

FDS를 이용한 특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 기류특성 Characteristics of Air Egress Velocity in Vestibule Pressurization System Using the Fire Dynamics Simulator

류성호[†] · 이수경 · 홍대화* · 최금란**

Sung-Ho Ryu[†] · Su-kyung Lee · Dae-Hwa Hong* · Keum-Ran Choi**

서울과학기술대학교 에너지안전공학과, *안전공학과, **서울시립대학교
(2010. 10. 18. 접수/2010. 12. 10. 채택)

요 약

본 연구는 국내 고층건물 특별피난계단 부속실에 급기가압 제연시스템이 설치되어 있음에도 불구하고 화재 발생 시 피난을 위하여 출입문이 개방되었을 경우 형성되는 방연풍속의 기류가 거실 방향으로 정상적으로 형성되지 않고 부속실로 역류되는 사실을 설치 현장의 실측과 CFD기반 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 그 내용을 보면 방연풍속의 기류 특성은 부속실의 면적이 작을 경우 심하게 출입문 상부로 기류가 역류되었다. 시뮬레이션 결과 급기댐퍼의 날개각도가 45도 상향인 경우는 출입문 하단부에 일부 역기류 현상이 발생하였지만 상단부에서는 기류분포가 양호하였다. 부속실 면적이 4m²인 경우는 출입문에서 거실방향으로 정상적인 기류 분포를 보였다. 이러한 상황에서 부속실 면적이 작게 설계될 경우 성능위주 설계를 실시하여야 한다.

ABSTRACT

In this study, we confirmed the fact that air egress velocity of pressure differential system installed at vestibule of smokeproof stairway in domestic high-rise building becomes back-flow to stair-lobby at upper vestibule. Rather it do not back-flow to the livingroom. when fire occur and the door opens to escape from fire zone. so we carry out actual and computational fluid dynamics measurement. In the case upward 45 gradient of supply damper's blade, The simulation results that air flow of upper vestibule is steady but back-flow phenomenon occurred at the bottom. However, in the case of 4 m², direction of the flow was ideal to living room. If a vestibule's area is smaller, it must be designed and built according to performance-based design.

Key words : Air egress velocity, Smokeproof stairway, Fire dynamics simulator, Back-flow, Performance-based design

1. 서 론

건축기술의 발전과 도시집중화로 초고층건축물이 급격하게 증가하고 있는 시점에서 최근 발생한 부산 해운대 우신골드 스위트 주상복합건물 화재사고는 고층건물 화재에 대한 경각심이 한층 제고 되면서 재발방지대책 및 제도개선 등이 요구되고 있다. 163명이 사망한 대연각 호텔 화재에서와 같이 연기확산에 의한 질식사나 고층건물일수록 주요원인이기 때문에 연기유입이 되지 않는 피난로 확보가 최우선이 되어야 한다.

건축법에서 11층 이상의 건축물에 대해서는 직통계단을 특별피난계단 구조로 하도록 되어있고, 옥내와 계단실과의 연결은 배연설비가 있는 부속실을 통하여 연결하도록 설치기준이 되어있다.¹⁾

따라서 부속실 법적기준은 국가화재안전기준 NFSC 501A²⁾에서 지정한 내용 중 계단실 및 부속실을 동시 제연 하는 것이나 부속실만을 단독제연하는 것이 법적 기준에 적합하다. 외국의 경우에는 계단실 및 부속실 동시 제연이 적용되고 있는 반면 국내에서는 Figure 1과 같이 부속실만을 단독으로 제연하는 급기가압 제연 시스템을 일반적으로 적용하고 있다.³⁾

이러한 부속실만을 제연 하는 경우는 부속실의 출입

[†]E-mail: sunghor@yahoo.co.kr

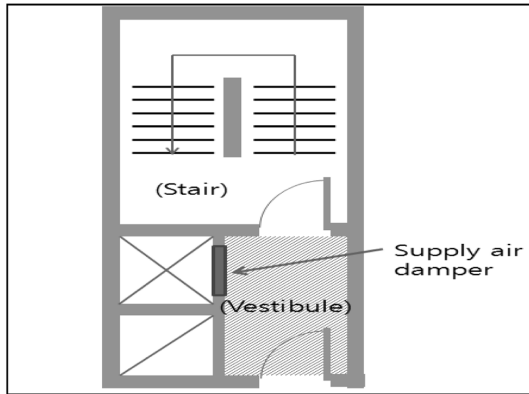


Figure 1. Pressurization to vestibule.

문이 개방 되었을 때 연기가 침투하지 못하도록 방연 풍속이 거실방향으로 일률적으로 분포되어야 하나, 현장 제연설비 TAB결과 역 기류가 발생하고 있었다.⁴⁾ 이와 같은 역 기류 현상을 Fire dynamics simulator를 이용하여 대책을 제시하였다.

2. 연구방법

부속실의 바닥면적에 대한 설치기준이 없기 때문에 되도록이면 적게 설계가 되고 있다. 과연 피난계단이 연기로부터 안전할 수 있는 지를 파악하기 위하여 최근 실험연구⁵⁾를 통하여 특별피난계단 부속실의 급기 가압 제연시스템을 작동시킨 후 거실에서 가압지역인 부속실의 출입문을 개방하여 기류분포를 분석하였다. 역 기류의 면밀한 분석을 위하여 출입문을 64등면적법⁶⁾으로 가로 A~H, 세로 1~8 층 64point로 등분하여 각 point에서 방연풍속의 기류분포를 측정된 결과는 Table 1과 같다.⁵⁾ 이는 출입문을 개방하였을 때 차압이 파괴되면

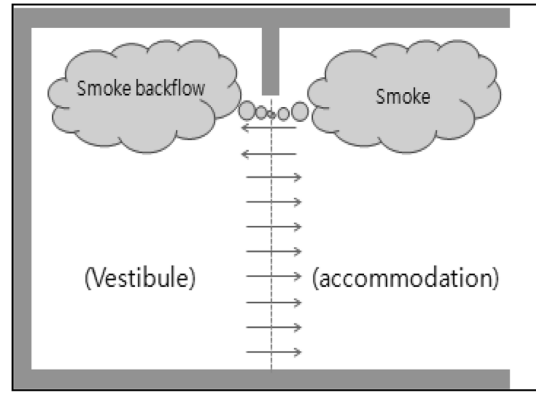


Figure 2. Smoke backflow through open door.

서 연기의 유입을 방지할 수 있도록 방연풍속의 방향이 거실방향으로 일률적으로 유지되어야 하는데 오히려 Figure 2와 같이 출입문 상부에서는 부속실로 역 기류가 발생하는 현상을 확인할 수 있었다. 결국 연기가 안전구역인 부속실로 침투할 수 있다는 것이다.⁷⁻¹⁰⁾ 실물 제작된 부속실을 전산유체역학기반 FDS를 이용하여 동일조건을 모델링하였고 실험데이터와 비교분석한 결과 Figure 3~4와 같았다. 이는 측정 데이터의 수치가 다소 오차범위는 있으나 각 64point에서 기류 Vector 방향의 경우 실물 실험과 유사한 기류특성을 확인할 수 있었다. 총 64point의 수치를 비교 분석하여 FDS의 적용에 대한 적합성 및 신뢰성을 검증하였다.

방연풍속의 역 기류 현상은 급기뱀퍼에서 부속실로 공급되는 날개의 토출각도의 변화에 따른 토출 공기의 방향이 풍속의 기류에 영향을 미치는 인자로 파악되어 기류분포를 수치적으로 해석 가능한 FDS를 이용하여 역 기류 발생현상에 따르는 특별피난계단 부속실 특성을 분석하여 결과를 제시하였다.

Table 1. Results of Case 1 on Measured 0 Gradient, Straight Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1.27	0.65	0.57	-0.54	-0.52	-0.35	-0.45	-0.51
B	1.18	0.50	0.36	-0.40	-0.49	-0.58	-0.78	-0.43
C	1.24	0.53	0.38	0.55	0.50	0.75	0.80	0.44
D	1.59	0.67	0.59	0.60	0.76	0.95	0.91	0.45
E	1.80	0.80	0.72	0.66	0.70	0.99	0.87	0.39
F	1.79	0.76	0.59	0.57	0.52	0.63	0.45	0.31
G	1.99	0.84	0.62	0.52	0.51	0.42	0.43	0.43
H	2.50	1.78	1.42	1.41	1.36	1.09	1.05	1.32

※ 상기의 결과 값 앞의 '-'구분은 부속실 출입문의 역류현상을 음수로 표시한 것임.

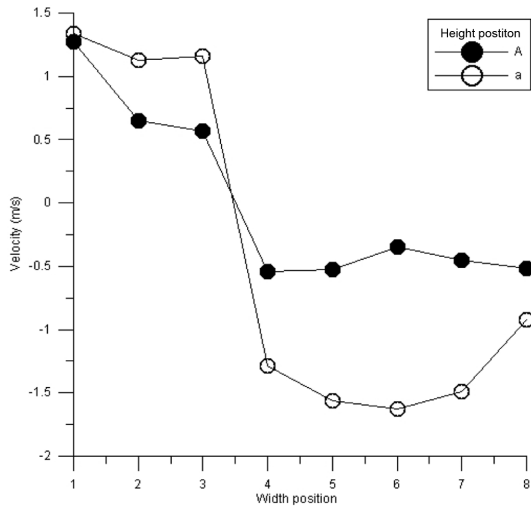


Figure 3. Comparison graph of experimental ("A") and FDS ("a") at "A" point.

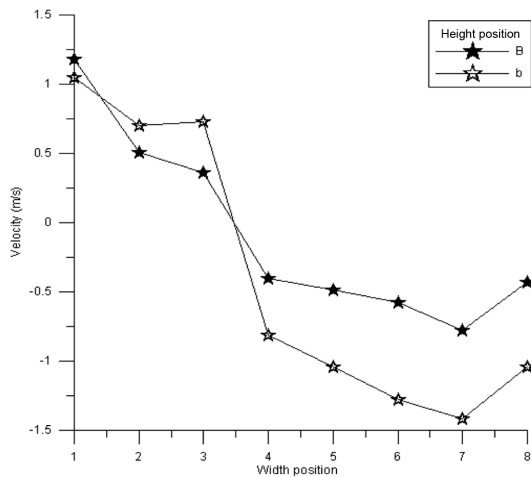


Figure 4. Comparison graph of experimental ("B") and FDS ("b") at "B" point.

2.1 모델링

본 연구는 BFRL/NIST에서 개발되어 전세계적으로 활용되고 있는 CFD 기반의 필드 모델 화재모델링 프로그램인 FDS v5.5.1과 그래픽 툴인 Smokeviewv5.5.6을 사용하였으며, 이의 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼을 따르도록 하였다.¹¹⁾

모델링 대상은 Table 2와 같이 TAB를 실시하여 역기류현상이 발생한 현장⁴⁾과 동일하게 적용하였다. 또한, 기류특성을 수치 해석적으로 분석을 위하여 부속실 크기를 구현하였고 급기댐퍼에서 공급되는 보충량

Table 2. Scale of Vestibule

Area	Height	Damper	Door
1.2 × 1.36 = 1.63 m ²	2.4 m	0.36 m × 0.48 m	0.9 m × 2.3 m

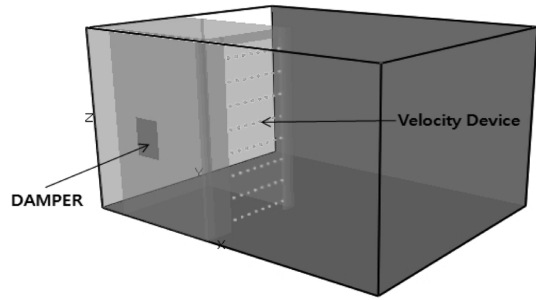


Figure 5. Structure of the modeling space.

Table 3. Conditions of Analysis

Case	Discharge Direction	Angle of Blade
Case1	Straight	0°
Case2	Upward	15°
Case3	Upward	30°
Case4	Upward	45°
Case5	Downward	15°
Case6	Downward	30°
Case7	Downward	45°

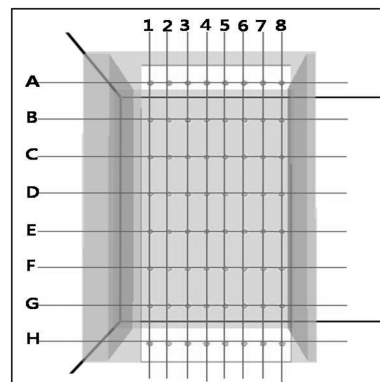


Figure 6. Measuring points of air egress velocity.

은 출입문과 방연풍속 0.7m/s를 고려하여 1.45m³/s로 정하였다.

최소격자의 크기는 세밀한 기체분포 및 방향성을 확인하기 위하여 0.05m × 0.05m 크기를 적용하였으며 Vector변수를 활용한 기류의 현상학적 분석과 Device

(Quantity = Velocity)변수를 활용하여 기류의 정량적으로 분석할 수 있도록 구현하였다. 또한, 측정위치는 Figure 6과 같이 64등면적법⁴⁾으로 가로 A~H, 세로 1~8 총 64point로 등분하여 각 point에서 방연풍속의 풍속을 측정하기 위한 Device를 설치하여 측정치를 수집하였다.

면 방향(날개각도 0°, Straight)으로 분출하는 것을 시작으로 하여 상향, 하향 방향 15°씩 변화시켜 총 7가지 case을 선정하여 댐퍼 각도에 따른 추가적인 현상을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

2.2 시나리오

급기댐퍼의 토출각도는 Table 3과 같이 댐퍼에서 정

본 연구에서는 FDS를 활용한 수치 해석을 통하여 화재 시 거실에서 부속실로 통하는 출입문에 방연풍속

Table 4. Results on Measured 0 Gradient Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-1.34	-1.13	-1.16	-1.29	-1.56	-1.63	-1.49	-0.92
B	-1.05	-0.70	-0.73	-0.81	-1.04	-1.28	-1.42	-1.04
C	1.36	1.34	1.11	0.99	0.96	1.19	1.45	1.37
D	1.31	2.14	2.42	2.41	2.17	1.96	1.74	1.46
E	0.99	1.37	1.45	1.40	1.39	1.49	1.56	1.17
F	0.96	0.93	0.92	1.09	1.56	1.87	1.89	1.22
G	0.88	1.00	1.20	1.42	1.73	2.00	2.00	1.12
H	1.55	1.75	1.82	1.80	1.71	1.75	1.81	1.19

Table 5. Results on Measured 45 Gradient, Upward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0.92	0.97	1.05	1.37	2.18	2.83	3.53	2.53
B	1.21	1.47	1.65	1.82	1.83	1.82	1.50	0.73
C	1.25	1.19	1.11	1.11	1.10	1.05	0.86	0.48
D	0.89	0.75	0.77	0.83	0.89	0.89	0.81	0.53
E	0.88	0.85	0.79	0.74	0.79	0.83	0.82	0.57
F	0.89	0.86	0.81	0.73	0.70	0.72	0.79	0.65
G	0.79	0.87	-0.82	-0.72	-0.61	0.61	0.62	0.69
H	0.63	-0.73	-0.69	-0.67	-0.59	0.56	0.58	0.69

Table 6. Results on Measured 30 Gradient, Upward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	2.10	2.54	2.85	2.90	2.48	2.17	1.78	0.88
B	1.08	-0.88	-0.86	-0.97	-1.08	1.10	0.96	0.51
C	0.95	-0.59	-0.70	-0.84	-0.96	-0.92	0.74	0.40
D	1.16	-0.87	-0.72	-0.88	-1.01	-0.97	0.74	0.36
E	1.29	1.02	0.91	0.93	0.98	1.00	0.91	0.50
F	1.48	1.56	1.29	1.05	1.04	1.03	1.04	0.78
G	1.39	1.81	1.72	1.50	1.17	1.08	1.02	1.03
H	1.24	1.42	1.40	1.31	1.11	1.02	1.01	1.06

Table 7. Results on Measured 15 Gradient, Upward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	2.15	1.88	1.61	1.47	-1.41	-1.28	1.07	0.64
B	1.17	1.06	1.20	1.40	1.66	1.65	1.28	0.65
C	1.09	0.86	1.13	1.32	1.59	1.76	1.79	1.06
D	1.09	-0.91	-1.04	-1.23	1.47	1.50	1.28	0.65
E	1.13	-0.94	0.99	1.09	1.29	1.37	1.25	0.63
F	1.27	1.37	1.27	1.20	1.22	1.28	1.31	0.91
G	1.25	1.55	1.60	1.55	1.49	1.36	1.32	1.32
H	1.15	1.24	1.25	1.23	1.23	1.16	1.23	1.35

Table 8. Results on Measured 45 Gradient, Downward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1.08	-0.85	-0.80	-0.75	-0.68	-0.70	0.68	0.58
B	0.90	0.66	0.57	0.56	0.65	0.73	0.70	0.50
C	0.71	0.70	0.73	0.82	0.85	0.84	0.70	0.46
D	0.82	1.00	1.14	1.27	1.32	1.23	0.95	0.47
E	0.77	0.92	1.12	1.33	1.61	1.60	1.33	0.65
F	0.71	0.76	0.86	1.08	1.63	1.91	1.73	0.89
G	0.75	0.59	0.57	0.63	1.26	2.03	2.30	1.19
H	0.67	0.54	0.54	0.55	0.69	1.01	2.12	3.42

Table 9. Results on Measured 30 Gradient, Downward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0.95	1.16	1.14	1.05	0.77	-0.70	0.74	0.91
B	1.04	1.42	1.40	1.20	0.93	0.85	0.91	0.72
C	1.21	1.55	1.43	1.08	0.90	0.93	0.90	0.55
D	1.28	1.32	1.03	-0.83	-0.92	0.88	0.73	0.40
E	1.08	1.02	-0.88	0.84	0.88	0.83	0.63	0.31
F	-0.81	-0.76	-0.79	0.91	0.96	0.87	0.65	0.30
G	-0.85	-1.07	1.25	1.41	1.57	1.56	1.29	0.62
H	0.79	0.64	0.84	1.23	2.06	2.81	3.01	1.58

을 측정하기 위하여 64점 등분면적의 점에서의 방연풍속의 기류분포를 0.5초 간격으로 총 60회 측정된 수치의 평균값을 활용하였으며, Vector변수를 활용하여 각 지점간의 방연풍속의 방향을 현상학적으로 분석하여 각 시나리오별 측정값을 Table 4~10과 같이 제시하였다. 국내 고층건물의 현장조건과 동일한 부속실 면적 1.63 조건으로 급기덤퍼의 기류의 토출각도를 다르게 하여 출입문에서 형성되는 방연풍속의 특성을 분석하

여 다음과 같이 총 7 Case의 특성을 확인할 수 있었다.

(1) 급기덤퍼가 0도인 경우 현장 실측과 유사하게 시물레이션에서도 Figure 7과 같이 출입문 상부로 기류가 부속실로 역류되는 것을 알 수 있었다.

(2) 기류방향이 하향인 경우 덤퍼의 토출각도가 15도 30도 45도 모두 역 기류 현상이 나타났다. 특히 15도는 출입문의 상부와 중간부분이 널 뒤통이 역 기류 현상을 보였다.

Table 10. Results on Measured 15 Gradient, Downward Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1.10	-1.07	-1.02	-0.96	0.87	0.89	0.91	0.98
B	1.23	1.72	1.73	1.60	1.30	1.15	1.07	0.87
C	1.00	1.34	1.44	1.30	1.09	1.12	1.06	0.64
D	0.92	1.23	1.34	1.23	1.07	1.08	0.90	0.43
E	0.90	1.08	1.09	1.07	-1.19	-1.25	-1.04	0.52
F	-0.88	0.87	0.89	-1.07	1.29	1.44	1.54	1.23
G	0.84	-0.83	-0.94	1.09	1.46	1.78	2.02	1.33
H	1.41	1.84	2.19	2.44	2.38	2.20	1.85	0.95

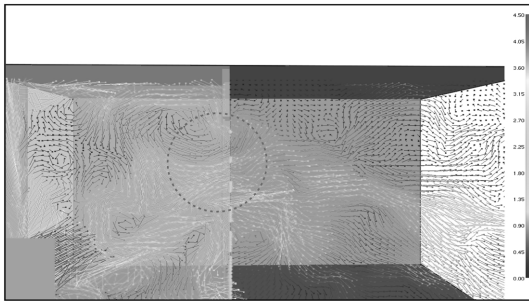


Figure 7. Smoke view of features of air egress velocity (0 gradient, slice Y = 0.8 m).

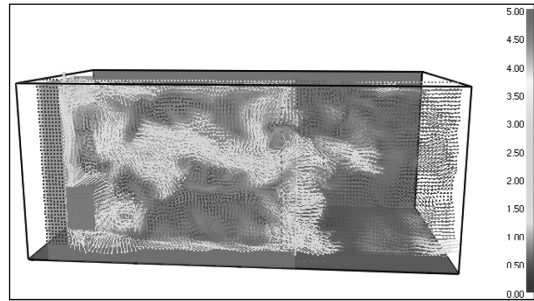


Figure 9. Smoke view of features of air egress velocity (area of vestibule: 4 m²).

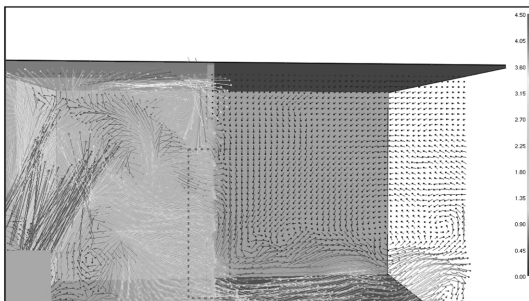


Figure 8. Smoke view of features of air egress velocity (45 gradient, upward, slice Y = 0.8 m).

(3) 기류방향이 상향인 경우 댐퍼의 토출각도가 15도, 30도는 출입문 상부와 중앙부위 일부에서 역 기류되었고 45도 일 때 Figure 8과 같이 출입문 상부로는 역 기류 현상이 없는 반면에 출입문 하단에 일부만 역 기류 현상이 나타났다.

(4) Figure 9와 같이 부속실 면적이 4m²인 경우에는 방연풍속의 출입문에서 일률적으로 거실방향으로 형성되는 것을 알 수 있다. 따라서 방연풍속의 기류에 영

향을 주는 요인으로는 급기댐퍼의 기류방향과 댐퍼의 토출각도 이외에도 부속실 면적의 크기에 따라 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 고층빌딩에서 화재 발생 시 피난을 위해 부속실에 급기 가압 제연시스템이 설치되어 있으나 출입문을 개방할 때 연기, 유독가스가 내부로 침투할 우려가 있다는 것을 알 수 있었다. 이에 대한 기류 특성을 파악하기 위해 선행 TAB가 실시된 현장을 확인하였고, 동일조건으로 CFD기반 프로그램을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 부속실 바닥 면적이 작은 공간의 방연풍속의 특징은 심한 와류 현상으로 인하여 출입문 상부로는 역 기류 현상의 문제점을 FDS를 이용하여 재확인하였으며 이는 화재 시 피난을 위해 출입문을 개방하는 경우 부속실내로 연기가 유입 할 우려가 있다는 것이다.
- (2) 역 기류 현상을 최소화하기 위해서는 사전에 기

류분포에 대한 수치해석을 통한 성능위주설계를 실시하여 급기덤편의 설치위치와 덤편 날개의 각도를 정하여 역 기류 현상을 차단하여야 한다.

(3) 또한 부속실 바닥면적의 기준을 최소한 4m² 이상으로 설치하도록 검토하여야 한다.

참고문헌

1. 국토해양부령 제 238호, “건축물의 피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙”, 제 9조 2항 3호 특별피난계단의 구조(2010.4.7).
2. 소방방재청, “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)”, 제2009-31호(2009).
3. 김진수, “제연설비기준 국내기준과 영·미 기준의 비교”, 제3차 CPD교재 급기가압 제연기술 pp.2-24(2006).
4. 박재현, 진병래, “s빌딩 급기가압제연시스템의 TAB 결과”, pp.1-17, ENP연구소(2008.10.2).
5. 류성호, 이수경, 홍대화, 윤명오, 최금란, 박재현, “특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 기류특성에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.5, pp.79-86(2010).
6. (사)대한설비공학회, “공기조화설비의 시험조정평가 (TAB) 기술기준”(2005).
7. John H. Klote, “Smoke Control”, pp.274-291, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, Massachusetts(2002).
8. 김정엽, 이동호, 김하영, “급기가압제연시스템의 피난문 개방시 방연풍속 형성특성에 대한 현장실험”, 대한설비공학회, 2008하계학술발표대회 논문집, pp.463-467(2008).
9. 2006 제 3차 CPD교재, “급기가압 제연기술”, (사)한국소방기술사회 pp.74-79(2006).
10. 김정엽, 이동호, 김하영, “급기가압 제연시스템의 방연풍속 형성특성에 대한 수치해석적 분석”, 대한설비공학회, 2008동계학술발표대회 논문집, pp.463-468(2008).
11. NIST, FDS v5, “Users & Technical Manual”, BFR/NIST Special Publication(2007).
12. 박형주 외, “국내 고층건물의 피난성능확보를 위한 급기가압방연시스템의 제도개선 연구”, 한국화재소방학회 춘계학술대회논문집, pp.118-124(2003).
13. 박승민 외, “급기가압제연설비의 개선에 관한연구”, 한국화재소방학회 춘계학술대회논문집, pp.118-124(2003).
14. 함상근, 김홍, 한상범, 김문형, “아파트 마감재의 연기 유독성”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.15, No.1, pp.36-43(2001).