

급기가압 댐퍼의 설정 기준압에 따른 부속실 차압 특성 연구

Pressure Differentials in the Elevator Lobby Depending on the Reference Pressures of the Pressurizing Dampers

박 용 환

Yong-Hwan Park

호서대학교 소방방재학과
(2007. 11. 14. 접수/2007. 12. 14. 채택)

요 약

본 연구는 최근 우리나라 고층아파트에서 많은 문제가 되고 있는 승강장 부속실의 급기가압 시스템에 있어서 댐퍼 적정차압의 기준 압력에 대한 문제를 FDS 화재모델링을 이용하여 현상학적으로 살펴보았다. 화재 초기 누설틈새만 있는 밀폐된 화재실의 온도와 압력은 연소에너지와 고온 연소가스의 발생으로 온도와 압력이 크게 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 자동차압조절 급기댐퍼의 기준압을 옥내 대기압으로 설정 시에는 화재 시 실제 차압의 감소와 방연풍속 부족으로 상황에 따라 피난안전 공간인 부속실로의 연기 유입이 발생할 우려가 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This paper investigated pressure differentials in the elevator lobby depending on reference pressures of the pressurizing damper using FDS fire modeling. The results showed the temperatures and pressures in the contained fire room with small leak gaps can increase significantly. Setting reference pressure of the pressurizing dampers to 0 Pa can cause reduction of real pressure differentials and air velocity to resist smoke flow. This would cause smoke movement from fire room to elevator lobby which should be safe area for evacuation.

Keywords : Smoke, Pressure differential, Reference pressure, Pressurizing damper, Elevator lobby

1. 서 론

최근 대도시에서는 경제발전과 용지부족, 지가상승과 더불어 각종 건물들이 점차 초고층화되어 가고 있는 추세이다. 주거용 건물의 고층화에 따른 피난 대책의 일환으로 현재의 국내 화재안전기준 NFSC 501A에서는 특별피난계단의 계단실 및/또는 승강장 부속실 급기가압 제연시스템을 적용하도록 하고 있다. 현재 우리나라의 많은 고층건물에서는 건물 특성상 계단실 급기가압보다는 승강장 부속실 급기가압 시스템을 적용하고 있으나 아직 이에 대한 현상학적 연구가 부족한 실정이다.^{1,2)} 급기가압 제연의 핵심은 피난공간으로의 연기유입을 방지하기 위한 차압과 방연풍속의 유지인데 NFSC 501A에 따르면, 고층아파트에서와 같이 옥

내가 거실인 경우 옥내와의 최소차압은 40 Pa 이상(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5 이상), 방연풍속은 0.7 m/s 이상을, 그리고 출입문의 개방력은 110 N 이하를 요구하고 있다.³⁾ 이에 따라 대부분의 급기가압에 사용되는 자동과압차압 조절댐퍼는 화재 시 차압을 50±10 Pa 이내로 동작하도록 제작, 시공되고 있다. 하지만 차압의 기준을 옥내로 명시하고 있어 건설 현장에서는 시공사나 제품에 따라 기준압을 0 Pa로 미리 설정해 놓거나 또는 임의의 공간으로 하는 등 많은 혼란이 야기되고 있어, 실제 화재 시 어떤 문제점이 발생할 지에 대해서는 제대로 연구된 바가 없다.^{4,6)}

이와 같은 고층 건물에서의 제연 특성은 실험 화재 실험을 통한 현상 규명에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 CFD 화재 모델링 기법을 이용하여 기준압 차이에 따른 급기가압제연 특성을 현상학적으로 다양하게 접근하고자 하였다.

† E-mail: yhpark@hoseo.edu

2. 이론적 배경

2.1 급기 풍속

NFSC 501 제8조 기준에 의거하여 예상제연구역에 유입되는 순간의 수직덕트의 풍속은 다음과 같이 산출된다. 이때 댐퍼의 급기풍속은 5 m/s 이하로 한다.

$$\text{수직덕트 풍속} = (\text{댐퍼면적} / \text{풍도면적}) \times \text{댐퍼풍속} \quad (1)$$

2.2 틈새면적

NFSC 501A에 의하면 출입문에서의 틈새면적 산출식은 다음과 같다.

$$A = (L/l) \times A_d \quad (2)$$

- 단, A : 출입문의 틈새면적(m²)
- L : 출입문 틈새의 길이(m)
- l : 표준출입문의 틈새길이(m)
- A_d : 표준출입문의 누설면적(m²)

2.3 수직풍도의 면적

수직풍도의 면적은 자연배출식의 경우 풍도길이 100 m 이하의 경우 다음 식으로 산출된다.

$$A_p = 0.5Q_N \quad (3)$$

- 단, A_p : 수직풍도의 내부단면적(m²)
- Q_N : 수직풍도가 담당하는 1개 층의 제연구역의 출입문(옥내와 면하는 출입문을 말함) 1개의 면적과 방연풍속을 곱한 값(m³/s)

3. 모델링

본 연구를 위하여 미국 BFRL/NIST에서 개발되어 전세계적으로 활용되고 있는 CFD 기반의 필드 모델 화재모델링 프로그램인 FDS v4.07과 그래픽 툴인 Smokeview 4.0을 사용하였으며, 이의 활용에 대한 제한 사항은 해당 매뉴얼을 따르도록 하였다.⁷⁾

3.1 공간 구성 및 치수

본 모델링의 대상 공간으로는 우리나라 고층아파트의 대표적인 표준 공간 중의 하나라고 할 수 있는 침실, 거실, 주방, 다용도실, 현관, 욕실, 베란다, 승강장 및 계단실 등으로 구성되어 있는 중형 아파트 구조로 하였다. 화재의 발생 위치, 가연물의 종류 및 양, 거실 구조나 출입문의 개폐여부 등에 따라 화재 성장 특성이나 거주자의 피난 특성도 크게 달라지는데 본 연구에서는 급기가압제연에 따른 연기유동 특성을 고찰하

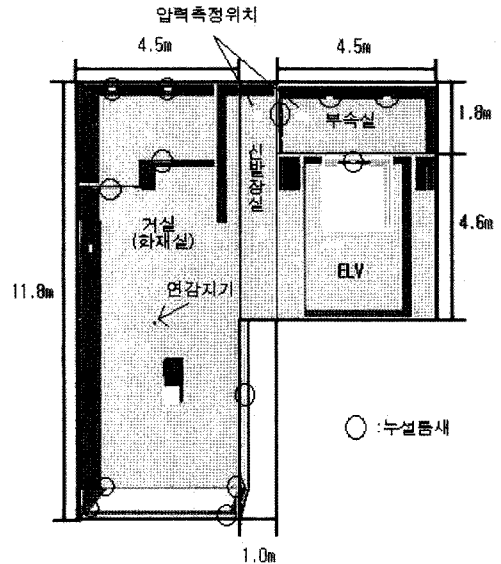


Figure 1. Dimensions and structure of the modeling space.

는 것이 주목적이므로 내부 출입문이 모두 닫혀 있을 때의 거실 화재로 단순화 하였다.

계산 시간을 단축하기 위하여 모델링에 반영된 공간은 Figure 1에서 보는 바와 같이 침실이나 욕실 공간 등은 제외하고 다만 제외된 공간의 틈새면적만 고려하였다. 공간의 높이는 2.3 m, 바닥 두께는 0.2 m, 구획벽의 두께는 0.1 m로 가정하였으며, 거실의 크기는 4.5 m × 11.8 m, 현관의 크기는 1.0 m × 6.4 m, 승강기(EV)실의 크기는 4.5 m × 4.6 m, EV 부속실의 크기는 4.5 m × 1.8 m를 적용하였다. 최소 격자의 크기는 전체 공간크기와 컴퓨터 성능을 고려하여 0.1 m × 0.1 m 크기로 하였으며, 총 격자의 수는 220,750개로 산출되었다.

3.2 경계조건

3.2.1 배기구

일반적으로 제연이 원활하게 이루어지기 위해서는 급기와 함께 배기가 이루어 질 수 있는 배기구가 필요하다. 그러나 화재안전기준에 의하면 아파트의 경우 공간적 제약 특성으로 인하여 거실 공간에 별도의 배기구를 설치하지 않아도 되기 때문에 배기구는 없는 것으로 하였다.

3.2.2 누설틈새

거실 내부의 문이 모두 닫혀 있는 경우 각 출입문에서의 누설틈새는 식 (2)에 근거하여 Table 1과 같이 산출되었다. 그러나 모델링의 격자 크기에는 한계가 있

Table 1. Leak Gaps of the Doors

	거실 방문	현관문	계단실 방화문	승강기문
문의 종류	외여 닫이문	외여 닫이문	쌍여 닫이문	쌍여 닫이문
크기(m)	0.8×2.0	0.8×2.0	2.0×1.9	1.0×1.9
개수	6	1	1	1
산출누설틈새 면적(m ²)	0.12	0.02	0.032	0.06
반영누설틈새 면적(m ²)	0.12	0.02	0.03	0.06

으므로 이를 고려하여 반영누설틈새면적을 산출하였다. 이러한 차이는 전체 틈새 크기에 비해 미소하므로 압력변화나 연기거동 현상 규명에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 가정하였다. 누설틈새는 틈새면적에 해당하는 개구부 격자를 출입문 가장자리에 균등 배치하여 반영하는 것으로 하였다.

3.2.3 급기가압 댐퍼의 면적

급기가압 댐퍼의 개구부 크기는 제어구역의 바닥면적의 크기와 격자 크기의 한계성을 고려하여 0.2 m²를 적용하였다. 이때 수직풍도 단면적 크기는 식 (3)에 의거하여 0.54 m²로 산출되었으며, 댐퍼 풍속은 기준압 종류에 따라 2.0~2.5 m/s, 풍도풍속은 0.55~0.6 m/s 범위 내에서 각각 조정하였으며, 40~60 Pa의 차압유지를 위해 댐퍼 날개의 개폐 정도를 개구 면적으로 환산하여 본 모델링에 반영토록 하였다.

3.2.4 재질의 물성치

벽체는 콘크리트 재질로 하였고, 따로 내장재는 없는 것으로 하였다. 반응물은 폴리우레탄을 사용하였으며, 화염과 연기는 화원을 통해 지속적으로 방출하도록 설정하였다. 콘크리트 및 폴리우레탄 재질에 대한 물성은 FDS 내의 데이터베이스에 있는 값을 적용하였다.

3.3 화재 시나리오

화재는 급기가압 제연설비가 갖추어져 있는 층에서 거실 화재가 발생한 것으로 하였으며, 화원의 위치는 거실(화재실)의 중앙부에서, 화원 크기는 0.5 m×0.5 m 로 가정하였다.

화재성장특성은 극한 상황을 고려하여 l² 화재성장 곡선의 ultra-fast 화재로 가정하였으며 최대 열방생률을 1 MW와 5 MW의 두 가지로 가정하고 이후 일정시간동안 지속되는 것으로 가정하였다.

급기가압 방식은 많은 고층아파트에서 채택하고 있는 부속실 급기가압 방식으로 하였고 댐퍼 작동 시기는 거실 중앙 상부의 연감지기가 작동하는 시점에 작동하는 것으로 하고, 출입문 미 개방 시 대기압과 화재실압 등 기준압 차이에 따른 차압 특성을 비교하였다. 차압은 통상 차압공이 설치되는 현관문 중앙 높이 지점에서 각각 측정하는 것으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 최대 열방출량에 따른 화재실 현관 상부의 연기 온도 및 압력

Figure 2~Figure 4는 각각 거실화재 시 현관 출입문이 닫혀 있을 때 열방출률 크기 변화에 따른 화재실 현관 상부의 연기온도, 압력, 연기층높이를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 출입 현관문 상부의 연기온도는 1 MW와 5 MW급 화재 발생 약 22초, 15초 후부터, 화재실 압력은 화재 발생 약 5초, 3초 후부터 상승하기 시작하였으며, 화재하중이 클수록 연기 온도 및 화재실 압력 상승속도가 더욱 빠른 것으로 나타났다. 화재발생 12초 후 화재실 현관 상부의 압력은 1 MW의 경우 약 10 Pa 정도이고, 5 MW의 경우에는 약 70 Pa 정도로 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 열방출속도가 클수록 부속실과의 적정차압 유지

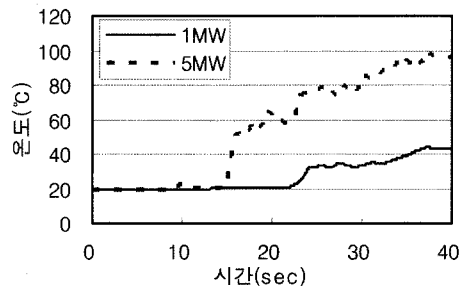


Figure 2. Temperature in the fire room near the entrance door.

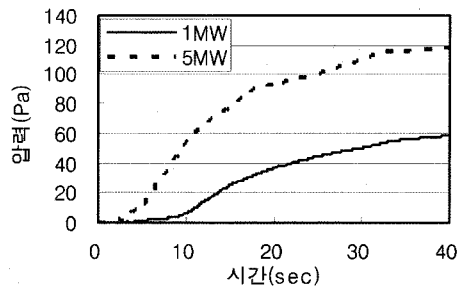


Figure 3. Pressure in the fire room near the entrance door.

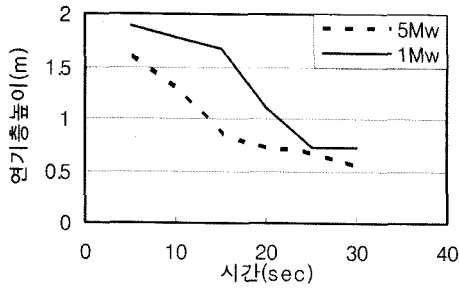


Figure 4. Height of the smoke layer in the fire room near the entrance door.

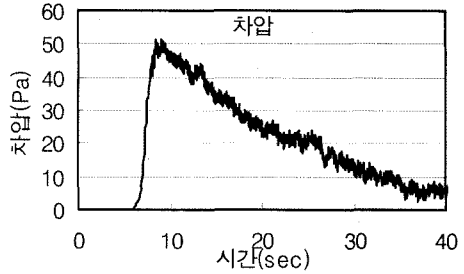


Figure 7. Expected pressure differentials with reference pressure of 0 Pa at 1 Mw.

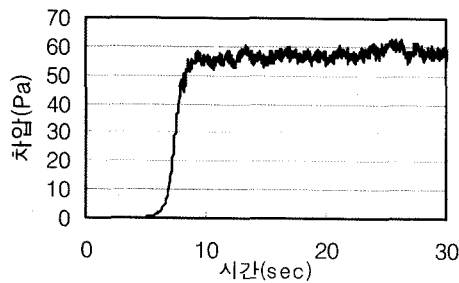


Figure 5. Designed pressure differentials.

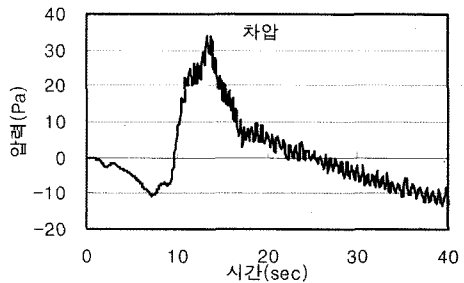


Figure 8. Expected pressure differentials with reference pressure of 0 Pa at 5 Mw.

가 더욱 어려워진다는 것을 알 수 있다. 또한 화재하중이 클수록 바닥 기준 연기층의 하강속도는 화재초기에 더욱 빠른 것으로 나타났다.

4.2 기준압에 따른 차압 특성 비교

Figure 5는 화재 시 급기가압댐퍼의 자동차압조절 기능에 의해 댐퍼 날개의 개방 면적을 조절함으로써 옥내 대기압 기준 40~60 Pa의 차압을 유지하도록 설계되어 있는 상황을 모델링을 통해 나타낸 것이고, Figure 6은 실제 현장 실험에서 댐퍼의 차압 지시계로부터 측정된 차압 변화를 나타낸 그래프이다. 초기 약 10초간은 급속 급기에 의해 압력이 최대 250 Pa 정도의 과압이 발생하며, 이후 차압조절에 의해 40~60 Pa 범위의 정상적인 차압을 유지하고 있다.

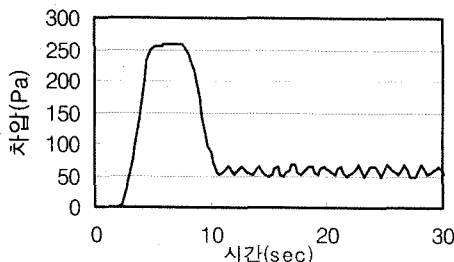


Figure 6. Measured pressure differentials from the fields.

Figure 7과 Figure 8은 대기압 기준 자동차압 조절 시 화재하중 크기에 따른 부속실과 화재실 간의 실제 차압을 모델링을 통해 계산한 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 부속실과 화재실 간의 실제 차압은 일정하지 않고 화재실내 압력의 변화로 인하여 급속히 감소하는 것으로 예측되었다. 열방출률이 1 MW의 경우 차압은 화재 발생 15초 만에 약 30 Pa로 떨어지고, 40초 만에 약 10 Pa로 떨어졌으며, 열방출률이 5 MW로 커지면 차압은 부속실보다 화재실의 압력이 더 높은 부압 상태로 급속히 바뀌는 것으로 분석되었다. 부압이 발생하는 경우 EV 부속실에 급기가압을 하더라도 화재실의 압력이 더 높으므로 연기가 현관문 틈새를 통하여 부속실로 빠져 나올 수 있는 위험한 상황이 발생할 수 있다. 실제 현장에서는 댐퍼 제어부의 차압공을 화재실이 아닌 계단실 등 화재의 영향이 없다고 판단되는 구역에 설치하거나 기준압으로 0 Pa로 설정하는 경우가 많은 것으로 알려져 있어 이러한 상황이 발생할 여지가 많은 것으로 판단된다.

그러나 급기댐퍼의 기준압을 화재실로 설정하게 되면 댐퍼의 자동차압조절 기능에 의해 Figure 9에서 보는 바와 같이 일정 시간이 경과한 후에는 차압이 적정 차압인 40~60 Pa 범위에서 유지될 수 있음을 보여 준다.

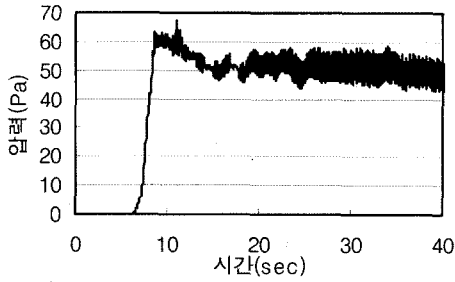


Figure 9. Expected pressure differentials with reference pressure of fire room at 5 MW.

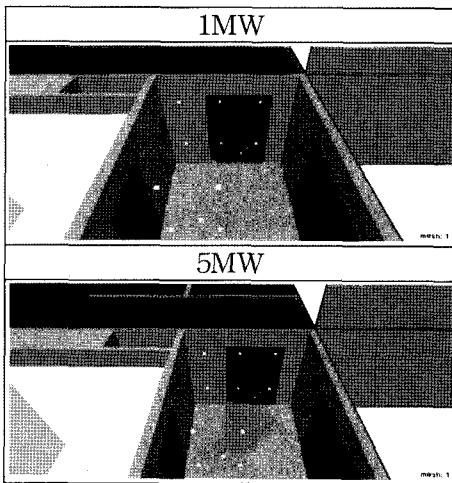


Figure 10. Smoke flow through the gaps at the reference pressure of 0 Pa (t=35 sec, with doors closed).

4.3 화재실 및 부속실 예상 연기 거동

Figure 10은 화재 발생 후 대기압 기준 차압이 40~60 Pa 범위로 적정하게 유지될 때 현관문 틈새에 의해 부속실로의 연기유입 여부를 나타낸 것이다.

1 MW 화재 시 대기압 기준 차압조절의 경우 실제로는 부속실과 화재실과의 적정차압은 형성되지 않지만 일정시간까지는 현관문 누설틈새를 통한 연기유입이 발생하지 않았다. 이것은 댐퍼의 급기풍속에 의한 동압에 의해 연기누출이 발생하지 않는 것으로 추정된다. 그러나 화재하중 5 MW의 경우 20초경과 후부터 누설틈새를 통한 부속실로의 연기유입이 일어나는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 화재하중이 더 커질수록 부속실과 화재실과의 차압은 더욱 급격하게 감소하기 때문이라고 판단된다.

Figure 11은 댐퍼의 기준압을 0 Pa로 설정해 놓은 상태에서 화재 발생 시 부속실 급기가 압이 이루어지고 이 때 피난을 위하여 화재 발생 약 12초 후 현관문을

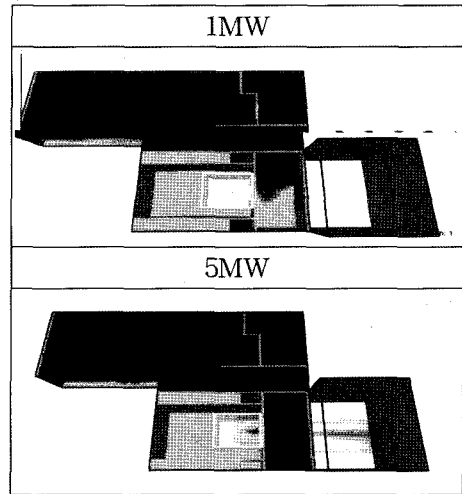


Figure 11. Smoke movement with entrance door open (t=30 sec).

Table 2. Average Air Velocity to Resist Smoke Flow with Reference Pressure of 0 Pa (t=14 sec)

	적정 방연풍속	설계값	1 MW 화재시	5 MW 화재시
방연풍속(m/s)	0.7 이상	0.73	0.6	0.5

개방했을 때의 연기거동을 나타낸 그림이다. 현관문을 개방했을 경우 기준 차압 약 50 Pa 정도의 부속실 급기 가압에도 불구하고 화재실로부터 부속실로의 연기 유입이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 댐퍼의 기준압이 화재실과는 관계가 없는 대기압 기준이기 때문에 실제 화재실과의 차압이 0 Pa 이하로 떨어지기 때문으로 분석된다. 또한, 화재하중이 큰 경우 현관문 개방에 따른 부속실로의 연기유입은 훨씬 빨리 진행되는 것으로 나타났다.

Table 2는 현관문에서의 방연풍속을 계산하여 비교한 것이다. 현관문 개방 후 0.7 m/s 이상의 적정 방연풍속을 유지하여야 하나 실제 화재 시에는 열방출률이 1 MW일 때는 약 0.6 m/s, 5 MW일 때는 약 0.5 m/s 정도로 계산되어 화재실의 열 방출량이 클수록 실제 방연풍속은 적정 방연풍속 이하로 떨어지는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구 결과 화재 초기 화재실의 온도와 압력은 거실 밀폐 시 누설틈새에도 불구하고 화재하중 및 열방출률 증가에 따라 온도와 압력은 크게 상승하는 것으

로 나타났다. 자동차압급기댐퍼의 작동 기준압을 대기압으로 할 경우 화재실의 압력 상승분을 반영하지 못하여 순수차압은 적정 설계차압에 크게 못 미치게 되고 이는 화재 발생 후 열방출량과 경과시간에 따라 현관문 틈새를 통해 피난안전구역인 부속실로 연기가 유입되거나 피난을 위해 현관문 개방 시 적정 방연풍속이 나오지 않아 연기가 유입되는 등의 큰 문제점이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 기준압을 화재실압으로 할 경우 화재실 압력 상승과 관계없이 자동차압 조절과 적정 방연풍속 유지가 가능한 것으로 나타났다. 다만 일정 차압 유지를 위해 화재실 압력 상승에 연동하는 승강장 부속실의 절대압 증가가 피난에 미치는 영향에 대하여는 좀 더 체계적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박승민 외, “급기가압제연설비의 개선에 관한 연구”,

pp.118-124, 한국화재소방학회 춘계학술대회논문집(2003).

2. 박형주 외, “국내 고층건물의 피난성능확보를 위한 급기가압방연시스템의 제도개선 연구”, 한국화재소방학회논문지, Vol.15, No.4, pp.49-56(2001).
3. NFSC 501A, “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비”, 소방방재청(2007).
4. E.G. Butcher and A.C. Parell, “Smoke Control in Fire Safety Design”, Spon E & F N, UK(1979).
5. John, H. Klote, James, A. Milke, “Principle of smoke management”, Amer. Society of Heating, USA(2002).
6. “Fire Precautions in Design, Construction and Use of Buildings”, Part 4. Code of Practice for Smoke Control Using Pressure Differentials, BSI(1998).
7. FDS v4.07, “Users & Technical Manual”, BFR/L NIST Special Publication(2006).