피난유도자와 피난지연시간을 고려한 요양병원의 성능기반 피난안전성 평가

Performance-Based Evaluation on Egress Safety of Nursing Hospitals Considering Egress Guides and Delay Time

이두희* · 허인욱** · 할리오나*** · 한선진**** · 김강수*****

Lee, Doohee*, Heo, Inwook**, Khaliunaa Darkhanbat***, Han, Sun-Jin****, and Kim, Kang Su*****

Abstract

In recent years, the number of nursing hospitals has significantly increased as the number of elderly has increased. However, since there are many patients who have difficulty in moving quickly in the nursing hospitals, it is very hard to evacuate rapidly in the event of a fire, which results in many casualties. In this study, fire and evacuation simulations for the nursing hospital were performed, based on which the evacuation safety was evaluated in detail according to the location of the fire compartment, number of evacuation guides, and evacuation delay time. The simulation results showed that it is necessary to secure the number of evacuation guides complying with the legal standards, and to reduce the evacuation delay time to be less than 60 s in order to avoid loss of life.

Key words : Fire Simulation, Evacuation Simulation, Evacuation Safety, Evacuation Guides, Evacuation Delay Time

요 지

최근 고령인구가 증가함에 따라 요양병원의 수가 급속히 증가하고 있는 추세이다. 다만, 요양병원에는 거동이 어려운 환자들이 많아 화재발생시 신속한 피난이 어려우며, 이에 따라 큰 인명피해가 발생할 수 있다. 이 연구에서는 요양병원을 대상으로 화재·피난 시뮬레이션을 수행하였으며, 화재구획 위치, 피난유도자 수, 피난 지연시간에 따른 피난안전성을 평가하였다. 시뮬레이션 결과, 인명피해가 발생하지 않기 위해서는 법적기준을 만족하는 피난유도자의 수를 확보하거나 피난 지연시간이 60초 이하가 되도록 감소시켜야 하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 화재시뮬레이션, 피난시뮬레이션, 피난안전성, 피난유도자, 피난지연시간

1. 서 론

최근 국내에서는 65세 이상의 고령인구가 급격히 증가하고 있으며, 이에 따라 Fig. 1에 나타난 바와 같이 노인성

질환을 겪는 환자 및 요양병원의 수가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(MOH, 2019). 일반적으로 요양병원에 재실하고 있는 환자의 대부분은 요양 보호사의 도움 없이는 거동이 어렵기 때문에 화재가 발생할 경우 많은 인명피해가 초래

*정회원, 서울시립대학교 건축공학과 석사과정(E-mail: dooh0226@gmail.com)

Member, Graduated Student, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

**정회원, 서울시립대학교 건축공학과 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

***서울시립대학교 건축공학과 석사과정(E-mail: haliuka0423@gmail.com)

Graduated Student, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

****서울시립대학교 건축학부 박사후연구원

Postdoctoral Researcher, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

*****교신저자, 정회원, 공학박사. 서울시립대학교 건축학부 교수(Tel: +82-2-6490-2762, Fax: +82-2-6490-2749, E-mail: kangkim@uos.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Ph.D., Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

될 수 있다. 실제로 최근 장성과 밀양시에서 발생한 요양병원 화재사고 사례에서 많은 인명피해가 보고되었다(Jin et al., 2018). 따라서, 요양병원에서의 화재에 의한 인명피해를 최소화하기 위해서는 화재시 발생하는 연기 및 독성가스 뿐만 아니라, 재실자의 특성을 고려한 피난안전성 평가가 수행되어야 한다.

Fig. 1. The Number of Elder Patients and Nursing Hospitals

Jeong and Lee (2008)는 학교건축물을 대상으로 재실자의 피난 훈련도를 반영한 시뮬레이션을 수행하였다. Park (2017)은 피난 시뮬레이션을 이용하여 지하공간의 피난성능에 관한 연구를 진행하였으며, 이를 기반으로 건축물의 사용특성을 고려한 피난 성능검토가 수행되어야 한다고 보고하였다. 이와 더불어 최근에는 일반병원, 공동주택 등 다양한 건축물의 피난안전성 평가에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다(Park, 2009; Byun, 2018; Heo et al., 2018).

그러나, 최근 요양병원의 개수가 크게 증가하고 있는 추세에 비하여 요양병원의 피난안전성 평가에 관한 연구는 매우 부족한 상황이다. 따라서, 이 연구에서는 2층 규모의 요양병원을 대상으로 환자의 위치, 피난유도 인원의 수 및 피난지연시간을 변수로 화재·피난 시뮬레이션을 수행하였으며, 각 변수에 따른 피난안전성을 평가하였다.

2. 피난안전성 평가 개요

2.1 인명안전기준

일반적으로 화재발생 시 재실자의 안전에 직접적으로 영향

을 주는 인자는 독성가스, 열, 가시거리 등이 있다. 이러한 영향인자들은 화재발생시 재실자의 피난안전성을 크게 저하시킬 수 있으므로 ‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’(MPSS, 2016)에서는 Table 1에 나타난 바와 같이 인명안전기준값을 명시하고 있다. 이 연구에서는 Table 1에 제시된 인명안전기준값을 고려하여 요양병원에 대한 화재·피난 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Performance Criteria for Life Safety

Performance criteria	
Breath height limit	1.8 m from floor
Temperature limit	60 °C
Allowable visibility	5 m
Allowable toxicity limit	CO: 1,400 ppm
	O ₂ : 15%
	CO ₂ : 5%

2.2 피난안전성 평가방법

피난요구시간(Required Safe Egress Time, RSET)은 재실자의 안전한 피난을 위해 요구되는 시간으로 정의되며, 피난허용시간(Available Safe Egress Time, ASET)은 화재발생시점부터 인명안전기준값을 만족시키지 못하는 상황에 도달하기까지 소요되는 시간이다. 피난안전성은 화재·피난 시뮬레이션을 통해 도출된 피난요구시간과 피난허용시간을 비교함으로써 평가될 수 있다. 피난허용시간이 피난요구시간보다 긴 경우에는 피난안전성이 확보된 것으로 간주되며, 그 반대의 경우에는 피난안전성이 확보되지 못한 것으로 판단할 수 있다.

2.3 피난안전성 평가대상

Fig. 2에는 피난안전성 평가의 대상이 되는 2층 규모의 요양병원 평면도를 나타내었다. 대상 건물의 내부는 각 층에 10개의 병실로 구성되어 있으며, 총 연면적은 3,510 m²이다. 1층은 2개의 중환자실과 8개의 일반병실로, 2층은 2개의 1인실과 8개의 일반병실로 구성되어 있다.

Fig. 2. Floor Plan of Nursing Hospital

3. 화재 · 피난 시뮬레이션 개요

3.1 화재 시뮬레이션 개요

Fig. 3에는 화재 시뮬레이션을 위해 모델링 된 요양병원을 나타내었으며, 이 연구에서는 미국표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 개발한 Fire Dynamics Simulator (FDS)를 이용하여 화재 시뮬레이션을 수행하였다(NIST, 2013). 화재시뮬레이션 시간은 화재층 전실에 연기가 가득 차는 시간과 해석적인 부하를 종합적으로 고려하여 Table 2에 나타난 바와 같이 500초로 설정하였으며, 초기온도는 20 °C로 가정하였다(Jeong and Lee, 2008; Jeon, 2019). 가연물은 Table 3에 나타난 바와 같이 요양병원 병실에 일반적으로 비치되는 침대, 옷장, 의자, 커튼, 냉장고 및 TV로 가정하였으며, 각 가연물의 열방출율(Heat Release Rate, HRR)은 Heat release rates of burning items in fires에 제시된 값을 참고하였다(Kim and Lilley, 2000). 총 열방출은 각 가연물의 연소시 열방출율의 최대값과 가연물의 수를 곱하여 산정하였으며, 최종적으로 산정된 가연물의 총 열방출율은 29,752 kW이다. 시간에 따른 열방출율은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 화재 성장속도에 따라 Slow, Medium, Fast 및 Ultra Fast로 분류할 수 있는 T-squared Fire Curve를 이용하여

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad (1)$$

으로 산정하였다. 여기서, Q 는 열방출율(kJ/sec), α 는 화재성장계수, t 는 시간(sec)을 의미한다.

Fig. 3. Analysis Model for Fire Simulation

Table 2. Conditions of Analysis

Conditions of Compartment room	
Analysis time	500 seconds
Initial temperature	20 °C
Reaction material	Polyurethane GM29
Size of combustible	1 × 1 m ²
Max HRR	29,752 kW
Fire growth rate	medium ($\alpha = 0.01172 \text{ kW/m}^2$)
Number of Meshes	368,256 (0.25 m × 0.25 m × 0.27 m)

Table 3. Max HRR of Combustible Materials

	Max HRR (kW)
Bed	4,665
Wardrobe	270
Chair	454
Curtain	240
Refrigerator	2,125
TV	239

Fig. 4. t-squared Fire Curve

이 연구에서 수행된 화재시뮬레이션에서는 ‘Structural Design for Fire Safety’ (Buchanan, 2001)를 참조하여 해석대상의 화재성장율을 Medium으로 설정하였다. 화재시나리오는 대상 요양병원의 2층 에서 화재가 발생한 것으로 가정하였으며, Fig. 5에 나타난 바와 같이 각 피난구에 인접한 A 구획과 B 구획에서 화재가 발생하는 2가지 시나리오를 설정하였다. 또한, 모든 구획의 문과 창문은 개방된 상태이며, 소화 및 제연설비는 작동하지 않는 것으로 가정하였다.

Fig. 5. Locations of Fire Combustion and Evacuation Routes

3.2 피난 시뮬레이션 개요

이 연구에서는 에이전트 기반 모델에 근거하여 재실자의 특성에 따라 피난거동을 예측할 수 있는 프로그램인 Pathfinder (Thunderhead Engineering Consultant, Inc., 2019)를 활용하여 피난 시뮬레이션을 수행하였다. 노인복지법 시행규칙 (Enforcement Rule of Welfare of Senior Citizens Act, 2011)에서는 환자 1명당 23.6 m²의 최소 연면적을 확보하도록 규정하

고 있으며, 환자 150명을 기준으로 최소 요양보호사는 60명, 의사는 1명, 간호사는 6명, 물리치료사 및 사회복지사는 2명 이상을 고용하도록 명시하고 있다.

따라서, 해석 대상 요양병원의 연면적을 고려하여 환자 150명이 재실하는 것으로 가정하였으며, ‘요양병원 입원환자 분류군별 현황’(Ministry of Health and Welfare, 2020)을 참고하여 Table 4에 나타난 바와 같이 요양병원 환자들의 중증도 비율에 따라 환자의 수를 산정하여 배치하였다.

Table 4. Number of Patients According to Severity (MOHW, 2019)

Status	Ratio	People
Medical highest	1.8%	3
Medical high	22.9%	35
Medical middle	24.8%	37
Medical low	22.8%	34
etc.	27.7%	41
Total	100%	150

환자의 중증도는 환자의 상태에 따라 의료최고도(Medical Highest), 의료고도(Medical High), 의료중도(Medical Middle), 의료경도(Medical Low) 및 그 이하의 의료도로 분류되며, 의료 중도에서 최고도에 해당하는 환자는 거동이 어렵기 때문에 피난유도자의 도움을 받아 피난을 수행하는 것으로, 의료경도 이하의 환자는 자력으로 피난을 수행하도록 설정하였다.

Table 5에는 요양병원에 재실하고 있는 환자와 피난유도자의 피난특성을 나타내었으며, 피난유도자의 이동속도는 약 1.5 m/s이다. 환자의 이동속도는 피난 유형에 따라 다르며, 보조기구 착용시간이 추가적으로 요구된다(Kim et al., 2005; Kim et al., 2010; Jeon, 2019).

Table 5. Characteristics of Occupants

	Category	Velocity (m/s)	Width (cm)	Prepare time (sec)
Worker	Care worker	1.3	35.9	-
	Doctor	1.5	40.3	-
	Nurse	1.5	35.6	-
	Physical therapist/ social worker	1.5	40.3	-
Patient	Walk	0.5	50.0	-
	Wheelchair, self evacuation	0.8	70.0	15
	Wheelchair, aided evacuation	1.5	70.0	15
	Bed, aided evacuation	0.6	72.0	25

Table 6에 나타난 바와 같이 재실하는 피난유도자의 수는 3가지 경우의 시나리오로 가정하였다. H75는 노인복지법에서 제시한 직원배치기준을 준수한 경우로써, 총 근무자의 수는 75명이다. H35는 요양보호사의 3교대 근무를 가정한 것으로 총 근무자의 수는 35명이며, H25의 경우에는 요양병원의 야간근무상황을 가정하여 총 근무자의 수를 25명으로 설정하였다. 의사 및 간호사를 포함한 근무자는 모두 환자의 피난을 돕는 피난유도자로 설정하였다. Table 7에는 각 시나리오의 피난형태별 환자의 수를 나타내었다. 스스로 피난을 수행할 수 있는 의료경도 이하로 분류되는 환자와 피난유도자의 도움을 받아 피난을 수행해야 하는 중증 이상 환자의 수는 각각 75명으로 설정하였다.

Table 6. Number of Helpers According to Scenario

Scenario	H25	H35	H75
Doctor	1	3	3
Nurse	2	7	7
Physical therapist	1	3	3
Social worker	1	2	2
Care worker	20	20	60
Total	25	35	75

Table 7. Number of Patients According to Evacuation Type

Walk	Wheelchair (Self evacuation)	Wheelchair (Aided evacuation)	Bed
41	34	59	16

Table 8에 나타난 바와 같이 ‘소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준’(MPSS, 2016)에서는 건축물의 경보시설 수준에 따른 피난지연시간을 제시하고 있다. W1은 방재센터 등 CCTV설비가 갖춰진 통제실로부터 방송설비를 통해 육성지침이 제공되거나, 훈련된 직원에 의하여 해당 공간 내의 모든 거주자들이 인지할 수 있는 육성지침을 제공할 수 있는 경우이고, W2는 사전에 녹음된 음성메시지 혹은 훈련된 직원과 함께 경고방송을 제공할 수 있는 경우이다. W3은 화재경보신호를 이용한 경보설비와 함께 전문교육을 받지 않은 직원을 활용하는 경우이다.

Table 8. Evacuation Delay Time (Minutes)

Occupancy type	W1	W2	W3
Hospitals, nursing homes, and other institutional establishment (A significant number of occupants may require assistance.)	<3	5	>8

이 연구에서는 피난 시뮬레이션 수행 시 건축물의 경보시설 수준을 W1로 가정하였으며, 이에 따라 비화재실의 피난 지연시간을 0~180초로 설정하였다.

4. 화재 · 피난 시뮬레이션 결과

4.1 화재 시뮬레이션 결과

Figs. 6~7에는 각 화재구획의 화재지속시간(t)에 따른 연기거동을 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 화재발생 후 100초의 시간이 경과되었을 때 인접 피난구까지 연기가 확산되는 것으로 나타났으며, 300초 경과 후에는 화재발생층 복도에 연기가 가득 찬 모습을 보였다. 또한, 500초가 지난 시점에는 화재발생층 전실에 연기가 확산되는 것으로 나타났다.

Figs. 8~12에는 각각 피난구 위치에서의 화재지속시간에 따른 가시거리분포, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂)의 농도 및 온도분포를 나타내었다. 각 그래프에서 점선으로 표시한 선은 Table 1에 제시된 인명안전기준값을 의미하며, 점선과 그래프가 교차했을 때의 시간이 곧 피난허용시간이다.

Fig. 8(a)에 나타낸 바와 같이 A 구획에서 화재가 발생한 경우에는 Route A, Route B 및 elevator의 순서로 가시거리가 인명안전기준값에 도달하였으며, 피난허용시간은 237초로

확인되었다. 또한, B 구획에서 화재가 발생한 경우에는 Fig. 8(b)에 나타낸 바와 같이 elevator, Route A 및 Route B의 순서로 가시거리가 인명안전기준값에 도달하였으며, 피난허용시간은 266초로 나타났다.

Fig. 9에 나타난 화재 지속시간에 따른 피난구의 일산화탄소(CO) 농도를 살펴보면, A 구획에서 화재가 발생한 경우에는 피난구의 위치에 따라 각각 323초(Route A), 445초(Route B) 및 448초(elevator) 시점에 일산화탄소가 기준치(1,400 ppm)에 도달하였다. 또한, B 구획에서 화재가 발생한 경우에는 모든 피난구의 일산화탄소 농도가 기준치에 도달하지 않았으며, 해석이 종료된 시점(500초)에서의 일산화탄소 최대농도는 각각 1,299 ppm (Route A), 449 ppm (Route B) 및 474 ppm (elevator)으로 나타났다.

Fig. 10에 나타낸 것과 같이 A 구획에서 화재가 발생한 경우 피난구의 이산화탄소(CO₂) 농도는 Route A에서 412초에 기준치(5%)에 도달하였으며, 해석 종료 시점에서 각 피난구의 이산화탄소 최대농도는 각각 7.0% (Route A), 3.1% (Route B) 및 3.5% (elevator)로 나타났다. 또한, B 구획에서 화재가 발생한 경우 각 피난구의 최대 이산화탄소의 농도는 각각 2.3% (Route A) 및 0.8% (Route B, elevator)로써 모든 피난구에서 해석 종료시점까지 이산화탄소의 농도가 기준치보다 낮은 것으로 확인되었다.

Fig. 6. Smoke Behavior at 2nd Floor (location of fire: compartment A)

Fig. 7. Smoke Behaviors at 2nd Floor (location of fire: compartment B)

Fig. 8. Analysis Results on Visibility

Fig. 9. Analysis Results on CO

(a) Location of fire: compartment A

(b) Location of fire: compartment B

Fig. 10. Analysis Results on CO₂

(a) Location of fire: compartment A

(b) Location of fire: compartment B

Fig. 11. Analysis Results on O₂

(a) Location of fire: compartment A

(b) Location of fire: compartment B

Fig. 12. Analysis Results on Temperature

화재 지속시간에 따른 산소(O₂) 농도는 Fig. 11에 나타난 것과 같이 A 및 B 구획 화재 시나리오 모두 해석 종료시점까지 기준치(15%)에 도달하지 않아 재실자의 대피를 위한 안정적인 산소농도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, Fig. 12(a)에 나타난 바와 같이 A 구획에서 화재가 발생한 경우에는 Route A에서 304초 시점에 피난구에서의 온도가 기준치(60 °C)에 도달하였으며, 그 외 피난구에서는 기준치에 도달하지 않는 해석결과를 나타내었다. 해석종료 시점에서 각 피난구의 최대온도는 각각 101 °C (Route A), 50 °C (Route B) 및 45 °C (elevator)로 확인되었다. B 구획에서 화재가 발생한 경우에는 Fig. 12(b)에 나타난 바와 같이

모든 피난구의 온도가 기준치에 도달하지 않았으며, 각 피난구의 최대온도는 36 °C (Route A), 40 °C (Route B) 및 43 °C (elevator)로 나타났다.

Figs. 6~12에 나타난 화재시나리오 해석결과를 종합적으로 살펴보면, 재실자의 피난허용시간이 연기의 확산에 따른 가시거리 감소에 의해 지배적으로 결정되는 것으로 나타났으며, 각 시나리오별 피난허용시간은 각각 237초(A구획 화재) 및 266초(B구획 화재)로 확인되었다.

4.2 피난 시뮬레이션 결과

Table 9에는 피난지연시간과 피난유도자의 수에 따른

제실자의 피난요구시간(RSET)을 나타내었다. 앞서 3.2절에서 언급한 바와 같이 시뮬레이션 시 피난지연시간은 0~180초로 설정하였으며, 피난유도자의 수는 25명(H25), 35명(H35) 및 75명(H75)으로 설정하였다. 해석결과, 피난지연시간이 감소하거나 피난유도자의 수가 증가할수록 피난요구시간이 감소하는 경향을 보였다.

Table 9. Simulation Results on Required Safe Egress Time

Fire location	Evacuation delay times (s)	H25	H35	H75
Compartment A	0	151	59	62
	60	204	166	114
	120	261	210	174
	180	320	250	236
Compartment B	0	151	59	62
	60	211	170	114
	120	263	210	174
	180	327	268	236

4.3 피난안전성 평가

이 연구에서는 4.1절에 나타낸 화재시뮬레이션을 통해 도출한 피난허용시간(ASET)과 4.2절에 나타낸 피난지연시간 및 피난유도자의 수에 따른 피난요구시간(RSET)을 비교하여 피난안전성 평가를 수행하였다.

Table 10에는 A 구획에서 화재가 발생하였을 경우의 피난안전성 평가결과를 나타내었다. 피난유도자의 수가 25명일 경우, 피난지연시간이 60초 이하에서는 사상자가 존재하지

않았으며, 120초인 경우에는 2명, 180초인 경우에는 5명의 사상자가 발생하였다. 또한, 피난유도자의 수가 35명일 경우, 피난지연시간이 120초 이하인 경우에는 사상자가 발생하지 않았으며, 180초인 경우에는 2명의 사상자가 발생하였다. 이외는 달리, 피난유도자의 수가 75명으로써 노인복지법을 만족시킨 경우에는 피난지연시간에 관계없이 사상자가 존재하지 않아 피난안전성능이 확보되는 것으로 나타났다.

Table 11에는 B 구획에서 화재가 발생하였을 경우의 피난안전성 평가결과를 나타내었다. 피난유도자의 수가 25명 및 35명인 경우, 피난지연시간이 120초 이하인 경우에는 사상자가 존재하지 않았으며, 180초인 경우에는 각각 5명(H25), 2명(H35)의 사상자가 발생하였다. 반면, A구획에서 화재가 발생한 경우와 마찬가지로 피난유도자의 수가 75명인 경우에는 피난지연시간에 관계없이 사상자가 존재하지 않아 피난안전성능이 확보되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

이 연구에서는 화재·피난에 취약한 요양병원을 대상으로 FDS와 Pathfinder를 활용하여 화재·피난 시뮬레이션을 수행하였으며, 총 2개의 화재시나리오와 12개의 피난 케이스에 대하여 피난안전성 평가를 진행하였다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 화재시뮬레이션 결과, 가시거리 기준(5 m)이 피난허용시간(ASET)에 지배적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 상대적으로 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂)의 농도 및 온도는 피난허용시간에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

Table 10. Evaluation Results on Evacuation Safety (Location of Fire: Compartment A)

Evacuation delay times (s)	H25				H35				H75			
	0	60	120	180	0	60	120	180	0	60	120	180
RSET (s)	151	204	261	320	59	166	210	250	62	114	174	236
ASET (s)	237				237				237			
Casualties	-	-	2	5	-	-	-	2	-	-	-	-

Table 11. Evaluation Results on Evacuation Safety (Location of Fire: Compartment B)

Evacuation delay times (s)	H25				H35				H75			
	0	60	120	180	0	60	120	180	0	60	120	180
RSET (s)	151	211	263	327	59	170	210	268	62	114	174	236
ASET (s)	266				266				266			
Casualties	-	-	-	5	-	-	-	2	-	-	-	-

- (2) 피난시물레이션 결과, 요양병원의 고용인원에 대한 법적기준을 만족하도록 75명의 피난유도자를 배치했을 때 피난안전성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 피난유도자의 수가 감소할수록 사상자의 수가 증가하는 것으로 확인되었다. 따라서, 요양병원의 고용인원에 대한 법적기준에 따라 피난유도자의 수를 확보한다면 화재 시 인명피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 피난지연시간이 60초 이하일 때는 모든 화재시나리오에서 피난안전성능이 확보 되었으며, 피난지연시간이 증가할수록 사상자의 수가 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 요양병원에서의 화재 시 인명피해를 방지하기 위해서는 피난지연시간이 60초 이하가 되도록 화재경보, 화재방송 등의 알람설비를 적절히 확보하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원 (20AUDP-B100356-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Buchanan, A.H. (2001). *Structural design for fire safety*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Byun, E.S. (2018). *A study on the evaluation safety review in the ward*. Master's thesis, University of Seoul.
- Enforcement Rule of Welfare of Senior Citizens Act § 22(1) (2011).
- Heo, I.W., Han, S.J., Kang, H., Hwang, S.J., Ju, Y.H., and Kim, K.S. (2018). Performance-based evaluation on evacuation safety of studio residential buildings according to installation of smoke exhaust system. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 1-8.
- Jeon, I.B. (2019). *Calculation of evacuation time in elderly medical welfare facilities using FDS and pathfinder*. Master's thesis, Inha University.
- Jeong, M.H., and Lee, B.G. (2008). Safety assessment of the evacuation at school building by escape training and simulation. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 22, No. 3, pp. 287-292.
- Jin, S.H., Kim, H.W., Lee, B.H., and Kwon, Y.J. (2018). A study on the improvement of evacuation measures through the analysis of fire incident in the facility of people vulnerable to disaster. *Proceedings of Spring Conference*, The Korea Institute of Building Construction, Vol. 18, No.1, pp. 78-79.
- Kim, E.S., Lee, J.S., Kim, M.H., You, H.K., Song, Y.H., and Min, K.C. (2005). A study on evacuation of patients in hospital: Part I. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 19, No. 2, pp. 20-28.
- Kim, J.B., Kim, J.O., and Back, E.S. (2010). A study on the evaluation of evacuation safety function of an elderly care hospital. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 24, No. 3, pp. 9-19.
- Kim, H.J., and Lilley, D. (2000). Heat release rates of burning items in fires. *Proceedings of 38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, America Institute of Aeronautics & Astronautics, pp. 6-9.
- Ministry of Health and Welfare (MOHW). (2019). *7th Meeting of the Health Insurance Policy Review Committee*, p. 12.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2016). *Methods and standards of the performance-oriented design for fire facilities*. Notification No. 2016-30, Fire Prevention Division, MPSS.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2013). *Fire dynamics simulator user's guide*.
- Park, G.J. (2017). *A study on evacuation performance evaluation of underground streets using simulation*. Master's thesis, University of Seoul.
- Park, J.S. (2009). *A study on possible developmental ways of vertical escape method for escape safety of apartment house*. Master's thesis, University of Seoul.
- Thunderhead Engineering Consultants, Inc. (2019). *Pathfinder*. Retrieved from <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>

Received	March 13, 2020
Revised	March 16, 2020
Accepted	April 1, 2020