

[Technical Paper]

피난 지연시간의 적용과 방화문 개방 정도에 따른 피난 안전성 확보에 관한 고찰 : 주거형태를 중심으로

서동길 · 김미선 · 구선환* · 송영주**†

에이원소방 이사, *에이원소방 과장, **동신대학교 소방행정학과 교수

A Study on the Safety of Evacuation according to Evacuation Delay Time and Fire Door Openness: Based on Residence Types

Dong-Gil Seo · Mi-Seon Kim · Seon-Hwan Gu* · Young-Joo Song**†

Managing Director, A-ONE Fire Protection Co., Ltd.,

*Manager, A-ONE Fire Protection Co., Ltd.,

**Professor, Dept. of Fire Administration, Dongshin Univ.

(Received February 26, 2020; Revised March 16, 2020; Accepted March 23, 2020)

요 약

본 논문은 주거형태를 가지는 건축물의 성능위주설계 시 수행되는 피난 지연시간(인지 시간 + 개시 시간)의 적용과 세대 내 방화문의 개방 정도가 피난 안전성 평가에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고 현실적 대안을 제시하기 위한 논문이다. 본 연구를 수행하기 위해 먼저 2018년 6월까지 시행되었던 광주광역시의 성능위주설계 대상 건축물 중 주거 형태를 가지는 건축물(공동주택, 도시형생활주택 등)의 피난 안전성 평가에 대해 선행 조사를 하였다. 그런 다음 선행 조사된 건축물 중 일반적으로 많이 사용되고 있는 2가지 대표적인 Type에 대해 피난 지연시간은 W1, W2를 적용하고 방화문의 개방 정도는 전체개방, 1/4 개방, 누설 틈새를 각각 적용하여 시뮬레이션한 다음 피난 안전성 평가를 수행하였다. 피난 안전성 평가의 수행결과 방화문 개방 정도가 전체개방 및 1/4 개방 상태에서 사생활 침해 등을 고려하여 피난 지연시간 W2를 적용한 경우에는 피난 안전성을 모두 확보하기 어려운 것으로 나타났으며, 누설 틈새를 적용한 경우에만 피난 지연시간 W2를 적용해도 피난 안전성이 확보되는 것으로 나타났다. 따라서, 주거형태를 가지는 건축물이 성능 위주설계 대상이 될 때 피난 안전성 평가 수행 시 CCTV 설치 등으로 사생활 침해 등의 우려가 있는 국내 현실을 반영하여 피난 지연시간은 W1보다는 W2의 적용을 검토하고 방화문의 차연성능 확보 및 성능위주 설계의 고도화를 위해 방화문의 개방 정도에 누설 틈새를 적용하는 방안도 함께 검토해 줄 것을 제안하고자 한다. 이를 통해 성능위주 설계 시 좀 더 현실화된 자료로 피난 안전성 평가를 수행함으로써 한 단계 더 발전된 성능위주설계가 될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this paper, the application of evacuation delay time (Cognition time + initiation time) and examine the degree of opening of fire doors in households for evaluating evacuation safety and suggest a realistic alternative. In order to proceed with this study, first of all, the preliminary investigation on evacuation safety evacuation of residential-type buildings (Apartment, urban living houses, etc.) among the performance-oriented design targets of Gwangju Metropolitan City, which was implemented until June 2018. Then, for the two representative types that are commonly used among the previously surveyed buildings, evacuation delay time is applied to W1, W2, and respectively simulating the opening of the doors is applied to th full open, 1/4 open, the leakage gap and evacuation safety evaluation was performed. As a result of evaluating evacuation safety was found that it is difficult to secure evacuation safety regardless of evacuation delay time W1 and W2 when the fire door is fully open and 1/4 open, Only when the leakage gap is applied evacuation safety was ensured even if evacuation delay time W2 was applied. Therefore, when a residential building is subject to performance-oriented design, evaluating the application of W2 rather than W1 is considered for evacuation delay time to reflect concern about privacy infringement due to CCTV installation, etc. In order to secure the Smoke blocking performance of the fire door and to improve the performance-oriented design, I would like to propose to consider the method of applying a leak gap to the degree of opening of the fire door. Through this, it is expected that the performance-oriented design will be a step further by performing evacuation safety evaluation with more realistic data.

Keywords : Evacuation delay time, Fire door, Residential-type buildings, Evacuation safety sssessment

† Corresponding Author, E-Mail: dewangell@naver.com. TEL: +82-61-330-3563, FAX: +82-61-330-3568

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

최근 건축물의 대형화, 초고층화, 지하 심층화, 복합화됨에 따라 성능위주 설계 대상이 증가하게 되었고 이로 인한 화재의 양상이 복잡·다양해지고 피난 동선도 길어져 재실자의 피난 여부를 파악하는 것이 중요하게 되었다. 건축물 재실자의 피난 여부를 파악하는 방법 중 가장 일반적으로 많이 사용하는 방법이 시물레이션을 통한 피난 안전성 평가이지만 피난 안전성 평가 수행 시 입력 조건에 따라 그 결과가 달라지는 문제점이 있다. 피난 안전성 평가는 화재 시물레이션과 피난 시물레이션을 수행해서 나온 결과를 비교 분석함으로써 안전성 여부를 판단하게 되는데 화재 시물레이션의 중요 인자로는 열방출율(Heat release rate, HRR), 화재성장곡선, 인명안전기준 등이 있으며, 피난 시물레이션의 중요 인자로는 용도별 수용인원, 재실자 구성과 비율, 보행속도, 피난 지연시간 등이 있다.

이 중 대부분은 다양한 성능위주 설계 과정을 거치면서 최선의 조건들로 도출되었으나, 방화문의 개방 정도와 피난 지연시간에 대해서는 아직도 많은 논란을 불러일으키고 있다. 즉, 화재 시 연기의 전파가 문의 개방 정도에 따라 다르게 나타날 수 있는데 문이 개방되는 경우 연기의 확산이 빨라 보수적인 안전성 평가를 수행할 수 있으나 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙(이하 건축물 방화구조 규칙이라 한다.)’ 제14조(방화구획의 설치기준)에 의해 방화문은 닫힌 상태를 유지해야 하고^(1,2), 차연 성능도 만족되어야 하는 서로 상충 되는 문제점이 있다. 그리고 피난 지연시간의 경우 ‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’ 별표 1에 의해 경보설비의 유형이나 거주자의 특성에 따라 W1, W2, W3로 분류하여 적용되고 있는데 W1은 CCTV 설비를 갖추어 방송을 통해 육성지침을 제공하거나 훈련된 직원에 의해 육성지침을 제공할 수 있는 경우에 적용할 수 있고, W2는 녹음된 음성 메시지 또는 훈련된 직원과 함께 경보방송을 제공할 수 있는 경우에 적용되며 W3는 화재 신호를 이용한 경보설비와 함께 비훈련된 직원을 활용하는 경우에 적용된다. 그러나 주거형태를 가지는 건축물의 경우 사생활 침해 등의 문제로 거주공간에 CCTV를 설치할 수 없고^(3,4), 훈련된 직원도 상주할 수 없으므로 W1

을 적용하기 어려움이 있는데도 불구하고 W1을 적용하고 있는 문제점이 있다.

따라서 본 논문은 이러한 문제점을 개선하기 위해 광주광역시에서 수행되었던 성능위주설계 대상 건축물 중 주거형태(공동주택, 오피스텔, 생활형 숙박시설)를 가지는 건축물에 대해 선행 조사하여 방화문의 개방 정도와 피난 지연시간을 분석하였으며, 이것을 바탕으로 화재 및 피난 시물레이션을 진행한 다음 피난 안전성 평가를 수행하여 피난 안전성 확보 여부를 확인·판단하고 분석하여 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 성능위주설계 선행조사 및 이론적 고찰

2.1 성능위주설계 선행 조사

선행 조사한 대상 건축물은 광주광역시에서 진행되었던 성능위주설계 대상 건축물로 2018년 6월까지 총 17건이 수행되었다. 이 중 주거형태를 가지는 건축물인 공동주택과 생활형 숙박시설은 13건으로 성능위주설계 대상 건축물의 약 76.5%를 차지하고 있으며, 주거형태를 가지는 건축물 중에서는 공동주택이 10건으로 약 58.8%, 생활형 숙박시설이 3건으로 약 17.7%를 차지하고 있다. 여기에서, 방화문의 개방 정도를 살펴보면 공동주택의 경우 닫힌 상태가 6건으로 60%로 나타났고, 나머지 4건 중 2건은 1/4 개방 상태, 2건은 피난 시 순간 개방 후 다시 닫히는 상태인 것으로 각각 20%로 나타났으며 생활형 숙박시설의 경우 3건 모두 닫힌 상태로 나타났다. 이것을 정리하면 전체 13건 중 닫힌 상태가 9건으로 약 69.2%를 차지하고 있고, 1/4 개방 상태와 피난 시 개방 후 다시 닫히는 상태가 각각 2건씩으로 약 15.4%를 차지하고 있다. 이 중에서 닫힌 상태로 수행된 총 9건 중 누설 틈새를 적용한 경우는 7건으로 약 77.8%의 비율을 차지하고 있으며 이것은 ‘건축물 방화구조 규칙’ 제14조(방화구획의 설치기준)를 피난 안전성 평가에 반영한 것이다. 이것을 나타내면 Figure 1과 같다.

비화재실의 피난 지연시간을 살펴보면 총 13건 중 W1이 8건으로 약 62%를 차지하고 있으며, 나머지 5건이 W2를 적용하고 있고, W3를 적용한 경우는 하나도 없었다. W1의

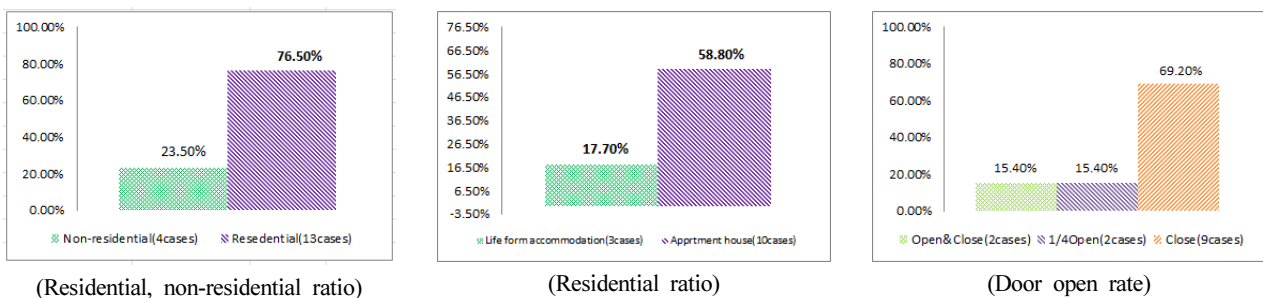


Figure 1. Performance based design preference survey.

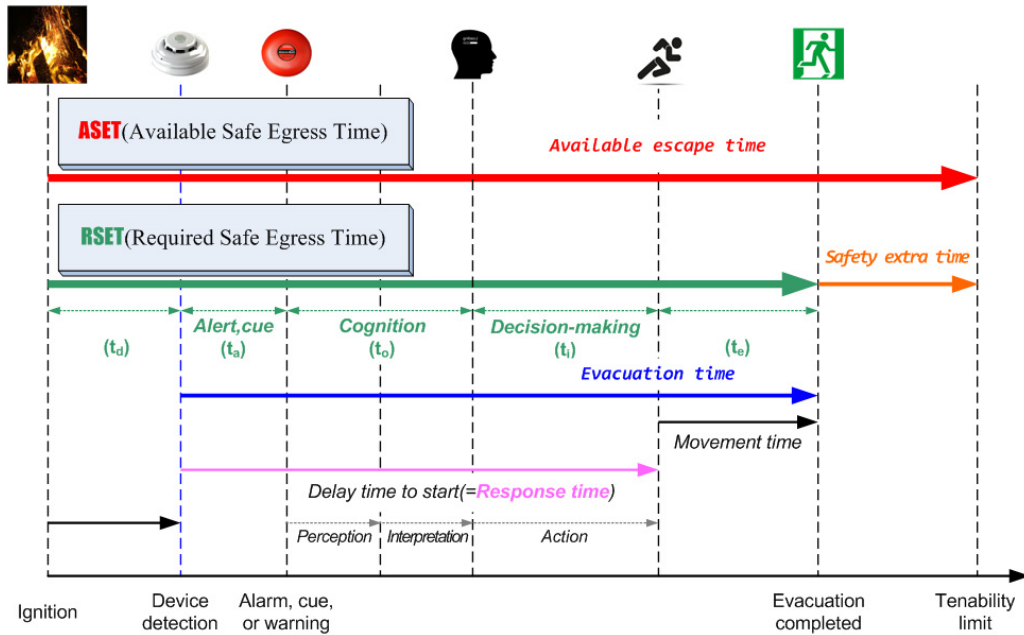


Figure 2. Composition of required safe egress time^(5,6).

경우 CCTV 설비를 갖추어 방송을 통해 육성지침을 제공하거나 훈련된 직원에 의해 육성지침을 제공하는 경우에 적용할 수 있으나 약 62%는 국내 현실상 사생활 침해 등의 이유로 W1을 적용할 수 없는 상황임에도 불구하고 W1을 적용하여 피난 안전성 평가를 수행한 것으로 나타났다.

2.2 피난안전성 평가 방법

성능위주설계 시 실시하는 피난 안전성 평가는 화재 시 재실자의 안전을 정량적으로 판단하는 것으로 일반적으로 결정론적 해석 방법인 ASET, RSET을 비교 판별하는 방법을 사용한다. Available safe egress time (ASET)은 피난 허용 시간으로 화재로 인해 위험이 과급되기까지의 시간을 의미한다. 또한, 거주자가 인명안전기준에 도달하는 시간을 뜻하는 것으로 화재 시뮬레이션을 통해 측정한다.

Required safe egress time (RSET)은 피난 완료 시간으로 거주자가 피난을 완료하기까지의 시간을 의미하며, 감지시간, 반응/지연시간, 이동시간, 안전여유시간의 합으로 표현된다. 감지시간은 화재 시뮬레이션을 통해 추출하고, 피난 지연시간은 ‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’ 별표1의 피난 지연시간 기준에 의해 설계되고, 이동시간은 피난 시뮬레이션을 통해 측정하게 된다. 이것을 나타내면 Figure 2와 같다.

ASET과 RSET를 비교하는 피난 안전성 평가의 결과는 ASET이 RSET 보다 클 때 안전성이 확보되는데, 그 차가 클수록 안전도는 높아진다. 그러나 이와 반대일 경우 피난 안전성을 확보할 수 없으며, 건축적인 대책과 설비적인 대책 등을 수정 보완·추가하여 피난 안전성 평가를 재수행함으로써 안전성을 확보하여야 한다.

3. 피난안전성 평가

3.1 피난안전성 평가 프로그램

화재 시뮬레이션은 화재를 예측하는 방법 중 가장 진보적이며 정량적 수치해석이 가능한 예측 방법으로 화재 시나리오에 따라 설계자의 다양한 시각에서 화재를 예측할 수 있고, 화재로 인한 위험 요소를 인명안전기준에 맞추어 비교 분석함으로써 다양한 대책 또한 수립할 수 있다.

화재 해석은 다양한 모델링을 통해서 이루어질 수 있는데 일반적으로 피난완료시간을 인명안전기준과 비교하기 위해 수치화한다. 이러한 과정은 먼저 화재 모델링을 수행한 후 화재 가혹도만 고려하는 결정론적 방법과 위험의 빈도 및 크기를 예측한 후 수치화하는 위험론적 방법을 통해 이루어진다. 일반적인 건축물의 경우 결정론적 방법을 통해 이루어지며 본 연구 또한 결정론적 방법을 통해 연구가 수행되었다. 본 연구에서 사용된 화재 시뮬레이션 프로그램은 Field Model 중 하나인 FDS Version 6.6.0을 사용하였고 피난 시뮬레이션 프로그램은 Pathfinder를 사용하였다.

3.2 피난안전성 평가 대상

본 논문에서 수행된 피난 안전성 평가는 실제 현장에서 수행되고 있는 피난 안전성 평가와 같은 방식으로 진행하였으며 피난 안전성 평가 대상은 실험모델의 형태는 유사하나 크기가 다른 두 가지 Type으로 실제 성능위주설계를 실시한 건축물 중 공동주택 2곳을 선정하여 공동주택 A와 공동주택 B로 나누어 실시하였다. 두 가지 Type 모두 판상형의 형태로 공동주택 A의 경우 84 Type으로 전용면적 84.9337 m² (공용면적 포함 : 110.6068 m²)이며, 공동주택 B는 113 Type으

Table 1. Subject to Evacuation Safety Assessment

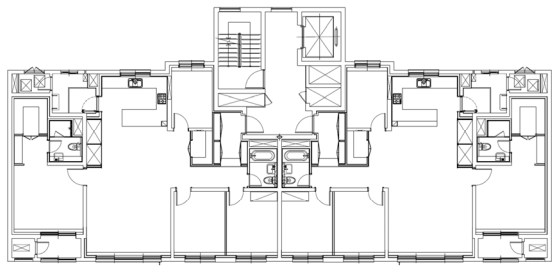
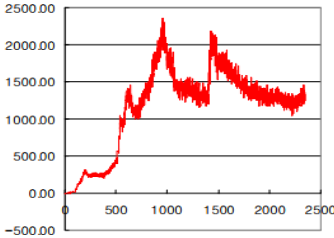
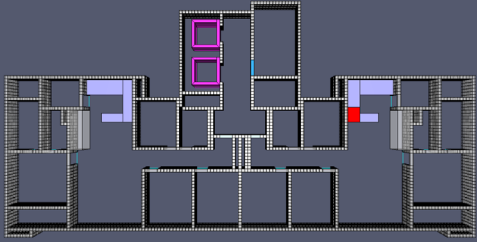
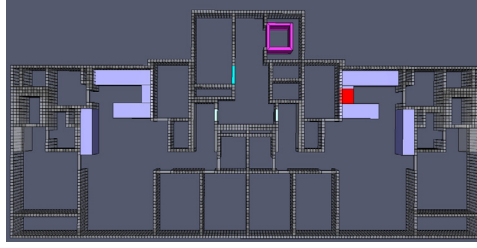
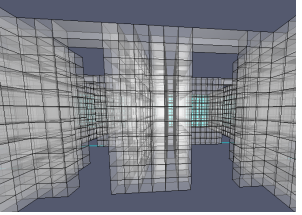
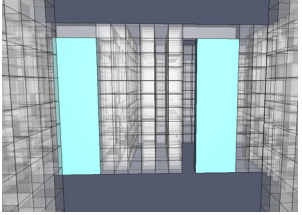
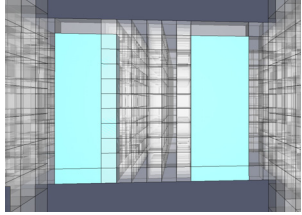
84 Type (Apartment A)	113 Type (Apartment B)
	

Table 2. Fire Simulation Modeling of Apartment A and B

Cells	0.2 × 0.2 × 0.2 m (Number of Cells for Mesh : 137,280)		0.2 × 0.2 × 0.2 m (Number of Cells for Mesh : 144,320)	
	Grid Limit 0.08~0.34 m	Size of Applied Grid $\delta_{x,y,z} = 0.2$ m	Sensitivity 6.8	Compatibility Suitability
Set Point	Combustible	Polyurethane - GM29		
	Reaction Species	C = 1.0, H = 1.1, O = 0.23, N = 0.10, CO_yield = 0.031, SOOT_yield = 0.130		
Set Point	Heat Release Rate ⁽⁷⁾ (2,363 kW)			
Modeling				
	(Apartment A)		(Apartment B)	
Door Open State				
	(Open)		(1/4 Open)	
			(Close)	

로 전용면적 113.7006 m² (공용면적 포함 : 141.4918 m²)이다. 이것에 대한 자세한 구성을 나타내면 Table 1과 같다.

3.3 화재 시뮬레이션 모델링

화재 시뮬레이션 모델링 시 화재는 소방청 국가화재정보센터의 2018년 화재통계자료를 바탕으로 발화지점이 가장 많이 발생한 주방을 선택하여 두 가지 Type 모두 다 오른쪽 세대 싱크대에서 발생한 것으로 가정하였으며, 화원의 크기는 1 m × 1 m로 가정하였다. 열방출율은 2,363 kW

로 ‘지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업’ 제1세부과제의 싱크대 화재 특성 평가 시험 결과를 인용하였다. 또한, 연소물질은 싱크대 구성물질 중 인명안전기준에 가장 먼저 도달하는 가시거리에 영향이 가장 큰 SOOT_yield를 기준으로 발연량이 다른 물질에 비해 매우 높은 물질에 속하는 Polyurethane-GM29을 선정하였으며, 해석공간의 mesh 크기는 0.2 × 0.2 × 0.2 m로 해석공간의 적정성 검사를 수행한 후 모델링 하였다. 화재 시뮬레이션 모델링 입력값을 나타내면 Table 2와 같다.

Table 3. Location of Measuring Devices and Sensors

Modeling	<p>(Apartment A)</p>	<p>(Apartment B)</p>
Devices & Detector	Smoke Movement, Visibility, Temperature, CO, CO ₂ , O ₂ , Smoke Detector ($\alpha_e = 0.86, \beta_e = -1.09, \alpha_c = 1.56, \beta_c = -1.04$, Obscuration Specification = 30.21 %/m), Heat Detector (Activation Temperature : 67.18 °C Response Time index : 15.81 $\sqrt{(m \cdot s)}$)	

Table 4. Leakage Gap Applied - Open Time

Division		Fire Room (s)	Non-Fire Room (s)
Apartment A	W1 Applied	33~42	154~164
	W2 Applied	33~42	274~284
Apartment B	W1 Applied	47~57	158~171
	W2 Applied	47~57	278~291

Table 5. Evacuation Simulation Occupant Composition

Division	Child		Adolescent		Adult		A Senior Citizen	
	Man	Woman	Man	Woman	Man	Woman	Man	Woman
Ratio (%)	4.9	4.6	6.5	6.1	30.8	30.2	7.5	9.4
Height (cm)	128.5	130.4	172.7	159.7	172.4	158.9	165.4	152.9
Shoulder Width (cm)	27.7	28.4	39.2	35.8	39.9	35.8	37.9	35.5
Walking Speed (m/s)	1	1	1.3	1.3	1.2	1.1	0.7	0.97

화재로 인한 영향과 감지시간을 측정하기 위해 감지기 및 측정장치를 설치하였으며, 감지기는 정온식감지기를 주방 상부에 설치하였고, 연기감지기를 거실에 설치하여 감지시간을 측정하였다. 인명안전기준에 도달하는 시간을 측정하기 위해 방화문에 감지장치를 설치하였고, 최종 피난 완료시점인 계단 입구에도 감지장치를 설치하였다. 감지장치와 측정장치의 설치 위치는 Table 3과 같다.

누설틈새를 적용한 방화문의 개방시간은 피난 시물레이션에서 도출된 재실자가 문을 통과하는 시간을 기준으로 하였으며 그 값을 나타내면 Table 4와 같다.

3.4 피난 시물레이션 모델링

피난 시물레이션의 입력 조건에는 수용인원, 재실자 비율, 재실자의 신체치수(키, 어깨너비), 보행속도와 감지시간 및 비화재실의 피난 지연시간을 입력하였다. 먼저 수용인원은 ‘소방시설 등의 성능위주 설계 방법 및 기준’ 별표1의 공동주택의 수용인원(18.6 m²/인)⁽⁸⁾을 적용하였으며, 공동

주택 A는 12명(각 세대당 6명), 공동주택 B는 16명(각 세대당 8명)으로 배치하였다. 재실자 비율은 광주광역시의 연령 및 성별인구 자료를 인용하였으며, 신체치수는 광주광역시의 인체치수 조사를 통해 입력하였고, 보행속도는 한국건설기술연구원에서 2009년에 발표한 ‘표준화재 모델에 따른 화재 확대방지 및 피난안전 설계 기술개발’⁽⁹⁾의 이동속도 제안을 인용하였다. 이것을 나타내면 Table 5와 같다.

피난 개시시간은 화재 인지 후 피난을 시작할 때까지의 시간을 의미하며, 화재실과 비화재실로 나누어 피난 개시시간을 적용하였다. 화재실의 경우 ‘일본건축방재계획지침’의 바닥면적을 통해 산출한 값과 감지기가 작동하는 시간을 비교하여 둘 중 큰 값을 적용하였으며, 30 s 미만일 경우 30 s로 적용하였다⁽¹⁰⁾. 공동주택 A의 경우 ‘일본건축방재계획지침’의 계산결과는 $aT_0 = 2\sqrt{84.9337} \approx 19$ s로 계산되었으며, 감지기는 28 s에 작동하여 보수적인 30 s를 적용하였다. 공동주택 B의 경우 ‘일본건축방재계획지침’의 계산결과는 $aT_0 = 2\sqrt{113.7006} \approx 22$ s로 계산되었으며, 감

Table 6. Evacuation Start Time of Non-Fire Room

Division	Detector Operating Time (s)		Evacuation Delay Time (W1&W2) (s)		Appliance (s)
Apartment A	28 (30 s If Less Than 30 s)	+	120 (W1)	=	150
			240 (W2)		270
Apartment B	32	+	120 (W1)	=	152
			240 (W2)		272

Table 7. At Full Opening ASET

Division	Item	Visibility	Heat	CO	CO ₂	O ₂	ASET (s)
	Standard	5 m	60 °C	1,400 ppm	5%	15%	
Apartment A	Point 1	95	196	591	581	572	95
	Point 2	135	571	≥ 600	≥ 600	≥ 600	135
	Point 3	152	583	≥ 600	≥ 600	≥ 600	152
Apartment B	Point 1	120	512	≥ 600	≥ 600	≥ 600	120
	Point 2	162	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	162
	Point 3	164	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	164

지기는 32 s에 작동하여 둘 중 큰 값인 32 s를 적용하였다.

공동주택 A, B의 비화재실에서의 피난 개시시간은 감지기 작동시간과 피난 지연시간의 합으로 적용하였으며, 피난 지연시간은 ‘소방시설 등의 성능위주 설계 방법 및 기준’ 별표1의 피난 지연시간 기준⁽¹¹⁾을 적용하였다. 이것을 나타내면 Table 6과 같다.

3.5 시나리오

본 논문의 실험모델은 형태는 유사하나 크기가 다른 두 가지 Type으로 실제 성능위주설계가 실시된 공동주택 2곳을 선정하여 수행하였다. 여기에서 방화문의 개방 정도는 가장 가혹한 상태를 가정한 전체개방인 경우와 서울특별시 성능위주설계 심의 가이드라인⁽¹²⁾에서 제시된 1/4 개방인 경우 그리고 ‘건축물 방화구조 규칙’ 제14조에서 규정한 갑종 방화문은 언제나 닫힌 상태를 유지하거나 화재로 인한 연기 또는 불꽃을 감지하여 자동적으로 닫히는 구조이어야 한다 라는 법규에 따른 닫힌 상태에서의 누설틈새를 각각 적용하였고 피난 지연시간은 W1, W2를 적용해 피난 안전성 평가에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

출입문의 틈새 면적은 ‘특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)’의 12조(누설틈새의 면적 등)의 기준을 적용하고, 방화문의 크기는 가로 1 m, 세로 2.1 m이며 감지기 동작 시까지 방화문은 닫힌 상태를 유지하며 피난을 위하여 개방 되는 시간 이후 방화문은 닫히는 것으로 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 누설틈새는 가압공간으로 열리는 문(피난방향으로 열리는 문)으로 이것을 계산해서 나타내면 수식 (1)과 같다.

$$A = [(2.1\text{ m} \times 2 + 1.0\text{ m} \times 2) / 5.6] \times 0.01 = 0.011\text{ m}^2 \quad (1)$$

4. 고 찰

4.1 방화문 개방 정도에 따른 ASET(피난허용시간)

4.1.1 방화문 전체개방 시 ASET(피난허용시간)

Table 7은 세대 내 방화문을 전체 개방한 후 인명안전기준에 도달하는 피난 허용시간을 측정한 것으로 공동주택 A의 Point 1(화재실 방화문)에서 측정한 결과 가시거리에 도달하는 시간은 95 s, 열에 의한 영향에 도달하는 시간은 196 s로 나타났으며, CO는 591 s, CO₂는 581 s, O₂는 572 s로 나타났다. 또한 Point 2(비화재실 방화문)에서의 측정결과 가시거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 135 s로 측정되었으며, 다음으로는 열에 의한 영향이 571 s로 나타났고, 기타 항목에서는 시뮬레이션 종료 시간인 600 s까지 인명안전기준에 도달하지 않았다. Point 3(피난계단)에서의 측정한 결과 또한 가시거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 152 s로 측정되었고, 다음으로는 열에 의한 영향이 두 번째로 나타나 583 s로 측정되었다. 나머지 항목은 600 s까지 인명안전기준에 도달하지 않았다.

공동주택 B(113형)의 세대 입구 방화문을 전체개방한 후 인명안전기준에 도달하는 피난 허용시간을 측정한 결과, Point 1(화재실 방화문)에서 가시거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 120 s로 측정되었고, 열에 의한 영향이 512 s에 도달하는 것으로 나타났으며, 나머지 항목은 600 s까지 측정되지 않았다. Point 2(비화재실 방화문)에서는 가시거리에 의한 영향이 162 s로 나타났으며, 나머지 항목 또한 600 s까지 측정되지 않았다. Point 3(피난계단)에서 측정한 결과 Point 2와 마찬가지로 가시거리에 의한 영향만 164 s로 나타났으며, 나머지 항목은 시뮬레이션 종료시간인 600 s

Table 8. Fire Door 1/4 Open ASET

Division	Item	Visibility	Heat	CO	CO ₂	O ₂	ASET (s)
	Standard	5 m	60 °C	1,400 ppm	5%	15%	
Apartment A	Point 1	95	198	582	576	567	95
	Point 2	146	588	≥ 600	≥ 600	≥ 600	146
	Point 3	164	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	164
Apartment B	Point 1	116	235	≥ 600	≥ 600	≥ 600	116
	Point 2	175	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	175
	Point 3	185	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	185

Table 9. Leakage Gap Applied ASET

Division		Item	Visibility	Heat	CO	CO ₂	O ₂	ASET (s)
		Standard	5 m	60 °C	1,400 ppm	5%	15%	
Apartment A	W1 Applied	Point 1	93	197	584	563	551	93
		Point 2	596	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	596
		Point 3	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600
	W2 Applied	Point 1	93	197	570	566	551	93
		Point 2	592	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	592
		Point 3	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600
Apartment B	W1 Applied	Point 1	114	256	≥ 600	≥ 600	587	114
		Point 2	526	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	526
		Point 3	551	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	551
	W2 Applied	Point 1	114	244	≥ 600	≥ 600	586	114
		Point 2	533	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	533
		Point 3	548	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	548

까지 영향이 나타나지 않았다.

4.1.2 방화문 1/4 개방 시 ASET(피난허용시간)

Table 8은 세대 내 방화문을 1/4만 개방하였을 경우 피난 허용시간을 측정된 것이다. 공동주택 A의 Point 1(화재실 방화문)에서 측정된 결과 가지거리에 의한 영향이 95 s로 나타났으며, 열에 의한 영향이 198 s, CO가 582 s, CO₂가 576 s, O₂가 567 s로 나타났다. Point 2(비화재실 방화문)의 경우도 가지거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 146 s로 측정되었고, 열에 의한 영향이 588 s로 측정되었으며, 나머지 항목은 시뮬레이션 종료시간인 600 s가 되어서도 측정되지 않았다. Point 3(피난계단)에서는 가지거리에 의한 영향이 164 s로 측정되었으며, 나머지 항목은 측정되지 않았다.

공동주택 B의 Point 1(화재실 방화문)에서 측정된 결과 가지거리에 의한 영향이 116 s로 가장 빠르게 나타났으며, 열에 의한 영향이 235 s로 나타났다. CO와 CO₂에 의한 영향은 시뮬레이션 종료시간인 600 s까지 나타나지 않았으나 O₂에 의한 영향이 591 s로 나타났다. Point 2(비화재실 방화문)에서 측정된 결과 가지거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 175 s로 측정되었으며, 나머지 항목은 시뮬레이션 종료시간까지 영향이 나타나지 않았다. Point 3(피난계단)에서

도 가지거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타나 185 s로 측정되었으며, 나머지 항목은 600 s까지 측정되지 않았다.

4.1.3 방화문 누설 틈새 시 ASET(피난허용시간)

Table 9는 세대 내 방화문에 누설 틈새를 적용한 것으로 피난 지연시간에 따라 문이 개방되는 시간이 다르기 때문에 피난 지연시간 W1과 W2를 각각 적용하였다.

공동주택 A의 Point 1(화재실 방화문)에서 피난 허용시간을 측정할 결과 가지거리에 의한 영향이 W1과 W2에서 93 s로 가장 빠르게 나타났으며, 다음으로는 온도에 의한 영향이 W1과 W2에서 197 s로 동일하게 나타났다. 나머지 항목은 W1과 W2 모두 약 550 s 이상의 시간을 나타내어 비교적 낮은 영향을 나타내는 것으로 나타났다. Point 2(비화재실 방화문)에서 측정된 결과 W1의 경우에서 가지거리에 의한 영향이 596 s로 가장 빠르게 나타났으며, W2에서도 가지거리에 의한 영향이 592 s로 가장 빠르게 나타났다. Point 3(비화재실 방화문)에서는 가지거리에 의한 영향 외에는 측정되지 않았다. Point 3(피난계단)에서 측정된 결과 W1과 W2 모두 시뮬레이션 종료 시간까지 어느 항목에서도 영향이 나타나지 않았다.

공동주택 B의 Point 1(화재실 방화문)에서 누설 틈새를

Table 10. Evacuation Delay Time RSET

Division		Evacuation Time		Travel Time	RSET (s)	
		Detection Time	Evacuation Delay Time			
Apartment A	W1 Applied	Point 1	30	10	42	
		Point 2	28	120	16	164
		Point 3	28	120	20	168
	W2 Applied	Point 1	30	12	42	
		Point 2	28	240	16	284
		Point 3	28	240	20	288
Apartment B	W1 Applied	Point 1	32	25	57	
		Point 2	32	120	19	171
		Point 3	32	120	25	177
	W2 Applied	Point 1	32	25	57	
		Point 2	32	240	19	291
		Point 3	32	240	25	297

적용하여 피난 허용시간을 측정된 결과 W1과 W2에서 가시거리에 의한 영향이 114 s로 가장 빠르게 나타났으며, 그 다음으로 열에 의한 영향으로 W1이 256 s, W2는 244 s로 나타났다. 또한, O₂에 의한 영향이 W1에서 587 s, W2에서 586 s로 나타났으며, 나머지 항목에서는 시뮬레이션 종료 시간까지 영향이 나타나지 않았다. Point 2(비화재실 방화문)에서 측정된 결과 W1과 W2 모두 가시거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타났으며, W1이 526 s, W2가 533 s로 측정되었다. 나머지 항목에서는 시뮬레이션 종료시간 까지 측정되지 않았다. Point 3(피난계단)에서도 가시거리에 의한 영향이 가장 빠르게 나타났으며, W1이 551 s, W2가 548 s로 측정되었고, 나머지 항목에서는 시뮬레이션 종료 시간 까지 측정되지 않았다.

4.2 피난 지연시간에 따른 RSET(피난완료시간)

Table 10은 피난 지연시간에 따른 RSET을 측정된 결과이며, 공동주택 A에 피난 지연시간 W1을 적용한 결과 Point 1(화재실 방화문)에서의 피난 개시시간은 감지시간이 28 s이나 30 s 미만 시 30 s를 적용하는 설계 방법을 적용하여 30 s를 적용하였으며, 그 결과 이동시간은 10 s, 피난 완료시간은 42 s로 측정되었다. Point 2(비화재실 방화문)에서의 피난 완료시간은 피난 개시시간 148 s, 이동시간 16 s를 더해 164 s로 측정되었으며, Point 3(피난계단)에서의 피난 완료시간은 피난 개시시간 148 s에 이동시간 20 s를 포함하여 168 s로 측정되었다. 공동주택 A에 피난 지연시간 W2를 적용한 결과 Point 1(화재실 방화문)의 경우 W1을 적용한 결과와 같이 42 s의 피난 완료시간이 측정되었다. Point 2(비화재실 방화문)와 Point 3(피난계단)에서는 W1보다 피난 지연시간만 120 s 추가되어 피난완료시간은 각각 284 s와 288 s로 측정 되었다.

공동주택 B에 피난 지연시간 W1을 적용한 결과 Point 1(화재실 방화문)에서 피난 개시시간은 32 s에 이동시간 25 s를 더해 57 s의 피난 완료시간이 측정되었다. Point 2(비화재실 방화문)에서는 감지시간 32 s와 피난지연시간 120 s 그리고 이동시간 19 s를 더하여 171 s의 피난 완료시간이 측정되었으며, Point 3(피난계단)에서의 피난 완료시간은 피난 개시시간에 이동시간 25 s를 더한 177 s로 측정되었다.

4.3 피난안전성 평가 결과

Table 11은 실제 수행한 성능위주설계의 피난 안전성 평가를 바탕으로 형태는 유사하나 크기가 다른 공동주택 A와 B를 구분하여, 방화문의 개방 정도와 피난 지연시간을 달리 적용한 피난 안전성 평가의 결과이다. 공동주택 A의 경우 방화문을 전체개방한 경우와 1/4를 개방한 경우 Point 1에서는 피난 지연시간 W1, W2 모두 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 Point 2, 3에서는 피난 지연시간 W1, W2 모두 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 화재실 거주자만 안전한 피난이 가능한 것으로 나타났으며, 비화재실의 거주자는 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 누설 틈새를 적용한 결과는 피난 지연시간 W1, W2에 관계없이 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다.

공동주택 B의 경우 방화문을 전체개방한 경우와 1/4를 개방한 경우 Point 1에서는 피난 지연시간 W1, W2 모두 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 방화문을 전체개방한 경우 Point 2, 3에서는 피난 지연시간 W1, W2 모두 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났고 방화문을 1/4를 개방한 경우 피난 지연시간 W1에서는 피난 안전성을 확보하였고 W2에서는 피난 안전성을 확보하지 못하였다. 그러나 누설 틈새를 적용한 결과는 피난 지연시

Table 11. According to the Degree of Fire Door Opening Evacuation Safety Assessment

Division		Full Opening			1/4 Opening			Leakage Gap		
		ASET (s)	RSET (s)	Stability Evaluation	ASET (s)	RSET (s)	Stability Evaluation	ASET (s)	RSET (s)	Stability Evaluation
Apartment A	Point 1	95	W1:42	○	95	W1:42	○	93	W1:42	○
			W2:42	○		W2:42	○		W2:42	○
	Point 2	135	W1:164	×	146	W1:164	×	596	W1:164	○
			W2:284	×		W2:284	×		W2:284	○
	Point 3	152	W1:168	×	164	W1:168	×	600	W1:168	○
			W2:288	×		W2:288	×		W2:288	○
Apartment B	Point 1	120	W1:57	○	116	W1:57	○	114	W1:57	○
			W2:57	○		W2:57	○		W2:57	○
	Point 2	162	W1:171	×	175	W1:171	○	526	W1:171	○
			W2:291	×		W2:291	×		W2:291	○
	Point 3	164	W1:177	×	185	W1:177	○	551	W1:177	○
			W2:297	×		W2:297	×		W2:297	○

간 W1, W2에 관계없이 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다.

4.4 피난안전성 평가 고찰

선행 연구, 조사된 자료와 함께 방화문의 개방 정도(전체개방, 1/4 개방, 누설 틈새 적용)와 피난 지연시간(W1, W2)을 적용하여 피난 안전성 평가를 고찰한 결과는 다음과 같다.

첫째, 선행 연구 자료를 살펴볼 때 방화문 개방으로 인한 방화기능 상실로 인해 인명피해가 가중되고 있고 이를 반영이라도 하듯이 선행 조사된 자료에서는 방화문의 전체 개방은 한 건도 적용되고 있지 않으며, 1/4 개방 상태만이 약 15.4%가 적용되고 있다. 따라서, 주거형태를 가지는 건축물의 성능위주설계 시 보수적인 관점을 적용하는 것은 좋지만 방화문의 차연성능 확보라는 법규적인 만족과 함께 국내 현실을 반영하고 성능위주 설계의 고도화를 위해 방화문의 개방 정도에 누설 틈새를 적용하는 방안도 함께 검토해 줄 필요가 있다고 사료 된다.

둘째, 공동주택 A, B에서 피난 허용시간인 ASET을 고찰한 결과 두 가지 형태 모두 전체개방이 가장 빠른 시간을 나타내었고, 1/4 개방이 그 뒤를 이었으며, 누설 틈새를 적용한 경우가 가장 늦게 나타났다. 또한, 전체개방과 1/4 개방은 약 20 s 내외에서의 차를 보였으나 누설 틈새는 1/4 개방에 비해서도 약 350 s 이상의 차를 나타내었다.

셋째, 공동주택 A, B에서 피난 지연시간(W1, W2)을 각각 적용하여 피난 안전성 평가를 수행한 결과 세대 내 방화문을 전체 개방하는 경우에는 W1과 W2 모두 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났고, 1/4 개방하는 경우에는 공동주택 B에서만 W1이 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났으며 W2의 경우 모두 피난 안전성을 확보하지

못하는 것으로 나타났다. 그러나, 누설 틈새를 적용한 경우에는 두 가지 형태에서 W1과 W2 모두 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 즉, 방화문 개방 정도가 전체개방 및 1/4 개방 상태에서 사생활 침해 등을 고려하여 피난 지연시간 W2를 적용한 경우에는 피난 안전성을 모두 확보하기 어려운 것으로 나타났으며, 누설 틈새를 적용한 경우에만 피난 지연시간 W2를 적용해도 피난 안전성이 확보되는 것으로 나타났다. 따라서 주거형태를 가지는 건축물이 성능위주설계 대상이 될 때 피난 안전성 평가 수행 시 CCTV 설치 등으로 사생활 침해 등의 우려가 있는 국내 현실을 반영하여 피난 지연시간은 W1보다는 W2의 적용을 검토할 필요가 있다고 사료 된다.

5. 결 론

피난 안전성 평가 시 세대 출입문을 개방할수록 보수적인 평가를 수행할 수 있으나 방화문은 닫힌 상태를 유지해야 하는 법규와 상호충돌하는 문제점이 있고, 주거형태를 가지는 건축물의 경우 사생활 침해로 거주공간 내 CCTV를 설치할 수 없고 훈련된 직원이 상주할 수 없으므로 W1을 적용하기 어려운 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 광주광역시 성능위주설계의 피난 안전성 평가를 조사하여, 방화문 개방 정도와 적용된 피난 지연시간을 파악한 후 그것을 바탕으로 시뮬레이션을 통한 피난 안전성 평가를 수행하여 방화문의 개방 정도와 피난 지연시간의 적용이 평가 결과에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 광주광역시의 2018년도 6월까지 실시된 성능위주설계의 피난 안전성 평가를 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 실시된 성능위주설계는 총 17건으로 공동주택은 10

건, 생활형 숙박시설은 3건으로 총 13건으로 약 76.5%가 주거형태를 가지는 건축물이며 매우 높은 비중을 차지하고 있다.

2) 주거형태를 가지는 건축물 13건의 피난 안전성 평가의 방화문 개방 정도 분석해 본 결과 닫힘이 9건(약 69.2%)으로 가장 많았으며, 1/4 개방이 2건(약 15.4%), 피난 시 순간 개방 후 다시 닫히는 경우가 2건(약 15.4%)으로 나타났다. 닫힘으로 수행된 총 9건 중 누설 틈새를 적용한 경우가 7건(약 77.8%)으로 나타났으며, 이 경우 방화문의 성능과 기능을 반영하였다.

3) 비화재실의 피난 지연시간의 적용을 파악해 본 결과 총 13건 중 W1이 8건(약 61.5%), W2가 5건(약 38.5%)으로 파악되었으며, W3를 적용한 경우는 없었다.

둘째, 방화문의 개방 정도(전체개방, 1/4 개방, 누설 틈새 적용)와 피난 지연시간을 W1과 W2로 적용하여 피난 안전성 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 피난 허용시간을 비교한 결과 전체개방이 가장 빠른 시간을 나타내었고, 1/4 개방이 그 뒤를 이었으며, 누설 틈새를 적용한 경우가 가장 늦게 나타났다. 또한, 전체개방과 1/4 개방은 약 20 s 내외에서의 차를 보였으나 누설 틈새는 1/4 개방에 비해서도 약 350 s 이상의 차를 나타내었다.

2) 피난 지연시간(W1, W2)을 각각 적용하여 피난 안전성 평가를 수행한 결과 공동주택 A에서 세대 내 방화문을 전체 개방 및 1/4 개방하는 경우에는 W1과 W2 모두 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났고, 공동주택 B를 1/4 개방을 하였을 경우 W1에서만 피난 안전성이 확보되었으며, W2는 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나, 누설 틈새를 적용한 경우에는 W1과 W2 모두 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과에서 확인하였듯이 주거형태를 가지는 건축물의 피난 안전성 평가 시 보수적인 상황을 가정하기 위해 일반적으로 방화문 개방 시 전체개방과 1/4 개방을 사용하고 있으나 화재를 한정하여 피해를 최소화하고 안정성을 확보하려는 건축법의 방화구획 목적과 상반되는 것으로 방화문 개방에 대한 제고가 필요하다. 즉, 주거형태를 가지는 건축물에 피난 안전성 평가 수행 시 방화문의 차연성능 확보와 성능위주 설계의 고도화를 위해 방화문의 개방 정도에 누설 틈새를 적용하는 방안과 함께 피난 지연시간의 적용 중 W1을 만족시키기 위해 세대 내에 CCTV를 설치하는 것은 재실자의 사생활 보호를 침해하는 현실적으로 적용할 수 없는 기준이 되므로 피난 지연시간 W2의 적용을 함께 검토해 줄 것을 제안하고자 한다. 이것을 바탕으로 좀 더 정확한 피난 안전성 평가를 수행할 수 있고 Passive적인 시스템의 보강으로 안전성의 증대 또한 꾀할 수 있을 것으로 사료 된다. 본 연구는 피난 안전성 평가 시 수행되는 방화문의 개방 정도와 법으로 규정된 피난 지연시간의 적용

에 대한 적절함을 파악하기 위한 논문이므로 향후 성능위주 설계 시 국내 현실에 적합하고 정확한 평가를 수행하기 위한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

References

1. Y. S. Lee, "A Study on Actual Condition and Improvement Method of Fire Door in Apartment Building", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 17, No. 6, pp. 261-268 (2017).
2. J. I. Ha, "A Study on the Improvement in the System for Securing Safety of Fire Door and Fire Compartment", Ph.D. Dissertaion, Kyonggi University (2019).
3. S. E. Hwang, "Alleviating Effects of CPTED Factors Applied in Multi-Family Housing in Korea on the Fear of Crime", Ph.D. Dissertaion, Seoul National University of Science and Technology (2019).
4. J. K. Han, "A Study on Establishment and Management of the Crime Prevention CCTV", Journal of Public Society, Vol. 8, No. 4, pp. 109-137 (2018).
5. Y. J. Song, I. C. Kong and H. J. Kim, "A Study on Improvement of Evacuation Safety Evaluation for Performance Based Design in Underground Parking Lot", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 85-97 (2019).
6. Society of Fire Protection Engineers, "SFPE Handbook of Fire Protection Rngineering", 3th Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 3-347 (2010).
7. O. S. Kweon, Y. H. Yoo, H. Y. Kim and Y. S. Lim, "The Study on Fire Characteristics of Furniture", Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 379-384 (2009).
8. National Fire Agency of Republic of Korea, "Performance Based Design Methods and Standards on Fire-Fighting System Installation Act", Annex 1 3-c (2016).
9. Y. H. Yoo, H. J. Shin, H. Y. Kim, B. J. Lee, C. S. Ahn, E. K. Hwang, D. H. Kim, O. S. Kweon et al., "Development of Fire Spread Prevention and Escape Safety Design Technique According to Standard Fire Model", KICT 2009-176, Korea Institute Of Construction Technology (2009).
10. The Building Center of Japan, "Building Disaster Prevention Planning Guidelines", p. 142 (1997).
11. National Fire Agency of Republic of Korea, "Performance Based Design Methods and Standards on Fire-Fighting System Installation Act", Annex 1 3-b (2016).
12. Seoul Metropolitan City, "Performance Based Design Guidelines for Seoul Metropolitan Government", p. 9 (2018).