

# 하향식 피난구의 경제성 및 피난 소요시간 분석

## Economic and Evacuation Time Analysis of Horizontally-installed Indoor Emergency Exit

유 월<sup>1</sup>                      김 선 국<sup>1</sup>                      김 기 혁<sup>2</sup>                      이 동 훈<sup>2\*</sup>

Liu, Yue<sup>1</sup>                      Kim, Sun-Kuk<sup>1</sup>                      Kim, Ki-Hyuk<sup>2</sup>                      Lee, Dong-Hoon<sup>2\*</sup>

*Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, Giheung-Gu, Yongin, 02447, Korea <sup>1</sup>*  
*Department of Architectural Engineering, Hanbat University, Yuseong-Gu, Deajeon, 34158, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

Evacuation facilities are installed so that people can evacuate high-rise apartment houses when it is impossible to escape fire through the front door. The households of apartment houses may escape the building in two ways, which will reduce loss of lives. This study examined the characteristics of two-way evacuation facilities, including a light-weight partition wall, shelter space at the balcony and horizontally-installed indoor emergency exit. Then, it proposed a horizontally-installed outdoor emergency exit that improved the problems of the examined facility types, and analyzed its economic-feasibility. When a horizontally-installed emergency exit instead of a traditional type to escape from fire is used, people may be more autonomous in deciding whether active evacuation is possible or not. Thus, the time required to evacuate the building with 4 different evacuation methods using the stairs and horizontally-installed emergency exit was simulated in consideration of the impact of evacuation methods that people choose on the time required for evacuation using pathfinder. Then, the simulation results were compared and analyzed. Any appropriate evacuation method to reduce the time required for evacuation was predicted, analyzed and decided. As a result of this study, it was analyzed that the high-rise apartment top-down type evacuation zone can shorten the total evacuation time compared to the staircase type.

Keywords : horizontally-installed indoor emergency exit, emergency stairs, evacuating time, evacuating simulation

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 인구주택총조사의 접수집계 결과는 2015년 말을 기준으로 공동주택이 한국 전국적으로 약 1219만 호이며 이 중 아파트가 980만 호로 국내 총 공동주택의 80.4%를 차지하고 있다고 발표했다[1]. 2016년 아파트가 전체 주택에서 차지하는 비중은 2015년보다 0.2%포인트 증가하고

처음으로 1000만을 돌파했다[2]. 동시에 주택의 양식화와 점진적인 고층화가 진행됨에 따라 11층 이상의 아파트가 639만 호로 전체 아파트의 약 85.7%를 차지하고 있다[3]. 2014년도 한국 화재 통계 분석해서 주거용도 건축물에서 화재사고 발생한 건수가 총의 26%를 차지하여 1 순위이다 [4]. 또한 화재발생시 고층 아파트는 저층이나 중층 주거 건축물보다 진압의 어려움, 긴 피난 경로, 총 피난 시간, 받은 피난 경보지연과 같은 이유로 인해 피해가 더욱 크게 된다[5,6]. 따라서 고층 아파트에서 화재 발생시 유효 피난 시설이 개발 필요하다.

이러한 고층 아파트의 화재 발생 시 거주자의 안전을 위해서 그 동안 경량 칸막이, 발코니 대피 공간 등 양방향 피난대책을 설치하였다. 기존 대피시설인 경량 칸막이와 발코니

Received : March 21, 2018

Revision received : April 26, 2018

Accepted : June 1, 2018

\* Corresponding author : Lee, Dong-Hoon

[Tel: 82-42-821-1123, E-mail: donghoon@hanbat.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

대피공간은 화재 발생 시 연기 등으로 인해 피난자가 계단으로 대피하지 못한 경우 소방관이 구출해 주기를 기다려야 한다. KBS 뉴스에 따르면 소방차가 화재 현장에 도착하는데 5분 이상 소요될 경우 평균 사상자 수가 1.5배 증가하는 것으로 보도되었다[7]. 2010년에는 발코니 대피공간의 한계를 지적하며 그에 대한 해결책으로 고가 사다리차가 도착하지 않는 경우에도 스스로 대피 가능한 대피시설인 하향식 피난구를 개발하였다[8]. 하향식 피난구는 계단으로 피난하지 못한 경우 아래층 사다리를 통해 아래층으로 스스로 피난할 수 있는 시설이다. 그러나 기존의 내부형 하향식 피난구를 설치했을 때 안전상의 이유 등으로 많은 민원이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선한 실외형 하향식 피난구의 특성을 파악하고 효과를 분석한다.

실외형 하향식 피난구는 실내의 발코니 바닥에 설치되어 있는 하향식 피난구를 외부 벽면에 설치할 수 있도록 건물의 구조적인 변경을 통해 에어컨 실외기와 하향식 피난 사다리를 일체형으로 적용한 피난시설이다[9]. 피난자는 화재 상황에 따라 계단을 통해 탈출할 것인지, 사다리를 통해 탈출할 것인지 자율적으로 판단할 수 있다. 이 때 피난자는 안전을 위하여 최단 시간에 탈출할 수 있는 방법을 판단하여 선택해야 한다. 따라서 본 연구에서는 피난 소요시간 단축을 위한 하향식 피난구를 제시하고 대피방식의 시간과 인수 비교를 통해 가장 적합한 피난방식을 판단한다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 공동주택의 대피공간 법규

국내 공동주택에서 피난시설을 설치하기 시작한 계기는 1992년 7월에 발표한 공동주택의 건축법 시행령이다. 시행령에 따르면 3층 이상 아파트의 베란다에는 경량 칸막이를 설치하게 되어 있었으며[10], 베란다에서 탈출 가능한 피난시설이 추가 되었는데 공동주택 세대의 양방향 피난 확보가 목적이었다. 2005년 12월부터 건축법 시행령 일부 재개정령에 따라 발코니를 필요에 따라 침실, 거실, 창고 등 다양한 용도로 사용할 수 있는 규제가 완화되어 발코니 공간을 확장하는 것이 합법화 되었다[11]. 이에 따라 가구마다 화재 시 구조될 때까지의 대피공간이 발코니 한 구석에 설치되었다. 2005년 이후 아파트의 피난시설은 대부분 경량 칸막이 대응으로 대피공간이 설치되어 있다.

2005년 말부터 대피공간의 설치기준이 신설되었다[12].

Table 1와 같이 건축법 시행령 제46조(방화구획의 설치) 제4항[13]: 공동주택 중 아파트로서 4층 이상 층의 각 세대가 2개 이상의 직통계단을 사용할 수 없는 경우에는 발코니에 인접세대와 공동으로 또는 각 세대별로 다음 각 호의 요건을 모두 갖춘 대피공간을 하나 이상 설치하여야 한다. 이 경우 인접세대와 공동으로 설치하는 대피공간은 인접세대를 통하여 2개 이상의 직통계단을 사용할 수 있는 위치에 우선 설치되어야 한다.

2010년 2월 건축법 시행령 재개정령으로 대피 공간 대신 하향식 피난구가 적용되었다[12]. 건축법시행령 제46조(방화구획의 설치) 제5항[13]: 제4항의 규정에 불구하고 아파트의 4층 이상의 층에서 발코니에 인접 세대와의 경계벽이 파괴하기 쉬운 경량구조 등이 시공되어 있을 시 경계벽에 피난구를 설치한 경우와 발코니의 바닥에 국토해양부령으로 정하는 하향식 피난구를 설치한 경우에는 대피공간을 설치하지 아니할 수 있다.

Table 1. Enforcement decree of the building act article 46 (establishment of fire division) section 4

Item 1	The shelter space shall have contact with the air outside;
Item 2	The shelter space shall be fireproof-partitioned from other indoor parts;
Item 3	The floor area of the shelter space shall be at least three square meters if installed jointly with the neighboring household units, and at least two square meters if installed by each household unit;
Item 4	The shelter space shall comply with the criteria prescribed by the Minister of Land, Infrastructure and Transport.

### 2.2 기존 피난 시설 특징 및 장 단점

세대 내 화재발생시 현관문을 통해 탈출이 불가능한 경우 발코니에서 탈출할 수 있는 피난시설이 추가 되었으며 공동주택 세대에 양방향 피난이 가능하게 하여 인명피해를 줄이고자 하였다. 하지만 화재 시 기존 피난시설이 사용되면서 문제점이 발생하였다.

#### 2.2.1 경량 칸막이

1992년 건축법 개정 이후 공동주택은 3층 이상 가구의 발코니에 세대 간 경계벽을 파괴하기 쉬운 경량 칸막이로 설치하게 되어 있다. 이 피난시설은 발코니 내에 세대 간 경계벽의 일부 또는 전부를 파괴할 수 있는 경량 경계벽을 설치하여 화재 발생 시 현관문으로 탈출이 불가능한 경우

인접세대로 대피할 수 있는 시설이다[14]. 그러나 대부분의 거주자들은 경량 칸막이 설치 여부에 대해 모르며 발코니 공간을 충분히 활용하기 위해 경계벽을 개조하여 붙박이장을 설치하거나 물건 등을 쌓아놓아 경량 칸막이가 무용지물이 되는 경우가 많다[15]. 이러한 경우 거주자가 인접세대 경량칸막이로 탈출하는 것은 불가능하다.




### 2.2.2 발코니 대피 공간

2005년부터 발코니 개조 합법화 이후, 세대 간 경량벽 설치공간의 확보가 어려워 대부분 경량벽체를 대신한 대피공간이 설치되었다. 이 시설은 2m<sup>2</sup>이상의 대피공간으로 세대 내 화재발생시 현관문을 통해 탈출이 불가능한 경우 소방대원이 올 때까지 대피할 수 있다. 그러나 실제 화재 시 방화문으로 열기가 전달되어 밀폐된 대피공간 안의 온도가 화재 발생 20분 후 100℃를 초과하고, 한 시간 후에는 200℃까지 상승하여 대피소의 기능을 상실한다[16]. 따라서 구조대는 대피한 거주자를 한정된 안전 시간 이내에 구출해야만 한다. 이 때, 시간이 경과할수록 각 세대 거주자의 생존확률은 감소한다. 특히 고층 아파트의 경우 구조장비와 외부의 도움 없이는 스스로 탈출이 불가능한 상황이 발생한다. 고층 아파트 화재 시 기존 소방장비 및 안전시설은 인명구조에 한계가 있으므로 새로운 대안이 필요하다. 또한 입주자의 부적절한 인식 등으로 발코니 대피공간을 다른 용도로 개조한 경우 화재발생시 대피공간으로써의 사용이 불가능하다[17].

### 2.2.3 하향식 피난구

2010년 건축법 시행령으로 공동주택 고층화가 가속됨에 따라 화재 시 피난대책이 강화되고 있으며, 실용성이 떨어지는 대피공간의 피난대책을 보완하기 위해 하향식 피난구용 내림식 사다리를 적용했다. 하향식 피난구는 세대 내 화재 발생 시 현관문을 통한 탈출이 불가능한 경우 아랫세대로 피난할 수 있는 대피설비이다. 실내형 하향식 피난구는 능동적인 탈출이 가능하고 공간 활용성이 뛰어나며 합리적인 발코니 구조로 거주자의 편의성이 증대된다. 그러나 실내 피난구로 인한 층간 소음, 누수 및 사생활 침해, 세대 간의 민원 등이 발생한다. 이러한 문제점으로 인해 동탄 우남 퍼스트빌 아파트의 경우 주민 동의율 80%에 대피공간을 수선하는 상황이 발생했다[9]. 그에 대한 예는 다음 Table 2와 같다[18].

Table 2. Review of existing evacuation facilities[18]

Division	Lightweight partition walls	Balcony evacuation space	Indoor top-down evacuation
현황			
이점/단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>An easily demolishable light-weight structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Separate compartment in the balcony</li> <li>The floor area of evacuation space: more than 2m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balcony indoor type top-down refuge</li> <li>Escape through the ladder</li> </ul>
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low-cost</li> <li>possible various units housing plane structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Units housing plane structure: common forms applied</li> <li>Various planar type have been developed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Downstairs evacuation: secure safety in case of fire</li> <li>Generally flexible plane structure possible</li> <li>Actively escape</li> </ul>
고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>Built-in closet installation: loss of evacuation function</li> <li>Inadequate practical evacuation of lightweight wall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Passive evacuation route</li> <li>High-rise apartment: difficult to connect with ladder(70m, about 23 floors)</li> <li>Used for other purpose(warehouse etc.);inadequate role of evacuation space</li> <li>Sealed evacuation space</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Downstairs household violations : Waterproof, noise and privacy vulnerability</li> <li>Civil complaints, return to evacuation space installation</li> </ul>

### 2.3 대피공간의 개선 관련 문헌

공동주택 세대 내 화재 발생 시 인명피해를 최소화하기 위해 2방향의 피난통로를 구비하여 발코니에서 대피가 가능해진다. 대피시설의 경제성뿐만 아니라 피난시간을 줄이기 위해서 대피시설에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다. Kim[19]은 고층아파트에서 피난을 효율적으로 하기 위해서 피난사다리 도입의 필요성을 제시하였다[19]. 일본의 아파트에서 비상계단의 아래층으로 피난 할 수 있는 피난사다리도 설치했다[19]. 고층 아파트는 지상에서부터 멀리 떨어져 있고 계단 이용할 경우 시간이 많이 걸리고 계단실에서 연기 오르기 때문에 인명 구조와 진화가 더욱 커질 어려움. 사다리를 이용하면 재살자는 능동적인 대피해서 피난 효율을 높인다. Min et al.[20]은 화재 시 화염과 복사열로부터 공간을 두어 피난자를 보호할 수 있는 대비공간의 피난층으로 피난할 수 있는 피난대피시설을 개발하였다[20]. 이 시설은 화재발생시 기존 대피공간 안에 온도 과열을 개선할 수 있고 외부 공간으로 탈출한 후에 사다리를 이용하여 스스로 피난할 수 있다. Seo et al.[9]은 외부 벽면에 하향식 피난구를 설치한 실외기 일체형 피난시설을 개발에 있어 피난구의

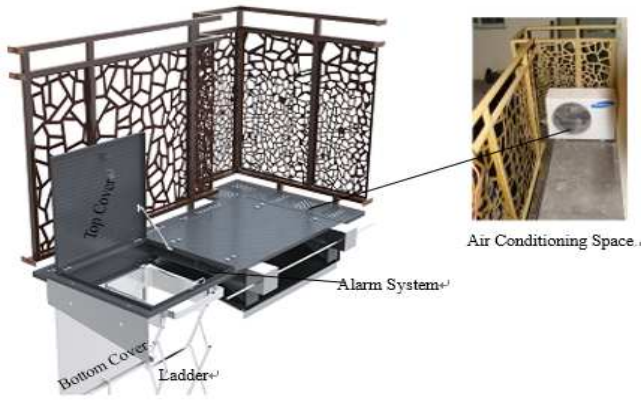


Figure 1. Outdoor-type evacuation ladder facilities



Figure 2. Outdoor-type top-down evacuation facilities

구조적 안정성을 확보해야 하고 실외기와 공진 위험성은 낮은 것으로 분석했다[9]. 실외형 하향식 피난구는 실내 바닥에서 하향식 피난구를 설치해서 아래층에서의 침입, 층간소음, 누수 등 이러한 문제를 해결했다.

### 3. 실외형 하향식 피난구 구성 및 특성

실외형 하향식 피난구는 화재 시 현관문 출입구를 통한 대피가 불가능한 상황에서 덮개를 열고 내부에 접혀 있는 사다리를 통해 아래층으로 피난할 수 있게 하는 외부형 피난구로서 에어컨 실외기와 피난사다리를 일체형으로 적용한 피난시설이다. 따라서 실외기 일체형 하향식 피난구라고도 한다. 피난구 구조는 Figure 1과 같이 대체로 상부덮개, 사다리, 상부덮개, 실외기 공간, 경보장치를 포함한다. 경보장치는 상부덮개가 가열되는 순간 주변세대 및 소방서로 자동 신고 되고 경보음이 울리기 때문에 범죄에 도용될 우려가 없다. 실외기 일체형 하향식 피난구는 각 시공사의 패턴에 맞춘 다양한 디자인 연출이 가능하다. Figure 2의 A는 돌출 발코니 타입의 하향식 피난구. B는 주상복합 등 오피스를 위한 타입. C는 외부경관을 보여준다.

또한, 기존 피난 시설에 비해 실외형 하향식 피난구는 안정성, 기존 문제점, 경제성,에 관해 개선되었다. Table 3은 실외형 하향식 피난구의 특징이다. (1) 사다리를 통해 능동적인 아래층 대피가 유리하여 실질적인 안전을 확보할 수 있다. (2) 덮개를 열었을 때 경보시스템이 울려서 다른 세대는 응급 반응을 빨리 보인다; (3)외부 벽면에 하향식 피난구를 설치해서 실내 대피구와 달리 층간 소음, 누수, 방범 문제를 해결했다; (4)에어컨과 피난시설은 일체형이라서 전용면적도 증가할 뿐만 아니라 경제성도 향상된다. 작업공정이 추가 발생한다는 단점이 있지만 공기에는 영향을 미치지 않는다.



Table 3. Characteristic of outdoor-type top-down evacuation facilities

Contents	Characteristic
<ul style="list-style-type: none"> <li>External top-down refuge replacing escape space</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air conditioning integral type</li> <li>Improvement of indoor top-down evacuation</li> <li>Increase area of exclusive use space</li> </ul>
Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>Safe for evacuation</li> <li>Actively escape</li> <li>Existing evacuation rooms and air conditioner rooms: Generally flexible unit-housing plane configuration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Additional work processes (Duration is not affected)</li> </ul>

인천의 A 공동주택의 경우 Table 4와 같이 실외형 하향식 피난구의 면적은 대피공간과 실외기공간의 총면적보다 2,35㎡의 면적을 감소시켜 대피 공간 삭제로 확보된 공간을 인방으로 활용하여 거주만족도가 향상되었다. 국토교통부는 2017년 9월 분양가상한제가 적용되는 주택의 기본형 건축비를 개정했다. 건축물 21~30층이하 85㎡~105㎡ 지상층 건축비가 1,637,000원/㎡이다[21]. 본 연구에서 대피공간, 실외기실, 일체형 피난구의 건축비는 기본형 타입 기준으로 설정한다. 또한 실외형 하향식 피난구의 공사비는 대피공간과 실외기공간의 총 공사비보다 3,847,000원 절감할 수 있다. 이는 특정지역의 대규모 공동주택 사업의 실적자료의 평균값을 활용하였다. 따라서 실외형 하향식 피난구의 설치하는 세대 전용면적 증가로 분양률이 향상뿐만 아니라 공사비도 절감의 효과도 있다.



Table 4. Unit plan and the construction cost

Division	Drawing		
Evacuation space + air conditioning room ①			
Outdoor type top-down evacuation ②			
Note	Evacuation space, air conditioning room: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs in 2017[20]: basic form of building cost : 1,637,000won/m <sup>2</sup> (21~30 floors and below 85m <sup>2</sup> ~105m <sup>2</sup> ground floor construction costs)		
Division	Economic analysis		
	Structure	Area	Cost
①	Evacuation space	2.0m <sup>2</sup>	3,274,000won
	Air conditioning room	1.8m <sup>2</sup>	2,946,000won
	A sub-total	3.8m <sup>2</sup>	6,220,000won
②	Outdoor-type top-down evacuation	1.45m <sup>2</sup>	2,373,000won
	Areal reduction/ household	2.35m <sup>2</sup>	-
	Cost reduction	-	3,847,000won

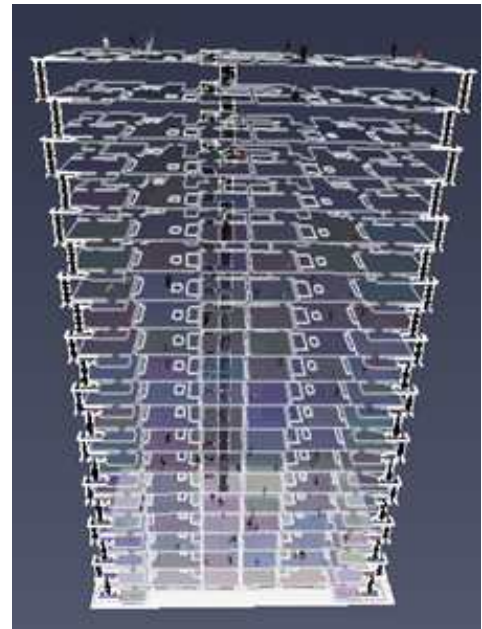


Figure 3. 21 story high-rise apartment

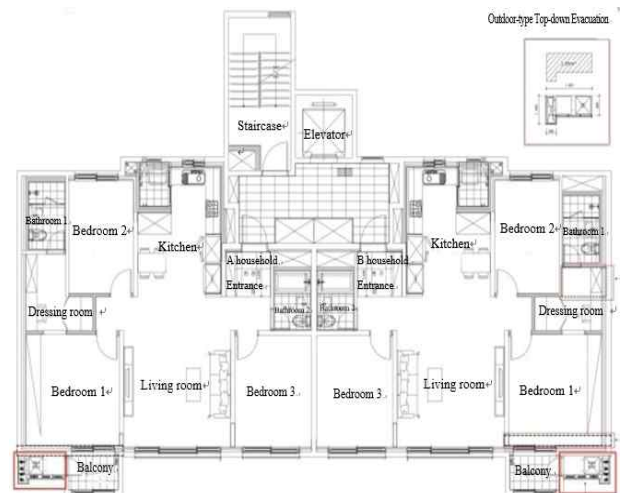


Figure 4. Apartment floor plan(22)

#### 4. 계단식과 하향식 피난구의 피난시간 분석

##### 4.1 분석 방법과 설정조건

본 연구는 외부 실외기 일체형 하향식 피난사다리를 설치한 지상 21층의 B 아파트(Figure 3)를 검토 대상 건축물로 선정했다. 주거부문은 총 42세대로 각 층당 A, B의 2종류의 세대가 위치하고 있다. B아파트의 176m<sup>2</sup> 3BAY단위세대는 Figure 4과 같이 침실(3개), 욕실(2개), 거실, 주방, 드레스룸, 현관으로 구성되어 있다.

본 연구에서 Pathfinder시뮬레이션을 이용하여 피난 소요시간을 시나리오로 분석했다. 화재 시 피난 시뮬레이션에서 가정한 입력조건은 Table5와 같다. 아파트의 총 거주자는 120명이며, 거주자는 A(1-21층)세대 및 B(1-21층)세대 각 60명으로 가정한다. 국내·외 연령별 대피 속도 연구결과에 따르면 아동(10세 이하)은 보행속도 1.08m/s, 노인(60세 이상)은 0.73m/s, 일반성인은 1.38m/s로 분석되었다[23]. 성별에서 성인 남자의 평균 보행속도는 1.2-1.38m/s[24], 여성에서 1.04±0.16m/s로 나타났다[25]. 연령과 성별에 따라 피난행동에 영향을 미치는 가장 기본적인

인 요소 중 하나인 인간의 보행속도는 Table 6.와 같이 4가지 유형으로 가정한다.

**Table 5. Simulation input condition**

Apartment size	21 stories above ground
Building area	176m <sup>2</sup>
Number of residents	120
Fire household reaction time	30s
Non-fire household reaction time	60s

**Table 6. Walking speed**

Object	male(M)	female(F)	elderly(E)	children(C)
Number	45	40	20	15
Walking speed	1.38m/s	1.19m/s	0.73m/s	1.08m/s

**4.2 대피 방식별 simulation case 가정**

기존 아파트에서 화재 발생 시 피난자는 계단실로 능동적인 탈출이 가능하지만 하향식 피난구의 설치 시에는 피난자는 계단식뿐만 아니라 사다리를 이용하여 양방향으로 능동적인 탈출할 수 있게 한다. 이때 능동적인 탈출시 노인은 계단으로 탈출하게 되며 나머지는 양방향 탈출이 가능하다. 현관문과 사다리 두 곳을 통해 탈출할 경우 피난자는 계단식과 하향식 피난구 중 가장 먼저 탈출한 이동경로를 선택한다. 이에 피난경로에 따라 피난소요시간에 미치는 요소를 파악하기 위하여 4가지 피난경로를 설정하였다(Table 7). 4가지 피난경로는 피난자가 각각AB 양측 하향식 피난구 (I), 계단식과 하향식 피난구 양방향 피난구 (II), A한쪽 하향식 피난구 (III), 계단식 (IV) 으로 능동적인 탈출이 모두 가능한 피난경로이다.

**Table 7. Set up four evacuation routes**

Type	No. of refugee		Evacuation route		
	Household	NO.	Terraced	Top-down	
				A	B
I	A	60		○	
	B	60			○
II	A	60		○	
	B	60	○		
III	A	60		○	
	B	60		○	
IV	A	60	○		
	B	60	○		

또한 Table 8 은 Table 7의 피난 유형을 정의한 표이다. A는 건축물 좌측 세대 사람 수이다. B는 건축물 우측 세대 사람 수이다. 하향식 피난구는 A and B 두가지 탈출 방향이

있다. A와 B 좌우 양쪽은 똑 같은 인수를 설정하고 정상적인 조건하에서 하향식 피난 시 A 쪽 재살자는 A 쪽 방향으로 내리고 B 쪽 재살자는 B 쪽 방향으로 내린다고 가정한다. 하향식 피난구는 일반적인 계단식과 총 피난 시간에 미치는 영향을 비교하기 위하여 계단식으로 피난한 type IV, 계단식과 하향식 피난구를 같이 이용한 type II, 하향식 피난구만 이용한 type I과 type III (type I:양방향 type III: 한 방향)를 분석한다.

**Table 8. Definition of each evacuation route type**

Type	Definition
I	A side (1st-21st floors): 60 people evacuate from A side top-down
	B side (1st-21st floors): 60 people evacuate from B side top-down
II	A side (1st-21st floors): 60 people evacuate from A side top-down
	B side (1st-21st floors): 60 people evacuate from terraced
III	A and B side (1st-21st floors): 120 people evacuate from A side top-down
IV	A and B side (1st-21st floors): 120 people evacuate from terraced

**Table 9. Definition of each resident type**

Type	Definition
1	M and F (M&F) 100%
2	M&F+a small number of C (25%-50%)
3	M&F+a small number of E (25%-50%)
4	M&F+a small number of C (0%-25%)+a number of E (33%-50%)
5	M&F+a large number of E (50%-100%)

화재 발생 층은 4가지 피난경로 간 피난 소요시간 비교에 미치는 영향을 고려하여 4층, 9층, 13층, 17층, 21층으로 설정했다. 화재 발생 시 연기가 위로 올라가므로 고층 거주자는 계단으로 탈출이 불가능하며, 화재 발생 층과 보행 속도에 따라서 간헐 층과 피난자의 수를 각각 15층 이상(20명), 18층 이상(15명), 20층 이상(10명), 21층 이상(4명)으로 변화하는 것으로 가정하였다. 또한 15층 이상부터 거주자의 비율을 다음과 같이 설정하였다. Table 9는 각 type별 가정한 거주자 수를 나타낸 표다. Type 1는 노인 및 아동이 없다. Type 2,3,4,5는 Type 1 기준으로 아동 및 노인 비중이 점점 증가하다.

노인과 어린이의 위치 변화는 간헐 층에 따라 분포를 다르게 설정하였다. 예를 들어 15층 이상에 간헐을 경우 노인과 어린이는 15층에서 18층에 위치하며 18층 이상에 간헐을

경우 노인과 어린이는 18층에서 20층 사이에 위치한 것으로 설정하였다(15 floor+, 18 floor+). 20층 이상에 갇혔을 시 노인과 어린이는 거의 20 사이에 있는 것으로 설정하였다(20 floor+). 21층 이상에 갇혔을 시 노인과 어린이는 21층에 있는 것으로 설정하였다. 또한 갇힌 층에서 4가지 유형의 거주자의 위치는 다양하며, 모든 case에서 동일한 밀도로 거주하고 있는 것으로 가정하여 모델링하였다. (Table 10)

Table 10. Simulation case

Fire layer		4th floor		
Trapped floor /people		15 floor+/	18 floor+/	20 floor+/
Sex-age ratio		20 people	15 people	10 people
Type 1		Case1	Case6	Case11
Type 2		Case2	Case7	Case12
Type 3		Case3	Case8	Case13
Type 4		Case4	Case9	Case14
Type 5		Case5	Case10	Case15

Fire layer		9th floor		
Trapped floor /people		15 floor+/	18 floor+/	20 floor+/
Sex-age ratio		20 people	15 people	10 people
Type 1		Case16	Case21	Case26
Type 2		Case17	Case22	Case27
Type 3		Case18	Case23	Case28
Type 4		Case19	Case24	Case29
Type 5		Case20	Case25	Case30

Fire layer		13th floor	
Trapped floor /people		18 floor+/	20 floor+/
Sex-age ratio		15 people	10 people
Type 1		Case31	Case36
Type 2		Case32	Case37
Type 3		Case33	Case38
Type 4		Case34	Case39
Type 5		Case35	Case40

Fire layer		17th floor	21th floor
Trapped floor /people		20 floor+/	21 floor/
Sex-age ratio		10 people	4 people
Type 1		Case41	Case46
Type 2		Case42	Case47
Type 3		Case43	Case48
Type 4		Case44	Case49
Type 5		Case45	Case50

총 120명의 인원 중 15층 이상 남녀노소 비율(type)을 설정하기 때문에 층과 남녀비율에 따라 15층 이상 남녀(20인), 낮은 층 빨간 부분 노소(E:1-10인; C:11-15인)를 배치하는 등 위치 변화를 설정한다. 다른 인원(M:32인, F:30인, E: 10인, C:10인)의 총 수는 동일하다. 화재 발생 세대 반응 시간이 다른 세대 반응시간과 다르므로 화재세대(4,9,13,17,21) 인원의 행동(behaviors)을 단독 설정한다. 120명 인원 하향식이나 계단식으로 내리고 다 똑 같은 1층 정문 탈출한다. Figure 5는 120명 거주자 위치이다.

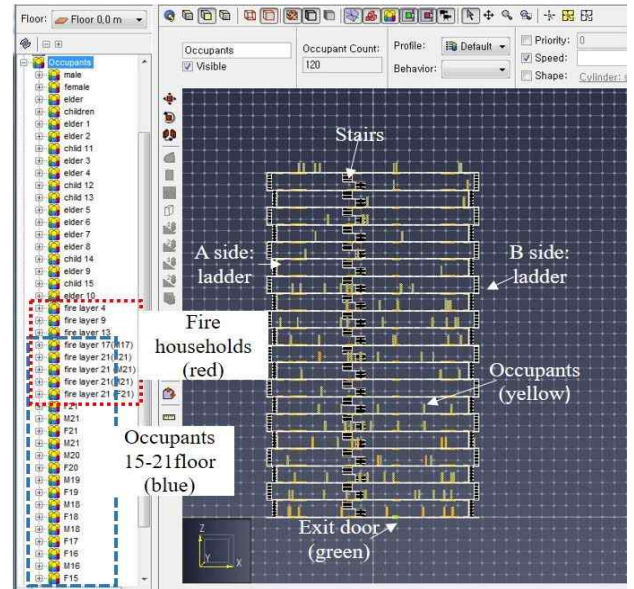


Figure 5. 120 Occupants' location

### 4.3 피난 시뮬레이션 결과

피난시뮬레이션 Pathfinder 프로그램을 사용하여 설정 조건 실행 후 케이스는 화재 발생 층에 따라 피난 소요시간의 평균값 및 분산값이 정리된다. Table 11과 같이 피난자의 수는 2분 내 피난자와 4분 내 피난자로 분류한다.

Table 11. Evacuation completion time

Evacuation method	Division	Time for all people to evacuate			
		I	II	III	IV
Case	mean	266.19	324.01	428.59	325.20
1-15	dispersion	116.53	2083.22	116.36	2106.80
Case	mean	266.79	323.95	426.72	325.19
16-30	dispersion	96.32	2079.89	64.28	2017.60
Case	mean	268.74	327.59	433.00	329.06
31-40	dispersion	65.63	2209.13	127.46	2246.90
Case	mean	268.94	334.46	426.92	335.72
41-45	dispersion	89.14	2275.74	65.96	2350.80
Case	mean	268.30	334.46	435.58	335.72
45-50	dispersion	64.76	2275.74	125.72	2350.00
Evacuation method	Division	Number of people evacuated within 2 minutes			
Case	mean	26.40	31.47	16.80	33.47
1-15	dispersion	0.91	2.66	0.16	2.52
Case	mean	25.93	30.93	16.47	33.60
16-30	dispersion	0.60	1.64	0.25	3.17
Case	mean	25.00	30.10	15.80	33.50
31-40	dispersion	1.00	3.09	0.36	2.650
Case	mean	25.00	30.00	15.40	33.20
41-45	dispersion	0.40	1.20	0.24	1.36
Case	mean	25.40	30.40	15.80	33.20
45-50	dispersion	0.640	3.44	0.16	1.36
Evacuation method	Division	Number of people evacuated within 4 minutes			
Case	mean	107.67	105.13	57.33	103.87
1-15	dispersion	5.16	3.18	4.36	10.25
Case	mean	107.60	105.00	57.13	103.87
16-30	dispersion	4.24	4.40	5.98	10.25
Case	mean	108.6	105.7	56.4	105.4
31-40	dispersion	2.25	1.21	3.84	3.24
Case	mean	108.4	105.8	57.2	107
41-45	dispersion	2.24	0.56	2.16	0
Case	mean	109	105.8	56.8	107
45-50	dispersion	2.8	1.36	5.36	0

여기서 case는 시뮬레이션을 의미하며 1~15번 시뮬레이션을 Case 1-15로 구분하였다.

총 피난 소요시간과 2분 및 4분 내 피난자 수를 구분하여 분석하였다. Type II, III, IV와 비교하여 Type I 총 피난소요 시간의 평균값이 가장 작다. 계단식으로 내린 Type II, IV 의분산값은 Type I, III보다 크다 이는 계단실을 활용하여 탈출 시 탈출시간의 편차가 큰 것으로 분석할 수 있다. 2분 내 대피완료한 사람의 중 계단실을 활용한 (Type IV) 피난자 수 평균값이 가장 많지만 4분 내 대피한 경우를 분석하면 피난구를 통해 대피한 (Type I) 피난자 수 평균값이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

**4.4 피난비교 & t-test**

피난 시뮬레이션 결과값을 비교 분석하여 이를 근거로 가설을 형성하고 이 가설을 spss 독립 검증을 실시하였으며 실험 결과에 따라 다음과 같은 가설 및 검증 결과를 보인다. 가설1.

- ① I 방식은 120명의 거주자가 두 가지 방향의 하향식으로 피난하는 시간이 다른 방식(II, III, IV)보다 짧다.
- ② II 방식은 거주자가 받은 하향식으로 나가고 받은 계단식으로 나가는 방식이 I 보다 조금 느리다. 따라서 사다리를 사용하면 계단보다 피난 속도가 빠르다.

**Table 12. Simulation result for hypothesis 1**

Conclusion	Group	Mean	Standard deviation	t	Significance probability (2-tailed)
1	I	267.36	9.73	-8.76	.000
	II	326.80	46.98		
	I	267.36	9.77	-79.86	.000
	III	429.42	10.51		
	I	267.36	9.77	-8.87	.000
	IV	328.07	47.39		

결과 1: 독립표본 검정 표 12에서는 유의확률p값이 0.05보다 작으면 I 과 II, III, IV의 대피시간은 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 I의 평균값이 작아서 I의 대피시간은 II, III, IV보다 짧은 것으로 판단된다.

가설 2. III 방식은 거주자가 전부 하향식으로만 대피했을 때 시간이 다른 방식(I, II, 계단식IV)에 비해 상당히 오래 걸린다. III와 IV는 거주자가 전부 한 방향만으로 대피했을 때 계단식을 사용하면 하향식보다 빠르다.

**Table 13. Simulation result for hypothesis 2**

Conclusion	Group	Mean	Standard deviation	t	Significance probability (2-tailed)
2	III	429.44	10.51	15.08	.000
	II	326.80	46.98		
	III	429.44	10.51	14.77	.000
	IV	328.07	47.39		

결과 2 : 독립표본 검정 표 13에서는 유의확률p값이 0.05보다 작으면 III과 II, IV, I의 대피시간은 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 III의 평균값이 커서 III 대피 시간이 II, I(양방향대피), IV (한방향 대피)보다 긴 것으로 판단되었다.

가설 3. II와 IV 방식은 120초가 경과했을 때 계단으로 나간 방식의 사람의 수가 하향식만 사용한 방식(I와 III)보다 많다. 따라서 낮은 층에 거주한 거주자는 계단식으로 대피하면 더 빨리 대피할 수 있다.

**Table 14. Simulation result for hypothesis 3**

Conclusion	Group	Mean	Standard deviation	t	significance probability (2-tailed)
3	I & III	21.00	4.85	-21.02	.000
	II & IV	32.12	2.12		

결과 3 : 독립표본 검정 표 14에서는 유의확률p값이 0.05보다 작으면 120s가 경과했을 시 II & IV과 I & III를 통해 대피한 거주자의 수는 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 II & IV의 평균값이 크므로 120s가 경과했을 시 II & IV를 통해 대피한 거주자의 수는 I & III보다 많은 것으로 판단된다.

가설 4. 반면에 II과 IV는240초가 경과했을 시 계단으로 나간 방식의 사람 수가 I를 통해 대피한 사람의 수보다 적어진다.

**Table 15. Simulation result for hypothesis 4**

Conclusion	Group	Mean	Standard deviation	t	Significance probability (2-tailed)
4	I	108.06	1.99	7.34	.000
	II	105.34	1.70		
	I	108.06	1.99	6.52	.000
	IV	104.80	2.92		

결과 4 : 독립표본 검정 표 15에서는 유의확률p값이 0.05보다 작으면240s가 경과했을 시 I와 II, IV를 통해 대피한



거주자 수는 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 I의 평균값이 크므로 240s가 경과했을 시 I에 대한 거주자 수는 II, IV보다 많은 것으로 판단된다.

결과 3과 결과 4: 120S가 경과했을 시 거주자는 나간 인수는 계단식으로 하향식보다 빨리 나가지만 240s가 경과했을 시 인수는 적어진 것으로 판단된다.

가설 5. 고층 거주자 중 노인이 있는 경우가 Type 1보다 대피 소요시간이 길다.

Table 16. Simulation result for hypothesis 5

Conclusion	Group	Mean	standard deviation	t	Significance probability (2-tailed)
5	Type 1	302.23	68.51	-3.91	.697
	Type 2	308.17	67.52		
	Type 1	302.23	68.51	-3.62	.001
	Type 3	353.11	56.64		
	Type 1	302.23	68.51		
	Type 4	359.83	58.33	-4.05	.000
	Type 1	302.23	68.51		
	Type 5	366.26	60.23	-4.44	.000
	Type 1	302.23	68.51		

결과 5 : 독립표본 검정 표 16에서는 Type 1과 Type 2는 유의확률p값이 0.05보다 크면 고층에 거주하고 있는 거주자 중 노인이 없는 경우 대피 소요시간은 통계적으로 차이가 없다.

고층에 거주하는 거주자 중 노인이 있는 경우 유의확률p값이 0.05보다 작으면 고층에 거주하는 거주자 중 Type 1과 Type 3, Type 4, Type 5의 소요대피시간은 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 고층에서 Type 1의 평균값이 낮아 Type 1의 대피 소요시간이 Type 3, Type 4, Type 5보다 짧은 것으로 판단되었다.

가설 6. 고층 거주자 중 노인 있는 경우가 Type 2보다 대피 소요시간이 길다.

Table 17. Simulation result for hypothesis 6

Conclusion	Group	Mean	Standard deviation	t	Significance probability (2-tailed)
6	Type 2	308.17	67.52	-3.23	.002
	Type 3	353.11	56.64		
	Type 2	308.17	67.52	-3.66	.000
	Type 4	359.83	58.33		
	Type 2	308.17	67.52	-4.06	.000
	Type 5	366.26	60.23		

결과 6 : 독립표본 검정 표 17에서는 유의확률p값이 0.05보다 작으면 고층에 거주하는 거주자 중 Type 2와 Type 3, Type 4, Type 5의 대피 소요시간은 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 고층에서 Type 2의 평균값이 낮아 Type 2의 소요대피시간이 Type 3, Type 4, Type 5보다 짧은 것으로 판단된다.

결과 5와 결과 6: 고층 거주자 중 Type 1과 Type 2의 대피 소요시간이 노인이 있는 Type 3, Type 4, Type 5보다 짧은 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

고층 아파트 화재발생시 거주자의 대피 시설을 확보하기 위하여 전문가들은 능동적으로 탈출할 수 있는 피난 시설로 실외형 하향식 피난구를 제안했다. 실외형 하향식 피난구는 에어컨 실외기와 하향식 피난 사다리 일체형으로 실외에 설치하여 전통 피난시설의 문제점을 개선하면서 공사비를 절감하고 전용면적도 증가시킨다. 거주자는 현관문을 통해 계단으로 탈출하거나 실외형 하향식 피난구를 통해 사다리로 탈출할 수 있다.

본 연구는 거주자의 안전한 피난 방식 예측 요인 중 화재층 변화, 고층 남녀노소 비율 변화, 피난방식 변화에 따른 안전 시간 내 대피한 사람의 수, 피난 소요시간 단축에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해서는 피난시뮬레이션 pathfinder를 사용하였다. 시뮬레이션 결과 도출된 4가지 피난방식의 피난 소요시간이, 2분 이내에 대피한 사람의 수와 4분 이내에 대피한 사람의 수를 비교 분석하여 검토하였고 다음과 같은 결론을 도출했다.

- I 방식은 120명의 거주자가 전부 두 가지 방식의 하향식으로 대피하는 피난 소요시간이 다른 방식(II, III, IV)보다 짧다. 또한 II 방식은 피난자의 절반은 하향식으로 내리고 다른 절반은 계단식으로 피난한 피난 소요시간이 두 가지 방식으로 피난하는 I보다 길다. 따라서 사다리를 사용한 쪽이 계단식을 사용한 쪽보다 피난 시간이 빠르다.
- III 방식은 모든 거주자가 사다리를 이용해 피난하는 방식만을 사용했을 때 피난 소요시간이 II과 I(양방향 대피), IV(한방향 대피)보다 길다. 또한 한 가지 방식을 이용하여 피난할 경우 IV방식은 계단식으로 내

린 피난 소요시간이 한 가지 방식으로 나가는 Ⅲ보다 짧다. 따라서 하향식 피난구는 양방향 설치하는 것이 좋다.

3) 피난 시간이 2분이 되었을 때 Ⅱ & Ⅳ에 대한 계단식으로 대피한 피난자 수는 Ⅰ & Ⅲ가 하향식으로 대피한 피난자 수보다 많다. 4분이 되었을 때 Ⅱ & Ⅳ에 대한 계단식으로 대피한 피난자 수는 Ⅰ & Ⅲ가 하향식으로 대피한 피난자 수보다 적다. 2분이 되었을 때 계단식으로 대피한 피난자 수는 하향식으로 대피한 피난자 수보다 많지만 4분이 되었을 때 대피한 피난자 수는 적어진다. (1)에서 사다리를 사용한 쪽의 피난 소요시간이 계단식을 사용한 쪽보다 짧다는 것을 알 수 있다. 따라서 낮은 층의 거주자는 계단식 피난하는 시간이 하향식으로 피난하는 시간보다 짧다.

4) 고층 거주자는 남녀노소 비율 변화를 5가지로 설정한다. 노인이 없는 경우 Type 1와 Type 2의 대피 소요시간이 노인이 있는 경우 Type 3, Type 4, Type 5보다 짧다.

따라서 고층 아파트 하향식 피난구는 계단식보다 총 피난 소요시간을 단축할 수 있다. 거주자는 높은 층에서 하향식으로 피난하면 총 피난소요시간을 단축할 수 있고, 낮은 층에서는 계단식으로도 짧은 시간에 대피할 수 있다. 현재 아파트 층수가 높아지므로 하향식 피난구가 필요하다.

## 요 약

고층 공동주택에서 화재시 현관문을 통해 탈출이 불가능할 경우를 대비해 발코니를 통해 피난이 가능하도록 피난시설을 설치한다. 이는 공동주택 세대의 양방향 피난이 가능하게 하며, 이로 인해 인명피해를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 양방향 피난시설인 경량 칸막이, 발코니 대피 공간, 실내형 하향식 피난구의 특징을 살펴보고 이들의 문제점을 개선한 실외형 하향식 피난구를 제시하고 경제성에 대해 분석하였다. 화재 발생 시 피난자는 전통식 피난구를 사용할 때보다 하향식 피난구를 사용할 때 능동적인 탈출 가능 여부를 더 자율적으로 판단 할 수 있다. 따라서 피난자의 피난방식에 따라 피난소요시간에 미치는 영향을 고려하여 계단식과 하향식 피난구를 통한 4가지 피난방식의 피난 소요시간은 시뮬레이션 pathfinder를 활용하여 비교분석하였다. 피난 소요

시간 단축을 위한 적합한 대피방식을 예측 분석 판단하였다. 본 연구의 결과 고층 아파트 하향식 피난구는 계단식보다 총 피난소요시간을 단축할 수 있는 것으로 분석되었다.

**키워드** : 실외형 하향식 피난구, 계단식, 피난 소요시간, 피난 시뮬레이션

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. NRF-2017R1C1B5076057)

## References

1. Statistica Korea, 2015 Population and Housing Census 2015 [Internet]. Daejeon Statistica Korea [updated 2016 Oct 24; cited 2018 May 1]. Available from: <http://kostat.go.kr/portal/eng/index.action>
2. South Korea's apartment exceeded 10 million house. Empty house was 112 million [Internet]. 2017 Aug 31. Available from: [http://news.chosun.com/site/data/html\\_dir/2017/08/31/2017083101860.html](http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2017/08/31/2017083101860.html)
3. Park, JS. A study on the actual conditions of fire protection control for apartment. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation. 2013 Feb;13(1):297-301.
4. Chol DC, Kim HK, Kim JS, Park DW, Lee CH. A preliminary study on the development of existing building fire life safety evaluation methods. Proceedings of 2015 KIFSE Annual Fall Conference; 2015 Nov 12- 13; Iksan, Korea, Seoul (Korea): Korean Institute of Fire Science&Engineering; 2015. p. 187-8.
5. Kim GS, Choi JH, Hwang HS, Hong WH. Analysis on improvement of the evacuation safety through the investigation about actual condition of fire doors in high-rise building. Proceedings of 2009 KIFSE Annual Fall Conference; 2009 Nov 12-13; Samcheok, Korea, Seoul (Korea): Korean Institute of Fire Science&Engineering; 2009. p. 355-63.
6. Kim JH, Choi JH, Hong WH. A study on statistical analysis of residents' escape behavior due to the vertical evacuation direction in a high-rise apartment. Proceedings of 2010 KIFSE Annual Spring Conference; 2010 Apr 23; Uijeongbu, Korea, Seoul (Korea): Korean Institute of Fire Science&Engineering; 2010. p. 267-72.
7. Fire Engine: three times damage due to the delay of 5

- 
- minute[Internet]. 2017 Avr. 19. KBS News. Available from: <http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=3466769>
8. Enforcement decree of the building act of 2010, Article 46, Section 5, Presidential Decree No. 22052 (Feb. 18, 2010).
  9. Seo YS, Lee HS, Han JK, Kim JM, Yang GE. Structural and dynamic analysis for structural stability of outdoor-type top-down evacuation facilities. 20th Anniversary Society of CAD/CAM Engineers; 2015 Feb 4-6; Pyeongchang, Korea. Seoul (Korea): Society for Computational Design and Engineering; 2015. p. 735-8.
  10. Shin HJ, Yun JH, Kong HS. The efficient management plans for the lightweight partition walls and evacuation space in apartment houses. *Journal of Korea Safety Management & Science*. 2015 Mar;17(1):53-66.
  11. Yoo HC, Park SH, Kim KR. Evacuation space of balcony remodeling in apartment. *Journal The Korean Society of Living Environmental System*. 2007 Jun;14(2):126-31.
  12. Yeo IH, Min BY. Study on the horizontally installed emergency exit in apartment houses. *Proceeding of Korean Institute of Building Construction Spring Conference*; 2010 May 14; Seoul (Korea). Seoul (Korea): Korean Institute of Building Construction; 2010. p. 91-3.
  13. Enforcement decree of the building act of 2013, Article 46, Section 4, Presidential Decree No. 24443 (Mar. 23, 2013).
  14. Kim, BJ. A study on effective life rescue activity through the improvement of placement & structure of balcony escape shelters in apartment [master's thesis]. [Gyeonggi (Korea)]: Gachon university; 2016. 80 p.
  15. Seo HW, Kim DH, Wang NW, Park SY, An JH, Choi DH. A study on securing fire safety of the evacuation space in apartment buildings. *Journal of Korean Society Of Hazard Mitigation*. 2014 Feb;14(1):269-76.
  16. Ahn CS, Yeo IH, An JH, Cho KS. A study on the influence of temperature in evacuation space by fire door heat transfer. *Proceeding of Korean Institute of Fire Science & Engineering Autumn Academic Conference*; 2013 Nov 21; Seongnam (Korea). Seoul (Korea): Korean Institute of Fire Science & Engineering; 2013. p. 172-3.
  17. Lee MH. A study on the regulations improvement for safety assurance of the evacuation telescopic ladders enclosed in a hatch unit at the High rise apartment [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Science & Technology university; 2015. 56 p.
  18. Seo Do Yeon Forum Issue[Internet]. A study on fire escape facilities of high-rise apartments and alternative case. 2015 Jan. Available from <http://blog.daum.net/jjhak181/39>
  19. Kim TH. A study for introduction plan of evacuation exit ladder in apartment. *Proceeding of Korea Institute of Fire Science & Engineering Autumn Academic Conference*; 2008 Nov 13; Gwangju (Korea); Seoul (Korea): 2008. p. 11-6.
  20. Min SH, Sa JC, Jang YJ, Lee JM, Nam JO. A study on the development of evacuation equipments for units in high-rise apartment. *Proceeding of Korean Institute of Fire Science & Engineering Autumn Academic Conference*; 2011 Nov 10; Asan (Korea). Seoul (Korea): Korean Institute of Fire Science & Engineering; 2011. p. 183-6.
  21. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Korea). Basic building type construction cost and additional cost of housing for the sale price ceiling. 2017 Sep. No. 2017-621.
  22. Design Drawing[Internet]. Green Home International Co. Ltd. 2014 Jun. Available from <http://blog.naver.com/jjhak181/220044497591>
  23. Kim JM, Park SY, Lim CS, Yeon KS, Kim YS. Improved plan for evacuation of residents in landslide-prone rural area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 2017 Jan;59(1):1-10.
  24. Kim JS, Rie DH. A study of comparative of evacuation time by platform type according to the propagation speed of smoke in subway platform fire. *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*. 2017 Jul; 19(4):577-88.
  25. Lee KS. Study of correlation between gait velocity and angle of pelvic of elderly women. *The Journal of Korean Society for Neurotherapy*. 2013 Nov;17(1):15-23.