공동주택 화재대응 스마트 피난 시스템 개발

Development of Smart Evacuation System for Fire Response in Apartments

허광희* · 김영범** · 서상구*** · 전승곤**** · 이재훈***** · 김대혁*****

Heo, Gwanghee*, Kim, Youngbeom**, Seo, Sanggu***, Jeon, Seunggon****, Lee, Jaehoon*****,
and Kim, Daehyuck*****

Abstract

A smart evacuation system is developed herein to reduce damage to lives and property by inducing rapid evacuation of the residents in the event of apartment fires. The smart evacuation system provides a safe evacuation environment and the best physical evacuation conditions by detecting the loads to be applied to evacuation facilities at all times. In addition, fire information is automatically disseminated to the residents and managers during a fire for initial evacuation, and the function for early fire extinguishing is enabled via report to the 119 situation room. The smart evacuation system comprises a safety ladder for evacuation, an ideal detection system to detect obstructions in the evacuation facilities, and a communication system to quickly inform authorities, residents, and managers of a fire. To verify effective performance of the safety ladder, real safety ladders were constructed and their structural performance and usability were verified. In addition, to ensure their permanent space in evacuation facilities, we verified that obstructions to evacuation were accurately detected as anomalies in real time using contactless sensors and communication modules. Finally, the fire information was sent to residents and managers in case of a fire to assist evacuation as well as reported to 119 for rapid suppression. Thus, we demonstrate that the smart evacuation system allows safe and effective evacuation with fast and accurate information in the event of a fire and is useful for initial response for fire suppression.

Key words : Evacuation Facility, Apartment Fire, Safety Ladder, Object Detection

요 지

본 연구는 공동주택에서 화재 발생 시 거주자의 신속한 피난을 유도하여 인명 및 재산 피해를 저감하는 스마트 피난 시스템을 개발하였다. 스마트 피난 시스템은 피난시설에 적재될 수 있는 적재물을 상시 검출하여 안전하게 대피를 할 수 있는 환경과 물리적으로 최상의 대피 여건을 제공한다. 또한, 화재 시 거주자와 관리자에게 신속하게 화재정보를 자동으로 전파하여 초동대피를 유도하고, 119 상황실로 보고하여 화재를 조기에 진압할 수 있는 기능을 제공한다. 스마트 피난 시스템은 피난에 사용되는 안전사다리 및 피난대피처의 방해물을 검출하는 이상물 검출시스템, 그리고 거주자와 관리자뿐만 아니라 119에 신속하게 화재정보를 알리는 통신시스템으로 구성되어 있다. 안전사다리의 효과적인 성능을 검증하기 위해서 제한한 실물 크기의 안전사다리를 제작하여 구조적인 성능과 신속한 사용성을 검증하였다. 또한, 피난대피처의 공간을 상시 확보하기 위해서 피난대피처에 비접촉센서와 통신 모듈을 사용하여 실시간으로 정확하게 피난 방해물을 이상물로 검출하는지의 가능성을 확인하였다. 마지막으로 화재 시 거주자와 관리자에게 신속하게 화재정보를 송신하며 대피를 돕고 신속한 화재진압을 위해서 화재정보를 119에 신고하는 기능을 검증하였다. 이 결과 본 스마트 피난 시스템은 화재 시 신속 정확한 정보제공으로 안전하면서도 효과적인 대피를 유도하며, 화재진압 시 초동대응에 매우 유용한 시스템임을 입증하였다.

핵심용어 : 피난시설, 공동주택화재, 안전사다리, 적재물 검출

*정회원, 건양대학교 해외건설플랜트학과 교수(E-mail: heo@konyang.ac.kr)

Member, Professor, Dept. of Civil & Plant Engineering, Konyang University

**한서대학교 산학협력단 교수

Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation of Hanseo University

***충남도립대학교 건설안전방재학과 교수

Professor, Dept. of Construction Safety & Disaster Prevention Chungnam State University

****충남도립대학교 건설안전방재학과 조빙교수

Visiting Professor, Department of Construction Safety & Disaster Prevention Chungnam State University

*****교신저자, 정회원, 건양대학교 재난안전공학과 석사과정(Tel: +82-41-881-2459, Fax: +82-41-881-2449, E-mail: hoon141@naver.com)

Corresponding Author, Member, Master's Student, Department of Disaster Safety Engineering, Konyang University

*****건양대학교 재난안전소방학과 석사

Master, Department of Disaster Safety & Fire, Konyang University

1. 서 론

18세기 산업혁명 이후 산업의 급성장으로 인해서 인구가 도시에 집중되고 집중된 인구가 밀집된 공간에 거주해야만 되는 도시환경으로 인하여 주거시설이 고층화되면서 시설물의 대형화를 가져오게 되었다. 이와 같은 밀집된 공동주택은 주택구조와 형태가 복잡하고 다양화되어 화재로 인한 인명과 재산의 피해가 점차 증가하고 있다.

대표적인 예로, 부산 우신골든스위트 화재(한국, 2010), 상하이 자오저우루 아파트 화재(중국, 2010), 런던 그린펠 타워 화재(영국, 2017) 등은 이와 같은 공동주택의 특성으로 인해서 대형 피해가 발생한 경우이다(Naver data retrieval, 2020). 이러한 대형 화재로 인한 피해 원인은 신속한 화재진압과 인명구조를 위한 피난기구나 피난 시스템이 준비되어 있지 않았고 완강기 같은 원시적인 대피 시설만 제공되고 있다는 점이다. 따라서 많은 국가에서 화재로 인한 막대한 재산과 인명피해를 줄이기 위하여 피난시설의 설치와 관리를 의무화하는 등 많은 노력을 기울이고 있다.

한국의 경우에는 1962년 건축법 제정 이후 피난시설과 관련된 규정은 ‘건축법 시행령’(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020a)과 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙’(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019b)에 규정되어 있으며, 피난시설은 건축법에 근간해서 규정하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019a). 특히, 1992년 7월에 발표된 주택건설기준 등 이에 관한 규정과 관련 조항을 신설하면서 공동주택에 피난시설을 설치하기 시작하였고(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 1992), ‘화재 예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률’ 제10조(피난시설, 방화구획 및 방화시설의 유지·관리)에 따라 피난시설에 방해물을 설치하는 행위에 대해서도 과태료를 부과하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b).

미국의 경우 International Code Council (ICC)의 International Building Code (IBC) Chapter 10 (MEANS OF EGRESS)와 National Fire Protection Association (NFPA)의 101B (Code for Means of Egress for Buildings and Structures) 등의 규정에 피난시설에 관한 내용을 명시하고 있으며 피난시설의 용도와 분류를 이용자 중심으로 명시하고 있다(National Fire Protection Association, 2002; International Code Council, 2018).

일본의 경우는 건축기준법 제35조(특수 건축물 등의 피난 및 소방에 관한 기술적 기준)에 피난시설에 관한 내용을 명시하고 있는데 한국, 미국과는 다르게 건축기준법 내에 피난시설을 특수 건축물로 분류하여 피난시설 내의 피난기구 설치와 관련한 기준을 마련하여 적용하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2020).

이처럼 한국을 비롯한 많은 국가가 공동주택의 피난시설과 관리에 관한 관심이 높아지면서 화재로 인한 피해를

최소화하기 위한 다양한 연구가 진행되어왔다. 예를 들어 방화문의 차열효과를 높이기 위해서 Seo et al. (2014)는 아파트 각 세대에 설치되는 대피공간의 실물 모형을 제작하여 차열 방화문의 내화성을 검증하는 연구를 수행하였다. 그리고 Choi et al. (2014)는 11층 이상의 고층 건축물에 승강기식 피난기가 설치될 경우의 안전성과 적응성을 검증하기 위한 연구를 수행하였으며, Yue et al. (2018)는 실외형 하향식 피난 기구를 사용 시 피난 소요시간을 단축하는 효과가 있음을 확인하는 연구를 수행하였다. Park et al. (2018)는 발코니형 피난기구를 설계하고 피난 시뮬레이션을 이용하여 현장 적응성을 확인함으로써 새로운 피난방법을 제시하고자 하였다. 또한, 유해가스로부터 안전한 대피를 위해서 Kim (2015)는 화장실에 설치된 배기장치를 활용하여 화재 시 외부 공기를 공급하여 가압함으로써 유독가스가 화장실 내부로 들어오는 것을 방지하고, 수막형성장치를 화장실 문에 설치하여 화재 시 화장실의 출입문에 수막이 형성되면서 화재를 차단함으로써 화장실을 피난대피처로 확보하는 기술을 보였다.

이러한 다양한 연구들에서 인명피해를 최소화하려는 시도를 하였으나 차열기능은 대형 화재에서 한계를 보였으며, 안전한 대피를 위해서 확보된 대피공간은 평상시 화물을 보관하는 사례가 많아 상시 안전공간으로써 제 기능을 발휘하지 못하고 있다. 또한, 실제 층간 대피를 위해서 이용하는 피난기구(사다리, 승강기 등)도 완력이 부족한 노약자나 장애인들에게는 그 사용성이 매우 낮다.

따라서 본 연구에서는 화재 발생 시 대피공간 내에서의 신속하고 안전한 대피를 위하여 비상구의 문을 여는 순간 자동으로 사다리가 열리면서 일정한 각도를 주어 노약자를 포함한 사용자의 안정감을 보완한 안전사다리를 개발하였다. 또한, 대피 시 대피공간에 보관된 화물로 인한 대피 곤란 및 대피시간 지연에 따른 피해를 방지하기 위하여 상시 이상물 검출시스템을 개발하였으며, 화재 상황 정보를 피난자와 관리자 그리고 소방서에 즉시 알릴 수 있는 스마트 피난 시스템을 개발하였다.

2. 기존 공동주택 피난시설의 개선점

공동주택에 설치된 피난시설이란 화재 발생 시 거주자가 화재로부터 안전한 구역까지 이동할 수 있는 피난기구와 구조될 때까지 화재로부터 안전하게 피할 수 있는 제반 시설을 말한다. 공동주택에서 피난시설은 실외에 설치되는 피난시설과 실내에 설치되는 피난시설로 구분할 수 있다. 여기서 실내에 설치된 피난시설은 공동주택의 개별기구 내에 설치되어있는 제반의 피난시설을 말하며, 실외의 피난시설은 건물의 공동으로 사용하는 계단과 공동구역에 설치된 완강기 같은 시설을 포함한다. 본 장에서는 이들의 장단점을 살펴보고 이들의 한계점을 극복할 수 있는 대안을 제시하고자 한다.

2.1 실외 피난시설의 한계점

실외에 설치된 피난시설은 Fig. 1과 같이 건물 내에 직통계단이 설치되어 거주자들이 공동으로 사용하는 대표적인 실외 피난시설이다.

이 직통계단은 지상에서부터 마지막 최상위층까지 연결된 개방형 구조로 화재 시 개별가구에서 출입구를 열고 가구 밖으로 탈출하는 방식이다. 이러한 직통계단은 우리나라 건축법 시행령 제34조에 따라 거실의 각 부분으로부터 보호거리가 30~40 m 이내에 설치하도록 규정되어 있어 모든 가구에서 쉽게 접근이 가능한 시설로, 공동주택에서 화재를 대피하기 위한 수단으로 가장 빈번하고 손쉽게 사용되는 시설이다. 그러나 화재가 발생할 경우, 직통계단은 건물 전체에 개방이 된 구조적인 특성으로 인해서 외부 공기가 유입되어 연돌 효과(Stack Effect)가 발생하고 그 결과 연기와 불길의 직통계단을 통하여 수직으로 상승하면서 피난에 어려움을 준다. 그리고 안전불감증으로 인해 대피로에 보관된 자전거 및 기타 방해물 등은 대피 시 거주자의 신속한

Fig. 1. Direct Stairs in Apartment

대피를 방해하여 큰 피해로 이어지는 사례가 빈번하다.

이밖에도 완강기 등과 같은 공동 실외 피난시설이 있으나 평소 사용법을 숙지하지 않으면 신속한 사용이 어렵다. 또한, 이러한 시설들은 흔히 기구에 의해 공중에 매달린 상태에서 내려가야 하므로 사용자가 공포심을 느낄 수 있는 소지가 있으며 이로 인한 2차 사고의 발생 우려가 있다.

따라서 이러한 위험성 및 사용상의 어려움이 없이 누구나 간단하고 신속하게 안전성을 확보할 수 있는 실내 피난대피 시설의 개발이 필요하다.

2.2 실내 피난시설의 개선점

소방청 국가화재정보센터에서는 최근 5년간 국내 공동주택의 화재사고 시 발화지점에 대한 조사내용을 바탕으로 연도별 총 화재 건수에 따른 공동주택의 구역별로 화재 발생 건수를 비교·분석하여 Table 1과 같이 나타내었다 (National Fire Agency, 2020). 이 자료에 따르면 최근 5년간의 화재 발생 발화지점 중 가장 많이 화재가 발생한 장소는 실내 생활공간으로 평균 35.6%의 화재가 발생하였다.

이 결과는 각각의 실외 공간 3곳(설비공간, 출구, 구조물 등)의 발화지점을 다 합한 것과 유사한 수치로 전체 화재 건수 중 실내 생활공간의 화재 발화가 높은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다.

따라서 실내 화재 시 주민들의 신속한 대피와 안전성을 보장할 수 있는 실내 피난대피시설의 적극적인 개발이 필요하다. 이와 같은 필요성으로 인하여 Fig. 2와 같이 다양한 실내 피난시설(피난기구에 추가된 피난기능 및 장치)이 개발되어 상용화하고 있다.

현재 상용화 되고있는 실내 피난기구 중 대표적인 실내 피난기구는 Fig. 2와 같이 승강식 피난기구, 하향식 피난사다리, 발코니형 피난기구 등이 있다. Fig. 2(a)의 승강식 피난기구는 유압에 의한 승강식 피난기구로 사용자의 체중에 의한 위치에너지로 작동되며 기계식 왕복운동을 이용하여 외부에서 별도의 동력공급 없이 자동으로 운행된다. 하지만 동시

Table 1. Numbers of Fire by Ignition Point in the 5 Years

Year	Number of Fire	Indoor Living Space (Kitchen etc.)	Outdoor Facility Space (Parking Lot etc.)	Outdoor Exit (Indoor Stairs etc.)	Outdoor Structure (Roof etc.)	Etc. (Unknown etc.)
2016	27,208	9,858 (36%)	3,825 (14%)	1,120 (4%)	4,095 (15%)	8,310 (31%)
2017	27,710	9,619 (35%)	4,078 (15%)	1,163 (4%)	4,659 (17%)	8,191 (30%)
2018	28,011	9,952 (36%)	4,410 (16%)	1,225 (4%)	4,330 (15%)	8,094 (29%)
2019	26,023	9,443 (36%)	3,770 (14%)	1,019 (4%)	4,005 (15%)	7,786 (30%)
2020	24,926	8,736 (35%)	3,871 (16%)	992 (4%)	3,717 (15%)	7,610 (31%)

(a) Elevator Type Evacuation Instrument
(Narigo for Asia fire protection., Ltd.)

(b) Top-down Evacuation Ladder
(Salrigo lift for Didimdol Co. Ltd.)

(c) Balcony Type Evacuation Instrument
(Magic Escape Stair for FINE DNC Co. Ltd.)

Fig. 2. Indoor Evacuation Instruments

탑승 인원이 최대 2명까지만 탑승할 수 있으므로 많은 인원이 대피하는 데는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 체중에 의해 작동되기 때문에 사용자들의 대피시간을 예상하고 파악하기가 어렵다는 한계점이 있다. Fig. 2(b)의 하향식 피난사다리는 사다리를 수동으로 전개하여 피난하는 방식으로 다른 피난기구들에 비해 구조가 단순하여 쉽게 사용할 수 있으며 전개와 복구가 빠르고 설치 가격이 비교적 저렴하다. 그러나 대부분의 하향식 피난사다리의 경우 캔틸레버형식으로 상단부가 개폐부에 고정된 형태로 제작되기 때문에 사용자에게 따라 사다리의 흔들림에 따른 불안정성으로 대피 시 다른 피난기구에 비해 추락사고와 같은 2차 사고의 위험성이 높다. Fig 2(c)의 발코니형 피난기구는 평소에는 발코니의 추락 방지를 위한 안전간대로 이용되다가 화재 발생 시 전방으로 난간을 전개하여 피난이 가능한 계단으로 사용할 수 있는 변신형 피난기구로 사용 시 창문을 개방하여야 한다. 따라서 외부의 공기가 주택 내부로 유입되면서 발생하는 Back Draft 현상으로 인한 연소가스에 2차 발화를 유발시킬 수 있으며, 다른 피난기구들에 비해 가격이 높다는 단점이 있다.

기존에 적용되고 있는 사례들의 장단점을 살펴본 결과 실내 피난기구는 가능한 구조가 단순하면서도 사용법이 간단하여야 하며, 화재로 인한 외부동력이 차단될 경우를 고려하여 무동력 상태로의 작동이 가능한 실내 피난기구가 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한, 화재 시 최단 시간 내에 최대한 많은 인원의 대피가 가능하고, 기구의 안전성을 확보하여 2차 사고발생(추락사고 등)을 최소화하여야 한다. 이와 더불어 평상시 피난처에 화물과 같은 방해물이 없도록 관리되어야 효과적인 피난 기구로써의 기능을 발휘하게 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 화재 발생 시 피난자가 모두 대피공간으로 피난하였을 때를 전제 조건으로 수행하였으며, 동일한 조건에서의 기존 피난기구의 다양한 문제점을 보완한 피난기구를 제작하였다. 또한, 평상시에 대피공간의 안전성 확보를 위한 이상물 검출시스템과 통신시스템을 개발하였다. 이와 같은 시스템들을 종합하여 최종적으로 스마트 피난

시스템을 개발하여 활용 가능성을 확인하였다.

3. 스마트 피난대피시스템

스마트 피난대피시스템은 화재 발생 시 피난대피처에 설치된 피난기구를 사용하여 신속한 대피가 가능하도록 주민에게 화재정보를 제공하고 유독가스로부터 피난자들의 피해를 최소화하며, 화재 발생과 동시에 119 상황실에 화재 정보를 전달하여 조기에 화재를 진압할 수 있도록 하는 시스템이다.

먼저, 스마트 피난대피시스템의 다양한 기능을 구축하기 위하여 구조가 단순하고 공급전류 차단시 사용성이 용이한 무동력 실내 피난기구를 설계/제작하였다. 다음으로 항상 피난대피처의 안정적인 사용성을 확보하기 위하여, 외부로부터 방해물이 진입되는 것을 관리자에게 실시간으로 정보 제공을 함으로써 피난대피처의 공간을 항상 확보할 수 있도록 이상물 검출시스템을 개발하였다. 또한, 화재가 발생하면 자동으로 주민에게 화재정보 및 대처방안을 안내하고 119 상황실에 화재 상황을 전달하여 조기 대응이 가능하도록 통신시스템을 개발하였다. 최종적으로 피난사다리, 이상물 검출시스템, 통신시스템이 종합된 신속하고 안전한 스마트 피난 시스템을 개발하였다.

이 스마트 피난 시스템은 Fig 3(a)와 같이 일반적인 공동주택의 구조로 설계하였으며, 별도의 피난대피처를 확보하고 피난기구인 안전사다리를 설치하여 신속하게 대피하도록 구성하였다. 그리고 안전사다리는 Fig. 3(b)에서 보여주는 바와 같이 벽에 매립형으로 부착되어 화재 시 사다리의 하단이 앞으로 이동하여 경사를 주어 피난자가 안전하게 내려올 수 있도록 하였다. Fig. 3(c)는 이상물 검출시스템을 설치하여 항상 피난대피처 공간을 확보하여 원활한 대피를 할 수 있도록 하였다. 마지막으로 Fig 3(d)와 같이 무선통신시스템을 개발하여 거주자에게 화재 상황을 정확히 인지시키고 대피 안내를 함과 동시에 즉시 관리실과 119 상황실에 화재정보를 전달하여 조기에 화재진압이 가능하도록 하였다.

(a) Floor View of Apartment

Fig. 3. Concept of Smart Evacuation System Design

3.1 안전사다리 설계/제작 및 성능검토

안전사다리가 설치된 대피공간은 Fig. 4의 설계 도면과 같이 총 3,100 mm의 높이에 폭이 314 mm의 크기로 실제 기존 공동주택의 대피공간과 동일하게 설계하고 제작하였다.

Fig. 4(a)는 층별 설치되는 안전사다리의 비상구로써 탈출을 위해서 비상구를 개방함과 동시에 안전사다리의 하부가 앞으로 전진할 수 있도록 설계하여 안전하게 사다리를 펼치게 된다. 기존 대피공간에 설치되어있는 비고정식 사다리는 하부가 고정되어 있지 않다. 따라서 건장한 성인 남성도 쉽게 대피하는 것이 어렵다. 이와 달리 본 연구에서 개발한 안전사다리는 하부를 고정하고 사다리의 기울기를 10.6도 기울여 기존 피난사다리에 비해 상대적으로 큰 힘을 들이지 않고 대피할 수 있어 남녀노소 모두 신속한 대피를 할 수 있도록 개발하였다. 이때 기울기를 10.6도로 선택한 이유는 성인 남성을 기준으로 사다리에서 내려와 옆에 있는 다른 비상구로 이동할 수 있도록 최소한의 여유 공간인 600 mm 이상 확보하기 위한 최적의 기울기이다. 안전사다리의 세부 장치와 기능은 다음 Fig. 5에서 보여주는 바와 같다. 비상탈출구의 개방과 동시에 사다리를 고정하고 있는 걸림 부재가 분리되면서 사다리 후면에 부착된 댐퍼의 힘으로 사다리가 전진하는 원리로 외부의 동력 없이 안전사다리의 하단이

(a) Side View

(b) Front View

(c) Emergency Exit

Fig. 4. Layout of Safety Ladder (Unit : mm)

(a) Safety Ladder

(b) Evacuation Space

Fig. 5. Detailed Layout and Function of Safety Ladder

자동으로 전방으로 열려서 대피자가 안전하게 탈출을 할 수 있도록 작동을 한다. 이 댐퍼는 피난자를 최대한 안전하고 신속하게 대피를 할 수 있도록 최대 스트로크 300 mm, 최대 반발력 900 N으로 사다리를 이용할 때 후면으로 밀리는 것을 방지하여 안전을 유지하도록 하였다. 사다리를 원활하게 펼쳐지고 접힐 수 있도록 사다리 상부와 하부의 크기를 달리하여 상부 각관에 하부 각관을 밀어 넣어서 사다리 길이 조절이 가능하도록 하였다.

이와 같이 설계된 안전사다리를 Fig. 6과 같이 현장에 설치하여 사용성을 검증하였다. 먼저 기능적인 점검과 두

번째는 구조적인 안정성을 검토하였다. 제작된 피난사다리의 기능적인 사용성을 검증하기 위해서 Fig. 6과 같이 비상탈출구의 원활한 작동 여부와 비상탈출구를 개방함으로써 안전사다리가 적절한 거리만큼 전진하여 안전하게 펼쳐지는지를 검토하였다. 본 연구에서 개발된 사다리의 경우 100회의 모의 테스트를 통해 정상 작동 여부를 평가하였다. 그 결과 비상구를 열고 사다리가 펴지기까지 평균 1.2초가 소요되는 것을 확인하였으며, 사용자가 사다리를 타고 내려오는데 평균 5초의 시간이 소요되는 것으로 확인되었다. 결국, 비상구를 열고 아래층으로 대피하는데 8초의 시간도 채 소요되지 않았다.

Fig. 6의 상단에 있는 비상탈출구를 열고 실제 안전사다리가 제대로 작동하는지를 Fig. 7과 같은 절차를 통하여 안전성과 기능성을 검토하였다.

3.2 안전사다리의 구조 성능 설계

안전사다리의 재료는 스테인리스를 사용하였으며, 이 재

Fig. 6. Installed Safety Ladder in the Safety Room

Fig. 7. Flow Chart of Safety Ladder Operation

료의 제원은 Table 2와 같다. 안전성을 높이기 위해서 가볍고 고성능의 강도를 갖는 재료를 선택하였다. 안전사다리의 구조적인 안전성을 높이기 위해서 최대 허용하중은 우리나라 평균 체중인 약 70 kgf를 기준으로 3배인 약 210 kgf 하중에서도 안전사다리의 안전성을 확보할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 8(a)와 같이 약 10.6도의 경사를 가진 사다리에 연직방향으로 210 kgf의 하중을 작용하였을 때, 사다리 부재의 지점 반력과 부재력을 계산하여 휨응력에 대한 안전성을 검토하였다. 이와 같은 하중이 작용할 때, Figs. 8(b)와 8(c)에

Table 2. Material Property of Stainless Steel

Properties	Value
Modulus of elasticity (E)	193 GPa
Shear modulus of elasticity (G)	77 GPa
Yield Strength (σ_Y)	215 MPa
Ultimate stress (σ_U)	505 MPa
Poisson's Ratio (ν)	0.265

Fig. 8. Calculation of Maximum Allowable Load of Safety Ladder

서 보여주는 바와 같이 하중과 부재력의 역학적인 관계를 고려하여 최대 단면을 Fig. 8(d)와 같이 계산하였다. 이 결과 가로와 세로의 치수가 각각 외경이 약 35 mm이고 두께가 2 mm인 각판을 선택하였다. 선택된 스테인리스 각판의 1 cm의 허용처짐에 대한 안전성을 검토하였다. Eq. (1)은 사다리에 작용하는 전단력, V_a 을 처짐에 관한 식으로 계산한 것이다. 여기서 E 는 탄성계수(200 Gpa)이고 I 는 단면 2차 모멘트($1.372 \times 10^{-6} m^4$)이다. 그리고 δ_{10} 은 허용처짐으로 약 0.01 m이다.

$$V_a = \frac{48EI\delta_{10}}{L^3} \quad (1)$$

$$= \frac{48 \times (2.039 \times 10^{10}) \times (1.372 \times 10^{-6}) \times 0.01}{(2.795)^3}$$

$$= 614.989 kgf$$

이제 이 사다리에 처짐 0.01 m을 유발하는 전단력, V_a 에 대항할 수 있는 하중을 계산하면 Fig. 8(c)로부터 라미의 정리를 적용하면 최대 허용하중, w_p 는 다음 Eq. (2)와 같다.

$$\sin 10.6^\circ = \frac{V_a}{w_p} = \frac{614.989 kgf}{w_p} \quad (2)$$

$$\therefore w_p = \frac{614.989 kgf}{\sin 10.6^\circ} = 3343.215 kgf$$

따라서 안전사다리가 1 cm의 휨이 발생할 때 필요한 하중(w_p)을 계산한 결과와 설계 시 고려한 최대 허용하중 210 kgf를 비교하면 사다리가 감당할 수 있는 하중이 월등히 높은 값을 보이며 설계대비 안전율이 약 15.9%로 확인되었다. 그 결과 제작된 안전사다리의 최대 하중에 대한 안전성을 검증하였다.

3.3 이상물검출 시스템 설계/제작 및 성능평가

피난대피처는 비상시 임시 대피하는 공간으로써의 역할과 탈출을 위한 통로로써 항시 안전성 및 사용성이 확보되어야 한다. 이와 같은 기능을 온전히 발휘하기 위해서는 대피공간의 상시 관리가 필요하여, Fig. 9와 같이 이상물을 검출하는 시스템을 개발하였다. 이상물 검출시스템은 센서 계측부와 통신모듈로 구성되어 있다.

이와 같은 이상물 검출시스템의 작동 알고리즘은 Fig. 10과 같이 단순하면서도 물체를 정확히 인식하고 신속하게 정보를 전달할 수 있도록 아두이노 제품에 작동 알고리즘을 임베디드하여 독자적인 통신기능을 갖도록 하였다.

센서의 작동 알고리즘은 센서에서 신호(Ultra Sonic, Laser 등)가 방출되어 이상물체의 유무에 따라 수신되는 신호를 분석하고, 일정 시간을 초과하여 센서에 감지되는 경우, 거주자와 관리자에게 상황을 고지함으로써 대피공간을 확

보할 수 있도록 하였다.

위의 이상물 검출시스템의 성능 검증을 위하여 Fig. 11과 같이 피난대피처의 각 모서리 부분에 센서 4개를 설치하여 전후좌우/상하를 감지하도록 하였다. 이는 피난대피처 내에 사각지대를 줄여 이상물을 정확하게 감지할 수 있는 범위를 확대하기 위함이다. 통신모듈은 센서보다 높은 위치에 설치하여 센서와 통신모듈에서 발생하는 신호들이 서로 간섭하

Fig. 9. Concept of Object Detection System

Fig. 10. Algorithm for Operation of Object Detection System

Fig. 11. Sensor and Communication Module Location

지 않도록 하였다.

이상물 검출시스템의 센서와 통신모듈의 기능을 검증하기 위해서 Fig. 12(a)와 같이 RF통신 모듈의 작동 테스트를 진행하였으며, Figs. 12(b), 12(c)와 같이 레이저 신호를 방출하고 다시 수신할 수 있는 송수신 모듈로부터 이상물을 일정한 주기와 불특정주기를 반복적으로 적용하여 감지성능의 신뢰성 실험을 하였다. 감지된 신호는 Fig. 12(a)의 무선 송신 모듈을 통하여 거주자와 관리자에게 정보를 전달하게 된다.

3.4 일대다중 통신모듈의 역할과 기능

피난자의 대피처로부터 발생한 각종 정보(화재, 이상물 검출 등)는 근거리무선통신 시스템(블루투스)을 Fig. 13과

Fig. 12. Operation Test of Sensor and Communication Module

Fig. 13. Concept of Local Communication System

같이 각 층의 대피처에 설치하고 이 통신시스템이 관리실의 무선송신 시스템과 상호 통신을 하도록 하였다.

특히, 중간층에서 화재나 기타 사고로 중간층의 통신모듈이 불통이 되어도 Host 모듈에서 우회 통신을 하여 송수신이 가능하도록 하였다. 또한, 화재로 인하여 외부동력이 차단되어도 상시 충전용 배터리를 통하여 정상 운영이 가능하도록 하였다. 그리고 이와 같은 정보를 관리자나 119 상황실로부터 피드백을 해서 피난자(거주자)에게 정보를 전달할 수 있는 양방향 통신시스템으로 개발되었다. 특히 관리실과 119 상황실 간에는 공중망을 이용하여 사용자 누구나 정보를 쉽게 공유할 수 있도록 하였다.

4. 결 론

화재가 발생할 경우에 피난자(거주자)의 안전한 대피를 위하여 1차적으로 피난대피처 공간을 확보하고, 사용성이 용이한 안전사다리를 개발하여 신속하게 대피를 할 수 있는 스마트 피난시스템을 제안하여 인명과 재산을 보호할 수 있도록 하였다.

1. 화재발생 시 신속한 대피를 위하여 피난대피처를 항상 확보하기 위한 이상물검출시스템을 개발하였으며, 이로 인하여 확보된 피난대피처로의 즉각적인 대피를 통한 사용자의 안전성을 확보하도록 하였다.
2. 비상탈출구를 통한 층별 이동 대피를 위하여 안전하고 신속하게 대피할 수 있는 안전사다리를 개발하였다. 사다리의 안정적인 사용을 위하여 사다리의 하부를 바닥에 고정함으로써 흔들림에 의한 불안감 해소로 인한 안정성을 확보하였고, 경사도를 주어 기존의 피난사다리에 비하여 남녀노소 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 하였으며, 추락과 같은 2차 사고로부터 피해를 최소화할 수 있도록 하였다.
3. 개발된 무선통신시스템은 거주자와 관리자 그리고 119 상황실에 화재정보를 즉시 제공하여 신속한 초동 대응으로 효과적인 화재진압 및 피난자의 안전한 대피를 유도하여 피해를 최소화하도록 하였다.

이와 같은 연구결과를 바탕으로 본 연구에서 개발된 스마트 피난시스템은 신속하고 효과적인 화재진압 및 안전대피를 유도하게 됨으로써 인명피해를 최소화할 수 있는 매우 유용한 시스템임을 확인하였다.

단, 본 연구는 효과적인 시스템 구성을 위한 연구로 공동주택에 바로 적용하기 위해서는 구체적인 추가 연구가 필요하다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 실용화를 위한 연구를 향후 수행할 계획이다. 먼저 이상물 검출시스템은 다양한 조건의 실험을 통하여 이상물 검출을 위한 최적 조건을 제시하기 위한 연구를 수행할 것이다. 다음으로 일대 다중통신시스템의 모듈을 제작하고, 제작된 모듈에 이상물 검출시

시스템을 결합하여 통신 시스템 모듈의 일대 다중통신 성능을 검증하는 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업(NRF-2018R1A6A1A03025542). 본 연구가 이루어지도록 지원하여 준 한국연구재단에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Choi, K.C., Ra, P.J., and Seul, Y.M. (2014). A study on the necessity of introducing evacuation instrument in high-rise buildings -Focusing on elevator type evacuation instrument-. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 10-19.
- International Code Council. (2018). *International Building Code Chapter 10*. USA.
- Kim, J.S. (2015). Development of technology to secure refuge space by using existing restroom. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 024-030.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (1992) *Rules on housing construction standards, etc.* Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2019a). *Buildng Act*. Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2019b). *Rules on the criteria for evacuation and fire prevention structures of buildings*. Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020a). *Enforcement Degree of the Building Act*. Korea.

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020b). *Act on Fire Prevention, Installation and Maintenance of Firefighting Facilities and Safety Management, Article 10*. Korea.
- Ministry of Lnad, Infrastructure, Transport and Tourism. (2020). *Building Standards Act Article 35*. Japan.
- National Fire Agency. (2020). *National Fire Data System*. Korea.
- National Fire Protection Association. (2002). *NFPA 101B*. USA.
- NAVER data retrieval. (2020). *fire in apartment*. Retrieved from <http://www.naver.com>
- Park, E.S., Lee, J.M., Han, J.W., and Min, S.H. (2018). A simulation study for the field adaptability of evacuation device development. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 5, pp. 177-184.
- Seo, H.W., Kim, D.H., Park, S.Y., An, J.H., and Choi, D.H. (2014). A study on securing fire safety of the evacuation space in apartment buildings. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 1, pp. 269-276.
- Yue, L., Kim, S.K., Kim, K.H., and Lee, D.H. (2018). Economic and evacuation time analysis of horizontally-intalled indoor emergency exit. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 18, No. 4 pp. 363-373.

Received	May 14, 2021
Revised	May 17, 2021
Accepted	July 20, 2021