

대형할인매장의 화재시 피난에 관한 연구

의상준, 이수경, 김운형*, 이재성**

서울산업대학교 안전공학과, 경민대학 소방안전관리과*, (주) 금호건설**

A Study on the Evacuation of People on Fire in Shopping Mall

Sang-joon Lee, Su-Kyung Lee, Woon Hyung Kim*, Jae-Sung Lee**

Dept. of Safety Eng., Seoul National Univ. of Technology. Dept. of Fire Safety
Management, Kyung Min College, Korea*. Kum-Ho Construction Co. Ltd**

1. 서론

이 논문의 목적은 현재 전세계적으로 발표된 피난 모델 중 가장 인지도가 높은 Exodus를 실제 대상에 적용하고 그 이론을 비교해 봄으로써 지금 현재 국내의 피난 모델에 대해서 적용성을 밝히고자 하였으며 인구 밀집도가 높은 국내 대형 할인매장을 대상으로 피난시간을 예측한다. 또 EXODUS를 이용하여 피난현상을 파악하여 재실자의 피난에 대한 고려가 건축설계상에서 필요하다는 사항을 제시하고자 한다.

2. 피난에 관련된 일반적인 이론과 특성

피난은 화재 등 비상시에 보다 안전한 장소로 피하는 행위이다. 건축의 방화·피난 등에 관한 방재 계획은 법령으로 규정된 시설을 계획하는데 그치지 않고 도처에서 발생하는 화재를 예상하여 발화실·비발화실에서의 대피, 발화층·비발화층에서의 물러남, 발화 건축물에서의 일련의 피난 계획을 입안하고 그 안전성을 검토해야 한다.

피난행동에 대한 구체적인 시설계획은 화재실에서 피난로로의 피난, 층 전체에서 피난계단으로의 피난, 피난층으로의 피난, 그리고 해당 건축물에서의 피난 시설등이다.

2.1 화재시 피난행동의 특성

- 1) 피난의 속도
인간의 보행속도는 보행자의 능력, 보행자의 밀도, 보행경로의 길이, 보행경로의 환경
- 2) 피난의 심리
화재시에는 생각지도 않은 부적응 행동, 초조함과, 긴장상태, 심리적 패닉(Panic).
- 3) 피난개시시간
피난개시시간은 건물에 있는 사람이 화재발생을 인지하기까지의 시간과, 인지하고 도망가기 시작하기까지의 시간을 합계한 것.
- 4) 피난경로의 선택
어느 쪽으로 피난할 것인가 판단하여 대피함.

5) 피난행동의 본능

(1) 피난적인 본능

- ① 귀소성
원래 왔던 길을 더듬어 피하려는 경향을 말한다.
- ② 일상동선 지향성
일상적으로 사용하고 있는 계단, 익숙한 경로를 사용해 피하려는 경향을 말한다.
- ③ 향광성
밝은 경향을 향해서 피하는 경향을 말한다.
- ④ 향개방성
향광성과 유사한 특성으로 열려진 느낌이 드는 방향으로 피하려는 경향을 말한다.
- ⑤ 일시경로 선택성
처음에 눈에 들어온 경로, 또는 눈에 띄기 쉬운 계단을 향하는 경향을 말한다.
- ⑥ 지근거리 선택성
가장 가까운 계단을 선택하는 경향과 책상을 타고 넘어도 가까운 거리를 선택하려는 경향을 보인다.
- ⑦ 직진성
정면의 계단과 통로를 선택하거나 막다른 곳이 나올 때까지 직진하는 경향이다.
- ⑧ 본능적 위험회피성
불꽃과 연기에서 멀어지려는 경향이다.
- ⑨ 이성적 안전지향성
안전하다고 생각한 경로로 향하는 경향을 말한다.
- ⑩ 부화 뇌동성
대부분의 사람이 도망가는 방향을 쫓아가는 경향이다. 여러 개의 출구가 있어도 한 개의 출구로 수많은 사람이 몰리는 현상은 이것으로 설명할 수 있다.

3. EXODUS 모델

EXODUS는 Greenwich 대학의 소방 안전 엔지니어링 그룹에 의해 개발되어졌다. 건물도면은 CAD로 작성된 dxf file로 읽히며 피난 경로는 0.5×0.5m 크기의 node가 도면에 그려지면 그 안에 만들어진 사람들이 Distant Map을 사용하여 각 위치에서의 최단거리 또는 미리 지정된 피난구까지의 거리를 계산하게 된다. EXODUS 모델의 설계특징 5가지 하위모델로 구성되어 있다.

- Movement Submodel(움직임) : 각 지역(자유공간, 의자, 계단)에 따른 거주자들의 물리적인 움직임을 선택(travel speed결정)하여 각각의 피난 시간을 계산해줌.
- Hazard Submodel(위험요소) : 공기(CO₂, CO, HCN등의 증가와 O₂의 감소), Heat, smoke, 물리적 환경(비상구의 개방시간)을 조절.
- Toxicity Submodel(독성) : 유독가스, 자극가스등의 요소 조절.
- Behaviour Submodel(행동) : 1. Global Behaviour - 거주자가 가장 가까운 출구로 피난함. 2. Local Behaviour - 거주자가 친숙한 곳으로 이동.
- Occupant Submodel(재실자) : 성별, 연령, 빠른 걸음 속도, 걸음 속도, 반응 시간, 민첩성 등등의 다양한 요소들을 선택

4. 대상선정 및 시나리오 구성

- 대상 : 서울에 위치한 대형 할인 매장(연면적 : 30,528㎡, 용도 : 주상 복합건물)
- 인원 : 대상으로 선정된 대형 할인마트의 인구는 총 1815명으로 설정하여 시뮬레이션하였다. 층당 363명이 고르게 분포되어 있다고 보고 성별에 따른 분포는 NFPA 101 Code에서 규정된 것을 참고로 다음 Table과 같이 입력하였다.

Table 1. Different Type of Occupants in Evacuation

사람들의 유형	평균%(명수)	남자%(명수)	여자%(명수)	어린이%(명수)
쇼핑객	30%(109명)	20%(73명)	30%(109명)	20%(72명)

(1층당 분포)

매장인 1~5층을 기준으로 5층에 화재가 났다고 가정하여 피난시킴.

5. 수계산에 의한 피난시간 예측

5.1 피난시간의 평가

피난계산에서 평가할 피난시간은 아래의 3종류이다.

- 1) 거실피난시간(T_1) : 화재가 발생한 경우에 그 거실의 전원이 옥외로 피난을 완료하기까지의 시간
- 2) 복도피난시간(T_2) : 복도 등 제 1차 안전구획에서 그 부분을 피난자가 이용하고 있는 시간대의 길이, 즉 그 층의 복도에 최초의 피난자가 들어온 뒤, 최후의 피난자가 계단실 또는 부속실로 피하기까지의 시간으로 각 계단으로 피난 경로마다 평가한다.
- 3) 층 피난시간(T_f) : 화재가 발생한 때부터 최후의 피난자가 계단실 또는 부속실로 피하기까지의 시간으로, 각 계단으로의 피난경로마다 평가한다.

5.2 피난 대상인수의 산정

우선 전관의 피난 대상인수를 각 층마다 구한다. 피난 대상인수는 원칙적으로 아래의 표의 산정기준 밀도에 각 실의 면적을 곱해 산출한다.

Table 2. Density of Popularation for Evacuation Calculation

건축용도	대상부분	인구밀도 (인/㎡)	비 고
백화점, 슈퍼마켓, 상업빌딩 등	매장	0.5	에스컬레이터 부분과 통로를 포함, <u>매장의 유효부분 전체에 대한 밀도</u> 주방에 대해서는 호텔에 준한다.
	연속식 점포상태 부분		
	음식점	0.7	
	매장	0.5	
	통로	0.25	
	집회장	1.5	

5층을 대상으로 하여 계산에 편리하도록 구획을 정하고 Fig. 1의 그림과 같이 발화지점을 Zone 2에 정하였다.

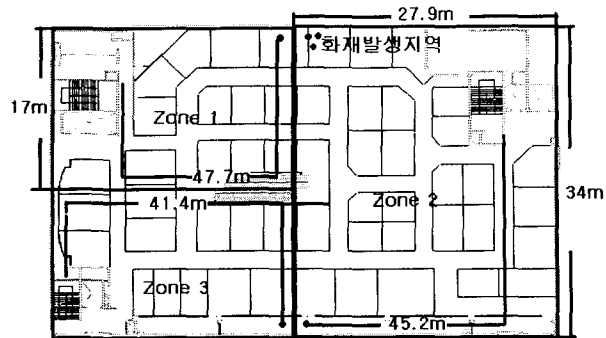


Fig. 1. Shape of Fifth Floor by Compartment

5.3 피난개시시간

Zone 1(비발화실) : $Zone_1 T_0 = 2\sqrt{474} = 43.54초 \rightarrow$ 비발화실이므로 피난개시 시간은 2배 = 87초
 Zone 2(발화실) : $Zone_2 T_0 = 2\sqrt{949} = 62초$
 Zone 3(비발화실) : $Zone_3 T_0 = 2\sqrt{474} = 43.54초 \rightarrow$ 비발화실이므로 피난개시 시간은 2배 = 87초

Table. 3. Evacuation Assessment for Fifth Floor

계산항목		Zone 1	Zone 2	Zone 3
거실(층)				
	거실면적 A_1 (m^2)	$474(27.9 \times 17)m^2$	$949(27.9 \times 34)m^2$	$474(27.9 \times 17)m^2$
	거실인구밀도($인/m^2$)	0.5	0.5	0.5
	피난대상인원 N_1 (명)	237명	475명	273명
	피난개시시간	88초(비발화층)	62초(발화층)	88초(비발화층)
	거실문 폭의 합계	$1.8(0.9 \times 2)m$	0.9m	$1.8(0.9 \times 2)m$
	피난문 폭의 합계 $\sum B_1$	1.8m	0.9m	1.8m
거실피난시간	문의 통과시간 T_{11}	$237/(1.5 \times 1.8) = 88초$	$475/(1.5 \times 0.9) = 352초$	$237/(1.5 \times 1.8) = 88초$
	보행시간 T_{12}	$(1.5+24+8.7)/1.0 = 48초$	$(25+20.3)/1.0 = 45.2초$	$(15+24+2.4)/1.0 = 51.4초$
	거실 허용피난시간 $t_{T1} = 2\sqrt{A_1}$	$2\sqrt{474} = 44초$	$2\sqrt{949} = 62초$	$2\sqrt{474} = 44초$
	층 허용피난시간 $t_{T1} = 8\sqrt{A}$	$8\sqrt{474} = 174초$	$8\sqrt{949} = 246초$	$8\sqrt{474} = 174초$

5.4 각 Zone에서의 유출시간

Zone 1에서는 : $Zone_1 T_1 = \frac{237}{1.5 \times 1.8} = 88초$
 Zone 2에서는 : $Zone_2 T_1 = \frac{474}{1.5 \times 0.9} = 351초$
 Zone 3에서는 : $Zone_3 T_1 = \frac{237}{1.5 \times 1.8} = 88초$

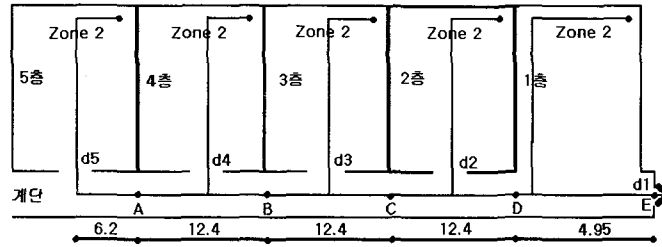


Fig. 2. Flow-gram of Evacuation on stairs

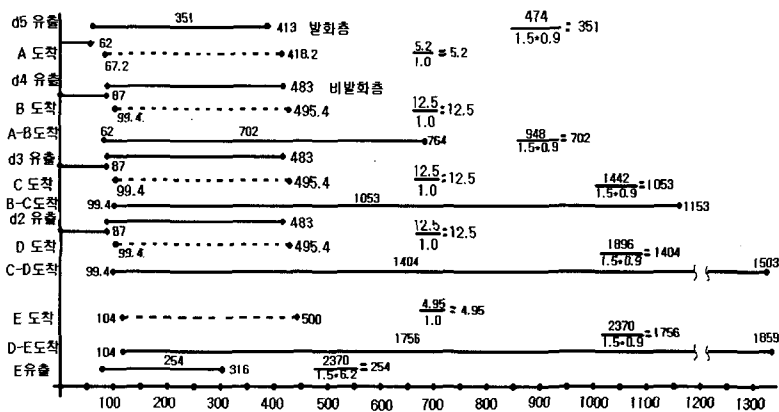


Fig. 3. Total Evacuation Time (by Calculation)

Fig. 3.에서 보는 것과 같이 5층의 재실자가 1층에 출입문 밖에까지 나오는데 시간은 약 1859초 정도 걸리는 것으로 계산되었다.

6. 시뮬레이션 수행 및 결과

- 1) 인구표시
남자는 청록색으로 표시하였고, 여자는 적색, 어린이는 노란색과 회색으로 구분하여 나타내었다.
- 2) Door에서의 피난자 방출률
Door에서의 방출률은 1.33(Occ/m/sec)로 설정하고 $\pm 10\%$ 의 여유를 주었다.
- 3) 경보시간
서로 다른 종류의 경보 체계, 설비의 고장, 인간특성상 화재를 확인하지 못하면 불신하는 습성, 등의 요소가 있기 때문에 0~30초 정도의 범위를 보정하여 사람간의 특성을 고려하였다.
- 4) Node 수
한 개의 층당 EXODUS에서 피난할 수 있는 경로를 나타내는 Node의 수는 2594개로 설정되었으며 Node는 서로 Arc로 연결되어 있다. 2~5층에도 fig.와 같은 방법으로 Node를 배치시켰다.
- 5) 피난로에 대한 입력
EXODUS는 재실자는 피난을 실시하기 전에 가장 가까운 출입구를 찾아 설정하도록 고안되어 있기 때문에 모든 사람들은 가장 가까운 각도, 거리등에 따

라서 비상구 쪽으로 향하도록 되어있다.

6) 보행속도

성인을 기준으로 하여 나타낸 속도는 최고일 때 1.5m/sec이고 최저일 때는 1.2m/sec로 설정하였다.

시뮬레이션 결과

- 총 피난 시간 : 1000초(최초 - 4초)
- Door 1 : 501명, Door 2 : 1015명, Door 3 : 299명이 나옴
- 정체구간 : 피난 계단 앞쪽 특히 4,5층의 경우 더 심함.

7. 결론

- 1) 수계산의 결과 총 피난 시간은 1859초였다.
 - 수계산시 인구밀도의 산정 및 인구 연령별 보행속도의 고려치 않았으며, 계단에서의 계산은 계단을 직선으로 간주했고, 안전율을 보정한 수치 등에 영향을 받았다.
- 2) 피난 모델링을 실시한 결과 대상건물로부터 재실자가 모두 빠져 나오기까지의 피난시간은 1000초의 시간이 나오는 결론을 얻었다.
 - 첫 피난시간 : 4초, 마지막 피난시간 : 1000초
- 3) 피난모델링을 실시하는 중 정체현상을 보이는 곳은 피난계단 앞쪽에 많이 나타나 있고, 특히 4층과 5층 피난계단에서 많이 정체가 일어나는 것을 볼 수 있었다. 이를 실제 건축설계에 적용한다면 재실자의 피난에 대한 고려가 되어 질 수 있을 것이다.

기존의 건축물을 대상으로 현재 국외에서 많이 쓰이고 있는 EXODUS로 피난 모델링을 해본 결과 정체구간이나 피난에 불리한 요소를 확인할 수 있었고, 이는 공학적으로 예측해 실제 건축물에 설계단계 때부터의 피난에 대한 고려가 반영되어야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

피난 모델링은 장애인이나 보행속도가 느린 사람들을 제외한 정상적인 일반인을 대상으로 모델링한 것이기 때문에 이를 고려해야 하고 실제 이러한 사람들에 대한 공학적인 설계 또한 이루어져야 한다고 본다.

참고문헌

1. 이만홍, "최근주택화재 실태와 예방대책", 소방안전, 통권95호, 1997. 5.
2. 편찬위원회, "소방관계법규집", 도서출판 기다리, 1997. 1.
3. NFPA, "NFPA 101 Life Safety Code", 1994.
4. 중앙소방학교 소방연구실, "소방논집", 제8호, 1998. 12.
5. 한국화재보험협회, "표준설계지침 ④ 건축물의 방화 및 피난시설", 1989. 3
6. 이수경외 2인 "건축방화", 도서출판 의제, 1998. 2.
7. 한국소방안전협회, "소방기술자료집", 1995. 12.
8. 이수경외 3인, "소방설비기사", 삼원출판사, 1998.
9. SFPE, "SFPE Hand Book of Fire Protection Engineering", 1990. 4.
10. Thomson. P. A. "Modeling and Measurement of Escape Movement" CIB W14, International Symposium and Workshop. 1992. 10.
11. Klote. J. H, "Feasibility and Design Considerations of Emergency by Elevators".

- Fire Safety Journal, 1992.
12. University of Greenwich "building EXODUS 2.0 On-line Manual Revision 2.0 1999.
 13. Intergrated Environmental Solutions Ltd. "Simulex User Manual" 1998. 4.