

OOO급 잠수함 함교 통신 시스템 오작동 개선 연구

손윤준*, 김규민
국방기술품질원

A Study on Improvement of a Bridge Communication System Malfunctions in a OOO Class Submarine

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

요약 본 논문에서는 OOO급 잠수함에서 사용하는 함교 통신 시스템에서 발생한 오작동을 분석하고 개선하였다. OOO급 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 확보하였다.

Abstract This paper describes the improvement of a bridge communication system malfunctions in the OOO class submarine. A bridge communication system in the OOO class submarine is one of the main systems used during operations and has been set up with an Integrated Communication System (ICS) for command and control onboard as quickly as possible. On the other hand, there are frequent malfunctions of a bridge communication system during quality assurance activities, such as self-tests and sea trial tests. In particular, malfunctions occurred after it operated under the sea and floated to the surface. Therefore, this paper proposes a solution to improve persistent malfunctions by analyzing their causes and estimating the most probable cause. Through a simulation with Midas NFX, a method for improving the structure of the equipment was derived. The reliability of a bridge communication system was secured through environmental tests similar to real environments by making a prototype.

Keywords : Submarine, Bridge Communication System, Malfunction, Simulation, Environmental Test

1. 서론

OOO급 잠수함은 우리나라 해군 수중함의 주 작전세력으로 현재 O척이 해군에서 운용 중이다. 잠수함 승조원들은 잠항 항해 작전을 수행하고 수면 위로 부상, 즉

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 하며, 이러한 안전사고에 대비한 연구가 활발히 진행 중에 있다[1-3]. 이러한 연구는 잠망경과 같이 항해와 연

*Corresponding Author : Yoon-Jun Son(Defense Agency for Technology and Quality)

email: syj11030@dtqa.re.kr

Received April 21, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised May 31, 2021

Published August 31, 2021

관된 장비에 대해 신기술을 접목하여 안전 항해를 지원하는 등 기술적 요소를 제안하거나[2], 잠수함 설계의 복잡성을 고려하여 잠수함 안전성 인증 제도와 같은 정책적 요소를 제안한다[3]. 본 논문은 새로운 정책적, 기술적 요소를 제안하기 보다는 안전한 항해를 지원할 수 있도록 잠수함에 탑재되어 운용 중인 장비의 품질 개선에 대해 연구하였다.

수상 항해 중에도 충돌 등 위험성을 해소하기 위해 함교에 설치되어 있는 통신 시스템과 함내 통신 시스템의 교신 설정을 수행한다. Fig. 1는 일반적인 형태의 잠수함과 잠수함의 함교의 모습이다. 함교 통신 시스템은 함교 내에 탑재되며, 그림과 같이 승조원이 직접 함교에 올라가서 운용을 하게 된다. 하지만 ○○○급 잠수함 해상 시 운전 기간 동안 함교에 설치되어 있는 통신 시스템이 잠항 항해 후 부상 직후에 오작동하는 경우가 빈번하였다. 이에 제품 교체를 통해 오작동 문제를 해결하였으나, 오작동에 대한 근본적인 원인 분석은 미흡하였다. 대부분의 경우는 항해시운전 기간 중 자체 점검 시 확인된 문제이므로 사례를 정확히 집계할 수는 없으나, 인도 후 전력화 기간에 동일한 문제가 발생하였기 때문에 오작동에 대한 정확한 분석이 필요하게 되었다.

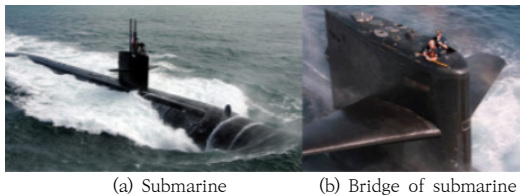


Fig. 1. Submarine and bridge including bridge communication system

본 연구에서는 Fig. 2에 따라 ○○○급 잠수함 함교 통신 시스템의 오작동 현상을 원인 분석부터 시뮬레이션, 실장비 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.

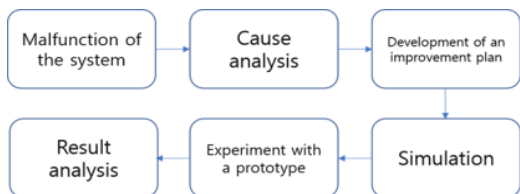


Fig. 2. Process to develop and verify improvement of a Bridge Communication System

2. 함교 통신 시스템 구성

○○○급 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 Fig. 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 교신할 내용을 말하는 마이크 기능을 하는 장비이며, 형상은 Fig. 3(b)와 같다.

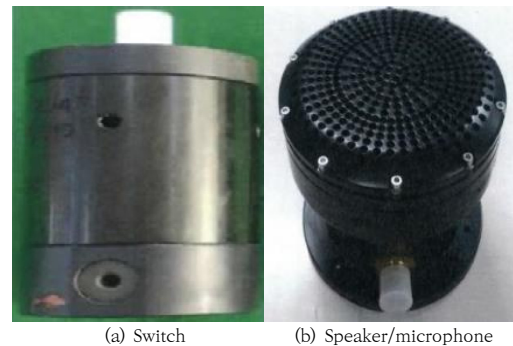


Fig. 3. Switch, speaker/microphone

두 장비는 ○○○급 잠수함 함교에 설치되어 있으며 방수 기능을 가진다. 설치된 형상은 Fig. 4와 같으며, 스위치 2개는 파운데이션에 고정되어 있고, 그 아래에 스피커/마이크로 설치되어 운용된다.

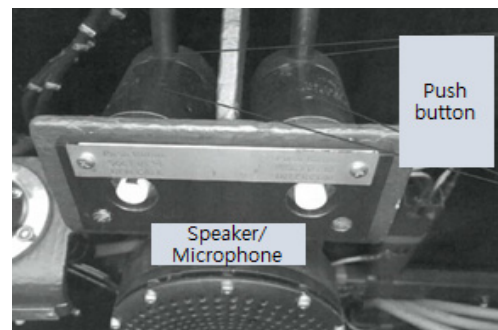


Fig. 4. Installation of a switch, a speaker/microphone at ○○○ class submarine bridge

또한 Fig. 5(a)의 스위치의 하단부는 Fig. 5(b)의 케이블 연결부 조립체이다. 케이블 연결부 조립체는 다시 몸

체와 케이블 연결부로 구분이 되며, 몸체에서 스위치 동작을 하기 위한 신호가 케이블을 통해 송수신되며 이를 위한 케이블 인입구가 케이블 연결부이다.

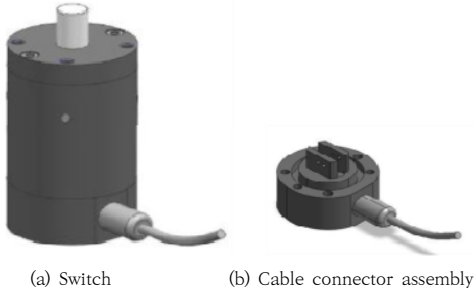


Fig. 5. Switch, cable connector assembly in a switch

3. 함교 통신 시스템 오작동 분석

3.1 함교 통신 시스템 오작동 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 작전 사항을 신속히 전달 받기 위해 통신 스위치를 누르지 않고 스피커 기능을 통해 메시지를 수신하는 것이 정상적인 운용 개념이다.

하지만 이러한 000급 잠수함의 함교 통신 시스템은 잠항 항해 직후 오작동을 일으키는 사례가 빈번히 발생하였다. 특히 장시간 잠항 항해를 끝내고 수면 위로 부상한 직후에 함내와 교신하기 위해 함교 통신 시스템을 사용할 때 오작동이 다수 발생되었다. 함교에 있는 통신 스위치를 누르지 않았음에도 불구하고 통신 마이크 기능이 오작동하여 스피커 기능을 상실하고 함내에서 교신하는 내용을 듣지 못하게 되는 현상이 지속적으로 발생하였다.

3.2 함교 통신 시스템 오작동 원인 분석

일반적인 전자통신 장비의 경우에는 Table 1과 같이 고장의 원인을 소프트웨어와 하드웨어로 나눌 수 있다. 소프트웨어의 문제일 경우 오류를 찾기 위해 동일 버전의 소프트웨어로 공장 내에서 디버깅하여 소프트웨어만 업데이트한다면 추가적인 작업 없이 비교적 손쉽게 해결이 가능하다. 하드웨어 문제일 경우에는 다시 2가지 유형으로 나뉘는데, 장비 내 회로카드나 커넥터 등 장비 하드웨어의 문제이거나 케이블의 절연, 단락, 접지 등 케이블

의 문제로 분류된다. 함교 통신 시스템은 자체 진단시험인 BIT(Built-In Test) 결과, 오작동 시 전기적으로 스위치가 계속 동작상태임을 확인할 수 있었다. 즉, 오작동은 소프트웨어가 아닌 하드웨어의 문제이다. 또한 케이블 절연, 단락, 접지 등을 계측기로 확인한 결과, 어떠한 문제도 발견할 수 없었다. 따라서 장비 내 하드웨어적 문제임을 알 수 있었는데, 장비의 기능은 공장수락시험, 정박시 운전 등에서 이미 검증 완료되었으므로 항해 시 발생할 수 있는 환경적인 요인을 오작동의 원인으로 추정하였다.

Table 1. The type of malfunction causes and their verification

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

000급 잠수함의 함교 통신 시스템 오작동은 앞서 언급한 바와 같이 장시간 잠항 항해를 끝내고 수면 위로 부상 직후 발생하였다. 또한, 함교 통신 시스템은 함교에 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[4,5]. 이러한 상황을 고려했을 때 오작동은 케이블에 해수가 유입되어 발생한다고 가정하였으며, 따라서 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. Fig. 6는 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 오작동이 발생할 수 있다. 즉, 해수에 의한 압력 증가로 틈새 발생 및 틈새 깊이가 증가하여 해수 경로가 만들어지고, 압력이 커질수록 해수 경로가 더 길어져 전극 부위까지 닿게 될 경우, 오작동이 발생할 수 있게 된다.

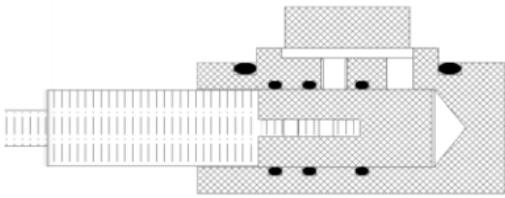


Fig. 6. Cross-sectional diagram of switch

4. 함교 통신 시스템 오작동 대책

앞서 언급한 바와 같이 함교 통신 시스템 오작동의 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 Table 2와 같다.

Table 2. Simulation parameters

	Material	Density [kg/m ³]	Modulus of Elasticity[GPa]
Body	POM	1400	2.9
Cable	Neoprene rubber	1000	0.0061

하중 조건은 ○○○급 잠수함의 일반적인 운용 환경 및 안전을 위한 여유치를 고려하여 최소 5 bar, 최대 50 bar 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 검증하였다. 시뮬레이션은 몸체와 케이블 표면에 압력을 적용하였으며, 몸체의 바닥면과 케이블의 내측면에 구속조건을 적용하였으

며 Fig. 7에서 모식화하여 나타내었다.

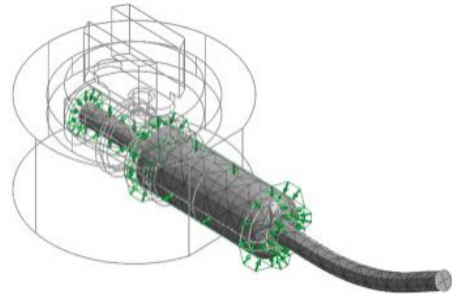


Fig. 7. Cable connector assembly with pressure diagram

시뮬레이션은 5 bar에서 시작하여 최대 50 bar까지 장비에 가해지는 압력을 5 bar씩 증가시킬 때 틈새에 받는 압력 및 이를 기준으로 틈새 깊이를 계산하였다. Fig. 8은 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 2.91 mm라는 의미이며 따라서 케이블 연결부위를 9.5 mm 이동시켜 개선한다면 해수가 전극부위까지 침투하지 못하게 된다. 즉, 잠항 항해 환경에서 압력에 의해 틈새를 통하여 특정 깊이만큼 해수가 유입될 여지는 있으나, 틈새 깊이가 케이블 연결부 입구 쪽에 국한되어 전극이 위치한 케이블 연결부 내부까지 해수 유입이 되지 않게 된다. 또한, 틈새 깊이는 압력과 선형적인 관계이고 더 높은 압력에서도 선형 관계가 유지된다고 가정한다면, 50 bar 이상의 조건에서도 해수 침투가 방지되어 오작동하지 않을 것임을 유추할 수 있다.

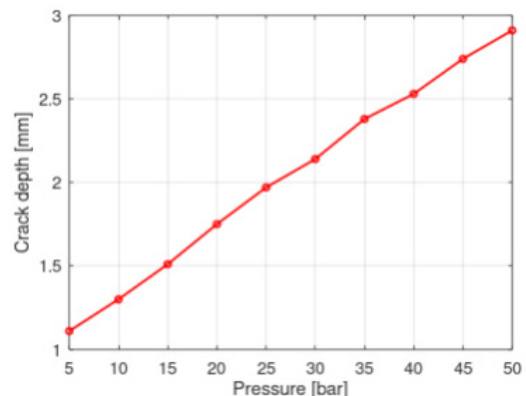


Fig. 8. Crack depth vs. pressure

4.2 내압 시험

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 Fig. 9에서 확인할 수 있으며, 시험용 펌프는 ROTHENBERGER 사의 RP50-S이며, 압력 챔버는 장비의 치수에 맞게 자체 제작하였다.

시험은 2차례에 걸쳐 진행되었으며, 시험 조건은 Table 3과 같다. 시험 조건은 OOO급 잠수함의 잠항 및 부상 시 일반적인 운용 조건과 긴급 상황 시의 운용 조건을 고려하여 선정하였다. 시험은 3단계로 수행하였으며, 50 bar를 기준으로 50 bar까지 도달하는 가압 단계, 50 bar를 유지하는 유지 단계, 다시 0 bar로 돌아오는 감압 단계로 구성된다. Fig. 10는 2차 시험의 가압 단계, 유지 단계일 때의 모습이다.

Table 3. Configuration of pressure test

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



Fig. 9. Pressure chamber and test pump



(a) Phase 1 (b) Phase 2

Fig. 10. Pressure gauge at (a) Phase 1 and (b) Phase 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. 즉, 설계 변경을 통하여 잠항 및 부상 시 장비가 정상적으로 동작함을 확인할 수 있다.

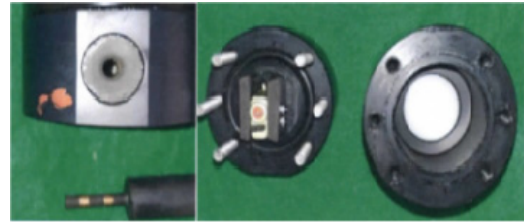


Fig. 11. Switch disassembled after 1st test

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

5. 결론

본 논문에서는 OOO급 잠수함에 탑재되어 운용되는 함교 통신 시스템의 오작동 현상에 대한 원인 분석 및 개선방안을 연구하였다. 오작동 원인 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. 시뮬레이

선 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 탑재하였으며, 설계 변경 이후 함교 통신 시스템의 오작동 현상이 일어나지 않는 것을 확인함으로써 함교 통신 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

References

- [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.
<https://dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08007905>
- [4] J. Y. Jung, S. C. Youn and J. H. Park, "A Theoretical Study on the Mechanism of Deterioration of Underground Distribution Cable", *KIEE Summer Conference 2010*, KIEE, Busan, Korea, pp.286-287, July 2010.
<https://dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE01533863>
- [5] PIC Wire & Cable, Moisture Effects on Coaxial Cable, Available From:
<https://www.picwire.com/resources/technical-articles/moisture-coaxial-cable> (accessed Apr. 13, 2021)

손 윤 준(Yoon-Jun Son)

[정회원]



- 2003년 8월 : 한국해양대학교 전 파공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 한국해양대학교 전 파공학과 (공학박사)
- 2003년 10월 ~ 2008년 10월 : 삼성탈레스 선임연구원
- 2008년 10월 ~ 현재 : 국방기술평가원 함정3팀장

<관심분야>

정보통신, 전투체계, 수중통신

김 규 민(Kyumin Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2019년 8월 : 대구경북과학기술원 정보통신융합전공 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술평가원 연구원

<관심분야>

정보통신, 전투체계