

대공간에서의 피난안전성능평가

김종훈, 김운형, 허준호*, 노삼규*
경민대학 소방과학과, 광운대학교 건축학부*

The Evaluation of Evacuation Performance on Large-Volume Space

Jong Hoon Kim, Woon Hyung Kim, Jun Ho Hur*, Sam Kew Roh*
Kyung Min College, Kwang Woon University*

1. 서론

최근 국내 경제 발전에 따라 다양한 건축공간들의 구현이 보편화 되어있다. 이러한 건축물은 대형화된 내부 공간을 구현하는 것도 포함되어있다. 대형화된 건축공간은 많은 인원이 집중되거나, 물품이 적재되는 경우가 대부분이다. 따라서 화재가 발생하면 공간 특성 상 기존의 규정만으로 화재안전을 확보하기가 어렵기 때문에 이에 대한 공학적인 방화성능의 평가가 필수적이다.

최근 국내에는 이러한 특수한 용도의 건축물을 대상으로 한 성능 기준적 건축피난안전 평가가 수행되고 있다. 아직까지 그 적용 대상이 불특정 다수인이 수용되는 공간에 한정적으로 적용되고 있으나 성능기준 적 피난안전성능평가를 통한 방화설계의 진행은 인명 안전 상 매우 바람직하다.

일반적으로 건축물의 피난안전성능평가는 피난에 필요한 최소 시간(Required safe egress time, RSET)이 허용 가능한 피난시간(Available Safe Egress Time, ASET)이 하가 되는지를 확인하는 과정이다.

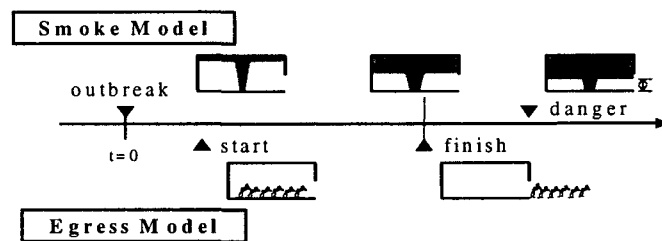


그림 1. RSET(Egress Modeling)과 ASET(Smoke Modeling)

본 연구는 공연장의 사례분석을 통하여 법 규정의 적용상 한계를 극복하고 적정 수준

의 인명안전을 확보할 수 있는 피난안전성능 평가를 수행하고자 한다.

2. 사례 대상 및 화재시나리오

2.1 사례 대상

사례분석에 적용한 건물의 객석은 약 1000명을 수용하는 다목적 공연장으로 연면적 3,000 m²이며 천정높이는 최대 17.5m이다. 연극, 오페라, 뮤지컬 등의 공연예술과 전시·행사 및 공공 의식 등을 수행하고 있다.

2.2 화재시나리오

공연장 객석에서 화재발생을 가정하였다. 의자의 재질은 우레탄 폼의 쿠션과 합성섬유계의 직물류로 구성되었으며 이에 대한 열 방출곡선은 미국 NIST의 Lounge Chair의 실험을 기초로 하였다. 화재성장 속도는 Medium Growth로 적용하며 최대 열방출 율은 객석 의자 1열의 연소조건을 고려한 2.5 MW로 선정하였다. 화재지속시간은 10분으로 설정하였다.

3. 화재 모델링 분석

3.1 JASMINE에 의한 분석 결과

화재발생으로 인한 연기의 거동을 해석하기 위하여 화재전용 프로그램 JASMINE을 사용하여 공간형성 및 격자를 수행하였다. 계산에 사용된 격자는 약 110,000개이며 공간형성과 격자구조는 그림 2와 같다.

객석에서 발생한 화재는 소공연장과 달리 대공간의 대공연장의 특성에 따라 서서히 화원에서 상승하여 화원상부인 공연장 천정부의 직상부로 연기가 상승하였다. 시간 경과에 따라 점차 상부 층으로 연기가 축적되면서 공연장 전체공간으로 넓게 확산되면서 기류를 방해하는 수직면에 부딪치는 Confined Ceiling Jet의 조건으로 지속적으로 증가된다.

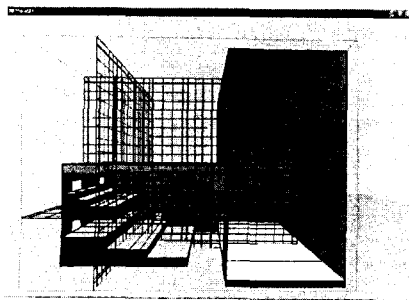


그림 2. Jasmine의 공간구성

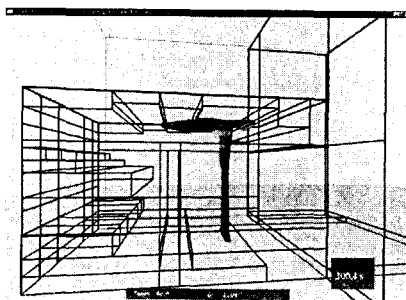


그림 3. 300초의 연층하강결과

발화 후 120초(2분)부터 본격적으로 상승한 연기는 소공연장과 달리 높은 상부층의 영향으로 발화 240초(3분 30초)까지 직상부 층으로 상승하면서 서서히 천정면에 축적되면서 넓은 천정부의 면적에 의하여 발화 300초(5분)경에도 천정상부의 일부 층에만 연기가 축적되는 현상을 보여주며 2층 객석의 바닥 위 1.8m 높이에 연층이 도달하는 시간이 예측되었다.

3.2 FDS에 의한 분석 결과

대공연장에서의 화재 시 기류 유동에 대한 분석을 Field Model(CFD)인 FDS를 사용하여 분석하였다. 주요 입력조건은 다음과 같다.

- 공간크기 : 46m(W) × 32m(D) × 36m(H)
- 격자 수 : 46 × 32 × 72 = 105,984개

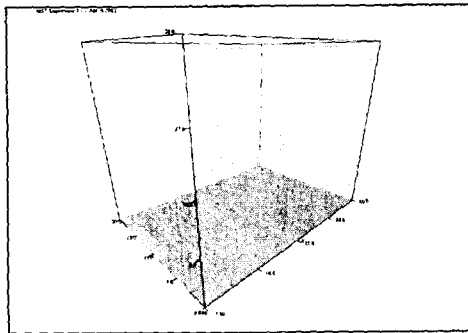


그림 4. FDS의 공간구성

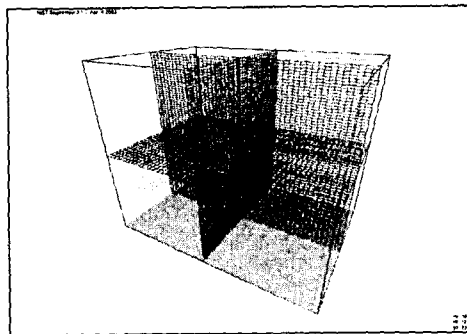


그림 5. 격자설정

대공연장 후방 출구로부터 15m 이격된 장소의 단면에서 보면, 발화 후 30초경 약 28°C 정도의 기류가 상승하면서 120초경에는 천정 양쪽에 진출한 Ceiling Jet이 벽면에 도달 후 약간 하강함을 알 수 있다. 발화 후 170초까지 이러한 상황은 변화가 없으며, 300초(5분) 경과 후에는 연기 층의 온도가 약 38°C정도에 도달하며 화원 중심근처와 직상부에 60°C 정도의 영역이 소규모로 형성된 것을 볼 수 있다.

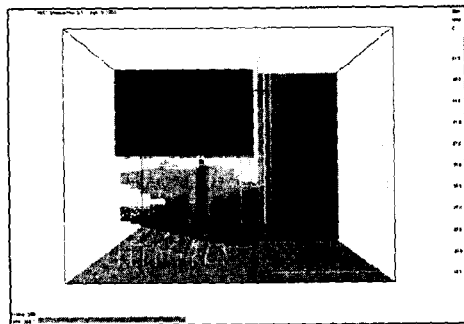


그림 6. 300초 (X 단면)

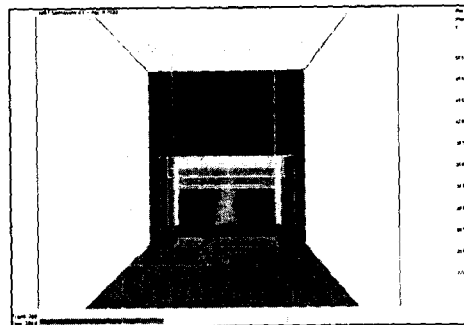


그림 7. 300초 (Y 단면)

4. 피난 모델링 분석

4.1 개요 및 설정

본 평가의 피난 모델링 수행 분석의 대상은 대공연장이며, Simulex 피난모델을 사용하였다. 대공연장은 2개 층의 객석으로 구성되어있으며, 2층과 1층은 외부 로비의 계단을 통하여 연결되어있다.

- 인원산정 : 객석의 인원 (994명)을 기준으로 1층 객석 인원은 784명이고 2층의 인원은 210명이다.
- 인원특성 : 피난대상자의 구성은 Shopper를 기준으로 설정하였다. 이는 남자 20%, 여자 30%, 아동 20%, 평균 30%로 구성되어있다.
- 보행속도 : 평균 1m/s를 기준으로 대인 간격에 따라 0~1.4m/s에서 이동속도의 변화가 고려되었다.
- 피난개시시간: 경보발령과 동시에 전 인원은 피난을 개시로 설정한다.

4.2 수행 및 결과분석

공연장의 피난 시뮬레이션 수행결과는 다음과 같다.

- 피난출구는 총 3개소로 주출입구(Exit 1)와 측면에 위치한 2개의 출구(Exit 2, Exit 3)이 있다.
- 피난 계단은 4개소가 있으며 2층 로비부분에 2개소, 그리고 무대 방향으로 2개소가 있다.
- 피난개시 후 영화관 인원은 출구로 이동하기 시작하였다. 2층의 인원은 계단(Staircase 1, 2)를 이용하여 피난을 수행하였으며, 완료시간은 125초이다.
- 1층과 2층에서 유입된 인원이 모두 피난을 완료한 시간은 192초였으며, Exit 3 부분에 가장 마지막 대피자가 도달한 것으로 나타났다.
- 피난 개시 후 1층 객석내부의 상황을 볼 때 Exit 1방향을 향하는 피난인원이 정체가 됨을 볼 수 있다.

표 1. 피난 완료 시간

구 분	완 료 시 간 (sec)
1 층	192
2 층	125
Exit 1	170
Exit 2	120
Exit 3	192

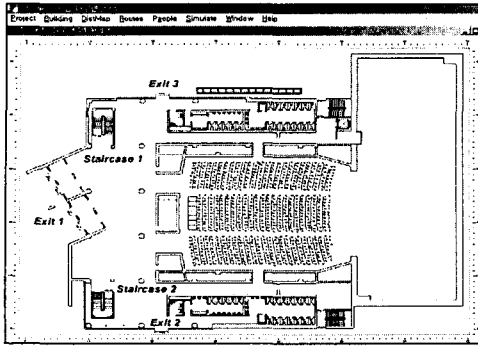


그림 8. 1층의 인원배치

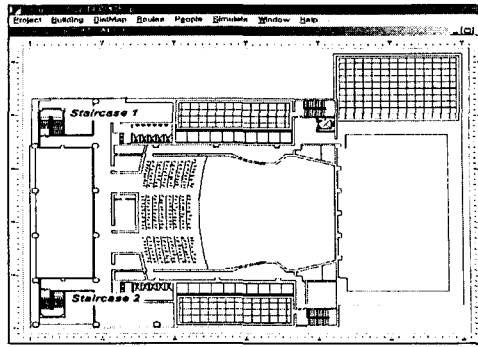


그림 9. 2층의 인원배치

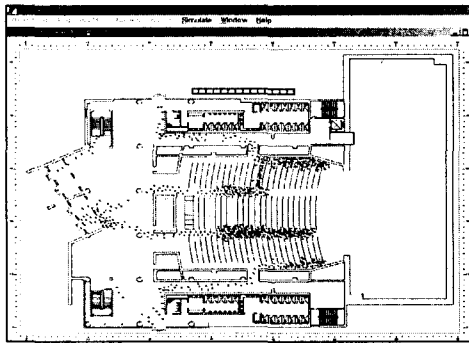


그림 10. 1층 피난상황 (50초)

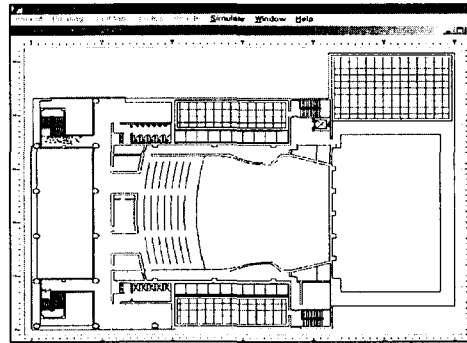


그림 11. 2층 피난상황(1분35초)

5. 분석 및 결과

대공연장의 1층 객석에서의 화재 시 피난 시뮬레이션 결과, 공연장에서 외부로의 피난 완료시간은 2층 125초, 1층을 포함한 전체피난완료시간은 일부 비상구에서 정체가 되는 현상을 포함하여 192초(3분12초)에 공연장에서 외부로의 피난이 완료되었다.

표 2. 대공연장의 피난성능 평가

구 분	ASET			비교평가	
	모델링 결과	안전율	예상 피난시간	FDS	JASMINE
2층 객석	125 s	1.5	187.5 s	OK	OK
1층 객석	192 s	1.5	288 s	OK	OK

객석에서의 발화로 무대 부 및 객석부의 제연설비가 가동하지 않는 시나리오를 가정한 화재시뮬레이션의 결과, 발화 후 120초부터 본격적으로 상승한 연기는 소공연장과 달

리 높고 넓은 상부 층의 영향으로 발화 240초경에 상부 층에 도달하고 천정 면에 서서히 축적되어 발화 300초 이후에 2층 객석 상부 층에 영향을 줄 것으로 보이며 발화 360초 이후에 2층 객석의 인간피난한계 높이인 1.8m에 도달하는 것으로 예측되었다. 한편, 무대 부 방향으로 이동하면서 축적된 연기는 발화 10분후까지 1층 객석 부근으로 확산되지 않으므로 현재의 피난설계 용량은 관람객의 최소피난시간에 문제가 없는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김운형, David Purser, 건물의 피난시간 설계요소의 분석, 한국화재소방학회 춘계학술 논문발표회, (2003.4).
2. 김운형, 윤명오, 피난모델의 검토 - SIMULEX, 한국화재소방학회 추계 학술발표회, (1999,11).
3. 김영일, 윤명오, 김종훈, 김운형, 할인점 지하매장의 피난성능 개선에 관한 연구, 한국화재소방학회지, 제 15권 제1호, p93-99, (2001.3).
4. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, NFPA, 2002.
5. Fire Protection Handbook, 18th Edition, NFPA, 1997.
6. A.H. Buchanan, Fire Engineering Design Guide, University of Canterbury, 2001.