

초고층 빌딩, 지하 복합상가의 화재 등 긴급사태에서 거주자의 피난을 위한 승강기와 에스컬레이터 사용의 효과

The effects of using passenger lifts and escalators for the evacuation of building occupants in fire and other emergencies in high rise building and underground complexes

D A Charters 의

□ 소개

2001년 9월 11일의 테러사건은 피난은 계단을 통해서만 이뤄져야 한다는 고정관념과 피난의 단계적 계획이 모든 경우에 가능하다는 고정관념에 의문을 품게 하였다. 고층빌딩과 지하 역사, 지하 복합상가 등의 다양한 건축 환경에서는 적절한 사용조건이 갖춰진다면 승강기와 에스컬레이터를 이용한 피난이 매우 효율적이며, 화재진압과 구조대의 접근에도 도움이 된다고 인식되고 있다.

일부 연구자료에서는 초고층 빌딩에서 승강기를 사용하는 경우 피난시간이 개선되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 고층빌딩이나 지하 복합상가와 같은 복잡한 공간에서는 피난이 진행되는 동안에 진압활동을 위하여 소방대가 개입할 수 있다. 소방대는 인명구조 활동뿐만 아니라, 남아 있는 거주자의 피난활동과 사고 상황을 조정하는 상호 조율의 역할을 담당할 수 있다.

위원회와 관할행정기관의 의뢰로 BRE(영국건물연구소, Building Research Establishment)의 과학자와 기술진은 초고층 빌딩과 지하 복합상가의 화재 등의 위급상황에서 거주자들의 피난을 위한 승강기와 에스컬레이터 이용의 효과를 입증하기 위하여, 본 연구를 진행하였다.

□ 목적

이 연구의 세부적인 목적은 다음과 같다.

1. 초고층 빌딩과 지하 복합상가 등의 건축환경에서 승강기와 에스컬레이터의 현재 운영 방법을 확인한다.
2. 고층빌딩과 지하 복합상가의 다양한 장소에 설치된 승강기와 에스컬레이터를 이용한 긴급 구조 활동의 필요성과 이것이 피난과 얼마나 상호작용 또는 상충하는지를 검토한다.
3. 화재 또는 다른 긴급 상황에 대한 시나리오와 거주자의 이동/피난에 관한 전략적 대응 등 다양한 사례에 대하여 세부적인 연구를 시행한다.
4. 위에 정의된 긴급 상황 하에서 계단, 승강기, 에스컬레이터를 이용한 다양한 피난형태

모델을 만들고 활용한다.

5. 사람들이 안전한 장소로 피난하거나 소방대가 긴급구조 활동으로 사고현장으로 접근하기 위하여 승강기와 에스컬레이터를 사용하는 데 있어, 추가적인 설계 및 운영 관련사항을 파악한다.

□ 현재의 운용 방법

긴급 피난 상황에서의 에스컬레이터 사용(피난 상황에 맞게 역운행되는 경우 등)이 고려되고 있다. 에스컬레이터를 사용하는 동안의 방화구획 성능의 유지 관점에서 평가가 이루어졌고, 현재의 운영시스템에 대한 검토를 통하여 아래와 같이 유용한 결과들이 나왔다.

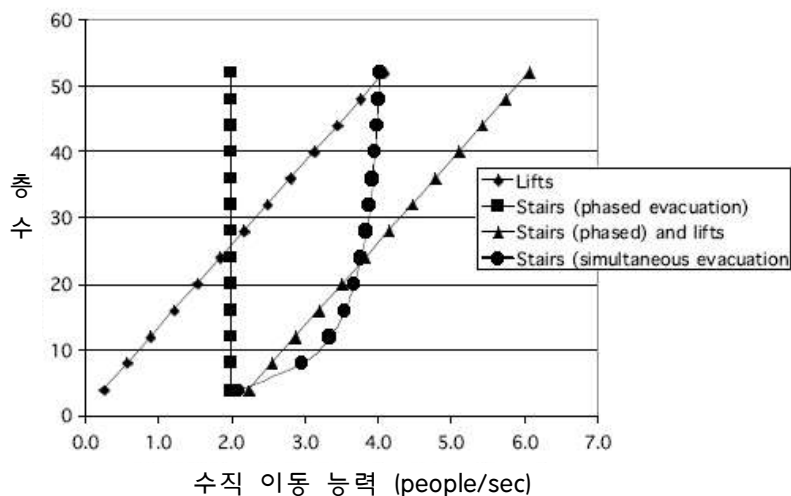
- 지하역사나 병원과 같은 건물에서는 이미 피난전략의 한 방편으로 승강기와 에스컬레이터를 이용하고 있다. 대표적인 사례로 세계무역센터(WTC) 빌딩에서는 엘리베이터가 피난의 주요 방법으로 사용되었다. 2대의 비행기가 세계무역센터에 충돌하는 사이의 16분 동안 세계무역센터Ⅱ(WTCⅡ) 생존자의 27%가 엘리베이터로 탈출하였다.
- 초고층 빌딩에서 승강기를 사용한 피난은 상당한 시간의 절약(약 30% 정도)을 가져다 주었다.
- 건물에서 승강기를 사용한 피난은 유용하면서도 한편으론 기술적인 과제를 안고 있다.
- 승강기를 사용한 피난은 상당한 장점을 지니는데, 이는 각 빌딩과 긴급 피난 시스템에 따라 다를 수 있다. 그 몇가지 이점은 다음과 같다.
 - 건물 탈출 예상 시간을 줄일 수 있다.
 - 신체장애 또는 거동불편자들도 그들이 건물에 들어왔던 방법과 같은 방법으로 건물을 빠져나올 수 있다.
 - 소방대가 거주자를 구출하는데 승강기를 사용할 수 있다.
 - 소방대가 화재 진압을 위한 대원과 장비를 투입하는데 승강기를 사용할 수 있다.
- 피난시간의 단축은 고층빌딩에서 보다 큰 이점으로 작용한다.
- 승강기를 사용한 피난에는 승강기 로비에 있는 사람들과 통제센터 관리자 간 양방향 통신이 있어야 한다.
- 승강기 피난을 위하여 통제센터 관리자에게는 전문적인 교육이 필요하다.
- 승강기 피난은 자동 또는 수동으로 조작이 가능하지만, 어떠한 방법이 가장 좋은 방법인지는 명확하지 않다. 자동 운전은 피난이 시작되기 전에 승강기에 운전자가 있지 않아도 되는 시간상의 장점이 있고, 수동 조작은 자동으로 조정되는 프로그램에서는 예상할 수 없는 상황에 대하여 조정이 가능하다는 장점이 있다. 각 현장의 상황에 따라 그 적합성은 달라질 수 있다.
- 지상층의 로비는 사람들이 건물에서 피난하는 동안 승강기에서 빠져나오는 사람들을 충분히 수용할 만큼의 공간을 갖추어야 한다.

- 승강기 통로 내 엘리베이터 장비의 기능에 손상을 줄 수 있는 수손 가능성은 매우 중대한 문제이다. 그러나 바닥 배수구, 경사바닥, 그리고 방수 처리된 엘리베이터 부품 등이 그 해결책이 될 수 있다.

기타 많은 다른 유용한 정보들이 문헌에 망라되어 있다.

□ 단순 피난 분석

이번 장에서는 단순 피난 분석으로 승강기나 에스컬레이터를 이용할 것인지 말것인지를 어떻게 결정하는가 보여준다. 예를 들어, [그림 1]은 오피스 빌딩에서 동일한 풋프린트를 사용하여 계단과 승강기의 수직 이동 능력의 차이를 보여주고 있다. 중층 또는 저층의 오피스 빌딩에서의 피난은 계단을 이용하는 것이 승강기를 이용한 것보다 상대적으로 더 높은 수직 이동 능력을 보여준다. 고층빌딩에서는 승강기 이동이 높은 수직이동능력을 보여주며, 승강기와 계단을 함께 이용하는 경우 잠재적으로 높은 수직 이동 능력을 나타낸다.



[그림 1] 오피스 빌딩에서 층수에 따른 수직 이동 능력 관계

대략적인 계산으로 승강기를 사용한 사람들이 얼마나 빨리 피난할 수 있는지를 평가해 볼 수 있다. 승강기로 사람을 N 명을 태우고, $v \text{ m.s}^{-1}$ 의 속도로 바닥으로부터 $H \text{ m}$ 높이에서 이동한다고 가정한다. 문이 열리고 닫히는데 t 초가 걸리고, 사람 한명이 들어가고 문이 열려 나오는데 대략 1초가 걸린다. 승강기를 이용하여 왕복하는데 걸리는 시간은 승하차를 포함하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

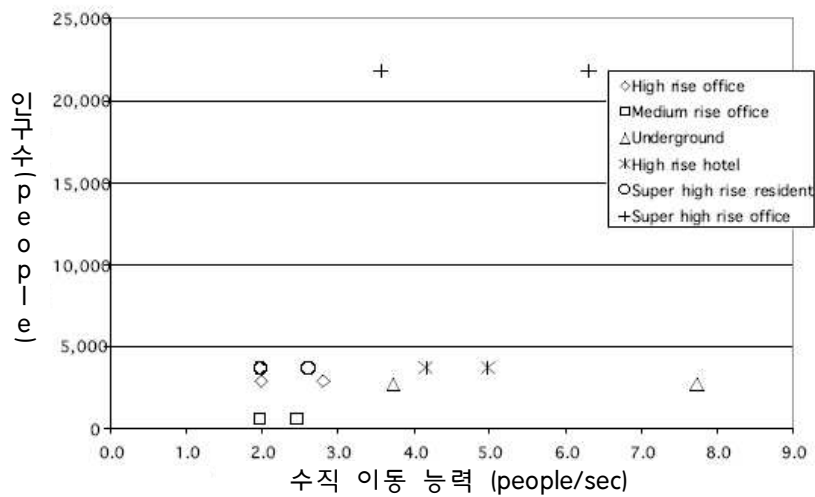
$$t_{RT} = 2\left(\frac{H}{v} + t + N\right)$$

따라서, 대피자의 속도는 N/t_{RT} 가 된다. 가령 $H = 30 \text{ m}$, $v = 1.5 \text{ m.s}^{-1}$, $t = 4\text{s}$, $N = 12$ 명이라면, t_{RT} 는 68초, 또는 $\sim 0.2 \text{ people.s}^{-1}$ 속도를 가질 것이다. (이것은 일반적인 값이며,

어떠한 특정 승강기를 표현한 것이 아님)

이것은 일반적인 건강한 사람이 계단을 이용한 속도보다는 느리다.(계단을 이용할 때의 이동속도는 다소 느리나, 피난 용량이 훨씬 더 크고 연속적인 이동이 가능함.) 그러나, 승강기를 이용하는 것은 계단을 이용한 피난에 추가적인 피난 수단이다. 또한, 이동능력에 장애가 있는 사람은 계단을 이용하는 경우 승강기를 이용하는 경우보다 훨씬 느려지게 되고, 고층빌딩에서는 계단 피난시 피로의 문제가 있다.

승강기 또는 에스컬레이터를 이용한 긴급 피난을 평가하는 또다른 유용한 수단은 인구수에 따른 수직 이동 능력이다. (그림2 참조)



[그림 2] 인구수에 따른 수직 이동 능력과 관계

[그림 2]는 여러 형태의 빌딩에서 인구수와 수직 이동 능력(수용량, 정원)에서의 차이가 있음을 보여준다. 다음과 같이 몇가지 타입을 볼 수 있다.

1. 낮은 인구수/높은 수직이동 능력. 예) 저층 오피스 빌딩
2. 높은 인구수/높은 수직이동 능력. 예) 지하역사와 쇼핑센터(쇼핑센터의 수직 이동 능력은 너무 높아서 이 그래프에서는 미표시됨)
3. 높은 인구수/낮은 수직이동 능력. 예) 초고층 오피스 빌딩

이러한 수직 이동 시간의 측정은 승강기나 에스컬레이터를 이용한 피난 시 잠재적 효용이 가장 클 수 있는 측면을 보여준다. 이러한 측정은 시험을 위한 것이었으며, 아래 사항은 포함되어 있지 않다.

- 이동 전 상황
- 수평적인 피난
- 장애인 또는 이동능력이 저하된 거주자
- 개인별 특성
- 계단, 승강기, 에스컬레이터의 성능 (즉, 적정 수준의 디자인 설계로 분석한 것임)

그러므로 발견된 사실을 확증하고 주요 변수에 대한 깊은 통찰을 얻기 위해 더욱 복잡한 피난모델링이 사용되었다.

□ 피난 상세 분석

긴급 피난을 위한 승강기와 에스컬레이터 이용의 장점을 평가하고 내재된 문제점을 통찰하기 위하여, CRSIP 위험평가와 피난 모델을 사용한 개별 피난 분석이 이루어져야 한다.

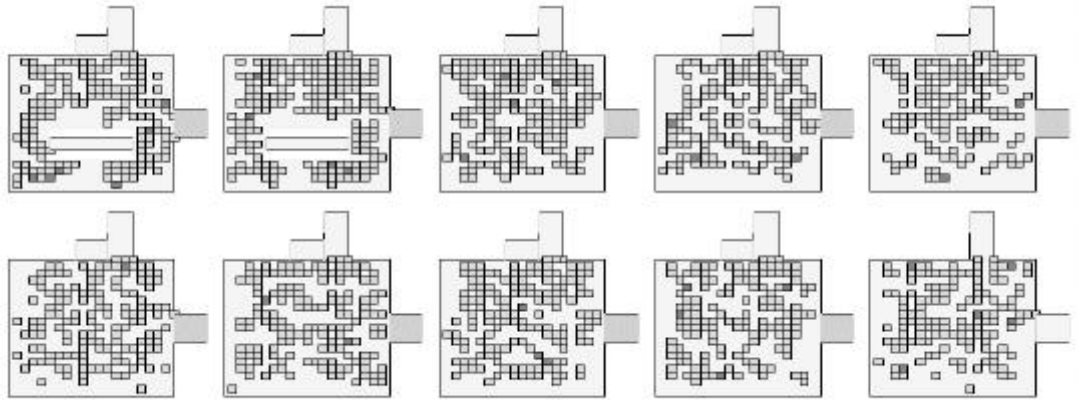
모델링을 진행할 때 고려되어야 할 몇가지 추가적인 지표는 다음과 같다.

- 승강기와 에스컬레이터의 움직임. 예) 자동·수동 모드
- 안전 시스템의 효과. 예) 승강기의 과적에 대한 안전
- 인간 행동 형태. 예) 군집 구성과 대기시간
- 탈출하는 동안에 상황 변화를 포함한 피난 루트 선택
- 신체장애자의 피난
- 피로의 영향(이동성 저하)
- 긴급 운영 절차 등
- 피난전략. 예) 단계별 피난, 동시 피난, 대피소 피난 등

다섯 가지의 빌딩 타입

- 초고층 오피스 빌딩
- 중층 오피스 빌딩
- 초고층 호텔
- 쇼핑센터 등
- 지하역사

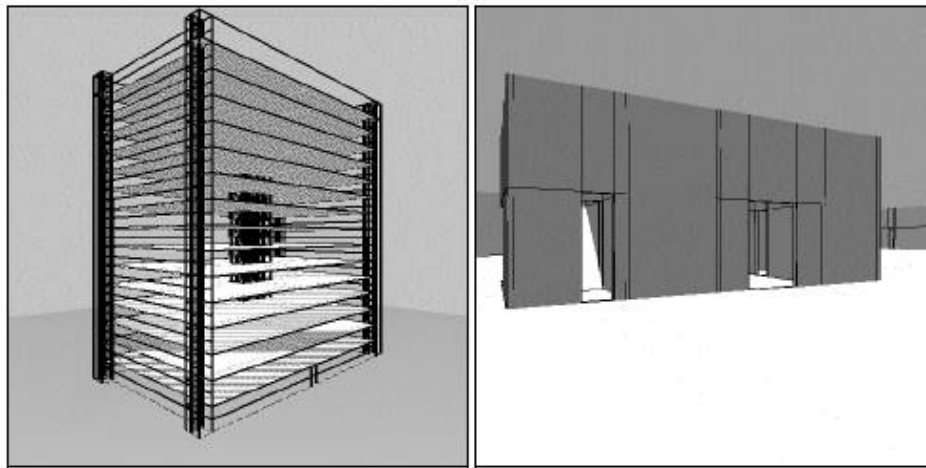
[그림 3]은 10층 높이 오피스 빌딩의 레이아웃을 보여주고 있다.



[그림 3] 10층 높이 오피스 빌딩의 레이아웃

빌딩의 한 구역에서 수직 피난 시간과 수직 이동 능력(수용량)을 평가하기 위해서 간단한 방법과 복잡한 방법을 모두 사용하여 다양한 시나리오를 설계하였다. 긴급 피난을 위하여 승강기를 사용하는 행태적 측면 또한 반영되었다.

[그림 4]는 16층 높이 오피스 빌딩의 3D 조감도를 보여주고 있다.



[그림 4] 초고층 빌딩의 3D 조감도와 센터코어의 세부 상세도

16층 오피스 빌딩에서의 기본 시나리오는 다음과 같다.

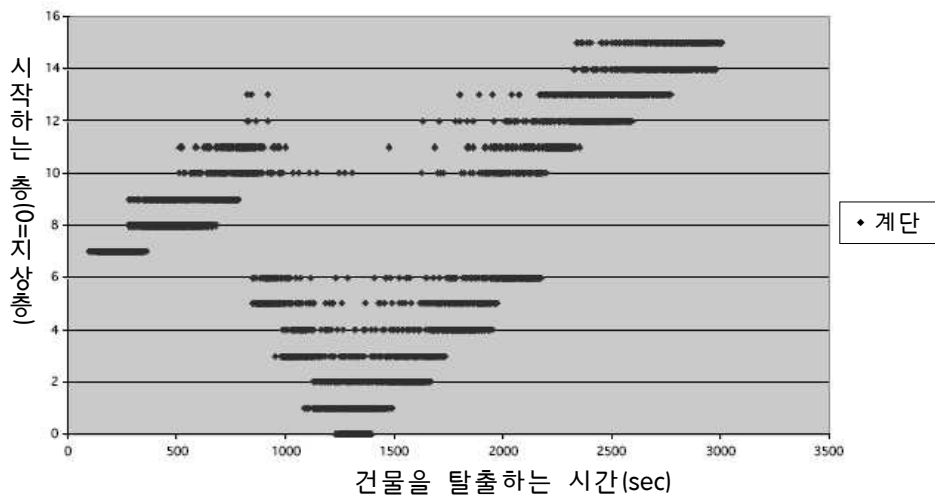
- 빌딩 안에 있는 사람 수 : 3,200 명 (10 m²/명 기준)
- 시나리오 : 8층에서 화재 발생
- 단계별 피난 : 150초 간격으로 피난단계 변화
- 승강기 운전 모드 : 승강기는 호출된 최상층에서 멈추고, 사람을 더 태우지 않고 직행으로 지상까지 내려간다. 승강기를 이용하는 데는 아무런 제한이 없다.(예를 들어, 신체장애를 가진 사람도 이용 가능)

두 가지 시나리오의 분석 결과는 다음과 같다.

1. 오로지 계단만을 이용한 단계적 피난 [그림 5]
2. 거주자들이 승강기 계단을 이용할 수 있는 상황에서의 피난 [그림 6]

이들 시나리오들을 통해서 이러한 분석이 건물 설계자, 건물주 그리고 관리자에게 제공할 수 있는 세부적인 통찰을 예증하고 있다.

피난시간, 시작 위치와 고층 오피스빌딩 간의 상관관계



[그림 5] 건물 내 각 거주자가 탈출하는 시간, 그들이 시작하는 위치(층), 계단 또는 승강기의 이용 유무 사이의 상관관계

[그림 5]의 경우를 살펴보면, 승강기를 이용하지 않으므로 오로지 중앙부의 계단만 이용할 수 있다. 거주자들은 승강기를 이용하려고 시간을 낭비하지 않고 즉시 계단을 선택한다. 첫 번째 단계에서 오직 한 층(7층)만 관련되기 때문에, 초기 피난에서는 아래층에서 피난 행렬이 합쳐짐에 따라 발생할 수 있는 피난 지연은 나타나지 않는다. 두 번째 단계에서는 미세한 영향이 발생한다. 8층이나 9층에서 첫 번째 사람이 빌딩을 탈출한 후에 7층에서 마지막 사람이 떠날 수 있음을 주지해야 한다. 단순히 두 배의 사람이 연관되는 이유로 인해 두 번째 단계는 첫 번째보다 시간이 조금 더 소요된다.

5,6층에서 피난하는 단계는 $t=750s$ 인 시점에 시작된다. 6층 이상의 계단은 더 높은 층에서 탈출하려는 사람들로 가득 차있다. 이 사람들은 한층씩 내려올 때마다 합쳐지는 흐름에 의해 심각하게 방해받는다. 일단 합류하는 흐름이 일정해지면 더 낮은 층에서 나온 사람들은 더 높은 층에서 나온 사람들보다 먼저 건물을 빠져나갈 것이다. 결국 계단만 이용했을 때의 탈출 시간은 대략 3,000초 혹은 50분이 소요된다.

피난시간, 시작 위치, 고층 오피스 빌딩 간의 상관관계, 기준점

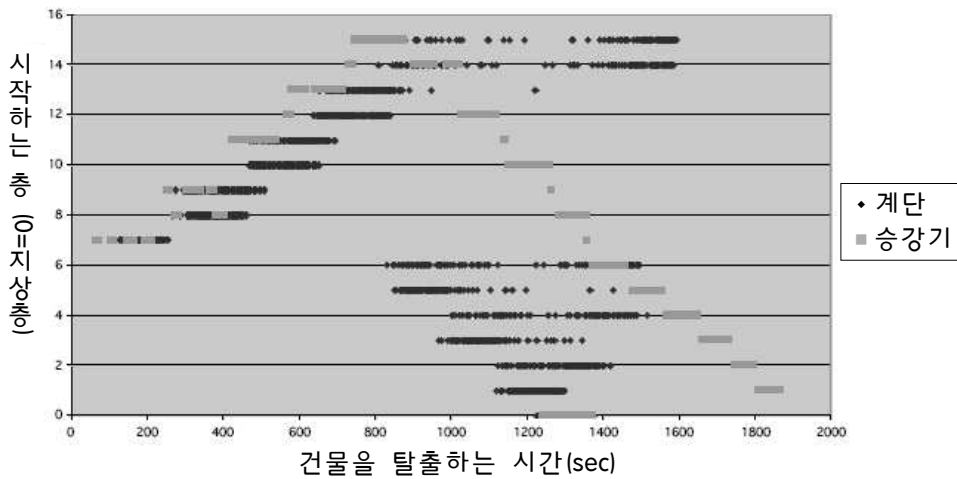


그림 6) 건물 내 각 거주자가 탈출하는 시간, 그들이 시작하는 위치(층), 계단 또는 승강기의 이용 유무 사이의 상관관계

[그림 6]에서 보듯이, 승강기와 계단을 동시에 이용할 때 전반적인 탈출시간이 대략 1,900초 혹은 32분으로 훨씬 짧아진다. 계단만을 이용하여 탈출하는 것과 비교할 때 피난시간이 37% 정도 줄어들었다.

각 층에서 피난이 끝나는 시간은 시작 시간과 똑같은 순서를 따르지 않는다. 또한 피난이 끝나는 최초의 층은 14층이며, 탈출을 시작한 후 13.7분이 소요된다. 그 이유는 각 피난 단계에 다음 피난 단계가 자동적으로 시작되기까지 2.5분(150초)이 주어졌기 때문이다. 이런 불충분한 시간으로 각 층에 낙오자들이 남게 되고, 결과적으로 각 층이 완전히 비워지는데 오랜 시간이 소요된다.

각 층에서 피난시간에 대한 사람의 수를 나타내는 그래프는 많은 점을 시사한다. 피난을 시작하는 첫 번째 층(8층)에서는 소수의 낙오자만이 다음 단계가 시작되기 전에 남겨진다. 두 번째 단계(9층과 10층)에서는 탈출한 사람들의 수에 상당한 불일치가 나타난다. 9층은 세 번째 단계가 시작하기 전에 거의 비워졌지만, 8층은 상당히 많은 사람들이 남아 있게 된다.

이것은 승강기는 호출된 층 중에서 최상층으로 가도록 되어 있는 승강기 운영방식의 결과이다. 더욱이 여러 대의 승강기가 있는 곳에서는(센터 코어에 6개의 승강기가 있는 경우와 같이) 모든 승강기가 동시에 호출된 최상층으로 갈 것이다. 이로 인하여 각 층의 피난에 있어서, 더 높은 곳에서 승강기를 기다리는 사람이 있는 한, 아래층에서는 승강기를 호출할 수 없는 것이다.

건물을 빠져나가기 위한 시작위치, 피난방법, 그리고 각 피난시간 간의 상관관계는 첫 번째 방법에 비해 다소 복잡하다. 우선 계단을 이용하는 사람들을 고려해보자. 피난 초기 단계에서는 사람들은 현재의 층을 떠나 다른 사람들의 방해 없이 계단을 이용할 수 있다. 그

러나 다섯 번째 단계(14층, 15층의 피난)에서 난관에 직면하게 된다. 왜냐하면, 그들이 6층으로 내려올 때쯤엔 저층부에서 나온 사람들에 의해 막히게 되기 때문이다. 이것은 다음 단계가 시작되기 전 각 단계가 완결되도록 과정을 조정하는 것이 아니라, 각 피난 단계의 시간간격이 고정되어 있기 때문이다.

후반의 모든 단계는 현재의 단계가 완결되기 전에 다음 단계가 시작함으로써 발생하는 방해로 다양한 영향을 받는다. 계단에 있는 사람들은 뺑뺑한 행렬을 만든다. 그래서 우리는 각 층에서 행렬로 합류하는 사람들과 위층 계단에서 내려오는 사람들에 대하여 50:50의 병합율을 가정했다. 결국, 저층부에서 계단으로 합류한 사람들은 더 높은 층에서 합류한 사람들보다 훨씬 더 빠져나가기 쉽다.

승강기 사용을 선택한 사람들은 다음 단계가 시작하기 전 모든 사람이 현재 단계를 빠져나가기에는 시간이 부족하다. 승강기는 최상층에 우선순위가 주어지기 때문에 그들이 있는 층이 다시 우선순위를 얻을 때까지 기다리는 소수의 낙오자들이 항상 존재한다. 일단 최상층(15층)의 사람들이 빠져나가면 승강기는 내려가는 순서로 다음 낮은 층으로 우선순위가 부여된다. 승강기가 피난시켜야 할 사람들이 14층, 13층...7층까지 순서대로 존재한다는 것은 6층에 있는 사람들에게 있어, 계단을 선택한 첫 번째 사람과 비교해 볼 때 승강기를 선택한 사람은 대략 10분(1400초 - 800초 = 600초)의 지연이 있는 것을 의미한다.

이 연구를 위하여 100개 이상의 다른 형태의 건물에서 피난모델을 분석하였다.

□ 추가적인 디자인 형상과 운영 수단

이 분석은 피난용으로 승강기를 사용하는 것과 관련하여 세부적인 규정을 만드는 것이 적절치 않다는 것을 의미한다. 따라서 이 연구는 빌딩에서 긴급 피난을 위한 승강기나 에스컬레이터 사용의 허용에 대하여 화재공학적 측면에서의 접근을 제안한다.

긴급 피난을 위한 승강기나 에스컬레이터의 사용을 허용하는 중요한 범위의 화재 예방책은 다음과 같다.

- 건물의 구획
- 승강기와 계단의 위치(분리 또는 연결된)
- 승강기 승강장의 보호
- 승강기시스템
- 통신시스템
- (승강기 샤프트의) 구획화
- 환기(가압)
- 이중전원공급
- 긴급피난 모드

- 승강기에 갇힌 사람들의 탈출수단
- 승강기 작동과 승강기 샤프트에 대한 모니터링 방법
- 구조(내화성능, 강도)
- 건물 커뮤니케이션 시스템(VA/PA : 안내방송 또는 알람)
- 화재(또는 다른 긴급 상황) 탐지·경보 시스템(화재의 원인과 영향)
- CCTV

세부적인 분석에서는 건물 피난 전략을 수립할 때 다양한 접근법의 장·단점을 고려하여 어떤 요인이 특히 강조되어야 하는지를 보여준다. 긴급 상황에 대한 대비책은 각 건물 특유의 상황에 좌우된다는 것을 주지해야 한다.

□ 결론

연구의 주된 결과는 다음과 같다.

- 지금까지 검토된 건물의 형태에서(중,고층의 오피스 빌딩, 지하역사, 쇼핑센터, 고층 호텔) 특히 신체장애를 가진 사람들의 경우, 승강기나 에스컬레이터를 이용한 피난의 잠재적인 이점의 범위와 특성을 파악하였다.
- 수직적 피난 이동시간의 분석은 건물의 형태에 따라 다르긴 하지만 대부분의 건물에서 승강기와 에스컬레이터가 피난용으로 사용되는 경우, 피난시간이 잠재적으로 감소될 수 있음을 나타낸다.
- 긴급 피난을 위하여 승강기나 에스컬레이터를 사용할 때 적용될 수 있는 추가적인 설계사항과 운영대책이 광범위하게 존재한다.
- 긴급 피난을 위한 승강기나 에스컬레이터의 사용에 있어 인간공학적 고려사항
- 긴급 피난을 위해 사용될 승강기나 에스컬레이터에 대한 화재안전 운영사항

출처 : 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods (SFPE, 2008.4.16-18)

번역 : 업무진단팀 문상훈