설계화재와 거실제연설비 성능에 관한 연구

정석환 · 오원신[†]

세종사이버대학교 소방방재학과 교수

Relationship between Designed Fire and Performance of Smoke-Control System in a Living Room

Suckhwan Joung · Wonsin Oh[†]

Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, Sejong Cyver Univ.

(Received January 13, 2021; Revised March 2, 2021; Accepted May 11, 2021)

요 약

본 연구에서는 상호제연방식을 대상으로 발화 후 600 s에서 비화재 구역의 가시거리 5 m를 기준으로 급·배기 풍량에 따른 적정 설계화재 크기를 추정하였다. FDS 입력조건의 적정성을 검증하기 위해 AS 4391-1999에 따른 고온 연기시험에서 측정된 천정류 온도와 연기흐름을 FDS 결과와 비교하였다. 분석 결과, 측정된 천정류 온도 12 개소 중 11 개소에서 FDS의 평균온도 $\pm 2\sigma$ 이내였고, 연기유동도 매우 유사하게 묘사하였다. 동일한 입력조건을 적용하여 추정된 설계화재 크기는 NFSC 501의 요구 풍량 (급·배기 풍량 45,000 CMH) 조건에선 HRR = 1,650 kW 이하로 분석되었고, 실측 풍량 (급기 35,606 CMH, 배기 32,506 CMH) 조건에선 HRR = 1,100 kW 이하였다. 비화재 구역 가시거리 저하의 주요 원인은 제연경계 하단의 낮은 임계유속으로 인한 비화재구역으로의 연기유출과 천정에 설치된 급기 디퓨저의 하강기류의 혼합에 의한 것으로 분석되었다.

ABSTRACT

The effects of the size of a designed fire on the ventilation system of an adjacent zone is estimated in this study based on a visibility requirement of 5 m in a non-fire zone at 600 s after ignition. To verify the adequacy of the fire dynamics simulator (FDS) input file, smoke movement and ceiling temperature under the hot smoke test conditions of AS4391-1999 were compared with those from the FDS results. The average temperatures measured at 12 locations were within the range of $\pm 2\sigma$, with the exception of one point, and predicted smoke movement adequately. The size of the designed fire was analyzed in terms of the air volume conditions of the NFSC 501 for a heat release rate (HRR) of 1650 kW (air supply and exhaust at 45,000 cubic meters per hour (CMH)) as well as air volume conditions for a HRR of 1100 kW (air supply at 35,606 CMH and exhaust at 32,506 CMH). It was determined that one of the major factors influencing the required safety egress time was the mixture of downdraft airflow from the diffusers and smoke layer crossing the ventilation boundary.

Keywords : Smoke control, Smoke barrier, Hot smoke test, FDS

1. 서 론

연기⁽¹⁾는 물질의 열분해 및 연소과정에서 생성된 고체, 액체 미립자 및 가스가 유입되는 공기와 혼합된 것으로 온도차에 의해 발생하는 압력차로 급격히 화재지역 밖으로 유동한다.

국내의 경우 피난구역으로의 연기확산 제어를 통한 피난안전성 확보를 위하여 수평으로는 제연설비의 화재안전기준(이하 NFSC 501)⁽²⁾을 적용하고 있으며, 수직으로의 연

기확산은 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)에 따라 제연설비 설치를 요구하고 있다. 건축법에서는 거실 상층부의 온도 제어, 연기확산 및 전실화재(flashover) 방지 등의 목적으로 배연창의 설치를 규정하고 있다.

대규모 거실의 연기 제어 방식 중 일반적인 방법의 하나는 화재발생 시 NFSC 501에 따라 화재구역인 예상제연구역에서 연기를 배출하고 인접구역에서 신선한 공기를 급기하는 방식(이하, 상호제연방식)으로 청결층을 확보하여 피

[†] Corresponding Author, TEL: +82-32-930-5901, FAX: +82-32-930-5999, E-Mail: owonsin@korea.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

난 및 소방활동을 지원한다.

2011년 소방시설의 성능위주설계 제도의 도입에 따라 화재 및 피난안전성 확보를 위하여 NIST에서 만든 CFD 프로그램인 fire dynamics simulator (FDS)를 가장 많이 활용하고 있으며, 대부분 건축적 요소인 방화구획 등의 수동적 방호 개념만을 적용하여 시뮬레이션 한 결과를 피난 시뮬레이션과 비교 평가하여 안정성을 검토하고 있다. 그러나 성능위주설계 적용시 기존의 규약설계 방식인 NFSC 501의 제연경계 높이 및 급·배기량을 준수하도록 하고 있기 때문에 설계 방식 변경을 통한 화재안전성 증진에 기여하지 못하고 있는 실정이다.

대규모 거실제연과 관련하여 Kim 등⁽³⁾은 FDS를 활용하여 제연구역 내의 급기량과 배기량의 적정성을 연구하였고, Choi⁽⁴⁾은 급·배기 풍량과 연기층의 높이 등과 같은 제연 설비의 설계인자에 관한 연구를 FDS를 이용하여 수행하였다. 해외의 경우 대규모 거실에 대한 연기제어의 연구 동향은 아트리움에 대한 연기 제어를 중심으로 이루어지고 있다^(5,6).

Kim 외 및 Choi 등의 기존 연구는 NFSC 501에서 요구되는 성능이 만족한다는 조건 하에서 FDS를 이용하여 급기 및 배기량의 적정성 및 제연경계의 높이 등에 대한 연구 결과를 제시하였으나 설계화재 크기의 적정성을 평가하기 위해서는 제연설비의 성능 데이터에 기초할 필요성이 있다. 또한 제연설비의 성능확보를 위하여 민세홍, 김길중의 공조겸용 제연시스템의 성능확보를 위한 압력손실에 관한 연구⁽⁷⁾에 따르면 덕트 및 구성요소에 따른 송풍기 정압계산의 적정성이 확보되지 못할 경우 성능 확보가 어려울 수 있으므로 이에 대한 설계계산 시 고려될 사항 등을 제안하고 있다. 상기의 두가지 기존 연구 방향으로 급·배기 풍량 성능부족의 가능성과 그에 따른 FDS 입력 조건의 변화에 기초한 설계화재 크기의 적정성 평가와 관련한 연구의 필요성이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 연구대상에 설치된 거실제연설비의 급·배기 성능 측정 결과를 FDS 기초 입력조건으로 적용하고, 이를 고온연기시험(hot smoke test, HST)에 의한 결과와 비교하여 입력조건의 적정성을 확보하려 한다. 그 입력조건을 토대로 측정된 풍량을 적용한 경우와 NFSC 501에서 요구하는 급·배기 풍량 조건 하에서 피난안전기준에 따른 안정성이 확보되는 설계화재 크기를 추정하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 급·배기 풍량 조건이 적용된 FDS 입력 조건의 적정성 여부를 확인하기 위하여 연구대상 제연구역의 모든 급·배기량을 hood meter를 이용하여 측정하고, AS 4391-1999 smoke management systems - hot smoke test (이하 HST)에 따른 고온연기층 시험을 실시하여 그 결과와 FDS 결과를 비교 분석하였다. 적정성이 확인 된 FDS 입력

조건 적용하고 실제 측정된 풍량과 NFSC 501에서 요구하는 급·배기 풍량 조건 하에서 설계화재 크기를 증가시키며(550, 1100, 1650 kW) 연기유동 분석을 실시하여, 비화재 구역의 피난 안정성에 기초한 적정 설계화재의 크기를 추정하려 한다.

2.1 풍량 측정과 Hot Smoke Test

연구대상물의 고온연기시험은 AS 4391-1999 smoke management systems - hot smoke test⁽⁸⁾에 따라 실시하였다. 선정된 풀화재의 화원 크기는 297 × 420 mm로 A3 크기이며, 연료는 순도 95%의 에탄올을 사용하였다. FDS와의 비교 평가를 위하여 Figure 1과 같이 4방향, 3.9 m 간격으로 총 12개의 열전대(K종)를 천장 아래 15 cm 위치에 설치하였다. 또한 연기의 확산 상태를 관찰하기 위하여 Figure 1과 같은 위치에 CCTV 6대를 설치하였다. 연기 발생기는 concept vulcan smoke generator 2대를 사용하였으며, 발생입자의 크기는 0.2~0.3 μm 이며, 각 연기 발생기의 연기발생량은 가시도 1 m의 연기를 400 m³/min 발생한다. 천정류의 온도를 측정하기 위해 Hioki LR8400과 K종 열전대를 사용하였으며, 샘플링 타임은 1 s로 하였다. 급·배기풍량 측정은 Kanomax 6710 모델을 사용하여 급·배기 디류저 별로 각각 측정하였다.

고온연기시험에서 제연설비는 감지기의 동작에 따라 연동되어 900 s까지 정상 동작시켰으며, 900 s 이후 제연설비를 정지시켰다. 제연설비의 작동여부에 따른 천정류의 온도와 연기 확산 상태는 열전대 측정값과 CCTV를 이용하여 기록하였다.

2.2 FDS 모델링

연구 대상 건축물은 지상 9층 지하 7층의 건축물로서 지하1층의 판매시설 용도 구역 중 임의 선정된 제연 구역을 연구대상으로 하였다. 제연구역의 덕트 경로는 Figure 2와 같으며, NFSC 501에 따른 급·배기 풍량은 제연경계 높이 2.4 m가 적용되어 45,000 CMH가 요구되는 구역이다. 제연

Figure 1. Location of thermocouple and CCTV.

Figure 2. Supply & exhaust duct of smoke control zone.

방식은 고정식 제연경계를 이용한 상호제연방식이며, 공조 설비 겸용으로 설계되어 있다.

FDS 입력 조건의 적정성을 확인하기 위한 고온연기층 시험 및 설계화재 크기 추정을 위한 FDS 화재모델의 입력 조건은 Table 1과 같다. 설계화재 크기 예측을 위한 시뮬레이션의 경우 화원의 크기는 HRR를 550⁽⁹⁾, 1,100, 1650 kW, 3가지 조건으로 하였다. 급·배기 시스템은 Case A, B 조건에서는 각 디퓨저 별로 측정된 결과를 적용하였으며 총 배기는 32,506 CMH, 총 급기는 35,606 CMH이었다. Case C, D 조건에서는 NFSC 501의 기준풍량인 45,000 CMH를 각 디퓨저에 균등 분배하였다. 가연물의 종류는 rigid polyurethane foams이고, soot yield는 0.13⁽¹⁰⁾을 적용하였다. 가연물의 위치는 판매시설의 일반적인 가연물 높이로 추정되는 0.8 m 위치로 선정하였다.

연기로 인한 비화재구역의 안정성 확보에 대한 평가를 위하여 제연경계 전후 10 cm와 제연경계 하단에 Figure 6

과 같이 온도, 유속 측정 지점을 설정하였다. 이 결과를 활용해 제연경계 전후의 온도 특성 분석과 화재구역과 비화재구역 상호간의 연기 유동 특성을 분석하였으며, 바닥으로부터 1.8 m 높이의 가시거리 분석을 통해 설계화재 크기의 적정성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 급·배기 풍량 측정 결과

급기 디퓨저는 원형으로 총 78개가 약 3 m 간격으로 설치되어 있다. 각 디퓨저 중 최소 풍량은 258 CMH, 최대는 695 CMH로 측정 되었으며, 총 급기풍량은 35,606 CMH로 NFSC 501에서 요구하는 급기 풍량의 79.1%로 측정되었다. 배기디퓨저는 원형으로 약 3 m 간격으로 총 90개가 설치되었다. 각 디퓨저 중 최소는 209 CMH, 최대는 585 CMH로 측정 되었으며, 총 배기풍량은 32,506 CMH로 NFSC 501 요구 배기 풍량의 71.2%로 측정되었다.

3.2. 입력조건 검증을 위한 고온연기층 시험

3.2.1 천정류 온도

액체 폴 화재의 연소속도는 초기 비정상상태 과정을 거친 후 정상상태 연소가 되므로 300 ~ 600 s 사이를 정상연소상태 구간으로 설정하고 그 결과를 FDS 결과와 비교하였다. HST에서 측정된 천정류의 온도(Figure 1에 표시된 12 지점)와 FDS의 결과는 평균 온도를 기준으로 할 때 Table 2과 같으며, -15.8% ~ 22.6%의 측정 오차를 보였다. Table 3은 정상상태 연소로 추정한 300 ~ 600 s 구간에서 고온연기 시험에서 측정된 천정류 온도의 평균값과 95%신뢰구간인 2σ 값 그리고 FDS 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Figure 3에 각 위치별 측정 평균값과 FDS 결과의 평균값과 2σ를 나타

Table 1. Summary of Simulation Input Data

Simulation condition		HST	Case			
			A	B	C	D
Mesh size (cm*cm*cm)		5*5*5	10*10*10			
Combustible	Classification	Rigid polyurethane foams				
	Size (m)	0.3*0.4	1 m × 1 m	1.4 m × 1.5 m	1.4 m × 1.5 m	1.5 m × 2.0 m
	Position	10 cm over the floor	80 cm over the floor			
	Reactions ⁽¹⁰⁾ species	C = 1.00, H = 1.10, O = 0.2300, N = 0.1000, CO_yield = 0.0310, Soot_yield = 0.1300				
Steady state Heat release rate (kW)		50 kW*	-	-	-	-
HRR (kW)		-	550	1,100	1,100	1,650
Air volume (CMH)	Exhaust	32,506			45,000	
	Supply	35,606			45,000	

* Calculated value HRR of Ethanol = 26800 kJ/kg⁽¹¹⁾, Avg. Maximum Burning Unit Area (kg/sm²) = 0.015⁽¹¹⁾

Table 2. Error Rate between Measured and FDS Result

Dist.	East	West	South	North
3.9 m	-1.4%	-10.5%	4.8%	7.8%
7.8 m	5.7%	5.3%	22.6%	3.7%
11.7 m	-3.5%	-	-	-0.8%
15.6 m	-1.4%	-	-	-15.8%

내었다. 그 결과를 보면 북쪽 15.6 m 지점을 제외한 11 지점에서 고온연기시험에서 측정된 평균온도는 FDS 시뮬레이션의 평균온도 $\pm 2\sigma$ 이내에 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 기존 연구결과인 Bae⁽¹²⁾ 외의 연구 결과인 20% 정도의 온도 오차 범위와 Mun⁽¹³⁾ 외의 고정 환기 조건에서 약 15%의 과소 예측 결과와 매우 유사한 결과라 할 수 있다.

3.2.2 연기 확산

가. 제연설비 연동 구간 (0~900 s 구간)

제연설비가 정상적으로 동작한 900 s까지의 연기확산 상태를 Figure 1과 같이 설치된 CCTV 영상과 FDS 시뮬레이션 결과를 비교한 결과, 연기는 제연경계를 벗어나지 않았다. Figure 4에 CCTV #3의 위치에서 본 연기 확산 상태와 FDS 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었으며, FDS는 고온연기시험의 결과를 잘 모사하고 있다.

나. 제연설비 미연동 구간 (900~1200 s 구간)

Figure 5는 고온연기시험 시작 후 900 s에서 제연설비의

연동을 정지한 이후 300 s가 경과한 후의 연기 확산 상태를 CCTV #2, #6의 위치에서 관측된 결과와 FDS의 결과를 비교한 것이다. FDS 시뮬레이션 결과는 고온연기시험에서 제연경계의 효과로 인하여 연기가 비화재구역으로 확산되지 못하는 상태를 잘 모사하고 있음을 확인할 수 있다.

3.3 급·배기량에 따른 적정 설계화재 크기

3.3.1 제연경계 하단부 온도특성

Figure 6(a)의 4개 위치에 Figure 6(b)와 같이 제연경계 주위의 14개 지점을 선정하여 측정된 평균온도와 표준편차를 Figure 7에 나타내었다. HRR = 550 kW의 경우(Case A), 제연경계 상·하단의 온도는 동일 수준으로 초기 온도에서 약 1 °C 정도의 상승을 보였다. 이런 결과는 제연경계 전·후를 통한 연기의 유동이 없음을 보여준다. HRR = 1,100 kW인 경우(Case C), 제연경계의 후면 측 2.4 m 지점의 온도가 2.3 m 지점의 제연경계 수직 하단부 보다 높게 나타났으며, 이는 제연경계 하단부로 연기의 유동이 발생되고 있음을 보여 주고 있는 것이다. HRR = 1,650 kW의 경우(Case D), 제연경계 수직 하단부의 온도가 제연경계 전후 온도의 중간에 위치하였다. Figure 7(c)에서 제연경계 하단부의 온도에 대한 2σ 값이 다른 조건에 비해 큰 것은 제연경계 하단부의 공기 및 연기 유동량의 증가가 원인으로 분석된다.

3.3.2 수계산에 의한 급·배기량 분석

연기흐름을 제어하는 방법에는 임계풍속을 이용하는 방

Table 3. Average Temperature and 2σ of Measurement and Simulation

Dis. (m)	East				West				South				North			
	Meas. (°C)		FDS (°C)		Meas. (°C)		FDS (°C)		Meas. (°C)		FDS (°C)		Meas. (°C)		FDS (°C)	
	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ	Ave.	2σ
3.9	13.8	1.65	13.6	2.84	15.1	1.14	13.5	3.27	11.5	0.93	12.1	1.95	13.2	0.67	14.2	3.9
7.8	8.7	0.36	9.2	1.58	11.4	0.50	12.1	1.95	9.4	0.25	11.5	2.36	11.1	0.40	11.5	2.1
11.7	7.1	0.06	6.8	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	9.7		9.6	1.1
15.6	6.9	0.08	6.8	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	8.1		6.8	0.0

Figure 3. Comparison of average temperature between measurement and FDS prediction.

Figure 4. Comparison of smoke movement between HST and FDS at CCTV #3.

Figure 5. Comparison of smoke spread between HST and FDS at CCTV #2, #6.

Figure 6. Temperature sensor location near the smoke barrier.

법과 생성된 연기를 배출하는 방법이 있다. 화재로 인한 연기 흐름의 방지를 위한 임계풍속은 아래와 같은 Thomas⁽¹⁴⁾ 식을 이용하여 구할 수 있다.

Figure 7. Temperature profiles near the smoke barrier at 600 s.

$$v_{critical} = K_v \left(\frac{\dot{Q}}{W} \right)^{1/3} [m/s]$$

여기서, $v_{critical}$: 임계풍속

$$K_v = 0.292$$

$\dot{Q}$: 열방출량 (kW)

W : 개구부 폭 (m)

위 식을 적용하여 연구대상 제연구역에 1,100 kW 열방출량과 제연경계 폭 18.2 m를 적용하면 임계풍속은 약 1.15 m/s이다. 제연경계 하단부를 통한 연기유출을 방지하기 위한 임계풍속을 형성되기 위해 필요한 풍량은 바닥에서 제연경계 하단까지의 높이 2.4 m와 제연경계 폭 18.2 m로 형성된 면적을 통해서 구현되어야 하므로 필요 풍량은 약 50 CMS (180,000 CMH)이다. 이는 NFSC 501의 요구 급·배기 풍량의 400%에 해당된다. 급기풍량의 부족 여부를 확인하기 Case C 조건에서 Figure 6(b)의 제연경계 하단부 풍속을 분석한 결과 평균 속도는 0.251 m/s 분석되었다. 이를 제연경계 하단부 면적에 적용하면 풍량은 39,469 CMH로 급기 풍량 입력조건 45,000 CMH의 87.7%다. 풍속 측정 위치의 불확정성 등을 고려한다면 입력조건의 풍량이 화재구역으로 급기된 것으로 분석된다.

화재로 인해 생성된 연기 배출에 필요한 배출량의 산정은 연기 하강시간과 관련한 Hinkley 식과 화재실의 면적을 이용하여 구할 수 있다⁽¹⁵⁾. 연구대상 제연구역의 바닥면적은 약 871 m², 청결층의 높이 2.4 m, 화재실의 높이 3 m를 적용하고 화염둘레를 FDS 시뮬레이션 조건인 5.8 m 적용하면, 청결층을 유지하기 위한 배기풍량은 28,775 CMH이다.

연기제어를 위한 2가지 방법에 의해 산정된 배출량은 NFSC 501의 요구 사항 풍량 45,000 CMH의 각각 400%와 64%로 많은 차이를 보였다. NFSC 501의 요구 풍량은 Hinkley 식을 이용한 방법에서 화원둘레 길이 약 9 m 수준의 화재크기에서 요구되는 풍량 수준이었으나 화원둘레 5.8 m, HRR = 1,650 kW 및 45,000 CMH의 급·배기량 조건에서 제연경계 하단부로 연기가 유출되었으며, Figure 8(c) 및 Figure 9(c)에서 확인 할 수 있다.

3.3.3 설계화재 크기의 추정

급·배기량을 NFSC 501 요구 풍량의 100% 수준과 실측 풍량 (약 75% 수준) 조건에서 설계화재 크기를 550 kW, 1100 kW, 1650 kW 변경하고, 화재 후 600 s일 때 연기의 확산 상태를 분석하였다. HRR = 550 kW 및 급·배기 풍량 75% 수준의 실측 풍량 조건(Case A)의 경우 Figure 8(a)와 같이 제연경계 하단으로의 연기 유출이 되고 있으나 연기 확산은 제어되고 있음을 확인할 수 있었다. HRR = 1,100 kW 및 급·배기 풍량 75% 수준의 실측 풍량 조건(Case B)의 경우 Figure 8(b) 및 Figure 9(a)와 같이 제연경계 하단으로의 연기 유출로 비화재구역 일부에서 가시거리가 5 m 이하가 되는 것으로 분석되었다. HRR = 1,100 kW와 급·배기 풍량 100% 수준 (Case C)의 경우 Figure 9(b)와 같이 연기 흐름은 제연경계를 넘어 비화재 구역인 급기구역으로 확산되었다. 그러나 성능위주 설계에서 적용되고 있는 가시거리 5 m 이상은 확보되었다. HRR = 1,650 kW와 급·배기 풍량 100% 수준 (Case D)의 경우 Figure 9(c)와 같이 유출된 연기로 인하여 비화재 구역인 급기구역의 가시거리가 5 m 이하가 되는 것으로 분석되었다.

제연경계 하단부로의 연기 유출은 45,000 CMH의 급기량으로는 18.2 m로 길게 형성된 제연경계 하단부를 통한 연기유출을 방지하기 위해 필요한 임계풍속 1.15 m/s에 비해 낮게 형성된 0.251 m/s의 풍속 때문으로 추정된다. 또한 유출된 연기가 비화재 구역 천정에 설치된 디퓨저를 통한 하향 급기 흐름과 혼합되어 비화재 구역의 1.8 m 높이의 가시거리를 급격히 하강시키는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 임계 풍속에 영향을 미치는 제연경계의 길이, 설계 화재 크기, 급·배기 풍량 및 급기 방식 등의 복합 요소에 의해 발생하는 제연경계 하단부의 압력차가 영향을 초래한 것으로 분석된다.

화재 600 s 후 바닥 높이 1.8 m의 비화재구역 가시거리를 기준으로 급·배기 풍량에 따른 적정 설계화재 크기를 추정해 보면, 실측 풍량인 급기 35,606 CMH, 배기 32,056 CMH 조건에서는 HRR = 1,100 kW, NFSC 501 요구풍량인

Figure 8. Profile of smoke movement at 600 s.

Figure 9. Visibility at 1.8 m above the floor at 600 s.

급·배기풍량 45,000 CMH 조건에서는 $HRR = 1,650$ kW에서 비화재구역의 피난안전성을 확보하지 못하는 설계화재 크기로 분석되었다. 이러한 결과는 Lee⁽¹⁶⁾의 연구에서 분석된 국내 성능설계에서 선정된 설계화재의 적정성 연구에서 판매시설의 설계화재 크기로 선정된 3~6 MW에 비해 현저히 작은 수준으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 제연구역 면적 781 m², 제연경계 높이 0.6 m, 천정높이 3 m, 제연경계의 폭 18.2 m 및 천정 급·배기를 적용한 상호제연방식의 제연구역을 대상으로 하였다. 가연물의 종류는 rigid polyurethane foams이고, soot yield는 0.13⁽¹⁰⁾을 적용하였다. 각 디퓨저별 풍량 측정 및 AS 4391-1999에 따른 고온연기시험을 FDS 시뮬레이션과 비교하여 FDS 입력조건의 적정성을 확인하였다. 확인된 입력

조건을 적용하여 비화재구역 바닥 높이 1.8 m의 가시거리를 기준으로 급·배기 풍량 조건에 따른 적정 설계 화재 크기를 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

연구대상 제연구역의 실제 급기풍량은 35,606 CMH, 배기풍량은 32,056 CMH로 NFSC 501의 요구 풍량 45,000 CMH 대비 급기풍량은 79.1%, 배기풍량은 71.2%로 측정되었다. 이는 제연시스템의 성능확보를 위한 압력손실에 관한 연구⁽⁷⁾에서 언급된 팬 및 덕트 등 압력손실 계산의 부적합으로 인한 것으로 판단된다.

FDS 시뮬레이션은 제연설비가 동작되는 조건에서 AS 4391-1999에 따른 화재크기 50 kW의 고온연기시험의 천정류 온도를 신뢰도 95% 수준인 2σ이내에서 적절하게 모사하고 하는 것으로 분석되었으며, 연기의 유동 흐름도 CCTV에서 관찰된 것과 매우 유사한 형태로 모사하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

고온연기층 시험을 적절히 모사한 FDS 입력조건 하에

실측 풍량조건과 45,000 CMH 급·배기풍량 조건에서 설계 화재 크기의 적정성을 분석하기 위해 비화재구역 1.8 m 높이의 가시도를 분석하였다. 그 결과 45,000 CMH의 약 75% 수준의 실측 급·배기풍량 조건의 경우, $HRR = 1,100 \text{ kW}$ 에서 비화재 구역 일부의 가시거리 5 m 이하로 분석되었다. 또한 45,000 CMH의 급·배기 풍량 조건에서는 $HRR = 1,650 \text{ kW}$ 에서 가시거리가 5 m 이하로 분석되어 적정 설계 화재 크기는 1,650 kW 이하로 추정할 수 있었다.

그러나 청결층의 높이, 급·배기 풍량, 급·배기 방식 및 제연 경계의 길이 등의 제반 조건에 따라 NFSC 501의 요구풍량에 따른 적정 설계화재의 크기는 변경될 수 있을 것이다. 본 연구는 제한된 조건이 적용된 대상을 기반으로 한 설계화재의 적정성을 검토한 결과로서 건축물의 구획 및 제연경계 조건, 열방출량 및 급·배기 풍량 조건 등에 따라 연기 유동의 변화가 있을 수 있으므로 NFSC 501 기준이 적용되는 경우에 대한 적정 설계화재 크기의 표준화와 관련한 추가적인 연구가 요구된다.

References

1. NFPA 92, "Standard for Smoke Control Systems" (2015).
2. NFSC 501, "National Fire Safety Code", Korea (2019).
3. M. S. Kim and E. S. Baek, "A Study on Improvement of Livingroom Smoke-control System using the FDS", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 26-34 (2017). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.4.026>.
4. S. G. Choi, "A Study on the Smoke control Design parameter of Large Volume space by Fire Dynamic Simulation", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 11, pp. 237-243 (2018).
5. W. K. Chow and J. Li, "Review on Design Guides for Smoke Management System in an Atrium", International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, Vol. 7, No. 2, pp. 65-87 (2005).
6. H. P. Morgan, G. O. Hansell, "Atrium Buildings : Calculating Smoke Flows in Atria for Smoke-control Design", Fire Safety Journal, Vol. 12, Issue 1, pp. 9-35 (1987).
7. S. H. Min and K. J. Kim, "A Study on the Pressure Loss for Ensuring Performance in the Non-dedicated Smoke Control Systems", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 17, No. 1, pp. 137-144 (2017).
8. AS 4391-1999 Smoke management systems - Hot smoke test.
9. C. Hopkin, M. Spearpoint and D. Hopkin, "A Review of Design Values Adopted for Heat Release Rate Per Unit Area", Fire Technology, Vol. 55, pp. 1599-1618 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00834-8>.
10. M. J. Hureley, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Springer, U.S.A pp. 3465-3468 (2016).
11. C. L. Mealy, M. E. Benfer and D. T. Gottuk, "Fire Dynamics and Forensic Analysis of Liquid Fuel Fires", 238704 (2012).
12. Y. B. Bae, S. H. Ryu, Y. I. Kim and S. K. Lee, "Validation of FDS for the Pool Fires within Two Rooms", Fire Science and Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 60-67 (2010).
13. S. Y. Mun, C. H. Hwang, J. S. Park and K. Do, "Validation of FDS for Predicting the Fire Characteristics in the Multi-Compartments of Nuclear Power Plant (Part I: Over-ventilated Fire Condition)", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 31-39 (2013). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.2.031>.
14. J. H. Klote and J. A. Milke, "Principles of Smoke Management", ASHRAE, USA, pp. 89-90 (2002).
15. T. H. Kim and I. K. Kwon "A Study on the Effective Smoke Control Method of Large Volume Space Compartmented by Smoke Reservoir Screen", Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 34-41 (2011).
16. S. M. Lee, "Study on the Appropriateness of Design Fire Size Determining for Performance Based Design in Korea", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 4, pp. 50-56 (2014). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.4.050>.