

연안 소형선박 사고대응 시스템 개발을 위한 센서 기반 사고대응 시나리오 프레임워크 설계

김현주¹, 이병훈², 김동현^{3*}

¹국립부경대학교 산업및데이터공학과 박사수료, ²(주)케이디에스 대표,

³국립부경대학교 융합공학부(기계조선에너지시스템공학전공) 교수

Design of a Sensor-Based Accident Response Scenario Framework for Developing an Accident Response System for Small Coastal Vessels

Hyun-Ju Kim¹, Byeon-hoon Lee², Dong-Hyun Kim^{3*}

¹Ph.D. Candidate, Department of Industrial and Data Engineering, Pukyong National University

²CEO, Korea Data Solution(KDS) Corporation

³Professor, Department of Smart Machine Mobility Engineering, Pukyong National University

요약 연안 소형선박은 제한된 안전설비와 승무원 수로 인해 사고 발생 시 초기 대응이 어려우며, 화재 및 침수 사고 발생 시 인명 및 재산 피해가 크게 확대될 수 있다. 본 연구에서는 최근 5년간(2021~2025) 국내 해양사고 통계자료와 사고사례를 분석하여 연안 소형선박의 주요 사고 특성을 분석하고, 이를 기반으로 센서 기반 사고대응 시스템 개발을 위한 사고대응 시나리오 프레임워크를 설계하였다. 분석 결과를 바탕으로 화재사고, 침수사고 및 복합사고를 주요 사고 유형으로 선정하였으며, 사고 대응 절차를 탐지(Detection), 판단(Judgment), 경고(Warning), 대응(Response)의 4단계로 구성하였다. 또한 화재감지센서, 침수감지센서 및 경사계 정보를 활용하여 사고 심각도를 Level 1~3으로 구분하고, 사고 유형별 대응 시나리오를 설계하였다. 특히 복합사고의 경우 화재 대응을 우선 수행하면서 침수 대응을 병행하는 통합 대응 절차를 적용하였다. 제안된 프레임워크는 연안 소형선박용 사고대응 시스템 개발을 위한 설계 기준으로 활용될 수 있으며, 향후 센서 기반 실시간 해양안전 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 연안 소형선박, 사고대응 시스템, 사고대응 시나리오, 화재사고, 침수사고, 해양안전

Abstract Coastal small vessels have limited safety equipment and crew resources, making rapid response difficult during maritime accidents. This study analyzed domestic maritime accident statistics and representative accident cases from 2021 to 2025 and designed a sensor-based accident response scenario framework for the development of accident response systems for coastal small vessels. Based on the analysis results, major accident types were classified into fire accidents, flooding accidents, and complex accidents. The proposed framework consists of four stages: Detection, Judgment, Warning, and Response. Accident severity was classified into three levels (Level 1-Level 3) using information from fire detection sensors, flooding sensors, and inclinometers, and accident-specific response scenarios were developed. For complex accidents, an integrated response procedure was established by prioritizing fire response while simultaneously performing flooding response actions. The proposed framework can be utilized as a design guideline for accident response systems for coastal small vessels and is expected to contribute to the development of sensor-based real-time maritime safety technologies.

Key Words : Coastal Small Vessel, Accident Response System, Accident Response Scenario, Fire Accident, Flooding Accident, Maritime Safety

본 연구는 「부산 연구산업진흥단지 육성사업(과학기술정보통신부, 부산광역시)」의 재원을 지원받아 수행하였음(2710092358)

*교신저자 : 김동현(dhkim8@pknu.ac.kr)

접수일 2026년 06월 09일 수정일 2026년 06월 19일 심사완료일 2026년 06월 22일

1. 서론

국내 해양사고는 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있으며, 특히 어선에서 발생하는 사고의 비중이 높은 것으로 나타나고 있다. 최근 10년간 국내 등록선박 중 어선은 전체의 86.5%를 차지하였으며, 해양사고 발생 척수 역시 전체 사고의 68.5%를 차지하는 것으로 나타났다[1].

특히 최근 2년 10톤 미만의 소형 어선이 전체 사고 선박 중 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 보고되었다[2-3]. 또한, 해양사고로 인한 인명피해 역시 증가하는 경향이 있어 소형어선의 안전성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다[4]. 특히 연안 소형선박은 제한된 승무원 수와 안전설비의 제약으로 인해 사고 발생 시 초기 대응이 어려우며, 화재 및 침수와 같은 중대사고 발생 시 피해가 급격히 확대될 수 있다.

연안 소형선박에서 발생하는 사고 중 화재와 침수는 사고 발생 시 인명피해와 선박 손실로 이어질 가능성이 높은 대표적인 중대사고 유형으로 분류된다[5]. 화재사고는 기관실, 배전반, 배터리 설비 및 연료계통을 중심으로 발생하며, 제한된 선내 공간과 가연성 물질의 존재로 인해 단시간 내에 전 선박으로 확산될 가능성이 높다[6]. 침수사고는 선체 파공, 배관 손상, 해수 유입, 복원성 저하 등에 의해 발생하며, 적절한 조치가 이루어지지 않을 경우 전복 및 침몰로 이어질 수 있다[7]. 특히 화재 발생 과정에서 선체 손상이나 소화 작업으로 인한 침수가 동반되거나, 침수 이후 전기설비 이상으로 화재가 발생하는 경우와 같이 복합사고 형태로 발전할 가능성도 존재한다[8]. 이러한 복합사고는 사고 전개 속도가 빠르고 대응 절차가 복잡하여 피해 규모를 더욱 증가시키는 요인으로 작용한다[9].

최근에는 사물인터넷(IoT) 기반 센서 기술, 무선통신 기술 및 원격관제 기술의 발전에 따라 선박 상태를 실시간으로 감시하고 사고를 조기에 탐지하기 위한 스마트 해양안전 기술이 활발히 연구되고 있다[10-11]. 온도센서, 연기센서, 수위센서, 가스센서 및 경사센서 등을 활용하여 선내 위험 상황을 실시간으로 감지하고, 사고 발생 시 자동 경보 및 원격 통보를 수행하는 시스템 개발이 추진되고 있다[12-13]. 그러나 대부분의 연구는 개별 센서 성능 평가 또는 특정 사고 유형의 탐지 기술에 집중되어 있으며, 실제 운용 환경에서 사고 진행 단계와 대응 절차를 종합적으로 고려한 사고대응 시나리오 기반 연구는 상대적으로 부족한 실정이다[13].

효율적인 사고대응 시스템을 구축하기 위해서는 단순한 사고 탐지를 넘어 사고 유형별 위험도 평가와 단계별 대응 절차가 체계적으로 정의되어야 한다. 특히 제한된 승무원과 장비 환경에서 운용되는 연안 소형선박의 특성을 고려할 때, 사고 발생 이후의 대응 프로세스를 표준화하고 자동화할 수 있는 사고대응 프레임워크의 구축이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 최근 5년간의 국내 해양사고 통계자료와 대표 사고사례를 분석하고, 이를 기반으로 연안 소형선박용 사고대응 시스템 개발을 위한 사고대응 시나리오 프레임워크를 설계하였다. 이를 위해 화재사고, 침수사고 및 복합사고를 주요 사고 유형으로 선정하고, 사고 발생부터 대응까지의 과정을 탐지(Detection), 판단(Judgment), 경고(Warning), 대응(Response)의 4단계로 구분하였다. 또한 센서 정보와 사고 진행 특성을 반영한 사고 심각도(Level 1~3)를 설정하고, 사고 유형별 대응 절차를 체계화하여 사고대응 시나리오를 구성하였다.

2. 연안 소형선박 사고 특성 분석

2.1 연안 소형선박 사고 현황

최근 5년(2021~2025)간 국내 해역에서 발생한 해양사고는 총 17,036척으로 조사되었으며, 이 중 어선사고는 10,966척으로 전체의 약 64.4%를 차지하였다(Table 1). 또한 전체 사망·실종자 614명 중 478명(77.9%)이 어선사고에서 발생한 것으로 나타나 어선 분야에서의 인명피해 비중이 높은 것으로 분석되었다.

<Table 1> Statistics of Marine Accidents and Fatalities in Korea (2021-2025)

Year	Marine Accidents (Cases)	Fishing Vessel Accidents (Cases)	Fatalities & Missing Persons (Total)	Fatalities & Missing Persons (Fishing Vessels)
2025	3,840	2,478	137	110
2024	3,559	2,352	164	118
2023	3,417	2,261	94	78
2022	3,167	1,904	99	83
2021	3,053	1,971	120	89
Total	17,036	10,966	614	478

<Table 2>는 최근 5년간 발생한 해양사고를 선박 톤 수별로 분류한 결과를 나타낸다. 전체 사고 17,036건 중

10톤 미만 선박에서 발생한 사고는 11,465건으로 전체의 67.3%를 차지하였으며, 2~5톤급 선박에서 가장 많은 사고가 발생한 것으로 나타났다. 이를 통해 국내 해양사고가 주로 소형선박을 중심으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

〈Table 2〉 Distribution of Marine Accidents by Vessel Tonnage (2021-2025)

Year	< 2 Tons	2-5 Tons	5-10 Tons	≥ 10 Tons
2025	676	973	954	1,237
2024	643	947	848	1,121
2023	687	854	814	1,062
2022	657	735	666	1,109
2021	632	666	713	1,042
Total	3,295	4,175	3,995	5,571

2.2 화재 및 침수 사고 특성

최근 5년간(2021~2025) 국내 해양사고 통계를 분석한 결과, 기관손상(4,673건), 부유물 감김(2,137건), 충돌(1,250건), 침수(1,202건) 순으로 사고가 발생한 것으로 나타났다(〈Table 3〉). 화재·폭발 사고는 총 707건으로 전체 사고의 약 4.6%를 차지하여 발생 빈도 측면에서는 상대적으로 낮은 비중을 보였다.

〈Table 3〉 Distribution of Marine Accident Types in Korea (2021-2025)

Accident Type	Total (cases)	Ratio (%)
Engine Damage	4,673	30.3
Entanglement with Floating Objects	2,137	13.8
Collision	1,250	8.1
Flooding	1,202	7.8
Shaft System Damage	956	6.2
Grounding	829	5.4
Fire & Explosion	707	4.6
Navigation Impediment	594	3.8
Steering Gear Failure	568	3.7
Capsizing	463	3.0
Marine Pollution	347	2.2
Contact	232	1.5
Sinking	232	1.5
Safety Accident	877	5.7
Others	376	2.4
Total	15,443	100.0

그러나 사고대응 시스템 관점에서 사고 유형을 평가할 경우 단순 발생 빈도보다 사고 발생 이후의 피해 규모와 대응 긴급성을 고려할 필요가 있다. 기관손상이나 부유

물 감김과 같은 사고는 선박 운항에 장애를 초래할 수 있으나, 대부분 즉각적인 인명피해나 선박 상실로 이어질 가능성은 상대적으로 낮다. 반면 화재 및 침수 사고는 사고 발생 이후 짧은 시간 내에 인명피해, 선박 전소, 전복 및 침몰로 이어질 수 있는 대표적인 중대사고 유형으로 분류된다[5-8].

화재사고는 기관실, 전기설비 및 연료계통을 중심으로 발생하며, 초기 진압에 실패할 경우 선체 전체로 확산될 가능성이 높다[6]. 또한 침수사고는 선체 손상, 방수설비 이상 및 복원성 저하에 의해 발생하며, 침수량 증가에 따라 선박의 안정성이 급격히 감소하여 침몰로 이어질 수 있다[7-8]. 특히 두 사고는 모두 사고 초기 단계에서의 신속한 탐지와 대응 여부가 피해 규모를 결정하는 주요 요인으로 알려져 있다[14].

또한 화재와 침수는 독립적으로 발생할 뿐만 아니라 화재로 인한 선체 손상, 소화 과정에서의 해수 유입, 침수 이후 전기설비 이상 등으로 인해 복합사고 형태로 발전할 가능성이 존재한다[8-9]. 또한 두 사고 유형은 센서 기반 조기 탐지와 자동 대응 장치 연계가 가능하여 사고 대응 시스템 적용성이 높은 사고 유형으로 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 사고 발생 시 위험도가 높고 센서 기반 조기 탐지 및 대응 절차 적용이 가능한 화재사고와 침수사고를 주요 사고 유형으로 선정하였다.

2.3 사고유형 분석

2.2절의 사고 특성 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서는 연안 소형선박용 사고대응 시스템의 시나리오 설계를 위해 사고 유형을 화재사고(Fire), 침수사고(Flooding) 및 복합사고(Complex Accident)의 세 가지 유형으로 구분하였다.

화재사고는 발생 위치와 원인에 따라 전기설비 화재(Electrical Fire), 기관실·연료계통 화재(Engine Room Fire) 및 거주구역 화재(Accommodation Fire)로 세분화하였다. 전기설비 화재는 배전반, 배터리 및 전기배선의 이상에 의해 발생하는 사고를 의미하며, 기관실·연료계통 화재는 기관 과열, 연료 누출 및 기계설비 이상으로 인해 발생하는 사고를 포함한다[6]. 또한 거주구역 화재는 선원 생활공간 및 취사설비 등에서 발생하는 화재로 정의하였다.

침수사고는 발생 원인에 따라 선체 손상에 의한 침수(Hull Damage Flooding), 방수계통 이상에 의한 침수(System Failure Flooding) 및 복원성 상실에 따른 전복(Capsizing)으로 구분하였다. 선체 손상 침수는 충돌,

접촉 또는 파공 등에 의해 발생하는 침수를 의미하며, 방수계통 이상 침수는 배관 및 펌프 설비의 고장에 의해 발생하는 침수를 포함한다. 또한 복원성 상실 전복은 침수 또는 적재 상태 변화로 인해 선박의 안정성이 저하되어 발생하는 사고로 정의하였다[7-8].

복합사고는 화재와 침수가 연계되어 발생하거나 충돌 이후 화재와 침수가 동시에 진행되는 경우와 같이 복수의 사고가 연속적으로 발생하는 형태로 정의하였다 [8-9]. 이러한 복합사고는 단일 사고에 비해 사고 진행 양상이 복잡하며 대응 절차 또한 상호 연계적으로 수행되어야 하는 특성을 가진다[9].

[Fig. 1]은 해양사고 사례 분석을 통해 도출한 연안 소형선박 사고유형 분류 체계를 나타낸다. 사고는 화재사고, 침수사고 및 복합사고로 구분하였으며, 각 사고 유형별 주요 원인과 사고 진행 특성을 반영하여 세부 유형을 구성하였다. 화재사고는 기관실 화재와 조타실 화재 사례를 분석하여 전기계통 결함, 연료 누출 및 기관 과열 등의 주요 원인을 도출하였으며, 침수사고는 선체 손상 침수와 복원성 상실 사례를 분석하여 충돌, 접촉, 파공 및 적재 불균형 등 주요 발생 형태를 분류하였다. 또한 화재 이후 침수가 발생하거나 침수 이후 화재가 발생한 복합사고 사례를 분석하여 복합사고 유형을 정의하였다. 이러한 사례 분석 결과를 바탕으로 사고 유형 분류 체계를 구축하였으며, 이를 사고대응 시나리오 프레임워크 설계를 위한 기본 구조로 활용하였다.

3. 사고대응 시나리오 프레임워크 설계

3.1 프레임워크 설계 개요

본 연구에서는 연안 소형선박에서 발생 가능한 화재사고, 침수사고 및 복합사고에 대한 신속하고 체계적인 대응을 지원하기 위하여 센서 기반 사고대응 시나리오 프레임워크를 설계하였다. 제안된 프레임워크는 사고 발생 시 탐지(Detection), 판단(Judgment), 경고(Warning), 대응(Response)의 4단계 절차에 따라 동작하며, MQTT 기반 메시지 프로토콜을 이용하여 육상제어센터와 실시간으로 정보를 교환하도록 구성하였다. 실제 선박-육상 간 데이터 전송은 LTE/5G 기반 이동통신망 또는 위성통신망과 연계하여 운용할 수 있도록 설계하였다.

기존 소형선박 안전관리 체계는 사고 발생 이후 승무원의 경험과 수동 대응에 의존하는 경우가 많으며, 사고 심각도 평가와 단계별 대응 절차가 명확히 정의되지 않은 한계가 있다. 반면 본 연구에서 제안한 프레임워크는 센서 기반 사고 탐지, 사고 심각도 평가 및 단계별 대응 절차를 통합적으로 적용함으로써 사고 초기 단계에서의 신속한 의사결정을 지원하도록 설계하였다.

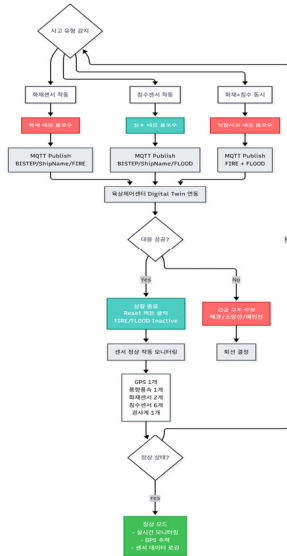
사고 탐지를 위해 화재감지센서, 침수감지센서 및 선체 경사계를 활용하였다. 화재감지센서는 조타실과 기관실에 설치되어 화재 발생 여부를 감지하며, 침수감지센서는 선체 내부 주요 구획에 설치되어 침수 발생 여부를 감지한다. 또한 경사계는 선체의 Roll 및 Pitch 변화를



[Fig. 1] Accident Analysis Framework Based on Marine Accident Cases

측정하여 복원성 저하와 전복 위험을 판단하는 데 활용된다. GPS와 풍향풍속계는 선박의 위치 및 주변 환경 정보를 제공하여 사고 발생 시 상황 판단과 육상제어센터 지원을 위한 보조 정보로 활용된다.

사고가 탐지되면 센서 데이터는 MQTT 프로토콜을 통해 육상제어센터로 전송되며, Digital Twin 기반 모니터링 시스템에서 선박 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 이후 사고 유형과 심각도를 판단하고, 단계별 대응 절차에 따라 선내 경보, 육상 통보 및 대응 장비 제어를 수행하도록 설계하였다. 사고 대응 결과에 따라 정상 상태로 복구하거나 구조 요청 및 퇴선 절차를 수행하도록 구성하였다. [Fig. 2]는 제안된 사고대응 시나리오 프레임워크의 전체 구조를 나타낸다.



[Fig. 2] Accident Response Scenario Framework for Coastal Small Vessels

3.2 사고 심각도 정의

사고 심각도는 사고 진행 상태와 대응 우선순위를 결정하기 위한 기준으로 활용되며, 위험도 기반 해양안전 평가 개념을 참고하여 Level 1부터 Level 3까지의 세 단계로 정의하였다[14-15]. 사고 심각도는 실제 선박 운용 환경에서 신속한 의사결정이 가능하도록 단순성과 운용성을 고려하여 3단계(Level 1~3) 체계로 구성하였다. 이는 초기 이상 징후(Level 1), 사고 진행 단계(Level 2), 긴급 대응 단계(Level 3)를 구분함으로써 사고 진행 상황에 따른 단계적 대응이 가능하도록 하기 위함이다.

화재사고의 경우 단일 화재감지센서가 활성화된 상태

를 Level 1로 정의하였으며, 센서 신호가 지속되거나 선원 확인이 이루어지지 않을 경우 Level 2로 판단하였다. 또한 다수의 화재감지센서가 동시에 활성화된 경우 화재 확산 단계로 판단하여 Level 3을 적용하였다.

침수사고의 경우 단일 침수감지센서가 활성화된 상태를 Level 1로 정의하였으며, 다수의 침수감지센서가 활성화되거나 선체 경사각이 증가하는 경우 Level 2로 판단하였다. 침수 구역이 확대되거나 경사각이 임계값을 초과하는 경우에는 Level 3으로 분류하여 최고 수준의 대응 절차를 수행하도록 설계하였다. <Table 4>는 사고 심각도 판단 기준을 나타낸다.

또한 사고 발생 시 대응 우선순위는 인명 안전 확보, 사고 확산 방지, 선박 보존 및 재산 보호의 순서로 설정하였다. 특히 복합사고 발생 시에는 인명 안전을 최우선으로 고려하며, 화재로 인한 유독가스 및 폭발 위험이 침수보다 즉각적인 인명 피해를 유발할 수 있으므로 화재 대응을 우선 수행하면서 침수 대응을 병행하도록 설계하였다.

<Table 4> Criteria for Accident Severity Levels

Severity Level	Criteria	Response
Level 1	Single sensor activation	Situation monitoring
Level 2	Continuous sensor activation or no crew response	Alarm and remote notification
Level 3	Multiple sensor activation or excessive heel angle	Automatic response and evacuation

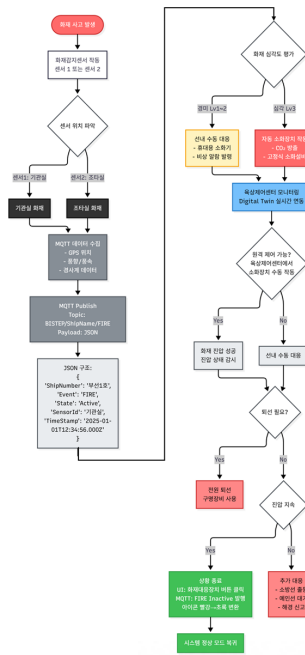
3.3 화재사고 대응 시나리오

화재사고 대응 시나리오는 화재감지센서의 Active 신호를 기반으로 화재 발생 여부와 위치를 판단하고, 사고 심각도에 따라 단계별 대응을 수행하도록 설계하였다. 본 연구에서는 조타실과 기관실에 설치된 2개의 화재감지센서를 기준으로 화재 위치를 구분하였으며, 센서 활성화 상태와 지속시간을 이용하여 사고 심각도를 평가하였다.

[Fig. 3]은 화재사고 대응 플로우차트를 나타낸다. 화재감지센서가 Active 상태로 전환되면 시스템은 우선 센서 위치 정보를 확인하여 화재 발생 구역을 식별한다. 이후 GPS 위치, 풍향·풍속 및 경사계 데이터를 함께 수집하고, MQTT 프로토콜을 통해 육상제어센터로 사고 정보를 전송한다. 전송 데이터는 선박명, 사고 유형, 센서 상태, 센서 식별번호 및 발생 시각 등을 포함하는 JSON 형식으로 구성하였다.

화재 심각도는 센서 활성 상태와 대응 가능 여부에 따라 Level 1부터 Level 3까지 구분하였다. Level 1~2에서는 선내 수동 대응을 기본으로 하며, 휴대용 소화기 사용과 비상 알람 발령을 통해 초기 진압을 수행한다. Level 3으로 판단되는 경우에는 화재 확산 또는 초기 진압 실패 상황으로 간주하고, 자동 소화장치를 작동시키며 고정식 소화설비를 이용한 대응을 수행한다. 이때 육상제어센터는 Digital Twin 기반 모니터링 시스템을 통해 선박 상태를 실시간으로 확인하고, 필요 시 원격 지원을 수행한다.

이후 시스템은 화재 진압 성공 여부를 판단한다. 진압이 성공한 경우에는 화재 상태를 지속적으로 감시하고, 센서 상태가 Inactive로 전환되면 UI에서 화재대응장치 버튼을 해제하고 MQTT 기반 통신을 통해 사고 종료 상태를 육상제어센터에 전송한다. 이후 선박은 정상 모드로 복귀하여 GPS 추적과 센서 데이터 로깅을 지속한다. 반면 진압이 실패하거나 선내 대응이 불가능한 경우에는 구조 요청을 수행하고, 퇴선 필요 여부를 판단하여 전원 퇴선 및 구명장비 사용 절차로 전환한다. 따라서 본 화재 사고 대응 시나리오는 화재 탐지, 위치 식별, 사고 정보 전송, 심각도 평가, 소화 대응, 진압 여부 판단 및 정상 복귀 또는 퇴선 절차로 이어지는 단계적 대응 구조로 구성된다.



[Fig. 3] Fire Accident Response Flowchart

3.4 침수사고 대응 시나리오

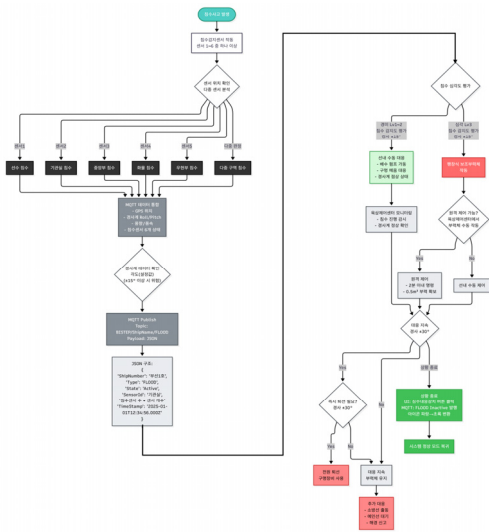
침수사고 대응 시나리오는 침수감지센서와 경사계 데이터를 기반으로 침수 발생 위치와 침수 진행 상태를 판단하고, 사고 심각도에 따라 단계별 대응을 수행하도록 설계하였다.

[Fig. 4]는 침수사고 대응 플로우차트를 나타낸다. 침수감지센서가 Active 상태로 전환되면 시스템은 해당 센서가 설치된 구역을 식별하여 침수 발생 위치를 판단한다. 이후 GPS 위치정보, 선체 Roll/Pitch 데이터, 풍향·풍속 정보를 수집하고 MQTT 프로토콜을 통해 육상제어센터로 사고 정보를 전송한다. 전송 데이터는 선박명, 사고 유형, 센서 상태, 센서 식별번호 및 발생 시각 등을 포함하는 JSON 형식으로 구성하였다.

침수 심각도는 침수센서 활성 개수와 선체 경사 상태를 기준으로 평가하였다. 단일 침수센서가 활성화된 상태는 Level 1로 정의하였으며, 2개 이상의 침수센서가 활성화되거나 선체 경사각이 $\pm 10^\circ$ 를 초과하는 경우에는 Level 2로 판단하였다. 또한 3개 이상의 침수센서가 활성화되거나 선체 경사각이 $\pm 15^\circ$ 를 초과하는 경우에는 전복 위험 상태로 간주하여 Level 3을 적용하고, 팽창식 보조부력체를 자동 작동시키며 퇴선 준비 절차를 수행하도록 설계하였다. 침수사고의 심각도 판단에 적용한 경사각 기준은 선박의 복원성 저하와 전복 위험을 고려하여 설정하였다. 일반적으로 선박의 횡경사각이 15° 를 초과할 경우 복원력이 감소하기 시작하며, 30° 이상에서는 승무원의 이동 및 비상 대피가 현저히 제한되는 것으로 알려져 있다. 또한 「선박구획기준(국토해양부고시 제 2012-470호)」에서는 동력형 미달이 수밀문이 선박이 어느 현으로든 15° 경사된 상태에서도 정상적으로 폐쇄될 수 있어야 함을 규정하고 있다. 이에 본 연구에서는 $\pm 10^\circ$ 를 복원성 저하 징후를 나타내는 경고 단계(Level 2), $\pm 15^\circ$ 를 전복 위험이 증가하는 위험 단계(Level 3)의 판단 기준으로 설정하였다.

이후 시스템은 침수 대응 결과를 지속적으로 모니터링한다. 침수 상황이 안정화되고 센서 상태가 Inactive로 전환되면 MQTT를 통해 FLOOD Inactive 메시지를 전송하고 시스템을 정상 모드로 복귀시킨다. 반면 침수 확산이 지속되거나 선체 경사가 증가하는 경우에는 구조 요청 및 퇴선 절차를 수행하도록 구성하였다.

따라서 침수사고 대응 시나리오는 침수 탐지, 침수 위치 식별, 사고 정보 전송, 심각도 평가, 배수 및 부력 확보, 퇴선 여부 판단으로 이어지는 단계적 대응 구조로 구성된다.



[Fig. 4] Flooding Accident Response Flowchart

3.5 복합사고 대응 시나리오

복합사고 대응 시나리오는 화재와 침수가 동시에 발생하거나 연속적으로 발생하는 상황을 대상으로 설계하였다. 복합사고는 단일 사고에 비해 사고 진행 속도가 빠르고 대응 절차가 상호 연계되어야 하므로 인명 안전 확보를 최우선 원칙으로 적용하였다.

[Fig. 5]는 복합사고 대응 플로우차트를 나타낸다. 시스템은 화재감지센서와 침수감지센서가 동시에 활성화되거나 일정 시간 내 연속적으로 발생하는 경우 복합사고로 판단한다. 사고 발생 시 화재 정보와 침수 정보를 각각 MQTT 메시지로 전송하고, 육상제어센터의 Digital Twin 시스템과 연계하여 통합 모니터링을 수행한다.

복합사고 대응은 화재 대응을 우선 수행하면서 침수 대응을 병행하도록 설계하였다. 화재 심각도가 높은 경우에는 자동 소화장치를 우선 작동시키고, 동시에 배수 펌프를 가동하여 침수 확산을 방지한다. 또한 선체 경사각과 침수 진행 상태를 지속적으로 감시하여 전복 위험 여부를 판단하도록 구성하였다. 이는 화재가 유독가스 발생, 폭발 및 급격한 화재 확산으로 인해 단시간 내 인명피해를 초래할 수 있기 때문이며, 침수 대응은 배수 펌프와 부력 확보 장치를 활용하여 병행 수행할 수 있기 때문이다.

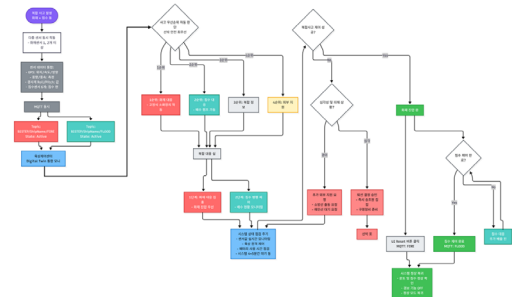
복합사고의 경우 화재와 침수 중 높은 위험도를 가지는 심각도 수준을 우선 적용하도록 설계하였다. 또한 화재와 침수가 동시에 발생한 경우에는 화재 대응을 우선 수행하고 침수 대응을 병행하도록 구성하였다. 다만 선

체 경사각이 $\pm 15^\circ$ 를 초과하거나 화재 진압 실패와 침수 확산이 동시에 발생하는 경우에는 퇴선을 최우선 대응 절차로 수행하도록 정의하였다.

사고가 악화되어 다수의 센서가 활성화되거나 선체 경사각이 임계치를 초과하는 경우에는 최고 위험 단계로 판단한다. 이 경우 육상제어센터는 원격 지원과 구조 요청을 수행하며, 선박에서는 구명설비 준비 및 퇴선 절차를 진행하도록 설계하였다.

복합사고 대응 결과 화재 진압 및 침수 제어가 모두 완료되면 시스템은 사고 종료 상태로 전환하고 MQTT를 통해 사고 종료 메시지를 전송한다. 이후 시스템은 정상 모드로 복귀하여 실시간 센서 모니터링과 데이터 로깅을 수행한다. 반면 사고가 지속되거나 선박 안전성이 확보되지 못한 경우에는 구조 요청을 유지하고 퇴선 절차를 완료하도록 구성하였다.

따라서 복합사고 대응 시나리오는 화재 대응과 침수 대응을 통합적으로 수행하면서 선체 안정성과 인명 안전을 동시에 확보할 수 있도록 설계되었다.



[Fig. 5] Complex Accident Response Flowchart

4. 결론

본 연구에서는 연안 소형선박에서 발생하는 해양사고의 특성을 분석하고, 이를 기반으로 센서 기반 사고대응 시스템 개발을 위한 사고대응 시나리오 프레임워크를 설계하였다. 최근 5년간의 국내 해양사고 통계자료를 분석한 결과, 전체 해양사고의 상당수가 어선에서 발생하고 있으며, 특히 10톤 미만의 소형선박에서 높은 사고 발생 비율을 보이는 것으로 나타났다. 또한 사고 유형별 분석 결과, 기관손상과 부유물 감김 사고의 발생 빈도가 높게 나타났으나, 화재 및 침수 사고는 발생 시 인명피해와 선박 손실로 이어질 가능성이 높은 대표적인 중대사고 유형으로 분석되었다. 이에 따라 본 연구에서는 사고대응

시스템 적용 대상으로 화재사고, 침수사고 및 복합사고를 선정하였다. 사고사례 및 사고 특성 분석을 바탕으로 사고 유형을 화재사고(Fire), 침수사고(Flooding) 및 복합사고(Complex Accident)로 구분하고, 사고 진행 특성을 반영한 사고대응 시나리오 프레임워크를 설계하였다.

제안한 프레임워크는 사고 발생 시 탐지(Detection), 판단(Judgment), 경고(Warning), 대응(Response)의 4단계 구조를 기반으로 하며, 센서 정보와 사고 진행 상태를 반영한 심각도(Level 1~3) 평가 체계를 적용하였다. 또한 화재, 침수 및 복합사고에 대한 단계별 대응 절차를 정의함으로써 사고 발생 시 신속하고 일관된 의사결정을 지원할 수 있도록 설계하였다. 아울러 화재사고, 침수사고 및 복합사고에 대한 대응 시나리오를 각각 설계하고, MQTT 기반 통신과 육상제어센터 연계를 통해 사고 발생 시 실시간 정보 공유 및 원격 지원이 가능하도록 프레임워크를 구성하였다. 특히 복합사고의 경우 화재 대응을 우선 수행하면서 침수 대응을 병행하는 우선순위 기반 대응 절차를 적용하여 사고 확산을 최소화할 수 있도록 하였다.

본 연구의 의의는 사고 발생 이후 승무원의 경험과 판단에 의존하던 기존 대응 방식에서 벗어나, 센서 기반 정보와 표준화된 대응 절차를 활용한 체계적인 사고대응 프레임워크를 제시하였다는 점에 있다. 특히 화재와 침수뿐만 아니라 복합사고 상황까지 고려하여 대응 우선순위와 심각도 판단 기준을 제안함으로써 실제 운용 환경에 적용 가능한 사고대응 구조를 제시하였다.

제안된 프레임워크는 향후 연안 소형선박용 사고대응 소프트웨어 및 원격관제 시스템 개발을 위한 설계 기준으로 활용될 수 있으며, Digital Twin 기반 선박 모니터링 시스템과 연계하여 실시간 사고대응 체계 구축에 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 선박 안전관리 및 스마트 해양안전 서비스 분야의 기초 모델로 활용 가능할 것으로 판단된다.

다만 본 연구는 실증 선박에 실제 적용된 센서 구성을 기반으로 사고대응 시나리오를 설계하였으며, 화재감지 센서를 조타실과 기관실에 설치한 조건을 기준으로 사고 판단 로직을 구성하였다. 따라서 선박의 구조적 특성에 따라 기타 구역에서 발생하는 화재에 대한 감지 범위는 한계가 있을 수 있다. 또한 본 연구는 사고대응 시나리오 프레임워크 설계에 중점을 두었으며, 센서의 최적 배치 및 탐지 성능 평가는 연구 범위에 포함하지 않았다.

향후 연구에서는 실제 연안 소형선박을 대상으로 한 실증시험을 수행하여 제안된 시나리오의 적용성과 신뢰

성을 검증하고, 선박 구조 및 운용 환경을 고려한 센서 최적 배치 방안과 사고 탐지 범위 확대 방안을 검토할 예정이다. 또한 센서 데이터 기반 위험도 예측 및 인공지능 기반 사고판단 기능을 추가하여 지능형 사고대응 시스템으로 확장할 계획이다.

REFERENCES

- [1] S.H. Kim, H.S. Kim and Y.W. Lee, "The causes and counterplan for marine casualties of fishing boats according to the fishing types," *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol.56, No.3, pp.246-257, 2020.
- [2] 해양수산부 중앙해양안전심판원, 2024년 해양사고 통계, 2024. Online Source.
- [3] 해양수산부 중앙해양안전심판원, 2025년 해양사고 통계, 2025. Online Source.
- [4] 한국해양교통안전공단 해양교통안전정보시스템, 해양사고 현황, 2017~2025. Online Source.
- [5] International Maritime Organization (IMO), "Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process," MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2, 2018. Online Source.
- [6] J.S. Yu and H. Jang, "A Study on the Analysis of Fire Environmental Condition in Small Fishing Boats," *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol.32, No.1, pp.74-79, 2020.
- [7] J.S. Lee, H.S. Jung, J.H. Oh and S.G. Lee, "A Study on Flooding-Sinking Simulation for Cause Analysis of No. 501 Oryong Sinking Accident," *Journal of Navigation and Port Research*, Vol.41, No.6, pp.451-466, 2017.
- [8] C. Li, H. Zhang, Y. Zhang and J. Kang, "Fire Risk Assessment of a Ship's Power System under the Conditions of an Engine Room Fire," *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.10, No.11, 1658, 2022.
- [9] C.A. Jin, D. Thunberg and M. K. A. Khan, "The Determinants of Fishing Vessel Accident Severity," *Accident Analysis & Prevention*, Vol.66, pp.1-7, 2014.
- [10] K. Hiekata, S. Wanaka, T. Mitsuyuki, R. Ueno, R. Wada and B. Moser, "Systems Analysis for Deployment of Internet of Things (IoT) in the Maritime Industry," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.26, No.2, pp.459-469, 2021.
- [11] J. Gu, M. Park, S. Lee, H. Kang and B. Kim, "Evaluation of a Multi-Hop Wireless Internet-of-Things Network on Large Ships," *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.11, No.12, 2243, 2023.
- [12] D.Y. Kim, G.Y. Kim, G.K. Park and J.S. Jeong, "A Study on the Implementation of Intelligent Navigational

Risk Assessment System for High-risk Vessel using IoT Sensor Gateway,” Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol.26, No.3, pp.239-245, 2016.

- [13] D. Lee, S. Kim, K. Lee, S.C. Shin, J. Choi, B.J. Park and H.J. Kang, “Performance-based On-board Damage Control System for Ships,” Ocean Engineering, Vol.223, 108636, 2021.
- [14] J. Cichowicz, N. Tsakalakis, D. Vassalos and A. Jasionowski, “Damage Survivability of Passenger Ships—Re-Engineering the Safety Factor,” Safety, Vol.2, No.1, 4, 2016.
- [15] A.P. Teixeira and C. Guedes Soares, “Risk-based approach to maritime safety improvement,” Reliability Engineering & System Safety, Vol.92, No.6, pp.706-715, 2007.

김 동 현(Dong-Hyun Kim)

[정회원]



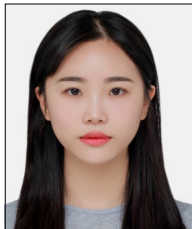
- 2010년 2월 : 부경대학교 조선해양공학(공학사)
- 2019년 2월 : 국립부경대학교 조선해양공학(공학박사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 미래융합대학 스마트기계모빌리티전공 조교수

<관심분야>

해운 데이터 분석, 리스크 평가, 인공지능

김 현 주(Hyun-Ju Kim)

[정회원]



- 2017년 1월 : 한국해양대학교 기관공학(공학사)
- 2023년 8월 : 부경대학교 산업및데이터공학과(공학석사)
- 2025년 8월 : 국립부경대학교 산업및데이터공학과(박사수료)

<관심분야>

선박 빅데이터, 인공지능, 머신러닝, 딥러닝

이 병 훈(Byeon-hoon Lee)

[정회원]



- 2023년 2월 : 국가평생교육진흥원 컴퓨터공학(공학사)
- 2025년 8월 : 국립부경대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2023년 1월 ~ 현재 : 주식회사 케이디에스 대표이사

<관심분야>

스마트 선박, No-Code, 클라우드, 데이터 플랫폼