

급기가압 제연시스템의 방연풍속 형성특성에 대한 수치해석적 분석

김 정 엽, 이 동 호*, 김 하 영*

한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터, *인천대학교 안전공학과

Numerical Analysis on Features of Airflow through Open Door in Pressure Differential System

Jung-Yup Kim[†], Dong-Ho Rie*, Ha-Young Kim*

Fire & Engineering Services Research Center, Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea

*Safety Engineering Dept., University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea

ABSTRACT: The fact that the major cases of life casualties are from smoke in the fire accidents and the expected steep increase of skyscrapers, huge spaces, multiplexes and huge scaled underground spaces demand establishment of efficient smoke countermeasure. In pressure differential systems for smoke management, the speed of airflow through open door between accomodation and lobby should be maintained over 0.5m/s on the whole area of door to prevent smoke from infiltrate into evacuation root when the door is open for refuge. The numerical analysis on features of airflow through open door are carried out and the results are presented.

Key words: Smoke management(연기제연), Pressure differential system(급기가압시스템), Motorized supply damper(차압조절형 급기댐퍼), Numerical analysis(수치해석)

1. 서 론

고층건물의 피난안전확보를 위하여 국내 화재안전 기준 NFSC501A의 “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준”에서는 제연구역의 기압을 화재가 발생한 거실보다 높게 유지시켜 제연구역 내로 연기의 침투를 방지하도록 하고 있다[1]. 이러한 목적을 위해 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 방법이 Fig. 1에서 설명하는 것과 같이 제연용 송풍기와 풍도 및 급기댐퍼를 이용하여 거실과 계단실 사이의 부속실내 기압을 높여주는 급기가압 제연시스템이다.

급기가압 제연시스템에서 대부분의 건물에서 제연구역으로 설정되는 부속실의 압력이 설계치 이하로 하강되면 연기가 침투되어 최종 피난로인 피난계단의 연기안전성 확보가 어려울 수 있으며 반대로 부속실의 압력이 너무 클 경우에는 대피자가 출입문을 개방하기 곤란할 수 있기 때문에 부속실과 거실사이의 압력차가 상한값과 하한값을 갖는 일정범위내에서 유지되어야 한다. NFSC501A에서는 부속실과 거실사이에 40Pa이상의 차압(스프링쿨러 설치시 12.5Pa)을 유지하고, 출입문의 개방에 필요한 개방력이 110N 이하가 되도록 기준을 제시하고 있다.

한편 급기가압제연시스템은 피난을 위하여 부속실의 출입문을 일시적으로 개방하는 경우 Fig. 2와 같이 부속실에서 거실방향으로 방연풍속을 유지하여 거실내 연기가 부속실로 침투하지 못하도록 해야한다. 이

[†] Corresponding author
Tel.: +82-31-369-0506; fax: +82-31-369-0540
E-mail address: jykim1@kict.re.kr

때 방연을 위한 공기유동이 출입문의 전체영역에서 기준 풍속이상을 유지하여야 하며, 일부지역의 풍속이 기준풍속 이하일 경우 일부 연기가 부속실로 침투할 수 있다. NFSC501A에서는 방연풍속으로 0.5m/s이상을 제시하고 있다.

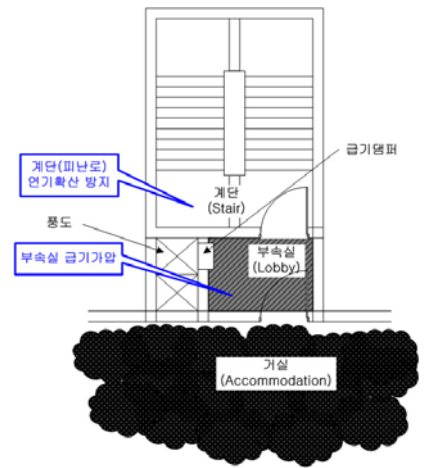
이와같은 부속실에서의 압력과 방연풍속의 설계조건을 만족하기 위해 대다수 건축물에 사용되고 있는 설비가 자동차압조절형 급기댐퍼이다. 일반적으로 건축물에 설치되고 있는 자동차압조절형 급기댐퍼는 Fig. 3에서 보는바와 같이 부속실 벽면과 풍도사이에 설치되어서 평상시에는 댐퍼날개가 닫혀있어 풍도와 부속실간 기류가 흐르지 않도록 하고 화재가 발생하면 댐퍼날개가 회전하면서 풍도의 공급공기가 부속실로 급기되도록 하고 있다. 대부분의 자동차압조절형 급기댐퍼는 차압을 일정범위로 유지하기 위해 댐퍼날개의 개도를 조절하고 있으며 공급공기는 댐퍼날개사이로 일정한 방향을 형성하며 부속실로 토출되고 있다. 일반적으로 부속실의 바닥방향으로 공급공기가 불어지고 있으며, 일부는 천정을 향해 상부방향으로 공급되기도 한다. 이렇게 한방향으로 공기가 토출되면 부속실의 출입문이 개방되었을 경우 출입구의 상하부 일부지역으로만 빠른 풍속이 형성되어 다른 지역으로 연기가 부속실로 침투할 수 있다. Fig 4는 현장에 설치되어 있는 자동차압조절형 급기댐퍼의 모습을 보여주고 있다.

본 연구진에서는 2곳의 고층건물에서 적용되고 있는 급기가압 제연시스템을 대상으로 부속실과 거실을 연결하는 피난문의 개방시 형성되는 방연풍속을 측정하고 분석하였다[2]. 실험에서는 방연풍속의 형성특성을 검토하기 위해 피난문의 해당면적을 균등하게 분할하여 4열×4행 형식으로 동시에 방연풍속을 측정하였다. 실험결과 4곳의 피난계단 모두에서 피난문 하단에서의 풍속이 빠르고 중상부에서는 하부에 비해 속도가 적어지는 경향이 나타났으며 이로인해 일부 출입문의 경우 중상부 지역에서는 풍속이 기준풍속 이하로 형성되어 있다.

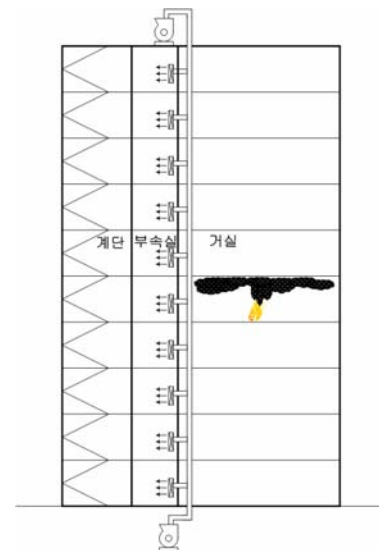
본 연구에서는 급기댐퍼에서 부속실로 공급되는 공기의 토출각도가 출입문상에 형성되는 방연풍속의 특성에 영향을 미치는 중요한 인자로 파악하고 수치해석적 방법으로 토출각도에 따른 방연풍속의 형성특성을 분석하여서 결과를 제시하였다.

2. 연구방법

수치해석적 분석을 위하여 적용모델은 아래와 같이 선정하였다. Fig. 5와 같이 대상 부속실의 크기는 기본모델로 길이(L) 4.0m, 폭(W) 2.0m, 높이(H) 2.4m로 하였으며 부속실의 크기에 따른 영향을 보기위하여 2.0×2.0×2.4m(L×W×H)와 4.0×4.0×2.4m(L×W×H)의 두가지 경우에 대해서도 해석을 수행하였다. 출입문의 크기는 0.9×2.0m(W×H)로 하였다. 그림에서와 같이 급기댐퍼는 출입문에서 직각방향에 있는 측면의 정중앙에 위치시켰으며 급기댐퍼에서 유출되는 총풍량은 출입문의 면적과 방연풍속 0.5m/s을 고려하여 0.9m³/s로 설정하였다. 방연풍속의 토출각도는 댐퍼에서 정면

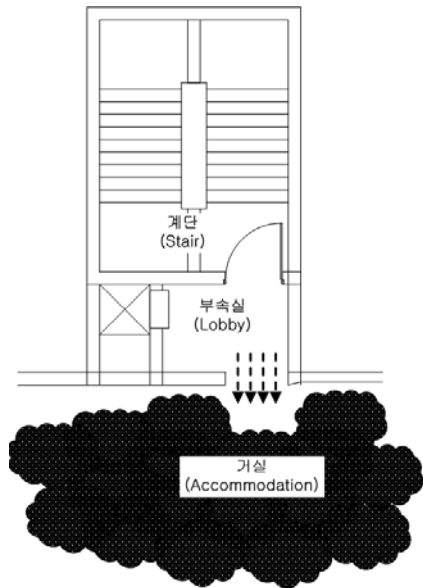


(a) Top view.

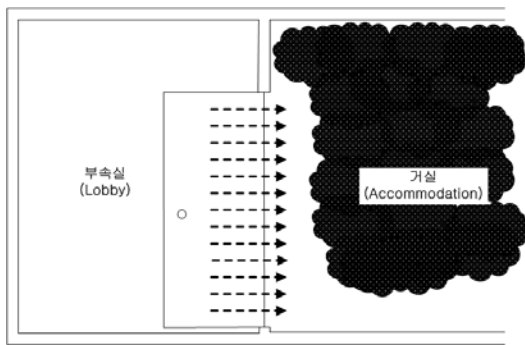


(b) Sectional view.

Fig. 1 Schematic diagram of pressure differential system.



(a) Top view.



(b) Sectional view.

Fig. 2 Ideal airflow through open door.

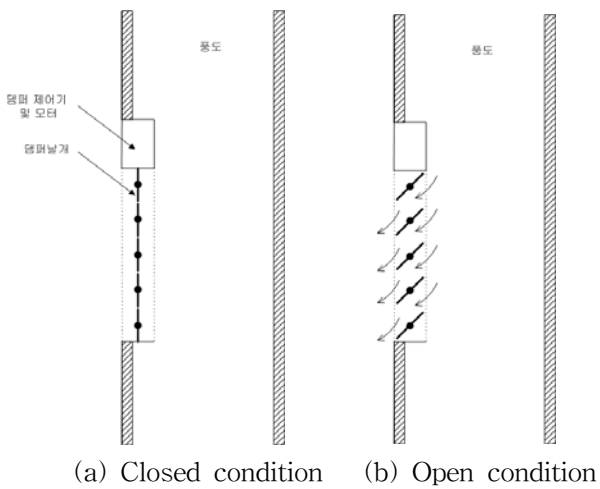


Fig. 3 Schematic diagram of supply damper.



Fig. 4 Photograph of lobby and damper

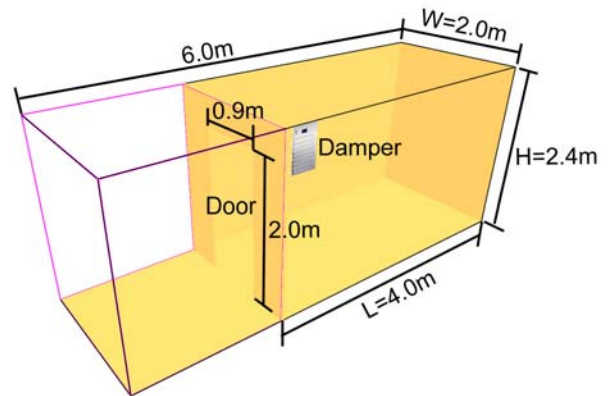


Fig. 5 Numerical model for basic condition.

Table 1 Conditions of analysis.

| CASE | Lobby size (L×W×H, m) | Discharge direction of airflow |
|----------|-----------------------|--------------------------------|
| CASE 1-1 | 2×2×2.4 | 0°, Straight |
| CASE 1-2 | 2×2×2.4 | 45°, Downward |
| CASE 1-3 | 2×2×2.4 | 45°, Upward |
| CASE 1-4 | 2×2×2.4 | Radial pattern |
| CASE 2-1 | 4×2×2.4 | 0°, Straight |
| CASE 2-2 | 4×2×2.4 | 45°, Downward |
| CASE 2-3 | 4×2×2.4 | 45°, Upward |
| CASE 2-4 | 4×2×2.4 | Radial pattern |
| CASE 3-1 | 4×4×2.4 | 0°, Straight |
| CASE 3-2 | 4×4×2.4 | 45°, Downward |
| CASE 3-3 | 4×4×2.4 | 45°, Upward |
| CASE 3-4 | 4×4×2.4 | Radial pattern |

방향(0°, Straight)으로 분출하는 경우와 45° 각도로 바닥을 향해 아래방향(45°, Downward)으로 분출하는 경우, 45° 각도로 천장을 향해 윗방향(45°, Upward)으로 분출하는 경우 및 댐퍼 윗부분은 윗방향, 중간부분은 정면방향, 아래부분은 아래방향으로 방사형(Radial pattern)으로 분출하는 총 4가지 조건을 적용하였다. 이와같은 해석조건을 정리하여 Table 1에 제시하였다.

3. 결과 및 검토

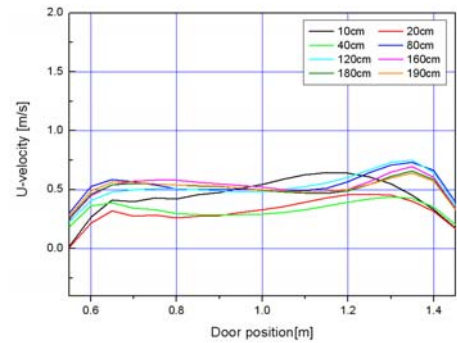
Fig. 6에서 Fig. 8은 각 경우에 대한 수치해석의 결과로서 출입문의 각 높이에서의 방연풍속 크기를 나타내고 있다. 각 그래프에서 X축은 출입문의 폭방향 위치를 나타내고 있는데 그림에서와 같이 X=1.0m이 폭방향으로 출입문의 중앙이다. 한편 Y축은 출입문에 수직인 방연풍속의 크기를 나타낸다. 각 곡선들은 출입문 하단에서부터 10cm, 20cm, 40cm, 80cm, 120cm, 160cm, 180cm, 190cm 높이에서의 방연풍속 크기를 보여주고 있다.

Fig. 6의 (a)는 CASE1-1의 해석결과로서 각 높이에서의 방연풍속이 0.5m/s에서 크게 벗어나지 않고 있으며 CASE1-2의 결과인 (b)의 경우는 하단위치에서 0.5m/s보다 큰 풍속을 나타내고 중상단에서는 0.5m/s보다 적은 풍속이 형성되는 것을 알 수 있다. 한편 CASE1-3과 CASE1-4의 결과인 Fig. 6의 (c)와 (d)를 살펴보면 출입문의 우측부분에서 풍속의 편차가 커지는데 전반적으로는 CASE1-2의 결과에 비해 방연풍속 측면에서 양호한 결과를 보이고 있다.

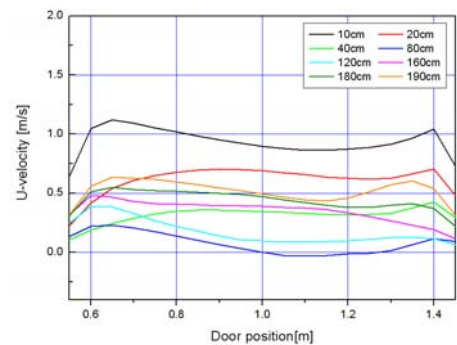
Fig. 7의 (a)에서 (d)는 CASE2의 해석결과를 보여주고 있다. 45° 각도 아래로 토출되는 경우는 CASE1과 같이 하단과 중상단의 풍속차가 크게 발생하고 있으며, 정면토출과 위쪽 45°방향 토출의 경우는 CASE1 보다 방연풍속의 편차가 좀더 증가하고 있다. 반면 방사형 토출의 경우는 CASE1보다 많은 지역에서 0.5m/s 근처로 형성되고 있다.

Fig. 8은 CASE3의 해석결과를 보여주고 있는데, 그림에서와 같이 45° 각도 아래로 토출되는 경우를 포함하여 전반적으로 효과적인 방연풍속이 형성되고 있다고 사료된다.

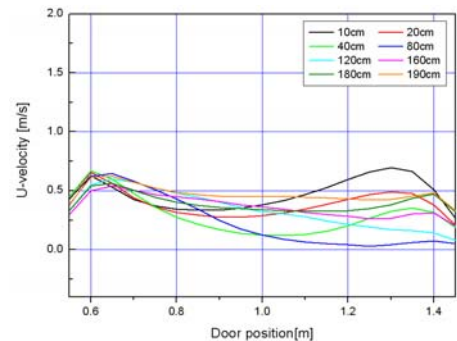
Table 2는 각 경우에서 전체 출입문에서의 방연풍속에 대한 표준편차(Standard Deviation)를 산출한 값으로서 전체 출입문에서 0.5m/s로 균일하게 방연풍속이 형성되는 이상적인 조건에 비해서 수치해석에 의해 도출된 방연풍속의 편차정도를 보여준다. 그림에서



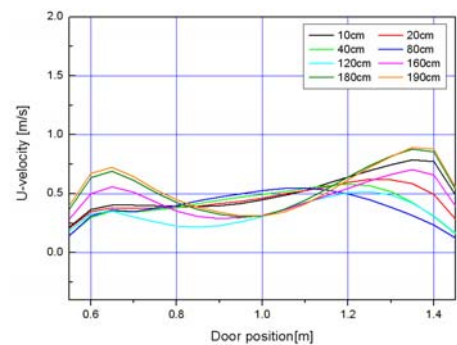
(a) CASE 1-1



(b) CASE 1-2

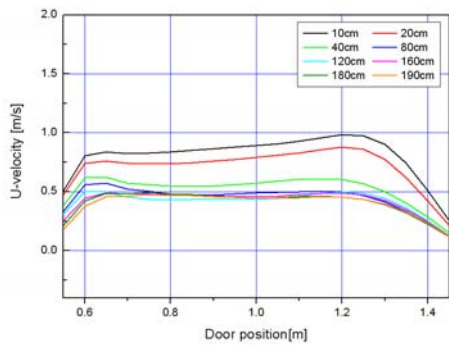


(c) CASE 1-3

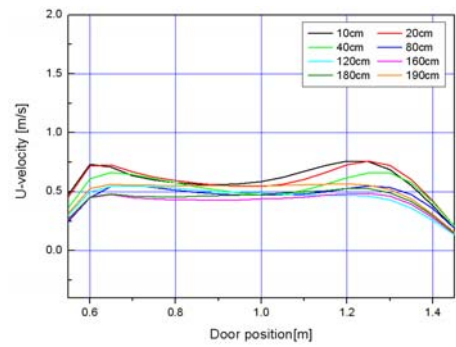


(d) CASE 1-4

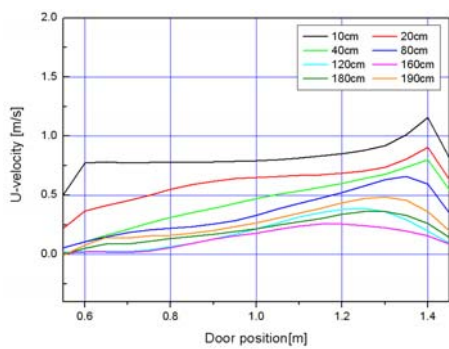
Fig. 6 Results for CASE 1.



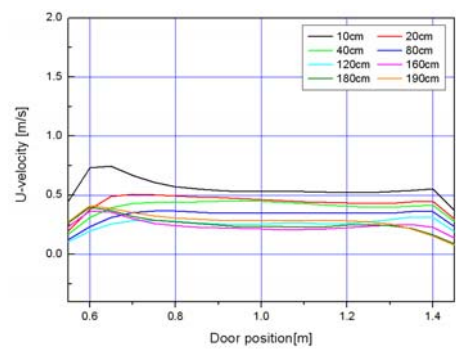
(a) CASE 2-1



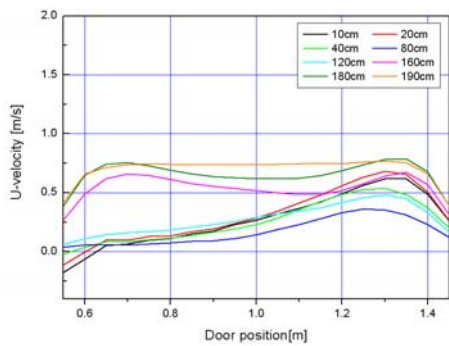
(a) CASE 3-1



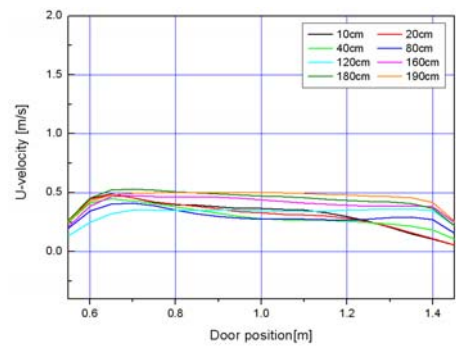
(b) CASE 2-2



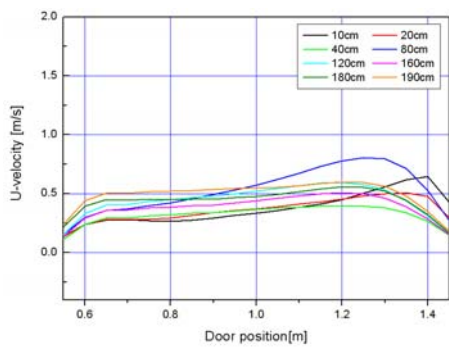
(b) CASE 3-2



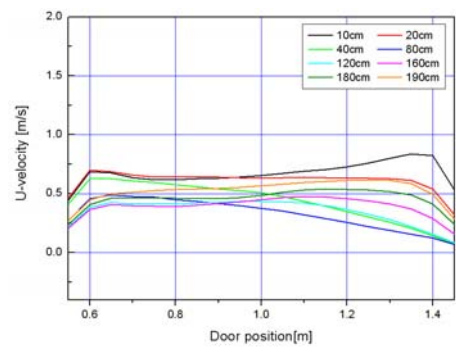
(c) CASE 2-3



(c) CASE 3-3



(d) CASE 2-4



(d) CASE 3-4

Fig. 7 Results for CASE 2.

Fig. 8 Results for CASE 3.

살펴본 바와 같이 45° 각도 아래로 토출되는 경우는 모든 부속실 형상조건에서 가장 좋지않은 결과를 보이고 있으며, 정면방향과 방사형으로 토출되는 경우는 모든 부속실 형상에 대해 표준편차가 0.2미만으로 계산되었다.

Table 2 Standard deviation of velocity.

| CASE | Straight | Downward | Upward | Radial pattern |
|--------|----------|----------|--------|----------------|
| CASE 1 | 0.1365 | 0.3308 | 0.1748 | 0.1563 |
| CASE 2 | 0.1702 | 0.2981 | 0.2158 | 0.1450 |
| CASE 3 | 0.1223 | 0.1782 | 0.0950 | 0.1632 |

4. 결 론

본 연구에서는 국내 고층건물의 피난로 확보를 위해 주로 사용되는 급기가압 제연시스템에서 부속실의 출입문을 일시적으로 개방하는 경우 부속실에서 거실 방향으로 생성되는 방연풍속의 특성에 대해 수치해석적 분석을 수행하였다. 부속실에 설치되는 급기댐퍼에서 부속실로 공급되는 공기의 토출각도가 출입문상에 형성되는 방연풍속의 특성에 영향을 미치는 중요한 인자로 파악하고 토출각도에 따른 방연풍속의 형성특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부속실의 크기가 2.0×2.0×2.4m(L×W×H)인 경우 급기댐퍼에서 정면방향으로 공기가 토출되면 출입문의 각 높이에서의 방연풍속이 0.5m/s에서 크게 벗어나지 않고 있으며, 45° 각도로 바닥을 향해 아랫방향으로 토출될 경우 출입문의 하단위치에서 0.5m/s보다 큰 풍속을 나타내고 중상단에서는 0.5m/s보다 적은 풍속이 형성된다.

(2) 부속실의 크기가 4.0×4.0×2.4m(L×W×H)인 경우에는 급기댐퍼에서 45° 각도 아래로 토출되는 조건을 포함하여 전반적으로 효과적인 방연풍속이 형성된다.

(3) 급기댐퍼에서 45° 각도 아래로 공기가 토출되는 경우는 모든 부속실 형상조건에서 가장 좋지않은 결과를 보이고 있으며, 정면방향과 방사형으로 토출되는 경우는 모든 부속실 형상에 대해 표준편차가 0.2미만으로 제시된다.

참 고 문 헌

1. NFSC501A, 2007, 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준.
2. 김정엽, 이동호, 김하영, 2008, “급기가압 제연시스템의 피난문 개방시 방연풍속 형성특성에 대한 현장 실험”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.463-467.