

항만 보안사고 예방을 위한 항만 침입 사고위험 관리시스템 설계

이유진*, 이순교**, 김도현**, 이상덕**, 박재현**

*성균관대학교

**한국철도기술연구원

e-mail: leeyoujin225@g.skku.edu, sklee@krri.re.kr, dohyunkim@krri.re.kr, sdlee@krri.re.kr, zephyr@krri.re.kr,

Design of Port Intrusion Risk Management System for the Prevention of Port Safety Accidents

Yujin Lee*, Soonkyo Lee**, Dohyunkim**, Sangduck Lee**, Jaehyun Park**

*Sungkyunkwan University

**Korea Railroad Research Institute.

요약

항만 내 물동량 증대로 인한 자동화로 작업자의 인지 범위 밖의 위험 상황은 증가 추세이며, 해운·항만과 연계된 물류 활동 관련 안전사고에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 이에 대한 효율적인 대응방안으로 4차 산업혁명 기술의 적용을 통한 안전 통합관제 기술의 개발이 주목받고 있지만, 현재의 항만 운영시스템으로는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터, 지능형 CCTV 등과 같은 4차 산업혁명 기술을 활용한 침입 사고위험 관리시스템을 설계하고자 한다. 제안하는 침입 사고위험 관리시스템은 IoT 디바이스를 통해 항만 내 활동 객체의 위치 정보를 수집하고, 인공지능을 통해 CCTV 영상 속 객체를 감지하고 위치 및 상태를 추정한다. 항만 내 활동 객체의 위치 및 상태정보를 종합하여 사고위험 평가를 하고, 이를 모니터링 시스템의 알림으로 표출하여 사고 정보를 관리자에게 제공한다. 제안한 시스템의 평가를 위해 KISA의 지능형 CCTV 성능 평가 기준을 참고하여 9개의 시나리오별 10회의 사고위험 발생 건수에 대한 감지 건수의 총합을 총 사고위험 발생 건수로 나누어 정확도를 도출하였다. 그 결과, 98%의 정확도를 확인하였으며, 제안된 시스템을 통해 항만 환경에서 침입 사고위험 감지가 가능함을 확인하였다.

1. 서론

최근 해운·항만과 연계된 물류 활동 관련 안전사고 항만하역 부문의 산업재해는 '18년 345억원 이지만, 폭발사고(중국 텐진항), 항만 내 화물추락, 선박-크레인 충돌 등 대형 사고 유발[1]에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 현재 항만 내 물동량의 증대에 따른 자동화 및 기계화, 차량 증가 등의 환경변화로 작업자의 인지 범위 밖의 위험 상황은 증가 추세이며, 이에 따른 작업자의 안전 확보방안이 시급한 상황이다. 항만 내 작업 안전성 저하는 수출입 무역 및 물류 활동의 효율성을 저해하여 국내 모든 산업에 악영향을 미칠 수 있기에 이에 대한 체계적이며 효율적으로 대응방안으로 안전 통합관제 기술의 개발이 주목받고 있다.

이를 위한 방안으로 IoT, AR/VR, BigData, Drone, AI 등 4차 산업혁명 시대의 핵심 ICT 기술의 항만 적용을 고려할 수 있다. 그러나 제한된 정보에 의존적인 알고리즘에 기반하는 현재의 항만 운영시스템으로는 항만 내 작업자 안전을 위한 실시간 자원의 위치 및 상태 파악을 위한 대량의 운영정보 수집 및 분석에 한계가 있다. 따라서 첨단 ICT 기술이 적용된

항만 인프라를 통해 발생하는 대량의 데이터 처리 및 유의미한 활용을 지원하는 발전된 형태의 안전 통합관제 기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 첨단 ICT기술로 활용되고 있는 인공지능(AI), 지능형 CCTV, 사물인터넷(IoT) 등을 활용한 침입 사고위험관리시스템을 설계하고자 한다.

2. 침입 사고위험 관리시스템을 위한 기술

2.1 인공지능(AI)

인공지능(artificial intelligence, AI)은 기계가 경험을 통해 학습하고 인간의 지능을 모방하여 문제를 해결하는 기술이다. 최근 인공지능은 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 대표적으로 음성 인식, 컴퓨터 비전, 고객 상담 서비스, 추천 엔진, 자동 주신 거래가 있다. 본 연구에서는 컴퓨터 비전 분야에서 인공지능인 객체 감지, 행동 추정 기술을 활용한다.

2.2 사물인터넷(IoT)

사물인터넷(Internet of Things, IoT)는 네트워크에 연결된

장치가 센서를 통해 데이터를 수집하고, 이를 다른 사물들과 공유하는 기술이다. 본 연구에서는 IoT 디바이스를 통해 항만 내 활동 객체의 위치 정보를 얻는다.

3. 항만 침입 사고위험 관리시스템 설계

3.1 기존 항만 보안시스템 현황 분석

최근 항만에서도 밀입국과 같은 침입사고를 막기 위해 다양한 시스템을 사용하고 있다. 부산항만의 경우 지능형 CCTV를 통해 물체를 추적하는 시스템이 있으며, 여수 광양항만의 경우 움직이는 물체에 대한 CCTV 자동감지 시스템이 있다. 이외에도 사람과 차량을 구분하여 항만 상시 출입증을 발급, RFID 외에 ID 카드시스템 운영, 항만보안 울타리에 압력 센서를 부착하는 알림 시스템을 사용한다[2]. 또한, 부산 신항만의 경우 CCTV, IP 스피커, 3D 라이더 센서, 적외선 센서를 활용한 펜스 시스템으로 월담을 방지하고 펜스 근처의 움직임을 포착하는 시스템을 사용한다.

하지만 기존의 시스템을 이용하여 침입사고를 방지하기에는 어려움이 많다. 실제로 CCTV 물체 추적 시스템은 바람에 날리는 물체도 이벤트로 인식하여 잘못된 알림을 제공하고, 울타리 알림 시스템도 바람에 날린 물체가 울타리에 부딪혀 허위 알림이 자주 발생한다. 또한, 게이트에서 항만 상시 출입증을 통해 보안 감시를 하지만, 차량 내부에 숨어있는 사람은 적발하기 어렵다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 딥러닝 기술을 통해 실시간으로 항만 객체를 감지 및 인식하여 오경보를 줄이고 항만 내 객체를 관리한다. 또한, 객체의 위치, 행동을 통해 사고위험 정도를 평가하고 대응을 하는 시스템을 제안한다.

3.2 제안하는 항만 침입 사고위험 관리시스템

본 연구에서는 인공지능, 지능형 CCTV, 사물인터넷을 이용하여 항만 내 활동 객체를 감지하고 위험 상황을 식별하여 대응하는 항만 침입 사고위험 관리시스템을 제안하고자 한다. 그림 1은 항만 침입 사고위험 관리시스템의 기술 개요도를 보여준다. 제안하는 시스템의 프로세스는 첫째, IoT 디바이스를 통해 객체(사람, 이동 차량)의 위치 정보를 수집하고, CCTV 카메라를 통해 항만 내의 영상을 수집한다. 둘째, 인공지능 기술을 통해 CCTV 영상 속 객체를 감지 및 인식하여 항만 활동 객체를 관리한다. 또한, CCTV 영상을 이용한 위치 추정을 통해 객체의 위치 정보를 수집한다. 셋째, 인공지능 기술을 통해 사람 객체의 상태를 추정하여 사고위험 상태일 경우 이를 감지한다. 넷째, 항만을 그리드로 나누어 허용, 금지 구역으로 분리하고 객체가 금지 구역에 침입하거나 사고위험 상태일 경우를 고려하여 사고위험 평가를 한다. 다섯째, 평가

결과에 따라 추적 및 대응한다. 마지막으로 모니터링 시스템을 통해 해당 정보를 모두 관리자가 볼 수 있도록 한다.



[그림 1] 항만 침입 사고위험 관리시스템 기술 개요도

3.2.1 객체 감지 및 인식 기술

잠재적인 사고유발 객체의 존재 여부를 판단하기 위해 객체를 감지하고, 사고위험 객체별 특성을 반영하여 평가 및 대응하기 위해 객체 종류를 구분하여 인식해야 한다. 이를 위해 인공지능을 이용하여 CCTV 영상 속의 객체를 검출 및 인식한다. 본 연구에서는 YOLO V3를 이용하여 총 10가지(작업자, 야드 트랙터, 컨테이너 트레일러, 리치스태커, 탑핸들러, 지게차, 일반 차량, 4족 동물, 화재, 연기) 객체를 인식한다.



[그림 2] 객체 감지 및 인식 딥러닝 네트워크 결과

3.2.2 객체 위치추정 기술

위치추정 기술은 하나의 카메라에서 위치를 추정하는 기술이다. IoT 디바이스를 통해 위치 정보를 수집하지만, 항만 내의 모든 객체가 IoT 디바이스를 착용하는 상황은 현실적으로 어렵고, 특히 본 연구에서 관리해야 하는 밀입국자의 경우 IoT 디바이스를 착용하지 않는다. 따라서 CCTV 영상정보를 바탕으로 해당 객체를 분류하고 위치를 추정하는 기술이 필요하다. 이는 CCTV 카메라 좌표와 감시 방향을 이용하여 3차원 공간에 대한 좌표계를 생성하고, 감지객체의 2D UV 좌표를 3차원 공간에 투영하여 3차원 좌표를 추정한다.

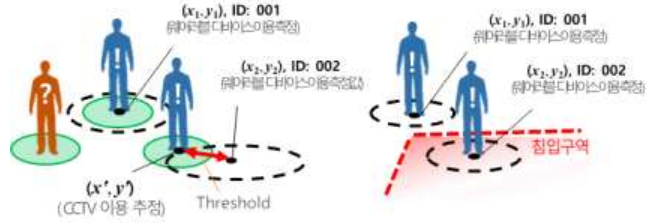
3.2.3 객체 상태추정기술

상태 추정 기술은 CCTV 영상을 이용하여 항만 내 작업자의 이상행동을 추정하는 기술이며, 이상행동을 하는 사람을 사고위험 평가에 반영하여 사고위험 상황에 대비할 수 있다. 본 연구에서는 총 5가지 행동을 추정할 수 있으며 각각 행동에 대한 정의는 표 1과 같다.

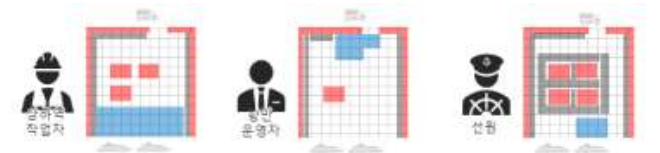
[표 1] 항만 상태 추정 종류

상태 추정	정의
정상상태	일반적으로 항만 내에서 행동하는 사람 객체의 상태
쓰러짐	항만 내 작업 중 건강 이상 또는 사고 발생으로 인해 사람 객체가 바닥에 쓰러져 있는 상태
월담	사람 객체가 항만 내 금지 구역에 세워진 철조망을 무단으로 침입하려는 상태
도주	사람 객체가 항만 내 구역에서 달리는 상태
싸움	사람 객체가 팔과 다리를 휘두르며 싸우는 상태

이다. 이처럼 객체별로 접근 권한을 달리하여 구역별로 허용, 주의, 경계, 금지 단계로 사고위험 평가를 수행한다. 두 번째로, 상태정보기반의 사고위험 평가는 CCTV를 이용하여 얻은 객체의 상태 추정 정보를 이용하여 해당 객체가 현재 위험 행동을 하는지 판단한다.



[그림 4] 위치 정보기반 평가



[그림 5] 객체별 접근 권한 설정 예시



[그림 3] 항만 이상행동 예시

3.2.4 사고위험 평가기술

사고위험 평가는 잠재적인 사고위험 객체로 인한 사고 발생 여부를 판단하기 위한 사고위험 객체 평가기술이며, 위치 정보 기반과 상태정보 기반으로 나뉜다. 첫 번째로, 위치 정보기반의 사고위험 평가는 IoT 디바이스와 CCTV를 이용하여 얻은 객체의 위치 정보를 이용하여 해당 객체가 현재 접근 권한이 부여된 구역에 위치하는가를 판단한다. 그림 4와 같이 각 객체는 객체가 수행하는 작업 및 역할에 따라 다른 구역별 접근 권한이 부여되며, 이러한 접근 권한은 항만의 Grid Map을 통해 설정한다. Grid Map은 그림 5와 같이 항만을 2차원 Grid로 구분하고 각 Grid에 객체가 수행하는 작업 및 역할에 따라 다른 접근 권한을 부여한다. 예를 들어, 선석 지역에서 근무하는 상하역 작업자는 선석 지역의 접근 권한은 허용이지만, 관리자 외에 접근 불가 지역인 위험물 구역의 접근 권한은 금지

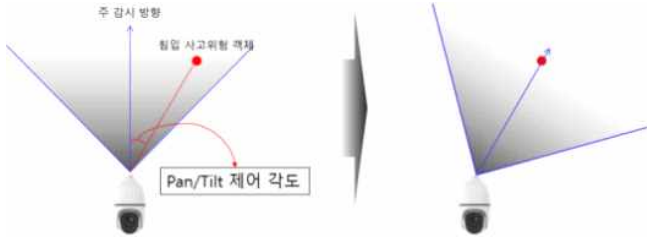
3.2.5 추적 및 대응 기술

추적 및 대응 기술은 사고위험 평가결과가 금지단계일 경우 해당 사고위험 객체를 관리해야 할 필요가 있다고 파악하여 객체의 특징을 추출하고 CCTV 카메라로 추적한다. 첫 번째로 객체의 특징을 추출하는 특징화 기술은 사고위험 객체를 추적할 때 모니터링을 하는 관리자에게 더 많은 정보를 제공하기 위해 사용된다. 이는 사람의 객체 감지 결과에서 딥러닝 자세 추정 모델을 통해 항만 작업자의 2D 스켈레톤 정보를 활용하여 자세를 추정한 다음, 자세 추정치를 바탕으로 사람 상의에 대한 색상을 추출하여 제공한다.



[그림 6] 추적 및 대응을 위한 자세 추정 및 색상 추출 예시

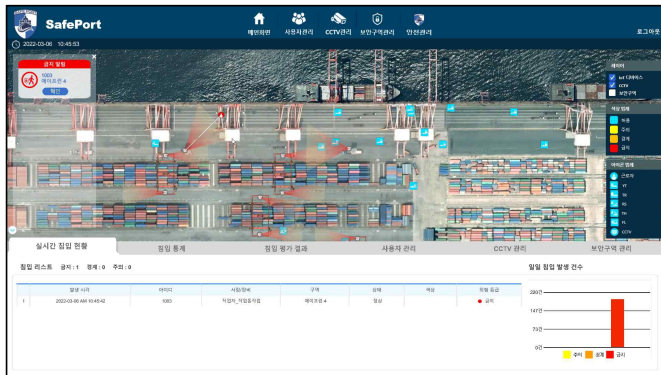
두 번째로 CCTV 카메라 추적은 그림 7과 같이 CCTV 영상 안에서 침입 사고위험 대상 객체의 이동에 맞추어 CCTV의 Pan과 Tilt를 자동으로 제어하여 침입 사고위험 대상 객체를 영상 중앙에 위치하도록 추적하는 기술이다. 또한, 침입 사고위험 대상 객체가 해당 카메라를 벗어나면 가장 가까운 CCTV로 해당 객체를 추적하는 CCTV 연계 추적도 사용된다.



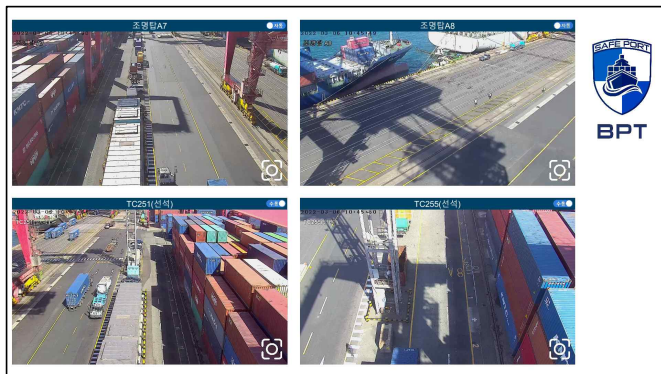
[그림 7] CCTV 카메라 Pan, Tilt 자동제어

3.2.6 항만 침입 사고위험 모니터링

항만 침입 사고위험 모니터링 시스템을 통해 관리자에게 현재 항만에 침입 사고위험이 발생했음을 알려 상황에 맞춰 유동적으로 대응할 수 있도록 한다. 또한, 그림 8, 9와 같이 항만을 관리하기 위한 다양한 정보를 제공한다. 항만 내 작업자 및 이동 장비의 실시간 위치 정보, 침입사고 발생 시 알림(주의/경계/금지) 표출, CCTV 추적 화면 표출, 침입사고 발생 통계와 같은 정보를 제공한다.



[그림 8] 항만 침입 사고위험 관리시스템 운영 화면 (지도기반 사고위험 관리)



[그림 9] 항만 침입 사고위험 관리시스템 운영 화면 (CCTV 스트리밍)

3.3 제안 시스템의 평가

앞서 제안한 항만 침입 사고위험 관리시스템의 평가를 위해 부산항 신선대 컨테이너 터미널에서 현장 테스트를 수행했다. 해당 시스템의 요소기술 검증에 위해 KISA의 지능형 CCTV 성능 평가 기준을 참고하여 9개의 평가 시나리오 및 성과목표를 설계(표 1 참고)했으며, 한국산업기술시험원(KTL)을 통해 시험 평가를 진행했다.

[표 1] 항만침입사고위험 감지 시나리오

구분	시나리오
1	위험물 작업자가 백리치에서 에이프런으로 이동
2	외부 차량 운전자가 ATC 주행로에 진입
3	외부인이 백리치에서 낙상
4	외부인이 백리치에서 도주
5	외부인이 백리치에서 싸움
6	외부인이 백리치에 존재
7	본선 작업자가 위험물 구역에 무단출입
8	작업동 작업자가 울타리에 무단출입
9	외부차량 운전자가 장치장에 무단출입

감지정확도 산출을 위해 시나리오별 10회의 사고위험 발생 건수에 대한 감지 건수의 총합을 총 사고위험 발생 건수로 나누어 정확도를 도출했다. 결과적으로 89/90=0.9888 (98%) 정확도를 확인하였으며, 제안된 시스템을 통해 항만 환경에서 침입 사고위험 감지가 가능함을 확인했다.

4. 결론

해운·항만과 연계된 물류 활동 관련 안전사고에 대해 4차 산업혁명 기술을 적용한 안전 통합관제 기술이 주목받고 있지만, 현재의 항만 운영시스템으로는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터, 지능형 CCTV 등과 같은 4차 산업혁명 기술을 활용한 침입 사고위험 관리시스템을 설계하였다. 제안하는 침입 사고위험 관리시스템은 항만 내 활동 객체의 위치 및 상태정보를 수집하여 사고위험 평가에 이용한다. 모니터링 시스템에서 사고위험 평가결과 및 CCTV 추적 화면을 표출하여 관리자가 침입사고를 유연하게 관리할 수 있도록 도와준다. 현장 테스트 결과, 사고위험 감지에 대해 98%의 정확도를 확인하였으며, 제안된 시스템을 통해 항만 환경에서 침입 사고위험 감지가 가능함을 확인했다. 본 논문에서 제안된 시스템은 항만 침입사고로 인한 항만기능의 마비 및 저하를 사전예방 가능하여 이로 인한 사회적 불안 발생의 차단과 경제적 손실의 절감이 가능하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (“해운-항만-운송기업 간 물류연계 최적화 서비스 개발”사업의 “빅데이터·인공지능 기반 물류연계 최적화 기술 개발”).

참고문헌

- [1] 한국항만물류협회, “항만하역재해통계 및 사례”, 제 32권 1호, pp. 5-19, 10월, 2018년.
- [2] Gyu-Sung CHO, “Improvements of Security System based on Port Logistics Information System”, JFMSE, 29(4), pp. 1032~1042, 2017