

[Research Paper]

초고층건물 피난계획시 피난용 엘리베이터 이용에 의한 피난소요시간의 단축효과 연구

박형주 · 이영재^{*†}

가천대학교 건축공학과 교수, *한밭대학교 설비공학과 교수

Study on the Shortening Effect of the Egress Travel Time Based on an Escape Scenarios by Using Shuttle Elevators for Lotte Tall Building's Evacuation Plan

Hyung-Joo Park · Young-Jae Lee^{*†}

Professor, Dept. of Architectural Engineering, Gachon Univ., *Professor, Dept. of Building & Plant Engineering, Hanbat Univ.

(Received October 8, 2018; Revised November 15, 2018; Accepted December 2, 2018)

요 약

국내에서 피난용 엘리베이터가 구비되어 준공된 초고층건축물은 서울시 송파구에 위치한 롯데월드타워로 총 19대의 피난용 엘리베이터가 설치되어 있다. 이 건물의 피난계획에 따르면 19대의 피난용 엘리베이터는 비상시 5개의 피난안 전층으로부터 피난층(1층)까지 수동 키에 의한 조작으로 셔틀 운행하면서 피난자를 탑승시켜 피난시키도록 규정되어 있다. 따라서 화재 등의 재난발생시 피난용 엘리베이터를 이용한 피난시나리오가 기존의 보행만으로 피난하는 피난시나리오보다 피난소요시간을 어느 정도 단축할 수 있는가를 분석할 필요가 있다. 롯데월드타워를 대상으로 피난용 엘리베이터에 의한 최적 수송분담률을 40%로 설정한 전관동시 엘리베이터병행 피난시나리오의 피난소요시간이 1 h 2 min으로 산출된 반면, 엘리베이터를 전혀 이용하지 않고 보행만으로 피난하는 전관동시 보행피난시나리오의 피난소요시간은 1 h 29 min으로 산출되었다. 결과적으로 엘리베이터를 병행하여 보행피난하는 경우가 엘리베이터에 의존하지 않은 상태에서 보행으로만 피난하는 경우보다 27 min 정도의 피난소요시간 단축효과가 있는 것으로 도출되었다. 이러한 단축효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 엘리베이터를 이용한 피난경로를 이루는 각 부분이 피난이 이루어지는 동안 연기, 화염, 복사열 등의 화재 또는 재난에 기인하는 위험으로부터 피난자를 방호할 수 있는 성능을 갖추고, 엘리베이터 이용 피난자의 상주위치에서 최종피난장소까지의 피난경로가 단절 없이 이어지고 인식이 용이하도록 관리되어야 한다.

ABSTRACT

A total of 19 elevators for evacuation were installed in the Lotte World Tower and it is planned to operate the shuttle using the manual key from five refuge floors to the 1st floor in an emergency. In the event of a fire or other disaster, it is necessary to conduct intensive analysis to determine how much RSET reduction could be achieved using the evacuation elevator compared to the existing evacuation plans. When the optimal transportation sharing ratio by the evacuation elevators was 40% at the Lotte World Tower, the RSET of the evacuation scenario in parallel with the elevators in the entire building was calculated to be 1 hour and 2 minutes. The RSET of a conventional evacuation scenario (Walking along the stairs without using the elevators) was calculated to be 1 hour 29 minutes, therefore, the former evacuation scenario were found to have a shortening effect of approximately 27 minutes compared to the latter. On the other hand, to maintain this effect, each part of the evacuation route using the elevator must have the capability to protect the evacuee from any hazards caused by fires, such as smoke, flame, and radiant heat during the evacuation. Moreover, the evacuation route should be continuous from the residence position of the elevator user to the final evacuation site, and be recognized easily.

Keywords : Required safe egress time, Refuge floor, Shuttle elevator for evacuation, Stair walking only evacuation scenario, Elevator using evacuation scenario

[†] Corresponding Author, E-Mail: leeyj@hanbat.ac.kr, TEL: +82-42-821-1180, FAX: +82-42-821-1175

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

2012년도 3월 초고층 재난관리 특별법의 제정을 계기로 초고층건축물은 30층 이내마다 일정한 면적의 피난안전층 또는 피난안전구역⁽¹⁾의 설치가 의무화되었고, 모든 거주자가 한꺼번에 계단으로 보행 피난할 때 발생하는 혼잡도를 줄이기 위해 피난자의 상주위치로부터 가장 가까운 위치에 있는 피난안전층 또는 피난안전구역으로 일시 대피시키는 방법으로 피난계획을 수립하도록 요구되었다.

그러나 초고층건물에서 이러한 혼잡도의 경감만으로는 피난안전성을 개선하는데 한계가 있어 엘리베이터를 이용한 피난방법이 제시되기 시작하였다. 국내에서도 이를 지원하기 위해 2018년 4월 건축법 제64조에 고층건축물에 설치하는 승용승강기 중의 1대 이상을 일정한 성능을 가진 피난용 엘리베이터로 설치하도록 의무화하였다.

피난용 엘리베이터는 일반적인 승용 엘리베이터보다 내화·배연 등 기준이 강화된 승강기로, 평상시는 승용으로 사용하지만, 화재 등의 재난이 발생하면 피난용으로 전용되는 승강기다. 이 승강기에는 비상전원, 방수성능, 내화성능, CCTV 등 모니터링 장치, 원격조정장치 등의 안전장치가 구비되어 있으며, 승강로와 승강장 또한 고온에 견딜 수 있도록 설계되어 있어 승강기가 화재 층을 지나갈 때 연기 또한 차단할 수 있는 구조⁽²⁾로 이루어져 있다.

다만, 피난용 엘리베이터는 피난안전층과 피난층을 다이렉트로 운행하는 셔틀형 엘리베이터로 운행되어야 하는데, 셔틀형으로 운행하지 않고 각 층마다 정지가 가능하도록 설계할 경우 고층부에 있는 거주자를 효과적으로 피난층으로 수송하기 불가능하기 때문이다.

현재 피난용 엘리베이터가 구비되어 준공된 고층건축물은 서울시 송파구에 위치한 롯데월드타워로 총 19대의 피난용 엘리베이터가 설치되어 비상시 5개의 피난안전층에서 피난층(1층)으로 수동 키에 의한 조작으로 셔틀 운행하도록 계획되어 있다. 이렇게 피난용 엘리베이터를 이용하여 거주자를 수송할 경우에 보행을 기반으로 하는 피난계획의 피난소요시간과 비교하여야 피난용 엘리베이터의 설치효과를 가늠해 볼 수 있다. 특히 보행으로만 피난할 경우의 피난소요시간과 비교하여 어느 정도의 단축효과가 있는가를 평가하여 피난용 엘리베이터의 설치효과를 고찰할 필요가 있다.

1.2 연구의 목적 및 방법

1.2.1 연구의 목적

피난용 엘리베이터를 19대 구비하고 있는 초고층 건물인 롯데월드타워를 대상으로 피난시뮬레이션 프로그램을 활용하여 엘리베이터를 이용한 병행 보행시나리오에 대한 피난소요시간을 산출한 후, 보행으로만 피난하는 피난시나

리오의 피난소요시간과 비교하여 초고층 건축물에서 피난용 엘리베이터의 이용이 피난안전성에 미치는 효과를 정량적으로 제시하는데 연구 목적을 두었다.

1.2.2 연구의 방법 및 범위

우선 국내에 피난용 엘리베이터를 유일하게 구비하고 있는 롯데월드타워를 대상으로 피난시뮬레이션 프로그램을 사용하여 아래와 같은 절차로 연구를 수행하였다.

첫째, 거주자 전체를 보행시켜 피난안전층에 일시대피하지 않고 통과시켜 피난하는 전관동시 보행피난시나리오를 대상으로 피난을 종료하는데 걸리는 피난소요시간을 산출하여 피난용 엘리베이터를 이용하지 않고 보행으로만 피난하는 경우를 분석하였다.

둘째, 롯데월드타워의 피난용 엘리베이터가 확보하고 있는 비상수송능력을 고려한 엘리베이터의 최적 수송분담률을 설정한 후, 최적 수송분담률 만큼의 거주자는 피난안전층과 피난층을 셔틀운행하는 피난용 엘리베이터를 이용하여 피난시키고 잔여 거주자는 보행 피난시키는 엘리베이터 병행 보행피난시나리오를 대상으로 하는 피난소요시간을 산출하였다.

셋째, 상기 두 개의 시나리오를 대상으로 산출된 피난소요시간을 비교하여 피난용 엘리베이터의 구비가 피난소요시간에 미치는 효과를 고찰하였다.

최종적으로는 피난용 엘리베이터를 병행한 피난계획을 수립할 경우에 있어 필수적으로 확보해야 할 피난용 엘리베이터의 성능과 운행규칙을 제시하는 데 최종 목표를 두었다.

2. 피난시뮬레이션을 위한 입력변수의 개요 및 해석 시나리오 설정

2.1 피난시뮬레이션의 개요 및 입력자료의 고찰

2.1.1 피난시뮬레이션 프로그램의 개요

본 연구에 사용한 피난시뮬레이션 프로그램은 건축공간에 있는 재실자의 신체, 이동속도 등의 표준화된 변수가 사전 입력되어 재실자의 보행 피난속도와 피난 중 개구부 체류정도를 종합적으로 고려하면서 재실자가 입체적인 움직임으로 피난문을 통해 빠져나가는데 걸리는 피난소요 시간(RSET)의 정량적 산출이 가능한 Pathfinder 시뮬레이션 프로그램(미 Thunderhead Engineering 사 개발)⁽³⁾을 사용하였다. 특히 Pathfinder는 기존의 피난시뮬레이션 프로그램들이 구현하기 어려운 엘리베이터를 이용한 피난모사가 가능하고, 국제적으로 널리 알려진 Science & Fire Protection Engineering (SFPE) 핸드북 제3판의 “Bud” Nelson and Frederick W. Mower 박사의 논문에서 제시된 피난이동 메커니즘에 기반을 둔 알고리즘⁽⁴⁾을 사용하는 SFPE Mode의 적용이 가능한 것으로 조사되어 본 연구에 적용하였다.

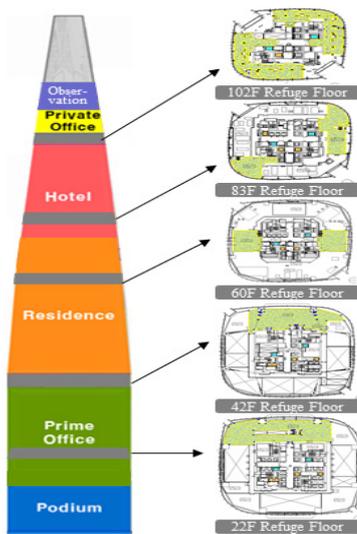


Figure 1. Status of 5 Evacuation safety areas and refuge floors' location in the Lotte world tower.

2.1.2 피난안전층의 위치와 규모

롯데월드타워는 5개의 피난안전층(102층, 83층, 60층, 42층, 22층)이 있으며, 각각의 피난안전층에는 일정면적을 가진 피난안전구역을 구비하고 있다. 피난안전구역이 표시된 피난안전층의 위치와 형태를 Figure 1에 나타내었다.

2.1.3 수용인원 산정

롯데월드타워의 최대수용인원 산정을 위해 「건축물의

피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙」의 별표 1의2 “피난안전구역 설치대상 건축 물의 용도에 따른 사용형태별 재실자밀도”를 적용 하였다.

롯데월드타워는 수직적으로 6개의 주요 사용 형태로 구분하여 운영하고 있다. 상부에서부터 전망대, 프라이빗 오피스, 호텔, 레지던스, 프라임 오피스, 포디움 순으로 위치하고 있으며, 각각의 사용형태는 여러 개의 용도로 이루어진 복합용도 의 형태를 가진다.

전망대의 순면적은 2,750 m²으로 주로 위락용도와 전시 용도로 구성되어 있으며 평균재실자밀도 1.82 m²/인을 적용하여 1,515인을 수용할 수 있다. 프라이빗 오피스의 순면적은 4,426 m²이며 주로 업무용도와 집회용도로 구성되어 있으며 평균 재실자밀도 8.80 m²/인을 적용하여 503인을 수용 할 수 있다. 호텔은 객실부와 부대시설로 나뉘어 져 있는데, 객실부의 순면적은 28,392 m²로 평균 재실자밀도 38.52 m²/인을 적용하여 737인, 호텔 부대시설의 순면적은 12,489 m²로 집회시설과 운동 시설로 구성되어 있어 평균 재실자밀도 22.10 m²/인을 적용하면 565인을 수용할 수 있는 것으로 조사되었다. 레지던스는 피난안전층을 기준으로 2개의 구역으로 나뉘어져 상부용도는 순면적이 11,578 m²로 평균재실자밀도를 14.17 m²/인을 적용하여 817인, 하부 용도는 순면적 26,388 m²로 평균재실자 밀도를 17.28 m²/인을 적용하여 1,527인을 수용할 수 있는 것으로 조사되었다. 상기의 산정된 수용인원을 Table 1에 정리하였다.

호텔 하부층에 위치한 프라임 오피스 또한 피난 안전층 을 기준으로 2개의 구역으로 나뉘어 상부 용도는 순면적

Table 1. Max. Occupant Status by Type of Usage in the Lotte World Tower

Function of Space	Floors	Avg. Occupant Load Factor (m ² /person)	Floor Area, Net (m ²)	No. of Occupants (person)	Remarks (Occupants)
Observation	117~123F	1.82	2,750	1,515	2,018
Private Office	103~116F	8.80	4,426	503	
Refuge Floor	102F	-	-	-	-
Hotel, Room	84~101F	38.52	28,392	737	737
Refuge Floor	83F	-	-	-	-
Hotel, Subsidiaries	74~82F	22.10	12,489	565	1,382
Residence, Above	61~73F	14.17	11,578	817	
Refuge Floor	60F	-	-	-	-
Residence, Below	41~59F	17.28	26,388	1,527	1,527
Refuge Floor	40F	-	-	-	-
Prime Office, Above	23~39F	11.14	46,457	4,169	4,169
Refuge Floor	22F	-	-	-	-
Prime Office, Below	14~21F	10.34	19,626	1,898	5,414
Podium & Lobby	1~13F	4.96	17,450	3,516	
Total	123 Floors	(11.12)	169,556	15,247	15,247

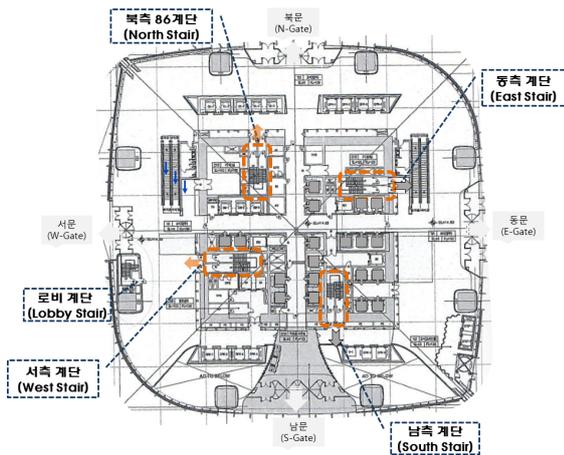


Figure 2. Status of occupant types and refuge floors in the Lotte world tower.

46,457 m²로 평균재실자밀도 11.14 m²/인을 적용하여 4,169인, 하부용도는 순면적 19,626 m²로 평균재실자밀도 10.34 m²/인을 적용하여 1,898인으로 산정되었다.

마지막으로 대부분의 용도가 판매시설로 사용되는 포디움 용도의 순면적은 17,450 m²로 평균재실자 밀도 4.96 m²/인을 적용하여 3,516인을 수용할 수 것으로 조사되었다. 앞에서 산정한 6개의 사용형태별 수용인원을 합하면 롯데월드 타워의 수용인원은 총 15,247인으로 산정되었다.

2.1.4 직통계단의 배치현황

롯데월드타워의 피난경로를 세부적으로 분석 하여 보면 Figure 2에서 보듯이 철근 콘크리트 구조로 이루어진 4개의 계단실(동, 서, 남, 북)이 코어에 위치하고 있으며, 저층부에 있는 로비 계단실만 코어부의 외부에 위치하고 있다. 따라서 화재시 연기오염이 우려되는 로비 계단실을 제외 한 4개의 계단실은 화재시에도 수직 피난계단 으로 사용 가능한 것으로 설계되어 있다.

앞에서 언급한 4개의 피난계단실 중 동 계단 실과 서 계단실은 1층에서부터 123층까지 연결 된 직통계단으로 5개의 피난안전층을 기점으로 분리되어 있으며, 남 계단실과 북 계단실은 1층 에서 83층까지만 연결된 직통계단으로 4개의 피난안전층에서 분리되어 있다. 이 계단들은 5개의 피난안전층을 기준으로 6개 또는 4개의 분리 된 계단실로 이루어져 있으며 Figure 3에 나타 내었다.

롯데월드타워의 화재시 피난계획은 코어부 외각 에 있는 거실의 재실자가 일단 코어부로 이동한 후, 코어부 내 위치한 피난계단을 경유하여 가장 가까이 있는 하부의 피난 안전층으로 일시대피한 후, 재해약자인 노약자나 장애인을 포함한 엘리베이터를 이용하여 피난을 희망하는 피난자는 피난안전층과 피난층을 서틀 운행하는 피난용 엘리베이터에 탑승시켜 1층으로 피난시키고, 잔여 피난자는 계단실을 통해 보행피난하도록 피난 유도계획이 수립되어 있다.

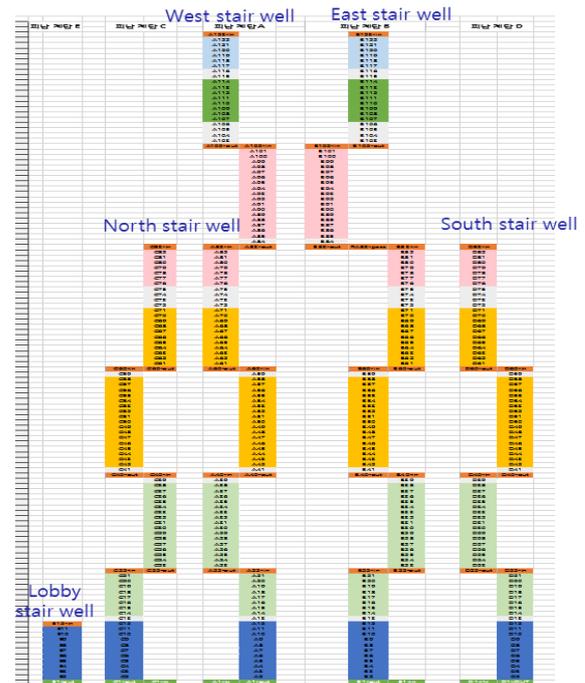


Figure 3. Vertical Status of stair wells connected in refuge floors in the Lotte world tower.

2.1.5 피난용 엘리베이터의 배치 및 운행현황

롯데월드타워에는 미국 IBC코드 기준에 따라 59대의 승용 엘리베이터 중 19대가 피난용 엘리 베이터로 겸용하여 사용할 수 있도록 설계되어 있으며, 운행용도별로 관할하는 엘리베이터의 명칭과 대수는 아래와 같다.

- 전망대 피난용 엘리베이터: OD-01, OD-02 (2대)
- 프라이빗 오피스 피난용 엘리베이터: POS-01, S-01 (2대)
- 호텔 피난용 엘리베이터: HS-01, HS-02, HS- 03, HS-04 (4대)
- 레지던스 피난용 엘리베이터: RS-01, RS- 02, RS-03, RS-04 (4대)
- 오피스 피난용 엘리베이터: OM-04, OM-05 (2대), OH-01, OH-02, OH-03, OH-04, OH-05 (7대)

피난용 엘리베이터는 비상시 5개의 피난안전층 과 1층 사이를 운행하는 엘리베이터로 Figure 4와 같이 사용 형태 별로 배치되어 있으며, 각각의 피난용 엘리베이터의 수송 능력은 Table 2에 정리하였다.

피난용 엘리베이터가 평상시 모드에서 비상시 모드로 전환하기 위해서는 2단계 절차를 거쳐서 이루어진다. 1단계는 비상복귀단계로 피난용 엘리베이터는 승용으로 운행하다가 비상모드로 전환 되면, 사전에 입력된 지정층으로 일단 복귀되어야 하는데, 롯데 월드타워에 설치된 모든 피난용 엘리베이터의 지정은 1층으로 설정되어 있다. 다만, 복귀된 피난용 엘리베이터는 2단계 조치로 인해 비상운행 임무를 수행할 엘리베이터 통제관이 탑승, 수동조작으로 피난안전층과 1층간을 서틀운행하도록 프로그램화되어 있다.

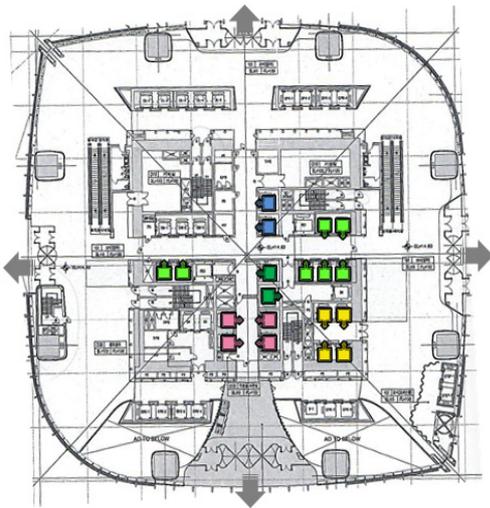


Figure 4. Layout of 19 escape elevators on 1st floor plan of the Lotte world tower.

따라서 지정층으로 복귀되어 정지한 피난용 엘리베이터의 도어는 지정층 정지후 개방 상태로 대기 하면서, 수동키를 소지한 엘리베이터 통제관 이외는 엘리베이터를 운행할 수 없도록 설정되어 있다.

3. 피난소요시간의 산정 및 분석

3.1 전관동시 계단보행 피난시나리오에 대한 피난소요 시간 산정 및 분석

전절에서 언급한 바와 같이 피난시물레이션에 의한 피난소요시간의 산정에 필요한 롯데 월드타워의 피난수단과 수용인원을 설정한 후, 이를 기반으로 롯데월드타워의 최대수용인원을 Table 1에 명기된 배치분포 현황에 따라 피난시물레이션 모델링 프로그램에서 층별로 배치하고, 각층의 플로어 객체를 보이지 않도록 처리하여 Figure 5와 같이

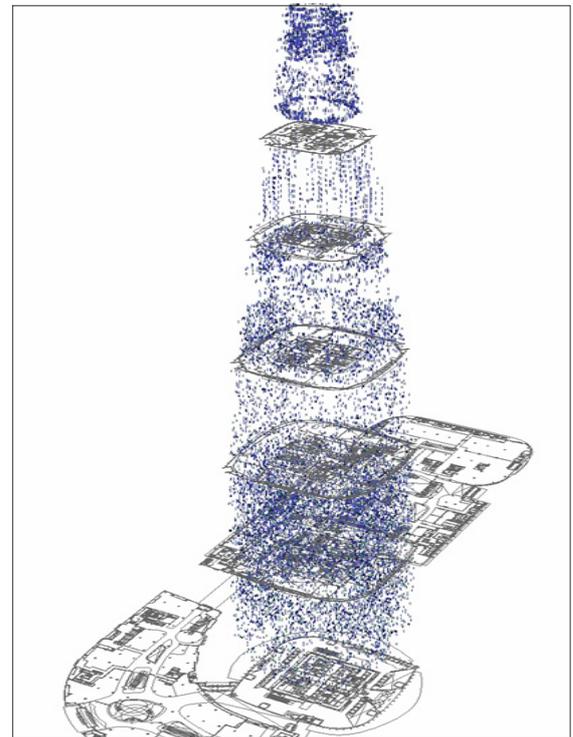


Figure 5. Occupants placement status capture by 3D lotte world tower model.

나타내었다. 1층의 피난층과 5개의 피난안전층(22층, 40층, 60층, 83층, 102층)에 대한 플로어 객체를 보이도록 처리하고, 나머지 플로어 객체(피난안전층 사이에 위치한 여러 층을 말함)는 숨김으로 처리하여 거주자(파란 점(•)으로 표시)의 배치를 부각시켰다.

이처럼 전층에 분산되어 배치된 거주자 15,247명을 동일한 시각에 피난 개시시켜 Figure 3에 나타난 피난계단 5개소를 이용하여 보행피난한 시나리오인 전관동시 보행피난 시나리오에 대한 피난시물레이션을 수행한 결과, Table 3에

Table 2. Emergency Operation Status of 19 Escape Elevators Installed in the Lotte World Tower

Escape ELEV No.	Max. Floor	Max. Floor for Emergency	Capacity (Person)/ Velocity (m/min)	Escape ELEV No.	Max. Floor	Max. Floor for Emergency	Capacity (Person)/ Velocity (m/min)
← DD-01	121	102	27/600	← OD-02	121	102	27/600
← RCS-01	107	102	27/600	← S-01	102	102	27/600
← HS-02	83	83	24/480	← HS-03	83	83	24/480
← HS-01	81	60	24/480	← HS-04	81	60	24/480
← RS-01	42	40	24/240	← RS-02	42	40	24/240
← RS-03	42	40	24/240	← RS-04	42	40	24/240
← OH-01	38	22	24/240	← OH-02	38	22	24/240
← OH-03	38	22	24/240	← OH-04	38	22	24/240
← OH-05	38	22	24/240	-	-	-	-
← CM-04	31	22	24/240	← CM-05	31	22	24/240

Table 3. RSET Status in Case of Walking Evacuation for 15,247 Occupants

Occupancy	Floors	Walking Evacuation (Person (%))	RSET
Observation	117~123F	1,515 (100)	
P-office	103~116F	503 (100)	
(Refuge Floor) Hotel	102F	2,018	25 min
(Refuge Floor) Hotel Annex	84~101F	737 (100)	
(Refuge Floor) Hotel Annex	83F	2,755	31 min
Hotel Annex	74~82F	565 (100)	
Above Residence	61~73F	817 (100)	
(Refuge Floor) Below Residence	60F	4,137	40 min
(Refuge Floor) Below Residence	41~59F	1,527 (100)	
(Refuge Floor) Below Residence	40F	5,664	48 min
Above Office	23~39F	4,169 (100)	
(Refuge Floor) Below Office	22F	9,833	1 hr 11 min
(Refuge Floor) Below Office	14~21F	1,898 (100)	
Podium	1~13F	3,516 (100)	
1st Floor Exit	1F	15,247	1 hr 29 min

나타낸 바와 같이 각각의 피난안전층의 상부층에 위치한 거주자가 102층의 피난안전층을 통과하는데 걸린 피난소요시간은 피난개시 후로부터 25 min으로 산출되었다. 나머지 83층의 피난안전층은 31 min, 60층 피난안전층은 40 min, 40층 피난안전층은 48 min, 22층 피난안전층은 1 h 11 min이 걸리는 것으로 산출되었으며, 최종적으로 1층의 피난층을 빠져나가는데 걸리는 피난소요시간은 1 h 29 min으로 산출되었다.

결과적으로 피난용 엘리베이터 등의 비상시 사용가능한 별도의 피난수단을 이용하지 않고, 계단실을 이용하여 전체 거주자를 보행피난하는데 걸리는 피난소요시간은 1 h 29 min으로 산출되었다. 추가적으로 상기의 피난소요시간을 세부적으로 분석한 결과 102층 상부층의 최종피난자가 102층의 피난안전층을 통과하는데 소요되는 시간이 25 min으로 상대적으로 수치가 큰 것으로 분석되었는데 102층의 상부에 거주밀도가 높은 전망대 용도가 위치하여 있고, 피

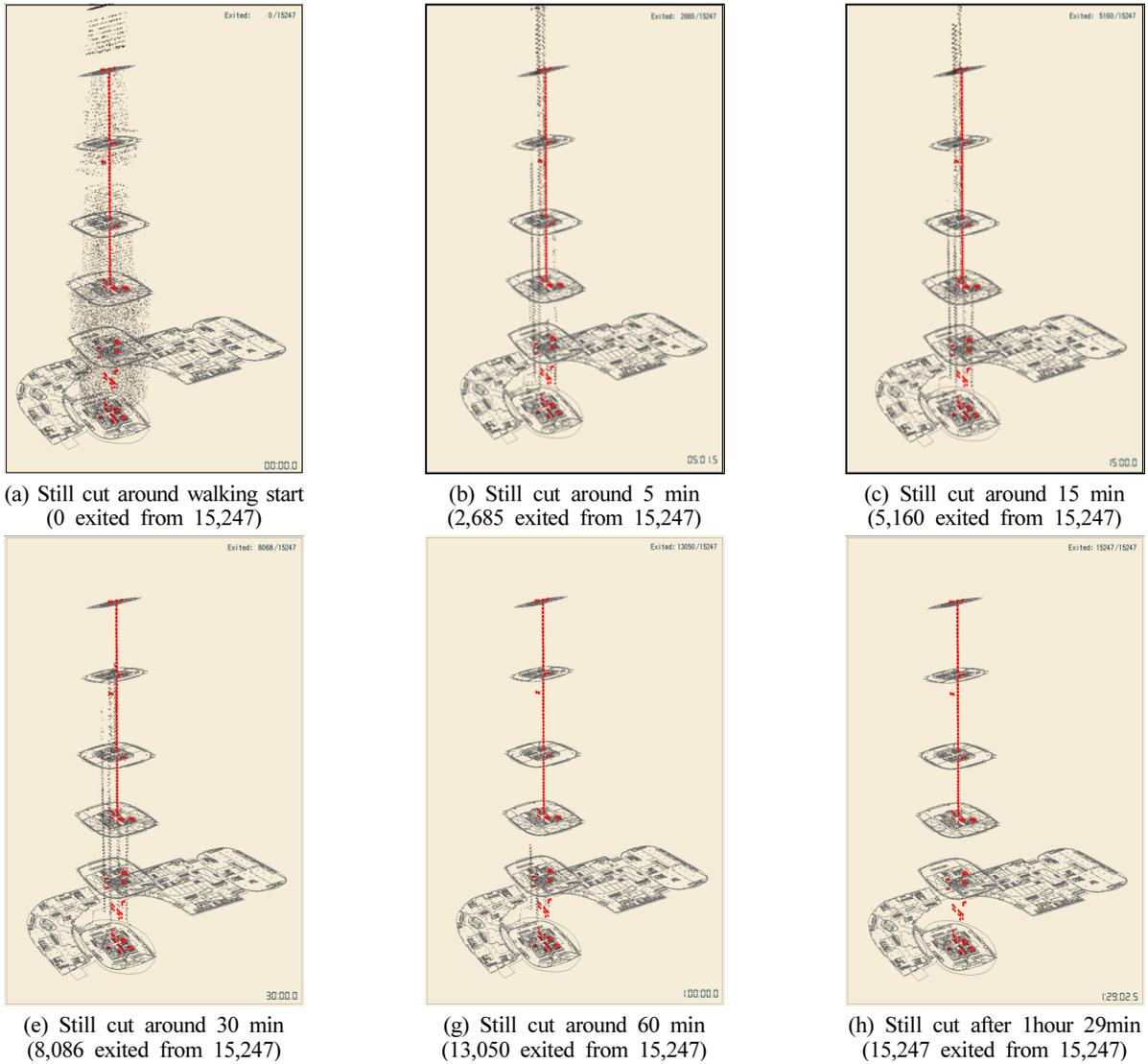


Figure 6. Consecutive still cuts simulated by all occupants' walking evacuation procedure.

난계단 또한 2개밖에 없기 때문인 것으로 추론된다. 반면에 83층 피난안전층을 최종피난자가 통과하는데 걸리는 시간은 31 min으로 102층을 통과하는 시간보다 6 min밖에 더 걸리지 않았는데 그 이유는 상대적으로 거주밀도가 낮은 호텔 객실용도가 위치하기 때문이다.

또한 60층 피난안전층과 40층 피난안전층의 최종피난자의 통과시간은 6 min에서 9 min 이내로 크게 증가하지 않은 것으로 나타났다. 그 이유는 83층을 기점으로 계단이 2개소에서 4개소로 증가하였기 때문인 것으로 추론된다. 반면에 상부에 거주밀도가 높은 사무실용도가 위치한 22층 피난안전층을 최종피난자가 통과하는데 걸리는 시간이 다른 피난안전층을 통과하는 시간보다 매우 큰 23 min으로 나타났다. 그 이유를 살펴보면 22층 피난안전층의 상부에 있는 용도가 거주밀도가 아주 높은 업무용도(23층에서 39층 점유)가 점유하고 있어 상대적으로 많은 거주자가 밀집되어 있기 때문인 것으로 추론된다.

이와 같이 전관거주자를 동시에 피난개시시켜 코어부에 위치한 피난계단실을 이용하여 보행피난시키는 전관동시보행피난시나리오의 경우 피난개시후부터 최종피난자가 피난종료하는데 걸리는 피난소요시간이 1 h 29 min으로 산출되었으며, 피난안전층 별 통과시간은 상부층에 위치한 건축용도별 거주밀도와 피난계단의 수에 따라 변하는 것으로 도출되었다. 피난시물레이션의 결과를 스틸 컷으로 잡아 아래의 Figure 6에 나타내었다.

3.2 전관동시 엘리베이터병행 계단보행 피난시나리오에 대한 피난소요시간 산정 및 분석

전절에서 산출한 전관동시보행피난 시나리오의 계단 이외의 피난수단이 없는 건물에서 많이 적용하지만 롯데월드타워와 같이 피난용 엘리베이터를 구비하고 있는 초고층건물은 엘리베이터를 이용한 피난계획이 가능하다.

이러한 초고층 건축물의 경우 피난용 엘리베이터에 의한 최적 수송분담률을 늘려가면서 계단보행피난 분담률과 균형을 이루어 피난하여야 피난소요시간을 최소화 시킬 수 있다.

다만 현재 개발되어 상용화된 피난시물레이션 프로그램들이 엘리베이터 탑승피난과 계단보행피난을 병행하여 하나의 모델링에서 동 시간에 시물레이션을 수행할 수 없는 것⁽⁵⁾으로 조사되었다. 따라서 피난소요시간을 최소화 시킬 수 있는 엘리베이터의 최적 수송분담률에 대한 도출이 우선적으로 이루어져야 한다.

3.2.1 피난용 엘리베이터의 최적 수송분담률 도출

롯데월드타워에 구비된 피난용 엘리베이터의 수송능력을 세부적으로 열거하면, 19대 중 7대는 최대탑승인원 24명에 운행속도가 240 m/min으로 비상시 높이 100 m인 22층을 셔틀운행하며, 동일한 수송능력을 가진 4대는 높이 약 200 m인 40층을 셔틀 운행하도록 고안되어 있다. 나머

Table 4. Occupants Sharing Ratio with Respect to Elevator Evacuation vs. Walking Evacuation

Disc.	Occupants Sharing Ratio (%) / RSET					
Elevator Evacuation	30	38 min 38 s	40	60 min 20 s	50	71 min 51 s
Stair Walking Evacuation	70	71 min 45 s	60	59 min 21 s	50	35 min 36 s
Differences	40	33 min 7 s	20	59 s	0	36 min 15 s

지 8대의 엘리베이터 중 2대는 탑승인원 24명에 운행속도가 480 m/min의 수송능력으로 높이 약 300 m인 60층, 동일 수송능력을 가진 2대는 높이 약 400 m인 83층을 셔틀운행하고, 최종적으로 남은 4대는 탑승인원 24명에 운행속도가 600 m/min로 높이 약 500 m인 102층을 셔틀운행하도록 설계되어 있다.

상기와 같은 수송능력을 가진 엘리베이터로 전관거주자 15,247명에 대한 엘리베이터 피난수송분담률을 30%, 40%, 50%로 순차적으로 구분하여 엘리베이터에 의한 피난시물레이션을 수행하고, 동일한 모델링에서 계단보행 피난분담률을 70%, 60%, 50%로 구분하여 피난시물레이션을 수행한 결과 Table 4와 같이 피난소요시간⁽⁶⁾이 산출되었다. 이 중에서 엘리베이터의 피난수송 분담률을 40% (5,971명), 계단보행피난 분담률을 60%로 설정한 경우의 피난시물레이션 결과 피난소요시간이 각각 60 min 20 s, 59 min 21 s로 산출되었다. 즉, 전관 거주자를 대상으로 피난소요시간이 최소화되는 경우는 두 가지 피난방법에 의해 시물레이션을 각각 수행하여 산출된 피난소요시간의 차이가 가장 적은 경우이다. Table 4에 제시된 수송분담률을 검토한 결과, 엘리베이터 수송분담률을 40%, 계단보행분담률을 60%로 설정하여 병행피난시키는 피난시나리오에서 피난소요시간의 차이가 가장 적은 것(59 s)으로 분석되었다.

3.2.2 엘리베이터 피난(40%) 병행 계단보행피난(60%) 시나리오에 대한 피난시물레이션 결과 분석

전관거주자 15,247명 중 40%의 거주자 5,971명은 가장 가까운 하부층에 있는 피난안전층으로 보행하여 해당 피난안전층과 1층을 셔틀운행하는 19대의 피난용 엘리베이터에 탑승피난하는 시나리오에 대한 피난시물레이션을 수행한 결과, 피난소요시간은 최대 1 h 20 s로 산출되었다. 동 시간에 피난개시한 잔여 거주자 9,291명은 계단실을 이용하여 1층까지 보행 피난하였을 때의 피난소요시간은 59 min 21 s인 것으로 산출되었다. 따라서 엘리베이터병행 계단보행 피난시나리오에서의 전관거주자 피난소요시간이 최대 1 h 20 s가 걸리는 것으로 추정할 수 있다.

엘리베이터 병행 피난시나리오에 대한 시물레이션 스틸 컷을 엘리베이터 탑승피난결과와 계단보행피난결과를 구

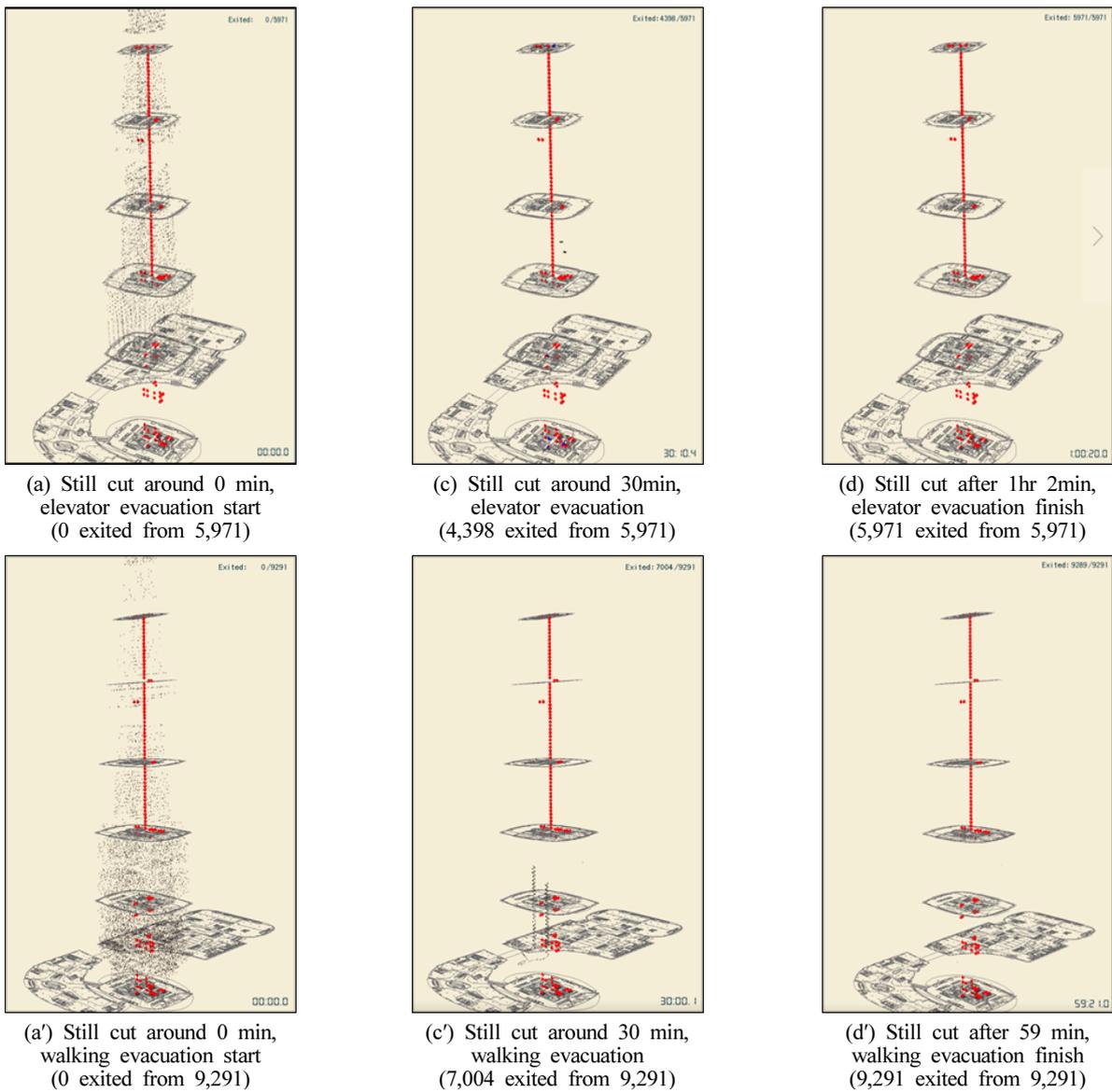


Figure 7. Consecutive still cuts simulated by both 1/3 occupants (5,971) elevator evacuation and 2/3 occupants (9,291) walking evacuation procedure.

분하여 Figure 7에 나타내었으며, (a), (b), (c)는 엘리베이터 탑승피난 시물레이션의 스틸 컷이고, (a)', (b)', (c)는 계단 보행피난 시물레이션의 스틸 컷을 나타내고 있다.

4. 결 론

19대의 피난용 엘리베이터를 구비하고 있는 123층의 초고층 빌딩에서 관할 피난안전층과 1층 간을 셔틀운행하는 피난용 엘리베이터의 수송 분담률을 40%로 설정하여 총 14,257명의 피난자를 엘리베이터병행 보행피난하는 피난 시나리오의 피난소요시간은 1 h 2 min이 걸리는 것으로 추정되었다. 반면에 피난용 엘리베이터를 이용하지 않고 순전히 보행피난할 때의 피난소요 시간이 1 h 29 min으로 산

출됨에 따라, 엘리베이터를 이용하여 병행피난할 경우 최소 27 min의 단축효과를 얻는 것으로 도출되었다.

결과적으로 123층 높이의 5개의 피난안전층이 구비된 초고층 건축물에서 24명 이상의 피난자가 탑승가능한 19대의 피난용 엘리베이터를 운행 하는 피난계획을 수립할 때 엘리베이터를 이용 하지 않고 보행으로만 피난하는 계획을 수립하는 것보다 최소 30% 이상의 피난소요시간 단축 효과를 얻는 것으로 결론지을 수 있다.

피난용 엘리베이터가 구비되어 있는 고층빌딩 에서 이러한 단축효과를 지속적으로 얻기 위해 서는 다음의 요구 성능⁽⁷⁾이 포함되어 피난계획이 수립되어야 하며, 수립된 피난계획은 절차대로 실행되어야 가능하다.

첫째, 엘리베이터를 이용한 피난경로를 이루는 각 부분

은 피난이 이루어지는 동안 연기, 화염, 복사열, 붕괴 등의 화재 또는 재난에 기인하는 위험으로부터 피난자를 보호할 수 있는 성능을 갖추어야 한다.

둘째, 피난용 엘리베이터를 이용하는 피난경로 는 이용대상자가 상주하는 위치에서 최종피난 장소까지 연속되어 이어져야 하고, 동시에 인식이 용이하도록 구성되어야 한다.

셋째, 화재 등의 비상시 피난계획은 재난유형 별로 이용대상자수의 한정, 이용 우선순위, 엘리베이터의 운행관리 지침에 따라 수립되어 운행 되어야 한다.

References

1. “Special Act on Disaster Management of High-rise Buildings and Underground Buildings”, National Fire Agency (2013).
2. “Regulations on standards for evacuation and fire protection of buildings”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009).
3. S. H. Gu and Y. J. Song, “Study Improvement of the Evacuation Performance in a Double-Skin Structur”, Fire Science & Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 98-107 (2017).
4. Harold E. “Bud” Nelson and Frederick W. Mower, “SFPE Handbook 3rd Edition Chapter 3-14: Emergency Movement” (2002).
5. H. W. Nam, S. Y. Kwak and C. M. Jun, “A Study on Comparison of Improved Floor Field Model and Other Evacuation Models”, The Korea Society for Simulation, Vol. 25, No. 3, pp. 41-51 (2016).
6. H. J. Park, U. Heo and I. S. Yoo, “The Report of Disaster Response Manual for Lotte World Tower”, Gachon University (2017).
7. Architectural Institute of Japan, “Guideline on Evacuation Planning for Using Elevators During a Fire”, Architectural Institute of Japan, pp. 4-6 (2009).