B-2

EXODUS 피난모델의 검토

김운형*, 윤명오**, E. R. Galea***
경민대학 소방안전관리과*, 서울시립대학교 건축공학과**, Univ. of Greenwich***

A Review of EXODUS Evacuation Model

Kim, Woon Hyung*, Yoon, Myong-o**, E.R.Galea***
Department of Fire Safety Management, Kyung Min College, Korea*.
Department of Architecture, The University of Seoul, Korea**
University of Greenwich, U.K

1. 배경

백화점, 공항 터미널, 지하철 역사 등 많은 사람이 수용되는 건물 설계 시 중요한 요소 중 하나는 이들의 이동을 고려한 동선계획이다. 특히 비상 시 예로써 화재가 발생한 경우에 예상되는 적절한 동선계획은 거주자의 인명보호를 위하여 매우 신중하고도 철저히 고려되어야 한다. 그러나 현실적으로 건축법과 소방법의 최소규정에 의존되는 현행 방화설계 수준에서 화재 발생 시 거주자의 피난 행태를 고려하여 최적의 피난계획을 진행하기는 어려운 실정이다.

컴퓨터 피난모델은 건물의 평면특성, 열과 연기의 영향, 거주자의 피난 행태, 그리고 피난 과정상의 관련 요소 등을 체계적으로 분석하여 실제 피난성능을 평가함으로서 현 시방중심의 관련법규의 한계와 성능기준 피난설계의 접근을 가능하게 한다.

현재 사용 중인 대부분의 피난 모델 (예로서 EVACNET+, EXITT, SIMULEX , VEGAS, EGRESS 등)은 건물의 평면특성 또는 건물특성과 거주자의 피난 행태 등 한두가지 요소만을 평가하며 그림1과 같이 요소간의 동적 평가는 불가능하다. EXODUS 피난모델은 이러한 한계를 해결하고 피난과정 상 4가지 요소를 동시에 고려하는 특성을 가지고 있다. 이러한 배경에서 본 글에서는 사례분석을 통하여 EXODUS 피난모델의 특성과 피난계획을 위한 적용 가능성을 검토하고자 한다.

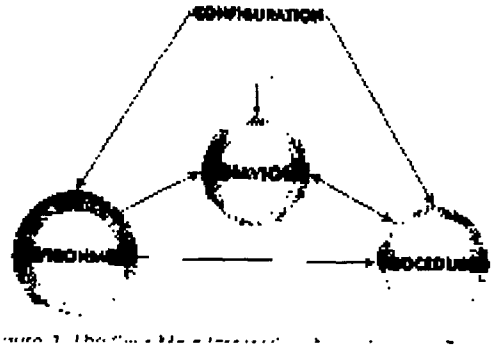

그림 1. 최적 피난설계를 위한 4대 요소

2. EXODUS 모델 개요

본 모델의 구조와 특성은 아래와 같다. 보다 상세한 내용은 관련문헌에 포함되어 있다. EXODUS 모델은 건물 내 많은 수용인원의 피난 과정에서 각 개인별 피난 경로나 연기 중에서의 탈출 상황 등을 분석한다.

EXODUS 모델은 거주자(Occupant), 피난이동(Movement), 피난행태(Behaviour), 유독성(Toxicity), 위험도(Hazard) 등 5개의 평가부분 (Sub models)으로 구성되며 각 요소간에 상호 지속적인 정보 교환으로 상황을 구성한다.

- 거주자 모델 : 물리적 요소 (나이, 성별, 민첩성 등), 심리적 요소(인내성, 저돌성 등), 위치 요소(보행거리 등), 위험성 영향(FIN, $FICO_2$, FIH 등)
- 피난이동 모델 : 상황별 보행속도(의자를 뛰어넘는 속도 등)
- 위험도 모델 : 피난시나리오 상황에서의 거주자의 CO_2, CO, HCN, O_2, 열, 연기 조건 평가
- 유독성 모델 : 거주자의 화재 위험도 수준 평가
  (FIN: CO, HCN, O_2, FIH:열, $FICO_2$)
  (Purser의 Fractional Effective Dose, FED 모델 사용)
- 피난 행태 모델 : 피난자의 대응상황 (최단경로 또는 친숙한 경로사용, Potential map, 피난개시 시간, 충돌 시 상황, 앞지르기, 장애물 넘기, 출구의 피난 유동비율 등)

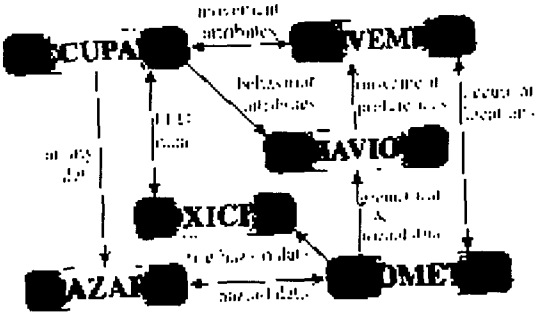

그림 2. 모델의 구성요소 및 상관체계

3. 사례분석

사례분석 대상은 유독가스가 순식간에 들이닥쳐 비좁은 공간에서 120여명이 피난구의 확보가 불가능한 상태에서 인명 피해가 크게 발생한 인천 호프집 화재를 선택하였다. 한국화재·소방학회에서는 화재조사단을 구성하여 본 화재에 대한 조사 보고서 (박형주 학술이사)를 1999년 12월호에 발표한 바 있다. 불은 20여분만에 완전 진화되었으나 화재결과는 1971년 대연각 호텔 화재 (165명), 1974년 서울 대왕코너 화재 (88명)에 이어 3번째로 많은 사망자를 기록하였다.

사례분석을 위하여 모델에 사용된 주요 입력조건은 다음과 같다.

- 건물평면 : 바닥면적 $186m^2$ 출구 1개 (폭 100cm)
- 거주자 : 120명에 대한 개인 특성은 아래 범위에서 무작위로 선정되었다.
  - 성별 : 남·여
  - 나이 : 20-60세

- 대응 시간 : 0초-30초
- Mobility : 1.0
- Agility : 3-7
- 보행속도 0.8-1.5 m/s
- Drive : 여자 1-10, 남자 5-15
- Patient : 1000
- 피난 문 : 최단 위치 문 사용

● 화재시나리오 : 화재 시 공간내부의 연기 유독성 조건과 피난문의 개방 조건에 따라 표1과 같이 구분하였다. 공간을 하나의 존으로 보고 존 내부의 연기 유독성을 다음 식을 사용하였다.

연기 위험도 (Hazard) = 최초 연기 위험도 + mt^p
여기서 m=0,1,2,3 p=0,1,2 t=시간(초)

또한 화재 당시 공간내부의 유독성 조건은 Purser의 30분 Incapacitation 기준 값을 가정하였다.

- T(℃) : 65 ℃
- HCN : 80 (ppm)
- CO : 1400 (ppm)
- CO_2 : 5(ppm)
- O_2 : 16 (%)
- Smoke : 0.5 (1/m)

표 1. 화재시나리오

화재 상황	피난 문	연기 유독성	비 고
시나리오 1	문1 개방	p=1,m=1 180초 - 1800초	피난 문 개방조건
시나리오 2	문1 닫힘 문2 열림 가정	p=1,m=1 180초 - 1800초	제2 피난 문 설치조건
시나리오 3	문1 닫힘	p=0,m=0 0초- 1200초	실제 화재 조건

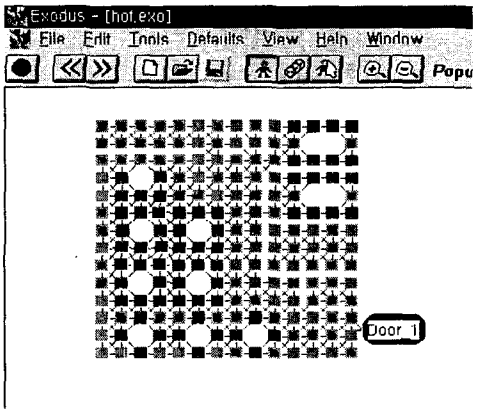

그림 3. 평면구성

4. 분석 및 토의

모든 시나리오는 윈도우 환경에서 166MHz 펜티움 PC에서 작동되었으며 총 120여명의 인원에 대하여 수 분 이내에 종료되었다. 사례분석 결과 EXODUS 모델은 앞지르기, 출구에서의 대기, 재 방향설정, 고정식 좌석의 뛰어넘기 등 실제 피난 시 발생하는 거주자의 특성을 폭넓게 반영하고 있으며 피난상황은 각 개인별 또는 전체 피난 유동비율, 총 피난시간, 평균 이동거리와 대기시간 등을 수행하였다.

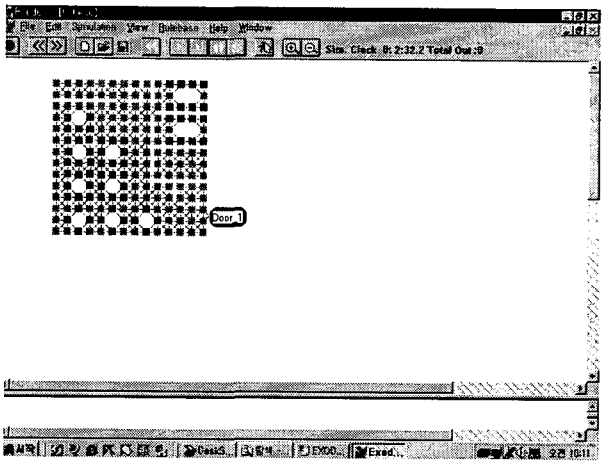

그림 4. 피난 시뮬레이션 예(2분 32초경과 후)

화재 시나리오 1의 경우 103명이 피난하고 17명이 사망하였다. 최초 피난자는 8초에 그리고 마지막 피난자는 104초경에 피난 문을 통과하였다. 최초 사망자는 313초에 그리고 최종 사망자는 317초에 발생되었다. 실제 화재 시 계단으로 통하는 유일한 피난 문이 사용 불가능한 조건에서 시나리오 2의 경우처럼 만일 제2의 피난문이 있었다면 대부분의 거주자가 안전하게 대피할 수 있는 상황을 예측하였다. 따라서 피난설계의 제 1 조건인 두 방향 피난로의 확보 문제는 법적인 설치 기준 여부에 따라 결정될 조건이 아님을 잘 설명하고 있다. 화재 시나리오 3에서 만일 연기조건이 피난 개시시간과 동시에 적용되고 피난 문이 닫혀있어 공간에 고립된 상

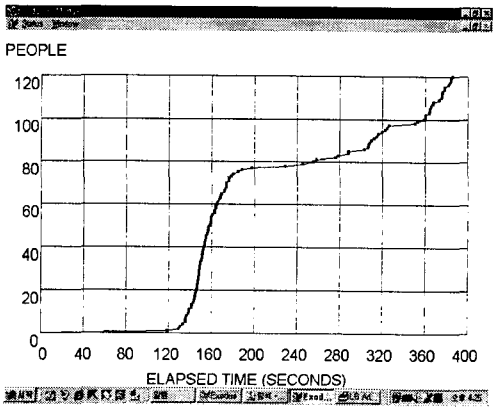

그림 5. 대피인원 (피난구 개방 시)

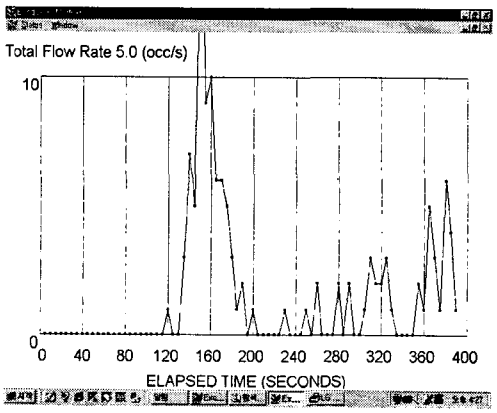

그림 6. 단위 시간당 사망자 (5초간격)

황에서는 대부분의 거주자가 62초에서 6분 30초 사이에 시간경과 더불어 희생되는 결과를 예측하고 있다. 공간의 연기 유독성 조건이 인명피해 정도를 결정하는 매우 중요한 요소이지만 적절한 피난통로의 확보는 인명피해 최소화의 필수 조건임을 잘 알 수 있다.

결론적으로 화재사례 분석을 통하여 피난계획이나 연기 유독성으로 인한 화재 조사 등에 용한 도구로써 본 모델의 잠재적인 적용 가능성을 알 수 있었다. 향후 거주자의 보행 속도나 피난 대응 시간, Purser 등의 유독성 평가모델 등 모델의 결과에 주요한 영향을 미치는 다양한 피난요소에 대하여 국내의 화재환경을 반영한 현실적인 연구와 실험이 선행되어야 한다.

참고문헌

1. Galea, E. R., & Galparsoro, J. M. P., "EXODUS: An Evacuation Model for Mass Transport Vehicles," UK CAA Paper 93006, CAA London, (1993).
2. Galea, E. R., & Galparsoro, J. M. P., "A Computer Based Simulation Model for the Prediction of Evacuation from Mass Transport Vehicles," Fire Safety Journal, Vol. 22, pp. 341-366, (1994).
3. Owen, M., Galea, E. R., & Lawrence. P. J., "The EXODUS Evacuation Model Applied to Building Evacuation Scenarios," J. of Fire Protection Engineering, 8(2), pp. 65-86, (1996).
4. 김운형, 윤명오, "피난모델의 검토 - SIMULEX", '99 추계학술대회논문집, 한국화재·소방학회, (1999. 11).
5. Woon Hyung Kim, Rui Hu, Hong Kim, A Occupant Load Density and Computer Modeling of Evacuation Time in Office Building, 1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Eng. Society, Korea, (1999. 11).