

영화관 화재에 대한 모델링 적용시 효용성에 관한 연구

희준호, 노삼규, 김종훈*, 김운형*, 박형주**

광운대학교 건축학부, 경민대학 소방과학과*, 경원전문대학 소방시스템과**

Validation of Fire Modeling for Movie Theater Fire

Jun Ho Hur, Sam Kew Roh, Jong Hoon Kim,

Woon Hyung Kim, Hung Joo Park

Kwang Woon University, Kyung Min College, Kyung Won College

1. 서론

산업의 발달과 경제적 여유에 따라 문화공간으로 많은 사람이 밀집되고 현대적 복합 기능까지 추가된 영화관은 현대인의 문화적 활동의 중심공간으로 자리를 잡아가고 있다.

최근에는 다양한 문화시설과 복수의 상영관을 갖추어 초고층 빌딩의 상층부 및 대형 지하공간에 위치한 복합영화관들이 생겨나고 있는 추세이다. 그러나 이러한 다중 이용시설의 영화관 화재에 대한 위험성은 충분히 인식되지 못하고 있다.

특히 무창층 이면서 다양한 층에 위치한 영화관에서의 화재분석은 인명안전에 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 영화관의 화재안전설계를 위하여 본 용도의 화재 특성과 Zone 모델 및 Field 모델을 적용하여 화재위험성을 분석하고 모델의 상호 효용성 비교를 수행하였다.

2. 영화관 화재 위험성

영화관은 밀집, 밀폐된 공간으로 개구부가 없거나 있어도 매우 적은 무창층 구조이다. 또한 방재 상 특이성과 연기의 배출이 용이하지 못한 점 등 화재위험에 관한 주요 내용은 다음과 같다.

2.1 연소 특성

영화관에서의 연소는 공기의 공급조건에 의해 지배적인 영향을 받는 환기제어형화재(Ventilation-controlled Fire)가 된다. 영화관의 공간은 외부와는 거의 차단되어 있어 공기의 유입이 쉽지 않고 따라서 공기의 흐름이 거의 없거나 적다. 이런 현상으로 일반화재에서 쉽게 볼 수 있는 연소현상인 초기, 중기, 성장기, 최성장기, 쇠퇴기의 변화과정이 화재발생시 적용되지 않고 영화관내의 내장재 가연성 정도, 위험물의 방치여부, 가연성 가스취급에 따라 다소 차이가 있을 수 있다. 또한 그 내부의 공간적 한계로 인하여 연소열이 축

적되기 쉽고 이로 인하여 피해의 위험성이 예상보다 클 수도 있다.

2.2 연기 특성

영화관 내부는 많은 내장재로 인하여 발생초기부터 다량의 연기가 발생된다. 일정시간이 지남에 따라 공기의 흐름이 거의 없기 때문에 나중에는 훈소로 인한 농연의 발생은 한층 심해진다. 발생한 농연은 외부로 쉽게 빠져나오지 못할 뿐 아니라 유독성을 띄고 있다. 농연은 그 공간적 한계로 인하여 열기와 함께 내부에 축적되게 된다. 이러한 농연은 CO, HCN, COCl₂ 등과 같은 맹독성 가스를 가지고 있어 치명적이며 농연의 밀도가 높으면 조명효과가 거의 불가능하다.

기계 환기조건이 아닌 경우 연기의 이동속도는 비교적 적다고 본다.

2.3 심리적 특성

영화관은 밀집, 밀폐된 공간으로 불특정 다수의 사람들이 이용하며 화재 및 정전 시 공포감을 강하게 느끼고, 개방된 일반적인 생활공간으로부터 격리감을 의식하게 된다. 그러므로 군중 심리적 현상이 발생하고 일시적으로 수많은 사람들이 피난을 시도하여 2차적인 재해발생요인이 되기도 한다.

또한 연기의 확산으로 농연 등이 여러 곳에 미치기 때문에 화재발생장소의 오인이 쉽고, 화점 및 연소범위의 파악이 곤란하다.

3. 존모델(Zone Model)과 필드모델(Field Model)의 적용

사례분석을 위하여 결정론적 모델(Deterministic Model)인 Zone Model과 Field Model을 영화관 화재에 적용하였다.

3.1 화재 시나리오

객석 및 영사실과 복도를 가진 공간을 대상으로 영화 상영 중 객석 의자에서 발화된 화재로 인하여 화염과 연기는 영사실과 영화관의 연결개구부를 통하여 복도로 점차 확대된다.

의자에서 발생한 화재의 시간에 따른 열방출비율은 다음과 같다.

$$Q = at^2$$

여기서, Q = Heat release rate [KW]

a = Fire intensity coefficient [KW/s²]

t = Time [sec]

화재는 Unsteady Fire이며 화재성장곡선은 Fast, 최대 열 방출비율(Q)은 의자의 실험결과를 기준으로 1MW로 가정하였다. (그림 1)

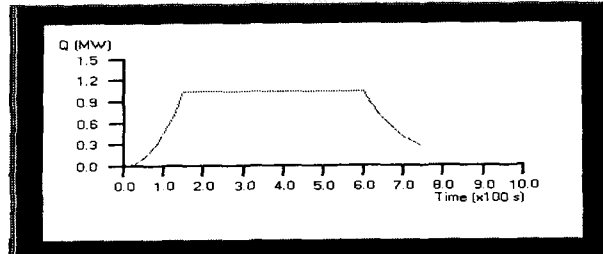


Fig 1. 화재성장곡선

3.2 존모델(Zone Model) 적용

1) FASTLite 모델

본 연구에 적용한 FASTLite 모델은 미국 NIST BFRL(Building and Fire Research Lab.)에서 개발된 프로그램으로 화재공간을 상층부(Upper Layer)와 하층부(Lower Layer)로 나누어 예측하는 존 모델이다.

공간의 구성은 영화관, 영사실, 복도로 구성되었으며 내용은 표 1과 같다.

구 분(m)	영화관 #1	복도 #2	영사실 #3
Depth	10.2	4.0	3.2
Width	20.3	20.3	10.2
Height	5.5	5.5	2.5

표 1. 영화관의 공간조건

2) 분석결과

(1) 상부 Layer 온도

객석 의자에 착화하여 발생한 화재는 발화 100초 이후 온도가 급격히 상승하면서 구획전체에 확산되었다. 발화 600초후에 상부 Layer의 평균온도가 130 °C에 도달한 후 환기 지배형 화재의 특성상 외부공기의 유입이 다소 어려워 서서히 저하된다.

근접한 영사실과 복도는 영화관과 연결된 개구부를 통한 열전달에 의하여 복도 상부 Layer 온도는 70 °C 까지 상승하나 영사실의 상부 Layer의 온도에는 크게 영향을 주지 않는다.

(2) 연기하강분포

발화 150초에 바닥에서 2.8m 정도의 Layer Height를 보이고 있으나 좁고 높이가 낮은 영사실과 복도는 다소 연기의 영향을 받는 것으로 나타났다.

피난한계로 볼 수 있는 2m 내외에는 발화 후 120초에 도달하고 그 상황은 600초까지 지속된다.

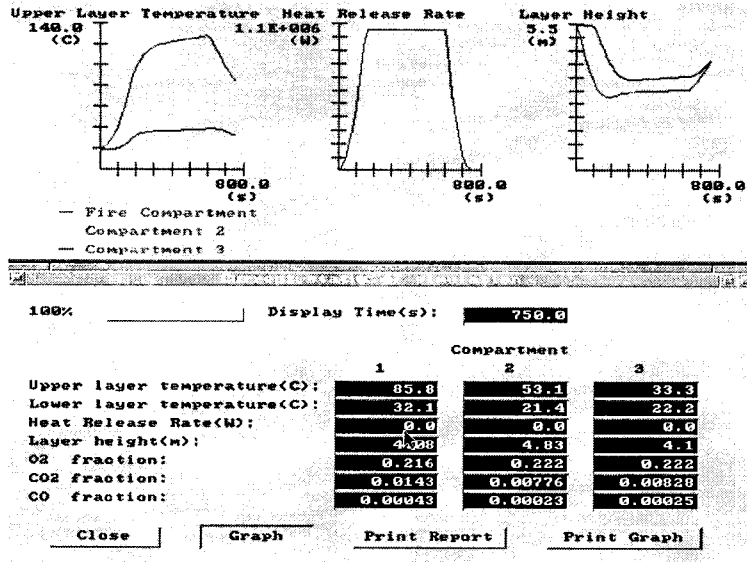


Fig 2. Zone 모델 시뮬레이션 결과

3.3 필드모델(Field Model) 적용

1) Jasmine

영국 BRE(Building Research Establishment)의 Fire Dynamic Center에서 개발한 CFD 화재 예측모델인 Jasmine을 사용하였다.

공간구성 및 열방출비율 조건은 존모델과 동일하다.

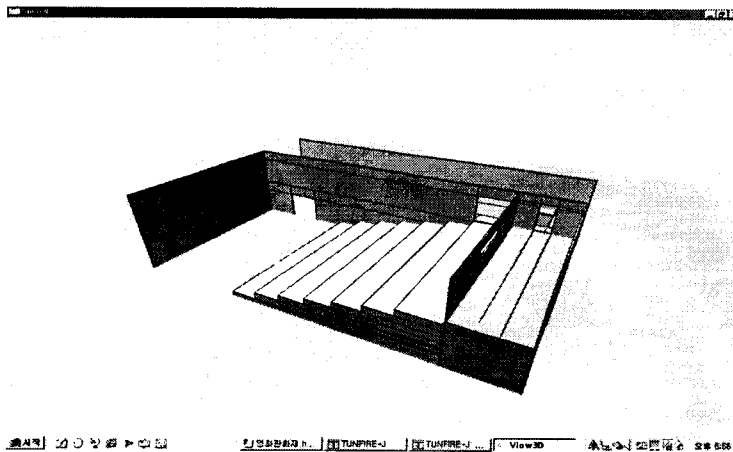


Fig 3. Field 모델의 공간구성

2) 분석결과

(1) 상부 Layer의 온도

영화관과 영사실, 복도를 약 55,000개의 Sell로 구분하여 화재시물레이션을 실시한 결과의 온도분포는 Fig 4에서 Fig 7 과 같다. 화원상부의 최고온도는 약 700 ℃ 이상의 온도를 나타내고 전체적으로 135 ℃의 평균온도분포를 보였다.

영사실과 복도는 영화관과 연결된 개구부를 통하여 열이 전달되어 상부고온층의 평균온도는 75 ℃를 나타내고 있다.

(2) 연기하강분포

Fig 8에서 Fig 11에 보듯이 발화 후 약 128초경에 바닥으로부터 3.3m 정도의 Layer Height를 보이고 750초에는 2.7m까지 하강하였다.

영화관과 연결된 영사실과 복도는 Fig 10에서 Fig12 와 같이 발화 90초부터 연기가 유입되어 128초경에는 연기 층이 바닥위 영사실은 0.7m 복도는 1.3m에 도달하여 피난한계에 이른 것으로 판단된다.

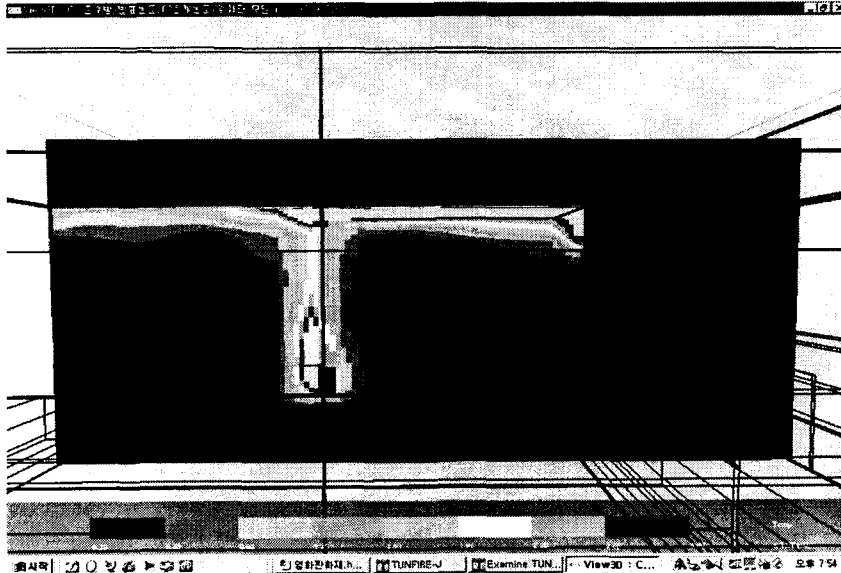


Fig 4. 영화관 Y축(세로)에서의 온도분포

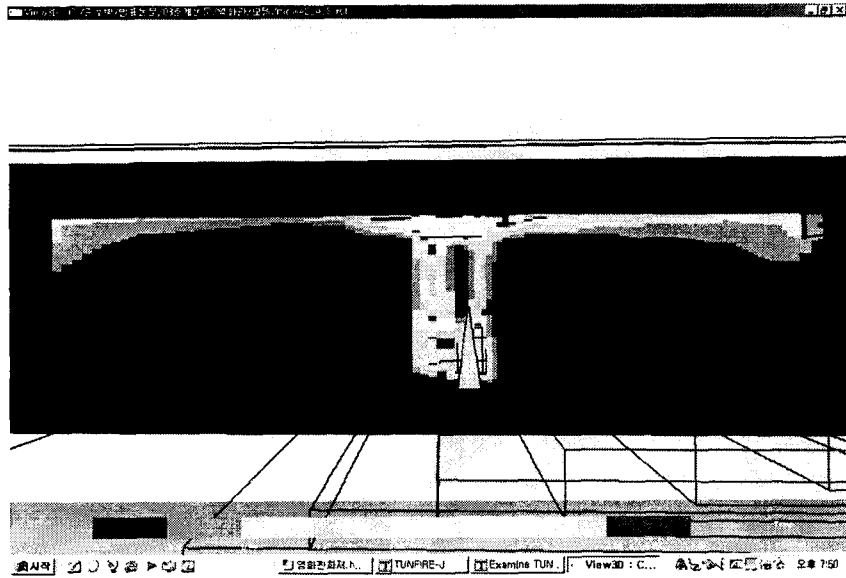


Fig 5. 영화관 X축(가로)에서의 온도분포

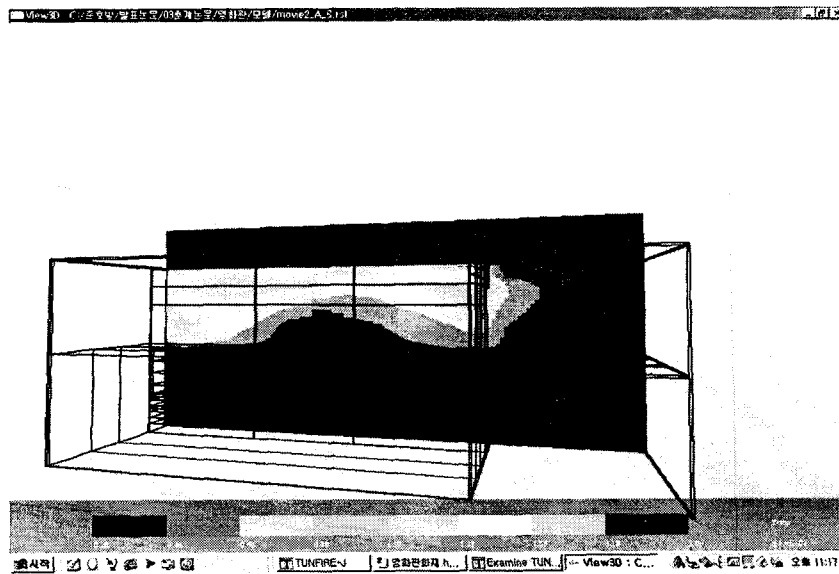


Fig 6. 복도로 유입되는 열기의 온도분포

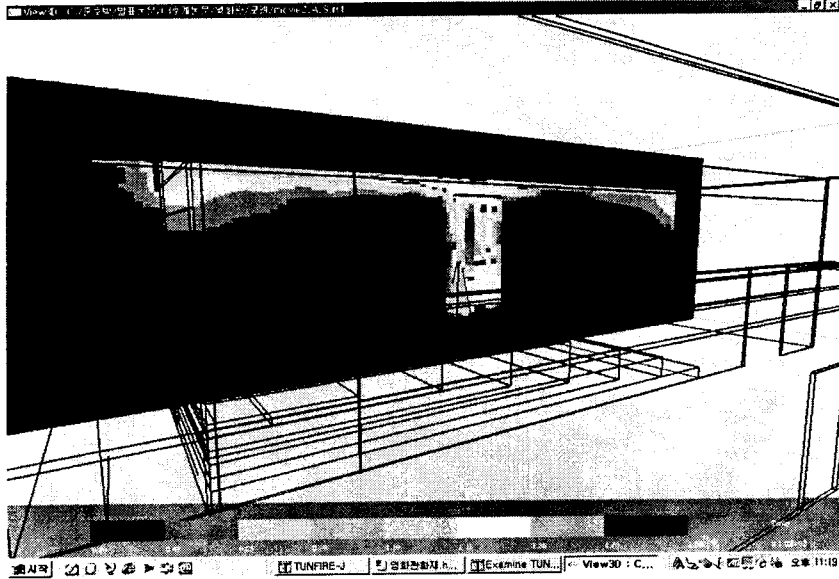


Fig 7. 영사실로 유입되는 열기의 온도분포

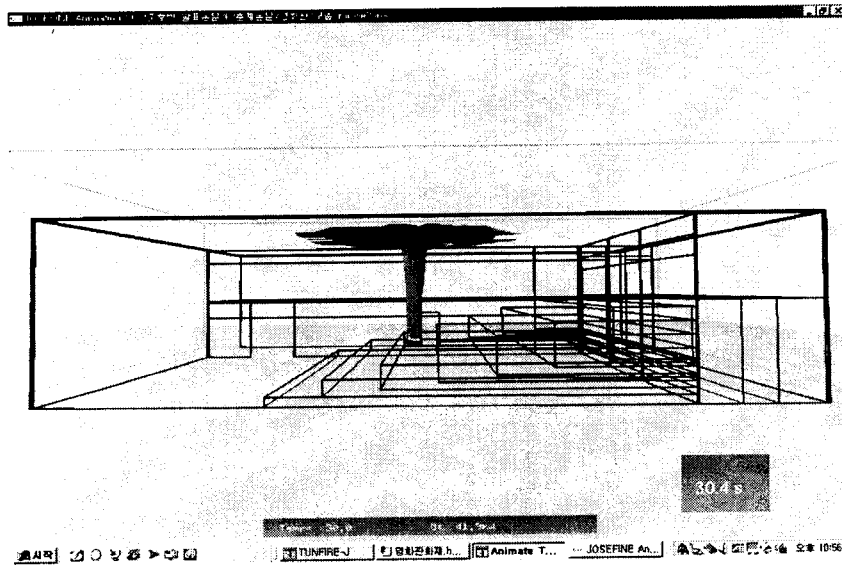


Fig 8. 연기의 유동(발화 30초 후)

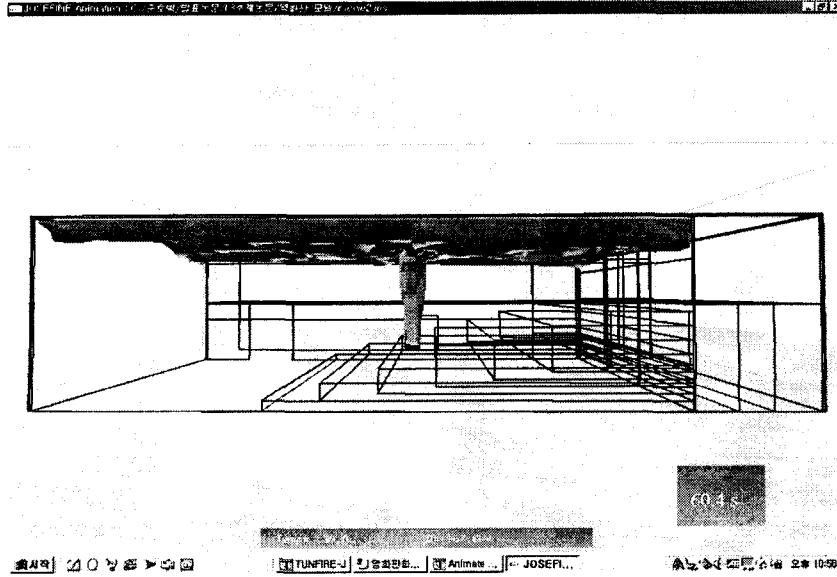


Fig 9. 연기의 유동(발화 60초 후)

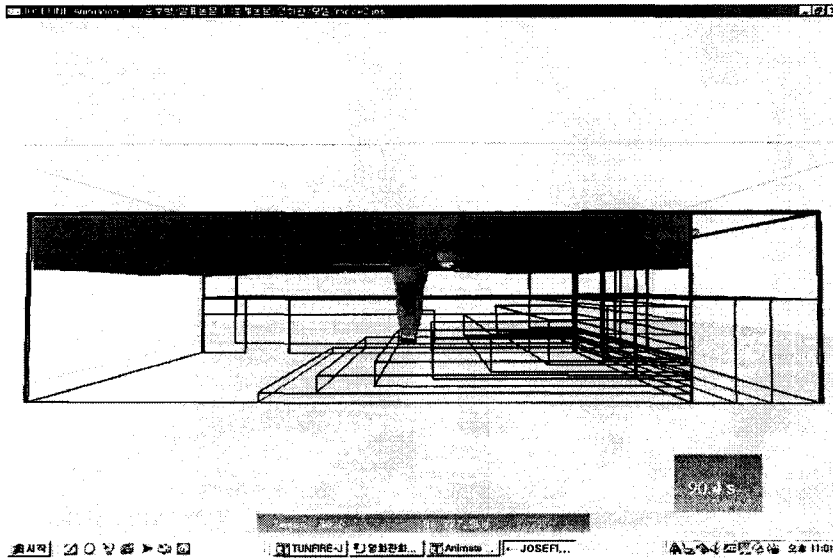


Fig 10. 연기의 유동(발화 90초 후)

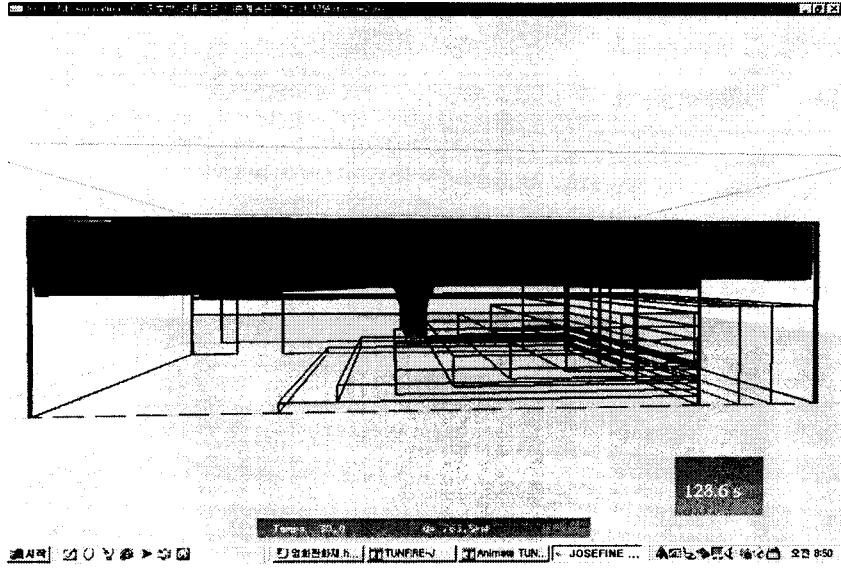


Fig 11. 연기의 유동(발화 128초 후)

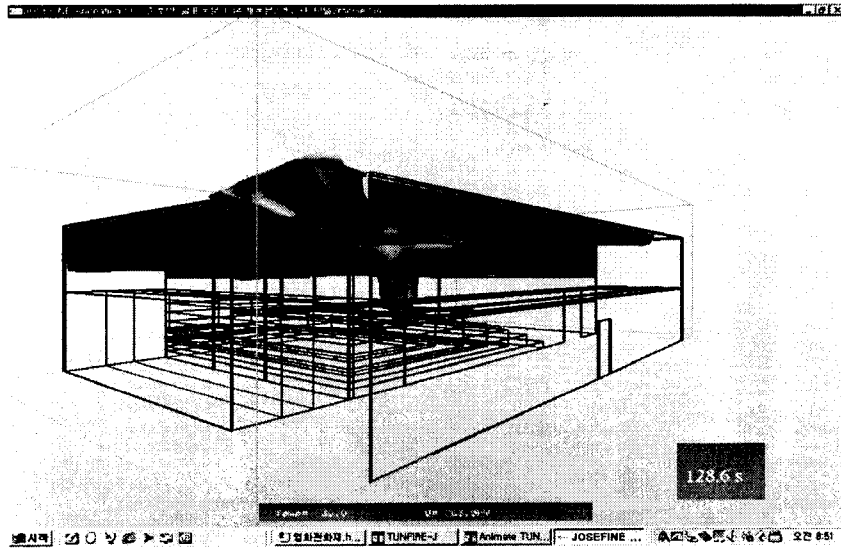


Fig 12. 복도와 영사실의 연기의 유동(발화 128초 후)

3.4. 존모델과 필드모델의 효용성 비교

복합영화관의 사례분석을 통한 존모델(FASTLite Program)과 필드모델(Jasmine Program)의 효용성을 비교 분석한 주요 내용은 표 2와 같다.

구분	존 모델	필드 모델
화재실 규모	한정된 구획화재(3개)만을 선정하여 다수의 영화관과 공간에 적용은 불가	다수의 층과 다수영화관 및 공간에 적용가능
화재의 크기	화재성장곡선에 의한 규격화재규모	HRR에 의한 크기조절 및 화재성장곡선의 병행조정가능
온도분포	화재실(영화관) 상부 Layer의 공간평균 온도분포를 일률적으로 파악	Sell에 의한 공간의 분할로 화재실 공간의 원하는 위치별 온도분포를 파악
연기의 유동	일률적으로 구획별 Layer Height를 그래프로 보여줌	시간(초)당 연기의 유동상태와 연기온도의 분포 및 공간확산과 개구부를 통한 전파상태를 Animation으로 보여줌
Simulation 시간	한정된 구획으로 수분 내 가능	공간의 형태와 복잡성에 따라 수시간 소요

표 2. 존모델과 필드모델의 비교분석

4. 결론

복합 영화관 화재 시나리오를 기준으로 존 모델과 필드모델의 적용시 효용성을 비교 분석한 결과, 화재실의 상부온도분포는 두모델 모두 평균 130 ~ 135 °C를 보여주고 있어 두 모델 모두 적용이 가능하지만 스포팅클러 설치 또는 화재감지기 설치와 같은 위치선정과 세밀한 온도분석은 구획전체의 온도분포를 평균적으로 나타내는 존 모델보다 필드모델이 유용할 것으로 판단된다.

또한 연기의 유동 및 Layer Height는 두 모델 모두 평균적인 형태(발화 120초경에 인간의 피난한계도달)를 보여주고 있다. 존 모델은 개구부를 통한 연기의 유입과 공간에서의 움직임 및 연기의 방향 등을 제시하지 못하고 필드모델에서는 최초발화에서부터 연기의 유동상황을 시간(초)으로 보여줌으로써 영화관 화재 시 다수의 인원이 피난할 수 있는 방향성을 제시할 수 있다.

한편 화재모델링을 적용하여 온도분포와 연기의 유동상태를 분석하여 영화관의 방화 및 피난설계를 위한 기본 방향을 제시할 수 있었으며, 향후 다양한 구조의 영화관에 관한 화재실험과 열기의 온도 및 연기의 유동을 억제할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 허준호, 윤명오, “국내 복합상영관 시설의 방재대책에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문, 2002
2. 김영일, 윤명오, 김종훈, 김운형, “할인점 지하매장의 피난성능 개선에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문, 2001.3
3. 김운형, 김종훈, “Fire Modeling Design Guide”, 경민대 소방과학과, 2000
4. Dougal Drysdale, "An Introduction to Fire Dynamics", WILEY. 1999