

컴퓨터프로그램을 이용한 엘리베이터 피난 연구

차종호^{1*}

¹호원대학교 소방행정학과

Elevator evacuation studies using a computer program

Cha-Jong Ho^{1*}

¹Division of Fire Service Administration, Howon University, Jeon-Book, Korea

요 약 최근의 건축물은 초고층화 또는 지하 공간의 심층화되어감에 따라 과도한 수직 거리 이동으로 인하여 체력이 부족한 사람들이 피난층 비상구에 이르기 전에 지쳐서 쓰러질 가능성이 있다. 화재 발생 인접 구역으로부터의 초기 피난에는 계단을 사용한 후에 나머지 거리는 승강기를 이용하여 안전한 공지나 도로로 탈출하는 방법을 요구하고 있다. 이에 따라 서울특별시 초고층 건축물 가이드 라인에서 피난용승강기에 대해 제정되었다. 최근 층수는 지하 7층지상53층, 바닥면적 6,800㎡연면적 127,050㎡, 용도는 문화 및 집회시설·판매시설·업무시설·숙박시설(호텔)·공동주택(아파트)의 건축물을 설계하면서 피난용승강기를 별도로 설치하기에는 효율적이지 못하다는 판단하에 승용승강기의 설치기준에 따라 설계된 승강기를 피난용으로 사용하기로 결정하였다. 그러나 이에 대한 세부 설계지침내용이 아직까지 마련되어 있지 않아 국내법과 해외 설치기준을 근거로 승용승강기를 피난용으로 이용하기 위한 설계방법을 정리하였으며, 실제 설계된 도면으로 ELVAC+와 Pathfinder의 피난프로그램으로 승강기수와 승강기를 이용한 피난자수의 적정성에 대해 연구하였다.

Abstract Because of ultra-high buildings or deeper underground space, recent buildings have the potential that people who have lack of physical strength collapse before arriving at the emergency exits when catastrophes occur. In case of fire, the way to escape is that first, people take the stairs of the adjacent areas and then use the elevator to the remaining distance by road to escape notice or be safe. For this reason, the skyscrapers guidelines of Seoul for information on the elevator for evacuation has been established. Nevertheless, when designing buildings to install a elevator for evacuation separately is not effective, so passenger elevators installation according to the criteria are encouraged to use as evacuation elevators. However, this does not include detailed design guidelines so far. Therefore, this study was to investigate design method to use the passenger elevator for evacuation according to the domestic law and international installation criteria, and to calculated number of lifts and refuge to use the elevator using by the ELVAC+ and PathFinder evacuation program.

Key Words : Elevator, Evacuation, High-Rise Buildings

1. 서론

최근의 건축물은 초고층화 또는 지하 공간의 심층화되어감에 따라 화재발생 시 거실 각 부분으로부터 계단을 거쳐 옥외출구까지의 과도한 수직 거리 이동으로 인하여

심리적 불안과 체력저하로 사람들이 피난 층의 옥외출구에 이르기 전에 지쳐서 쓰러질 가능성이 있다. 이에 따라 서울특별시는 「건축물 승강기설치 가이드라인」에서 50층 이상 또는 건축 높이가 200[m]이상인 건축물은 피난용 승강기설치를 권장하고 있으며, NFPA 및 IBC Code에

본 논문은 2012년 호원대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Ho Cha

Tel: +82-63-450-7282 email: cha8682@hawon.ac.kr

접수일 12년 10월 22일

수정일 12년 11월 06일

게재확정일 12년 11월 08일

서도 최근 초고층건축물에 피난용 승강기의 내용이 수록되어 초고층건축물에서의 화재 시 피난을 위한 승강기 이용은 일반화되어가고 있는 추세이다. 최근 지하6층·지상56층, 높이 200[m], 용도는 판매시설·업무시설·숙박시설인 초고층 건축물에 피난시설의 하나인 피난용 승강기를 계획하면서 국내외 규정 및 Code를 비교 분석하여 피난용 승강기에 필요한 시설을 정리하였으며, 승강기 설치대수와 대피인원 및 대피시간 분석에는 ELVAC+와 Pathfinder 프로그램을 이용하였다.

1.1 연구배경 및 목적

본 연구의 분석에 있어서 구체적인 목적은 첫째 피난계단만으로 이동 시의 피난시간을 측정하고, 둘째 승강기의 설치와 설치대수 및 이용률에 따른 효율성을 분석하고, 셋째 IBC Code에 초고층건축물 피난방법으로 제시된 피난계단 추가 시와 피난용 승강기 이용의 비교분석을 통해 가장 적합한 피난방법의 기초자료를 제공하고, 초고층 건축물에서의 승강기를 이용한 피난을 위해서는 그 건축물을 대상으로 피난시설에 대한 성능위주설계를 해야 한다는 것을 제안한다.

1.2 연구방법 및 범위

- 1) 엘리베이터를 피난로의 일부분으로서 의존될 수 없는 이유와 건물의 피난 프로그램에 포함시킬 수 있는 상황에 대해 NFPA 101Code를 중심으로 정리하였다.
- 2) 서울특별시 초고층 건축물 가이드 라인에서 제정한 피난용승강기에 대한 기준을 살펴보고, NFPA 92A, 101Code의 피난용 엘리베이터 설치기준을 정리하였다.
- 3) 피난용 엘리베이터의 수 및 피난용 엘리베이터를 이용한 피난자수의 적정성에 대한 연구는 피난프로그램인 Thunderhead Engineering에서 개발한 Pathfinder와 NIST에서 개발한 ELEVAC+를 수행하여 분석하였다.

2. 피난로로서의 엘리베이터 이용의 문제점과 필요성

2.1 엘리베이터를 피난로로서 의존될 수 없는 이유

- 1) 엘리베이터를 이용하여 화재를 피하려는 사람들이 엘리베이터 문에서 기다리는 동안 화재 또는 연기

에 노출될 수도 있고 패닉 상태로 발전할 수도 있다.

- 2) 자동식 엘리베이터는 엘리베이터 내부와 외부에 위치한 누름 단추에 의해서 층 사이를 운행한다. 단추를 한 번 누르면 취소할 수 없기 때문에 화재의 위쪽에서 내려오던 엘리베이터가 화재 층에서 자동적으로 정지할 수 있다. 그리고, 문이 열리면 점유자들이 화재와 연기에 노출될 수 있다.
- 3) 현대식 엘리베이터는 문이 완전히 닫히지 않으면 움직이지 않는다. 비상사태 시에는 많은 사람들이 엘리베이터를 타려고 밀치기 때문에, 문이 닫히지 않고 엘리베이터가 움직이지 않을 수도 있다.
- 4) 화재에 의한 전기 공급 케이블의 소실에 따른 정전으로 인하여 엘리베이터의 작동이 정지되거나, 층과 층 사이에서 멈추었을 때, 사람들이 엘리베이터에 갇힐 수도 있다. 화재 상황에서는 갇힌 사람들을 비상탈출 또는 문을 통하여 이들을 구조할 시간이 부족할 수도 있다.

2.2 엘리베이터를 피난프로그램에 포함시켜야 하는 이유

- 1) 엘리베이터를 높이 23m이상의 고층 건물에서 단계적인 피난에 이용되어야 한다.
- 2) 엘리베이터는 대피장소로부터 사람들을 피난시킬 때 이용할 수 있다. 엘리베이터는 중증 장애인을 효과적으로 수송할 수 있는 수단이다.
- 3) 지하 집회용도에서 층 깊이가 피난층 아래로 9.1m를 초과하는 층은 위쪽으로 향하는 긴급 피난을 위해서 엘리베이터나 에스컬레이터를 요구할 수 있다.
- 4) 특수 타워에 대해서 엘리베이터를 제2의 피난로로 인정하고 있다.

3. 승강기에 대한 국내외 기준 검토 및 분석

3.1 비상용엘리베이터의 국내외 법규 및 기준

3.1.1 국내 법규 및 기준

(1) 법규

① 설치대상

가. 높이 31m를 넘는 건축물

나. 공동주택인 경우 16층 이상인 경우

② 설치대수

[표 1] 승강기 설치 대수

[Table 1] Elevator installation numbers

31m를 넘는 각층의 최대 바닥면적	설 치 대 수
1,500㎡ 이하 경우	1대이상
1,500㎡ 넘는 경우	1대에 1,500㎡를 넘는 3,000㎡이내마다 1대씩 가산

(2) 구조적인 성능

[표 2] 승강기의 성능

[Table 2] Performance of the elevator

구 분	구 조 기 준	
일반기준	승용승강기 구조기준에 적합할 것	
통화장치	관리실, 경비실등과 연락할 수 있는 통화 장치 설치	
예비전원	① 종류 : 자가발전설비, 전용수전설비 ② 상용전원 차단 시 예비전원 가동 ③ 60초이내 자동전환 방식, 수동전환 가능 ④ 2시간 이상 작동 가능할 것	
운행속도	60m/분 이상	
소방운전	카 호출장치 및 1,2차 스위치 기능	
승 강 로	일반기준	다른 부분과 내화구조로 구획
	배 수 설	피트에 배수시설 설치
승 강 장	일반기준	① 내화구조의 바닥 및 벽으로 구획 ② 각층 내부와 연결, 출입구에 갑종 방화문 설치
	제 연	노대, 외기창, 제연
	바닥면적	1대당 6㎡이상
	보행거리	피난층 승강장에서 옥외출입구까지 30m
	표 지	① 출입구 부근에 표지 설치 ② 비상운전표시등 설치
	조 명	창문 또는 예비전원에 의한 조명 설치
기 계 실	일반기준	전용 승강로 이외 부분과 방화구획
	전용운전	소방운전시 다른 승강기의 영향 받지 않을 것
침 수 방 지	조명기구	침수되지 않는 위치에 안정기 설치
	방적처리	① 천정팬, 비상운전시 분리 ② 도어스위치, 2차운전시 분리 ③ 바닥맞춤장치 ④ 접점스위치 ⑤ 도어모터 및 제어부 ⑥ 승강로 및 카의 분기박스

3.1.2 일본 법규 및 기준

(1) 법규

- ① 설치대상 : 높이 31m를 넘는 건축물
- ② 설치대수 : 국내기준과 동일함.
- ③ 승강장

가. 노대, 외기창, 제연

나. 1대당 바닥면적 10㎡이상

다. 옥내소화전, 연결송수관의 방수구, 비상콘센트 설비설치

라. 표시등 : 적재량, 최대 정원, 비상용승강기의 취지

마. 2기 이내마다 내화구조의 바닥 및 벽구획

(2) 주요사양

[표 3] 주요사양

[Table 3] Key Specifications

구 분	구 조 기 준
방화구획	승강로,기계실,승강장은 방화구획할 것
통화장치	중앙감시실의 감시반과 연락가능할 것
예비전원	화재로 인한 정전시에도 운행이 가능토록 비상전원(자가발전설비)설치할 것.
일반사양	속도 60m/분 이상, 소방대 15명 탑승, 승강기 실의 깊이는 150mm이상
일반운용상황	평상시에는 승객·화물용으로 겸용 화재등 비상시에는 소방대전용으로 전환
운전방식	비상시 피난층으로 카를 부를 수 있도록 하고 소방전용이 가능토록 할 것
관제운전금지	화재등 비상시에 승강기를 피난층으로 이동시켜 승객을 피난,대기하는 방법
사용형식	로프식, 제어방식은 가변전압가변주파수방식(VVVF)이 주로 사용됨.

3.1.3 영국의 규격(BS5588-5)의 구조기준

(1) 소방수직통로의 의미와 설치대상 및 소요수

① 소방수직통로의 의미

소방대원의 활동을 원활하게 하기 위한 소방 계단, 소방전 실과 전실에 배치하는 주소화전, 소방승강기와 그 기계실 이 포함됨

② 소방수직통로 설치대상

최고층 바닥표면의 높이가 18m를 초과
최저층 바닥표면의 깊이가 10m를 초과

③ 소방수직통로 소요수

층별 바닥면적 900㎡마다, 바닥면적 900~2,000㎡ 인 경우 2개, 바닥면적 2,000㎡초과 시 1500㎡마다 1대를 추가 직선거리 40m미만, 소방호스연장거리 60m미만

(2) 구조적인 성능

① 일반기준

외벽은 2시간, 내벽은 1시간 방화성능 구조물 방화 성능의 1/2, 최소30분 이상 방화도어

② 소방대 양방향 통신시스템

③ 예비전원

주전원에서 2차전원으로 30초이내 전원을 공급할 능력이 될것과 2시간동안 필요한 전력 공급가능할 것 소방계단과 로비는 비상조명등설치할 것

④ 승강기

최소 폭1.1m×깊이1.4m, 8인용 승강기
정격속도 : 일주주행을 1분미만에 할 수 있는 속도 화물이나 쓰레기 운반용으로 사용하지 말 것.

⑤ 승강장 : 전용면적 5㎡이상

⑥ 소방수직통로의 연기제어

지표면에서 9m이상의 지하공간의 수직통로는 가압환기시스템

모든 소방수직통로는 가압 또는 자연환기시스템 설치

⑦ 기계실 : 기계실은 소방수직통로 구획내에 설치할 것

⑧ 승강로

스프링클러설비 설치 불가

로비로부터 승강로를 분리하는 벽 1m이내는 규정의 전기장치 설치

다. 전기장치는 승강로 피트 바닥에서 1m이내에 설치금지

⑨ 소방계단과 로비는 비상조명등 설치

3.1.4 유럽표준규격

(1) 일반사항

① 비상용엘리베이터와 같은 방화구획내에 있는 모든 일반용엘리베이터는 비상용엘리베이터와 동등한 방화수준을 갖을 것

② 소방대의 제어 하에 소방 및 피난을 목적

(2) 승강장 등의 구조

① 바닥면적 5㎡이상

② 승강로, 계단, 승강장 등은 최소의 화재울을 가질 것

③ 승강장과 승강로는 가압(Pressurise)되는것이 바람직함

(3) 비상용승강기의 카의 규격

정격하중 630kg, 비상용엘리베이터가 피난용으로 사용 되는 경우 정격하중 1000kg, 폭1100×깊이2100mm이상

(4) 비상용승강기의 운행속도

60초 이내에 소방서비스가 있는 층에서 가장 멀리 있는 층까지 도착하도록 할 것.

(5) 설계

① 소방대가 장비를 화재가 발생한 층의 아래층으로 신속히 운행되도록 설계

② 소방대가 갇힌 사람을 구조하여 피난할 수 있을 것

(6) 물에 대한 보호

① 승강장과 승강로를 분리시키는 벽면의 전방 1m내에 위치한 전기장치는 보호

② 승강로의 전기장치는 피트바닥으로부터 1m위 설치

③ 스프링클러설비는 승강로 기계실에 설치 금지

④ 전기설비는 규정에 따를 것

(7) 카 내에 갇힌 소방대 구출구

① 비상구출구 : 카 상부에 0.4m×0.6m이상

② 비상도어 : 카 벽에 위치 및 사다리 설치

(8) phase1과 phase2로 운행하는 소방활동 운영

(9) 비상전원 : 1차 및 2차(비상, 대기)전원으로 구성됨

3.2 피난용 엘리베이터의 국내외 규정 검토

3.2.1 국내 서울특별시 초고층건축물의 가이드라인 제시

50층이상의 건축물에 비상전원, 방수성능, 내화성능, CCTV, 양방향 통신설비를 갖춘 승강기 설치를 요구하고 있다.

3.2.2 NFPA101, 92A Code의 피난용 엘리베이터

(1) 엘리베이터의 피난용량은 8명이상일 것.

(2) 승강장 벽은 1시간이상의 내화 및 방연성능 갖출 것.

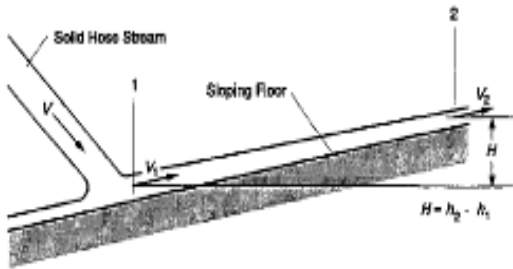
(3) 승강장 문은 1시간이상의 내화성능 및 자기폐쇄식 또는 연기감지기에 의한 자동폐쇄식일 것.

(4) 상용과 예비전원을 갖추고,배선은 1시간이상 성능 확보

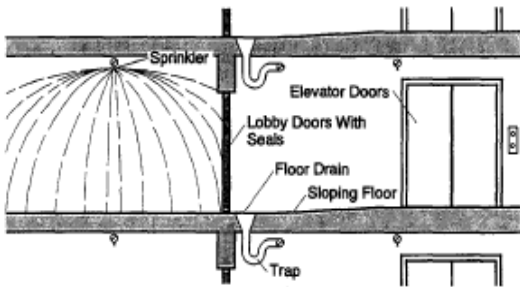
(5) 2방향 통신설비 및 배선은 1시간이상 성능확보

(6) 엘리베이터 운전은 승강장에서 연기가 감지되면, 엘리베이터의 리콜 후에(1단계), 소방대원이 엘리베이터 내에서 수동으로 운전할 수 있을 것.(2단계)

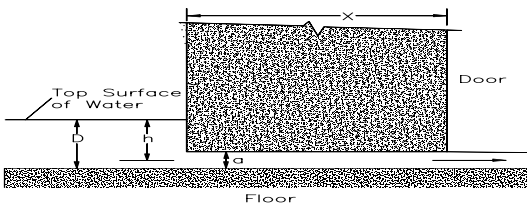
(7) 밀폐된 엘리베이터 승강장 문, 경사진 바닥, 바닥 배수로, 그리고 엘리베이터 샤프트 벽을 밀폐하는 방법을 조합하여 사용할 것.



[그림 1] 경사진 바닥
[Fig. 1] Sloping floor



[그림 2] 승강기 샤프트 벽 밀폐하는 방법
[Fig. 2] How airtight elevator shaft wall



[그림 3] 바닥 배수로
[Fig. 3] Floor drainage

- (8) ASME/ANSI A17.1, Safety Code for Elevators and Escalators에 따라, 지진이 발생했을 때 순서에 따라 운전을 중지시킬 것
- (9) 승강장에 글자 높이가 최소 5cm인 다음 표지판을 부착할 것.

[표 4] 승강기에 부착되는 표지판
[Table 4] Signs attached to the elevator

Elevator Status	Message
Normal use	Elevator in Service
Elevators recalled and waiting for fire service	Please Wait for Fire Department or Use Stairs
Elevator out of service	Elevator Out of Service

(10) NFPA 92A Code의 엘리베이터 연기제어를 위해 다음의 1가지 이상을 설치할 것

- ① 발화층 배기
- ② 엘리베이터 승강장 가압
- ③ 방연구조 엘리베이터 승강장
- ④ 엘리베이터 승강로 가압

3.3 피난용 엘리베이터 설치시 고려사항

- (1) 승강장, 승강로, 기계실은 외벽 2시간, 내벽 2시간 방화구획할 것.
- (2) 피난용엘리베이터와 같은 방화구획내에 있는 모든 일반용엘리베이터는 동등한 방화수준을 갖을 것.
- (3) 엘리베이터의 연기제어를 위해 발화층 배기, 엘리베이터 승강장 가압, 방연구조 엘리베이터 승강장, 엘리베이터 승강로 가압 중 1개이상을 설치한다.
- (4) 엘리베이터 방수를 위해
 - ① 승강장과 승강로를 분리시키는 벽면의 전방 1m내에 위치한 전기장치는 보호
 - ② 승강로의 전기장치는 피트바닥으로부터 1m위 설치
 - ③ 스프링클러설비는 승강로 기계실에 설치 금지
 - ④ 전기설비는 규정에 따를 것

4. 피난용 엘리베이터 선정 및 피난계획

4.1 피난용 엘리베이터 선정

피난용 엘리베이터는 일반용엘리베이터의 성능을 보완하여 사용하는 방법과 비상용엘리베이터를 사용하는 방법, 그리고 피난용엘리베이터를 별도로 설치하는 방법 중 안전성, 운행목적의 적합성, 경제성을 고려하여 가장 적합한 방법을 선정한다.

4.1.1 피난용 엘리베이터의 운행목적

소방대의 소화활동에 의해 거주자를 구하는 목적과는 별도로 거주자가 직접 엘리베이터를 이용하여 피난층 즉 지상으로 통하는 층 또는 대피층의 안전한 공간으로 피난하기 위함이다.

4.1.2 피난용 엘리베이터 분석

- (1) 일반용 엘리베이터의 성능을 보완하여 사용하는 방법은 설비의 유휴화방지, 별도의 엘리베이터 설치면적이 필요하지 않아 경제적이며, 인간의 귀소 본능을 고려한다는 점에서 효과적이다. 그러나 초고층건축물에서 일반용엘리베이터를 피난용으로

사용하는 것은 사람들에게 혼란을 줄 수 있어 이에 대한 정확한 홍보가 필요하며, 비상시 피난용으로 사용하는데 문제가 없도록 철저한 유지관리 및 훈련이 필요하다.

- (2) 비상용 엘리베이터를 피난용과 소화활동용의 두가지 목적으로의 사용은 화재초기단계에서는 거주자의 피난용으로 사용되고 소방대의 도착 후 소화활동으로 사용한다. 이는 거주자가 비상용엘리베이터로 피난하기 위해 기다렸다가 이용을 할 수 없는 경우 혼란을 가중시킬 수 있고, 피난용과 소화용으로 사용은 그 사용목적과 방법이 확연히 달라 비상용엘리베이터의 피난용으로의 사용은 불합리하다.
- (3) 피난용 엘리베이터를 별도로 설치하는 방법은 안전성과 유지관리상 효과적이다. 그러나 일반용엘리베이터에 비해 이용 설치대수에 제한이 있으며, 별도의 설치면적을 필요하고 설비의 휴지화에 대한 대책이 필요하다.

4.1.3 피난용 엘리베이터 선정

피난용 엘리베이터는 우선 비상용엘리베이터를 사용하는 방법은 사용목적과 방법이 상이하므로 배제하였으며, 일반용엘리베이터의 성능을 보완하는 방법이 피난용엘리베이터를 별도로 설치하는 방법보다 경제성과 유용성에서 더욱 효과적이라 판단하여 선정하였다.

4.2 피난용 엘리베이터의 일반적인 피난계획

- (1) 발화층·직상층 우선경보방식으로 이 층의 거주자는 계단을 이용하여 발화층 바로 아랫층으로 피난한다.
- (2) 발화층·직상층은 엘리베이터가 정지하지 않는다.
- (3) 엘리베이터는 피난층 1층으로 이동하여 거주자를 피난시킨다.

5. 피난시간에 관계되는 계산식

5.1 계단을 이용한 피난시간 계산식

계단을 이용한 피난시간 계산은 미국 THUNDERHEAD ENGINEERING사에서 개발한 Pathfinder프로그램을 사용하며, 이 프로그램에서 거주자의 이동속도와 구 통과시간계산식은 다음과 같다.

거주자의 이동속도 $v(D)$ [m/s]는 다음과 같다.

$$v(D) = v_{\max} * \frac{.85 * k}{1.19}$$

$$D < 0.55 \text{ pers}/m^2$$

$$v(D) = v_{\max} * \frac{k - 0.266 * k * D}{1.19}$$

$$D > 0.55 \text{ pers}/m^2$$

v_{\max} : 최대 이동속도[m/s]

D : 거주밀도 [pers/m²]

k : 계단 디딤판의 높이와 너비에 따른 계수

Stair Riser(inches)	Stair Tread(inches)	k
7.5	10.0	1.00
7.0	11.0	1.08
6.5	12.0	1.16
6.5	13.0	1.23

$$T = (n - 1) * (1.0/F_S)$$

$$F_S = (1 - 0.266 * D) * k * D$$

n : 거주자 수 [명]

5.2 엘리베이터를 이용한 피난시간 계산식

엘리베이터를 이용한 피난시간 계산은 1992년 미국 NIST에서 John H. Klote와 Daniel M. Alvord에 의해 개발된 ELVAC VERSION 1.00의 프로그램을 사용하며, 이 프로그램에서 사용되는 피난시간 계산식은 다음과 같다.

$$t_e = t_a + t_o + \frac{(1 + \eta)}{J} \sum_{j=1}^m t_{r,j}$$

t_e : 피난시간[s]

$t_{r,j}$: 엘리베이터 RTT(Round-Trip Travel Time)[s]

t_a : 엘리베이터 피난 시작 시간[s]

t_o : 거주자의 로비에서 외부로의 이동(Travel)시간 [s]

J : 엘리베이터의 수

n : 엘리베이터 효율 계수

엘리베이터 피난시작 시간 t_a 은 다음과 같다.

$$t_a = t_T + (t_u + t_d)(1 + \mu)$$

t_T : 화재시 피난층으로 엘리베이터 이동 최대시간[s]

t_u : 엘리베이터가 출발하는데 걸리는 시간[s]

t_d : 엘리베이터문이 열리고 닫히는데 걸리는시간[s]

μ : 엘리베이터 이동 효율계수

엘리베이터 1대가 왕복운행하는데 걸리는 시간, t_r 은 다음과 같다.

$$t_r = 2t_T + t_s$$

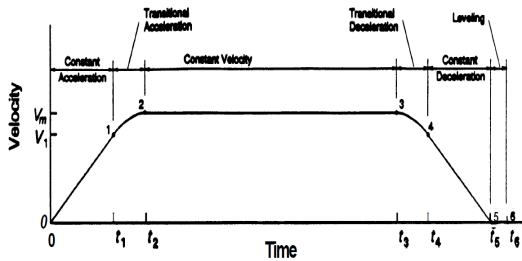
t_s : 엘리베이터가 정지해 있는 시간

엘리베이터가 정지해 있는 시간, t_s 는 다음과 같다.

$$t_s = (t_i + t_u + 2t_d)(1 + \mu)$$

t_i : 사람이 엘리베이터 안으로 들어가는 시간[s]

t_d : 엘리베이터 문이 열리고 닫히는데 걸리는 시간[s]



[그림 4] 일반적인 작동속도로 운행하는 엘리베이터 속도V
[Fig. 4] Velocity of elevator reaching normal operating velocity

정상적인 가속작동에 의해 Point 1에 도달하는 시간 t_1 [s]

$$t_1 = \frac{V_1}{a}$$

a : 가속도 [m/s^2]

V_1 : 속도 [m/s]

정상적인 가속을 하는 동안 이동거리 S_1 [m]

$$S_1 = \frac{V_1^2}{2a}$$

변환적인 가속작동에 의해 Point 2에 도달하는 시간 t_2 [s]

$$t_2 = \frac{V_m^2 - V_1^2}{2 V_1 a} + t_1$$

V_1 : 정상적인 작동속도 [m/s]

변환적인 가속을 하는 동안 이동거리 S_2 [m]

$$S_2 = \frac{1}{3a} \left(\frac{V_m^3}{V_1} - V_1^2 \right) + S_1$$

한방향으로의 이동시간은 다음과 같다.

$$t_5 = 2 t_2 + \frac{S_T - 2S_2}{V_m}$$

정상적인 작동속도로 운행하는 엘리베이터가 한방향으로 전체 이동시간, t_T 는 다음과 같다.

$$t_T = t_5 + t_h$$

t_5 : 한방향으로 이동시간[s]

t_h : 엘리베이터가 균형을 잡는데 필요한 시간[s]

6. 지상 54층인 S 건축물의 피난시설 및 피난시간 계산

6.1 피난시설

6.1.1 피난층

- 피난층은 1층으로 설정

6.1.2 건축물의 층별 용도와 면적 및 거주인 수

층별 거주자수는 NFPA 101 인명안전코드 제 1부 7장 7.3 피난로의 피난용량을 근거로 하여 판매시설은 도로와 접해 있는 부분은 $2.8m^2$ /인, 지상층인 경우는 $5.6m^2$ /인, 업무시설은 $9.3m^2$ /인, 숙박시설(호텔)과 주차장은 $18.6m^2$ /인으로 계산한 거주자수는 [표 5]와 같다.

[표 5] 층 별 면적 및 거주자 수
[Tale 5] Floor area and residents

층구분	용도구분	층면적[m ²]	층거주자수[인]
B7~B4F	주차장	9,400	506
B3F	판매시설	9,200	3,286
B2F	판매시설	9,100	3,250
B1F	판매시설	9,200	3,286
1F	판매시설	6,800	2,429
2F	판매시설	6,400	1,143
3F	판매시설	6,200	1,108
4F	판매시설	5,800	1,036
5~15F	업무시설	2,600	280
16~30F	숙박시설(호텔)	1,200	65
31~53F	아파트	850	46

6.1.3 일반용엘리베이터 설치대수 산정

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제5조(승강기의 구조)의 [별표1] 승용승강기의 설치기준을 근거로 6층이상 거실면적을 합산하여 업무시설과 숙박시설(호텔)은 {(합산면적-3,000) ÷ 2000}+1, 아파트는 {(합산면적-3,000) ÷ 3000+1}로 하여 용도별 승강기 수는 다음과 같다. 일반용승강기를 피난용으로 사용하기 위해 수손방호, 승강장의 내화성능강화 예비전원등을 보완한다.

[표 6] 용도별 승강기 설치대수

[Table 6] Usage elevator installation numbers

층구분	용도구분	6층이상 거실 면적합계[m ²]	승강기수[대]
6~15F	업무시설	26,000	8
16~30F	숙박시설(호텔)	17,200	8
31~53F	아파트	16,560	6

6.1.4 특별피난계단 설치

계단은 업무시설과 숙박시설(호텔)용과 아파트를 별도로 구분하여 설치하며, 업무시설과 숙박시설(호텔)은 보행거리 50m 이내, 아파트는 4세대로 최소2개의 계단을 설치하여야 하며 보행거리 40m이내가 되도록 설계되었다.

6.1.5 용도별 사용되는 승강기 및 계단의 수

[표 6] 용도별 사용되는 승강기 및 계단의 수

[Table 6] Usage elevator installation and stairs numbers

층구분	층거주자수[인]	승강기수[대]				계단수[개]	
B7~B4F	506	8 업 무 시 설	8 숙 박 시 설 (호 텔)	6 아 파 트	2 업 무 숙 박 시 설	2 아 파 트	
B3F	3,286						
B2F	3,250						
B1F	3,286						
1F	2,429						
2F	1,143						
3F	1,108						
4F	1,036						
5~15F	280						
16~30F	65						
31~53F	46						

6.2 피난시간 계산 I

6.2.1 피난시나리오 설정

(1) 화재하중이 높고 거주자수가 많은 지하3층 화재

- 시나리오 I : 엘리베이터 이용 100%
- 시나리오 II : 엘리베이터 이용 75%
계단 이용 25%
- 시나리오 III : 엘리베이터 이용 50%
계단 이용 50%
- 시나리오 IV : 엘리베이터 이용 25%
계단 이용 75%
- 시나리오 V : 계단 이용 100%

(2) 화재발생율이 가장 높은 아파트로 지상40층 화재

- 시나리오 VI : 엘리베이터 이용 100%

- 시나리오 VII : 엘리베이터 이용 75%
계단 이용 25%
- 시나리오 VIII : 엘리베이터 이용 50%
계단 이용 50%
- 시나리오 IX : 엘리베이터 이용 25%
계단 이용 75%
- 시나리오 X : 계단 이용 100%

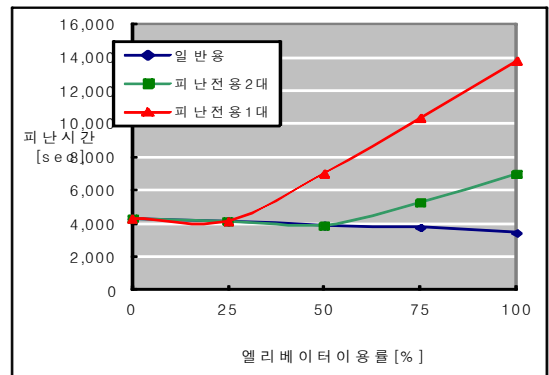
6.2.2 계산 결과 값

승강기 이용률과 이용대수에 따른 거주자 전원이 옥외로 빠져나가는데 필요한 피난계단이용시간과 승강기 이용시간을 고려한 전체피난시간은 다음과 같다. 그림 16와 같이 일반용 승강기를 성능 강화하여 피난용으로 이용하는 경우 승강기 이용률을 증가시킬수록 피난시간이 감소하였으며, 피난 전용 승강기2대 설치 시 승강기 이용률 50 [%] 에서 전체피난시간이 가장 낮았다. 또한 피난 전용승강기 1대 설치 시에는 승강기이용률 25 [%] 에서 전체 피난시간이 가장 낮았으며, 승강기이용률 25 [%] 를 초과하는 순간 그림 16에 나타난 바와 같이 승강기이용시간이 급격하게 증가하여 이에 따른 전체 피난시간은 급격히 증가함을 볼 수 있다.

[표 8] 승강기 이용률에 따른 전체피난시간

[Table 8] The total evacuation time elevator utilization

승강기이용률[%]	일반용(성능 강화)20대	피난용전용 2대	피난용전용 1대
0	4,313.53[s]	4,313.53[s]	4,313.53[s]
25	4,154.38[s]	4,154.38[s]	4,154.38[s]
50	3,892.13[s]	3,892.13[s]	7,020.60[s]
75	3,773.85[s]	5,257.80[s]	10,345.30[s]
100	3,442.78[s]	6,981.60[s]	13,793.10[s]



[그림 5] 승강기 이용률에 따른 전체피난시간

[Fig. 5] The total evacuation time elevator utilization

7. 결론

- (1) 56층 초고층건물 화재 시 거주자 전원이 건물 내에서 옥외로 이동하는데 소요되는 시간은 1시간20분으로 이는 서울에서 승용차 100 [km] 로 달릴 경우 대전에 도달할 수 있는 것과 같다.
- (2) 일반용승강기를 피난용으로 선정할 경우 일부만 선택 시 이용에 혼란을 가중시킬 수 있으므로 일반용 승강기 전체를 피난용으로 선정하여 방화 구획하는 등 성능을 강화시켜야 한다. 일반용 승강기는 바닥면적에 따라 산정되므로 설치대수가 많으며, 승강기 이용률이 높을수록 전체피난시간은 감소한다.
- (3) 피난전용승강기를 설치하는 경우 별도의 공간이 필요하여 일반용 승강기와 비상용 승강기만으로도 공간 확보가 쉽지 않은 상황에서 2대 이상을 설치한다는 것은 쉽지가 않다. 피난전용 1대 설치 시 가장 효율적인 승강기이용률은 약25 [%] 이며, 이는 화재 등 비상상황 시 피난계획 수립에 적용한다.
- (4) 피난층을 1층만이 아닌 추가로 2층이나 3층에서 옥외출구와 옥외계단을 설치하여 분산피난이 가능토록 하여 피난층의 혼잡을 방지하여야 한다.
- (5) 피난층의 피난계단 50 [%] 를 직접 옥외로 피난하도록 하는 방법은 최근 건축물 추세인 Center-Core방식에 적용이 쉽지 않기 때문에, 피난계단을 건물 외벽 근처에 설치하는 것이 바람직하다. 이는 힘겹게 피난계단에서 빠져나와 주로 판매시설용도로 거주밀도가 높은 피난층을 다시 빠져나와야 하는 불편을 줄일 수 있으며, 피난층의 혼잡도 방지할 수 있어 설계적용 시 반드시 고려해야 할 사항이다.
- (6) IBC Code에서는 초고층 건축물의 피난시설은 피난용승강기 또는 피난계단 1개 추가 중에 하나를 선택할 수 있다. 피난계단 1개 추가는 피난전용 1대의 승강기 설치 시 가장 효율성이 높은 승강기 이용률 25 [%] 와 거의 동등한 효과가 있다. 따라서 피난용 승강기와 피난계단 추가의 선택의 폭을 넓혀 가장 효과적인 피난방법을 분석을 통해 선정할 수 있도록 해야 한다.
- (7) 보행속도는 피난시간에 중요한 인자이나, 국내 현실과 여러 가지 조건에 따른 검증된 보행속도 데이터가 없는 실정으로 외국 Code에 따른 데이터를 적용하고 있어 계산한 피난시간 값이 얼마나 현실을 반영하고 있는지는 의문이다. 피난에 대한 기본

적인 데이터값 구축이 절실하다.

- (8) 현재 성능위주소방설계는 소방시설만 설계하게 되어 있으나 건축물의 피난시설에도 성능위주설계를 도입하여 그 건축물에서 가장 효율적인 피난시설의 대치를 결정하여야 한다.

References

- [1] H. J Kim, Y. H Park., "A Study on the Consideration Factors for the Calculation of Elevator Evacuation Time" Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering v.24, n.1 2010.
- [2] D. O. Park, S. K. Roh., "An Efficiency of Elevator Evacuation in High-Rise building" Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference 2007.
- [3] H. S. Hwang, O. O. Yoon, D. C. Choi, et al., "A Study of Elevator Assisted Evacuation for Super High-rise Building" Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference 2007.
- [4] D. O. Park, "An Efficiency of Elevator Evacuation in High-Rise building" Kwangwoon University, Master's Thesis 2007.
- [5] H. S. Hwang, "Research on Optimum Design Method for Fire Protection System of Super Tall Building" University of Seoul Master's thesis 2004.
- [6] NFPA code 101 "Life Safety Code" 2002 edition
- [7] International Code Council "International Building Code" 2000 edition.

차 종 호(Jong-Ho Cha)

[정회원]



- 2006년 2월 : 서울시립대 도시과 학대학원 방재공학과 (공학석사)
- 2012년 9월 : 서울시립대대학원 재난공학과 (박사수료)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 호원대학교 소방행정학과 교수

<관심분야>
소방, 재난