

# 잠수함 함교 통신 시스템 신뢰성 향상 연구

손윤준, 김규민  
국방기술품질원

e-mail: syj11030@dtaq.re.kr

## A study on improving reliability of a bridge communication system in the submarine

Yoon-Jun Son, Kyumin Kim  
Defense Agency for Technology and Quality

### 요약

본 연구에서는 ○○○잠수함에서 사용하는 함교 통신 시스템에서 발생한 오작동을 분석하고 개선하였다. ○○○ 잠수함의 함교 통신 시스템은 작전 중 사용되는 주요 통신 시스템 중 하나로, 함 지휘 통제를 위해 함내 통신 시스템과 교신 설정을 최대한 신속히 수행하여야 한다. 그러나 자체 시험이나 해상시운전을 비롯한 품질보증 활동 중 함교 통신 시스템이 오작동하는 경우가 지속적으로 발생하였다. 특히, 잠항 항해 및 부상 직후에 함교 통신 시스템이 빈번하게 오작동하여 임무를 수행하는데 지장을 초래하는 경우가 많았다. 따라서 본 논문에서는 함교 통신 시스템의 물리적 구조를 분석하고, 이러한 오작동을 일으킬 수 있는 원인들을 분석하여 가장 가능성이 높은 원인을 추정하였다. 그리고 이를 바탕으로 midas NFX를 이용한 시뮬레이션을 통해 장비의 구조적 개선 방안을 도출하였다. 또한, 도출한 개선 방안을 설계 변경을 통해 장비에 적용하여 시제품을 제작하였으며, 시제품에 대해 실상황과 유사한 환경 시험을 수행하여 개선된 장비 성능을 평가함으로써 함교 통신 시스템의 신뢰성을 향상하였다.

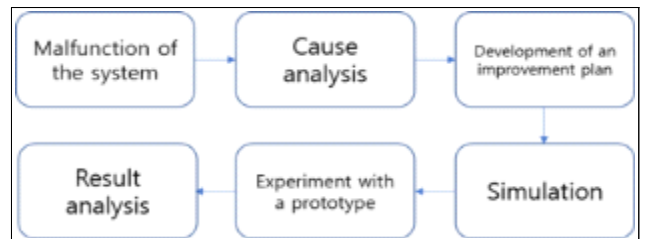
### 1. 서론

○○○ 잠수함은 우리나라 해군 수중함의 주 작전세력으로 잠항 항해에서 수상 항해 태세로 전환 시 잠수함의 잠망경 혹은 SONAR 등의 센서 장비로 식별한 문제 혹은 예측하지 못한 안전사고 발생 가능성을 항상 염두에 두어야 한다 [1-3]. 본 연구는 새로운 정책적, 기술적 요소를 제안하기 보다는 안전한 항해를 지원할 수 있도록 잠수함에 탑재되어 운용 중인 장비의 품질 신뢰성 향상에 대해 연구하였다. [그림 1]은 일반적인 형태의 잠수함과 잠수함의 함교의 모습이다. 함교 통신 시스템은 함교 내에 탑재되며, 그림과 같이 승조원이 직접 함교에 올라가서 운용을 하게 된다. 하지만 ○○○ 잠수함 해상 시운전 기간 동안 함교에 설치되어 있는 통신 시스템이 잠항 항해 후 부상 직후에 통신이 끊기는 등의 작동불량 현상이 빈번하였다. 이에 제품 교체를 통해 작동 문제를 해결하였으나, 작동 불량에 대한 근본적인 원인 분석은 미흡하였고, 인도 후 전력화 기간에 동일한 문제가 발생하였기 때문에 작동불량에 대한 정확한 분석이 필요하게 되었다.



[그림 1] 잠수함 및 잠수함 함교 통신 시스템 형상

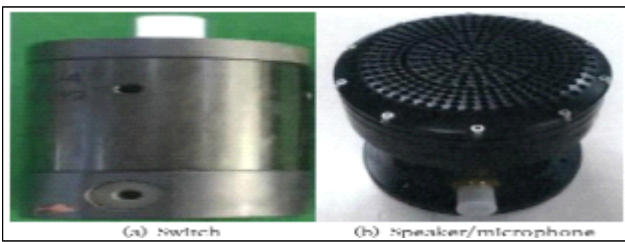
본 연구에서는 [그림 2]에 따라 ○○○ 잠수함 함교 통신 시스템의 작동불량 현상을 원인 분석부터 시뮬레이션, 실 장비 실험 과정을 통해 개선하였다. 특히 개선 방안은 기존 구성품과 연결 및 설치 변경을 최소화하는데 주안점을 두었다. 그리고 개선 제품은 모델링을 통한 시뮬레이션 및 내압 시험을 통해 성능 만족 여부를 확인하였다.



[그림 2] 함교 통신 시스템 신뢰성 향상을 위한 프로세스

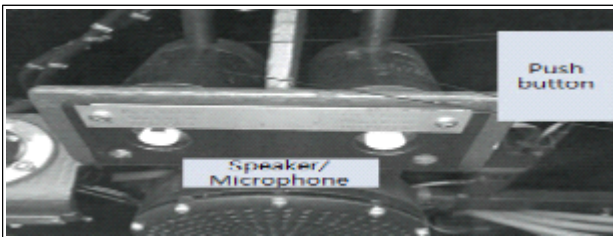
## 2. 함교 통신 시스템 구성

○○○ 잠수함 함교에 설치되어 있는 통신 시스템은 수상 항해 시 함내와 원활한 교신을 위한 장비이다. 함교 통신 시스템의 구성품은 통신 스위치, 통신 스피커/마이크로 분류된다. 통신 스위치는 PTT(Push to Talk) 기능을 하기 위한 단순 스위치 장비로 푸시버튼이라고 불리며, 형상은 [그림 3] (a)와 같다. 통신 스피커/마이크는 통신 스위치를 누르지 않은 상태에서는 함내에서 함교로 교신한 내용을 들을 수 있는 스피커 기능, 통신 스위치를 누르는 동안에는 함교에서 함내로 교신한 내용을 말하는 마이크 기능을 하는 장비이며, 형상은 [그림 3] (b)와 같다.

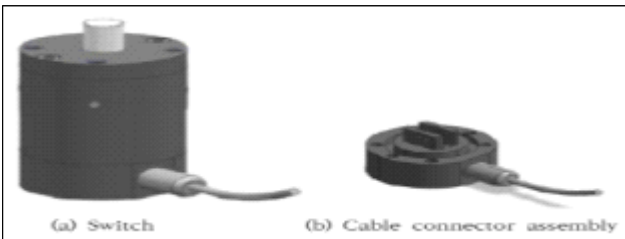


[그림 3] 함교 통신 시스템 형상(Switch, speaker/microphone)

두 장비는 ○○○잠수함 함교에 설치되어 있으며 방수 기능을 가진다. 설치된 형상은 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 함교 통신 시스템 설치 형상(○○○잠수함)



[그림 5] 함교 통신시스템 switch 케이블 연결도

또한, [그림 5](a)의 스위치의 하단부는 [그림 5] (b)의 케이블 연결부 조립체이다. 케이블 연결부 조립체는 다시 몸체와 케이블 연결부로 구분이 되며, 몸체에서 스위치 동작을 하기 위한 신호가 케이블을 통해 송수신되며 이를 위한 케이블 인입구가 케이블 연결부이다.

## 3. 함교 통신 시스템 작동불량 원인분석

### 3.1 작동불량 현상

함교 통신 시스템을 역할은 함내 교신 시 통신 스위치를 누른 후 마이크 기능을 통해 함외 상황을 함내로 전달하는 것이다. 그리고 이에 대한 함내 응답 혹은 다른 작전을 신속히 전달 받기 위해 통신 스위치를 누르지 않고 스피커 기능을 통해 메시지를 수신하는 것이 정상적인 운용 개념이다. 하지만 ○○○잠수함의 함교 통신 시스템은 잠항 항해 직후 작동불량이 빈번히 발생하였다. 특히 장시간 잠항 항해를 끝내고 수면 위로 부상한 직후에 함내와 교신하기 위해 함교 통신 시스템을 사용할 때 작동불량이 다수 발생되었다. 함교에 있는 통신 스위치를 누르지 않았음에도 불구하고 통신 마이크 기능이 작동불량하여 스피커 기능을 상실하는 현상이 지속적으로 발생하였다.

### 3.2 작동불량 원인분석

일반적인 전자통신 장비의 경우에는 표 1과 같이 고장 원인을 S/W와 H/W로 나눌 수 있다.

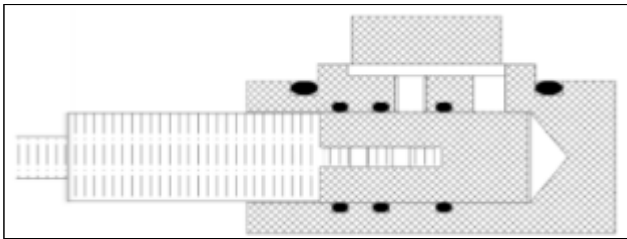
S/W의 문제일 경우 오류를 찾기 위해 동일 버전의 S/W로 공장 내에서 디버깅하여 S/W만 업데이트한다면 추가적인 작업 없이 비교적 손쉽게 해결이 가능하다. H/W 문제일 경우에는 다시 2가지 유형으로 나뉘는데, 장비 내 회로카드나 커넥터 등 장비 하드웨어의 문제이거나 케이블의 절연, 단락, 접지 등 케이블의 문제로 분류된다. 함교 통신 시스템은 자체 진단시험인 BIT(Built-In Test) 결과, 오작동 시 전기적으로 스위치가 계속 동작상태임을 확인할 수 있었다. 즉, 작동불량은 S/W가 아닌 H/W의 문제이다. 또한 케이블 절연, 단락, 접지 등을 계측기로 확인한 결과, 어떠한 문제도 발견할 수 없었다. 따라서 장비 내 H/W 문제임을 알 수 있었는데, 장비의 기능은 공장수락시험, 정박시운전 등에서 이미 검증 완료되었으므로 항해 시 발생할 수 있는 환경적인 요인을 작동불량의 원인으로 추정하였다.

Cause	Software	Hardware	
	Coding error	Device (PCB, connector, etc)	Cable
Verification	Test in a factory	Measuring instrument	Measuring instrument

[표 1] 일반적인 원인분석 및 증명 방법

○○○ 잠수함의 함교 통신 시스템 작동불량은 앞서 언급한 바와 같이 장시간 잠항 항해를 끝내고 수면 위로 부상 직후 발생하였고, 외부에 설치되어 있으므로 잠항 항해 시 해수에

의한 외부 압력의 영향을 받기가 쉽다. 해수 침투에 의한 케이블의 손상은 케이블 내구성과 관련된 중요 사항으로 지속적으로 연구되어 왔던 문제이다[4]. 이러한 상황을 고려했을 때 작동 불량은 케이블에 해수가 유입되어 발생한다고 가정하였으며, 물리적으로 해수가 유입될 수 있는 경로를 확인하였다. 해수가 유입될 수 있는 경로는 물리적으로 취약한 부분이며, 몸체와 케이블의 체결 부위인 케이블 연결부가 해수 유입 가능성이 높다. [그림 6]은 케이블 커넥터 조립체의 단면도이다. 잠항 항해 시 케이블 연결부는 전방위에 압력을 받게 된다. 잠항 심도가 깊어질수록 케이블 연결부가 받는 압력이 증가하게 되고, 증가한 압력이 케이블 연결부와 몸체 사이에 틈새를 발생시킨다. 그리고 틈새가 발생하면 케이블 연결부 입구부터 케이블 연결부 내부(전극 부위)까지 경로를 만들어 해수가 유입될 수 있게 된다. 이러한 경로를 틈새 깊이라고 정의했을 때, 틈새 깊이가 커져 해수의 경로가 전극 부위까지 이어질 경우에는 해수의 유입으로 인한 작동불량이 발생할 수 있다.



[그림 6] 함교 통신 시스템 스위치 단면도

#### 4. 함교 통신 시스템 신뢰성 향상 방안

앞서 언급한 바와 같이 함교 통신 시스템 작동불량의 원인은 전극 부위에 유입된 해수로 추정된다. 따라서 해수의 유입을 차단하는 것이 원천적인 해결 방법이 될 수 있다. 이를 위해서는 잠항 항해 시 수압 조건에서 전극 부위까지 틈새 깊이가 닿지 않도록 케이블 연결부의 위치 변경이 필요하다. 다만, 케이블 연결부의 위치 변경은 단순히 해수 유입만을 고려해서 변경할 수는 없기 때문에 선행적으로 다른 설계적 요소를 고려하여 변경 가능한 위치를 찾고, 해당 위치에서 잠항 항해 시 발생 가능한 압력을 모사한 시뮬레이션 및 내압 시험을 통해 타당성을 검증하였다.

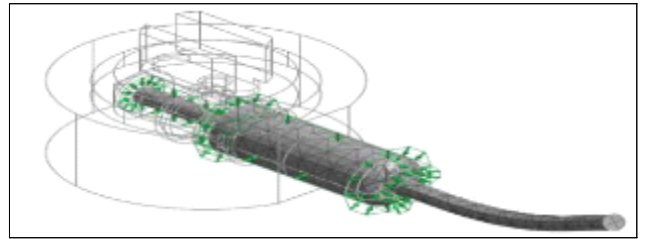
##### 4.1 시뮬레이션 분석

시뮬레이션은 해석 프로그램 midas NFX 2016 R1을 사용하였으며, 재료 물성치는 [표 2]와 같다.

	Material	Density [kg/m3]	Modulus of Elasticity[GPa]
Body	POM	1400	2.9
Cable	Neoprene rubber	1000	0.0061

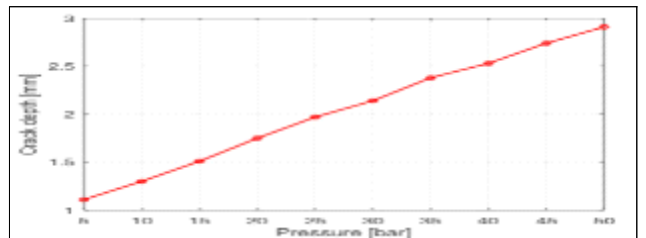
[표 2] 시뮬레이션 파라미터

하중 조건은 000잠수함의 일반적인 운용 환경 및 안전을 위한 여유치를 고려하여 최소 5 bar, 최대 50bar 내에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 해석에 사용할 장비는 전극 부위로 해수가 침투하는 상황을 방지하기 위하여 케이블 연결 부위의 위치를 9.5 mm 이동시켜 개선한 모델이다. 앞서 설명한 바와 같이 케이블 연결부와 관련된 다른 설계적 요소를 고려하여 9.5 mm 이동시켰으며, 이렇게 설계 변경된 장비가 운용 상 문제가 없는지에 대해 [그림 7]과 같이 검증하였다.



[그림 7] 압력 다이어그램(케이블 연결부)

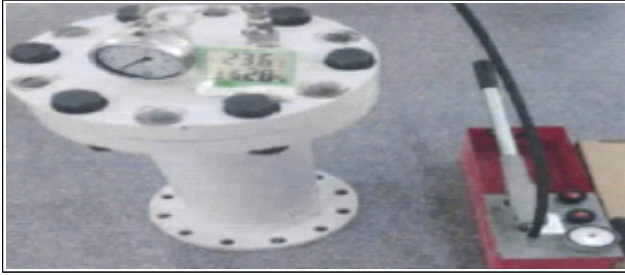
시뮬레이션은 5 bar에서 시작하여 최대 50 bar까지 장비에 가해지는 압력을 5 bar씩 증가시킬 때 틈새에 받는 압력 및 이를 기준으로 틈새 깊이를 계산하였다. [그림 8]은 시뮬레이션 결과를 정리한 그래프이며, 압력과 틈새 깊이의 관계를 보여준다. 압력이 증가할수록 틈새 깊이의 크기가 일정하게 증가하는데, 다시 말해 틈새 깊이는 압력과 선형적인 관계가 된다. 최대 압력인 50 bar일 경우에 틈새 깊이는 2.91 mm까지 증가를 하는데, 이는 해수가 전극 부위로 침투할 수 있는 경로의 길이가 최대 2.91mm라는 의미이며 따라서 케이블 연결부위를 9.5 mm 이동시켜 개선한다면 해수가 전극부위까지 침투하지 못하게 된다.



[그림 8] 압력 다이어그램(케이블 연결부)

#### 4.2 내압시험

앞선 시뮬레이션 결과에 따라 케이블 연결부의 위치를 9.5 mm 이동시켜 실장비에 적용하였고, 실장비에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 잠항 항해 환경을 모사하여 내압 시험을 진행하였다. 내압시험에 사용된 장비는 [그림 9] 와 같다.

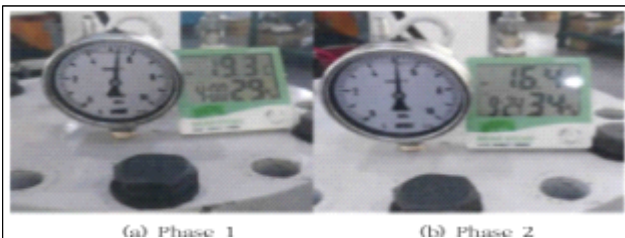


[그림 9] 내압시험 압력챔버

시험은 2차례에 걸쳐 진행되었으며, 시험 조건은 [표 3]과 같다. 시험 조건은 ○○○ 잠수함의 잠항 및 부상 시 일반적인 운용 조건과 긴급 상황 시의 운용 조건을 고려하여 선정하였다.

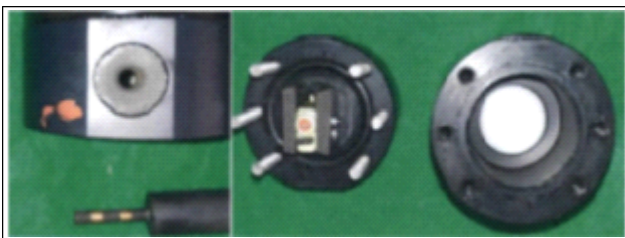
Statement	1st test	2nd test
Phase 1 (0 to 50 bar)	12 min 50 sec	2 min
Phase 2 (at 50 bar)	10 min	17 h 24 min
Phase 3 (50 to 0 bar)	9 min 20 sec	2 min

[표 3] 내압시험 방법



[그림 10] 내압시험 결과(Phase 1, 2)

1차 시험 직후 케이블 연결부 및 몸체를 분해한 결과, Fig. 11과 같이 수분의 유입 흔적이 없었으며, 마찬가지로 2차 시험 직후 장비를 분해하여 확인한 결과, 수분이 침투하지 않음을 확인할 수 있었다.



[그림 11] 스위치 분해형상(내압시험 후)

최종적으로 개선된 함교 통신 시스템을 실제 함정에 탑재하여 운항하며 해당 시스템의 정상 작동 여부를 확인한 결과, 기존에 발생한 통신 마이크 기능 작동불량으로 인한 스피커 기능 상실 및 함내 교신 내용 청취 불과 현상 등은 해소된 것을 확인하였다.

## 5. 결론

본 연구에서서는 ○○○ 잠수함에 탑재되어 운용되는 함교 통신 시스템의 작동불량 현상에 대한 원인 분석 및 개선 방안을 연구하였다. 작동 불량원인 분석 시 환경적인 요인을 고려하여 해수 유입이라는 합리적인 가정을 하였고, 이를 해결하기 위해 물리적 구조를 변경하였다. 즉, 케이블 연결부의 위치를 조절하여 해수의 유입을 원천 차단하고자 하였으며, 이에 대한 타당성 검증을 위해 잠항 항해 시 압력 조건을 모사하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과, 설계 변경된 물리적 구조는 잠항 항해 조건에서 해수 유입이 차단되는 것을 확인하였다. 그리고 시뮬레이션 결과를 바탕으로 장비의 설계를 변경하여 2차례에 걸친 내압 시험을 진행하였고, 내압 시험을 통해 해수등 수분의 유입이 차단됨을 확인하였다. 최종적으로 실선에서 함교 통신 시스템의 스위치 설계를 변경한 장비를 탑재하여 함교 통신 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

## 참고문헌

- [1] W. S. Byun, J. S. Park, Y. S. Park, "A Study on Prevention of Traffic Accidents of Submarines", Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference 2007, KINPR, Korea, pp.165-170, April 2007.  
<https://scholar.dkyobobook.co.kr/searchDetail.laf?barcode=4010023448066>
- [2] S. H. Jang, D. B. Lee and J. B. Park, "A Study on the design of an electric control periscope to secure submarine safety", KIEE EFO Conference 2018, KIEE, Seongnam, Korea, pp.124-125, April 2018.  
<https://dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE07412948>
- [3] K. N. Cho, B. S. Kim, M. C. Seong, "A Study on Establishment of Domestic Foundation for Securing Submarine Safety", Defense and Technology, No. 483, pp.68-81, May 2019.