

잠수함 공격잠망경 함교 보호구조물 설치를 통한 장비 운용성능 향상에 관한 연구

최우석^{1*}, 장호성¹, 이영석¹, 김상일²
¹국방기술품질원, ²(주)대우조선해양

A Study on Improvement of Submarine Attack Periscope Operation Performance using Installing Protector on Sail

Woo-Seok Choi^{1*}, Ho-Seong Chang¹, Young-Suk Lee¹, Sang-Il Kim²
¹Defense Agency for Technology and Quality,
²Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co.,Ltd

요약 본 논문은 잠수함 공격잠망경(Attack periscope) 보호를 위한 보호구조물 설치 타당성 및 신뢰성 검증 방안에 대해 서술하고 있다. 공격잠망경은 잠망경 심도 및 수상 항해 시 대수상 및 대공 표적을 은밀하게 시각적으로 확인하기 위한 핵심 탑재 장비이다. 관측장치 및 거리측정장치를 통해 획득된 표적 정보를 전투체계에 제공하며, 대수상 및 대공 탐색하여 자함의 위협 수준 판단과 표적의 영상, 거리를 포함한 위치 정보를 제공한다. 000급 잠수함 성능개량 시 공격잠망경을 신규 장비로 교체함에 따라 마스트 길이가 증가하였고, 증가된 마스트 길이만큼 외부로 노출됨에 따라 항해 시 어망, 그물과 같은 해상 부유물에 의한 장비 손상 발생 가능성이 커졌다. 따라서 함교에 공격잠망경 보호구조물을 설치하여 장비 운용성능을 향상시켰으며, CFD 해석 및 실제 해상에서의 수중방사소음 측정을 통해 보호구조물 설치 타당성 및 신뢰성 검증을 수행하였다. 본 연구를 통하여 향후 공격잠망경 신규 장비 교체 시 건전성 확보를 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This paper describes the feasibility and reliability verification of installing a protective structure to protect attack periscopes. The attack periscope is the critical equipment of a submarine to enable the user to monitor surface and air activity, collect navigational data, and detect and identify targets. The attack periscope provides target information acquired through TV, IR camera, and laser range finder to the combat system. In the product improvement program, the upper part of the masts was exposed to the outside of the sail because the existing attack periscope was replaced with a new one. On the other hand, the head sensor can be damaged by floating objects, such as fishing nets, during sea navigation. Therefore, the installation of a protective structure for an attack periscope improved the equipment operation performance. The feasibility and reliability of the installation of the protective structure were verified by examining the influence of URN.

Keywords : Attack Periscope, Submarine, FW-H, CFD, URN(Underwater Radiated Noise)

*Corresponding Author : Woo-Seok Choi(Defense Agency for Technology and Quality)

email: wooseokchoi@dtaq.re.kr

Received March 26, 2021

Accepted May 7, 2021

Revised April 21, 2021

Published May 31, 2021

1. 서론

잠수함에 탑재되는 공격잠망경은 수중 및 수상에서 수상 및 대공 표적을 은밀하게 시각적으로 확인하기 위해 운용하는 대함 탐지체계의 주요 탑재 장비이다. 또한, 관측장치(IR, TV camera) 및 거리측정장치(laser range finder)를 통해 획득된 표적정보를 전투체계에 제공하며, 자함의 위치 노출을 최소화하면서 잠망경 심도 및 수상 항해 시 대수상 및 대공 탐색을 하여 자함에서 위험 수준 판단과 표적의 영상 및 거리를 포함한 위치 정보를 제공하며, 야간에는 IR 기능을 통해 표적 탐색이 가능하다. 잠수함 운용 특성상 함수 방향으로의 전방 시야 확보가 중요하므로 공격잠망경 마스트 및 헤드 센서는 자함의 함교에 설치되어 운용된다[1].

OOO급 잠수함은 해군에 인도되어 운영된 지 20여 년이 지난 함정이다. 잠수함 수명 주기, 전술 및 전략적 성능 증대 필요성, 후속군수지원 등을 고려하여 최신 잠수함과 비교하면 성능이 저하된 OOO급 잠수함의 전투 수행 능력 향상을 위해 성능개량 소요가 제기되었다. 성능개량 수행 시 수상 표적탐지 성능 향상을 위해 최신 공격잠망경으로 교체 탑재하였다. 이때, 기존 설치된 공격잠망경 마스트 대비 신규 탑재 장비의 마스트 길이가 상승하여 불가피하게 공격잠망경 구성품인 마스트 및 헤드 센서가 함교 밖으로 노출되는 상황이 발생하였다. 함교 밖으로 노출된 공격잠망경 헤드 센서는 잠망경 심도 및 수상 항해 시 해상 부유물(어망, 그물 등)에 의한 손상 가능성이 있으므로 보호를 위한 보호구조물 설치 필요적이다. 그러나 장비 보호를 위한 함교 보호구조물 추가 설치에 따라 OOO급 잠수함 성능개량 수행 전 대비 함교의 돌출부위가 발생하였고, 함형의 변화가 발생하게 된다. 함형의 변화는 잠수함 운항 중 주변 난류의 흐름으로 유체소음 발생의 원인이 될 수 있으며, 유체소음은 잠수함 피탐에 치명적인 요소이므로 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다[2].

2. 공격잠망경 개요 및 구성

2.1 장비개요 및 구성

Fig. 1은 공격잠망경 운용 모식도이다. 압력선체 외부에 설치되어 있는 헤드 센서의 윈도우를 통해 표적 영상, 이미지를 인입하고, 해당 표적에 대한 이미지 정보와 더불어 거리, 방위 등의 정보를 함내 공격잠망경 운용자에

게 제공한다.



Fig. 1. Operational concept of attack periscope[3]
(a) Masts (b) Operation via ocular box

공격잠망경은 GPS 안테나, 헤드 센서, 마스트, 요크, 모터 드라이브, 광학상자, 긴급 운용 장치, 함내 연동단 등으로 구성되어 있으며, Fig. 2는 공격잠망경 구성도이다. 각각의 구성품의 기능을 살펴보면 GPS 안테나는 헤드 센서 상부에 부착되어 GPS 정보를 수신, 헤드 센서는 압력선체 외부에서 획득한 표적 영상 및 이미지를 함내로 인입, 마스트는 압력선체를 관통하여 공격잠망경 외부 및 내부 구성품을 기계적 및 전기적으로 연결, 요크는 마스트를 상승 및 하강, 모터 드라이브는 마스트의 방위각 회전구동, 광학상자는 압력선체 외부 윈도우를 통해 인입되는 표적 영상 및 이미지를 압력선체 내부 운용자에게 전시, 긴급 운용 장치는 광학상자 고장발생 시 대체 운용, 함내 연동단은 함내 타 탑재장비와의 연동 역할을 수행한다.

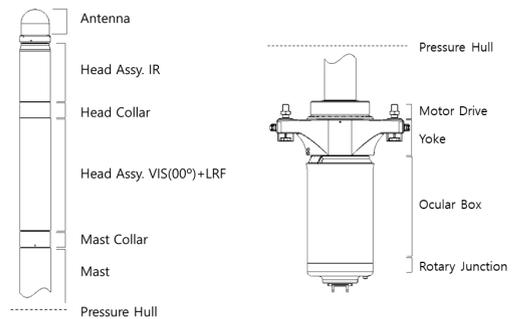


Fig. 2. Composition of attack periscope

3. 함교 보호구조물 설치 적용방안

3.1 현실태

Fig. 3 (a)에서 보는 바와 같이, 공격잠망경 신규장비 교체에 따라 마스트 길이가 증가하였고 공격잠망경 구성품인 헤드 센서 및 마스트가 함교 밖으로 노출되는 상황이 발생하였다.

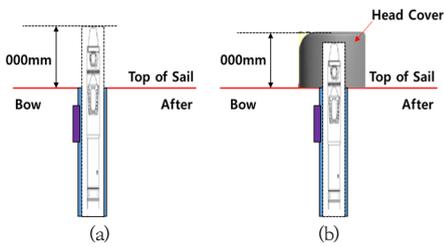


Fig. 3. Comparison of before and after installing of head cover
(a) Without head cover (b) With head cover

최초 설계 시에는 노출되는 길이가 000mm이었으나, 노출 부위 최소화를 위하여 GPS/DGPS 안테나 설계 및 잠망경 하부 구조 변경을 통해 Fig. 3 (b)에서 보는 바와 같이, 000mm로 축소하였다. 그러나 공격잠망경 마스트를 최종 하강하였을 때 기존 함형과 같이 헤드 센서가 함교면 내부로 완전히 삽입되어 노출되지 않는 구조로 구현하는 것에는 한계가 있어 Fig. 3 (b)에서 보는 바와 같이 헤드 센서 보호를 위한 보호덮개 설치를 고려하였다.

3.2 공격잠망경 보호구조물 설치 해외사례

000급 잠수함은 전 세계 00개국에서 운용 중이며 터키는 우리보다 앞서 공격잠망경을 신규 장비로 교체하는 성능개량 실적이 있음을 확인하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 터키 000급 잠수함 성능개량 후 공격잠망경 마스트 길이 증가로 인한 헤드 센서 노출이 동일하게 확인되었으며, Fig. 3 (b)와 유사한 형상의 보호덮개를 설치한 함정을 운용하고 있음을 확인하였다[4].



Fig. 4. Turkish navy 000 class submarine

3.3 함교 보호구조물 적용절차

공격잠망경 신규장비 교체에 따른 함교 보호구조물 적용을 위한 연구절차는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 3D 모델링을 통해 보호구조물 형상을 정하였고 CFD 해석, 난류유동소음 해석을 수행하여 설계 형상에 대한 영향성

검토 후 해상 수중방사소음 측정을 통해 함교 보호구조물의 수중방사소음 영향성을 검증하였다.

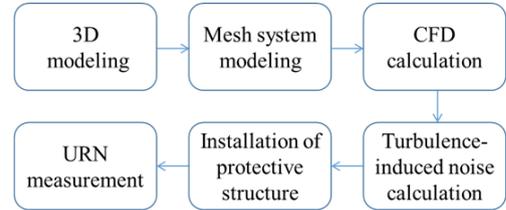


Fig. 5. Process of reliability verification of protective structure

3.4 함교 보호구조물 형상 설계

공격잠망경 헤드 센서 보호를 위해 공격잠망경 헤드 센서 보호덮개 설치가 필요하였다. 보호덮개가 기존 함형에 영향을 최소화하며, 돌출부 주위 난류로 인한 유체소음 발생을 최소화하는 설계 개념을 고려하여 Fig. 6과 같은 형상을 도출하였다.

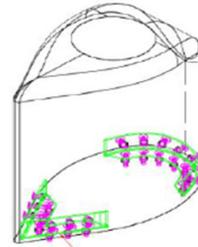


Fig. 6. The modeling result of head cover

잠망경 및 수상 항해 시 해상 부유물(어망, 그물 등)에 의한 헤드 손상 가능성 그리고 부유물 접촉 시 함 기동성 저하 가능성이 제기되어 이를 차단하기 위해 날카로운 칼날 형태의 보호대 설치를 고려하였다.

이는 국내 잠수함 운용 환경을 고려한 것으로 주된 000급 잠수함 운용 환경인 국내 해상에는 어망, 그물과 같은 해상 부유물이 다수 존재하며, 잠망경 항해 시 함교 보호덮개가 어망, 그물 등에 걸려 추가적인 손상이 발생할 가능성이 있다. 이를 방지하기 위하여 Fig. 7과 같이 원통형의 보호덮개 형상 앞에 칼날 형태의 보호대를 추가로 적용함으로써 공격잠망경 상부 구조물이 어망, 그물 등에 걸렸을 때, 유선형의 형태인 보호대로 인해 원활하게 빠져나오거나 간섭되지 않도록 하였다.

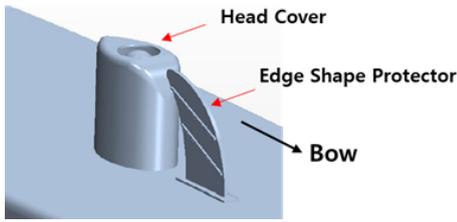


Fig. 7. The modeling result of head cover with protector

4. 함교 보호구조물 해석

4.1 CFD 해석 지배방정식

보호구조물 주위의 유체압력과 유동장을 계산하기 위한 CFD 해석을 위한 지배방정식은 Eq. (1)과 같이 연속 방정식과 Eq. (2)와 같이 Navier-Stokes 방정식이다.

$$\frac{\partial v_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho v_j}{\partial t_j} + u_j \frac{\partial \rho v_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + F_i \quad (2)$$

4.2 CFD 해석을 통한 설치 타당성 검토

함교 보호구조물 설치로 인한 방사소음 발생으로 잠수함 피탐 발생 가능성이 상존함에 따라 함형 변화로 인한 방사소음 영향성 검토를 수행하였다.

본 연구에서는 CFD 해석을 위해 상용 유동해석 프로그램인 STAR-CCM+ (Ver 15.06)을 사용하였으며, DES(Detached Eddy simulation, 이하 DES)와 FW-H(Ffowcs Wiliams and Hawkins, 이하 FW-H) 음향상사법을 이용해 해석을 수행하였다[5~9].

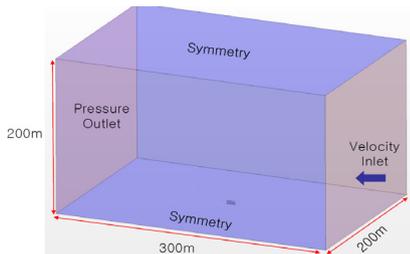


Fig. 8. Overview of the pre-processing for CFD analysis



Fig. 9. Computational mesh for head cover with protector

CFD 해석 경계 조건은 Fig. 8과 같으며, CFD 해석을 위해 생성된 격자계의 모습은 Fig. 9과 같다. 약 4,400 백만 개의 격자로 구성하였다. Implicit unsteady 시간 전진법을 사용하였으며 계산 시간간격은 1×10^{-4} 초로 설정하였다. 난류 모델로는 SST K-Omega DES 모델을 사용하였다.

해당 조건으로 설정 후 CFD 해석을 수행하였다. 먼저 000급 잠수함 성능개량 전과 후를 비교하였다. 즉, 공격잠망경 상부 구성품인 헤드 센서 및 마스트가 함교 외부로 노출되지 않는 상태와 성능개량에 따라 함교 외부로 노출되는 상태로 구분하여 확인하였다. 각각의 설정에 대한 해석결과는 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12와 같으며, 함교 돌출부위에서 유속이 증가하고, 유체가 흐르는 방향으로 유선이 증가하며, 소용돌이도가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

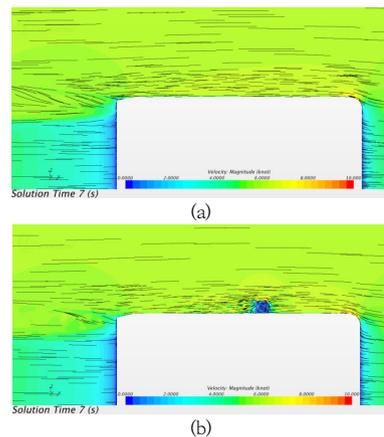


Fig. 10. Velocity contour around head cover (a) without head cover (b) with head cover

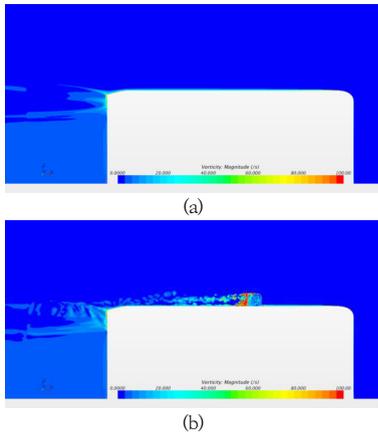


Fig. 11. Vorticity around head cover
(a) without head cover (b) with head cover

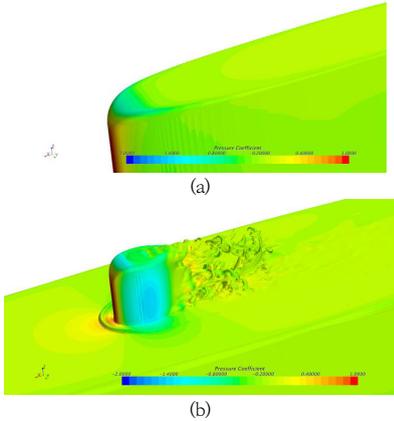


Fig. 12. Pressure coefficient around head cover
(a) without head cover (b) with head cover

다음으로 공격잠망경 함교 보호구조물 설치 조건을 변경하여 비교하였다. 공격잠망경 마스트 보호를 위한 보호덮개만 설치한 조건과 보호덮개 앞에 칼날 형태의 보호대를 추가 설치한 조건을 비교하였다. 각각의 설정에 대한 해석결과는 Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15와 같다. 함교 돌출부위에서 유속이 증가하고, 유체가 흐르는 방향으로 유선이 증가하며, 소용돌이도가 높아지는 것은 기존 보호덮개만 추가한 조건으로 확인한 결과와 큰 차이가 없음을 확인하였다. 즉, 칼날 형태의 보호대를 설치하더라도 유속, 유선, 소용돌이도는 큰 변화가 없으며, 실질적인 유속, 유선, 소용돌이도 변화는 보호덮개 설치 여부에 따라 발생한다고 판단할 수 있다. 이는 칼날 형태의 보호대 형상이 최대한 유선형에 가깝고 두께를 최소화했기 때문에 기인한 결과로 추정할 수 있다.

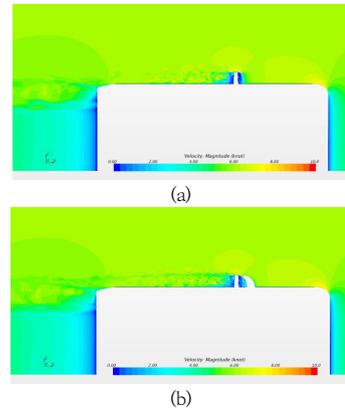


Fig. 13. Velocity contour around protector
(a) without protector (b) with protector

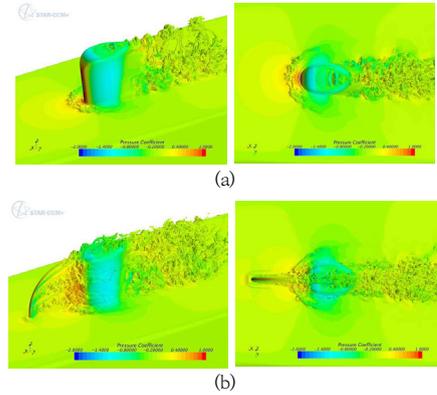


Fig. 14. Pressure coefficient around protector
(a) without protector (b) with protector

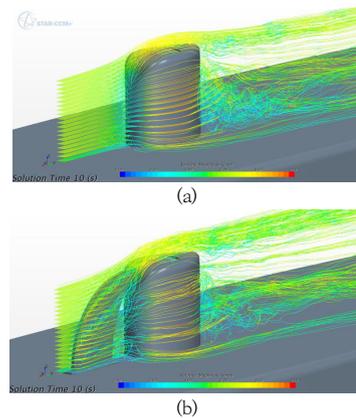


Fig. 15. Velocity contour around protector
(a) without protector (b) with protector

4.3 보호구조물의 난류유동소음 해석

Fig. 16에서 보는 바와 같이, 실제 방사소음 계측 시 나리오와 유사하게 조건을 설정하여 방사소음 레벨 추정치를 확인하였다.

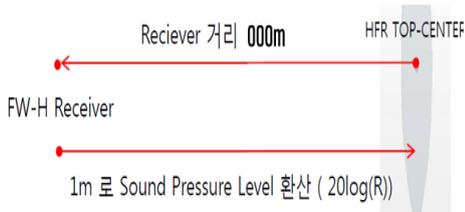


Fig. 16. Location of FW-H receiver

함교 보호구조물 중 보호대 상부 중심 지점을 기준으로 자함의 좌현 00m 위치에 수신기를 배치하였고, 자함은 00kts로 이동하도록 설정하였으며, 수중에서의 기준 음압 1 μ Pa에 대해 1m로 음압레벨(sound pressure level)을 환산하였다.

Fig. 17에서 보는 바와 같이 방사소음 해석 결과의 파란색 그래프는 보호대 설치 시, 빨간색 그래프는 보호대 미설치 시 산출되는 결과이다. 방사소음은 잠수함 피탐 관련 민감한 사항으로 보안을 고려하여 주파수 대역과 음압레벨은 명시하지 않았다.

보호대 유무에 따른 방사소음 레벨을 확인한 결과, 약 00Hz 대역에서 피크 값이 존재하였으며, 피크 주파수가 변경되나 방사소음 레벨은 유사한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 해석 결과에 의한 보호구조물의 음압레벨은 함 전체 방사소음과 비교했을 때보다 작은 것을 확인하였고, 함교 보호구조물 적용에 따른 방사소음 레벨 영향은 미비하다고 할 수 있다.

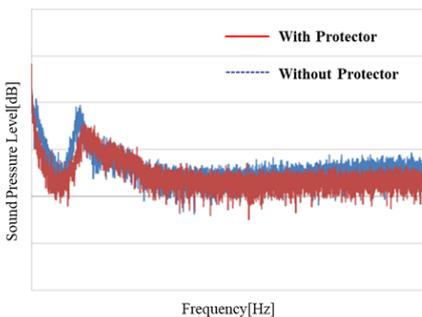


Fig. 17. Comparison of sound pressure level spectrum from different type of protective structure

5. 해상시험 성능입증

해석결과에 의한 함교 보호구조물 적용에 따른 수중방사소음 영향성은 미비한 것으로 확인하였으나, 해석상 적용된 가정과 실제 해상 상황이 일치하지 않으므로 함교 보호구조물에 의한 수중방사소음 영향성 확인을 위한 실제 해상 계측은 필수적이다. 해당 계측은 성능개량 입장 전/후 상태 비교를 위하여 연구개발주관기관 조선소(대우조선해양) 및 국방과학연구소에서 수행하였다.

5.1 해상시험 방안

함교 보호구조물에 의한 유체소음 발생 여부를 확인하기 위하여 해당 구조물과 근접해 있는 ONA-H(ONA-H: Own Noise Analysis-Hydrophone, 이하 ONA-H)를 이용하여 측정하였다. Fig. 18에서 보는 바와 같이, ONA-H는 압력선체 외부의 주요 소음 발생부 주변에 설치되며, 자함에서 발생하는 방사소음을 수신하는 기능을 제공한다. ONA-H는 수신된 음향신호를 전기신호로 변환하여 센서신호 수신장치로 송신한다. ONA-H 수신 주파수 대역은 00Hz ~ 00kHz 대역이며, 총 0개가 함정에 설치되어 있다.

00 ~ 00kts로 자함을 운용하며 잠항상태, 잠망경 하강 상태 등 다양한 운용 환경에서 ONA-H를 이용하여 측정하였다. 해당 결과를 확인한 결과, 함교 보호구조물 설치 전/후 방사소음 영향성은 해석결과와 마찬가지로 미비한 것을 최종 확인하였다[10].

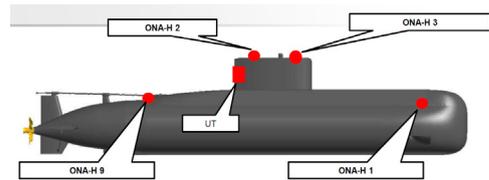


Fig. 18. Location of ONA-H sensor and UT

5.2 함교 보호구조물 신뢰성 검증 결과

헤드 센서 보호구조물 설치를 통한 장비 운용성능 향상을 위해 Table 1에서 보는 바와 같이 3가지 방안을 바탕으로 운용성능, 수중방사소음 등 작전운용성능을 중심으로 다각적으로 검토하였고 보호구조물(보호덮개+보호대) 형상을 최종 적용하였다.

Table 1. Expected improvement effect

Type	Expected improvement effect
Without protective structure	· High possibility of damage by floating objects
Head cover	· Low possibility of damage by floating objects · High possibility of interference by floating objects
Head cover with protector	· Advanced durability · Lower possibility of damage by floating objects · Lower possibility of interference by floating objects

6. 결론

본 연구는 000급 잠수함 성능개량 사업을 대상으로 하였다. 000급 잠수함 성능개량 사업은 주요 탑재장비를 국내 연구개발로 교체하거나 신규 도입장비를 탑재하고, 장비를 분해 및 정비하는 사업이다. 성능개량 사업의 특징으로 탑재장비의 탑재 공간 제약에 따른 성능개량 범위 제한, 사업 기간이 짧음, 기존 탑재장비와 신규 탑재장비 간의 연동이라는 고도의 통합성 요구 및 이에 따른 기술적으로 어려움 등 많은 어려운 점이 있었다.

특히 본 연구는 000급 잠수함 성능개량 대상 장비인 공격잠망경 설치 과정 중 도출된 장비 운용성능 향상에 관한 내용이다. 공격잠망경 교체 설치에 따라 상부 구조 보호를 위하여 함교 보호구조물 설치 소요가 제기되었으며, 기존 함형에 영향을 최소화하며, 돌출부 주위 난류로 인한 유체소음 발생 최소화 개념을 고려하여 최적 형상을 도출하였다. 함교 보호구조물 설치 타당성 검토를 위하여 CFD 해석을 수행하여 함교 보호구조물 설치에 따른 자함의 유체소음 영향성을 확인하였으며, 실제 해상에서 수중방사소음을 측정하였다. CFD 해석 및 실제 해상에서의 수중방사소음 측정을 통해 보호구조물에 의한 소음 레벨은 함 전체의 방사소음 레벨 수준보다 작은 수준으로 영향성이 미비함을 확인하였으며, 특이소음 및 특이 주파수가 식별되지 않는 것을 확인하였다. 결론적으로 잠수함 방사소음에 대한 악영향 없이 공격잠망경 함교 보호구조물을 통해 잠수함 항해를 위한 핵심 탑재장비인 공격잠망경 손상 발생 가능성을 차단하였으며, 이를 통해 공격잠망경 작전운용성능 향상에 기여하였다.

본 연구에서 제시한 공격잠망경 함교 보호구조물 설치를 통한 운용성능 향상 방안은 향후 유사 사례 발생 시 참고자료가 될 수 있으며, 원인분석 및 개선방안을 수립하는데 있어 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] K. S. Moon, Strategic Utilization of Submarines and countermeasures, Ph.D dissertation, Kyonggi University, pp.143-144, 2020.
- [2] S. R. Bae, G. H. Son, Acoustic Signature of Submarine, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, Issue 2, 2010, pp.9~13.
- [3] Hensoldt Optronics GmbH., Maritime Optronics brochure, 2016, Available From: <https://www.hensoldt.net> (accessed Jan. 20, 2021)
- [4] Defense turkey, p.76, Defense turkey magazine, Vol. 14, Issue 95, 2019, pp.68~71.
- [5] Y. S. Choi, S. Y. Hong, J. H. Song, H. W. Kwon, and W. S. Choi, "Turbulent-induced Noise of 2-dimensional Sonar Dome Shaped Structure", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 26, No. 1, pp.39-48, Jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVE.2016.26.1.039>
- [6] Sang-Jae Yeo, "Flow-Induced Noise Prediction for Submarines", *Research in Engineering Design*, Vol.24, No.7, pp.930-938, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.7.930>
- [7] Ffowcs Williams, J. E. and D. L. Hawkings, "Sound generation by turbulence and surfaces in arbitrary motion", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, Vol. 264, No. 1151, pp. 321-342, May. 1969. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1969.0031>
- [8] Spalart, P., Jou, W., Strelets, M., and Allmaras, S., "Comments on the Feasibility of LES for Wings, and on a Hybrid RANS/LES Approach" *Advances in DNS/LES*, Vol. 1, pp.4~8, Aug. 1997.
- [9] Lighthill, M. J., "On sound generated aerodynamically I. General theory", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, Vol. 211, No. 1107, pp. 564-587, Mar. 1952. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1952.0060>
- [10] J. C. Kim, K. Son, P. H. Kim. Son, Current Status of Acoustic Testing Technology, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, Issue 6, 2002, pp.429~436.

최 우 석(Woo-Seok Choi)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경상대학교 전기공학과 (공학사)
- 2013년 1월 ~ 2019년 7월 : 대우조선해양 특수선전장설계부
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

전투체계, 소나체계, 수중음향, EMI/EMC

김 상 일(Sang-II Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 아주대학교 전자공학부 (공학사)
- 2010년 1월 ~ 2014년 4월 : 삼성탈레스 해양시스템연구소
- 2014년 4월 ~ 현재 : 대우조선해양 특수선무장설계부 책임엔지니어

〈관심분야〉

전투체계, 수중음향, 정보통신

장 호 성(Ho-Seong Chang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학과 (공학사)
- 2014년 12월 : 현대중공업 전기전자시스템사업부 전기구조 설계
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

〈관심분야〉

전투체계, 소나체계, 수중음향, EMI/EMC

이 영 석(Young-Suk Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 조선해양공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 2019년 7월 : 삼성중공업 재직
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

기계/재료, 국방/과학