

# 굴뚝효과와 외부출입문 개방을 고려한 부속실 제연

김 용 광\* · 손 주 달\*\* · 김 서 영\*\*\* · 공 하 성\*\*\*\*

\*(주)한국안전기술 전무이사 · \*\*(사)한국위험물안전협회장

\*\*\*우석대학교 소방·안전공학과 박사수료 · \*\*\*\*우석대학교 소방방재학과 교수

## Vestibule Smoke Control Considering the Stack Effect and the Opening of the Outside Door

Yongkwang Kim\* · Zudal Son\*\* · Seoyoung Kim\*\*\* · Hasung Kong\*\*\*\*

\*Executive Director, Korea Safety Tecnology Co. Ltd,

\*\*President, Korea Hazardous Safety Association

\*\*\*Ph.D, Candidate Fire and Safety Engineering, Woosuk University

\*\*\*\*Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, Woosuk University

### Abstract

The purpose of this study is to improve the stack effect of the staircase and the failure to take into account the opening of the outside door of the staircase, which are the disadvantages of the existing smoke control only vestibule. As a result of the study, the new vestibule and the staircase simultaneous smoke control are equipped with an exhaust flap damper with an effective opening area of about 0.25 m<sup>2</sup> in the upper part of the staircase, and a ventilator-type air supply fan of about 5 m<sup>3</sup>/s in the lower part, and take measures to prevent overpressure in the staircase. If you use the new simultaneous smoke control method of the vestibule and staircase, you can achieve the following effects. First, it is possible to open the external entrance door. Second, it can reduce the stack effect. Third, the staircase door closes automatically without fail. And a new method of preventing overpressure was proposed for the vestibule.

**Keywords :** Stack effect, Vestibule and the staircase simultaneous smoke control, Open the external entrance door, Overpressure prevention measures in the vestibule

### 1. 서 론

1995년 국내 고층건물에는 「특별피난계단 및 부속실 제연설비의 화재안전성능기준(NFPC 501A)」이 규정하는 부속실단독제연 방식으로 설치되어 왔다.[1] 그러나 이 부속실단독제연은 설계에 미흡한 부분이 있어 이를 보완할 필요성이 있다. 즉, 부속실단독제연의 미흡한 부분이란 피난과 소화활동에 의한 계단실의 외부출입문 개방을 반영할 수가 없을 뿐만 아니라 추운 계절이나 연기 유입에 의해 있을 수 있는 굴뚝효과도 고려할 수가 없다는 것이다.

류성호 외 5인(2010)은 국내 고층건물 특별피난계단의 부속실에 설치된 급기압 제연시스템의 방연 풍속 기류가

화재 발생 시 피난을 위하여 출입문이 개방되었을 경우 정상적으로 형성되지 않고 부속실 내부로 역류 되는 현상을 개선하기 위해 실 모형실험을 실시하여 역류하지 않는 조건을 연구하였다.2) 안정수와 3인(2011)은 고층 건물의 제연 방식 중 효과적인 성능을 가진 부속실 단독 가압방식을 대상으로 선정하여 급기 가압 시스템의 급기 송풍량의 적정성을 수치적으로 해석하고 분석하여 예를 제시함으로써 연돌효과를 고려하여 설계 할 때 주의해야할 사항을 제안하였다.3) Junjiiang He 외 5인(2020)의 연구에서는 계단실 내 뜨거운 연기의 이동 현상과 층화를 연구하기 위해 21층 건물에서 풀화재 횡수와 개구부 위치에 대한 실험을 수행하였다. 이론적 분석을 통해 상부지역의 뜨거운 연

†Corresponding Author : Hasung Kong, Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, WOOSUK UNIVERSITY, 443, Samrye-ro, Samrye-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do, E-mail: 119wsu@naver.com  
Received January 26, 2024; Revision March 18, 2024; Accepted March 18, 2024

기에 대한 등가열방출율을 결정하고, 계단실의 연기 기동 상승시간을 예측하기 위한 통합 상관관계를 제안하였다.4) Wenjun Lei 외 5인(2022)의 연구에서는 화재가 발생하는 동안 연돌 효과로 인해 아트리움의 최상층은 일반적으로 연기에 의해 가장 심각한 영향을 받기 때문에 최상층에 대한 연기제어 효과만을 분석하여 보충 공기 흡입구 레이아웃과 보충 공기 유량이 AEP의 연기 제어에 미치는 영향에 대해 연구하였다.5) 김용광(2020)은 신축 건축물의 경우라면 계단실의 외부출입문 개방이 가능하고 계단실에 발생하는 굴뚝효과도 감소시킬 수 있는 ‘굴뚝효과와 외부출입문 개방을 고려한 계단실 급기가압 제어방식’을 적용할 것을 제안하였다.[6] 그 제안[6]을 보다 상세히 설명하면, 송풍기에 의해 신선한 외기를 공급받는 수직으로 설치된 급기풍도에 계단실을 향해 자동차압급기댐퍼를 적당한(예; 3개 층) 간격으로 설치하여 일정 기압(예; 30 Pa) 내외에서 개폐하도록 설정하고, 계단실 상부에는 배출플랩댐퍼를 두어 일정 기압(예; 40 Pa) 내외에서 개폐하도록 설정하여 두면, 굴뚝효과가 있을 때는 저압부에 있는 하부의 자동차압급기댐퍼가 열려 급기하고 고압부인 상부에서는 자동차압급기댐퍼는 닫혀 있고 배출플랩댐퍼가 개방되어 상부의 실내기를 배출하는 연동작동이 이루어질 것이므로, 결국 계단실 내부에는 상승기류가 형성 되게 하여 굴뚝효과를 상쇄하게 한다는 것이다. 이 시스템은 평상시에도 작동하게 하여 계단실 하부에는 대기압 수준으로 급기하고 상부에는 배출플랩댐퍼에 의해 40 Pa 수준으로 유지되게 한다면 당해 건물은 평상시에도 굴뚝효과가 경미하게 관리될 수 있을 것이라고 예측하고 있다.

류성호 외 5인, 안정수 외 3인, Junjiiang He 외 5인 그리고 Wenjun Lei 외 5인의 연구들에서는 제어 방식에 대한 연구를 진행하였지만 연구 내용에서 외부 출입문 개방과 굴뚝 효과를 고려하는 내용은 없었다. 하지만 이 연구에서는 기존 연구[2]의 주된 개념인 ‘하부급기와 상부 배출에 의해 상승기류를 형성시키는 급기가압방법’을 이용하는 설비보완을 통하여 외부출입문개방과 굴뚝효과를 고려하는 것이 좋을 것이라고 생각되어 그 구체적 방법에 대해 연구하게 되었다.

## 2. 본문

### 2.1 이론적 고찰

#### 2.1.1 굴뚝효과와 상승기류

기체는 온도의 변화에 따라 부피의 변화가 생긴다. 공기

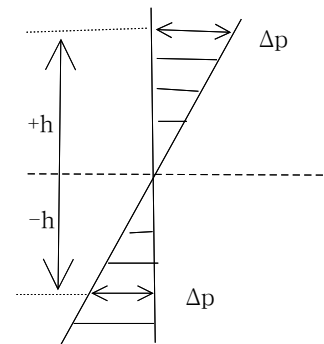
도 온도가 상승하면 부피가 커진다. 부피가 커지면 가벼워지기 때문에 가벼운 공기는 위로 올라가려고 한다. 즉, 굴뚝 속의 공기는 가벼워서 위로 상승하려고 한다. 이 현상을 굴뚝효과(stack effect)라고 한다.

굴뚝 중앙부의 공기가 상승하려고 하면 하부의 공기를 잡아당기게 되어 굴뚝 하부에는 진공(-압)이 걸린다. 반대로 중앙부의 공기가 상승하려고 하면 위의 공기는 압축을 받는다. 이것을 양압(+압)이라고 한다. 그래서 굴뚝 위의 공기는 탈출하려고 하기 때문에 분출하는 현상이 일어난다.

그런데 굴뚝효과를 공학적으로 표현하는 경우 각 위치에 대한 압력으로 표시한다.

[Figure 1]에서 하부는 진공, 상부는 양압이 되므로 중앙부분은 내외압력이 같다. 이곳을 중성면(中性面)이라고 한다. 중성면에서 상부로 올라갈수록 큰 양압이 된다. 이 압력이 낮으면  $-Pa$ , 높으면  $+Pa$ 로 표현한다.  $h$ 는 중성면과의 수직거리(m)를 말한다.

수직 샤프트의 상하 어느 위치의 ‘외부 기압에서 내부 기압을 뺀 것’을 외부와의 차압( $\Delta P$ )이라고 하며 이것을 굴뚝효과(Stack effect)라고 부르기도 한다. 엄밀히 말하여 굴뚝효과는 ‘내외부의 기온차이가 있어서 생기는 압력 차이로 기체가 이동하는 현상’이라고 정의하지만, ‘압력 차이가 생겨도 기류이동이 없으면 굴뚝효과가 아니다.’라는 해석이 있어, 저자는 ‘기류이동이 생기기 전인 ‘하부에는 음압, 상부에는 양압이 생기는 현상’을 굴뚝효과라고 하는 것이 옳을 것이라고 주장하고 있다.



[Figure 1] Description of pressure difference generation causing chimney effect

표준대기압은 약  $101.325 \text{ N/m}^2 = 101.325 \text{ Pa}$ 이 된다. 계단실 외부와 내부에도 대기압이 있다. 그러나 내외의 공기는 기온 차이가 있을 수 있다. 공기는 온도가 상승하면 가벼워진다. 즉, 밀도가 낮아지는 것이다. 온도와 밀도는 반비례 관계에 있다.

‘공기밀도( $\rho$ )= $353/T$  ( $\text{kg/m}^3$ )’으로 정리된다. 외부 공기의 밀도는  $\rho_o = 353/T_o$ , 내부공기의 밀도는

$\rho_i = 353 / T_i$  그리고 압력  $P = \rho gh = \gamma h$  을 정의한다. 이 공식은 물기둥에서 쉽게 유도된다.

여기서,  $\rho$ ; 밀도, T; 절대온도, g; 중력가속도, h; 물기둥높이(m),  $\gamma$ ; 비중량, 침자; i; 내부, o; 외부.

한 변이 1 m인 정육면체인 물이 있다. 즉,  $1,000 \text{ kg/m}^3 = \text{비중량}(\gamma)$ 이 물 h개를 수직으로 쌓아 놓으면 바닥의 압력(p)은  $P = \gamma h$ . 계단실 내부의 기온이 외부 기온보다 높을 때 어느 위치의 기압은 중성면으로부터 수직거리 h(m)에 비례하여 결정된다. h가 하향일 때는 음(-) 부호를 붙인다. 따라서 굴뚝효과에 의해 발생하는 차압을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_o = \rho_o gh, P_i = \rho_i gh$$

$$\Delta P = P_o - P_i = \rho_o gh - \rho_i gh =$$

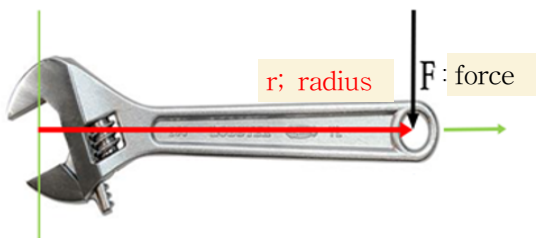
$$\left(\frac{353}{T_o} - \frac{353}{T_i}\right) \times 9.81h = 3460 \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i}\right)h \quad \text{식 (1)}$$

여기서,  $\Delta P$ ; 굴뚝효과 시의 내·외부 압력차(Pa),  $T_o$ ; 외부기온(K),  $T_i$ ; 내부기온(K), h; 중성면과의 수직거리(m)

### 2.1.2 모멘트

모멘트(Moment)는 토크(Torque)와 유사한 개념으로 회전력이라고 한다. “하나의 힘(F)이 회전 중심점을 기준으로 회전할 때, 힘의 크기(N)와 회전반경(m)의 곱”을 모멘트라고 한다. 모멘트(N·m)=회전반경과 직각을 이루는 방향의 힘(N) × 회전반경(m)이 된다.

예를 들어 <그림 2>와 같이 길이 0.3m의 몽키스패너로 반경(r)과 직각을 이루게 10 N의 힘(F)으로 회전시킨다고 할 때 이를  $M = 0.3(m) \times 10(N) = 3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 의 모멘트로 회전시키는 것이라고 표현한다.



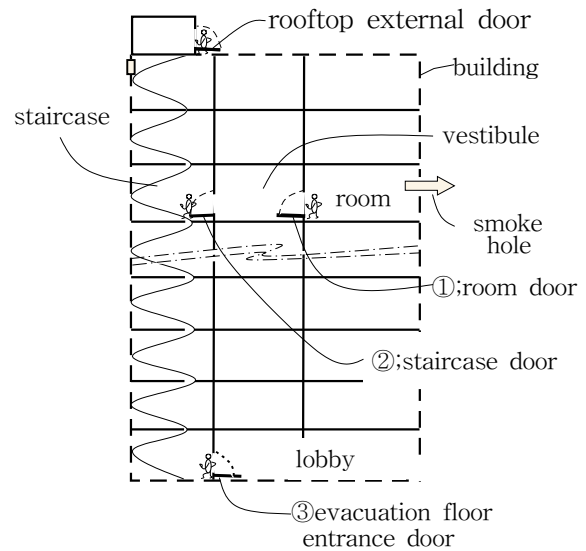
[Figure 2] Moment Description Chart

## 2.2 부속실 단독제연 방식

### 2.2.1 외부 출입문 개방을 고려하지 않은 설계

부속실에서 계단실로 진입하는 피난행동 시 계단실의

외부출입문 개방이 일어날 수 있다. 이때를 고려하는 어떤 조치가 필요하다. 하지만 기존의 부속실 단독 제연방식은 외부출입문 개방을 고려하지 않고 있다. 그 이유를 구체적으로 알 수 없지만 추측컨대 1995년 처음으로 화재안전 기준이 제정될 당시의 이것을 규정에 포함하지 못한 것은 당시의 입안자들이 제연공학에 대한 지식이 부족하여서 일어난 해프닝일 것이다. 하지만 그 뒤 왜인지 너무 장시간 방치되어 왔다. 지금이라도 이를 양성화하여 바로잡아야 할 것이라고 생각된다. 외국의 경우에는 이를 고려하고 있다고 본다. 이에 대한 참고 자료로 도서출판 동화기술의 제연공학 도서에 굴뚝효과와 외부출입문개방을 고려하는 설명과 예제가 상당량 있다.[7]



[Figure 3] Digestive activity structure diagram

### 2.2.2 피난층 출입문 개방 문제

[Figure 3]의 거실에 피난인이 여러명이 있어 부속실로 나가는 출입문(①)과 다시 그 부속실에서 계단실로 나가는 출입문(②)이 동시 개방되는 때에, 피난층 외부출입문(③)의 개방이 접할 수 있다는 것을 부속실 단독 제연 설계에서 고려할 수가 없다. 이를 고려할 필요가 있다는 것을 예를 들면 화재 발생 층이 2층이고 피난층이 1층이라고 가정해보면 화재실 인원이 피난 시작 후 제일 먼저 탈출한 사람이 <그림 1>의 외부피난출입문(③)을 열기까지 시간( $T_1$ )은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$T_1 = 1-2\text{층간 높이(m)} \div \text{하강보행속도(m/s)}$$

식 (2)

1-2층간 높이를 3m, 먼저 출발한 사람의 계단하강속

도가 0.3m/sec라고 하면,  $T_1 = 3m \div 0.3m/s = 10$  s 이 10초의 시간에 화재실을 탈출할 수 있는 인원은 거실 출입문 통과 시간이 인당 5초가 소요된다면 2명의 거주 인원이 거실에서 계단실로 나올 수 있는 시간이다. 즉, 2층의 한 거실 인원이 3명 이상이면 거실 탈출이 완료되기 전에 처음의 탈출자는 1층 외부출입문(개방된 로비로 나가는 출입문)을 개방할 수가 있다.

그리고 화재경보가 울려 곧 같은 층 다른 거실 인원과 상층 인원이 같이 합류하여 계단실에 모여 탈출하는 상황이 될 것이므로 피난층 외부출입문(③)의 개방이 있는 상태에서 화재실 거주자의 피난탈출이 있을 것이다.

따라서 특별피난계단 제연설비 설계에는 [Figure 3]의 출입문①, ②, ③이 동시 개방될 수 있음을 고려할 필요가 있다. 또한 피난 시에 옥상 외부 출입문 개방도 화재실 피난과 결철 수 있다.

2.2.3 굴뚝효과를 고려하지 않은 설계1

건물 내부의 수직 통로 계단실과 승강로에는 내외 기온 차이에 의한 굴뚝효과가 존재한다. 고층건축물 화재에서 화재와 연기의 고층 확산의 주된 원인이 굴뚝효과 때문이며 피난로인 계단실과 승강로의 연기 점령의 이유가 굴뚝효과 때문인데, 이를 부속실 단독 제연 설계에서는 고려할 수가 없다.

제연설비에 대한 화재안전기준이라면 고층건물 화재 확산의 주요 현상이 되고 있는 굴뚝효과에 대해 언급을 하고 그 굴뚝효과를 정의하여야 할 것이다. 거기서 사용하는 굴뚝효과 시 압력차( $\Delta P$ )는 압력 Pa로 표시되며, 식 (3)에서 적용되는 변수는 내외기의 온도와 중성면으로부터의 거리이다.

$$\text{즉, } \Delta P = 3460 \left( \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) h \quad \text{식 (3)}$$

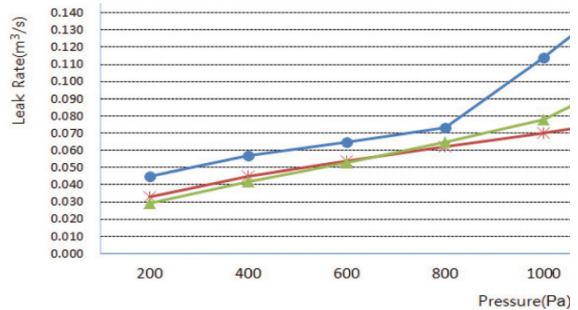
여기서,  $\Delta P$ : 굴뚝효과 시의 압력차,  $T_o$ : 외부기온,  $T_i$ : 내부기온,  $h$ : 중성면으로부터의 수직거리(m)

2.2.4 굴뚝효과를 고려하지 않은 설계2

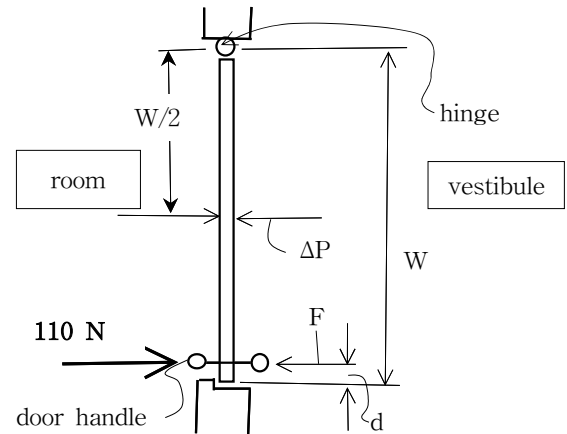
부속실제연은 수직풍도에서 자동차압급기댐퍼를 통하여 부속실로 급기한다. 자동차압급기댐퍼는 [Figure 4]와 같이 닫힌 상태일 때 누설되는 공기가 있다.[10] 부속실은 이론적으로 방화문이 닫힌 상태라면 밀폐구조로서 누설이 거의 없다. 누설이 있을 수 있는 곳은 방화문이라고 할 수 있는데, 방화문의 성능시험 사양은 25 Pa에서  $0.9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$  이하로 규정되어 있어 부속실의 이론적

누설량은 0이다.[8]

즉, 급기수요가 없는 모든 방화문이 닫힌 부속실의 경우에는 과압의 우려가 있는 것이다. 그래서 NFPC 501A)의 기준에 따른 제연구역에 과압의 우려가 있는 경우에는 소방청장이 고시하는 「플랩댐퍼의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」에 적합한 플랩댐퍼 등 제연구역의 압력을 자동으로 조절하는 성능이 있는 것으로 과압방지조치를 하도록 하고 있다.



[Figure 4] Leakage Performance Curve of Automotive Pressure Supply Dampers



[Figure 5] Accessory Overpressure Review Description Chart

NFPC 501A에 ‘제연설비가 가동되었을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘은 110N 이하로 해야 한다’라는 규정이 있다. 이 규정은 부속실 방향으로 열리는 거실출입문을 개방할 때 부속실에 과압이 없게 하라는 것이다. 예를 들어 거실출입문이 폭 0.9 m×높이 2 m, 문손잡이 위치가 문 끝에서 7 cm, 도어클로저의 닫힘 모멘트 32 N·m일 때의 문 개방 힘이 110 N이 되려면 이 때의 차압은 [Figure 5]에서, 개방 모멘트 =  $110 \times (W - d)$ , 닫힘모멘트 = 도어클로저닫힘모멘트 +  $\Delta P \cdot WH \cdot W/2$ ,

이 두 모멘트가 같다고 식을 세우면

$$110 \times (W - d) = \text{도어클로저 닫힘 모멘트} + \Delta P \cdot WH \cdot W/2$$

$$\Delta P = \frac{110 \times (W - d) - \text{도어클로저 닫힘모멘트}}{WH \cdot W/2} = \frac{110 \times (0.9 - 0.07) - 32}{0.9 \times 2 \times 0.9/2} = 73.2 \text{ Pa} \quad \text{식 (4)}$$

즉, 식 (4)에서 부속실에 거실보다 73.2 Pa를 초과하는 기압이 형성되면 출입문 개방에 필요한 힘이 110 N을 초과한다. 개방힘이 110 N 이상이라는 것은 73.2 Pa 이상 차압이 있다는 것이다. ‘부속실 기압이 거실보다 73.2 Pa 이상 높다’를 ‘과압’이라고 표현하는 것이다.

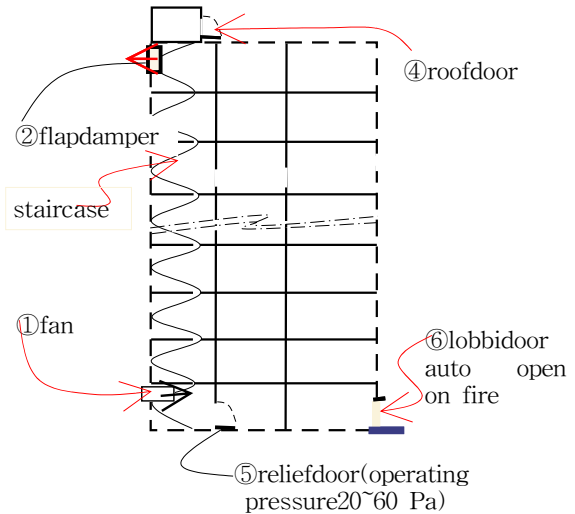
### 2.2.5 계단실 출입문 미 폐쇄

부속실 단독제연 방식은 화재실에서 부속실을 경유하여 계단실로 피난한 후에 뒤에 있는 계단실출입문을 피난자가 일부러 폐쇄하기 어려우므로 자동폐쇄장치에 의하여 자동으로 닫히어야 하는데 잘 되지 않는 경우가 제연 성능 시험에서 발견되고 있다. 그 이유는 계단실 기압이 부속실 기압에 비해 크게 낮기 때문이다. 계단실 기압이 낮아지는 현상은 두 가지 경우로 구분된다. 먼저, 계단실의 외부 출입문이 개방될 때, 다음으로 굴뚝효과에 의해 계단실의 기압은 낮아질 수 있다.

### 2.3 부속실 및 계단실 동시 제연방식

부속실 단독제연방식을 적용하고 있는 곳에 계단실 외부 출입문이 개방되거나 계단실에 굴뚝효과에 의한 대기압 이하의 기압이 발생하면 부속실 제연은 불가능해진다. [Figure 6]와 같이 부속실 단독제연 방식에 굴뚝효과와 외부 출입문 개방에 대응할 수 있도록 계단실에 대한 급기용 축류팬(①), 플랩댐퍼(②)를 설치하고, 피난층 출입문의 릴리프 도어화(⑤)를 실시한다. 아래에 상세히 설명하겠지만, 환풍기형의 급기팬(①)이 공급하는 바람에 의해 계단실이 가압되고, 굴뚝효과가 있는 경우에는 플랩댐퍼(②)에 의해 내부 공기가 외부로 배출되므로 계단실 상승기류가 형성되어 굴뚝효과를 제거할 것이다. 그리고 피난층 릴리프도어(⑤)에 의해 계단실과압이 일어나지 않을 것이라고 연구하였다. 보다 상세한 설명은 뒤에서 실시한다.

이를 ‘신(新)부속실 및 계단실 동시 제연방식’이라고 부르기로 한다.



[Figure 6] Explanation of the New Annex and Staircase Co-combustion Method

### 2.3.1 굴뚝효과를 고려한 설계

기존의 연구[2]에서 상승기류에 의한 굴뚝효과 제거 이론을 활용하여 설비를 추가로 설치한다면 계단실의 외부 출입문 개방 시에도 30 Pa 내외의 적절한 기압을 유지하고, 굴뚝효과 발생을 완화할 수 있을 것이다. [Figure 6]에서 저층부에서 축류팬(①)에 의해 급기되는 바람 5m<sup>3</sup>/s 이상은 굴뚝효과를 제거하는 상승기류 형성과 피난 시에 방출되는 바람으로 소비된다.

굴뚝효과를 상쇄하는 기류의 산정에 대해서 기존의 연구내용[6]을 설명하면, 굴뚝효과를 상쇄하는 기류의 크기 계산은 유명한 Tamura&Shaw식을 사용하여도 되지만 공식의 마찰계수 f의 적용이 어려웠다. 그래서 기존 연구[6]에서는 계단실을 연속개구부의 구조로 보고 발생하는 마찰손실을 굴뚝효과로 발생하는 상하 차압으로 적용할 때의 유량을 계산하면 될 것이라고 제안하고 있다.

보다 구체적으로 설명하면, Tamura&Shaw식을 사용하는 경우에는 식(5)를 사용하는데 마찰계수의 적용이 생소한 면이 있다.

$$\Delta P_f = f \frac{h}{D_h} \frac{\rho v^2}{2} [Pa] \quad \text{식 (5)}$$

여기서, f; 마찰계수, D<sub>h</sub>; 수력반경

그래서 기존 연구[6]에서는 연속되는 직렬개구부로 보는 것을 제안하고 있는데, 사례를 들어 계단실 구조가 한 개 층에 계단부분 직상에 1.35×2.3=3.1 m<sup>2</sup>의 개구부가 2개씩 있는 층간 높이가 3 m인 40층 건축물이라면, 1층에서 40층까지에는 개구부 수가 80개가 직렬구조로 있어

유효유동면적( $A_e$ )을 식(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$A_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{3.1^2} \times 80\right)^{0.5}} = 0.347 \text{ m}^2 \quad \text{식 (6)}$$

그런데 이 건축물 계단실(높이 120 m)의 내부기온이 10 °C, 외부기온이 0 °C인 경우에 10°C 실내공기의 밀도는

$$\rho = 353/283 = 1.24 \text{ (kg/m}^3\text{)},$$

상쇄해야 할 기압(굴뚝효과에 의한 상승기압);

$$\Delta P = 3,460 \left( \frac{1}{273} - \frac{1}{283} \right) \times 120 = 53.7 \text{ Pa}$$

위 40층 120 m 계단실을 흐르는 데 차압 53.7 Pa이 발생할 수 있는 공기 유량은 식(7)과 같이 계산할 수 있다.

$$q = C A_e \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = 0.64 \times 0.347 \sqrt{\frac{2 \times 53.7}{1.24}} = 2.07 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{식 (7)}$$

즉, 이 유량이 계단실 상승기류를 이룰 경우에 53.7 Pa의 굴뚝효과차압을 제거할 수가 있다는 것이다. 다시 말하여 계단실 상부와 하부의 기압차이가 80 Pa인 경우에는 이 유량의 상승기류가 있으면 즉시 53.7 Pa의 굴뚝효과가 상쇄되어 40층은 80-53.7=26.7 Pa로 될 것이다.

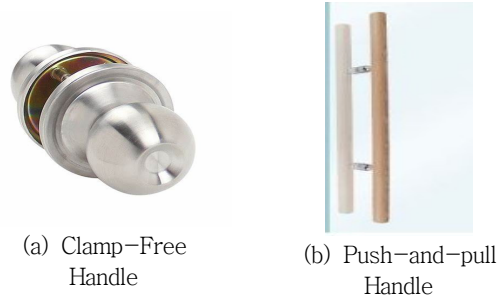
### 2.3.2 계단실의 과압 방지

#### 2.3.2.1 피난층 출입문의 릴리프 도어(Relief Door) 화

급기송풍기 축류팬(①)을 정속 연속운전 한다면 피난인이 없어 외부출입문의 개방이 없는 때에는 체절운전에 가까워져 계단실에 큰 기압이 형성될 수 있어 계단실 과압방지가 필요하다.

이것은 계단실의 과한 기압에 의해 피난층 출입문(⑤)이 자동으로 개방되도록 하면 계단실 과압을 방지할 수 있을 것이다. 다시 말하여 피난층 출입문(⑤)을 배출플랩댐퍼가 되도록 하는 것이다. 이를 ‘DOOR RELIEF’라고 명명할 수 있겠다.

피난층 출입문(⑤)이 릴리프 도어가 되게 하는 방법으로는 [Figure 7]과 같이 현재의 문손잡이의 걸림 기능을 없애거나, 걸림 기능이 없는 문손잡이나 밀당손잡이로 교체하게 되면 릴리프 도어화가 된다고 볼 수 있다. 이 방법은 캐나다 건축법규에서 권장하고 있다는 ‘정풍량 급기와 외부출입문이 자동으로 열리는 계단실’이라 할 수 있겠다.[9]



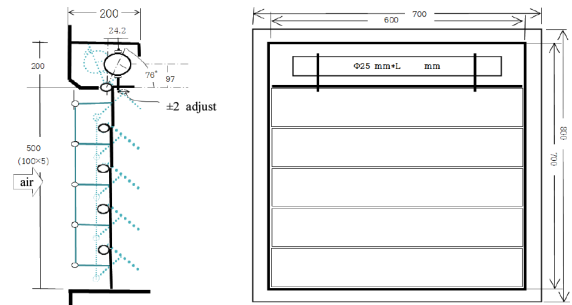
[Figure 7] Relief Doors

#### 2.3.2.2 계단실에 배출 플랩 댐퍼 설치

또 다른 방식으로 <그림 8>의 플랩댐퍼(②) 3개를 또는 3개에 상당하는 큰 플랩댐퍼를 저층부에 설치할 수 있다. 그렇게 하면 고층부 것 포함 4개의 플랩댐퍼(②; 유효개구면적 1 m<sup>2</sup>)가 5m<sup>3</sup>/s의 풍량을 모두 배출한다고 보면 그때의 계단실 기압은 36.5 Pa 수준으로 형성될 것이다. 그 계산근거는 식(8)과 같다.

$$Q = 0.827 A \sqrt{p} \text{ 에서}$$

$$p = \left( \frac{Q}{0.827 A} \right)^2 = \left( \frac{5}{0.827 \times 1} \right)^2 = 36.5 \text{ Pa} \quad \text{식 (8)}$$



[Figure 8] Overpressure Exhaust Flam Dampers Design Chart

### 2.3.3 계단실 출입문의 자동폐쇄장치 불필요

부속실과 계단실 간의 방화문은 제연구역 출입문이 아니라 제연구역 간(間)의 출입문이 되어 자동폐쇄장치의 설치가 제연 목적에서는 불필요할 것이다. 또한, 부속실 및 계단실 겸용 제연방식을 설치할 때, 옥내 전 층에 스프링클러설비가 설치되어 있으면 12.5 Pa 이상의 기압이면 되므로 이 경우에는 부속실 계단실 동시제연 조건이 되게 부속실·계단실 기압을 30 Pa 정도의 같은 기압설정으로 하는 것이 바람직할 것이다. 그렇게 되면 계단실 및 부속실이 공동제연구역화 되므로 부속실과 계단실 사이의 출입문이 없어도 제연에는 지장이 없을 것이다. 따라서 설치

된 계단실출입문은 차압이 거의 없기 때문에 자동으로 잘 닫히게 될 것이다. 나아가 자동폐쇄장치가 불필요하다고 말할 수도 있을 것이다.

이상의 사항을 정리하면 <Table 1>와 같다.

<Table 1> Data categories defined

Division	Smokecontrol only vestibule	New smoke control of vestibule and staircase
Outside Door	Unable to open simultaneously	Simultaneous opening is possible
Chimney Effect	Occurrence	Mitigation of Occurrence
Staircase Door	Insufficient automatic closure	Automatic closure is possible

### 2.3.4 부속실 과압 해소

현재 부속실제연에서 부속실 과압방지 방법으로 여러 가지 방법이 적용되고 있다. 첫째, 개별부속실에서 배출하는 방법. 둘째, 송풍기 직후에 복합댐퍼를 설치하여 수직 풍도의 기압을 부속실의 과압 수준으로 그 댐퍼에 의해 조절하는 방법. 셋째, 송풍기에 인버터를 설치하여 수직풍도의 기압을 부속실의 과압 수준으로 조절하는 방법이다. 첫째의 방법은 설치 공사가 어렵다. 둘째의 방법은 송풍기 출구의 기압이 정격기압보다 높아질 우려가 높다. 즉, 송풍기 토출 기압이 정격보다 높으면 풍량이 줄어들게 되므로 풍량 부족 우려가 있다. 셋째의 방법은 송풍기 속도가 줄어들 수가 있다. 즉, 펌프 상사의 법칙에 의거하여 회전수가 줄면 유량이 거기에 비례하여 줄어들게 될 것이므로 좋은 방법이 아니다.

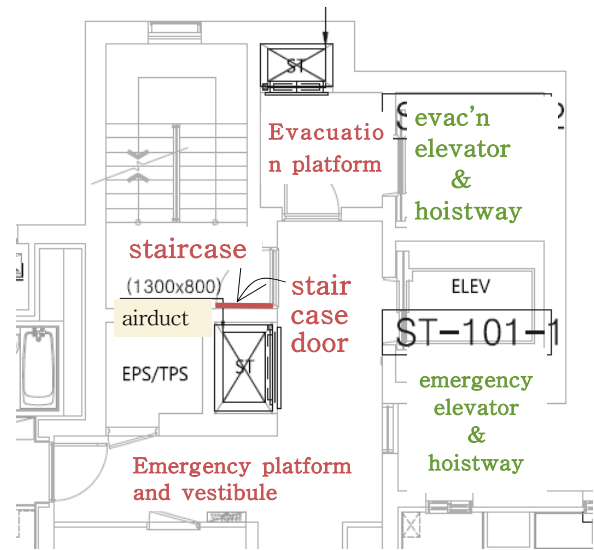
이에 승강기가 있는 부속실이라면 급기송풍기는 정격 상태로 운전하면서 자동차압급기댐퍼에서 누설되는 모든 부속실의 바람을 승강로 문틈으로 승강로에 모아서 외부로 방출해보는 것이 좋을 것이라는 생각에서 다음과 같이 검토하였다. 이 방법은 승강로가 가압되는 것이므로 의외의 승강로에 대한 제연효과가 발휘될 수도 있을 것이다.

#### 2.3.4.1 공동주택 부속실

[Figure 9]과 같이 공동주택의 비상용승강장 겸 부속실 또는 피난용승강장에 대해 살펴본다. 계단실에 대해 전고에 걸쳐 적절한 기압을 형성하는 급기가압을 하는 경우에 비상용승강장과 겸용하는 부속실, 비상용승강장, 피난용승강장 등의 부속실에 대해 승강로를 통한 과압배출 방

법을 검토한다. 여기에는 승강기에 탑승하는 승강로출입구가 있다.

[Figure 10 (a)]와 같이 각 부속실의 누설 공기를 승강로로 모아서 승강기계실로 플랩댐퍼에 의해서 배출하고 다시 외부로 배출하며, [Figure 10 (b)]와 같이 각 부속실의 누설공기를 승강로에 수집하고 이를 다시 풍도를 통하여 계단실로 배출하여 계단실의 배출 댐퍼에 의해 외부로 배출하는 구성도이다. [Figure 10]에서 외기 급기팬의 의미는 승강로에 외기를 불어넣어서 승강로에 생기는 굴뚝효과를 감소시키고자 하는 것으로 역류 방지 기능과 에어 필터 기능을 갖추어 적정기압을 유지하도록 하는 것을 권장한다.

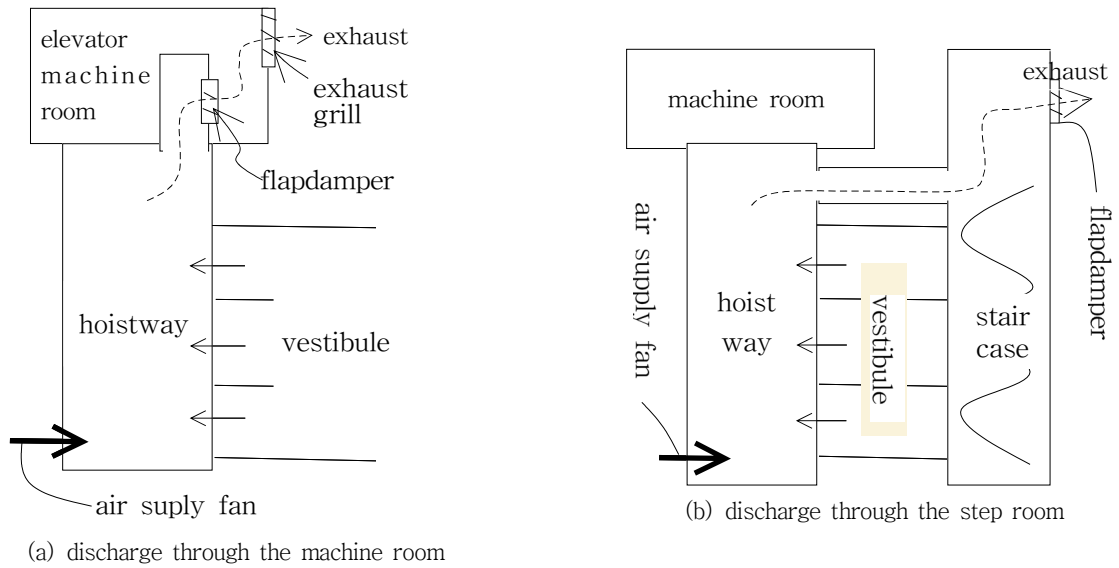


[Figure 9] Evacuation platform layout

#### 2.3.4.2 업무용고층건물 부속실

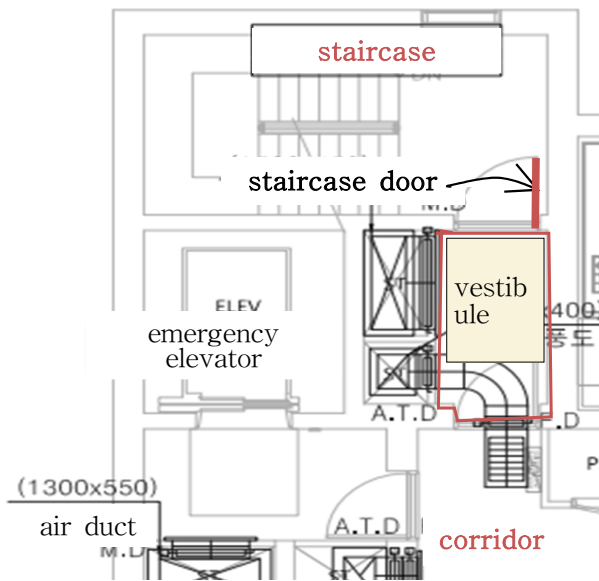
업무용고층건물 부속실은 계단실 출입문에 일반 도어 클로저를 설치하고 계단실로 도어 릴리프, 다시 계단실에서 외부로 도어 릴리프 하는 방법, 계단실 출입문에 일반 도어 클로저로 도어 릴리프하고 계단실은 플랩댐퍼로 배출하는 방법, 계단실 출입문에 일반도어 클로저로 도어릴리프하고 자동차압급기팬을 사용하는 방법, 마지막으로 계단실 출입문에 자동폐쇄장치를 설치했을 때 각 부속실에서 플랩댐퍼로 배출하는 방법이 있다.

첫째, 계단실출입문에 일반도어클로저를 설치하고 계단실로 도어릴리프, 다시 계단실에서 외부로 도어릴리프 하는 방법은 부속실 단독 제연에 계단실 제연을 추가하는 것이 신(新)부속실 및 계단실 겸용 제연방식으로 인정되고, 부속실 설정 기압과 계단실 설정 기압이 동일한 경우에는 계단실 출입문은 제연구역간의 출입문이 되어 자동폐쇄장치를 설치하지 않고 일반 도어클로저를 설치할 수 있을 것



[Figure 10] Overpressure discharge through the elevating path

이다. 이 경우의 [Figure 11] 과 같이 부속실-계단실출입문의 도어릴리프화에 의한 과압배출을 검토해 본다.



[Figure 11] Staircase, annex, emergency platform and evacuation platform layout

<Table 2>에서 도어클로저 2호를 적용하는 것으로 할 때 개방에 필요한 모멘트가 32 N·m 이하이다. 이 문이 열리려면 [Figure 12]에서 문을 열려고 하는 모멘트  $\Delta P \times wh \times w/2$ 가 도어클로저의 개방시의 모멘트 32 N·m 보다 커야 한다. 이를 식으로 표현하면 식(9)와 같다.

$$\Delta P \times wh \times w/2 > 32 \text{ N} \cdot \text{m}$$

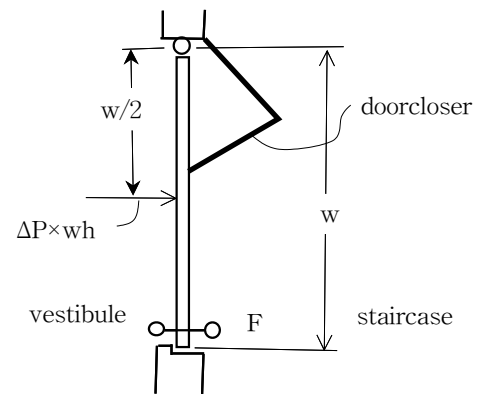
$$\rightarrow \Delta P \times 0.9 \times 2 \times 0.9/2 > 32 \rightarrow \Delta P > 39.5 \text{ Pa}$$

식 (9)

즉, 부속실 기압이 계단실보다 39.5 Pa 높아야 계단실문이 열리기 시작한다.

같은 개념으로 계단실 피난층출입문에 일반도어클로저 2호를 설치한다면 계단실 기압이 외부보다 39.5 Pa 높아야 열리기 시작한다. 다시 말하여 부속실 기압은 외부보다 89 Pa 높아야 도어릴리프가 된다.

이는 73.2 Pa을 초과하는 과압이다. 이 방법은 기준치를 넘어 옳지 않는 방법이다.



[Figure 12] Description of the relationship between differential pressure and door closure

<Table 2> KS F4505 Door Closures 1,2,3 force to open and close

Title	Power of opening up	Closing force
1	22.0 or less	7.0 or higher
2	32.0 or less	10.0 or higher
3	60.0 or less	17.0 or higher

둘째, 계단실출입문에 일반도어클로저로 도어릴리프하



고 계단실은 플랩댐퍼로 배출하는 방법은 식 (5)에서 일반 도어클로저를 사용하는 경우에 부속실-계단실 사이의 차압 39.5 Pa 이하가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그렇다면 부속실이 73.2 Pa 이하가 되게 하려면 계단실의 기압은 33.7 Pa 이하가 되면 된다. 계단실 기압을 이렇게 유지하려면 계단실의 과압 배출을 도어릴리프에 의하지 않고 유효 개구면적 0.75m<sup>2</sup>의 배출 플랩댐퍼를 추가 설치하면 36.5 Pa이 되어 33.7 Pa을 초과한다. 배출 플랩댐퍼 1개 추가하여 유효 개구면적을 1.25 m<sup>2</sup> 로 하면 다음 계산과 같이 23 Pa 이상의 계단실 기압으로 관리할 수 있을 것이다.

$$p = \left(\frac{Q}{0.827A}\right)^2 = \left(\frac{5}{0.827 \times 1.25}\right)^2 = 23 \text{ Pa}$$

플랩댐퍼의 기압설정을 30 Pa 수준의 기압으로 조정한다면 여기에 도어릴리프 기압 39.5 Pa을 보태어 부속실 기압을 69.5 Pa 수준으로 관리할 수 있을 것이라는 계산이 된다.

셋째, 계단실출입문에 일반도어클로저로 도어릴리프하고 계단실은 자동차압급기팬 사용하는 방법은 첫 번째와 두 번째 방식과 같이 부속실에서 계단실로는 일반 도어클로저를 사용하여 도어릴리프하고 계단실의 과압 없는 적정 기압조절을 위해 기압 감지에 의해 전자적인 방법(예: 인버터)으로 급기팬이 운전되도록 할 수도 있다. 하지만 이 방법은 첫 번째와 두 번째 방식에 비해 시간지연, 송풍 기회전수 감소에 따른 급기 풍량 감소, 유지관리 어려움 등의 측면에서 바람직하지 않은 방법이라고 할 수 있다.

마지막으로 계단실-부속실 출입문에 이미 자동폐쇄장치가 설치되어 있거나 일반 도어클로저 설치를 허용하지 않는 경우도 있을 수 있다.

오피스텔 등 업무용 고층건축물의 경우에는 부속실과 비상용승강장이 구획되어 있다. 즉, 공동주택이 아닌 고층 건축물 부속실에는 승강기가 없고 유입공기배출풍도가 있는 곳이 많다. 여기서는 각 부속실마다 조그마한 과압배출 플랩댐퍼를 유입공기배출풍도에 부착하는 것이 용이할 것이다. 그것이 안 되는 경우에는 계단실이나 복도, 거실, 승강로 등으로 과압배출을 할 수 있을 것이다.

### 3. 결론

이 연구는 기존 부속실 단독 제연방식에 적용하여 계단실에서 발생할 수 있는 굴뚝효과 경감시키고 외부 출입문을 개방해도 제연에 지장이 없도록 하는 신(新)부속실 및 계단실 공동 제연방식을 제시한다는데 의의가 있다.

1) 부속실의 양 출입문과 외부출입문의 동시 개방을 부

속실단독제연 방식에서는 부속실 급기가 외부로 유실되기 때문에 고려할 수 없지만, 신(新)부속실 및 계단실 공동제연 방식에서는 계단실 기압이 부속실 급기의 유출을 방지하기 때문에 가능하게 할 것이다.

2) 부속실단독제연 방식에는 계단실의 굴뚝효과에 대응할 아무런 수단이 없지만, 신(新)부속실 및 계단실 공동제연방식은 계단실 상승기류형성 방법에 의해 굴뚝효과를 경감시켜 음압이 생기지 않게 함으로써 계단실에 연기를 흡인하지 않게 할 것이다.

3) 계단실출입문의 경우 부속실단독제연방식에서는 계단실피난 후 자동폐쇄장치에 의하여 자동으로 닫혀야 하지만 잘 되지 않는 경우가 발생하고 있다. 하지만 본안 공동제연방식에서는 부속실과 계단실의 기압 차이가 거의 없는 수준으로 제연하기 때문에 자동 폐쇄에 전혀 문제가 없을 것이다. 또한 기압 차이가 없는 수준이라는 것은 부속실과 계단실을 공동제연구역으로 볼 수 있어 계단실출입문이 불필요하다고도 할 수 있다. 이것은 건축구조 측면에서 장기적인 고찰이 필요하다고도 할 수 있다.

4) 현재 주로 사용하고 있는 인버터에 의한 급기송풍기의 속도를 줄이거나 송풍기 출구에서 압력손실을 일으키는 복합댐퍼를 쓰는 방식은 급기풍량을 줄이는 악영향이 있을 가능성이 높으므로, 과압 원인인 자동차압댐퍼의 누설량을 엘리베이터승강로에 모아서 큰 배출플랩댐퍼에 의해 일괄 배출하는 방식으로 해보는 것이 좋을 것 같다는 새로운 방안을 제시하였다. 이 방법은 승강로에 대해 연기의 침입을 막는 의외의 효과도 기대할 수 있다.

이 연구는 부속실 단독제연방식의 문제점을 보완하기 위하여 간이 계단실제연을 추가하는 신(新)부속실 및 계단실 공동제연방식을 제안하고 있다. 후속 연구로 실험을 통해 이 연구의 결과를 입증하기를 기대한다.

### 4. References

- [1] J. S. An, S. W. Kim, S. R. Kim, S. W. Hong(2011), "A Study on Air-supply Flow Rate Setup for Pressurization System of Stair Vestibule of High-Rise Building under Consideration of Stack Effect." J. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2011(7):741-743.
- [2] J. He, X. Huang, X. Ning, T. Zhou, J. Wang, R. Yuen(2020), "Stairwell smoke transport in a full-scale high-rise building: Influence of opening location." Fire Safety Journal, 117:1-13.

- [3] Y. K. Kim(2020), "Proposal of Air Supply Smoke Control System about Stair-case Considering Stack Effect & Opening of the Outside Door." Fire Sci. Eng, 34(5):130-137.
- [4] D. M. Lee(2017), Smelting Engineering, Donghwa technology, pp.303-316.
- [5] D. M. Lee(2017), Smelting Engineering, Donghwa technology, pp.306-307.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Performance standards for fire doors" (KS F 2846)
- [7] National Fire Agency(2022), National Safety Performance Code of Staircase and Annex smoke control facilities for Special Evacuation Staircase 501A (NFPC 501A)
- [8] S. H. Ryu, S. K. Lee, D. H. Hong, M. O. Yoon, K. R. Choi, J. H. Park(2010), "Experimental Study on Features of Air Egress Velocity in Vestibule Pressurization System." J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng, 24(5):79-86.
- [9] P. S. Shin, H. S. Kim(2015), "The Experimental Study on the Leakage of Automatic Pressure Differential · Overpressure Control Dampers." Fire Sci. Eng., 29(6):71-75.
- [10] W. Lei, Z. Zheng, C. Rong, C. Tai, S. Zhao, A. Li(2022), "Study on fire smoke control in evacuation passageways on the top floor of an atrium involving breathing zones combines with underfloor makeup air supplementation." Safety Science, 153:1-15.

## 저자 소개



### 김 용 광

학위/자격 : 기계공학사/소방기술사  
 경력 : 공장건설 25년(㈜오룡 20년, ㈜화승 인더 5년), 대구보건대 외래교수출강 8년(제연 설비 · 전산배관), 소방설계감리 16년.  
 관심분야 : 제연설비 · 수리계산 · 성능위주설 계 등  
 YouTube : ykkim소방기술산책 운영 중



### 김 서 영

학위 : 우석대학교 소방 · 안전공학과 박사수료  
 관심분야 : 화재시뮬레이션, 제연설비, 소방전 기, 소방기계, 전기차 화재 등



### 손 주 달

학위/자격 : 공학박사/위험물기능장  
 경력 : (주)유원티이씨대표, (사)한국위험물안전 협회회장, 계명문화대학교 소방안전환경과겸 임교수, 대구가톨릭대학교 외래산학협력교수, 행정안전부 안전전문강사, ISO45001 안전보 건경영시스템 국제선임심사원  
 관심분야 : 위험물안전관리, 제연설비 · 수계소 화설비 등



### 공 하 성

학위 : 공학 박사  
 경력 : 대한안전경영과학회 편집위원, 한국화 재소방학회 평의원 역임  
 관심분야 : 소방전기, 소방기계, 화재피난시물 레이선 등  
 근무지 : 우석대학교 소방방재학과 부교