

# Research on Artificial Intelligence Based Shipping Container Loading Safety Management System

Kim Sang Woo<sup>†</sup> · Oh Se Yeong<sup>††</sup> · Seo Yong Uk<sup>†††</sup> · Yeon Jeong Hum<sup>††††</sup> ·  
Cho Hee Jeong<sup>†††††</sup> · Youn Joosang<sup>††††††</sup>

## ABSTRACT

Recently, various technologies such as logistics automation and port operations automation with ICT technology are being developed to build smart ports. However, there is a lack of technology development for port safety and safety accident prevention. This paper proposes an AI-based shipping container loading safety management system for the prevention of safety accidents at container loading fields in ports. The system consists of an AI-based shipping container safety accident risk classification and storage function and a real-time safety accident monitoring function. The system monitors the accident risk at the site in real-time and can prevent container collapse accidents. The proposed system is developed as a prototype, and the system is evaluated by direct application in a port.

Keywords : Intelligent Port Safety Technology, Shipping Container, Object Detection, Deep Learning, YOLO

# 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템 연구

김 상 우<sup>†</sup> · 오 세 영<sup>††</sup> · 서 용 옥<sup>†††</sup> · 연 정 흠<sup>††††</sup> · 조 희 정<sup>†††††</sup> · 윤 주 상<sup>††††††</sup>

## 요 약

최근 스마트항만을 구축하기 위해 ICT 기술이 적용된 물류 자동화, 항만 운영 자동화 등 다양한 기술이 개발 중이다. 하지만 항만 안전과 안전사고를 예방하기 위한 기술 개발은 부족한 상황이다. 이에 본 논문에서는 항만 내 컨테이너 적재 공간에서 발생할 수 있는 안전사고를 예방하기 위한 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 제안한다. 이 시스템은 인공지능 기반 컨테이너 안전사고 위험도 분류 및 저장 기능과 실시간 안전사고 모니터링 기능으로 구성되어 있다. 이 시스템은 실시간으로 현장의 사고 위험도를 모니터링하며 이를 통해 컨테이너 붕괴사고를 예방할 수 있다. 제안된 시스템은 프로토타입으로 개발되어 직접 항만에 적용하여 시스템을 평가하였다.

키워드 : 지능형 항만 안전 기술, 컨테이너, 객체인식, 딥러닝, YOLO

## 1. 서 론

최근 독일, 미국, 싱가포르 등 해외 물류 선진국들은 물류의 90%를 차지하는 항만 물류 산업에 IoT, 빅데이터, 인공지능 기반 ICT 기술을 적용해 물류 산업의 경쟁력을 강화하고 있다. 더불어 이런 국가들은 스마트항만 로드맵을 수립하고 추진해 선진 항만으로 도약하려고 한다. 특히, 로테르담항, 싱

가포르항, 함부르크항, LA항에서는 자동화 및 무인화를 통해 항만 선진화를 추진하고 있다.

한국에서도 IoT, 빅데이터, 인공지능 기술을 적용한 스마트항만 구축 사업이 진행 중이다. 스마트항만 구축 사업에서는 물류 자동화, 항만 운영 자동화와 같은 다양한 기술이 개발 중이다. 또한, 항만에서 발생하는 다양한 안전사고를 예방할 수 있는 지능형 서비스 개발도 진행 중이다. 컨테이너 환적화물 처리 비중이 높은 국내 항만에서는 인명 사고가 2015년 37명, 2016년 35명, 2017년 40명, 2018년 42명, 2019년 40명 등 매년 두 자리 이상 발생하고 있다. 사고를 예방하기 위해 2022년에 중대재해처벌법[1]과 항만안전특별법[2]등이 시행되었고 산업현장 내 인명 피해가 발생하면 사업주 또는 대표자가 처벌받도록 규정하여 산업재해를 예방하고 작업자 안전을 강화하고 있다. 이에 따라 해양수산부도 컨테이너전용부두 자체안전관리계획 표준(안)[3]을 수립해 컨테이너 작업에 대한 안전 점검을 강화하고 있다. 이에 따라 스마트항만 구축 시 안전사

※ 이 논문은 연구개발특구진흥재단의 지역의 미래를 여는 과학기술프로젝트 사업 지능형 무인 자동화 스마트물류 시스템 구축 과제(2020-DD-UP-0281-03-210)에 의해 연구 되었음.

† 비 회 원 : 동의대학교 인공지능학과 박사과정

†† 비 회 원 : 동의대학교 IT융합학과 석사과정

††† 비 회 원 : ㈜서안에스앤씨 대표

†††† 비 회 원 : 부산항만공사 항만R&D실 실장

††††† 비 회 원 : 동의대학교 인공지능학과 석사과정

†††††† 종신회원 : 동의대학교 산업ICT공학과 교수

Manuscript Received : June 15, 2023

Accepted : July 3, 2023

\* Corresponding Author : Youn Joosang(jsyoun@deu.ac.kr)

고를 예방할 수 있는 자동화된 다양한 기술이 필요하다.

국내에서는 항만 선진화를 위해 많은 연구가 진행되고 있지만, 선박 및 항만 물류에 편중되어 있고 항만 안전에 관한 연구는 부족하다. 또한, 항만에서 발생하는 사고는 자동화 및 무인화를 도입한 신규 항만보다 노후 장비가 많은 오래된 항만에서 작업자 안전사고가 더 많이 발생한다. 특히 항만 특성상 강한 바람과 태풍으로 인하여 컨테이너 터미널 야드에 부정확하게 적재된 컨테이너가 넘어지는 사고가 빈번하게 발생한다. 이런 컨테이너 붕괴 사고가 발생하면 24시간 운영되는 항만의 물류 흐름에 방해가 되어 터미널 운영 시스템 마비로 이어진다. 이런 문제를 해결하기 위해 유럽에서는 컨테이너 적재에 대한 안전 기준을 정의해 컨테이너 안전을 점검한다. 하지만 국내에서는 컨테이너 적재를 위한 안전 기준이 없는 상태이며 사고를 예방하는 솔루션을 적용하고 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 컨테이너 적재 안전 기준을 정의하고 부적절한 정렬의 컨테이너 붕괴 사고를 예방하는 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 제안한다. 제안된 컨테이너 적재 안전관리 시스템의 기능은 다음과 같다. 컨테이너 정렬 상태를 수집하는 데이터 수집 기능과 인공지능을 이용한 컨테이너 사고위험도 분류 기능, 분류한 결과를 데이터 베이스에 저장하는 기능, 분석 결과를 운영자에게 보여주는 모니터링 기능으로 구성돼 있다. 운영자는 모니터링 기능을 통해 분류된 사고위험도 결과를 토대로 컨테이너 정렬 상태를 파악하여 현장에서 발생할 수 있는 컨테이너 붕괴 사고를 예방할 수 있다.

본 논문은 2장에서 관련 연구를 기술하고 3장에서 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템 제안, 4장에서 인공지능 컨테이너 적재 안전관리 시스템 구현 결과를 기술하며 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 컨테이너 터미널 위험요인 연구

최근 에너지 및 물자 수송을 위해 각 나라 항만의 컨테이너 이동이 급속하게 증가하고 있다. 이로써 선박 충돌, 좌초, 화재, 항만 내 차량 충돌, 컨테이너 붕괴 사고와 같은 항만의 사고 위험 또한 증가하는 추세이다. 각 사고를 예방하기 위해 Table 1과 같이 항만 내 컨테이너 터미널에서 발생하는 구역별 사고유형을 파악했다[4].

또한, 항만에서 발생하는 위험요인을 여러 프레임으로 Table 2와 같이 위험요인을 선별하였다.

### 2.2 컨테이너 터미널 위험성 평가방법 연구

#### 1) Fuzzy Set Theory

Fuzzy Set Theory는 모호하고 불완전한 사람의 생각 및 언어 정보를 수학적 방법을 통해 의사결정을 하기 위한 도구

Table 1 Shippng Container Terminal Areas and Incident Types

	Terminal areas	Incident types
Shippng Container terminal	Parts Warehouse	Collision
	Chemical Warehouse	Leaks, explosions
	Confined Space	Poisoning, leaks
	Loading and unloading areas	Collision, fall
	Offices	Fires
	Switchboards	Fire, electrical leakage
	Refrigerated and frozen warehouses	Hypothermia, entrapment
	Vehicle movement areas	Collision, crash, fall

Table 2. Risk Factors by Researcher

Researchers	Risk factors
K. Mokhtari[5]	Safety, security, pollution, law, human error, technology
C. Wan[6]	Social, natural, managerial, infrastructure-technical, operational
Y. L. Yang et al.[7]	Liveware, software, hardware, environment, organisation
P. L. Pallis[8]	Human, Machine, Environment, Security, Natural Disaster
M. H. Jang et al.[9]	Information security education, information security interest, information security intention, information security awareness, perceived information security risk, information assets, threats, vulnerabilities
D. H. Yoon et al.[10]	Human resources, software, hardware

이다[5]. 이를 기반으로 항만의 위험성을 평가하기 위한 프레임 구축 연구가 진행되었다. 또 다른 연구[11]에서는 다양한 매개변수 및 등급으로 위험요인의 위험 수준을 측정하며 이를 통해 프레임을 정의한다. ABS(American Burean Shipping)는 발생 가능성, 결과 심각성의 매개변수가 위험 수준에 영향을 미친다고 하였다[12]. 하지만 ABS로 수집된 데이터는 주관적으로 매개변수를 측정되기 때문에 이를 보완하기 위해 언어 변수를 통해 전문가들의 판단을 기반으로 하여 Table 3의 Fuzzy Membership Functions를 사용한다[13].

Table 3. Fuzzy Membership Functions

Rating	Likelihood of occurrence	Consequence severity
1	Very low	Minor
2	Low	Slightly mild
3	Medium	Moderate
4	High	Crisis
5	Very high	Catastrophic

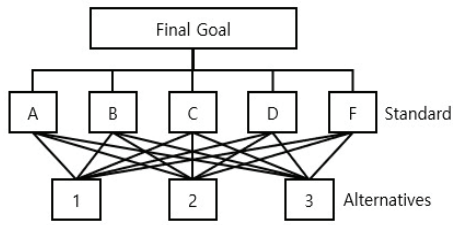


Fig. 1. The AHP Hierarchy

2) AHP(Analytic Hierarchy Process)

AHP 방법론은 Fig. 1과 같이 계층적 구조로 단일 요소를 세분화하여 합리적으로 분석할 수 있도록 한다[14].

AHP의 의사결정은 9점 척도를 기반으로 하여 쌍대 비교 평가 척도를 활용하여 얻은 점수로 위험성을 평가해 점수가 높은 것을 더욱 위험한 요인으로 판단한다[15].

3) ER(Evidential Reasoning)

Dempster-Shafer Theory를 기반으로 발전해 온 ER 방법론은 불확실한 상황에서 발생하는 여러 가지 요인에 대해 의사결정을 하는 방법론이다[16].

ER 방법론은 불완전하고 불확실한 데이터를 주관적이고 정량적인 사용자의 판단을 유연성 있게 표현하고 위험성을 계층적으로 평가할 수 있는 프로세스 기반의 데이터 집계를 표현할 수 있는 방법론을 제공한다[17].

4) 보우타이기법

한국산업안전보건공단에서는 사업주의 의무사항인 사업장의 유해위험요인을 평가, 관리, 개선하기 위해 보우타이기법을 제안했다[18].

보우타이기법은 유해위험요인부터 결과까지의 리스크가 발생한 경로를 따라 예방대책, 감소대책 등을 분석 및 설명하는 방법론이다. 보우타이 다이어그램을 통해 유해위험요인 파악, 사상 파악, 위협(원인) 파악, 결과 파악, 예방대책 파악, 감소대책 파악, 악화요소 파악, 악화요소 방지대책 파악, 수행업무 파악, 리스크 평가, 수행업무 추적관리 등의 단계를 도식화해 모든 과정을 한눈에 파악할 수 있으며, 위험성 평가 관리가 가능하다[19].

2.3 컨테이너 터미널 안전 개선방안 연구

국내 모든 산업을 관리할 산업안전보건법은 건설업, 제조업 등에 집중돼 있고 항만 터미널과 같은 운송업에도 적용하지만, 안전사고 예방에는 효과가 없다. 컨테이너 터미널은 일반 부두보다 항만의 구성과 화물, 하역의 방법이 단순해 안전한 작업장처럼 보이지만, 화물 및 하역 장비의 크기가 크고 무겁다. 작업자와 장비가 같은 공간에서 작업을 하므로 상당히 높은 위험요인을 가지고 있어 작업자의 사소한 실수가 대형 사고로 이어지는 잠재적 위험요인을 가진 현장이다.

컨테이너 터미널 안전에 관한 선행 연구들은 작업자의 안

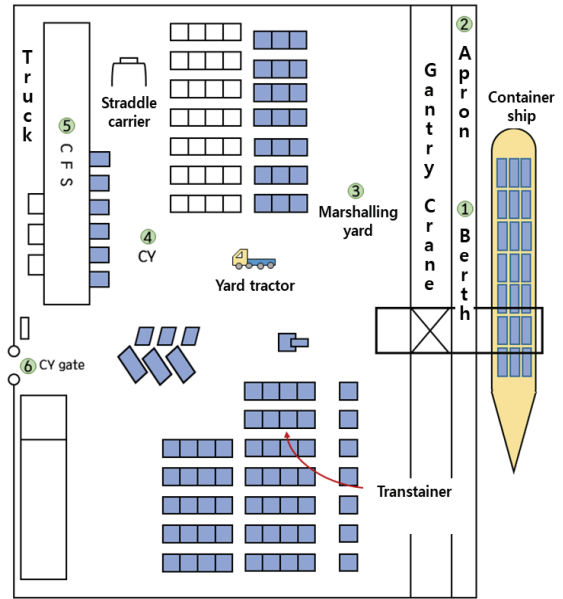


Fig. 2. Shipping Container Terminal Diagram[20]

전의식 부족 및 실수에 따른 것으로 안전조치와 안전교육 강화에 필요하다고 주장한다. 컨테이너 터미널 내부에서 발생하는 대부분의 안전사고는 Fig. 2와 같이 선내, 선석, 에이프런, 마샬링, 야드, CFS, 게이트 등의 작업 내 이송 작업 중에 발생함을 알 수 있다.

이를 개선하기 위해서는 아래 5가지를 갖춰야 한다. 먼저 컨테이너 터미널 내/외부의 통합적인 협력체계를 구성한다. 두 번째로 체계를 기반으로 안전 규정 및 지침을 각 컨테이너 터미널에 맞게 정리하여 제정한다. 세 번째로 항만에서 선박에 대한 출항 정지 등 조치할 수 있는 PSC(Port State Control)나 FSC(Flag State Control)의 점검을 강화하여 선내 작업 환경을 개선한다. 네 번째로 안전 규정을 위반한 작업자에 대해 강력하게 제재하여 재발을 방지한다. 다섯 번째로 불필요한 장비를 작업장 내에서 이용하는 것을 제한한다. 여섯째 안전 교육을 의무적으로 작업자에게 시행하며 또한 반복 횟수를 늘려 인식도를 높인다. 마지막으로 작업자에 대한 안전관리 방안을 마련하여 컨테이너 터미널에 적용한다.

2.4 딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘 : YOLO(You Only Look Once)

딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘은 영상처리나 컴퓨터 비전 분야에서 많이 활용되는 기술이다. 대표적인 알고리즘은 R-CNN(Regions with Convolutional Neural Network), YOLO가 있다[21]. YOLO는 하나의 신경망으로 구성해 이미지 전체에 대해서 한 번의 연산으로 경계박스와 클래스 확률을 구하는 검출 알고리즘이다[22]. 경계박스는 객체의 위치를 나타내기 위해 객체를 둘러싼 박스를 의미한다. YOLO는 R-CNN과 비교하면 3가지의 장점이 존재한다. 첫 번째는 이미지를 분할해 여러 번 분석하지 않고 원본 이미지를 CNN에 통과시켜 분

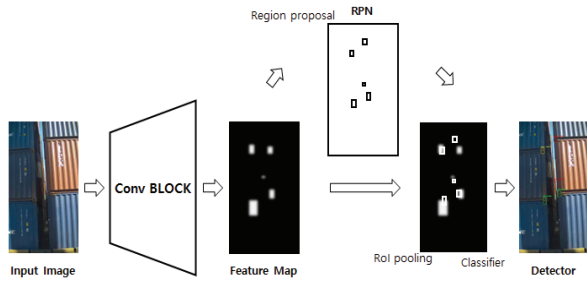


Fig. 3. Inference Process of R-CNN

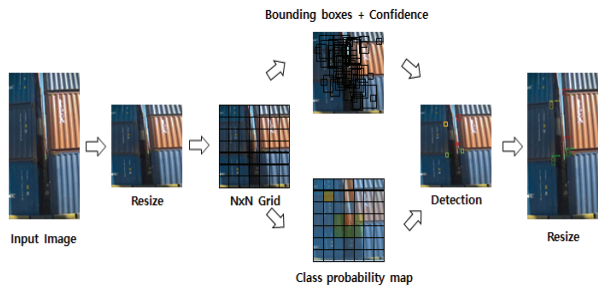


Fig. 4. Inference Process of YOLO

석한다. 두 번째는 기존 R-CNN은 Fig. 3과 같이 객체 지역 추천, 특징 추출, 분류, 경계 박스 회귀의 작업을 별도로 수행한다[22-24]. 하지만 YOLO는 Fig. 4와 같이 한 번에 진행해 빠르게 추론할 수 있다. 그로 인해 실시간으로 객체 인식이 가능하다[25]. 마지막은 이미지 전체를 학습하기에 객체 주변 정보까지 학습해 배경 에러가 적다는 장점이 있다.

YOLOv4[28]는 백본 네트워크에 CSPNet(Cross stage Partial Network)를 적용한 CSPDarknet-53을 사용한다. CSPNet으로 효율적인 연산이 가능해졌다. 또한 GPU의 효율적인 활용 기술을 적용해 YOLOv4는 YOLOv3와 유사한 구조지만 정확도는 10%, FPS(Frames per Second)는 12% 향상됐다. 또한 PAN(Path Aggregation Network)사용해 저해상도 정보를 최대한 보존했다. 그 결과로 작은 객체 감지 성능이 향상됐다[29]. 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템에서는 YOLOv4 검출 알고리즘을 적용해 사고위험도 분류 기능을 구현한다.

### 3. 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템

인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템은 Fig. 5와 같이 영상 및 위치 정보를 수집하는 데이터 수집 모델, 영상에서 코너캐스팅을 검출하고 분류된 사고위험도를 JSON 객체로 생성해 TCP/IP로 전송하는 사고위험도 분류 모델, 수신된 정보를 데이터베이스에 저장하고 운영자가 분석 및 관리할 수 있도록 컨테이너 안전과 관련된 정보를 대시보드에 표출하는 결과 분석 모델로 구성되어 있다.

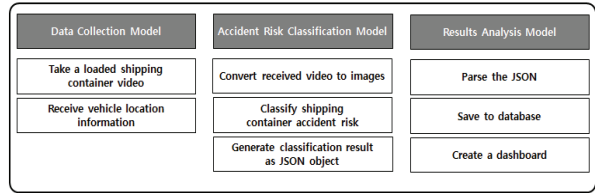


Fig. 5. AI-based Shipping Container Loading Safety Management System



Fig. 6. Example of Collected Video Data

Table 4. GNSS Messages

Message	Function
GGA	Time, Position, and fix related data
RMC	Position, Velocity, and Time
VTG	Actual track made good and speed over ground
GSA	GPS DOP and active satellites
GSV	Number of SVS in view, PRN, elevation, azimuth, and SNR

#### 3.1 데이터 수집 모델

데이터 수집 모델은 컨테이너 영상 데이터와 차량의 이동 위치 정보를 실시간으로 수집한다. 컨테이너 영상 데이터를 획득하기 위해 Fig. 6과 같이 컨테이너 코너캐스팅을 정확하게 인식할 수 있도록 카메라의 화각 및 각도를 고려해 차량에 롤링 셔터 카메라를 설치한다. 수집한 영상 데이터를 사고위험도 분류 모델로 전송한다.

또한, 이동 차량의 위치 정보를 실시간으로 수집하기 위해 GNSS(Global Navigation Satellite System) 장비를 사용한다. GNSS 장비는 Table 4와 같은 위치와 관련된 여러 메시지 정보를 수집한다. 하지만 시스템 부하를 줄이기 위해 위·경도, 속도, 시간 정보를 수집하는 RMC(Recommended Minumun Specific GNSS Data) 프로토콜 메시지를 500ms 간격으로 수집해 사고위험도 분류 모델로 데이터를 전송한다.

#### 3.2 사고위험도 분류 모델

사고위험도 분류 모델은 데이터 수집 모델에서 전송된 실시간 영상 데이터를 수신해 컨테이너 코너캐스팅을 검출하고 컨테이너 사고위험도 분류한다. 사고위험도 분류 모델은 Fig. 7과 같이 동작한다.

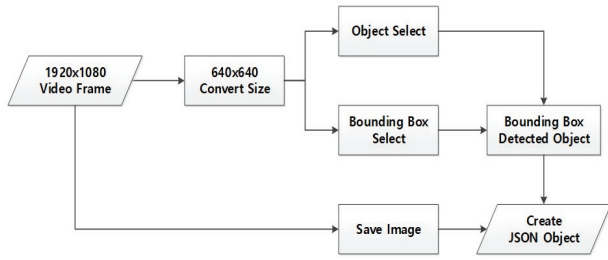


Fig. 7. Flowchart of Accident Risk Classification in the Accident Risk Classification model

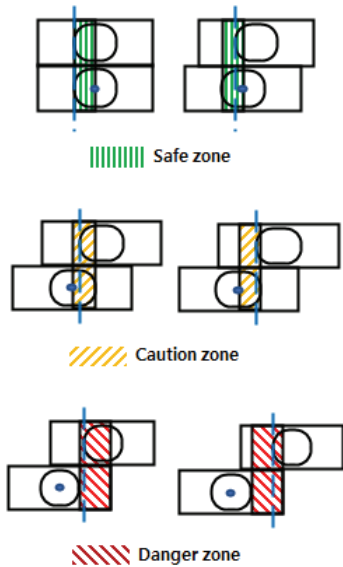


Fig. 8. Accident Risk Classification based on Alignment Status

모델에 수신된 1920×1080 크기의 영상 프레임을 640×640 크기로 변환해 경계 박스와 신뢰도를 기반으로 컨테이너 코너캐스팅을 검출한다. 검출된 코너캐스팅은 Fig. 8과 같이 사고위험도를 안전(Safe), 주의(Caution), 위험(Danger)으로 분류한다. 파란색인 안전 카테고리는 컨테이너가 올바르게 정렬돼 사고위험도가 낮은 상태이며, 노란색인 주의 카테고리는 약간의 오차로 강풍과 외부 충격으로 사고위험도가 높아질 수 있는 상태이며, 빨간색인 위험 카테고리는 컨테이너가 부정확하게 정렬돼 사고위험도가 높은 단계이다.

분류된 결과와 장비 번호, 추론한 시간, 컨테이너 위치 정보를 JSON 객체로 생성해 결과 분석 모델로 전송한다. 또한 GNSS 장비로 수신된 위치 정보도 Fig. 9와 같이 JSON 객체로 생성해 전송한다. 각 정보를 전송할 때 이용하는 TCP/IP 통신 프로토콜은 4.1장에서 설명한다.



Fig. 9. Flowchart of Location Information Transfer in the Incident Risk Classification Model

### 3.3 결과 분석 모델

결과 분석 모델은 JSON 파싱과 데이터베이스 관리, 대시보드 표출과 같이 3가지 기능을 수행한다. 첫 번째 JSON 파싱은 Fig. 10과 같이 동작한다. 사고위험도 분류 모델에서 TCP/IP 통신으로 수신된 사고위험도 분류 결과와 위치 정보가 포함된 JSON 정보를 분석한다. 이 정보를 데이터베이스에 저장한다. 운영자가 실시간으로 데이터베이스 정보를 확인 및 분석할 수 있도록 대시보드에 전송할 JSON 객체를 생성하고 대시보드에 전송한다.

두 번째 데이터베이스 관리는 저장된 데이터를 관리하기 위한 테이블, 프로시저, 함수, 인덱스 등을 설계하고 데이터를 JSON과 이미지 파일이 아닌 테이블로 관리하도록 하여 운영자에게 데이터에 대한 접근성을 높여준다. 하지만 데이터 증가에 따라 발생하는 데이터베이스 로그가 점점 커지는 문제를 데이터베이스 스케줄러 및 백업 기능을 활용해 데이터베이스를 안정화한다. 이미지가 저장되는 테이블을 일별로 관리하며 일정 시간이 지나면 자동으로 이전 테이블을 삭제해 데이터베이스 크기를 관리한다.

마지막 대시보드 표출은 Fig. 11과 같이 동작한다. JSON 파싱 기능을 통해 수신된 JSON 객체 정보를 대시보드 화면에 표출한다. 대시보드는 사용되는 각종 정보는 운영자가 시각적으로 컨테이너를 관리하도록 한다. 대시보드 화면은 Fig. 12와 같이 파란 영역은 컨테이너 터미널에 적재된 컨테이너 현황을 보여준다. 노란 영역은 차량 위치 정보를 맵 영역에 표출한다. 수집된 컨테이너 코너캐스팅 정보는 빨간 영역에 표출되며, 자세한 정보는 오른쪽 하단에 이미지 및 컨테이너 위험도 분류 결과 정보를 표출한다.

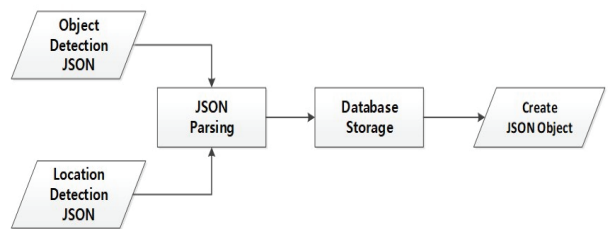


Fig. 10. JSON Parsing Flowchart of the Resulting Analytics Model

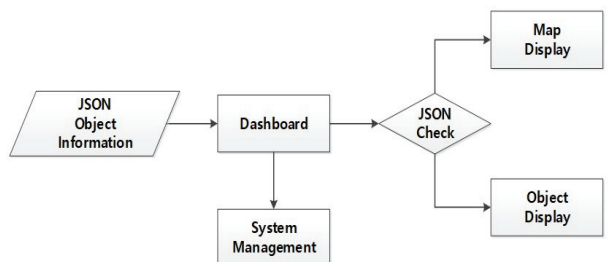


Fig. 11. Flowchart of Actions in the Results Analysis Model

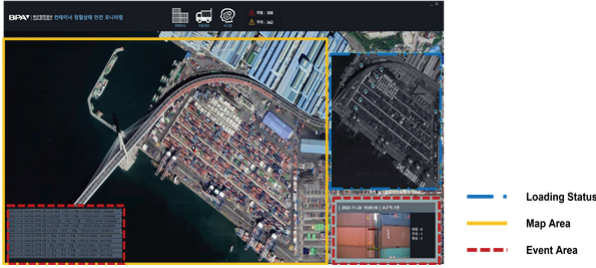


Fig. 12. Dashboards in the Results Analytics Model

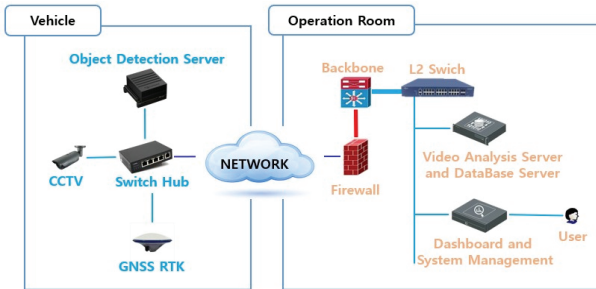


Fig. 13. Hardware Diagram of AI-based Shipping Container Loading Safety Management System

4. 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템 구현

본 장에서는 시스템 구현에 필요한 프로토콜과 서버를 구현함으로 Fig. 13의 왼쪽과 같이 컨테이너 코너캐스팅 정보 및 차량 이동 위치 정보를 수집하여 전송하기 위해 차량에 장착할 하드웨어를 구성하며, 하고 수집된 데이터를 저장 및 분석, 조회할 수 있도록 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 구현하기 위한 하드웨어를 구성한다.

4.1 통신 프로토콜 구현

인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템은 TCP/IP 네트워크 통신 프로토콜 메시지를 이용해 모델 간의 여러 정보를 송수신한다. 시스템에서 사용하는 프로토콜 메시지 종류는 Table 5와 같고 기본 구조는 Fig. 14와 같이 길이(Length) 필드와 내용(Content) 필드로 구성되어 있다.

Table 5. Communication protocol type

Protocol	Explanation
CheckAlive	Checks for good communication connectivity
Acknowledgement	Transmit the response information of the received protocol
LocationInfo	Transmits location information from GNSS
EquipmentInfo	Transmits object information from camera

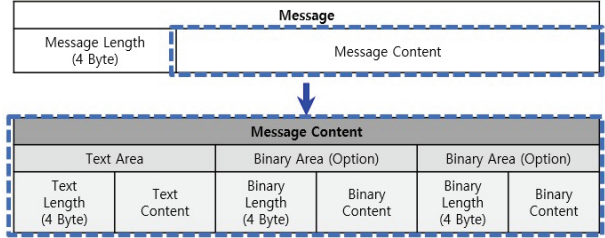


Fig. 14. Basic Structure of Communication Protocol

Length 필드는 Content 필드의 바이너리 길이 정보를 저장하고 있다. 이는 결과 분석 모델에서 JSON을 파싱할 때 데이터의 크기를 파악하기 위해 사용한다. Content 필드는 분류된 사고위험도 정보 및 차량의 위치, 데이터베이스의 데이터와 같은 각 모델이 송수신하는 내용을 포함하고 있다. 이 필드는 텍스트 영역과 이미지 영역으로 구성된다. 텍스트 영역은 각 정보를 포함한 JSON 객체의 바이너리 형태가 포함하고 있고 이미지 영역은 사고위험도 정보를 포함할 때 해당 컨테이너의 이미지의 바이너리 형태를 포함하고 있다. 각 영역 앞에는 길이 정보를 포함하고 있고 통신할 때마다 텍스트 영역은 1개만 구성하며 이미지 영역은 0개 이상으로 통신하는 정보에 따라 옵션으로 포함된다. 또한 영역의 모든 데이터는 Big Endian 형식으로 구성해 Network Byte Order의 데이터를 낮은 주소에서 높은 주소 순서로 표현한다.

4.2 데이터 수집 모델 구현

데이터 수집 모델은 시스템에 필요한 영상 데이터와 위치 데이터를 수집하는 역할을 한다. 롤링셔터카메라를 이용해 Fig. 6과 같은 영상 데이터를 실시간으로 수집한다. 그리고 스트리밍 미디어 서버의 제어를 목적으로 설계된 RTSP(Real Time Streaming Protocol)을 이용해 수집된 데이터를 실시간으로 사고위험도 분류 모델로 전송한다. 다음으로 위치 정보를 수집은 AKN-940 GNSS 장비를 사용하며 수집된 정보를 RS-232C(Recommend Standard 232C) 시리얼 통신 프로토콜을 이용해 사고위험도 분류 모델로 전송한다. 장비에서 RS-232C 시리얼 통신 프로토콜을 사용하기 위해서는 통신 속도 115200bps, 데이터 길이 8bit, 정지 비트 1bit로 별도의 설정이 필요하다. RS-232C 시리얼 통신 프로토콜은 컴퓨터가 직렬 장치와 통신하고 데이터 교환을 위해 사용하는 인터페이스이다. 시스템에서 사용하는 RS232C 구조 및 예시는 Table 6과 같다.

Table 6. Structure of GNSS RMC Message

Structure	\$xxRMC, time, status, lat, NS, lon, EW, spd, cog, date, mv, mvEW, posMode, navStatus*cs\r\n
Example	\$GPRMC, 083559.00, A, 4717.11437, N, 00833.91522, E, 0.004, 77.52, 091202, ., ., A, v*57\r\n

4.3 사고위험도 분류 모델 구현

사고위험도 분류 모델은 컨테이너 적재 상태 영상을 기반으로 사고위험도를 분류를 수행한다. 사고위험도 분류 모델을 학습시키기 위해 직접 항만에서 취득한 컨테이너 정렬 상태 데이터셋[30]을 이용했다. 학습한 모델을 Nvidia Jetson AGX Xavier Developer Kit 장비에 탑재해 개발했으며 O/S는 Ubuntu 18.04 Aarch64 기반에 Darknet 환경을 구성해 YOLOv4를 사고위험도 분류 알고리즘으로 사용한다. Darknet 환경을 그대로 사용하지 않고 시스템에 요구에 맞춰 C/C++ 언어로 수정해 사고위험도 분류 모델을 구현했다. 결과 분석 모델로 사고위험도 분류 결과를 전송하는 과정에서 데이터를 중복으로 전송하는 문제가 발생했다. 이는 실시간 영상을 이미지로 추출해 같은 위치의 컨테이너 코너캐스팅만 사고위험도를 분류해 결과 분석 모델로 전송한다. 데이터베이스에 중복된 데이터가 감소하는 결과를 보였다.

사고위험도 분류 모델의 구동 화면은 Fig. 16과 같이 사고위험도 분류 결과를 포함하는 JSON과 분류 결과 영상을 출력한다.

4.4 결과 분석 모델 구현

결과 분석 모델에는 JSON 파싱과 데이터베이스 관리, 생성된 데이터의 대시보드 출력 기능이 있다. 각 기능을 따로 구현한다.

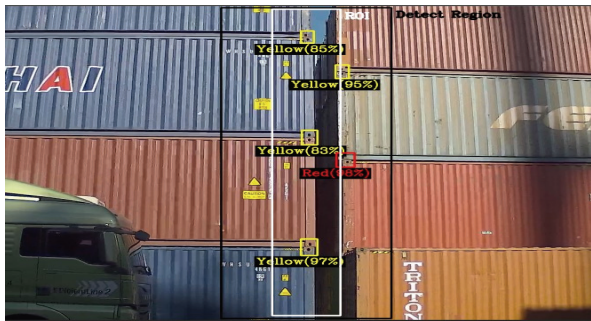


Fig. 15. ROI Areas of the Accident Risk Classification Model

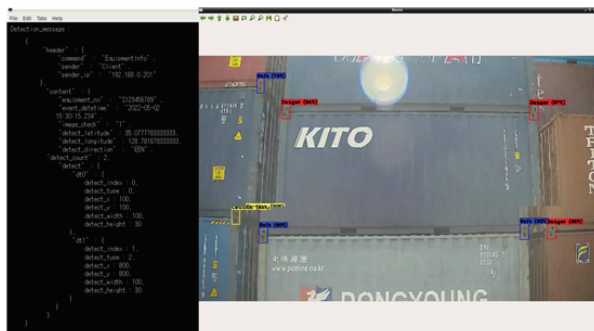


Fig. 16. Execution Screen of the Accident Risk Classification Model

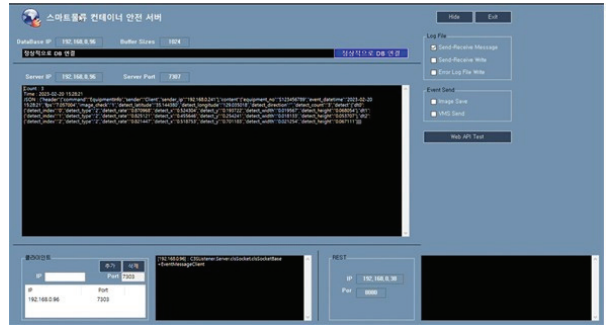


Fig. 17. Execution Screen of JSON Parsing Function

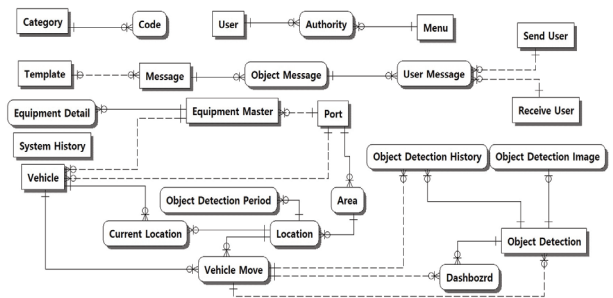


Fig. 18. Logical ERD

JSON 파싱 기능은 Window 기반으로 .Net Frame Work 4.5 이상 환경을 구성해 C# 언어로 구현했다. 구동 화면은 Fig. 17과 같이 사고위험도 분류 모델과 데이터베이스 연결 상태를 확인할 수 있고 메인 창에서는 객체 감지 서버에서 수신된 JSON 객체를 확인할 수 있다. 이 기능을 통해 실시간으로 수신된 JSON 객체를 파싱하여 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스에 저장된 데이터 JSON 객체로 생성해 TCP/IP 통신으로 대시보드에 실시간으로 분석된 데이터를 전송한다.

다음은 데이터베이스 관리 기능으로 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템에서 사용하는 데이터베이스는 Windows 기반의 SQL Server로 Fig. 18과 같은 논리적 ERD(Entity Relationship Diagram)와 Fig. 19와 같은 물리적 ERD를 설계해 시스템에서 사용할 테이블, 프로시저, 함수, 인덱스, 뷰 등을 생성한다.

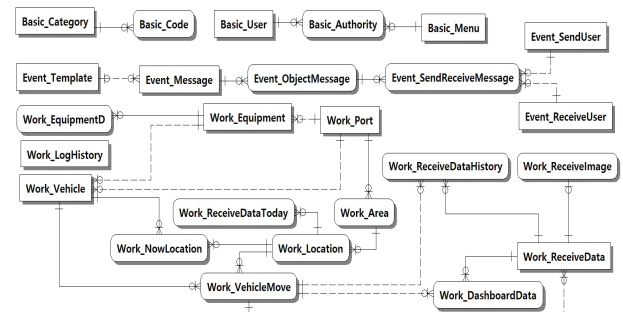


Fig. 19. Physical ERD

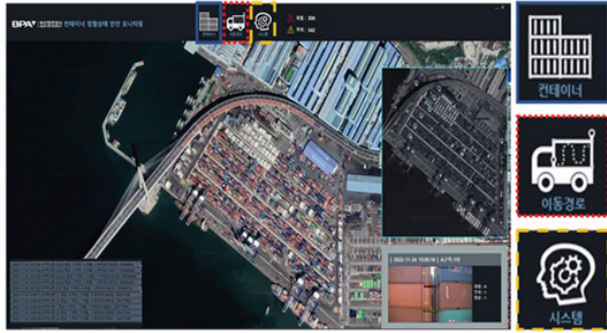


Fig. 20. Dashboard Menu Screen

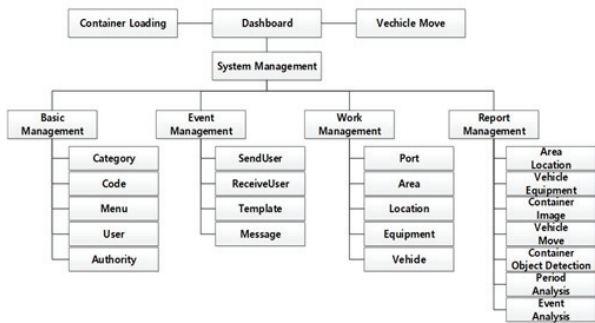


Fig. 21. Menu Diagram of AI-based Shipping Container Loading Safety Management System

데이터베이스는 데이터 처리 속도를 높이기 위해 별도의 프로시저 및 함수를 생성하고 인덱스를 설정한다. 또한 보안을 위해 각 프로시저와 함수는 암호화한다.

대시보드는 Windows 기반의 .Net Frame Work 4.5 이상 환경을 구성해 C# 언어로 구현했다. 대시보드 화면은 Fig. 20의 왼쪽 이미지와 같이 1920×1080 해상도를 고정하며, 대시보드 상단에는 Fig. 20의 오른쪽과 같이 컨테이너 이미지, 이동 경로 이미지, 시스템 이미지 등을 활용하여 시스템에 접근할 수 있도록 구현했다. 첫 번째 컨테이너 이미지 버튼은 컨테이너 코너캐스팅 사고위험도 정보 및 관련 이미지를 조회할 수 있는 팝업창이 호출되며 두 번째 이동 경로 이미지 버튼은 컨테이너 터미널에서 이동한 차량 위치 정보를 확인할 수 있는 팝업창이 호출된다. 마지막으로 시스템 이미지 버튼은 (Fig. 21)과 같은 메뉴 구조를 가진 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 관리할 수 있는 팝업창이 호출된다.

본 시스템의 메뉴 구성은 기준정보관리, 이벤트 정보관리, 작업정보관리, 분석관리로 구성되어 있다. 먼저 기준정보관리는 시스템에 사용되는 코드, 사용자, 메뉴, 권한 정보 등을 관리한다. 이벤트 정보관리는 시스템에서 송수신되는 메시지 정보 등을 관리한다. 작업정보관리는 시스템을 구성하는 위치 및 통신 장비 정보를 관리하며 컨테이너 코너캐스팅 사고위험도 정보와 차량 위치 정보 등을 관리하여 대시보드 화면에 수집된 정보들이 호출되도록 한다. 마지막으로 분석관리는 시스템에서 발생한 데이터를 관리자가 분석 및 조회할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 스마트항만을 추진하는 추세에 맞춰 인공지능 기술을 이용해 컨테이너 붕괴 사고를 예방하는 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 제안한다. 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템은 인공지능을 활용해 컨테이너 사고위험도를 분류하고 데이터베이스에 저장한다. 운영자는 저장된 정보를 통해 컨테이너 사고위험도를 파악하고 컨테이너 붕괴 사고를 예방하도록 한다. 이 시스템에는 데이터 수집 모델, 사고위험도 분류 모델, 결과 분석 모델 등 3가지 모델로 구성돼 있다. 실제 항만에 출입해 인공지능 기반 컨테이너 적재 안전관리 시스템을 실행한 결과 여러 컨테이너의 사고위험도를 파악할 수 있었다. 운영자는 컨테이너 적재 상태를 현장을 확인하지 않고 시스템을 통해 쉽게 파악할 수 있다. 또한 사고위험도가 높은 컨테이너만 필터링하여 기상악화와 같은 위급한 상황에 빠르게 재정비하여 사고를 예방할 수 있다.

## References

- [1] Serious Accident Punishment Act (Act No. 17907 of 26. Jan. 2021).
- [2] Special Port Safety Act (Act No. 18369 of 3. Aug. 2011).
- [3] Ministry of Oceans and Fisheries, "Shipping Container Safety Management Plan 2022," 2022.
- [4] H. J. Kang and S. J. Han, "A study on the establishment of a container terminal safety management plan based on risk assessment," *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.18, No.4, pp.873-882, 2022.
- [5] K. Mokhtari, "Advanced risk management in offshore terminals and marine ports," Doctoral thesis, Liverpool John Moores University, 2011.
- [6] C. Wan, "Modelling and systematic assessment of maritime container supply chain risks," Doctoral thesis, Liverpool John Moores University, 2018.
- [7] Y. L. Yang, J. F. Ding, C. C. Chiu, W. H. Shyu, W. J. Tseng, and M. T. Chou, "Core risk factors influencing safe handling operations for container terminals at Kaohsiung port," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, Vol.230, No.2, pp.444-453, 2014.
- [8] P. L. Pallis, "Port risk management in container terminals," *Transportation Research Procedia*, Vol.25, pp.4411-4421, 2017.
- [9] M. H. Chang and D. Y. Kang, "Factors affecting the information security awareness and perceived information security risk of employees of port companies," *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, Vol.36, No.3 pp. 261-271, 2012.



- [10] D. H. Yoon, Y. S. Choi, and S. G. Kim, "An assesment & analysis of risk based on accident category for container terminals," *Journal of Shipping and Logistics*, Vol.30, No. 4, pp.843-858, 2014.
- [11] ABS-A guide for risk evaluations for the classification of marine-related facilities[Internet], <http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/>
- [12] T. Yang and C. C. Hung, "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem," *Robotics and Computer-integrated manufacturing*, Vol.23, No.1, pp.126-137, 2007.
- [13] M. H. Ha and Z. Yang, "Modelling interdependency among attributes in MCDM: Its application in port performance measurement," *Multi-Criteria Decision Making in Maritime Studies and Logistics*, pp.323-354, 2017.
- [14] T. L. Saaty, "The analytic hierarchy process : Planning priority setting resource allocation," McGraw-Hill International Book, 1980.
- [15] T. L. Saaty, "Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process," *RACSAM - Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas*, Vol.102, No.2, pp.251-318, 2008.
- [16] R. R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.18, No.1, pp.183-190, 1988.
- [17] H. J. Lee and M. H. Ha, "Novel framework for evaluating container port risks - The case of Incheon Port -," *Korea Logistics Review*, Vol.32, No.4, pp.79-91, 2022.
- [18] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Guidance on qualitative bow-tie risk assessment techniques," KOSHA GUIDE, 2011.
- [19] S. H. Park, J. W. You, and Y. S. Kim, "A study on the improvement of safety management on container terminal -Using hazard identification and bow-tie method-," *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, Vol.43, No.1, pp.57-63, 2019.
- [20] Official Blog of Ulsan Port Authority[Internet], <https://m.blog.naver.com/PostList.naver?blogId=ulsan-port>.
- [21] J. Zhao et al., "Improved vision-based vehicle detection and classification by optimized YOLOv4," *IEEE Access*, Vol.10, pp.8590-8603, 2022.
- [22] J. Fan, J. Lee, I. Jung, and Y. Lee, "Improvement of object detection based on faster R-CNN and YOLO," *2021 36th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, pp.1-4, 2021.
- [23] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.39, No.6, pp.1137-1149, 2017.
- [24] Q. Guo, L. Liu, W. Xu, Y. Gong, X. Zhang, and W. Jing, "An improved faster R-CNN for high-speed railway drop-per detection," *IEEE Access*, Vol.8, pp.105622-105633, 2020.
- [25] Y.-H. Lee and Y. Kim, "Comparison of CNN and YOLO for object detection," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.19, No.1, pp.85-92, 2020.
- [26] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolov3: An incremental improvement," *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, 2018.
- [27] Z. Cong and X. Li, "Track obstacle detection algorithm based on YOLOv3," *2020 13th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, pp.12-17, 2020.
- [28] A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, and H. Y. M. Liao, "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection," *arXiv preprint arXiv:2004.10934*, 2020.
- [29] T. Yang and C. Tong, "Small traffic sign detector in real-time based on improved YOLO-v4," *2021 IEEE 23rd Int Conf on High Performance Computing & Communications: 7th Int Conf on Data Science & Systems: 19th Int Conf on Smart City: 7th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys)*, pp.1318-1324, 2021.
- [30] J. H. Yeon et al., "Shipping container load state and accident risk detection techniques based deep learning," *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems (KTCCS)*, Vol.11, No.11, pp.411-418, 2022.



김 상 우

<https://orcid.org/0000-0001-5544-6008>

e-mail : woogigi@hanmail.net

1999년 동서대학교 컴퓨터공학과(학사)

2021년 부산외국어대학교 ICT창의융합학과 (석사)

2021년~현 재 동의대학교 인공지능학과 박사과정

2021년~현 재 (주)서안에스앤씨 부설기술연구소 소장

관심분야 : 머신러닝, 딥러닝, 빅데이터, 데이터 관리



**오 세 영**

<https://orcid.org/0000-0002-8771-5839>  
e-mail : osy0784@gmail.com  
2022년 동의대학교 응용소프트웨어공학  
(학사)  
2022년~현 재 동의대학교 IT융합학과  
석사과정

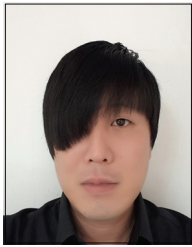
관심분야: 객체인식, YOLO, 딥러닝, 영상처리



**조 희 정**

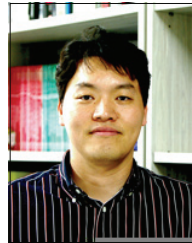
<https://orcid.org/0009-0006-4730-4310>  
e-mail : shineheej@naver.com  
2000년 밀양대학교 정보통신공학과(학사)  
2023년~현 재 동의대학교 인공지능학과  
석사과정  
2021년~현 재 (주)서안에스앤씨  
부설기술연구소 책임연구원

관심분야: 인공지능, 데이터시각화, 영상인식



**서 용 욱**

<https://orcid.org/0000-0003-2129-5760>  
e-mail : craser@naver.com  
2003년 부산외국어대학교 경영학과(학사)  
2022년 동의대학교 IT융합학과(석사)  
2016년~현 재 (주)서안에스앤씨 대표  
관심분야: 인공지능, 영상인식, 사물인터넷



**윤 주 상**

<https://orcid.org/0000-0001-9952-9649>  
e-mail : jsyoun@deu.ac.kr  
2001년 고려대학교 전기전자전파공학과  
(학사)  
2003년 고려대학교 전자공학과(석사)  
2008년 고려대학교 전자컴퓨터공과(박사)

2008년~현 재 동의대학교 산업ICT기술공학과 교수  
관심분야: 사물인터넷, 옛지컴퓨팅, 클라우드, 강화학습



**연 정 흠**

<https://orcid.org/0000-0002-5872-0727>  
e-mail : jhyeon@busanpa.com  
2001년 한국해양대학교 물류시스템공학  
(학사)  
2003년 한국해양대학교 물류시스템공학  
(석사)

2006년 한국해양대학교 물류시스템공학(박사)  
2003년~2005년 부산연구원 연구원  
2005년~2019년 부산광역시청 사무관  
2019년~현 재 부산항만공사 항만R&D실 실장  
관심분야: 스마트 물류, 항만 자동화, 디지털전환