

전자전훈련지원체계와 해상작전위성통신체계 간 전자기 간섭 개선을 위한 최적배치에 대한 연구

이지혁*, 조규룡, 서형필
국방기술품질원

A Study on the optimal design of MOSCOS arrangement to solve the EMI between EWT¹⁾ and MOSCOS²⁾

Ji-Hyeog Lee*, Kyu-Lyong Jo, Hyeong-Pil Seo
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 다목적훈련지원정(MTB)에 탑재되는 전자전훈련지원체계(EWT) 송신 신호에 의해 MOSCOS 간 전자기간섭 문제점을 해결하기 위한 안테나 최적 위치에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 4MIE에 근거한 Fishbone Diagram을 이용하여 7가지의 원인을 식별하였으며 Friis 전달공식을 통해 고려해야 할 요소를 식별하고 기존 환경에서 발생한 유사 문제점을 분석한 후, 두 개의 최적 배치 후보를 선정하였다. 두 개의 설치 위치에 대해 전자기 수신 레벨을 측정하여 최적배치(안)을 수립한 후, 본 개선사항에 대한 실선 시험을 통해 전자기 간섭 개선 효과를 확인하였다.

Abstract The optimum solutions of MOSCOS antenna arrangement were studied to solve the EMI between it and EWT mounted on an MTB. Two candidates of optimal place for MOSCOS antenna were determined by using a fishbone diagram to determine seven reasons based on 4MIE, to identify the design factors on Friis equations, and to analyze the case study of EMI related to MOSCOS. MOSCOS antenna was rearranged by the final optimal position, which was selected by measuring the Power Spectral Density (PSD) at two locations, and the proposed improvement was tested on board to determine its efficiency.

Keywords : EWT, MOSCOS, EMI, MTB, 4MIE

1. 서론

다목적훈련지원정(이하 MTB)은 000톤 규모의 수상 함으로 각종 해상훈련을 지원할 목적으로 건조되어 함포 사격훈련, 대공유도탄 발사훈련 및 전자전 훈련 등을 지원할 수 있는 함정이다[1]. 위와 같은 임무 수행을 위해 다수의 통신 장비, 레이더 및 센서를 탑재하고 있으며 제한된 공간에 무선통신장비들이 밀집되어 탑재되어 있어

전파 간섭 및 수신 불량 등의 전자파 간섭 문제가 발생할 수 있기 때문에, 타 함정의 경우처럼 장비 운용 시 전자기 간섭 문제를 최소화하기 위한 위치에 배치된다. [2-3]. 전자파 간섭의 원인은 협소한 공간 내 고출력 및 고감도 통신장비의 밀집, 장비 간 주파수 대역 간섭, 구조물로 인한 반사파 등 다양한 원인들로 인하여 전자기 간섭이 발생하게 된다[4-5].

탑재된 전자전훈련지원체계(Electronic Warfare Training system, EWT 이하 EWT)는 해상 실 환경에서 함정의 전자전 훈련(위협레이더 신호 모의, 전자공격 재밍신호

1) EWT : Electronic Warfare Training System

2) MOSCOS : Maritime Operation Satellite Communication System

*Corresponding Author : Ji-Hyeog Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-10-9948-5363 email: sangcal@dtaq.re.kr

Received January 31, 2019

Revised March 4, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

모의 및 전자표적신호 송신 등)을 지원하기 위한 훈련체계이다[6]. 훈련 대상함정에 탑재된 전자전장비의 전자지원(Electronic Support, ES)장비 운용 훈련을 위해 적성국의 위협레이더신호를 모의하며, 훈련대상 함정으로부터 방사되는 각종 레이더신호를 수신/분석하여 레이더장비 상태를 판단할 수 있는 정보를 제공하며, 훈련대상 함정의 전자전 공격 장비에서 방사하는 제밍신호를 분석함으로써 해군 함정에 대한 평시 전자전훈련을 지원한다[6].

본 연구에서는 전자전 훈련을 수행하기 위해 전파를 훈련함으로 송신 시, EWT 후부에 설치된 해상작전위성통신체계(Maritime Operation Satellite COmmunication System, 이하 MOSCOS) 안테나가 간섭을 받아 통신이 두절되는 현상이 발생하여, 이를 해결하기 위하여 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 연구의 방법론

본 연구의 목적인 전자전훈련체계와 MOSCOS 간 간섭현상을 해소하기 위하여 산업공학 분야에서 널리 사용되고 있는 Fishbone Diagram을 적용하여 주요 원인을 식별하였으며 가장 큰 원인으로 선정된 EWT와 MOSCOS 안테나 간 근접거리 문제점을 해결하기 위한 최적배치 설계에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 기존 함정에서 발생하였던 전자전 장비와 MOSCOS 간섭현상 사례를 검토하였고[7], 전자기 간섭의 원인이 되는 EWT 안테나의 수신감도 측정, Friis 전달공식에 따른 수신레벨 계산 및 MOSCOS에 대한 제밍 송신기의 영향성 검토를 수행하여 최적배치(안)을 수립한 후 본 개선사항에 대한 실선 시험을 통해 MOSCOS 최적배치에 따른 전자기 간섭 개선 효과를 확인하였다.

2.2 장비 개요 및 구성

MOSCOS는 지상 무선망이 커버하지 못하는 영역에서 위성통신의 광역성을 이용하여 함정 및 각 함대 사령부와 음성, 그룹 통화, 데이터 통신의 목적으로 개발된 장비이다. 000km 상공의 정지 궤도 위성인 무궁화 위성을 이용하여 송신거리 제한과 지형적 제약을 극복하고, 해상에서 위성 신호를 수신하여 작전 통신망 운영 능력

을 강화하였다[7-8]. MOSCOS는 Fig. 1과 같이 반사판 안테나, 전력 공급기와 송수신기로 구성된다[9].

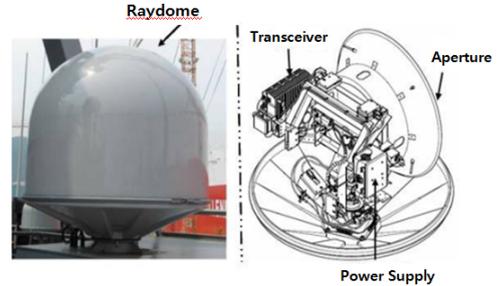


Fig. 1. MOSCOS configuration

함정에 장착되는 MOSCOS는 함정의 크기에 따라 안테나의 크기, 이득, 출력이 다르나 운용주파수, 서비스 및 위성 접속방식은 함정의 크기와 상관없이 동일하다. 위성 접속방식은 정보의 종류에 따라 주파수 또는 시간 슬롯을 특별한 변경이 없이 항상 고정적으로 할당받는 사전할당 다원접속 방식과 전송 요구가 있을 때에만 슬롯을 할당받아 접속하는 요구할당 다원접속 방식 두 가지가 사용되며 다목적훈련지원정에 탑재되는 MOSCOS 주요 제원은 Table 1과 같다[9]. 해상운항 시 주 통신망으로 사용하며, 함 기동 시에도 끊기지 않는 환경구성을 위하여 좌현 및 우현에 각각 1개의 안테나가 설치된다.

Table 1. MOSCOS Specification

Contents	Spec. & Performance
Manufacturer	KT Co. Ltd.
Model	SRC-1K
Antenna Size	1.0m
Antenna Gain	Tx : OOdBi, Rx: OOdBi
Tx Power	OW
Service	Voice, FAX, Data
Satellite Access	Data : PAMA(Pre-Assigned Multiple Access), Voice: DAMA(Demand Assigned Multiple Access)

EWT는 해군 함정에 장착된 레이더 및 전자전장비에 대해 해상 실 운용 환경 하에서 전자전훈련을 지원하기 위한 훈련지원체계로서 전자전장비의 전자지원(Electronics Support, ES) 훈련을 위해 적성국의 위협레이더 신호를 모의하며, 항해/탐색/추적레이더 장비의 운

용 및 전자공격에 대응하기 위해 전자표적신호생성 및 재밍신호를 모의한다.

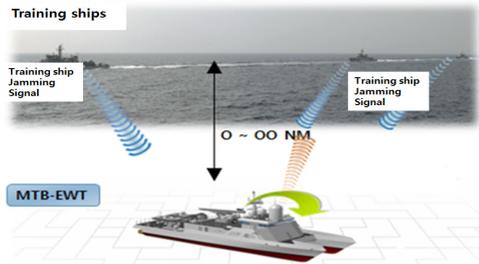


Fig. 2. EWT Operating Concept

또한 훈련함의 전자전장비에서 송신되는 공격 (Jamming) 신호를 분석하여 해군 함정에 대한 전자전 훈련을 Fig 2.와 같은 개념도로 지원한다.

2.3 전자기 간섭 시험 절차

MTB EMC 실선 시험은 해군, 기품원 및 조선소 합외 하에 수행되었으며 Fig 3. 과 같은 도식화된 결정 흐름도를 기반으로 수행되었다[10].

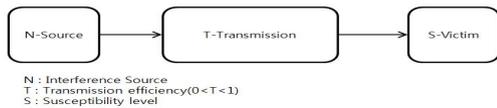


Fig. 3. EMC determination flow diagram

간섭 소스(Interference Source)와 감응 시스템(Susceptibility System) 사이에 EMC가 존재한다면 감응 레벨(Susceptibility Level) 대비 안전 마진(Safety Margin) 값이 간섭 소스에 의해 전달된 전자기파 에너지 보다 높을 경우 영향을 받게 되며 다음과 같은 수식 (1)로 표현된다.

$$S/M > NT \quad (1)$$

M : Safety Margin

함정에 탑재되는 많은 장비는 각각의 감응 레벨과 안전 마진을 가지고 있으며 전자 장비의 안전 마진은 통상적으로 6dB이며 폭발성 물질과 무장에 대해서는 16.5dB

를 적용하고 있다[10]. 개별 장비는 타 장비에 대해서 잡음 성분을 발생시키기도 하며 타 장비의 잡음에 의해서 영향을 받기도 한다. 이를 용이하게 식별하기 위해 장비들을 ‘Noisy’와 ‘Sensitive’로 분류한다. ‘sensitive’로 분류된 장비들이 가장 영향을 받기 쉬운 동작모드 (reception, 데이터획득, 측정 등)에서 관찰되는 동안 ‘noisy’로 분류된 장비들을 모든 동작모드로 동작시킴으로써 EMC 여부를 확인할 수 있다. 예를 들어, TTL 디지털회로에서, 논리신호 "1" 은 1.8V의 한계전압 (threshold voltage)으로 정의된다. 그러므로 6dB-안전여유(safety margin)(factor 2)를 적용하여, TTL 논리선으로 결합되는 노이즈레벨이 $1.8/2=0.9V$ 를 초과하지 않아야 한다.

그러나 대부분의 전자장비에서 회로로 침투하는 간섭레벨의 정량적인 측정을 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 피시험체의 올바른 반응(desired reaction) 대 간섭상황 하에서 나타날 수 있는 왜곡된 반응(disrupted reaction)에 근거한 정성적인 시험이 수행된다. 예를 들어, 통신장비의 경우는 통화 중에 ‘음탈락, 통화 끊김, 통화 중 잡음발생으로 통화 제한’ 등이 타 장비에 의해 간섭 정도를 평가하는 기준이 될 수 있으며 레이더의 경우는 ‘영상 왜곡 및 화면에 흰점 또는 수평줄 진시’ 등을 통하여 간섭 유무 판단이 가능하다.

다목적훈련지원정의 EMC 실선 시험은 다음 세단계로 수행되었다.

- 1) 육상에서 배에 전력을 공급하고, 배에 탑재된 ‘sensitive-noisy’ 쌍에 대하여 시험한다.
- 2) 1 단계가 끝나면, 비정상적인(disrupted) 동작을 보인 ‘sensitive’ 장비들의 목록이 작성되고, 엔진, 펌프 및 배의 자동전력시스템(autonomic power system)에 의해 공급되는 다른 대형부하(load)를 동작시키는 동안 재시험된다. 1 단계에서 작동될 수 없었던, 배의 전력 시스템에 의해서만 작동하는 모1 장비들은 2 단계에서 작동되어 시험된다.
- 3) 1, 2 단계에서 동작에 이상(deviation)이 발견된 ‘sensitive’ 장비에 대하여 주위 전자파 잡음레벨(Ambient Noise Level)이 낮은 해상위에서 시험한다. 특히 송수신 안테나 근처에서는 원전계(Far-field)에서 널리 적용되는 평면파(planar wave)로 근사화하여 모델링 할 경우 실제 현상과 맞지 않고 근전계(near-field)의 전력 밀도(Power

Flux Density)는 급격하게 변하고, 전계와 자계의 크기 사이에 상수 관계가 성립되지 않는다. 그러므로 다음과 같이 주어지는 근전계 지역에서는 자계와 전계 두 성분 각각 측정되어야 한다[11].

2.4 전자기 간섭 현상에 대한 원인 분석

EWT와 MOSCOS 간 전자기 간섭 문제의 주요 원인 분석을 수행하기 위하여 산업분야에서 널리 사용되고 있는 Fishbone Diagram을 적용하였다.

어골도(漁骨圖)라고 불리는 Fishbone Diagram은 문제를 일으킬만한 원인과 조건에 이르기까지의 단계를 탐구하고 문제를 일으킬 가능성이 있는 원인들에 대해서 생각하며 각각의 원인들을 분석 및 결과를 도출하는데 사용된다[12]. 본 연구에서는 품질문제점 원인 분석을 위해 통상적으로 사용되는 4M1E(Man, Material, Method, Machine, Environment) 요인으로 구분하여 예상 원인 7가지를 식별하였으며 Fig. 4와 같이 표현된다.

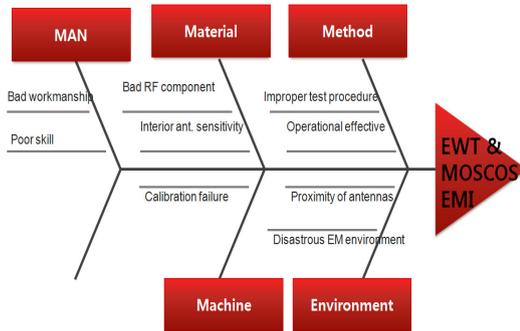


Fig. 4. Fishbone diagram of EMI

우선 인력(Man)과 관련하여 일습씨 부족과 설치 시 숙련도 부족은 실제 설치검사 결과 일부 미흡한 사항이 식별되었으나 품질검사 과정에서 보완되어 설치되었기 때문에 영향이 적은 것으로 나타났다. 자재(Material) 관련해서는 불량 RF 부품 사용과 지나치게 민감한 안테나 수신감도가 식별되었으나 국방 규격품으로 정상 납품한 장비이며 수신감도는 규격에 적합한 제품으로 확인되었다. 방법(Method) 관련하여 부적절한 시험 절차 수행 및 간섭 현상에도 불구하고 운용 가능한지에 대한 점이 고려되었다. 전자기간섭 시험은 승인된 시험절차에 따라 외부 기관이 객관적으로 수행하여 부적절한 시험 절차로

볼 수 없었으며 EWT의 특정 송신 주파수가 MOSCOS 운용 대역과 겹쳐있어 현재 운용에 상당한 지장이 있는 것으로 파악되어 문제해결이 필요한 것으로 분석되었다. 장비(Machine) 관련하여 검교정 미실시가 예상 원인으로 식별되었으나 계측장비 들은 유효한 검교정 성적서를 득한 장비로 해당 문제점의 원인은 아닌 것으로 식별되었다. 마지막으로 환경(Environment) 관련 안테나간의 근접 거리와 가혹한 전자기적 환경이 원인으로 식별되었다. 본 연구 대상인 MTB는 Fig. 5와 같이 함 상부갑판에 EWT안테나, MOSCOS 안테나뿐만 아니라 다수의 안테나가 밀집 배치되어 전자기 간섭에 취약한 환경을 가지고 있다. 특히 EWT 안테나 바로 뒤에 MOSCOS 안테나가 설치되어 송신 시 발생하는 광대역 노이즈에 의해 전자기간섭이 예상되었다. 따라서 EWT와 MOSCOS 간 전자기 간섭 문제를 해결하기 위해서는 근접하여 설치되어 있는 안테나 간 거리를 이격하고 본 함 구조물 내에서 최적의 위치를 연구하여 설치하는 것이 문제해결의 가장 큰 원인으로 식별되었다.

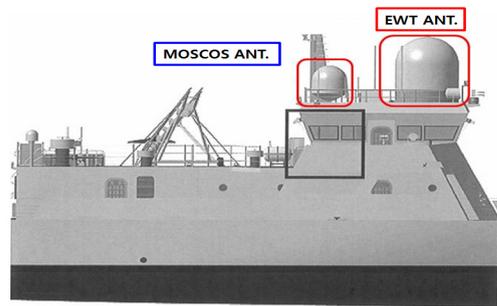


Fig. 5. MOSCOS and EWT Antenna Placement

2.5 이론적 고찰 및 수신 레벨 계산

전파는 전달경로에 따라 직접파, 반사파 등으로 분류되며, 수상함과 같은 근거리에서는 직접파와 함정 구조물에 의한 반사파가 주가 된다. Fig. 6은 직접파 및 반사파에 의한 전파경로를 나타낸 것이다. 직접파는 송신 안테나로부터 수신 안테나를 향해 최단거리 경로로 전파되는 파이며 송신 안테나에서 수신 안테나 간 직접파에 의한 수신레벨은 수식 (2) Friis 공식에 의해 표현될 수 있다[13].

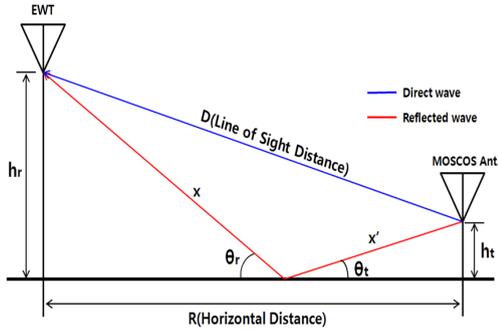


Fig. 6. MOSCOS wave propagation model

$$P_r = P_t G_t G_r \left[\frac{c}{4\pi f D} \right]^2 \quad (2)$$

이때, P_r 은 MOSCOS ANT. 수신레벨, P_t 는 EWT 송신레벨, G_t 는 EWT ANT. 이득, G_r 은 MOSCOS ANT. 이득, f 는 EWT 송신주파수, D 는 MOSCOS와 EWT 간 가지거리이다. 식 (3)은 식 (2)를 dB 스케일로 표현한 식이며 D 는 km 단위, f 는 MHz 단위이다.[14]

$$P_r = P_t + G_t + G_r - 20\log D - 20\log f - 32.4 \quad (3)$$

반사파의 경우 수식 (4)와 (5)로 표현될 수 있는데, 이때 R 은 안테나 간 수평거리를 의미하며 K 는 보정 계수 (adjusting coefficient)로 ρ 는 반사계수, Δ 는 경로 x 와 경로 x' 의 위상차, h_t 는 EWT 설치높이, h_r 은 MOSCOS 설치높이를 의미한다. 식 (5)의 첫째항은 직접파, 둘째 항은 반사파, 셋째 항은 접지전류와 관련된 사항이나, 송신파의 파장 대비 송신 안테나의 높이가 클 경우에는 무시할 수 있다.[15]

$$P_r = P_t G_t G_r \left[\frac{c}{4\pi f R} \right]^2 \cdot K \quad (4)$$

$$K = |1 + \rho e^{j\Delta} + (1 - \rho) A e^{j\Delta} + \dots|^2 \quad (5)$$

수식 (4), (5)에 의한 반사파의 전력의 영향은 Ray Tracing과 같은 해석적 방법으로 더욱 정확한 계산 값을 얻을 수 있으나 본 함의 경우 두 안테나 간 거리가 근접하여 직접파에 의한 영향이 큰 것으로 볼 수 있으므로

직접파에 의한 영향을 분석하였다. 수식 (2)에 따라 수신 전력의 세기는 가지거리의 제곱에 비례하여 감소하며 가지거리를 증가시키기 위해서는 안테나 설치 위치 고도 차이를 늘리거나 수평거리 R 을 최대한 멀리 이격시키는 것이 필요하다.

$$D = \sqrt{R^2 + (h_r - h_t)^2} \quad (6)$$

또한 직접파에 의한 영향을 최소화하기 위해 가지거리 간에 차폐물이 존재한다면 전자기 간섭 효과는 더욱 감소될 수 있으나 차폐물에 의해 MOSCOS 안테나 송신에 장애를 받는 위치에 놓여서는 안 되기 때문에 최적위치 선정 시 고려해야 할 요소이다.

2.6 전자기 간섭 현상 측정

EWT는 재밍 및 레이더 모의 신호 방사 시 네 가지의 주파수를 사용하여 송신하고 있으며 송신출력이 최소 50dBm 이상으로 상부 갑판에 설치된 안테나 중 가장 큰 출력을 방사하고 있다. 그 중 E1A(0.5 ~ 2GHz), E1B(2 ~ 6GHz) 안테나 송신 시 문제가 없었으나 E1C(6 ~ 18GHz) 송신 시 전 구역/전 주파수 대역 전자기 간섭 현상이 발생하였고, E1D(6 ~ 18GHz) 송신 시 Fig. 7과 같이 일부 구역/일부 주파수 대역에 전자기 간섭 현상이 발생하였다. 그래프 상에서 높은 값은 간섭을 의미하고 상대적으로 낮은 값은 간섭 없음을 의미한다. 0GHz의 경우 -90°, -60° 등에서 간섭현상이 발생하였음을 의미한다.

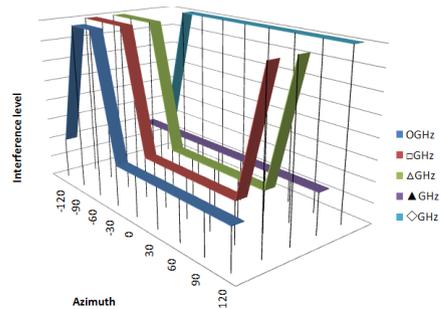


Fig. 7. EMI Characteristics on E1D mode

E1C, E1D 모드의 운용 주파수는 MOSCOS 운용 주파수 대역과 겹치게 되며 E1C의 경우 E1D보다 출력이 약 9dBm 높아서 E1C 송신 시 MOSCOS 전 대역 간섭

이 발생하여 간섭 현상이 심각함을 확인할 수 있었다. Fig. 8과 같이 MOSCOS는 EWT로부터 $\pm 120^\circ$ 방향에 위치하고 있어 EWT의 Main lobe가 향하는 각도가 이 방위각(Azimuth) 근처로 방사할 때, 영향을 가장 크게 주게 되며 EID의 경우는 방위각이 $120^\circ \sim -60^\circ$ 과 120° 에서 네 개의 주파수 중 세 개가 간섭현상을 일으켜 간섭문제가 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 우현 안테나에 비해 좌현 안테나에서 간섭 현상이 심각한 이유는 EWT의 내부 안테나 배치가 정확히 좌우대칭은 아니기 때문이다. 따라서 MOSCOS 좌현 안테나가 EWT에 의해 더 영향을 받고 있음이 나타났다.

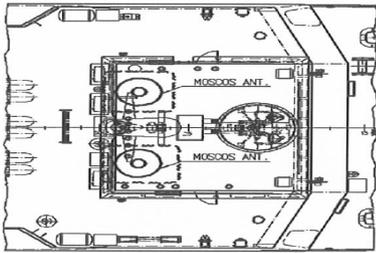


Fig. 8. Top view of MOSCOS and EWT

Fig. 8과 같이 EWT 안테나와 MOSCOS 안테나는 근접하여 배치되어 있을 뿐만 아니라 같은 층(O-2 Level)에 위치하고 있어 전자파 간섭에 취약한 환경에 위치하고 있어 MOSCOS 안테나 설치 위치를 변경하기 위해 전자파 간섭 대상 안테나들의 정확한 최적배치를 위해 MOSCOS의 빔폭, 부엽레벨 파악이 필요하므로 고각 및 방위각별 송신레벨을 측정이 필요하다. 이를 위해 기존에 동일 장비가 탑재된 함정의 사례를 조사하였으며, 동일 장비에 대해 수행된 MOSCOS의 송신레벨 측정 결과를 참조하여 최적위치 설계에 반영하였다[15-16]. MOSCOS의 방사 패턴은 고각과 방위각의 주빔(Main lobe) 기준으로 대략적인 3dB Bandwidth는 대략 고각이 $\pm 0.5^\circ$ 이내 정도이며 방위각은 $\pm 1.5^\circ$ 이내로[16] 빔 폭이 매우 좁은 특성을 가지고 있어 전파의 직진성이 강한 특성을 가지고 있는 것으로 확인되었고 주로 직접파에 의한 영향성을 검토하는 것으로 본 연구를 수행하였다.

2.7 MOSCOS 최적위치 설계안 검토

본 함은 Fig. 9와 같이 EWT 송신 안테나와 MOSCOS 안테나가 설치된 O-2 level과 O-1 level 및 갑

판으로 구성되어 있다. 현재 설치된 위치 O-2 level에서는 공간이 협소하여 이전설치가 불가능한 것으로 확인되었으며, 갑판의 경우 함미에 구멍정 등에 의해 구조물 간섭이 심하여 위성 통신이 가능한 지역이 없는 것으로 확인되었다.

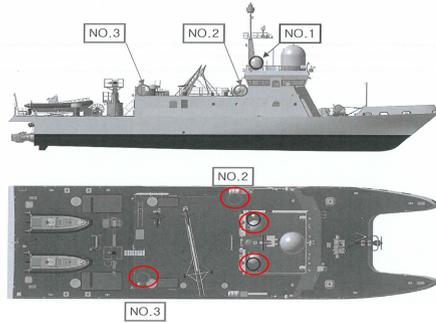


Fig. 9. The location of E-field for MOSCOS

따라서 MOSCOS 안테나 설치가 가능한 구역은 O-1 level이다. O-1 level로 이동 설치하는 것만으로도 수식 (6)에 의해 안테나 간 고도차에 의한 간섭 현상 개선은 가능하나 최적화된 위치 선정을 위해 위성통신 수신 감도가 높으며 EWT의 전자파 간섭을 최소화 할 수 있는 최적의 위치 선정에 대한 연구를 수행하였다. 우선 원활한 위성통신을 위한 고각 방향 $43\sim 48^\circ$ 도 유지를 하면서 O-1 level에서 기 설치된 구조물에 간섭을 최소로 받는 위치에 대한 조사를 수행하였다. 조사결과, O-1 level 상부 갑판은 크레인 등의 구조물이 설치되어 설치 가능 위치가 제한되었고 최종 두 개의 위치가 후보로 선정되었다. 기존 위치는 두 개의 위치 이동시 개선효과를 확인하기 위하여 총 세 개의 위치를 후보로 선정하였으며 Table 2는 Fig 9.에 제시된 기존 위치 포함 두 개의 최적 후보 위치에 대한 선정 사유를 정리한 것이다.

Table 2. The candidates for optimal solution

Location	Reason
No. 1	The present location to evaluate the improvement
No. 2	The location to predict the maximally receivable satellite signal
No. 3	The position to forecast the minimally interference

O-1 level 상부 갑판 중앙에는 함미 쪽 방향으로 설치 시 함수부로 안테나 지향시 고각방향에 일부 간섭이 발생하는 것으로 파악되어 마스트 인근의 좌우현 방향으로 설치하는 것이 위성통신을 수행하는 데 최적의 위치로 확인되어 Fig. 9에 나타난 No. 2 위치가 후보로 선정되었다. 또한 EWT 직접파에 의한 영향을 최소화하기 위해 수식 (5)에 의해 O-1 level에서 가장 먼 거리에 위치해야 가장 큰 효과를 볼 수 있으므로 O-1 level 함미 쪽에서 가장 외곽인 No. 3 위치도 후보로 고려하여 두 군데 위치를 측정하여 원 위치인 No. 1 위치와 감소효과가 있는지 실선에서 측정하였다. 강조하면 No.1 위치의 간섭 값을 기준으로 No. 2와 No. 3 위치의 간섭 값을 비교하여 간섭 개선 효과를 평가하여 두 개의 위치 사이에 우위에 있는 것으로 나타난 것을 최적의 위치로 판단하고자 하였다.

MOSCOS 안테나가 좌우 대칭인 점을 고려하여 No. 2 위치의 경우 좌현만 측정하고, No. 3 위치의 경우 우현만 측정하여 기존 위치 전계강도와 비교하였다. 측정 결과, 좌현 안테나 설치 위치의 경우, Fig. 10과 같이 No. 1과 No. 2 위치의 측정 PSD(Power Spectral Density) 값이 EIC mode의 경우 전 대역에 걸쳐 -11 ~ -17dBm 값의 감소 효과가 있음을 확인할 수 있으며 EID mode의 경우 -15 ~ -27dBm 값의 감소효과가 관찰되어 더욱 큰 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

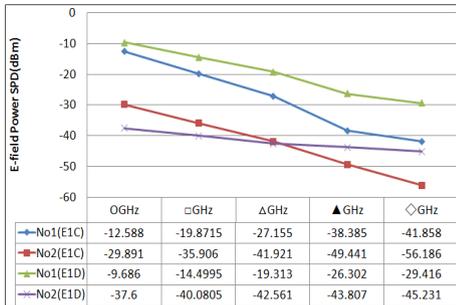


Fig. 10. The PSD of left-sided ANT. location on EIC and EID mode

우현 안테나 설치 위치의 경우, Fig. 11과 같이 No. 1과 No. 3 위치의 측정 PSD(Power Spectral Density) 값이 EIC mode의 경우 전 대역에 걸쳐 -1 ~ -8dBm 값의 감소 효과가 있음을 확인할 수 있으며 EID mode의 경우 -5 ~ -11dBm 값의 감소효과가 관찰되었으나 ◇

GHz에서는 감소효과가 -1.871dBm으로 감소효과가 전혀 없어 수식(2)와 (5)에 의해 가지거리가 No. 2보다 No. 3가 멀어 간섭 효과 감소가 클 것으로는 이론적으로 예측된 사항과는 상이한 결과가 나온 것을 확인할 수 있었다.

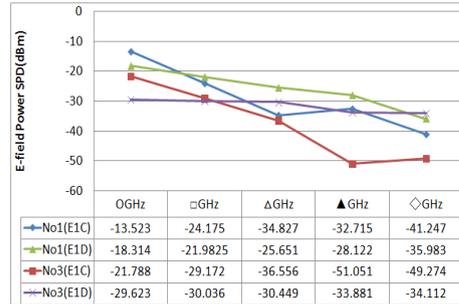


Fig. 11. The PSD of right-sided ANT. location on EIC and EID mode

모드별, 위치별 전계강도 감소효과는 Table 3.과 같이 나타났으며 값이 클수록 감소효과가 큰 것으로 표현되며 음수의 값을 가질 경우 오히려 감소효과가 없는 것을 의미한다. Table 3.에 나타난 전계 감소효과는 No. 2 위치에 있을 때 No. 3보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 가지거리 기준으로 No. 3가 멀리 떨어져 있으나 직접파를 가로막는 구조물들이 없어 직접파에 의한 영향이 많은 것으로 분석되었다.

Table 3. The improvement of two candidates

Mode	meas. points	OGHz	□GHz	△GHz	▲GHz	◇GHz
EIC	No.1 - No. 2	17.3	16.0	14.8	11.1	14.3
	No. 1 - No. 3	8.3	4.99	1.73	18.3	8.0
EID	No.1 - No. 2	27.9	25.6	23.2	17.5	15.8
	No. 1 - No. 3	11.3	8.05	4.79	5.76	-1.87

No. 2 위치의 경우 가까운 거리에 있으나 Fig. 12와 같이 조타실 상부 갑판에 의해 직접파 경로가 차단되어 전자파 간섭 효과가 강화되는 효과가 있는 것으로 나타났다. Table 4는 3개 위치 간의 우선순위를 정리하고 최적위치로 선정한 이유를 정리하였다. Table 3에서와 같이 EIC mode에서 와 같이 ▲GHz를 제외하고는 No. 2의

위치에서 최소 6.3dB, 최대 약 13dB의 간섭효과가 있으므로 분석되었고, EID mode의 경우 최소 약 11.8dB, 최대 약 18dB의 간섭효과를 보였다. 따라서, No. 2의 위치에 설치하는 것이 전자기간섭 문제를 해결하기 위한 최적의 위치로 실험을 통해 최종 선정되었다.

Table 4. The evaluation results of three candidates

Priority	Location	Description
3	No. 1	The present location Interference problem exists
1	No. 2	The optimal position to solve the EMI problem
2	No. 3	Inferior to No. 2 to improve the interference

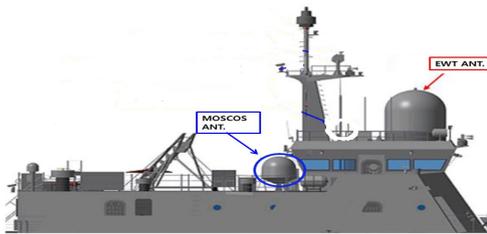


Fig. 12. Improvement of MOSCOS location

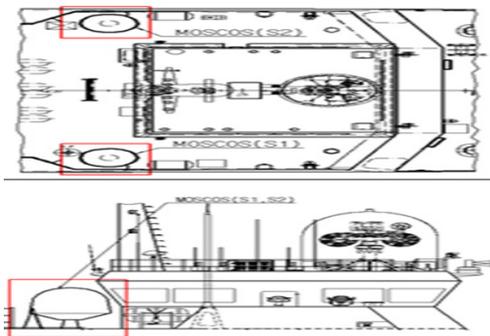


Fig. 13. The final improvement of MOSCOS

추가적으로 실선 계측결과 EID 모드에서 일부 방위 각 방향으로 좌현 안테나가 간섭을 받는 현상을 해소하기 위해 방사방향으로 전자파 차폐판을 설치한 후, No.2 위치로 MOSCOS 안테나를 이동 배치 한 후 Fig. 13와 같이 적용하였다.

Table 5. The test results after improvement

Mode	Azimuth	MOSCOS Status				
		O/GHz	□/GHz	△/GHz	▲/GHz	◇/GHz
EIC	-120	☒	☒	☒	☒	☒
	-90	O	O	O	O	O
	-60	O	O	O	O	O
	-30	O	O	O	O	O
	0	O	O	O	O	O
	30	O	O	O	O	O
	60	O	O	O	O	O
	90	O	O	O	O	O
EID	120	☒	☒	O	O	☒
	-120	O	O	O	O	O
	-90	O	O	O	O	O
	-60	O	O	O	O	O
	-30	S	S	S	S	S
	0	O	O	O	O	O
	30	O	O	O	O	O
	60	O	O	O	O	O
EID	90	O	O	O	O	O
	120	O	O	O	O	O

본 개선사항에 대한 전자기 간섭 개선 효과를 확인하기 위해 실선 시험을 통해 수행하였으며 결과는 Table 5와 같다. 간섭현상이 발생한 EIC와 EID 두 가지 모드에 대해 시험을 실시하였으며 O 의미는 간섭이 없음을 의미하며 ☒는 MOSCOS 안테나가 Tracking 상태에서 Searching 상태로 전환됨을 의미한다. 그러나 두 개의 안테나가 동시에 Searching 상태인 경우는 없으며 이는 MOSCOS 운용상의 장애 상황이 발생한 것은 아니다. 따라서 MOSCOS 위치 변경을 통해 EWT 송신신호에 의한 간섭신호 문제는 개선되었음을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 다목적훈련지원정에 탑재된 EWT에 의해 전자전 송신 훈련 시 MOSCOS 장비에 전자기 간섭 현상이 발생하여 위성통신이 제한되는 문제점을 해결하기 위해 원인분석을 수행하고 MOSCOS 최적 배치안을 연구하였다.

이를 위해 4MIE 요인을 중심으로 Fishbone Diagram을 적용하여 예상 원인 7가지를 식별하였으며 그 중 환경 관련 안테나가 근접하여 설치되어 있는 것이 가장 큰 문제점으로 식별하였으며 안테나 간 이격을 위한 최적배치 연구를 수행하였다.

우선 기존 함정에서 발생하였던 전자전 장비와 MOSCOS 간섭 현상 사례를 조사하고 Friis 공식에 따른 이론적 전파 방사 원리 탐구를 통해 고려해야할 요소들에 대해 검토하였으며 본 함의 경우 두 안테나 간 거리가 근접하여 직접파에 의한 영향이 큰 것으로 볼 수 있으므로 직접파에 의한 영향을 분석하였다. 전자기 수신 레벨 측정을 통해 EWT의 E1C와 E1D 모드에서 MOSCOS와 간섭 현상이 심각함을 확인할 수 있었으며 최적위치 선정을 위해 본 함의 구조를 검토하여 기존 설치되어 있는 O-2 level에서 O-1 level로 이전 설치가 최적의 대안으로 제시되었으며 O-1 level에서 위성통신을 수행하기에 원활한 위치로 No. 2와 EWT에서 가장 가시거리가 먼 No. 3 위치를 최적위치 후보로 선정하고 원 위치인 No. 1 위치와 비교하여 개선효과가 있는지 실선에서 측정하였다. 측정결과, No. 2 위치에 설치하는 것이 No. 3보다 전자기 간섭 개선 효과가 뛰어난 것으로 확인되었으며 이는 조타실 상부 갑판에 의해 직접파 경로가 차단되어 전자파 간섭 효과가 강화되는 효과가 있는 것으로 나타났다.

본 개선사항에 대한 전자기 간섭 개선 효과를 확인하기 위해 No. 2 위치로 MOSCOS 안테나를 이동 배치 한 후 실선 시험을 통해 수행하였으며 결과는 일부 대역에서 MOSCOS 안테나가 Tracking 상태에서 Searching 상태로 전환됨이 관찰되었으나 이는 MOSCOS 운용상의 장애 상황이 발생한 것은 아니며 MOSCOS 위치 변경을 통해 EWT 송신신호에 의한 간섭신호 문제는 개선효과가 있으며 운용상 문제가 없음이 입증되었다.

References

[1] Bag B. S., "First deployment of a navy MTB", *The Hankyoreh news*, Dec. 29, 2017.

[2] Seo Dae Soo et al, "Installation Plan Research Report for Underwater Telephone System of Naval Catamaran Vessel", *DTaQ-18-5670-R*, 2018.

[3] J. H. Lee, J. H. Kwon and K. H. Song, "Analysis of the Electric-field Characteristics of V/UHF Antennas Installed on a Shipboard," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 11, No. 6, pp. 74-75, 2008.

[4] H. W. Park, H. S. Lee and W. S. Yoon, "Performance Analysis of Cooperative Communication with Spread Spectrum to Overcome Channel Blockage for On-The-Move Terminal in Next Generation Satellite Communication Systems," *Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol. 39, No. 9, pp.

757-758, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2014.39C.9.757>

- [5] J. S. Im, "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.
- [6] D. J. Baek, "A study on the noise reduction of air conditioner cooling down EWT", *Korea Navy Science & Technology Committee*, 2018.
- [7] Hoseong Chang, Younghoon Ham, Kwanjun Jo, "A study on EMI shield optimization for improvement of EMI between MIL-SATCOM and ES on a surface ship", *Journal of the KIMST*, Vol. 20, No. 1, pp. 63-71, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.1.063>
- [8] The Society of Naval Architects of Korea, "Naval Ship," Text Books, Korea, pp. 438-440, 2015.
- [9] Y. J. Son, The Report for Optimum Location Selection of Aegis Destroyer MOSCOS, *DTaQ-09-2054-R*, 2009.
- [10] Accept Tech., The EMI/EMC final report on MTB, 2017.
- [11] Balanis, C. A., *Antenna Theory*, Wiley-Interscience, ISBN 9780471667827, 2005.
- [12] Korean Society for Learning and Performance, *HRD Terminology*, ISBN 9788970172422, JoongAng Economics, 2010.
- [13] Sergio Conceicao, "Ns-3 Simulation Model for Underground Networks," *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, pp. 10-11, 2014. DOI: <https://paginas.fe.up.pt/~ee10010/style/images/dissertations/pdi.pdf>
- [14] Y. J. Son, The Report for Optimum Location Selection of Aegis Destroyer MOSCOS, *DTaQ-09-2054-R*, 2009
- [15] H. Chang, Y. Son, "A Study on Optimal Deployment for Improvement of EMI between MOSCOS and ES DF Antenna on a Surface Ship", *Journal of the KIMST*, Vol. 20, No. 2, pp. 197-205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.2.197>
- [16] William Mark Smith, "Urban Propagation Modeling for Wireless Systems," The Department of Electrical Engineering and the committee on Graduate Studies of Stanford University, pp. 12-15, 2004. DOI: <http://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a424868.pdf>

이 지 혁(Ji-Hyeog Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2006년 6월 : USC(University of Southern California) M. S. in Electrical Engineering.(공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 국방기술품절원(DTaQ) 선임 연구원

<관심분야>

정보처리, EMI/EMC, 영상 표적 추적

조 규 룡(Kyu-Lyong Cho)

[정회원]



- 2002년 2월 : 영남대학교 정보통신 공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 한국해양대학교 해양 공학과 (공학석사)
- 2017년 8월 : 한국해양대학교 전기 전자공학과 (공학박사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : 국방기술품 질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

신호처리, EMI/EMC, 수중음향

서 형 필(Hyeong-Pil Seo)

[정회원]



- 2003년 2월 : 해군사관학교 전자공 학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 연세대학교 전기전자 공학부 (공학석사)
- 2014년 : 해군사관학교 무기체계공 학과 조교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원(DTaQ) 선임 연구원

<관심분야>

RCS 감소, 전자전, 위상배열