KOSDI
ISSN : 1976-2208 (Print)
ISSN : 2671-5287 (On-line)
www.sodi.or.kr

Journal of the Society of Disaster Information
Vol. 18, No. 2, pp. 241-251, June 2022
https://doi.org/10.15683/kosdi.2022.6.30.241

Original Article

유입 공기의 배출 성능 개선방안에 관한 연구

A Study on the Performance Improvement Plan of Inflowing Air Emission

이혜영*
Hye-Young Lee*

Graduate Student, Sun Moon University Department of Industrial Engineering, Asan, Republic of Korea

***Corresponding author:** Hye-Young Lee, 113you@naver.com

ABSTRACT

Purpose: In the event of a fire in a high-rise building, if the smoke control area is not effectively protected, smoke or flames enter the stairwell, making it difficult to evacuate. When inflowing air is discharged from a closed corridor, a negative pressure is formed in the corridor, the pressure in the smoke control area becomes excessively high, and the force required to open the door during evacuation is exceeded. Also, if the air introduced into the hallway is not exhausted, the smoke may flow back into the smoke control area. This paper tried to identify the problems caused by the inflowing air and to find out how to improve the performance. **Method:** Using the CONTAM program, simulations were performed with the basic conditions and the modified conditions. **Result:** If the inflowing air was discharged from the sealed corridor, overpressure occurred in the Smoke Control Area and exceeded the opening force, and the prevent smoke backflow was insufficient in the layer where the inflowing air was not discharged. **Conclusion:** "Differential pressure exhaust damper" application, simultaneous opening of two exhaust dampers, and automatic window installation between corridors and outdoors improved the exhaust performance of inflowing air.

Keywords: Inflowing Air, Differential Pressure, Prevent Smoke Backflow, Non-open Floor Differential Pressure, Open Force, Differential Pressure Exhaust Damper

요 약

연구목적: 고층 건물 화재시 제연구역이 효과적으로 보호되지 않으면 수직피난경로에 연기나 화염이 유입되어 대피가 어려워진다. 국가화재안전기준에서는 제연구역에 차압 및 방연풍속을 공급하여 능동적으로 연기 유입을 억제하고, 제연구역으로부터 옥내로 유입되는 공기는 옥외로 배출되도록 하고 있다. 본 연구는 유입 공기의 배출로 인한 문제점을 확인하고 성능개선 방안에 대하여 알아보고자 하였다. **연구방법:** CONTAM 프로그램을 사용하여 기본조건과 변경조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. **연구결과:** 밀폐된 복도에서 유입 공기가 배출되면 제연구역에서 과압이 발생하여 개방력을 초과하였고 유입공기가 배출되지 않는 층 에서는 방연풍속이 미달하였다. **결론:** "차압 배출댐퍼" 적용, 배출댐퍼 2개 층 동시 개방, 복도와 옥외 사이 자동식 창문 설치로 유입공기의 배출 성능이 개선되었다.

핵심용어: 유입 공기, 차압, 방연풍속, 비개방 층 차압, 개방력, 차압 배출댐퍼

Received | 7 December, 2021
Revised | 26 April, 2022
Accepted | 20 May, 2022

OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

ⓒ Society of Disaster Information All rights reserved.

서 론

고층 건물에서 발생하는 화재는 계단실, 부속실 또는 비상용 승강기 승강장 등 제연구역이 효과적으로 보호되지 않으면 수직피난경로에 연기나 화염이 유입되어 대피가 어려워진다. 국가화재안전기준에서는 제연구역에 차압 및 방연풍속을 공급하여 능동적으로 연기 유입을 억제하고, 제연구역으로부터 옥내로 유입되는 공기는 옥외로 배출되도록 하고 있다. 그러나 일부 밀폐된 복도에서 유입공기가 배출되면 복도에 부압이 형성되어 제연구역의 압력이 과도하게 높아지며 피난시 출입문 개방에 필요한 힘을 초과한다. 또한 복도로 유입된 공기가 배출되지 않으면 연기가 부속실로 역류할 수 있다.

유입 공기와 관련된 선행 연구에서 Kim et al.(2021)은 건물의 복도에서 부압 발생 원인은 유입 공기 배출댐퍼의 배출량보다 복도로 유입하는 유입량이 적기 때문이라고 하였다. Jang(2018)은 복도나 거실로 유입된 공기가 효과적으로 배출되지 않으면 연기가 부속실로 유입될 수 있어, 유입 공기 배출댐퍼의 성능은 피난을 위해 매우 중요하다고 하였다. Lee et al.(2021)은 유입 공기 배출 장치가 면제되는 직통 계단식 공동주택에서 급기가압 되는 부속실과 세대 현관문 및 거실 창문을 통하는 기류의 흐름이 형성되지 않으면 방연풍속의 성능이 거의 나오지 않음을 CONTAM 프로그램을 통해 분석하였다.

본 연구에서는 유입 공기의 배출로 인한 문제점을 확인하고 성능개선 방안에 대하여 알아보기 위해 NIST(미국 국립표준기술연구소)에서 개발하여 보급하는 CONTAM 프로그램을 사용하였다. 모델링 대상은 지하 4층, 지상 43층 규모로 하나의 층에 특별피난계단 및 비상용 승강기의 승강장과 피난용 승강기의 승강장이 모두 있는 고층 아파트를 선정하였다. 국가화재안전기준에 따라 기본조건 3가지로 시뮬레이션하여 유입 공기 배출로 인한 문제점을 알아보았고, 변경조건 2가지로 시뮬레이션하여 개선방안을 도출하고자 하였다.

고층 아파트 해석 모델 및 해석 조건

해석 모델

본 건축물은 지하 4층, 지상 43층(높이 139.95m), 바닥면적 합계 19,701.9116m^{2}인 공동주택으로 기준층은 4세대로 구성되며 22층에 피난 안전 구역이 위치하고 있다. Fig. 1 단면도를 보면 급기 송풍기는 지상 2층에서 제연구역으로 급기를 하며 배기 송풍기는 지붕 층에 위치하여 복도로 유입된 공기를 배출한다.

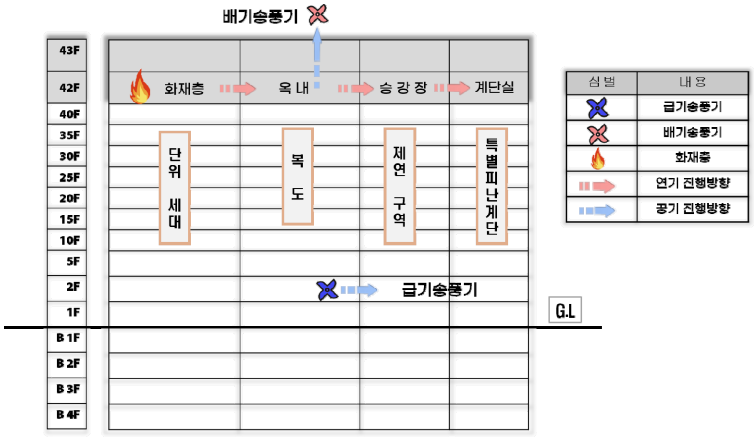

Fig. 1. Apartment house sectional view

건축 도면을 단순화한 기준층 모형도 Fig. 2는 각 공간의 용도를 알 수 있도록 기호와 범례를 표기하였다. 시뮬레이션 수행 시 특별피난계단 및 비상용 승강장(좌)은 비상용_좌로, 피난용 승강장(우)은 피난용_우로 표기하기로 한다.

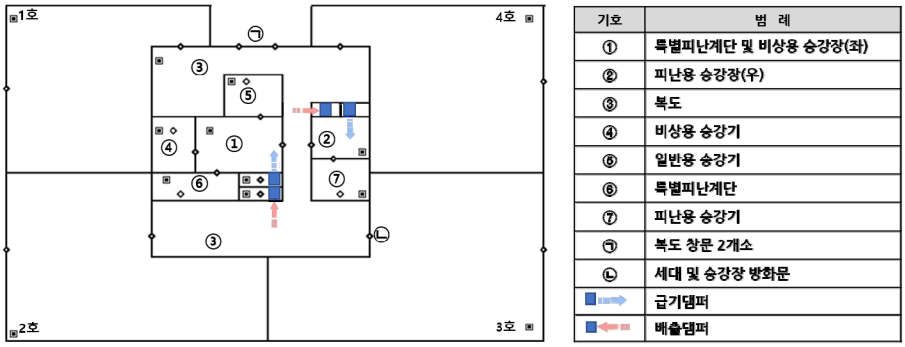

Fig. 2. Base floor(3F~42F) model

해석 조건

국가화재안전기준의 제연설비 기준 및 시뮬레이션 결과를 확인하기 위해 실제 적용된 기준은 Table 1과 같다. 이때 개방력은 출입문이 열릴 때 소요되는 힘 110N 이하로서 최대 차압으로 나타낼 수 있다. Kim et al.(2017)은 도어클로저의 힘을 보수적으로 접근하여 최대 차압을 75Pa로 설정하였고, Lee et al.(2012)는 제연설비가 작동하고 문이 개방된 상태의 개방력을 아날로그측정기 77.6N, 디지털 측정기 76.0N으로 측정하였기에, 이를 참고하여 최대 차압을 75Pa 이하로 반영하였다. 방연풍속은 0.7m/s로 강화된 기준을 적용하였다.

Table 1. Application criteria for NFSC 501A smoke control system

구 분	제연설비 기준	적용
최소차압	40Pa 이상	40Pa 이상
개방력(최대차압)	제연설비가 가동되었을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘은 110N 이하	75Pa 이하
비 개방층 차압	기준 차압의 70% 이상	28Pa 이상
방연풍속	부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 거실인 경우 0.7m/s 이상 부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 복도로서 그 구조가 방화구조(내화시간이 30분 이상인 구조 포함)인 것 0.5m/s 이상	0.7m/s 이상

방화문의 누설 틈새 면적은 KS F 3109(문 세트)에서 KS 방화문 시험기준인 차압 25Pa에서 공기 누설량은 0.9㎥/(min·㎡) 이하를 준용하여 식 (2)에서 누설량을 계산하고 식 (1)에 따라 누설 틈새 면적을 식 (3)에서 계산하였다.

$$Q = 0.827A\sqrt{P} \qquad \text{식 (1)}$$

에서 Q: 누설량(m^3/s), A: 누설틈새 면적(m^2), P: 차압(Pa)

$$0.9\frac{m^3}{\min\cdot m^2}\times\frac{(1.0\times2.1)}{60s}\times\min=0.0315m^3/s$$ 식 (2)

$$\text{누설 틈새 면적 } A=\frac{0.0315m^3/s}{0.827\times\sqrt{25Pa}}=0.0076m^2$$ 식 (3)

엘리베이터 방화문은 Kim et al.(2019)에서 여러 현장의 엘리베이터 문틈을 실측하여 기밀도가 높은 출입문 0.01m^{2}를 반영하였고, 로프 구멍은 엘리베이터 1대당 4개소가 있는 것으로 보아 이를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Opening area

구분	규격(m)	누설 틈새 면적(m^2)	최대 개구 면적(m^2)
방화문	1.0×2.1	0.0076	2.10
엘리베이터 방화문	1.1×2.1	0.01	2.31
엘리베이터 로프 구멍	0.2×0.2×4개소	0.16	-

급기 송풍기 용량은 Table 2에 의해 계산된 누설량과 2개 층 이상의 보충량을 합한 양 이상으로, 배기 송풍기 용량은 방화문 면적 2.31m^2 × 방연풍속 0.7m/s에 여유량을 더한 값으로 정하였다. 정압 손실은 수직 덕트의 마찰저항 및 수평 덕트의 형상에 따른 압력손실(System Effect)에 현장 오차 감안 여유율을 고려하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Equipment capacity

구 분	송풍기 풍량(CMH)	정압(mmAq)	동력(kW)
비상용_좌 급기	33,000	90	15
피난용_우 급기	26,000	90	12
비상용_좌 배기	7,000	100	3.5
피난용_우 배기	7,000	100	3.5

댐퍼의 단위 면적당 누설 면적은 국가화재안전기준 해설서 UL555s 댐퍼의 누기 등급표에 의해 압력 1,000Pa에서 급기댐퍼는 Class Ⅳ, 배출댐퍼는 누기율이 낮은 에어타이트 댐퍼로 Class Ⅱ를 적용하였다. 식 (1)에 따라 급기댐퍼는 Class Ⅳ의 누설량 36.73(m^3/min/m^2)을 적용하여 식 (4)에서 계산하였고, 배출댐퍼는 Class Ⅱ의 누설량 6.12(m^3/min/m^2)을 적용하여 식 (5)에서 계산하였고 이를 Table 4에 나타내었다.

$$\text{급기댐퍼 단위 면적당 누설 면적(Class Ⅳ): } A=\frac{0.61217m^3/s}{0.827\times\sqrt{1000Pa}}=0.0234m^2$$ 식 (4)

$$\text{배출댐퍼 단위 면적당 누설 면적(Class Ⅱ): } A=\frac{0.102m^3/s}{0.827\times\sqrt{1000Pa}}=0.0039m^2$$ 식 (5)

Table 4. Damper leakage gap area

구분	규격(m)	누설 면적(m^2)	최대 개구 면적(m^2)	개구율(%)
급기댐퍼	0.4×0.5	0.00468	0.16	80
배출댐퍼	0.6×0.45	0.0011	0.216	80

시뮬레이션 조건 및 해석결과

시뮬레이션 기본조건

국가화재안전기준에 따라 시뮬레이션을 수행하여 유입 공기 배출로 인한 문제점을 확인하고자 3가지 조건으로 나누어 수행하였다. 송풍기로부터 경로가 먼 곳까지 풍량이 도달되어 방연 풍속과 비 개방층 차압이 만족하는지 확인하기 위해 Fig. 1과 같이 42층 세대에서의 화재 발생을 가정하였다. Case. 1과 Case. 2는 화재 발생시 국가화재안전기준에 따라 급·배기 송풍기가 동시 동작할 때 밀폐된 복도의 창문 개방 여부에 따라 제연 성능이 확보되는지 확인하였다. Case. 3은 유입 공기 배출 장치가 면제되는 직통 계단식 공동주택의 경우를 가정하여 배기 송풍기 정지 상태에서 복도의 창문을 개방하여 Table 1의 제연 성능이 확보되는지 확인하였다.

Case. 1 **급·배기 송풍기 동시 동작(창문이 개방된 경우)**

화재 층 배출댐퍼 개방, 42층~43층 복도의 2개 층 창문을 개방하여 시뮬레이션 한 결과 Fig. 3에서 45Pa~74Pa로 적정 차압 범위를 만족하였다.

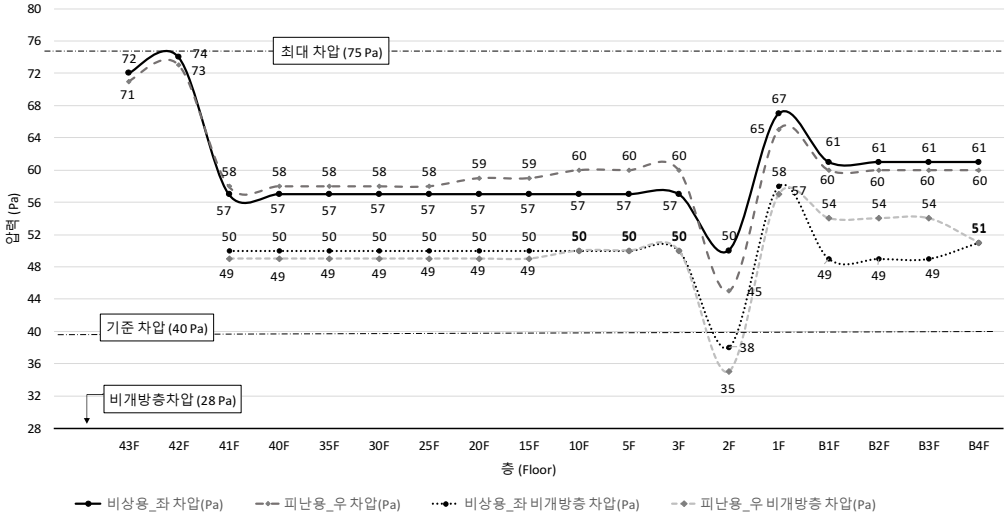

Fig. 3. Differential pressure / non-open floor differential pressure

화재 층에서 배출댐퍼 개방에 따른 과압은 나타나지 않았으며 그 이유는 개방된 창으로 인해 복도가 대기압 상태를 유지하였기 때문이다. 방연풍속은 Fig. 4에서 43층 비상용_좌 1.04m/s, 43층 피난용_우 0.89m/s, 42층 비상용_좌 1.38m/s, 42층 피난용_우 0.9m/s 이상으로 성능을 만족하였고, 비 개방층 차압은 Fig. 3에서 35Pa~58Pa로 성능을 만족하였다.

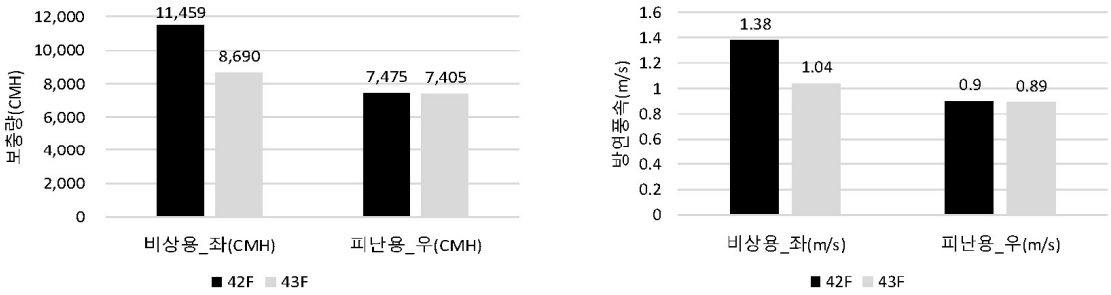

Fig. 4. Flow rate of supply / Prevent smoke backflow

Case. 2 **급·배기 송풍기 동시 동작(창문이 개방되지 않은 경우)**

화재 층 배출댐퍼 개방, 42층~43층 복도의 2개 층 창문을 폐쇄하여 시뮬레이션 한 결과 Fig. 5에서 배출댐퍼가 개방된 42층은 비상용_좌 886Pa 피난용_우 608Pa로 압력이 급격하게 상승하였고 나머지 층은 49Pa~61Pa로 적정 차압 범위를 만족하였다. 즉, 42층에서 배출댐퍼 개방으로 밀폐된 복도에서 부압이 형성되어 부속실과 복도 사이 압력 차가 커지면서 급격한 과압이 형성됨을 알 수 있다.

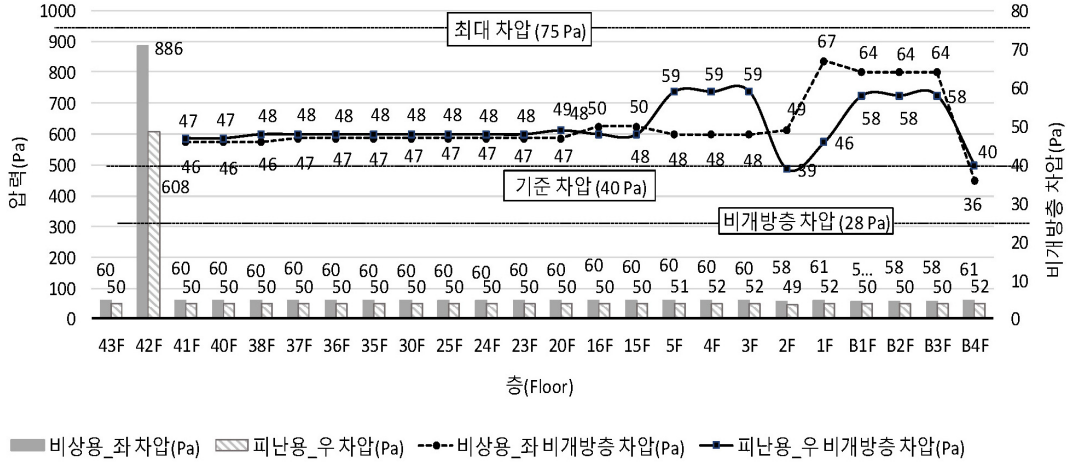

Fig. 5. Differential pressure / non-open floor differential pressure

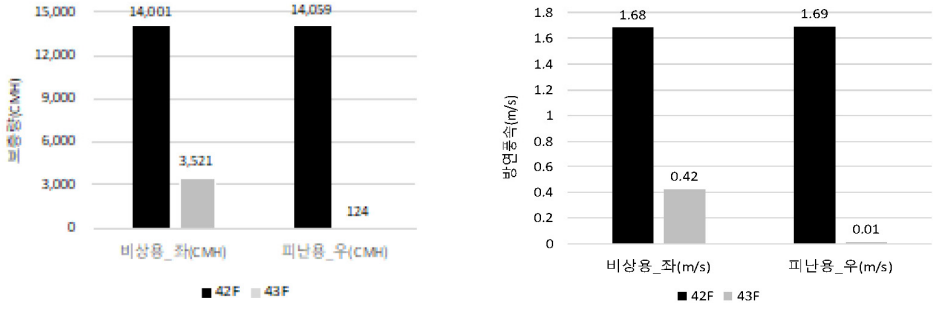

Fig. 6. Flow rate of supply / Prevent smoke backflow

배출댐퍼가 개방된 42층의 방연풍속은 Fig. 6과 같이 비상용_좌 1.68m/s, 피난용_우 1.69m/s로 성능을 만족하였으나, 복도 창문이 모두 폐쇄된 43층의 경우 기류가 형성되지 않아 비상용_좌 0.42m/s, 피난용_우 0.01m/s로 방연풍속을 확보하지 못하였다. 비 개방층 차압은 Fig. 5에서 36Pa~67Pa로 성능을 만족하였다.

Case. 3 **배기 송풍기 정지 창문 개방**

배기 송풍기 정지 상태에서 복도의 창문을 개방하여 시뮬레이션 한 결과 Fig. 7에서 45Pa~71Pa로 적정 차압 범위를 만족하였고, 창문이 개방되어 복도가 대기압 상태를 유지하므로 과압은 나타나지 않았다. 방연풍속은 Fig. 8에서 43층 비상용_좌 1.09 m /s, 43F 피난용_우 0.89 m /s, 42F 비상용_좌 1.09 m /s, 42F 피난용_우 0.89 m /s 이상으로 성능을 만족하였고, 비개방 층 차압은 Fig. 7에서 35Pa~64Pa로 성능을 만족하였다.

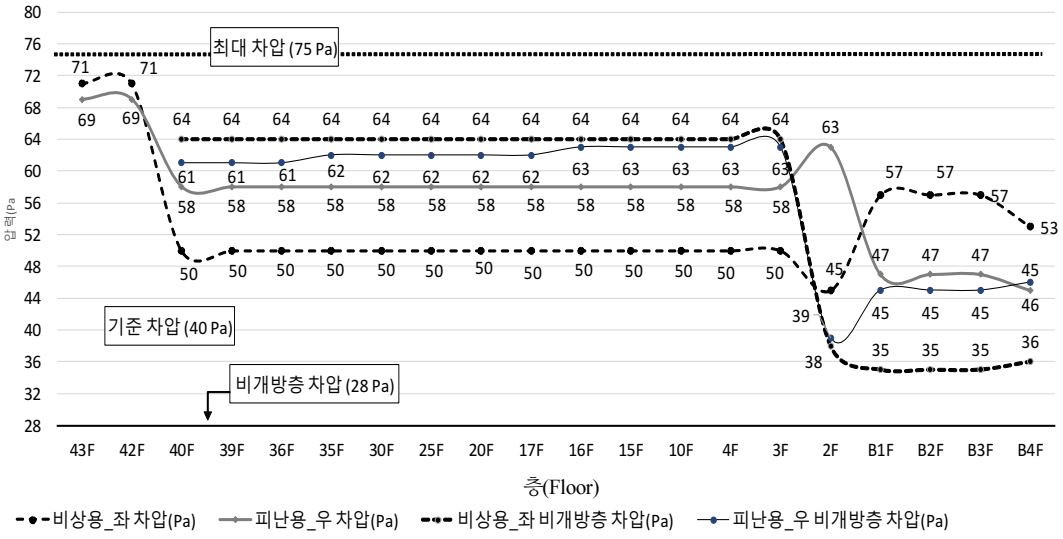

Fig. 7. Differential pressure / non-open floor differential pressure

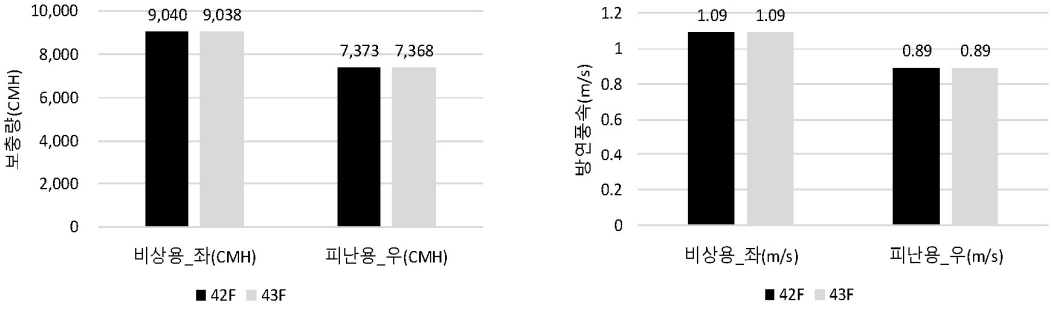

Fig. 8. Flow rate of supply / Prevent smoke backflow

시뮬레이션 변경조건

기본조건 Case. 2에서 과압발생 및 방연풍속 미달로 일부 제연 성능을 확보하지 못하였기에, 이를 개선하기 위해 Case. 2와 동일하게 급·배기 송풍기 동시 동작(창문이 개방되지 않은 경우)상태에서 변경된 조건 2가지로 시뮬레이션을 수행하였다. Case. 4는 차압 범위를 만족하기 위해 차압 배출댐퍼를 적용하여 제연구역에 과압 발생시 댐퍼를 폐쇄하였고 Case. 5는 적정 방연풍속을 확보하기 위해 배출댐퍼를 2개 층 개방하였다.

Case. 4 **차압 배출댐퍼 적용**

42층에서 화재가 발생했을 때 밀폐된 복도에서 유입 공기 배출댐퍼가 개방(차압 배출댐퍼 미적용)되면 Case. 2에서 비상용_좌 886Pa 피난용_우 608Pa로 승강장(제연구역)과 복도의 압력 차가 급격하게 상승하였다. 이를 개선하기 위해 제연구역과 복도 사이에 차압 배출댐퍼를 적용하여 차압 범위 이상으로 압력이 상승하면 댐퍼를 폐쇄하였고 Fig. 9와 같이 비상용_좌 62Pa 피난용_우 48Pa로 차압 범위를 만족하였다. 차압 배출댐퍼는 제연구역과 옥내 사이 차압을 압력센서로 감지하고 자동으로 제어하는 "자동차압·과압조절형 급기댐퍼" 방식을 배출댐퍼에 적용한 것으로 화재감지기 동작 시 화재 층에서 무조건 배출댐퍼를 개방하는 방식과 달리 차압센서의 압력에 의해 댐퍼를 개방하는 방식이다.

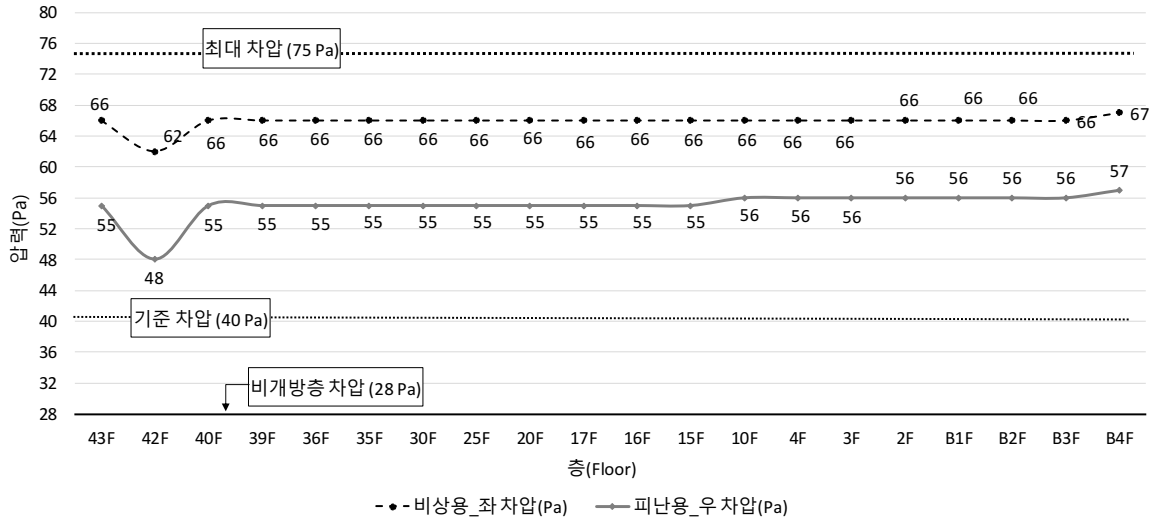

Fig. 9. Differential pressure when differential pressure discharge damper is applied

Case. 5 **배출댐퍼 2개 층 개방**

유입 공기 배출은 화재 층에서만 이루어지므로 나머지 층에서는 방연풍속이 확보되지 않는다. 이를 개선하기 위해 7,000 CMH의 배기 송풍기가 동작할 때 Case. 2와 같은 조건에서 42층과 43층에서 배출댐퍼를 개방하였다. 방화문이 개방되면 가압공간에서 복도로 유입되는 공기가 밀어주는 힘으로 송풍기 용량을 증가시키지 않아도 방연풍속은 Fig. 10에서 43층 비상용_좌 1.15 m /s, 피난용_우 0.93 m /s, 42층 비상용_좌 1.15 m /s, 피난용_우 0.93 m /s 이상으로 성능을 만족하였고, 비 개방층 차압도 Fig. 11에서 35Pa~64Pa로 성능을 만족하였다.

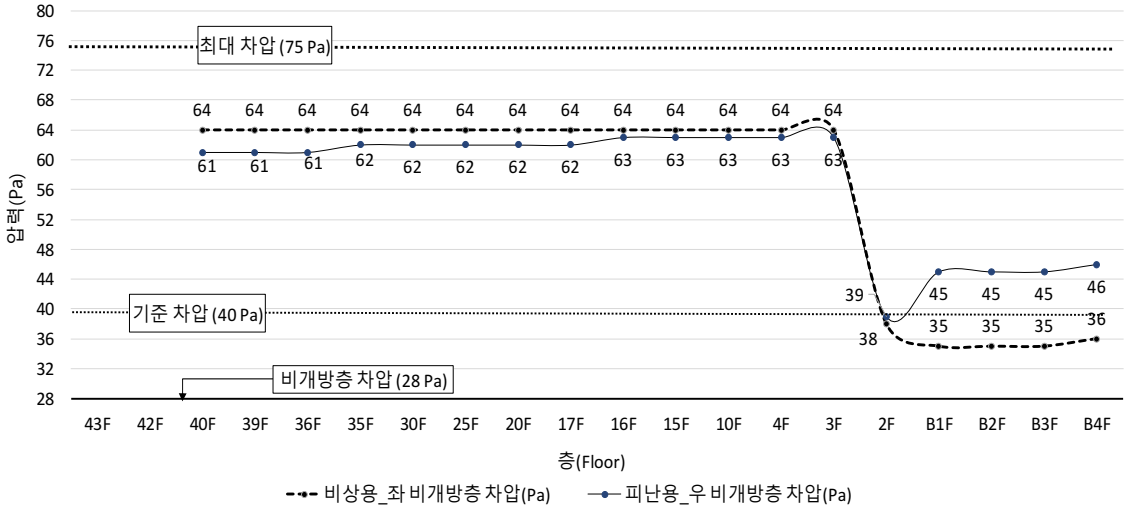

Fig. 10. Non-open floor differential pressure

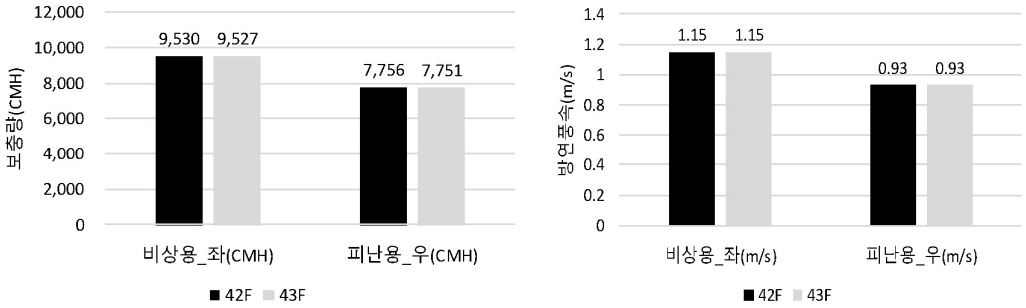

Fig. 11. Flow rate of supply / Prevent smoke backflow

각 해석 결과의 비교 검토

기본조건 수행 결과

기본조건으로 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 5와 같다. Case. 2에서 42층 제연구역에 과압이 발생하였고, 유입 공기가 배출되지 않는 43층에서는 방연풍속이 미달하였다. 즉, 창문이 개방된 경우인 Case. 1과 Case. 3에서는 유입 공기 배출 장

Table 5. Basic conditions simulation results

구 분	Case. 1	Case. 2	Case. 3
급기댐퍼	개방(전 층)	개방(전 층)	개방(전 층)
배출댐퍼	개방(42층)	개방(42층)	폐쇄
복도 창문	폐쇄	폐쇄	개방
차압	적정	과압(42층)	적정
방연풍속	적정	미달(43층)	적정
비 개방층 차압	적정	적정	적정
제연 성능	적정	미달	적정

치의 동작과 관계 없이 제연 성능이 만족하였고, 창문이 개방되지 않은 Case. 2에서는 제연 성능이 일부 확보되지 않았다.

변경조건 수행 결과

기본조건의 성능 미달을 개선하기 위해 변경된 조건으로 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 6과 같다. Case. 4는 제연구역에서 차압 범위 이상으로 압력이 상승하면 차압센서의 압력에 의해 차압 배출 댐퍼를 폐쇄하여 제연구역에 적정 차압이 형성되었고, Case. 5는 배출댐퍼를 2개 층 개방하여 유입 공기가 배출되지 않는 나머지 층의 방연풍속이 만족하였다.

Table 6. Change conditions simulation results

구 분	Case. 4	Case. 5
급기댐퍼	개방(전 층)	개방(전 층)
차압 배출댐퍼	폐쇄	개방(42~43층)
복도 창문	폐쇄	폐쇄
차압	적정	-
방연풍속	-	적정(42~43층)
비 개방층 차압	-	적정
제연 성능	적정	적정

결 론

고층 아파트를 사례로 시뮬레이션을 수행한 결과 유입 공기 배출로 인한 문제점을 다음과 같이 확인하였다.

국가화재안전기준에 따라 기본조건 3가지로 시뮬레이션을 수행한 결과 창문이 개방되지 않은 Case. 2의 경우 밀폐된 복도에서 유입 공기가 배출되면 제연구역에서 과압이 발생하여 개방력을 초과하였고 유입 공기가 배출되지 않는 층에서는 방연풍속이 미달하였다. 즉, 유입 공기 배출 댐퍼의 동작과 별개로 복도와 옥외 사이가 밀폐되면 제연 성능이 만족하지 못하였다.

유입 공기 배출 시 창문이 개방되지 않은 Case. 2의 성능 미달을 개선하기 위해 변경조건 2가지로 시뮬레이션을 수행한 결과 성능 개선방안은 다음과 같다. 첫째 “차압 배출댐퍼”를 적용하여 차압과 출입문 개방에 필요한 힘을 만족하였다. 둘째 “배출댐퍼 2개 층 동시 개방”으로 방연풍속이 확보되었다. 셋째 Case 1 또는 Case 3의 결과에서 개방된 창문은 '복도와 옥외 사이에 화재 신호와 연동하여 창문이 개방되는 자동식 창문 설치하는 방법으로 성능을 만족할 수 있었다.

References

[1] Hwang, J.S. (2021). “A study on the performance improvement of smoke control with smart dampers.” The Korean Society of Disaster Information Proceedings of the Regular Academic Conference, Seoul, pp. 293-294.

[2] Jang, G.H. (2018). A Study on Leakage Amount and Differential Pressure of Inflowing Air Exhaust Damper of Smoke Control System. Ph. D. Kyonggi University, Suwon, pp. 56-57.

[3] Kim, B.G., Choi, K.O., Choi, D.M. (2021). “Performance improvement of smoke-control system using CONTAMW.” Fire Science and Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 53-58.

[4] Kim, I.Y., Yoo. C.G., Kwon. C.H. (2017). Smoke Control Simulation Practice, Book publishing City and People,

Anyang, pp.146-282.

[5] Kim, I.Y., Kim, K.J., Hong, J.H., Kwon, C.H., Yo, C.K. (2019). "A study on design improvement for smoke-control system using the pressurization of the elevator shaft." Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 74-83.

[6] Lee, J.O., Choi, C.S. (2012). "Study on the analysis of differential pressure of the access door for a smoke control zone and the effectiveness of the measurement criteria of its opening force." Fire Science and Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 24-30.

[7] Lee, K.S., Yoon, M.O., Lee, J. (2021). "A study on effectiveness of prevent smoke backflow in apartment." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 17, No. 1, pp. 1-9.

[8] National Institute of Standards and Technology, https://www.nist.gov/

[9] NFSC 501A (2021). Fire Safety Standards for Stairwells and Auxiliary Rooms of Special Evacuation Stairs, National Fire Agency public notice No. 2017-1.

[10] NFSC 501A Explanation 5 Books (2020). Fire Safety Standards for Ventilation Equipment in Stair Rooms and Auxiliary Rooms of Special Evacuation Stairs Explanation, National Fire Agency, pp. 258-262.