

피난 모델을 이용한 대형할인매장의 화재시 피난에 관한 연구 A Study on the Evacuation of People used the evacuation model on Fire in Shopping Mall

이수경 · 이상준[†]

Lee, Su-Kyung · Lee, Sang-Joon[†]

서울산업대학교 안전공학과

요 약

대형 할인 마트의 인명 안전 설계를 위해 대상 건물을 선정, 피난로의 피난시간을 계산해 보았다. 피난 계산은 두 가지 방법으로 하였는데, 하나는 Computer 피난 모델인 EXODUS이고, 다른 하나는 일본의 피난계산법이다. 연구방법은 모델의 특성연구, 실제 대상 및 시나리오 선정, 그리고 피난 계산을 하였다. 연구결과, 대상 건물은 매우 높은 피난시간이 계산되어 설계된 피난로는 설정된 인구 이상의 용량을 피난시킬 수 없는 부적절한 것임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

For life safety design of shopping mall, we selected a shopping mall, and calculated the evacuation time of means of egress. It is calculated by two kind of evacuation method. One is the computer simulation model, EXODUS. The other is Japan's method. Study way is a model structure study, selecting realshopping mall and setting scenario, calculating the evacuating time. result of study, evacuation time is very high. Therefore we confirmed that the building of means of egress is not fit to evacuation more the capacity of setting population.

Keywords ; Life safety, Evacuation time, EXODUS, Egress

1. 서 론

근래에 들어 여러 과학 및 기술의 눈부신 성장과 함께 화재의 여러 가지 물리, 화학적 현상들이 규명되었으며, 최근에는 화재의 성장과 전파 등을 거의 정확하게 예측할 수 있는 단계에 이르렀다. 그러므로 종래의 화재에 대한 경험으로 이루어진 사양위주의 설계보다는 모델링(Modelling)과 시뮬레이션(Simulation) 등의 공학적인 기법들을 이용하는 새로운 체계가 필요했다.

실제 화재조건 상황에서의 피난에 관련된 실험은 현실적으로나 윤리적으로 거의 불가능하다고 볼 수 있다. 또한 시방 중심의 현행 관련 법규는 적정 피난시간 계산을 위한 설계방법과는 거리가 있다. 피난 모델은 이러한 한계를 극복할 수 있는 현실적인 대안으로 평가되고 있으며 따라서 사용자는 피난 모델의 특성과

적용상의 한계 등을 명확히 이해할 필요가 있다. 대형 할인 마트는 다른 건물에 비해 공간면적 당 밀도가 높아 인명피해가 예상되는 곳이다. 이에 본 연구는 대형 할인 마트의 인명 안전 설계를 위해 피난 모델링을 통한 실제 건물의 피난로의 피난 시간을 계산하였다. 이를 위해 두 개의 피난 모델링을 가지고 연구했는데, 하나는 컴퓨터 피난시뮬레이션인 EXODUS이고 다른 하나는 일본의 수계산을 통한 피난계산법이다.

연구방법은 먼저 두 모델의 특성을 연구하고 실제 대상 건물의 선정 및 시나리오를 설정하였다. 건물에서 피난은 1~5층에서 이루어지며, 전 층에서 피난을 개시한다고 설정하였다.

EXODUS는 화재 시 연기나 유독성 물질이 없다고 가정하여 계산하였으며, 일본의 피난 계산법으로는 연기로 인한 피난 지연이 고려되었다.

두 모델링으로 계산된 피난 시간을 통해 대상 건물의 피난로의 피난 적정성을 분석하였다.

[†]E-mail: dong-go@hanmail.net

2. EXODUS 및 수계산

2.1 EXODUS¹⁾

EXODUS는 피난 소프트웨어로서 구내에서의 다양한 변화에 따른 수많은 인명의 대피 가정하여 설계하는 프로그램이다. EXODUS는 화재실의 변화하는 조건의 정도에 따라 경험적 지식과 실험 및 이론을 바탕으로 시뮬레이션한다. 사용자는 자신이 원하는 조건에 따른 결과를 볼 수 있으며 여러 조건에 따른 결과들을 비교 분석할 수 있다.

EXODUS는 Greenwich 대학의 소방 안전 엔지니어링 그룹에 의해 개발되어졌다. 모델의 설계특징은 6가지 하위모델(움직임, 독성, 행동, 위험요소, 재실자, 지형)로 구성되어 있다. 이러한 6가지 모델을 기반으로 EXODUS는 실행하게 만들어졌고 건물의 특성 및 고유성질에 따라 EXODUS는 각기 다른 시뮬레이션을 실행한다. 현대의 건축물은 설계가 매우 크고 복잡하기 때문에 EXODUS는 CAD DXF file과 호환하도록 되어 있다.

2.1.1 MOVEMENT SUBMODEL

재실자들 주변사이의 위치와 재실자들 개개의 물리적 이동 상태를 조정한다.

2.1.2 BEHAVIOR SUBMODEL

남/여별 개인적 성향을 고려하며 보편적이고 일상적인 상황에서 사람들에게 대한 반응을 결정짓는다. MOVEMENT SUBMODEL을 결정하는데 있어서 먼저 고려해야 할 사항은 개인이 지역적으로 행동하는 것 (LOCAL)과 집단성향을 띠며 전체적으로 행동하는 것 (GLOBAL)이 있다. 전체적인 행동 성향이 개개인에 의해 영향을 받는 반면 지역적 행동 성향은 건물의 상황에 따른 남과 녀의 개개의 반응을 결정짓는다. 이는 가장 가까이 위치하고 있는 탈출하기에 편한 출구를 지나서 이동하거나 가장 친숙한 탈출구를 향해 가는 성

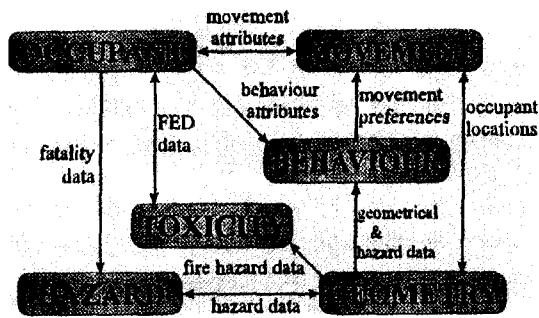


그림 1. EXODUS의 하위 모델

향을 포함하고 있다.

2.1.3 OCCUPANTS SUBMODEL

재실자의 속성을 나타내고 성별, 연령, 빠른 걸음 속도, 걸음 속도, 반응 시간, 민첩성 등등의 다양한 요소들을 선택하여 EXODUS를 사용할 수 있다.

2.1.4 HAZARD SUBMODEL

대기와 물리적인 환경을 조정한다. 이것은 열과 같이 화재의 위험요소로 미리 결정된 것, 연기, 화재 시 생산된 독성 그리고 출구의 개방 및 폐쇄를 통제하는 것으로 분류한다.

2.1.5 TOXICITY SUBMODEL

HAZARD SUBMODEL에 의해 분류된 독성 생산물로서 사람들에게 영향을 미치는 요소를 결정한다. 이러한 영향들은 사람들 개개의 이동성을 고려한 BEHAVIOR SUBMODEL과 서로 연관되어 고려된다.

2.1.6 GEOMETRY

건물내부의 지형에 따른 피난의 형태, 피난로 등의 조건을 주며, 재실자 및 위험, 독성 등은 이 지형안에서 곳곳에 주어진다.

2.2 피난계산²⁾

피난계산은 일본의 건축방화설계지침을 근거로 수행하였다.

※ 자료 : 한국화재보험협회, “건축방재계획지침”, 화재보험협회, 1997. 11. 5

2.2.1 피난 시간 평가

피난계산에서는 피난시간을 구해 허용시간과 비교·평가한다. 피난시간에 대한 평가는 다음식에 의해 판정한다. 이 피난시간은 연기로 인한 피난 지연이 고려되었다.

$$\text{거실피난시간}(T_1) \leq \text{거실허용피난시간}(T_2) = 2 \sim 3 \sqrt{A_1}$$

2.2.2 피난개시 시간(T₀)

출화(出火)로부터 피난행동이 개시될 때까지의 시간을 말한다.

표 1. 건물 용도별 인구밀도

건축용도	대상부분	인구밀도 (인/m ²)	비고
백화점, 슈퍼마켓, 상업빌딩 등	매장 연속식 점포상	0.5	에스컬레이터 부분과 통로를 포함, 매장의 유효부분 전체에 대한 밀도
	태 부분	0.7	
	음식점	0.5	
	매장	0.25	
	통로	0.25	
	집회장	1.5	

$${}_aT_0 = 2\sqrt{A_1} \text{ (발화실)}$$

$${}_bT_0 = 2{}_aT_0 = 4\sqrt{A_1} \text{ (비발화실)}$$

여기서, A_1 : 발화실이 면적(m^2)
 다만, A_1 이 작으므로 ${}_aT_0$ 가 30초 미만인 경우에는 ${}_aT_0$ 를 30초로 한다.

2.2.3 거실 피난시간(T_1)

화재가 발생한 경우에 그 거실의 전원이 실외로 대피완료하기까지 요하는 시간으로 각 실마다 산출한다.

$$T_1 = \max(t_{11}, t_{12})$$

$$t_{11} = \frac{P}{1.5\sum W_1}$$

${}_aT_1$: 발화실 피난자의 출구통과시간
 ${}_bT_1$: 비 발화실 피난자의 출구통과시간

$$t_{12} = \frac{L_{x+y}}{V}({}_aT_2, {}_bT_2)$$

${}_aT_2$: 발화실 피난자의 거실보행시간
 ${}_bT_2$: 비 발화실 피난자의 거실보행시간

여기서 t_{11} : P명이 출구를 통과하는데 필요한 시간(sec)
 t_{12} : 최후의 피난자 출구에 도착하는 시간(sec)
 P : 피난자의 수(인), W_1 : 피난문 폭,
 L_{x+y} : 실내 보행거리, V : 보행속도(m/sec)

3. 대상선정 및 시나리오 구성

서울시에 위치한 지상 8층에서 지하 2층의 대형 할인 마트에서의 화재를 가정한다. 이곳은 시간당 인

구밀집도가 높고, 사람들은 대부분이 인근에서 쇼핑을 하러 온 불특정 다수이다. 층마다 전문화된 매장으로 구성되며 매장인 1~5층까지 피난수치모사를 실시한다.

○ 시나리오 구성

(1) 화재 시 전 층에 피난방송이 일제히 발하고 대상건물의 모든 재실자가 일시적으로 피난을 실시한다고 가정한다.

(2) EXODUS에서는 화재 시 연기의 발생이 없다고 가정하였으며, 일본의 피난계산법에서는 연기나 유독물질의 발생이 있어 피난 시 행동에 지장을 주게 된다.

(3) 인구분포는 고르게 분포되고 모두 지형에 친숙하지 않다.

(4) 1층에 출입문은 모두 Open되어 있고 피난계단은 3곳에 위치해 있으며 피난은 이 3곳에서 이루어진다.

(5) 피난시간의 추정은 대상건물의 모든 사람이 빠져 나올 때까지의 시간을 추정한다.

화재 시 전 층에 피난방송이 일제히 발하고 대상건물의 모든 재실자가 일시적으로 피난을 실시하며 재실자는 가장 가까운 비상구로 피난한다고 가정하였다. 피난통로는 매장과 매장사이에 이동통로 및 전실, 피난계단, 중앙에 위치한 에스컬레이터가 위치해 있고 재실자는 층마다 집중되어 있지 않고 고르게 분포한다. 모든 문은 Open되어 있는 상태에서 피난계단은 3곳에 위치해 있으며, 중앙에 에스컬레이터가 위치해 있다. 피난시간의 추정은 대상건물의 모든 사람이 빠져 나올 때까지의 시간을 추정하기로 한다. 시뮬레이션은 5층까지만 실시하고 어느 한 층에 집중되어 있지 않고 고르게 분포한다.

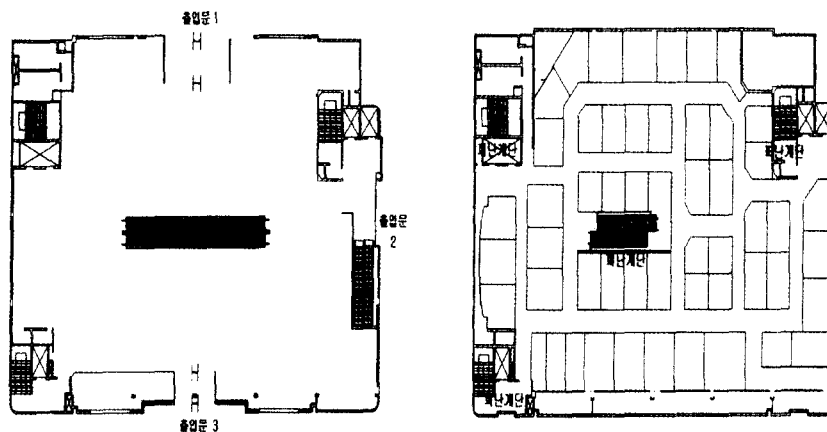


그림 2. 1층과 2~5층의 도면(EXODUS)

4. 결과 및 분석

4.1 EXODUS

(1) 인구설정 : 총 1815명으로 설정(363명/층, NFC 101 Life Safety Code)

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

※ 자료 : Life Safety Code. 평균은 남자, 여자 및 어린이별로 평균의 나이에 해당하는 사람수이다.

(2) 문에서의 피난자 방출율(문에서의 방출율은 문헌에서 어떤 기준을 찾을 수 없어 프로그램의 default 값을 넣었다.)

종 류	문의상태	방출율(Occupant/m/sec)
Door 1	Open	1.33(Occ/m/sec) 10%
Door 2	Open	1.33(Occ/m/sec) 10%
Door 3	Open	1.33(Occ/m/sec) 10%

(3) 보행속도

보행속도는 1 m/sec로 수계산의 유동속도와 같게 했

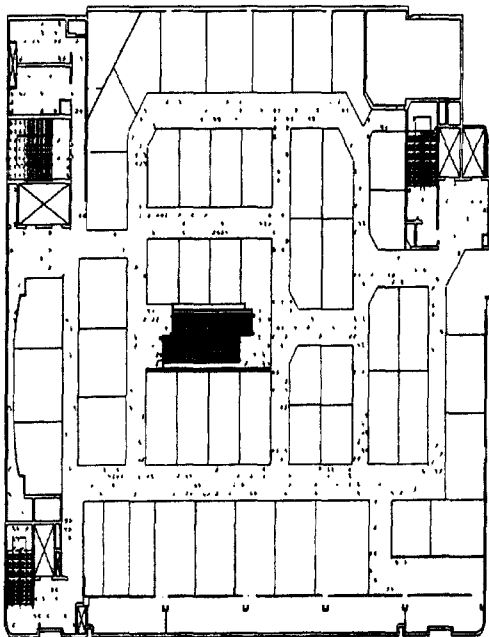


그림 3. 피난전의 5층의 모습

음. 1 m/sec는 “건축방재계획지침”에서 제시한 백화점에서의 피난 속도이다.

(4) 피난로에 대한 입력

재실자는 자신의 위치에서 가장 가까운 곳으로 대피함. 수계산의 Zone 개념과도 일치시켰다.

(5) 연기 및 유독성 고려

EXODUS에서 대상건물의 화재 시 연기 및 유독 물질의 발생을 고려하지 않았다. 화재 시 재실자는 서로 간의 행동에 제약을 받을 뿐이다(예 : 충돌, 병목구간).

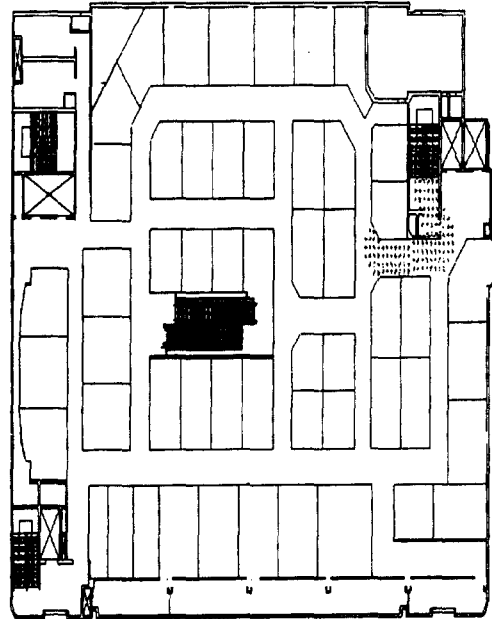


그림 4. 피난후 8분 14초후의 5층의 모습

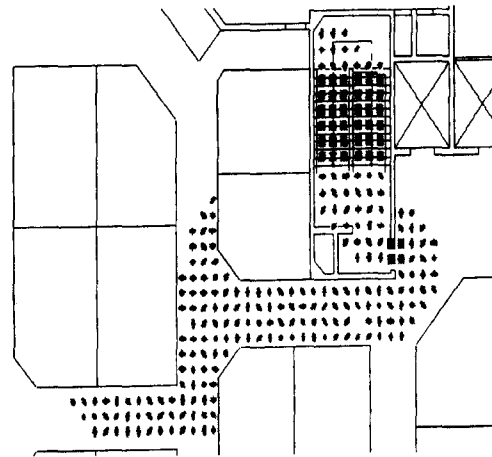


그림 5. 5층 계단전실에서의 병목 현상(EXODUS)

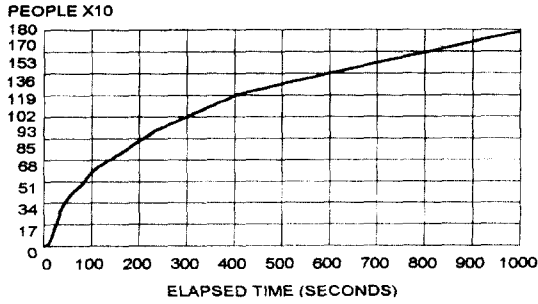


그림 6. 피난시간별 피난자수(EXODUS)

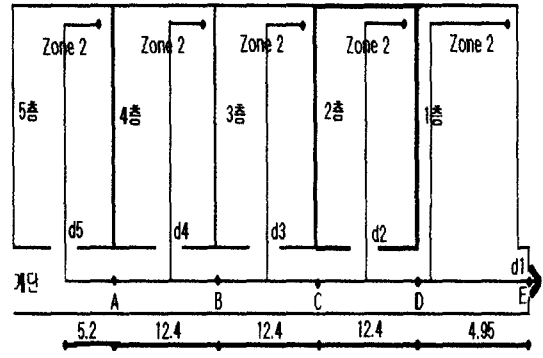


그림 8. 층 사이의 구획 나눔과 길이(일본 피난계산법)

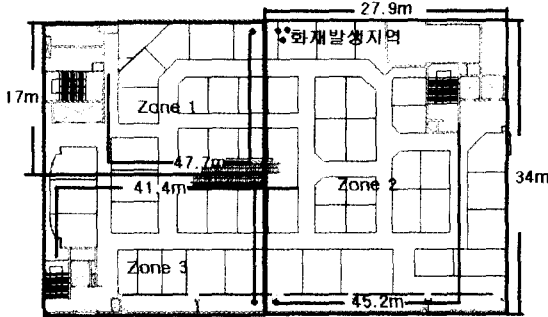


그림 7. 피난계산을 위한 구획 나눔(일본 피난계산법)

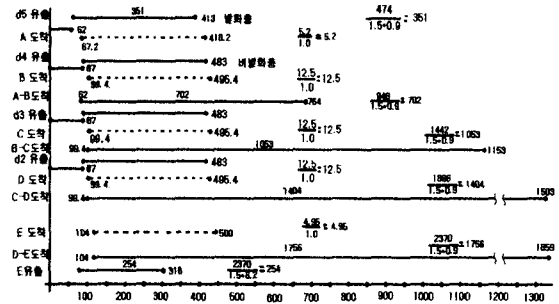


그림 9. 피난계산 bar chart(일본 피난계산법)

EXODUS를 사용해서 시뮬레이션을 실시한 결과 마지막 사람이 피난하기까지 걸린 시간은 1000초가 되었다.

4.2 피난계산

먼저 거실피난계산을 구해 각각의 구획별로 허용시간과 비교·평가한다. 거실피난계산을 구해보면 각 층을 하나의 거실, 층과 층 사이 계단은 복도로 보고 피

난계산을 실시해 보았다.

피난계산결과 5층의 마지막 사람이 1층의 출입구로 피난하기까지 걸린 시간은 총 2176초가 나왔다. 수계산은 독성 및 연기에 대한 지연이 고려된 점에 있어 EXODUS보다 2배나 더 긴 시간이 나왔다. 그러나 피난계산과 EXODUS 모두 꽤 높은 피난시간이 나왔다. 이는 대상건물의 피난로가 설정된 재실자들의 피난을

표 2. 거실피난 평가표(일본 피난계산법)

계산항목	Zone 1	Zone 2	Zone 3
거실면적 A ₁	27.9×17 m	27.9×17 m	27.9×34 m
거실인구밀도(인/m ²)	1.5	1.5	1.5
피난대상인수 P(인)	91	90	182
피난문폭의 합계(m)	1.6	1.6	1.6
출구통과시간 t ₁₁ (sec)	$\frac{91}{1.5 \times 1.6} = 37.92$	$\frac{90}{1.5 \times 1.6} = 37$	$\frac{182}{1.5 \times 1.6} = 75.83$
실내보행시간(sec)	47.7/1.0=47.7	41.4/1.0=41.4	45.2/1.0=45.2
거실피난시간 T ₁	47.7	41.4	75.83
거실허용피난시간 rT ₁	$3\sqrt{27.9 \times 17} = 65.34$	$3\sqrt{27.9 \times 17} = 65.34$	$3\sqrt{27.9 \times 34} = 92.4$
평가 T ₁ ≤ rT ₁	OK	OK	OK

수용할 수 없음을 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서 대상으로 선택한 대형 할인 마트에 대해서 피난 모델링을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수 계산에 의한 피난계산 결과 총 피난 시간은 2176초였다.
2. 피난 모델 프로그램인 EXODUS로 시뮬레이션한 결과 대상건물로부터 재실자가 모두 빠져 나오기까지의 총 피난시간은 1000초의 시간이 나오는 결론을 얻었다.
3. 수 계산 및 EXODUS의 시뮬레이션 결과 나타난 피난시간은 설정된 재실자수나 그 이상의 수에서는 피난을 수용할 수 없는 부적절한 피난로임을 알 수 있었다. 그러므로 대상 건물은 실제적 재실자 용량을 수용할 수 있는 피난로를 확보하거나 보조 피난수단의 강구가 있어야 하겠다.
4. 피난 모델링을 실시하는 중 정체현상을 보이는 곳은 피난계산 앞쪽에 많이 나타나있고, 특히 4층과 5층

피난계단에서 많은 정체를 보인다. 그 이유는 건물전체의 피난경로로 전 층에서 피난이 실시를 가정하였기 때문에 대상의 건물에서의 피난로는 그 수를 수용치 못한 결과이다. 따라서 화재 시 먼저 발화층과 그 이상의 층에서 경보가 발하여 피난이 이루어지도록 유도할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 과학기술부 인위재해방재기술사업의 연구비에 의하여 수행하였으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. University of Greenwich "building EXODUS 2.0 On-line Manual Revision 2.0", 1999
2. 한국화재보험협회, "건축방재계획지침", 화재보험협회, 1997. 11. 5
3. NFPA, "NFPA 101 Life Safety Code", 1994
4. Thomson. P. A. "modeling and Measurement of Escape Movement" CIBW14, International Symposium and Workshop. 1992. 10