

선박 내 스마트 안전모 및 환경 센서 적용에 관한 연구

김도형¹, 하연철^{2*}

¹부산대학교 조선해양공학과, ²부산대학교 선박해양플랜트기술연구원

A Study on the Application of Smart Safety Helmets and Environmental Sensors in Ships

Do-Hyeong Kim¹, Yeon-Chul Ha^{2*}

¹Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University

²The Korea Ship and Offshore Research Institute, Pusan National University

요약 선박 구조 특성상 격실 구조는 복잡하고 협소하여 작업 과정에서 안전사고가 빈번히 발생하고 있다. 사고의 주된 원인은 구조물 충돌, 낙하물, 독성물질 누출, 화재, 폭발, 질식 등이 존재한다. 사고 발생 시 작업자의 현장 상황을 파악하는 것이 피해를 완화하는 요소 중 하나이다. 이에 안전성을 확보하기 위해 선박 내 CCTV로 현장 상황을 모니터링하고 있으나, 기존의 방식으로는 사고를 예방하기엔 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 안전 기술로 위치 식별, 음성/영상 통신 기능이 탑재되는 스마트 안전모가 개발 중에 있다. 또한, 작업 구역 내 환경 정보 수집 및 저장기능을 포함한 온도, 습도, 진동, 소음, 기울기(자이로 센서), 가스 센서를 사용하여 스마트 안전모를 착용한 작업자에게 위험 상황을 알릴 수 있다. 이를 통해 스마트 안전모 및 환경 센서의 사용으로 선박 내 작업자의 안전성을 강화할 수 있을 것이다.

• 주제어 :스마트 안전모, 관제 프로그램, 환경 센서, 안전, 선박 구조, 작업자

Abstract Due to the characteristics of ship structure, the compartment structure is complicated and narrow, so safety accidents frequently occur during the work process. The main causes of accidents include structural collisions, falling objects, toxic substance leaks, fires, explosions, asphyxiation, and more. Understanding the on-site conditions of workers during accidents is crucial for mitigating damages. In order to ensure safety, the on-site situation is monitored using CCTV in the ship, but it is difficult to prevent accidents with the existing method. To address this issue, a smart safety helmet equipped with location identification and voice/video communication capabilities is being developed as a safety technology. Additionally, the smart safety helmet incorporates environmental sensors for temperature, humidity, vibration, noise, tilt (gyro sensor), and gas detection within the work area. These sensors can notify workers wearing the smart safety helmet of hazardous situations. By utilizing the smart safety helmet and environmental sensors, the safety of workers aboard ships can be enhanced.

• Key Words : Smart Helmet, Control system, Environmental Sensor, Safety, Ship structure, Worker

Received 19 June 2023, Revised 24 June 2023, Accepted 27 June 2023

* Corresponding Author Yeon-Chul Ha, The Korea ship and Offshore Research Institute, Pusan National University, 2, Busandaehak-ro, 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, Korea. E-mail: ycha@pusan.ac.kr

I. 서론

최근 조선업계는 선박 운항의 안전성과 효율성을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 운송 및 안전성을 확보하기 위해 스마트 선박을 도입하는 것이 수단으로 채택되고 있다. 이러한 4차 산업 속에서 IoT, ICT, 빅데이터 등의 기술발전으로 디지털화 및 지능화 기술을 필요로 하고있다[1]. 하지만 선박 내부는 기계 설비, 위험 구역 존재 등으로 구조물, 충돌, 낙하물, 독성물질, 누출, 화재, 폭발, 질식 등 다양한 사고 요인들이 존재한다. 특히, CCTV가 촬영되지 않는 사각지대에서 작업자의 사고 발생 시 심한 부상 및 현장 상황을 파악하기 어려움이 있다. 그리고 선박 내 작업자의 근로 특성상 선박에서 24시간 생활하는 선원으로 대부분의 재해는 직무를 수행하는 과정에서 발생함을 알 수 있다[2]. 따라서 선원을 모니터링 할 수 있는 스마트 안전모와 선박 내 위험성을 감지할 수 있는 환경 센서의 활용으로 프레임워크를 제안하여 스마트 선박의 의사 결정을 개선하기 위해 항해하는 동안 선원이 일반적으로 내리는 인지적 판단의 일부를 효율화하여야 한다[3].

일반적으로 헬멧은 머리의 상해를 방지하기 위해 착용하는 작업모이지만 ICT 기술과 접목되어 스마트 안전모로 나타나고 있다. 스마트 안전모는 산업 안전 및 사고 예방을 위하여 여러 연구가 진행되고 있으며 특히 고위험 지역의 근로자를 위한 혁신적인 솔루션으로 구현되고 있다[4].

선박 내 센서의 사용으로 주변 환경을 탐지하고 이를 통해 위험 상황 발생 시 작업자에게 알리며 신속하게 적절한 대응을 하여 사고를 예방하는 것이 강조되고 있다.

본 연구는 육상과 달리 격실 구조로 복잡하고 위험요소가 많은 선박에서 스마트 안전모를 활용하여 음성과 영상을 송수신하고 환경 센서를 사용하여 내부 환경을 측정하여 작업자의 안전을 도모하는 것에 목적이 있다.

본 논문의 구성은 2장에서는 스마트 안전모를 설명하고 3장에서는 환경 센서 활용하여 선박 환경 측정 및 데이터 저장을 나타내었고 끝으로 4장에서는 결론 및 고찰을 다루었다.

II. 스마트 안전모

2.1 스마트 안전모 개요

현재 선박 내 안전모는 머리를 보호하기 위한 안전 장비로만 쓰이고 있다. 이에 작업자들은 통신하기 위해 무전기를 사용하고 영상을 촬영하기 위해 별도의 카메라를 헬멧에 부착한다. 그에 따라 작업 중 양손이 자유롭지 못하고 헬멧이 앞으로 쏠림 등의 불편함을 겪는다. 이를 해결하기 위해 음성/영상의 통신과 거동을 자유롭게 할 수 있는 스마트 안전모의 필요성이 대두되고 있다.

스마트 안전모는 Wi-Fi 통신 기반으로 동작하며, Fig. 1과 같은 형태로 구현된다. 스마트 안전모는 관계 프로그램과 Wi-Fi 연결을 통해 음성/영상 송수신이 가능하고 위치 식별 기능도 제공한다. 관계 프로그램으로 송수신된 음성/영상이 데이터는 서버에 저장되어진다. 이를 통해 선박에서의 음성/영상 통신으로 긴급 상황에 따른 적절한 대응 및 편의성을 가질 수 있을 것이다.

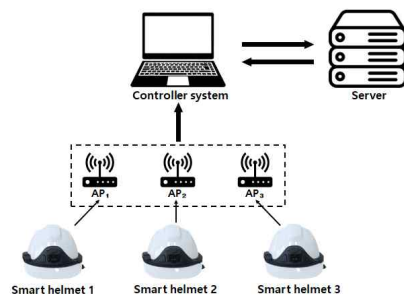


Fig. 1. Connection between smart helmet and controller system

2.2 스마트 안전모의 구성

Fig. 2는 스마트 안전모의 구성을 나타낸 것이다. 스마트 안전모는 카메라, 통신 모듈, 배터리 등이 내장된 형태로 구성하였다. 스마트 안전모의 배치는 정면에 카메라를 위치시키고, 후면에는 전원 버튼과 LED 라이트를 배치하여 배터리 잔량을 표시합니다. 선내에서는 기계들의 소음으로 인해 음성 송수신 시에 잡음이 발생할 수 있으므로, 잡음을 최소화하기 위해 이어폰 모듈을 사용하였다.

Fig. 3은 스마트 안전모에 부착된 PCB(Process Control Block) 모듈을 나타내었다.

스마트 안전모의 (a)는 전면부로 카메라 모듈을 나타내었고 측면에는 오디오 및 헤드폰 모듈이 부착되어 있다. (b)는 후면부로 파워 모듈과 전원이 장착되어 있다. (c)는 안전모의 상단부이며 통신 모듈과 MCU가 표시된다. 또한, 안전모의 고유기능인 안전을 목적으로 하여야 하며, 착용 후 별도의 모듈들이 외부에 부착되면서 발생할 수 있는 거부감 등이 해소되어야 할 문제이기 때문에 모듈들이 내장된 형태여야 한다[5].



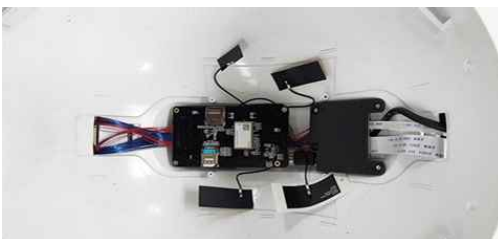
Fig. 2. Composition of smart helmet



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Smart helmet module part: (a) Smart helmet front (b) Smart helmet rear (c) Smart helmet top

2.3 스마트 안전모 관제 프로그램

2.3.1 스마트 안전모와 관제 프로그램 간 통신

선박 내에서 Wi-Fi 통신 기술을 사용하여 스마트 안전모와 관제 프로그램 간의 연결이 이루어진다. 스마트 안전모에 부착된 카메라, 통신 모듈, 이어폰 등의 사용으로 작업자의 음성 및 현장 상황이 관제 프로그램으로 전송되어 Fig. 4와 같이 관제 시스템에서 실시간으로 모니터링 할 수 있다.



Fig. 4. Control system GUI of smart helmet

2.3.2 스마트 안전모를 이용한 작업자 실내 위치 측위

선박 내부는 거대하고 복잡하게 설계되어 작업자의 위치를 확인하기에 매우 어려움이 있다. 이에 사고 발생 시 선내 위치 확인은 안전을 완화하기 위해 작업자 및 관리자 모두에게 중요한 요소이다, 하지만 선박은 육상과 달리 GPS의 신호가 닿지 않아 실내에서의 측위 기술이 요구된다.

식(1)은 RSSI(Received signal strength indicator)거리 공식으로 측정된 실내 위치 확인 기술로 선박 내 설치된 AP로 Fig. 5와 같이 Wi-Fi 통신을 기반으로 작업자의 실내 위치를 확인할 수 있다.

$$RSSI = -10n \log_{10}(d) + A \quad (1)$$

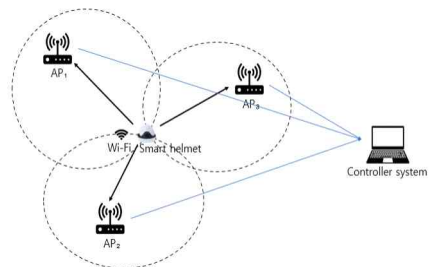


Fig. 5. WiFi-based indoor positioning system

2.4 스마트 안전모 사용

본 연구는 실제 선박 2만 4,000TEU급의 컨테이너선 엔진룸에서 실험을 수행하였다. Fig. 6은 실험을 수행한 엔진룸을 보여주며 Fig. 7은 선박 내에서 Wi-Fi 통신을 기반으로 한 스마트 안전모의 사용을 나타내었다. 스마트 안전모를 사용하여 엔진룸에서 Deck 간을 이동하며 관제 프로그램과의 연결 상태 및 음성/영상 통신 그리고 작업자의 실내 위치를 확인하였다. 이를 통해 CCTV로 모니터링되지 않는 사각지대에서도 작업자의 현장 상황을 파악할 수 있었다.



Fig. 6. Engine room in ship



Fig. 7. Using smart helmets on ships

III. 환경 센서

3.1 환경 센서 개요

선박 내부는 화물창 및 엔진룸과 같은 위험구역에서 기계 사고, 가스 중독, 화재 발생과 같은 위험 요소가 존재한다. 따라서 다양한 요인을 탐지하기 위해 환경 센서를 활용하여 선내 환경을 측정할 필요성이 요구된다. 선내 환경 측정을 위해 Fig. 8과 같이 온/습도, 진동, 음향, 기울기, 가스 센서를 사용하여 다양한 요인을 관측할 수 있는 시스템 구성도를 제시하였다.

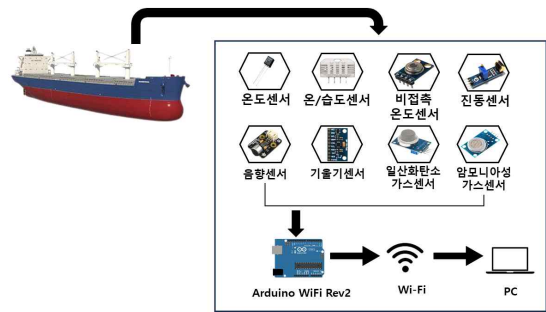


Fig. 8. Sensor system diagram

3.2 환경 센서 구성

“Arduino WiFi Rev2” 보드와 온도, 습도, 음향, 진동, 기울기, 가스 등의 센서 모듈로 Wi-Fi 통신 방식을 활용하여 측정된 데이터를 수집 및 저장할 수 있도록 컨트롤 모듈을 제작하였다. 제작된 모듈을 사용하여 실제 선박에서 실험을 진행하였으며, 무선으로 선내 환경을 탐지한다. Fig. 9는 실제 선박에서 진행한 실험을 나타내었다.



Fig. 9. Sensor test on ship

3.2.1 온도 및 습도 센서

선박은 운항 중 높은 온도 및 습도로 기계적 부식 및 화재의 발생 가능성이 증가한다. 온도, 온습도, 비접촉 온도 센서와 같은 환경 센서로 컨트롤 모듈을 제작하였다. Fig. 10에서는 컨트롤 모듈에 장착된 (a) LM35 온도, (b)는 DHT22 온습도, (c)는 MLX90614 비접촉식 온도 센서를 나타내었다. Fig. 11은 완성된 컨트롤 모듈을 나타내었다. 제작한 모듈을 통해 선박 내 온도 및 기계 온도를 탐지한다.

3.3 환경 센서 실험

3.3.1 온도 및 습도 센서 실험 결과

선박 내부는 엔진, 펌프, 발전기 등과 같은 다양한 기계장치들이 작동하며, 이들의 기계적 성능은 선박 운용에 직접적인 영향을 끼친다. 따라서, 운항 중 발생할 수 있는 기계적 고장은 선박 운용에 매우 중요한 문제이다. 엔진룸에서 측정된 센서 결과값을 나타내었으며 Fig. 20은 온도를 측정된 값이며 Fig. 21은 온도 및 습도를 측정하였다. 이에 센서 간의 약간의 온도 차이가 있었지만, 비슷한 결과값을 보여주었다. Fig. 22는 장비의 동작에 따라 온도를 측정된 값으로 시작점으로부터 점차 증가하다가 장비가 꺼진 시점으로 온도가 점차 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

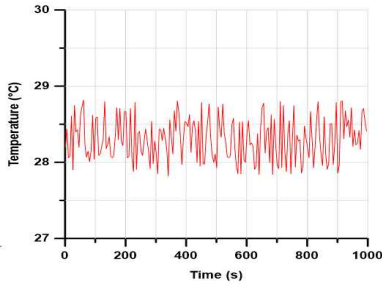


Fig. 20. Detect Temperature according to time in E/R

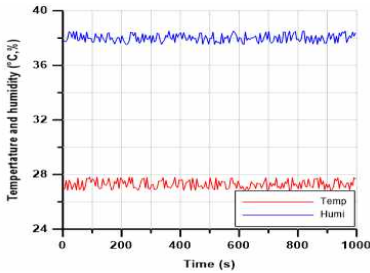


Fig. 21. Detect Temperature and humidity according to time in E/R

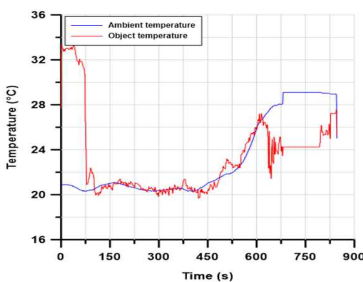


Fig. 22. Detect Non-contact temperature according to time in E/R

3.3.2 진동 센서 실험 결과

선박 엔진룸에서 발전기 가동 중 진동 관측하기 위해 진동 센서의 사용으로 진동을 측정할 수 있었다. Fig. 23을 통해 장비의 시작 진동 값과 꺼질 때의 진동을 확인할 수 있었으며 기계의 동작 중의 일정한 진동 값을 검출할 수 있었다. 또한, 장비의 on, off 상태를 확인할 수 있었다.

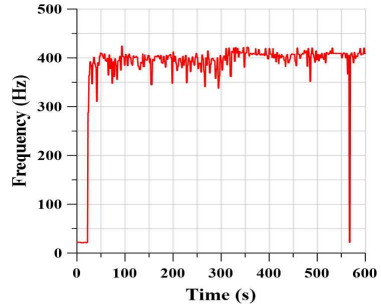


Fig. 23. Detect Vibration according to time in E/R

3.3.3 음향 센서 실험 결과

선박 엔진룸에서 발전기를 가동하는 동안 음향 센서를 통해 관측한 소음은 87.2 dB로 측정되었으며, 이 결과를 Fig. 24에 나타내었다. 국제해사기구(IMO) 따르면, 격실마다 허용 가능한 소음을 규정하고 있다. 따라서 음향 센서의 측정으로 권장치를 초과하는 소음을 감지할 경우 작업자에게 경고하여 알려줍니다.

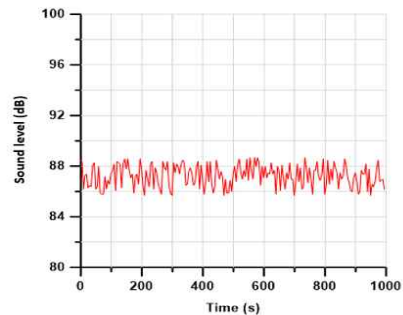


Fig. 24. Detect Sound according to time in E/R

3.3.4 기울기 센서 실험 결과

발전기 가동 중 기울기 센서를 통해 기울기를 관측한 결과 Fig 25와 같이 기계의 x, y, z (가속도, 각속도, 각도 측정) 값으로 기울기 변화를 감지할 수 있었다. 또한, 기울기 센서 데이터를 실시간으로 모니터링하고

기울기 변화를 신속하게 감지하여 엔진 작동 중에 발생할 수 있는 문제나 결함을 조기에 파악해 예방 조치를 할 수 있을 것이다.

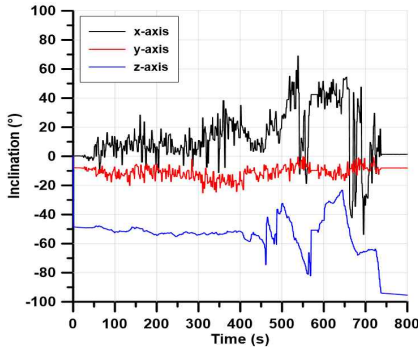


Fig. 25. Detect Inclinatoin according to time in E/R

3.3.5 가스 센서 실험 결과

선박 내 엔진룸에서 환경 센서를 통해 일산화탄소 및 암모니아 가스 검출 결과를 Fig. 26에 나타내었다. 일산화탄소 센서값은 93ppm으로 검출되었다. 암모니아 가스 센서의 가스 센서값은 4.05ppm으로 검출되었다.

실험 결과 일산화탄소 가스는 일정 수준 농도인 50ppm보다 약간 높게 검출되었으며 암모니아 가스 농도는 5ppm 이하의 검출로 인체에 무해한 값으로 측정되었다. 이를 통해 환기 시스템 가동, 마스크 착용, 적절한 휴식과 같은 조치를 통해 사고를 예방할 수 있을 것으로 사료 된다.

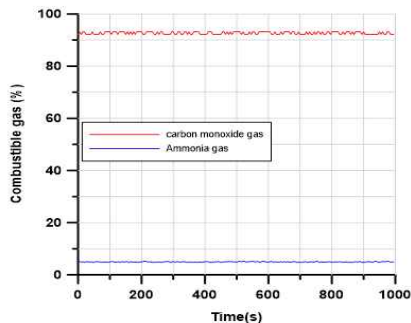


Fig. 26. Detect gas concentration according to time in E/R

V. 결론 및 고찰

본 연구는 선박 내에서 Wi-Fi 통신으로 스마트 안전모 및 환경 센서를 사용하여 현장 테스트를 진행하

였다. 이를 통해 선박 내 작업자를 위한 안전관리 시스템으로 스마트 안전모의 음성 및 영상, 위치 확인 기능을 통해 현장 정보 및 작업자의 상태를 모니터링할 수 있었고 환경 센서의 온도, 습도, 진동, 기울기, 음향, 가스 모듈 등을 구현하여 선박 환경을 측정해 안전성을 강화할 수 있었다. 하지만 선박은 철 구조물로 제작되고 음영 구역이 존재하여 신호 감쇠 및 통신 그리고 인터넷 사용의 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위한 방안으로 다수의 AP 설치 및 신호 증폭기를 활용할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 공공조달연계형 ‘2022년도 국민생활연구 실증·사업화’의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- [1] I. Im, D. Shin, J. Jeong Components for smart autonomous ship architecture based on intelligent information technology *Procedia computer science*, 134 (2018), pp. 91-98,
- [2] Israel Campero-Jurado, Sergio Marquez- Sanchez, Juan Quintanar-Gomez, Sara Rodriquez and Juan M. Corchado, “Smart Helmet 5.0 for Industrial Internet of Things using Artificial Intelligence,” *Sensors* 2020, no. 21: 6241, <https://doi.org/10.3390/s20216241>
- [3] Kim Ki-sun and Jeon Young-woo. “Study on Ship Owner’s Duty to Care for Safety and Improvement of Safety, Health and Accident Prevention System on Board” *Maritime Law Research* 30, no.2 (2018): 217-250. (in Korean)
- [4] T. Johansen, S. Blindheim, T.R. Torben, B. Utne, T.A. Johansen, A.J. Sørensen Development and testing of a risk-based control system for autonomous ships *Reliab Eng Syst Saf* (2023), Article 109195, 10.1016/j.res.2023.109195
- [5] Y. C. Ha, “A Study on the Development of Smart Helmet for Forest Fire Fighting Crews”, *The Korea institute of convergence signal processing*, vol. 22, No.2 : 57-63, 2021 (in Korean)

- [6] Smith, John, "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors Datasheet," Texas Instruments, 2019.
- [7] Smith, John, "DHT22 - AM2302 Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet," Aosong Electronics Co., Ltd., 2017.
- [8] Smith, John, "MLX90614 InfraRed Thermometer Datasheet," Melexis, 2015.
- [9] Smith, John, "801S, 801P, 801 Shock Sensor Datasheet," TME, 2021.
- [10] Smith, John, "Analog Sound Sensor Datasheet," DFRobot, 2022.
- [11] Smith, John, "MPU-9250 Nine-Axis (Gyro + Accelerometer + Compass) MEMS MotionTracking™ Device Datasheet," TDK InvenSense, 2014.
- [12] Smith, John, "MQ-9 Carbon Monoxide and Methane Gas Sensor Datasheet," Winsen Electronic Co., Ltd., 2020.
- [13] Smith, John, "MQ-135 Air Quality Gas Sensor Datasheet," Winsen Electronic Co., Ltd., 2020.

저자소개

김도형 (Do-Hyeong Kim)



2022년 2월~현재 : 부산대학교
조선해양공학과(석사과정)
관심 분야: IoT임베디드 시스템,
조선해양 ICT 제어 시스템

하연철 (Yeon-Chul Ha)



2000년 2월 : 창원대학교
전자공학과(공학석사)
2007년 8월 : 창원대학교
전자공학과(공학박사)
2012년 3월~현재 : 부산대학교
교수
관심 분야 : 수중드론, 조선해양
ICT융합, 전기추진선박