

배연창 크기와 스프링클러 작동이 인명안전에 미치는 영향 연구 A Study on the Effectiveness to the Life Safety by Enlarging Smoke Vent Size and/or Sprinklered System

김학중[†] · 박용환*

Hak-Joong Kim[†] · Yong-Hwan Park*

(주)진일엠이씨, *호서대학교 소방방재학과
(2010. 3. 2. 접수/2010. 4. 9. 채택)

요 약

최근 건축물이 대형화, 복잡화되면서 건축물내 거주자의 피난안전성이 관심의 초점이 되고 있다. 국내 건축물은 용도에 따라 관계법령에 의한 배연창 또는 기계적 배연설비를 설치하도록 규정되어 있다. 화재 시 거주자의 피난안전성을 확보하기 위하여 화재실의 제연이 매우 중요하다. 본 연구에서는 배연창 크기의 변화와 스프링클러 설비의 작동이 화재실 연기층 높이와 온도 조건에 미치는 영향을 화재 시뮬레이션 프로그램인 CFAST를 이용하여 평가 하였다. 연구결과 배연창 면적이 증가할수록 5MW 화재 크기 이하에서는 연기층 높이와 온도에 미치는 효과가 증가하나 화재크기가 10MW 이상 커지면 배연창의 면적과 연기배출 효과와의 상관성이 떨어진다. 스프링클러 설비가 작동하고 배연창이 열릴 경우에는 화재크기와 상관없이 인명안전기준이 만족되었다. 법규에 의한 일률적인 배연창 면적의 적용보다는 건축물의 용도 및 규모에 따라 화재시나리오를 선정하고 시나리오에 따른 화재 크기에 따라 적절한 크기의 배연창을 적용하여야 하며 실제 실험이나 시뮬레이션을 통한 검증이 이루어져야 한다.

ABSTRACT

Recently, evacuation safety of a resident of building become the major concern, because building has been higher and more complicated. Buildings in Korea should install the natural smoke venting or mechanical smoke exhaust equipment according to the building law. The smoke control is the most important to guarantee the evacuation safety. This study evaluate the influence to the height and temperature of smoke layer by enlarging smoke vent size and operating sprinkler system using CFAST (Version 6). Smoke venting size is larger, the effect to height and temperature of smoke layer is increased in below 5 MW fire. But, the correlation of these is decreased in above 10 MW fire. The case that opened smoke vent and sprinklered are applied, life safety criteria are satisfied regardless of fire size. After design the fire scenario according to the service and size of building. Install the smoke vent suitable for the fire size and verify that by experiment or simulation.

Key words : Life safety, Smoke venting, Sprinkler, CFAST

1. 서 론

최근 건축물이 대형화, 복잡화됨에 따라 거주자의 피난안전성 확보가 주요 관심사로 떠오르고 있다. 거주자의 피난안전성 확보를 위하여 다양한 건축적, 설비적인 방법이 있다. 거주자의 피난 안전성에 큰 영향을 주는 요인 중의 하나가 화재 시 발생하는 연기와 화재

로 인한 온도이다. 화재구역에서 연기의 제어 방법에는 차단, 희석, 배출 등의 여러 가지 방법이 있으나 이중 배출에 의한 연기제어가 대공간 건축물에 적용되고 있다.

국내에서는 배연창의 최소 규격만을 기준으로 제시하고 있다. 즉, 배연창이 갖추어야 하는 제연능에 관한 평가기준은 제시하고 있지 않다.¹⁾

또한, 국내의 경우 배연창 면적의 합계가 당해 제연구역 바닥면적의 1/100 이상이면 다른 설계기준 없이

[†]E-mail: khj4513@hanmail.net

배연창을 적용하고 있으며 이러한 배연창은 그 성능을 보증할 수 없다.²⁾

본 연구에서는 연기배출을 위한 배연창의 국내 법적 기준의 타당성을 검토하고 배연창의 크기가 증가함에 따라 연기배출 능력이 어느 정도 향상되는지와 스프링클러설비의 작동 여부가 화재실의 연기와 온도에 어떠한 영향을 미치는지 규명하고자 한다.

본 연구는 CFAST 프로그램을 사용하여 화재실 조건에 따른 배연창의 배연효과와 스프링클러 설비의 연기 및 열기류 생성억제 효과를 분석하였으며, 본 연구의 결과는 향후 성능위주설계 및 피난안전성평가에 활용 가능하리라 판단된다.

2. 본 론

2.1 배연창 관련 국내 법적 기준

현재 국내 건축물에는 용도에 따라 건축관계법령에 의한 배연창 또는 소방관계법령에 의한 기계식 제연설비를 설치하도록 규정하고 있다. 국내에서 규정하고 있는 배연창 관련 기준은 6층 이상의 건축물로서 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설, 의료시설, 교육연구시설 중 연구소, 노유자시설 중 아동관련시설·노인복지시설, 수련시설 중 유스호스텔, 운동시설, 업무시설, 숙박시설, 위탁시설, 관광휴게시설 및 장례식장의 거실에는 피난층을 제외하고 배연설비를 설치하도록 규정하고 있으며, 배연창 설치와 관련된 세부사항은 다음과 같이 정하고 있다.³⁾

(1) 건축물에 방화구획이 설치된 경우에는 그 구획마다 1개소 이상의 배연창을 설치하되, 배연창의 상변과 천장 또는 반자로부터 수직거리가 0.9미터 이내일 것. 다만, 반자높이가 바닥으로부터 3미터 이상인 경우에는 배연창의 하변이 바닥으로부터 2.1미터 이상의 위치에 놓이도록 설치하여야 한다.

(2) 배연창의 유효면적은 Figure 1의 산정기준에 의하여 산정된 면적이 1제곱미터 이상으로써 그 면적의 합계가 당해 건축물의 바닥면적(방화구획이 설치된 경우에는 그 구획된 부분의 바닥면적)의 100분의 1 이상일 것. 이 경우 바닥면적의 산정에 있어서 거실 바닥면적의 20분의 1 이상으로 환기창을 설치한 거실의 면적은 이에 산입하지 아니한다.

(3) 배연구는 연기감지기 또는 열감지기에 의하여 자동으로 열 수 있는 구조로 하되, 손으로도 열고 닫을 수 있도록 하여야 한다.

(4) 배연구는 예비전원에 의하여 열 수 있도록 하여야 한다.

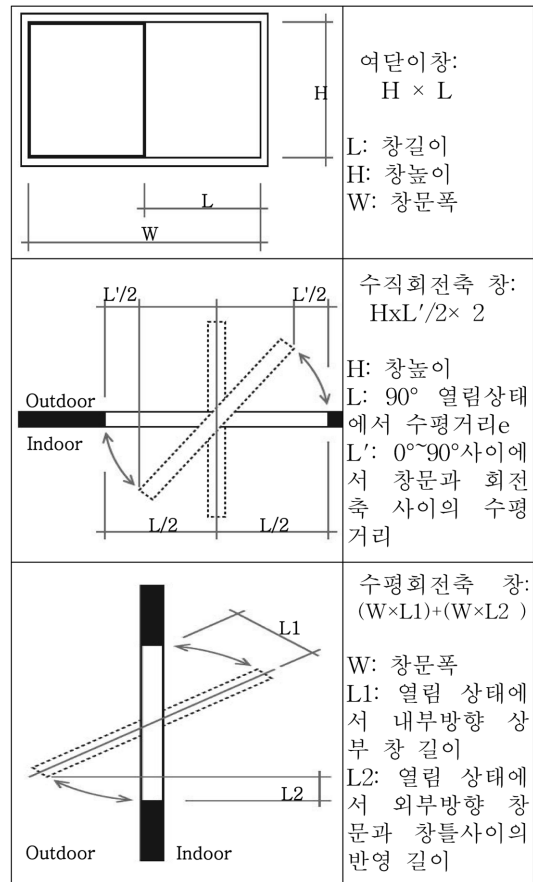


Figure 1. Efficient area of natural smoke vent.

(5) 기계식 배연설비를 하는 경우에는 (1) 내지 (4)의 규정에 불구하고 소방관계법령의 규정에 적합하여야 한다.

2.2 시뮬레이션 도구

본 연구에 사용하는 시뮬레이션 도구인 CFAST(Version 6)는 미국의 NIST(National Institute of Standard and Technology)에서 개발한 프로그램으로 화재가 발생한 구역의 연기, 유해가스, 온도분포, 개구부 유동 등을 표현할 수 있는 Two - Zone Model이다. 존 모델은 구획실을 2개의 경계층으로 단순하게 표현하여 보존방정식을 구역별로 적용한다. 적용되는 모델링 방정식은 보통미분방정식(Ordinary differential equation)이며 밀도와 내부에너지에 대한 관계식과 이상기체의 상태방정식, 질량보존 및 에너지보존 법칙을 이용하여 유도되고 2개의 경계층에서 질량과 엔탈피의 축적으로 이루어지는 압력, 경계층의 높이, 온도 등이 시간경과에 따

라 예측된다.⁴⁾

CFAST의 결과물은 화재시 구획내부의 상태를 평가할 수 있도록 각 경계층의 온도, 천정, 벽, 바닥 온도, 연기 가시거리, 가스의 농도, 스프링클러의 작동시간, 개구부의 유동 등을 포함하며 구획의 체적 크기가 1m³ 부터 1,000m³까지 사용이 가능하고 모델 결과값이 실제 실험값의 10~25% 범위내에서 만족하는 비교적 정확한 예측이 가능한 프로그램이다.

2.3 분석 대상 건축물 및 가정사항

- (1) 화재실: 18m × 18m × 3m
- (2) 화재실 바닥면적: 324m²
- (3) 배연창 수량: 4개(화재실 벽마다 1개)
- (4) 배연창 규격: 0.81m × 1m(개당)
- (5) 배연창 총 유효면적: 3.24m², 6.48m², 9.72m²
- (6) 화재크기: 3.5MW, 5MW, 10MW, 15MW
- (7) 화재 성장속도: Ultra Fast
- (8) 배연창 작동시간: 110초
- (9) 스프링클러 RTI: 100√m·sec

2.4 인명안전을 위한 성능기준

일반적으로 피난안전성평가에 적용되는 인명안전기준은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 Table 1의 인명안전기준 중에서 피난자의 호흡선 공기온도와 연기층 높이를 대상으로 분석한다.

피난 안전성평가에서는 인명안전기준에 도달 하는 시간이 중요하다. 피난 시뮬레이션을 통하여 필요한 피난시간을 구하고 화재 시뮬레이션을 통하여 인명안전기준에 도달하는 시간을 구한 다음 이 두 시간을 비교하여 피난시간보다 인명안전기준에 도달하는 시간이

Table 1. Criteria for the Life Safety^{5,6)}

구분	항 목	성능 기준
열	복사열	2.5kW/m ² 이하
	호흡선(1.8m) 공기온도	65°C 이하
연기	가시거리 확보	13m 이상(Unfamiliar)
		4m 이상(familiar)
	연기층 높이	1.8m 이상
독성	CO	1,400ppm 이하
	HCN	80ppm 이하
	COHb	30% 이하
	O ₂	12% 이상
	CO ₂	5% 이하

더 길 경우 안전성이 확보된다고 평가할 수 있다.

피난시간의 경우 건축물의 수동적(Passive) 설비에 따라 변화가 크다. 동일한 조건일 때 피난 계단이나 피난로의 수량이 많고 폭이 넓은 경우 피난시간은 감소하고 피난 계단이나 피난로의 수량이 적고 폭이 좁을 경우 피난시간이 증가하게 된다.

그러므로 배연창이나 스프링클러와 같은 능동적(Active) 설비를 통하여 인명안전기준에 도달하는 시간을 증가시키는 것이 피난안전성을 확보하는데 중요한 역할을 하게 된다.

2.5 수행 방법

배연창의 배연효과에 대한 검증을 위해 3.5MW 화재의 경우 배연창 개/폐 상태에서 각각 1회 시뮬레이션을 수행하였으며, 스프링클러 작동에 대한 효과를 검증하기 위해 스프링클러 작동과 미작동 상태에서 각각 1회의 시뮬레이션을 수행하였다.

3.5MW 화재를 제외한 5MW, 10MW, 15MW 화재크기에서는 화재시 배연창이 열리는 상태를 기준으로 스프링클러의 작동과 미작동 상태에서 각각 1회씩 시뮬레이션을 수행하고 배연창 면적증가에 대한 영향을 파악하기 위하여 배연창 면적을 2배, 3배 증가시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

2.6 수행 결과

2.6.1 3.5MW 화재

3.5MW 화재크기는 소파에서 발생한 화재의 열방출율로⁶⁾ 대부분의 피난안전성평가에 적용되는 화재의 크기이다. 시뮬레이션 수행 결과는 Figure 2와 Figure 3에 나타나 있다.

화재실의 호흡선 공기 온도는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우에 160°C까지 증가하였고 스프링클러가 작동하고 배연창이 닫혀 있는 경우

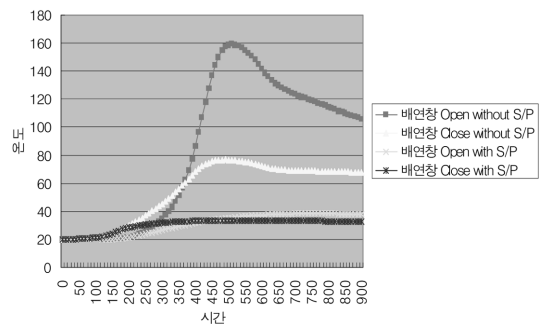


Figure 2. Temp. of lower layer at 3.5 MW fire.

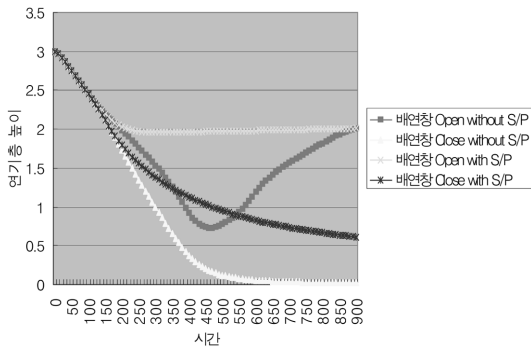


Figure 3. Height of lower layer at 3.5 MW fire.

40°C까지 증가였다. 이는 배연창에 의한 열의 방출효과 보다 스프링클러 작동에 의한 열기류의 제어 효과가 크다는 것을 나타내는 것으로 판단된다. 스프링클러가 작동하였을 경우에는 배연창 개/폐와 관계없이 40°C 이하의 온도를 유지하였다.

화재실의 연기층의 높이의 경우는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 닫혀있을 경우 바닥까지 연기로 충만하게 되고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 2m 이상을 지속적으로 유지한다. 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열리는 경우 연기층의 높이가 0.7m 이상을 유지하므로써 호흡선의 공기온도와 상반되게 배연창이 닫혀있는 경우 대비 열리는 경우 더 안전하다.

2.6.2 5MW 화재

5MW 화재크기에 의한 시뮬레이션 수행 결과는 Figure 4와 Figure 5에 나타나 있다. 화재실의 호흡선 공기 온도는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우에 170°C까지 증가하였고 스프링클러가 작동하고

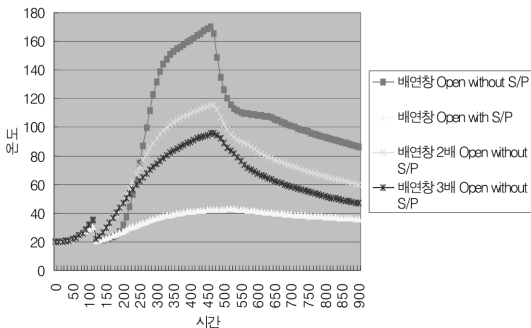


Figure 4. Temp. of lower layer at 5 MW fire.

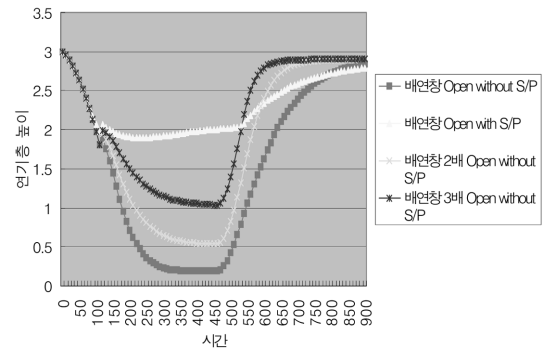


Figure 5. Height of lower layer at 5 MW fire.

배연창이 열려있는 경우 40°C에 머무른다. 배연창 면적을 2배 증가시킬 경우 120°C, 3배 증가시킬 경우 95°C까지 증가 한다.

화재실의 연기층의 높이의 경우는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우 거의 바닥까지 연기로 충만하게 되고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 1.8m 이상을 지속적으로 유지한다. 스프링클러 미 작동시 배연창 면적을 2배 증가시킬 경우 0.5m, 3배 증가시킬 경우 1m의 연기층 높이에 다르다.

이는 5MW 화재에서는 스프링클러 미 작동시에도 배연창 면적을 증가시켜 호흡선 공기 온도를 낮출 수 있고 연기층의 높이도 증가시킬 수 있다는 것을 보여 준다.

2.6.3 10MW 화재

10MW 화재크기에 의한 시뮬레이션 수행 결과는 Figure 6과 Figure 7에 나타나 있다.

화재실의 호흡선 공기 온도는 스프링클러가 작동하

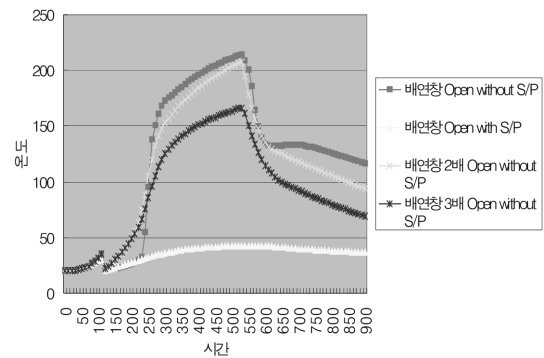


Figure 6. Temp. of lower layer at 10 MW fire.

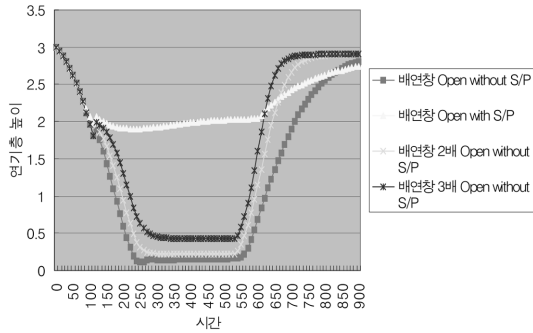


Figure 7. Height of lower layer at 10 MW fire.

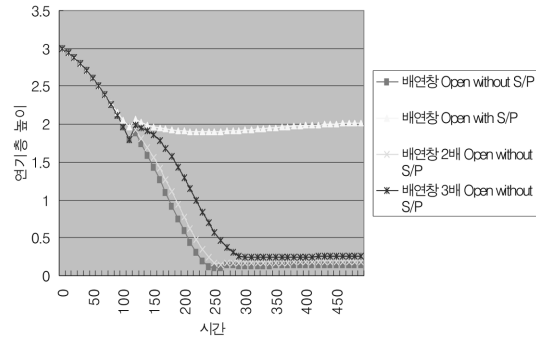


Figure 9. Height of lower layer at 15 MW fire.

지 않고 배연창이 열려있는 경우에 220°C까지 증가하였고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 50°C 이하에 머무른다. 배연창 면적을 2배 증가시킬 경우 210°C, 3배 증가시킬 경우 170°C까지 증가 한다.

화재실의 연기층의 높이의 경우는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우 거의 바닥까지 연기로 충만하게 되고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 1.8m 이상을 지속적으로 유지한다. 스프링클러 미 작동시 배연창 면적을 2배 증가시킬 경우에도 배연창 면적을 증가시키지 않을 때와 거의 동일한 높이를 유지하고 3배 증가시킬 경우 0.5m의 연기층 높이를 유지한다.

이는 10MW 화재에서는 스프링클러 미 작동시에 배연창 면적을 증가시켜도 호흡선 공기 온도와 연기층의 높이에 미치는 영향이 5MW 화재보다 작아짐을 알 수 있다.

2.6.4 15MW 화재

15MW 화재크기에 의한 시뮬레이션 수행 결과는

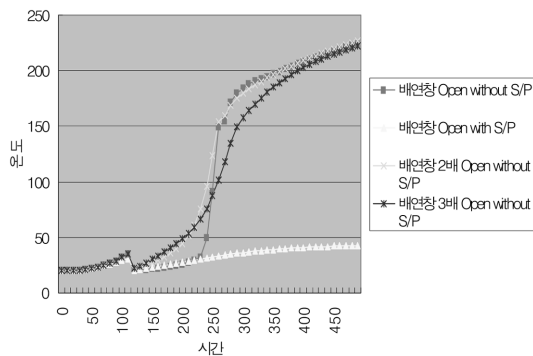


Figure 8. Temp. of lower layer at 15 MW fire.

Figure 8과 Figure 9에 나타나 있다.

화재실의 호흡선 공기 온도는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우에 230°C 이상으로 증가하였고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 50°C 이하에 머무른다. 배연창 면적을 2배, 3배 증가시킬 경우에도 230°C 이상으로 증가 한다.

화재실의 연기층의 높이의 경우는 스프링클러가 작동하지 않고 배연창이 열려있는 경우 거의 바닥까지 연기로 충만하게 되고 스프링클러가 작동하고 배연창이 열려있는 경우 1.8m 이상을 지속적으로 유지한다. 스프링클러 미 작동시 배연창 면적을 2배, 3배 증가시킬 경우에도 배연창 면적을 증가시키지 않을 때와 거의 동일한 높이를 유지하고 있다.

이는 15MW 화재에서는 스프링클러 미 작동시에 배연창 면적을 증가시켜도 호흡선 공기 온도와 연기층의 높이에 미치는 영향이 거의 없음을 보여주고 있다.

2.7 결과분석

3.5MW 화재에서는 배연창이 열리는 경우 연기층의 높이는 증가시켰으나 호흡선 공기 온도는 오히려 증가시키는 상반된 결과를 보여주었다. 이는 피난안전성평가시 하나의 인명안전기준을 적용하여 평가하는 것 보다 두 개 이상의 인명안전기준을 적용하여 평가하는

Table 2. Temperature of Lower Layer by Enlarging Smoke Vent Size

구 분		기본 배연창	2배 배연창	3배 배연창
5MW	공기 온도 (°C)	170	115	98
10MW		200	200	160
15MW		230	230	230

Table 3. Height of Lower Layer by Enlarging Smoke Vent Size

구 분		기본 배연창	2배 배연창	3배 배연창
5MW	연기층 높이 (m)	0.2	0.5	1
10MW		0.2	0.22	0.4
15MW		0.1	0.1	0.2

것이 보다 정확한 평가가 이루어진다는 것을 나타낸다.

Table 2와 Table 3에 나타난 것처럼 5MW 화재에서는 배연창 크기의 증가가 호흡선 공기온도와 연기층의 높이에 영향을 크게 주지만, 10MW 이상의 화재에서는 배연창 크기의 증가가 호흡선 공기 온도와 연기층의 높이에 미치는 영향이 미미했다. 이는 화재규모에 따라 배연창 크기의 증가만으로는 호흡선 공기 온도와 연기층의 높이를 조절할 수 없다는 것을 나타낸다.

배연창이 열리고 스프링클러 설비도 작동하는 경우에는 국내 법규 기준의 배연창 크기만으로도 호흡선 공기 온도와 연기층의 높이를 안전하게 확보하였다. 이는 스프링클러 설비의 동작으로 화재를 제어(Fire control) 하여 화재실의 온도와 연기발생량을 감소시켰음을 나타낸다.

3. 결 론

배연창 크기의 변화와 스프링클러 설비의 작동여부가 화재실 연기층 높이와 온도 조건에 미치는 영향을 화재 시뮬레이션 프로그램인 CFAST 프로그램을 이용하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 배연창 크기를 법적인 기준에 따라 바닥면적의 1/100로 설치하였을 경우 3.5MW 화재에서도 연기층의 높이가 0.7m로 인명안전기준을 만족하지 못하였다.

(2) 배연창에 의해 연기가 배출되고 스프링클러설비가 작동한 경우에는 화재의 크기에 관계없이 인명안전기준을 만족하여 피난안전성이 확보되었다. 이는 건축물에서 배연창의 크기 증가보다 스프링클러 설비의 설치 및 작동이 매우 중요하며, 스프링클러 설비의 작동

이 배연창의 개방보다 연기 및 열기류 제어에 효과가 크다는 것을 보여준다.

(3) 10MW 이상의 화재에서는 배연창의 크기를 증가시켜도 인명안전기준에 미치는 영향이 미미하므로 건축물의 용도 및 규모에 따라 배연창의 크기 증가 외에 다른 방안을 적용하여야 한다.

(4) 건축물에 법규에 의해 일률적으로 1/100 크기의 배연창을 적용하기보다는 화재크기별로 인명안전기준을 만족하는 시간이 연기높이 기준으로 100sec에서 200sec로 크게 상이하므로 화재시나리오에 따른 예상 화재크기와 재실자의 피난소요시간에 따라 배연창 크기가 결정되어야 하고 배연효과에 대한 검증과정이 필요하다.

(5) 스프링클러설비가 작동하고 배연창이 닫혀있을 경우 연기층의 온도상승은 인명기준이하로 제어되거나 연기층의 높이는 스프링클러설비 미설치시와 동일하였다. 연기층의 높이고 호흡선 공기 온도 측면에서 동시에 인명안전기준을 만족시키기 위해서는 배연창의 면적확대와 스프링클러 설치가 동시에 이루어져야 한다.

참고문헌

1. 임채현, “초고층 건물 화재시 배연창 개방이 연돌효과 및 제연성능에 미치는 영향”, 호서대학교 대학원 박사학위논문, pp.13-14(2008).
2. 전홍균, 최영상, 추홍록, “수직 배연구의 자연배연 성능에 관한 수치해석연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.4, p.2(2008).
3. “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”, 제14조 제1항, 국토해양부(2009).
4. “CFAST-Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (version 6) User’s Guide”, NIST, pp.1-2(2008).
5. “NFPA 101 code Handbook”, 8th edition, NFPA, pp.51-53(2000).
6. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 3rd edition, SFPE, pp.2.4, pp.2.87-2.143, pp.3.29-3.30(2002).