

[Research Paper]

## 화재 시뮬레이션(FDS)을 이용한 거실제연설비 개선에 관한 연구

김미선 · 백은선\*<sup>†</sup>

동신대학교 대학원 소방학과, \*동신대학교 소방행정학과

### A Study on Improvement of Livingroom Smoke-control System using the FDS

Mi-Seon Kim · Eun-Seon Baek\*<sup>†</sup>

Graduate School of Fire Department, Dongshin University, \*Department of Fire Administration, Dongshin University

(Received June 16, 2017; Revised July 14, 2017; Accepted July 18, 2017)

#### 요 약

본 논문은 거실제연설비의 인접구역 상호제연방식의 성능 확인 및 향상을 위한 논문으로써 국가화재안전기준(NFSC)과 NFPA 연기제어에 관한 규정을 비교 분석하였다. 분석방법은 화재 시뮬레이션(FDS)을 통해 모델링을 실시하여, 급기량 변화, 제연경계의 폭, 화재실내 가연물 변화, 유입공기의 풍속차이를 통해 이루어졌다. 그 결과 청결층 확보를 위해 급기량을 배출량 이하로 하였을 때 화재실에서의 청결층 확보에 유리한 것으로 나타났으나 급기실에서는 급기량을 배출량 이상으로 하였을 때 청결층 확보에 유리한 것으로 나타났으며, 제연경계의 폭이 길어질수록 성능 확보에 유리한 것으로 나타났다. 또한 가연물의 종류에 따라 급기량과 배출량을 고려해야 하며, 공기유입구 풍속은 급기량을 감소시킴과 동시에 공기유입구 풍속을 낮게 하므로써 화재실의 청결층 확보에 유리한 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to identify and improve the performance of the adjacent room ventilation system in living room ventilation facilities, and compare and analyze the smoke control regulations of the NFPA code and the national fire safety standard (NFSC). The analysis method was fire dynamics simulation (FDS) and was used to analyze the, variations of the air supply amount, width of the boundary, change in indoor combustion and wind velocity of the incoming air. It was found to be advantageous to secure the clean layer when the amount of air supplied is less than the amount of discharged air in the fire room. However, in the supply room, it is more effective to secure the clean layer when the amount of supplied air is larger than the amount of discharged air, as a longer boundary width gives rise to better performance. In addition, it is necessary to consider the amount of air supplied and discharged as a function of the kind of flammable material. Moreover, decreasing the air inlet wind speed and amount of incoming air is advantageous for securing the clean layer of the fire room.

**Keywords :** FDS, Air Supply Amount, Combustibles, Smoke Boundary Width Change, Incoming Wind Velocity

## 1. 서 론

대공간 및 아트리움 등 거실에서의 화재 시 완전한 연기의 차단은 불가능하므로 청결층 확보를 통해 안전성을 확보하는 방안이 국가화재안전기준(NFSC 501)에 의해 적용되고 있으며, 거실의 면적과 수직거리 등의 단순한 기준으로 배출량을 산출하고, 공기유입량은 배출량 이상으로 규정하고 있다. 미국의 NFPA의 경우 연기제어에 관한 기준을 NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems을 통해 규정하고 있으며, 제연구역내 열방출량, 화재플림, 공간 특성 등을 고려한 공학적 접근방법을 통해 배출량을 산정하고,

급기량은 배출량 이하로 규정하고 있다.

따라서 본 논문에서는 NFSC와 NFPA에서 규정하고 있는 기준의 상이함을 화재 시뮬레이션(FDS)을 이용하여 배출량을 기준으로 급기량 변화, 제연경계 폭의 변화, 가연물의 종류에 따른 특성분석, 공기유입 풍속의 변화를 통해 거실제연설비의 성능을 개선하고자 한다.

## 2. 제연설비 개념 및 관련기준

### 2.1 제연설비 개념

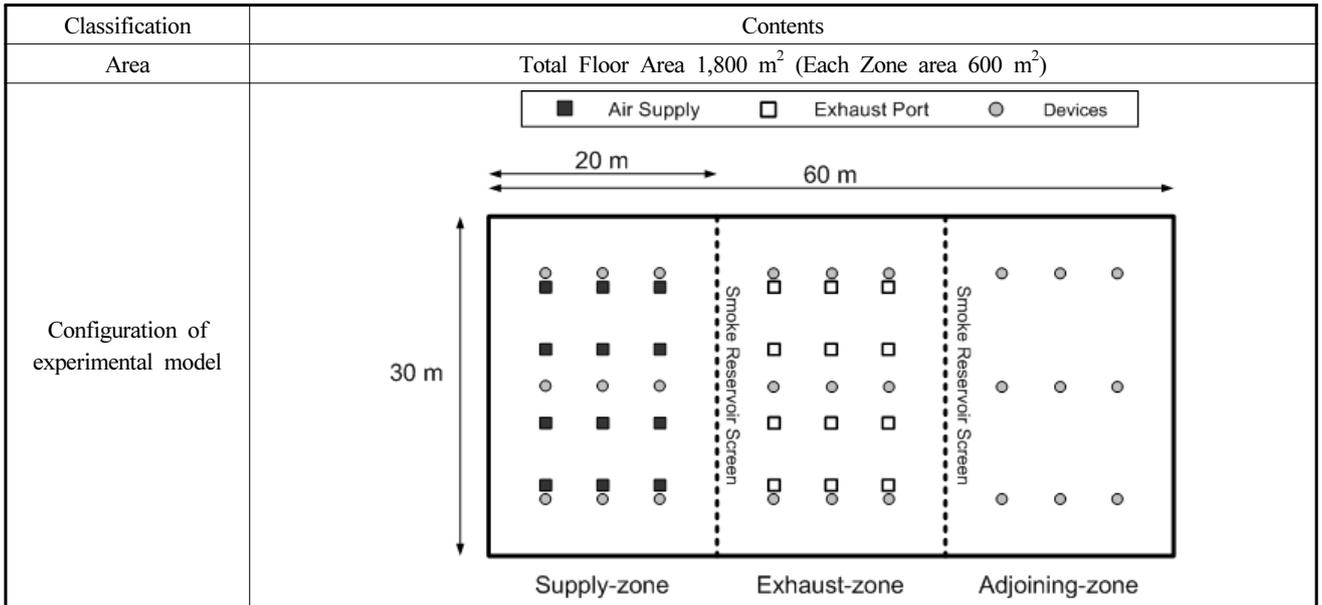
제연이란 화재 시 연기가 피난경로인 복도, 계단, 거실

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: bes7009@dsu.ac.kr, TEL: +82-61-330-3561, FAX: +82-61-330-3568

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

**Table 1.** Compared NFSC with NFPA

Division	NFSC	NFPA
Smoke Boundary Width	More Than 0.6 m	20% from Floor to Ceiling
Considerations When Estimating Emissions	Area, Vertical Distance	Smoke Density, Atmospheric Density, Flame Temperature, Ambient Temperature, Heat Release Rate, Limit Distance
Air Supply Amount	More Than Emission	Below Mass of Flue Gas
Incoming Wind Velocity	5 m/s or Less	1.02 m/s or Less



**Figure 1.** Configuration and specifications of the experimental model.

등 안전구역으로의 침입을 방지하여 재실자의 안전한 피난과 원활한 소화활동을 돕는데 그 목적이 있다. 또한 목적을 달성하기 위해서 연기의 이동을 구획, 가압, 배연, 연기 강하방지 등의 방법을 통해 건축물 내부에서 발생하는 기류에 대한 물리적 제어를 실시하게 된다.

국내 제연설비는 크게 화재실에서 연기배출과 동시에 신선한 공기를 유입하여 청결층을 확보 하는 거실제연설비와 차압을 이용한 전실제연설비로 구분하고 있다. 거실제연설비의 경우 화재실에서의 연기 배출과 동시에 급기를 실시함으로써 청결층 확보와 소화활동을 목적으로 하고 있으며, 전실제연 설비의 경우 차압, 방연풍속, 과압방지를 통한 연기제어를 목적으로 하고 있다. 미국에서도 국내와 마찬가지로 차압을 이용한 방법과, 대규모 공간의 연기관리설비기준을 통해 연기를 제어 하고 있으나 배출량 산정에 있어 제연구역 내 열방출률, 화재플럼 등 화재 역학을 고려하여 산정하고, 급기량은 배출량 이하로 규정하고 있으며, 공기유입 풍속의 경우도 1.02 m/s 이하로 규정<sup>(1)</sup>하고 있어 국내와 다소 상이한 설계를 실시하고 있다. Table 1은 NFSC와 NFPA의 제연설비의 차이를 나타낸 것이다.

## 2.2 NFSC와 NFPA의 거실제연설비의 기준

### 2.2.1 NFSC

- (1) NFSC 501(제연설비의 화재안전기준)
- (2) NFSC 501A(특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준)

### 2.2.2 NFPA

- (1) NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems 2015 Edition
- (2) NFPA 204 연기 및 열 벤딩 기준

## 3. 화재 시뮬레이션 설정

### 3.1 실험모델의 기본구성

본 논문에서 수치해석한 모델은 가상의 단층 건축물로 바닥면적 1,800 m<sup>2</sup>이며 용도는 판매시설로 가정하였다. 건물의 실 높이(바닥에서 반자까지의 높이)는 3.4 m를 적용하여 대상 건축물을 Supply-zone (급기실), Exhaust-zone (화재실), Adjoining-zone (인접실)으로 구성하였다. 한 개의

**Table 2.** Combustible Characteristic

Classification	Polyurethane GM29	Wood (Red Oak)
Heat Release Rate	3,000 kW	1,600 kW
Reactions Species	C=6.3, H=7.1, O=2.1, N=1.0, SOOT_yield=0.13, CO_yield=0.031	C=3.4, H=6.2, O=5.1, SOOT_yield=0.15, CO_yield=0.004

**Table 3.** Appropriateness of Grid According to Flammable

Combustible	HRR [kW]	Applicable Grid [m]	Apply Grid [m]	Responsiveness	Feasibility
Polyurethane GM29	3,000	0.1~0.4	0.2	7.914	OK
Wood (Red Oak)	1,600	0.07~0.29	0.2	5.787	OK

Zone 의 면적을 각각 600 m<sup>2</sup>로 모델링 하였으며, 대규모 거실의 배출량을 적용하여 Zone의 대각선의 거리를 구한 결과 약 36 m로 나타나 40 m범위와 수직거리인 바닥으로부터 제연경계 하단까지 거리 2.8 m를 적용한 50,000 m<sup>3</sup>/h을 기준량으로 적용하였다.

구체적인 모델링의 구성은 Figure 1과 같다.

### 3.2 화재 시뮬레이션

#### 3.2.1 FDS (화재 시뮬레이션 프로그램)

본 연구에서는 화재 시뮬레이션(Fire Dynamics Simulator : FDS)을 사용하였다. FDS는 Navier-Stokes Equations을 토대로 연산된 결과를 연기와 온도 및 유동에 의한 영향을 평가할 수 있으며, 일반적으로 질량보존의 법칙, 운동량 보존의 법칙, 에너지 보존의 법칙, 이상기체상태 방정식을 지배 방정식으로 실행된다. 또한 후처리 프로그램인 Smokeview 프로그램을 통해 시뮬레이션의 결과를 가시화시켜 보다 편리하고 정확한 결과 값을 도출하는데 도움을 준다. 당해 프로그램을 통해 건축물의 위험요소를 사전에 예측하고, 이에 대한 대책을 설계에 반영하므로써 화재로 인한 피해를 최소화 하는 대책을 수립에 큰 역할을 한다. 본 연구는 FDS Ver 5.5.3을 사용하였다.

#### 3.2.2 화원설정

본 연구에서는 Polyurethane을 가연물로 하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 가연물 변화에 따른 영향을 측정할 경우에는 Wood (red oak)와 비교를 통해 이루어 졌다. 본 연구에서 사용된 가연물의 특성은 Table 2와 같다

#### 3.2.3 해석공간

FDS의 결과값은 해석공간의 격자 크기에 따라 달라진다. 즉 해석공간의 격자 크기가 작을수록 신뢰도가 높은 결과값을 나타낸다. 그러나 조밀할수록 많은 격자를 이용하기 때문에 하드웨어의 고성능이 요구되며 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 식 (1)을 통해 격자의 적절한 크기를 선정하여 신뢰도가 높은 결과값의 도출과 과도한

시간소비를 줄일 수 있다.

$$D^* = \left[ \frac{Q^*}{\rho_{\infty} \cdot C_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \tag{1}$$

$$D^* / \delta > 4 \sim 16 \tag{2}$$

$$\delta > \delta_{x,y,z}$$

여기서,  $D^*$  : Characteristic fire diameter

$\rho_{\infty}$  : 주변공기 밀도(1.204 kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  : 주변공기 비열(1.005 kJ/kg-K)

$T_{\infty}$  : 주변공기 온도(293 K)

$g$  : 중력가속도 (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$Q^*$  : 열방출률 (kW)

식 (1)은 미국 원자력 규제 위원회(NUREG)의 FDS V&V (검증 및 평가)보고서 NUREG-1824를 통해 정적 범위를 구하는 식으로써 식 (2)에서 제시한 것과 같이 4~16 사이를 적절한 값으로 인정하고 있다. 따라서 본 연구의 해석공간 내 격자 크기는 가연물에 따라 Table 3과 같이 수행되었다.

### 3.3 측정

각 실에서의 영향을 측정하기 위한 측정장치는 소방시설 등의 성능위주설계방법 및 기준 별표 1의 인명안전기준의 호흡 한계선인 1.8 m의 높이에 설치하였으며 Figure 1에서와 같이 설치하였다. 또한 측정 기준은 동 기준 별표1의 인명안전기준의 가시거리, 온도, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>에 의한 영향을 기준으로 하였으며, 각 Zone마다 9개씩 Device를 설치하여 상점의 피난 가능시간 기준은 6분(360초)(소방방재청 고시 제 2013-10호)를 만족하기 위해 400초에 도달하는 결과값을 통해 각 조건을 비교하였다.

### 3.4 시나리오 설정

화재는 모델링된 3개의 Zone중 Exhaust-zone의 정중앙에서 화재가 발생한 것으로 설정하였으며 Supply-zone에서 급기를 실시하였고, 다음의 각 조건에 의해 시뮬레이션을 수행하였다.

**Table 4.** The Results of Visibility According to Air Supply Amount

m <sup>3</sup> /h	Visibility [m]		
	Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
25,000	9.46	5.28	1.34
30,000	9.93	12.09	1.37
35,000	16.25	10.44	1.38
40,000	19.2	10.19	1.3
45,000	11.63	7.65	4.56
50,000	7.46	4.11	16.83
55,000	7.56	2.64	11.54
60,000	8.98	2.19	6.96
65,000	15.8	1.88	4.6
70,000	21.02	2.08	4.72
75,000	25.39	2.89	4.68

**Table 5.** The Results of CO Concentration According to Air Supply Amount

m <sup>3</sup> /h	CO [ppm]		
	Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
25,000	20	432	108
30,000	14.3	411	90.7
35,000	9.01	417	78.2
40,000	5.48	392	71.7
45,000	15.6	393	51.8
50,000	17.7	41.8	7.42
55,000	20.5	43.1	5.14
60,000	14.9	36.3	6.92
65,000	9.73	43.5	8.89
70,000	6.46	40.3	7.03
75,000	2.96	11.3	6.24

3.4.1 급기량의 변화에 따른 가시거리 및 연소생성물의 변화  
연기의 배출량은 각 실의 면적이 600 m<sup>2</sup>이므로 400 m<sup>2</sup> 거실의 수직거리 2.5 m 초과 3 m 이하인 50,000 m<sup>3</sup>/h (국가 화재안전기준 NFSC 501 제6조 2항의 2)를 적용하였다. 산정한 배출량 50,000 m<sup>3</sup>/h를 기준으로 10% (5,000 m<sup>3</sup>/h)씩 감소한 25,000 m<sup>3</sup>/h~45,000 m<sup>3</sup>/h 5개, 10%씩 증가한 55,000 m<sup>3</sup>/h~75,000 m<sup>3</sup>/h의 급기량 변화에 의한 영향을 측정한다.

3.4.2 제연경계 폭의 변화에 따른 가시거리 및 연소생성물의 변화

국가화재안전기준 0.6 m와 바닥에서 반자까지 높이의 20% 이상인 0.8 m의 차이를 통한 영향을 측정한다.

3.4.3 화재실내의 가연물의 종류에 따른 가시거리 및 연소생성물의 변화

연기발생량이 많은 Polyurethane과 연기발생량이 적은 Wood (red oak)의 차이를 통한 영향을 측정한다.

3.4.4 인입공기 유입 풍속의 변화에 따른 가시거리 및 연소생성물의 변화

공기유입구 및 배기구의 크기는 가로 60 cm×세로 60 cm

를 적용하여 공기유입구의 크기 규정인 배출량 1 m<sup>3</sup>/min에 대하여 35 cm<sup>2</sup> 이상과 풍속 5 m/s 이하(국가화재안전기준 NFSC 501 제8조 6항)를 만족하게 하였고, 유입구 크기에 따른 풍속 4.75 m/s 와 NFPA 규정인 1.02 m/s 의 차이를 통한 영향을 측정한다.

## 4. 결과분석

결과분석은 성능설계 기준의 피난가능시간 기준 중 상점의 피난가능시간 W3의 기준인 6분(360초)에 10% 여유율을 더하여 400초 일때의 기준으로 가시거리, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>의 특성을 파악하였다. 열에 의한 영향은 큰 영향이 나타나지 않았으며, 비교에 따른 차가 적어 결과 항목에서 제외하였다.

### 4.1 급기량 변화에 따른 결과분석

#### 4.1.1 가시거리 변화

가시거리를 통한 급기량 변화에 따른 특성을 분석한 결과 Supply zone의 경우 35,000 m<sup>3</sup>/h 일때 16.25 m, 40,000 m<sup>3</sup>/h는 19.2 m, 45,000 m<sup>3</sup>/h는 11.63 m로 성능기준을 만족

**Table 6.** The Results of CO<sub>2</sub> Concentration According to Air Supply Amount

CO <sub>2</sub> [%]			
m <sup>3</sup> /h	Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
25,000	0.0658	1.43	0.356
30,000	0.0472	1.36	0.299
35,000	0.0297	3.38	0.258
40,000	0.0181	1.29	0.237
45,000	0.0514	1.29	0.171
50,000	0.0584	0.138	0.0245
55,000	0.0675	0.142	0.017
60,000	0.0491	0.12	0.0228
65,000	0.0321	0.144	0.0293
70,000	0.0213	0.133	0.0232
75,000	0.0975	0.374	0.0206

**Table 7.** The Results of O<sub>2</sub> Concentration According to Air Supply Amount

O <sub>2</sub> [%]			
m <sup>3</sup> /h	Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
25,000	20.9	18.8	20.5
30,000	20.9	19	20.5
35,000	20.9	19	20.6
40,000	20.9	19.1	20.6
45,000	20.9	19.1	20.7
50,000	20.9	20.8	20.9
55,000	20.9	20.8	20.9
60,000	20.9	20.8	20.9
65,000	20.9	20.7	20.9
70,000	20.9	20.8	20.9
75,000	20.9	20.9	20.9

하였으며 비교적 기준량인 50,000 m<sup>3</sup>/h에 가까워 질수록 성능확보에 유리한 것으로 나타났다. 또한 기준량 이상인 경우 55,000 m<sup>3</sup>/h와 60,000 m<sup>3</sup>/h일 때 각각 7.56 m와 8.98 m로 성능기준에 만족하지 못하는 것으로 나타났으나, 그 이상의 경우 65,000 m<sup>3</sup>/h에서 15.8 m, 70,000 m<sup>3</sup>/h일 때 21.02 m 75,000 m<sup>3</sup>/h일 때 25.39 m로 나타나 급기량이 증가할수록 성능확보에 유리한 것으로 나타났다.

Exhaust-Zone의 경우 기준량인 50,000 m<sup>3</sup>/h일 때 4.11 m로 인명안전기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 기준량 이하인 30,000 m<sup>3</sup>/h, 35,000 m<sup>3</sup>/h, 40,000 m<sup>3</sup>/h일 때 각각 12.09 m, 10.44 m, 10.19 m로 인명안전기준을 만족하는 것으로 나타났다. 기준량 이상일 경우 55,000 m<sup>3</sup>/h~75,000 m<sup>3</sup>/h에서 모두 약 3 m 이하로 인명안전기준의 10 m에 못 미치는 영향을 나타내었다.

Adjoining-Zone의 경우 기준량인 50,000 m<sup>3</sup>/h에서 16.83 m로 인명안전기준을 만족하였으며, 55,000 m<sup>3</sup>/h에서도 11.54 m로 인명안전기준 이상으로 나타났다. 그러나 기준량 이하의 경우 약 5 m 이하의 매우 낮은 가시거리를 나타내었으며, 60,000 m<sup>3</sup>/h 이상일 경우에도 인명안전기준에 만족하지 못하는 결과를 나타내었다.

4.1.2 CO 변화

CO의 경우 인명안전기준(1,400 ppm)에 모두 영향이 없는 것으로 나타났다. 그러나 CO를 통해 각 Zone의 특성을 비교한 결과 기준량인 50,000 m<sup>3</sup>/h 미만에서는 화재실인 Exhaust-zone에서 약 400 ppm 정도의 농도를 나타내는 것으로 나타났으며, Adjoining-zone에서 약 108 ppm~51.8 ppm의 농도를 나타내었다.

Supply-zone과 50,000 m<sup>3</sup>/h 이상일 경우 약 50 ppm 이하의 매우 적은량의 CO의 농도를 나타내었다.

4.1.3 CO<sub>2</sub> 변화

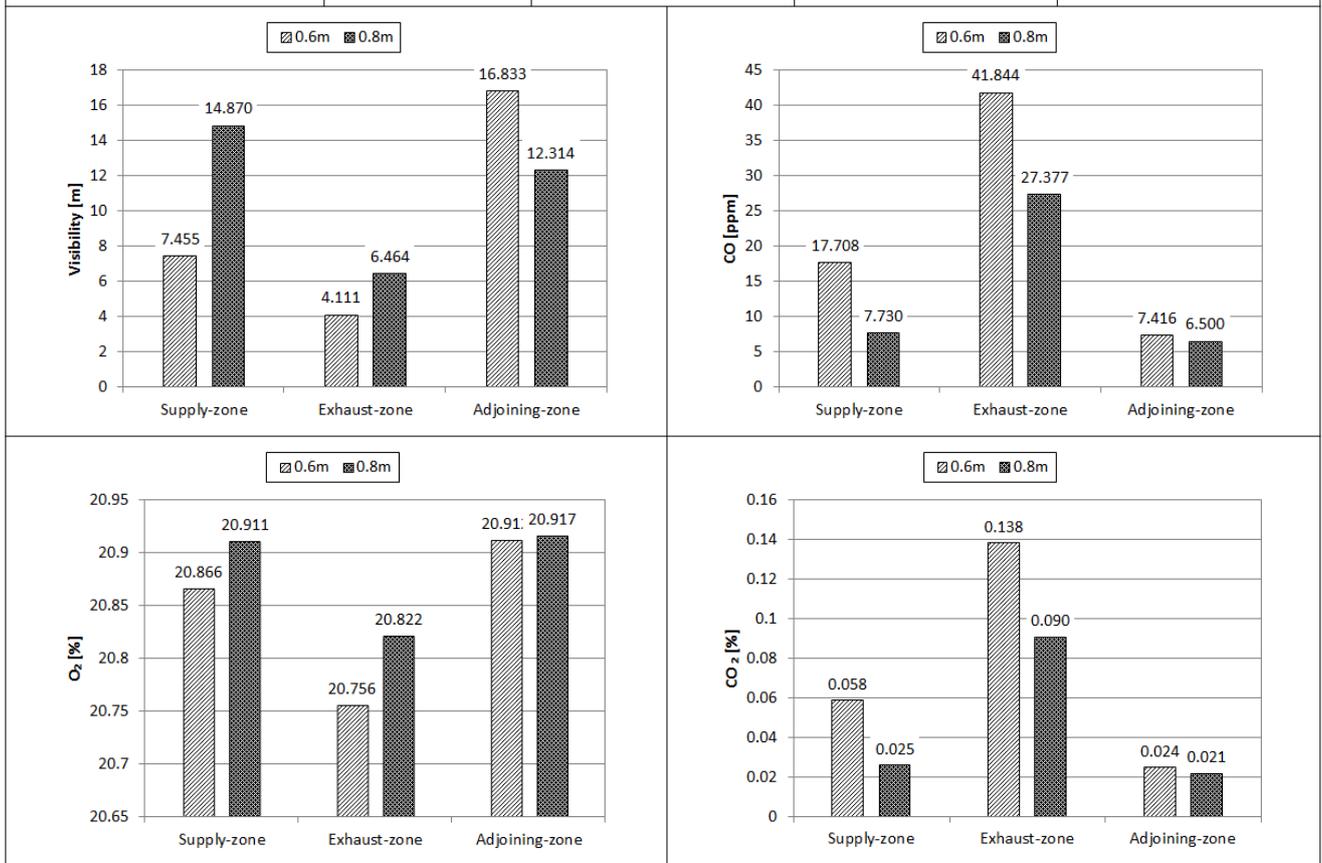
CO<sub>2</sub>의 경우 모든 zone에서 인명안전기준인 5%를 모두 넘지 않는 것으로 나타났다. Supply-zone과 Adjoining-zone에서 모두 1% 미만으로 나타났으며, Exhaust-zone의 50,000 m<sup>3</sup>/h 이상에서도 1% 미만의 CO<sub>2</sub> 농도를 나타내었다. 그러나 Exhaust-zone에서 기준량 미만일 때 35,000 m<sup>3</sup>/h 일 때 가장 높은 3.38%를 나타내었으며, 35,000 m<sup>3</sup>/h를 제외한 25,000 m<sup>3</sup>/h~45,000 m<sup>3</sup>/h에서 1.29%~1.43%의 농도를 나타내었다.

4.1.4 O<sub>2</sub> 변화

O<sub>2</sub>의 경우 Exhaust-zone에서 50,000 m<sup>3</sup>/h 미만일 때

**Table 8.** The Results of According to Width of the Boundary

Classification		Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
Visibility [m]	0.6 m	7.5	4.1	16.8
	0.8 m	14.9	6.5	12.3
CO [ppm]	0.6 m	17.7	41.8	7.4
	0.8 m	7.7	27.4	6.5
CO <sub>2</sub> [%]	0.6 m	0.1	0.1	0.0
	0.8 m	0.0	0.1	0.0
O <sub>2</sub> [%]	0.6 m	20.9	20.8	20.9
	0.8 m	20.9	20.8	20.9



25,000 m<sup>3</sup>/h~45,000 m<sup>3</sup>/h일 때 18.8~19.1%로 나타났으며 기준량 이상일 경우 약 20% 이상의 농도를 나타내었다. 또한 모든 실에서의 O<sub>2</sub> 농도는 인명안전기준인 15%를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

**4.2 제연경계 폭에 따른 변화**

급기량이 NFSC 기준으로 산정한 50,000 m<sup>3</sup>/h로 제연경계 폭에 따른 변화를 보면 가시거리는 Supply-zone의 경우 0.6 m 일 때 7.5 m로 성능기준을 만족하지 못하였으나, 0.8 m 일 때 14.9 m로 성능기준을 만족하였다. Exhaust-zone에서도 0.8 m 일 때 6.5 m로 0.6 m보다 가시거리가 더 길게 나타났다. CO농도 또한 제연경계가 0.8 m인 경우가

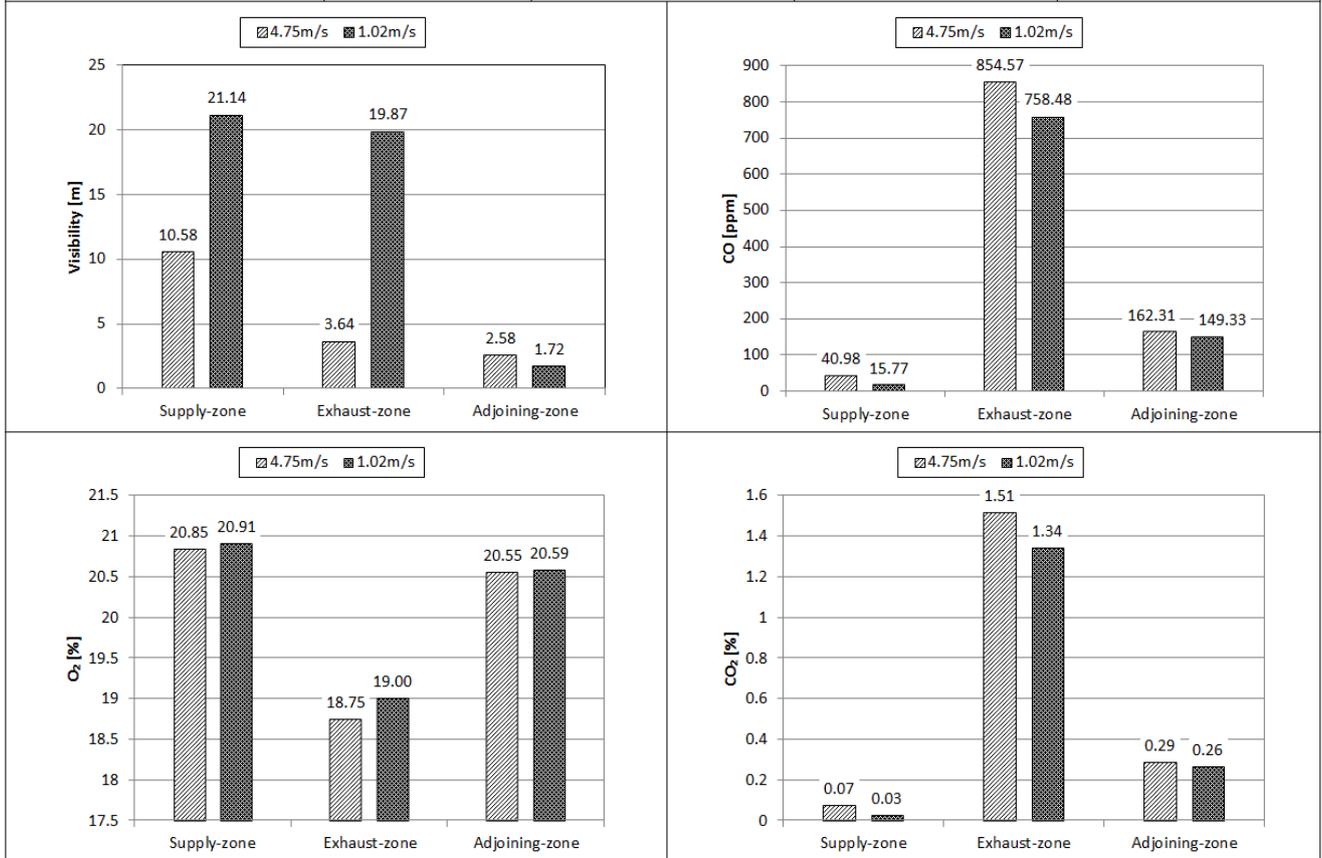
Supply-zone에서 0.6 m 일때 17.7%, 0.8 m에서는 7.7%로 제연경계의 폭이 길어짐에 따라 농도가 낮게 나타났다. O<sub>2</sub>의 경우는 20.8~20.9%로 큰 차이는 나타내지 아니하였고, CO<sub>2</sub>의 경우는 Supply-zone과 Exhaust-zone에서 모두 0.1%로 큰 차이를 나타내지 아니하였으며, 성능기준을 만족하였다.

**4.3 유입공기 풍속에 따른 변화**

공기유입구 풍속 변화를 보기 위하여 급기량이 NFSC 기준으로 산정한 50,000 m<sup>3</sup>/h로 Supply-zone의 경우 유입구 풍속이 4.75 m/s 일때 10.58 m, 1.02 m/s 이하 일 때 21.14 m를 나타내었으며, Exhaust-zone의 경우 또한 가시거리가 1.02 m/s 일 때가 19.87 m로 4.75 m/s일 때 보다 약 6배 정

**Table 9.** The Results of According to Wind Velocity of the Incoming Air

Classification		Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
Visibility [m]	4.75 m/s	10.58	3.64	2.58
	1.02 m/s	21.14	19.87	1.72
CO [ppm]	4.75 m/s	40.98	854.57	162.31
	1.02 m/s	15.77	758.48	149.33
CO <sub>2</sub> [%]	4.75 m/s	0.07	1.51	0.29
	1.02 m/s	0.03	1.34	0.26
O <sub>2</sub> [%]	4.75 m/s	20.85	18.75	20.55
	1.02 m/s	20.91	19.00	20.59



도의 차이를 보이고 있으며, Supply-zone와 Exhaust-zone 모두 성능기준인 10 m를 만족하였다. CO의 농도 또한 풍속이 1.02 m/s 이하 경우가 Supply-zone과 Exhaust-zone 모두 낮은 농도를 나타내었으며, O<sub>2</sub>의 경우는 Supply-zone에서 풍속이 낮을 경우 20.91%, Exhaust-zone의 경우 19%와 비교해 더 높은 것으로 나타났다. CO<sub>2</sub>의 경우 Supply-zone과 Exhaust-zone 모두 풍속이 4.75 m/s와 1.02 m/s인 경우 인명 안전기준인 5% 이하로 나타났으며, 공기유입구 풍속이 낮을 경우 O<sub>2</sub> 농도도 낮은 것을 확인할 수 있었다.

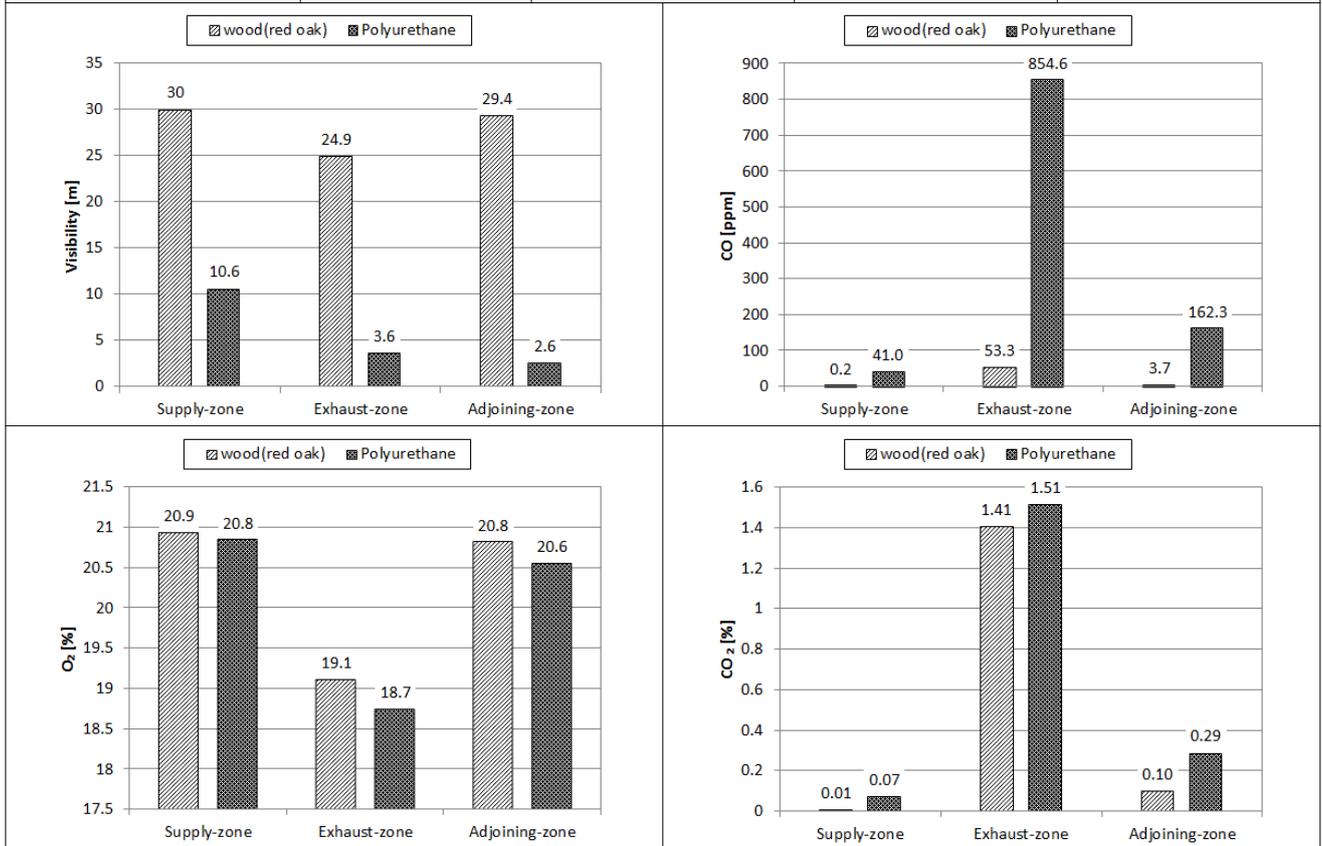
**4.4 가연물에 따른 변화**

가연물 종류에 따른 변화를 보기 위해 급기량이 NFSC

기준으로 산정한 50,000 m<sup>3</sup>/h로 가연물의 종류에 따라 가시거리 CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>의 발생량에 차이가 있음을 확인 할 수 있었다. 그 결과는 가시거리의 경우 발연량이 높은 폴리우레탄의 경우 Supply-zone에서 18.6 m, Exhaust-zone에서 3.6 m로 나타났으며 발연량이 적은 나무의 경우 Supply-zone에서 30 m, Exhaust-zone에서 24.9 m로 가연물에 따라 가시거리가 확연한 차이를 나타내고 있다. CO는 폴리우레탄의 경우 Supply-zone에서 41 ppm, Exhaust-zone에서 854.7 ppm의 농도를 나타냈으며, 나무의 경우 Supply-zone에서 0.2 ppm, Exhaust-zone에서 53.3 ppm으로 확연한 차이를 보이고 있다. O<sub>2</sub>는 나무의 경우가 Supply-zone과 Exhaust-zone에서 O<sub>2</sub> 농도가 더 높게 나타났으며 CO<sub>2</sub> 농도는 폴리우레탄의

**Table 10.** The Results of According to Change for Combustible

Classification		Supply Zone	Exhaust Zone	Adjoining Zone
Visibility [m]	wood (Red Oak)	30	24.9	29.4
	Polyurethane	10.6	3.6	2.6
CO [ppm]	wood (Red Oak)	0.2	53.3	3.7
	Polyurethane	41.0	854.6	162.3
CO <sub>2</sub> [%]	wood (Red Oak)	0.01	1.41	0.10
	Polyurethane	0.07	1.51	0.29
O <sub>2</sub> [%]	wood (Red Oak)	20.9	19.1	20.8
	Polyurethane	20.8	18.7	20.6



경우 Supply-zone에서 0.07%, Exhaust-zone에서 1.5%로 나타났으며, 나무의 경우 Supply-zone에서 0.01%, Exhaust-zone에서 0.51%로 높게 나타났다.

### 5. 결론

본 연구는 NFSC 와 NFPA의 상이한 규정 중 급기량, 제연경계 폭, 공기유입구 풍속, 가연물의 종류(열방출률)에 따라 어떠한 차이를 가져오는지를 확인하기 위하여 FDS를 수행하여 수치해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

급기량의 경우 배출량 이상으로 규정하고 있으나 제연설비가 동작하는 화재실과 급기실의 경우 급기량이 적을 경우가 청결층 확보를 통한 피난안전성이 확보되는 것을

확인하였으며 인접실인 Adjoining-zone의 경우 급기량이 많아짐에 따라 가시거리에 유리한 것으로 나타났다. 이에 따라서 급기량의 재 산정 검토 필요성과 제연설비가 동작하지 않는 Adjoining-zone의 경우 피난을 위한 피난시설은 급기실과 연동하여 작동하는 System의 설치를 고려해야 할 필요가 있다

제연경계 폭의 경우 연기층을 형성하여 청결층 아래로 내려오는 것을 방지 위한 것으로 0.6 m인 경우 보다는 제연경계의 폭이 길어질수록 제연의 효과가 높아짐을 시뮬레이션을 통해 확인하였고, 제연구획내의 제연경계 폭은 구획내 화재하중 등을 고려하여 설계할 필요성이 있다.

화재실의 가연물의 종류에 따라 열방출률과 연기발생량 및 연소 생성물이 달라지므로 이에 맞는 연기 배출량 및

급기량을 산정하여야 할 필요가 있다.

화재 시뮬레이션을 통한 급기량의 변화에서 알 수 있듯이 배출량을 고정하고 급기량을 감소시킴과 동시에 공기유입구 풍속이 작아짐에 따라 화재실인 Exhaust-zone의 청결층 확보가 유리함을 확인하였다.

본 논문은 화재 시뮬레이션(FDS)을 통하여 거실 제연설비 중 대규모 거실의 인접지역 상호제연 방식의 개선에 관하여 국가화재안전기준(NFSC)과 NFPA의 규정을 비교 분석하였다. 동일한 연기 배출량 등을 적용하려 하였으나 산정하는 방법 및 산정 시 변수가 동일하지 아니하여 실질적인 한계가 있을 것으로 판단된다. 그러나 급기량, 화재실내 가연물의 종류, 제연경계 폭, 공기유입구 풍속 등을 검토하여 거실 제연설비를 설계할 필요성을 확인하는 자료로는 활용 가능하리라 사료된다.

## References

1. National Fire Protection Association, "NFPA 92 (Standard for Smoke Control Systems 2015 Edition)", Quincy, MA, USA (2015). pp. 92-98.
2. S. J. Park, J. H. Jo, T. H. Ahn, M. S. Yeo, H. T. Seok and K. W. Kim, "A Study on the Application of the Double-Skin Facade to Apartment Buildings", Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 1, pp. 453-456 (2002).
3. Y. B. Lee, "A Study on Decrease and Improvement Plan by Stack Effect in Skyscrapers", Kyong-Gi University, Korea (2008).
4. D. H. Park, "A Comparative study of technical standards for the fire alarm system in Korea, United states and Japan", University of Seoul, Korea (2000).
5. National Fire Protection Association, "NFPA 72 (National fire alarm code)", Quincy, MA, USA (2002).
6. M. J. Lee, "An Improved Design for Audibility of Fire Alarm Sound in Residential Buildings", University of Seoul, Korea (2012).
7. British Standard Institution, "BS 5839 Part 1 (Fire detection and fire alarm system for buildings)", London, UK (2002).
8. J. S. Yoon, "Fire Analysis for High-rise Apartment Building By Fire Simulation Program", Chungbuk National University, Korea (2010).
9. Y. S. Sonh, S. K. Dan, B. W. Lee, S. P. Kwon, D. I. Shin and T. O. Kim, "Simulation of Heat and Smoke Behavior for Wood and Subway Fires by Fire Dynamics Simulator (FDS)", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 14, No. 6, pp. 31-37 (2010).
10. ThunderHead Eng, "PyroSim User Manual", The RJA Group Inc, Chicago, USA (2011).
11. U. S. Nuclear Regulatory Commission, "Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Fire Dynamics Simulator (FDS) (NUREG-1824, Volume 7)", U.S.NRC, USA (2007).
12. G. P. Forney, "Smokeview User's Guide", Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory, NIST, USA (2007).
13. K. McGrattan, R. McDerMott, S. Hostikka and J. Floyd. "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide", NIST SP 1019-5, NIST, USA (2010).
14. T. T. Lie, "Fire Protection Handbook", Applied Science Publishers Ltd., London, UK (1997).
15. National Fire Service Academy, "Fire Protection Simulation", National Fire Service Academy, Korea (2009).
16. National Fire Service Academy, "Fire Science", National Fire Service Academy, Korea (2009).