

지능형 CCTV를 활용한 지하주차장 화재검출 및 스프링클러 제어에 관한 연구

안기돈, 곽동걸*, 신종근*

한국소방안전원, *강원대학교

A Study on Fire Detection and Sprinkler Control in Underground Parking Lot Using Intelligent CCTV

Ki-Don AN, Dong-Kurl Kwak*, Jong-Keun Shin*

Korea Fire Safety Institute, *Kangwon National University

ABSTRACT

최근 10년간 지하주차장에서 발생한 전기화재는 전체 주차장 화재 중 20%를 차지하고 있으며 최근 대형화되고 있다. 지하주차장 차량화재의 경우 최대 HRR은 1.5~10 [MW] 범위이고 평균 THR은 5.9 [GJ]에 이르며, 이는 화재성장속도(NFPA 92B 기준) Fast~Ultra fast에 근접하는 수준이다. 또한, 전기차의 경우에는 배터리팩에서 발화 시 통상 수 분 내에 열폭주에 도달하고 약 70℃에서 불화수소 독성가스가 발생할 가능성이 매우 높다. 하지만, 국내 지하주차장의 화재 감지 및 스프링클러 시스템은 지하주차장에 특화되어 있지 않아, 오동작 및 지연작동 등 다양한 장애 요소가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 화재검출 및 스프링클러 시스템을 시각적(RGB), 열(Thermal)적 특징을 분석하여 불꽃, 연기, 차량 등을 감지하는 YOLO v8 활용한 지능형 CCTV 방안을 제시한다. 초기 화재검출의 성능을 지속적으로 학습하여 데이터가 축적 및 업데이트가 지속적으로 수행될 경우 화재 시 지하주차장의 초기 화재검출 및 스마트 스프링클러 시스템 구성이 가능할 것으로 판단된다.

1. 서 론

서울시 소방재난본부에 따르면 그림 1과 같이 최근 10년간(2013~2022년) 국내 건축물의 주차장에서 총 6,133건의 화재가 발생하였으며, 이중 지하주차장에서 발생한 화재는 1,399건으로 확인되었다. 최근 10년간 지하주차장에서 발생한 화재는 전체 주차장 화재 중 약 20% 선에서 증가와 감소를 반복하고 있으며, 특히 2022년 대전 아울렛 지하주차장 화재 이후로 지하주차장 화재에 대한 우려가 커지고 있다.

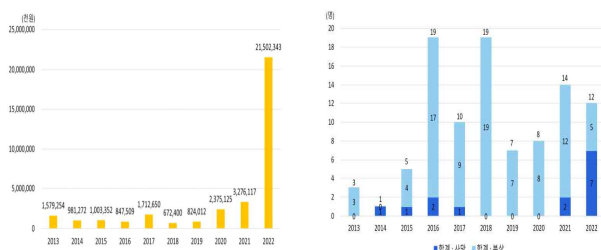


그림 1 국내 지하주차장 화재로 인한 재산 및 인명피해 현황 (2013~2022년)
Fig. 1 Property and casualties caused by fire in underground parking lot in Korea (2013~2022)

최근 전기차의 보급으로 인해 대형 화재가 빈번하게 발생하면서, 인명 및 재산 피해의 위험이 증가하고 있어 지하주차장 화재에 대한 대책이 시급한 실정이다.

지하주차장 구조는 복잡한 레이아웃, 공간의 폐쇄성, 환기의 장애 및 소방대 차량의 신속한 개입의 어려움 등 화재 시 다양한 난제가 있는 특수 장소이다. 자동차의 특성상 가연물이 복합적으로 구성되어 있고 이로 인하여 열발출률(Heat Release Rate) 등이 매우 커서 화재 발생 시 신속한 화재검출 및 조기 소화가 절실히 요구되는 장소이다.

이러한 지하주차장의 특수성을 고려한 소방시설의 설치는 일반시설물과 동일하게 적용하여 설치되고 있다. 화재감지기는 실선 방식의 Spot 방식, 열감지기 및 연기감지기를 설치하며 스프링클러설비의 경우 동파의 문제로 인하여 평상시 배관에 소화수가 없는 상태인 준비작동식(Pre-Action) 유형을 적용하고 있다. 아래의 그림 2는 준비작동식 스프링클러설비 계통도를 나타내고 있다.

기존 화재감지기의 경우에는 오동작이 빈번하고 열 감지기는 주차장 천장의 케이블 트레이 및 각종 배관 등의 장애 요소로 화재 감지 시간이 지연되는 등 유지관리에 많은 어려움이 있으며 준비작동식 스프링클러설비 또한 교차회로(Cross Check)방식의 Spot 감지기 회로를 이용하여 동작하는 방식으로 화재 시 반응시간의 지연 및 화재감지기 오작동 등으로 화재 초기에 신속하고 효과적인 대응이 어려운 치명적인 문제점을 가지고 있다.

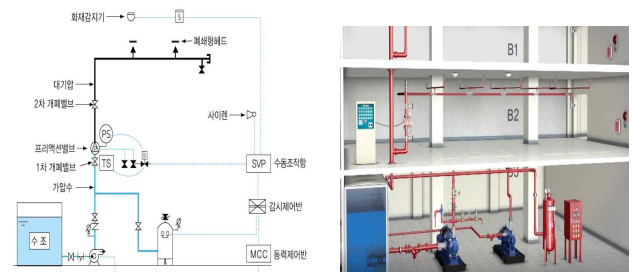


그림 2 준비작동식 스프링클러설비 계통도
Fig. 2 Systematic diagram of Preaction Sprinkler

한편, 정부에서는 범죄 예방 목적으로 설치된 CCTV를 재난 안전관리에 공동으로 활용하고자 현행 육안 관제 시스템에서 지능형 관제 시스템으로 전환하고 국가 안전 시스템 개편을 위하여 현재 약 24%인 지능형 CCTV 보급률을 27년까지 100%

로 완료하는 것을 목표로 하였다.

본 연구에서는 이와 같은 지하주차장 화재 시 효과적인 대응을 위하여 화재 감지 방식을 다양한 객체 탐지, 추적 및 실시간 객체 탐지 등 종전모델 대비 빠르고 정확한 YOLO v8 방식을 적용한 지능형 CCTV를 활용하는 방안을 제시하고 현행 지하주차장의 준비작동식 스프링클러설비 방식을 지능형 CCTV 화재검출을 이용한 Smart 스프링클러 시스템 방식의 적용을 제안하고자 한다.

2. YOLO v8 기반 화재검출 지능형 CCTV 시스템

현재 개발 완료되었거나 연구 중인 화재검출을 위한 지능형 CCTV는 딥러닝 기반의 이미지 학습 방법으로 일반적으로 적용되는 학습 모형은 주로 CNN(convolution neural network)을 기반으로 하는 학습 모형이 사용되고 있다.^[1]

CNN 기반 딥러닝 방식의 화재검출의 장점은 복잡한 패턴을 학습하여 높은 정확도 및 불꽃, 연기 등의 객체를 특징적으로 구분하는 등 다양한 환경에서 유용하게 응용할 수 있다.^[2]

서론에서 언급한 바와 같이 지하주차장의 폐쇄적인 공간 특성상 화재 시 막대한 피해가 예상된다. 특히, 차량 화재의 경우에는 최대 HRR은 1.5~10 [MW] 범위이고 평균 THR은 5.9 [GJ]에 이르며, 이는 화재성장속도(NFPA 92B 기준) Fast~Ultra fast에 근접하는 수준이다. 또한, 내연기관차의 화재 지속시간은 일반적으로 60~90분 정도이며, 전기차의 경우에는 배터리팩에서 발화 시 통상 수분 내에 열 폭주에 도달하고 약 70℃에서 불화수소 독성가스가 발생할 가능성이 매우 높다.

하지만, 국내법에서 제연설비(Smoke Control) 설치가 의무가 아닌 지하주차장에서는 매우 치명적인 수밖에 없다. 따라서 지하주차장 화재 시 화재검출은 매우 빠르고 정확해야 한다.

따라서 본 연구에서는 YOLO v8 기반의 지능형 CCTV 시스템 구성을 통해 기존의 딥러닝 기반의 화재검출 방식과 차별화 하고자 한다.

YOLO v8 (You Only Look Once, 버전 8)은 실시간 객체 감지를 위해 설계된 모델로서 가장 진보된 딥러닝 모델 중 하나이다. YOLO v8은 실시간으로 이미지를 처리하고 높은 정밀도와 정확도로 여러 객체를 감지할 수 있으며 아키텍처는 학습 계산 부하를 줄이도록 설계되어 조도가 낮고, 유사한 객체들이 많은 지하주차장과 같은 환경에서 매우 효율적으로 적용이 가능하다.

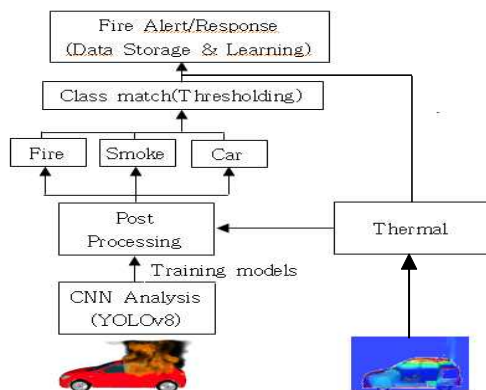


그림 3 YOLO v8 기반 화재감지 기본 구성도

Fig. 3 YOLO v8-based fire detection base diagram

그림 3은 YOLO v8기반 화재 감지 기본 구성도를 나타내고 있다. 먼저, Data Acquisition Layer로 RGB CCTV 및 열화상(Thermal imaging) 카메라로 입력 프레임 값을 제공하고 입력된 이미지는 YOLO v8 신경망에 맞게 크기가 조정되는 Preprocessing 과정을 거친 후, 이미지 처리 및 시각적(RGB), 열(Thermal)적 특징을 분석하여 불꽃, 연기, 차량 등을 감지하는 YOLO v8 Model Inference 과정을 거친다.

다음으로 감지된 화염 및 연기 등을 분류하고 데이터값이 사전 정의된 임계값을 넘어서는 Post-Processing 과정을 거친 후 화재를 검출하며, 이러한 데이터를 저장하고 향상된 성능을 위해 지속적인 학습 과정을 통해 정확도를 향상시킨다.

3. 지능형 CCTV 기반 스마트 스프링클러 구성

지하주차장 화재의 특성상 차량 화재 시 인접 차량으로 빠른 확산이 이루어지므로 스프링클러설비의 조기동작이 요구되는 솔루션이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 화재 발생 구역 주변의 스프링클러 그룹을 제어하여 작동시킨다면 기존 준비작동식 스프링클러설비의 헤드별로 반응하는 작동 방법 대비, 조기에 화재확산 및 사전 대응이 가능하다.

그림 4는 YOLO v8 기반 스마트 스프링클러 시스템 기본 구성도이다. YOLO v8 기반 지능형 CCTV 시스템의 화재검출 신호를 입력(반응) 데이터로 Fire location을 찾는 Wireless 통신 기반의 스마트 스프링클러 기본 시스템으로 구성한다.

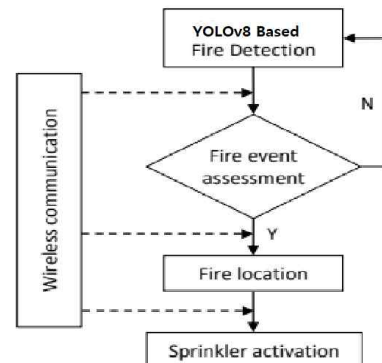


그림 4 YOLO v8 기반 스마트 스프링클러 시스템 기본 구성도

Fig. 4 YOLO v8-based Smart Sprinkler System Basic Configuration

현재, 국내에서는 준비작동식 스프링클러설비에 폐쇄형스프링클러헤드를 사용하도록 규정되어 있어서 화재 시 발화지점 주변으로 지연개방 되거나, 인근 헤드로 물이 튀어 헤드 반응 시간을 지연시키는 Skipping 현상 등의 문제 요소가 있다.^[3]

따라서 화재 시 최초 개방된 스프링클러헤드를 기준으로 화점 기준 주변 스프링클러헤드를 선제적으로 작동시킬 수 있는 알고리즘을 구역별, 그룹화하여 설계하고, 지능형 CCTV의 감시 데이터값을 기반으로 발화지점의 위치에 따른 스프링클러헤드 상부 배관에 전자밸브(Solenoid valve)를 설치하고 원격에서 자동 또는 수동(방재실 및 모바일 단말기 제어 등)으로 개방 및 폐쇄할 수 있는 방안을 그림 5와 같이 적용하고자 한다.

제안한 스마트 스프링클러 시스템 적용의 장점은 지하주차장 화재 시 발화지점 주변 스프링클러헤드를 조기에 작동시켜

화재확산을 방지할 수 있으며, 화재진압 후에도 솔레노이드밸브의 제어를 통하여 소화수를 차단하여 수손 피해 및 수원의 절약 또한 가능하게 할 수 있는 부수적인 장점도 있다.

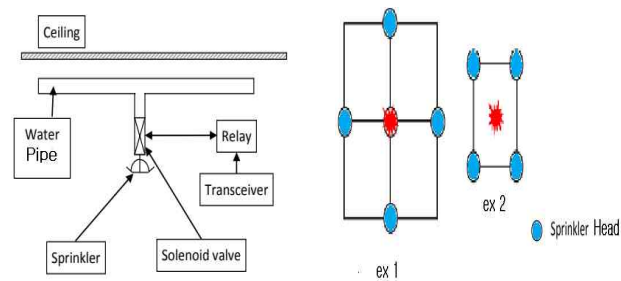


그림 5 솔레노이드 밸브를 적용한 스마트 스프링클러 계통도 및 화재 시 헤드 개방

Fig. 5 Example of Smart Sprinkler System with Solenoid Valve and Opening of the Head in the event of Fire

따라서 지능형 CCTV 기반의 스마트 스프링클러를 통하여 화재 감지, 스프링클러 제어 등 실시간 모니터링을 통한 스프링클러설비의 지연작동 등을 사전에 방지하여 화재조기 진압 및 화재확산에 대응할 수 있다.

4. 결 론

지하주차장 화재는 복합적인 건축학적 구조, 내연기관 자동차 및 전기자동차 등 다양한 가연물이 존재하는 재료학적 측면 등 화재의 조기 감지를 통한 화재확산이 절실히 요구되는 장소이다. 기존의 화재 감지 및 스프링클러 시스템은 오작동 및 지연반응 등 물리적인 장애 요소 및 육안 관제 시스템의 한계가 존재하여 조기 화재 감지 및 지연된 스프링클러설비 작동 등 대응 시스템 개선의 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 논문에서는 지하주차장의 화재특성을 고려하여 신속한 화재검출을 위해 최신의 YOLO v8 기반의 지능형 CCTV 시스템을 적용하여 발화초기에 화재 유무를 적시에 판단하는 화재검출 시스템을 제안한다.

또한, 스프링클러 시스템은 준비작동식 스프링클러설비의 폐쇄형헤드가 직접 반응하는 지연동작 등의 한계를 지능형 CCTV 화재검출 시스템을 기반으로 Fire location을 찾는 시스템을 적용하고 방수구역을 세부적으로 재 그룹화 하여 화재 시 발화 지점 주변을 선제적으로 소화수 방출을 하는 알고리즘 설계를 제안하며, 스프링클러헤드 상부 배관에 적용하는 솔레노이드밸브를 설치하여 전기적인 회로 제어를 통한 직접적이고 스마트한 스프링클러 시스템을 제안한다.

이는 앞으로 제연설비와 같은 다른 소방시설의 스마트 제어에도 응용할 수 있을 것이며 궁극적으로 지하주차장 화재 시 인명과 재산피해에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 논문은 2024년 국립대학육성사업 프로그램 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] Kyeong-Sin Kang, Oh-Sung Kwon, Wan-Ho Cho,

Heung-Youl Kim, Seung-Un Chae, Ji-Sun You, "Initial Fire Detection Method for Intelligent CCTV Using Deep Learning Technology", Fire Science and Engineering, Vol. 38, No. 2, pp. 9-16, 2024.
 [2] Ryu Jinkyu, and Kwak Dongkurl, "A Study on Flame and Smoke Detection Algorithm Using Convolutional Neural Network Based on Deep Learning", Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 20 No. 1 pp. 223-232, 2020.
 [3] Yoon Unggi, Koo Inhyuk, Matsuyama Ken, Kwon Younggin, "Experimental Study on the Smoke-Logging Phenomenon Owing to Sprinkler Operation During Initial Fire", Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 23, No. 6, pp. 219-227, 2023.