

# 복합상영관 화재에 대한 화재모델링의 적용 A Study on the Application of Fire Modeling for Multiplex Cinema Theater

허준호<sup>†</sup> · 김종훈 · 노삼규 · 김운형\*

Jun-Ho Hur<sup>†</sup> · Jong-Hoon Kim · Sam-Kew Roh · Woon-Hyung Kim\*

광운대학교 건축학부, \*경민대학 소방학과  
(2004. 1. 9. 접수/2004. 3. 22. 채택)

## 요 약

다중이용시설의 화재시 온도분포 및 연기유동 모델링은 결정론적 모델(Deterministic Model)인 존모델(Zone Model)과 필드모델(Field Model)이 주로 사용되고 있다. 존모델은 공간을 두개의 지역으로 구분하여 화재현상을 분석하고, 필드모델은 공간을 다수의 Cell로 구분하여 분석하고 있으나 두모델의 비교에 대해서는 효율성 검증에 어려움을 겪고 있다. 따라서 화재현상의 모델링에 따른 수치적 이해와 관련자료의 검증을 통하여 실상황에 보다 근접한 새로운 모델의 개발이 요구된다. 본 논문에서는 두모델을 복합상영관의 실내공간에 적용하여 그 효율성을 분석해본 결과 공간 평균분포도에서는 존모델이, 세부적 공간현상에서는 필드모델의 적용이 적절한 것으로 판단된다. 또한 구체적인 화재의 성장과 감지기의 위치선정, 연기제어를 위한 제연설비의 검토를 위해서는 필드모델의 활용이 더욱 효과적이다.

## ABSTRACT

The deterministic modeling techniques like Zone model and Field model are mainly used for thermal distribution and smoke flow at fire case in multi use facilities. While Zone model analyse fire simulation by dividing spaces by 2 section, the Field model dividing many cells. However, the difficulty follows to prove efficiency between the two models when it applies. Therefore new modeling development is required which in closes to real situation by verify number algorithm and related data for fire modeling. The paper analyses the efficiency of two different fire modeling at interior spaces of multiplex cinema theater. It is found that the zone model for average distribution and the field model for detail space phenomenon are relevant to apply. Also, Filed model is useful to the result that fire analysis and position of detector and review for smoke control system.

**Keywords :** Zone model, Field model, Fire simulation, Multiplex cinema theater

## 1. 서 론

산업의 발달과 경제적 어려움에서 벗어난 사람들의 욕구충족을 위한 문화공간으로서 많은 유동인구가 밀집되고 현대적 복합기능까지 가미된 휴식공간으로 발달된 영화관은 도시인들의 문화적 중심공간으로 자리를 잡아가고 있다.

최근에는 다양한 문화시설과 여러개의 상영관을 갖추어 초고층 빌딩의 상층부 및 대형지하공간에 위치한

복합상영관들이 생겨나고 있는 추세이다. 그러나 이처럼 수많은 인구가 군집하고 유동하는 복합상영관 화재에 대해 많은 관심이 고조되고 있으며, 화재는 실험이 어렵다는 측면에서 현실적 대안인 모델링 기법 중에서 공간의 특성에 따른 적합한 모델에 대한 연구가 필요하다.

특히 복합상영관은 다중이용시설로 화재시 많은 인명의 피해가 우려될 뿐만 아니라 대부분의 극장이 일반 건축공간과는 다른 무창층 공간으로 화재시 열과 연기의 유동특성에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 수많은 볼특정 인구가 밀집된 복합상영관에서의 화재특성을 분석하고 Zone 모델 및 Field

<sup>†</sup> E-mail: jhhur07@hanmail.net

모델과 같은 Computer 모델링 기법을 적용하여 화재를 분석함으로써 복합상영관 화재에 대한 연구와 모델링 기법의 비교분석을 통한 효율성을 도출하는데 그 목적이 있다.

## 2. 복합상영관의 개념 및 화재위험도 분석<sup>1)</sup>

### 2.1 복합상영관의 정의

복합상영관은 보통 6개 이상의 스크린을 복합적으로 운영하고 DTS(Digital Theater System)와 3차원 첨단 상영장비 등을 갖추고 부대시설로 대형주차장·식당·카페·쇼핑타운·각종 전시장 등을 갖춘 건축물로서 1970년대부터 1980년대에 걸쳐 비디오 등에 관객을 빼앗겼던 미국 극장들이 불황의 타개책으로 개발하여 원-스톱 엔터테인먼트(One-Stop Entertainment)를 제공하는 복합화된 시설을 의미한다.

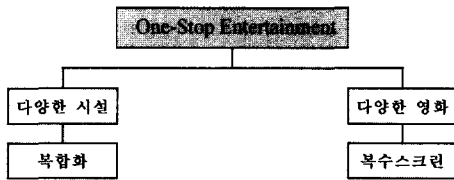


Fig. 1. One-Stop Entertainment의 정의.

### 2.2 공간특성의 고찰

#### 2.2.1 고층의 공간

고층화재시 사람의 행동은 연기에 대한 공포심으로 신속히 대피하려고 한정된 계단, 엘리베이터와 같은 피난시설로 몰려 동시에 사용하기 때문에 출구 및 계단 앞에서 일시 지체하지 않으면 안된다. 또한 위험이 촉박해지면 혼비의 정도가 심해져 막다른 곳으로 피난하는 습성이 있다.

특히 복합상영관과 같은 불특정 다수인이 다량으로 거주와 이동을 하는 장소에서는 외부 및 지상으로의 피난을 위한 한정된 피난로와 동선으로 인하여 많은 인원을 수용하기 곤란한 문제점을 가지고 있으며, 이로 인한 지체와 혼란 그리고 화재와 연기에 의한 피해뿐만 아니라 피난에 따른 2차 피해가 우려된다.

#### 2.2.2 무창의 폐쇄된 공간

건물의 전체 모양과 형태를 볼 수 없으며, 창의 결핍으로 외부에 대한 참고점이 감소되어 발생하기 쉬운 공간의 방향감각 상실은 복합상영관의 기본적인 문제점의 하나이다. 복합상영관은 창이 없는 폐쇄된 공간이기 때문에 산소공급의 불충분으로 불완전연소가 되어 연기 및 일산화탄소의 발생량이 많다. 그리고 화재

발생시 전원공급이 차단됨으로써 배연설비 등이 작동되지 않는 경우가 많으며, 더욱이 창이 없기 때문에 외부로의 자연배연도 불가능하여 결국에는 내부로 연기가 확산되어 증만하게 된다.

#### 2.2.3 지하공간

일반적으로 지하공간은 화재, 침수 또는 지진으로 인해 감금될 심리적 두려움이 존재한다. 지하공간은 지상보다 낮은 위치에 있기 때문에 자연적인 원인인든, 화재시 작동한 소화설비의 소화수에 의한 침수이든지 건물외부로의 자연배수가 불가능하며 화재시 피난방향이 연기로부터 떨어진 곳이 아니라 상승하는 연기속의 계단이 되고 화재초기에 연기로 오염될 위험성이 높다. 따라서 피난능력과 환경조성이 크게 악화된다.

### 2.3 화재위험도 분석

다중이용시설인 복합상영관은 밀집, 밀폐된 공간으로 개구부가 없거나 있어도 매우 적은 무창층 공간으로써 화재시 많은 제약을 가지고 있으며 방재상 특이성과 연기의 배출이 용이하지 못한 점 등 아래와 같은 위험특성들이 있다.

#### 2.3.1 연소특성

복합상영관에서의 연소는 공기의 공급조건에 의해 지배적인 영향을 받는 환기 지배형 화재(Ventilation controlled fire)와 같다. 영화관은 무창층 구조로서 외부와는 거의 차단되어 있어 공기의 유입이 쉽지않고 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 가연성정도, 위험물의 방치여부, 가연성 가스취급에 따라 다소 차이가 있을 수 있다. 또한 그 내부의 공간적 한계로 말미암아 연소열이 축적되기 쉽고 농축열에 의해 피해의 위험성이 예상보다 클 수도 있다고 할 것이다.

#### 2.3.2 연기특성

복합상영관에서의 화재는 객석의자, 영상기기류 등의 내장재로 인하여 발생초기부터 많은 연기를 발생하게 된다. 그리고 일정시간이 지남에 따라 공기의 흐름이 거의 없기 때문에 나중에는 혼소하면서 농연의 발생은 한층 심해진다. 발생한 농연은 외부로 쉽게 빠져나오지 못할 뿐 아니라 유독성을 띄고 있다. 농연은 그 공간적 한계로 인하여 열기와 함께 내부에 축적되어 이러한 농연은 CO, HCN, COCl<sub>2</sub> 등과 같은 맹독성 가스를 가지고 있어 몇 모금만 마셔도 인명의 손상을 가져올 수 있고 농연의 밀도가 높으면 조명이 거의 불가능하다.

또한 연기의 건물내 이동은 외기의 풍향, 온도, 환기

설비, 출입구와 창문 등의 개구부 조건에 영향을 받으며 영화관 내에서의 이동은 기계환기 이외의 영향은 적고 폐쇄공간내의 자연대류에 의한다고 말할 수 있다. 따라서 기계환기의 구동력을 가하지 않는한 연기의 이동속도는 비교적 적다고 본다.

2.3.3 심리적 특성

복합상영관은 밀집, 밀폐된 공간으로 불특정 다수의 사람들이 이용하며 화재 및 정전시 공포(Panic)를 강하게 느끼고, 개방된 일반적인 생활공간으로부터 격리감을 의식하게 된다. 그러므로 화재시 군중심리 현상이 발생하고 일시적으로 수많은 사람들이 피난을 시도하여 2차적인 재해발생요인이 되기도 한다.

또한 연기의 확산으로 농연 등이 화재발생 공간내 여러곳에 미치기 때문에 화재발생장소의 오인이 쉽고, 화점 및 연소범위의 파악이 곤란하다.

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

최근 국내 화재소방분야에서는 화재모델링에 대한 관심이 증가하고 있는 추세에서 건축물의 화재안전성을 평가하는 수단으로 가상화재시 컴퓨터 모델링기법을 적용하게 되는데, 본 연구에서는 결정론적 모델(Deterministic Model)인 Zone Model과 Field Model을 복합상영관 화재에 적용분석하여 보았다.

3.1 대상의 선정 및 시나리오 구성

3.1.1 대상

현대 영화관의 일반적인 특성을 보유한 복합영화관 중 1개관(200~300명 관람)을 대상으로 선정하고 여러 영화관을 연결하는 영사실을 배제하였으며 1개관에 별도의 영사실과 복도를 가진 장소로 실험을 실시하였다.

3.1.2 시나리오 구성

영화관람중 영화관에서 원인미상의 화재가 발생하여 화재가 아래와 같이 진행된다.

- 화재는 영화관람중 영화관에서 발생하여 연결개구부를 통하여 영사실과 복도로 점차 확대된다.
- 화재시 발생한 연기는 영화관과 개구부를 통해 연결된 영사실 및 복도에 확산된다.
- 화재시물레이션은 영화관, 영사실, 영화관과 연결된 복도를 대상으로 연기의 유동과 화원의 온도 및 분포도 등을 측정한다.

3.2 화원의 선정

복합상영관에서의 화재는 시간에 따른 화재현상을

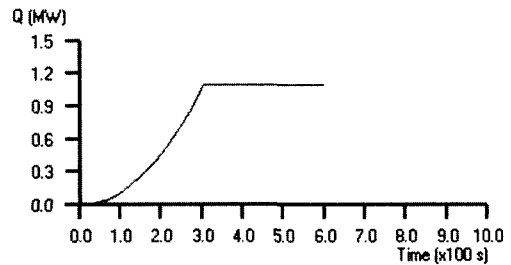


Fig. 2. 화재성장곡선.

묘사하기 위하여 NFPA 72B에서 사용된 열방출비율의 식을 이용하여 화원을 선정하였다.<sup>6)</sup>

$$Q = \alpha t^2$$

여기서, Q = Heat release rate[KW]

$\alpha$  = Fire intensity coefficient[KW/s<sup>2</sup>]

t = Time[sec]

본 연구는 영화관 객석부 화재를 대상으로 하였고 객석의자의 재질은 유사화재를 선정하기위해 NIST firedata의 Chair 재질인 wood frame, Urethane foam, cotton fabric으로 선정하였으며,<sup>5)</sup> 화재성장곡선은 가구류 화재를 고려한 Medium fire이고 화재 최대열방출율은 객석의자 5개가 최대로 연소한 1.1 MW로 하였다.

이때 화재지속시간은 연기가 인체에 미치는 영향을 고려하여 10분으로 정하고 최초화재는 Unsteady로 최대열방출율까지 성장한 후 600초까지 Steady fire로 진행된다.

3.3 존모델(Zone Model) 적용분석

3.3.1 FAST

미국 NIST 산하에 있는 BFRL(Building and Fire Research Lab.)의 Fire Modeling and Application Group에서 제작되어 각공간을 상층부(Upper Layer)와 하층부(Lower Layer) Two Zone으로 나누어 공간에서 화재현상을 예측하는 존모델 프로그램이다.

3.3.2 존모델의 구성

화재가 발생한 영화관, 영사실, 복도의 3개 구획으로 나누어 구성하였다.

Table 1. 영화관의 공간입력조건

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

3.3.3 존모델의 분석

□ 상부 Layer 온도

Two Zone(상부 Layer, 하부 Layer) 개념으로 구분하여 측정된 화재시물레이션은 상부 Layer의 온도변화가 화재발달상황을 판단할 수 있다.

영화관의 가연물에 착화하여 발생한 화재는 발화 100초 이후 온도가 급격히 상승하면서 구획전체에 확산되고 발화 600초 후에 상부 Layer의 평균온도가 118°C에 달한후 환기제배형화재(Ventilation Controlled Fire)의 특성상 외부공기의 유입이 다소 어려워 서서히 저하될 것으로 예상된다.

근접한 영사실과 복도는 영화관과 연결된 개구부를 통한 열전달에 의하여 복도 상부 Layer 온도는 70°C까지 상승하며 영사실의 상부 Layer의 온도는 작은공간으로 인하여 87°C까지 상승한다.

□ 연기하강분포

영화관에서의 연기하강분포는 발화 150초에 바닥으로부터 2.8 m 정도의 Layer Height를 보이고 있으며 계단형의 객석부분 상부측에는 화재초기(약 100초)에

객석바닥부근에서 1.5 m의 분포를 보인다.

좁고 높이가 낮은 영사실과 복도는 다소 연기의 영향을 받을 것으로 보이며 인간의 피난한계(연기의 하강이 호흡선 이하로 이루어지는 것은 매우 위험하며 연기의 특성을 고려할 경우 2m 이상의 확보)에 발화 130초 후 도달하며 발화 200초부터 600초까지는 일정한 하강분포가 지속되는 것으로 나타났다.

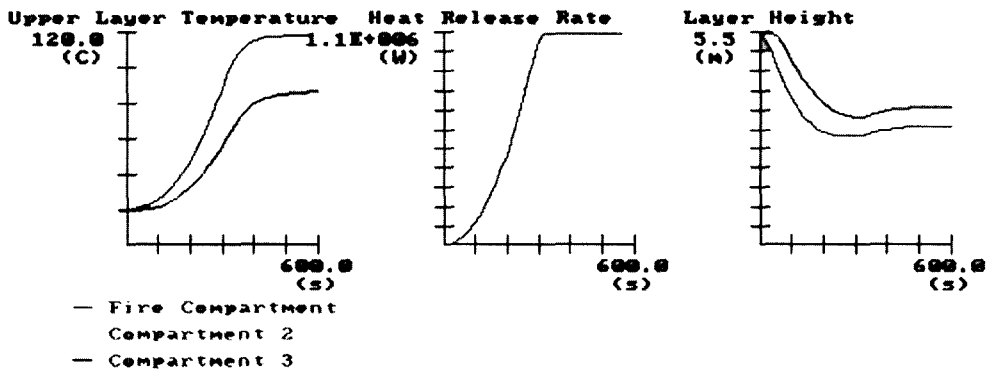
3.4 필드모델(Field Model) 적용분석

3.4.1 FDS

미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 Fire Dynamic Simulator는 화재에 의한 유체의 흐름을 해석하기 위한 CFD모델로서 단일공간 또는 다수실에서 공간을 다수의 Cell로 나누어 화재확산과 해석공간화재의 열적조건 등을 예측하는데 사용된다.

3.4.2 필드모델 공간구성

영화관, 영사실, 복도 3개 구획으로 Zone 모델과 동일하게 구성하였다.



Current status of simulation

100% Display Time(s): 600.0

	1	2	3
Upper layer temperature(C):	118.6	69.6	87.1
Lower layer temperature(C):	27.1	20.5	20.9
Heat Release Rate(W):	1097009.0	0.0	0.0
Layer height(m):	3.09	4.35	3.58
O2 fraction:	0.211	0.219	0.212
CO2 fraction:	0.01851	0.01115	0.01828
CO fraction:	0.00056	0.00033	0.00055

Buttons: Close, Graph, Print Report, Print Graph

Fig. 3. Zone 모델 시뮬레이션 결과.

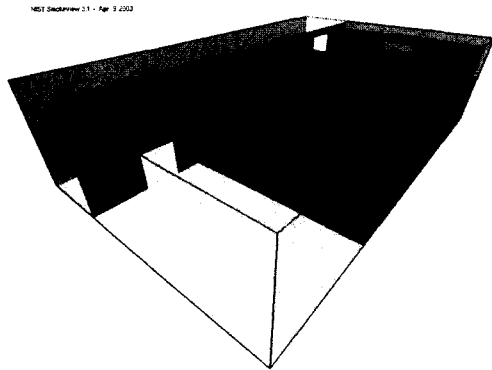


Fig. 4. Field 모델의 공간구성.

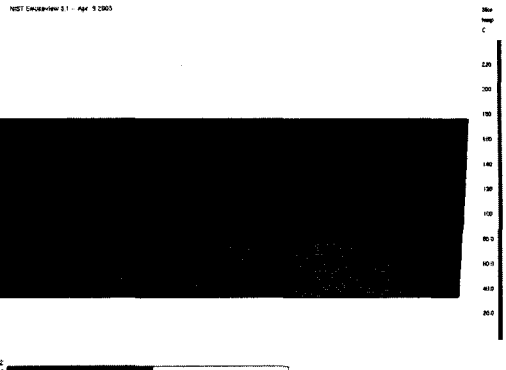


Fig. 6. 영화관 X축(가로)에서의 온도분포.

3.4.3 필드모델 분석

□ 온도분포

영화관과 영사실, 복도를 약 20,000개의 Cell로 구분하여 화재시뮬레이션을 실시한 결과 각 위치별 온도분포가 Figs. 5~6로 나타나고 있으며 발화 300초경에 화원상부의 최고온도는 약 120°C 이상의 온도를 보였고 화재가 발생한 영화관에서는 전체적으로 80~90°C의 평균온도분포를 보였으며 이런상황의 온도분포는 발화 600초까지 지속된다.

화원의 열기는 화원중심에서 천정부로 상승하여 수평으로 확산되어 실내에서의 화재조건인 Confined ceiling Jet의 형태로 벽면에서 하강하는 모습을 보여준다.

또한 영사실과 복도는 영화관과 연결된 개구부를 통하여 열이 전달되어 발화 300초경에 50~60°C의 온도분포를 나타내고 있다.

□ 연기하강분포

영화관에서의 연기하강분포는 Fig. 7과 같으며 발화 후 약 140초경에 바닥으로부터 3.5 m 정도의 Layer Height를 보이고 있고 이 시간대에 계단층의 객석부분

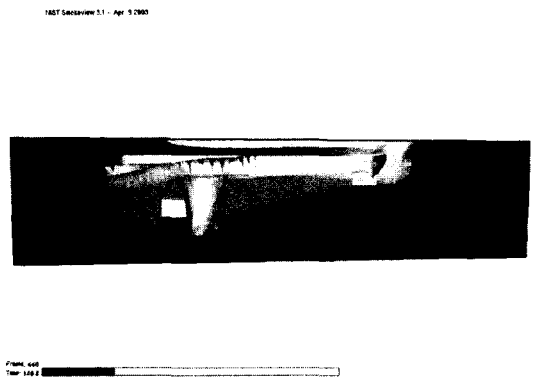


Fig. 7. 영화관에서 연기의 유동(발화 150초 후).

상부층은 피난한계(연기의 하강이 호흡선 이하로 이루어지는 것은 매우 위험하며 연기의 특성을 고려할 경우 2m 이상의 확보)에, 객석부분 하부층은 발화 200초경에 도달할 것으로 보인다.

그러나 영화관과 연결된 영사실과 복도는 Fig. 8에

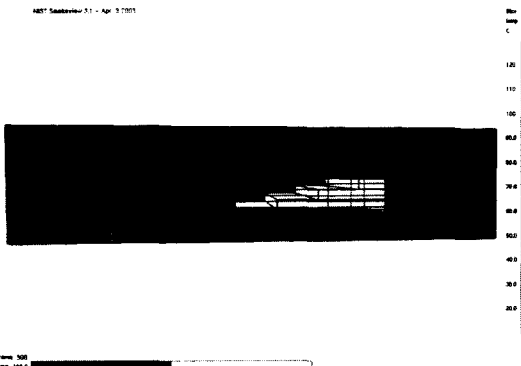


Fig. 5. 영화관 Y축(세로)에서의 온도분포.

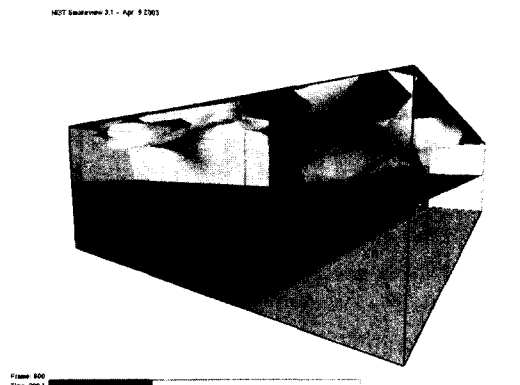


Fig. 8. 복도와 영사실의 연기유동(발화 200초 후).

서와 같이 발화 160초부터 영화관과 연결된 개구부를 통하여 연기가 유입되어 발화 200초경에는 인간의 피난한계에 도달한 것으로 판단된다.

**3.5 존모델과 필드모델의 비교분석**

복합상영관에서의 화재를 대상으로 존모델(FAST Program 사용)과 필드모델(FDS Program 사용)의 효율성을 비교분석해 보았다.

**3.5.1 온도분포분석**

복합상영관에서의 화재시 화재실(영화관)의 상부 온도분포는 Table 2의 모델별 평균상부 온도분포를 비교해볼때 Zone 모델과 Field 모델의 평균온도분포에서 두 모델의 차이를 알 수 있다. 화재실의 급격한 온도상승으로 발화 300초에 90°C의 온도분포와 발화 600초에 118°C까지 상승한 Zone 모델에 비해 Field 모델은 발화 300초에 68°C, 발화 600초에 93°C까지 상승하고 영사실과 복도의 온도분포는 Zone 모델의 온도분포에 비하여 현저히 낮음을 알 수 있다. 따라서 공간상부의 대략적 온도분포를 나타내는 Zone 모델의 경우 대형공간에서의 분석은 Field 모델에 비해 그 신뢰도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

그러므로 스프링클러 설치 또는 화재감지기 설치와 같은 위치선정과 세밀한 온도분석은 구획전체의 온도분포를 평균적으로 나타내는 존모델보다 Cell 구분에 의하여 공간구획 및 세분화된 분석이 가능한 필드모델이 적용가능할 것으로 보이며 화재모델링(특히 필드모델)을 통한 영화관 화재의 온도분석은 화재감지기의 위치선정 및 감지기의 종류와 성능에 따른 조기감지능력을 발휘하는데 효과적으로 반영할 수 있다.

을 발휘하는데 효과적으로 반영할 수 있다.

**3.5.2 연기의 유동 및 분포**

연기의 유동 및 Layer Height는 존모델의 경우 공간 전체의 평균적 높이를 나타내고 있는 반면, 필드모델은 넓은 공간에 있어 공간의 위치에 따라 연기의 분포 및 Layer Height의 높이가 다르게 나타남을 알 수 있다. 또한 존모델은 개구부를 통한 연기의 유입과 공간에서의 움직임 및 연기의 방향 등을 제시하지 못하고 필드모델에서는 최초발화에서부터 연기의 유동상황을 시간(초) 당으로 보여줌으로써 영화관 화재시 다수의 인원이 피난할 수 있는 방향성을 제시할 수 있다.

그러므로 연기의 유동현황의 분석은 영화관과 같은 객석위치에 따라 피난구의 높이가 다른 장소에서의 피난방향과 초기피난시간의 확보를 위한 공간의 연기제어를 위한 제연설비의 검토를 위해 모델링(존모델과 필드모델)은 모두 유용하게 활용될 수 있을 것으로 본다.

**3.5.3 모델적용의 공간구획의 수**

본 연구에서는 복합상영관 화재의 공간이 3개 구획으로 한정하여 모델링하였지만 다수의 층과 다수의 실이 존재하는 복합상영관은 한정된 구획에서 상부층과 하부층의 구역을 평가하는 존모델보다는 다수의 공간과 구획에서 많은 Cell에 의한 분석을 하는 필드모델이 복합상영관 화재안전성능 검토에 사용되어야 한다.

**3.5.4 모델링의 시간**

영화관 화재를 대상으로 존모델은 한정된 공간에서의 단순화된 프로그램으로 인해 짧은시간(수분내 가능)에 가능하고, 필드모델의 경우 공간의 형태와 복잡성에 따라 수시간 또는 수일까지 소요된다.

**Table 2. 모델별 평균상부 온도분포**

시간 (sec)	Zone 모델(°C)			Field 모델(°C)		
	영화관	영사실	복도	영화관	영사실	복도
60	25	20	20	24	20	20
120	30	25	20	28	23	20
180	50	32	30	37	27	20
240	70	50	45	55	35	25
300	90	60	50	68	48	27
360	110	70	60	80	60	38
420	115	80	68	90	65	39
480	117	85	68	92	67	42
520	117	85	68	89	70	42
580	118	87	69	92	70	44
600	118	87	70	93	70	44

**4. 결 론**

다중이용시설인 복합상영관 화재현상을 존모델과 필드모델을 적용하여 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 복합상영관의 실내공간화재에 두 모델을 적용하여 분석해본 결과 공간 평균분포도에는 존모델이, 세부적인 공간현상에서는 필드모델의 적용이 적절한 것으로 판단된다. 또한 모델링을 통한 비교를 볼 때 복합상영관과 같은 대공간에서의 분석은 다수의 Cell 구분에 의한 공간해석을 시각적으로 판단할 수 있는 필드모델의 활용이 더욱 효과적이다.

2) 복합상영관 화재시 화재모델링을 적용하여 온도분포와 연기의 유동상태를 분석해 봄으로써 모델링을 통한 영화관의 화재연구 및 소방시설설치의 방향성을 보여줄 수 있었다. 특히 필드모델의 경우 화재감지기를

의 위치선정 및 감지기의 종류와 성능에 따른 조기감지능력의 발휘와 공간연기제어를 위한 제연설비의 검토에 효과적으로 반영할 수 있다.

3) 새로운 모델을 개발할 때 두모델의 수치적 이해와 화재모델에 대한 정확한 파악, 사용능력의 배양 그리고 관련자료의 검증을 통하여 실상황에 보다 근접한 모델의 개발이 요구된다. 따라서 두모델의 장점을 고려한 새로운 모델의 개발이 필수적이나 현재 사용중인 모델의 활용을 통한 보다 점진적인 연구가 필요할 것으로 본다.

### 참고문헌

1. 허준호, 윤명오, “국내 복합상영관 시설의 방재대책에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문(2002).
  2. 김운형, “Performance-Based Fire Safety Design을 위한 Fire Model의 적용”, 소방기술, 한국소방안전협회(2003).
  3. Dougal Drysdale, “An Introduction to Fire Dynamics”, WILEY(1999).
  4. Kevin B. McGrattan, Glenn P. Froney, Jason E. Floyd, Simo Hostikka, Kuldeep Prasad, “Fire Dynamics Simulator Uaer's Guide”, NIST(2002).
  5. Richard D. Peacock, Paul A. Reneke, Walter W. Jones, Richard W. Bukowski, Glenn P. Forney, “A User's Guide for FAST”, NIST(2000).
  6. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, NFPA(2002).
1. 허준호, 윤명오, “국내 복합상영관 시설의 방재대책에 관