

# 화재 시뮬레이션(FDS)을 이용한 대형공간의 제연 설계인자에 관한 연구

최상곤  
유한대학교 건축설비프랜트공학과

## A Study on the Smoke control Design parameter of Large Volume space by Fire Dynamic Simulation

Sang-Gon Choi

Department of Building services & Plent, Yuhan University

**요약** 최근 소방설계에서 ‘성능위주설계’가 도입되면서 설계 단계에서부터 현장에서 화재에 의한 최소한의 피해를 목적으로 다양한 노력을 기울이고 있다. 그러나 성능위주의 설계를 위한 다양한 노력에도 불구하고 설계엔지니어들에게 제연설비의 화재안전기준에서 제시하는 범령기준이 각 설계인자의 최소 설정한계를 제시하는 가이드가 된다. 이러한 범령기준은 최소한의 기준을 제공하는 것이기 때문에 다양한 상황의 건물과 더 다양한 변수를 고려해야하는 설계 엔지니어들에게 세밀한 가이드를 제공할 수는 없기 때문에 복합적인 상황에서 어떤 인자가 화재 시 안전에 더 영향을 많이 미칠 것인지 미리 인지하고 상황에 따라 인자들을 상호 조절할 수 있는 설계정보가 필요하다 할 것이다. 본 논문에서는 대공간에서 거실급배기방식을 사용하고 제연경계에 의하여 구획이 되어 있는 경우, 배연량을 법정 배연량으로 고정한 상태에서 거실제연 설계에 가장 영향을 많이 미칠 것으로 판단되는 두 가지 인자인 제연경계의 높이와 급기량을 대상으로 미 NIST에서 제공하는 화재시뮬레이션 (Fire Dynamic Simulation) 코드를 이용하여 설계인자들에 대한 합리적인 설계를 위한 정보를 제공하기 위한 연구를 수행하였다. 성능위주설계를 위해 초기설계에 제연경계의 높이를 최대한계로 설계한 후 시뮬레이션 등의 다양한 방법을 통한 합리적인 풍량 결정이 이루어져야 할 것으로 판단된다

**Abstract** Performance-oriented design has been introduced in fire protection design, and various efforts have been made to minimize the damage caused by fire in the design stage. We conducted a study to provide information for reasonable design factors using a Fire Dynamic Simulation code provided by the NIST on boundary width and amount of supply. This paper shows that using a living-room air-supply system in a large space and dividing the space by a ventilation boundary are the two factors that are considered to have the greatest influence on the design of the living room ventilation. The results show that for performance-based design, the width of the ventilation boundary is designed to be the maximum limit in the initial design. It is judged that reasonable air volume determination should be made through various methods.

**Keywords :** Fire Dynamic Simulation, FDS, Performance oriented design, Hight of smoke boundary, Fire protection design

### 1. 서론

최근 소방설계에서 ‘성능위주설계’가 도입되면서 설

계 단계에서부터 현장에서 화재에 의한 최소한의 피해를 목적으로 다양한 노력을 기울이고 있다. 화재 시 인체에 치명적인 영향을 미치는 연기를 제어하기 위한 배연 또

\*Corresponding Author : Sang-Gon Choi(Yuhan Univ.)

Tel: +82-2-2610-0789 email: toolo007@yuhan.ac.kr

Received August 8, 2018

Accepted November 2, 2018

Revised (1st August 28, 2018, 2nd September 19, 2018)

Published November 30, 2018

는 제연 방식 또한 다양한 연구와 제안이 이루어져 왔다. 그러나 성능위주의 설계를 위한 다양한 노력에도 불구하고 설계엔지니어들에게 제연설비의 화재안전기준(NFSC501)에서 제시하는 법령기준이 각 설계인자의 최소 설정한계를 제시하는 가이드가 된다. 이러한 법령기준은 최소한의 기준을 제공하는 것이기 때문에 다양한 상황의 건물과 더 다양한 변수를 고려해야하는 설계 엔지니어들에게 세밀한 가이드를 제공할 수는 없다. 때문에 복합적인 상황에서 어떤 인자가 화재 시 안전에 더 영향을 많이 미칠 것인지 미리 인지하고 상황에 따라 인자들을 상호 조절할 수 있는 설계정보가 필요하다.

특히, 대형 쇼핑몰이나 백화점과 같은 판매시설에서 나타나는 대공간의 경우 한 층 또는 여러 층에 걸쳐 거실 전체가 하나의 공간에 포함되기 때문에 방화 서터를 이용하여 크게 방화구획을 하고 제연경계를 이용하여 존(Zone)을 나누어 ‘거실제연’을 하게 된다. 거실제연의 경우는 화재 존에서 배연을 하는 동시에 주변 존에서 급기를 하는 방식으로 동작하게 된다. 이때 연기감지기가 동작한 존 이외의 다른 존의 연기감지기가 동작하게 되면 제연제어의 충돌로 인하여 배연과 급기 모두가 정지되는 오동작을 일으킬 수 있다. 따라서 화재존의 경계를 넘어 다른 존에 연기가 유입되는 것을 최대한 방지하여야 한다.

연기의 유출을 막기 위한 설계인자는 배연량, 제연경계의 높이, 급기량이 된다.[1] 이들 중 가장 영향이 큰 배연량의 경우는 공기조화를 위한 설비를 공유한다는 점에서 손쉽게 증가시킬 수 없다. 때문에 본 논문에서는 대공간에서 배연량을 법정 배연량으로 고정된 상태에서 거실 제연 설계에 가장 영향을 많이 미칠 것으로 판단되는 두 가지 인자인 제연경계의 높이와 급기량을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구는 미 NIST에서 제공하는 화재시물레이션(Fire Dynamic Simulation) 코드를 이용하여 설계 인자들에 대한 합리적인 설계를 위한 정보를 제공하기 위한 연구를 수행하였다.

## 2. 모델링

### 2.1 건물 모델

화재시물레이션(FDS)을 위하여 실제로 설계된 A백화점을 대상으로 기준층에 방화서터와 벽으로 둘러싸인 대공간에 대한 모델을 구축하였으며, Fig.1과 Table 1에

모델정보를 정리하여 나타내었다.

건물모델은 실제 설계된 건물을 그대로 모사하도록 하였으며 좌우측과 전면은 벽으로 막혀 있고 후면측에는 방화서터가 내려와 있는 것을 가정하여 막혀있는 것으로 하였다. 좌우측면에 계단으로 이어지는 출입문의 경우는 상시 닫힘 상태로 이 또한 모델에 삽입 하도록 하였다. 각 존간의 분리는 제연경계로 최소 600mm 높이의 얇은 벽으로 구성하도록 하였다.

Table 1. Floor information

Floor	Area (m <sup>2</sup> )	Hight(m)	
Zone	A	881	3.6
	B	936	3.6
	C	506	3.6
	D	506	3.6
total	2,829		

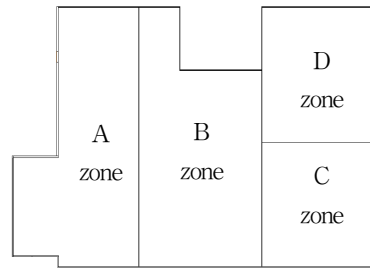


Fig. 1. Floor plan

### 2.2 급배기 모델

본 연구에서는 시물레이션을 위하여 FDS Code의 Large-eddy simulation(LES)을 적용하였다. LES는 질량, 운동량 및 에너지에 대한 이동 방정식에 매개변수화된 폭을 low-pass filter로 적용하여 유도하게 되며, 공기 유동에 관한 운동량 전달방정식은 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.[2]

$$\frac{\partial U}{\partial t} - U \times \omega + \nabla H - \tilde{p} \nabla (1/\rho) = \frac{1}{\rho} [(\rho - \rho_0)g + f_b + \nabla \tau] \quad (1)$$

여기서,  $U$ 는 속도벡터,  $\omega$ 는 wavenumber,  $H$ 는 밀도에 의한 총 압력,  $\tilde{p}$ 는 압력섭동,  $\rho_0$ 는 대기밀도,  $f_b$ 는 외력벡터,  $\tau$ 는 점성응력이다.

기본적인 공기유동은 공조를 목적으로 설치된 급배기구를 통하여 각 존별로 화재 상황에 맞추어 제연 동작에 따라 급기와 배기 상황에 따라 유동 하는 것으로 하였다. 제연동작을 위하여 각 존별 55,000CMH의 풍량을 급기 또는 배기할 수 있도록 하였으며, Table 2에 각 급배기구의 풍량을 정리하여 나타내었다.

Table 2. Air distribution

Zone		Air volume (m <sup>3</sup> /h)	Number of diffuser
A Zone	Supply	1145.83	48
	Exhaust	1145.83	48
B Zone	Supply	1078.43	51
	Exhaust	1078.43	51
C Zone	Supply	1718.75	32
	Exhaust	1718.75	32
D Zone	Supply	2291.67	24
	Exhaust	2291.67	24

급기구와 배기구는 460mm 원형 디퓨저로 구성하였으며, 등간격으로 배치된 실제 위치에 부착된 것으로 하였다. 화재 시 해당 존의 급기구는 폐쇄되고 배기구에서만 해당 풍량을 배연하고 주변 존에서는 배기구를 폐쇄하고 급기만을 할 수 있도록 하였다.

### 2.3 화재-연기 모델

일반적으로 화재에 의해 발생하는 연기는 매우 다양한 가스가 혼합된다. 이러한 혼합 가스는 각각을 개별로 추적하기에는 너무 많은 시간과 자원을 소모하게 된다. 따라서 화재에서 발생하는 연기를 하나의 묶음으로 간주하여 lumped species로 가정하는 방법을 사용하게 된다. lumped species이용하여 연기를 단일 species로 구성된 방정식으로 나타낼 수 있으며, 화재-연기 모델을 위한 질량 및 Species 이동에 관한 방정식을 다음의 식(2)에 나타내었다.[2]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Z_{\alpha}) + \nabla \cdot (\rho Z_{\alpha} U) = \nabla \cdot (\rho D_{\alpha} \nabla Z_{\alpha}) + \dot{m}_{\alpha} + \dot{m}_{b,\alpha} \quad (2)$$

여기서,  $Z_{\alpha}$ 는 Species mixture  $\alpha$ ,  $U$ 는 속도벡터,  $D_{\alpha}$ 는 확산계수,  $\dot{m}_{b,\alpha}$ 는 단위체적당 증발에 따른 Species

$\alpha$ 의 발생량,  $\dot{m}_{\alpha}$  단위체적당 화학반응에 따른 Species  $\alpha$ 의 발생량을 나타낸다.

화학반응을 결정하기 위하여 Simple Chemistry model을 사용하였으며[3] Table 3에 화재-연기모델의 정보를 정리하여 나타내었다. 화재-연기 모델은 대상이 백화점임을 고려하여 섬유인 나일론이 화원이 되는 경우를 가정하였다. 시뮬레이션 시작과 동시에 화재가 시작되어 정육면체인 화원으로부터 바닥을 제외한 5면에서 일정량의 열과 연기를 방출하도록 하였다.[4] 화재는 Table 2의 상태에서 더 이상 발달하지 않는 것으로 하였으며, 시뮬레이션 시간동안 소화되지도 않는 것으로 설정하였다.

Table 3. Fire model information

		Spec.	
Shape	a hexahedron	1×1×1 m <sup>3</sup>	
Heat	Heat Release Rate	2.5 MW	
	Critical Flame Temp.	1427 °C	
Chemical Reaction	Fuel	Nylon	
	Composition	Carbon atoms : 1.0	
		Hydrogen atoms : 1.8	
		Oxygen atoms : 0.17	
Nitrogen atoms : 0.17			

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션을 위하여 앞서 모델구성에서 언급된 경계 조건 이외의 시뮬레이션에 사용된 초기 경계조건과 격자의 정보를 Table 4에 나타내었다. 시뮬레이션을 일반적인 환경에서 수행할 수 있도록 초기경계조건을 설정하였다.[5][6][7] 시뮬레이션의 수행은 초기경계조건을 만족하여 수렴이 되는 것을 확인한 후 시뮬레이션 조건에 따라 변경하여 수행하도록 하였다.[8] 시뮬레이션 조건의 설정은 실험계획법의 이원배치법을 적용하기 위하여 두 가지 인자인 제연경계의 높이와 급기풍량의 수준을 선정하도록 하였다. 우선 급기풍량은 0 CMH에서 배연 풍량의 고정 값인 55,000 CMH를 3수준으로 나누도록 하였다. 제연경계의 높이는 제연경계에 의해 연기가 완전히 막히는 높이를 찾기 위한 한계확인 시뮬레이션을 통하여 결정하도록 하였다. 그러나 시뮬레이션 결과 제연경계의

높이가 2m가 되어도 연기는 주변 존으로 넘어가는 것을 확인 할 수 있었다. 천정고가 3.6m이기 때문에 대피공간의 높이가 1.6m로 대피로 확보에 문제가 생기기 때문에 더 이상 제연경계의 높이를 높이는 것은 무의미 하여 0~2m를 4수준으로 나누어 적용하여, Table 5에 시물레이션 조건을 정리하여 나타내었다.

**Table 4. Boundary Condition**

		Spec.	
Wall	Smooth Wall	Fixed Temp.	TMPA
Heat	Radiative	Emissivity : 0.9	
	Convective	calculated	
Air	Initial Temp.	20 ℃	
	Initial Pressure	101 kPa	
	Initial wind	None	
	co concentration	0	
Mesh	Cell Size	0.25×0.25×0.25 m <sup>3</sup>	
	Number of cell	1,128,000	

**Table 5. Simulation Condition**

		Condition	
Smoke control	Fire zone	A zone	
		Smoke Exhaust	
	Surrounding Zone	B zone	
		Air Supply	
Delimitation	Air Volume	SA 55,000 m <sup>3</sup> /h EA 55,000 m <sup>3</sup> /h	
	Height of smoke boundary	0.6, 1, 1.5, 1.7, 1.9, 2m	
Design of Experiment	Air Volume	EA 55,000 m <sup>3</sup> /h	
		SA 0 m <sup>3</sup> /h	
		SA 27,500 m <sup>3</sup> /h	
		SA 55,000 m <sup>3</sup> /h	
	Height of smoke boundary	0.6 m	
		1 m 1.5 m 2 m	

시물레이션은 실험계획법에 따라 결정된 시물레이션의 조건에 따라 배연 풍량을 55,000 CMH로 고정한 상태에서 제연경계의 높이를 Table 5에 제시한 4수준(0.6, 1, 1.5, 2m)으로 각각 변화시키는 동안 급기풍량을 Table 5에 제시한 3수준(0, 27500, 55000 m<sup>3</sup>/h)으로 변화시켜 그 결과를 분석하도록 하였다.

앞서 언급한 것과 같이 연기가 제연경계를 넘어가게 되면 주변존의 연기감지기가 동작하여 연기가 넘어간 존에 화재가 발생한 것으로 인식된다. 이에 따라 화재가 발생하지도 존에 배기가 동작하고 정작 화재가 발생한 존에는 급기가 되는 제어 동작을 하게 된다. 이러한 주변존에 연기가 넘어가서 발생하는 제어동작으로 실제로 화재에 의해 동작하던 제어동작에 충돌을 일으켜 모든 제연제어가 정지하는 오동작을 발생 시킬 수 있다. 따라서 실험계획법을 이용한 결과분석에 사용하는 결과 값은 제연경계를 연기가 넘어서는 시간을 대상으로 하였다. 다만, 실제 설치된 자동제어가 그대로 적용이 되면 연기가 주변 존으로 넘어가 연기감지기가 동작하는 순간 의도하지 않은 동작을 하게 되기 때문에 시물레이션에서는 Table 5의 조건을 시물레이션이 끝나는 시간까지 유지하도록 하였다.

시물레이션 시간은 재실자의 피난시간을 고려하여 실시간 300초(5분) 동안의 결과를 얻을 수 있도록 수행 하였다.

### 3. 결과 분석

우선 모델의 구성과 동작을 확인하기 위하여 Fig. 2에 A 존에서 화재가 발생하여 A 존에 55,000 CMH를 배기하고 B 존에서 55,000 CMH를 급기하는 경우 100초가 경과된 상태에서 시물레이션의 결과를 나타내었다. 그림 a의 결과는 높이 3.5m의 천정부근에서 평면의 속도분포를 나타낸 것이다. 화재지점에서 발생하는 열과 압력에 의해 발생하는 기류에 의해 최대풍속 약 3.5m/s로부터 주위로 퍼져나가는 것을 확인할 수 있다. 또한, 배기구 급기구 주위에서 흡입 또는 토출에 의하여 수직방향 속도의 영향으로 약 0.5m/s이하의 평면의 속도분포가 나타나 적절하게 속도분포가 나타나고 있음을 알 수 있다. 그림 b에는 높이 3.5m의 천정부근에서 평면의 온도분포를 나타낸 것이다. 화심 주변의 온도 약 80℃이고 A존과 B존을 나누는 제연경계에 의해 A존은 약 40℃로 온도가 상승하고 B존은 제연경계에 가까운 쪽부터 약 40℃에서 약 28℃정도 까지 거리에 따른 온도분포를 볼 수 있다. 그림 c에는 일산화탄소의 부피율(Volume fraction)을 나타내었다. 일산화탄소의 경우는 대피공간의 호흡선인 높이 1.5m를 대상으로 평면 분포를 나타내었다. 결과에서 보이는 것과 같이 A존의 경우는 천정부근에 집중되는

일산화탄소가 배기구를 통하여 배출되고 B존의 경우에는 급기구에서 토출되는 공기에 의하여 상부에 집중된 일산화탄소가 유인되어 내려오는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과들은 화재로 인하여 천정으로 수직 상승하는 열과 기류가 적절히 주변으로 확산되고 있으며, 대표적인 오염물질인 일산화탄소가 적절히 이동하고 있다는 것을 나타내고 있어, 모델이 정상적으로 작동하는 것을 알 수 있다.

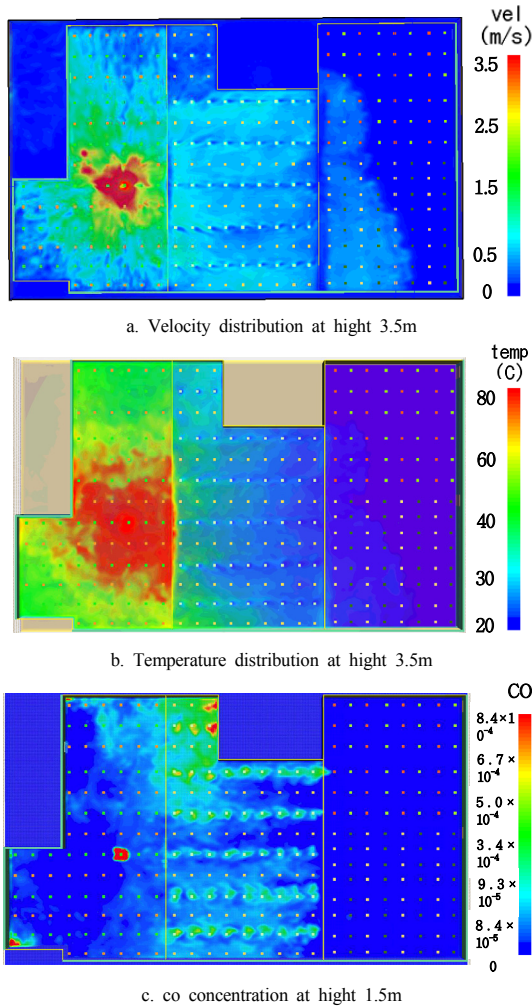


Fig. 2. Result of basic simulation at 100sec

Fig. 3에 실험계획법을 위한 인자의 수준을 결정하기 위한 한계실험 시뮬레이션의 결과를 나타내었다. A 존에서 화재가 발생하여 A 존에 55,000 CMH를 배기하고 B 존에서 55,000 CMH를 급기하는 경우 제연경계의 높이에 따라 300초가 지난 시점의 결과를 나타내었다. 결

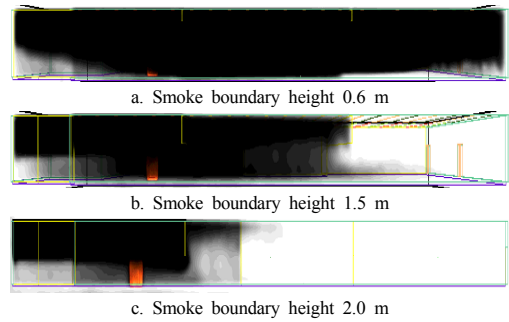


Fig. 3. Result of smoke boundary limit test

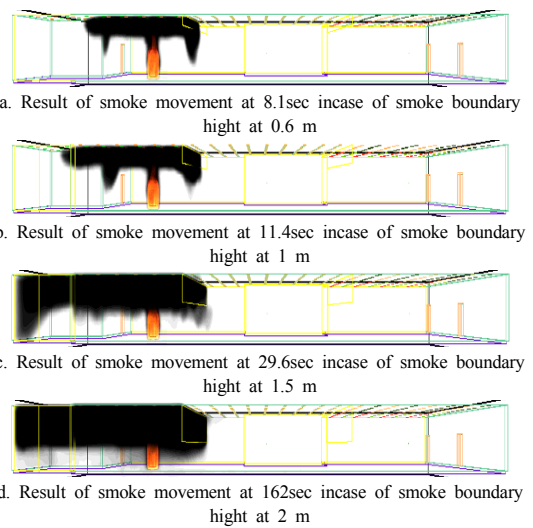


Fig. 4. Result of smoke movement

과에서 보이는 바와 같이 300초가 경과된 시점에서 제연경계의 높이가 2m가 되어도 주변존인 B 존으로 연기가 넘어가는 것을 알 수 있다. 따라서 동일조건에서 연기가 완벽하게 제연경계를 넘지 않는 제연경계의 높이는 2m이상이지만 층고가 3.6m이고 최소한의 피난공간을 고려하면 제연경계의 높이는 2m가 한계라고 판단되므로, 제연경계의 상한을 2m로하고 하한을 법적 한계인 0.6m로 선정하도록 하였다.

다음 Table. 6에 실험계획법에 따라 시뮬레이션을 수행하여 A 존에서 발생한 연기가 B 존으로 제연경계를 넘어서는 시간을 나타내었다. Fig.4에는 법정최소 설치조건인 화재발생 존인 A 존에 55,000 CMH를 배기하고 주변존인 B 존에서 55,000 CMH를 급기, 제연경계 최소 높이인 0.6m를 설계하는 경우 화재발생 후 8.1초 만에 1m인 경우는 11.4초, 1.5m인 경우 29.6초, 2m인 경우

Table 6. Simulation Result

	0 CMH	27500 CMH	55000 CMH
0.6m	7.5 Sec	7.7 Sec	8.1 Sec
1m	10.5 Sec	10.9 Sec	11.4 Sec
1.5m	12.3 Sec	27.3 Sec	29.6 Sec
2m	36.9 Sec	74.1 Sec	162.0 Sec

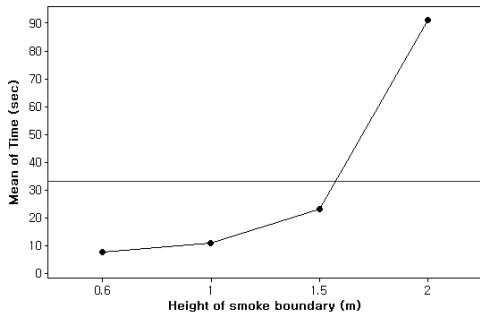


Fig. 5. Main effect of smoke boundary

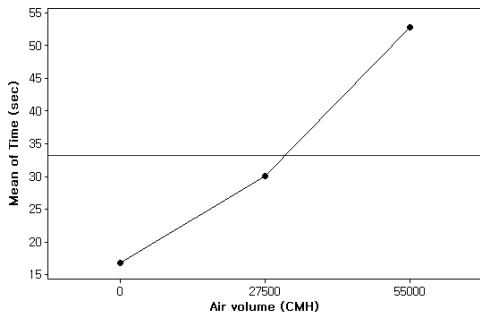


Fig. 6. Main effect of air volume

162초에 연기가 제연경계를 넘어가는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 배기풍량을 현재 최대로 설정된 55,000 CMH 이상으로 높이거나, 가압제연을 위하여 급기를 현재 최대로 설정된 55,000 CMH 이상으로 높이고 이에 따른 제연경계의 높이를 결정하여야 한다는 의미가 된다. 이는 모든 설계대상 건물에 따라 Case by Case로 성능위주 설계를 위한 시뮬레이션을 수행하여야 한다는 의미이다. 그러나 모든 경우에 따라 시뮬레이션을 수행하여 결과의 값을 반영하기는 어려운 현실이고, 초기 설계를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여야 하는 프로세스 상, 우선 초기 설계를 위한 설계 정보가 필요함을 알 수 있다. 즉, 설계자가 초기에 법정풍량 이상을 감당할 수 있는 배기 또는 급기용 팬을 선정할 것이냐 아니면 제연경계의 높이를 높여서 적용할 것이냐에 대한 결

정하기 위한 사전 정보가 있어야 한다는 것이다. 이를 위하여 Fig. 5과 Fig. 6에 각인자의 변화에 따른 연기가 제연경계를 넘어가는 시간에 미치는 영향을 나타내었다. Fig. 5 결과는 제연경계의 높이가 1.5m에 이르기까지는 상대적으로 연기가 제연경계를 넘는 시간을 지연시키지 못하지만, 2.5MW의 화재시 1.5 ~ 2m 구간에서 폭 10cm 당 약 14초 정도의 시간지연이 나타나 상대적으로 영향력이 높아지는 것을 알 수 있다. 다만, 화재의 크기가 커짐에 따라 연기의 발생이 더 많아지기 때문에 제연경계의 영향이 높아지는 구간이 1.5 ~ 2m에서 한계인 2m에 더 가깝게 높아질 것으로 판단된다. 따라서 초기 설계에서 경계의 높이는 피난공간을 확보할 수 있는 최대높이로 설정해야 한다는 것을 알 수 있다. Fig. 5 결과는 급기풍량이 10000 CMH 증가 당 약 7.2초의 시간이 지연되는 선형적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 이결과는 일반화 할 수 없어 풍량을 초기설계 값인 법정풍량 이상으로 변경하려면 각각의 경우에 따라 정확한 값을 구하기 위한 추가적인 시뮬레이션 등의 방법이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 결과들로 부터 기존의 설계 방식인 법정 제연경계의 최소 높이인 0.6m를 초기 제연경계의 높이로 선정하여 적용하던 것에서, 피난공간 확보를 위한 최소의 높이만을 남겨두고 제연경계의 높이를 결정한 후 시뮬레이션 등의 방법을 통하여 풍량을 결정해야 한다는 것을 나타낸다.

#### 4. 결론

대공간에서 거실급배기방식을 사용하고 제연경계에 의하여 구획이 되어 있는 경우, 배연량을 법정 배연량으로 고정된 상태에서 거실제연 설계에 가장 영향을 많이 미칠 것으로 판단되는 두 가지 인자인 제연경계의 높이와 급기량을 대상으로 화재시뮬레이션(Fire Dynamic Simulation) 코드를 이용하여 설계인자들에 대한 연구를 수행하였다. 결과들로 부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 법정최소한계를 적용하는 경우, 대공간에 적용한 거실제연의 성능을 제대로 발휘하기 어려우며 올바른 제연을 위하여 시뮬레이션 등의 다양한 방법을 통하여 성능위주의 설계를 하여야한다는 것을 알 수 있다.

2. 대공간의 거실급배기방식의 초기설계에는 제연경계의 높이는 가능한 최고한계 높이로 설계하고 이를 바탕으로 성능위주 설계를 위한 배기풍량과 급기풍량을 결정하는 것이 합리적이라는 것을 알 수 있다.
3. 풍량의 경우는 결과들로부터 알 수 있는 것과 같이 풍량의 증가에 따라 시간지연이 거의 선형적인 증가를 보인다. 다만, 풍량 10000 CMH당 지연시간 7.5초 이렇게 일반화하기에는 어렵기 때문에 풍량의 결정을 위하여서는 시뮬레이션을 실시하는 것이 합리적이라고 할 것이다.

이러한 결론으로부터 일반적으로 법정최소 한계를 적용하여 설계하던 대공간의 거실제연 설계에서, 성능위주 설계를 위해 초기설계에 제연경계의 높이를 최대한계로 설계한 후 시뮬레이션 등의 다양한 방법을 통한 합리적인 풍량 결정이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 자동제어에 의한 연기감지기와 연동되는 제연동작에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

- [7] Hyungkyou Ryu, Sanghwan Bae, Byungseok Lee, Simulation Study of Smoke Control Accordance with Zoning in the Atrium Space of High-rise Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol.26 No.7, pp335-342, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.7.335>
- [8] Gwon-Hyun Ko, Numerical Analysis on Flow Characteristics in the Pressurized Air Supply Smoke Control System, Fire Sci. Eng., Vol. 31, No. 4, pp. 52-58, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.4.052>

### 최 상 곤(Sang-Gon Choi)

[정회원]



- 1999년 2월 : 경원대학교 건축설비학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경원대학교 건축설비학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2006년 2월 : 바스 코리아(주)연구소 연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 유한대학교 건축설비플랜트공학과 교수

<관심분야>  
기계설비, 소방설비

## References

- [1] Mi-Seon Kim and Eun-Seon Baek, A Study on Improvement of Livingroom Smoke-control System using the FDS, Fire Sci. Eng., Vol. 31, No. 4, pp. 26-34, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.4.026>
- [2] McGrattan, K.B., Hostikka, S., Floyd, J.E., Klein, B.W. Fire Dynamics Simulator(V5) Technical Reference Guide 3: Validations, NIST, 2007.
- [3] McGrattan, K.B., Klein, B.W., Hostikka, S., Floyd, J.E. (2007) Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide, NIST, 2007.
- [4] John H. Klote, "Smoke Control", pp.274-291, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, Massachusetts, 2002.
- [5] Dejoan, A. Jang, Y.J., Leschziner, M.A. Comparative LES and Unsteady RANS Computations for a Periodically-Perturbed Separated Flow Over a Backward-Facing Step, Journal of Fluids Engineering (ASME), 127, pp.872~878. 2005.  
DOI: <http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1430206>
- [6] Cooper, L.Y. Franssen, J.M. A Basis for Using Fire Modeling with 1-D Thermal Analyses of Partitions to Simulate 2-D and 3-D Structural Performance in Real Fires, Fire Safety Journal, 33(1999) pp115~128, 1999.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(99\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(99)00018-1)