성능위주설계시 화재경보방식에 따른 피난평가의 방향연구

허준호[†] · 정기신^{*}

세명대학교 소방방재공학과 대학원생, *세명대학교 소방방재공학과 교수

A Study of the Direction of Evacuation Evaluation According to the Fire Alarm Method in Performance-Based Design

Jun-Ho Hur[†] · Keesin Jeong^{*}

Graduate Student, Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung Univ.,

^{*}Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung Univ.

(Received March 24, 2021; Revised April 19, 2021; Accepted April 19, 2021)

요 약

국내 건축물에 적용하고 있는 성능위주설계에서 화재경보에 의한 피난평가 시 단일층 수평피난으로 안전성을 판단하는 것은 현재 소방설계의 화재경보기준인 직상층, 직상4개층 우선경보방식과 상충되어 성능위주설계를 통한 피난안전성 향상에 어려움이 있다. 따라서, 국내 화재경보방식 설계기준을 분석하고 단일층, 직상층, 직상4개층 우선경보방식별 피난시뮬레이션을 Case별로 비교평가한 결과, 건축물 규모에 따라 우선경보피난을 선택하여 피난평가를 하는 경우가 현실에 부합한다고 판단하였다. 그러므로 성능위주설계는 건축물의 규모에 따른 직상발화 우선경보방식을 반영한 층구분과 피난인원의 산정을 피난평가에 반영하고, 그 정체 및 피난지연현상을 분석하여 피난안전성을 평가하는 방법으로 제안하고자 한다.

ABSTRACT

In performance-based design applied to domestic buildings, when evaluating evacuation by fire alarm, safety evaluation by single-floor horizontal evacuation contradicts the priority alarm method of the immediately upper and four higher floors, which is the fire alarm standard of the current firefighting design, making it difficult to improve evacuation safety through safety in performance-based design. Therefore, by analyzing the domestic fire alarm design standards and evaluating the evacuation simulation case by case for a single floor, immediate upper floor, and four floors directly above, the evacuation evaluation is performed through priority alarm evacuation according to the size of the building. It was judged to be suited to actual conditions. Therefore, a performance-based design is proposed as a method of evaluating evacuation safety by including the floor classification and providing an evacuation personnel calculation reflecting the priority alarm method above according to the size of the building and an analysis of congestion and evacuation delay phenomena.

Keywords : Performance-based design, Evacuation simulation, Fire alarm standard, Evacuation evaluation

1. 서 론

건축물 설계 시 소방분야는 기계 및 전기설계의 일부분으로 적용되어 법적기준에 맞추어 시스템을 적용하고 국가 화재안전기준의 정형적인 설계를 해오고 있었던 것이 현실이다. 그러나 2011년부터 기존의 설계방식을 벗어난 성능위주설계라는 제도추진은 소방설계를 기술적으로나 인명안전차원에서나 발전시키는 계기가 되었다.

하지만, 성능위주의 설계에서 인명안전을 위한 피난평가 시 건축물에서 피난하는 거주자가 단일층 수평피난으로 피난시뮬레이션을 실시하고 그 결과로 피난안전성을 평가하고 있는 성능위주설계 방법은 국내 건축물 소방설계에서 적용하는 화재 시 경보방식과 상충되는 피난의 형태를 가지고 있어서 실제 화재가 발생하고 건축물에서 화재경보에 의해 거주자가 피난을 실시하는 상황과는 다른 결과를 도출할 수 있어 현실적으로 건축물의 피난안전성을 향상시키

[†] Corresponding Author, TEL: +82-2-404-8111, FAX: +82-2-404-8112, E-Mail: jhhur07@hanmail.net

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

Figure 1. Classification of fire alarm methods.

는데 어려움이 있다고 판단되었다.

따라서 현재 성능위주설계의 피난형태인 단일층 수평피난과 건축물 소방설계의 기본이 되고 있는 국가화재안전기준의 직상층 우선경보, 직상4개층 우선경보의 화재경보방식을 적용한 피난시물레이션을 Case별로 진행하고, 이를 확인 및 분석하므로써 현실에 부합한 피난평가의 방향을 도출하고 본 연구를 통해 개선된 피난평가가 건축물 피난 안전에 보다 발전적인 방법으로 기여하자고 한다.

2. 건축물 화재경보설계 및 피난평가 기준의 고찰

2.1 국내 화재경보설계 기준의 분석⁽¹⁾

건물에서 화재경보시스템(fire alarm system)은 화재가 발생할 경우 경보범위의 재실자에게 화재경보음과 비상방송으로 통보하여 피난을 하도록 하는 매우 중요한 시스템이다. 화재경보시스템은 자동경보시스템과 수동경보시스템으로 구성되어 있다.

자동경보시스템은 화재를 감지하는 감지기에 의하여, 수동경보시스템은 발신기에 의하여 화재발생을 수신기(P형 또는 R형)에 표시 및 기록하고 벨, 사이렌 등이 화재음향장치 등에 의해 즉시 화재경보음을 울리도록 구성되어 있다. 비상방송은 화재발생의 신고를 수신한 후 일정시간 이내에 필요한 음량으로 화재발생상황 및 피난에 유효한 방송이 자동으로 개시하도록 되어 있다.

국내 화재경보방식은 화재예방, 소방시설·유지 및 안전관리에 관한 법률에서 정하는 건축물중 일정규모이상의 건축물에는 Figure 1과 같이 일제경보방식과 우선경보방식으로 구분하여 적용되되, 일제경보방식이란 화재발생 시 층구분없이 동시에 전층에 화재경보를 울리는 방식을 말하며, 우선경보방식이란 층을 경보범위별로 구분하여 우선으로 화재경보를 하는 방식을 말한다. 우선경보방식은 층수가 5층 이상 29층 이하로서 연면적 3,000 m²를 초과하는 특

정소방대상물 또는 층수가 30층 이상인 특정소방대상물로 구분되며, 전자는 발화층 및 그 직상층경보방식이고, 후자는 발화층 및 그 직상4개층 경보방식이다.

2.2 현재 건축물 피난평가의 적용기준

국내에서는 2011년부터 특정소방대상물을 대상으로 공학기반의 시물레이션을 통해 특정소방대상물을 대상으로 공학기반의 시물레이션을 통해 화재안전 성능위주설계(performance-based design, PBD)를 시행하고 있다. PBD에서는 화재의 안전성 평가에 영향을 미칠 수 있는 다양한 인자들에 대한 복합적인 검토의 한계로 인하여, 보다 단순한 timeline 분석에 근거하여 허용피난시간(available safe egress time, ASET)과 요구피난시간(required safe egress time, RSET)의 비교를 통해 평가된다. ASET과 RSET은 각각 화재 및 피난시물레이션에 의해 예측되며, ASET이 RSET에 비해 클 때, 상대적으로 화재로부터 안전한 건축물로 평가될 수 있다. 따라서 PBD를 통한 화재안전성평가의 신뢰성을 확보하기 위해서는 보다 정확한 ASET과 RSET의 예측이 필수적이라 할 수 있다⁽²⁾.

그러나 이러한 판단을 위한 화재시물레이션과 피난시물레이션의 평가는 화재가 발생한 해당층의 결과를 바탕으로 하고 있는 것이 현재 국내성능위주설계의 현실이다. 건축물에는 국내 소방법에 의하여 소방시설이 갖추어져 있고, 성능위주설계에서는 기계적 소방시설인 스프링클러와 제연설비 등의 소방시설은 경우에 따라서 worst case를 고려하여 작동되지 않는 것으로 한정하고 있으나, 자동화재탐지설비의 화재감지는 작동되는 것으로 보고 피난계산을 적용하고 있다⁽³⁾.

국내 소방시설의 적용과 설치에 관련된 소방법규인 국가화재안전기준(NFSC)의 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(NFSC 203)과 고층건축물의 화재안전기준(NFSC 604)에서는 건축물의 규모에 따라 화재경보방식을 다르게 적용하고 있다^(4,5). 실제 건축물 화재 시 이러

Figure 2. Location of fire and evacuation stairs.

Table 1. Conditions of Fire Detection Time

Division	Contents
Fire simulation	Heat detector or smoke detector operating time
Guidelines for construction disaster prevention (Japan)	$2\sqrt{\text{Room Floor Area}} = 2\sqrt{22.5} = 9.5 \text{ s}$ (30 s if the calculated value is 30 s or less)

※ In this paper, we follow the guidelines for construction disaster prevention.

Table 2. Estimated Delay Time to Start Evacuation in Minutes⁽⁸⁾

Occupancy type	W1 (min)	W2 (min)	W3 (min)
Offices, commercial and Industrial buildings, schools, colleges and universities (Occupants awake and familiar with the building, the alarm system, and evacuation procedure.)	< 1	3	> 4

W1: live directives using a voice communication system from a control room with closed-circuit television facility, or live directives in conjunction with well-trained, uniformed staff that can be seen and heard by all occupants in the space.

한 경보방식에 의한 화재경보가 발령하였을 때 재실자의 피난방식은 현재 진행되고 있는 성능위주설계 시 단일층 피난방식과는 다른 양상을 보일 수 있다고 판단된다. 성능위주설계의 피난안전에 대한 재실자의 이동에 따른 적용범위와 실제 건축물에서의 화재 시 적용범위가 다르다면 성능위주설계의 피난안전성평가 판단에 대한 신뢰도는 매우 낮아질 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구는 화재가 발생했을 경우의 건축물에서 발생할 수 있는 피난상황을 Case별 피난시뮬레이션을 통하여 확인하고 현실적인 피난평가의 대안을 찾고자 한다.

3. 경보방식을 반영한 피난시뮬레이션 평가

3.1 피난시뮬레이션의 구성

당해 건축물 피난평가를 위한 피난시뮬레이션 Tool은 Thunderhead사의 Pathfinder를 사용하여 Figure 2와 같은 기준층 평면을 가지고 있는 지하5층, 지상30층의 업무시설을

대상으로 “소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준”(소방청 고시 제2017-1호) 별표1에 명기하고 있는 수용인원 산정기준에 의하여 용도별로 결정하고 있는 업무용도(9.3 m²/인)의 수용인원 산정기준을 적용하였다⁽⁶⁾. 화재감지시간은 Table 1의 조건에 따라 구분하고 있으나, 본 연구에서는 일반적으로 보수적인 시간을 갖는 일본 건축방재계획지침의 적용시간을 산정하였고⁽⁷⁾, 피난지연시간은 Table 2와 같은 조건에 의하여 업무시설(사무실)의 W1 (60 s)에 준하는 시간을 적용하였다.

본 연구는 화재가 발생한 발화층과 특별피난계단으로 연결된 피난층까지의 피난이 이루어지는 상황으로 Table 3과 같은 Case별 피난조건에 따라 피난지연 및 피난계단에서의 정체 등을 고려한 피난평가를 실시하였다.

3.2 피난시뮬레이션 Case 1(피난층 + 발화층 우선경보)

일반적으로 화재가 발생하고 발화가 이루어진 단일층에서의 화재경보와 수평피난이 이루어지는 상황을 고려하여

Table 3. Conditions of Evacuation Evaluation by Case

Division	Conditon	Contents
Case 1	Evacuation floor + Ignition floor	Horizontal evacuation to the floor where the fire occurred and vertical evacuation to the evacuation floor immediately below
Case 2	Evacuation floor + Ignition floor + floor directly above	Vertical evacuation to the evacuation floor considering the ignition floor and the floor above it among the priority alarm methods
Case 3	Evacuation floor + Ignition floor + 4 floors directly above	Vertical evacuation to the evacuation floor considering the ignition floor and the four floors above it among the priority alarm methods

Figure 3. Composition of evacuation simulation for ignition floor and evacuation floor.

Figure 3과 같이 피난층과 발화층의 2개층에 연결된 특별피난계단을 이용하여 피난층 외부출입구까지 화재감지 및 피난지연시간을 고려하고 피난을 실시한 결과 발화층 거주자 108명의 인원이 발화층에 설치된 피난계단의 출입구까지 수평피난이 완료된 시간은 182 s, 피난층 외부출입구까지는 216 s에 수직피난이 완료되었다. 피난층 + 발화층 피난의 경우 2개의 특별피난계단에서 수직피난을 실시할 경우 발화층 단독피난에 비하여 다소 시간이 소요되었지만 무난하게 피난이 이루어졌다.

3.3 피난시물레이션 Case 2 (피난층 + 발화층 + 직상층 우선경보)

국내 소방법의 발화층 및 직상층 우선경보방식을 건축물에 적용하여 Figure 4와 같이 피난층 + 발화층 + 직상층 피난시물레이션을 실시한 결과 연결된 2개의 특별피난계단을 이용하여 피난층 외부출입구까지 화재감지시간과 피

난지연시간을 고려하고 피난을 실시한 결과 2개층 거주자 216명의 인원중 발화층 거주자 108명이 발화층에 설치된 피난계단의 출입구까지 수평피난이 완료된 시간은 238 s, 전체 거주자 216명이 피난층 외부출입구까지는 287 s에 수직피난이 완료되었다.

피난층 + 발화층 + 직상층 피난의 경우 2개의 특별피난계단에서 수직피난을 실시할 경우 2개층 계단에서의 수직피난으로 정체가 발생하여 발화층 피난인원의 수평피난에도 영향을 미치게 되며 발화층 수평피난시간도 지연이 되는 것으로 분석되었다.

3.4 피난시물레이션 Case 3 (피난층 + 발화층 + 직상4개층 우선경보)

국내 소방법중 고층건축물에 설치하는 발화층 및 직상4개층 우선경보방식을 건축물에 적용하여 Figure 5와 같이 피난층 + 발화층 + 직상4개층 피난시물레이션을 실시한 결

Figure 4. Composition of evacuation simulation for ignition floor and upper floor and evacuation floor.

Figure 5. Composition of evacuation simulation for ignition floor and upper 4 floor and evacuation floor.

과 연결된 2개의 특별피난계단을 이용하여 피난층 외부출입구까지 화재감지시간과 피난지연시간을 고려하고 피난을 실시한 결과 5개층 거주자 540명의 인원중 발화층 거주자 108명이 발화층에 설치된 피난계단의 출입구까지 수평피난이 완료된 시간은 250 s, 전체 거주자 540명이 피난층

외부출입구까지는 509 s에 수직피난이 완료되었다.

피난층 + 발화층 + 직상4개층의 경우 2개의 특별피난계단에서 수직피난을 할 경우 수직피난계단에서의 정체는 직상층 정보보다 더 많은 시간이 소요되고, 본 Case의 발화층에서 수평피난하는 피난인원의 피난에도 더 많은 영향을

Table 4. Evacuation Evaluation Analysis by Case

Division	Number of evacuees (person)	Detection and delay time	Completion of horizontal evacuation for the ignition floor	Evacuation floor total evacuation completed
Case 1	108	90 s	182 s	216 s
Case 2	216	90 s	238 s	287 s
Case 3	540	90 s	250 s	509 s

Figure 6. Comparison of evacuation completion time by case of horizontal and vertical evacuation.

미치게 되어 초기피난이 이루어지는 발화층 수평피난시간의 경우 발화층 단독피난 그리고 발화층 + 직상층 피난보다도 더욱 지연이 되는 것으로 분석되었다.

3.5 피난시뮬레이션 Case 비교분석

피난시뮬레이션은 Table 4의 결과와 같이 Case별로 발화층 피난계단실 출입구에서 수평피난완료시간이 각각 다르게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 직상층과 직상4개층 동시수평피난이 이루어지고 동시에 특별피난계단을 이용한 수직피난에서의 계단실내 정체로 인하여 층수평피난에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

또한 Case별 동시피난의 경우 Figure 6의 Case별 수평, 수직피난의 경우와 같이 피난층까지 수직피난하는 거주자의 전체피난에도 영향을 주게되어 피난층까지의 총피난시간은 화재경보방식에 따른 층구분에 따라 연속적으로 연장될 수 있으므로 인명안전에 대한 피난안전성평가가 이루어질 경우 이를 고려할 필요가 있다고 판단된다.

4. 건축물 피난평가의 방향설정

4.1 직상발화 우선경보방식 미적용 피난평가

국내 화재경보방식을 적용하지 않고 발화층 단독 수평피난만을 평가할 경우 Case 1과 같은 결과에 따라 단일층 피난인원(108명)이 발화층 피난계단 출입구까지 피난이 완료되는 피난상황에서 화재감지 지연 및 계단출입구에서의 혼잡으로 인한 피난지연이 발생할 수 있으며 기타층의 거주자에 대한 수평 및 수직 피난평가는 이루어지지 않는 것으로 분석되었다.

따라서, 단일층의 수평적 피난과 혼잡 그리고 적절한 피난용량산정의 평가는 가능하나 다수층 거주자의 동시피난에 대한 평가에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

4.2 직상발화 우선경보방식 적용 피난평가

국내 건축물중 직상발화 우선경보방식을 반영한 수평 및 수직피난을 평가할 경우 Case 2와 3의 결과와 같은 피

난인원(직상층 경보: 216명, 직상4개층 경보: 540명)은 발화층 단독 피난인원보다 많은 피난용량으로 발화층 및 각층의 수평적 피난에서는 화재감지 지연 및 피난계단 출입구에서의 혼잡과 2개층 또는 5개층 동시에 수직피난이 이루어지는 피난계단실내의 정체로 인하여 발화층 단독수평피난보다 많은 피난지연시간이 발생할 수 있다는 것으로 분석되었다.

따라서, 직상발화 우선경보방식에 의한 피난은 국내 건축물 소방설계의 화재경보에 의한 다수층에서의 동시피난이 이루어지는 현실적인 피난형태이며, 이를 반영한 피난평가는 피난안전성을 향상시키는 근본적인 대안이 될 수 있다고 판단한다.

5. 결 론

건축물의 성능위주설계시 피난평가는 건축물에서 재실자의 안전한 피난이 이루어지는가의 판단방향을 설정하는 데는 매우 중요한 요소로 볼 수 있다. 따라서 아래와 같은 Case별 피난시물레이션을 실시하고 분석함으로써 건축물 소방설계시 화재경보방식을 반영한 현실에 부합하는 피난평가 방향을 제안하고자 한다.

1) 성능위주설계에서 피난평가지 적용가능한 단일층 수평피난(Case 1)과 직상층 우선경보피난(Case 2), 직상4개층 우선경보피난(Case 3)의 피난시물레이션을 통해 비교평가한 결과, 건축물 규모에 따라 직상발화 우선경보방식(직상층 또는 직상4개층)을 선택하여 피난평가를 실시하는 경우가 현실에 부합하다고 판단하였다.

2) 따라서, 성능위주설계에서의 피난평가는 국내 화재안전기준에 의거하여 설계되고 있는 건축물의 소방설계 화재경보방식을 적용하여 직상발화 우선경보방식(직상층 또는 직상4개층)에 의한 층구분과 피난인원의 산정을 피난평가에 반영하고, 그 정체 및 피난지연현상을 분석하여 피난안전성을 평가하는 방법으로 제안하고자 한다.

이러한 평가방식의 도입을 통하여 보다 발전적인 성능위주설계의 피난평가가 이루어짐으로써 건축물 설계시 피난안전성이 보장된다면 화재시 건축물에서 피난하는 재실자의 인명안전에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

References

1. S. H. Lee, "A Study on Sequential Evacuation Alarm Broadcasting for Safety Evacuation of High-rise Building (Office Buildings)", Master of Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea (2018).
2. H. S. Han and C. H. Hwang, "Study on the Available Safe Egress Time(ASET) Considering the Input Parameters and Model Uncertainties in Fire Simulation", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 112-120 (2019). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.3.112>.
3. M. E. P. Samoo, "Preliminary Review for Performance Based Design", Samoo M.E.P Consultant, Korea (2021).
4. Fire Department Notification, "Fire Safety Standards for Automated Re-Detection Facilities and Visual Alarm Devices", Article 8 (2017).
5. Fire Department Notification, "Fire Safety Standards for High Rise Buildings", Article 8 (2017).
6. Fire Department Notification, "Performance Based Design Methods and Standards for Firefighting Facilities", [Asterisk 1] (2017).
7. The Building Center of Japan and Korea Fire Protection Association, "Evacuation Plan", Guidelines for Construction Disaster Prevention, p. 134 (1997).
8. G. Proulx, "Movement of People: The Evacuation Timing", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Third Edition), pp. 3-351 (2002).