A-15

PBD에 입각한 실버타운 건물의 피난성능평가

박용환, 김범규, 정종철*
* 호서대학교 일반대학원 소방학과

Evaluation on the Evacuation Performance of Silver Town by PBD

Park, Yong-Hwan · Kim, Bum-Kyu · Jung, Jong-Chul*
* Dept. of Fire Protection Eng., Hoseo University.

요 약

현대사회가 핵가족화 되면서 2000년에는 노인인구비율이 7%에 육박하였고, 2022년에는 고령사회의 기준이 되는 14%를 넘게 될 전망이다. 실버타운은 노인들이 안락을 위해 자녀를 벗어나 독립된 생활을 하는 건축물로서, 고령화 노인들이 크게 증가함에 따라 대형화, 고층화, 다기능화 되는 추세에 있으며, 이에 따라 화재로 인한 잠재적 위험성이 커지게 된다. 이에 본 연구에서는 성능위주설계(PBD : Performance Based Design)에 입각하여 실제 A 건물의 실버타운을 선정하고 이에 대한 화재 및 피난 시나리오를 작성 후 화재 및 피난 시뮬레이션 해석을 통해 피난성능을 평가하여 향후 개선방안을 제시하고자 한다.

1. 서 론

현재 우리사회는 산업화와 도시화의 과정을 거치면서 핵가족제도로 변모되고 있다. 이러한 과정을 통해 2000년에는 노인인구비율이 7%에 육박하게 되었고, 2022년에는 고령사회의 기준이 되는 14%를 넘게 될 것으로 전망하고 있다. 이에 따라 국내 여러 도심지에서는 노인들을 위한 복지시설 및 독립거주시설이 크게 늘어가고 있는 추세에 있다. 특히, 노인들이 편의를 위해 자녀를 벗어나 독립된 생활을 하는 목적으로 설립된 실버타운은 고령화 노인들이 크게 증가함에 따라 대형화, 고층화, 다기능화 되는 추세에 있으며, 이에 따라 화재로 인한 잠재적 위험성이 커지게 된다. 또한, 거주인원의 대부분이 거동이 불편한 고령화 노인이기 때문에 피난 시 많은 인명피해가 발생될 수 있다. 이에 본 연구에서는 성능위주설계(PBD : Performance Based Design)에 입각하여 실버타운의 안전성을 평가하고자 실제 A 실버타운 건축구조물을 선정하여 수 계산을 통해 피난가능시간을 예측하여 시뮬레이션 해석과의 비교·분석을 통해 피난성능을 평가하여 향후 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 피난성능평가 개요 및 방법

2.1 개요

건물의 피난성능평가는 피난소요시간(Required Safety Egress Time)이 피난가능시간(Available Safe Egress Time)이하가 되는지 확인하는 과정이다. 피난소요시간(RSET)은 재실자의 성별, 연령별 구성, 보행속도, 건물의 기하학적 형태, 피난경로의 효율성, 안전구획까지의 거리 등과 같은 요소들에 의해 계산된다. 피난가능시간(ASET)은 타당한 시나리오에 의해 산출된 Flashover 시간이나 설계목적에 따라 요구되는 특정 높이까지의 연기층 하강시간 등에 의해 결정된다. 피난소요시간(RSET)과 피난가능시간(ASET)을 산출하는 방법은 수계산 공식이나, 피난 모델링을 통하여 예측이 가능하다. 피난성능평가는 건축물의 설계단계에서 피난설계의 적정성을 검토하기 위해서 수행되며, 이미 건축된 건물의 검증과 피난안전성능 향상을 위한 계획수립에도 적용할 수 있다. 본 연구에서는 수계산 및 시뮬레이션해석을 통해 실버타운 건축물의 피난성능을 평가 하였다.

2.2 평가방법

2.2.1 수계산을 통한 평가방법

피난성능평가에서는 피난소요시간(RSET)≤피난가능시간(ASET)이 성립되어야 피난상 안전하다고 판단한데 이 중 피난소요시간(RSET)은 식(1)과 같이 재실자가 피난을 개시하기까지 필요로 하는 시간(t_{start})과 화재발생시 가장 가까운 안전구획까지의 이동시간($t_{movement}$)의 합으로 계산된다. t_{start}는 연기감지기가 작동하기까지의 시간, 경보를 인식하는 시간, 깨어나서 준비하는 시간의 합으로 나타내어지고, $t_{movement}$은 안전구획까지의 보행시간 및 출구 통과 시간의 합으로 나타내어진다.

$$\text{RSET} = t_{start} + t_{movement} \quad (1)$$

반면, 피난가능시간(ASET)은 식(2)과 같이피난가능시간(ASET)의 계산은 화염이 천장에 도달하는 시간과 연기가 천장경계를 경유하는 시간의 합인 연기감지기 작동 시간(t_{lag})과 바닥에서부터 1.8m까지 연기가 하강하는 시간(t_z)의 합으로 계산된다.

$$\text{ASET} = t_{lag} + t_z \quad (2)$$

단, $t_{lag} = t_{pl}+t_{cj}$ 이며, SFPE Handbook에 따라, $t_{pl} = 0.1\text{H}^{4/5}t_g{}^{2/5}$, $t_{cj} = 0.72\text{r}t_g{}^{2/5}/\text{H}^{1/5}$과 같은 식을 통해 구하며. t_z 는 다음 식 (3)을 사용하여 계산된다.

$$\text{z/H} = [1 + (4\text{k}_v/\text{A})(\text{H}/t_g)^{2/3}t_z{}^{5/3}]^{-2/3} \quad (3)$$

단, t_{lag} 는 연기감지기 작동시간(s), t_z는 연기가 z까지 하강시간(s), t_{pl} 는 화염이 천장에 도달하는 시간(s)

t_{cj} 는 연기가 천장경계를 경유하는 시간(s), z는 바닥으로부터 연기층의 높이(m), H는 천장의 높이(m), t_g 는 ultra fast fire(s), r은 감지거리(m), A는 화재실의 면적(m^2), k_v

는 체적혼입상수 ($m^{4/3}kw^{-1/3}s^{-1}$)이다.

본 연구에서는 이와 같은 수계산을 통해 피난성능을 평가하고자 한다.

2.2.2 시뮬레이션 해석을 이용한 평가방법

시뮬레이션을 통한 피난성능평가는 그림 1과 같은 과정으로 수행하였으며 ASET을 예측은 FDS v.5.1.3을 사용하였으며, RSET은 SIMULEX를 사용하여 예측한 뒤 피난소요시간(RSET)≤피난가능시간(ASET)의 성립 여부를 판단하여 피난성능평가를 수행하였다.

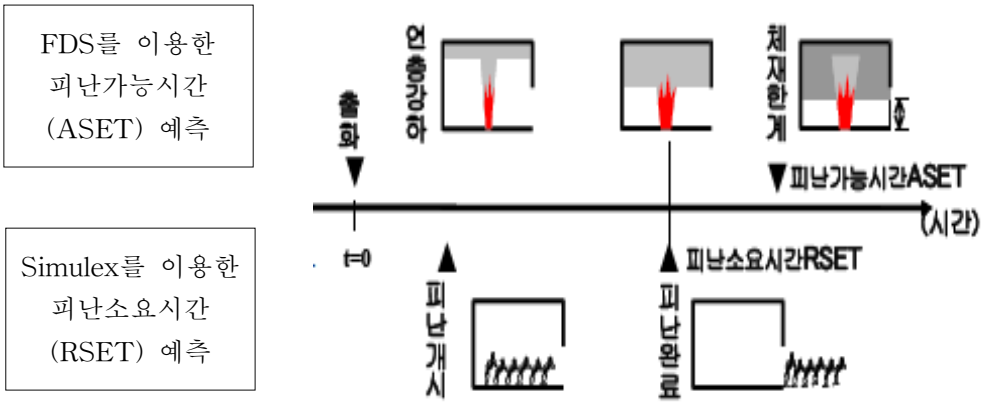
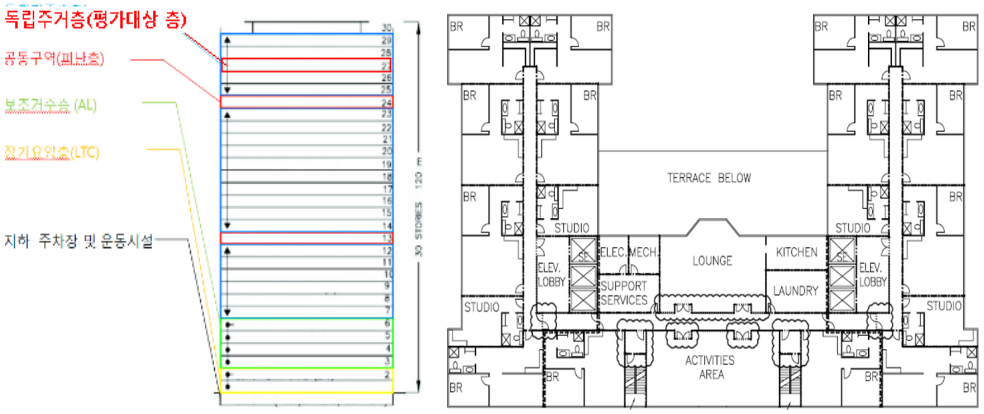


그림 2. 시뮬레이션을 이용한 평가방법

3. 피난성능평가 대상 및 조건 설정

3.1 평가대상 건축물

피난성능평가를 위해 그림 2-b)와 같은 구조 및 치수를 갖는 국내 A실버타운 건축물을 선정하였다. 주 거주자는 노인이며 독립거주자, 보조거주자, 장기요양거주자로 구성되어있다. 건물의 연면적은 88,800m^{2}이며, 높이 120m에 지하 1층, 지상 30층의 구조를 갖는다. 본 연구는 거주 인원이 55명(보행가능 노인)의 독립거주층을 대상으로 하여 수행하였다.



a) 실버타운 건축물 형상도 b) 독립주거층 평면도 (평가대상 층)

그림 2. 평가대상 건축물의 구조

3.2 입력조건 및 시나리오

3.2.1 수계산 시나리오 및 입력조건

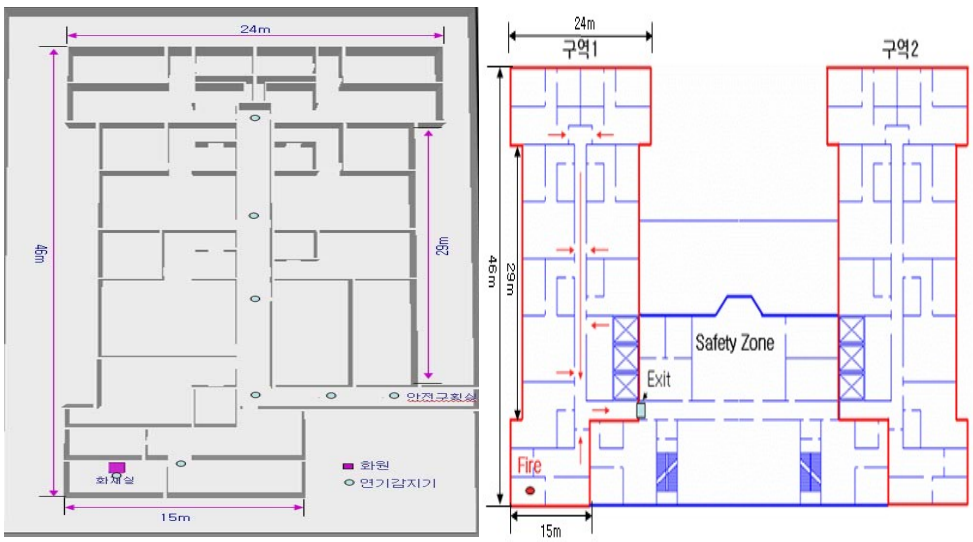
시나리오는 NFPA 72를 참고하여 작성하였으며, 독립거주층에서 55명의 거주자는 고루 분포하며 화재는 극한상황으로 설정하여 출구에서 가장 가까운 곳에서 발생하는 것으로 하였고, 연기감지기의 동작시간은 90초 이하이며, 감지거리는 4.6m로 설정하였다. 또한, 출구와 가장 먼 거리에서 있는 재실자의 거리는 48m이다. 거주자(노인)의 보행속도는 0.8m/s이며 문 폭은 1.63 m으로 설정하였다. RSET 및 ASET의 각 항목 별입력 값은 표 2와 같다.

표 1. 수계산 입력조건

구 분	항목 별 입력 값		
RSET	피난을 개시하기까지 필요로 하는 시간 t_{start}	연기감지기가 작동하기까지의 시간 t_1	90초
		경보를 인식하는 시간 t_2	15초
		깨어나서 준비하는 시간 t_3	120초
	화재시 가장 가까운 안전구획까지의 이동시간 $t_{movement}$	안전구획까지 이동하는 시간 t_4	$\frac{48m}{0.8m/s}$=60초
		출구 통과 시간 t_5	$\frac{55}{1.32\times1.63m}$=25.6초
ASET	연기감지기 작동시간 t_{lag}	화염이 천장에 도달하는 시간 t_{pl}	2초
		연기가 천장경계를 경유하는 시간 t_{cj}	15초
	연기층 하강시간 t_z		308.6초

3.2.2 시뮬레이션 시나리오 및 입력조건

시뮬레이션에 적용한 공간구조 및 치수는 실제 크기와 동일하게 적용하였으며, 그림 3-a)와 같다. 화재모델링(FDS)의 경우 격자의 크기는 0.1m크기로 하였고, 높이는 3.0m, 구획 벽의 두께는 0.2m, 복도의 폭은 2.0m로 설정하였다. 화재실의 바닥면적은 가로 6.5 m × 세로 4.0 m 이고, 안전구획실의 바닥면적은 가로 4.0 m × 세로 2.0 m로 설정하였으며, 공간 내 모든 문의 크기는 가로 1.0 m × 세로 2.3 m로 모두 통일 하였다. 시나리오는 수계산과 같이 하였으며, 연감지기는 그림 3-a)와 같은 위치에 설정하였다. 열방출량은 Ultra-fast 화재로 가정하기 위해 2MW/m^2으로 하였으며 화원은 0.001m3의 크기로 하여 그림 3-a)와 같은 위치에 설정하고 발화 후 화염과 연기가 지속적으로 방출되도록 하였다. 벽체 및 가연물의 재질은 국외 핸드북을 참조하여 콘크리트, 가문비나무로 각각 설정하였다. 피난시뮬레이션은 독립주거 층을 대상으로 해석하였고 화재모델링(FDS)의 공간과 똑같이 구성하였으며, 수계산의 시나리오를 따랐다. 경계구역을 3구역으로 나누고 그림 3-b)와 같이 구역1 만 모델링하였다. 각 방의 출입문은 하나고 복도와 연결 되어있다. 구역1에서의 피난동선은 방, 복도, EXIT의 순서로 하였고 EXIT만 통과하면 안전한 것으로 평가하였다. 재실자는 노인 55명, 보행속도 0.8m/s, 신체사이즈는 '노인'으로 설정, 반응시간 및 문에서의 피난자 방출률은 초기값으로 설정하고, 피난지연시간은 초기값 1초로 설정하였다. 안전구획통로 문 폭은 수계산 시나리오 조건과 동일하게 적용하여 1.63m로 하였다.



a) 실버타운 건축물 형상도 b) 독립주거층 평면도 (평가대상 층)

그림 3. 평가대상 건축물의 구조

4. 결과 및 고찰

4.1 수계산 결과

위의 식 (1)~(3)에 표1에 나타난 수계산 입력조건을 대입하여 계산한 결과 피난가능 시간은 325.6초로 도출되었으며, 피난하는데 걸린 시간은 310.6초이므로 모든 재실자는 안전하게 피난 가능하다고 표 2와 같이 평가되었다.

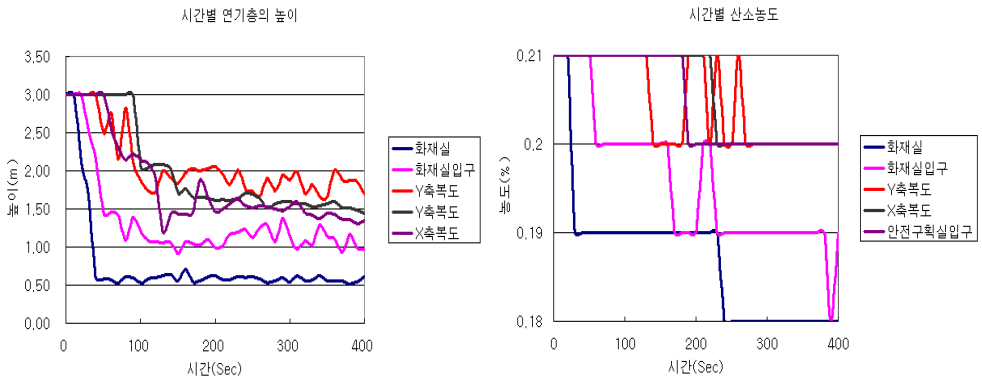
표 2. 수계산에 의한 피난성능평가

피난소요시간 (RSET)	피난가능시간 (ASET)	결과 값 비교	피난성능평가 결과
310.6 sec	325.6 sec	RSET < ASET	**안전**

4.2 시뮬레이션 결과

그림 4는 연기 거동에 따른 거주자의 피난 양상을 가시화하여 나타낸 그래픽으로서 20s에 연기가 급격히 확산되고, 60s에는 연기가 복도 쪽으로 유입되는 것을 볼 수 있다. 100s 경과 시 연기는 이미 안전구획실 쪽으로 가득 찬 것을 볼 수 있다. 사람들은 화재경보 시 각방에서 신속하게 이동하는 것으로 가정하였기 때문에 0~20초 사이에 모든 사람들이 복도 쪽으로 빠져나와있는 것을 볼 수 있고, 연기가 복도로 유입되지 않은 상황에서 약 2/3 인원이 피난을 완료했으며 약 1/3 인원이 피난을 완료하지 못했다. 약 60초에 대피자의 연기 피해가 우려 되어 안전구역으로 가는 지점의 연기층 높이를 그림 5-a)의 그래프에서 비교한 결과 연기 층의 폭이 1.2m가 되는 시간이 100초 인걸로 보아 큰 피해가 없다고 판단된다. 60초와 80초사이의 연기온도와 산소농도, 가시거리를 분석해 본 결과 연기의 온도는 25℃~45℃, 산소농도는 그림 5-b)에서 나타나는 바와 같이 약 21%로 나타났으며, 이러한 결과로부터 피난안전성이 확보된다고 판단된다.

시뮬레이션 해석을 통한 피난성능평가에 대한 최종결과는 표 3과 같이 나타났으며, 실험의 결과 극한의 상황에 연기가 확산되기 전까지 모든 인원이 피해 없이 피난을 완료한 것으로 보아 피난 평가는 안전하다고 볼 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 만약, 각 실에 스프링클러 및 제연설비를 설치한다면 초기피난안전에 미치는 기대효과는 클 것으로 사료된다.



a) 연기층의 높이 b) 산소농도

그림 4. 연기층 높이 및 산소농도

표 3. 시뮬레이션해석을 통한 피난성능평가 결과

SIMULEX의 피난소요시간 (RSET)	FDS의 피난가능시간 (ASET)	결과 값 비교	피난 평가
94sec	100sec	RSET < ASET	**안전**

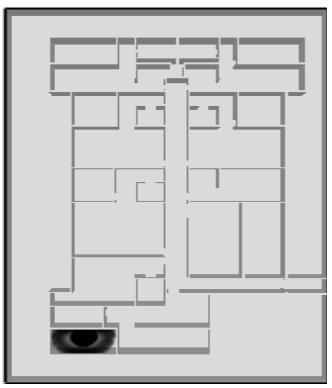
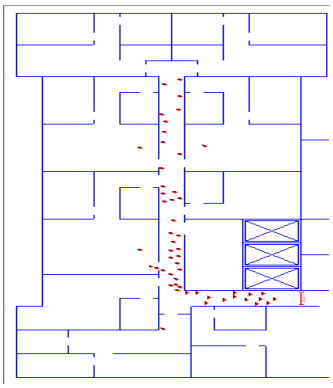
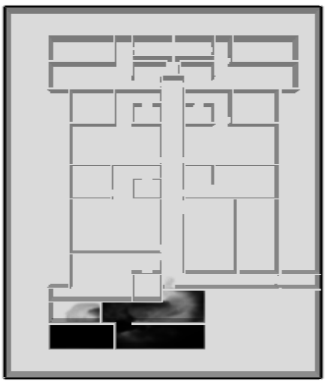
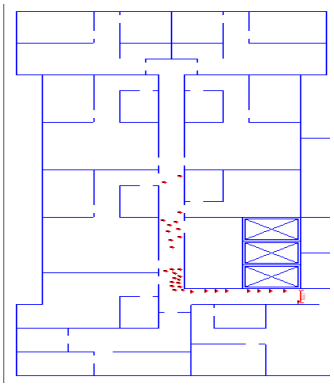
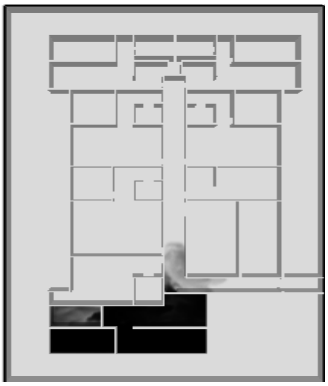
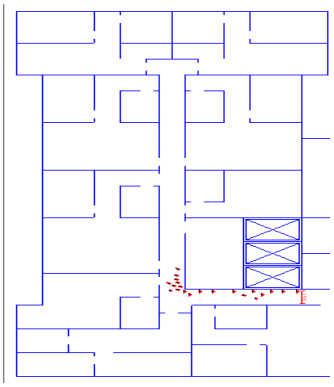
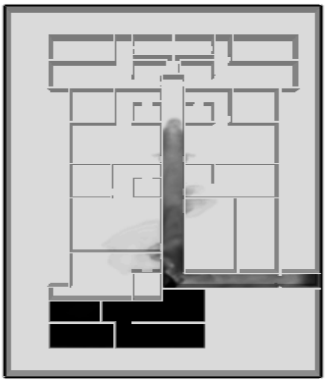
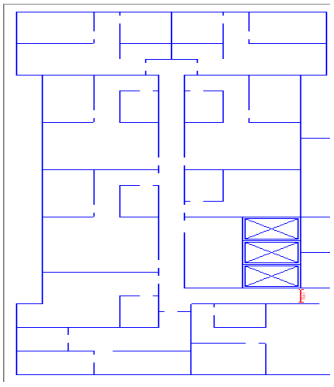
Time	화재시뮬레이션 (FDS)	피난시뮬레이션 (SIMULEX)
20 sec		

그림 5. 연기거동에 따른 재실자 피난화면

5. 결 론

본 피난성능평가는 고령화 노인이 증가하는 추세에 맞춰 점차 늘어가고 있는 노인복지시설 중 실버타운을 대상으로 하였다. 수계산 및 시뮬레이션해석을 통해 실버타운 건물에서의 피난안전성은 적합하다는 결과를 확인할 수 있었다. 또한, 보다 향상된 성능위주설계를

위해서는 다음과 같은 개선점이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 첫째, 수용인원, 용도 등을 고려한 2방향 피난 및 피난로의 수에 관한 규정의 신설이 요구된다. 둘째, 실버타운 초고층건물의 성능위주(PBD)에 입각한 화재안전설계가 필요하다고 판단된다. 셋째, 성능위 주설계 시 화재영향성평가를 하기위한 환경적인요인을 고려한 프로그램의 연구, 개발이 필요다고 판단된다. 넷째, 실버타운의 거주자의 신체적 피난장애를 고려한 비상용 승강기운용 등의 피난 및 방재계획이 필요할 것으로 사료된다.

40 sec		
60 sec		
100 sec		

참고문헌

1. “human factors considerations″, introduction to performance - based fire safety, NFPA
2. 김선민, 고층건축물 화재시 재실자의 피난안전성 평가, 2004. 02
3. 김운형 ,Ssimulex 모델의 피난개시시간 분석
4. 업무용 빌딩의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 피난적정성 검토, 2003. 02
5. [SFPE 방화공학핸드북], 한국화재보험협회 , 2005. 11
6. James G. Quintiere , 화재공학원론 , 2004. 03
7. FDS v. 5.3.1 user′s guide
8. 오혁진, 업무용 빌딩의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 피난적정성 검토, 2003. 02