



경보방식에 따른 고층건축물의 효율적 피난방안에 관한 연구

A Study on the Effective Evacuation Plan of High-rise Buildings by the Fire Alert System

유동균* · 안영철** · 여성구** · 김은지** · 이유식****†
 Dong-Kyun You*, Young-Chull Ahn**, Seong-Gu Yeo**,
 Eun-ji Kim** and You-Sik Lee****†

(Received 23 April 2018, Revision received 01 June 2018, Accepted 01 June 2018)

Abstract: When a fire occurs in a high-rise building, it leads to a large-scale evacuation, and evacuees escape through staircases at the same time. This leads to congestion in the staircases, resulting in stagnation of the evacuation. In this study, evacuation scenarios were classified into three types in order to analyze the evacuation efficiency according to the difference of the alert method. The study applied alert method that simultaneously alerts all floors of buildings, Priority alert method that gives priority alert to the ignition layer and four layers directly above it and newly applied the alert method(Hereinafter referred to as “Cross alert method”) of issuing the intersection priority alert for every certain number of floors. In addition, the most effective time difference was obtained by analyzing the evacuation simulation results in the case of the Priority and the Cross alert method. As a result, Alert at once was the fastest alert method in spite of the largest number of congestion times, followed by the Cross alert method and the Priority alert method. In the Priority and the Cross alert method, the evacuation started late due to the difference of the alert time, the final evacuation time was further delayed.

Key Words : Evacuation Simulation, Priority alert method, Cross alert method, Congestion times, Building EXODUS

1. 서 론

1.1 연구배경 및 연구목적

현대사회는 빠른 경제성장과 함께 다양한 산업의 발달로 사회 각 분야에서 전문화, 다양화 되어

가고 있는 추세이다. 건축 또한 토지이용의 제한 등으로 인해 도시개발에 한계가 발생했고, 점차 건축물이 고층화, 복합화, 대형화되어 감에 따라 대규모의 복잡한 공간형상을 가진 다양한 건축물들이 많이 나타나고 있는 실정이다. 우리나라도 고층건축물 건설 기술강국으로 2017년도 기준¹⁾

****† 이유식(교신저자) : (주)유일방재엔지니어링
 E-mail : goldgoal@hanmail.net, Tel : 051-552-6868
 *유동균 : 부산소방본부
 **안영철, 여성구, 김은지 : 부산대학교 건축공학과

****† You-Sik Lee(corresponding author) : Yoo Il Bang Jae Engineering Co., Ltd.
 E-mail : goldgoal@hanmail.net, Tel : 051-552-6868
 *Dong-Kyun You : Fire headquarters of Busan City.
 **Young-Chull Ahn, Seong-Gu Yeo, Eunji Kim : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

총 2,315동의 고층건축물(30층 이상)이 입지하고 있다.

건축공간의 이러한 경향으로부터 화재 시 인명 안전대책은 점점 더 어려운 상황에 직면하고 있고, 화재로 인한 인명피해는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 특히, 2010년 10월 1일 부산 해운대구 우신골든스위트(주상복합건물) 4층 작업실에서 발생한 불이 건물 외벽 등을 통해 20여분만에 38층까지 번지는 사고와, 최근 런던 그렌펠 아파트에서 발생한 화재(2017.6.14.)에서 화재가 급격히 확산됨에 따라 대규모 인명피해(81명 사망 추정)가 발생하여 고층건축물의 안전에 대한 불안감이 점차 확산되고 있다.

이에 화재 등 재난으로부터 건축물의 안전성을 높이기 위해서 미국, 영국 등 일부 선진국에서만 시행되어지고 있는 성능위주설계를 고층건축물 및 일정규모 이상의 건축물을 대상으로 2009년 1월 1일부터 도입하여 시행 운영하고 있다. 성능위주설계는 해당 소방대상물의 특성에 적합하게 소방안전을 실현하면서 불필요한 소방 설비를 배제하고 새로운 소방기술의 적용을 통하여 효율적인 소방시설을 설치할 수 있도록 하는 설계기법이라 할 수 있다. 하지만, 현재 시행하고 있는 대부분의 성능위주설계는 화재 및 피난시물레이션을 통한 성능평가 시 화재가 발생한 층만을 독립적으로 수행하고 있어 고층건축물의 수직성에서 특수하게 나타날 수 있는 피난위험요소들에 대한 문제를 반영하지 못한다고 볼 수 있다.

최근 국내에서 수행되었던 고층건축물 피난과 관련된 선행연구를 살펴보면, 박남권²⁾ 등이 화재가 발생한 발화층과 이와 인접한 직상, 직하층의 3개층에 대하여 시간적 차이를 두어 우선적으로 피난시키는 시나리오를 분석하였다. 이를 통하여 화재 시 동시에 피난할 경우 각 층에서의 인원이 한정된 계단실로 동시에 쏟아져 나와 계단실에서의 체류 및 혼잡으로 피난이 지연될 수 있다는 문제점을 인식하였다. 한방유비스³⁾에서 수행한 소방시설 등의 성능위주설계의 대상 및 개선방안에 관한 연구 자료에는 피난시물레이션을 실시할 때 화재가 발생한 층만을 독립적으로 수행하면 대규

모 건축물의 피난 특성(수직피난, 계단실 병목현상 등)을 반영하지 못하기 때문에 전 층 재실자에 대한 피난 시물레이션을 실시할 것을 명시하고 있다.

현재 국내에서 수행되고 있는 대부분의 분석은 화재가 발생한 기준층에서 재실자들이 계단실로 피난하는 형태로만 이루어져 왔으며, 고층건축물의 특성을 반영한 수직피난에 대한 피난시물레이션이 이루어진 연구는 미진한 실정이다. 이를 개선하기 위해서는 고층건축물에서의 최종 피난 목적지에 대한 설정을 수직피난과 그 과정에서 발생하는 병목현상에 대한 위험요소가 반영된 지점으로 변경하는 것이 우선적으로 선행되어야 하며, 그 후에는 수직피난 중에서 발생하는 병목현상을 최소화 할 수 있는 방안에 대한 구체적인 연구가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 고층건축물의 전 층의 재실자들이 피난계단을 통해 최종 피난목적지인 건물 밖으로 대피하는 과정에서 수직피난의 병목현상을 해소할 수 있는 효과적인 방안을 강구하기 위해 경보방식을 활용하였다. 또한, 고층건축물의 내부 재실자들이 화재로 인한 위험으로부터 안전한 최종피난목적지까지 도착하는 시간을 최소화 할 수 있는 가장 효율적인 경보방식을 도출하는 것을 목적으로 하였다.

2. 시물레이션 개요

2.1 시물레이션 TOOL

본 연구에서는 피난시물레이션 툴로 Building EXODUS(Ver. 6.1)를 사용하였다. EXODUS는 건물 내 많은 수용인원의 피난과정에서 각 개인별 피난 경로나, 연기 중에서의 탈출 상황 등을 분석할 수 있으며 적절히 인명을 배치하여 시간별 피난 상황을 분석할 수 있다.

2.2 대상건축물 개요 및 해석방법

대상건축물은 부산광역시 금정구에 위치한 오피스텔로 구성된 특정소방대상물로서, 규모는 지하 6층, 지상 32층으로 최고 높이는 103.7 m, 연면

적은 52,153.93 m²이다. 주용도는 업무시설(오피스텔), 근린생활시설로 구성된 복합용도의 건축물이다. 본 연구에서는 피난성능에 대한 차이를 명확하게 비교하기 위해 대상건축물의 수직피난과 관련된 일부 특성을 변수로 하여 분석하였다.

본 건축물은 특별피난계단 설치 대상으로, 3개소가 배치되어 있다. 특별피난계단의 전실은 3.03 m²로 계획되어 있으며, 실제 계단의 유효폭은 1,250 mm, 계단참 1,300 mm로 적용되어 있다.

102동 오피스텔의 경우 지상 13층에 피난안전구역이 계획되었는데, 본 논문에서는 우선경보방식에 따라 수직피난 중 피난인원의 중첩지점 확인 및 피난시간 지연원인 등 전체적인 흐름을 분석하기 위하여 대상건축물의 피난안전층을 제외하였다.

또한 본 논문에서는 옥상으로의 피난을 제외하였으며 건물 전체에서 지상 1층을 통해 건물 밖으로 피난하는 상황만을 고려하였다.

2.3 시뮬레이션 조건

화재발생 시 발화층 및 그 상층부에 위치한 피난인원이 화재로부터의 위험성이 높고 상층부에 위치할수록 피난거리가 길어진다는 점을 고려하였을 때, 고층건축물 2/3 지점 이상의 높이가 내부 재실자의 피난상황을 확인할 수 있는 적절한 층이라고 판단하였다.



Fig. 1 Floor plan of target building(22nd floor)

이에 본 논문에서는 해당 32층 건축물의 2/3 지점인 22층 오피스텔 내부에서 전기적인 요인으로 화재가 발생하여 전 층의 거주자들이 피난계단을 통해 피난하는 상황을 설정하였다. 이때, 건축물의 내부 평면은 3개의 구역으로 완전히 구획되어 있기 때문에 화재 시 한 구역에서 다른 구역으로의 화염 및 연기의 확대가 잘 이루어지지 않는 것으로 판단하여 3개의 구역 중 하나의 특정구역을 Fig. 1과 같이 선정하여 해당구역의 건물 전 층에 대한 피난시뮬레이션을 수행하였다.

2.3.2 피난인원 산정

피난안전구역 설치 대상 건축물의 용도에 따른 재실자 밀도는 건축물의 피난·방화구조 등에 관한 규칙 별표 1의 2에서 제시하고 있으며 세부내용은 Table 1과 같다. 계단실, 승강로, 복도 및 화장실은 사용 형태별 재실자 밀도의 산정에서 제외하고, 취사장·조리장의 사용 형태별 재실자 밀도는 9.30으로 본다.

본 연구에서는 면적 133 m²의 공간에 오피스텔의 재실자 밀도(9.3 m²/인)를 적용하여 층별 피난인원을 산정하였다. 그 결과, 층마다 15명을 층별 내부 피난인원으로 배치하여 전 층(32개층)의 480명에 대한 피난 시뮬레이션을 진행하였다.

Table 1 Occupancy density according to the usage of building

Usage	Type	Occupant density(m ² /person)
Residence	Accommodation	18.6
	Apartment houses	18.6
Business	Business facility, transport facility and related facilities	9.30

2.3.3 피난속도

재실자의 보행속도는 연령, 성별에 따라 다른 기준을 적용하여야 하며, 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 발표한 「표준화재모델에 따른 화재확대방지 및 피난안전 설계 기술 개발」⁴⁾ 자료를 참고하여 Table 2와 같이 보행속도를 설정하였다.

Table 2 Walking speed according to gender and age of Koreans

Division	Child	Teenager	Adult	Senior	Unit
	2 to 10 years	10 to 20 years	20 to 60 years	Over 60 years old	
Male	1	1.3	1.2	0.7	m/s
Female	1	1.3	1.1	0.97	

계단을 통한 수직이동 시 보행속도 변화는 최준호⁵⁾ 등에 의한 선행연구에서 계단을 내려갈 때 0.6배, 올라갈 때 0.4배의 보정계수를 적용해야 함을 제시하고 있으나 시뮬레이션 툴이 EXODUS와 다르기 때문에, 본 논문에서는 프로그램 내부에 성별 및 연령에 따라 기본적으로 적용되어 있는 계단이동에 대한 보정비율을 적용하였다.

2.3.4 재실자 분포 및 신체크기

재실자의 연령 및 성별에 따라 피난능력이 다르기 때문에 재실자의 성별 및 연령 분포가 피난 소요시간에 큰 영향을 주게 된다. 이에 통계청 등의 공신력 있는 통계자료를 참고하여 재실자의 연령 및 성별 분포를 설정한 후 그에 따른 연령별 분포비율과 키 분포비율을 Table 3, 4에 나타내었다.

Table 3 Percentage of population by gender and age in Busan⁶⁾

Division	Child	Teenager	Adult	Senior	Unit
	2 to 10 years	10 to 20 years	20 to 60 years	Over 60 years old	
Male	3.2	5.1	31.0	10.1	%
Female	3.0	4.6	30.5	12.5	

Table 4 Height according to gender and age of Koreans⁷⁾

Division	Child	Teenager	Adult	Senior	Unit
	2 to 10 years	10 to 20 years	20 to 60 years	Over 60 years old	
Male	129.05	172.10	173.60	165.40	cm
Female	127.76	159.80	160.80	152.90	

2.3.5 피난완료

본 논문에서는 건물의 각 층의 재실자가 피난

계단을 통해서 지상 1층으로 이동하는 상황을 분석하였다. 이 경우, 경보방식에 따라 수직피난 중 피난시간의 지연원인 분석 등 전체적인 흐름을 분석하기 위해 대상건축물의 피난 안전층을 제외하여 내부의 피난인원의 피난완료 지점을 지상 1층 출구를 통한 건물 밖으로 설정하였다.

2.4 시뮬레이션 시나리오

연구대상 건축물의 화재발생구역은 한 개의 층에 오피스텔 4개의 호실이 존재하고 있으며, 내부의 재실자들은 피난계단을 향해 수평방향으로 이동한 후, 피난계단을 통해 지상 1층으로 이동하여 건물 밖으로 피난하는 상황을 설정하였고, Fig. 2에 재실자들의 수평이동 방향을 나타내었다. 이때 화재는 지상 22층의 ROOM 2에서 최초로 발생하여 피난하는 상황으로, 경보방식의 차이에 따라 건물 전체의 재실자들이 어떻게 효율적으로 피난할 수 있을지에 대하여 분석하였다.

현재 건축물의 경우에는 층수가 30층 이상인 특정소방대상물의 비상방송설비는 우선경보방식을 적용하고 있기 때문에 2층 이상의 층에서 발화한 때에는 발화층 및 직상 4개층(5개층 경보)에 경보를 우선적으로 발화하도록 설치되어 있다. 이는 부산 우신골든스위트(10,10,1), 인천 갯벌타워고(10.10.18) 화재를 계기로 국가정책조정회의에서층건축물 안전관리 개선 세부과제로 보완된 제도로, 발화층 및 직상 4개층이 화재로부터 위험성이 더 크기 때문에 다른층에 비하여 우선적인 경보를 통한 피난이 필요하다는 이유로 현재까지 시행되어 오고 있으나, 우선경보시의 시간차에 대한 정도와 우선경보를 시행할 경우 그 효과성에 대한 세부적인 검증은 이루어지지 않았다. 이에 효과적인 피난유도 및 피난체계를 시뮬레이션을 통해 검토하고자 본 건축물에 대한 피난시뮬레이션을 총 7개의 시나리오로 구성하였고, Table 5에 나타내었다.

Case 1은 가장 기본적인 피난 경보방식으로 화재 시 우선경보 없이 건물 전체에 동시에 경보하여 피난하는 상황으로 다른 Case와 비교하는 기준 시나리오로 설정하였다.

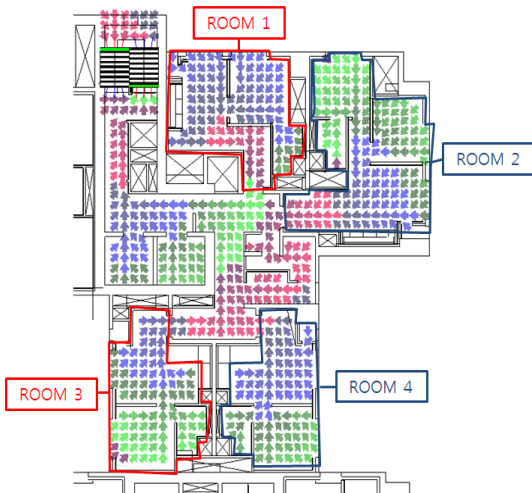


Fig. 2 Composition of fire areas and horizontal evacuation direction

Case 2의 경우 기존의 우선경보방식과 같이 발화층 및 직상 4개층(5개층)에 경보를 우선적으로 발한 후 나머지 층에 경보를 발하는 상황으로 가정하였다.

Case 3의 경우 우선경보방식을 일부 개선하여 건물의 일정층수별로 교차하여 경보를 발하는 방식(이하 ‘교차경보방식’으로 정의)을 적용하였다. 교차경보방식은 우선경보방식에서 발화 및 직상

Table 5 Evacuation simulation scenario

Division		Range
Case1	1	Alert at once
Case2*	2-30	Priority alert with time difference of 30 seconds
	2-60	Priority alert with time difference of 60 seconds
	2-90	Priority alert with time difference of 90 seconds
Case3**	3-30	Cross alert with time difference of 30 seconds
	3-60	Cross alert with time difference of 60 seconds
	3-90	Cross alert with time difference of 90 seconds

*22nd~26th floors(Ignition layer and four layers directly above it) priority alert method

**2nd~6th floors, 12nd~16th floors, 22nd~26th floors, 32nd floor priority alert method

층 우선경보 후, 나머지층을 전체적으로 경보하는 과정에서 생기는 비효율적인 부분을 개선하기 위해 우선경보시간 동안 상층부를 미리 교차로 경보하는 방식이다. 나머지층에서 동시에 피난할 경우 각 층에서의 인원이 한정된 계단실로 동시에 쏟아져 나와 계단실에서의 체류 및 혼잡으로 인해 피난이 지연되는 것을 방지하고자 착안한 방식이다.

Case 2와 Case 3의 경우 시간차를 두고 피난하는 것은 발화층의 인원을 가장 먼저 신속하게 피난시키고, 피난과정 중 체류 및 혼잡의 방지를 유도하기 위한 상황으로 30초, 60초, 90초의 시간차를 두고 분석하여 가장 효과적인 시간차를 도출하고자 하였다.

본 논문에서 진행된 총 3가지의 경보방식에 대한 개념도를 Fig. 3에 나타내었다. 각 경보방식에서 왼쪽에 그려진 부분이 우선적으로 경보가 되는 층수이고, 오른쪽 부분이 이후 시간차를 두고 경보가 올리는 층을 표시한 것이다.



Fig. 3 Alert sequence concept by alert method

3. 시뮬레이션 결과

3.1 발화 및 상층부(22~32층)에서 발화층 아래로의 피난 안전성

3.1.1 우선경보 5개층(22~26층)에서의 피난 효율성 분석

Table 6은 22~26층에서 발화층 아래(21층)까지의 피난시간을 나타낸 것이다. Case 2와 Case 3의

Table 6 Evacuation time from the 22nd~26th floor to below the ignition floor

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
22F	32.08	29.96	31.17	28.03	27.98	28.11	30.23
23F	40.10	42.31	47.64	38.83	36.95	39.52	38.99
24F	48.78	55.46	54.44	47.61	54.56	47.88	46.73
25F	64.84	60.07	62.81	59.95	60.74	59.83	65.33
26F	81.07	71.03	75.31	67.97	66.98	69.03	70.61

우선경보가 이루어지는 22~26층 부분에서 발화 지점 아래층인 21층으로 향하는 각 층에서의 PET(Personal Evacuation Time)를 살펴보면 초기 22층에서부터는 모든 Case에서 유사한 차이를 나타내는 반면에 상층으로 올라갈수록 Case 1과 다른 Case 간의 피난시간의 격차가 더 커지는 경향이 나타나고 있다.

Case간 격차가 가장 크게 나타난 26층 재실자들의 피난시간을 살펴보면 우선경보가 일어난 Case 2 ~ Case 3의 경우 다소 편차가 있긴 하지만 71초 전후의 시간을 나타내었고, Case 1의 일제경보방식에서는 81초로 피난시간이 10초 가량 더 소요된 것으로 나타났다.

Table 7은 세부적인 원인 분석을 위해 각 층에서의 CWT(Cumulative Waiting Time), 피난 중 정체로 인한 지연시간을 나타낸 것이다. Case 1에서 다른 Case에 비하여 더 많은 정체시간이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 26층의 경우 정체시간은 11.18초로 다른 Case들의 평균 정체시간인 3.13초 보다 약 8초 가량 더 많은 정체가 발생하였다.

이는 우선경보를 통해서 화재로 인한 위험지역의 재실자들의 체류·혼잡을 줄여 일제경보방식보다 더 빠르게 피난할 수 있다는 것을 나타낸다.

우선경보 전과 우선경보 후 계단실에서의 피난 상황을 살펴보기 위하여 본 논문에서 실시한 우선경보 시나리오 중에 중간값에 해당하는 Case 2-60을 선정하여 살펴보았다.

Table 7 Congestion time from the 22nd~26th floor to below the ignition floor

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
22F	0.65	0.66	1.85	0.79	0.30	0.93	0.37
23F	2.66	1.14	3.28	2.66	0.91	1.42	1.44
24F	5.74	2.37	5.36	3.51	4.94	1.68	1.39
25F	7.39	3.15	5.94	4.78	4.35	2.08	4.92
26F	11.18	2.97	3.94	3.08	3.51	1.99	3.33

피난시작 30초가 경과한 시점에서의 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 22~24층까지는 Case 1과 Case 2-60이 큰 차이를 나타내지 않았으나, 25~26층의 피난계단에서 인원수의 차이가 발생했다. 우선경보로 인해 27층 이상의 층에서는 22~26층(우선경보층)보다 60초 이후에 경보를 알려 피난을 시작하지 않았기 때문이다. 그 결과, 일제경보방식의 경우 Case 2-60의 우선경보방식에 비하여 25~26층의 재실자가 전부 피난계단으로 이동하기 전 상층부 일부 재실자가 피난계단을 통해 먼저 내려오고 있어 피난이 조금 더 지연되고 있는 것을 확인하였다.

피난시작 90초 경과 후, Case 1에서의 다수의 피난인원이 계단실을 통해 지속적인 피난을 진행하고 있는 반면 Case 2-60의 경우 22~23층의 계단실 내 피난인원이 없고 24층에서부터 조금씩 피난을 하고 있는 피난인원의 모습이 확인되었다. 피난시작 90초 이후 22~26층에서 관측되는 피난인원은 27층 이상 층에 최초 배치된 재실자들의 피난모습이며, 우선경보방식의 경우 우선경보 상층부의 피난인원들이 피난을 늦게 시작함으로 인해 오히려 피난계단이 비어 있는 비효율적인 구간이 나타나는 현상을 확인하였다.

3.1.2 우선경보 상층부(27~32층)에서의 피난 효율성 분석

Table 8은 27층 이상 층에서 발화층 아래(21층)까지의 피난시간을 나타낸 것이다. 우선경보의 상

Table 8 Evacuation time from above the 27th floor to below the ignition floor

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
27F	91.65	106.06	137.47	162.58	104.86	138.13	169.34
28F	100.16	123.00	152.46	177.84	127.29	152.72	173.86
29F	112.53	137.10	158.08	193.22	144.87	162.82	190.96
30F	122.30	152.49	173.50	208.99	156.27	180.73	211.82
31F	135.01	157.49	190.95	227.50	162.03	179.30	212.46
32F	143.27	170.33	194.10	223.83	123.77	112.21	118.29

층부인 27층에서부터는 우선경보층에서의 결과와 역전되는 현상이 나타나 26층까지 가장 오랜 피난시간이 소요되는 일체경보방식인 Case 1에서 다른 Case 2 ~ Case 3의 경보방식보다 더 빠른 시간 내에 피난을 완료하는 결과를 나타내었다.

Case별 피난시간(PET)의 최고값은 Case 1과 Case 2의 경우에는 최상층인 32층에서 Case 3의 경우는 교차로 우선경보가 이루어지는 32층 아래층인 31층에서 나타났다. Case별 최고값에 대한 결과를 비교해보면 경보방식별 피난시간이 가장 효율적인 경보방식은 Case 1, Case 3, Case 2 순으로 나타났고, 경보시간의 효율성은 우선경보방식과 교차경보방식 둘 다 30초, 60초, 90초 순으로 경보시간의 차이가 짧을수록 더 효율적이라는 동일한 결과를 나타내었다. 전체적인 차이는 Case에 따라 작게는 19초에서 최대 81초까지 피난시간에 대비하여 상당히 큰 범위에서의 편차를 나타내고 있다.

Table 9는 27층 이상 층에서 발화층 아래(21층)까지의 정체시간을 나타낸 것이다. 각 층에서의 피난 중 정체시간(CWT)을 살펴보면 여전히 Case 1에서 다른 Case에 비하여 더 많은 정체시간이 발생한다는 것을 확인할 수 있는데, 정체시간이 더 많았음에도 불구하고 Case 1에서 더 빠른 시간 내에 피난을 완료할 수 있었던 이유는 정체로 인한 영향보다 경보시간의 차이에 의하여 더 늦게 피난을 시작하여 생기는 영향이 더 큰 것으로 볼 수

Table 9 Congestion time from above the 27th floor to below the ignition floor

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
27F	11.97	2.53	2.11	1.34	2.18	2.28	1.19
28F	15.34	6.13	4.63	4.04	5.87	5.60	1.51
29F	14.03	8.16	6.33	4.13	9.00	7.50	3.50
30F	18.63	12.21	6.82	8.79	14.19	8.62	8.74
31F	16.25	12.60	9.97	12.95	11.42	8.69	7.38
32F	11.75	10.77	9.22	13.73	6.23	1.28	1.24

있다. 그 결과 경보시간의 차이가 더 길어질수록 피난시간도 더 길어지는 것을 확인할 수 있다.

3.2 건물 전 층에서의 피난 안전성

3.2.1 Case별 최종피난완료시간에 대한 분석

건물 전체에 층별로 고르게 배치된 480명의 재실자가 건물 1층의 출구를 통해 건물 밖으로 최종 피난을 완료하는데 소요되는 시간은 Case 1의 일체경보방식에서 7분 5초로 가장 빠른 시간 내에 피난을 완료하였다. 이후에 Case 3의 교차경보방식과 Case 2의 우선경보방식의 순으로 빠르게 피난을 완료하였고, 경보시간의 차이는 30초, 60초, 90초의 순으로 피난경보시간이 짧을수록 최종피난완료시간이 더 짧아지는 결과가 나타났다. 피난에 최장시간이 소요된 Case 2-90의 경우는 8분 35초로 Case 1과 1분 30초의 시간 차이를 나타내었다.

Fig. 4는 경보방식에 따른 최종피난완료시간 차이에 대한 원인분석을 위해 Cumulative Simulation 데이터를 활용하여 나타낸 것으로, 경보의 대표적인 사례인 Case 1, Case 2-60, Case 3-60에 대하여 살펴보았다. 시간에 따른 피난완료 인원수에 대한 Case별 차이는 시뮬레이션이 진행되는 초기 180초에 결정이 되며, 이후에는 3개의 Case가 전부 일정한 속도로 피난인원을 배출하고 있는 것을 확인할 수 있다.

피난인원이 피난계단으로 운집하여 피난에 대한 정체가 일정규모 이상으로 발생한다면 경보방

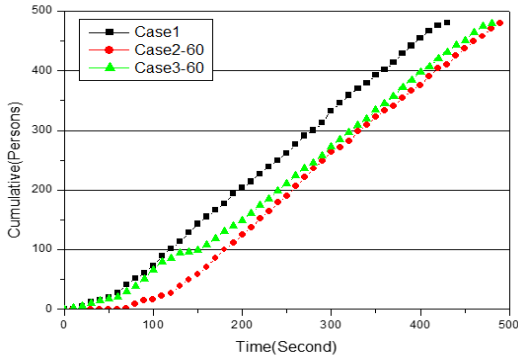


Fig. 4 Result of cumulative simulation according to alert method

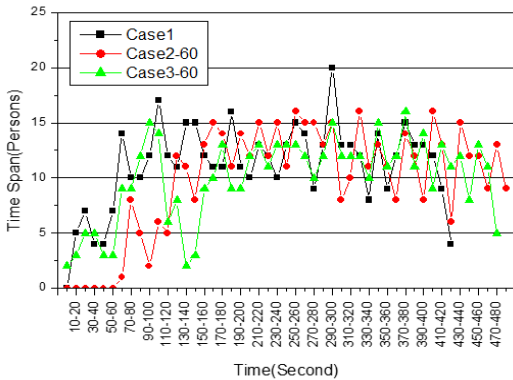


Fig. 5 Result of time span simulation according to alert method

식이 다르더라도 출구로 피난을 할 수 있는 인원의 수는 한정되어 있기 때문에 초기에 인원배출이 되지 않는다면 피난이 완료되는 시간은 그만큼 더 지연될 수밖에 없다. 따라서 초기에 많은 인원을 피난시키는 것이 전체적인 피난완료시간을 줄이는데 더 효과적이라고 볼 수 있다.

Fig. 5는 피난인원의 배출흐름을 Time Span Simulation 그래프를 통해 10초의 시간간격으로 나타낸 것이다. 180초 이후 10초 간격으로 10~15명의 인원이 유사한 폭으로 피난을 완료하는 모습을 볼 수 있다. 또한 초기에 Case 1, Case 3-60, Case 2-60 순으로 더 많은 인원을 피난시키고 있어 빠른 시간 내 효율적으로 피난을 완료하고 있는 모습을 확인할 수 있다. 경보시간의 시간차이

역시 시간차이가 더 짧을수록 초기에 더 많은 인원을 피난시킬 수 있어 효과적인 피난을 할 수 있다고 분석된다.

3.2.2 발화층 상하부에서 지상1층 출구로의 피난 안전성

1) 우선경보 5개층(22~26층)에서의 피난 효율성 분석

Table 10은 22~26층에서 지상1층 출구까지의 피난시간을 나타낸 것이다. 우선경보 5개층에서의 최종 피난완료시간은 Case 2에서 전반적으로 다른 Case에 비하여 20~30초 가량 더 소요되는 결과가 나타났지만 Case 1과 3에서는 큰 차이 없이 유사한 결과가 도출되었다.

Table 10 Evacuation time from the 22nd~26th floors to the ground floor exit

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
22F	296.79	299.05	291.78	280.21	292.69	295.79	291.82
23F	306.65	331.88	326.73	317.16	313.94	309.13	300.21
24F	321.25	350.53	358.08	322.61	337.38	320.71	314.06
25F	328.61	341.76	359.44	378.10	340.02	355.81	346.46
26F	352.22	369.37	394.44	384.74	344.25	369.46	342.48

2) 우선경보 하층부(16~21층)에서의 피난 효율성 분석

Table 11은 16~21층에서 지상1층 출구까지의 피난시간을 나타낸 것이다. 우선경보의 경우 Case 1에 비하여 Case 2, 3에서 많게는 143초 가량의 차이를 보이며 피난이 지연되고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 Case 1에서의 최종피난완료시간의 절반에 가까운 시간으로 상당히 큰 차이를 나타내고 있다.

큰 격차를 보이는 원인은 앞서 상층부인 우선경보 5개층에서의 피난이 Case 1과 큰 차이가 없었다는 결과와 연관시켜 보았을 때, 우선경보과정에서 우선경보층의 피난인원과 그 하층부의 피난

Table 11 Evacuation time from the 16th~21st floors to the ground floor exit

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
16F	224.65	245.64	289.31	339.67	235.04	240.92	228.87
17F	234.49	269.48	305.30	366.42	360.73	302.91	336.43
18F	259.58	278.21	322.20	384.34	273.12	312.81	356.25
19F	261.96	285.74	346.99	410.89	283.33	344.59	375.65
20F	270.77	308.66	368.76	411.24	310.27	364.32	379.59
21F	279.42	337.68	389.52	422.77	330.84	386.96	400.74

인원의 피난순서가 뒤바뀌게 되면서 지상 1층까지의 최종피난완료시간 또한 역전되는 현상이 나타나는 것으로 보인다. 또한 경보시간의 차이에 따라 시간차이가 길어질수록 더 낮은 하층부의 피난인원과 피난순서가 바뀌는 결과가 나타났다.

3) 우선경보 상층부(27~32층)에서의 피난 효율성 분석

Table 12는 27층 이상 층에서 지상1층 출구까지의 피난시간을 나타낸 것이다. 이 경우 역시 Case 1에서 Case 2, 3보다 더 빠르게 피난을 완료하는 결과가 나타났고, 그 편차는 20~90초 가량으로 나타났다.

Table 12 Evacuation efficiency analysis on the 27th~32nd floor

(Unit : second)

Floor	Alert at once	Priority Alert Method			Cross Alert Method		
	Case 1	Case 2-30	Case 2-60	Case 2-90	Case 3-30	Case 3-60	Case 3-90
27F	358.19	381.21	425.15	434.82	375.71	421.74	432.08
28F	358.05	394.07	430.75	455.78	395.09	432.36	431.31
29F	379.67	401.86	435.99	468.62	410.59	433.06	440.65
30F	382.68	416.36	441.69	471.61	414.61	449.82	457.22
31F	395.60	420.47	463.84	493.84	414.43	442.50	448.16
32F	400.87	428.31	465.36	481.79	385.17	393.92	396.43

Case 3에서 다시 교차로 우선경보를 발하는 32층에서는 우선경보층과 유사하게 하층부의 피난인원과 피난순서가 바뀌어 더 빠르게 피난을 완료하는 결과가 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 32층 오피스텔 22층 방에서 화재가 발생하여 건물 전 층에 있는 내부의 재실자들이 피난계단을 통해 피난을 완료하는 상황에 대하여 경보방식별 차이를 두어 피난시뮬레이션을 수행하였고, 결과 및 제안사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 우선경보방식의 경우 우선경보를 발하는 5개층(22~26층) 재실자들의 발화층 아래로의 피난은 효과적이지만 그 영향은 10초 가량으로 미미하였고, 오히려 우선경보 상층에서의 피난을 더 지연시키는 결과를 초래하였을 뿐만 아니라 건물 전체의 재실자가 건물 밖으로 피난하는 경우 역시 일제경보방식에 비하여 효과적인 결과를 나타내지 못하였다.

2) 가장 많은 정체시간이 발생한 일제경보방식에 비하여 우선 및 교차경보방식에서 경보시간의 차이로 인해 늦게 피난을 시작하여 최종피난시간이 더 지연되는 결과가 나타났고, 이로 인해 경보시간의 차이가 짧을수록 최종피난시간이 더 빨라지는 결과가 도출되었다.

3) 초기에 많은 인원을 피난시키는 것이 전체적인 피난완료시간을 줄이는 더 효과적인 결과가 도출된다. 피난인원이 피난계단으로 운집하여 피난에 대한 정체가 일정규모 이상으로 발생한다면 경보방식이 다르더라도 출구로 피난을 할 수 있는 인원의 수는 한정되어 있기 때문에 초기에 인원배출이 되지 않는다면 피난이 완료되는 시간은 그만큼 더 지연될 수밖에 없다. 그 결과 본 연구에서는 도입된 교차경보방식에서 우선경보가 진행되는 동안 교차로 초기피난을 동시에 진행하여 우선경보방식보다 더 효과적인 결과를 도출할 수 있었다.

끝으로 본 연구는 피난방식에서 비상용 엘리베

이터, 하향식 피난구, 옥상대피 등 다른 피난방식을 제외하고 피난계단을 통한 피난방식만을 고려하여 분석하였다는 점과 고층건축물 1개소만을 선정하여 연구를 진행하였기 때문에 고층건축물의 전체적인 특성을 반영하지는 못한다는 한계점이 있다. 향후 이와 관련된 다양한 특성별 건축물의 영향요인에 대한 분석과 상이점을 밝혀내기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

그렇지만 본 연구의 과정을 통하여 경보방식에 따라 고층건축물의 수직피난의 효과성에 대해 판별하고, 우선경보방식의 효과성을 재평가함에 연구의 가치가 있다고 할 수 있다. 앞으로 연구결과를 바탕으로 고층건축물의 피난 및 경보계획을 수립함에 있어 기초적인 데이터로 활용되길 기대한다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport-National Fire Agency, 2017, "Research about Fire Safety of High Building".
2. N. K. Park, Y. J. Lee, and M. O Yoon, 2011, "A study on escape safety assessment of high-rise office buildings for security plans", Korea Security Science Association, Vol. 28, pp. 57-77.
3. Korea Fire Protection UBIS Co., Ltd., 2016, "A Study of Subject and Improvement in the Performance Based Design of Fire-fighting", Final Report.
4. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2009, "Development of Fire Spread Protection and Escape Safety Design Technique according to Standard Fire Model".
5. J. H. Choi, and W. H. Hong, 2013, "A suggestion on a new correction coefficient for SIMULEX egress model to predict agent's stair slope travel time a high-rise building", Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 3, pp. 285-292.
6. Statistics Korea, Resident Registration Data.
7. Size Korea, Survey on the Korean Body Sizes.