

복합상영관 화재위험성 평가에 관한 연구

김하영, 이동호*, 고재웅**, 김정엽***

인천대학교 안전공학과 대학원, 인천대학교 안전공학과*,

남도 TEC, *한국건설기술연구원

A study on fire risk assessment of multiplex movie theater

Ha-Young Kim, Dong-Ho Rie*, Jae-Woong Ko**, Jung-Yup Kim***

Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

*Department of Safety Engineering, University of Incheon

**Namdo TEC,

***Korea Institute of Construction Technology

1. 서 론

기술의 발달과 이에 따른 삶의 질의 향상으로 인해 효율성과 다양성을 추구한 다용도의 복합건물이 건설되고 있는 것은 세계적인 추세이다. 이러한 삶의 질의 향상은 안전에 대한 의식을 고취시켰으며 실제로 안전성의 추구는 건축물의 설계과정에서 빠질 수 없는 항목이 되었다. 이중 화재에 대한 안전의 유지는 최근 발생한 여러 화재사고와 발맞추어 꾸준히 그 중요성에 대한 인식이 증가됨에 따라 화재 위험성에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 들어 컴퓨터의 발달로 CFD(Computational Fluid Dynamics) Solution tool을 이용한 수치해석이 실제와 가까운 화재 예측을 가능하게 하였으며 이를 기반으로 화재위험성에 대한 다양하고 정량적인 분석 기법이 개발되었다.

하지만 계산상의 편의와 시간의 단축을 위해 위험성 평가시 화재 대상의 평균을 이용한 분석 및 대피시 혼잡지역의 분석등 대피자 개개인의 데미지를 분석하기 보다는 지역적 데미지를 분석하여 위험성 평가를 해온 것이 사실이다. 본 연구에서는 이러한 CFD를 이용한 수치해석 결과를 이용하여 복합상영관 화재시 지역적 데미지와 개인적 데미지의 차이점 분석을 통해 보다 정량적이고 현실성 있는 성능위주 화재위험성 평가를 수행하였다.

2. 수치해석 조건

2.1 모델링

본 연구에서는 최근 다양한 복합건물의 기능중 하나인 복합상영관에서의 화재를 모사하였다. 복합상영관의 경우 높은 대피 밀도와 용도적 특성상 어두운 환경에 기인한 가시거리 미확보와 대피구역의 한정으로 인해 대피 속도가 더딜 가능성이 크다. 또한 좌석이 방염처리 되지 않은 경우 화재 확산으로 인해 대피시 위험성이 확대될 수도 있다.

본 수치해석에 적용된 복합상영관의 모델링은 부평역사 상가 내 복합상영관 중 1개의 상영관의 설계 자료를 기준으로 하였다. Fig.1은 설계 자료와 동일한 형상인 길이 24.0m, 폭 12.0m, 높이 5.0m인 상영관의 내부 모습이다. 출구는 총 2개소이며 폭 1.8m 높이 2.2m의 크기로 모델링하였다. 또한 상영관의 특성상 출구1은 바닥에 위치, 출구2는 바닥으로부터 1.0m 높이에 위치하는 것으로 설정하였다.

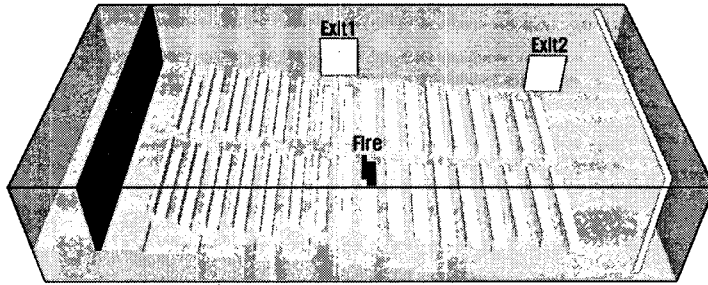


Fig.1 상영관 내부도

2.2 계산 조건

2.1.1 FDS(Fire Dynamics Simulator)

상영관 내부의 시간에 따른 화재 형상 및 열적 유동의 수치해석은 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 CFD 해석프로그램인 FDS(ver 4.07)를 사용하였다. FDS는 화재의 특성 및 유동분석에 뛰어난 평가를 받고 있으며 해석방법은 SmokeView 가시화 틀을 통한 정성적인 평가 방법과 좌표별 ASCII Output Data를 이용한 정량적인 분석방법을 이용하여 평가할 수 있는 특징이 있다.

수치해석에 사용된 격자수는 1,440,000($120 \times 240 \times 50$)개로 설정하였으며, 격자의 형태는 Uniform으로 해석하였다. 화재의 크기 및 성장속도는 SFPE "Principles of Smoke Management"에서 제시하는 sofa with plyurethane foam padding의 화재실험 결과를 기준으로 설정을 하였으며, Reaction material은 FDS에서 제공하는 기본 Database상의 물질인 Polystyrene으로 수치해석을 진행하였다. 또한 화재의 확산을 위해 주변 의자는 Upholstery로 설정하였다.

제연 및 배연을 위한 상영관 내부에서의 제·배연 장치는 고려되지 않았으며, 출구1과 출구2는 Open Vent상태로 설정하였다.

2.1.2 SIMULEX

화재 시 시간에 따른 대피자의 위치 파악 및 최종 대피시간 산정을 위해 영국 IES사의 가시화 대피시뮬레이션인 SIMULEX를 사용하였다. SIMULEX는 인원의 특성(크기, 대피속도) 설정, 대피 Delay 설정 및 인원간의 거리 차에 따른 대피 속도 감소 등이 그 특징이라 할 수 있다.

Fig.2는 복합상영관 내부의 모습이며 1관에서 탈출하는 시간까지의 위치정보 및 시간에 대해 해석하였다. 1관의 총인원은 좌석수 258석이 만석이 되는 기준으로 선정하였으며 대피를 시작하는 시간은 화재 발생 후 인지시간인 30초로 하였다. 인원의 비율은 성인 남성 40%, 여성 60%로 하였으며, 정해진 258명을 공간에 Random 분배 하였다. 대피자의 신체적 특성은 한국표준과학연구소에서 연구된 한국인 체위를 기준으로 설정하였다.

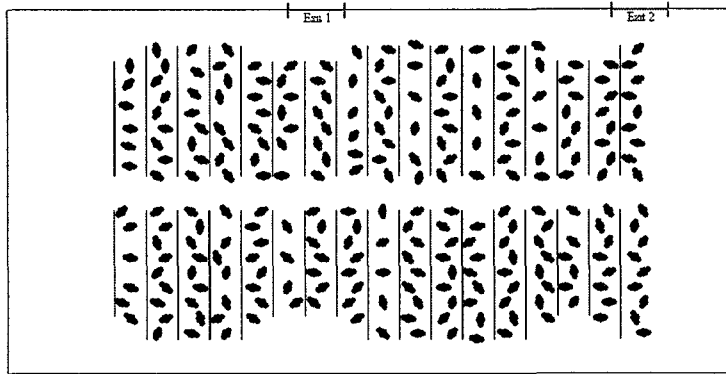


Fig.2 상영관 내부 인원배치도

2.3 위험성 평가 항목

FDS 수치해석 결과로부터의 위험성 평가는 대피자의 호흡선 높이인 1.5m 상부의 대피공간내 좌표를 기준으로 하였으며 이에 따른 평가항목은 다음과 같다.

2.3.1 F_{IN} (Frctional Incapacitating Dose for exposures to Gases)

F_{IN} 은 독성가스의 호흡에 따른 시간당 데미지 누적치를 합산하여 평가하는 방법으로 식(1)과 같이 나타낸다.

$$F_{IN} = \sum_{i=1}^n [(F_{ICo_i} + F_{ICN_i}) V_{CO_2,i} + F_{IO,i}] \Delta t_i \quad (1)$$

F_{IN} 은 CO, HCN, CO₂, O₂의 호흡정도를 시간에 따라 누적하여 위험도를 나타내며 1.0을 초과하면 일반인이 의식불명이나 사망하게 되는 것으로 판단한다. 하지만 대피자의 개인차와 안전성을 고려하여 설계 시 0.1 이상이 되면 위험한 것으로 판단하는 것이 올바르다. 하지만 HCN의 경우 FDS에서 데이터화가 되지 않기 때문에 HCN이 없을 때의 대입값 0.0045min⁻¹을 적용하여 해석을 수행하였다.

2.3.2 F_{Ith} (Frctional Incapacitating Dose for exposures to Heat source)

F_{Ith} 는 Convection을 통해 전파되는 온도의 위험도를 시간에 따라 누적하여 평가하는 방법으로 식(2)와 같이 나타낸다.

$$F_{Rh} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{\exp(C_1 - C_2 T_i)} \quad (2)$$

F_{Ith} 는 F_{IN} 과 마찬가지로 0.1이상이 되면 위험한 것으로 판단하여 계산을 수행하였다.

2.4 경계 조건

건축물내 위험성 평가를 위해 Table1과 같이 경계 조건을 선정하였다.

Table1 위험성 평가 경계 조건

Cases	평가좌표	평가 높이	비 고
Case1	높이 1.5m 평균	호흡선 높이 (바닥면 기준 1.5m)	혼잡 지점 최초 탈출인원부터 최종 탈출인원까지 10명 간격 평가
Case2	높이 2.5m 평균		
Case3	출구1 지점		
Case4	출구2 지점		
Case5	대상별 추적 좌표		

Case 1~4는 지역적인 위험도 분석으로 Case1과 2는 바닥면을 기준으로 높이 1.5m 상부의 위치정보를 평균하여 위험도를 누적하였으며, Case3과 4의 경우는 혼잡 지점인 출구부의 위치좌표의 위험도를 누적하였다. Case 5의 경우는 SIMULEX를 이용하여 도출된 대피자의 시간에 따른 대상별 위치좌표를 추적하여 FDS 수치해석 결과로 나타난 좌표별 데미지를 누적하여 위험성을 분석했다. FDS의 수치해석으로 나타난 데이터는 10초 간격으로 샘플링 하였으며 이러한 데이터를 토대로 데미지를 분석하였다.

3. 수치해석 결과

3.1 피난 해석 결과

Fig.3~4는 2.1.2의 계산조건을 기준으로 SIMULEX를 이용한 피난해석 결과이다.

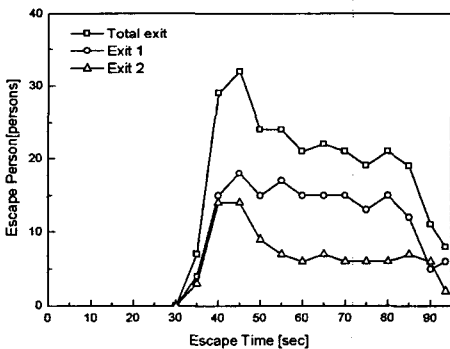


Fig.3 시간별 탈출인원(5초당)

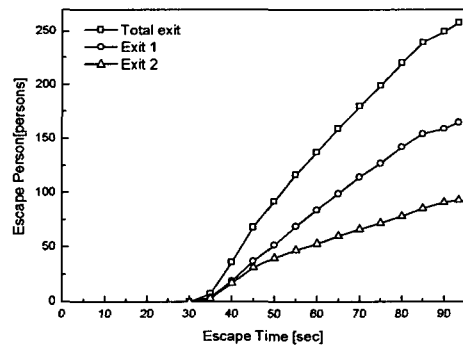


Fig.4 시간에 따른 누적 탈출인원

Fig.3~4에 나타난 바와 같이 대피자 258명이 모두 탈출하는 데 소요된 시간은 총 93.5초였으며 설계적 특성으로 인해 Exit1에서의 탈출 인원이 165명으로 93명인 Exit2과 72명의 차이가 발생하였다. 또한 Exit1과 Exit2 지역에서 인원의 병목현상이 나타났으며 이로 인해 최종탈출 시간이 더더지는 특징을 보였다.

3.2 화재 해석 결과

FDS를 이용한 수치해석 결과로 2.3의 화재위험성 평가항목에 적용한 결과는 Fig.4, 5와 같다.

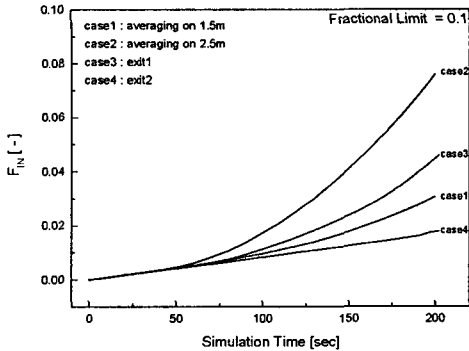


Fig.4 시간에 따른 F_{IN} 그래프

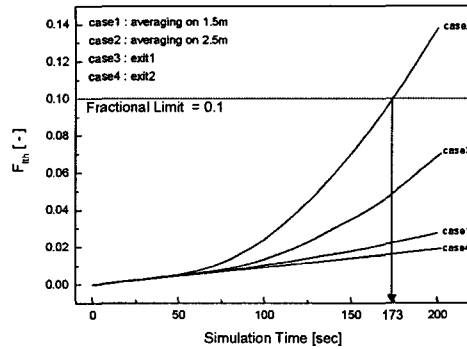


Fig.5 시간에 따른 F_{Ith} 그래프

Fig.4~5의 매연호흡에 따른 시간별 누적 데미지 F_{IN} 과 Heat source에 의한 시간별 누적데미지인 F_{Ith} 는 지상 2.5m지점 평균값인 Case2가 가장 높게 나타났으며 출구2 지점인 Case4가 가장 낮은 값을 보였다. Fig.4의 경우 Case2가 173초를 초과하면 위험한 값인 0.1을 초과하는 것으로 나타났다.

또한 Fig.4~5에서 같은 높이인 Case2와 Case3, Case1과 Case4를 각각 비교하여 보았을 때 출구지점이 평균에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 화재시 병목현상이 발생하는 출구의 위치 선정이 위험성에 평가 결과에 영향을 미친다.

3.3 화재 위험성 평가 결과

3.1과 3.2의 해석 결과와 실제 대피자의 시간에 따른 좌표추적을 통해 나타난 대피자의 개인적 데미지 결과를 Fig.6~7에 나타내었다.

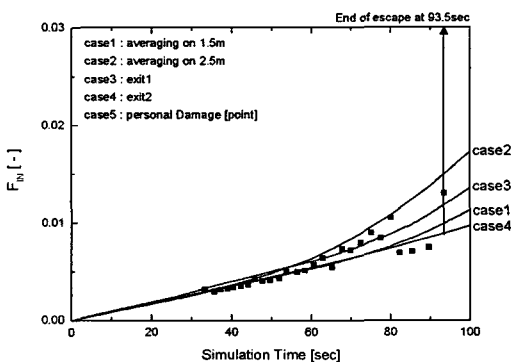


Fig.6 시간에 따른 F_{IN} 그래프 (case5와 비교)

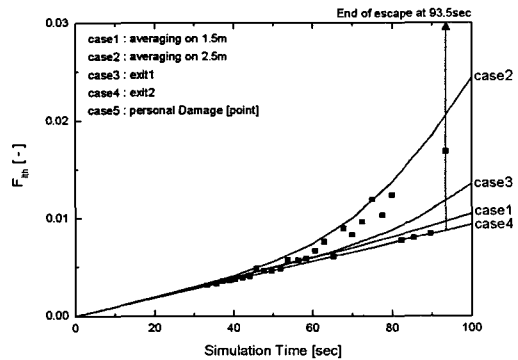


Fig.7 시간에 따른 F_{Ith} 그래프 (case5와 비교)

Fig.6~7에서 보는 바와 같이 실제 인원의 추적 데미지를 분석한 결과 대피자의 위치 및 최종도달 탈출구에 따라 각각 인원의 데미지 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한 Case1~4와 비교해 보았을 때 각각의 개인별 위치에 따라 결과가 다르게 나타나므로 어

떠한 Case도 Case5를 대표할 수 없는 결과로 나타났다. 이것은 국지적인 부분이나 전체적 평균을 이용한 화재위험성 평가는 실제 개인의 위험도와 다를 수 있다는 것을 나타낸다.

따라서 이러한 정량적인 화재 위험성 평가시 개인적 시간에 따른 위치변화를 추적하는 분석 방법이 보다 신뢰성의 확보에 타당하다.

4. 결론

수치해석을 통한 복합상영관 화재위험성 평가를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1) 피난 해석 결과 대피자 258명이 Exit1과 Exit2를 통해 최종 대피하는 시간은 총 93.5초가 소요되었으며, 출구지점의 대피자 병목현상으로 인해 탈출속도가 더디지는 특징을 보였다.

2) 화재 해석 결과 지상 2.5m지점 평균인 Case2가 가장 높은 값을 나타냈으며, 출구 2지점인 Case4가 가장 낮은 값을 보였다. 또한 Case2의 경우 화재 발생후 173초가 초과되면 Heat source에 의한 데미지가 한계값인 0.1을 넘어서는 것으로 나타났다.

3) 공간의 평균과 병목지점인 출구의 화재위험성을 비교한 결과 후자가 상대적으로 위험성이 낮게 나타났다. 따라서 화재시 출구의 위치 선정이 위험성 평가 결과에 영향을 미친다.

4) 개인별 좌표 추적을 통해 화재로 인한 데미지 분석결과 대피자의 위치 및 최종도달 탈출구에 따라 데미지의 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한 국지적인 부분이나 전체적 평균을 이용한 화재 위험성 평가는 실제 개인의 위험도와 다를 수 있다.

5) 따라서 정량적인 화재 위험성 평가시 개인의 위치추적을 통한 분석이 신뢰성의 확보에 타당하다.

5. 참고문헌

- 1) John H. Klotz, James A. Milke, "Principles of Smoke Management", ASHRAE, SFPE, 2002.
- 2) G. W. Mulholland, "The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, chapter Smoke Production and Properties", Third Edition, National Fire Protection Association, pp.2-265~266. 2002.
- 3) David A. Purser, "The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, chapter Toxicity Assessment of Combustion Products", Third Edition, National Fire Protection Association, pp.2-83~171, 2002.
- 4) Kevin McGrattan, Glenn Forney, "Fire Dynamics Simulator(Version 4) User's Guide", NIST, 2005.
- 5) 박창영 외 2명, "인체 모듈과 특성을 고려한 인간의 피난 행동에 관한 연구", 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, pp.231~234. 2005.
- 6) 이동호, 김하영, "지하철 승강장 형식에 따른 정량적 화재 위험성 평가", 한국안전학회지, Vol.21, No.6, pp.1~6, 2006.12.
- 7) 이창민 외 다수, "제5차 한국인 인체치수조사사업 보고서(2차년도 최종보고서)", 산업자원부 기술표준원, 2004.11.