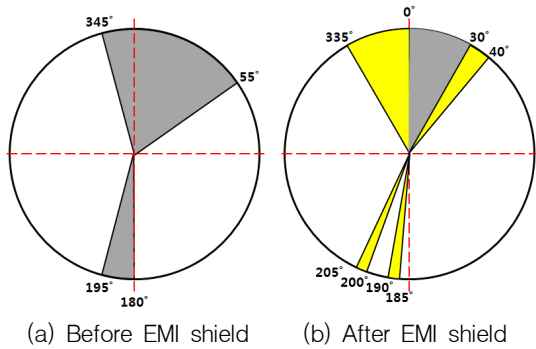


Fig. 13. EMI azimuth of cnt-clockwise turning(1st)

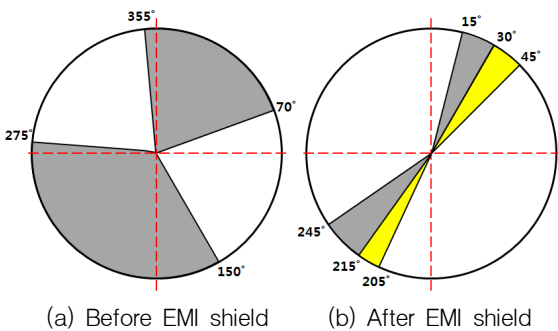


Fig. 14. EMI azimuth of clockwise turning(2nd)

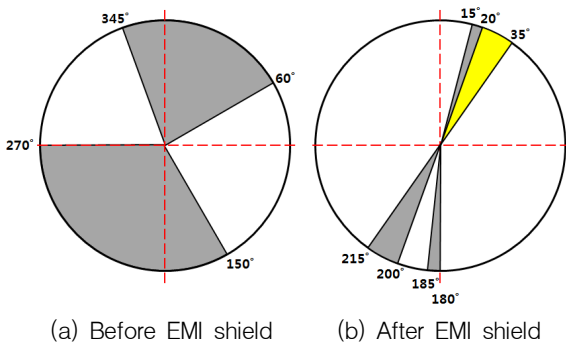


Fig. 15. EMI azimuth of cnt-clockwise turning(2nd)

4.3 결과 분석

좌선회 및 우선회 시험에서 전자기 간섭이 발생한 함수 방위각 범위는 비슷한 경향을 보였다. 함수 방위각이 약 180° ~ 270°인 경우 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나 간의 전자기 간섭이 두드러지게 관찰되는 것을 확인하였다. MIL-SATCOM은 동경 113°에 위치한 무궁화 위성을 통해 송수신하며, 한국해역에서 MIL-

SATCOM이 무궁화 위성을 지향하는 함수 방위각은 약 200° ~ 215° 이다. 상기 영역에서 MIL-SATCOM이 무궁화 위성을 지향하는 경로에 ES omni 안테나가 위치하기 때문에 관측된 결과이다.

EMI 차폐판 설치 후 함수 방위각 약 335° ~ 45° 영역에서 관찰된 미약한 전자기 간섭은 MIL-SATCOM이 무궁화 위성을 지향할 때, MIL-SATCOM의 후부가 ES omni 안테나를 향하므로 후엽 및 주변 구조물로부터 반사된 반사파의 영향으로 발생된 것으로 판단된다.

재질, 두께, 크기 및 무게, 설치각도 등을 고려하여 제안된 EMI 차폐판을 설치하여 시험한 결과, 1차 시험의 경우 EMI 차폐판 설치 전 우선회시 High Level 전자기 간섭이 방위각 360° 영역 중 약 90°(25.0%) 영역에서 발생되었으나, EMI 차폐판 설치 후 간섭 영역이 방위각 360° 영역 중 약 15°(4.2%) 영역으로 크게 감소되는 것을 확인하였다. 아울러 좌선회 시 High Level 전자기 간섭이 방위각 360° 영역 중 약 90°(25.0%) 영역에서 발생되었으나, EMI 차폐판 설치 후 간섭 영역이 방위각 360° 영역 중 약 30°(8.3%) 영역으로 크게 감소되는 것을 확인하였다.

2차 시험의 경우 EMI 차폐판 설치 전 우선회시 High Level 전자기 간섭이 방위각 360° 영역 중 약 205°(56.9%) 영역에서 발생되었으나, EMI 차폐판 설치 후 간섭 영역이 방위각 360° 영역 중 약 45°(12.5%) 영역으로 크게 감소되는 것을 확인하였다. 아울러 좌선회 시 High Level 전자기 간섭이 방위각 360° 영역 중 약 200°(55.6%) 영역에서 발생되었으나, EMI 차폐판 설치 후 간섭 영역이 방위각 360° 영역 중 약 25°(6.9%) 영역으로 크게 감소되는 것을 확인하였다.

시험 결과와 같이 실선 시험 시 해상 환경, 파고, 날씨 및 표적개수 등의 변수들이 변화되어 대상 장비 및 함 구조물에 대한 전파 환경이 매번 차이가 있으므로 시험 측정결과는 물리적으로 고정된 값이 아님을 고려해야 한다.

5. 결론

본 연구는 수상함의 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나 사이에서 발생하는 전자기 간섭 발생 원인을 분석하고, 이에 대한 대책으로 EMI 차폐판을 제시하였다.

고파수(GHz 대역)에서 운용되는 MIL-SATCOM의 송신파를 평면파로 근사하여 함정에 설치된 안테나의 기

하학적 위치를 기반으로 EMI 차폐판 재질 및 최적형상을 계산하여 EMI 차폐판 형상을 도출하였다. 이론적 분석을 통해 제안된 EMI 차폐판의 효과를 검증하기 위하여 실선에 설치하여 해상 시험을 수행하였다.

시험 결과, ES omni 안테나 탐지율이 개선되어 탐지 성능 신뢰성이 향상되었으며 EMI 차폐판 설치가 MIL-SATCOM과 ES omni 안테나 간의 전자기 간섭 개선에 효과가 있음을 입증하였다.

수상함 운용 환경 상 다양한 변수로 인해 고정된 조건에서 EMI 차폐판 성능을 정량적으로 예측할 수 없으나, 2차에 걸친 실선 시험 수행을 통해 전자기 간섭 개선 경향을 확인하였다. 추후 수상함 건조 및 항해 시운전 시 유사 원인으로 전자기 간섭이 발생하거나 전자기 간섭 개선 대책으로 안테나 절체 및 안테나 재배치를 적용하기 어려운 경우, 본 연구에서 제안된 EMI 차폐판 최적설계 방법을 활용하여 전자기 간섭을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구과제를 통해 차폐효율을 더욱 높이기 위해서 Ray Tracing 기법을 적용하여 EMI 차폐판 형상을 더욱 정교화하고, ES omni 안테나로의 회절과 유입 방지를 위한 형상을 제안된 EMI 차폐판에 추가적으로 적용하여 ES omni 안테나 음영구역 최소화를 위한 보완이 필요하다.

후 기

본 연구는 2016 한국군사과학기술학회 추계학술대회 특별세션(국방품질경영)에서 구두 발표되었습니다.

References

- [1] The Society of Naval Architects of Korea, "Naval Ship," Text Books, Korea, pp. 438-440, 2015.
- [2] Kwang-sik Eom, Myung-kwan Park, "A Satellite Tracking Method Using Rotation of Sub-Reflector for Naval Vessels Satellite Antenna System," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 44, No. 3, p. 199, 2007.
- [3] Kyu-hong Jo, "Operation of Control Center for Military Satellite Communication System," University of Seoul, Vol. 55, pp. 15-17, 2005.
- [4] Joong-su, Im, "The Proceedings of the Korean Electromagnetic Engineering and Science," Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 11, No. 4, pp. 53-63, 2000.
- [5] Choon-won Kim, Ji-hoon Kim, Kyou-nil Kwon and Deok-cho Chung, "An efficient Method of Antenna Placement considering EMI between Equipments on UAV," Journal of Korea Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 39, No. 10, pp. 991-992, 2011.
- [6] Hyun-gyu Park, "A study on the Comparison between EMI/EMC Analysis Methods of Vessels in the UHF Region," Division of Electronic and Computer Engineering, Postech, Korea, p. 28, 2008.
- [7] S. A. Schelkunoff, "Electromagnetic Wave," Van Nostrand, New York, pp. 303-315, 1943.
- [8] Byung-kwon Park, Seong-uk Park, Kook-seon Shin, Sang-min Lee and Sang-ho Joo, "Electromagnetic Shielding Effectiveness, Planar Material," National Radio Research Agency, Korea, pp. 4-16, 2010.
- [9] Cindy S. Cheung, "Shielding Effectiveness of Superalloy, Aluminum, and Mumetal Shielding Tapes," The Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, pp. 3-10, 2009.
- [10] A. Das, V. K. Kothari, A. Kothari & A. Kumar and S. Tuli, "Effect of Various Parameters on Electromagnetic Shielding Effectiveness of Textile Fabrics," Indian Journal of Fiber & Textile Research, Vol. 34, pp. 144-145, 2009.
- [11] David K. Cheng, "Fundamentals of Engineering Electromagnetics," Pearson, pp. 277-279, 2006.
- [12] Hayt Buck, "Engineering Electromagnetics, Seven Edition," McGrawHill, Singapore, pp. 416-418, 2010.