

# 드론 영상을 활용한 다중객체의 밀집도 분석 연구

## A Study on the Density Analysis of Multi-objects Using Drone Imaging

장 원 석\* · 김 현 수\*\* · 박 진 만\*\*\* · 한 미 선\*\*\*\* · 백 성 채\*\*\*\*\* · 박 제 진\*\*\*\*\*

\* 주저자 : 전남대학교 도시방재안전협동과정 석사  
\*\* 공저자 : ㈜디에어 연구소장  
\*\*\* 공저자 : ㈜명신기업 이사  
\*\*\*\* 공저자 : MG Engineering 대표  
\*\*\*\*\* 공저자 : 전남대학교 건축토목공학과 석·박사통합과정  
\*\*\*\*\* 교신저자 : 전남대학교 토목공학과 부교수

WonSeok Jang\* · HyunSu Kim\*\* · JinMan Park\*\*\* · MiSeon Han\*\*\*\* ·

SeongChae Baek\*\*\*\*\* · JeJin Park\*\*\*\*\*

\* Urban Disaster Prevention Safety Cooperation Course, Univ. of Chonnam National University  
\*\* D.Air  
\*\*\* Myoungshin Co.,Ltd.  
\*\*\*\* MG Engineering  
\*\*\*\*\* Dept. of Architecture Civil Engineering, Univ. of Chonnam National University  
\*\*\*\*\* Dept. of Architecture Civil Engineering, Univ. of Chonnam National University

† Corresponding author : Je jin, Park, jinpark@jnu.ac.kr

Vol. 23 No.2(2024)

April, 2024

pp.69~78

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.2.69>

2024.23.2.69

Received 14 February 2024

Revised 4 March 2024

Accepted 6 March 2024

© 2024. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

최근 CCTV 영상을 기반으로 인과사고를 예방하는 방안이 추진되고 있다. 그러나 CCTV는 공간적 한계점이 있어 이를 보완하기 위한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 드론 영상을 사용하여 보행자의 밀도를 측정하는 연구를 수행하였다. 기존 연구문헌을 통해 군중의 인과사고 임계값인 1m<sup>2</sup>당 6.7명을 위험수준으로 선정하였다. 또한 드론의 파라미터를 도출하기 위해 선행연구를 수행한 결과, 고도 20m, 각도 60°에서 보행자의 인식률이 높은 것으로 나타났다. 이후 선행연구를 기반으로 보행자가 밀집한 대상지를 선정하여 밀집도를 측정하고, 단위 면적당 0.27~0.30명 수준으로 나타났다. 본 연구를 통해 드론 영상을 사용하여 대상지의 보행자 밀집도에 따른 위험수준 측정이 가능한 것으로 확인되었으며, 향후 인과사고 안전관리 대체 수단으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심어 : 사회재난, 군중관리, 드론, AI, 객체 탐지

### ABSTRACT

Recently, the use of CCTV to prevent crowd accidents has been promoted, but research is needed to compensate for the spatial limitations of CCTV. In this study, pedestrian density was measured using drone footage, and based on a review of existing literature, a threshold of 6.7 people/m<sup>2</sup> was selected as the cutoff risk level for crowd accidents. In addition, we conducted a preliminary study to determine drone parameters and found that the pedestrian recognition rate was high at a drone altitude of 20 meters and an angle of 60°. Based on a previous study, we selected a target area with a high concentration of pedestrians and measured pedestrian density, which was found to be 0.27~0.30 per m<sup>2</sup>. The study shows it is possible to measure risk levels by determining pedestrian densities in target areas using drone images. We believe drone surveillance will be utilized for crowd safety management in the near future.

Key words : Social Disaster, Crowd Management, Drone, AI, Object Detection

# I. 서론

## 1. 개요

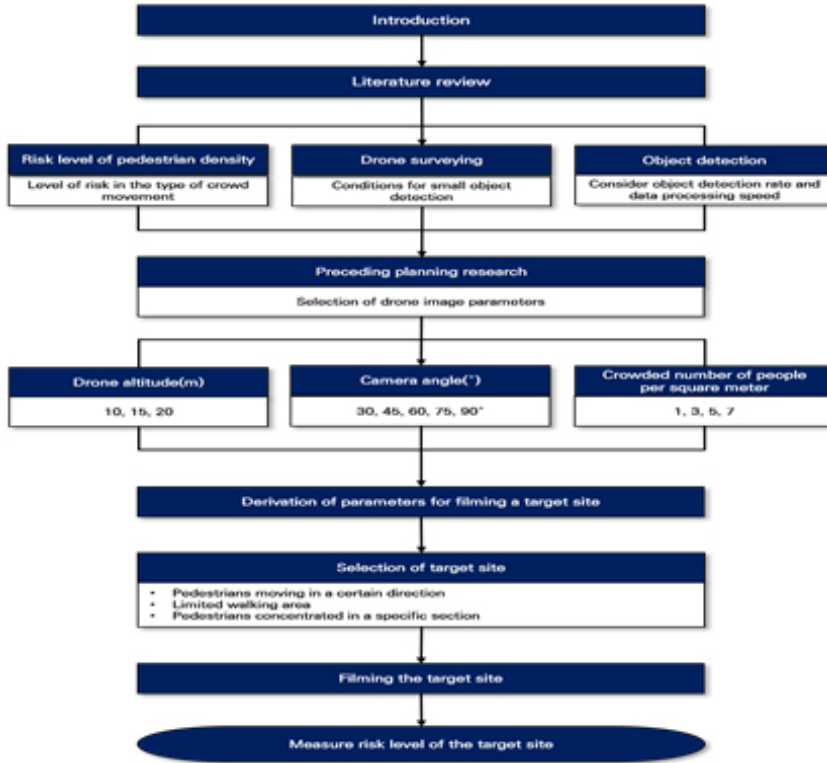
최근 사회재난 발생 예방 및 대처를 위해 여러 조직·기관에서 관련 연구를 수행하고 있다. 사회재난이 발생하게 되면 국가기반시설 피해와 인명 및 재산피해를 초래하므로 대책 마련이 필요하다. 현재 정부에서는 AI(Artificial Intelligence), 빅데이터 등을 활용하여 재난의 발생 징후를 사전에 파악하고 피해 감소를 위한 방안을 추진하고 있다. 최근 이상기후 및 도시 밀집화 현상으로 인해 재난의 유형이 변화하고 있다. 이는 도심지에서 발생하던 기존의 재난이 복합적으로 발생하면서 인명 및 재산피해의 규모가 증가·확산되는 추세에 있다. 또한 도시서비스 마비(물 공급 중단, 에너지 공급 마비 등), 테러 및 다중안전과 같이 기존 국내에서 발생하는 빈도가 적은 신종 도시재난은 불확실성이 높고 예측 가능성이 낮아 사전 예방과 사후 대응이 어렵다는 특성이 있다(Shin and Kim, 2020).

신종 도시재난의 유형 중 하나인 인파사고는 지난 2022년 10월 서울 이태원에서 당시 축제에 참여한 인파가 몰려 수백 명의 사상자가 발생한 사례가 있다. 이러한 인파사고는 지난 과거에도 발생했으나, 다른 재난의 유형과 달리 발생 건수가 적어 사고를 예방하기 위한 연구 또한 미흡한 실정이다. 인파사고는 군중의 밀도가 증가하면서 주위 사람들에게 압력을 받아 신체적 손상이 가해지는 ‘군중 놀림(Crowd Crush)’으로 심각한 인명피해를 초래하는 특징이 있으며, 군중이 밀집하지 않도록 적절히 분배하여 사고를 예방할 수 있다. 행정안전부는 ‘다중운집인파사고’를 법률상 사회재난 유형에 추가하여 체계적으로 관리할 수 있는 법적 근거를 마련할 수 있도록 하였다(MIS, 2023). 또한 AI가 적용된 ‘지능형 CCTV’를 기반으로 인파사고의 발생 징후를 사전에 파악하기 위해 ‘현장인파관리시스템’을 2025년까지 구축하기로 공포(公布)하였다. 그러나 도심지에서 개최되는 축제 및 행사의 경우 CCTV 설치율이 높으나 지역축제에서는 보급률이 상대적으로 낮아 실효성이 다소 낮을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 CCTV의 대체 수단으로 드론 영상을 활용하여 보행자의 밀집도를 측정하고자 한다. 보행자의 밀집도를 측정하기 위해 드론의 고도, 카메라 각도에 따른 객체 탐지율이 높은 파라미터를 도출하여 실제 측제가 개최된 장소를 대상으로 보행자의 밀집도를 측정하여 CCTV의 대체 수단으로 활용하고자 한다. 본 연구의 수행내용을 <Fig. 2>와 같이 도식화하였다.

Major changes in conditions	Emerging High impact Urbans Disasters		
		Types of existing disasters	Types of new urban disasters
High technology	Natural disaster	Storm and flood damage, heat wave, drought	complex disasters(Natech)
Climate Change	Ground disaster	Land subsidence	Earthquake
	Pollution disaster	Air pollution(fine dust, ozone et al)	-
Urban Structure	Spread of health hazards	Infectious diseases, living environment pollution	New infectious disease, Living environment with new technology and new materials
	Facility disaster	Artistic talent, disruption, explosion et al	Facility collapse due to aging, Renewable energy fire
International situation	Traffic disaster	Road traffic accident, Aviation accident	Underpass collision accident, Autonomous car accident
Urban society	City service paralysis	Water supply interruption, information system paralysis et al	Paralysis of city services due to aging, Paralysis of complex urban services
	Terrorism and multiple safety accidents	-	Terrorism, Stampede accident

<Fig. 1> Emerging Urban Disaster Types(Shin and Kim, 2020)



<Fig. 2> Research flow chart

## II. 기존 연구문헌 고찰

### 1. 보행밀도의 위험수준

인파사고를 예방하기 위해서는 단위 면적당 밀집한 인원을 효율적으로 관리해야 할 필요가 있다. 최근 서울에서 발생한 ‘10.29 참사’ 당시 단위 면적당 6~10명이 밀집해 있던 것으로 나타났다(BBC NEWS Korea, 2023). 이는 단위 면적당 6명 이상이 밀집하게 되면 ‘군중 유체화(Crowd Surge)’가 발생하여 인명피해가 발생

<Table 1> Pedestrian Level of Service

Level of service (LOS)	Pedestrian traffic flow rate (per/min/m)	Occupied space (m <sup>2</sup> /per)	Density (per/m <sup>2</sup> )	Speed (m/min)
A	≤ 20	≥ 3.3	≤ 0.3	≥ 75
B	≤ 32	≥ 2.0	≤ 0.5	≥ 72
C	≤ 46	≥ 1.4	≤ 0.7	≥ 69
D	≤ 70	≥ 0.9	≤ 1.1	≥ 62
E	≤ 106	≥ 0.38	≤ 2.6	≥ 40
F	-	< 0.38	> 2.6	< 40

하게 된다. 보행자 1인이 점유하고 있는 공간을 ‘보행점유공간’으로 정의하고 있으며, 보행자 서비스수준에 따른 보행교통류율, 점유공간, 밀도, 속도는 <Table 1>과 같다(MOLIT, 2013).

Feliciani and Nishinari(2018)은 소규모 실험을 통해 군중의 밀도 수준에 따른 인과사고의 임계값을 도출하였다. 실험 결과 1m<sup>2</sup>에 4-5명이 밀집하면 군중의 압력이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. Zhen et al.(2008)은 2004년 중국 Mihong bridge에서 발생한 인과사고를 분석하여 사고가 발생한 임계값을 도출하였다. 분석 결과 1m<sup>2</sup>에 7명인 경우 군중이 정체되기 시작하였으며, 사고 발생 당시의 밀도는 7.4명이 밀집한 것으로 나타났다. Still(2000)은 보행자 시뮬레이션을 통해 이동하는 군중은 단위 면적당 6명, 정지해 있는 군중의 경우 단위 면적당 6.7명 이상이 인과사고의 임계값을 도출하였다. Wang et al.(2013)은 보행자 시뮬레이션을 사용하여 대규모 인과 이동에 미치는 영향과 군중의 최대 밀도의 수준을 분석하였다. 분석 결과 특정 통로에서 군중의 밀도가 높을수록 대기시간과 인원수가 증가하며 1m<sup>2</sup>에 5.6명 이상이 밀집할 경우 군중의 흐름이 감소하여 인과사고 발생 가능성이 높은 것으로 나타났다. Zhang and Seyfried(2013)은 최대 400명의 보행자가 단방향 및 양방향에서의 흐름을 분석한 결과 단방향일 경우 양방향보다 원활하게 흐르는 결과를 도출하였다.

## 2. 드론을 활용한 객체 탐지 연구

Jung et al.(2022)은 드론의 고도 250m에서 직각각으로 촬영하여 연속류 250m 구간의 미시적 교통정보 데이터를 추출하여 실험한 결과, Precision 98.07%, Recall 97.86%의 정확도를 도출하였다. Kim et al.(2020)은 재난 상황 발생 시 신속한 구조 및 대피를 위해 영상 내 객체를 분류하는 연구를 수행하였다. 최소 5m 이상의 고도에서 카메라 각도를 -30~30°, FHD급의 드론 영상 500개를 대상으로 실험을 진행하였으며, 실험 결과 드론의 고도가 최소 고도 5m 이상에서 촬영 시 높은 객체 탐지율을 도출하였다. Kang(2021)은 YOLOv4 모델을 사용하여 사람, 차량 등 작은 객체를 탐지하는 방법을 제안하였다. 드론의 고도는 30, 50, 70, 100, 150m에서 실험 결과 객체와 주변 색상 대비가 적은 경우 카메라 각도를 지면과 수직인 상태에서 촬영 데이터에서 객체 탐지율이 낮은 것으로 나타났다.

## 3. 연구의 차별성

현재 ICT 기술 기반 ‘현장인과관리시스템’을 구축하여 인과사고를 예방하기 위해 지능형 CCTV 영상 기반 밀집도 분석 연구를 진행하고 있다. 그러나 대부분의 밀집도 측정에는 지능형 CCTV 영상을 활용하고 있으며, 이는 설치된 장소 인근의 상황만 파악할 수 있어 공간적인 한계가 존재하여, 이를 극복하기 위한 대체 방안으로 항공 영상을 기반으로 보행자의 밀집도를 측정하고자 하였으며, 현행 항공 영상 기반의 연구는 미진한 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 공간적 제약이 없고 사용자가 원하는 장소의 밀집도를 측정할 수 있는 드론을 활용하여 보행자의 밀집도를 측정하여 향후 인과사고를 예방하는 연구를 수행하고자 한다.

# Ⅲ. 연구방법

## 1. 객체 탐지 모델 선정

보행자 객체를 탐지하여 인과사고 발생 위험 징후를 실시간으로 파악하기 위해 데이터 처리 속도가 빠른

1-Stage detector 방식을 선정하였으며, 차량·사람 등의 탐지 성능이 우수한 YOLO(You Only Look Once)를 활용하였다. YOLO는 상대적으로 작은 크기와 빠른 처리 속도의 특징을 가지고 있고, 사용자가 원하는 옵션에 따라 모델 크기를 선택할 수 있으며, 탐지하고자 하는 객체에 따라 모델 구조 보완이 자유롭다는 장점이 있다(Jiang et al., 2022).

YOLO의 버전별 기존 문헌을 고찰한 결과, 2020년 발표된 YOLOv5가 가장 많은 범용성을 나타내고 있으며, 데이터셋과 모델 보완을 통해 기존에 작은 객체 탐지에 한계점을 보인 부분을 자율주행 환경에서 소형 물체 감지에 활용되는 연구 결과가 있다(Mahaur and Mishra, 2023). 따라서 이와 같은 사항을 고려하여 본 연구에서는 보행자 객체 탐지를 위해 YOLOv5를 사용하였다. 학습 데이터셋은 <Fig. 3>과 <Fig. 4>의 이미지를 학습데이터로 선정하였고, MS COCO 데이터와 AI Hub의 데이터는 총 1,800장을 학습 데이터로 사용하였으며, Training과 Test 데이터를 8:2 비율로 학습하였다.



<Fig. 3> MS COCO Training Dataset Examples



<Fig. 4> AI Hub Training Dataset Examples

## 2. 사전 기획연구

대상지 촬영 전 보행자 객체 탐지율이 높은 드론의 변수 도출을 위해 선행연구를 실행하였다. 실험 대상지는 안전사고를 고려하여 교내 인근 운동장으로 선정했으며 기온 25℃, 풍속 2~3m/s 기상 상황에서 촬영을 수행하였다. 실험방법은 1m<sup>2</sup> 면적 내 단위 면적당 위험수준을 고려하여 1명, 3명, 5명, 7명이 밀집한 상황으로 구분하였으며, 각 상황에서 드론의 고도 및 카메라 각도를 변경하며 객체 탐지율이 높은 변수를 도출하였다. 실험에 사용한 장비는 DJI사의 M-300 드론과 Zenmuse L1 카메라를 탑재했으며 촬영 장비 및 제원은 아래 <Fig. 5>, <Fig. 6>과 <Table 2>와 같다.



<Fig. 5> DJI Matrice 300 RTK



<Fig. 6> DJI Zenmuse L1

<Table 2> Specifications of the Drone Equipment

Matrice 300 RTK		Zenmuse L1	
Size(mm)	810 × 670 × 430 (L × W × H)	Valid pixels	20MP
Weight(kg)	6.3	Picture size	5472 × 3078 (16:9)
Wind resistance(m/s)	12	Focus distance	8.8mm/24mm(Conversion)
Maximum flight time(min)	55	Video resolution	H.264, 4K: 3840 × 2160
Hovering accuracy(m)	Vertical : ±0.5 Horizontal : ±1.5	Aperture range	f/2.8 ~ f/11

1) 촬영 시나리오

드론 촬영 시 고도가 낮을수록 객체 탐지율이 증가하지만, 측정하는 대상지의 면적이 감소한다. 또한 고도가 높을수록 대상지의 면적이 증가하지만, 객체 탐지율이 감소하는데 이는 드론의 고도에서 객체 탐지율과 대상지 면적이 서로 반비례한 성질을 가지고 있기 때문이다. 드론에 장착된 카메라 각도에 따라서 객체 탐지율이 달라질 수 있다. 기존 문헌에서는 지면과 카메라 각도를 직각으로 촬영할 경우 객체 탐지율이 감소하는 결과가 있으며, 카메라 각도에 따라 객체 탐지율에 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 드론의 고도, 카메라 각도에 따라 단위 면적당 밀집한 인원을 <Table 3>과 같이 설정하여 촬영하였다.

<Table 3> Experiment Scenarios

Height(m)	Angle(°)	Crowd density(per m <sup>2</sup> )
10	30, 45, 60, 75, 90	1, 3, 5, 7
15		
20		

2) 사전 기획연구 결과

사전 기획연구를 수행한 결과, 카메라 각도가 수직에 근접한 경우 <Fig. 7>과 같이 객체 미탐지 및 오인식



<Fig. 7> Object Undetection and Misrecognition

하는 결과가 나타났다. 따라서 시나리오의 모든 객체를 탐지하여 대상지 측정에 활용이 가능한 시나리오를 <Table 4>와 같다. 따라서 넓은 대상지 면적을 측정하기 위해 고도 20m, mAP 평균값이 높은 60°를 드론 최적 파라미터로 설정하였다.

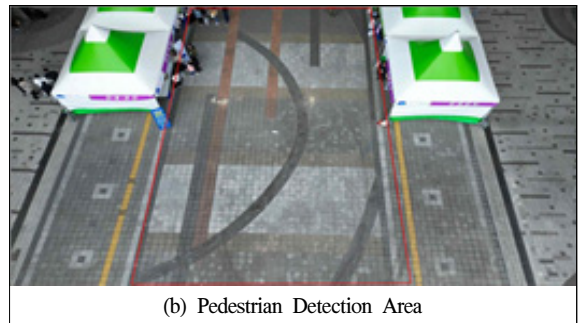
<Table 4> Result of Preceding Research

(Unit: Mean Average Precision)

Height(m)	Angle( °)	Number of crowd (per m <sup>2</sup> )				
		1 Person	3 Person	5 Person	7 Person	Average
10	30	0.91	0.87	0.80	0.79	0.84
	45	0.95	0.90	0.91	0.80	0.89
	60	0.91	0.71	0.83	0.70	0.79
15	30	0.90	0.71	0.83	0.70	0.79
	60	0.91	0.91	0.90	0.80	0.88
	75	0.92	0.85	0.82	0.83	0.86
20	45	0.93	0.79	0.73	0.78	0.81
	60	0.92	0.90	0.87	0.73	0.86

### 3. 연구 범위

인파사고 발생 가능성이 높은 장소는 대상지가 수용할 수 있는 범위를 넘어선 보행밀도와 이동에 제한이 있는 장소에서 주로 발생한다. 따라서 실험 대상지는 지역축제가 개최된 여수세계박람회장을 대상으로 실험을 진행하였다. 또한 드론 비행을 위해 지방항공청 승인을 받아 촬영을 진행하였다.



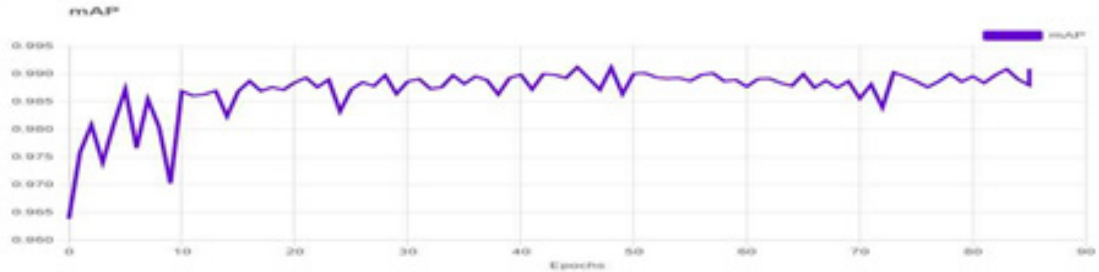
<Fig. 8> Object Undetection and Misrecognition

## IV. 연구 결과

### 1. 모델 학습 결과

본 연구에서 사용한 모델의 학습 결과는 <Fig. 9>, <Fig. 10>과 같다. mAP의 경우 Epochs 10 이상부터 0.985 이상의 수준을 나타내면서 객체 탐지에 유의미한 모델로 나타났다. Box Loss는 Epochs 10 이후에 1.23

이하로 감소하고 있으며, 이는 모델이 학습을 진행하면서 경계 상자 예측의 오차를 최소화하고 정확한 경계 상자를 예측할 수 있도록 개선되고 있음을 의미한다. Class Loss는 Epochs 10 이후에 0.5 이하로 감소하고 있으며, 이는 모델이 학습을 진행하면서 클래스 예측의 오차를 최소화하고 정확한 클래스를 예측할 수 있도록 개선되고 있음을 의미한다. Object Loss는 Epochs 0 이후에 1.07과 0.13 사이에서 점차 증가하고 있으며, 이는 모델이 객체의 존재 여부 예측에 안정화되고 있음을 의미한다.



<Fig. 9> mAP Performance Results

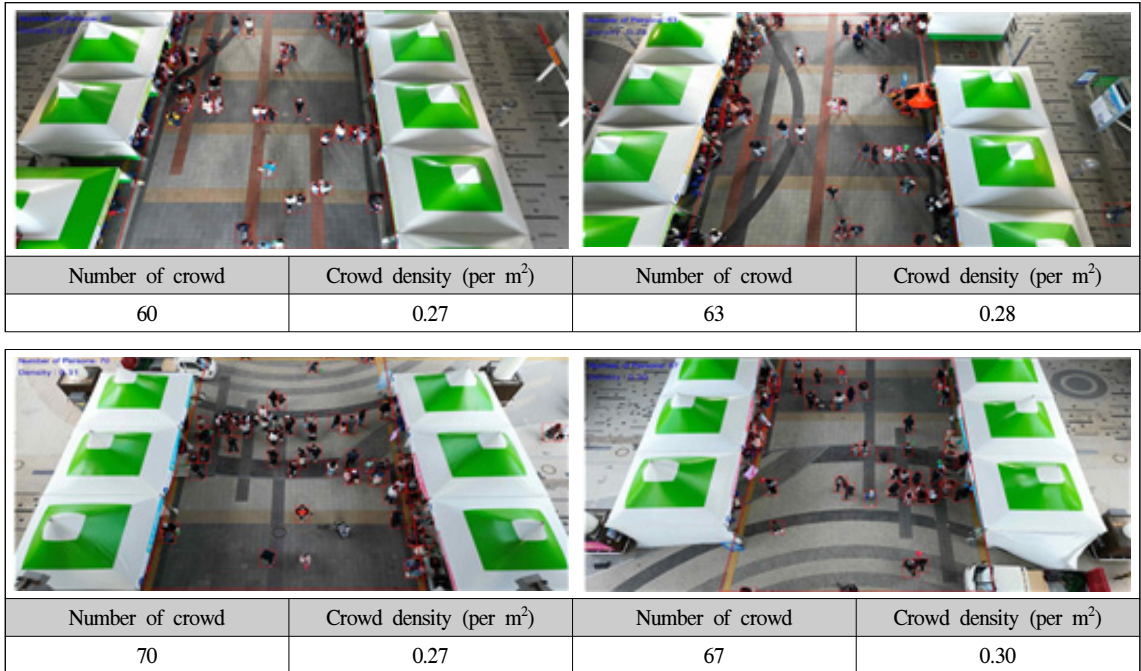


<Fig. 10> Model Box Loss, Class Loss, Object Loss Performance Results

## 2. 대상지 위험수준 측정 결과

드론에 탑재된 카메라 정보와 고도를 고려하여 GSD를 산출한 결과  $GSD=0.03\text{cm/px}$ 로 나타났다. GSD를 고려하여 <Fig. 8> (b)의 면적을 측정된 결과 약  $199.11\text{m}^2$ 로 나타났으며, 실제 면적은  $223.11\text{m}^2$ 로 약 12.52%의 오차가 발생하였다. 또한 대상지에 있는 보행자의 밀도를 측정된 결과,  $0.27\text{-}0.30\text{인/m}^2$  수준으로 나타났다. 이를 통해 드론 영상을 기반으로 특정 대상지 내 단위 면적( $1\text{m}\times 1\text{m}$ )당 밀집 인원을 측정하여 인파사고의 위험 수준을 측정할 수 있는 것으로 확인되었다. 결과적으로 드론 영상을 이용한 다중객체 밀집도 분석은 매우 효과적으로 운용될 수 있으며, 향후 공공기관, 지자체, 민간업체의 다중밀집 행사 진행 시 인파관리를 위한 수단으로 적절하게 활용이 가능할 것으로 판단된다.





<Fig. 11> Images from Target Area and Crowd Density

## V. 결론

본 연구에서는 드론 영상을 기반으로 대상지의 보행자를 탐지하여 단위 면적당 밀집 인원을 측정하는 연구를 수행하였다. 기존 연구문헌을 통해 군중이 이동 중인 경우 인파사고의 임계값은 단위 면적당 6명으로 선정하였고, 이후 드론의 파라미터를 선정하기 위해 사전 기획연구를 수행하였다. 사전 기획연구 결과 대상지 측정 면적과 mAP 값을 고려하여 고도 20m, 카메라 각도 60°를 대상지 측정 파라미터로 선정하였다. GSD를 이용하여 산출한 면적과 실제 대상지의 면적을 비교하여 오차를 검증하였고, 검지영역 면적에 유·출입하는 객체를 탐지하여 단위 면적당 밀집한 인원을 측정하였다.

향후 본 연구는 다음과 같은 추가연구가 필요한 것으로 파악되었다. 첫째, GSD를 사용하여 대상지의 면적을 측정한 결과 「수치지도 작성작업내규」의 1/1,000 수치지도 허용오차 범위인 0.6m보다 오차가 커 향후 보다 정확한 면적 측정을 위한 추가적인 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구는 드론을 활용한 보행자 밀집도 파악을 목적으로 사전 기획연구 성격에서 드론 촬영영상을 활용 가능한지 여부를 타진한 것으로, 20m 이하 드론 촬영 고도를 제한하였으나, 향후에는 20m 이상의 높은 고도에서의 추가 비교 분석을 진행하는 등, 드론의 고도 및 카메라 각도에 따른 탐지를 위해 추가적인 연구가 필요하다. 셋째, 현재 사람이 밀집한 대상지에서 드론 비행은 원칙적으로 제한된다(KLIC, 2022). 연구를 수행한 대상지는 위험수준을 측정하는데 보행자의 밀도가 상대적으로 낮아 실제 현장에서 적용하는데 한계를 내재하였다. 따라서 향후 유관기관의 협조·허가를 받아 사람들이 밀집한 대상지를 측정하여 실제 현장 적용이 가능하도록 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업(재단 과제관리번호 : 광주전남플랫폼 2021RIS-002) 및 광주광역시의 지원을 받아 수행된 2023년 재난안전 전문인력 양성 교육기관 지원사업(과제관리번호 : 2023-2081-01)의 결과입니다.

## REFERENCES

- BBC NEWS Korea, <https://www.bbc.com/korean/news-64260273>, 2023.09.15.
- Feliciani, C. and Nishinari, K.(2018), "Measurement of congestion and intrinsic risk in pedestrian crowds", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 91, pp.124-155.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y. and Ma, B.(2022), "A review of Yolo algorithm developments", *Procedia Computer Science*, vol. 199, pp.1066-1073.
- Jung, B. K., Seo, S. H., Park, B. G., Park, D. Y., Trinh T. H. and Bae, S. H.(2022), "On-road mobile source emissions estimation by traffic parameters based on UAV video", *Proceedings of the KOR-KST Conference*, vol. 86, pp.211-212.
- Kang, J. H.(2021), "Distance-based adaptive anchor box selection for object detection and localization with magnetic declination correction in drone video analysis", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 27, no. 10, pp.776-783.
- Kim, C. R., Song, J. I. and Lee, J. H.(2020), "Multi-object tracking system for disaster context-aware using deep learning", *Proceedings of the Korean Society of Broadcast Media Engineering Conference*, pp.697-700.
- Korean Law Information Center(KLIC), <https://www.law.go.kr/법령/항공안전법>, 2024.03.06.
- Mahaur, B. and Mishra, K. K.(2023), "Small-object detection based on YOLOv5 in autonomous driving systems", *Pattern Recognition Letters*, vol. 168, pp.115-122.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2013), *Korean Highway Capacity Manual*.
- Ministry of the Interior and Safety(MIS), [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=9vyZCruYINTSZTbBWkIPqq+.node10?bbsId=BBSMSTR\\_000000000501&nttId=105932](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=9vyZCruYINTSZTbBWkIPqq+.node10?bbsId=BBSMSTR_000000000501&nttId=105932), 2023.12.21.
- Shin, S. Y. and Kim, S. G.(2020), "Prospects and policy directions for new large urban disasters", *The Seoul Institute Policy Report*, vol. 301, pp.1-20.
- Still, G. K.(2000), *Crowd dynamics*, Doctoral dissertation, University of Warwick.
- Wang, J., Lo, S., Wang, Q., Sun, J. and Mu, H.(2013), "Risk of Large Scale Evacuation Based on the Effectiveness of Rescue Strategies Under Different Crowd Densities", *Risk Analysis*, vol. 33, no. 8, pp.1553-1563.
- Zhang, J. and Seyfried, A.(2013), "Empirical characteristics of different types of pedestrian streams", *Procedia Engineering*, vol. 62, pp.655-662.
- Zhen, W., Mao, L. and Yuan, Z.(2008), "Analysis of trample disaster and a case study Mihong bridge fatality in China in 2004", *Safety Science*, vol. 46, no. 8, pp.1255-1270.