

협소 거주공간 사고 재현을 위한 시뮬레이션 연구

The Study of Simulation for Reproduce Accidents of Narrow Dwelling Space

Changwoo Lee^{a,*}, Beakyoul Choi^{b,1}, Jinsung Kim^c, Yongsun Cho^d, Juyoul Yoo^e

^a Department of Fire & Disaster Prevention, Korea Soongsil Cyber University, Samil-daero 30-gil, Seoul, Republic of Korea

^b Department of Fire & Disaster Prevention, Korea Soongsil Cyber University, Samil-daero 30-gil, Seoul, Republic of Korea

^c Department of R&D, Hanbit Safety Engineering Co.,Ltd, Digital-ro 285, Guro-gu, Republic of Korea

^d Department of R&D, Hanbit Safety Engineering Co.,Ltd, Digital-ro 285, Guro-gu, Republic of Korea

^e Department of R&D, Hanbit Safety Engineering Co.,Ltd, Digital-ro 285, Guro-gu, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the fire analysis program FDS and Pathfinder was used to analysis a simulated accidental fire of a narrow dwelling space as a test bed. The results showed that the evacuation time of the H form internal building structure was the fastest at 285 seconds. In addition, when the automatic sprinkler system functioned with the entrances closed, the temperature distribution was lower and the visible smoke density was reduced.

KEYWORDS

FDS
Pathfinder
narrow dwelling space
visibility
smoke density

본 연구에서는 화재 해석 프로그램인 FDS와 Pathfinder를 이용하여 협소 거주공간의 사고 재현을 위해 테스트베드의 화재를 시뮬레이션하였다. 해석 결과, 내부 구조 형태가 H형태인 경우가 피난대피 시간이 285초로 가장 빠르게 나타났다. 또한 실험 조건 중 출입구가 닫히고 스프링클러가 작동하는 경우가 온도의 분포가 가장 낮게 나타났으며, 이는 가시도와 연기농도에도 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

FDS
Pathfinder
협소 거주공간
가시도
연기농도

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-02-708-7857. Fax. 82-02-708-7749.

Email. lcw119@mail.kcu.ac

1 Tel. 82-02-708-7857. Email. choi_0715@hanmail.net

ARTICLE HISTORY

Received May. 01, 2016

Revised Jun. 10, 2016

Accepted Sep. 30, 2016

1. 서론

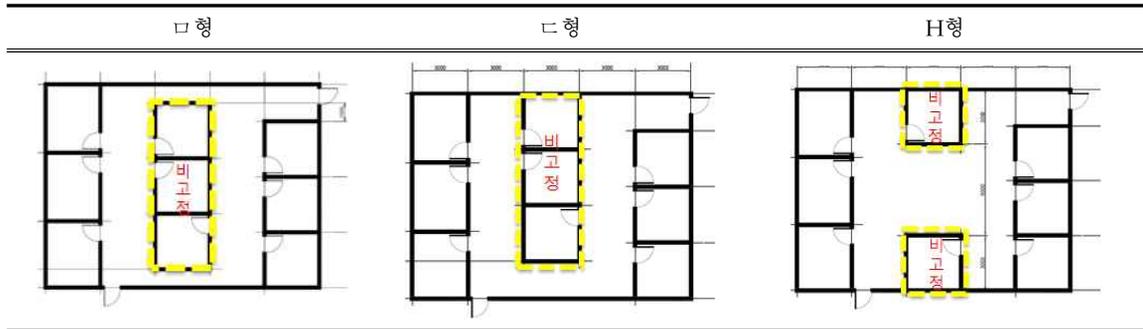
협소 거주공간이란 특정 또는 불특정한 사람이 이용하는 소방대상물 중에서 화재 등 재난 발생 시 생명·신체·재산상의 피해가 발생할 우려가 높은 것으로서 대통령(또는 총리령)으로 정하는 구획된 공간을 가진 소방대상물을 말하며, 건축물 내부에 벽과 출입문으로 구획된 공간을 말한다. 이러한 협소 거주공간은 불특정 다수를 대상으로 서비스를 제공하거나 일정 기간 거주하는 용도로 사용되기 때문에 그에 필요한 물품을 비치하고 있으며, 이러한 물품은 가연성으로 화재 안전이나 화재진압의 측면에서 볼 때 위험요인이나 장애요인이 될 수밖에 없다[2].

따라서, 화재가 발생하였을 때 대피구조가 복잡하여 혼란이 발생하고 동일한 공간일지라도 건물의 구조에 따라 피난방향과 피난동선이 달라지기 때문에 공황에 빠질 가능성이 크다. 이와 같은 재난발생시 잠재하고 있는 여러 위험요소를 고려하여 피난계획을 수립해야 한다. 하지만 협소 거주공간은 좁고 복잡한 구획된 공간이라는 특수한 환경이라는 점을 고려하여 건축물 내부의 복잡한 구조에서 작업을 전개할 수 있도록 하여야하며, 이동식 벽체(경량칸막이, 조적조, 콘크리트 블록조 등), 다양한 구조(□형, ㄷ형, H형 등)를 고려하여 공간의 다양한 패턴을 분석하였다. 이러한 가변형 구조 및 다양한 벽체 재질을 화재 실험변수로 하여 대표적인 화재 시뮬레이션용 상용 소프트웨어인 FDS(Fire Dynamics Simulator)와 피난 해석 프로그램인 Pathfinder를 통해 가상으로 구축한 테스트베드에서 모의실험을 실시하였다. 이러한 모의실험의 분석 결과를 바탕으로 안전한 대피 계획 수립 시 기초 데이터로 활용하고자 한다[3].

2. 시뮬레이션 환경 설정

본 연구에서는 협소 거주공간 사고재현을 위해 화재 해석 프로그램인 FDS(열 유동, 가시도, 연기유동 등)와 Pathfinder(피난과 인간행동)를 통해 테스트베드의 화재를 시뮬레이션하였다. Table 1과 같은 테스트베드의 크기는 15.2m×11.2m×2.4m인 165㎡로 실험공간을 모델링하였으며, 내부의 구조 형태는 □형, ㄷ형, H형과 같이 가변형 벽체를 통하여 다양한 내부 구조에 따른 다양한 화재의 형상을 파악하고자 하였다.

Table 1. Variable division plan



2.1 FDS(Fire Dynamics Simulator)

본 연구에 사용되는 FDS는 미국 NIST에서 개발된 화재 해석 프로그램이며, 테스트베드에서의 화재를 모사하기 위하여 협소 거주공간에 대한 열 유동, 가시도, 연기유동 등을 분석하여 이를 피난 계획에 기초 데이터로 활용하고자 하였다. 이를 분석하기 위해 시뮬레이션의 기본 설정은 아래의 Table 2와 같으며 격자크기는 McCaffrey의 연구에서 제시한 characteristic fire diameter와 미국원자력규제위원회의 NUREG-1824보고서[5]를 통하여 제시된 격차 민감도 수용범위를 통하여 계산하면 다음 식 (1), (2)와 같다[4][5]. (여기서, D^* : characteristic fire diameter, ρ_{∞} : 주변공기밀도(대상실의 공기밀도, kg/m³), c_p : 주변공기비열(kJ/kg·K), T_{∞} : 주변공기온도(K), g : 중력가속도(9.8 m/s²), Q : 화원의 크기(kW), (4~16) : 무차원수 (NUREG 1824의 민감도 수용범위)

$$D^* = \left[\frac{Q^*}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot T_\infty \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \tag{1}$$

$$D^*/\delta = (4 \sim 16) \tag{2}$$

발열량은 최대 발열량에 도달 후 유지되는 형태로 설정하였다. 기본적으로 소화설비 및 제연설비는 없는 것으로 설정하였으며 시뮬레이션 시간은 600초(10분)로 설정하여 진행하였으며, 초기온도 20℃에서 전열기구 과열로 인한 침대화재를 주 화원으로 선정하였다.

또한 시뮬레이션 Case는 협소 공간 거주공간의 사고 재현을 위한 3가지 형태의 가변형 테스트베드로 진행되며, 각각의 피난경로를 Table 4와 같이 수행하였다. 화재실 문의 개폐(O : open 상태, X : close 상태) 유무와 스프링클러 설치 유무에 따라 시뮬레이션 조건을 아래의 Table 3과 같이 진행하였다.

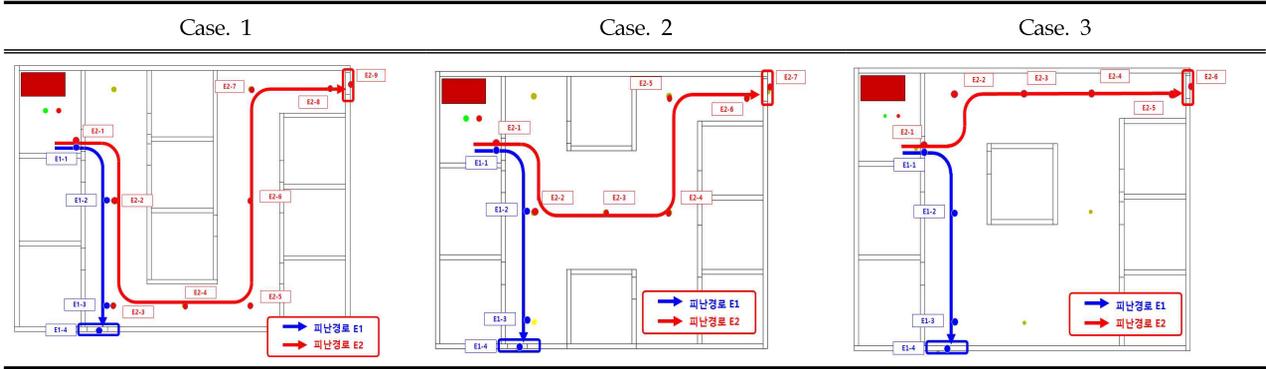
Table 2. Set-up condition of evacuation simulation

구 분	내 용	
화재 시뮬레이션 입력 자료	설 정	설 정 값
	초기 온도	20 (℃)
	크기	15.2m x 11.2m x 2.4m
	발 화 원	Polyurethane (GM21_SFPE핸드북, Soot_Yield : 0.131, CO_Yield : 0.01)
	화재 위치	침대 주변 전열기구 과열로 인한 침대 화재
	격자수	408,576 개
	화재 발열량	1,061.9 (kW)
	화재성장속도	Medium (1,061.9kW 도달 후 지속되는 것으로 가정)
	Heat Release Rate	표준 화재 모델에 따른 화재 확대방지 및 피난안전 설계 기술개발, 건기원, 2008
	소방시설	제연설비 미작동으로 설정
	닫힌 문의 누설틈새	0.0072 m ³ (누설량 수식 $\dot{V} = K_f A \sqrt{\Delta P}$ 적용, 방화문 면적 2m ² 적용)
해석 시간	600 (sec)	
분석 방법	- 재실자의 호흡안전선 위치인 1.8m 상부의 Factor를 분석 - 각 POINT 별로 위험요소별 데이터 분석(온도, 가시거리, 연기농도)	

Table 3. Set-up condition of FDS modeling

구 분	모델링 형태	화재실 문	스프링클러
Case. 1	'C' 형태	X	X
	'C' 형태	O	X
	'C' 형태	X	O
	'C' 형태	O	O
Case. 2	'H' 형태	X	X
	'H' 형태	O	X
	'H' 형태	X	O
	'H' 형태	O	O
Case. 3	'O' 형태	X	X
	'O' 형태	O	X
	'O' 형태	X	O
	'O' 형태	O	O

Table 4. Path evacuation of evacuation simulation



2.2 Pathfinder

Pathfinder는 미국 Thunderhead Engineering사에 의해 개발되었으며, 에이전트(Agent)를 기반으로 하여 피난과 인간행동을 시뮬레이션하는 모델 프로그램이다. 피난에 대한 해석을 위해 Table 5와 같이 신체특성 및 보행속도, 피난시나리오를 선정하였다. Pathfinder의 경우 내부 입력된 데이터는 국외 인원들의 신체조건을 분석한 결과를 사용한 변수값이므로, 본 연구에서는 국내 실정에 맞게 하기 위해 한국인 인체 치수 조사(Size Korea, 2010년, 6차) 자료를 바탕으로 기본 신체특성을 설정하여 사용하였다. 또한 국내 재실자의 보행속도는 '표준화재모델에 따른 화재 확대방지 및 피난안전설계 기술개발'(한국건설기술연구원, 2009)에서 조사한 연구현황 분석을 통해 제안한 표준치수를 사용하였다[6]. 그리고 건축물내의 수용인원은 '화재예방, 소방시설 설치유치 및 안전관리에 관한 법률 시행령'에 구체적인 수용인원의 산정방법을 추가하여 특정소방대상물에 적용되는 소방시설을 산출하는데 활용하였으며, 상업용도 내에 지하층 판매지역의 2.8㎡/인을 적용하여 수용인원 56명을 배치하는 조건으로 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 5. Body size and walking speed

구 분	남 성			여 성		
	평균키	평균 어깨너비	보행속도(m/s)	평균키	평균 어깨너비	보행속도(m/s)
어린이(2 ~ 10세)	131.4 cm	28.3 cm	1.0	130.4 cm	28.4 cm	1.0
청소년(10 ~ 20세)	160.8 cm	35.5 cm	1.3	154.1 cm	33.7 cm	1.3
성인(20 ~ 60세)	171.3 cm	39.5 cm	1.2	158.2 cm	35.4 cm	1.1
노인(60세 이상)	164.4 cm	37.9 cm	0.7	152.3 cm	35.0 cm	0.79

3. 시뮬레이션 결과

3.1 FDS(Fire Dynamics Simulator)

본 연구에서 진행된 화재시뮬레이션은 온도, 가시도 및 연기농도에 대하여 호흡한계선인 1.8m를 기준으로 측정을 진행하였다. 온도의 안전기준은 대피자의 한계 대피 온도로 미국 방화협회(National Fire Protection Association: NFPA)의 방재기술(Fire Protection Engineering)에 기술된 대피자의 피부 산화가 최초 진행되는 60℃를 기준으로 하며, 이는 국민안전처 고시 제2016-30호, 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 중 별첨 1에 시나리오 적용 기준 내에 인명안전기준에 제시되는 성능기준에 준용하여 적용되고 있다.

가시도는 연기농도에 영향을 받게 되며, 소광계수(K)와 연기농도(ρY_s , density of smoke particulate)는 미국 방화협회(National Fire Protection Association: NFPA)의 방재기술(Fire Protection Engineering)에 다음 식 (3)과 같고, 고유소광계수(Km, Specific extinction coefficient)는 $7.6\text{m}^3/\text{kg}$ 이다.

$$K = K_m \cdot \rho Y_s \tag{3}$$

위의 식 (3)에서 소광계수(K) 와 가시거리(S) 관계는 다음 식(4)으로 표현된다.

$$S = C / K \cdot L \tag{4}$$

여기서, C는 상수로 연기의 종류 및 상황에 따라서 달리 적용되고 있으나 일반적으로 빛을 발광하는 물체에 대해서는 C=8이며, 반사체에 대해서는 C = 2 ~ 3을 적용하여 계산한다. 따라서 가시거리에 대한 SFPE 방화공학 핸드북에서의 기준에 제시된 바와 같이 화재발생 건축물의 내부구조를 알고 있는 사람들은 안전한 탈출을 위해 4m의 가시거리가 확보되어야 하는 반면, 그렇지 않은 사람들의 경우에는 13m의 가시거리가 보장되어야 한다. 이러한 기준은 인명안전기준인 5 ~ 10m로 준용하여 적용되고 있다.

(1) 온도 분포

화재 시뮬레이션인 FDS를 통해 중요한 결과중 하나인 화재 조건에 따른 온도변화를 Table 6에 나타내었다. 피난경로 E1의 경우 실내의 구조형태가 ㄷ형 및 ㄱ형보다 H형의 구조가 인명안전기준에 도달하는 시간이 상대적으로 높게 나타났으며, Case 1-3에서는 최대 300초정도의 차이를 나타냄으로서 다른 구조에 비해 안전성이 높다는 것을 암시하고 있다. 또한 Table 7은 피난경로 E2에 대한 온도변화를 나타낸 것이며, 실내의 다른 구조형태보다 H형의 구조가 위험온도에 도달하지 못하거나 오래 걸리는 결과를 나타내어 안전성이 높다는 것을 나타내고 있다.

화재 발생 시 이와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 모든 구조 형태에서 “출입문 개방, S/P 없음”의 경우가 가장 위험도가 높게 나타났으며, “출입구 폐쇄, S/P 있음”이 위험도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 출입문의 개폐여부보다는 S/P의 설치 유무가 화재 발생 시 화재진압에 큰 영향을 나타내는 것으로 판단된다.

Table 6. Reaching time of life safe criterion(60°C, Path evacuation E1)

구 분		Case 1-1 출입문 : 닫힘 S/P : 무	Case 1-2 출입문 : 열림 S/P : 무	Case 1-3 출입문 : 닫힘 S/P : 유	Case 1-4 출입문 : 열림 S/P : 유
모델링 형태	피난경로				
ㄷ 형	E1-1	67초	72초	63초	72초
	E1-2	352초	143초	316초	141초
	E1-3	332초	134초	290초	137초
	E1-4	330초	133초	294초	133초
H 형	E1-1	64초	70초	64초	70초
	E1-2	383초	187초	331초	287초
	E1-3	368초	162초	590초	280초
	E1-4	365초	162초	552초	281초
ㄱ 형	E1-1	63초	69초	63초	69초
	E1-2	404초	173초	386초	290초
	E1-3	368초	166초	미도달	287초
	E1-4	368초	161초	332초	278초

Table 7. Reaching time of life safe criterion(60°C, Path evacuation E2)

구 분		Case 1-1 출입문 : 닫힘 S/P : 무	Case 1-2 출입문 : 열림 S/P : 무	Case 1-3 출입문 : 닫힘 S/P : 유	Case 1-4 출입문 : 열림 S/P : 유
모델링 형태	피난경로				
ㄷ 형	E2-1	67초	72초	63초	72초
	E2-2	352초	143초	316초	141초
	E2-3	332초	134초	290초	137초
	E2-4	376초	169초	미도달	280초
	E2-5	367초	193초	미도달	382초
	E2-6	412초	245초	미도달	미도달
	E2-7	422초	244초	미도달	미도달
	E2-8	444초	269초	미도달	미도달
	E2-9	452초	278초	미도달	미도달
H 형	E2-1	64초	70초	64초	70초
	E2-2	383초	187초	331초	287초
	E2-3	386초	179초	미도달	282초
	E2-4	364초	178초	미도달	289초
	E2-5	386초	174초	미도달	451초
	E2-6	403초	222초	미도달	미도달
	E2-7	398초	213초	미도달	미도달
ㄹ 형	E2-1	63초	69초	63초	69초
	E2-2	395초	185초	미도달	284초
	E2-3	387초	169초	미도달	292초
	E2-4	381초	172초	329초	292초
	E2-5	347초	157초	320초	287초
	E2-6	249초	158초	316초	286초

(2) 가시도 측정

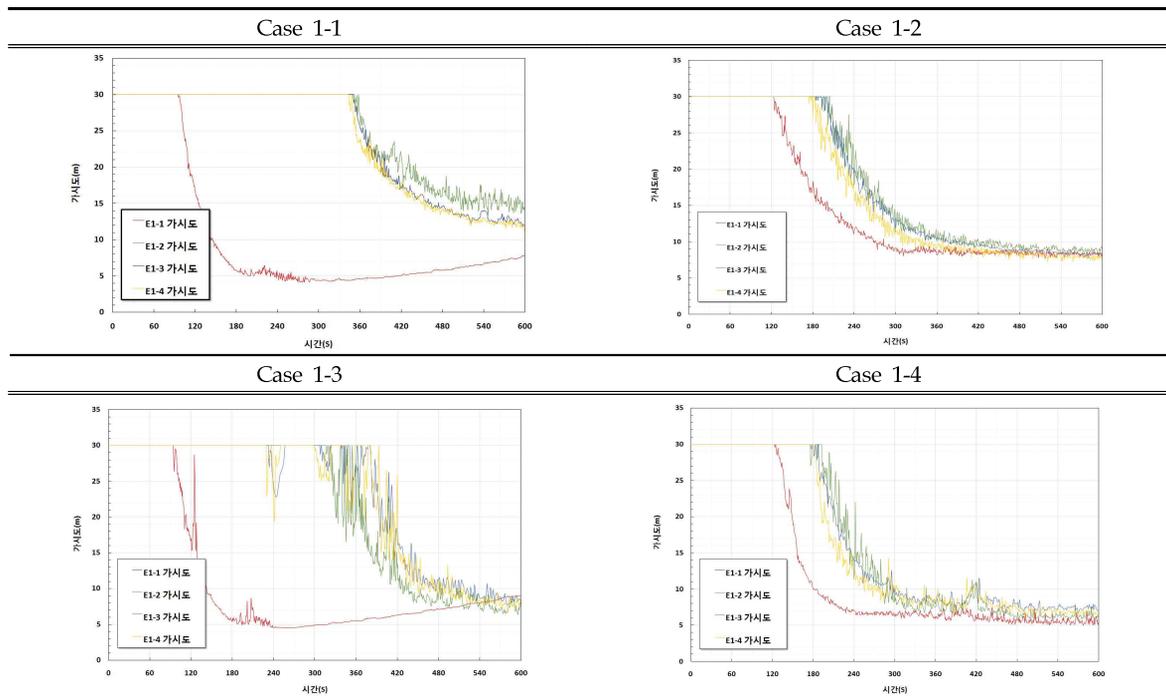
Table 8은 가시도 데이터 분석한 결과를 나타낸 것이다. 실내의 구조형태가 ㄹ형인 경우, case 1-1은 화재실의 가시도가 96초부터 감소하기 시작하여 인명안전기준인 5m에는 205초에 도달하는 것으로 나타났으며, case 1-2는 122초부터 가시도가 감소하나 인명안전기준에는 도달하지 않는 것으로 측정되었다. 스프링클러가 설치된 case 1-3은 96초부터 감소하여 205초에 인명안전기준에 도달하였으며, case 1-4는 124초부터 가시도가 감소하나 인명안전기준에 도달하지 않는 것으로 측정되었다.

FDS 분석 결과 대부분 실험 조건에서 가시도의 인명안전기준에 도달하지 않은 것으로 나타났다. 반면 출입문 조건이 닫힘 조건에서는 가시도가 인명안전 기준에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 화재 발생 시 화원과 가장 가까운 지점에서 연기가 빠져나갈 수 있는 공간 확보가 안되어 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 또한 실험 조건 중 S/P가 있는 경우의 초기에도 가시도가 인명안전 기준에 도달하는 것으로 나타났으며, 이는 화원과 가장 가까운 곳에 스프링클러가 작동함에 따라 수증기와 연기로 인해 시야의 확보가 어려운 것으로 파악된다.

Table 8. Reaching time of life safe criterion

구 분		Case 1-1 출입문 : 닫힘 S/P : 무	Case 1-2 출입문 : 열림 S/P : 무	Case 1-3 출입문 : 닫힘 S/P : 유	Case 1-4 출입문 : 열림 S/P : 유
모델링 형태	피난경로				
ㄷ 형	E1-1	229.8초(96초)	미도달(123초)	194초(94초)	577초(122초)
	E1-2	미도달(352초)	미도달(184초)	미도달(316초)	미도달(176초)
	E1-3	미도달(347초)	미도달(185초)	미도달(233초)	미도달(176초)
	E1-4	미도달(344초)	미도달(174초)	미도달(230초)	미도달(184초)
H 형	E1-1	202초(97초)	미도달(120초)	194초(94초)	미도달(122초)
	E1-2	미도달(406초)	미도달(216초)	미도달(329초)	미도달(235초)
	E1-3	미도달(378초)	미도달(189초)	미도달(249초)	미도달(196초)
	E1-4	미도달(369초)	미도달(189초)	미도달(376초)	미도달(190초)
ㄹ 형	E1-1	205초(96초)	미도달(122초)	205초(96초)	미도달(124초)
	E1-2	미도달(404초)	미도달(229초)	미도달(329초)	미도달(235초)
	E1-3	미도달(384초)	미도달(191초)	미도달(249초)	미도달(196초)
	E1-4	미도달(384초)	미도달(195초)	미도달(376초)	미도달(190초)

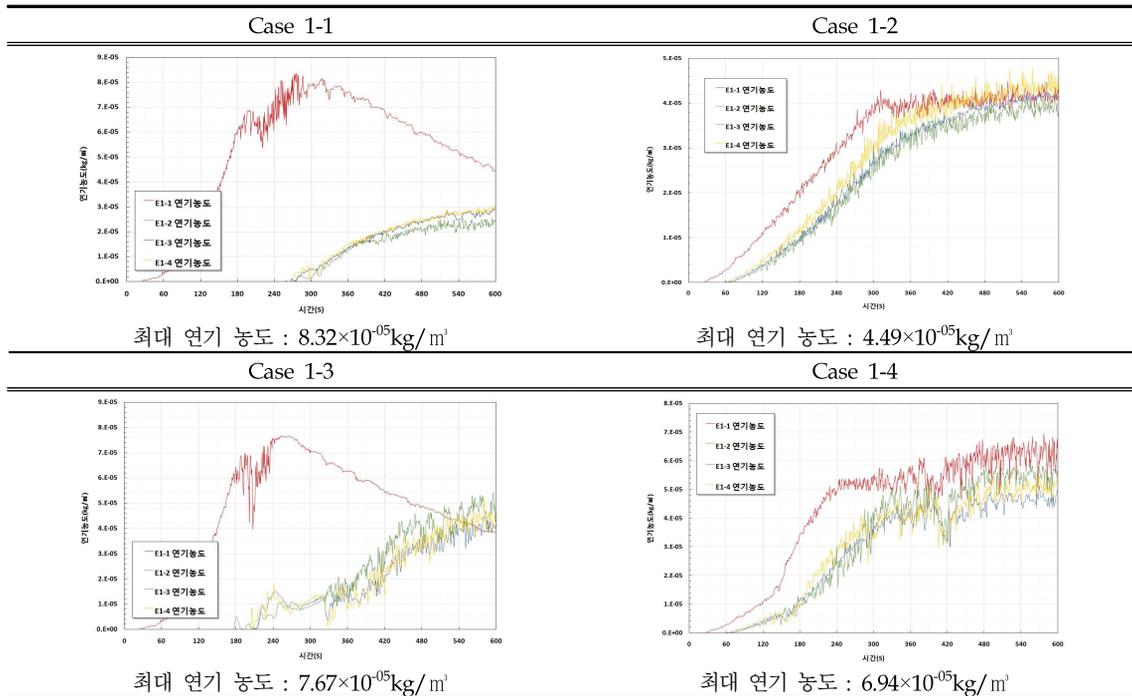
Table 9. Measuring data of visibility (Type ㄹ)



(3) 연기 농도

Table 10은 실내 구조형태가 ㄷ형 구조의 연기 농도 측정 데이터를 나타낸 것이다. case 1-1의 연기농도는 274초에 최대치인 $8.32 \times 10^{05} \text{kg/m}^3$ 에 도달하였으며, case 1-2는 517초에 $4.49 \times 10^{05} \text{kg/m}^3$ 로 최대치를 나타내었으나 약 310초부터 연기농도가 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 스프링클러가 설치된 case 1-3은 265초에 연기농도 최대치인 $7.67 \times 10^{05} \text{kg/m}^3$ 에 도달하였으며, case 1-4는 577초에 $6.94 \times 10^{05} \text{kg/m}^3$ 에 도달하는 것으로 나타났다.

Table 10. Measuring data of smoke concentration (Type □)



3.2 Pathfinder

모든 Case의 수용인원 배치는 방별로 일정한 간격을 두어 배치하여 피난 시뮬레이션 실행한 결과를 아래의 Table 11에 나타내었으며, 피난에 가장 유리한 구조 형태는 H형로 분석되었다. 반면 피난 시 가장 불리한 구조는 □형으로 나타났으며, 출입구가 2개소이고 □형 구조일 때 가장 빠르게 피난이 완료된 것으로 나타났다. Table 12는 피난완료가 가장 빠르게 나타난 □형 Case 1-3과 □형 Case 3-1을 나타내어 해석 결과를 비교하였으며 그 차이는 28초정도의 차이를 나타내고 있다.

Table 11. Time of evacuation simulation

수용인원 배치	구 분	피난완료 시간	
	□ 형	1-1(출입구 2개소 개방)	287.3초
		1-2(하단 출입구 개방)	307.3초
		1-3(상단 출입구 개방)	311.0초
	H 형	2-1(출입구 2개소 개방)	285.3초
		2-2(하단 출입구 개방)	303.0초
		2-3(상단 출입구 개방)	308.5초
	□ 형	3-1(출입구 2개소 개방)	283.3초
		3-2(하단 출입구 개방)	305.0초
		3-3(상단 출입구 개방)	310.8초

Table 12. Result of evacuation simulation

시 간	255초	260초	270초	280초	290초	300초	피난완료
□ 형 Case 1-3							311초
□ 형 Case 3-1							

4. 결론

화재가 발생하면 화재의 확산을 막고 피난 경로를 확보하기 위해 구조물의 구조형태, 내장재의 특성 및 내실자의 특성 등 여러 인자를 고려하여 이를 계획하여야 한다. 본 연구에서는 협소 거주공간에 화재가 발생 시 이를 예측하고 피난 대책을 세우기 위해 화재 프로그램인 FDS와 Pathfinder를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수행결과를 토대로 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) FDS를 통한 협소 거주공간의 화재 발생 시 온도분포를 살펴보면, 구조물 내부형태에 의한 영향보다는 출입문의 닫힘과 스프링클러가 작동하는 경우가 화재에 대한 위험도가 낮게 나타났다. 이는 화재 발생 시 화재가 다른 곳으로 번짐을 방지하고 확산되는 것을 방지함에 따라 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

(2) 가시도를 분석한 결과 대부분의 case가 위험도에 도달하지 않았지만 '출입문 닫힘' 조건에서는 가시도가 인명안전기준에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 화재로 인해 발생한 연기가 밖으로 빠져나갈 수 없어 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

(3) 화재 발생 후 구조물 내부에 발생하는 연기농도의 경우 큰 차이를 나타내지는 않았지만, 스프링클러의 유무에 따라 연기농도는 약 $2.45 \times 10^{-05} \text{kg/m}^3$ 정도의 차이를 나타내었다. 이는 스프링클러에 의해 떨어지는 물방울에 발생한 연기가 응축되어 이와 같은 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

(4) 피난 시뮬레이션인 Pathfinder를 수행한 결과, 화재 발생 시 가장 안전한 구조 형태는 H형태로 나타났으며, 피난 완료시간은 285초로 가장 늦은 시간을 나타낸 ㄷ형과는 약 28초의 차이를 나타내었다. 이는 협소 거주공간에 대한 실내구조에 대한 형태를 설계시 반영하여야 할 사항으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국민안전처의 "협소 거주공간(고시원, 지하노래방 등) 재난대응 탐색장비 개발 및 성능테스트 기술"의 지원을 받아 수행된 연구 결과이며 이에 감사드립니다.

Reference

- [1] Eungu Ham, Dongcheol Kim, Changwoo Lee, (2015), "A Study on Fire Risk Assessment of a EPS room using Fire Simulation", Journal of Korea Society of Disaster, Vol.11, No.4, pp.581-588.
- [2] Ministry of Public Safety and Security, National Fire Data System
- [3] Pathfinder user manual, Thunderhead Engineering, 2016
- [4] B. McCaffrey, (1995), The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed., Society of Fire Protection Engineers and national Fire Protection Association, Quincy, MA
- [5] M. H. Salley, (2007), Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Fire Dynamics Simulator (FDS) (NUREG-1824, Volume 7), U.S. Nuclear Regulatory Commission
- [6] Size korea, <http://sizekorea.kats.go.kr/>