

자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템의 데이터 신뢰성 정량적 분석

이상봉, 손의남, 이충현, 한명관*

(주)랩오투원, 한국조선해양기자재연구원, 한국조선해양기자재연구원, *한국조선해양기자재연구원
sblee@lab021.co.kr, unson@komeri.re.kr, lch9856@komeri.re.kr, *mghan@komeri.re.kr

Quantitative Analysis of Data Reliability in Autonomous Ship Energy Control Systems

Lee Sang Bong, Son Ui Nam, Lee Chung Hyun, Han Myeong Gwan*

LAB021 Co.,Ltd, Korea Marine Equipment Research Institute, Korea Marine Equipment Research Institute, *Korea Marine Equipment Research Institute

요약

자율운항선박의 효율성과 안전 확보를 위해, 실시간 센서 기반 통합 관제 시스템의 데이터 신뢰성은 핵심 요소이다. 해상 통신은 지연과 단절, 오류 가능성이 높기 때문에 데이터 무결성 확보가 중요하다. 본 연구는 자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템에 탑재된 데이터 수집 장치(VESSELINK)를 실선 운항 조건에서 시험하고, 데이터 신뢰성을 정량적으로 평가하였다. 2척의 선박에서 31일간 7천만 건 이상 데이터를 수집해 분석한 결과, 데이터 누락률과 오류율 모두 0 %로 확인되었다. 이는 다양한 통신 환경에서도 본 시스템이 안정적으로 작동함을 입증하며, 향후 IMO DCS 대응 및 실시간 안전 운항 판단 근거 기술로 활용 가능성을 시사한다.

I. 서론

국제해사기구(IMO)와 유럽연합(EU)의 선박 데이터 수집·보고 체계는 점차 강화되고 있으며, 특히 2025년 이후에는 CII (탄소집약도 지표) 등 에너지 효율 정보를 실시간으로 수집·보고하는 체계가 요구될 전망이다. 이러한 흐름 속에서 자율운항선박은 운항 자동화와 안전성 제고를 위해 고신뢰 실시간 데이터 수집이 필수적이다. 그림 1은 이러한 국제 규제의 변화 흐름을 시계열로 보여준다.



[그림 1] IMO DCS 및 EU MRV 규제 Timeline

이러한 배경에서, 자율운항선박은 항해, 기관, 화물, 에너지 등 다양한 장비의 상태 정보를 실시간으로 수집하고 분석하여 운항을 자동화함으로써 해양 안전성과 운항 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있는 차세대 해양 기술로 주목받고 있다. 특히, 자율운항선박의 핵심 기술 중 하나인 통합 관제 시스템은 다양한 센서 기반의 데이터를 실시간으로 수집·분석하고 이를 조기에 감지하는 역할을 수행해야 하며, 이를 위해서는 통신 지연, 패킷 손실 등 해상 환경의 제약 속에서도 안정적으로 데이터를 수집하고 처리할 수 있는 구조가 요구된다.

한국에서는 이러한 요구를 충족시키기 위해 자율운항선박용 에너지 통

합 관제 시스템을 개발하여 중형급 실증 선박에 탑재하고, 실해역 기반의 신뢰성 확보 시험을 추진하고 있다. 이 시스템은 운항 제어와 병행하여 센서 데이터의 실시간 수집, 전송, 저장, 분석, 복원 기능을 통합 제공하며, IMO DCS(선박연료 사용정보 의무 보고 체계) 및 EU MRV(선박 이산화탄소 배출량의 감시, 보고, 검증 체계) 등 국제 규제 대응을 위한 기술 검증 체계 구축의 기반이 된다.

자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템은 선박 내부의 전기 설비, 배터리, 발전기, 추진기 등 주요 장비의 상태를 실시간으로 수집·분석하여 육상 관제 서버와 연동되는 구조로 설계되었으며, 수천 개 센서로부터 수집된 데이터는 보고, 경보, 제어, 예지보전 등 다양한 기능으로 활용된다. 따라서 수집 데이터의 누락이나 오류는 시스템의 오작동 및 제어 실패로 이어질 수 있어, 정량적인 신뢰성 평가가 반드시 선행되어야 한다.

이에 본 연구는 실해역 운항 환경에서 자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템의 데이터 신뢰성을 정량적으로 분석하고, 시스템의 통신 복원성과 무결성 수준을 검증함으로써 향후 국제 기준 대응 및 상용화를 위한 평가 체계 수립에 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 본론

시스템 구성 및 데이터 흐름

자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템은 선박 내 다양한 장비의 상태를 실시간으로 수집하고 분석하는 데이터 기반 통합 제어 플랫폼이다. 본 시스템은 랩오투원에서 개발한 데이터 수집 장치(VESSELINK)를 기반으로, 선박 내 271개 항목의 센서 데이터를 10초 주기로 수집하며 한국조선해양기자재연구원에서 운영하는 육상 서버와 연동된다.

실증시험 설계 및 데이터 수집

본 시험은 2024년 10월 1일부터 31일까지 총 31일간 2척의 선박에 탑재

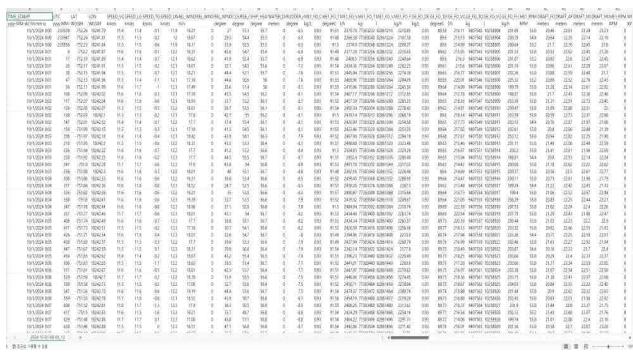
된 자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템을 통해 수행되었으며, 이 기간 동안 4,644개의 데이터 파일이 육상 서버로 실시간 전송되었다. 표 1은 수집된 항해·기관 센서 및 기상 데이터의 구성과 수집 주기를, 표 2는 실증시험 대상 선박 및 데이터 규모를 정리한 것이다. 각 파일은 271개 항목에 대해 10분 간격으로 데이터를 수집하였으며, 1일 기준 총 144개의 파일로 구성된다. 전체 수집 건수는 약 72,584,640건으로, 이는 표 2에 제시된 바와 같이 2척의 선박에서 271개 항목을 10초 주기로 수집하고, 10분 단위로 구성된 총 4,644개 파일을 기준으로 산정된 값이다.

[표 1] 선박 데이터 수집 항목 및 수집 주기

종류	설명	주기
해상 기상 데이터	미국해양대기청(NOAA)의 해상 기상데이터를 제공하여 제공	3시간
선박 항해/기관 센서데이터	선박에 설치된 센서에서 수집되는 항해/기관데이터	10초
선박 항해/기관 센서데이터 + 해상기상데이터	선박에서 수집된 항해/기관 센서데이터에 기상데이터를 매칭하여 정리한 데이터	10분

[표 2] 실증시험 대상 선박 리스트 및 데이터 규모

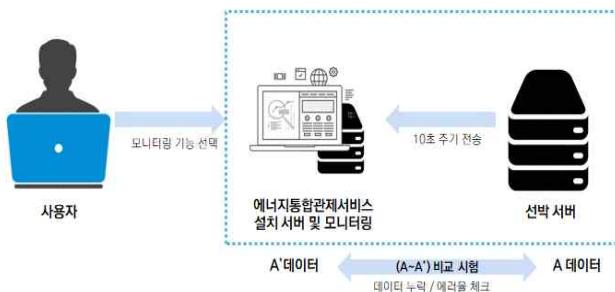
종류	테스트 데이터 일자	취득 데이터개수	비고
SAO EBBA	2024년 10월 01일 ~ 2024년 10월 31일 (한달)	271개 (항해 :14개 기관 :157개)	271 (취득 데이터 항목) X 60 (10분단위의 수집되는 데이터수) X 4644 파일 (31일치 데이터파일 - 10분 단위) = 72,584,640 개
SOLAR ICON	2024년 10월 01일 ~ 2024년 10월 31일 (한달)	271개 (항해 :14개 기관 :157개)	*10초 주기로 데이터 수집



[그림 2] 2024년 10월 한 달간 수집된 일부 RAW DATA

그림 2는 2024년 10월 한 달간 수집된 항해 및 기관 데이터의 RAW DATA를 보여준다. 총 271개 항목이 10초 간격으로 수집되어 파일 단위로 구성되며, 이후 10분 단위로 정리되어 저장된다. 해당 데이터는 신뢰성 분석의 기준값(A)과 비교 대상(A')으로 활용된다.

시험 환경 및 전송 절차



[그림 3] 시험 환경 및 데이터 흐름 구성도

그림 3은 시험 환경 내 데이터 흐름을 도식화한 것으로, 선박 내 센서로부터 수집된 데이터(A)가 10초 주기로 육상 서버로 전송되며, 전송된 값(A')과 비교되어 데이터 누락 및 오류 여부가 정량적으로 평가된다. 전송된 데이터는 실시간 저장·백업 기능을 통해 안정적으로 관리되며, 사용자는 에너지 통합 관제 서버를 통해 실시간 모니터링이 가능하다.

정량 분석 지표 및 평가 기준

시스템의 데이터 신뢰성 평가는 다음의 세 가지 정량적 지표를 기준으로 수행되었다.

첫째, 데이터 누락률(Missing Rate)은 총 수집 시도 횟수 대비 정상 수신된 데이터 건수의 비율로 산정하며, 누락률이 0 %일 경우 완전한 데이터 신뢰성을 의미한다.

둘째, 센서값 전송 오류율(Sensor Transmission Error Rate)은 선박에서 수집된 데이터(A)와 전송된 값(A')간의 평균 절대편차(Mean Absolute Error, MAE)를 활용하여 계산하며, 주요 항목별 허용 기준은 $\pm 3\%$ 이내로 설정하였다. 본 분석에서는 위치(LAT), 선속(SPEED_VG), 상대풍속(REF_WIND_SPEED) 항목을 대표 지표로 사용하였다.

셋째, 통신 복원률(Recovery Rate)은 통신 단절 구간 발생 시 저장된 데이터를 자동으로 백업·재전송하는 기능의 정상 작동 여부를 기준으로 판단하며, 장애 구간 내 복구율을 기반으로 시스템의 복원성을 정량 평가하였다.

시험 결과 및 분석

시험 결과, 전체 데이터 수집 건수 대비 누락률은 0 %로 나타났으며, 주요 항해/기관 센서에 대한 전송값 오차율은 $\pm 0.1\%$ 이하로 기준치 내에 위치하였다. 또한 통신 단절을 모사한 시험 환경에서도 백업 및 재전송 기능이 정상적으로 수행되어 데이터 손실이 발생하지 않았다.

III. 결론

본 연구는 자율운항선박용 에너지 통합 관제 시스템의 데이터 신뢰성을 실환경에서 정량적으로 분석하고, 검증된 지표를 기반으로 기술적 신뢰성을 확보했다. 누락률과 오류율 모두 0 %로 나타나 시스템의 통신 복원력 및 데이터 무결성이 입증되었다.

본 시스템은 IMO DCS 및 EU MRV 대응을 위한 핵심 기반 기술로 활용될 수 있으며, 향후 CBM, 사이버보안, 탄소세 대응 운항 전략과도 연계 가능한 확장성을 갖춘다. 특히, 실시간 수집, 백업, 기준 비교를 통합한 단일 플랫폼은 현장 적용 및 유지관리 측면에서 높은 실용성을 가진다.

자율운항 기술 상용화를 위한 데이터 신뢰성 평가 기준으로서의 가능성은 실증한 본 연구는, 향후 반복성과 객관성을 갖춘 평가체계 수립의 기초 자료로 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가원에서 수행하는 조선해양 산업기술개발사업 (자율운항선박)의 연구비 지원으로 수행되었음. (연구개발과제번호 : 20016140)

참 고 문 헌

- [1] KS X ISO/IEC 25023:2016, 소프트웨어 및 시스템 엔지니어링 - 소프트웨어 제품 품질 요구사항 및 평가(SQuaRE) - 품질 측정
- [2] Suwook Kim, "Design the generation process of software quantitative evaluation index using ISO/IEC 25023," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 23, no. 5, pp. 508 - 515, 2019.
- [3] 자율운항선박 에너지 통합 관제시스템 개발 사업계획서