

[Research Paper]

CONTAMW를 이용한 부속실 제연설비의 성능개선에 관한 연구

김부곤 · 최기옥* · 최돈묵**†

(주)남도티이씨 상무, *방재시험연구원 연구원, **가천대학교 설비·소방공학과 교수

Performance Improvement of Smoke-Control System Using CONTAMW

Bu-Gon Kim · Ki-Ok Choi* · Don-Mook Choi**†

Director, Namdo TEC Co., Ltd.,

*Senior Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea,

**Professor, Dept. of Fire Protection Eng. Gachon Univ.

(Received March 16, 2021; Revised May 21, 2021; Accepted May 24, 2021)

요 약

급기가압 제연설비가 설치된 건물에서 화재발생 시 복도에서 부속실로 통하는 방화문이 닫힌 상태에서 제연설비가 작동되면 제연구역에서 복도로 충분한 방연 풍량이 배출되지 못하며, 그에 따라 복도에서 발생하는 부압으로 인하여 부속실 출입문 개방에 어려움이 발생된다. 이에 본 연구에서는 복도의 부압발생 문제점을 해결하기 위한 최적 해결방안을 고안하였으며, 고안된 해결방안에 대하여 제연설비 수치해석 프로그램인 CONTAMW를 이용하여 검증하였다. 그 결과 복도와 부속실 사이에 플랩댐퍼 및 자동차압댐퍼 설치 시 복도의 부압이 해결되는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

In the event of a fire in a building equipped with air-pressure smoke-control equipment, if the smoke-control system is operated with a closed fire door, then the smoke discharge results in difficulty in opening the door. In this study, an optimal solution was devised to solve the problem of negative pressure generation in building corridors, and the proposed solution was verified using CONTAMW, a numerical analysis program for smoke-retardant facilities. Thus, it was confirmed that negative pressure in a corridor could be resolved by installing flap and automotive pressure dampers between the corridor and annex.

Keywords : Pressurization, Smoke control system, Pressure difference, Negative pressure, Smoke control system

1. 서 론

1.1 연구배경 및 범위

제연설비는 화재 시에 피난경로를 확보하고, 소화 및 구조 활동에 원활하게 유지하기 위한 목적으로 설치되는 설비이다.

국내에 설치되는 대부분의 급기가압 제연설비는 부속실 단독방식으로 설치되고 있으며, 부속실에 이러한 급기가압 제연시스템이 설치되는 경우 안전한 피난경로 확보를 위하여 적정한 차압 및 방연풍속 유지가 필요하다^{(1),(2)}.

최근 일부 건축물에서 제연설비 작동 시 유입공기 배출

장치의 영향으로 복도 및 소규모 부속실에 부압의 발생으로 인하여 피난 시 출입문 개방에 어려움이 발생하고 있다.

이러한 문제점은 화재 시 부속실의 출입문이 닫힌 경우 복도에 설치된 유입공기 배출댐퍼에서 배출되는 배출량보다 복도에 면한 출입문등의 누설량이 적은 경우 배기송풍기 운전점이 체절압까지 높아져 복도 등에 부압이 발생하기 때문이다.

이에 본 연구에서 복도와 부속실에 설치 가능한 최적 해결방안을 고안하였으며, 미국의 NIST에서 개발된 CONTAMW 시뮬레이션을 이용하여 그 해결방안에 대한 유효성을 검증하였다^{(3),(4)}.

† Corresponding Author, TEL: +82-31-750-5716, FAX: +82-31-750-8749, E-Mail: fire@gachon.ac.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1.2 연구방법

부속실에 급기가압방식의 제연설비 작동 시 발생하는 복도에서의 부압 문제점을 해결하기 위하여 아래와 같은 연구를 수행하였다.

첫째 고층건물에서 화재가 발생할 경우 제연설비의 동작으로 인한 복도 방화문의 누설량 변화에 따른 복도의 압력 변화를 통한 문제점을 비교·분석하였다.

둘째 고층건물의 복도에서 발생하는 부압을 여러 가지 제연 시뮬레이션을 이용하여 부압의 결과 및 분석을 통해서 부압을 해소할 수 있는 개선방안을 제시하여 효과적인 제연설비가 이루어지도록 하였다.

2. 누설 시뮬레이션

2.1 적용모델 및 조건

본 연구에서는 지하 5층, 지상 32층의 주상복합 건축물의 비상용승강장 및 특별피난계단 겸용 부속실을 단독 가압방식으로 모델링 하였다. 본 모델링에서 급기는 승강로 가압방식이며, 배기는 복도 유입공기 배출방식으로써 급기구는 부속실에 설치하였고, 배출구는 복도에 설치하였다.

전 층에 자동차압댐퍼를 설치하여 화재 시 급기설비에 의하여 전 층에 가압되고, 유입공기 배출설비는 화재 층에만 개방되는 방식을 적용하였다⁽⁵⁾. 또한 방연풍속은 송풍기에서 가장 먼 곳 3개 층을 부속실과 복도사이의 방화문을 동시에 개방된 것으로 적용하였으며, 부속실의 과압 방지장치는 풍량의 조절이 가능한 가변 풍량 방식을 적용하였다. 부속실의 차압은 여러 가지 변수를 고려하여 50 Pa를 적용하였고, 방연풍속은 화재안전기준의 0.7 m/s를 적용하였다^{(2),(5)}.

자동차압댐퍼는 1,000 × 300 mm 크기로 승강로 우측 벽체에 설치하였으며, 배기댐퍼는 600 × 400 mm 크기로 복도에 접하는 벽체에 설치하였으며, 배기댐퍼 누설량은 AMCA CLASS II 기준 250 Pa 시 3 m³/(min · m²)의 누설량을 적용하였다^{(2),(6)}.

Table 1은 본 연구의 시뮬레이션 모델링 건축물 현황을 설계도면을 근거로 나타낸 것이다.

Table 1. Basic Building Conditions

Category	Contents	
	Width	Height
Number of floors	B 5F - 32F	
Pressurization method	Sub-room single pressurization	
Supply air opening	Open 3 floors	
Exhaust open	Fire layer open	
Differential pressure	50 Pa	
Air flow	0.7 m/s	
Air supply fan	54,600 CMH × 520 Pa × 20 HP	
Exhaust fan	8,500 CMH × 400 Pa × 5 HP	

2.2 시뮬레이션 시나리오

본 시뮬레이션에서 방화문의 누설량 변화에 따른 복도와 부속실 사이의 압력을 계산하고, 계산된 압력 하에서 복도에서 부속실의 방화문 개방을 통한 피난 가능성을 분석하였다.

복도와 세대 방화문의 누설량 변화에 따라 최대(100%) 누설량, 50% 누설량, 25% 누설량 3가지 방식의 시나리오를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

본 연구의 누설 시뮬레이션은 아래의 순서에 따라 수행되었다. 첫째, 부속실에 급기가압 제연설비를 적용하고 화재 시 화재 신호와 연동하여 전 층 부속실에 50 Pa의 압력을 유지시킨다. 둘째, 부속실에 급기와 동시에 화재 층의 유입공기 배출댐퍼를 개방하고, 나머지 층의 유입공기 배출댐퍼를 폐쇄한다. 셋째, 부속실과 복도의 압력차를 확인한다. 넷째, 부속실과 복도의 압력차를 이용하여 부속실과 복도사이의 출입문 열고, 피난 할 수 있는 개방력을 확인한다.

Figure 1은 공동주택의 제연 시뮬레이션을 나타낸 것이다. 평면구성은 승강장, 복도 및 세대로 이루어져 있으며, 막대 그래프가 붉은색과 녹색 두 가지로 나타낸다. 붉은색은 압력을 나타내며 녹색은 풍량을 나타낸다. 각각의 개구부를 클릭하면 차압과 풍량을 숫자로도 표시된다.

Table 2는 고층건물의 복도에 면하는 방화문의 누설량이 100%, 50% 그리고 25%의 경우 방화문 누설 면적을 나타낸 값으로서 누설 시뮬레이션의 시나리오를 나타낸 것이다.

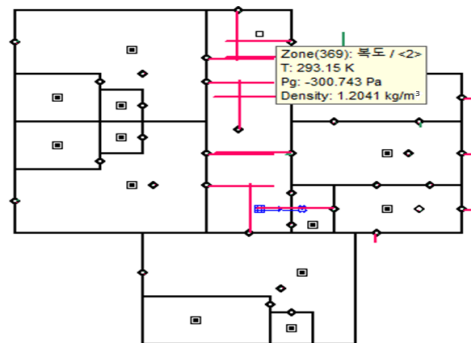


Figure 1. Modeling of smoke control simulation.

Table 2. Building Leak Simulation Scenario

Case	Fire door size (m)		Leakage area (m ²)	Leakage volume (%)	Location
	Width	Height			
1	1.8	2.2	0.0287	100%	corridor
	1.0	1.8	0.00653	100%	room
	1.1	2.1	0.0838	100%	stairs
2	1.8	2.2	0.01435	50%	corridor
	1.0	1.8	0.00327	50%	room
	1.1	2.1	0.00419	50%	stairs
3	1.8	2.2	0.00718	25%	corridor
	1.0	1.8	0.00163	25%	room
	1.1	2.1	0.0021	25%	stairs

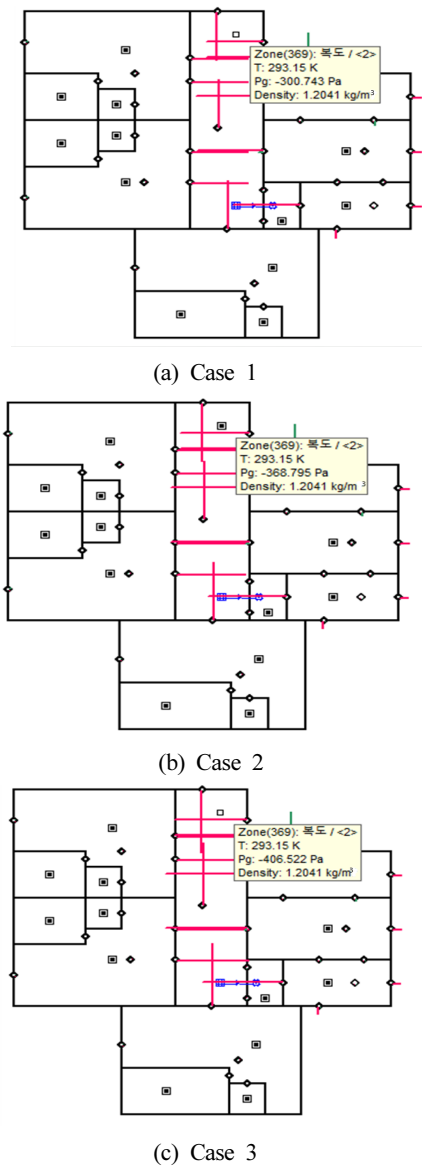


Figure 2. Changes of the pressure in the corridor.

2.3 결과 및 분석

본 연구에서 수행한 제연 시뮬레이션은 방화문의 누설량 변화에 따른 복도의 압력을 확인하기 위한 것이다. Figure 2는 공동주택의 6층 제연 시뮬레이션 과정 중 방화문 누설량에 따른 복도 압력을 나타낸 것이다. 복도의 압력은 Case 1의 경우 -300 Pa, Case 2의 경우 -368 Pa, Case 3의 경우 -406 Pa로 측정되었다.

Table 3은 방화문 누설량 변화에 따라 배출 송풍기 풍량과 송풍기의 압력 및 복도 압력, 방화문 개방력, 유입공기 배출량을 나타낸 것이다.

송풍기의 운전점은 Case 1의 경우 풍량 6,260 CMH 압력 490 Pa, Case 2의 경우 풍량 5,350 CMH 압력 500 Pa, Case 3의 경우 풍량 4,780 CMH 압력 508 Pa로 측정되었다. 또한 배출댐퍼의 배출풍량은 Case 1의 경우 3,010 CMH, Case 2

Table 3. Simulation Results According to the Amount of Leakage of Fire Doors in a Building

Category	Case 1	Case 2	Case 3
Fan volume	6,260 CMH	5,350 CMH	4,780 CMH
Fan pressure	490 Pa	500 Pa	508 Pa
Exhaust damper volume	3,010 CMH	1,890 CMH	1,230 CMH
Corridor pressure	-300 Pa	-368 Pa	-406 Pa
Door-opening forces	466 N	556 N	607 N

의 경우 1,890 CMH, Case 3의 경우 1,230 CMH로 측정되었다. 복도의 압력은 Case 1의 경우 -300 Pa, Case 2의 경우 -368 Pa, Case 3의 경우 -406 Pa로 측정되었다. 부속실과 복도사이의 출입문 개방력은 Case 1의 경우 466 N, Case 2의 경우 556 N, Case 3의 경우 607 N로 측정되었다. Table 3의 결과와 같이 방화문의 기밀성이 높아짐에 따라 송풍기의 풍량은 줄어드는 반면 상대적으로 송풍기의 압력은 높아져 간다. 또한 화재 층의 유입공기 배출댐퍼로 유입되는 배출량도 줄어들면서 복도의 부압의 정도는 더 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 방화문의 기밀성이 높아짐에 따라 복도와 부속실과의 압력차이가 커지면서 거주자가 화재 시 피난을 위해 출입문을 열수 없어 피난이 어렵다고 판단할 수 있다.

3. 제연 시뮬레이션

3.1 시나리오

본 시뮬레이션의 목적은 공동주택에서 화재가 발생할 경우 제연설비의 작동으로 압력에 영향을 미치는 영향요소들에 따라서 건물 복도에 발생하는 부압을 해소하는 방법을 알아보는데 있다.

시뮬레이션 수행은 다음과 같이 총 5가지 방식으로 시나리오를 적용하여 진행하였다. 첫째 화재 시 화재 신호와 연동하여 옥외로 열리는 자동식 창문을 설치하여 부압을 해소하는 방식. 둘째 복도와 부속실 사이 플랩 댐퍼를 설치하여 부압을 해소하는 방식. 셋째 복도와 부속실 사이 자동차압 댐퍼를 설치하여 부압을 해소하는 방식으로 확인하였다.

첫 번째 시뮬레이션은 복도와 외부와의 사이에 화재 시 화재 신호와 연동하여 옥외로 열리는 자동식 창문을 설치하여 복도 부압 해소의 적정성을 확인하기 위한 실험으로 창문의 면적에 따라 3가지 방식의 시나리오를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Table 4는 시뮬레이션 1의 Case 1 ~ Case 3의 창문 면적을 나타낸 값이다.

두 번째 시뮬레이션은 복도와 부속실 사이에 플랩댐퍼를 설치하여 복도에 부압이 발생할 때 설정압력에 도달하면 플랩댐퍼가 개방되어 부속실의 공기량을 복도로 유입시킨다. 따라서 플랩댐퍼의 개방으로 복도 부압을 해소의 적

Table 4. Conditions of in Simulation 1 of Buildings

CASE	Window size (m)		Open area (m ²)	Opening rate
	Width	Height		
1	0.5	1.0	0.25	50%
2	1.2	1.0	0.6	50%
3	2.0	1.0	1.0	50%

Table 5. Conditions of in Simulation 2 of Buildings

CASE	1	2
Flap damper volume	720 CMH	6,000 CMH

Table 6. Conditions of in Simulation 3 of Buildings

Category	Damper size (m)		Open area (m ²)	Opening rate
	Width	Height		
Air supply damper	0.3	1.0	0.27	90%

정성을 확인하기 위한 실험으로 플랩댐퍼의 배출 풍량에 따른 2가지 방식의 시나리오를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Table 5는 시뮬레이션 2의 Case 1~Case 2의 플랩댐퍼 배출 풍량을 나타낸 값이다.

세 번째 시뮬레이션은 복도와 부속실 사이에 자동차압댐퍼를 설치하여 복도에 부압이 발생할 때 설정압력에 도달하면 자동차압댐퍼가 개방되어 부속실의 공기량을 복도로 유입시킨다. 따라서 자동차압댐퍼에 의한 복도 부압을 해소의 적정성을 확인하기 위한 실험으로 시나리오를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Table 6은 시뮬레이션 3의 자동차압댐퍼 크기를 나타낸 값이다. 자동차압댐퍼는 부속실의 급기용 자동차압댐퍼와 동일한 크기를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

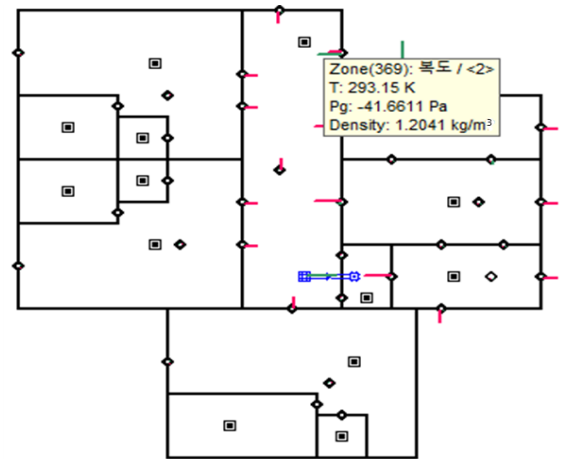
3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

3.2.1 시뮬레이션 1

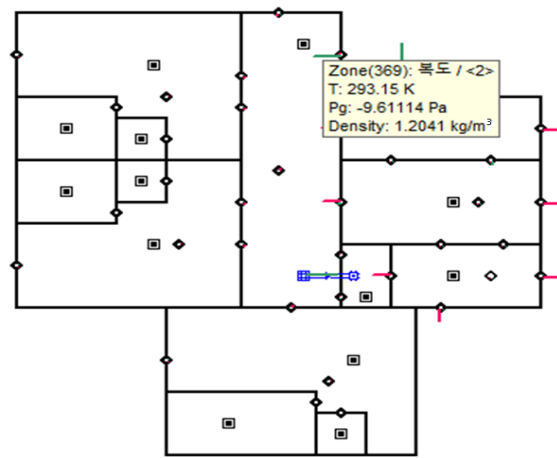
본 제연 시뮬레이션은 복도와 옥외사이에 자동식 창문을 설치했을 때의 복도의 압력을 확인하기 위한 것이다. Figure 3은 6층 제연 시뮬레이션 과정 중 복도에 자동식 창문을 설치했을 때의 복도 압력을 나타낸 것이다. 복도압력은 Case 1의 경우 -41 Pa, Case 2의 경우 -10 Pa, Case 3의 경우 -4 Pa로 측정되었다

Table 7은 시뮬레이션 1의 공동주택 복도에 자동식 창문을 설치했을 때의 창문 크기 변화에 따라 복도 압력, 출입문 개방력 등의 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다.

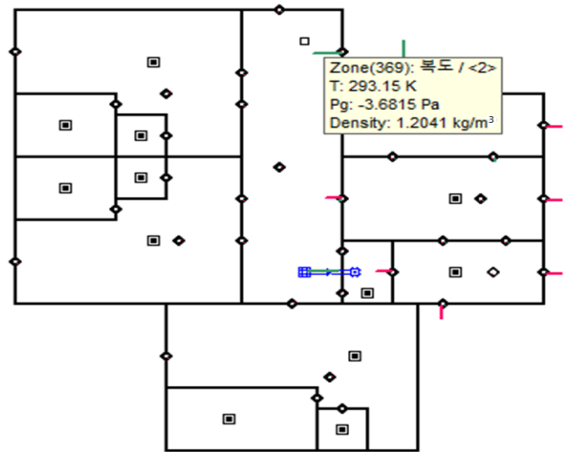
유입공기 배출댐퍼의 배출풍량은 Case 1~3의 경우 6,100 CMH로 동일하게 측정되었다. 창문을 통하여 유입된 공기량은 Case 1의 경우 4,800 CMH, Case 2의 경우 5,530



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Figure 3. 6 floor smoke control simulation 1.

CMH, Case 3의 경우 5,710 CMH로 측정되었다. 복도의 압력은 Case 1의 경우 -41 Pa, Case 2의 경우 -10 Pa, Case 3의 경우 -4 Pa로 측정되었다. 부속실과 복도사이의 출입문 개방력은 Case 1의 경우 132 N, Case 2의 경우 87 N, Case 3의

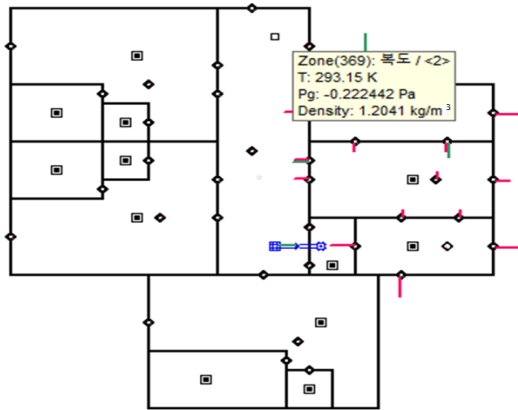
경우 78 N로 측정되었다. Table 7의 결과와 같이 복도의 압력은 창문의 면적이 상당히 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 창문의 면적에 따라 복도의 부압이 다르게 나타났으며 창문의 면적이 적으면 복도의 부압의 정도가 커지고 창문의 면적이 클수록 복도의 부압은 줄어들었다.

3.2.2 시뮬레이션 2

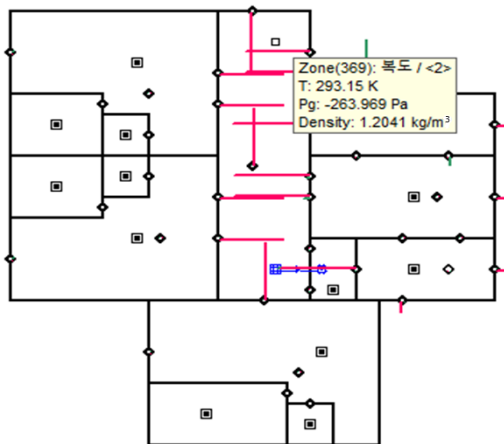
본 제연 시뮬레이션은 부속실과 복도사이에 플랩댐퍼를 설치했을 때의 복도의 압력을 확인하기 위한 것이다. Figure 4

Table 7. Results of Building Simulation 1

CASE	1	2	3
Exhaust damper volume	6,100 CMH	6,100 CMH	6,100 CMH
Window air volume	4,800 CMH	5,530 CMH	5,710 CMH
Corridor pressure	-41 Pa	-10 Pa	-4 Pa
Door-opening forces	132 N	87 N	78 N



(a) Case 1



(b) Case 2

Figure 4. 6 floor smoke control simulation 2.

는 6층 제연 시뮬레이션 과정 중 플랩댐퍼 설치했을 때의 복도 압력을 나타낸 것이다. 복도압력은 Case 1의 경우 -264 Pa, Case 2의 경우 -0.2 Pa로 측정되었다.

Table 8은 시뮬레이션 2의 공동주택의 복도와 부속실사이에 플랩댐퍼를 설치했을 때의 플랩댐퍼 용량에 따라 복도 압력, 출입문 개방력 등의 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다.

유입공기 배출댐퍼의 배출풍량은 Case 1의 경우 3,550 CMH, Case 2의 경우 6,100 CMH로 측정되었다. 플랩댐퍼를 통하여 유입된 공기량은 Case 1의 경우 720 CMH, Case 2의 경우 6,000 CMH로 측정되었다. 복도의 압력은 Case 1의 경우 -264 Pa, Case 2의 경우 -0.2 Pa로 측정되었다. 부속실과 복도사이의 출입문 개방력은 Case 1의 경우 456 N, Case 2의 경우 73 N로 측정되었다. Table 8의 결과와 같이 플랩댐퍼의 유입 공기량에 따라 복도의 부압이 다르게 나타났으며 플랩댐퍼의 유입 공기량 적으면 복도의 부압은 심하고 플랩댐퍼의 유입 공기량 많으면 복도의 부압은 줄어들었다.

3.2.3 시뮬레이션 3

본 제연 시뮬레이션은 부속실과 복도사이에 자동차압댐퍼를 설치했을 때의 복도의 압력을 확인하기 위한 것이다. Figure 5는 6층 제연 시뮬레이션 과정 중 자동차압댐퍼 설치했을 때의 복도 압력을 나타낸 것이다. 복도압력은 -1 Pa로 측정되었다.

Table 8. Results of Building Simulation 2

CASE	1	2
Flap damper volume	720 CMH	6,000 CMH
Exhaust damper volume	3,550 CMH	6,100 CMH
Corridor pressure	-264 Pa	-0.2 Pa
Door-opening forces	456 N	73 N

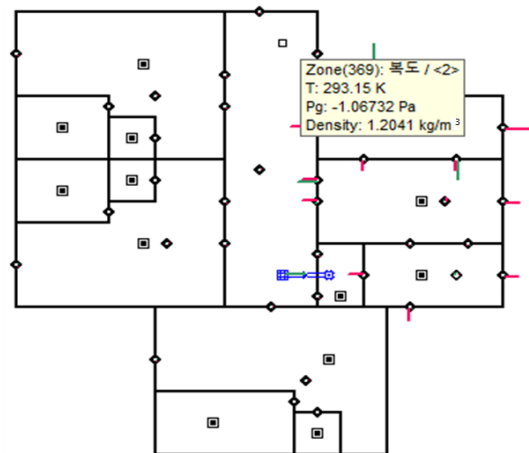


Figure 5. 6 floor smoke control simulation 3.

Table 9. Results of Building Simulation 3

Category	Exhaust damper volume	Air supply damper volume	Corridor pressure	Door-opening forces
Air supply damper	6,100 CMH	5,760 CMH	-1 Pa	73 N

Table 9는 시뮬레이션 3의 공동주택의 복도와 부속실 사이에 자동차압댐퍼를 설치했을 때의 복도 압력, 출입문 개방력 등의 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다.

유입공기 배출댐퍼의 배출풍량은 6,100 CMH로 측정되었으며, 자동차압댐퍼를 통하여 유입된 공기량은 5,760 CMH로 측정되었다. 복도의 압력은 -1 Pa로 측정되었다. 부속실과 복도사이의 출입문 개방력은 73 N로 측정되었다. Table 9의 결과와 같이 자동차압댐퍼의 공기 유입량이 50 Pa에서 5,760 CMH일 때의 복도의 부압이 -1 Pa로 복도의 부압이 완전히 해소되었음을 알 수 있었다.

4. 부압 완화 개선방안

4.1 복도와 옥외사이에 자동식 창문 설치

건물의 복도에서 부압 발생 원인은 유입공기 배출댐퍼의 배출량보다 복도에 면하는 개구부 등의 틈새에서 복도로 유입하는 유입량이 적기 때문에 발생한다.

건물의 복도와 옥외사이에 자동식 창문을 설치하면 화재 시 제연설비가 작동하더라도 유입공기 배출량을 자동식 창문의 개방으로 인하여 자동식 창문을 통하여 유입공기 배출량 이상의 공기가 복도로 유입되므로 복도와 부속실의 출입문이 닫힌 경우에도 복도의 부압을 방지할 수 있다.

따라서 복도에서 발생하는 부압의 해소 방안으로서 복도와 옥외 사이에 유입공기 배출량(6,100 CMH) 이상의 공기량을 유효하게 유입할 수 있는 0.6 m² 이상의 자동식 창문을 설치하여야 한다.

4.2 복도와 부속실사이에 자동식 댐퍼 설치

건물의 복도와 부속실사이에 자동식 댐퍼를 설치하는 방식은 부속실 제연설비의 급기량을 이용하여 복도의 부압을 해소하는 방법이다.

복도와 부속실사이에 자동식 댐퍼를 설치하면 화재 시 제연설비가 작동하더라도 유입공기 배출량을 자동식 댐퍼의 개방으로 댐퍼를 통하여 유입공기 배출량 이상의 공기가

복도로 유입되므로 복도와 부속실의 출입문이 닫힌 경우에도 복도의 부압을 방지할 수 있다.

따라서 복도에서 발생하는 부압의 해소 방안으로서 복도와 부속실 사이에 유입공기 배출량(6,100 CMH) 이상의 공기량을 유효하게 유입할 수 있는 플랩댐퍼, 자동차압댐퍼 등의 자동식 댐퍼를 설치하여야 한다. 또한 복도의 부압 방지 목적은 출입문을 개방하기 위한 것이므로 출입문을 개방할 때 일시적으로 부압이 해소될 수 있는 별도의 장치를 설치하는 방법도 가능하다.

5. 결 론

본 연구에서 CONTAMW를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 본 시뮬레이션을 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째 공동주택의 복도에 외부와 통하는 장소에 유입공기 배출량인 6,100 CMH의 공기를 유입할 수 있는 0.6 m² 이상 면적의 화재와 연동하는 자동식 창문을 설치하여야 한다.

둘째 공동주택의 복도와 부속실 사이에 유입공기 배출량인 6,100 CMH의 공기를 유입할 수 있는 용량의 플랩댐퍼, 자동차압댐퍼 등의 자동식 댐퍼를 설치하여야 한다.

References

1. B. G. Kim, "A Study on the Performance Improvement of Smoke Control System using Simulation", Ph.D. Dissertation, Gachon University, pp. 34-98 (2021).
2. Korean Society of Fire Protection Professional Engineers "Air Supply Pressure Smoke Control Technology" (2006).
3. J. S. Kim, "A Study on the Reduction of the Effect of Stack Effect in High-rise Buildings Using the Combined Effect of Shaft." A Ph.D. thesis, Jeonju University (2013).
4. I. Y. Kim and C. H. Kwon, "The Leakage Crack Calculation of the Fire Door and the Stack Effect Analysis", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 46-53 (2013). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.2.046>
5. National Fire Safety Codes 501A (2020).
6. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, "Standard for Design of Building Mechanical Equipment" (2010).