

AI 기반 리퍼 컨테이너 환경 제어 및 유지 보수 시스템

김조은¹, 공진회², 김서영², 강민제², 김인수³

¹한국공학대학교 임베디드 시스템, ²한국공학대학교 전자공학과, ³ECS텔레콤
2023148005@tukorea.ac.kr, jjyy9291@naver.com, tjdd0377@naver.com,
kmjmk0730@gmail.com, diun81@daum.net

AI-based Refrigerated Container Environment Control and Maintenance System

Jo-Eun Kim¹, JIN-HUI Gong², Seo-Young Kim², Min-Je Kang², In-Soo Kim³

¹Dept. of Embedded Systems, Tech University of Korea

²Dept. of Electronic Engineering, Tech University of Korea, ³ECS Telecom

요 약

본 논문은 냉동·냉장 화물 운송에서 핵심적인 리퍼컨테이너의 안정성과 효율성을 높이기 위하여, AI 기반 환경 제어 및 예지 정비 기능을 갖춘 스마트 컨테이너 시스템을 제안한다. 본 시스템은 온도, 가스, 진동, 수위, GPS 등의 센서 데이터를 수집하고, Random Forest 및 MLP 기반 회귀 모델을 통해 적재 품목별 최적 환경을 자동 산출한다. 또한, ESP32-CAM 기반 영상 모니터링, 자동 배수, 예지 정비, GPS 기반 항만 안내 기능을 통합 제공한다. 제안된 시스템은 기존 단순 모니터링 방식과 달리 AI - 센서 - 제어 - 통신을 융합하여, 화물 손상 예방 및 콜드체인 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대된다.

1. 서론

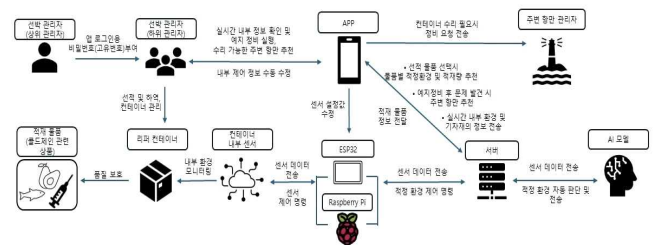
냉동·냉장 컨테이너(이하 ‘리퍼 컨테이너’)는 신선식품과 의약품 등 온도 민감성 화물 운송에 필수적이지만, 냉동기 고장, 전원 공급 누락, 센서 오류, 사용자 설정 착오 등으로 인한 품질 손상 사고가 빈번하게 발생한다. 최근 보고에 따르면 손상 클레임의 주요 원인은 온도 변동과 모니터링 실패이며, 이는 장비 결함뿐 아니라 운영상 과실에도 기인한다[1][2]. 글로벌 콜드체인 수요가 증가함에도 컨테이너 적정 환경 유지 실패로 인한 품질 저하와 손실은 여전히 큰 문제이다. 특히 냉매 누출, 과적, 센서 오작동은 경제적 손실을 넘어 식품 안전과 물류 신뢰성 저하로 이어질 수 있다[3]. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 AI 기반 환경 제어, 적재 품목별 적정 환경 설정, 예지 정비 기능 등을 통합한 스마트 리퍼 컨테이너 관리 시스템을 제안한다.

2. 본론

2.1 시스템 구성도

(그림1)은 본 시스템의 전반적인 구성을 도식화한 구성도이다. ‘사용자’는 모바일 애플리케이션을 통해 컨테이너 등록, 내부 환경 제어, 예지 정비를 수행할 수 있다. 모든 요청은 AWS 기반 서버와 MQTT 프로토콜을 통해 처리되며, ESP32와 라즈베리파이를 중심으로 S/W와 H/W 간 통신이 가능하다. ESP32는 온도, 공기질, 진동, 수위 센서로부터 데이터를 수집하고, 서보모터·에어 펌프·에어캡과 같은 액추에이터를 제어한다. 라즈베리파이는 냉동기와 환풍기를 제어하며, 서버와의 게이트웨이 역할을 수행한다. 서버에 저장된 데이터는 DB와 연동되어 AI 모델에 입력되고, AI는 적재

품목에 맞는 최적 환경을 산출하여 다시 제어 보드에 전달한다. 마지막으로 ESP32-CAM을 통해 컨테이너 내부 상황을 실시간으로 확인할 수 있으며, 관리자는 애플리케이션 대시보드를 통해 환경 설정, 고장 알림, 수리를 위한 요청 전송까지 통합적으로 관리할 수 있다.



(그림 1) 시스템 구성도

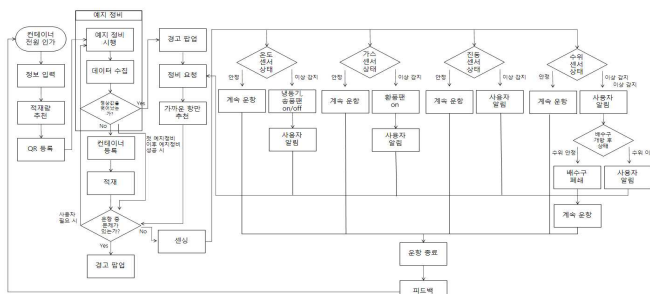
2.2 서비스 동작 및 알고리즘

(그림 2)는 본 시스템의 전체 동작 알고리즘을 나타낸 것이다. 시스템의 동작은 컨테이너 등록, 예지 정비, 이상 감지 및 대응, 정비 후 재사용의 순환 구조로 이루어진다. 첫째, 관리자는 컨테이너에 전원을 인가하고 앱을 실행하여 QR 코드를 통해 컨테이너 등록 절차를 수행한다. 이 과정에서 운송 관련 정보가 서버와 데이터베이스에 저장되며, 이후 시스템은 자동으로 예지 정비를 시작한다. 둘째, 예지 정비 단계에서 수집된 센서 데이터는 서버에 전달되어 AI 모델을 통해 정상 여부가 판별된다. 정상 상태로 확인되면 컨테이너는 즉시 운용에 투입된다. 반대로 임계치 초과, 급격한 변화, 센서 응답 불능 등의 이상이 발생하면 관리자에게 알림이 전송되고, 운항 중에도 동일한 판정 절차가 반복된다. 운항 중 감지된 이상 유형에 따라 AI 모델이

냉동기, 환풍기, 배수구 등 주요 장비를 자동 제어하여 응급 대응을 수행한다.

셋째, 문제가 발생한 경우 AI 모델이 입력된 센서 데이터를 분석하여 고장의 원인과 심각도를 판별한다. 단순한 이상으로 판단되면 사용자는 제공되는 설비 도구를 활용하여 현장에서 즉시 조치후 예지 정비 버튼을 통해 이를 확인할 수 있으며, 복잡하거나 심각한 문제로 판정되면 GPS 정보를 기반으로 인근 항만을 자동으로 탐색한다. 앱 화면에는 수리가 필요한 부품의 정비가 가능한 항만의 위치, 예상 소요 거리 및 이동 시간을 안내하며, 관리자는 이를 선택해 정비 요청을 전송할 수 있다. 요청이 수락되면 컨테이너는 해당 항만에서 정비를 수행한 후 다시 운용 가능 상태로 전환된다.

마지막으로, 정비가 완료되면 컨테이너는 정상 상태로 복귀하여 재사용이 가능해지며, 전체 알고리즘은 다시 초기 단계로 되돌아간다. 본 절차는 단순 모니터링을 넘어, 데이터 수집-AI 기반 자동 진단-실시간 알림-정비 지원 및 복구-재사용 보장의 반복 구조를 통해 화물 손상 예방과 운송 효율성을 동시에 달성한다.



(그림 2) 시스템 동작 알고리즘

2.3 모바일 흐름도

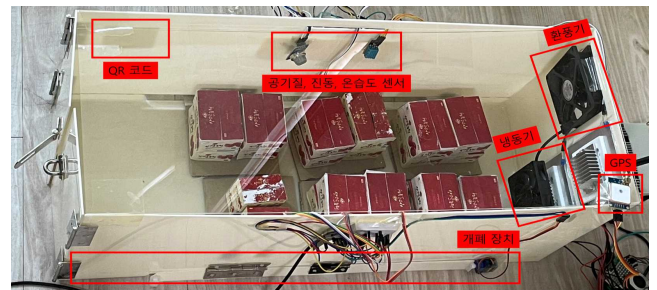
(그림 3)은 본 시스템의 모바일 흐름도를 나타낸다. 관리자는 로그인 후 QR 코드를 통해 컨테이너를 등록하고, 등록 직후 예지 정비를 통해 이상 여부를 확인한다. 등록된 컨테이너는 리스트에서 선택해 내부 온도·습도·CO₂·적재량 등을 확인할 수 있으며, 기준치를 벗어나면 색상 경고로 표시된다. 또한 고장 발생 시 앱은 알림을 전송하고, GPS 기반으로 인근 항만을 안내하여 사용자가 즉시 정비 요청을 보낼 수 있도록 지원한다.



(그림 3) 모바일 흐름도

2.4 구현 결과

센서 네트워크(온습도, 가스, 진동, 수위, GPS)는 ESP32와 라즈베리파이를 통해 정상적으로 동작하였으며, Grafana 대시보드에서 실시간 모니터링이 가능하도록 하였다. ESP32-CAM을 활용한 내부 영상 스트리밍은 서버 저장과 앱과 연동되어 실시간 확인이 가능하다. 수위 센서를 통해 물이 감지되면 릴레이 모터가 작동하여 자동 배수 기능이 실행되고, 침수 발생 시 경고 알림과 함께 배수 조치가 이루어진다. QR 코드를 인식하면 컨테이너가 서버에 등록되며, 회원 가입 및 로그인 기능을 통해 회원제로 앱이 운영된다. 각 센서 데이터를 기반으로 장비의 이상 여부를 사전에 판별할 수 있도록 예지 정비 기능을 구현하였고, GPS 위치 정보를 활용하여 자동으로 가장 가까운 수리 항만을 안내하는 기능을 제공한다.



(그림 4) 제품 구성

3. 결론

본 논문에서는 AI 기반 환경 제어와 예지 정비 기능을 통합한 스마트 리퍼 컨테이너 관리 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 센서 데이터를 수집·분석하여 적재 품목별 최적 운송 환경을 자동으로 추천하고, 컨테이너 내부의 이상 징후를 조기에 검출해 고장 정보와 정비 권고를 제공한다. 이를 통해 운송의 안전성과 운용 효율성을 향상시키며, 운송 과정의 비정상 상황에 대한 대응력을 제고한다. 또한, 본 시스템은 냉동·냉장 식품뿐 아니라 화훼류, 고부가가치 수산물 등 온도 민감 화물 운송에도 적용 가능하여, 콜드체인 물류 전반의 경쟁력 제고에 기여할 수 있다.

Acknowledgement

본 논문은 해양수산부 스마트 해운물류 융합인재 및 기업지원(스마트 해운물류 × ICT멘토링)을 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] Ewelina Złoczowska, Maritime Containers Refrigeration Plant Faults Survey. New Trends in Production Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 589-595, 2018.
- [2] Joakim Enström, Container focus - Refrigerated cargo analysis, The Swedish Club, 2022.
- [3] 한국선주상호보험, 해양한국, 해상클레임 예방가이드, 2023.