

[Research Paper]

승강로 가압 제연설비의 설계개선에 관한 연구

김일영[†] · 김경진^{*} · 홍지환^{*} · 권창희^{**} · 유철권^{***}

(주)에스엔에프시스템 부사장, ^{*}한세대학교 대학원 산업안전학과 대학원생, ^{**}한세대학교 대학원 산업안전학과 교수,
^{***}(주)서원기술 품질 경영 본부장

A Study on Design Improvement for Smoke-Control System Using the Pressurization of the Elevator Shaft

Il-Young Kim[†] · Kyung-Jin Kim^{*} · Ji-Hwan Hong^{*} · Chang-Hee Kwon^{**} · Chul-Kwon Yoo^{***}

Vice President, SNF System Co. Ltd, ^{*}Graduate Student, Dept. of Industrial Safety, Graduate School, Hansei Univ.,
^{**}Professor, Dept. of Industrial Safety, Graduate School, Hansei Univ., ^{***}Quality Management Headquarter, SeoWon Technology Co. Ltd

(Received October 5, 2018; Revised October 30, 2018; Accepted June 17, 2019)

요 약

승강로 가압방식은 미국에서 1972년에 시작된 방식으로 화재 시 피난 계단을 이용하기 곤란한 노약자등 피난 약자가 승강기를 이용하여 피난할 수 있도록 개발한 방식이며 수직덕트를 사용하지 않음으로서 공간 절약적인 측면에서 이점이 있다. 본 연구는 기존 국내 특허에 근거한 승강로 가압방식의 문제점을 도출하고 이에 대한 개선사항을 제안하였다. 풍량 계산 방법은 수직모델링을 제안하였다. 엘리베이터 출입문의 누설틈새는 실험데이터나 실측데이터를 통하여 재검토가 필요하다. 피난층을 구획하고 엘리베이터 기계실의 개구부를 화재신호에 자동폐쇄하고 릴리프 댐퍼를 설치하여 성능을 개선하였다. 개선된 방식은 자동차압댐퍼가 차압유지보다는 방연풍속을 공급하는 기능을 수행한다. 연구 결과의 신뢰성을 높이기 위해 Contam을 이용하여 검증하는 절차를 수행하였다.

ABSTRACT

In the U.S., the pressurization of elevator shaft was developed in 1972 to allow vulnerable people, such as the elderly and weak who could not use escape stairs in case of fire, to evacuate. It is an advantage in terms of space saving by not using vertical ducts. This study drew the problem of the pressurization of elevator shaft based on the existing domestic patents and proposed improvements. The smoke control volume calculation method is proposed by using vertical modeling. Leakage gaps in elevator doors need to be reviewed through experimental data or actual data. The evacuation floor was divided, the openings in the elevator machine room were automatically closed to the fire signal and the relief damper was installed to improve the performance. The improved method functions as the smoke control damper supplying the air flow rather than maintaining the differential pressure. To increase reliability of the research results, the procedure was performed to verify by using Contam.

Keywords : Pressurization, Smoke control, Elevator shaft, Contam.

1. 서 론

건축물의 고층화가 증가되고 있으며 제연설비가 설치되어야 하는 대상도 증가 추세다⁽¹⁾.

공용부 면적의 활용도 증가를 위하여 승강로 가압방식을 적용하는 현장이 한국토지주택공사 및 대형건설사 위주

로 증가하고 있다.

덕트대신 승강로를 급기가압 경로로 사용한 것은 1972년에 미국에서 N. A. Koplون이 특허(U. S. PAT. No 3817161)를 출원한 시스템이다⁽²⁾. J. H. Klote는 1982년에 화재시 계단을 이용한 피난이 곤란한 노약자가 승강기를 이용하여 피난할 수 있도록 하자는 제안을 하였다⁽³⁾. 국내에서는 J. H. Park

[†] Corresponding Author, E-Mail: truekim25@gmail.com. TEL: +82-2-598-4273, FAX: +82-2-598-4274

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

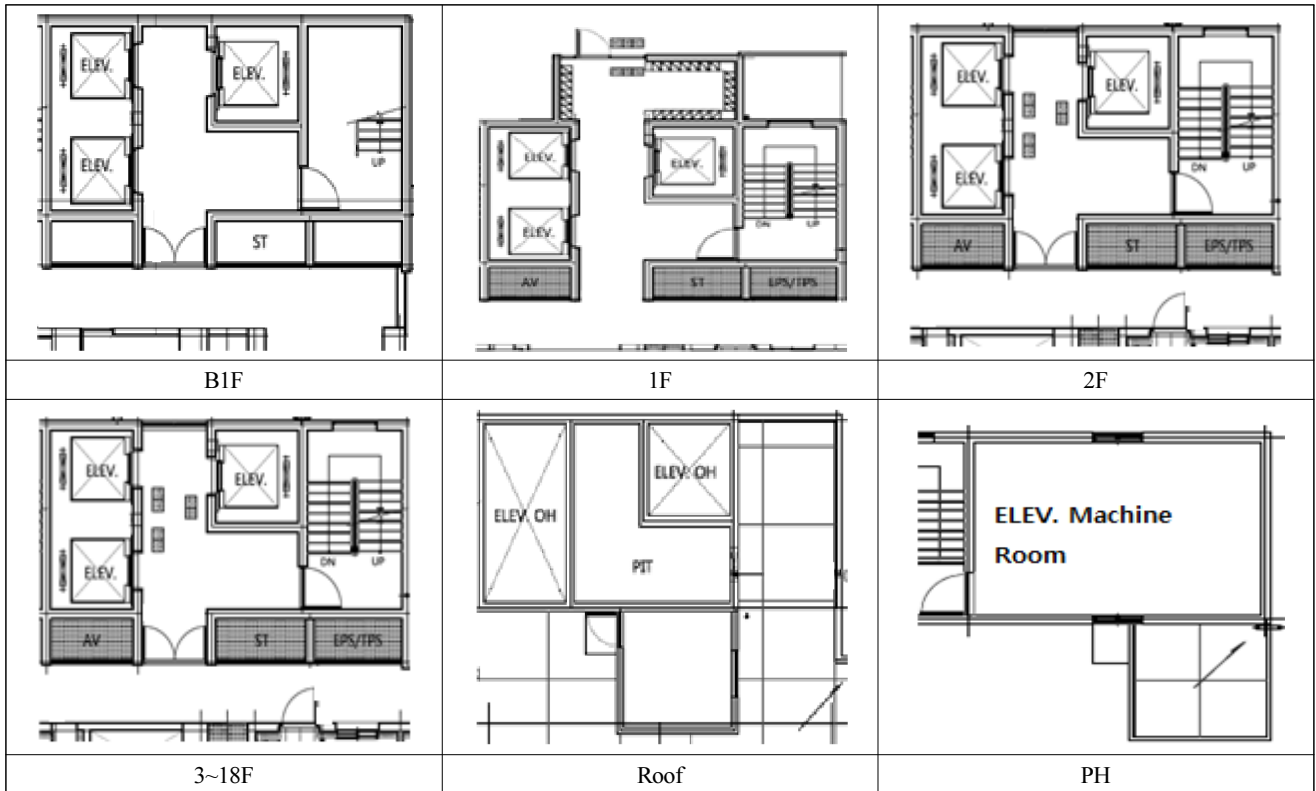


Figure 1. Building drawing.

이 승강로에 급기댐퍼를 부착하여 차압을 유지하는 것을 주목적으로 2001년에 특허를 출원하였다⁽⁴⁾.

승강로 가압방식은 면적활용도에서는 우수하나 승강로와 승강장 사이의 벽체에 자동차압·과압조절형 급기댐퍼(이하 자동차압댐퍼)을 설치하게 됨으로서 평상시 엘리베이터 가동에 따른 피스톤 효과(Piston effect)로 인하여 승강로를 통하여 유동되는 공기가 엘리베이터 문틈 뿐 아니라 차압댐퍼의 날개(Blade)를 통하여 나오면서 소음을 유발하기도 하여 이에 대한 민원이 제기되기도 한다. 화재 시에 비상용 승강기는 피난층으로 호출된 후 엘리베이터 문이 개방되어 소방대가 도착할 때까지 대기상태이다. 비상용 승강기의 승강장은 피난층에서는 구획되지 않은 상태가 흔하다. 피난층 승강장에서 엘리베이터 문이 열린 상태를 있을 때 승강로 가압방식은 제연성능의 만족여부에 대한 의구심이 있어 기존 승강로 가압방식의 설계를 세부적으로 검토해보아야 할 필요성 대두되었다.

본 연구는 연구 대상 건축물에 대한 승강로 가압방식 제연설계에 대한 고찰과 함께 새로운 대안을 제시하고 이를 바탕으로 변경된 엑셀 수식으로 다시 설계를 하고 연구결과와 신뢰성 향상을 위해 Contam⁽⁵⁾을 이용하여 검증을 실시하였다. 본 연구를 통해 궁극적으로 승강로 가압 제연설비의 설계를 개선하여 입주자의 피난안전과 소방관계자의 안전한 소방 활동을 도모하고자 한다.

2. 본 론

2.1 건축물의 정보 및 기존 설계 분석

본 연구의 대상 건축물은 경기도 OO시 OO지구에 있는 공동주택이다.

건축물의 규모는 지하1층 지상 18층으로 건물최고 높이는 51.1 m이며 복도식 아파트이다. Figure 1은 연구의 대상이 되는 OO동 건물의 코어평면도의 일부이다.

각층의 층고는 지하1층은 5.5 m, 1층~17층은 2.8 m, 18층은 2.9 m, 지붕과 옥탑은 2.7 m이다.

본 연구 대상 건축물은 승강로(Elevator shaft)를 가압하는 방식을 적용한 건축물이며 제연급기 계산서를 입수하여 분석한 결과 누설량을 계산하는 근거가 되는 기본 조건에서 문제점을 발견할 수 있었다. Table 1은 누설량 계산을 위한 기본조건이고 Table 2는 누설량을 계산한 것이다.

Table 1을 보면 양여단이문의 단위면적 및 단위시간당 기본누설량이 외여단이 문 기본 누설량의 2배에 달하는 것을 볼 수 있었다. KS기준에 방화문의 차연성능은 차압 25 Pa에서 공기 누설량이 $0.9 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 를 초과하지 않을 것이라고 명시되었다⁽⁶⁾. 양여단이문이라도 문의 단위면적당 최대 누설량은 외여단이문과 동일하므로 2배로 계산된 것은 방화문의 차연성능을 위반한 것이므로 수정토록 한다.

로프구멍의 누설기준 또한 현장의 실제 크기와는 차이가 많음을 볼 수 있다.

Table 1. Design Information

Items	Calculation Basic Leakage	Remarks
Single Swing Door Leakage	0.0212 m ³ /(s.m ²) at 50 Pa	Korea Standard of the Fire Door
Double Swing Door Leakage	0.0424 m ³ /(s.m ²) at 50 Pa	Korea Standard of the Fire Door
Vestibule Window Leakage	0.0024 m ³ /(s.m ²) at 50 Pa	The National Fire Safety Codes
Elevator Door	0.006 m	The National Fire Safety Codes
Slide Door (Auto Gate)	0.005 m	The National Fire Safety Codes
Rope Hole	0.002 m ²	

Table 2. Leakage Calculation Sheet

Items	Door Size (m × m)	Area (m ²)	Unit Air Flow Rate (m ³ /(s.m ²))	Air Flow Rate per Door (m ³ /s)	Number per Floor	Number of Floors	Air Flow Rate (m ³ /s)	Remarks
Vestibule→Corridor	1.8 × 2.2	3.96	0.0424	0.168	1	1	0.168	B1F
Vestibule→Corridor	1.8 × 2.2	3.96	0.0424	0.168	1	17	2.856	2F~18F
Vestibule→Stairwell	1.1 × 2.2	2.42	0.0212	0.0514	1	18	0.9252	All Floor
Vestibule→Window	1.1 × 0.427	0.47	0.0024	0.0012	1	17	0.0204	2F~18F
Elevator Door	1 × 2.2	2.2		0.2246	3	1	0.6738	1F Lobby
Rope Hole		0.002		0.0117	3	1	0.0351	
SUM							4.6785	

0.002 m²의 크기는 정사각형이라고 보더라도 한변의 길이는 0.045 m 정도이고 원형의 크기로 본다면 직경 0.050 m이다. 또한 Table 2를 보면 엘리베이터 1대당 1개소만 계산되었음을 볼 수 있다. 개선된 설계사항에는 0.3 m의 정사각형으로 보고 엘리베이터 1개소당 2개로 계산하였다.

계산서를 보면 계단실을 통한 누설은 계단실의 창문이 모두 열려 있다는 가정을 하였다.

보충량은 양여단이 문이라도 한쪽만 열린다는 것으로 산정하고 방연풍속은 0.7 m/s 로 산정하면 (1)식과 같이 된다.

$$1.98 \text{ m}^2 \times 1 \text{ 개소} \times 0.7 \text{ m/s} = 1.386 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

급기 송풍량은 누설량과 보충량에 15%를 할증하여 (2)식과 같이 된다.

$$Q = (q_1 + q_2) \times 1.15 \quad (2)$$

여기서 q₁은 누설량, q₂는 방연풍속을 유지하기 위해 공급하여야 하는 보충량을 의미한다.

급기 송풍량은 6.9742 m³/s이다. 설계계산서를 보면 Airfoil 7 m³/s, 500 Pa, 5.5 kW (SS #7.0)를 선정하였다.

설계도면을 보면 송풍량의 과압방지 방법으로는 인버터제어를 하고 있었다. 자동차압댐퍼는 0.3 × 1 m를 적용하였다.

2.2 설계 개선 사항

설계개선사항은 Table 3으로 정리하였다.

2.3 풍량계산을 위한 수직모델링 제한

승강장을 중심에 배치하고 건축물의 입면도를 단순모델링을 하면 누설경로 및 누설량, 보충량을 계산하는 과정을 설명하기 쉽다. 본 논문은 이것을 여유주가 제안한 평면모델링⁷⁾과 대비하여 수직모델링이라 칭하였다.

Figure 2는 승강로 가압방식의 누설틈새와 누설량을 계산하기 위한 수직모델링이고 Figure 3은 승강로 가압방식의 보충량을 계산하기 위한 수직모델링이다. Figure 4는 덕트 가압방식의 누설틈새와 누설량을 계산하기 위한 수직모델링이고 Figure 5은 덕트 가압방식의 보충량을 계산하기 위한 수직모델링이다.

승강로 가압 제연설비의 누설량 산정시에 급기되는 승강기의 문틈은 누설경로가 아닌 급기경로이므로 누설틈새면적 계산에 반영할 필요가 없다. 반면 자동차압댐퍼가 설치되지 않은 승강로의 경우는 누설경로이므로 승강기의 문틈이 누설틈새 계산에 반영하여야한다.

승강로를 통한 누설을 계산 시에 엘리베이터 기계실의 창문이 닫힌 경우에는 누설 경로 상에 로프구멍보다 더 작은 창문 등의 누설틈새로 인하여 등가누설면적(누설틈새의 합)이 로프구멍(Rope hole)보다 적게 나오므로 송풍량을 대폭 감소시킬 수 있다.

Table 3. Design Improvements

Items	Original	Improvement
① Double Swing Door Leakage	0.0424 m ³ /(s.m ²) at 50 Pa	0.0212 m ³ /(s.m ²) at 50 Pa
② Rope Hole	0.002 m ² per Elevator	(0.09 m ² × 2 ea) per Elevator
③ Elevator Machine Room Windows	Always Open	Manual Open, Auto Closed on Fire
④ Stairwell Windows	Always Open	Manual Open 1 per 5 floors, Auto Closed on Fire
⑤ 1F Elevator Hall	Non-Smoke Control Zone	Smoke Control Zone
⑥ Pressurization Point	Left (2 set Elevator Shafts)	Right (1 set Elevator Shaft)
⑦ Overpressure Control	Motor Inverter Control	Relief Damper
⑧ Elevator Hall Windows	Open 1 per 5 Floors	Open Each Floor
⑨ Supply Smoke Damper Size	0.3 m × 1 m	0.33 m × 0.52 m
⑩ Supply Duct Size	0.95 m × 0.95 m (Intake) 0.95 m × 0.7 m (Discharge)	0.7 m × 0.7 m (All)

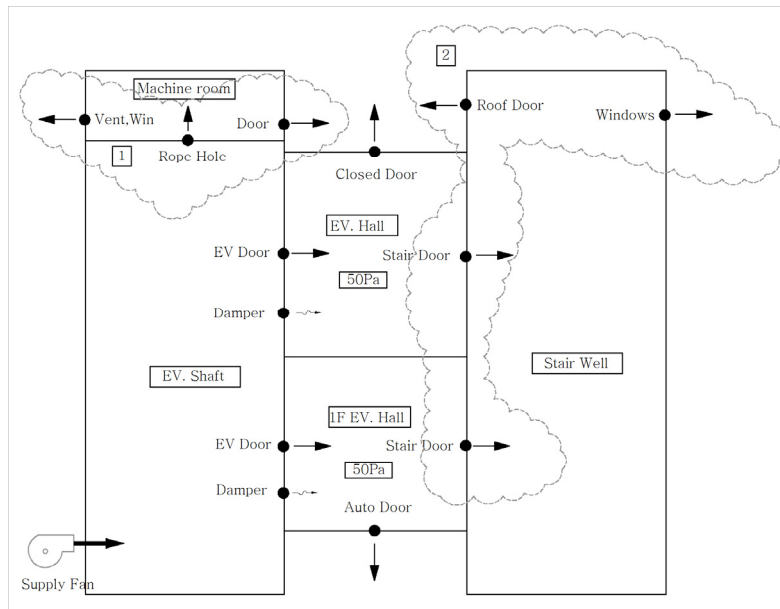


Figure 2. Leakage quantity calculation modeling (using elevator shaft).

Figure 2에서 급기되는 승강로를 통한 누설틈새 계산은 좌측 상부 ①을 보면 2개의 구역(로프구멍과 기계실 창문 등)의 직렬구조로 계산할 수 있다. 계단실을 통한 누설은 우측 상부 ②를 보면 2개의 구역(계단실문틈과 창문 등)의 직렬구조로 계산할 수 있다. 2개의 구역으로 연결된 직렬구조의 누설틈새는 (3)식으로 구할 수 있다.

$$A_e = \left[\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

자동차압댐퍼가 설치되지 않은 승강로를 통한 누설은 엘리베이터 출입문과 로프구멍, 기계실 창문등 3개의 구역으

로 연결된 직렬구조로 누설틈새는 (4)식으로 구할 수 있다.

$$A_e = \left[\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

제연송풍량을 계산할 때 외기 및 실내온도를 20 °C로 할 경우 풍량계산식은 (5)식과 같다.

$$Q = 0.827A\sqrt{P} \quad (5)$$

여기서 Q는 누설량 m³/s, A는 누설틈새의 합 m², P는 차압 Pa을 의미한다.

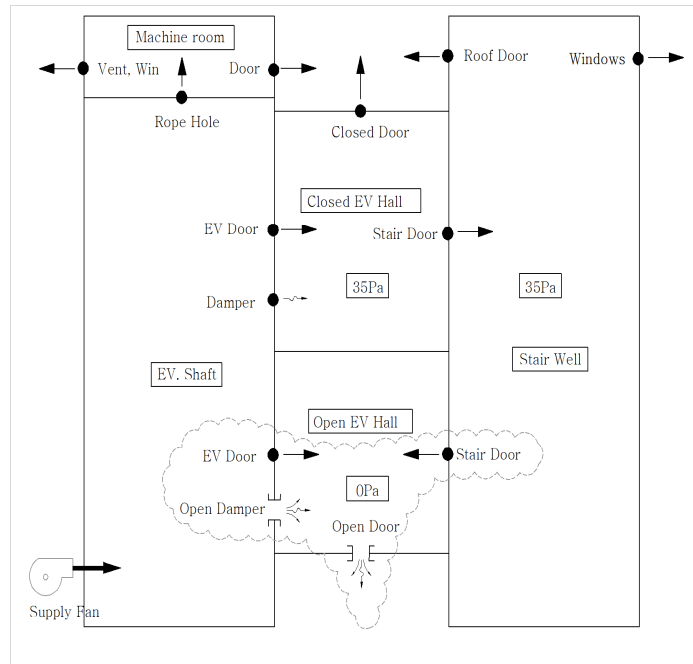


Figure 3. Supplement quantity calculation modeling (using elevator shaft).

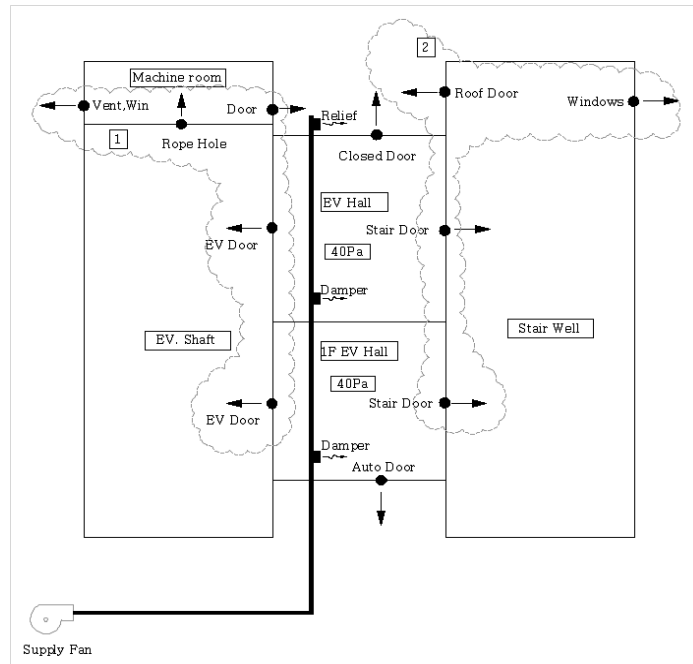


Figure 4. Leakage quantity calculation modeling (using duct).

Figure 3은 승강로 가압방식의 보충량을 계산하기 위한 것으로 비개방층의 차압이 설계 차압(50 Pa)의 70%인 35 Pa이라는 가정으로 계산한다. 방연풍속(예 0.7 m/s)에 해당하는 풍량이 1.386 m³/s라면 계단실 문틈새를 통한 역류 풍량을 뺀 풍량이 열린 댐퍼와 엘리베이터 문틈을 통하여 공급되는 보충량이 된다. 여기서 중요한 점은 열린 댐퍼의 개

구부 크기는 엘리베이터 문틈 만큼을 제외하여 덕트 방식의 경우 보다 작아도 된다.

Figure 4는 덕트를 이용한 급기 방식의 수직모델링이다. 승강로 방식과는 달리 엘리베이터 문틈이 누설경로 이므로 누설틈새 계산은 좌측 상부 ①을 보면 3개의 구역(엘리베이터 문틈과 로프구멍과 기계실 창문등)의 직렬구조로 계

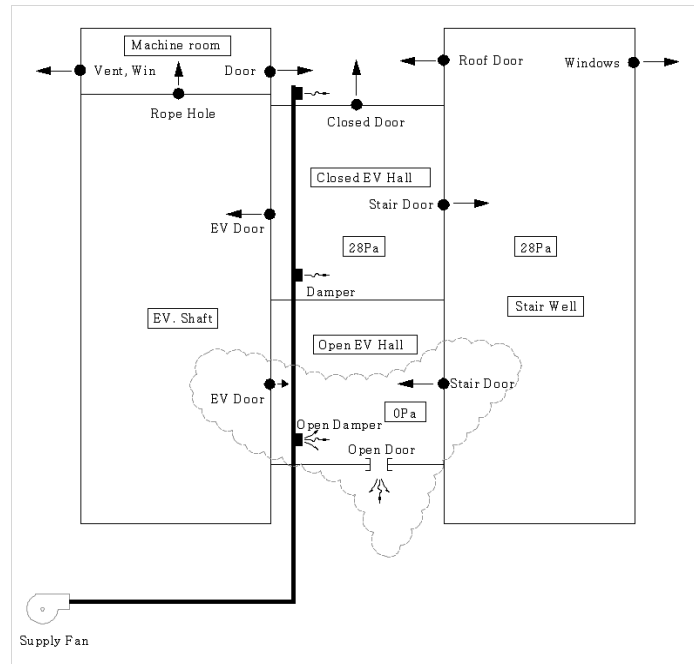


Figure 5. Supplement quantity calculation modeling (using duct).

산할 수 있다. 계단실을 통한 누설은 우측 상부 2]를 보면 2개의 구역(계단실문틈과 창문 등)의 직렬구조로 계산할 수 있다.

Figure 5은 덕트 방식의 보충량을 계산하기 위한 것으로 비개방층의 차압이 설계 차압(40 Pa)의 70%인 28 Pa이라는 가정으로 계산한다. 방연풍속(예 0.7 m/s)에 해당하는 풍량이 1.386 m³/s 라면 계단실 문틈새 및 엘리베이터 문틈을 통한 역류 풍량을 뺀 풍량이 열린 댐퍼를 통하여 공급되는 보충량이 된다.

2.4 승강기 틈새 계산에 대한 고찰

엘리베이터 문틈의 크기를 계산할 때 화재안전기준 NFSC 501A 제12조의 기준식에 의해 산출하였지만 이에 대한 고찰이 필요하다.

틈새의 크기는 통상적으로 틈새의 너비와 길이를 곱한 값이다. 틈새의 길이는 쉽게 알 수 있다. 양쪽에서 열리고 닫히는 슬라이딩 타입이 주를 이루고 있어서 가로 1 m, 높이가 2 m라면 틈새의 길이는 $2 \times 3 + 1 \times 2 = 8$ m이다. 여기에 틈새 너비가 6 mm라면 $8 \times 0.006 = 0.048$ m³이다. 틈새의 너비가 가운데 닫는 부분이 2 mm이고 문설주와 문이 맞닿는 부분이 4 mm라면 $(2 \times 2 + 1 \times 2) \times 0.004 + 2 \times 0.002 = 0.028$ m³이다.

화재안전기준의 기준식에 의해 계산하면 $(8.0/8.0) \times 0.06 = 0.06$ m³ 가 된다.

화재안전기준에서 정하고 있는 틈새의 너비는 역산을 하면 알 수 있다.

$$8 \text{ m} \times d = 0.06 \text{ m}^3 \text{에서 } d = 7.5 \text{ mm가 된다.}$$

승강기 안전검사기준의 별표 1을 보면 엘리베이터 문틈은 6 mm 이하로 가능한 작을 것을 권고하고 있다(8). 화재 안전기준에 의한 계산은 승강기 안전검사기준의 틈새를 반영한다고 판단되지는 않는다.

임현우 등의 연구 결과를 보면 기밀도가 높은 엘리베이터 출입문의 경우 0.01 m³인 경우도 있다(9). 방화용 엘리베이터 문이 이에 해당될 것으로 판단된다.

조재훈의 연구 결과에는 실험을 통해 측정된 결과로서 0.0325 m³인 경우를 발표하였다(10). 일반용 엘리베이터 문에 해당 될 것으로 판단된다.

Table 4는 여러 현장의 엘리베이터 문틈을 실측한 자료이다. 비교적 최근에 준공한 현장(1-3,6)의 경우 틈새의 크기가 0.03~0.04 m³ 이하인 것을 볼 수 있다. 조재훈의 연구결과에 근접한다.

육안으로 식별하기 곤란한 부분은 Door fan test를 통하여 누설틈새를 가늠할 수도 있다.

2.5 피난층 자동문 작동 방법 및 틈새 계산

자동문의 틈새는 제조사에서 제시할 사항이라 판단되지만 설계계산서에 틈새의 너비를 5 mm로 하였고 슬라이딩 도어이고 가로 2 m, 높이가 2.1 m이므로 틈새 면적은 $(2 \times 2 + 2.1 \times 3) \times 0.005 = 0.0515$ m²로 계산할 수 있다.

1층이 지상에 맞닿는 피난층이다. 도면에 표시된 자동문은 스윙도어 및 슬라이딩이 같이 설치된 자동문이다. 피난층의 엘리베이터 홀의 구획이 필요없다면 자동문은 화재신호에 열려있어도 된다. 그러나 당 현장은 승강로 가압방식을 적용하고 있으므로 화재신호에 비상용 승강기가 1층으

Table 4. Elevator Door Leakage Survey

Field List	Manufacture	Door Size (m × m)	Border Gap Width (m)	Center Line Gap With (m)	Leakage Area (m ²)
1	H	0.9 × 2.1	0.005	0.003	0.0363
2	T	1 × 2.2	0.004	0.002	0.03
3	H	0.8 × 2.1	0.006	0.001	0.0369
4	K	1 × 2.1	0.007	0.007	0.0581
5	S	1.1 × 2.1	0.008	0.002	0.0554
6	K	1.0 × 2.0	0.005	0.005	0.04
7	S	1.1 × 2.1	0.008	0.002	0.0554
8	S	1.0 × 2.1	0.007	0.007	0.0581

Table 5. Opening Information

Opening type	Closed Leak (m ²)	Open Area (m ²)	Remark
FSD 11*22	0.0088	2.42	Stair Well
FSD 18*22	0.01437	1.98	Corridor
Auto 20*21	0.0515	2.1	1F Auto Gate
SW 12*4.5	0.0001	0.54	Stair Well Window
EW 8*4.5	0.0006	0.36	Elevator Hall Window
FSD 11*21	0.0084	2.31	Elevator Machine Room
Elev Door 10*22	0.0645	2.2	Elevator Door
Elev Win 12*15	0.0007	0.9	Elevator Machine Room Window
Rope Hole	0.09	0.09	Elevator Rope Hole
Supply damper 3.3*5.2	0.0007	0.1544	Supply Smoke Damper

Table 6. Comparison of Supply Capacity

Item	Equivalent Leakage Area	Leakage Quantity (q_1)	Supplement Quantity (q_2)	Capacity $Q = (q_1 + q_2) * 1.15$
Original	0.802 m ²	4.6785 m ³ /s	1.386 m ³ /s	6.9742 m ³ /s
Improvement	0.3454 m ²	2.02 m ³ /s	1.386 m ³ /s	3.917 m ³ /s

로 호출되어 엘리베이터 출입문이 열려 있다면 다른 층의 차압이 미달되는 상태가 된다. 따라서 엘리베이터 홀을 구획해야 한다. 홀의 구획을 위해 옥외와 연결된 자동문의 경우 방화성능은 없어도 되겠지만 화재신호에 슬라이딩 도어는 닫히고 스윙도어는 일시적으로 열리고 닫히는 기능으로 작동되어야 피난과 제연성능을 만족할 수 있다.

2.6 수직모델링을 이용한 풍량 계산

건축설계도면을 근거로 화재안전기준 및 KS기준을 적용하여 누설틈새를 계산하여 정리한 자료는 Table 5이다. 창문의 경우 비난방구역에 설치한 것이므로 KS기준이 아닌 화재안전기준을 적용하였다.

엘리베이터 문의 틈새도 화재안전기준을 적용하였다.

자동차압댐퍼는 누설등급을 UL555s⁽¹¹⁾의 댐퍼 누설 등급 중 2등급을 적용한 값이며 개구율은 90%이다.

계산의 과정은 1)~6)과 같으며 계산의 요약된 결과는 Table 6과 같다.

2.6.1 급기되는 승강로를 통한 누설틈새

Figure 2에서 네모난 1 부분의 구름무늬 부분이다. 로프 구멍과 창문을 통한 누설을 직렬구조로 계산하면 된다. 건축도면에는 엘리베이터 기계실이 승강기 2대와 1대가 합쳐져 있으나 계산의 편의를 위해 분리되었다고 가정하고 1대가 설치되는 부분은 출입문이 없다고 가정하였다. 따라서 로프구멍 2개와 창문 1개가 직렬구조이다. (3)식에 의해 계산하면 누설틈새는 0.0007이다. 소수점 셋째 자리까지 표현하면 0.001 m²이다.

2.6.2 누설되는 승강로를 통한 누설틈새

Figure 2에서는 표현되지 않지만 누설경로가 3구역이므로

Table 7. Comparison of Design Results Summary

Item	Supply Fan Capacity (m ³ /s)	Supply Duct (mm × mm)	Supply Damper (mm × mm)	Supply Fan Static Pressure (Pa)
Original	6.9742	950 × 950(i) 950 × 700(d)	300 × 1000	500
Improvement	3.917	700 × 700	330 × 520	500

로 (4)식으로 계산할 수 있다. 엘리베이터 문틈38개의 합은 2.451이며 로프구멍 4개의 합은 0.36 엘리베이터 기계실의 창문과 출입문의 합은 0.009이다.

(4)식으로 계산하면 0.008732이다. 소수점 셋째 자리까지 표현하면 0.009 m³이다.

2.6.3 계단실을 통한 누설

Figure 2에서 네모난 2 부분의 구름무늬 부분이다. 계단이 18층까지 밖에 없어 지붕층 출입문은 없으므로 창문을 통한 틈새와 계단실출입문 반영하였다. 계단실 출입문 19개의 누설틈새 합은 0.167이고 창문을 통한 누설틈새는 0.0004이다. (3)식에 의해 계산하면 누설틈새는 0.000399이다. 소수점 넷째 자리까지 표현하면 0.0004 m³이다.

2.6.4 홀을 통한 병렬 누설

1층도 급기가압되므로 자동문 및 복도, 엘리베이터 홀 창문을 통한 누설은 누설틈새를 모두 합치면 된다. 틈새의 합은 0.335 m³이다.

2.6.5 누설풍량(q1)

누설풍량은 (5)식에 의해 계산하면 $0.827 \times (0.0004 + 0.009 + 0.001 + 0.335) \sqrt{50} = 2.02 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

2.6.6 보충량(q2)

보충량 계산시에 Figure 3에서 계단실을 통한 역류 풍량은 없다고 가정하면 방연 풍량이 곧 보충량이 된다. 복도 쪽의 출입문은 양여단이 문이지만 한쪽만 개방하는 것으로 하였다. 방연풍속은 0.7 m/s로 하였다. 따라서 보충량은 $0.7 \times 1.98 = 1.386 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

2.7 변경된 엑셀 수식을 이용한 설계

변경된 엑셀수식에서 송풍량의 계산시 누설량 계산은 창호도를 근거로 하여 출입문 틈새크기는 KS기준의 방화문의 차연성능을 근거로 하여 식 (3)~(5)를 근거로 작성되며 보충량은 역류 풍량이 0이라면 방연풍속에 해당하는 풍량이다.

덕트의 압력손실은 Darcy-weisbach식을 이용했으며⁽⁷⁾ 덕트부속의 압력손실은 ASHRAE에 수록되어 있는 국부손실계수(ζ)를 적용하여 계산하였다⁽¹²⁾.

송풍기의 System effect도 ASHRAE자료가 적용되었다⁽¹²⁾.

자동차압댐퍼, 유입공기 배출댐퍼, 루버의 압력손실은 오리피스 방정식을 적용하였다.

변경된 엑셀수식에서는 덕트의 길이를 입력하면 정압을 계산하고 덕트부속의 국부손실계수(ζ)를 입력하면 풍량에 따라 마찰손실을 계산하여 준다. 승강로 가압방식도 승강로의 크기를 입력하면 승강로를 통한 마찰 손실도 자동으로 계산하고 System effect도 ASHRAE자료가 적용되어 계산한다.

설계 개선사항을 적용하여 변경된 엑셀수식으로 계산한 것을 당초 설계서와 비교하여 Table 7로 정리하였다. 송풍기의 용량변경으로 덕트도 줄었다. 댐퍼의 크기도 줄었다.

2.8 시뮬레이션 실시 및 분석

변경된 엑셀수식을 검증하는 절차는 NIST (미국국립표준기술연구소)에서 개발하여 환기 및 제연용으로 널리 쓰이고 있는 ContamW3.2.0.1을 사용하였다. 개구부의 정보는 Table 5를 참조하였다.

기존 설계는 Contam을 이용하여 건물의 구조 및 제연설비에 해당되는 덕트 및 댐퍼를 입력하였다. 최고 높이가 53 m로 높지 않으므로 겨울철의 연돌효과는 배제하고 설계 기준인 실내 및 실외 20 °C로 시뮬레이션 하였다.

당초 설계된 구조인 1층이 구획이 아니되고 엘리베이터 기계실의 창문이 열린 상태에서 시뮬레이션을 실시하였다. 계단실의 창문의 경우 건축도면을 근거로 5개층 마다 창문용자동폐쇄장치가 설치되어 있으므로 화재신호에 닫히는 것으로 하였다. Figure 6은 Contam에 입력한 각 층의 Sketch이다.

2.8.1 방연풍속 구현 시뮬레이션 비교

당초 설계의 송풍량(6.7942 m³/s)을 입력하고 18층은 차압댐퍼를 100% Open하고 다른 층은 차압 댐퍼의 개구부를 0.02 m²를 Open한 상태로 시뮬레이션 한 것이다. 18층의 방연풍량은 1.895 m³/s (0.957 m/s)를 나타내어 당초 설계의도인 1.386 m³/s (0.7 m/s)을 상회하므로 만족함을 볼 수 있다.

개선된 설계는 1층을 구획하고 자동문도 화재신호에 닫히도록 하고 일시적으로 열리도록 하는 방법으로 개선하고 엘리베이터 기계실에는 슬라이딩용 창문 자동폐쇄장치를 설치하여 화재신호에 닫히도록 하였다. 지붕층의 엘리베이터 기계실 하부 공간에는 Relief damper를 설치하여 과압을 배출토록 하였다.

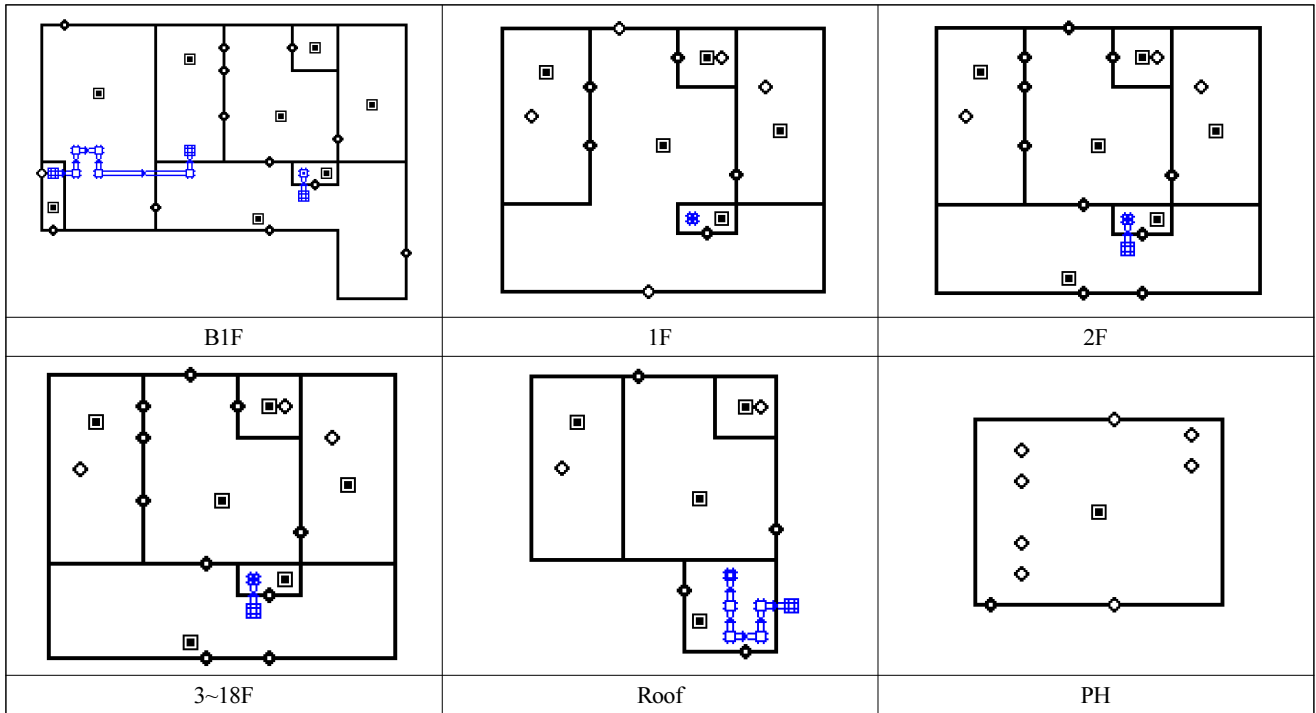


Figure 6. Contam sketch (original).

Table 8. Contam Results (Air Flow Criteria)

Remarks	B1	1F	2F	5F	10F	15F	16F	17F	18F	Relief	PH
Original	40 Pa	0 Pa	37 Pa	37 Pa	37 Pa	38 Pa	38 Pa	38 Pa	0.95 m/s		2.687 m ³ /s
Improvement	61 Pa	56 Pa	47 Pa	47 Pa	47 Pa	47 Pa	47 Pa	47 Pa	0.72 m/s	0.49 m ³ /s	0 m ³ /s

Table 9. Contam Results (Differential Pressure)

Remarks	B1	1F	2F	5F	10F	15F	16F	17F	18F	Relief	PH
Original	43 Pa	0.1 Pa	40 Pa	40 Pa	41 Pa	41 Pa	41 Pa	41 Pa	45 Pa		2.8 m ³ /s
Improvement	63 Pa	58 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	50 Pa	65 Pa	0.92 m ³ /s	0 m ³ /s

또한 급기지점도 좌측 2대가 설치된 승강로가 아닌 우측 1대의 엘리베이터가 설치된 승강로로 이동하였다. 송풍량은 3.917 m³/s을 입력하였다. 당초 설계풍량의 누설 풍량보다도 적은 값이다.

18층을 제외한 전층의 차압댐퍼는 닫힌 상태에서 방연풍량은 1.441 m³/s (0.72 m/s)를 나타내어 당초 설계의도인 1.386 m³/s (0.7 m/s)을 상회하므로 만족함을 볼 수 있다.

비개방층의 차압도 47 Pa을 상회함을 볼 수 있다.

지붕층에는 외기에 면한 벽체에 1m²의 개구부와 함께 루버(Louver)를 설치하여 Relief damper를 통하여 배출되는 풍량이 배출되도록 하였다. Relief damper는 직접 외기에 면하면 겨울철에 눈보라 등으로 결빙될 우려가 있으므로 결빙의 우려가 적은 옥내에 설치토록 하는 것을 권장한다.

개선된 설계는 송풍량의 감소에도 방연풍속과 비개방층

차압이 만족함을 확인할 수 있었다.

2.8.2 설계 차압 유지 시뮬레이션 비교

시스템이 차압만 유지 하는 경우에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 송풍량은 당초 설계계산서의 누설 풍량 4.6785 m³/s에 15% 할증한 5.380 m³/s을 입력하였다. 각층의 차압 댐퍼는 모두 열린 상태이다.

개선된 설계의 송풍량은 3.917 m³/s을 입력하였다. 기존 설계는 인버터로 송풍량을 제어 하지만 개선된 설계에서는 송풍량을 제어할 필요가 없는 정풍량 송풍기이다. 차압을 유지하고 과압된 송풍량은 Relief damper가 옥외로 배출한다. 릴리프 댐퍼는 차압댐퍼와 동일한 크기로 설정하였으며 열린 상태이다. 전층의 차압댐퍼는 닫힌 상태이다. Contam에 입력시에 댐퍼의 누설틈새인 0.0007 m³를 입력하였다.

Table 10. Contam Results (Elevator Door Open)

Remarks	B1	1F	2F	5F	10F	15F	16F	17F	18F	Relief	PH
Original	8 Pa	2 Pa	10 Pa	10 Pa	10 Pa	10 Pa	10 Pa	10 Pa	9 Pa		1.25 m ³ /s
Improvement	63 Pa	66 Pa	49 Pa	49 Pa	49 Pa	49 Pa	50 Pa	50 Pa	64 Pa	0.90 m ³ /s	0 m ³ /s

옥탑엘리베이터 기계실 창문의 누설대신 Relief damper 를 통한 누설과 차압은 50~65 Pa을 보인다.

1층이 구획되고 옥탑엘리베이터 기계실이 닫힌 상태로 하였을 시 적은 풍량으로도 차압이 만족함을 확인할 수 있었다.

2.8.3 피난층 엘리베이터 출입문 열고 차압 유지 시뮬레이션 비교

화재신호에 비상엘리베이터가 피난층인 1층에 호출되어 엘리베이터 출입문이 열린 상태를 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 당초 설계 송풍량은 인버터 제어를 하므로 최대 송풍량 6.9742 m³/s를 입력하였다. 각층의 차압 댐퍼는 모두 열린 상태이다. 당초 설계에서는 피난층이 구획되지 아니하여서 차압이 10 Pa에도 미치지 아니한다.

개선된 설계는 송풍량 3.917 m³/s을 입력하였다. 1층은 구획되어 있고 차압댐퍼도 설치되어 있다. 1층이 구획되어 있어 전층에 차압이 49~66 Pa을 보인다.

피난층이 구획되어 제연성능이 더 개선됨을 확인할 수 있었다.

4) 제연송풍량 계산 시에 코어 단면도를 근거한 수직모 델링을 제안한다.

5) 인버터나 복합댐퍼 대신 계통말단의 릴리프 댐퍼를 사용하는 것이 과압제어에 효과적이다.

6) 엘리베이터 기계실의 외기에 면한 개구부(창문 및 환 기구)는 화재신호에 폐쇄토록하고 과압방지장치를 릴리프 댐퍼로 적용할 경우 Contam을 이용하여 시뮬레이션 결과 제연성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

References

1. <http://kosis.kr>.
2. N. A. Koplou, "Smoke Protection System", United States Patent (1972).
3. J. H. Klote, "Elevators As A Means of Fire Escape", NBSIR 82-2507 (1982).
4. J. H. Park, "Method of Smoke Control", Korean Intellectual Property Office (2001).
5. NIST, "Contam User Guide and Program Documentation Version 3.2" (2016).
6. KS F 3109, "Door Sets" (2009).
7. Y. J. Yeo, "Smoke Management Engineering", Korea Fire Research Institute, pp. 477-517 (2010).
8. Ministry of the Interior and Safety, "Elevator Safety Inspection Standards" (2018)
9. H. W. Lim, J. H. Lee, J. M. Seo, J. H. Lee and D. S. Song, "A Study on Application of an E/V Shaft Cooling System to Reduce the Stack Effect in High-rise Building", Proceedings of 2009 Summer Annual Conference, The Society of Air-Conditioning & Refrigerating Engineers of Korea, pp. 284-292 (2009).
10. J. H. Jo, "Prediction of Pressure Distribution due to Stack Effect in High-rise Residential Buildings and Evaluation of its Impact", Doctoral Thesis, Seoul National University (2005).
11. UL, "UL 555s, Standard for Smoke Damper" (2014).
12. ASHRAE, "2001 ASHRAE Fundamentals Hand Book", Ch. 34 (2001).

3. 결 론

본 연구는 공기업인 한국토지주택공사를 비롯하여 민간 건설사에서 널리 적용하고 있는 승강로를 이용한 급기 가압 제연설비의 개선안을 제안하였다. 변경된 엑셀수식을 이용하여 복합댐퍼나 인버터방식과는 전혀 다른 계통말단에 릴리프 댐퍼를 이용한 과압제어를 적용하였다. 변경된 엑셀수식은 Contam을 이용하여 재검증하였다. 전체 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 승강로 가압방식 적용시 피난층에 비상엘리베이터가 자동호출되어 승강기 출입문이 열려있는 경우 전층의 차압이 규정차압에 미달되므로 피난층도 구획하여 제연구역으로 설정하여야 함을 확인하였다.

2) 엘리베이터 기계실에 설치된 창문 및 환기구는 화재신호에 폐쇄토록 하면 전체 누설틈새가 감소하여 송풍량을 줄일 수 있다.

3) 화재안전기준(NFSC 501A) 제12조 1호에 명시된 엘리베이터 출입문의 누설틈새 계산 방식은 실험데이터나 실측 데이터를 통하여 재검토되어야 한다.