

[Research Paper]

## 피난실험을 통한 피난시간 지연요인 분석과 개선방안에 관한 연구

한운희

서울시립대학교 일반대학원 재난과학과

### Study on Stagnation Factors Analysis and Improvement Methods through an Evacuation Experiment

Woon-Hee Han

Dept. of Disaster Science Division, Graduate School, The University of SEOUL

(Received January 23, 2018; Revised March 15, 2018; Accepted March 28, 2018)

#### 요 약

초고층건축물에서 재난 및 화재발생 시 가장 절실히 요구되는 것은 재실자가 안전하게 피난할 수 있는 체계를 구축하는 것이라 하겠다. 이는 물리적으로 피난 동선이 길어졌고, 동시에 상대적으로 많아진 재실자로 인해 피난자들이 느끼는 심리적 불안감을 해소시켜 피난에 대한 자신감을 심어줄 수 있는 구체적 방안이 필요하기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 과제를 해결하기 위해서 3회에 걸쳐 대규모 인원이 참여한 피난실험을 하였으며, 실험 중 나타난 현상과 문제점을 파악하고, 피난시간에 지연을 초래할 수 있는 요인을 발굴하고 이의 개선 방안을 제안하였다. 이 논문의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 최근 발생한 초고층주상복합건축물 화재에서 방재시스템 운영미숙으로 많은 인명피해가 발생하였다. 이와 같은 사태를 사전에 예방하기 위하여 피난실험을 실시하여 적응력을 확보하였다. 둘째, 피난시물레이션 통계와 피난실험에서 수집된 Data 수치를 비교 분석 검증하였다. 셋째, 피난실험 과정에서 실험에 참여가 불가능한 다수의 인원들이 있었으며, 이러한 참여 불가사유를 분석하고, 그 내용이 실제 피난시간에 어떠한 영향을 미치는지를 검증하였다. 넷째, 피난시간 지연 초래 요인에 대한 최적의 대응 방안을 수립하기 위하여 피난장비를 구입하고, 실험 전후 비교분석을 통하여 피난시간 지연을 최소화하기 위한 개선점을 도출, 피난자의 안전을 확보하는데 필요한 기준을 구체화하였다. 마지막으로 이 연구결과를 초고층건축물 소방안전관리에 활용될 수 있도록 하여 피난의 효율성을 확보할 수 있도록 하였다.

#### ABSTRACT

The most urgent requirement in the event of disaster and fire in a skyscraper is to establish a system that enables people inside to evacuate safely. Hence, a practical direction needs to give evacuees confidence in the evacuation by reducing the psychological anxiety caused by the relatively large number of people inside and at the same time, the physically prolonged evacuation travel line. Evacuation tests with large numbers of people were conducted three times to solve these challenges and identify phenomena and issues that occurred during the experiment. The results revealed the factors that could cause a delay in evacuation and suggested improvements. The study results of this paper are as follows. First, a recent fire at a multipurpose high-rise resulted in a number of casualties due to a lack of experience with the disaster prevention system. To prevent such cases from occurring in advance, adaptability was achieved by conducting evacuation tests. Second, the data collected in the evacuation simulation statistics and the actual escape drills were compared and analyzed. Third, in the evacuation experiment, a large number of people could not participate in the experiment. The reasons for not participating were analyzed and their impact on the actual evacuation time was confirmed. Fourth, equipment aids were purchased to establish the optimal response measure to the causes of a delay in escape time and the standards for ensuring the safety of the evacuee were specified by developing improvements to minimize the evacuation delay time through comparative before and after analysis of the experiment. These results can be used for fire safety control of skyscrapers to improve the efficiency of evacuation.

**Keywords:** Evacuation simulation, Evacuation safety area, CB smoke breathing line, Simultaneous evacuation, Priority evacuation

### 1. 서론

제천의 스포츠센터, 동탄의 메타폴리스, 고양시 고속터미널 화재 등에서 피난이 제대로 이루어지지 않아 많은 인명 및 재산피해가 발생하였다. 이로 인하여 범국가적으로 안전에 대한 재검토가 이루어지고 있는 실정이며, “63빌딩”과 같은 초고층건축물의 경우 원활하게 피난이 가능하려면 실제로 중요한 것이 무엇인지를 정확하게 파악하고 대응하는 것이 필요하다.

본 연구의 주요 내용은 건축물 내의 재실자 전체를 피난시킨다면 어떤 준비가 필요하고, 어떻게 임무를 수행하여야 하며, 미흡한 사항은 무엇인지를 정확히 파악하고, 이에 대한 개선사항 및 대응책을 제시하고자 “63빌딩”을 대상으로 피난실험을 계획하고, 이번 연구를 수행 하였다.

첫째, 피난실험을 통하여 건축물관계자들의 재해 대응능력을 재실자들과 함께 확인함으로써 물적·인적 대응체계의 신뢰성을 확보 하였으며, 그 실험의 데이터를 피난시뮬레이션 프로그램에 입력하여 실험의 적정성 여부를 검증 하였다.

둘째, 초고층건축물 내에는 수천 명의 재실자가 있다. 사무실 층의 업무수행, 전문식당가의 고객, 관람장의 관람객 등 수많은 재실자들을 단순히 사고가 발생하였다 하여 정확한 판단 과정 없이 전판 대피를 수행 한다면, 추후에 과잉 대응으로 밝혀질 경우 영업장 등에서 손해배상 청구를 할 수도 있다. 이것은 건축물관계자의 부담으로 작용하여 피난을 결정하는데 시간지연의 요소로 작용할 수 있으므로 이를 개선하였다.

셋째, 피난실험에 불참한 자들을 대상으로 그 사유를 받춰하고, 실제 피난에 반영하였을 경우 피난에 어떠한 영향을 미칠지를 실제실험을 통하여 각각의 상황별로 측정하고, 이에 대한 Data를 확보 하였다.

넷째, 실험을 통하여 측정된 Data를 바탕으로 피난시간에 지연을 초래하는 요인들을 사안별로 분석하고, 개선시킬 수 있는 방안을 마련하여 적정한 장비를 채택하고, 이의 측정실험을 수행하여 이들의 효용성 여부를 검증 하였다.

따라서 피난실험을 통해서 건축물 관계자의 판단력을 제고하고, 피난시간지연 요소를 개선하였으며, 이의 효용성을 확대시켜 많은 건축물에서 적극 활용할 수 있도록 전파하여 재난으로부터 인명과 재산 피해를 최소화하는 것이 본 연구의 목적이다.

### 2. 초고층건축물에서의 피난실험

#### 2.1 피난실험의 개요

피난시간을 계산하는 것은 화재 시 인간의 행동에 관한 것으로서 예측해 내기가 쉽지 않다. 비상 상황에서 인간의 행동은 예측불허의 패닉과 같은 상황이 발생할 가능성이 크기 때문에 정확히 예측한다는 것은 불가능한 일이라 할 수 있다. 하지만 피난시간의 예측문제를 불가능의 영역으로 치부해서는 인명안전이라는 목적을 달성할 수 없을 것이다<sup>(1)</sup>. 따라서 초고층건축물인 “63빌딩”에서는 화재 등 재난이 발생하는 것을 가상으로 설정하여 피난시간을 예측하기 위해 2014년 5월 제1차 피난실험, 같은 8월 제2차 피난

Table 1. “63 Building” Architecture Overview

Sortation	Details	Note
Floor	60F/B3	
Gross Floor	167,630 m <sup>2</sup>	
Number of Workers	3,000 persons (Over Ground Floors) 1,000 persons (Under Ground Floors)	Total 4,000 Persons
Daily Visitors	About 10,000 People	
41F~60F	Offices, Attractions, F&B Retail Shops	
21F~39F	Offices, Facility Rooms (21F, 22F, 38F, 39F)	
1F~20F	Offices	
B1F	Duty Free, Aquarium	
B2F~3F	Parking Lots, Facility Room	
Annex	Banquet Hall, Annex	
Numbers of Tread (1F~60F)	1,251	
Stair Landing	60 landings	
Vertical Distance (1F~60F)	233.25 m	
Total Length of Sairs	792 m	Including Incline and Stair Landing
Average Distance between Office and Stairs	46 m	From Inside of to Stairs
Walking Distance from Top Floor to the Ground	838 m	

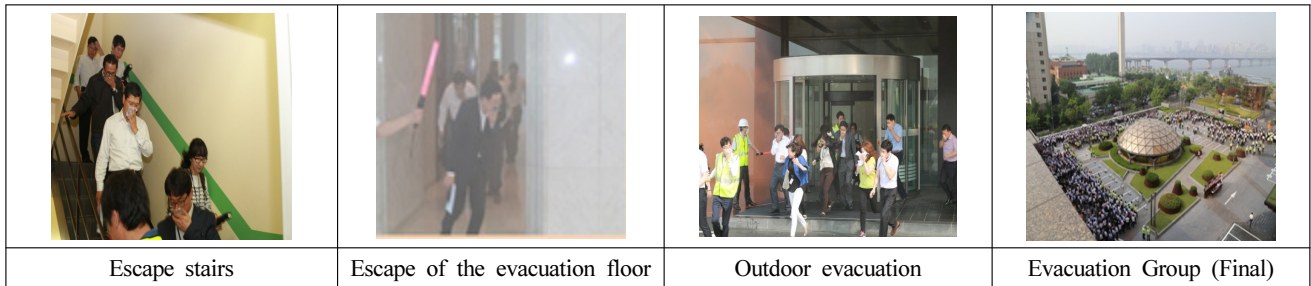


Figure 1. 1st Evacuation experiment.

실험, 다음해인 2015년 5월에는 제3차 피난실험을 실시하였다. “63빌딩” 건축물 개요는 Table 1과 같다.

## 2.2 피난실험 결과분석

### 2.2.1 제1차 피난실험

초고층건축물 내에서 재난발생 시 건축물 내 전체 재실자들이 피난유도원의 지시를 어떻게 따라야 하는지와 다른 피난자와 합류해서 어떻게 질서를 유지해야 하는지 등을 직접 체험하면서 요구되는 피난요령을 체득할 수 있도록 하는 취지를 더하여 실험을 다음과 같이 진행 하였다.

2014년 5월 28일 16시에 “63빌딩” 30F 사무실에서 화재가 발생하는 것으로 가정하여, 전체 입주고객 1,925명이 피난계단을 이용하여 1층 옥외 서프라자로 피난하였다.

주요 실험 요소는 첫째, 피난실험 참여 인원 수 확인, 둘째, 피난 소요시간 측정, 셋째, 계단실 혼잡도측정을 주요 실험 포인트로 설정하였으며, 각 포스트 별로 측정인원을 배치하였다.

실험 시작과 동시에 인명대피 안내방송은 상황 설정된 30F 사무실을 중심으로 30F~34F에 비상경보(지구경종·비상방송)를 우선 발령하여 계단실내 체류상황을 최소화하였으며, 2분 후 전관에 인명대피방송을 송출하여 피난실험을 실시한 결과 60F에서 출발한 피난자가 최종 피난처에 도착하는 데는 25분이 소요되었다.

피난계단실 내로 각 층의 피난자들이 일시에 들어왔을 때, 피난인원의 일시적 체류가 예상되어 38F 피난안전구역에 피난 유도원을 배치하여 현상을 파악하려 하였으나, 실제로 정체될 정도의 체류현상이 발생되지 않아 피난안전구역 대기상황은 없었다. 또한, 피난 도중에 발생이 예상되었던 넘어짐 등의 사고도 발생하지 않았다. 이는 실제상황이 아닌 실험상황에 대한 피난인원의 심리적 안정감과 각 층에 배치된 피난유도원의 적절한 피난유도가 큰 영향을 미쳤을 것으로 보인다.

각 층에 있는 장애인 및 임산부에 대해서는 사전 파악하여 실험 시 비상용 승강기로 이송조치 하였다. 그러나 실제 피난 시에는 피난 취약 자에 의해 피난계단 내 체류현상이 발생할 가능성이 충분이 있다고 판단된다. 그러므로 피난

약자에 대한 피난계단 이외의 피난방안도 모색하여 이를 활용할 수 있도록 하는 시나리오를 만들어 실행 하도록 하여야 하겠다. Figure 1은 1차 피난실험 진행 과정 모습이다.

### 2.2.2 제2차 피난실험

제2차 피난실험은 2014년 5월 28일 16시에 국가적으로 시행되는 “을지연습”에 맞추어 실험계획을 수립하였다. 실험참여 인원은 제1차 시 보다 다소 감소한 1,506명이 참여하였다.

실험 참여인원이 감소한 주요 요인으로는 계절(8월 휴가철) 및 시간대가 오후 외근이 많은 시간대에 실험이 시작되어 재실인원이 상대적으로 적었던 것으로 파악되었다. 그러나 재실인원 대비 참여율 86%의 많은 인원이 이번 실험에도 동참하였다.

1차 실험에서는 우선 인명대피 안내방송 송출과 달리 2차 실험에서는 전관 동시 비상경보 및 인명대피 안내방송을 송출하여 60개 층 전체에서 동시에 피난을 개시하여 피난계단내의 체류현상이 발생하는지, 피난 소요시간의 변화가 발생하는지 등을 측정하는 데 중점을 두었다.

측정된 피난 소요시간 Data를 분석한 결과는 다음과 같다.

제1차 실험 때 보다는 약 500여명이 적은 피난인원이 비슷한 시간대인 24분의 피난시간이 경과 후에 피난을 완료하였다는 것은 실험 인원의 50%이상을 차지하는 중층부 피난자들이 피난계단에서 약간의 지체현상이 발생되었지만 피난 소요시간에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 파악되었다. 이는 결과적으로 60F 최상층에서 피난하는 데는 물리적으로 25분 정도의 시간이 소요된다는 것이다.

다른 각도에서 비디오 촬영 및 사진 등의 자료를 참조하여 판정한 제1차 실험과의 차이점은 피난자들이 추월해서 피난하려는 행동이 제2차 실험에서는 훨씬 줄어들었으며, 질서 있고 차분하게 피난의 흐름에 따라 안전하게 피난하려는 현상이 나타났다. 또한, 각각의 피난에 걸리는 소요시간을 측정한 Data와 비교할 수 있었다.

### 2.2.3 제3차 피난실험

제3차 실험은 “대테러 훈련”에 맞추어 실험계획을 수립

**Table 2.** Time Period Depending on Experiment Results

Sortation	Low Layer Evacuation Completion Time	Middle Layer Evacuation Completion Time	High-layer Evacuation Completion Time	Total Number of Personnel
1st Experiment	9 min (413 persons)	15 min (1,055 persons)	25 min (457 persons)	1,925 persons
2nd Experiment	7 min (366 persons)	17 min (799 persons)	24 min (365 persons)	1,506 persons
3rd Experiment	9 min (403 persons)	18 min (915 persons)	26 min (132 persons)	1450 persons

하였다. 제1차 및 제2차 실험에서와 같이 특별피난계단(2개소)을 이용하였으며, 실험참여 인원은 총 1,543명이 참여하였다. 운영요원을 제외한 실질적인 피난인원 1,450명이 안전한 옥외 피난처로 피난하였다.

이번 실험에서 측정된 소요시간은 26분으로 1,2차 피난 시간과 비교해보면 24~26분 범위 내에서 피난이 완료됨을 알 수 있었다.

이번을 포함하여 총 3차례의 실험을 통한 피난 시 행동요령 체득은 입주고객들의 피난에 대한 자신감을 심어줄 수 있어 긍정적인 평가를 받을 수 있었다. 또한, 입주 고객 상호 협조체계가 잘 이루어지고 있다는 것을 보여주는 시각적인 효과도 있었다.

### 2.3 피난 실험 비교 분석

3회의 실험 결과 피난하는 데 소요된 시간은 Table 2와 같은 결과 값이 도출되었다.

Table 2에 따르면 전체 피난자의 피난완료 시간은 큰 차이가 없었다. 다만, 1~2분의 차이가 발생된 것은 60F에서 1F 까지 내려오는 과정에서 신체적 특징 및 컨디션의 차이로 인해 시차가 발생된 것으로 판단된다.

실험에 대해 결론적으로 설명한다면, 횡수가 거듭될수록 입주사 고객들의 피난에 대한 막연한 심리적 불안감은 해소되었으며, 이기적으로 본인만 편하게 먼저 피난하려고 승강기를 타려는 개인적 행동 등도 많이 감소하였다.

## 3. 피난 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션의 개요

컴퓨터를 이용한 피난시뮬레이션은 거주자의 피난 형태(Human Behaviour)에 관한 연구와 실험을 통하여 개인별, 물리적, 심리적, 사회적 반응 등 화재 시 실제 상황을 반영할 수 있는 모델이 개발되고, 컴퓨터 성능의 급속한 발전에 따라 대규모 인원을 대상으로 다양한 피난조건을 가정한 시뮬레이션이 가능하게 되었다<sup>(2)</sup>. “63빌딩” 내에서 발생할 수 있는 화재에 대비하여 제1차 피난실험 Data 자료를 바탕으로 피난 시뮬레이션을 통한 요구피난시간을 예측하여 실제 피난시간과의 비교 검토를 통하여 피난안전성을 검증하고자 하였다.

**Table 3.** Fire Setting Scenarios in Evacuation Simulation

Fire Layer	Type
30th Floor	Normal Fire Simulated onto Building use and User

### 3.1.1 분석범위

#### (1) 시나리오 선정

소방청고시 제 2017-1호 「소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준」 별표 1. 화재 및 피난시뮬레이션 시나리오 작성 기준에 의해 시나리오를 작성하여 분석하였다. Table 3는 피난시뮬레이션 화재설정 시나리오이다.

### 3.1.2 피난시뮬레이션

#### (1) 개요

피난시뮬레이션은 화재 시 건축물 내의 사람들이 대피하는데 소요되는 시간을 예측하고, 특정 시설의 개선 또는 피난절차의 개선이 피난 활동의 지연을 얼마나 감소시킬 수 있는지를 평가하여 최적의 피난시설과 피난절차를 유도할 수 있도록 한다. 이처럼, 피난시뮬레이션은 설계기준의 변경과 피난 시 혼잡한 지역이 될 수 있는 곳을 파악하는 등 성능위주설계 분석 시에 흔히 사용되며, 본 연구에서는 PATHFINDER를 사용하였다. 이 소프트웨어는 미국 Thunderhead Engineering사에서 개발되었으며, Steering Behavior를 모델로 재실자 이동에 이용하는 에이전트 기반의 피난시뮬레이터이다. 이는 세 개의 모듈을 포함한다(시각적 사용자 인터페이스, 시뮬레이터, 3D 결과 뷰어).

### 3.1.3 시뮬레이션에 적용한 가정

#### (1) 연기배출설비

화재 발생 시 해석 공간 전체로 퍼지는 연기는 연기배출설비(제연설비, 배연창 등)가 작동되지 않고 층 전체로 확산되는 것으로 가정한다.

#### (2) 방화구획 미 설정

화재 발생 시 화재실의 방화구획(방화셔터, 방화문)이 작동하였을 때 재실자들은 화재 실을 벗어나면 연기에 의한 피해를 받지 않기 때문에 1차적인 안전성이 보장되지만, 본 해석에서는 재실자들이 화재 실을 벗어나서 직통계단까지 피난하는 동안에도 연기에 의한 피해를 받는 것으로 가정한다.

**Table 4.** Evacuation Time Calculation Formula

$E_t = D_t + N_t + P_t + S_t$ <p>Here,</p> <p><math>E_t</math> : Total Evacuation Time  <math>D_t</math> : Time for Detection  <math>N_t</math> : Time for Notification  <math>P_t</math> : Pre-movement Delay Time  <math>S_t</math> : Model Simulation Time</p>
---

(3) 신체 치수

피난시뮬레이션에 적용한 수용인원의 신체 치수는 국가통계청에서 제공하는 국내 신체치수를 조사하여 적용시킴으로써 보다 신뢰성 있는 시뮬레이션 Input Data를 선정하였다.

(4) 피난속도

피난시뮬레이션에 적용한 수용인원의 피난속도는 일본의 연구논문인 「Classification of Behavioral Ability for Evacuation」을 참고하여 0.8~1.2 m/s의 속도로 피난하도록 설정하였다.

(5) 피난시간 산정

화재 등의 비상상황에서 즉각적인 피난이 가능하지 않

을 수도 있으므로 피난을 개시하기 이전의 시간에 대한 고려가 필요하다. 화재 시 Required Safe Egress Time (RSET, 안전하게 피난하기 위해 필요한 시간)를 구하는 식은 Table 4와 같으며, 본 논문에서는 피난실험과 피난시뮬레이션을 비교함으로써  $S_t$ 만을 적용하는 것으로 한다.

**3.2 시뮬레이션 결과**

**3.2.1 피난 시뮬레이션 시나리오**

피난시뮬레이션 시나리오는 Table 5와 같이 설정하였다. 그 중에서 수용인원은 1차 피난실험에 참여한 인원을 기준으로 하였다.

**3.2.2 전층 피난시뮬레이션을 통한 수직피난시간 분석**

초고층건출물은 「고층건축물의 화재안전기준(NFSC 604)」 제7조(비상방송설비)에 따라 2F 이상의 층에서 발화한 때에는 발화층 및 그 직상 4개 층에 경보하는 방식이 적용된다. 그러나 9.11테러 이후에 폭탄테러 등의 사고와 같이 전체 피난이 필요한 상황이 발생할 수 있어, 전체 피난시간에 대한 분석도 피난안정성 측면에서 중요하다. 인원은 제1차 피난실험에 참여한 1,925명을 선정하여 수행하였다. Table 6는 피난실험 참여인원 현황이다.

**Table 5.** Evacuation Simulation Scenarios

Sortation	Simulation			
Scenario	Fire on the 30th Floor Spreads Smoke and the People Escape to Stairways and Exterior Gates.			
Capacity	Capacity was Based on the Number of People who were Trained to Evacuate the 63 Building.			
	Place	Use		Capacity (Persons)
	Office	Office		85
Type of People	Place	1.2 m/s	1.0 m/s	0.8 m/s
	Office	100 %	0 %	0 %
Evacuation Completion Point	Entrance to the Underpass on the 30th Floor			

**Table 6.** Personnel Participating in Evacuation Experiment

Floor	Number (Personnel)	Floor	Number (Personnel)	Floor	Number (Personnel)	Floor	Number (Personnel)	Floor	Number (Personnel)
2	80	14	70	31	11	42	6	53	10
5	11	16	4	32	60	43	81	54	3
7	140	23	81	33	70	46	19	55	11
8	32	24	102	34	91	47	72	56	71
9	21	25	87	35	85	48	12	57	13
10	12	26	43	36	82	49	28	58	13
11	12	28	100	37	83	50	39	59	10
12	16	29	75	40	4	51	27	60	6
13	15	30	85	41	12	52	20		
Total									1925

### 3.2.3 피난 시뮬레이션 결과

#### (1) 동시피난

전층 피난은 Steering 기준으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 최종 피난자가 피난 층(지상1F) 출구를 빠져나가는 시간은 18분 18초로 나타났다.

#### (2) 우선피난

전층 피난은 Steering 기준으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 최종 피난자가 피난 층(지상1F) 출구를 빠져나가는 시간은 19분 59.5초로 나타났다.

### 3.3 피난 시뮬레이션 분석 결과

“63빌딩”의 수직피난은 2개소의 피난계단으로 다수의 사람들이 동시에 피난할 경우 정체현상이 발생할 수 있다. 따라서 화재 발생 시 초기진압 및 방화구획이 미흡할 경우 연소가 확대되어 인명 및 재산의 피해가 클 것으로 예상되므로 철저한 피난 계획이 필요하다.

스프링클러와 배연설비가 작동하지 않은 상태에서 피난 안전성이 확인되었으므로 소방시설을 고려하면 안전성이 충분히 확보된 것으로 판단된다.

우선경보방식에 의해, 발화층 및 직상4개 층인 30F~34F에 있어서 우선 경보하여, 98초에 모두 계단실에 들어갔다. 그 후 나머지 층에 경보하여 피난을 시켜보았다. 결과적으로, 전체동시피난과 우선경보방식에 의한 우선피난에 있어서 전체동시피난이 1분 41.5초 정도 빠르다.

## 4. 피난시간 지연요인 분석 및 대처방안

피난시간은 건축물의 재실자가 화재를 인지한 시점부터 재난이 발생한 건축물이 안전성을 잃기 전에 밖으로 대피할 때까지의 시간이다. 건축물의 피난시간을 결정하는 인자들은 먼저 건축적 요소 및 거주자의 특성으로 분류된다. 건축적 요인은 계단의 경사 및 크기 등이 있고, 거주자의 특성은 나이, 성별, 장애여부 및 밀도 등이 있다<sup>(3)</sup>. 여기에서는 피난시간에 지연을 초래하는 사항 중심으로 연구 분석하였다. 3차례에 걸쳐 피난실험을 하는 과정에서 가장먼저 표출된 사례는 보고 및 지휘체계의 복잡화로 대응 수준 판단 및 결정 지연에 따른 피난지연이 있었으며, 두 번째로 피난실험 사전단계로 계단에 연기를 투입하고 상황을 조사했을 때 피난시간지연 및 연기흡입의 위험성이 확인되었으며, 세 번째로 재실자 중 피난실험 미 참여 사유 중 다수가 장애자로 조사되어 이에 대한 분석 및 대처방안 수립이 필요했다.

### 4.1 건축물 관계자간 지휘 체계

#### 4.1.1 지휘체계의 문제점

건축물 내에서 피난실험을 계획하고 지휘체계의 절차에

따라 전관대피 실험을 실행하고자 하였다. 하지만 재난상황 접수 후 단계별 보고와 대응단계 결정 과정을 거친 다음 피난이 이루어지기까지 상당한 시간이 소요되는 것이 확인되었다.

단계를 살펴보면, 방재실 상황접수 후 팀장에게 보고, 팀장은 본부장, 본부장은 사장에게 보고하며, 다시 역순으로 대응 지휘체계가 구성되어 있어 최소 5분정도의 시간지연이 발생됨을 알 수 있었다. 따라서 이러한 보고 및 지휘 체계의 단순화가 필요했다.

#### 4.1.2 지휘체계 개선방안

문제점으로 나타난 보고 및 대응 체계의 단순화와 권한 위임 개선이 필요한 사항이었다. 따라서 보고 3단계, 대응 지시 3단계를 획기적으로 줄여서 보고 체계를 상황접수 후 SNS를 활용하여 팀장, 본부장 동시 보고 되도록 하였으며, 팀장, 본부장 우선순위 없이 선 조치 후 최고 결정권자에게 사후 보고하는 체제로 권한위임을 개선하여 1분 이내로 조치가 가능하게 되어 시간을 단축할 수 있었다.

## 4.2 피난계단에 연기 유입

### 4.2.1 연기유입의 위험성


화재가 발생되면 화재층에서는 다량의 연기가 발생되고, 화염과 연기를 피해서 피난자들이 복도와 계단전실을 통해서 피난계단으로 이어지는 피난동선을 따라 피난이 실행된다. 이때 각각의 출입문은 피난 자들에 의해서 지속적으로 열리고 닫힘을 반복하게 된다. “63빌딩”의 경우 한 층이 전원 대피하는데 85명 기준 97초간 지속적으로 피난 출입문이 열려있거나 개폐를 반복하였다. 이때 화재로 인해서 생성된 연기가 피난자를 따라서 피난계단에 유입되어 피난시간에 영향을 미치는 장애 요소로 작용하게 된다. 물론 계단 제연설비 작동으로 피난전실이 복도보다 높은 차압이 형성되어서 연기가 유입되지 않아야 하겠지만, 전층의 피난자가 동시에 출입문을 이용하여 피난을 수행할 경우 계단전실에 양압이 형성되기는 쉽지 않을 것이다. 따라서 피난자를 따라서 피난계단내로 유입된 연기는 피난을 수행하는데 큰 위험요소가 될 것이므로 판단된다.

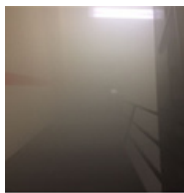

피난자가 있는 위치에서 연기가 피난계단 아래부터 유입되어 올라온다면 아래와 위 어느 쪽으로든 피난하기가 곤란해진다. 왜냐하면 아래쪽은 올라오는 연기로 인해 피난이 곤란하고, 위로는 올라간 연기가 계단의 맨 꼭대기에서부터 아래쪽으로 차오를 것이기 때문이다. Table 7은 “63빌딩” 피난계단에 연기를 투입하고, 연기가 피난소요시간에 영향을 미치는 실험 결과이다.

### 4.2.2 연기유입 대처방안(연감지기 연동제어기 설치)

기존의 피난계단 내 설치된 연기감지기와 연동되는 연동 제어기를 옥상 출입문에 설치해서 화재 시 도어를 OPEN시

**Table 7.** Speed of Walking When Smoke from Escape Stairs Enters (10layers)

Sensitivity Coefficient		Visibility	Duration	Condition
0	Normal		3 min	-
0.3	View Distance 5 m		4 min 30 s	Unclear Visibility Speed Lagged
10	View Distance 0.5 m		5 min 20 s	Difficult to See the Stairs

Sortation	Progress	Visibility	Note
Maintenance of the Current Condition	After 10 Minutes, the Smoke Concentration Remained Close to the Beginning		Smoke Insertion (Sensitometer 0.1) Into the Evacuation Stairs on the 50th Floor with a Smoke Screen
Open on Escape Stairs on Roof Top	Smoke was Released Naturally After 1 Minute 20 Seconds and Changed to the Level of the Sensitometer 0		

**Figure 2.** Opening of roof door and smoke change in the evacuation stairways.

키는 것이다. 이렇게 하면 계단내로 유입되는 연기가 체류하지 않고 즉시 옥외로 배출된다. 따라서 피난계단 내 연기로 인한 피난시간 지연문제는 상당부분 해소됨을 실험결과로 알 수 있었다. Figure 2는 최상층 출입문 개방 상태 시와 닫힘 상태 시 유입된 연기의 상태 변화를 실험한 결과이다.

**4.3 피난계단 조명 소등요인과 대처방안**

초고층 건축물은 피난 동선이 일반건축물보다 상대적으로 길어 피난에 장시간이 소요되고 인명피해가 발생할 여지가 많다. 또한 건축물 구조상 피난계단은 자연채광이 되지 않아 화재로 인한 정전 시, 요구조자는 심각한 심리적인 압박으로 돌출행동을 할 확률이 높아진다<sup>(4)</sup>. 피난계단의 조명이 소등된 상태에서 핸드폰 조명장치를 활용하여 피난실험을 한 결과 피난계단 내 조명소등은 피난시간 지연에 큰 영향을 초래하지는 않았다. 하지만 안전을 고려한 대처방안으로는 피난계단에 바닥형광타일 등을 부착하여 원활한 피난이 이루어질 수 있도록 개선하는 것이 바람직하다 판단하였다.

**4.4 신체적 장애 요인 분석 및 대처방안**

**4.4.1 지연요인별 실험 측정 및 결과 분석**

각 요인별로 최고위층에서 피난계단을 통해서 지상 피난층을 벗어나 피난 안전장소까지 피난하는 것을 2회 실험 측정하였다. Table 8은 요소별 측정 참여인원 및 횟수이다.

Table 9은 각 요소별로 실험을 실시하여 그 소요시간을 측정한 결과이다.

**4.4.2 피난지연 요소별 현상**

**(1) 휠체어 장애인 피난**

최근에는 각 기업별로 일정비율의 장애인 채용이 의무화되어 있으며, 또한, “63빌딩”과 같은 초고층건축물에는 예외 없이 최상층부에 상업용 관람시설이 설치되어 있다고 보아도 무방하다. 그러므로 휠체어 장애인이 건축물 최상부의 관람장에 있다는 것은 거의 일상화되어 있다고 생각되어진다. 따라서 이 문제를 해결하여야 할 특별한 대책을 갖추지 않는다면 이들의 피난을 확보하기 어려울 것이다.

**Table 8.** Measurement by the Element Influencing Evacuation

Measurement Experiment Contents	Number (person)	Number of Times
Inflow of Smoke in Escape Stairs	30	3 times (1/by Sensitivity Coefficient)
Rescue Unit Encountering Refugee on the Stairway	36	2 times
Stretcher Shelter	10	2 times
Blind Support Evacuation	4	2 times
Deaf Support Evacuation	4	2 times
Pregnant Woman Support	4	2 times
the Elderly Support Evacuation	4	2 times
Emergency Splint Evacuation	4	2 times
Evacuation from Lights-out of Emergency Stairways (Mobile Phone Lighting)	20	2 times
Evacuation of Emergency Stairs Total Lights-out	20	2 times

**Table 9.** Duration of Factors on Evacuation (Case was Specified)

Sortation	Factors	60F~Stairs	60F~40F	60F~20F	60F~1F	60F~Ground
A Disabled Person Evacuation	Wheelchair (stretcher)	22 s	10 min 50 s	23 min 50 s	39 min 16 s	40 min 20 s
	Blind	31 s	9 min 32 s	20 min 24 s	31 min 27 s	32 min 35 s
	Deaf	26 s	4 min 51 s	10 min 9 s	14 min 52 s	15 min 39 s
Senior	Pregnant	53 s	8 min	16 min 50 s	26 min 44 s	28 min 5 s
	The Senior and Disabled (Carry)	39 s	9 min 17 s	23 min 49 s	43 min 3 s	44 min 16 s
Injury	Not Walkable (Splint)	1 min 23 s	16 min 35 s	35 min 54 s	53 min 59 s	55 min 34 s
Emergency Stairs Lights-out	Mobile Light		4 min 8 s	9 min 30 s	17 min 2 s	17 min 49 s
	Lights-out (10 persons)		5 min 48 s	12 min 50 s	20 min 22 s	21 min 9 s
Inflow of Smoke in Escape Stairs	Sensitometer 0 (10 persons)	10F~1F Zoning Evacuation Experiment				3 min
	Sensitometer 0.3 (10 persons)	10F~1F Zoning Evacuation Experiment				4 min 30 s
	Sensitometer 10 (10 persons)	10F~1F Zoning Evacuation Experiment				5 min 20 s

## (2) 시·청각장애인 피난

시·청각장애인은 걷는 데는 문제가 없다. 누군가 부축만 하여 준다면 충분히 자력으로 피난계단을 이용해서 피난이 가능하다. 물론 이런 부분도 사전에 고려한 충분한 교육이 시행되어야 할 것이다.

## (3) 노약자 피난

노약자에는 노인, 어린이, 임신부 등이 있다. 여기에서는








오피스 내에 상시 존재하는 임신부 및 노약자에 대한 피난 대책을 수립하고자 하였다. 노약자 및 임신부는 평상시 짧은 거리 이동은 일반인들과 별 차이가 없지만, 초고층부에서 피난할 때 이를 간과한다면 피난계단 정체 요인이 될 것이다.

## (4) 보행불가 부상자

초고층건축물 내에는 재실자가 수천 명이 있다. 그 중에



**Table 10.** Evacuation Aid Equipment Usage

Sortation	Usage		Note
A One-touch Stretcher		One Woman May Raise an Adult. Belt is Joint Operated for 5-10 Seconds	Placed in an Evacuation Area
Escape Mat		A Mattress that can be used to Transport the Injured to the Stairs When Evacuated for One or Two Persons	Placed in an Evacuation Area
Salvage Lift		Equipment that can Transfer a Relief Person to Various Applications in the Event of a Fracture, such as Spinal Cord Injury	Placed in an Evacuation Area
Knee Pads		An aid Device to Increase the Knee Strength of Rescue Workers and People who can not use Stairs when Escaping from Elderly or Pregnant Women	Placed in Disaster Prevention Room
Stair Stretcher		Equipment used to Transport Quickly using Stairs in the Event of an Emergency Patient being Fitted with a Stretcher	Placed in an Evacuation Area
Lifesaving Bag		Equipment that Enables the Structure to be Conveniently Carried and Carry the Structure with a Backpack	Placed in Disaster Prevention Room
A Lifesaving Belt		Equipment used to Move the Patient on and Off, Length Adjustable and Backpack Type	Placed in Disaster Prevention Room

**Table 11.** Time Measurement of Evacuation by Evacuation Aid

Foor Zone	Factors	60F~Stairs	60F~40F	60F~20F	60F~1F	60F~Ground
Disable/ Senior&child/ Injured	Lifesaving Bag	38 s	8 min 17 s	17 min 29 s	30 min 40 s	32 min 16 s
	Stair Stretcher	39 s	12 min 17 s	24 min 29 s	39 min 13 s	40 min 05 s
	Stretcher	22 s	8 min 35 s	18 min 55 s	32 min 40 s	34 min 20 s

는 김스를 하고 목발에 의지하여 업무공간을 이동하는 재 실자를 자주 보게 된다. 비상상황이 발생했을 때 이들이 김스를 한 상태에서 피난계단으로 피난을 하는 것은 거의 불가능하다고 판단된다.

**4.4.3 피난보조로 활용 가능한 장비 사례**

피난 불편자를 위한 피난보조 장비로 피난 지연시간을 단축하고자 하였다. 여러 장비들이 각각의 상황에 적합하게 적용될 수 있도록 하는 것이 관건이라 하겠다. 이러한 장비를 활용했을 때 어느 정도 시간 단축 효과가 있는지 실험 Data를 측정해서 실제상황에서 활용할 수 있도록 하는 것이 필요하다고 하겠다. Table 10은 거동 불편자를 피난시키는데 활용할 수 있는 장비사례이다.

**4.4.4 피난보조 장비 실험을 통한 대처방안**

이미 실험 결과에서 알 수 있듯이 자력 피난이 곤란한

피난자들을 건축물 내 구조원들이 별다른 장비 없이 구조하는 데는 많은 시간과 구조원들의 체력소모가 매우 심각한 상태였다. 따라서 이를 조금이나마 해결하기 위해 피난에 유용하게 적용할 수 있다고 판단되는 장비를 활용해서 시간단축 가능 여부를 실험해 보았다. Table 11는 피난보조 장비를 활용한 피난 소요시간 측정 결과이다.

**5. 결 론**

초고층건축물인 “63빌딩”을 “테스트 베드”화하여 피난 안전을 확보하기 위해서 피난실험을 3차례 실시하였다. 60F에서 1F 옥외 서프라자 집결지 까지 도착하는 데 24분에서 26분이 소요되었으며, 컴퓨터 피난시뮬레이션에서는 20분이 소요되는 것으로 나타났다. 피난실험은 긴장감이 없는 조건에서 실시되었고, 피난시뮬레이션은 실제 실험상황을 적용한 결과 4~6분의 차이로 해석되었다. 또한, 피난

시간의 지연을 초래하는 요인들에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 피난실험은 상황발생 즉시 대응수준을 판단하고 결정할 수 있는 역량을 배가시켰으며, 보고·지휘체계의 단순화 및 선 조치 후 보고의 기준을 정립시켜 약 5분 정도가 소요되던 대응시간을 즉시 대응하는 체제로 전환할 수 있었다.

둘째, 연기가 피난에 미치는 실태를 실험한 결과는 10개 층을 수직 하향 피난하는데 평상시에는 3분이 소요되었으나 감광계수 0.3(가시거리 5 m)일 경우 시계불량으로 소요시간이 4분 30초로 증가되었으며, 감광계수 10(가시거리 0.5 m)에서는 계단의 식별이 어려워 5분 20초가 소요되었다. 또한, 옥상 출입문 비 개방상태에서 연기 농도 유지 상태를 실험한 결과 연기를 투입 후 10분이 경과되어도 상태 변화가 거의 없었으나, 개방한 상태에서는 1분 20초가 경과하자 연기가 자연 배출되어 감광계수 0 상태를 나타냈다. 이 실험에서 시사하는 바와 같이 피난계단에 연기가 유입되면 자동으로 옥상 출입문이 개방될 수 있도록 연동제어기 설치를 제안한다.

셋째, 수직피난 시 피난계단 내에 정상 보행속도 보다 현저히 느린 보행 장애 피난자가 발생했을 때 피난 속도는 심각한 정체현상이 발생되었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 자력 피난 불가한자를 60F에서 1F 옥외 집결지까지 피난에 소요되는 시간을 측정하였다. 그 결과 부상자가 부목을 한 경우 55분 34초, 노약자를 업어서 피난시킨 경우 44분 16초, 일반용 들것 활용한 경우 40분 20초로 측정되었다. 피난보조 장비를 활용한 측정 시간은 인명구조용 배낭 활용 시 32분 16초, 계단이송용 들것 40분 5초, 구조용 들

것 34분 20초로 측정되었다. 이와 같은 결과로 인명구조장비를 활용한다면 최대 13분 정도 피난시간이 단축되어 장비의 효용성이 입증되었다. 따라서 피난보조 장비는 초고층건축물에서 필수적으로 방재실 및 피난안전구역 등에 비치하여 피난의 효율성을 더욱 높일 수 있도록 법제화가 요구된다.

본 논문에서의 연구결과를 바탕으로 향후 초고층건축물에서 피난에 대한 더 진보된 방안을 제시하고, 발전시킨다면 입주해 있는 고객들도 초고층의 장점을 최대한 누릴 수 있을 것이며, 건축물 관계자들도 재난관리분야의 발전에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

## References

1. S. M. Lee, "A Study on Method of Engineering Analysis about Architectural Elements for Evacuation Safety Assessment", Master's Thesis, University of Seoul, pp. 70-71 (2012).
2. B. H. Lee, "A Study Determinant Factor Analysis for Evacuation Time Prediction of Office Buildings", Master's Thesis, Pusan University, pp. 13-16 (2017).
3. J. H. Choi, "Development Performance Based Egress Design and Method through Analyzing Evacuation Characteristic of a High-rise Building", Master's Thesis, Kyungpook National University of Seoul, pp. 191-208 (2010).
4. T. Y. Choi, "A Study on the Fire Suppression & Evacuation of High-rise Buildings Considering the Characteristics of Fire Risk", Master's Thesis, University of Seoul, pp. 57-62 (2014).