

해상 구조작전 수행을 위한 선박 내부와 외부 간의 실시간 정보공유 시스템 개발

김승운
국방기술진흥연구소

Development of a Real-Time Information Sharing System between the Inside and Outside of a Ship for Performing Maritime Rescue Operations

Seung Woon Kim

Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

요약 해양사고가 발생하면 구조작전 요원들은 급변하는 해상환경을 고려하여 신속한 판단과 상황전파를 위해 실시간으로 정보를 공유할 수 있어야 한다. 이를 위해 현장에 원활한 통신환경이 제공되어야 하나, 사고선박에 대한 정보가 부족하고 상황이 불확실함에 따라 현장요원은 통신환경을 자체적으로 구성해야 한다. 통신환경을 구성하는 것은 무선 또는 유선으로 가능하지만, 각각 선박 구조로 인한 통신제한과 행동반경의 제약 때문에 단점을 보완할 수 있는 시스템의 필요성을 인지하였다. 이에 따라 기존 연구의 한계점을 극복하기 위해 시스템의 요구성능을 분석하여 하드웨어와 소프트웨어를 개발하였으며, 실내 및 선박에서의 실험을 통해 시스템의 효용성을 확인하였다. 이는 해상 구조작전 중 사고선박에서도 통신환경을 직접 구성하여 실시간으로 정보를 공유할 수 있다는 것에 의의가 있었으며, 본 시스템이 화재나 테러와 같은 다양한 상황에서도 충분히 활용될 수 있을 것이라고 판단할 수 있었다. 그리고 향후에는 현장에서 육상 상황실과 정보를 공유하고 현장요원의 상태를 확인하기 위한 추가 연구도 필요할 것으로 생각된다.

Abstract When a maritime accident occurs, rescue operations personnel must be able to share information in real-time to allow quick decisions and to communicate the situation, considering the rapidly changing maritime environment. A smooth communication environment must be provided at the site, but because information about the accident ship is lacking and the situation is uncertain, field personnel must configure the communication environment independently. Although it is possible to configure the communication environment wirelessly or wired, the need for a system that can compensate for the shortcomings was recognized because of communication limitations and operational radius restrictions because of the ship structure, respectively. Accordingly, to overcome the limitations of existing research, hardware and software were developed by analyzing the required performance of the system, and the effectiveness of the system was confirmed through experiments indoors and on ships. This is meaningful because sharing information in real-time is possible by directly configuring the communication environment, even on an accident ship during a maritime rescue operation. It was concluded that this system could be fully utilized in various situations, such as fire or terrorism. Nevertheless, additional research will be needed to share information with the on-ground command and control room and check the status of field personnel.

Keywords : Real-Time Information Sharing, Maritime Rescue Operations, Wireless Communication, Maritime Accident, Wireless Positioning System

본 논문은 주저자의 석사학위 논문을 수정·보완한 것이며, 해양경찰청의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Seung Woon Kim(Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement)
email: 12714@krit.re.kr

Received June 13, 2024

Revised July 4, 2024

Accepted July 5, 2024

Published July 31, 2024

1. 서론

선박을 이용한 해상 운송은 저렴한 운임으로 대량의 화물을 운송할 수 있고, 공해상에서 자유롭게 운항할 수 있는 장점이 있어 세계적으로 해상 물동량은 늘어나고 있다. 또한 해양 관광레저에 대한 관심이 증가하고, 관련 산업의 활성화에 따라 어선, 여객선 등 선박의 활동도 증가하고 있다. 이처럼 해상 활동이 증가하는 반면, 해양사고는 2023년 기준으로 우리나라에서만 3,092건이 발생하였고, 최근 5년간 연평균 2,960여건이 발생할 정도로 다양한 해양사고가 빈번하게 발생 중이다[1]. 해양사고는 여러 가지 요인에 의해 발생하지만, 급변하는 해상환경 때문에 인명피해와 직접적으로 연관이 있어 초기 골든타임 확보를 위해 해상 구조작전은 매우 중요하다. 이에 따라 해양사고가 발생하면 구조작전을 위해 인근 해경과 해군은 사고선박에 현장요원을 투입하나, 기상에 따라 풍랑, 파도 등 해상 환경이 급변하여 구조작전 수행은 일반적으로 쉽지 않다. 이러한 어려운 상황 속에서도 피해를 최소화하고, 현장에서의 신속한 지휘결심과 판단을 위해 구조작전 수행 간 실시간으로 정보를 공유하는 것은 필수적인 요소이다.

해상 구조작전 수행 간 실시간으로 정보를 공유하기 위해서는 사고선박에 통신환경을 구성해야 하며, 가장 용이한 방법은 기존 선박의 통신환경을 운용하는 방법이다. 하지만, 선박은 사고가 발생하면 발전기 고장 등으로 인해 선박 내 전원의 사용이 불확실하고, 선박의 구조, 특성과 내부 정보 등이 부족하기 때문에 기존 통신환경에 대한 운용이 제한될 수밖에 없다. 이에 따라 현장요원은 자체 전원을 이용하여 독립적으로 통신환경을 구성해야 하며, 통신을 구성하는 방식은 크게 유선과 무선으로 구분할 수 있다. 유선통신 방식은 모든 현장요원이 통신케이블을 개별적으로 장착하거나 휴대하면 장소에 관계없이 통신이 가능하나, 현장요원의 활동을 제한할 수 있기 때문에 현실적으로 제한된다. 반면 무선통신 방식은 현장요원의 활동을 보장할 수 있지만, 선박은 철과 벽 등으로 인해 전파가 반사 또는 굴절되어 원활한 통신이 제한된다. 이러한 상황을 고려하여 우리는 유선과 무선통신 방식을 혼합하는 등 사고선박에서도 통신환경을 구성하는 새로운 방법을 제안하고자 본 연구를 수행하였다. 뿐만 아니라 다수의 변수가 존재하는 현장 상황을 고려했을 때, 현장요원의 생존성 보장을 위해 안전도 고려해야 하는 요소이다. 이를 위해 복잡한 선박 구조 내에서 정전 상황에 따른 대책방안을 강구해야 하며, 선박의 밀

폐된 구조로 인해 GPS 수신에 제한되는 상황 속에서도 현장요원의 위치를 확인할 수 있어야 한다. 따라서 긴박한 해상 구조작전 상황과 선박의 특성에 따른 통신환경 구성의 어려움 속에서도 실시간으로 정보를 공유해야 하는 문제점을 해결하기 위해 본 연구를 수행하였다.

관련 선행연구를 살펴보면, 다수의 연구에서 LoRa, 금속체통신, PLC 등 다양한 유/무선 통신기술을 활용하여 선박 내에서 정보를 교환하기 위한 통신방안들을 연구하였다[2-7]. 상기 연구들은 공통적으로 선박 내에서 무선으로 통신하는 것은 어렵다는 것을 인지하고 있었으며, 선박 내부의 전력과 기반 네트워크도 정상적으로 작동된다는 전제로 연구가 수행되었다. 하지만 선박에서 실제 사고가 발생하면, 선박의 전원과 통신 네트워크는 정상적으로 작동할 수 없기 때문에 선행연구들은 제한사항이 많았다. 또한 사고 선박에서 구조작전을 수행하기 위한 통신방안이나 시스템에 대한 연구가 아니라 정상적으로 운용하는 선박에서의 통신방안을 연구하였기 때문에 우리가 해결하고자 하는 문제점을 가정한 연구는 없는 것으로 확인하였다.

그리고 선박과 같이 밀폐된 공간 또는 실내에서 위치를 추정하기 위해 주로 WiFi, 블루투스, Lora, 비콘 등 무선통신을 이용한 연구가 이루어지고 있다[8-12]. 무선통신으로 위치를 추정하기 위해서는 주로 RSSI를 활용한 삼각측량 방식이나, Fingerprint 방식을 통해 이루어진다[13,14]. 삼각측량 방식은 최소 3개의 센서값이 필요하나, 선박 내부는 공간이 협소하여 정확한 위치 산출이 제한된다. 또한, Fingerprint 방식은 선박의 상황을 이미 알고 있다는 전제 하에 신호세기 데이터를 사전에 수집해야 하는 단점이 있기 때문에 본 연구에서 적용하는 것은 제한될 것으로 판단하였다.

따라서 우리는 해상 구조작전에 중점을 두어 사고 선박과 같이 원활한 통신이 제한되는 환경에서도 현장 상황과 무관하게 독립적으로 통신환경을 구성하여 실시간으로 정보를 공유하는 시스템을 개발하는 것을 목표로 연구를 수행하였다. 이를 위해 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 직접 설계하고 개발하였으며, 개발한 시스템의 효용성을 확인하기 위해 실내 및 선박 환경에서 실험을 수행하였다. 이를 통해 개발된 시스템은 해상 구조작전 시 현장의 신속한 지휘결심과 긴급상황 대응을 충분히 지원할 수 있을 것으로 판단하였다.

위와 같은 문제인식과 연구방법 등을 기반으로, 본 논문에서는 해상 구조작전 수행 간에 선박에서 사용할 수 있는 실시간 정보 공유시스템을 개발하여 적용하는 과정

을 다음과 같은 차례로 검토하려 한다. 먼저 2장에서는 실시간 정보공유 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 설계하고 개발한 내용을 기술하였고, 3장에서는 개발된 시스템을 통한 실험 결과를 기술하였다. 마지막으로 4장에서는 연구결과에 대한 고찰과 향후 발전방향에 대해 서술하였다.

2. 시스템 설계/개발

2.1 목표 시스템 및 요구성능

해양사고는 선박의 크기, 용도 등 다양한 선박에서 발생할 수 있지만, 본 연구는 화물선, 여객선 등 대형 선박에서의 사고를 가정하였다. 특히 위험/유해물질을 탑재한 선박에서 발생하는 사고도 가정하여 화재가 동반될 경우 고온과 폭발의 위험성도 고려하였다. 그리고 구조작전을 위해 선박 내부에는 현장요원이 위치하고, 현장요원을 통제하는 현장지휘소는 선박 외부에 위치하는 것으로 가정하였다. 이 때, 현장요원은 안전을 위해 산소통과 방호복을 착용하는 것을 가정하였다.

이러한 상황에서 구조작전을 수행하기 위해서는 현장요원과 현장지휘소 간에 실시간으로 교신하면서 현장의 영상을 전송하며, 현장요원의 위치를 추정할 수 있도록 하여 정보를 공유하는 것이 매우 중요하다. 우리는 이러한 기능들을 구현하기 위해 802.11 규격(무선LAN)과 웹서비스 기반으로 시스템을 설계하도록 요구기능을 식별하였다. 또한 고온 및 폭발 위험성이 내재된 현장에 투입되는 것을 고려하여 본 시스템이 충족해야 하는 온도, 운용시간, 전원 등의 조건을 식별하였다. 세부 요구성능은 Table 1에서 기술한 바와 같다.

Table 1. Required Goal of the System

Spec.	Required Goal
Operating Time	1 hour
Operating Temperature	below 47℃
Wireless Communication	802.11 standard
Function	Voice/Text Communication, Video Transmission, Position Estimation

다음 절에서는 목표 시스템인 실시간 정보공유 시스템의 요구성능을 충족시키기 위해 통신중계시스템과 사용자 인터페이스와 같은 하드웨어를 설계하고 개발한 내용

을 기술하였다. 그리고 다음 절에서는 소프트웨어 개발을 통해 음성/문자 통신, 영상 전송, 위치 추정 등 실시간 정보공유를 위해 기능을 구현한 사항을 서술하였다.

2.2 하드웨어

실시간 정보공유 시스템의 하드웨어 구성은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 통신중계시스템과 사용자 인터페이스로 구성된다. 통신중계시스템은 현장지휘소에서 주로 사용하는 장치이며, 선박 내부와 외부 간에 통신을 연결하는 역할을 한다. 사용자 인터페이스는 현장요원이 선박 내부 상황을 현장지휘소에 전달하고, 실시간으로 교신하기 위해 사용하는 장치이다. 우리는 본 시스템을 개발하기 위해 범용성과 대체 용이성 등을 고려하여 상용품을 우선적으로 선택하여 요구성능을 만족하도록 하드웨어를 설계하였다.

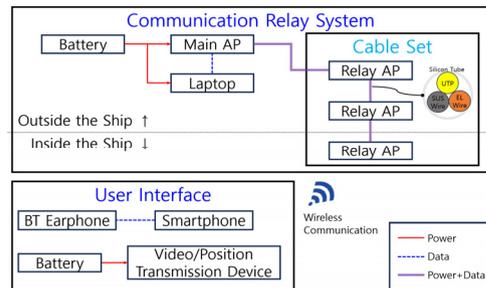


Fig. 1. Overall Diagram of the Hardware

2.2.1 통신중계시스템

통신중계시스템은 메인 AccessPoint(AP), 노트북, 배터리, 케이블세트 등으로 구성된다. 메인 AP는 통신중계시스템의 가장 핵심 기능을 수행하는 구성품으로, 선박 내부와 외부 간에 전체 네트워크를 제어하고 중계하는 역할을 수행한다. 메인 AP를 통해 모든 데이터가 전송되기 때문에 실시간 정보 공유를 위해 메인 AP는 항상 작동 중이어야 한다.

노트북은 메인 AP에 연결되어 웹서버를 구동시키는 역할을 하며, 네트워크에 연결된 인원들에게 음성/문자 통신, 영상 전송, 위치 추정 등의 기능을 웹서비스로 제공하는 역할을 수행한다.

배터리는 현장요원이 선박의 전원을 이용할 수 없기 때문에 메인 AP와 노트북에 전원공급을 위해 필요하다. 이를 위해 100,000mAh의 휴대용 배터리를 활용하였으며, 각종 구성품의 전력량을 고려하였을 때, 1시간 이상 충분히 가동할 수 있는 것으로 확인하였다.

케이블 세트는 현장요원이 선박 내에서도 통신할 수 있도록 하는 구성품으로, 케이블, 중계 AP, 케이블 릴로 구성된다. 케이블은 일반적인 통신케이블만 사용하면, 내구성과 시인성 등을 보장할 수 없기 때문에 현장요원이 구조작전 시 사용할 수 있는 유도로프에 착안하여 새로운 케이블을 개발하였다. 먼저 케이블의 통신기능을 위해 UTP 케이블을 사용하였고, PoE 기능을 활용하여 중계 AP에 네트워크와 전원을 모두 공급하도록 하였다. 또한, 사고선박 내 정전 상황을 고려하여 EI와이어를 통해 시인성을 높였으며, 케이블을 더 튼튼하고 장거리에서도 활용할 수 있도록 SUS 와이어를 통해 장력을 보강하였다. 이를 통해 상기 3종류의 케이블을 실리콘 튜브에 넣어 일체화함으로써 새로운 형태의 케이블로 제작하였다. 그리고 중계 AP는 케이블의 일정 거리마다 배치됨으로써 케이블이 계속해서 연장되어 통신 가용범위를 확장시키는 데 사용되었다. 케이블과 중계 AP는 케이블 릴에 감겨 현장요원이 간편하게 휴대하여 선박 내에서도 통신환경을 구성할 수 있도록 하였으며, 이렇게 개발한 통신중계시스템의 형상은 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

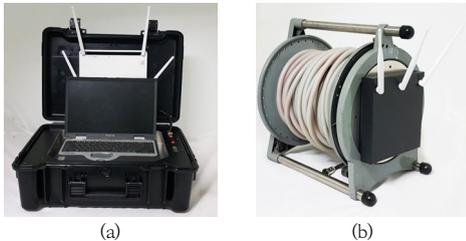


Fig. 2. Figure of Communication Relay System
(a) Main AP and Laptop (b) Cable Set

2.2.2 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 현장요원이 휴대하여 현장지휘소와 각종 정보를 실시간으로 공유하기 위한 장치이며, 스마트폰, 블루투스 이어폰, 영상/위치전송장치로 구성된다.

스마트폰은 실시간으로 음성과 문자 등을 교신하고, 필요한 정보를 수신하기 위해 웹서비스를 운용하는 장치이다. 선박 내 화재와 충격 등의 상황을 고려하여 MIL-STD-810G 규격을 만족하는 러그드 스마트폰을 선택하였으며, 이를 통해 기능과 안전성을 모두 충족할 수 있도록 하였다. 블루투스 이어폰은 스마트폰에 연결되어 음성통신을 할 수 있으며, 방화복 안에서 운용하는 것을 고려하여 일반 상용품을 사용하였다.

마지막으로, 영상/위치전송장치는 라즈베리파이 제로

W, 라즈베리파이 카메라, 배터리로 구성하였다. 라즈베리파이 제로W는 영상/위치전송장치의 핵심 모듈로, 라즈베리파이 카메라에서 촬영한 영상을 무선 LAN을 통해 전송하고 현장요원의 위치를 추정하기 위해 통신중계시스템의 노트북으로 데이터를 전송한다. 그리고 영상/위치전송장치에 전원 공급을 위해 배터리를 사용하였으며, 이 때 배터리는 화학적 반응으로 인해 폭발 위험이 있을 수 있기 때문에 상용에서 구매할 수 있는 방폭 배터리를 선택하여 안전성도 고려하였다. 이를 통해 개발한 사용자 인터페이스의 형상은 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

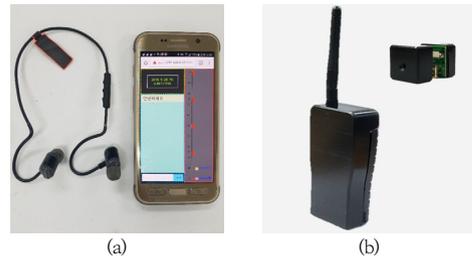


Fig. 3. Figure of User Interface
(a) Smartphone and Earphone
(b) Video/Position Transmission Device

2.3 소프트웨어

현장요원과 현장지휘소는 2.2절에서 개발한 하드웨어를 기반으로 선박 내부 상황과 작전정보 등을 실시간으로 공유할 수 있어야 한다. 이를 위해 현장지휘소는 통신중계시스템의 노트북을 이용하고, 현장요원은 사용자 인터페이스를 사용한다. 노트북과 사용자 인터페이스를 연결하기 위해 웹서버를 통한 웹서비스를 실행하여 실시간으로 음성/문자 통신, 영상 전송 및 위치 추정 등을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 오픈소스를 사용하여 향후에도 유지보수를 용이하게 하고, 기능을 계속해서 발전시킬 수 있도록 하였다. 소프트웨어 구현을 위한 개발환경은 Table 2와 같으며, 전체적인 구성은 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

Table 2. Software Development Environment

Function	Language	Development Environment
Web Server	Javascript	NodeJS
Voice/Text Communication	Javascript	WebRTC
Video Transmission	Javascript, HTML/CSS	UV4L
Position Estimation	Java, Javascript	Android, D3.js

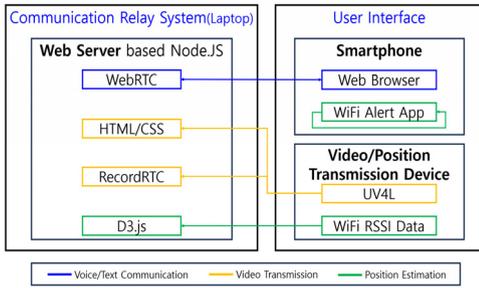


Fig. 4. Overall Diagram of the Software

2.3.1 음성/문자 통신

우리는 통신중계시스템의 웹서버를 JavaScript 언어로 구성된 Node.JS 기반으로 개발하였다. Node.JS는 서버 측 애플리케이션 개발을 위한 소프트웨어 플랫폼으로, 추가 소프트웨어 없이 웹서버를 실행할 수 있는 HTTP 서버 라이브러리가 포함되어 있다. Node.JS로 웹서버를 구동시키면, 웹페이지에 접속한 인원들은 다양한 기능들을 운용할 수 있다. 또한 웹페이지에 접속하여 음성/문자로 통신하기 위해 웹서버에 WebRTC API를 적용하였으며, WebRTC는 별도의 앱을 설치하지 않고도 웹 상에서 네트워크 프로토콜(SDP, ICE, RTP 등)을 통해 신호/음성/데이터를 전송할 수 있는 기술이다. 따라서 현장지휘소는 노트북을 이용하여 HTTP 프로토콜 기반의 웹서버를 구동하였고, 현장요원은 스마트폰을 통해 웹페이지에 접속하면 자동으로 상호간에 연결되어 음성/문자통신과 필요시 지도, 사진도 전송할 수 있도록 하였다.

2.3.2 영상 전송

현장요원이 촬영한 영상을 현장지휘소에 공유할 수 있도록 사용자 인터페이스의 영상/위치전송장치에 User space Video4Linux(UV4L) API를 적용하고, 촬영한 영상을 웹서버에서 전시하도록 구현하였다. UV4L은 HTTP 프로토콜 기반의 오디오 및 비디오 스트리밍 서비스를 제공하는 API이다. 이러한 UV4L을 통해 웹서버로 mjpeg 형태의 영상을 전송하도록 하였고, 전송된 영상을 웹페이지에 HTML과 CSS로 구현하여 현장지휘소에서 직관적으로 현장 상황을 볼 수 있도록 하였다. 각 현장요원으로부터 받은 영상은 기본적으로 웹페이지 내에 섬네일로 전시되도록 하였고, 영상 클릭 시 확대가 되도록 하였다. 또한 실시간으로 수신되는 영상을 녹화하기 위해 웹서버에 RecordRTC 라이브러리를 적용하였으며, 이는 구조작전이 종료된 후 현장상황 분석과 채증 등을 위해서도 본 시스템을 활용할 수 있도록 하였다.

2.3.3 위치 추정

각종 정보를 공유하는 기능뿐만 아니라 현장요원에 대한 안전을 보장하기 위해 위치를 추정하는 기능을 구현하였다. 먼저 사용자 인터페이스의 영상/위치전송장치에서 통신중계시스템 케이블 세트의 중간마다 장착된 중계 AP까지의 WiFi RSSI 데이터를 수집하여 통신중계시스템 노트북의 웹서버로 전송하였다. WiFi RSSI는 무선통신의 수신 감도를 나타내는 중요한 지표이며, AP까지의 거리와 밀접한 관련이 있다. 이를 통해 Friis 공식인 Eq. (1)에 WiFi RSSI를 대입하여 두 개의 AP로부터의 거리를 도출하였다[15].

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \cdot 10^{\frac{L}{20}} \quad (1)$$

Where, c denotes the propagation velocity (3×10⁸m/s), f denotes the WiFi frequency (2.4GHz), L denotes the RSSI measurements

AP로부터의 도출된 거리를 양 끝단의 AP 사이의 비율로 계산하면, 케이블의 어느 지점에 현장요원이 위치하고 있는지 또는 어떤 AP 근처에서 작전을 수행 중인지 추정할 수 있다. 또한 현장지휘소에서 현장요원의 위치를 직관적으로 파악하기 위해 데이터를 시각적으로 다양하게 표현할 수 있는 자바스크립트용 라이브러리인 D3.js를 사용하였다.

뿐만 아니라 현장의 긴박한 상황을 고려하여 현장요원이 작전 수행 중 통신 가용범위를 쉽게 인지할 수 있도록 안드로이드 앱을 개발하였다. WiFi RSSI 값이 일정 수준 이하로 떨어지면, 사용자 인터페이스의 스마트폰에서 경고음이 발생하도록 하였으며, 이는 현장요원이 통신 가용범위를 즉각적으로 인지할 수 있도록 하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 실내 환경 실험

2장에서 설계하고 개발한 실시간 정보공유 시스템의 성능을 검증하기 위해 실내와 선박 환경에서 각각 실험을 수행하였다. 먼저, 실험을 수행하기 전 개발한 시스템의 기능 검증에 중점을 두었다. 음성/문자 통신은 데이터 처리량이 높지 않아 끊김이 발생하지 않았지만, 현장요원의 영상을 수신할 때 웹서버 연결이 간헐적으로 끊어지는 현상을 확인하였다. 이는 카메라의 성능과 무관하

게 네트워크에서 생성되는 데이터의 양에 따라 차이가 발생하는 것을 식별하였으며, 이를 해결하기 위해 카메라 설정에 따른 영상의 품질을 비교하였다. 사용된 실험 장치는 노트북, 유/무선 공유기, 라즈베리파이 제로W, 라즈베리파이 카메라였다. 라즈베리파이 카메라로 촬영한 영상을 웹서버로 전송하여 웹페이지에 전시되는 영상의 품질을 비교하였고, Table 3는 카메라 설정에 따른 데이터양을 비교한 결과이다.

Table 3. Correlation between Camera Settings and Data Throughput

Camera Settings			Data Throughput (Mbps)
Resolution	Quality	Framerate(fps)	
320×240	5	5~20	0.13 ~ 1.0
320×240	10	5~20	0.40 ~ 2.0
320×240	15	5~20	0.57 ~ 3.0
320×240	20	5~20	0.78 ~ 4.0
640×480	5	5~20	0.47 ~ 2.5
640×480	10	5~15	0.90 ~ 3.9
640×480	15	5~10	1.40 ~ 3.9

품질은 압축 정도에 따른 이미지 품질 수준을 나타냈으며, 프레임 속도는 디스플레이에 연속적인 이미지가 나타나는 빈도를 의미한다. 실험결과, 해상도, 품질, 프레임레이트에 따라 데이터의 양이 증감하는 것을 확인하였으며, 각 카메라 설정에 대한 이미지 비교는 Fig. 5에 보는 바와 같다.

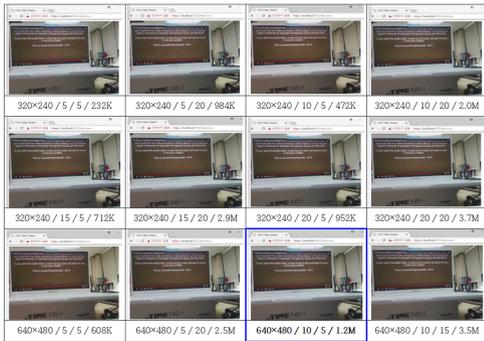


Fig. 5. Comparison of Images according to Camera Settings

그 결과 데이터 처리량과 영상 품질을 고려했을 때, 해상도 640×480, 품질 10, 프레임속도 5fps가 다른 설정보다 영상 수신 품질과 데이터 처리량이 적절한 것으로 확인했으며, 이는 현장에서 4명 이상이 동시에 시스

템을 운용해도 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

또한, AP 거리에 따라 WiFi RSSI와 영상 지연을 비교하는 실험을 수행하였다. 본 실험은 한국과학기술원 전산학부 연구실과 벽으로 구분된 복도에서 수행되었으며, 연구실에 AP를 설치한 후 연구실에서 복도로 이동하며 WiFi RSSI를 측정하였다. Table 4은 AP로부터 거리와 WiFi RSSI의 관계를 비교한 수치를 나타낸 표이다.

Table 4. Video delay and WiFi RSSI according to AP distance

AP Distance	Video Delay	WiFi RSSI
10 m	None	-38 dBm
20 m	3 ~ 5 sec	-62 dBm
30 m	30 ~ 60 sec	-70 dBm
40 m ~	Unable to transmit	-74 dBm ~

AP로부터 20m까지는 약 3~5초 정도의 지연이 있었으나, 30m 에서는 30초 이상의 지연이 발생하였다. 즉, 거리가 30m를 초과하면 실시간으로 영상을 공유하는 데 한계가 있다는 결과를 도출하였다. 반면, 격벽이 없이 온전히 AP로부터 직선거리가 최대 60m까지는 약 5초 정도의 지연과 함께 현장 상황을 공유할 수 있었으며, 이는 현장요원이 위치한 선박의 특정 구역 내에서는 AP를 이용하여 현장 지휘소와 실시간으로 정보 공유가 가능함을 확인하였다. 추가로, WiFi RSSI 값이 -70 dBm 이하로 떨어지면 현장요원의 통신이 중단될 수 있음을 확인할 수 있었고, 이를 통해 현장요원의 통신 가용범위 알람 기준을 -70 dBm으로 설정하기 위한 근거를 마련하였다.

WiFi RSSI를 이용한 위치추정 기능을 검증하기 위해 격벽이 없는 통로에서 5m마다 AP로부터 50개의 WiFi RSSI 데이터를 수집하였고, 수집된 데이터를 2장에서 개발한 위치 추정 소프트웨어에 적용시켰다. Fig. 6은 두 개의 AP에서 생성된 RSSI에 따른 위치를 추정한 실험 결과를 보여준다.

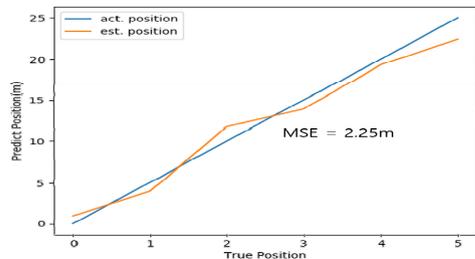


Fig. 6. Comparison of Actual and Estimated Positions

추정 위치 그래프가 실제 위치 그래프와 거의 유사하게 그려지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 양 끝단의 AP 사이에서 우리가 어디에 위치해 있는지 추정할 수 있음을 확인하였다. 물론 전파 간섭으로 인한 오차는 발생할 수 있지만, 현장에서의 최소한의 안전을 보장하기 위한 조치로는 적절할 것으로 판단하였다.

이러한 영상 전송, 통신환경 등에 대한 기본 실험결과 등을 바탕으로 실내 환경에서 종합적으로 실험을 수행하였다. 실험환경은 다음과 같다. 선박 내부 환경을 모방한 콘크리트 벽과 문으로 구성된 한국과학기술원 전산학부에서 실험을 진행하였고, 실험 장비는 통신중계시스템과 사용자 인터페이스였다. 현장요원은 1팀당 4명으로 구성되어 100m 케이블을 사용하였으며, 음성을 통해 계속해서 교신하면서 촬영한 영상을 현장지휘소로 전송하였다. 현장지휘소는 전산학부 연구실에 위치하도록 하였고, 현장요원은 건물의 복도를 따라 이동했다. 이를 통해 현장지휘소와 현장요원이 음성/문자 통신, 영상 전송과 위치 추정까지 실내에서도 충분히 가능함을 확인하였으며, 그 결과는 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같다.



Fig. 7. Video received from Field agents

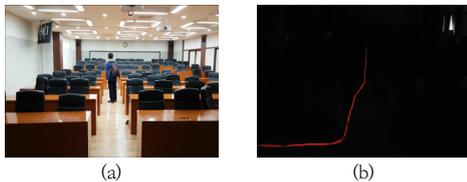


Fig. 8. Comparison of operating EL wire
(a) Before operating EL wire (b) After operating EL wire

3.2 선박 환경 실험

실내에서의 실험 결과를 바탕으로 실제 선박인 1,000톤급 해경정에서도 실험을 수행하였다. 현장지휘소는 선박 외부의 함미 갑판에 위치하였고, 현장요원은 통신중계시스템의 케이블세트와 사용자 인터페이스를 휴대하여

하부 데크에 위치한 기관실에 진입하도록 하였다. 이 때 사용한 실험장비는 Fig. 9에서 보는 바와 같다.

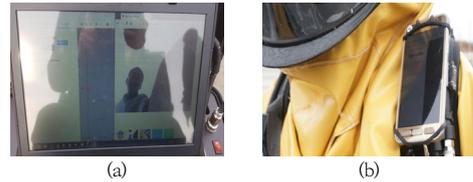


Fig. 9. Devices in Ship environmental experiments
(a) Laptop of Communication Relay System
(b) Smartphone of User Interface

실험 결과, 현장지휘소와 현장요원은 음성으로 소통하고, 문자를 정상적으로 교환할 수 있었으며, 기관실 내부의 영상이 실시간으로 현장 지휘소 노트북으로 전송되는 것도 확인하였다. 또한, 현장요원의 생존성 보장과 안전을 위해 구현한 위치추정과 알람 기능을 통해 선박 내에서도 현장요원의 위치를 추정할 수 있었으며, 중계 AP로부터 일정 거리를 이탈하면 경보음도 발생시켜 통신 가용범위를 인지할 수 있었다. 마지막으로 정전 상황을 부여하여 암전의 상황에서도 케이블세트의 발광 기능을 활용하여 현장요원이 무사히 선박 내부 기관실에서 탈출까지 할 수 있는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 선박에서 해상 구조작전 시 실시간 정보공유 시스템을 이용하여 선박 내부와 외부 간에 정보를 교환하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 선박 내·외부의 통신환경을 구성하기 위한 통신중계시스템과 음성/문자통신, 영상전송과 위치를 추정하기 위한 사용자 인터페이스를 개발하였다. 이를 통해 실내 환경과 실제 선박에서 성능을 실험한 결과, 개발한 실시간 정보공유시스템은 환경정보가 충분하지 않은 선박에서도 실시간 정보공유가 가능하고 효용성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 실시간 정보공유 시스템은 해상 구조작전 시 초동조치를 위해 통신환경을 구성하여 정보를 공유할 수 있는 효과적인 방안인 것으로 판단되며, 이를 통해 현장의 신속한 지휘결집과 판단을 지원하는 데도 충분히 효용성이 있을 것으로 생각된다.

다만, 본 연구로 선박에서도 통신환경을 구성하여 실시간으로 정보를 공유할 수 있다는 것을 실험을 통해 확인하였지만, 다양한 환경에서 구체적인 수치나 데이터를

많이 수집하지 못한 점이 한계점이라 볼 수 있다. 이에 따라 향후 연구에서는 데이터 수집을 위해 시제품을 견고하게 제작하는 방안을 모색하고, 해당 시제품을 활용하여 다양한 실험을 수행해보고자 한다. 특히 이번 연구는 해상 구조작전에 국한하였지만, 군, 경찰, 소방 등에서 화재와 테러 등 다양한 상황에서도 활용될 수 있다고 생각하며, 탄광 작업과 같이 통신이 제한되고 통신기반이 미비한 구역에서도 작업의 효율성을 증대시키는 데 효과가 있을 것으로 생각된다.

마지막으로 본 연구를 수행하면서 향후에 더 발전시키고, 보완해야 할 부분에 대해 깊게 생각하였다. 먼저, 현재는 선박에서 현장지휘소와 현장요원 간의 통신을 중점적으로 보았다면, 육상에 위치하는 지휘소와도 정보를 공유할 수 있어야 할 것이다. 이를 위해 소형위성이나 휴대용 LTE 라우터 등을 활용하면 해상에서도 육상과 정보를 공유하도록 발전시킬 수 있다. 또한 사용자 인터페이스에 심박수 확인, 체온 측정 등 각종 생체 센서를 추가로 활용한다면 현장요원의 신체 상태도 확인할 수 있어 현장요원의 생존성을 더욱 보장하고 안전을 도모할 수 있을 것이라 생각한다. 그리고 사용자 인터페이스의 카메라를 LiDAR 같은 센서로 성능을 보완하여 선박 내부를 3D 맵으로 구현하면 현장지휘소나 육상 지휘소에 양질의 영상을 제공하여 직관적이고 건전한 판단에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

이처럼 도출된 보완사항과 발전사항을 통해 향후에도 통신이 제한되는 환경에서 실시간으로 정보공유를 할 수 있는 연구를 더욱 발전시키도록 할 것이며, 이러한 기술들을 가진 기업들을 적극적으로 발굴하여 지원할 수 있도록 방산육성지원사업을 위해 현업에서도 노력할 것이다.

References

- [1] Korean Maritime Safety Tribunal, Marine Accident Statistics Report 2023, Statistical Report, Korea, pp.8-9
- [2] J. H. Huh, T. Koh, K. Seo, "Design of a Shipboard Outside Communication Network and Its Testbed Using PLC: For Safety Management during the Ship Building Process", *Processes*, Vol.6, No.6, June 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr6060067>
- [3] H. S. Kim, S. G. Kang, "A Powerline-based Legacy-line Communication System for Implementation of a Communication Network in Ship", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.19, No.8, pp.1831-1838, August 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1831>
- [4] J. W. Kong, S. G. Song, H. S. Kim, B. Y. Kim, S. W. Seong, "Experimental Study of the Wireless Communication System by Surface Wave Communication through Confined Spaces on Vessels", *Journal of Navigation and Port Research*, Vol.45, No.6, pp.366-371, December 2021. DOI: <https://doi.org/10.5394/KINPR.2021.45.6.366>
- [5] D. Choi, J. Lee, Y. Kim, "Analysis of Path Loss Model and Channel Characteristics at 2.4GHz on Navy Warship's Internal Space", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.36, No.11, pp.1422-1432, October, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.7840/KICS.2011.36B.11.1422>
- [6] H. Park, C. B. Lee, S. M. An, "Implementation of Smart Convergent Communication System of Satellite and Wireless for Monitoring in Closed Room of Vessel", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.19, No.8, pp.1853-1858, August 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1853>
- [7] H. Nam, J. W. Lee, N. Park, "Design and development of LoRa communication-based repeater and web dashboard for bio-signal monitoring", *Conference on Information and Control Systems*, KIEE, Gangwon, Korea, pp.288-289, October 2023.
- [8] S. H. Park, M. S. Park, "Measuring Inner or Outer Position of Ship Passenger and Detection of Dangerous Situations based LoRa WAN Communication", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.23, No.2, pp.282-292, February 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.9717/kmms.2020.23.2.282>
- [9] A. A. Sohan, M. Ali, F. Fairouz, A. I. Rahman, A. Chakrabarty and M. R. Kabir, "Indoor Positioning Techniques using RSSI from Wireless Devices", *2019 22nd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, IEEE, Dhaka, Bangladesh, pp.1-6, December 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCIT48885.2019.9038591>
- [10] J. Lee, S. R. Lee, S. C. Kim, "Analysis of Localization Scheme for Ship Application Using Received Signal Strength", *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol.39, No.8, pp.643-650, August 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39C.8.643>
- [11] C. Yang, H. R. Shao, "WiFi-based indoor positioning", *IEEE Communications Magazine*, IEEE, Vol.53, No.3, pp.150-157, March 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7060497>
- [12] J. H. Kim, J. Y. Kim, "Indoor positioning system for naval ship personnel using beacon", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol.24, No.11, pp.135-142, November 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.9708/iksci.2019.24.11.135>
- [13] J. Park, M. A. Jung, S. Y, S. R. Lee, "System Design for Location Determination Inside the Ship", *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol.38, No.2, pp.181-188, February, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.2.181>

- [14] S. Shang, L. Wang, "Overview of WiFi fingerprinting-based indoor positioning", *IET Communications*, John Wiley & Sons Inc., Vol.16, No.7, pp.725-733, April 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1049/cmu2.12386>
- [15] H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula", *Proceedings of the IRE, IEEE*, Vol.34, No.5, pp.254-256, May 1946.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1946.234568>
-

김 승 운(Seung Woon Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 해군사관학교 전산 과학과 (이학사)
- 2019년 2월 : 한국과학기술원 전산학부 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 2024년 1월 : 해군 정보통신 장교
- 2024년 2월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 연구원

<관심분야>

정보통신, 인공지능