

대형실내공간에 대한 성능기준 화재안전설계의 적용 - 대형 공연장 제연설계를 중심으로 -

An Application of Performance Based Fire Safety Design in Large indoor Space.

- Focused on Smoke Exhaust System Design in Theater -

한밭대학교 이영재

1. 서론

최근 경제 발전과 문화생활에 대한 욕구의 증가에 따라 여러 문화관련 건축공간이 증가하는 추세이다. 대형공연장의 건축은 이미 오래전부터 이루지고 있으나 화재안전의 확보는 최근까지도 잘 이루어지지 않고 있는 상황이다. 대형 공연장은 불특정 다수의 인원이 집중되면서도, 무대부의 조명이나 세트, 막류 등이 있어 화재발생위험이 높다고 할 수 있다. 그러므로 대형공연장의 화재안전 중 피난부분은 특히 중요하다고 하며, 화재발생시 피난에 가장 결정적인 영향을 미치는 요소는 연기이다. 이러한 연기층의 하강은 피난시간과 비교 평가되어 건축물의 피난안전여부를 결정하는 위험요소이다. 이러한 연기층(smoke layer)의 하강을 저지하기 위해서는 제연용량(smoke exhaust rate)을 산정하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 대공간이면서도 특수한 용도인 공연장의 무대부 화재에 대한 제연용량 산정 및 설계 방안에 대한 성능기준적 접근을 수행하여 보았다.

이를 위하여 대형공연장의 화재위험요소를 알아보고, 공학적 예측도구를 사용하는 성능기준적 분석방법(performance-based analysis)를 이용하여 제연용량의 결정하고 설계 방안 결정을 수행해 보았다.

2. 대형 공연장의 일반적인 화재위험성

2.1 시설 측면에서 본 위험요소

1) 상부무대의 각종 무대막류

면막(Main curtain), 인활막(Draw curtain), 오페라 커튼(House curtain), 모형막, 머리막 등 막류의 관리 상태를 보면 신축공사 시 대부분의 공연장은 공사기간이 길어 제품 생산 시 방제하는 선 처리는 건축물의 완공시점에서는 유효기간인 2년이 경과하는 문제점과, 막을 설치 후 일정 기간이 경과하면 후처리를 하여야 하나, 후처리 시 형태의 변형 등을 우려 사후관리가 되지 않고 그대로 사용되고 있는 공연장이 대부분으로, 방제의 효과가 문제시 되며, 또한 각종(영사, 자막, 리어) 스크린은 가연성인 합성수지제품을 그대로 사용하고 있다.

2) 음향 반사판

천장반사판·측면반사판·정면반사판으로 나누어진 음향 반사판은 불연재를 사용한 공연장이 거의 없을 정도로 대부분이 철재 각 파이프와 각재 합판으로 제작하여 그 표면에 소창포를 붙이고 수성페인트로 마감하거나, 일부는 무늬목을 붙여 마감을 하였다. 한편 근래에 완공된 일부공연장은 중량을 경감 시키려는 목적으로 셸 타입(Shell type) 일체형 수입제품을 그대로 설치한 곳도 있었으며, 수성페인트 대신 수성형 방화도료를 도장한 곳도 있다.

3) 배연장치 (Smoke Hood System)

무대부분에서 화재가 발생시 주무대의 상부를 개방시킴으로써 화재 시 발생하는 연기를 배출시키는 장치로서 대규모 공연장에는 주로 설치가 되어 있었다. 이 장치는 비상시 작동

스위치를 조작하면 무대용 전용 전기패널에 의하여 가동하여 카운터 웨이트로 개방되도록 되어 있어 비상전원의 공급이 필요하다. 또한, 배연장치는 주무대 상부의 자동화재탐지설비 감지기와 연동하여 작동되도록 설비가 된 공연장은 거의 없다.

4) 방화막(Safety Curtain System)

앵글 및 철판 등 철타로 된 것과 석면포(Asbestos)로 제작된 두 종류가 있지만 대부분이 철타로 설치하였고, 법규정의 배제조항을 적용해 설치하지 않는 공연장도 있다. 한편 방화막을 설치한 공연장에서도 자동화재 탐지설비와 연계시키고, 중량물의 갑작스런 하강으로 발생할 수 있는 안전사고에 대비한 안전장치(일정높이에서는 유압장치 작동)를 한곳은 일부에 지나지 않는다.

2.2 방재 측면에서 본 위험요소

1) 연소특성

연소 및 연기성상은 공기의 공급조건에 의해 지배적인 영향을 받는다. 공연장은 마치 네모진 상자과 같아서 공기의 유입과 흐름이 매우적이다. 이렇다 보니 일반화재에서 쉽게 볼 수 있는 연소현상인 초기, 중기, 성장기, 최성장기, 쇠퇴기의 변화과정이 화재발생시에는 적용되지 않는 경우가 많다. 물론 화재의 발생시간대, 내장재의 가연성정도, 위험물의 방치여부, 가연성 가스의 취급에 따라 다소의 차이는 보일 수 있다. 화재는 발생초기부터 많은 연기를 발생하게 되고 일정 시간이 지남에 따라 공기의 흐름이 거의 없기 때문에 나중에는 혼소하면서 농연의 발생은 한층 심해진다. 발생한 농연은 외부로 쉽게 빠져나오지 못할 뿐 만 아니라 유독성을 띠고 있다. 공연장 내의 연기의 이동은 기계환기 이외의 영향은 적으므로 기계환기에 의한 특별한 구동력을 가하지 않는 한 연기의 이동속도는 비교적 작다. 또한 화재가 발생한 경우에는 연기의 확산으로 농연 등이 화재지역의 여러 곳에 미치기 때문에 화재장소의 오인이 쉽고, 화점 및 연소범위의 파악이 곤란하다.

2) 피난특성

피난은 인간이 위험을 피하는데 있어서 역할이 크지만, 그 경우 피난시간을 규정하는 보행속도가 문제된다. 공연장의 화재 시 연기속이나 정전 중 혹은 불비는 사람들 속에서 노인과 아동, 장애인 등 좀더 느린 경우를 고려해야 한다.

공연장은 불특정 다수의 사람들이 이용하는 폐쇄공간이기

때문에 화재 및 정전 등이 발생한 경우에 공포(Panic)를 강하게 느끼게 되고, 필요이상으로 급하게 대피하기 위해서 아주 소규모 화재임에도 불구하고 피난 상 큰 장애를 일으키게 된다. 또한 피난구로 일시에 쇄도하여 다수의 압사자가 발생할 수 있는 2차적인 재해 가능성이 높다.

〈표 1〉 공간적 측면의 특성

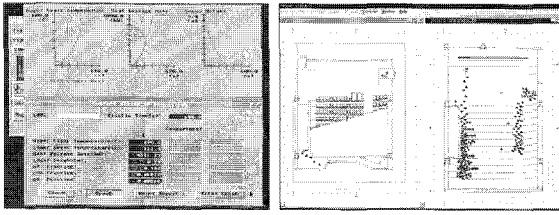
용도의 예	소규모 공간 주택거실·회의실	대규모 공간 극장·공연장
연소확대 성상	Flash over까지의 시간이 짧다.	Flash over까지의 시간이 길다.
연소확대의 예측 가능성	부위간의 상호 영향 때문에 연소 성상 예측은 기술적으로 곤란	부위간의 상호 영향이 적으므로 부위별로 예측 가능.
내장 방화대책의 의의	수납물의 규모·연소성에 따라서는 내장이 타지 않아도 Flash over가 일어날 수 있다.	내장재가 주된 연소확대 경로가 되며 수납물만으로는 대규모 연소 확대를 일으키기 어렵다.
인명위험이 미치는 범위	Flash over가 빠르므로 주변 거실에도 인명위험이 생긴다.	Flash over가 늦고, 주위벽이 방화 구획된 경우가 많으므로 주위공간 으로의 영향이 적다.
피난조건	발화설에서의 피난시간은 극히 짧다.	화재설 피난에는 어느 정도 시간이 걸린다.
설계규모 유지관리 조건	설계규모는 영세, 소규모·사용형 태는 다양하게 변동하기 쉽다.	설계규모는 크다. 방화안전의 입장에서 유지관리조건 설정.

3. 성능기준 화재안전설계에 의한 대형 공연장의 제연설계 방안

3.1 성능기준 화재안전설계

성능기준 화재안전설계의 방법은 먼저 설계의 대상에 대한 화재안전목표(Fire Safety goals)를 확립하고 화재시나리오와 설계 대안을 설정하고, 이에 대한 인정할만한 공학적 분석 도구와 방법을 사용하여 분석을 수행하여, 화재안전 목표와 목적에 대한 설계대안을 도출하는 공학적 설계방법을 의미한다.

화재안전의 목표는 상황에 따라 다르게 결정되며, 제안된 설계 대안이 확립된 화재안전 목표에 일치하는지를 확인하고 검증하는 공학적 도구(Engineering tools)로서는 실험(experiment)과 수치적 분석이 있다고 할 수 있다. 수치적 분석은 주로 결정론적인 분석방법(Deterministic Analysis)을 사용하는 데, 이는 화재모델링(fire modeling)이 있다. 화재 모델링은 공간의 규모와 분석의 범위에 따라 존모델(zone model)이나 필드모델(field model)을 사용할 수 있다. 또한 피난상황을 알아보기 위한 피난 모델(evacuation model)의 사용도 포함된다.



(a) (b)
 <그림 1> zone model FASTlite(a)와 evacuation model Simulex(b)의 수행장면

3.2 대형공연장의 성능기준 제연설계 방안

성능기준적 설계의 수행을 위한 제연설비의 화재안전 목적 중 하나는 연기층(Smoke Layer)의 하강 저지함으로서 대상 구획에 있는 재실인(在室人)에 대한 피난 시간 확보이며, 또한 화재 진압 시 소방관들의 진입과 소화활동의 보조이다.

일반적인 대공간 제연설계의 요소는 제연용량(smoke exhaust rate)의 결정이 중요하다. 국내 규정에 의한 제연용량 산정은 대상 구역 바닥의 면적에 비례하여 결정하도록 되어있다. 그러나 대형 공연장 같은 특수한 공간에 대한 적용의 효용성 여부는 알 수 없는 상황이다.

미국 NFPA 92B에서는 수식을 제안하여 제연용량을 산정하도록 하고 있으며, 이를 결정하는 요소는 연기층 한계높이(smoke layer height)와 화재의 규모(fire size)이다.

대형 공연장은 특성상 무대부와 객석부분으로 공간이 구분할 수 있는데, 무대부는 공연을 위한 조명과 무대세트, 무대막류 등이 있으며, 수직으로 설치되어있어 화재발생 시 연소가 신속히 진행되는 특성이 있다. 이에 비하여 객석부분은 많은 인원이 집중되어있으나, 화재발생위험은 무대부에 비하여 낮은 편이라 할 수 있다.

무대부의 화재규모를 결정하는 가연물은 상황에 의하여 매우 가변적이기 때문에 분석 시 여러 화재규모를 대상으로 하고, 설계방안이 결정되면, 차후 무대부 설계와 운용 시 화재하중의 한계점을 설정하여 제시하는 방향으로 하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

대형공연장의 공간적 특성상 무대부분의 천정이 객석부분보다 매우 높게 구성되기 때문에 무대부분에서 화재가 발생할 경우 연기가 축적되어 객석부분으로의 진출을 지연시켜주는 작용을 할 수 있다. 그러나 연기층의 한계높이가 높게 설정될 경우 연기생성량이 많아져 제연용량이 증가해 현실적으로 불가능하거나 비용 상의 문제를 야기할 수 있다.

대형공연장의 경우 무대부에서 객석부로의 연기전파 지연

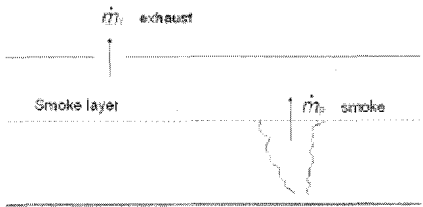
을 목적으로 한다면, 제연량이 증가할 우려가 있으며, 객석부와 무대부에서 제연량을 분담하고 최하층 객석부분의 피난에 지장이 없는 한계높이를 설정한다면, 최하층 이상 객석부분의 피난효율을 증가해야 하기위한 설계적 방안을 수립해야 하는 문제가 있다.

그러므로 분석결과를 토대로 객석 쪽으로의 연기전파를 저지하도록 할 것인지, 아니면 무대부와 객석부분에서 전체적으로 제연을 수행할 것인지 여부를 결정해야 한다. 이러한 결과 분석을 토대로 설계방안이 결정되면 화재모델링으로 분석함으로써 효용성을 검증하고 문제가 없다면 제연설계방안을 확정할 수 있다.

4. 제연 용량 계산 이론

4.1. 기본개념

구획된 공간에서 화재가 발생하게 되면 연료의 표면에서 발생된 가연성 가스는 화염(flame)에서 연소가 된 후 기둥의 모양으로 상부를 향해 올라가고 이를 플럼(plume)이라고 한다. 이 플럼은 천장면과 충돌 후 천정열기류(ceiling jet)의 형태로 방사상으로 퍼져나간 후, 연기층(smoke layer)을 이루게 되며, 이 고온 연기층(hot smoke layer)과 청정 하부층(lower layer)과의 경계면(smoke layer interface)이 하부로 이동하게 된다. 대상 공간 내에서의 화재 시 발생하는 연기층(smoke layer interface)가 하부로 내려오는 것은 플럼에 의하여 연기가 공급되기 때문이다. 고온의 연기층을 검사체적(control volume)으로 볼 때 연기량이 유입되면서 체적이 증가하고 연기층 하강으로 이어진다. 그렇기 때문에 연기층의 하강을 멈추게 하기 위해서는 그림 3에서 보는 바와 같이 유입되는 연기량(\dot{m}_s)만큼의 제연량(\dot{m}_e)을 배출하면 된다. 그러므로 결국 제연량(smoke exhaust rate)은 하강한계높이에서의 연기생성량인 플럼 체적유량(volumetric flow rate)과 같게 된다.



<그림 2> 제연용량 설정의 개념

4.2 제연용량 산정수식

대공간의 제연용량(smoke exhaust rate)산정을 위하여 NFPA 92B에서 제안된 수식은 다음과 같다.

(1) the plume mass flow rate

$$\dot{m}_p = 0.071 Q_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0018 Q_c \quad [1]$$

\dot{m}_p : plume mass flow rate (kg/s)
 Q_c : convective heat release rate (kW)
 Z : height of smoke layer interface (m)

(2) the volumetric plume flow rate

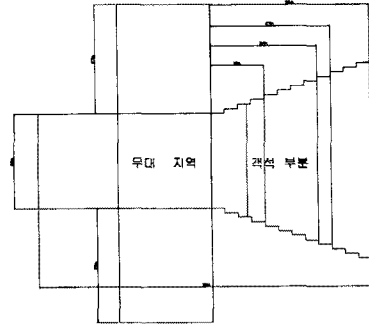
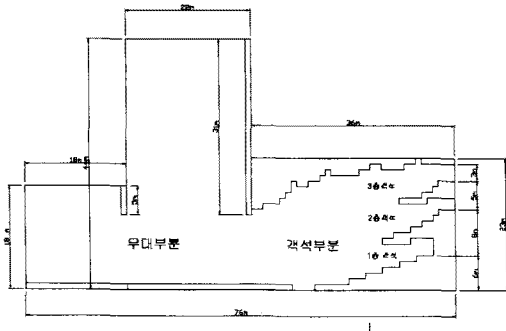
$$V = \frac{\dot{m}_p}{\rho_a} \quad [2]$$

V : volumetric flow rate of plume (m³/s)
 \dot{m}_p : plume mass flow rate (kg/s)
 ρ_a : air density 1.2 kg/m³

5. 대상 선정 및 적용 분석

5.1 대상 특성

본 연구의 대상은 실제 건물의 공간적 특성만 이용하여 적용 수행하여 보았다. 이는 연구 수행을 위함이며 실제 건물의 설비와는 무관하다. 대상으로 선정한 공간은 대형 공연을 위한 공연장이며 무대부분과 객석부분이 있다. 무대부분은 가운데 부분을 중심으로 좌우와 후방부분에 유사면적의 공간이 있으며, 천정의 높이가 가운데 부분은 44m, 나머지 무대부분은 18m이다. 객석부분은 최고 높이가 23m이긴 하나 천장 면은 굴곡이 있는 경사면으로 되어 있다.



〈그림 4〉 설정 공간의 모습

5.2 화재규모와 설계방안 설정

화재의 발생위치는 무대 바닥면으로 설정하였으며, 화재의 규모(fire size)는 500 kW~5 MW를 500 kW 단위로 선정하여 분석을 수행하였다. 설계방안은 연기층 한계높이에 따라 2가지 경우이며 화재규모는 공통적으로 적용한다.

화재모델링을 사용한 두 방안의 검증은 최대 5MW인 경우를 기준으로 하여 연기층 하강을 저지할 수 있는 지를 수행하여 본다.

(1) 무대부에서 제연하는 방안 (Case 1)

무대부에서만 제연하는 것은 결국 객석부로의 연기이동을 방지하겠다는 것이므로 무대 바닥면을 기준으로 12m 이상에서 연기층 하강을 저지하겠다는 의미이다. 그러므로 연기층의 한계높이를 바닥에서 13m로 선정하였다.

(2) 무대부와 객석부에서 제연하는 방안 (Case 2)

이 경우에 있어서 연기가 최하층인 1층 객석부분 및 인접 로비부분의 피난에 지장을 초래하지 않도록 한다는 것으로 연기층의 한계높이는 바닥에서 8m로 선정하였다.

5.3 연기 생성량 분석

연기층의 한계높이를 바닥에서 13m로 선정한 분석결과는 표 2이며, 8m로 분석한 결과는 표 3이다. 두 결과를 비교해보면, 최대 화재크기인 5MW일때 제연용량은 251338.40m³/hr 와 122386.95m³/hr 인 것으로 나타나 약 2배의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그 이외 화재크기에 대해서도 2배의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

〈표 2〉 제연용량 계산결과 (Case 1 : 연기층 한계 높이 13m)

Fire Size (kW)	Convective H. R. R. (kW)	Smoke Mass Flow Rate (kg/s)	Volumetric Flow Rate (m ³ /s)	Volumetric Flow Rate (m ³ /hr)
500	350	36.59	30.49	109778.35
1000	700	46.57	38.81	139710.80
1500	1050	53.76	44.80	161271.92
2000	1400	59.61	49.67	178822.08
2500	1750	64.65	53.87	193936.48
3000	2100	69.13	57.61	207386.14
3500	2450	73.20	61.00	219612.98
4000	2800	76.97	64.14	230896.69
4500	3150	80.48	67.06	241426.81
5000	3500	83.78	69.82	251338.40

〈표 3〉 제연용량 계산결과 (Case 2 : 연기층 한계 높이 8m)

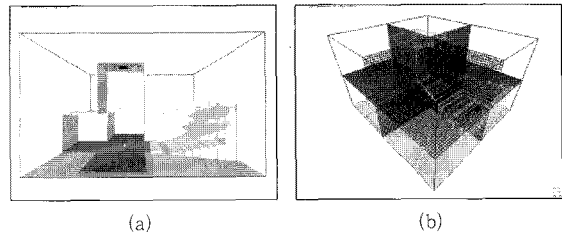
Fire Size (kW)	Convective H. R. R. (kW)	Smoke Mass Flow Rate (kg/s)	Volumetric Flow Rate (m ³ /s)	Volumetric Flow Rate (m ³ /hr)
500	350	16.64	13.87	49924.39
1000	700	21.43	17.86	64299.54
1500	1050	24.98	20.82	74947.58
2000	1400	27.94	23.28	83809.84
2500	1750	30.53	25.44	91587.65
3000	2100	32.87	27.40	98624.28
3500	2450	35.04	29.20	105116.48
4000	2800	37.06	30.89	111188.78
4500	3150	38.98	32.48	116925.55
5000	3500	40.80	34.00	122386.95

5.4 화재모델링을 사용한 효용성 분석

(1) 모델링 개요 및 설정

분석을 위하여 사용된 모델은 미국 NIST에서 개발된 FDS V. 3.1.(Fire Dynamic Simulator)이다. FDS는 CFD에 근거한 Field Model이며, 이 모델로 대와류 모사(LES), 혼합분율 연소모델(Mixture-fraction Model), 그리고 복사 유효계적법 사용하였다.

공간의 크기는 78m(W)×72m(D)×45m(H)의 규모로 구성하였으며, 대상공간을 252720개의 셀로 나누어 해석하였다. 화재는 5MW로 구성하였으며, 화재진행에 따른 연기층 하강이 아닌 연기층 하강을 제연용량으로 막을 수 있는 가를 보기 위함이기 때문에 초기 1분간의 상승으로 5MW에 도달하며, 이후에는 Steady 조건으로 진행하는 시나리오를 적용하였다.



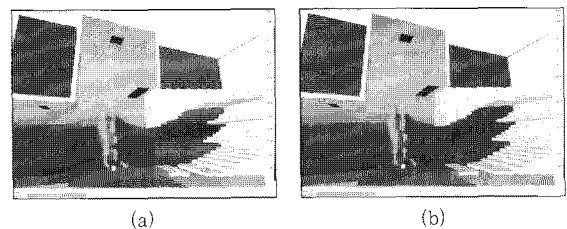
〈그림 5〉 공간 구성 (a) 및 Grid 설정 (b)

Case 1에 의한 수행에서의 제연용량은 5MW시의 적정량인 70m³/s를 적용하였으며, 무대부의 공간에 분산하여 배치하였다. Case 2는 적정량으로 34m³/s를 적용하여 무대와 객석부분에 분산하여 설치하였으며, 각각이 설정한 하강 한계높이가 하로 내려오는지 여부를 모델링으로 수행하여 보았다.

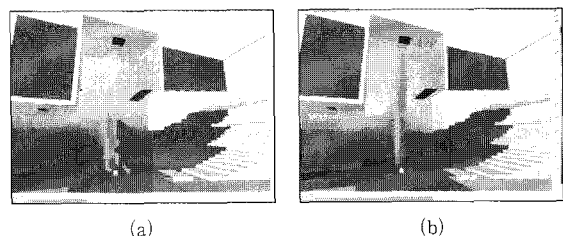
(2) 모델링의 수행 및 결과

1) 무대부에서 제연하는 방안 (Case 1)

Case 1은 무대부에서만 제연을 하며, 객석 방향으로 연기가 전파되는 것을 방지한다는 개념이다. 신속히 하부로 하강한 연기층의 온도분포영역과 Soot density의 영역은 객석부근으로 확장되지 않고 무대부 쪽에 있어 제연설비의 목적을 충분히 달성하고 있는 것으로 판단된다. 300초경 온도분포와 연기밀도 분포영역이 연기하강제한높이에 도달한 후 600초까지 하부로의 확장은 더 이상 일어나지 않아 객석부분으로의 연기전파를 차단할 수 있는 능력이 있는 것으로 판단된다.



〈그림 7〉 Case 1의 온도분포 - 300초 (a)와 600초 (b)

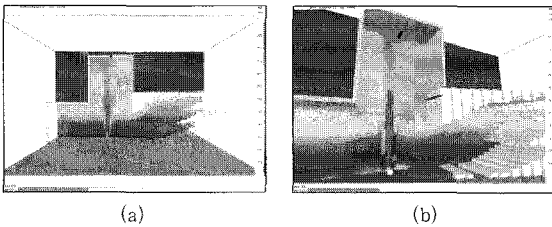


〈그림 8〉 Case 1의 Soot Density - 300초 (a)와 600초 (b)

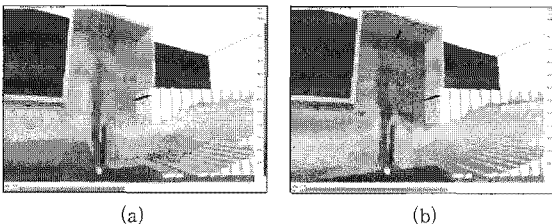
2) 무대부와 객석부에서 제연하는 방안 (Case 2)

Case 2의 경우 무대부와 객석부에서 제연을 같이 한다는 개념인데 이렇게 설치된 결과 온도분포에서 30°C 정도 되는 고온의 영역이 10분대에는 목적인 부분으로 유지가 되는 것을 알 수 있다. 그러나 실제 Soot의 분포영역은 하부로도 내려온 것을 볼 수 있다. 그 이후에도 영역은 하부로 지속적으로 내려와

즉 NFPA 92B에서 제안한 Smoke Layer Interface는 고정될 수 있지만 그 이하에 형성되는 Transition zone이 하부로 내려가는 것으로 보여진다. 특히 시간이 지날수록 연기층 하부의 연기밀도가 높아지는 것을 볼 수 있다.



〈그림 8〉 Case 2의 온도분포 (a)와 Soot Density (b) - 600초



〈그림 9〉 Case 2의 Soot Density-900초(a)와 1190초(b)

5.4 설계안의 결정

대형 공연장의 경우 무대부 화재에 대한 제연설비 용량은 무대부에서 객석부분으로 연기가 전파되지 않도록 하는 Case 1이 바람직한 것으로 판단된다. Case 2는 경제적인 효율성은 있어 보이나 결과에서 보듯이 제연의 목적을 달성하기에는 충분하지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 대형공연장에서의 제연구획은 무대부와 객석부로 구분하여 설정하고 각 부분에 적합한 제연용량을 산정하여 설계하여야 한다.

6. 결론

본 연구는 대형 공연장의 성능기준적 설계방식을 적용, 제연설비의 설계안을 검토하여 최선의 설계안을 결정하는 것이다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 대형공연장은 건축공간의 특성상 무대부와 객석부로 나누어지며, 무대부와 객석부의 경계면에 의하여 두 구획이 구분되어진다. 공연장 대상으로 설계를 할 때 연기가 하강을 허용하는 한계높이의 설정은 무대부와 객석부를 구분할 것인지, 아니면 같이 생각할 것인지에 의하여 결정된다.

(2) 본 연구에서 한계높이로 설정된 2가지는 각각 8m와 13m이며 각 설정에 의하여 NFPA 92B의 제연량 산정공식에 의하여 산출된 제연량은 2배의 차이를 보여주었다.

(3) 각 결과에 대한 효율성을 NFPA 92B에서 제안하는 공식에 의하여 산출된 5MW때의 제연량을 적용하여 CFD Model인 FDS를 사용하여 검증해본 결과, 연기층(Smoke Layer Interface)의 높이는 Case 1(13m)의 경우 확실히 유지되며, 객석부분으로의 연기전파를 저지할 수 있는 것으로 판명되지만, Case 2(8m)의 경우는 유지는 되는 것으로 보이나 연기층 하부에 형성되는 혼합층(transition zone)이 하부로 내려와 실제적인 제연설비의 효율성은 떨어지는 것으로 판단된다.

(4) 그러므로 본 연구의 결과 대형 공연장의 경우 객석과 무대부분을 분리하여 제연구획으로 설정하며, 무대부분의 화재로 인한 생성된 연기가 객석부분으로 확산되지 못하도록 하는 것이 중요한 것으로 판단되었다.

결과적으로 대형 공연장의 제연용량은 수식에 의하여 설정하되, 화재모델링을 통하여 효과를 검증해야할 필요성이 있다고 판단된다.

■참고 문헌

1. NFPA 92B, "Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Area, National Fire Protection Association, 1995.
2. SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings, NFPA, 2000.
3. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, NFPA, 2002.
4. Fire Protection Handbook, 18th Edition, NFPA, 1997.
5. A.H. Buchanan, Fire Engineering Design Guide, University of Canterbury, 2001.
6. Kevin B. McGrattan, "Fire Dynamics Simulator

(Version 3)-User's Guide", NIST,

7. 2002.6. 김종훈, 김운형, 허준호, 노삼규, "대공간의 피난안 전성능평가", 한국 화재소방학회 추계 학술논문발표회, 2003.
8. 1999.12. 장상태, 이영재, "공연장의 소방시설 설치기준의 개선방안에 관한 연구", 한국 화재소방학회지, Vol 13 No 4, 1999.

"이 논문은 2002년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음"