화재 · 피난시물레이션 수행 시 소방설비 작동 적정성 판단에 관한 연구

Determination of Appropriate Operation of Firefighting Facility using Fire and Evacuation Simulations

김길중* · 서용구** · 윤명원*** · 민세홍****

Kim, Kil-Joong*, Seo, Yong-Goo**, Yoon, Myung-Won***, and Min, Se-Hong****

Abstract

Recently, a performance-based design of a fire protection facility has been proposed that significantly contributes to the construction of safe and reliable buildings. Improving the performance of the fire protection facility will enable protection of the public along with the infrastructure. Designs focusing on the fire protection performance generally add or modify architectural aspects through fire and evacuation simulations. However, a secure evacuation system aided with CCTVs has rarely been considered as an active system. Particularly for apartments, it is very difficult to assure evacuation safety without using an active system in fire and evacuation simulations with the front door of the burning room open. Safety can be achieved by combining a passive system with an active system, on the basis that the building premises has the foundation of a passive system. The regulation on the evacuation delay time in the nation was brought in effect through the SFPE paper but was deleted since the data reliability was insufficient. Therefore, the aim of the present study is to analyze the operation of a fire protection facility required to ensure safety by planning multiple simulations of a fire and evacuation system. An apartment has been considered as an example to design the foundation for a standard evacuation safety system. An active system is applied to execute fire and evacuation simulations, with focus on the fire protection performance.

Key words : Fire · Evacuation Simulation, Smoke Control Simulation, Evacuation Delay Time, Performance Based Design Methods

요 지

근래 소방시설 등의 성능위주설계는 건축물 및 소방시설의 성능향상을 위한 건축 및 설비적 제안으로 사람을 보호할 수 있도록 안전하고 신뢰성 있는 건축물을 설계하는데 많은 기여를 하고 있다. 소방 성능위주설계에서 화재 · 피난시물레이션을 통하여 건축적인 면을 추가 및 수정하거나 CCTV 설치로 피난안전성을 확보하는 경우가 많으며, Active System을 이용한 피난 안전성의 확보는 소방 성능위주설계의 시 인정받는 경우가 드물다. 특히, 공동주택의 경우 화재실 현관문의 개방상태에서 화재 · 피난시물레이션을 수행 시 Active System을 이용하지 않으면, 피난안전성을 확보하기는 매우 어렵다. “건축물은 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 건축물에 적합하게 설치되는 상호보완적인 관계를 이루어 안전을 추구한다.”라는 대전제를 기본으로 Passive System과 Active System의 조합으로 안전을 확보해야한다고 판단된다. 그리고 국내 피난지연시간에 대한 규정은 SFPE의 논문에서 가져왔지만, SFPE에서는 삭제되어 자료에 대한 신뢰성이 부족하다. 이에 본 연구에서는 공동주택을 예로 화재 · 피난시물레이션 수행 시 여러 가지 경우의 소방시설의 작동을 계획하여 “소방설비 작동을 어디까지 했을 때 안전성을 확보할 수 있는지”를 분석하고, 소방 성능위주설계 시 화재 · 피난시물레이션에 Active System을 적용하여 피난안전성을 확보할 수 있는 기준을 마련하는데 초석이 되고자한다.

핵심용어 : 화재 · 피난시물레이션, 제연시물레이션, 피난지연시간, 성능위주설계

*정회원, 가천대학교 대학원 소방방재공학과 박사과정(E-mail: ok8925@hanmail.net)

Member, Ph.D. Candidate, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

**가천대학교 대학원 소방방재공학과 박사과정(E-mail: 5yonggoo@hanmail.net)

Ph.D. Candidate, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

***주식회사 CNI 엔지니어링 소방방재본부 책임(E-mail: mwyoong@cnieng.co.kr)

Responsible for CNI Engineering Fire and Disaster Prevention Headquarters

****교신저자, 평생회원, 가천대학교 설비소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-5714, Fax: +82-31-750-8746, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

1. 서 론

건축물은 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 건축물에 적합하게 설치되는 상호보완적인 관계를 이루어 안전을 추구하기 위해서 설계도서에는 건축구성요소와 소방시설의 상호 보완적인 적합한 관계를 가지도록 엔지니어의 고민이 항상 묻어난다(Kwon et al., 2020).

부분화(방화구획)를 통해 화재를 한정하여 화재가확도를 낮추는 방법과 다중화(양방향 피난)를 통해 신뢰도를 높이고 피난안전성을 확보하는 System에 화재를 감시하고 진압하는 System을 통해 화재의 피해를 감소시켜 피난안전성 및 소화활동의 신뢰도를 높이는 방법이 건축과 소방설비 설계자들이 바라보는 안전한 건축물이다.

최근 고층건축물의 건축이 기하급수적으로 증가하고 있으며, 그에 따라 안전을 위한 법규적 개정이 되고 있다. 근래에는 물류창고 및 초고층 및 지하연계복합건축물도 소방시설의 성능위주설계에 포함되었으며, ‘소방시설등 성능위주설계 평가 표준 가이드라인’이 발표 되었다.

‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’ 제2조(성능위주설계 정의) 성능위주설계는 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」, 같은 법 시행령·시행규칙 및 화재안전기준 등에 따라 제도화된 설계를 대체하여 설계하는 경우를 말한다.

건축물에서 화재발생 시 사람의 피난을 최우선으로 하는 건축물로서 적합한 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 설치되어야 하므로 ‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’ 제2조(성능위주설계 정의)에 의해 성능위주설계 대상이 되는 건축물에 대하여는 화재안전기준 등 법규에 따라 설계된 화재안전성능 보다 동등 이상의 화재안전성능을 확보하도록 소방설비를 설계하여야 한다.

‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’의 별표1 화재 및 피난시물레이션의 시나리오 작성 기준에서 가장 피해가 클 것으로 예상되는 최소 3개 이상의 시나리오에 대하여 실시하게 되어있으며, 소방설비의 미작동 상태에서 피난 안전성을 검토하고, 안전성을 확보하지 못한 경우 건축적 변경이나 설비적 보완을 통하여 안전성을 확보할 수 있으나, 소방 성능위주설계 심의에서는 건축적 변경을 우선으로 하는 경향이 있다(National Fire Agency of Republic of Korea, 2017).

그 결과로 소방설비 설계자는 Passive System의 변경이 어려운 건축물의 경우는 화재·피난시물레이션 수행 시 인자 값의 수정을 선행하여 안전성을 확보하려는 경우가 있다.

현재는 소방 성능위주설계에서는 건축적 변경이나 CCTV 설치를 통하여 안전성을 확보하는 제한적 선택을 하게하는 경우가 많다. 하지만 건축물의 안전설계는 “건축물은 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 건축물에 적합하게 설치되는 상호보완적인 관계를 이루어 안전을 추구한다.”

로 Passive System과 Active System이 조화를 이루는 설계로 안전을 확보하는 것이 바람직하다.

특히, 공동주택은 과거와는 전혀 다른 주거형태로 인하여 복잡적이고 다양한 잠재위험 요소가 있다. 고층화에 따라 다양한 종류의 가연물 등 단위 면적당 화재하중의 증가로 인하여 화재위험을 더욱 증대시키고 있으며, 많은 인원이 거주하고 고층으로서 대피에 오랜 시간이 걸려 화재 발생 시 인명피해가 클 수 있다(Lee and Lee, 1998).

공동주택의 방재특성은 각각의 세대마다 구획되어진 평면을 가지고 있어서 밀폐공간으로 비상방송 청취의 어려움과 대피가 늦은 피난자의 피난을 불가능하게 할 수 있다. 공용으로 사용되는 계단이나 복도에 연기가 확산되어 있을 경우 피난에 지장 주며, 외벽 창쪽으로 설치된 발코니 또는 대피공간(하향식 피난구 포함)에 물건적치로 인해 피난을 방해하여 인명피해가 발생할 수 있다. 출입구가 현관문으로 화재 시 대피통로가 제한되어 있어 인명피해의 원인이 된다(Lee and Lee, 1998).

이러한 위험에도 불구하고 화재·피난시물레이션 수행 시 공동주택의 피난안전성 확보는 방법으로 건축적 변경은 어려우므로, 부속실에 CCTV를 설치하여 피난지연시간을 W1으로 화재·피난시물레이션을 수행하여 안전성을 확보하는데, 이는 문제가 있다고 판단된다.

첫째로는 국내 피난지연시간은 SFPE의 논문 내용을 발췌한 것으로 SFPE에서는 피난지연시간에 대한 내용이 삭제되었으나, 국내는 피난지연시간을 적용하고 있어서 근거가 부족한 자료를 사용하고 있는 것이다.

둘째로는 공동주택의 부속실에 설치한 CCTV를 통하여 알 수 있는 화재에 대한 정보가 한정적이고, 부속실을 통한 피난시간은 짧다고 볼 수 있으므로 피난에 대한 정보 또한 한정적으로 제공되기에 피난지연시간을 W2 (240초)가 아닌 W1 (120초) 적용하는 것은 매우 위험한 접근으로 판단된다. CCTV를 통하여 알 수 있는 화재 및 피난에 대한 정보가 한정적이라고 한 것은 화재실은 세대 내인데 부속실에 CCTV를 설치함으로써 실내의 화재상황에 대한 정보를 파악하기 어렵고, 연기의 확산으로 상부에 설치된 CCTV는 무용지물이 되는 상황을 의미한 것이다.

고층 공동주택은 Passive System과 Active System으로 화재에 대한 대응을 고려한다면 Passive System으로 방화구획과 피난을 위한 계단의 설치 또는 경량 칸막이·대피공간·하향식 피난구 등 피난시설을 직접 이용해 대피할 수 있도록 설치되어 있고, Active System으로 자동식 스프링클러설비, 제연설비, 수동식 옥내소화전설비, 자동화재탐지설비 등으로 화재에 대응할 수 있다.

화재예상구역과 부속실이 직접 맞닿아 있는 형태의 공동주택은 소방설비의 미작동 상태에서 피난안전성을 확보하기는 매우 어렵다. 건축적인 요소와 소방설비적 요소의 조합으로 화재의 진압 등과 피난로의 확보로 안전한 피난을

할 수 있다.

본 연구에서는 공동주택에서 화재·피난시물레이션을 통하여 소화설비 작동 및 미작동 시 피난안전성에 미치는 영향 즉, “소방설비 작동을 어디까지 했을 때 피난 안전성을 확보할 수 있는가”를 분석하고, 소방 성능위주설계 시 화재·피난시물레이션 Active System을 적용하여 안전성을 확보할 수 있는 기준을 제시하는데 목적이 있다.

2. 화재 및 피난시물레이션 수행

건축물의 개요는 지상 49층, 지하4층 주상복합 건축물로서 공동주택을 대상으로 본 연구는 진행되었다. 화재 및 피난시물레이션 수행 계획은 방화문의 1/4개방에서 20초 후 닫히는 사례로서 소방설비 미작동을 먼저 수행하였으며, 방화문이 1/4 계속 개방상태에서 소방설비 미작동, 소방설비 스프링클러 작동, 소방설비 중 제연설비만 작동하는 사례를 수행하였으며, 스프링클러 및 제연설비 두 설비가 작동하는 시물레이션을 수행하였다.

화재 및 피난시물레이션은 Fig. 1에서와 같이 공동주택의 기본평면으로 수행하였고, 프로그램은 Fire Dynamics Simulator (FDS)와 Pathfinder를 사용하여 수행하였다. 화재 및 시물레이션 수행 시 공통사항은 아래와 같다.

- (1) 화재실의 피난지연시간은 24.2초로서 30초 미만으로 30초를 적용한다(30초 미만일 경우 30초 적용).
- (2) 화원선정은 싱크대(MDF Series)로서 2,400 kW를 적용한다.
- (3) 수용인원 산정
세대는 4세대로 1개 세대에 5인 기준으로 20인을 적용한다.
- (4) 화재 및 피난시물레이션 수행계획
Case 1은 소화설비 미작동 및 방화문 자동폐쇄장치를 이용하여 열린 상태에서 20후 닫히는 상태로 계획하였다.

Fig. 1. Target Space

Case 2는 화재실 출입문을 1/4 개방한 것을 전제로 아래와 같이 계획하였다.

Case 2.1은 소화설비 미작동으로 계획하고, Case 2.2는 소화설비 중 스프링클러 설비만 작동하는 것으로 계획하였다.

Case 2.3은 소방설비 중 제연설비만 작동으로 하고, 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용이다.

Case 2.3.1은 소방설비 중 제연설비만 작동하며, 피난용 승강기 부속실 문은 닫힌 상태이다. 여기서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용으로, 피난용승강기 부속실과는 겹부속실 형태이다. Case 2.3.2는 소방설비 중 제연설비만 작동하며, 피난용 승강기 부속실 문은 열린 상태이다. 여기서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용으로, 피난용승강기 부속실과는 겹부속실 형태이다. Case 2.4. 스프링클러 설비 및 제연설비가 작동하는 것으로, 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용이다.

Case 2.4.1 스프링클러 설비 및 제연설비가 작동하는 것으로, 피난용 승강기 부속실 문은 닫힌 상태이다. 여기서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용으로, 피난용승강기 부속실과는 겹부속실 형태이다.

Case 2.4.2 스프링클러 설비 및 제연설비가 작동하는 것으로, 피난용 승강기 부속실 문은 열린 상태이다. 여기서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용으로, 피난용승강기 부속실과는 겹부속실 형태이다.

2.1 화재 및 피난시물레이션 수행 결과

2.1.1 Case 1 소화설비 미작동 및 방화문 자동폐쇄장치로 닫힘상태

2.1.1.1 화재 및 피난 시나리오 조건

- ① 소화설비는 작동하지 않는 것으로 적용함
- ② 공동주택의 현관문은 방화문으로, 재실자가 피난을 완료한 시점으로 자동폐쇄장치에 의해 20초 후에 문이 닫히는 구조로 적용함
- ③ 비화재실 피난지연시간
W2를 적용하여 4분과 감지기 작동시간이 19초이므로 비화재실의 피난지연시간은 4분 19초임
- ④ 화재구역은 EXIT 1인 세대로 함

2.1.1.2 화재·피난 시물레이션 결과 값

Table 1은 피난시물레이션 수행결과로 요구피난시간이 4분 41초이다, 또한 Table 2는 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 모든 출입구에서 피난을 완료하며, 방화문

Table 1. Evacuation simulation Result

Assortment	Exit effective width	Evacuation completion time	Result
EXIT 1	1.12 m	38 sec	4 min 41 sec
EXIT 2	1.12 m	4 min 41 sec	
EXIT 3	1.12 m	4 min 30 sec	
EXIT 4	1.12 m	4 min 31 sec	

Table 2. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 1			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 30 sec	38 sec	OK
EXIT 2	more than 10 min	4 min 41 sec	
EXIT 3	more than 10 min	4 min 30 sec	
EXIT 4	more than 10 min	4 min 31 sec	

만 작동하는 경우에 피난완료률 Figs. 2와 3에서 안전한 피난의 형태를 볼 수 있다.

2.1.2 Case 2 화재실 출입문 개방

화재·피난시뮬레이션에 대한 각 시간별 결과 값을 표로 하여 제시하였으며, 각 시간별 화재·피난시뮬레이션의 결과를 그림으로 제시한 것은 스프링클러설비를 적용하지 아니한 경우에 피난안전성의 실패와 성공사례이다. 피난안전성을 확보하기 위한 분석에서 제연설비 작동만으로 피난안전성을 성공한 특별한 사례를 얻을 수 있었다.

그림으로 제시된 사례는 방화문 개방 시 소방설비 미작동으로(Case 2.1)와 방화문 개방 시 소방설비 중 제연설비만 작동하는 경우로서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용인 것만 작동할 경우(Case 2.3)와 방화문 개방 시 소방설비 중 제연설비만 작동하는 경우로서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용 및 피난용승강기 부속실 문 닫힌 상태의 사례(Case 2.3.1)는 피난을 실패한 경우이다.

또한, 방화문 개방 시 소방설비 중 제연설비만 작동한 경우로서 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실

Fig. 2. Fire Occurrence 4 Minutes 20 Seconds (Evacuate from Non-Fire Room)

Fig. 3. Fire Occurrence 4 Minutes 41.3 Seconds (Evacuation Completion)

Table 3. Evacuation Simulation Result

Assortment	Exit effective width	Evacuation completion time	Result
EXIT 1	1.12 m	42 sec	4 min 57 sec
EXIT 2	1.12 m	4 min 57 sec	
EXIT 3	1.12 m	4 min 55 sec	
EXIT 4	1.12 m	4 min 57 sec	

Table 4. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.1			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 31 sec	42 sec	Fail
EXIT 2	2 min 31 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	3 min 52 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	4 min 10 sec	4 min 57 sec	

검용 및 피난용승강기 부속실이 문 열린 상태의 사례(Case 2.3.2)는 피난을 성공하였다.

2.1.2.1 화재 및 피난 시나리오 조건

- ① 화재실의 출입문은 방화문으로 1/4 개방조건으로 수행하였음.
- ② 비화재실 피난지연시간
W2를 적용하여 4분과 감지기 작동시간이 43초이므로 비화재실의 피난지연시간은 4분 43초임

2.1.2.2 화재 · 피난 시뮬레이션 결과 값

소화설비 미작동에서 해석으로 Table 3은 피난시뮬레이션 수행결과로 요구피난시간이 4분 57초이다. 또한, Table 4는 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 EXIT1 출입구에서 피난을 완료하며, 다른 출입구에서는 피난을 실패하며, Figs. 4와 5와 6에서 피난실패의 형태를 볼 수 있다.

소화설비 중 스프링클러설비 작동에서 해석으로 Table 5는 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 모든 출입구에서 피난을 완료하며, 안전한 피난을 하였다.

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 4. Fire Occurrence 2 minutes 31 seconds (EXIT2)

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 5. Fire Occurrence 3 minutes 52 seconds (EXIT3)

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 6. Fire Occurrence 4 minutes 10 seconds (EXIT4)

Table 5. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.2			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 31 sec	42 sec	OK
EXIT 2	6 min 5 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	8 min 16 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	9 min 17 sec	4 min 57 sec	

소방설비 중 제연설비만 작동하는 경우로서 Case 2.3에서 Table 6은 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 EXIT1 출입구에서 피난을 완료하며, 다른 출입구에서는 피난을 실패하며, Figs. 7과 8과 9에서 피난 실패의 형태를 볼 수 있다.

소방설비 중 제연설비만 작동하는 경우로 Case 2.3.1에서 Table 7은 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 EXIT1 출입구에서 피난을 완료하며, 다른 출입구에서는

Table 6. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.3			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 24 sec	42 sec	Fail
EXIT 2	2 min 26 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	3 min 40 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	4 min 1 sec	4 min 57 sec

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 7. Fire Occurrence 2 minutes 26 seconds (EXIT2)

피난을 실패하며, Figs. 10과 11과 12에서 피난 실패의 형태를 볼 수 있다.

Case 2.3.2는 소방설비 중 제연설비만 작동하는 경우로서 Table 8은 피난시뮬레이션 수행결과로 요구피난시간이 4분 57초이며, 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 제연설비 작동에서 피난용승강기 부속실 문이 열렸을 때 안전한 피난을 완료하는 경우로서 Figs. 13과 14에서 안전한 피난의 형태를 볼 수 있다.

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 8. Fire Occurrence 3 minutes 40 seconds (EXIT3)

Table 7. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.3.1			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 31 sec	42 sec	Fail
EXIT 2	2 min 26 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	3 min 54 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	4 min 18 sec	4 min 57 sec

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 10. Fire Occurrence 2 minutes 26 seconds (EXIT2)

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 9. Fire Occurrence 4 minutes 1 seconds (EXIT4)

Case 2.4와 Case 2.4.1, Case 2.4.2로서 Tables 9, 10, 11은 허용피난시간과 요구피난시간을 비교한 것으로 모든 출입구에서 피난을 완료하며, 안전한 피난을 하였다.

2.2 화재 및 피난시뮬레이션 수행

화재 · 피난시뮬레이션에서 소화설비 미작동으로 화재구역과 부속실사이의 방화문이 20초 후 닫히는 상태에서의 피난안전성을 확인하여 방화문에 의한 안전성을 확인하였

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 11. Fire Occurrence 3 minutes 54 seconds (EXIT3)

Table 8. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.3.2			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	3 min 14 sec	42 sec	OK
EXIT 2	7 min 4 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	8 min 48 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	9 min 22 sec	4 min 57 sec

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 13. Fire Occurrence 4 minutes 50 seconds (Evacuation of Non-Fire Room)

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 12. Fire Occurrence 4 minutes 18 seconds (EXIT4)

다. 그리고 스프링클러설비를 작동시키는 조건에서는 화재 실 현관 방화문을 개방한 상태에서도 피난안전성을 확보하였다.

제연설비만 작동하는 경우에는 특별피난계단과 비상용 승강기의 부속실 검용 및 피난용승강기 부속실 방화문만 열린 상태에서 피난안전성을 확보하였다.

피난안전성에 실패한 경우는 스프링클러설비 미작동 상

(a) Evacuation Simulation

(b) Fire Simulation

Fig. 14. Fire Occurrence 4 minutes 57 seconds (Evacuation Completion)

Table 9. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.4			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	2 min 14 sec	42 sec	OK
EXIT 2	5 min 20 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	7 min 18 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	8 min 34 sec	4 min 57 sec	

태에서 방화문이 열리는 조건과 제연설비 작동만 작동하는 경우에 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 검용만 작동하는 경우 및 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 검용, 피난용승강기 부속실 방화문만 닫힌 경우이다.

2.2.1 화재 · 피난 시뮬레이션 결과 분석

- (1) 방화문이 닫히는 조건 또는 스프링클러 작동되는 경우는 피난안전성을 확보하였다. 또한, 제연설비만을 작

Table 10. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.4.1			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	1 min 33 sec	42 sec	OK
EXIT 2	5 min 37 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	7 min 14 sec	4 min 55 sec	
EXIT 4	8 min 20 sec	4 min 57 sec	

Table 11. Analysis of Available Safe Egress Time and Required Safe Egress Time

Case 2.4.2			
Location of analysis	ASET	RSET	Evaluation
EXIT 1	2 min 45 sec	42 sec	OK
EXIT 2	9 min 49 sec	4 min 57 sec	
EXIT 3	more than 10 min	4 min 55 sec	
EXIT 4	more than 10 min	4 min 57 sec	

동시키는 경우에는 3가지 Case 중 특별피난계단의 계단실 및 비상용승강기 부속실 검용과 피난용승강기 부속실 방화문 개방에서 피난안전성을 확보하였다.

- (2) 화재실에 연기는 상승하고, 제연 급기구에서 공급되는 외기는 연기에 비해 상대적으로 저온이므로 하강하여 지속적으로 발생하는 연기와 외기가 와류를 발생하고 확산되어 쉽게 인명안전한계인 1.8 m 측정점에 도달하였다. 이에 허용피난시간은 스프링클러와 제연설비를 적용한 경우 보다 스프링클러만 적용한 경우가 더 유리한 조건을 나타내었다.
- (3) 건축과 소방설비의 조합인 화재 세대 출입문이 방화문이므로 닫히는 조건과 스프링클러설비의 작동, 제연설비가 차압과 방연풍속을 확보하면 피난안전성은 확보 가능하다.
- (4) 소방설비를 화재시뮬레이션에 적용을 하기 위하여 검증 및 평가기준이 필요하며, 소방설계의 검증 및 평가는 시뮬레이션 수행의 시나리오 계획, 설비적 가동 조건 등 여러 상황을 고려하여 증명하여야 한다.

2.2.2 화재·피난시물레이션 제안

- (1) 화재·피난시물레이션 수행 시 소방설비 미작동과 소방설비 작동을 수행하며, 여기서 소방설비는 스프링클러 설비와 제연설비를 말한다. 제연설비는 비상용승강기와 특별피난계단 부속실 제연과 피난용승강기 부속실 제연으로 구분한다.
- (2) 스프링클러 설비를 작동 시에는 피난안전성을 확보하는 것으로 결과 값을 얻을 수 있으며, 제연설비는 비상용 및 피난용 승강기 부속실 제연설비의 작동 방식에 따라 피난안전성 확보에 영향을 미칠 수 있으므로 여러가지 상황의 화재시물레이션을 수행하여야 한다.
- (3) 소방설비를 작동하지 않더라도 화재 후 방화문이 열린 상태에서 닫히는 조건일 경우 피난안전성을 확보할 수 있다. 하지만 화재 시 밀폐된 공간에 갇혀 피난안전성을 위협받을 수 있으므로 대피공간 또는 하향식 피난구 등 실내의 양방향 피난을 계획하여야 한다. 하지만 실내 양방향 피난은 세대의 면적을 고려하여 적용하는 것이 바람직하며, 세대의 면적과 연기의 확산 및 대피공간 등을 사용하는 시간을 고려하여 세대내 양방향 피난을 위한 계획이 바람직한지를 검증하여 적용 및 미적용을 제시하여야 한다.
- (4) SFPE 피난지연 시간에 대한 논문은 삭제되었지만, 대체할 기준이 없으므로 피난지연시간을 사용하기 위해서는 피난지연시간에 여유시간을 더하여 신뢰성을 확보하는 방법 등을 적용해야한다. 국내·외에서 피난지연시간에 대한 연구가 되고 있으며, 이러한 연구의 결과를 이용하여 피난안전성을 확보하기 위해 신중한 선택이 필요하다. 본 연구에서는 소방성능위주설계 심의 시 요구되는 대략 20%를 여유율을 적용하였다.

3. 제연설비의 검증

3.1 제연설비 시물레이션의 수행

본 연구에서 수계산에 의한 송풍기(풍량 및 정압) 선정은 제연설비의 성능을 확보하는지를 검증할 수 없으므로 제연설비의 선정 시 검증절차로서 제연시물레이션을 이용하는 것이 가장 보편적이고 신뢰성 있는 방법으로 적용하였다.

제연시물레이션 수행 계획은 비상용승강기와 특별피난계단의 부속실 겸용과 피난용승강기 부속실의 제연설비 작동 시 차압과 방연풍속이 법적 규정을 기준으로 하여 제연설비의 적정성을 판단하였다.

3.2.1 제연설비 제원

지상 49층, 지하4층 건축물로서 비상용 승강기와 특별피난계단의 부속실이 겸용으로 되어 있으며 피난용 승강기의 부속실은 겹부속실 형태로 되어 있는 근래에 표본인 공동주

Table 12. Specifications for Blowers

Combined use of emergency elevator annexe room and special evacuation stair annexe room		
Assortment	Air volume	Static pressure
4th basement to 24th floor	42,800 CMH	750 Pa
24th to 49th floors above the ground	38,800 CMH	750 Pa
Evacuation Elevator		
Air volume	Static pressure	
30,200 CMH	600 Pa	

택 평면 구조이다. 부속실 제연설비는 비상용 승강기와 특별피난계단의 겸용 부속실은 승강로 가압방식으로 상부와 하부 급기시스템을 구분하여 가동하도록 시스템을 구성하였고, 피난용 승강기 부속실은 덕트방식으로 전층 급기시스템을 구성하였다. 송풍기의 제원은 Table 12에 제시한 바와 같이, 비상용 승강기와 특별피난계단의 겸용은 하부(지하4~지상24층)에 42,800 CMH, 750 Pa이며 상부(지상24~49층)에 38,800 CMH, 750 Pa이다. 피난용 승강기용은 30,200 CMH, 600 Pa이다.

3.2 제연 시물레이션 결과값

3.2.1 제연 설비 성능 기준

제연시물레이션은 CONTAM3.1을 사용하여, 차압과 문 2개 개방 시 방연풍속을 측정하여 제연설비의 적정성을 확인하였다. 환경조건으로 연돌효과의 영향과 화재실 온도를 상온으로 하여 부력 등 연기의 특성을 고려하지 않았다.

제연설비의 성능은 특별피난계단의 계단실 및 비상용승강기 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)에서 규정한 것을 기준으로 하였다.

차압은 제6조의 규정에 의거하여 제연구역과 옥내와의 사이에 유지하여야 하는 최소차압은 40 Pa (옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5 Pa) 이상으로 하여야 하며, 최대차압은 제연설비가 가동되었을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘은 110 N 이하로 하여야 한다(NFSC 501, 2019).

방연풍속은 제10조의 규정에 의거하여 부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 거실인 경우 0.7 m/s 이상으로 하며, 제9조에 의거하여 20을 초과하는 경우에는 2개층 이상의 보충량으로 확보하는 것으로 하였다(NFSC 501, 2019).

3.2.2 제연시물레이션 결과 분석

Fig. 15는 제연시물레이션 수행 결과는 차압은 90 N, 방연풍속은 2.4 m/s로서 제연설비의 연기를 차단하는 성능이 확보한 것으로 검증되었다.

- (1) 제연시물레이션 수행으로 차압과 방연풍속의 확보가

(a) Differential pressure approximately 90 N

(b) Velocity to prevent smoke backflow approximately 2.4 m/s

Fig. 15. Performance of Smoke Control Equipmen

검증되었지만 특별피난계단의 계단실 및 비상용승강기 부속실 검용과 피난용승강기 부속실의 겹부속실인 평면 형태는 피난용승강기의 부속실 설비와 특별피난계단의 계단실 및 비상용승강기 부속실 검용설비의 동시 작동으로 풍량의 과다가 발생하여 과압이 발생할 우려가 있어 문의 개폐가 어려울 수 있다.

- (2) 방연풍속이 2.4 m/s는 결과적으로는 방연의 효과가 높아지지만, 과압의 우려와 개연성이 있어서 특별피난계단의 계단실 및 비상용승강기 부속실 검용과 피난용승강기 부속실의 겹부속실 형태는 앞으로 송풍기의 풍량과 정압 및 누설틈새와 겹부속실에 의한 영향 등에 대한 연구가 필요하다.

3.2.3 제연시뮬레이션 제안

- (1) 수계산에 의한 송풍기(풍량 및 정압) 선정은 제연설비의 성능을 확보하는지를 검증할 수 없으므로 제연설비의 선정 시 검증절차로서 제연시뮬레이션을 이용한다. 부속실 및 거실제연 시뮬레이션의 검증은 외부 전문기관 및 인원을 선정하여 검증하는 것이 바람직하고, 제연 시뮬레이션의 결과 값은 정압의 검토, 누설량 및 가산 풍량의 적정성 검토, 개구부의 누설틈새의 검토

등을 통하여 검증할 수 있다.

- (2) 여러 가지 상황을 고려하여 송풍기의 풍량과 정압이 적정한지를 검토하고, 풍량 및 정압의 여유율을 확보하여 시공 시 발생할 수 있는 손실량에 대비하여야 한다.
- (3) 제연시뮬레이션을 수행할 경우 외부의 온도영향(냉난방설비의 용량계산을 위한 설계 외기온도·습도기준 또는 기상청 온도 자료)을 고려하며, 지하주차장 및 1층 로비(현관포함) 등 극간풍량을 고려하여야 한다. 극간풍량은 예상하기 어려우므로 일반적인 누설틈새에 풍속(기상청 풍속의 일자별 또는 월별 등 자료)을 적용하는 방법을 사용하기를 권장한다. 극간풍은 외부에서 들어오는 풍량으로 정확한 풍량의 계산은 어려우며, 이는 풍속, 풍향과 건물풍 등 외부영향을 고려하기 어렵기 때문이다. 또한, 태풍, 강한 바람, 약한 바람 등 평균적인 풍량과 풍속을 선정하기가 어렵다. 연돌 효과에 극간풍을 적용하기 위한 조건은 앞으로 연구와 분석으로 제시되어야 할 것이다.
- (4) 과압에 대한 해결 방법은 직접 과압을 해소하는 방법과 방화문을 열 수 있도록 하는 방법이 있을 수 있다. 예를 들면, 과압을 해소하는 방법은 미세한 압력댐퍼조절에 의한 방법이 있으며, 방화문을 쉽게 열 수 있도록 하는 방법으로는 방화문을 열때 부속실의 압력이 복도 또는 실과 동압이 되도록 하는 방법이 있을 것이다.
- (5) 화재시뮬레이션인 FDS에서 제연에 대한 구현이 가능하다. 즉, FDS에서도 송풍기의 성능곡선을 구현하는 기능에 대한 내용이 있으나, 거의 구현하기 어렵다. 현재 정풍속만을 구현하는 것도 약간의 오류만으로도 시뮬레이션 수행이 중단되고 수천시간이 걸리기도 한다. 하지만 화재에서 제연System을 작동시키는 방법에 대한 연구가 수행되어 화재환경에서 소방설비를 적용하여 피난 및 소화활동의 구체적인 방법을 제시할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 방화문, 스프링클러설비, 부속실 제연설비를 적용하여 피난안전성을 검토하였다.

화재·피난시뮬레이션의 가정 중 화재실의 방화문이 열렸다가 20초 후 닫히는 경우, 스프링클러설비가 작동하는 모든 경우, 제연설비만 작동하는 경우는 피난용승강기의 부속실 문의 열렸을 때 피난안전성을 확보하였다.

피난안전성을 확보 못한 경우는 3가지로서 Case 2.1에서 소화설비 미작동과 방화문은 1/4개방상태인 경우, Case 2.3에서 소방설비 중 제연설비만 작동하고, 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 검용인 상태와 방화문은 1/4개방상태인 경우, Case 2.3.1에서 소방설비 중 제연설비만

작동하며, 피난용 승강기 부속실 문은 닫힌 상태로써 제연설비는 특별피난계단과 비상용승강기 부속실 겸용이고, 피난용승강기 부속실과는 겹부속실 형태인 경우이다.

본 연구 결과로 현관문은 방화문으로 설치하고, 스프링클러설비와 제연설비를 건축물에 적법하게 설치할 경우 피난안전성을 확보할 수 있다.

피난약자를 위해 거실에서의 양방향 피난을 가능하게 하면 피난안전성이 더욱 높아 질 것이다.

그리고 Performance-based design은 성능을 기반으로 하는 설계를 의미하는 것으로 소화설비를 적용한 안전한 건축물을 건축하는데 목적이 있다.

본 연구의 서론에서 언급한 것과 같이 “건축물은 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 건축물에 적합하게 설치되는 상호보완적인 관계를 이루어 안전을 추구한다.”라는 대전제를 기본으로 화재·피난시물레이션 및 제연시물레이션 수행 시 소방설비를 적용하여 공동주택의 피난안전성 확보를 위한 기준을 제시하고자 한다.

- 1) 스프링클러설비는 화재 진압 또는 화재 시 열방출률을 감소시켜 피난 성공의 신뢰성을 높인다. 그러므로 현재 설계되는 수평거리 방식에서 NFPA와 같은 살수밀도 관점에서 화재에 직접 침투 및 냉각효과를 가져오는 물방울에 대한 ADD, RDD의 개념에 의한 화재저항을 확립할 수 있도록 법적 규정의 재검토가 필요하다.
- 2) 공동주택의 평면은 비상용 승강기와 특별피난계단의 부속실 겸용과 피난용 승강기 부속실과 겹부속실 형태로 제연설비의 성능을 확보하기 어려운 구조이다. 제연설비의 성능을 위해 엔지니어의 고민과 실험 및 연구 등을 통하여 설비적 완성도를 높여야 할 것이다. 물론

건축평면에 대한 검토 또는 수정 등이 함께 수행되어야 한다. 현 평면 상에서 방연풍속은 화재구역과 부속실 사이에서 확보하는 경우로만 가정하여, 피난용승강기 부속실의 방연풍속에 대한 풍량을 제외시켜 송풍기를 선정하는 것이 바람직하다.

References

- Kwon, Y.H., Chae, S.G., and Min, S.H. (2020). A Study on the Establishment of Sprinkler System in Duct Passing through Fire Compartment Walls. *The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 20, No. 1, pp. 239-244.
- Lee, Y.J., and Lee, B.J. (1998). A case on the escape performance of apartment buildings. *Journal of the Korean Society of Disaster Prevention and Fire Prevention*, Vol. 12, No. 4, p. 61.
- National Fire Agency of Republic of Korea. (2017). *Performance based design methods and standards on fire-fighting system installation act. Annex 1.*
- NFSC 501. (2019). *Smoke control equipment of national fire safety code.*

Received	October 25, 2021
Revised	October 26, 2021
Accepted	November 5, 2021