

D-12

고층 건축물의 엘리베이터 피난의 효율성에 관한 연구

김동은, 홍해리, 서동구, 권영진, 홍진화*, 허윤섭*
호서대학교 소방방재학과, 한국 승강기 안전 관리원*

A Study on Efficiency of Elevator Evacuation in High-Rise Building.

Dong Eun Kim, Hae Ri Hong, Dong Goo Seo, Young Jin Kwon,
Jin Wha Hong*, Yun Seop Hong*
Hoseo Univ. KESI*

요 약

최근 축조되고 있는 건축물의 경우 고층을 넘어서 초고층화가 되어가는 현실이다. 이러한 사항에서 현재 이용되고 있는 피난계단 및 수평 수직 피난에서는 고층화가 되어가는 건축물에서의 피난이 어렵다는 점을 인지하여 고층건축물의 필수요소인 EV를 통한 피난계획 작성에 기초적인 자료가 되기 위하여 국외적으로 연구중인 EV피난에 대해서 알아보고 또한 그 내용을 토대로 현재 국내에서의 EV피난에 대한 효율성을 제시하여 향후 고층건축물의 피난 계획에 일부분에 기초자료가 되고자 한다.

1. 서 론

현재 국내외적으로 고층건축물을 넘어서 건축물들이 초고층화가 되어가고 있는 현실이다. 이러한 현실에서 현재 일반적으로 이용되고 있는 피난계단을 이용한 피난의 방법에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 건축법 제64조를 살펴보면 6층 이상으로서 연면적 2000㎡ 이상인 건축물을 건축시 승강기는 설치하여야 하며, 높이 31m를 초과하는 건축물에서는 비상용 승강기를 추가로 설치하여야 한다. 이러한 법적인 내용으로 승강기가 의무화 설치가 되어 있으나, 화재시 위험성을 고려하여 현재 피난계획에서는 승강기를 통한 피난은 금지되어 있는 현실이다. 그러나 고층화를 넘어선 초고층화의 건축물에서는 승강기를 이용한 피난이 필히 필요한 현실이며, 이러한 배경으로 본 연구에서는 승강기가 사고 발생시 이용하는데 안전하게 시공되었다는 가정 하에 국내외적으로 승강기를 통한 피난계획 연구를 알아보고, 국내에서 승강기를 이용한 피난 효율성을 모색하여 향후 초고층 건축물의 피난계획 작성시 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 초고층 건축물에서의 엘리베이터의 필요성

초고층 건축물의 화재의 특성을 연소적인 특성으로 살펴보면 크게 7가지로 나누어질 수 있다.

- ① 초고층건축물의 경우 공간별로 용도가 다르기 때문에 각 용도에 따라 화재하중이 다르며, 각 용도에 따라서 가연물 연소 특성상 연소확대 속도가 빠르게 진행되는 점.
- ② 현재 이용되고 있는 고강도 콘크리트의 폭발현상을 일으키거나 손상 정도가 심해 붕괴의 위험성이 높다는 점이다.
- ③ 공조시스템에 의하여 연기와 유독가스가 급속도로 확산될 위험이 있다.
- ④ 고층에서서의 강풍에 의하여 화염이 몰아쳐 연기가 복도층으로 밀려 연소가 확대가 이루어질 가능성이 높다.
- ⑤ 화재의 성장기 중 Flashover 등이 발생하게 되면 고온의 열과 압력에 의해서 창문이 파괴되며 분출된 화염과 고온의 연기는 상층부의 창을 파괴하고 화염을 확대시켜 발화지역의 상층부의 내부에 화염을 전파시킨다.
- ⑥ 엘리베이터, 전기, 공조 배관등 수직연결 공간인 샤프트등의 고층건축물의 높이에 비해 하여 연돌효과를 발생시켜 연소범위를 확대를 유발시킨다.
- ⑦ 계단실 등의 드래프트효과가 커져 상승기류에 의하여 방화문 등의 개폐 및 연기의 제어 상 장애가 일어난다.

이러한 연소상 특성을 증진을 보았을 때, 피난상의 문제점이라고 할 수 있는 면은 고층의 건축물의 용도가 다양한 용도가 되어가고 또한 불특정 다수의 사람들이 출입등으로 인해 피난로를 확실히 인지하지 못하고 있어 피난시간의 지연되어 큰 인명피해가 생길 것으로 판단된다. 이러한 이유를 비롯하여 건축물의 화재시 정상적으로 보행하여 피난하는 사람들이 있는 반면, 혼자서 피난을 실시하지 못하는 고령자나 재해약자들도 상당수 있기 때문에 이들을 위한 승강기 피난계획이 절실히 필요하며, 일반인들도 화재시 계단을 이용한 피난시 패닉현상을 비롯하여 체력적으로 상당히 힘들어지기 때문에 승강기를 이용한 피난계획이 필요하다.

3. 국외의 승강기 피난연구

3.1 미국 NIST의 승강기 피난 연구

미국은 1988년 5월 4일 22시 30분에 로스엔젤레스 다운타운에 위치한 퍼스트 인터스페이스트뱅크 빌딩화재를 계기로 승강기 피난의 연구가 시작되었다. 이 화재의 경우 12층에서 발생한 화재가 15층까지 화염전파가 되어가면서 승강기를 이용한 피난을 실시하던 피난자가 12층에 멈추어진 승강기에서 사망한 사건이다.

이에 따라 미국에서는 승강기 안전성을 확보하는 연구를 진행하면서 한편으로는 1992년 미국 NIST에서 J.H.Klote와 D.M.Alvord에 의해 ELAVAC라는 프로그램이 개발되었다. 이 모델링 프로그램의 경우 사람들이 엘리베이터를 이용하여 피난을 할 경우 소요되는 시간을 예측하기 위해 만들어졌으며, ELAVAC는 층간의 거리 피난층, 엘리베이터의

개수, 이동속도, 최대 적재인원, 엘리베이터로부터 하차하는 안전지대까지 도달하는데 소
용되는 시간, 엘리베이터의 피난개시, 이동속도, 최대적재인원, 엘리베이터로부터 하차하여
안전지대까지 도달하는데 소요되는 시간, 엘리베이터의 피난개시에 소요되는 시간, 문의
형태, 비효율성과 같은 요소들에 대한 입력을 통하여 피난에 소요되는 시간이 예측된다.
NIST에서 이용되는 전체 조건의 수식은 다음 표1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1 미국 NIST의 ELAVAC에 이용되는 구성인자

구분	내 용	구분	내 용
a	acceleration	t_s	standing time, s
J	number of elevators	t_u	time for N people to leave elevator car,
m	number of round trips	t_{uo}	time for one person to leave elevator car
N	number of people entering or leaving the elevator	V	velocity, m/s
N_{dw}	number of people entering or leaving the elevator during the dwell time	V_m	normal operating velocity, m/s
S	distance, m	$\alpha_{(알파)}$	basic transfer inefficiency
S_T	total floor to floor travel distance for trip	μ	total transfer inefficiency,
t	time, s	e	door transfer inefficiency
t_a	elevator evacuation start up time, s	τ	other transfer inefficiency
t_d	time for elevator doors to open and close	η	trip inefficiency
t_{dw}	dwell time for elevator doors, s		
t_e	evacuation time, s		
t_h	time for leveling elevator of elevator car, s		
t_i	time for N people to enter elevator car, s		
t_{io}	time for one person to enter elevator car, s		
t_o	travel time from elevator lobby to outside or to other safe location, s		
t_r	time for elevator car to make a round trip, s		

위 표1의 구성인자를 이용하여 NIST에서는 최종적인 Evacuation Time은 다음 식1과 같
이 나타내었다. 이 식으로 ELAVAC의 기초적인 틀이 되었다.

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

위 식1을 더불어 ELAVAC에서는 변수의 값에 관한 식으로 총 16개의 식을 이용하여
계산하게 되어 있다. 그러나 현재 이 프로그램의 경우는 시각화가 되어 있지 않아 현재는
DOS상에서만 계산하게 되어 있다.

3.2 일본에서의 승강기 피난 연구

일본의 경우는 1989년 8월에 발생한 29층 고층아파트 화재의 경우 피난자 123명 중에
서 29(23.6%)의 인원이 승강기로 피난을 수행하였으며, 1996년 10월 히로시마에서 발생한
20층 고층아파트 화재에서도 대피자의 47%가 승강기를 42%가 계단을 이용하여 피난한

사례가 있다. 비롯 인명피해는 많지는 않았으나, 승강기피난에 대한 피난계획이 중요시 된 사건이라고 할 수 있다. 이에 따라 일본 동경대학의 関沢교수를 중심으로 현재 승강기의 피난계획이 꾸준히 진행 중이다. 일본의 경우 독자적인 수식을 제시하였다.

$$T_{elv} = \min(T_1, T_2, T_3, \dots, T_n) \tag{2}$$

여기서, T_{elv} : 최소 EV 피난 완료 시간; n : EV의 총 대수 T_n : n의 ev의 피난완료시간

$$T_{total} = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{V_{max}}{\alpha} + \frac{\left(L - \frac{V_{max}^2}{\alpha} - \frac{V_{max}^2}{\beta} \right)}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{\beta} \tag{3}$$

여기서, L:수직이동거리; α :가속도 β : 감속도

V_{max} :최고속도 T_1 :가속시간 T_2 :정속시간 T_3 :감속시간

$$T_{str} = \frac{L_h}{V_h} + \frac{L_s}{V_s} + \max\left(\frac{P_{str}}{(N_{str} \cdot W_{str})}, \frac{P_{str}}{(N_{sit} \cdot W_{sit})} \right) \tag{4}$$

여기서, T_{str} :계단피난시간 L_h :최대수평보행거리 V_h :수평보행속도 L_s :최대수직거리 V_s :계단하강속도

P_{str} :계단피난인수 N_{str} :계단유동적수 W_{str} :유호계단폭 W_{sit} :층의 유호폭 N_{sit} :층의 유동적수

위의 식에서 2번과 3번의 경우는 승강기의 피난의 대한 식이며, 식4의 경우는 일본내에서 식2번과 식3번과 비교하기 위하여 계단을 통한 피난의 식이다. 이 식을 이용하여 일본의 경우, 식을 변형시키면서 새롭고 독자적인 식을 개발하고 있는 추세이다.

4. 향후 국내에서의 승강기를 이용한 피난계획

현재 국내의 현실적으로 피난실험은 상당히 여러 가지 변수를 가지고 있어 실질적이고 정확한 데이터를 추출하는데 한계를 지니고 있다. 따라서 시뮬레이션을 이용한 피난에 대한 연구가 대체적으로 진행중이다. 그러나 범용적으로 이용하고 있는 피난 시뮬레이션의 경우에는 승강기에 대한 부분은 표시되어 있지 않다. 따라서 현재 국내에서 피난을 연구하는 연구자의 경우는 범용적인 프로그램을 이용하여 계단의 이동시간을 승강기를 통한 피난 시간으로 추정하여 이용되고 있는 추세이다. 국내에서 승강기 효율적인 설계를 이용하는 엘리베이터 교통량과 엘리베이터의 수송능력을 이용한 식을 적용하여 새로운 체계의 피난계획이 필요할 것으로 판단된다.

$$\begin{aligned} UPPINT(\text{운행간격}) &= RTT(\text{왕복주행시간})/L(\text{EV의 대수}) \\ UPPHC(\text{수송능력}) &= (300/UPPINT) \times 0.8 \times CC(\text{정원}) \\ \%POP &= (UPPHC/\text{거주인구}) \times 100\% \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} RTT &= 2H \cdot t_v + (S+1)t_s + 2P \cdot t_p \\ int &= RTT/L \\ HC &= 300P/int \end{aligned} \tag{6}$$

여기서, H:최고탄환층(피물아오는 최고층) S:평균층고 P:평균수송속력 t_v :층간 소요시간
 t_s :정거시간 t_p :승객의 출입시간 L: 엘리베이터의 대수

현재 식5는 엘리베이터 교통량을 계산하는 수식의 일부분이다. 즉 엘리베이터 운행간격과 수송능력을 알게 되면 거기에 맞추어서 엘리베이터를 이용하여 이동할 수 있는 인구가 전체의 인원 중에서 %율로 나타낼 수 있다. 즉 여기서 식5의 경우를 이용하게 된다면 화재시 피난을 실시할 수 있는 인원은 총 거주인원 중에 몇%를 차지하는지 알 수 있는 것이다. 이러한 방법으로 볼 때 한번에 그치는 것이 아니라 왕복주행시간을 고려하여보면 거주인원 전체가 피난할 수 있도록 하게 할 경우 몇 대의 승강기가 필요한 것인지 알 수 있다. 이러한 방법으로 이용하면 승강기의 안전성이 고려되면 화재시 승강기를 이용한 피난계획 작성될 수 있다고 판단된다. 또한 식6의 경우는 평소의 승강기의 수송능력에 따라 층별로 세워질 경우의 왕복주행시간을 나타내는 식이다. 이 식 6을 이용할 경우 화재시 피난자들이 밀집되어 있는 층단 승강기가 세워질 경우의 시간을 유출할 수 있다. 이러한 경우 화재시라는 급박한 사항과 인명피해의 최소한의 목적을 지닌 피난계획의 특성상 승강기의 정지 층수를 조절하여 효율적이고 안전한 승강기피난을 실시 할 수 있다고 판단된다.

5. 결 론

초고층화가 되어가는 사회에서 현재 승강기를 이용한 피난계획은 중요시되고 있는 사항이다. 이러한 배경에서 국내외적으로는 현재 안전상 화재시 승강기 피난을 금지하고 있으나, 국외에서는 초고층화재의 특성과 초고층 건축물의 피난시 어려움을 고려하여 현재 승강기를 이용한 피난계획에 대한 연구를 진행중이다. 그러나 국내에서는 연구가 진행되고 있지 않은 현실이다. 이러한 내용을 보아 국외의 기준을 그대로 인지하는 것보다는 현재 국내에서 이용되고 있는 승강기를 고려하여 국내에 적합한 승강기를 이용한 피난계획을 수립하는 것이 중요시된다고 생각된다. 따라서 본 연구에 이어서 지속적인 연구가 진행될 것이며, 우선적으로 국외의 수식에 해당되는 구성인자를 현장 조사하여 국외의 수식을 따라서 케이스스터디하여 국외의 승강기 피난계획의 적합성을 파악하고 그 이후에 그 수식을 보완하여 국내의 수식을 작성해보고, 최종적으로 시각적으로 나타낼 수 있는 승강기를 이용한 피난 시뮬레이션을 개발하여 고층건축물에서의 피난계획에 기초자료로 이용하고자 한다.

참고문헌

1. 이성수 편저 (1995), 승강기 설계, 解題
2. 박두원, (2006), 초고층건축물에서 엘리베이터 피난의 효율성, 광운대학교 석사학위논문
3. John H. mote, Daniel M. Alwrd (1992), Routine for Analysis of the People Movement Time for Elevator Evacuation, NIST ELAVAC 매뉴얼
4. 関沢 愛의 4명(2008), 超高層住宅を対象としたエレベータ利用避難に関する研究, 日本建築学会
5. 関沢 愛의 4명(2004), エレベータ避難の利用可能性に関する研究(その1) -エレベータ避難モデルの開発-, 日本建築学会
6. 関沢 愛의 4명(2004), エレベータ避難の利用可能性に関する研究(その2) -エレベータ避難モデルの度分析-, 日本建築学会