

멀티플렉스 영화관의 화재조건에 따른 화재거동 해석

조경섭, 김범규, 최선관, 박용환*

호서대학교 소방학과

Analysis on the Fire Behavior of Multiplex Theater Depending upon Design Conditions

K. S. Cho, B. K. Kim, S. K. Choi, Y. H. Park*

Department of Fire Protection Engineering, Hoseo University*

1. 서 론

21세기 들어 영화산업의 발달로 탄생된 멀티플렉스는 새로운 문화공간의 중심인 동시에 원 스톱(One-Stop) 기능 및 편리성으로 많은 인구를 끌어들이는 대중공간이 되고 있다. 다수의 상영관으로 구성되는 멀티플렉스는 대부분 식당 등 다른 상업시설이나 다양한 문화시설이 함께 자리 하고 있는 대형 건물의 지하 공간 또는 초고층 건물의 상층부에 위치하고 있어 일시에 수많은 인파가 몰리는 대표적 다중이용시설이다.

그러나 멀티플렉스가 자리 잡은 대형지하공간과 초고층건물들은 특수한 경우를 제외하고는 영화관의 입주를 고려하지 않고 설계 된 경우가 많으며, 따라서 건물 내에 화재감지 및 소화시설과 피난시설 등이 관련법을 준수하고 있다 하더라도 멀티플렉스의 편리성과 기능성을 강조한 나머지 멀티플렉스가 가지고 있는 화재안전 상의 문제점을 간과하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 신축 예정인 멀티플렉스에 대하여 화재를 가상하였을 때 화재 조건에 따른 화재 거동을 분석하고 문제점을 도출하여 보다 나은 방재대책의 방향을 제시함으로써 멀티플렉스의 화재안전 성능을 확보하고자 하였다.

2. "A" 멀티플렉스의 공간 특성

2-1. 멀티플렉스의 공간 구성 및 치수

일반적으로 멀티플렉스의 구성은 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터 등의 수직 동선을 이용하여 접근 하는 수직형과 상영관들을 같은 바닥 면에 상영관의 크기와 배치를 다양하게 구성하는 수평형이 있으며, 이 두 가지를 조합하여 구성함으로써 중규모 건물에서 사

용이 적합한 조합형 형식이 있다.

해석 대상인 A 멀티플렉스의 경우는 조합형으로서 크기는 동일하고 구조는 수평 공간상 대칭인 8개의 상영관으로 되어 있다. 한 상영관의 공간 구성 및 크기는 25.5m(W)*16.3m(D)*11.6m(H)로 구획된 상영관과 5(W)*19.5(D)*5.6(H)로 구획된 영사실 및 25.5m(W)*2.85m(D)*3m(H)로 구획된 복도로 구성되어 있다.

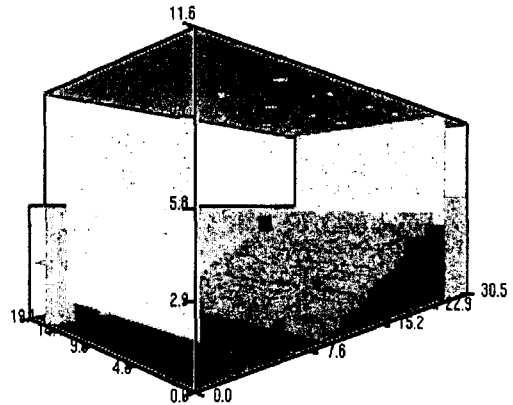


Fig. 1. "A" 멀티플렉스의 공간 구성.

또, 상영관의 스크린을 기준으로 하여 우측면에 크기 0.9m*2.1m 의 비상구가 있고 입구 및 출구는 1.8m*2.1m의 동일

크기로서 스크린 기준 좌측면 앞·뒤에 각각 하나씩 2개가 있다. 입구는 영사실 쪽에, 출구는 스크린 쪽에 위치하고 있으며, 계단으로 인하여 입구의 높이는 출구보다 3m 높은 곳에 위치하고 있다. 상영관과 영사실 사이에는 0.5m*0.5m 크기의 개구부 2개가 중앙부 약 10m 높이에 위치하고 있다.

본 멀티플렉스에는 화재에 대비하여 피난이 용이하도록 제연설비가 갖추어져 있으며, 제연방식은 배기 뱀피의 동작에 의해 배출기를 통해 연기가 외부로 배출되는 기계제연 방식이다. 배기구는 평상시에는 여름 겨울철에 냉난방용으로 사용되는 공조설비 겸용이며, 별도의 급기구는 없다.

배출구의 크기는 0.5m*0.5m 로서 화재 시 배출 풍량은 1400CMH이고 풍속은 약 1.77m/s 이며, 위치는 천정에 모두 12개 설치되어 있다. Fig. 1은 본 멀티플렉스 공간의 구성을 나타내고 있다.

2-2. 내장재의 특성

화재 시 실내에 있는 내장재는 가연물로서 화재의 크기, 연기 및 유독 물질 발생에 많은 영향을 준다. 화재 시 재실자가 사망하는 가장 큰 원인은 연기에 의한 질식이나 가연물에서 발생된 유독성 가스이므로 다중시설에서의 내장재 선정 시에는 내장재의 특성이나 방염 처리 등에 각별한 주의를 기울일 필요가 있다

본 멀티플렉스의 내장재의 경우 의자와 카펫은 방염 처리된 폴리프로필렌 또는 폴리스티렌으로 하고자 하며 벽 및 천정은 콘크리트 시공 후 흡음재로 덮는 것으로 하였다.

화재 모델링 시에는 이러한 내장재의 연소 특성을 정확히 반영하는 것이 무엇보다 중요한데, 본 해석의 경우 해당 내장재에 대한 특성 데이터를 확보하기 어려워 해석 프로그램의 데이터베이스 내에서 동일 용도의 가장 가까운 특성을 가진 물질을 선정하여, 중요 부분의 물성을 변화시켜가며 해석을 시도하였다. Table 1은 본 해석에 사용된 벽·천정에 덮여있는 재질 및 의자·카펫의 연소 특성을 요약한 것이다.

Table 1. 내장재의 연소 특성

특성 \ 내장재	의자	카펫	흡음재
밀도(kg/m ³)	749	749	1440
최대 연소속도	0.05	0.05	0.024
착화온도(°C)	250	250	510
증발열(J/g)	2000	2000	1000
연소열(J/g)	22300	22300	11200

2-3. 스프링클러의 특성

본 멀티플렉스는 다중시설이므로 화재 시 초기 진화 및 확산 방지를 위한 스프링클러 설비가 천정에 설치하도록 되어 있다. 스프링클러 설비는 반응시간지수(RTI) 값에 따라 일반형(80~350√m/sec)과 속동형(50√m/sec 이하)이 있는데, 본 공간에는 RTI=150, 작동 온도 72°C의 폐쇄형 헤드를 가진 일반형 스프링클러가 천정부에 정사각형 배치로 40개 설치되어 있다.

2-4. 화재 하중

화재실 또는 화재구획의 단위 바닥면적에 대한 등가 가연물의 값을 화재하중이라 하며 다음 식으로 산출하고 단위는 단위면적당 가연물질의 무게나 발열량으로 표시한다.

$$q = \frac{\sum(G_i \cdot H_i)}{H_0 \cdot A} = \frac{\sum Q_i}{4,500A}$$

단, G_i : 가연물 량(kg)

H_i : 가연물의 단위 발열량(kcal/kg)

H₀ : 목재 단위 발열량(4500 kcal/kg)

A : 화재실, 화재구획의 바닥면적(m²)

∑Q_T : 화재실, 화재구획 내의 가연물 전체 발열량 (kcal)

3. 화재모델링

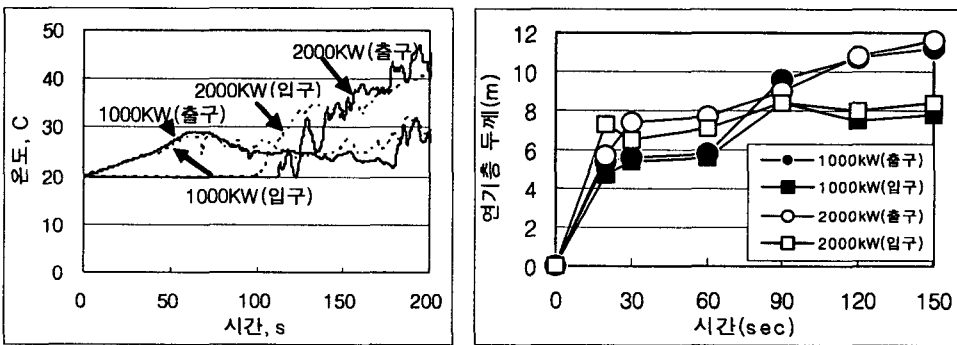
본 해석에서 화재 시나리오는 비상구 쪽 의자 가까이의 바닥 카펫에서 발생하는 것으로 하였으며, 소규모 화재의 경우 화재 진압이 용이하므로, 방화나 화재 초기진화가 실패하였을 경우와 같이 화재하중이 비교적 큰 경우의 화재로 가정하였다. 기본 화재하중에 대한 화재의 중심은 (7.9m, 1.5m) 지점의 카펫 바닥으로 하였고 발생 면적은 약 2m x 2m으로 설정하였다. 위의 공식에 의하면 화재하중(q)의 결과 값은 978kW/m² 로 산출되었다. 이에 따라 멀티플렉스의 화재하중 크기를 1000kW/m² 인 경우와 이보다 큰 2000kW/m² 인 두 가지 경우로 가정하여 서로 크기가 다른 화재강도일 때의 온도변화 및 연기 발생량에 대하여 비교하도록 하였다. 또한 본 해석에서는 스프링클러의 특성이 화재 거동에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여, 작동온도 72°C인 일반형 스프링

클러와 작동온도 68°C인 속동형 스프링클러의 두 가지 경우에 대하여 화재진압속도 및 연기하강속도에 대한 영향을 비교하였다.

의자 및 카펫 등 내장재의 특성 변화에 따른 영향을 살펴보기 위하여 방염(A)와 방염(B)의 두 가지를 가정하였다. 방염(B)는 방염(A)에 비해 착화온도는 동일한 반면 연소속도는 1/2의 지연 특성을 갖고, 이로 인해 soot와 CO의 발생량은 2배로 증가하는 것으로 하였다. 또, 영화관과 같은 다중시설에서는 제연설비가 미동작 시 큰 인명 피해를 야기하는 경우가 있으므로, 본 해석에서는 일정한 화재하중에 대하여 배출구가 작동될 경우와 미작동될 경우의 2가지 경우에 대하여서도 조사하였다.

4. 결과 및 분석

먼저, 화재하중의 크기 변화에 따른 입출구에서의 온도상승속도 및 연기하강속도를 조사하였으며, 스프링클러의 작동시간, 일정 시간 내 작동 개수를 비교하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 화재 시 피난 출구로 사용되는 입출구 1.5m 지점에서의 온도 상승속도는 화재하중의 크기에 따라 매우 다른 양상을 나타내었다. 화재하중이 1000kW/m² 일 경우에는 입출구 모두 화재 발생 이후 바로 온도가 서서히 상승하였으며 60초경과 시에는 약30°C에 이르다가 온도가 다시 하강하였다. 한편 화재하중이 2000kW/m² 일 경우에는 입출구 모두 약 100초 때 까지는 온도 변화가 거의 없다가 100초가 지나서는 온도가 급격히 상승하는 것으로 나타났다.



a) 온도상승곡선
 b) 연기하강속도
 Fig. 2. 화재하중 크기에 따른 입출구쪽(1.5m)에서의 온도상승속도 및 연기하강속도.

화재 성장에 의해 일반형 스프링클러가 최초로 작동한 시간 및 2분 이내에 작동된 스프링클러의 개수는 화재강도 1000kW/m² 일 때 약40초, 12개이고, 2000kW/m² 일 때는 약21초, 37개로서 화재강도가 2배로 커졌을 경우 작동시간은 1/2로 줄었지만 급격한 화재성장에 따라 훨씬 많은 헤드가 작동함을 나타낸다., 속동형 스프링클러를 사용하였을 경우 1000kW/m² 에 대한 최초 작동 시간은 약17초로 동일 화재강도 대비 일반형 스프링클러에 비하여 속동형이 화재 진압속도가 훨씬 효과적임을 나타내고 있다. 다만, 연기하

강속도의 경우 일반형이나 속동형의 경우 별다른 차이가 없는 것으로 나타나 화재 초기 진화에도 불구하고 발생 연기에 의한 질식사의 위험은 여전히 상존하는 것으로 나타났다.

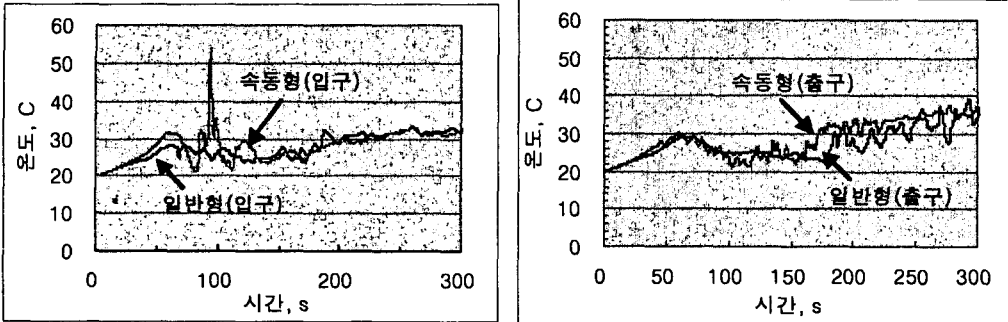
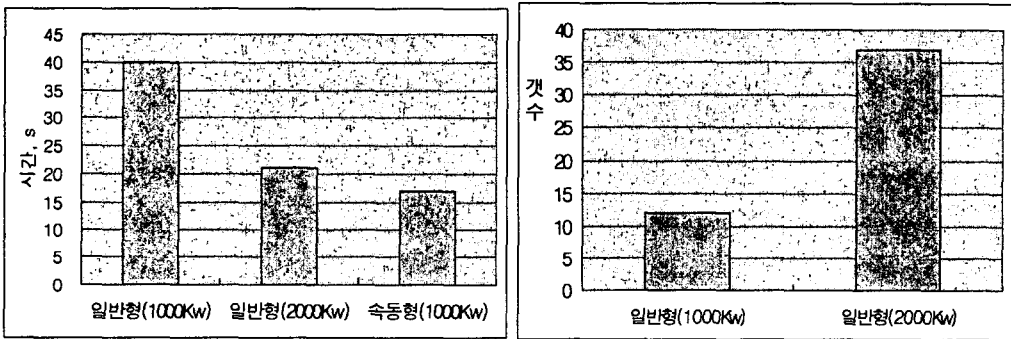


Fig. 4. 일반형 스프링클러와 속동형 스프링클러 작동 시의 입출구(1.5m)에서의 온도변화.



a) 스프링클러 최초 작동 시간

b) 2분 이내 작동 헤드 개수

Fig. 5. 화재하중 크기에 따른 스프링클러 최초작동시간 및 2분 이내 작동 헤드 개수.

Fig. 6은 방염처리를 더욱 강화한 방염(B)의 경우의 입출구쪽(높이 1.5m)에서의 연기하강속도를 나타낸 것이다. 방염(B)의 경우 방염(A)에 비해 동일 시간대의 연기하강속도가 빠른 것으로 나타났으며, 초 만에 입출구 1.5m까지 하강하는 것으로 나타났다. Fig. 7은 두 가지 방염처리에 대하여 질식사의 주요 원인이 되는 soot와 CO의 발생량을 비교한 것으로 시간이 경과함에 따라 유해물질의 발생량이 약 2.3배 증가하는 것으로 나타났다. 이로서 방염처리를 강화한 경우 화재 성장속도는 지연되는 반면, 연기 발생량 증가에 따른 탈출구 쪽에서의 연기하강속도가 훨씬 빨라져서 질식사 유발 또는 조기 대피하지 못할 경우 피난을 어렵게 만드는 상황이 발생할 수도 있음을 나타낸다.

Fig. 7은 배기구 작동 시와 미 작동 시의 공간 내 화재거동 차이를 나타낸 것으로 배기구 미작동 시 스프링클러의 작동이 약 10초 정도 지연되는 것으로 나타났다. 이는 고온의 화염 및 발생 연기가 배기구 미작동으로 인하여 천정으로의 상승속도가 둔화되기 때문으로 예측되었다.

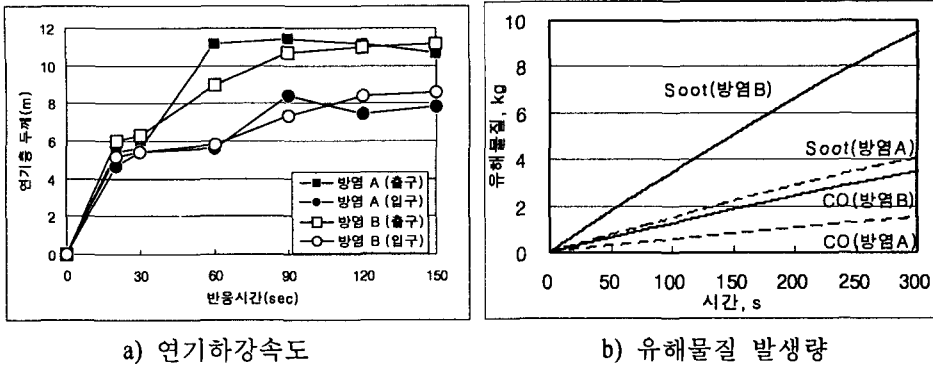


Fig. 6. 방염처리에 따른 입출구쪽에서의 연기하강속도 및 유해물질 발생 정도.

5. 결론

- 1) 화재하중이 매우 클 경우 떨어진 입출구에서의 온도상승은 오히려 지연될 수 있다.
- 2) 탈출구에서의 연기하강속도는 화재하중의 크기보다는 개구부의 위치에 더 큰 영향을 받는다.
- 3) 화염으로부터 떨어진 입출구의 온도는 헤드 반응속도에 별 영향을 받지 않는다.
- 4) 화재하중이 커지면 헤드의 작동시간이 빨라지며, 일정시간 내 작동 개수도 훨씬 많아진다.
- 5) 방염이 강화될 경우 화재성장은 지연되나 연기 및 유해물질의 발생량이 증가하며 연기하강속도도 빨라진다.
- 6) 배기구 미작동 시 헤드 개방은 지연된다.

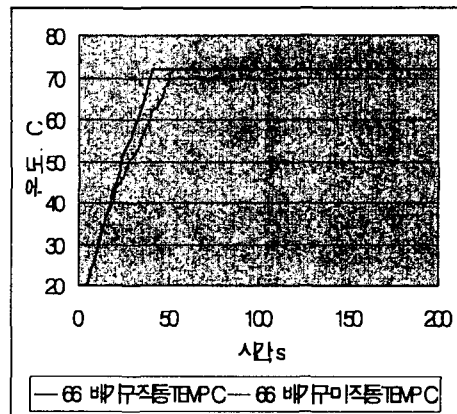


Fig. 7. 배기구 미작동 시의 헤드의 온도 상승 곡선

참고문헌

1. 김중훈, “스프링클러 반응 시간 예측에 대한 화재 모델의 비교”, 한국 화재 소방학회 논문지, 제15권, 제2호, 2001.
2. 박외철, “대구 지하철역 제연의 문제점과 대책”, 한국 화재 소방학회 논문지, 제17권, 제4호, 2003.
3. 조성우, “개구부와 열원의 위치에 따른 연기 이동에 관한 연구”, 한국 화재 소방학회 논문지, 제16권 제4호, 2002년
4. 허준호, 윤명호 “국내 복합상영관 시설의 방재대책에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 제16권 2호, 2002
5. 이병석, “1990년대 이후의 국내 멀티플렉스영화관의 현황 및 건축공간 구성방식에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사논문, 2000.