

옥상 출입 통제 문제 해결을 위한 지능형 CCTV 기반 비상 상황 감지 시스템 제안

강 예 은*, 함 소 영**, 좌 승 채**, 이 하 니**, 김 성 민**, 김 학 경***

요 약

최근 인공지능 기술의 발전으로 한강 교량이나 건설 현장 등 수많은 환경에 지능형 CCTV가 설치 및 운용되고 있다. 한편 사고 및 범죄 유발의 가능성, 재해 시 대피 공간으로의 활용도로 인해 건축물 옥상 개폐 여부에 대한 대립이 존재한다. 법률에서는 지정된 건축물 옥상 출입문의 상시 개방을 원칙으로 하고 있지만, 사실상 방법의 이유로 암묵적으로 폐쇄를 허용하고 있으며 마땅한 법적 조치가 부재하다. 본 연구는 이러한 맥락에서, 지능형 CCTV를 활용하여 옥상에서 발생할 수 있는 비상 상황에 대응하기 위한 감지 시스템을 제안한다. YOLOv5 객체 탐지 모델을 기반으로 한 폭행 및 투신 상황을 실시간으로 감지하는 시스템을 구축하였으며, 새로운 매트릭 IoP(Intersection Over Person)를 도입하여 투신 상황을 평가하였다. 실험 결과, 제안된 시스템은 폭행 및 투신 상황을 신속하게 탐지하며 높은 정확도를 보여주었다. 또한, 옥상 출입문 관리에 관한 법적 분석을 통해 옥상 출입문 개방과 CCTV 설치에 대한 제도적 미비점을 파악하고 개선방안을 제시하였다. 기술적·법적인 개선으로 옥상 환경에서의 범죄 및 사고 발생이 감소할 것으로 기대된다.

An Intelligent CCTV-Based Emergency Detection System for Rooftop Access Control Problems

Yeeun Kang*, Soyoung Ham**, Seungchae Joa**, Hani Lee**,
Seongmin Kim**, Hakkyong Kim***

ABSTRACT

With advancements in artificial intelligence technology, intelligent CCTV systems are being deployed across various environments, such as river bridges and construction sites. However, a conflict arises regarding the opening and closing of rooftop access points due to concerns over potential accidents and crime incidents and their role as emergency evacuation spaces. While the relevant law typically mandates the constant opening of designated rooftop access points, closures are often tacitly permitted in practice for security reasons, with a lack of appropriate legal measures. In this context, this study proposes a detection system utilizing intelligent CCTV to respond to emergencies that may occur on rooftops. We develop a system based on the YOLOv5 object detection model to detect assault and suicide attempts by jumping, introducing a new metric to assess them. Experimental results demonstrate that the proposed system rapidly detects assault and suicide attempts with high accuracy. Additionally, through a legal analysis of rooftop access point management, deficiencies in the legal framework regarding rooftop access and CCTV installation are identified, and improvement measures are proposed. With technological and legal improvements, we believe that crime and accident incidents in rooftop environments will decrease.

Key words : Artificial Intelligence(AI), Intelligent CCTV, Rooftop Emergency Situation Detection System

접수일(2024년 02월 14일), 수정일(1차: 2024년 03월 06일),
게재확정일(2024년 03월 25일)

* 성신여자대학교 융합보안공학과(주저자)

** 성신여자대학교 융합보안공학과(공동저자)

*** 성신여자대학교 융합보안공학과(교신저자)

1. 서 론

건축물 옥상은 최고층이라는 높이로 인한 환경의 특수성과 폐쇄성으로 인해 폭력행위, 청소년의 비행, 투신 및 추락사고 등 수많은 위험이 발생하는 공간이다. 한편, 옥상은 건물 내에서 화재를 비롯한 각종 재난·재해 상황이 발생했을 때 대피 공간이라는 중요한 공간으로서의 역할을 하기도 한다. 이러한 옥상 공간의 필요를 고려하여, 국내에서는 『소방시설 설치 및 관리에 관한 법률』(이하 『소방시설법』) 제16조에 따라 5층 이상 공동주택을 비롯한 지정된 건축물의 옥상 출입문은 상시 개방하는 것이 원칙이나, 평상시에는 방법 문제로 인해 폐쇄하는 경우가 대다수이다. 소방청에서 2022년 발간한 『소방시설법령질의회신집』 [1]에 의하면, 옥상 출입문 개방으로 인해 안전사고 발생 우려가 있는 경우 평상시에는 잠금 상태로 관리할 수 있고, 출입문 의무 개방 대상이 아닌 건축물 등의 경우 별다른 처벌 조항이 마련되어 있지 않다.

옥상 개폐 문제와 이에 수반되는 우려 사항을 보완하고자, 2016년 2월 국토교통부에서 주택건설 등에 관한 규정을 개정하여 옥상 출입문 자동개폐장치 설치를 의무화하였다. 하지만 방법을 위한 출입문 폐쇄는 재난 상황 발생 시 대피로 차단이라는 리스크로 이어지며, 상시 개방과 비교했을 때 여전히 신속한 상황 대응 측면에서 한계가 있다. 상시 개방 상황 또한 옥상 공간 및 영상정보처리기기(이하 CCTV) 운용에 관한 제도적 미비로 인해, 보안 사각지대에서의 범죄 발생 우려라는 근본적인 어려움이 존재한다.

최근 한강 교량[2]과 건설 현장[3] 등에 설치되고 있는 지능형 CCTV의 도입 사례와 같이, 옥상에서의 위협을 통제함과 동시에 재난 대응 관점에서 출입문 폐쇄 시의 문제점을 기술적으로 해결할 수 있다. 특히 지능형 CCTV의 도입을 통해 정확한 사고 및 범죄 상황에 대한 탐지가 이루어진다면, 옥상을 상시 개방해도 무방한 환경이 조성될 것으로 예상된다. 이러한 지능형 CCTV의 핵심 기반 기술은 객체에 대한 탐지로 볼 수 있으며, 객체 탐지에 특화된 인공지능 모델을 활용하여 사고 및 범죄 상황을 탐지하기 위한 연구가 수행되었다[7, 8, 9]. 그러나 제안된 기존 탐지 모델을 단순 적용하는 것은 옥상이라는 공간에서 발생하는 특수한

사고 및 범죄 탐지에 부적합하다.

이에 본 연구에서는 지능형 CCTV를 기반으로 하여 옥상에서 발생할 수 있는 비상 상황에 즉시 대처하기 위한 감지 시스템을 제안한다. 옥상에서 발생하는 특수한 위험 상황 감지를 위해, YOLOv5 객체 탐지 모델을 기반으로 옥상 공간에서 빈번하게 발생하는 폭행 및 투신 상황 감지를 위한 시스템을 개발하였다. 또한, 자체 데이터 세트를 구축하여 학습된 객체 탐지 모델의 결과로부터 투신 상황을 감지하기 위한 메트릭을 새롭게 제안하였다. 성능 평가 결과, 폭행 및 투신 상황에 해당하는 테스트 데이터에 대해 실시간으로 높은 탐지 정확도를 보임을 확인하였다.

또한, 옥상 내 지능형 CCTV의 원활한 도입을 위한 관련 법령과 제도를 충분히 검토하여 옥상 출입문 개방과 CCTV 설치에 관한 제도적 미비점을 파악하고 법률 개정 및 확대 등의 개선방안을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 객체 탐지 모델에 대한 배경지식 및 관련 선행연구를 분석한다. 3장에서는 방법 및 방재를 아우르는 옥상 출입문 상시 개방과 기술적 대안의 필요성을 고찰하고자 옥상 출입문 개폐에 관해 다학제적(multi-disciplinary)으로 접근하여 탐구한다. 4장에서는 YOLO 모델 기반의 옥상 내 폭행 및 투신 행위 감지 시스템 설계를 다루고, 5장에서 성능 평가를 수행한다. 이후 6장에서 건축물 옥상 출입문 개폐 및 CCTV 설치에 관한 법제 분석을 통해 제도적 현황을 파악하여 개선 방향을 제안한 뒤 7장에서 결론과 함께 논문을 마무리한다.

2. 배경지식 및 선행연구

YOLO(You Only Look Once)[4]는 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 기반으로 하는 객체 인식 모델로, 입력된 이미지를 일정한 그리드로 분할한 후 bounding box나 클래스 예측 등을 통합하여 객체에 대한 최종 감지 출력을 결정한다. 기존의 CNN과는 달리, YOLO 모델은 한 번의 패스로 영상의 전체 영역을 탐지하는 단일 신경망을 사용하여 빠른 속도를 보장하여 실시간으로 객체 검출이 가능하다.

최초의 YOLO 모델 등장 이후, 이를 개선한 YOLOv

3, YOLOv4, YOLOv5 등의 모델들이 제안되었다. 이중 YOLOv5[5]는 Pytorch로 구현된 CSPNet 기반의 모델로, 빠른 처리 시간과 준수한 성능을 보장하여 객체 탐지 분야에서 다양하게 활용되고 있다. YOLOv5와 유사한 모델인 Faster RCNN의 성능 비교 평가를 수행한 선행 연구[6]에 따르면, YOLOv5는 Faster RCNN 모델 대비 16.5% 더 좋은 평균 정밀도(Average Precision)를 가지면서도 추론 시간(inference time)은 93.7% 감소한 결과를 보였다. CCTV 기반의 비상 상황 감지를 위해서는 정확한 객체 탐지가 선결 조건이기에, 본 연구에서는 YOLOv5 모델을 활용하였다.

각종 사건·사고를 대응하기 위해 YOLO 모델을 이용한 이상행동 탐지 연구는 꾸준히 이루어지고 있다. 김현준 외 2인은[7]은 AI-Hub에서 실신 데이터를 수집하고 안전장비 데이터를 라벨링 한 후 YOLOv5s 모델을 사용하여 건설 등 산업 현장에서의 안전장비 착용과 쓰러짐을 감지하는 시스템을 구현 및 제안하였다. 이상락 외 4인은[8]은 YOLO 플랫폼을 사용하여 실시간으로 CCTV에서 폭력을 감지하고, 모니터링하는 관리자에게 이를 알리는 시스템을 제안하였다. 또한, 신찬휘 외 2인은[9]는 Flask 웹 서버와 YOLOv5 모델을 결합한 후 AI-Hub의 이상행동 CCTV 데이터를 이용하여 폭력행위를 실시간으로 탐지하는 학교폭력 감지 시스템 개발을 제안하였다.

전술한 선행연구에서는 쓰러짐, 폭행과 같은 인간의 이상행동을 검출하는 시스템을 제시하였으나, 다양한 이상행동 또는 비상 상황을 복합적으로 탐지하는 기능을 개발하는 단계에 도달하진 않았다. 또한, 기존 연구들은 기술적 활용에 관한 탐구에 치중되어 있어, 해당 기술들이 실제로 적용되기 위한 법제 분석 및 필요한 제도적 개선 방향 등이 충분히 논의되지 않았다. 본 논문에서는 YOLOv5s 객체 탐지 모델을 기반으로 하여 건축물 옥상에서의 폭행 및 투신이라는 복수의 상황을 각각 정확히 감지하는 지능형 CCTV 기반 비상 상황 감지 및 대응 시스템을 제안하고자 한다.

3. 옥상 개폐 여부의 다학제적 접근

위험을 제거하기 위한 기술이나 정책이 예상하지 못한 또 다른 위험을 일으킬 수 있다는 위험 항상성(risk

homeostasis) 이론[10, 11]에 따라 범죄 및 사고를 방지하기 위한 옥상 출입문의 폐쇄는 건물 화재 발생 시 인명피해 위험을 초래할 수 있다. 이로 인해 옥상 개폐 여부에 대한 경찰 측과 소방 측의 입장은 상이하다. 경찰 측은 각종 위험을 막기 위해 출입문을 폐쇄해야 한다고 주장하는 반면, 소방 측은 대피로 확보를 위해 옥상 문을 상시 개방해야 한다고 주장한다. 위험 항상성 이론에 따른 충돌을 회피하기 위해서는 폐쇄된 출입문이 소방방법에 위반될 뿐만 아니라 실화, 방화, 자연발화 등 모든 화재 위험에 대한 취약성을 전혀 고려하지 못한다는 한계를 인지해야 한다. 따라서 미국 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency)에서 제시한 보안설계 원칙 'FEMA 430'에 명시된 다학제적 접근법(multi-disciplinary approach)[12]과 같이 범죄 안전과 재난 안전을 함께 고려한 대책을 세울 필요가 있다.

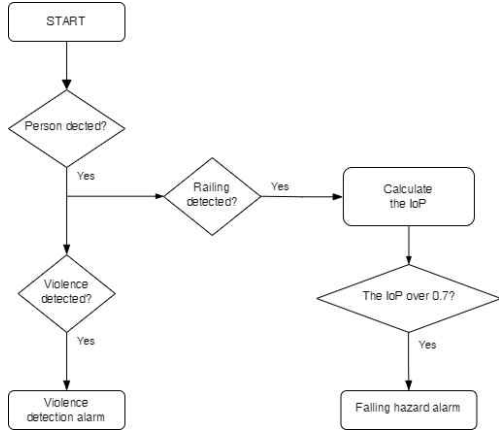
2016년 옥상 출입문 자동개폐장치의 설치가 의무화되어 평소에는 옥상 출입문을 닫아 위험을 예방하고 화재 발생 시에는 자동으로 출입문이 열리는 시스템으로 다학제적 접근법을 사용한 대책이 세워졌다. 하지만 자동개폐장치는 미작동이나 오작동 등의 고장이 나면 화재 발생 시 대피로 확보가 불가능하며, 정기적인 점검이 이루어지지 않는다면 고장 여부를 파악하기 어려운 취약성이 존재한다. 이에 따라 자동개폐장치의 결함을 보완할 수 있는 새로운 대안이 필요할 것으로 사료된다. 자동개폐장치가 평소에는 출입문을 폐쇄하려는 방안이었다면, 본 연구에서는 출입문이 상시 개방될 수 있는데 중점을 두고자 한다.

4. 지능형 CCTV 기반 비상 상황 감지 시스템

4.1 폭행 및 투신 감지 시스템 동작 흐름도

폭행 및 투신 감지 시스템은 옥상에 설치된 CCTV를 통해 옥상 상황을 실시간으로 지켜보며, YOLOv5 모델을 기반으로 폭행과 투신 상황을 감지한다. 제안한 시스템에서 폭행 및 투신을 탐지하는 과정은 (그림 1)과 같다. 먼저 폭행의 경우, YOLOv5 모델에서 사람 객체가 감지되었을 때 폭행 객체가 같이 감지되었는지

확인한다. 이때, 폭행 객체는 사람 객체와 마찬가지로 폭행 상황 발생 여부를 라벨링하여 학습시켰으며, 사람 객체와 폭행 객체가 모두 감지되었을 시 폭행 상황으로 간주한다.



(그림 1) 폭행 및 투신 감지 시스템 흐름도

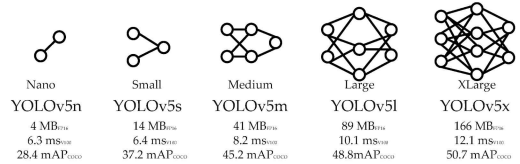
투신의 경우, 상황 감지를 위해 자체적으로 IoP(Intersction Over Person)라는 메트릭을 정의하여 이를 기반으로 탐지한다. 해당 메트릭을 계산하기 위해서는 사람 객체와 난간 객체에 대한 탐지가 선행되어야 한다. 이에, 먼저 YOLOv5 모델에서 사람 객체가 감지되었을 때 난간 객체가 같이 감지되었는지 확인한다. 두 객체가 모두 감지되었을 시 난간과 사람의 bounding box를 이용하여 IoP를 계산한다.

$$IoP = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of person}} \quad (1)$$

IoP는 사람 bounding box가 난간 bounding box와 얼마나 겹치는지를 나타내는 지표이다. 이는 0부터 1까지의 값을 가지며, 두 영역의 겹치는 면적을 사람의 전체 면적으로 나눈 값으로 계산된다. 제한한 감지 시스템에서는 계산된 IoP가 일정 임계값 이상일 시 투신 상황으로 판단한다. 본 연구에서는 해당 임계값을 실증 데이터를 통해 0.7로 설정하였다.

4.2 비상 상황 데이터 셋 구축 및 학습

아래 (그림 2)와 같이 YOLOv5 모델은 YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x으로 구성된다[13]. YOLOv5n에서 YOLOv5x으로 갈수록 성능은 좋아지지만, 속도가 느려지고 초당 프레임(Frame Per Second)이 감소한다는 단점이 있다. 옥상 상황에서는 신속한 탐지가 중요하다는 점을 고려하여 본 연구에서는 학습 및 처리 속도가 빠르며 용량이 적고 학습 환경 구축이 쉬운 YOLOv5s를 학습 모델로 선정하였다.



(그림 2) YOLOv5의 버전

PyTorch를 기반으로 모델을 구현하고, google colaboryatory 환경에서 런타임 유형은 Python 3, 하드웨어 가속기는 V100 GPU를 사용해 학습을 진행하였다. 학습에는 라벨링한 1,275개의 이미지를 사용하였으며, 학습 횟수(epochs)는 200회, 배치 크기(batch size)는 16으로 설정하였다.

폭행 상황의 데이터 셋은 AI-Hub의 이상행동 CCT V 데이터 영상[14]에서 폭행과 싸움이 일어나는 상황을 선별하여 (그림 3)과 같이 1,000개의 폭행 상황 이미지 데이터를 수집하였다. 투신 상황의 경우 직접 촬영한 영상에서 275개의 이미지를 확보하였다. 수집된 데이터는 roboflow[15]에서 제공하는 툴을 사용하여 폭행과 투신 상황에 대해 클래스(class)별로 라벨링 하였다.

폭행 상황의 경우, 폭행 직전의 동작과 폭행 직후의 동작을 선별하여[9] 라벨링을 했으며, 투신 상황은 (그림 4)와 같이 사람이 난간과 멀리 떨어진 상황과 가까운 상황을 선별하여 라벨링을 하였다. 클래스는 person, violence, railing 총 3개로 구분하였으며, 학습 데이터는 훈련(training), 검증(validation), 시험(test) 순으로 7:2:1 비율로 분류하였다.



(그림 3) 폭행 직전/직후 이미지



(그림 4) 난간과 먼/가까운 상황의 이미지

```
elif class_idx == 2: # 폭행 클래스
    label = "violence"
    color = (0, 0, 255) # 빨간색
    violence_boxes.append(bbox)
    violence_detected = True # 폭력 감지됨
    print(f"폭행 상황이 감지되었습니다.")

# 폭행이 감지된 경우 새로운 OpenCV 창 열기
if violence_detected:
    img_violence_detected = np.zeros((150, 300, 3), dtype=np.uint8)
    b, g, r, a = 255, 255, 255, 0
    fontpath = "fonts/gulim.ttc"
    font = ImageFont.truetype(fontpath, 20)
    img_pil_violence_detected = Image.fromarray(img_violence_detected)
    draw = ImageDraw.Draw(img_pil_violence_detected)
    draw.text((60, 70), "폭행이 감지되었습니다", font=font, fill=(b, g, r, a))
    img_violence_detected = np.array(img_pil_violence_detected)
    cv2.imshow("Violence Detected", img_violence_detected)
```

(그림 5) 폭행/투신 상황을 감지하는 과정

4.3 폭행 및 투신 실시간 탐지

(그림 1)의 흐름도를 바탕으로 4.2에서 학습한 YOLOv5 모델을 이용하여 폭행 및 투신을 탐지하는 시스템을 구현하였다. 구현을 위해 Python과 오픈 소스 라이브러리인 OpenCV를 사용하였다.

폭행 및 투신 감지 시스템은 육상에 설치된 CCTV를 통해 얻은 영상을 프레임 이미지로 받아온다. 이렇

게 얻은 이미지를 텐서 형태로 변환시킨 후, 4.1의 프로세스를 거쳐 폭행 및 투신 상황을 탐지한다.

(그림 5)는 각각 폭행 상황과 투신 상황을 감지하는 과정과, 감지하였을 때 알림을 보내는 시스템을 구현한 내용이다.

폭행의 경우, YOLOv5 가중치 파일을 통하여 이미지에서 폭행 객체가 감지되었는지 확인한다. 폭행 상황이 감지되었을 시 OpenCV 창을 통해 폭행 상황이 감지되었다는 알림을 출력한다.

투신의 경우, YOLOv5 가중치 파일로 구한 사람과 난간 객체의 bounding box를 이용하여 IoP를 계산한다. 이렇게 계산한 IoP가 0.7이 넘을 시 투신 상황으로 판단한다. 투신 상황이 감지되었을 때 OpenCV 창을 통해 투신 상황이 감지되었다는 알림을 출력한다.

5. 성능 평가

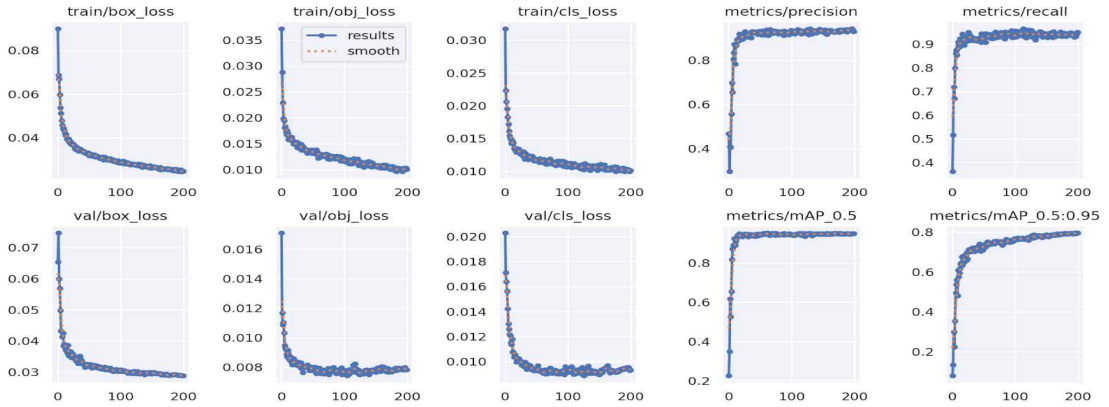
5.1 실험 환경 및 성능 평가

```
for ralling_box in ralling_boxes:
    # 교차 반올림 계산
    IoP = 0
    for person_box in person_boxes:
        intersection = [max(ralling_box[0], person_box[0]), max(ralling_box[1], person_box[1]),
                        min(ralling_box[2], person_box[2]), min(ralling_box[3], person_box[3])]

        area_intersection = max(0, intersection[2] - intersection[0] + 1) * max(0, intersection[3] - intersection[1] + 1)
        # 가장 객체의 전체 면적
        area_person = (person_box[2] - person_box[0] + 1) * (person_box[3] - person_box[1] + 1)
        # IoP 계산
        current_IoP = area_intersection / area_person
        if current_IoP > IoP:
            IoP = current_IoP
    # 현재 난간 객체가 가장 많이 겹친 경우 저장
    if IoP > max_IoP:
        max_IoP = IoP
    # IoP 값이 0.7 이상인 경우 새로운 OpenCV 창 열기
    if max_IoP > 0.7:
        img_IoP_detected = np.zeros((150, 300, 3), dtype=np.uint8)
        b, g, r, a = 255, 255, 255, 0
        fontpath = "fonts/gulim.ttc"
        font = ImageFont.truetype(fontpath, 20)
        img_pil_IoP_detected = Image.fromarray(img_IoP_detected)
        draw = ImageDraw.Draw(img_pil_IoP_detected)
        draw.text((60, 70), "투신이 감지되었습니다", font=font, fill=(b, g, r, a))
        img_IoP_detected = np.array(img_pil_IoP_detected)
        cv2.imshow("IoP Detected", img_IoP_detected)
```

설계한 시스템의 결과를 검증하기 전, 폭행 및 투신 시스템이 학습한 YOLOv5 모델을 바탕으로 구현되므로 4.2에서 학습한 YOLOv5 모델에 대한 검증을 우선으로 진행하였다.

(그림 6)에서 box_loss는 감소하는 그래프를 그리고, 정밀도, 재현율, mAP 그래프는 1에 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 학습이 다 회차 반복 진행될수록 이전에 발생한 오류가 개선되며 손실률이 점차



(그림 6) YOLOv5 커스텀 학습 결과 그래프

감소하고, 동시에 높은 학습률을 보임을 확인할 수 있다.

사용한 분류 모델의 성능을 평가하기 위한 지표는 정밀도(precision), 재현율(recall), F1-score, AP(Average Precision), mAP(mean Average Precision)이다. <표 1>을 통해 정밀도, 재현율, F1-score를 계산하였으며, 이에 대한 식은 식 (2)~(4)와 같다. 정밀도는 모델이 참이라고 예측한 경우 중에서 실제 참인 비율을, 재현율은 실제 참인 경우 중 모델이 참이라고 맞춘 비율을 의미한다. F1-score는 정밀도와 재현율의 조화평균이다.

<표 1> 인공지능 모델의 결과 분류 방법

actual class	result by deep learning model or predict result or predict class??	
	positive	negative
positive	TP (True Positive)	FN (False Negative)
negative	FP (False Positive)	TN (True Negative)

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

<표 2> confusion matrix

사실 \ 예측	person	railing	violence	backgro und
person	0.89	-	0.27	0.53
railing	-	1.00	-	0.01
violence	0.04	-	0.69	0.47
backgro und	0.07	-	0.04	-

<표 3> 각 클래스에 대한 precision, recall, F1-score, AP

	precision	recall	F1-score	AP
person	0.875	0.914	0.894	0.89
railing	0.994	1.000	0.997	1.00
violence	0.992	0.937	0.929	0.69

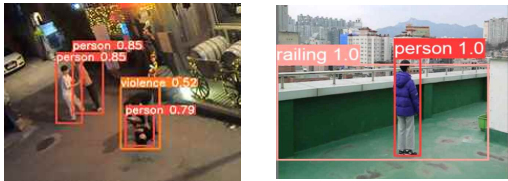
<표 2>에서 혼동 행렬(confusion matrix)의 실제 범주 값(actual condition)과 예측 범주 값(predicted condition)을 활용하여 학습한 모델의 예측 결과를 평가했다. 전체적인 수치는 <표 3>와 같이 정밀도와 재현율, F1-score은 모두 0.8 이상, 3개 클래스에 대한 AP의 평균값 mAP는 79.6%로 모델의 성능이 양호함을 확인하였다.

5.2 실험결과 및 분석

사전 데이터 셋을 학습한 YOLOv5 모델과 Python을 이용하여 구현한 폭행 및 투신 탐지 시스템의 평가

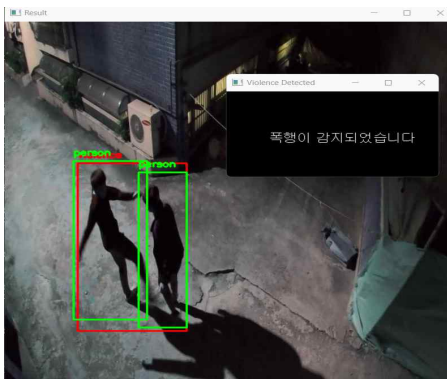
결과는 다음과 같다.

폭행 상황이 발생한 이미지에 대해, (그림 8)과 같이 폭행 객체를 정확히 감지하고 bounding box와 함께 폭행 상황이 감지되었다는 알람을 출력하는 것을 확인하였다. 둘 이상의 사람들이 모여 있을 때 폭행으로 오인될 가능성이 있었지만, (그림 7)과 같이 폭행 상황이 아닌 경우에는 각각의 사람 객체만을 탐지하는 것을 확인하였다.

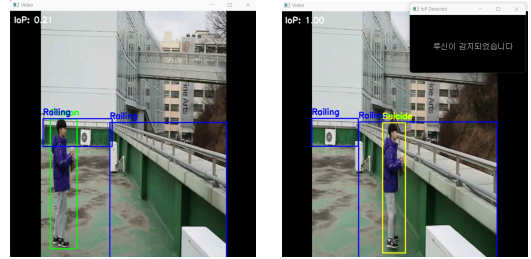


(그림 7) 검증 데이터 검출 결과

투신 상황을 감지할 수 있는지 검증하기 위하여 사람이 난간에서 멀리 떨어진 이미지와 난간에 가까이 접근한 이미지로 실험하였다. 그 결과, (그림 9)와 같이 IoP 값을 구한 후 IoP가 임계값 0.7을 넘어섰을 때만 투신 상황으로 판단하여 알람을 출력하는 것을 확인하였다.



(그림 8) 폭행을 감지했을 때 시스템 구현 결과



(그림 9) IoP가 0.2일 때와 1일 때 시스템 구현 결과

6. 법제 분석

옥상 출입문을 상시로 개방하기 위해서 단순히 기술적인 부분만 고려해서는 안 된다. 지능형 CCTV의 설치와 관리를 위한 명확한 기준 및 가이드라인을 마련하여, 옥상 출입문 상시 개방 시 제도적 미비로 발생할 수 있는 문제를 최소화하여야 한다.

따라서 옥상 출입문 관리와 건축물 CCTV에 관한 제도적 실태를 파악하고, 지능형 CCTV가 현행법에서 적용 가능한지 검토하여 실제 위기관리 시스템 관점에서 원활한 작동을 보장하기 위해 관련 법제 분석을 진행하였다. 옥상 출입문 개방 자체에 관한 법제, 옥상을 비롯한 건축물의 CCTV 설치에 관한 법제로 나누어 조사 및 분석하였다.

6.1 건축물 옥상 출입문 개방에 관한 법제 분석

앞에서 간략히 설명되었지만, 『소방시설법』 제16조에 따르면, 5층 이상의 공동주택 등 건축물은 재해 발생 시 피난 및 방화 용도를 수행하는 시설을 폐쇄하여서는 안 된다. 따라서 원칙적으로 아파트 등 건축물의 옥상은 상시 개방되어 있어야 하지만, 소방청 『소방시설법령질의회신집』 [1]의 답변 내용(소방제도과-1548, 2010.4.14)에 의하면 옥상 출입문 개방 시 안전사고 발생 우려가 있는 경우 평상시에는 잠금 상태로 관리할 수 있다.

또한 옥상 출입문 의무 개방 대상이 아닌 다세대 주택, 연립 주택, 다가구 주택 등의 경우 『소방시설법』 내 별다른 처벌 조항이 마련되어 있지 않다.

건축법 시행령 제40조와 주택건설기준 등에 관한 규칙 제16조에 의거한, 2016년 2월 29일 이후에 지어진 건축물을 제외한 건축물의 옥상 문 개방은 법으로 따로 규정되어 있지 않다. 『소방시설법령질의회신집』 [1]에서는 이러한 건축물의 옥상 출입문은 관계인의 판단에 따라 관리하도록 권장하고 있다.

6.2 건축물 영상정보처리기기(CCTV) 설치에 관한 법적 분석

국토교통부 범죄예방 건축기준 고시 제10조에 따르면, 100세대 이상 아파트의 옥상 출입구에 CCTV를 설치하는 것은 필수로 규정되어 있다.

동 고시 제11조에서는 제10조에 해당하지 않는 다가구 주택, 다세대 주택, 연립 주택, 100세대 미만의 아파트, 오피스텔 등의 건축물에 대해 규정하며, 이 분류에 속하는 건축물에 CCTV 설치를 권장하고 있다.

주택단지 내 영상정보처리기기 설치 자체에 관한 사항은 주택건설기준 등에 관한 규정 제39조, 주택건설기준 등에 관한 규칙 제9조 등에서 확인할 수 있었다. 특정 조건을 충족하는 공동주택에는 보안 및 방법 목적으로 개인정보 보호법 시행령에 따른 CCTV를 설치해야 한다.

6.3 제도적 미비점 및 개선방안 제안

건축물 옥상 개방 및 CCTV 설치에 관한 법제를 분석한 결과, 옥상 개방 여부에 관한 제도가 모호하였다. 옥상 개방 여부가 명확하게 규정되어 있지 않았기 때문에 출입구가 아닌 옥상 내부의 CCTV 설치에 관한 조항이 별도로 제정되어 있지 않았다.

『소방시설법』 제16조를 개정하여, 대피공간이 없는 건축물 옥상을 제외한 다세대 주택, 연립 주택, 다가구 주택 등을 기존 옥상 출입문 의무 개방 대상에 포함시켜야 한다. 이로써 옥상 출입문의 상시 개방이 이뤄짐에 따라 비상시 피난시설을 확보할 수 있다. 이후 옥상 상시 개방으로 인해 발생할 수 있는 범죄 및 사고를 예방하기 위한 지능형 CCTV의 도입이 원활히 이뤄질 수 있도록 국토교통부 범죄예방 건축기준 고시에 규정된 CCTV 설치 장소를 옥상 내부로 확대하는 제도적 보완이 필요하다.

7. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 옥상 출입문을 상시 개방한 상태로 옥상 공간에서 빈번하게 발생하는 폭행 및 투신 상황을 예방하는 방안을 제시하였다. 또한, 제도적인 미비점을 파악하고 완성도 있는 시스템을 개발하고자 법적 개선점을 함께 제안하였다.

먼저 폭행 객체 감지 테스트에서 mAP 75.8% 결과를 도출하여, 폭행 상황이 아닌 경우에는 개별 사람 객체만을 탐지하는 것을 확인하였다. 향후 다양한 폭행 형태의 데이터 셋을 확보하여 시스템 성능을 개선할 필요가 있다. 또한, 자체적으로 정의한 메트릭 IoP를 활용하여 투신 상황 판단의 정확도를 향상시켰다. 275개의 실증 데이터 셋을 통해 IoP의 임계값을 0.7로 설정함으로써 이를 입증하였다. 향후에는 1,000개 이상의 학습 데이터를 구축하여 더욱 정확한 결과를 얻기 위한 임계값을 찾고자 한다.

옥상 출입문 개방에 관한 제도의 모호함과 별도로 제정되지 않은 옥상 공간 내부의 CCTV 설치에 관한 조항을 파악하였다. 옥상 내 지능형 CCTV의 원활한 도입을 위해 『소방시설법』 제16조의 옥상 출입문 의무 개방 대상 수정과 함께 국토교통부의 범죄예방 건축기준 고시에서 CCTV 설치 장소를 옥상 내부로 확대하는 개선방안을 제안하였다.

지능형 CCTV의 도입으로 향후 출입문을 상시 개방했을 때 옥상에서의 사건 및 사고에 효율적으로 대처할 수 있을 것으로 예상되며, 이러한 효과는 옥상 대피로 확보와 함께 옥상 공간 내부 방법 효과의 비약적인 증대로 이어질 것으로 전망된다. 더불어 현행 법률에서 모호한 옥상 공간 개방과 CCTV 설치 및 관리에 대한 법제를 체계적으로 보완함으로써, 기술적·법적인 개선으로 옥상 환경에서의 범죄 및 사고 발생이 감소할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 소방청, 소방시설법령질의회신집, 2015, 2022.
- [2] "서울시, 한강교량 극단적 시도 AI 딥러닝 기반 CCTV 통합관제로 신속하게 초동대응", 서울특별시, 2021년 12월 02일 수정, 2024년 02월 13일 접속, <https://news.seoul.go.kr/safe/archives/509205>
- [3] 임대준, "현대건설, 인공지능 기반 CCTV 영상 분석 시스템 개발", AI타임즈, 2022년 12월 05일 수정, 2024년 02월 13일 접속, <https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=148253>
- [4] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A, You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp.779-788, 2016.
- [5] Jocher, G., Stoken, A., Borovec, J., Changyu, L., Hogan, A., Diaconu, L., ... & Reñé Claramunt, E, ultralytics/yolov5: v3. 0. Zenodo, 2020.
- [6] 조영완, 이명학, 김대회, 이재구, "깊은 신경망 기반 객체 인식기를 활용한 교통 약자 인식", 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 1402-1403, 2020.
- [7] 김현준, 최수일, "YOLO 기반의 실시간 안전장비 착용 및 이상행동 감지 시스템", 대한전자공학회 학술대회, pp. 526-527, 2021.
- [8] 이상락, 손병수, 박준호, 최병윤, "YOLO 인공지능 플랫폼을 이용한 이상행동 감지 시스템", 한국정보통신학회 종합학술대회 논문집, 제25권, 제1호, pp.431-433, 2021.
- [9] 신찬휘, 문미경, "YOLO 기반 학교폭력 감지 시스템", 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집, 제31권, 제2호, pp. 703-704, 2023.
- [10] Gerald. J. S. Wilde, "Risk homeostasis theory: an overview", Injury Prevention, 제4호, pp.89 - 91, 1998.
- [11] 김학경, "미국 뉴욕경찰국의 범죄예방 진단정책에 관한 연구: 침입범죄예방 진단체크리스트를 중심으로", Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, 제5권, 제5호, pp. 449-459, 2015.
- [12] FEMA, Risk Management Series: Site and Urban Design for Security, 2007.
- [13] Sheng, W.; Shen, J.; Huang, Q.; Liu, Z.; Lin, J.; Zhu, Q., "Zhou, L. Symmetry-Based Fusion Algorithm for Bone Age Detection with YOLOv5 and ResNet34," Symmetry, 2023, <https://doi.org/10.3390/sym15071377>.
- [14] "이상행동 CCTV 영상", AI-Hub, 2023년 06월 28일 수정, <https://www.aihub.or.kr/aihubdata/data/view.do?currMenu=115&topMenu=100&aihubDataSe=data&dataSetSn=171>
- [15] Roboflow, <https://roboflow.com/>

〔 저 자 소 개 〕



강 예 은 (Ye-eun Kang)
2021년 03월 ~ 현재 성신여자대학교
학사과정

email : ewunng@gmail.com



함 소 영 (So-young Ham)
2021년 03월 ~ 현재 성신여자대학교
학사과정

email : rabbit6805@gmail.com



좌 승 채 (Seung-chaee Joa)
2020년 03월 ~ 현재 성신여자대학교
학사과정

email : welcomeyy@gmail.com



이 하 니 (Ha-ni Lee)
2020년 03월 ~ 현재 성신여자대학교
학사과정

email : inaheel17@gmail.com



김 성 민 (Seong-min Kim)
2012년 2월 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 졸업
2014년 2월 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 석사
2019년 2월 한국과학기술원 정보보호
대학원 박사
2019년 9월 ~ 2020년 8월 삼성전자
삼성시서치 Staff Engineer
2020년 9월 ~ 현재 성신여자대학교
융합보안공학과 조교수

email : sm.kim@sungshin.ac.kr



김 학 경 (Hak-kyong Kim)
1999년 3월 경찰대학 법학과 법학사
2004년 7월 영국 University of Leice
ster 경찰학(위기관리) 석사
2011년 5월 영국 University of Ports
mouth 경찰학(위기관리) 박사
2012년 3월 계명대학교 경찰행정학과
교수
2015년 4월 ~ 현재 성신여자대학교
융합보안공학과 교수

email : pocol@sungshin.ac.kr