가압방식에 따른 승강기용 제연설비의 성능 검토

Performance Analysis of Smoke Control Systems for Elevators based on Pressurization Method

정석환*

Joung, Suckhwan*

Abstract

The pressurization of emergency or evacuation elevator shafts or duct systems during installation is used for smoke control. In this study, the performance of smoke control systems applied to emergency and evacuation elevators were compared and analyzed using the airflow network analysis program CONTAM 3.2. Under the stack effect condition (temperature difference of 30 °C), the differential pressure formed in the vestibule was analyzed by adjusting the air volume by changing the value of the loss coefficient factor of the automatic pressure smoke damper. In the case of the duct pressurization method, the air flow in the lower floor was introduced to the elevator shaft owing to the duct pressure and the airflow in the upper floors was from the elevator shaft out to the elevator lobby. In the case of the elevator shaft pressurization method, the pressurized air passing through vestibule from the elevator shaft created a differential pressure at the fire door of vestibule. To maintain the differential pressure in the lower floor, relatively more relief dampers should be installed in the upper floors as compared to those in the duct pressurization method.

Key words : Smoke Control System, Pressurization Method, Elevator Shaft Pressurization

요 지

본 연구에서는 Air Flow Network 프로그램인 CONTAM 3.2를 활용하여 비상용 및 피난용 승강기에 적용되고 있는 승강로 및 덕트 가압 방식의 연기제어 시스템에 대한 성능을 비교 분석하였다. 연돌 조건(온도차 30 °C)에서 자동차압댐퍼의 손실계수값의 변화를 통해 풍량을 조절하여 부속실에 형성되는 차압을 분석하였다. 덕트 가압방식의 경우 덕트 압력에 의하여 저층부의 공기흐름이 승강로 쪽으로 유입되고 상층부는 승강로 쪽에서 승강장 쪽으로 유출되는 흐름이 형성되었다. 승강로 가압방식의 경우, 가압 공기의 흐름이 승강로에서 부속실을 경유해 부속실 방화문의 차압이 형성되는 기류 흐름을 보였다. 이로 인하여 저층부의 차압을 최저차압 이상으로 유지하는 경우 상층부의 최대차압 초과 발생 층이 많아 덕트 가압방식에 비해 상대적으로 더 많은 상부층에 과압배출 장치를 설치해야 되는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 연기제어시스템, 가압방법, 승강로 가압

1. 서 론

고층건물에서 연기 이동의 원인으로는 연돌효과, 연소가스에 의한 부력 및 팽창력, 바람의 영향, 엘리베이터 이동에 따른 피스톤 효과, 공조설비의 영향 등에 의한 것으로 알려져 있다. Klotz and Milke (2002)는 그 중 가장 중요한 요인

중 하나가 겨울철 실내외의 온도차에 의한 연돌효과로 분석하고 있다.

승강로 가압을 이용한 가압 연기제어 시스템에 대하여 Park and Yoon (2011)은 “고층 공동주택의 승강로가압을 이용한 차압 및 방연풍속에 관한 연구”에서 실험적 방법을 이용하여 가압된 승강로를 통한 피난수단으로서의 가능성

*교신저자, 정회원, 세종사이버대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-2-2204-8619, Fax: +82-2-2204-8650, E-mail: shiner@sjcu.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, Sejong Cyber University

을 확인하였다. Park et al. (2011)은 “계단실 가압과 승강로 가압 제연방식의 성능 비교 연구”에서 계단실 가압에 비해 승강로 가압 방식의 성능이 우수한 것으로 판단하였다. Kim and Lee (2012)는 “고층건축물 샤프트 가압방법에 대한 연구”에서 승강기 문틈을 이용한 간접가압을 통한 승강장문의 차압 형성과 방연풍속 부족 시 자동차압댐퍼를 설치하여 방연풍량이 공급되는 방식을 제안하고 있으며, 최근 승강로 가압 시스템의 기본적인 방식으로 채택되고 있다.

연돌효과로 인한 가압 연기제어 시스템의 영향 분석을 위해 국내에 많이 사용되는 기법은 Network model simulator 인 NIST의 CONTAM S/W이다. 이를 활용하여 Park et al. (2008)은 “엘리베이터 통로 급기가압에 따른 연돌효과 연구”에서 승강로의 가압에 의해 연돌효과는 발생되지 않으나 고층부에 200 Pa 이상의 과압이 발생하여 개폐의 어려움이 있을 것으로 추정하였다. Kim et al. (2012)은 “초고층건축물 샤프트의 수직구획이 연돌효과 및 급기가압 성능에 미치는 영향”에서 초고층 건물에서 연돌효과 저감을 위해 계단과 승강기의 구획 필요성을 제시하였다. 실험적 기법을 적용한 Park et al. (2011)의 연구에서는 연돌조건에서 승강로 가압의 영향까지는 분석되지 못하였다. 실험용 건축물을 대상으로 한 것이 아닌 사용 중인 건축물을 연구대상으로 할 경우 연돌조건을 고려하여 승강로 가압을 평가하는 것은 현실적인 어려움이 있으며, 가압 방식을 변경하여 분석하는 것도 또한 어렵다. 그럼에도 불구하고 연돌조건에서 승강로 가압 연기제어 시스템의 성능평가 필요성은 요구된다.

본 연구에서는 건물 내의 기류 유동해석 관련 연구에 폭넓게 이용되는 CONTAM 3.2를 이용하여 비상용 또는 피난용 승강기에 적용되고 있는 제연설비 방식 중 승강로 및 덕트 가압방식에 대해 연돌조건에서 기류 유동을 비교분석하려 한다. 이를 통해 연돌 조건에서의 가압 방식에 따른 제연설비의 성능을 비교 연구하려 한다.

2. CONTAM 시뮬레이션 조건 및 시나리오

2.1 해석 대상 건물의 개요

해석 대상 건물은 판매시설과 업무시설로 이루어진 복합건축물로 지하 6층 지상 21층이며, 연면적은 약 300,000 m²이며, 그중 21층 높이의 중심동만을 대상으로 하였다. 지하층을 포함한 높이는 120.9 m이고 각 층의 층고는 Table 1과 같다.

지하6층을 제외한 지하층과 지상 1층은 주차 램프를 통하여 외기와 연결되어 있다. 지상 1층의 건물 배치는 Fig. 1과 같다. 분석대상 건축물의 기준층 도면과 CONTAM 시뮬레이션을 위한 구조체는 Fig. 2와 같으며 6개의 가압공간을 갖고 있다. 4개의 계단용 부속실(ST1~ST4)의 가압 방식은 덕트 가압방식이며, 엘리베이터용 EV1과 EV2를 이용하여 성능 분석을 실시하였다.

해석 대상의 Flow path model은 Orifice model을 적용하였

Table 1. Height of Floor

Floor	Height of floor (m)	Floor	Height of floor (m)
21F	4.6	2F	5.9
7~20F	3.6	1F~B1	6.9
6F	3.7	B2	4.4
5F	5.7	B3~B5	3.9
4F	6.1	B6	7.4
3F	6.0

(a) 1st floor plan

(b) 1st floor simulation model

Fig. 1. 1st Floor Plan and Simulation Model

으며, 방화문 틈새 면적을 포함한 주요부의 누설 경로는 Table 2와 같으며, 모든 방화문은 닫힌 상태이다.

계단 부속실의 차압을 형성하기 위한 자동차압댐퍼는 500 × 600 mm이며, 2개의 비상용승강기(EV1, EV2)를 위한 자동차압댐퍼는 1,000 × 300 mm이다. 자동차압댐퍼의 누설 특성은 제조업체 제공 data로 400 Pa에서 5 L/s의 누설량을

(a) Standard floor plan

(b) Simulation model of standard floor

Fig. 2. Standard Floor Plan and Simulation Model

Table 2. Flow Coefficient and Flow Areas

Flow path		Flow Coefficient	Flow Area (m ²)
Door	closed	0.65	0.023
	opened	0.35	2.0
EV	closed	0.65	0.06
Wall		0.65	0.17×10^{-3}
Floor		0.65	0.52×10^{-4}

갖는 것으로 적용하였다.

2.2 해석 시나리오 및 경계조건

연돌효과를 위해 실외온도는 서울지역 1월 평균온도보다 낮은 -10 °C, 실내온도는 20 °C로 하였으며, 외부의 바람 영향은 없는 것으로 하였다. 계단을 포함한 모든 부속실 가압을 위한 급기용 송풍기의 정격은 정압 700 Pa에서 풍량 19,800 CMH이며, 배기용 송풍기의 정격은 정압 490 Pa에서 풍량 9,000 CMH가 공급되는 송풍기를 적용하였다. 시뮬레이션에 입력된 송풍기 특성값은 Fig. 3과 같다.

일반적인 댐퍼는 댐퍼 날개의 개도 각도에 따른 손실계수 변화를 이용해 풍량을 조절할 수 있으며 아래 Eq. (1)과 같이 정의된다.

$$\Delta P = C_o \frac{\rho v^2}{2} [Pa] \quad (1)$$

여기서, ΔP : 압력손실
 C_o : 손실계수
 ρ : 밀도 (kg/m³)
 v : 속도 (m/s)

(a) Supply fan

(b) Exhaust fan

Fig. 3. Performance Curve of Fan

CONTAM 3.2는 모든 관부속류의 손실계수를 적용할 수 있도록 입력 변수를 제공하고 있다. 그 중 단말 fitting류에 해당되는 자동차압댐퍼를 위하여 Terminal Loss Coefficient라는 입력값의 변화를 통해 부속실에 공급되는 풍량을 조절할 수 있다. ASHRAE (2009)에 의하면 버터플라이형 댐퍼의 손실계수는 개도율에 따라 0.04~99,999의 범위이다. 본 연구에 적용된 손실계수의 범위는 CONTAM 3.2에서 제공하는 기본값인 0.125를 최소로 하고 최대값은 성능의 변화가 확인되는 25,000까지로 하였다.

동일한 조건에서 가압방법에 따른 부속실 차압의 형성을 비교하기 위하여 아래와 같이 7단계의 과정으로 시뮬레이션을 진행하였다.

Step 1. 덕트가 설치되지 않은 조건에서 연돌효과에 의해 형성되는 계단실 및 승강로 샤프트와 외기와의 차압 분석

Step 2. 4개의 계단 부속실(ST1~ST4)의 부속실 차압을 자동차압 댐퍼의 손실계수(Loss coefficient)값을 조정하여 각각 50 ± 1 Pa 이내로 설정

Step 3. 4개의 계단 부속실을 동시 가압하여 승강로 가압과

덕트가압의 비교를 위한 초기 조건 설정

- Step 4. Step 3 조건에서 승강로 가압방식으로 EV1을 가압하고, 자동차압댐퍼의 손실계수값을 0.125~25,000 범위에서 변화시켜며 부속실의 차압이 40~60 Pa 이내가 되도록 조정 한 후 부속실 차압과 승강로 샤프트 압력 분석
- Step 5. Step 3의 조건에서 승강로 가압방식으로 EV2을 가압하여 Step 4와 같은 방법으로 부속실과 승강로 샤프트의 압력 분석
- Step 6. Step 3 조건에서 덕트 가압방식으로 EV1을 가압하고, 자동차압댐퍼의 손실계수값을 0.125~25,000 범위에서 변화시켜며 부속실의 차압이 40~60 Pa 이내가 되도록 조정 한 후 부속실 차압과 승강로 샤프트 압력 분석
- Step 7. Step3의 조건에서 덕트가압 방식으로 EV2을 가압하여 Step 6과 같은 방법으로 부속실과 승강로 샤프트의 압력 분석

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 연돌효과에 의한 계단실과 EV샤프트의 차압

Step 1의 결과로서 덕트가 입력되지 않고 누설경로만 입력된 모델링에서 연돌효과에 의해 계단실 및 승강기 샤프트에 형성되는 외부와의 차압은 Fig. 4와 같으며, 중성대는 7층에 형성되었다. 계단실 ST1~ST4 및 승강기용 샤프트 EV1, EV2의 연돌효과에 의한 외기와의 차압은 Fig. 4와 같이 차이를 보이지 않았다.

3.2 계단 부속실 차압

Step 2 단계로 4개 계단(ST1~ST4) 중 각각 하나의 계단 부속실만 가압시키고 모든 층의 차압댐퍼의 손실계수값을 변화시켜 각 층 부속실의 차압이 50 ± 1 Pa의 범위내로 형성되도록 조정하였다. Step 3에서는 Step 2에서 확정된 계단 부속실용 차압댐퍼의 손실계수값을 입력값으로 적용하여 ST1~ST4를 동시에 가압한 상태에서 계단 부속실의 차압 변화를 검토하였다.

그 결과는 Fig. 5와 같으며, 동시 가압에 따른 계단 부속실 차압의 변화는 -6.7~0.8 Pa로 분석되었다.

가장 큰 차압 변화를 보인 층은 지하6층으로 계단에 따라 -3.8~-6.7 Pa의 변화가 있었다. 지하 6층은 주차장 램프를 통한 외기와의 누설경로가 없는 층이다. 외부로의 누설이 적은 층은 배기 흐름의 감소로 부속실 인접 구역의 압력을 증가시켜 차압이 가장 낮게 형성됨을 확인할 수 있었다. 지상2층과 지상 3층의 경우도 동시 가압에 의한 인접 구역의 압력 상승이 차압 감소를 유발하였다. 개별 층의 누설경로에 따라 가압 제연시스템의 동시 작동에 의한 각 부속실의 차압 변동의 영향은 차이가 발생할 수 있는 것으로 분석되었다.

실외 및 실내의 온도를 20 °C로 동일하게 적용하여 연돌에 의한 흐름이 없는 경우, 계단 부속실 동시 가압에 의한 부속실 차압의 변화는 -1.5~0.8 Pa로 분석되었다. 연돌조건(실외 -10 °C 및 실내 20 °C)이 비연돌조건인 경우보다 동시 가압에 의한 각 부속실 차압의 변화가 크게 발생되었다.

3.3 승강로 가압 방식 - 비연돌 조건

승강로 가압방식이 적용된 EV1과 EV2의 기준층 모델은 Fig. 6과 같이 구현하였다.

비연돌 조건(실내 및 실외 온도 20 °C)에서 Step 3에 의해 결정된 입력조건에서 승강로 가압방식을 적용하여 EV1과 EV2를 각각 가압하여 형성되는 승강기 부속실의 차압을 분석하였다(Step 4, 5).

Fig. 4. Differential Pressure in the Stairs and Shaft Due to the Stack Effect

Fig. 5. Differential Pressure of Stair Vestibule in ST1, 2, 3, 4 During Simultaneous Operation of Smoke Control System

부속실의 차압이 50 Pa이 되도록 차압댐퍼의 손실계수 값을 댐퍼 개방 조건인 0.125에서 댐퍼 폐쇄 조건인 25,000까지 변경하면서 각 부속실의 차압을 구현하였다. EV1의 경우, 50 ± 0.5 Pa 이내로 차압 형성이 가능하였다. EV2의 경우, 2F~20F의 부속실 차압은 50 ± 0.5 Pa의 범위 내로 형성 가능하였으나 최상층은 46.6 Pa, 송풍기 접속 인접 층인 B5~1F 층은 50.9~51.5 Pa이 형성되었다.

EV2가 50 ± 0.5 Pa 이내로 구현되지 못한 원인은 최상층과 기타 층의 흐름 경로 차이에 기인한 것으로 분석되었다.

비연돌 조건에서 승강로 가압에 의한 부속실의 차압은 NFSC 501A의 최소차압 40 Pa 이상 및 110 N의 방화문

폐쇄력에 문제가 되지 않는 적정 범위 내로 형성 되는 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 비연돌 조건에서 승강로 가압에 의해 형성된 승강장 부속실의 차압과 승강로 가압 전후의 인접 계단 부속실의 차압을 나타낸다. 승강로 가압에 의한 유동경로의 변화로 인접 계단 부속실의 차압은 Step 3의 초기값에서 증가되는 방향으로 변화 되었으며 변화 값은 Table 3과 같다.

승강로 가압으로 인한 계단 부속실 차압의 증가 원인은 승강로 가압으로 계단 부속실에서 계단실을 통한 유출 풍량이 감소하고 방화문으로의 유출 풍량이 증가 때문으로 분석되었다.

Fig. 6. Elevator Shaft Pressurization Method

Fig. 7. Differential Pressure Change in the Stair Vestibule by Pressurizing Elevator Shaft Without Stack Effect

Table 3. Changes in the Differential Pressure of Stair Vestibule by Pressurizing Elevator Shaft Without Stack Effect

Differential Pressure	ST2		ST3	
	Min	Max	Min	Max
Before EV Pressurization	49.0	50.7	48.6	50.6
After EV Pressurization	56.2	60.6	51.8	59.9

3.4 승강로 가압 방식 - 연돌조건

외기온도 -10 ℃와 실내온도 20 ℃의 연돌조건에서 Step 3에 의해 결정된 입력조건에서 승강로 가압방식을 적용하여 EV1과 EV2를 각각 가압하였다(Step 4, 5). 자동차압댐퍼의 손실계수 값은 비연돌 조건과 동일하게 0.125~25,000의 범위 내로 조정하였다. 40 Pa 이하 층의 자동차압댐퍼 손실계수 값은 0.125로 모두 개방된 상태이고, 50 Pa이 초과된 층의 손실계수 값은 25,000으로 차압댐퍼가 닫힌 상태로 승강로 압력에 의한 누설량만이 유출되는 조건이다.

승강기 부속실 방화문의 차압 범위는 EV1의 경우 -0.3~78.6 Pa의 범위로 형성되었으며, EV2의 경우 -21.0~60.3 Pa의 범위로 형성되었으며 Fig. 8과 같다.

지하 주차장 램프를 통한 외기로의 누설이 없는 지하 6층의 경우 승강로 가압 방식으로는 차압이 형성되지 못하고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 차압이 50 Pa을 넘는 모든 층의 자동차압댐퍼는 모두 닫힌 상태임에도 불구하고 승강

Fig. 8. Differential Pressure of Vestibule in EV1 and EV2 Adopting Shaft Pressurization Method

기 문을 통한 흐름으로 인하여 부속실의 차압이 최대차압인 60 Pa을 넘는 과압이 형성되었다. 모든 층의 승강기 부속실 방화문의 최대 차압과 최소차압의 차($\Delta P_{max} - \Delta P_{min}$)는 EV1의 경우 78.9 Pa, EV2의 경우 81.3 Pa로 건축물의 모든 덕트가 없는 조건(Step 1)에서 연돌에 의해 발생된 61.3 Pa과 71.1 Pa보다 증가하였다. 최대차압과 최소차압의 차는 송풍기 출구 측의 댐퍼를 통해 유량을 증감시켜도 크게 개선되지 못하는 결과를 보였다.

3.5 덕트 가압방식 - 연돌조건

덕트 가압방식이 적용된 EV1과 EV2의 기준층 모델은 Fig. 9와 같다.

승강로 가압방식과 동일한 차압댐퍼의 손실계수 범위 내에서 덕트 가압방식을 적용하여 부속실을 가압하였다. 가압에 의해 형성되는 부속실 차압은 EV1의 경우 40.1~68.1 Pa, EV2의 경우 40.2~61.8 Pa의 범위를 형성되었다. 비연돌 조건에서 EV1과 EV2는 모든 층이 50 ± 0.1 Pa의 범위 내로 차압 형성이 가능하였다. 연돌조건과 비연돌 조건에서의 각 층 차압 분포를 Fig. 10에 나타내었다. 승강로 가압방식과 다르게 지하 6층의 차압이 40 Pa 이상 형성되는 조건에서도 상층부의 최대 차압은 EV1의 경우 68.1 Pa, EV2의 경우 61.8 Pa로 승강로 가압 방식에 비해 현저히 낮게 형성되었다. 최대 차압이 60 Pa 이상 형성되어 플랩댐퍼와 같은 추가적인 과압 방지 장치의 적용이 필요한 부속실은 EV1의 경우 21층, EV2의 경우 20층으로 최상층 1개씩만 발생되었다.

3.6 가압 방식에 따른 EV 샤프트 압력 변화

연돌에 의해 형성된 EV 샤프트의 압력(Step 1)은 가압 방식에 따라 승강로와 외부와의 차압(Step 4~7)에 변화를 초래하였으며 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 EV1-ST와 EV2-ST는 연돌로 인해 형성된 승강기 샤프트와 외기와의 차압이며, EV1-S와 EV1-S는 승강로 가압 방식을 적용했을 경우의 차압이며, EV1-D와 EV1-D는 덕트 가압을 적용했을 때의 차압이다. 연돌효과로 인해 형성된 승강로와

Fig. 9. Duct Pressurization Method

Fig. 10. Differential Pressure of Vestibule in EV1 and EV2 Adopting Duct Pressurization Method

Fig. 11. Pressure Difference Change between Shaft and Outside After Operating Smoke Control Systems

(a) B5 : shaft pressurization method

(b) 15F : shaft pressurization method

(c) B5 : duct pressurization method

(d) 15F : duct pressurization method

Fig. 12. Air Flow According to Pressurization Method

외부와의 차압은 가압에 의해 전체적으로 차압이 상승하는 방향으로 이동되었다.

이는 계단실 가압 등에 의한 압력 변화의 일반적인 형태라 할 수 있다. 승강로 및 덕트 가압 방식에 따른 승강로와 외기와의 차압은 Fig. 11과 같으며, 가압 방식의 변화와 무관하게 동일한 형태를 보였다. 연돌 조건에서 승강로 및 덕트 가압방식에 따른 승강로와 외기와의 최대차압과 최소 차압의 차는 154 ± 1 Pa로 동일하였다. 즉, 가압 방식에 따른 shaft 압력의 차이는 없는 것으로 분석되었다.

승강로와 외부와의 압력 구배가 유사함에도 불구하고

승강로 가압의 경우, 승강로 부속실의 차압은 Fig. 8과 같이 지하층에서 차압이 형성되지 않았다. 덕트 가압의 경우, Fig. 10과 같이 상층부 1개층을 제외한 모든 층에서 40~60 pa의 적정 차압이 형성될 수 있는 것으로 분석되었다.

3.7 가압 방식에 따른 공기 흐름의 변화

승강기 부속실의 공기흐름은 동일한 연돌 및 계단 부속실 가압 조건에서 가압 방식에 따라 변화되었다. 승강로 가압방식의 경우, 지하 6층을 제외한 모든 층에서 승강로에서 부속실로 가압공기 흐름이 형성되었다(Figs. 12(a) and 12(b)). 덕트

방식의 경우 중성대 하부는 부속실에서 승강로 쪽(Fig. 12(c))으로 흐름이 형성되며, 중성대 상부는 승강로에서 부속실(Fig. 12(d))로의 흐름이 형성됨을 확인할 수 있었다.

덕트 가압방식의 공기 흐름은 지하층의 차압이 상승할 경우 부속실 주위의 누설 경로에 따라 EV 샤프트의 공기 흐름 양이 증가하게 되어 상부층의 차압 형성에 영향을 초래하는 것으로 분석되었다. 중성대 상부층의 과압 발생을 억제하기 위해서는 중성대 이하 층의 차압을 관련 기준에 따른 최소차압이 형성되도록 하는 것이 가장 효과적일 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

승강로 가압방식은 승강로에서 부속실로의 공기흐름이 형성되어 30 °C 온도차에 의한 연돌조건에서 건축물의 누설 경로 조건에 따라 지하층의 차압이 형성되지 못할 수 있음을 확인할 수 있었다. 지하층의 차압이 형성되는 조건에서는 중성대 상부의 많은 층에 별도의 과압 방지조치가 필요한 것으로 분석되었다.

EV 부속실의 공기 흐름을 분석하기 하기 위하여 Fig. 13과 같이 부속실을 중심으로 1개 층에 대해 단순화한 모델에 대하여 Sherman (1992)의 중첩의 정리(superposition theorem)를 적용하였다.

Fig. 13. Air Flow in the Vestibule Due to Pressurization

여기서,

- $\dot{m}_s$: 연돌효과에 의해서 발생하는 흐름
- $\dot{m}_{mD}$: 덕트가압에 의해 부속실에 공급되는 흐름
- $\dot{m}_{ms}$: 승강로 가압에 의해 공급되는 흐름
- $\dot{m}_E$: 덕트가압에 의해 EV 문을 통해 누설되는 흐름
- $\dot{m}_D$: 덕트가압에 의해 방화문을 통해 누설되는 흐름
- A_{O1} : EV Shaft에서 외부까지의 층당 등가 누설 면적
- A_{O2} : 층당 외벽과의 누설 면적
- A_E : EV 문 누설 면적
- A_D : 부속실 방화문 누설 면적

연돌효과에 의해 EV Shaft에 형성된 압력에 의해 방화문

을 통해 흐르는 유량 $\dot{m}_s$ 는 Eq. (2)와 같다.

$$\dot{m}_s = CA_{E,D,O2} \sqrt{\frac{2P_s}{\rho}} \quad [kg/s] \quad (2)$$

여기서,

$A_{E,D,O2}$: EV문, 방화문과 외벽의 직렬 경로에 대한 등가누설면적

P_s : 연돌효과로 인해 EV Shaft의 형성되는 압력(게이지압력)

연돌효과와 승강로 가압에 의해 방화문을 통과하는 유량 $\dot{m}_{Ds}$ 은 중첩의 원리에 따라 Eq. (3)과 같다.

$$\dot{m}_{Ds} = CA_{E,D,O2} \sqrt{\frac{2P_s}{\rho}} + \dot{m}_{ms} \quad (3)$$

연돌효과와 덕트 가압에 의해 방화문을 통과하는 유량 $\dot{m}_{DD}$ 은 Eq. (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{DD} &= \dot{m}_s + \dot{m}_D - \dot{m}_E \\ \dot{m}_{DD} &= CA_{E,D,O2} \sqrt{\frac{2P_s}{\rho}} \\ &\quad + \left(\frac{A_{D,O2} - A_{E,O1}}{A_{E,O1} + A_{D,O2}} \right) \dot{m}_{mD} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $A_{D,O2}$ 와 $A_{E,O1}$ 은 방화문과 외벽의 직렬 경로와 EV문과 외벽의 직렬 경로에 대한 등가 누설면적이다.

덕트 가압의 경우 $A_{E,O1} > A_{D,O2}$ 조건이 되면, 덕트 가압에 의해 연돌에 의한 흐름량보다 더 적은 흐름량만이 방화문을 통해 흐를 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 특징으로 승강로 가압 방식에 비해 보다 효과적으로 부속실의 차압을 적정 범위 내로 형성할 수 있는 것으로 분석된다.

4. 결 론

지하 6층 지상 21층 규모로 계단실 부속실 4개와 승강기 부속실 2개로 구성된 건축물에 대한 승강로 및 덕트 가압방식의 연기제어 시스템을 온도차 30 °C 조건에서 CONTAM 3.2를 이용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 동일한 누설 경로 조건에서 승강로 가압방식에 대하여 비연돌 조건과 연돌조건(온도차 30 °C)에서 부속실의 차압을 비교한 결과 비연돌조건에서는 50 ± 0.5 Pa 이내로 NFSC 501 A의 기준 차압 형성이 가능하였으나, 연돌조건에서는 승강기 문 틈새를 통한 흐름으로 인하여 EV1의 경우 -2.8~86.2 Pa, EV2의 경우 -21.0~60.3 Pa로 기준 차압 이내로 형성되지 않았다.
- 연돌조건에서 중성대 하부인 지하층의 흐름을 비교

분석한 결과 승강로 가압의 경우, 연돌효과에 의해 형성되는 기류로 인하여 승강로에서 부속실로의 흐름이 작아지게 되어 부속실 방화문의 차압을 형성하지 못하였다. 그러나 덕트 가압의 경우, 댐퍼에서 유출된 가압 공기가 부속실 방화문과 승강기 문으로 분할되는 흐름이 형성되었으며, 그 결과 부속실과 복도와의 차압이 형성되는 것으로 분석되었다. 또한 승강로로 유입된 가압 공기 흐름은 중성대 상부의 차압에 영향을 초래하는 것으로 분석되었다.

- 연돌조건에서 승강로 가압의 경우 부속실과 복도간의 차압이 EV1의 경우 -2.8~86.2 Pa, EV2의 경우 -21.0~60.3 Pa이 형성되었다. 지하층의 최소 차압을 40 Pa로 상승할 경우 지상 모든 층의 차압이 60 Pa을 초과하는 과압이 발생되어 플랩댐퍼와 같은 별도의 과압 방지장치가 필요할 것으로 분석되었다.
- 연돌조건에서 덕트 가압방식의 경우 부속실과 복도간의 차압이 EV1의 경우 40~68.1 Pa, EV2의 경우 40~61.8 Pa의 형성되어 최상층 1개 층만이 60 Pa을 초과하여 승강로 가압 방식에 더 적은 층에만 별도의 과압 방지장치가 필요한 것으로 분석되었다.

본 연구는 특정 대상물에 대한 연돌조건에서 가압방식의 변화에 따른 제연 성능 변화를 분석한 결과로서 향후 누설경로 등을 표준화한 모델링과 실측 분석 결과를 토대로 한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

ASHRAE. (2009). *2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., USA.

Kim, B.K., Kim, H.J., Yeo, Y.J., Leem, C.H., and Park,

Y.H. (2012). The Influence of Zoning at Shafts of Super-tall Buildings on the Stack Effect and Stairwell Pressurization. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 92-98.

Kim, J.S., and Lee, U.P. (2012). A Study on the Shaft Pressurization Methods in the Tall Buildings. *Proceedings of 2012 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 89-92.

Klote, J.H., and Milke, J.A. (2002). *Principle of Smoke Management*. ASHRAE, & SFPE, USA.

Park, K.H., and Yoon, M.O. (2011). A Study for Pressure Difference and Critical Velocity by Pressurization of Elevator Shaft at High Rise Apartment. *Fire Science and Engineering*, Vol. 25, No. 4, pp. 89-93.

Park, K.H., Hyun, S.S., and Yoon, M.O. (2011). Comparative Study on Stair verses Elevator Shaft Pressurization for Fire Smoke Control. *Journal of Disaster Management*, Vol. 11, No. 5, pp. 17-23.

Park, Y.H., Kim, B.Y., Kwon, T.J., and Ma, J.I. (2008). Stack Effect in a High-rise Building with The Pressurization of the Elevator Chute. *Proceedings of 2012 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 173-177.

Sherman, M.H. (1992). Superposition in Infiltration Modeling. *Indoor Air*, Vol. 2, Issue 2, pp. 101-114.

Received	March 9, 2021
Revised	March 10, 2021
Accepted	May 31, 2021