

## 선박에 적합한 저비용 GPS 항재밍 방안 연구

### Study on Low-Cost GPS Anti-Jamming Solutions Suitable for Vessels

김 재 현 · 김 현 봉 · 이 하 준

Jae-Hyun Kim · Hyun-Bong Kim · Ha-Jun Lee

#### 요 약

본 논문은 선박에 적합한 저비용 GPS 항재밍 방안을 제안한다. 국내의 GPS 교란 신호는 북방한계선(NLL) 인근에서 남쪽을 향하는 GPS 전파 교란 공격이라는 점과 해상 환경에서는 선박의 롤링과 피칭 등으로 인해 GPS 신호 수신 특성에 영향을 받을 수 있는 특징이 있다. 이에 본 연구는 고비용 항재밍 GPS를 대체할 수 있는 GPS 항재밍 형상 설계와 선체 감쇄 특성을 활용한 항재밍 방안을 제시하였다. 형상에 대한 무반사 성능 측정 결과, 약 29.42 dB의 신호 감쇄 효과를 확인하였다. 선체 감쇄 특성을 활용하면 감쇄 효과는 더욱 증가할 수 있다. 위성 탐색수는 12~14개로 위성 항재밍 쉴드 형상이 위성 획득에 부정적인 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 상용 항재밍 안테나에 비해 차폐 성능은 다소 낮지만, 저비용 알루미늄 합체 설계와 구조 최적화를 통해 비용 효율성을 극대화하였다. 실제 여객선을 대상으로 한 시험운용에서는 해당 선사 의견을 통해 선박 자동항법시스템(e-Nav.) 및 GPS 플로터(Plotter) 비교 환경에서 항재밍 효과를 확인하였다.

#### Abstract

This study proposed a cost-effective global positioning system (GPS) anti-jamming solution suitable for vessels. Domestic GPS interference signals are characterized by jamming attacks originating near the northern limit line (NLL) and are directed southward. In addition, the maritime environment is influenced by factors such as ship rolling and pitching, which can affect GPS signal reception. To address these challenges, this paper presents a GPS anti-jamming design that utilizes shield configurations and hull attenuation properties as alternatives to high-cost anti-jamming GPS systems. The measurement results for the nonreflective performance of the shield configuration showed a signal attenuation effect of approximately 29.42 dB. The attenuation effect could be further enhanced by exploiting the attenuation characteristics of the hull. The number of visible satellites was maintained at 12~14, confirming that the satellite shield configuration did not negatively affect satellite acquisition. Although the shielding performance was slightly lower than that of commercial anti-jamming antennas, the cost efficiency was maximized by using low-cost aluminum enclosures and structural optimization. Field trials conducted on a passenger vessel verified the anti-jamming effectiveness through a comparative analysis using the e-navigation system (e-Nav.) of the ship and GPS plotter. Feedback from the shipping company further supported the practical applicability of the proposed solution.

Key words: GPS Anti-Jamming, Shielded Enclosure, Hull Attenuation, Maritime Navigation, Low-Cost Design

「이 연구는 한국방송통신전파진흥원 재원 및 연구비의 지원으로 연구되었음.」

한국방송통신전파진흥원(Korea Communication Agency)

· Manuscript received January 1, 2025 ; Revised January 11, 2025 ; Accepted January 31, 2025. (ID No. 20250101-001)

· Corresponding Author: Jae-Hyun Kim (e-mail: zaaq@nate.com)

## I. 서 론

최근 정부 발표에 따르면 GPS 전파교란 상황으로 실제 피해로 이어지지는 않았으나, 항공기 및 선박에 대한 전파혼신 신고 건수가 수백건 발생 되었다<sup>[1]</sup>. 특히, 군사용/민간용 GPS의 정밀도 향상과 함께 차량, 항공 및 선박 등 다양한 분야에 활용도가 증대됨에 따라 피해 사례 역시 늘고 있다. 기술적으로는 GPS의 반송파 주파수 등 신호 규격이 공개되어 있어 약  $-160$  dBW의 낮은 전력으로 수신되는 GPS 신호 특성상 전파교란에 취약할 수밖에 없는 게 현실이다<sup>[2],[3]</sup>. 상용화된 항재밍 GPS 안테나는 소프트웨어적으로 다중 간섭 신호를 감지하여 이를 억제<sup>[4]</sup>하거나, 고정밀 GNSS 수신기와 안테나를 활용<sup>[5]</sup>하며, 항재밍 기능이 포함된 CRPA(controlled reception pattern antenna)를 제공<sup>[6]</sup>하여 약  $25\sim40$  dB의 재밍 신호 감쇄 성능을 보인다. 그러나 이러한 장비는 수백만 원에서 수천만 원 이상의 높은 비용이 소요되어, 기술적 장비나 인프라가 상대적으로 부족한 여객선과 같은 선박에는 활용이 제한적이다. 본 논문에서는 이를 극복하기 위하여 선체 브릿지의 차폐 효과와 해상 환경에 적합한 차폐 합체 설계로 저비용의 효율적인 GPS 전파교란 방안을 마련하고, 성능분석 수행을 통하여 활용 가능성을 검증하였다.

## II. GPS 및 전파교란 개요

### 2-1 GPS 및 전파교란

GPS(global positioning system)는 위성 신호를 이용하여 위치, 속도, 시간 정보를 제공하는 시스템이다. GPS 위성은 L1(1,575.42 MHz) 주파수에 C/A 코드를 변조하여 신호를 전송하며, 수신기에서는 동일한 코드를 생성하여 수신된 위성 신호와 비교한다. 이를 통해 신호가 위성에서 수신기까지 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하고, 삼변측량 기법을 활용하여 위치를 측정한다<sup>[7]</sup>. 전파 교란은 GPS 신호보다 높은 세기의 방해 전파를 송출하여 정상적인 GPS 신호 수신을 방해하는 공격 기법으로 정의된다. 이러한 교란은 고출력 신호를 이용하여 GPS 신호를 차단하거나 주파수 대역을 왜곡하여 수신기의 신호 처리를 방해하는 재밍(jamming)과 GPS 신호와 유사한 신호를 전송

하여 수신기의 오작동을 유발하고, 잘못된 위치 정보를 제공하거나 시스템을 혼란스럽게 만드는 스푸핑(spoofing)으로 구분할 수 있다.

### 2-2 선박에서 GPS 교란의 주요 사례 및 영향

북한의 GPS 전파 교란 공격은 지속적으로 발생하고 있으며, 최근에도 서해 북방한계선(NLL) 일대에서 수일간 전파 교란이 이어져, 인천 해상을 운항하는 여객선과 어선의 내비게이션이 일시적으로 오작동한 사례가 보고되었다. 인천시는 이러한 문제를 예방하기 위해 저비용 전파 교란 방지 대책을 마련한 바 있다<sup>[8]</sup>.

## III. 제안하는 GPS 항재밍 방안

본 논문에서는 해상 환경의 특성을 고려한 항재밍 쉴드 형상 설계와 선체의 차폐 효과를 활용한 안테나 위치 조정을 통해 선박에 적용 가능한 저비용 GPS 항재밍 방안을 제안한다.

### 3-1 선박 구조 및 운항 특성을 활용한 선체 다중차폐

선체를 차폐체로 활용하는 방안으로, 차폐 특성을 가진 알루미늄 소재의 여객선 선체와 복쪽에서 남쪽으로 전파 교란이 발생하는 방향을 고려하여, 일반적으로 선체의 탑 브릿지(top bridge) 상단에 설치되는 GPS 안테나를 선체 후미로 재배치함으로써 다중 차폐 효과를 구현할 수 있다.

그림 1은 선체를 활용한 다중 차폐의 개념도를 나타낸다. GPS 안테나를 선체 후미로 이동 설치함으로써 강한 재밍 신호를 효과적으로 차단하고, 상대적으로 수신 전력이 약한 GPS 신호의 수신을 용이하게 하였다. 상공의 GPS 위성에서 수직 방향으로 방사되는 신호는 동일하게 수신할 수 있도록 설계되었다. 일반적인 GPS 안테나는 수평 및 수직 방향의 모든 신호를 수신하기 때문에 재밍 신호와 같은 전파 교란에 취약하다. 그러나 선박의 브릿지를 차폐체로 활용함으로써 재밍 신호의 영향을 최소화하고, 교란 및 기만 상황을 효과적으로 회피할 수 있다.

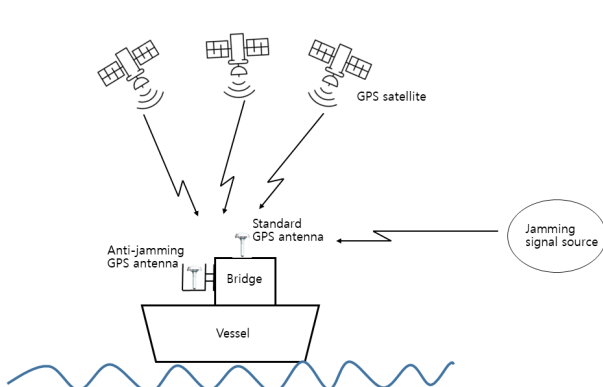


그림 1. 선박용 항재밍 GPS 안테나 설치 개념도  
Fig. 1. Conceptual diagram of anti-jamming GPS antenna installation for ships.

### 3-2 해상특성을 고려한 항재밍 차폐 함체 설계

해상 환경에서는 파도의 크기와 주기, 바람의 세기 등이 롤링(rolling)과 피칭(pitching)을 유발하며, 이는 안테나의 전파 수신 효율에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 특히, 안테나의 위치가 고정된 경우, 이러한 해상 조건은 전파 수신에 불안정을 더욱 심화시킨다<sup>[9]</sup>. 여러 개의 안테나를 배치하는 안테나 다이버시티 시스템이나 자이로 안정화 시스템은 이러한 문제를 해결할 수 있지만, 고비용으로 인해 일반 선박에서는 적용이 제한된다.

GPS 신호의 수신강도는 식 (1)과 같이 결정될 수 있다.

$$S = A \cdot I \cdot \cos(\theta - \alpha) \cdot \cos(\varnothing) \cdot \cos(\psi) \quad (1)$$

여기서,  $S$ 는 GPS 신호의 수신강도(W),  $A$ 는 개구면적( $m^2$ ),  $I$ 는 위성에서 방사된 신호의 단위 면적당 에너지로 GPS 신호의 세기( $W/m^2$ ),  $\cos(\theta - \alpha)$ 는 경사각을 포함한 입사각,  $\cos(\varnothing)$ 는 롤링,  $\cos(\psi)$ 는 피칭에 따른 신호 감쇄 계수이다. 롤링 평균 각도  $\pm 15^\circ$ 와 피칭 평균 각도  $\pm 7^\circ$ 를 고려시, 경사각이 없을 때( $\alpha = 0$ ) 롤링과 피칭으로 인해 수신강도는 약 4.1% 감소하게 된다. 일반적으로 GPS 위성이 안정적 신호강도를 제공하는 고도각  $15^\circ \sim 90^\circ$ 사이에서 최적의 경사각을 찾기 위해  $\alpha$ 를 고정하고, 식 (2)를 이용하여  $S$ 의 평균을 계산하면  $S_{avg}(\alpha)$ 가 최대가 되는 약  $45^\circ \sim 55^\circ$ 사이의  $\alpha$ 를 찾을 수 있다. 하지만, 본 논문에서는 GPS 신호 수신을 향상과 재밍 신호 차단을 목적

으로 차폐 함체를 설계하였다. 차폐 함체의 높이와 반지름에 따라 결정되는 고도각과 롤링( $15^\circ \sim 30^\circ$ ) 및 피칭( $7^\circ \sim 14^\circ$ )에 의한 영향을 최소화하고, 대기 효과 등을 고려하여 경사면 설계 시 최적의 경사각( $20^\circ$ )을 반영하였다.

$$S_{avg}(\alpha) = \int_{15^\circ}^{90^\circ} \cos(\theta - \alpha) d\theta \quad (2)$$

그림 2는 GPS 안테나용 항재밍 차폐 함체의 개념도를 나타내며, 개구면의 확대를 위해 개구 면적을 2단 구조로 설계하였다. 이를 통해 롤링 및 피칭에 따른 신호 손실을 감소시키고, GPS 신호의 수신 성능을 극대화하였다.

선체 차폐(SE, shielding effectiveness)에 대한 수식은 전자기파의 차폐 정도를 나타내는 값으로, 식 (3)과 같이 정의될 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$SE = 10 \log \left( \frac{P_i}{P_t} \right) = R + A + M \quad (3)$$

여기서,  $P_i$ 는 입사된 전력(incident power),  $P_t$ 는 투과된 전력(transmitted power)이다.  $R$ 은 금속 표면에서 전자기파가 반사되는 반사 손실,  $A$ 는 재료 내부에서 에너지가 소멸되는 정도를 나타내는 흡수 손실,  $M$ 은 얇은 차폐체 내부의 다중 반사 손실을 나타낸다. 본 논문에서는 GPS 주파수 대역인 1,575.42 MHz 주파수 대역과 알루미늄 및 스테인레스 스틸의 재질을 기준으로 계산할 수 있으나, 선박의 설치환경을 고려하여 실측정값을 기준으로 차폐된 정도를 분석한다.

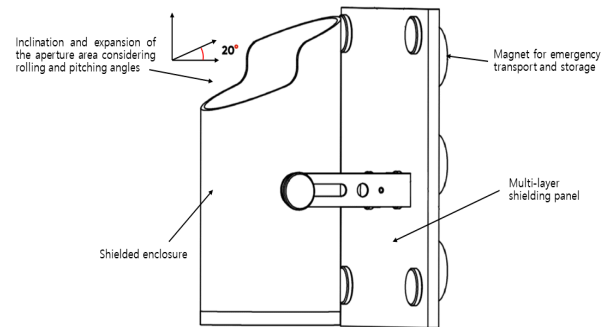


그림 2. GPS 안테나용 항재밍 차폐 함체  
Fig. 2. Anti-jamming shielded enclosure for GPS antenna.

#### IV. 항재밍 GPS 솔루션 제작 및 실험

EMI 차폐 효과는 물질의 전기 전도도, 자기적 성질, 그리고 흡수 및 반사 메커니즘에 크게 의존하며, 전기 전도도가 높을수록 전자기파를 반사하는 능력이 증가하여 더 효과적인 차폐를 제공할 수 있다<sup>[11]</sup>.

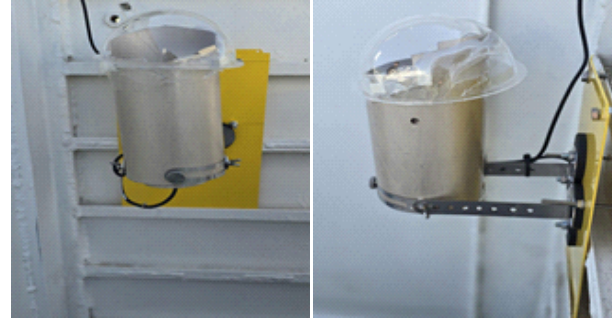
표 1은 물질별 전기 전도도 및 EMI 차폐 성능을 비교하였고, 대부분의 항재밍 시스템은 고비용의 다중 안테나 시스템이나 자이로 안정화 장치 등 고급 하드웨어를 사용하여 선박에 쉽게 적용하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 선박의 기존 구조를 활용하고, 고비용의 추가 장비 없는 저렴한 알루미늄 차폐체를 이용하였다.

그림 3은 제작된 GPS 안테나용 항재밍 차폐 합체의 형상을 나타낸다. 차폐 성능을 강화하기 위해 외부는 알루미늄, 내부는 내식성을 고려하여 스테인리스 재질과 내외부에 차폐 도료를 사용하였다. 상단에는 눈과 비의 영향을 방지하기 위해 플라스틱 재질의 투명 덮개를 부착하였으며, 선박의 이동 방향에 따른 선체 차폐 효과를 조정할 수 있도록 탈부착이 용이한 자석을 사용하여 다중 차폐 역할을 하는 패널에 고정하였다.

그림 4는 항재밍 차폐 합체가 결합된 GPS 안테나의 수신 각도에 따른 감쇄 특성을 측정하기 위한 실험 환경을 나타낸다. 실험은 신호 발생기와 스펙트럼 분석기를 이용하여 송도 IoT 지원센터의 무반사실에서 수행되었다. 측

표 1. 물질별 전기 전도도와 EMI(전자기 간섭) 차폐 특성  
Table 1. Electrical conductivity and EMI (electromagnetic interference) shielding characteristics by material.

Material	Electrical conductivity of materials (S/m)	EMI shielding performance
Copper (Cu)	Approx. $5.96 \times 10^7$	Excellent high-frequency EMI shielding
Aluminum (Al)	Approx. $3.50 \times 10^7$	Lightweight and corrosion-resistant, excellent EMI shielding
Iron(Fe)	Approx. $1.00 \times 10^7$	Effective for low-frequency magnetic shielding
Stainless steel	Approx. $1.45 \times 10^7$	Used for EMI shielding in specific environments



(a) 정면도 (b) 측면도  
(a) Front view (b) Side view

그림 3. 선박에 설치된 항재밍 GPS 안테나

Fig. 3. Anti-jamming GPS antenna installed on a ship.

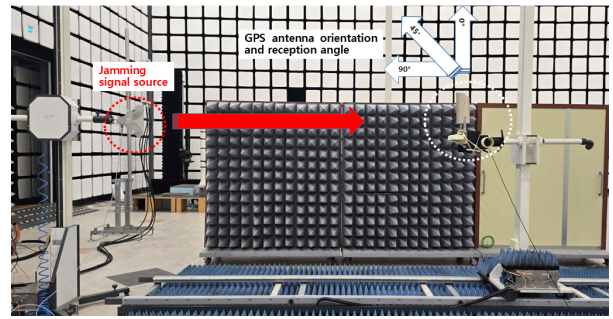


그림 4. 재밍신호의 차폐 성능 측정 방법

Fig. 4. Measurement method for shielding effectiveness of jamming signals.

정을 위해 이득 28 dBi, 출력 임피던스 50 Ω, L1/B1/G1 동작 주파수를 갖는 소형 안테나를 차폐 형상에 적용하였으며, 신호 발생기를 통해 1~2W 가변 출력으로 5 m 거리에서 가상 재밍 신호를 발사하고, 스펙트럼 분석기로 각도별 수신 세기를 측정하였다.

표 2는 스펙트럼 분석기를 이용하여 항재밍 GPS 안테나 수신 각도별 수신 전력을 측정한 결과와 수신 각도에 따른 감쇄 특성을 정리하였다. 90° 각도에서 수평 방향의 재밍 신호를 직접 수신할 때와 비교 시 0° 각도에서 완전 차폐 시 약 29.42 dB의 감쇄 특성을 확인하였다.

GPS 수신기가 위치를 계산하기 위해서는 최소 4개 이상의 위성 신호가 필요하다<sup>[12]</sup>. 그림 5는 항재밍 안테나의 수신 각도에 따른 위성 획득을 측정하기 위한 방법을 나타낸다. 실험은 차폐 합체를 포함한 항재밍 GPS 안테나와 일반 GPS 안테나의 성능을 비교하기 위해 수행되었으

표 2. 항재밍 GPS 안테나 수신 각도별 감쇄 특성

Table 2. Attenuation characteristics of anti-jamming GPS antenna by reception angle.

Category	Reception angle (relative attenuation value)		
	0°	45°	90°
Reception value	-80.93 dBm	-58.87 dBm	-51.51 dBm
S/A relative value	$\Delta$ 29.42 dB	$\Delta$ 7.36 dB	-
Remark	Full shielding	Partial shielding	Open shielding

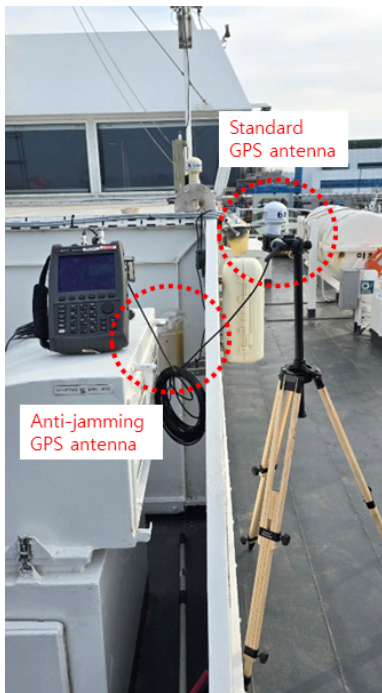
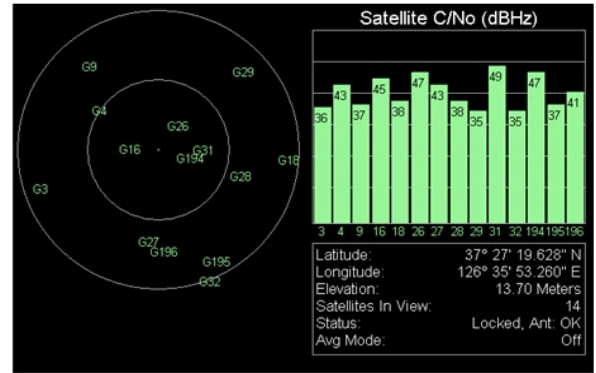


그림 5. GPS 안테나의 위성 획득을 위한 측정 방법

Fig. 5. Measurement method for satellite acquisition of GPS antenna.

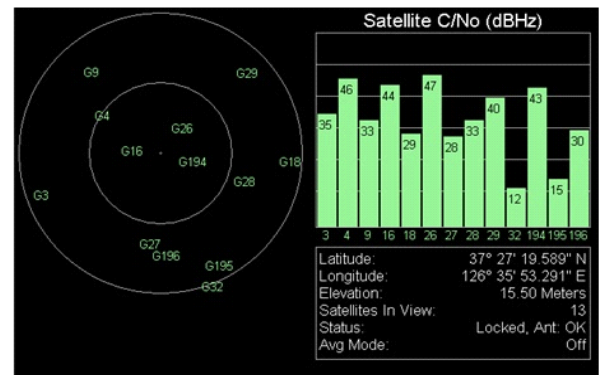
며, 동일 환경(선박, 장소 및 시간대)에서 두 안테나를 스펙트럼 분석기에 순차적으로 연결하여 측정하였다.

그림 6은 스펙트럼 분석기의 GPS 측위 기능을 활용하여 일반 GPS 안테나와 항재밍 GPS 안테나에서 수신되는 위성 획득 결과를 비교하였고, 모두 12~14개의 위성을 탐색 및 획득하였다. 다만, 차폐 함체로 인한 전파 투과 손실 및 다중 경로 효과 등의 영향으로 인해 위성 C/N<sub>0</sub>가 일부 감소하는 것으로 분석된다.



(a) 일반 GPS 안테나 위성 획득

(a) Satellite acquisition with a standard GPS antenna



(b) 항재밍 GPS 안테나 위성 획득

(b) Satellite acquisition with an anti-jamming GPS antenna

그림 6. GPS 안테나의 위성 획득결과 비교

Fig. 6. Comparison of satellite acquisition results for gps antennas.

그림 7은 연평도와 인천항을 운항하는 여객선에 항재밍 안테나를 설치하여 북쪽 방향으로 운항 중 수행된 시

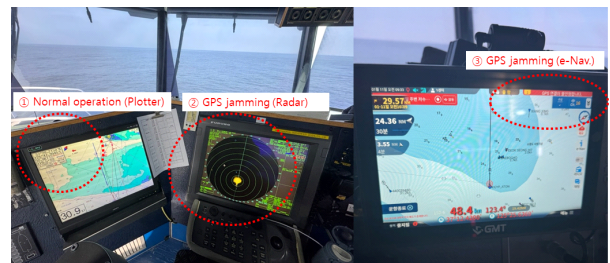


그림 7. 실제 재밍신호에 대한 선박의 항재밍 비교

Fig. 7. Comparison of anti-jamming performance of vessels under real jamming signals.



험 운영 결과를 나타낸다. 항재밍 안테나와 연동된 플로터(①)는 GPS가 정상적으로 동작하는 것으로 확인된 반면, 일반 안테나와 연동된 레이더(②)와 e-Nav.(③)는 GPS 신호 연결이 불안정한 현상을 보였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 항재밍 시스템에서 사용되는 다중 안테나 시스템 및 자이로 안정화 장치와 같은 고가의 하드웨어를 대체하기 위해, 해상 환경 특성을 반영한 알루미늄 항재밍 쉴드 구조와 선체의 차폐 효과를 기반으로 한 안테나 위치 최적화를 연구하였다. 이를 통해 선박에 적용 가능한 저비용 GPS 항재밍 방안을 제안하고, 실험을 통해 성능을 검증하였다. 저비용 알루미늄 소재로 제작된 개별 쉴드 구조의 무반사 성능을 측정한 결과, 약 29.42 dB 이상의 재밍 신호 차폐 효과를 확인하였다. 또한, 선체 구조를 활용하고 주변 반사체의 영향을 최소화할 수 있는 안테나 위치 최적화를 통해 GPS 항재밍 비용을 효과적으로 절감할 수 있음을 입증하였다.

현장에서 수행된 위성 획득 실험 결과, 신호 강도가 일부 감소했으나 일반 GPS 안테나와 유사한 수준인 12~14 개의 위성을 탐색 및 획득 할 수 있었으며, 이를 통해 정확한 측위가 가능함을 확인하였다. 또한, 북쪽 방향으로 운항하는 선박에서 실시한 시험 운용 중, 선사의 선박 자동항법시스템(e-Nav.)과 GPS 플로터를 비교한 실험을 통해 항재밍 효과가 확인되었다. 향후 지속적인 모니터링과 함께, 안테나 주변의 대형 전도성 도체로 인한 성능 변형 분석 및 차폐 성능 개선 방안을 연구하고, 방위별 항재밍 GPS 안테나의 추가 설치 및 선택적 사용이 가능하도록 설계한다면, 본 연구에서 제안한 저비용 항재밍 방안의 실질적 활용 가능성이 더욱 높아질 것으로 판단된다.

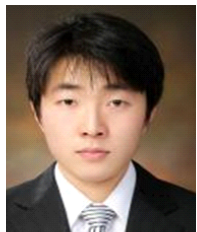
## References

[1] Ministry of Science and ICT, "GPS signal jamming situation(as of May 31, 2024)," Sejong, Korea, May 2024.

- [2] J. I. Joo, C. S. Sin, J. H. Kim, J. H. Lee, S. H. Son, and S. U. Lee, "Technical trends of monitoring GPS jamming," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 26, no. 4, pp. 115-121, Aug. 2011.
- [3] D. W. Lim, "Case study of incidents by GPS interferences and trend for monitoring techniques," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 11, no. 1, pp. 169-176, Jul. 2013.
- [4] C. S. Shin, "Trends in GPS Jamming Countermeasure Technology," *TTA Journal* Vol.149, pp. 92-99, Sep. 2013.
- [5] K. Y. Kim, "Analysis of Anti-Jamming Techniques for Satellite Navigation Systems," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 38C, no. 12, pp. 1216-1227, Dec. 2013.
- [6] ANTCOM, Available: <https://antcom.com/products/crpas>
- [7] P. Misra, P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, Ganga-Jamuna Press, Lincoln, MA, pp. 20-45, 2001.
- [8] THEicn, "North Korea GPS jamming prevention device performance test initiated," 2024. Available: <https://www.theicn.co.kr/news/articleView.html?idxno=1821>
- [9] D. A. Tonn, "Antennas in the maritime environment," in *Recent Trends in Naval Engineering Research*, New York, NY, Springer, 2021, pp. 223-256
- [10] C. Afilipoaei, H. Teodorescu-Draghicescu, "A review over electromagnetic shielding effectiveness of composite materials," *Proceedings of the 14th International Conference on Interdisciplinarity in Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 23-26, Dec. 2020.
- [11] J. Rumble, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 102nd ed. Boca Raton, FL, CRC Press, 2021.
- [12] X. Li, L. Chen, Z. Lu, F. Wang, W. Liu, and W. Xiao, et al., "Overview of jamming technology for satellite navigation," *Machines*, vol. 11, no. 7, p. 768, Jul. 2023.

김 재 현 [한국방송통신전파진흥원/팀장]

<https://orcid.org/0000-0002-1293-7971>



2003년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)

2007년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2017년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사)

2007년 6월~현재: 한국방송통신전파진흥원 팀장

[주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, 무선통신 등

이 하 준 [한국방송통신전파진흥원/대리]

<https://orcid.org/0009-0006-7041-9001>



2020년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)

2020년 9월~현재: 한국방송통신전파진흥원 대리

[주 관심분야] 통신시스템, 네트워크 및 신호처리, RF(무선통신), 빅데이터

김 현 봉 [한국방송통신전파진흥원/차장]

<https://orcid.org/0009-0008-9789-2418>



2005년 2월: 세종대학교 정보통신공학과 (공학사)

2021년 8월: 동국대학교 지식재산학과 (지식재산학석사)

2009년 7월~현재: 한국방송통신전파진흥원 차장

[주 관심분야] 전자파 강도측정, RF 시험 및 측정, 무선통신, 데이터 통신