J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 21, No. 6 (Dec. 2021), pp.133~139
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2021.21.6.133

ISSN 1738-2424(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

소방방재

# 화재 시 다중밀집시설의 조기경보 및 대피체계 개발

# Development of Early Warning and Evacuation System for Multi-Density Facilities in Case of Fire

강현* · 권오상**
Kang, Hyun*, and Kweon, Oh Sang**

## Abstract

Multi-density facilities with relatively large number of resident occupants and visitors can face large-scale casualties in the event of disasters such as a fire. In addition, such disasters may cause additional damage by inducing social anxiety regarding various protection measures of the buildings, such as their safety management systems. This study was aimed at developing an early warning and evacuation system to minimize casualties in multi-density facilities in case of a fire. In particular, smoke and heat detectors, which are widely used, were utilized to establish an early warning system for old multi-density facilities with relatively poor safety management systems. For the purpose of evacuation following the early warning, an online platform-based 'Fire Safety Management' system was established to deliver appropriate action tips to all occupants according to the four risk stages of a fire.

**Key words :** Multi-dense Facilities, Fire, Early Warning, Evacuation System, Fire Safety

## 요 지

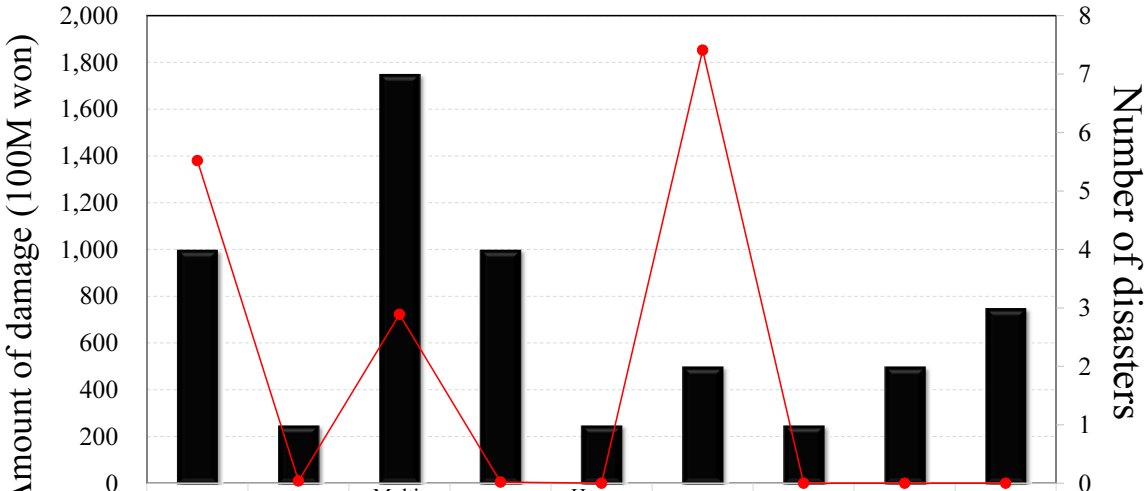
상주 재실자 및 방문이용객이 상대적으로 많이 존재하는 다중밀집시설은 화재와 같은 재난상황 발생 시 대규모의 인명피해를 유발할 수 있다. 또한, 안전관리 시스템 등과 같은 건축물의 다양한 방호대책에 대한 사회적 불안감조성을 유발함으로써 추가적인 피해를 유발할 수 있다. 이 연구에서는 화재 시 다중밀집시설의 인명피해를 최소화 할 수 있도록 조기경보 및 대피체계를 개발하고자 하였다. 특히, 이 연구에서는 상대적으로 열악한 안전설비를 갖춘 노후 다중밀집시설을 대상으로 조기경보 체계 구축을 위하여 기본적으로 널리 사용되고 있는 연기감지기 및 열감지기를 활용하였다. 조기경보에 따른 대피체계는 화재위험 4단계에 따라 모든 재실자에게 각 단계에 적절한 행동요령을 전달할 수 있도록 웹 플랫폼 기반의 '화재안전관리시스템'을 구축하였다.

**핵심용어 :** 다중밀집시설, 화재, 조기경보, 대피체계, 화재안전

## 1. 서 론

다중밀집시설에서는 공간의 고밀화, 대형화, 복합화로 인하여 불특정 대상의 출입 및 사용빈도가 일반적인 건축물에 비하여 상대적으로 높아질 수 있다. 이러한 특성은 화재발생 시 피해의 파급성과 심각성 또한 커질 수 있음을 의미한다. 실제로 국내에서 발생되는 연도별 화재사고 통계를 살펴보면 연간 약 4만 여건 이상이 발생되고 있으며, 특히 다중밀집시설로 분류될 수 있는 공동주택 및 주상복합 건축물이 포함된 주거건축물의 화재발생 비율이 가장 높게 나타나고 있다. 또한, 행정안전통계 연보(MOIS, 2020)의 사회재난 발생현황에서는 Fig. 1과 같이 다중밀집시설의 대형화재 발생 건수가 가장 높게 나타난 것을 확인 할 수 있으며, 산불재난 및 가축질병과 같이 매우 광범위하게 발생되는 재난피해규모 다음으로 높은 피해규모를 나타내고 있다. 이와 같은 다중밀집시설의 화재피해 건수와 규모는 비단

*정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 전임연구원 · 공학박사(E-mail: kanghty@kict.re.kr)
Member, Ph.D., Research Specialist, Fire Research Institute, KICT
**교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원 · 공학박사(Tel: +82-31-369-0546, Fax: +82-31-369-0540, E-mail: oskweon@kict.re.kr)
*Corresponding Author*, Member, Ph.D., Senior Researcher, Fire Research Institute, KICT




| | Forest fire | Hazardous chemical leakage | Multi-density facility fire | Ship accident | Human accidents at workplace | Livestock disease | Infectious disease | Ultra fine dust | etc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of desaters | 4 | 1 | 7 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| Amount of damage | 1380.2 | 9.9 | 722.3 | 4.7 | 0 | 1853 | 0 | 0 | 0.2 |

**Fig. 1.** Occurrence of Social Disasters and Amount of Damage by Disaster Type (2020)

2020년도에 국한되지 않고 과거에도 유사하게 발생되고 있었다. 따라서 다중밀집시설에 대한 화재안전을 확보하기 위해서는 전문성을 확보한 현장 관리조직의 체계화 및 통합관리를 비롯한 국민체감형 재난관리 시스템의 구축 등을 통한 통합관리 및 안전관리 체계구축이 필요하다. 이 연구에서는 다중밀집시설의 화재발생 시 인명의 피해를 최소화할 수 있는 화재안전성 확보를 위하여 조기경보 및 대피체계를 구축하고 이를 통합관리 할 수 있는 화재안전관리시스템을 구축하고자 하였다.

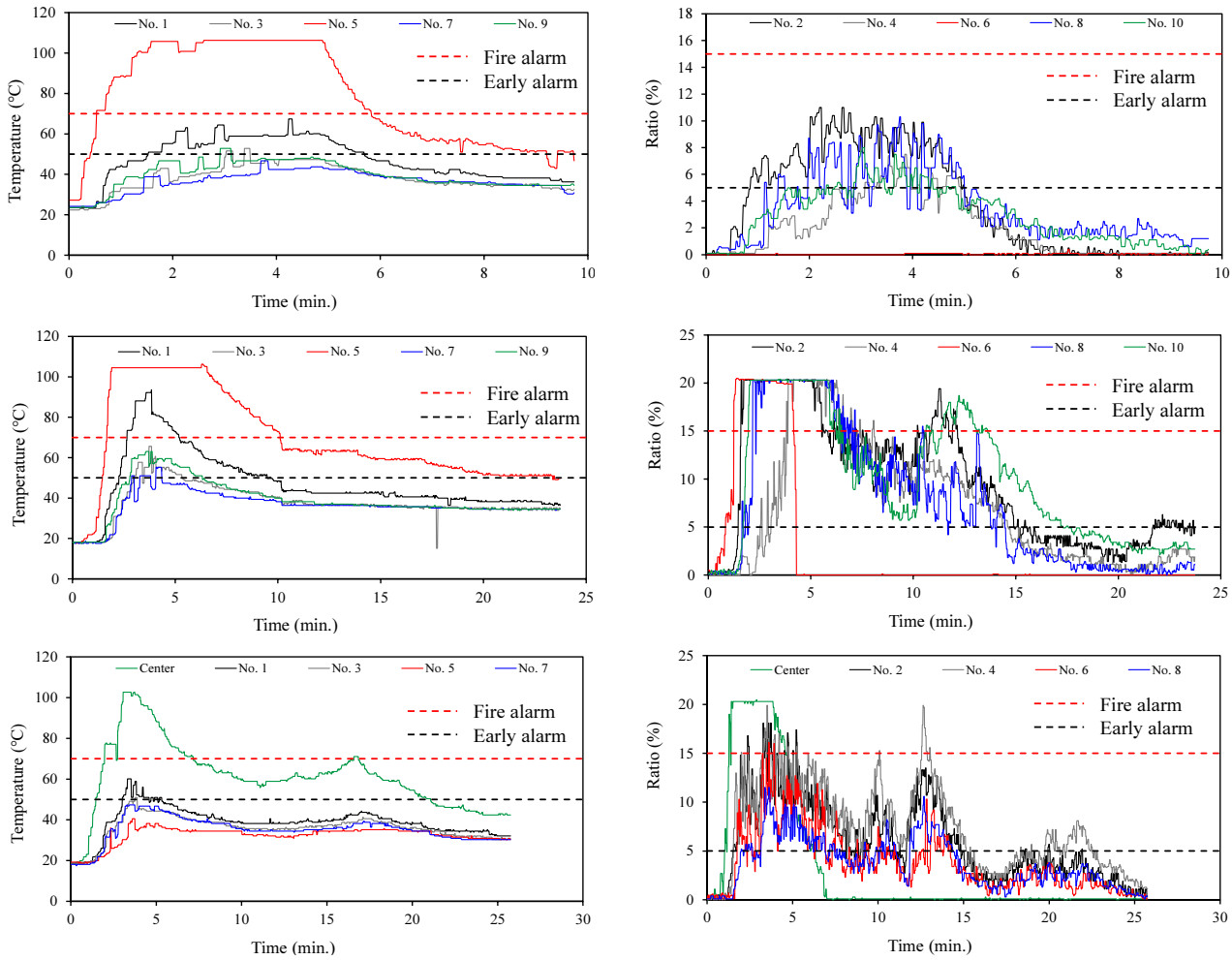
## 2. 조기경보 및 대피체계

### 2.1 화재 시 건축물 감지기를 통한 조기경보 체계

일반적으로 건축물에는 화재예방 및 조기 감지를 위한 다양한 감지기가 설치되어있으며, 만약 설치가 되어있지 않은 노후 된 건축물일지라도 비교적 설치가 간단하며 비용이 저렴한 연기 및 열감지기를 설치하여 실시간으로 건축물 내부의 다양한 화재감기 정보를 수집할 수 있다. 많은 건축물에서 사용되고 있는 연기감지기의 경우 감광률이 5%일 때 수신기에 예비경보를 전파하고, 15% 이상일 때 화재경보를 전파하게 된다. 이때, 예비경보를 화재 시 조겨경보 시점으로 설정하여 재난약자의 우선대피 및 화재대응을 시작할 수 있도록 하였다. 이와 함께 열감지기의 경우 감지기에 50 ℃ 이상의 온도가 감지될 경우 예비경보를, 70 ℃ 이상의 온도가 감지될 경우 화재경보를 전파하고 있으며, 어떠한 감지기라도 먼저 예비경보 상한선에 도달하게 되면 화재 조기경보를 전파하여 재실자의 안전하고 원활한 대피가 이루어질 수 있도록 하였다. Fig. 2는 이 연구의 일환으로 실시되었던 실물화재시험(Kweon et al., 2021)에서 화재초기에 두 가지 감지기에서 감지된 열 및 연기의 측정 데이터를 나타내고 있으며, 모든 시험에서 화재발생 5분 이내에 예비경고가 발생된 것을 확인할 수 있다.

### 2.2 플래시오버 발생시간 및 화재지속 시간 계산을 통한 조기경보 체계

건축물에서 발생되는 화재는 화재발생 구획의 규모, 환기조건 및 연료조건 등에 따라 플래시오버가 발생될 수 있다. 플래시오버(SFPE, 2002)는 가연물 점화에서부터 화재성장 후 발생되며, 플래시오버 발생이후 최성기화재 단계로 발전된다. 이와 같은 플래시오버는 일반적으로 화재발생 구획의 내부평균온도가 약 600 ℃에 도달했을 때 발생된다고 알려져 있으며(Buchanan, 2002), 최성기화재 단계로 화재가 급격히 성장하는 과정에서 재실자의 피난이 불가능해질 수 있다. 이와 같은 플래시오버는 다양한 연구를 통하여 발생가능 여부와 발생 시간 및 플래시오버 이후의 최성기화재 지속시간을 계산할 수 있으며, 이는 화재발생 건축물의 특성에 따라 달라질 수 있다. 이 연구에서는 다중밀집시설 중 상대적으로 화재안전설비 등이 취약한 노후 된 공동주택과 전통시장을 대상으로 조기경보 체계 및 대피체계를 구축하고자 하였으며, 이를 위하여 다음과 같은 계산 과정 및 식을 통하여 노후 공동주택과 전통시장의 플래시오버 발생시간 등을 사전에 산정하고자 한다. 플래시오버 발생여부와 발생시간 및 최성기화재 지속시간을 사전에 파악을 한다면, 해당 건축물의 재실자를 대상으로 주기적인 피난훈련 등을 통하여




(a) Heat detector data

(b) Smoke detector data

**Fig. 2.** Detector Data Through Real Fire Test

화재발생 시 플래시오버가 발생되는 시간 이전에 건축물 외부의 안전구역으로 대피를 할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위하여 플래시오버 발생가능 시간과 화재안전관리시스템에 수집되는 실시간 정보를 활용하여 즉각적인 조기경보 알람이 모든 재실자에게 전달될 수 있도록 하였다.

Eq. (1) (Cheng and Hadjisophocleous, 2011)은 플래시오버가 발생되는 시간(min.)을 산정하는 식으로 화재발생 구획의 환기특성(전체 개구부 크기)과 용도별 화재성장변수를 통하여 산정된다.

$$t_{F.O.}(\text{min.}) = \left(\frac{750 \times A_O \times H_O^{0.5}}{\alpha}\right)^{0.5} \div 60 \qquad (1)$$

여기에서, $A_O$는 개구부 전체면적($\text{m}^2$), $H_O$는 개구부 높이(m), $\alpha$는 화재성장변수로 아파트의 경우 0.012를 전통시장의 경우 0.047을 사용한다.

Eq. (2) (Cheng and Hadjisophocleous, 2011)는 해당 구획실 내부에서 화재의 크기가 최성기에 도달하는 시간을 산정하는 식으로써, Eq. (2)를 통하여 산정된 시간이 Eq. (1)의 결과보다 작으면 플래시오버가 발생되고, 이상이면 플래시오버가 발생되지 않는다고 판단할 수 있어 이를 통하여 플래시오버 발생여부를 판단할 수 있다.

$$t_{ex}(\text{min.}) = \left(\frac{3 \times w_f \times A_F \times H_{ch}}{\alpha}\right)^{1/3} \div 60 \qquad (2)$$

여기에서, $w_f$는 화재하중($\text{kg/m}^2$, Kweon, 2014)으로 아파트일 경우 22.67을 전통시장일 경우 23.69를 사용하며, $A_F$는 구획실 바닥면적($\text{m}^2$), $H_{ch}$는 연소율(kJ/kg)이다.

Eqs. (3) 및 (4) (Cheng and Hadjisophocleous, 2011; Harmathy, 1986)는 각각 환기지배화재와 연료지배화재 시 산정할 수 있는 플래시오버 이후 최성기화재의 지속시간을 산정하는 과정이다.

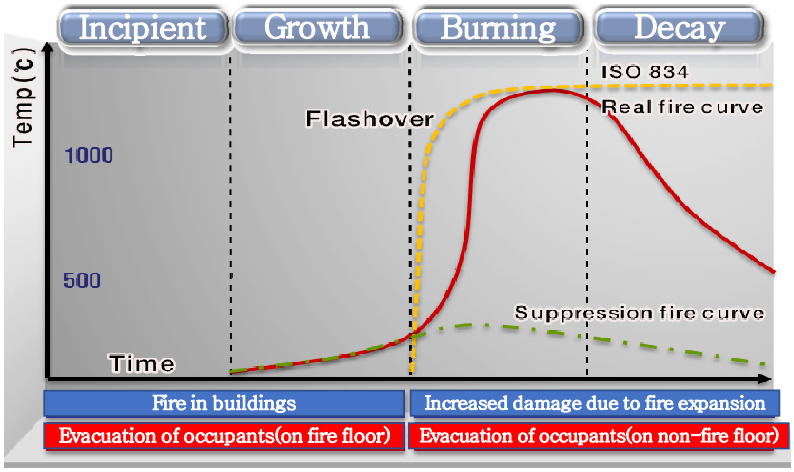



**Fig. 3.** Time-Temperature Curve for Full Process of Fire Development

$$t_{vent}(\text{min.}) = \left(10.6 \times \left(\frac{W_f}{A_O \times H_O^{0.5}}\right)\right) \div 60 \quad (3)$$

$$t_{fuel}(\text{min.}) = \left(\frac{151}{\phi}\right) \div 60 \quad (4)$$

여기에서, $W_f$는 등가 화재하중(kg), $\phi$는 연료계수($m^2$/kg)로써, 연료계수는 모든 연료를 목재로 가정하여 산정될 수 있다.

Eqs. (1)~(4)를 통하여 산정된 전통시장 및 노후 아파트의 플래시오버 발생시간, 발생여부검토결과 및 플래시오버 이후 최성기화재의 지속시간 산정과정은 이 연구에서 구축하고자 하는 화재안전관리시스템에 탑재되어 사전에 해당 건축물의 플래시오버관련 사항을 산정할 수 있도록 하였다. 또한, 이 과정을 통하여 피난허용시간에 따른 재실자 피난교육을 사전에 실시할 수 있으며, 앞서 소개한 감지기를 통한 조기경보체계와 함께 화재 시 재실자에게 신속한 경보알람을 제공하고 원활한 대피를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2.3 화재위험단계별 대피체계

일반적으로 건축물 화재발생 시 재실자의 원활한 피난을 위하여 설계단계에서부터 다양한 피난계획을 수립하게 된다. 또한, 건축물을 사용하는 과정에서 관리자는 피난통로 상시 확보, 단순한 피난통로 제시, 피난안전구역의 설정 및 피난안내도 배치 등의 다양한 항목에 대한 관리계획을 수립하게 된다. 또한 화재 시 관리자들에게 사고지휘조, 연락조, 초기소화조, 피난유도조 등의 역할을 부여하고 신속한 초기 진압과 함께 안전하고 원활한 재실자의 피난을 유도할 수 있도록 한다. 이 연구에서는 전술한 내용과 같은 다중밀집시설에서 수립하고 있는 기존의 피난계획의 원활한 운영과 재실자의 신속하고 안전한 피난을 위하여 화재위험단계에 따른 대피체계를 구축하고자 하였다.

화재, 지진, 태풍 등의 재난상황에서 설정한 위험단계는 관심, 주의, 경계, 심각의 4가지 단계로 분류할 수 있으며, 이 연구에서는 해당 위험단계를 Fig. 3 (Buchanan, 2001)에서 나타낸 화재성장단계와 매칭을 통하여 화재위험단계를 설정하고자 하였다. Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 일반적으로 화재는 착화 시기부터 화재성장, 플래시오버를 기점으로 최성기 단계를 통하여 화재발생 구획 내 가연물의 전소 또는 산소공급차단 등으로 인한 감쇄기의 4가지 단계로 분류할 수 있다.

전술한 바와 같이 이 연구에서는 화재성장단계와 재난위험단계를 매칭 하였으며, 화재초기단계를 관심(화재발생 개연성 증가), 화재성장단계를 주의(초기 화재발생으로 인명 및 재산 피해 예측불가), 최성기단계를 경계(대형화재로 연소확대 및 요구조자 다수 발생) 및 감쇄기단계를 심각(사상자 발생 및 대규모 인명·재산피해 우려)의 4가지 위험단계로 설정하였다.

각각의 화재위험단계는 화재성장단계와 동일하게 높아지며, 이에 따라 재실자의 피난가능여부 및 구조의 필요성 등의 상황이 달라질 수 있다. 따라서 이 연구에서는 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 각 화재위험단계에서 화재성장 특성에 따라 피난행동요령을 제시하고 있으며, 다양한 용도의 시설이 존재할 수 있는 다중밀집시설의 특성을 고려하여 유류 및 폭발성 화재 상황을 함께 고려하여 피난행동요령을 제시하였다. 유류 및 폭발성 화재와 같은 대형화재의 경우 초기 급격한 화재성장 및 확산이 이루지기 때문에 화재발생과 동시에 경계 및 심각단계에 돌입하고 해당 상황에서는 재실자의 신체적 상황과 주변 환경상황에 따라 자력피난유무에 따라 행동할 수 있도록 설정하였다. 또한, 재난약자의 원활한 대피를 위하여 대피체계에 시설관리자에 의한 재실자의 피난안전교육을 비롯한 상시 관리체계를 함께 제시함으로써 보다 안전하고 신속한 대피를 수행할 수 있도록 하였다.

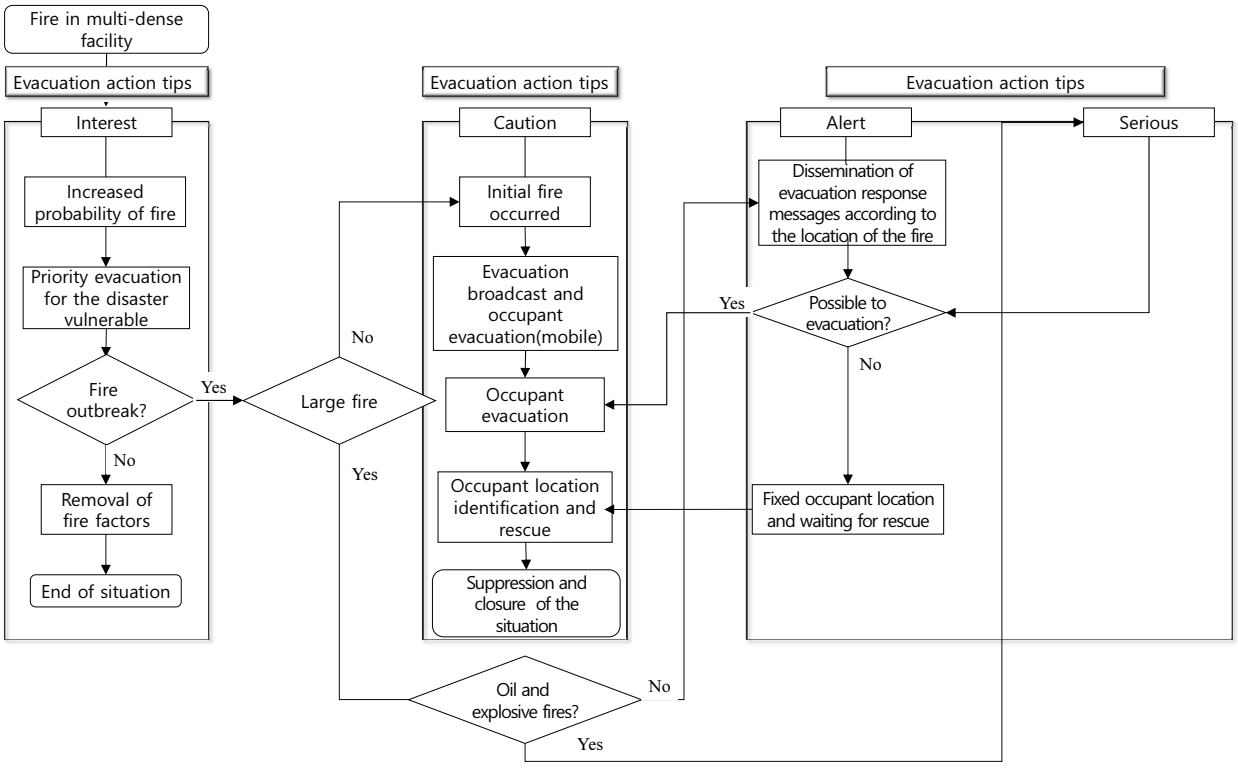


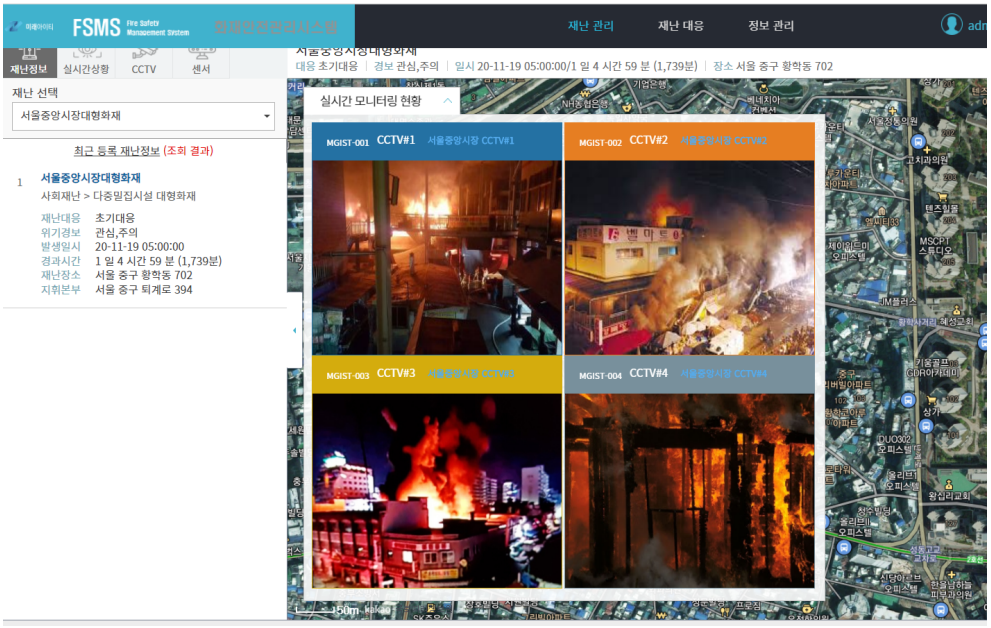

**Fig. 4.** Evacuation System by Fire Hazad Stage

## 3. 화재안전관리시스템

Fig. 5 (KICT, 2020)의 화재안전관리시스템은 2장의 조기경보 및 대피체계가 탑재된 웹 플랫폼 기반의 관리수단이다. 다중밀집시설 내부에 설치된 열 또는 연기감지기에서 실시간으로 전달되는 신호는 화재안전관리시스템으로 전송되어 실시간 화재 조기경보 상황 및 화재상황을 파악할 수 있도록 하였다. 이후 화재위험단계에 따라 모든 재실자들에게 해당 위험단계에 따른 피난행동요령을 전달하게 되고, 재실자는 전달된 행동요령에 따라 적절한 대피경로를 통하여 건물 밖으로 대피할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 모든 재실자는 이 연구를 통하여 개발된 화재안전관리시스템에 재실자의 이름, 성별, 거주 동, 거주 층, 휴대전화 번호를 비롯하여 재난약자여부 등을 등록하는 과정이 필요하다. 개인정보를 입력해야 하지만, 이러한 정보입력 사항은 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 요구조자의 위치파악 및 요구조자의 정보 확인을 위하여 필요한 내용으로 이는 유사 시 구조대에 직접 전달될 수 있도록 하였다. 또한, 재실자가 화재위험단계에 적절한 행동요령을 전달받았으나 자력으로 대피가 불가능하여 구조가 필요한 경우에는 재실자에게 전달되는 피난상황 피드백 메세지를 통하여 특정 재실자의 현재 상황을 파악할 수 있도록 하였다. 그러나 재실자가 피드백 팝업을 확인할 수 없거나 상황전달을 할 수 없는 상황 또한 존재할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 화재가 발생된 다중밀집시설 내부 층별로 요구조자의 현황(요구조자 수)을 파악할 수 있도록 무인계수시스템을 활용하였다. 무인계수시스템은 3D영상장비를 활용하여 재실자의 누적출입현황을 카운팅 할 수 있는 장비로써, 다중밀집시설 건물의 메인출입구 및 층별 메인출입구 상단에 장비를 설치하고 전문 분석 프로그램을 통하여 실시간으로 건축물 및 각 층의 출입인원현황을 파악할 수 있는 장비이다.

이와 같은 요구조자의 신원 및 위치 파악을 위한 개인정보, 피드백시스템 및 실시간 무인계수정보는 모두 구조대에 즉시 전달되어 신속한 구조가 이루어질 수 있도록 하였다. 이는 실제 화재사고 현장에서 요구조자의 대략적인 위치파악도 불가능한 상황에 대하여 구조대가 모든 층의 구획을 확인해야 하는 시간을 단축시켜줄 수 있는 수단으로써, 화재사고 현장에서 구조대의 구조효율성 또한 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5의 화재안전관리시스템에 정보등록을 완료한 모든 재실자는 화재위험단계에 따라 2장의 조기경보체계 및 대피체계에 근거하여 재실자 피난행동요령을 각 재실자의 스마트폰으로 전달받게 된다. 관심단계에서는 화재의 징후가 보이나 화재가 발생되지 않은 상황으로 화재 초기단계에서 소화기의 사용방법을 비롯한 다양한 사전 관리, 대응 및 관리방법을 안내할 수 있도록 하였다. 실제로 화재가 발생된 주의단계에서는 연기흡입방지, 시야확보 및 피난로 확인 등을 통하여 안전한 피난을 할 수 있는 행동요령을 전달할




(a) Monitoring and integrated management

(b) Transmission of evacuation action instructions

**Fig. 5.** Fire Safety Management System

수 있도록 하였다. 플래시오버를 비롯하여 화재가 확산되는 경계단계에서는 화재확산이 이루어진 상태에서 재실자의 무리한 이동 및 피난을 하지 않도록 주의사항을 비롯하여 재실자가 자력피난이 가능한 경우의 행동요령 등을 전달하도록 하였다. 끝으로 심각단계는 많은 연기로 인한 호흡곤란, 시야확보 불가 및 방화문 밖의 고온 환경 등의 이유로 대부분의 재실자가 자력피난이 어려운 상황으로 무리한 행동 및 이동 금지에 대한 안내를 전달하고 구조대를 기다릴 수 있도록 하였다. 따라서 이 연구를 통하여 제시된 화재안전관리시스템은 다중밀집시설의 화재발생 전・후 상황에서 화재안전을 위한 통합 유지관리 시스템으로도 사용할 수 있으며, 이를 통하여 화재 시 신속하고 원활한 사고대처를 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 매년 발생되는 수많은 건축물 화재사고에서 특히 많은 피해규모를 나타내고 있는 다중밀집시설을

대상으로 화재 조기경보 및 대피체계를 마련하고 이를 통합관리 할 수 있는 화재안전관리시스템을 구축하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 다양한 재실자가 존재하는 다중밀집시설 특성에 따라 화재 시 인명피해를 최소화하기 위하여 조기경보체계를 구축하였다. 이 과정에서 기존 건축물에 설치되어있거나 추가적으로 용이하게 설치할 수 있는 열 및 연기감지기를 활용한 조기경보 체계를 비롯하여 플래시오버와 같은 화재성장단계를 고려한 조기경보체계를 함께 제시할 수 있었다.
2. 화재성장곡선에 따른 화재위험단계를 구성하였으며, 다중밀집시설 화재 시 해당되는 위험단계에 따라 재실자의 행동요령을 제시하여 원활하고 신속한 피난을 유도하였다. 이는 이 연구를 통하여 개발한 화재안전관리시스템을 통하여 자동으로 이루어지는 과정으로써, 모든 재실자는 해당 다중밀집시설을 통합관리 할 수 있는 화재안전관리시스템에 회원가입을 통하여 재실자 상주위치를 비롯한 다양한 정보입력을 통하여 이루어지도록 하였다.
3. 화재안전관리시스템은 조기경보체계 및 대피체계가 탑재된 웹 플랫폼 기반 서비스 프로그램 개발하였으며 화재발생 시 모든 재실자를 비롯한 관리자 및 관할 소방서 등에 해당 사항을 자동으로 전달하고, 관리자와 재실자에게는 화재위험단계에 따른 행동요령을 전달할 수 있도록 하였다. 또한, 별도의 피난상황 피드백 알림을 통하여 피난이 완료된 재실자와 피난이 완료되지 않은 재실자를 구분하여 구조가 필요한 인원을 파악할 수 있도록 하였다.
4. 무인계수시스템을 추가적으로 도입함으로써 화재 시 다중밀집시설 내에서 피난을 하지 못하여 구조가 필요한 재실자 수를 구조대에 전달할 수 있도록 하였다. 이를 통하여 화재 시 각 층 및 건축물 전체의 요구조사수를 파악할 수 있어 원활하고 안전한 재실자 구조를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 추후 실사용 건축물을 활용하여 화재상황을 가정하고 피난실험을 실시함으로써 이 연구를 통하여 제시된 다중밀집시설의 조기경보 및 대피체계와 화재안전관리시스템의 실용성 검증이 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 행정안전부 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업(2020-MOIS51-003)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## References

Buchanan, A.H. (2001). *Fire engineering design guide.* University of Canterbury, p. 240.

Buchanan, A.H. (2002). *Structural design for fire safety.* Wiley & Sons Ldt, p. 421.

Cheng, H., and Hadjisophocleous, G.V. (2011). Dynamic modeling of fire spread in building. *Fire safety Journal,* Vol. 46, No. 4, pp. 211-224.

Harmathy, T.Z. (1986). Post-flashiover fires- an overview of the research at the national research council of canada (NRCC). *Fire Technology,* Vol. 22, No. 3, pp. 210-233.

KICT. (2020). *Multi-dense facility fkre scenario-based early warning and evacuation system development.* Korea Local Information Research & Development Institute, pp. 64-85.

Kweon, O.S. (2014). *A parametric fire model for performance based fire safety design of residence and office spaces.* Ph.D. dissertation, University of Seoul, pp. 1-163.

Kweon, O.S., Kang, H., and Kim, H.Y. (2021). Experimental study on the spread characteristics of initial fires accoring to corridor types. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 4, pp. 49-59.

MOIS. (2020). Statistical yearbook of MOIS. *MOIS information and statistics division,* Vol. 22, pp. 24-25.

SFPE. (2002). *SFPE handbook of fire protection engineering* (3rd ed). Quincy, MA.: National Fire Protection Association.

| | |
|---|---|
| ***Received*** | October 12, 2021 |
| ***Revised*** | October 14, 2021 |
| ***Accepted*** | October 25, 2021 |