

국내 PBD 기술의 정립을 위한 해외 성능적 피난안전설계사례에 관한 조사

김동은, 서동구*, 권영진**

호서대학교 소방방재학과, 호서대학교 소방방재학과 석사과정*,
호서대학교 소방방재학과 교수**

A Study on PBD case of Evacuation in Japan for PBD Approach of Korea.

Kim Dong Eun · Seo,Dong Goo* · Kwon,Young Jin**

Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ.,

Graduate Student, Dept. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ.*

Professor/Ph.D., Dep. Fire&Disaster Protection, Hoseo Univ.**

Abstract

Fire safety provisions have to be determined through Performance -based design in many project. There is a need for quick estimation of evacuation time for scenario analysis in hazard assessment.

The key equations on estimating evacuation time have to be known. In Japan There are many experience of PBD according to the Architectural law.

It is the aim of this study to investigate the PBD case of Evacuation in Japan for PBD Approach of Korea.

1. 서 론

최근 초고층건물과 지하건축물의 증가 및 방재에 대한 괄목할만한 발전에 힘입어 성능위주의 소방설계를 적용하는 건물이 증가되고 있다. 성능위주의 설계는 현재 적용되는 법률 및 기준에 의한 설계가 아니라, 화재의 방화공학적인 분석에 의하여 정확한 화재시나리오와 화재 하중을 예측하여 가장 합리적이고 경제적인 소방 설계를 수행하여, 화재시 초기 소화 및 건축물 내 모든 재실자의 안전한 피난을 도모하는 것을 목표로 하고 있다.

본 연구에서는 2000년도 성능위주의 소방설계를 실시한 일본의 건축기준법의 피난안전성평가를 소개하고 일본의 피난안전성평가를 통하여 영화관의 피난안전성평가를 케이스스터디를 실시하여 현재 사용 중인 피난시뮬레이션인 Simulex와 Building Exodus와의 비교를 실시하였다.

2. 일본성능평가기준

일본성능평가기준은 건축기준법과 소방법이 유기적으로 연결된 가운데 각각의 관점에서 규제가 이

루어지고 있다. 건축기준법은 방화(내화구조 등 건축구조, 외벽, 지붕기타의 구조, 개구부의 방화조치, 방화구획, 방화벽) 및 피난(피난경로, 비상용 조명 장치, 배연설비, 비상 엘리베이터 등)의 관점에서 규제하고 있으며, 소방법은 건축기준법령에 의해 방화 및 피난 등의 방화안전이 확보되어 있다는 것을 전제로 소방용 설비 등의 설치, 방염물품의 사용 및 방화관리에 대한 규제를 하고 있다. 일본의 성능설계기준의 발전은 표1과 같다.

표1 일본성능설계기준의 발전

일 시	내 용
1982년 4월 ~ 1987년 3월	건축물의 종합방화설계법의 개발
1989년 ~ 1991년	제1차 소방기술개발 프로젝트
1998년 6월	건축기준법의 성능규정화로 개정
2000년 6월	성능설계에 대한 기술상의 기준 시행
2003년 6월	소방법의 성능규정화

한국과 일본 건축기준법 및 소방법의 성능설계방법을 비교하여 그림1과 같이 나타 내었다.

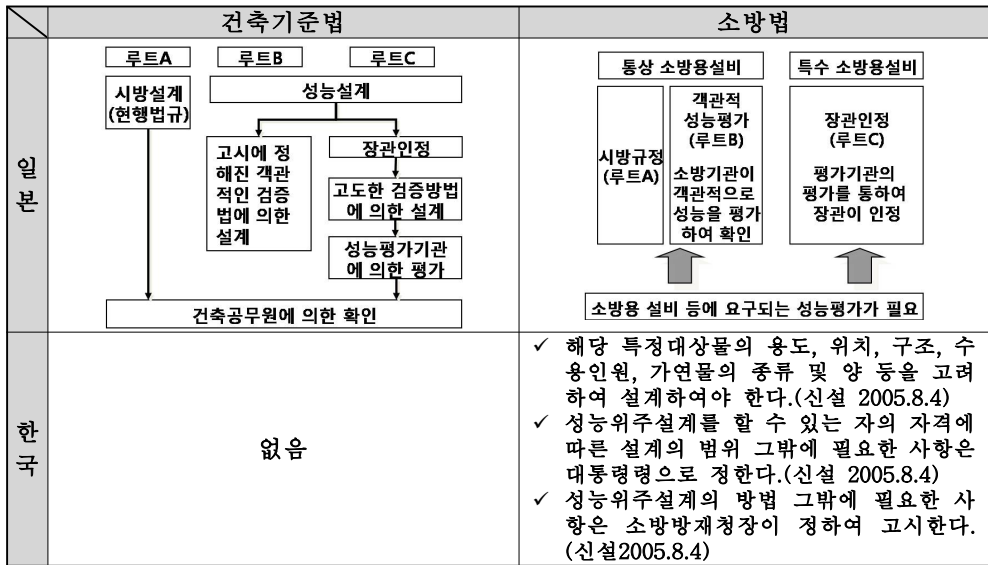


그림1 한국과 일본 건축기준법 및 소방법 성능설계방법 비교

2.1 피난성능검증법

당해 층의 각 거실마다 행하는 피난안전성의 검증은 화재가 발생한 실과 피난검증을 해야 할 실이 일치하는 경우에 대한 검증이 있고, 또 당해 층 전체에 대해 행하는 피난안전성의 검증은 화재가 발생한 실과 피난검증을 해야 하는 실 등이 다른 경우에 대한 검증이 있다. 당해 층의 피난안전성에 대해서는 당해 층에서 발생이 예측되는 모든 화재에 대해서, 그 층에 있는 피난대상자의 피난안전성이 확보되어야 하기 때문에 화재가 발생한 실과 피난검증을 해야 하는 실 등 모두의 조합에 대한 검증을 해야 할 필요가 있다. 따라서 당해 층의 각 거실마다 피난안전성의 검증 및 당해 층 전체에 대한 피난안전성 검증이라는 두 가지에 관한 피난안전성을 검증해야 한다.

- ① 각 거실마다의 검증 : 당해 거실 내에서 발생한 화재에 의한 연기, 가스가 당해 거실 내의 피난 대상자가 거실 외부로 완전히 피난하기까지 일정 높이까지 내려오지 않는 지를 검증한다.

② 층 전체의 검증 : 당해 거실 내에서 발생한 화재에 의한 연기, 가스보다도 다른 실에서 발생한 화재에 의한 연기, 가스의 방향이 빠르게 확대할 위험이 있는지를 각 거실마다 검증할 뿐만 아니라, 화재마다 층 전체의 피난 안전성을 검증한다.

그림2는 피난안전성 검증을 위한 과정을 나타낸 그림으로 재실자가 화재실로부터 피난안전을 확보하는 시간과 그 층으로부터 안전을 확보하는 시간을 검증할 수 있다.

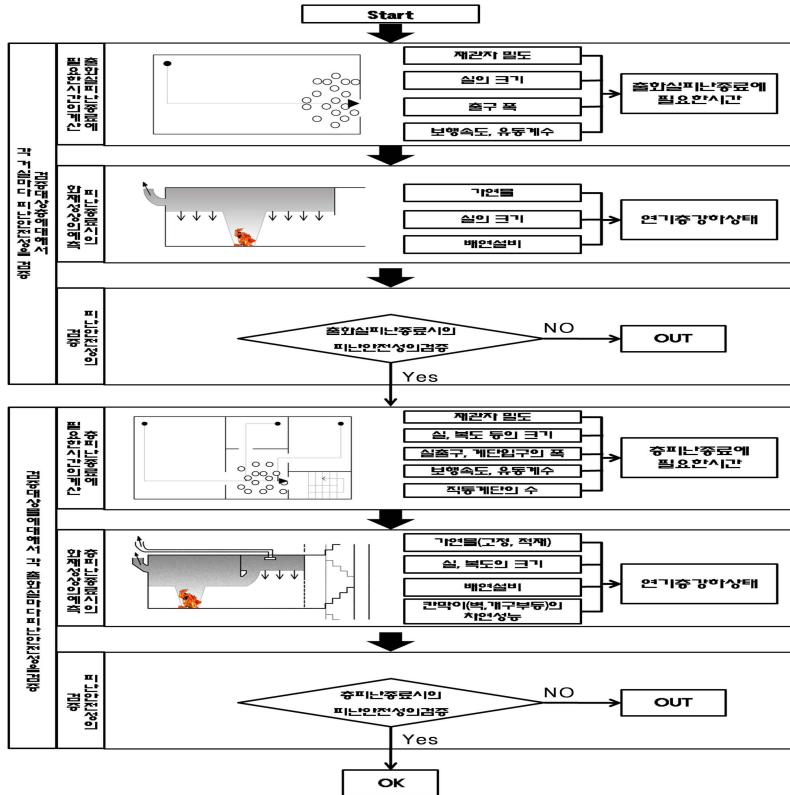


그림 2 피난안전검증의 흐름

2.1 거실피난안전성평가 산정식

STEP 1. 피난개시시간의 산정

$$T_{start} = \sqrt{\sum A_{area}} / 30$$

- ㉠ T_{start} : 피난개시시간 (분)
- ㉡ A_{area} : 해당실의 바닥면적 (m^2)

STEP 2. 지상까지의 보행시간

$$T_{travel} = \max(\sum l_e/v)$$

- ㉠ T_{travel} : 재실자가 각 부분으로부터 출구중 하나에 도달하는데 걸리는 시간 (분)
- ㉡ l_e : 출구까지의 보행거리 (m)
- ㉢ v : 보행속도 (m/분)

STEP 3. 지상출구의 통과시간

$$T_{queue} = \sum P * A_{area} / \sum N_{eff} * B_{eff}$$

- ㉠ T_{queue} : 재실자가 해당거실 등의 출구를 통과하는데 필요한 시간 (분)
- ㉡ P : 사무실의 재실자 밀도 ($人/m^2$)
- ㉢ A_{area} : 해당실의 바닥면적 (m^2)
- ㉣ N_{eff} : 유효유동계수 ($人/분*m$)
- ㉤ B_{eff} : 유효출구폭 (m)

STEP 4. 행동피난 시간 산정

$$T_{escape} = T_{start} + T_{travel} + T_{queue}$$

T_{escape} : 해당거실의 행동피난 시간 (분)

표3 거실피난 Neff (유효계수) 산정방법

수용가능 인원수	유효 유효계수	
$\sum \frac{A_{co}}{a_n} \geq \sum P \times A_{load}$	Neff=90	- A _{co} : 해당피난경로의 바닥면적 (m ²) - a _n : 1명이 필요한 채류면적 (m ² /人) - A _{load} : 피난에 필요한 바닥면적 (m ²)
$\sum \frac{A_{co}}{a_n} < \sum P \times A_{load}$	$\max \left\{ \frac{80 \times B_{neck} \times \left(\frac{\sum A_{co}}{a_n} \right)}{B_{room} \times \sum P \times A_{load}}, B_{load} \right\}$	- B _{neck} : 해당거실의 출구폭 (m) - B _{load} : 피난에 필요한 출구폭의 합계 (m)

- 표4 거실피난 Beff (유효출구폭) 산정방법

조 건	Beff 구하는 공식	T _{reach} : 재실자가 해당거실의出口的 하나에 도달하는 시간 (분) T _{reach} = T _{start} + T _{travel} B _{room} : 해당거실의 출구폭 (m) δ _f : 적재가연물의 화재 성장률 0.0125 (q _l ≤ 170) 2.6 × 10 ⁻⁶ × (q _l ^{5/3}) (q _l > 170) δ _m : 내장재의 화재 성장률
$T_{reach} \leq \frac{0.14}{\sqrt{\delta_f + \delta_m}}$	Beff = Broom	
$T_{reach} > \frac{0.14}{\sqrt{\delta_f + \delta_m}}$	$\max \left(B_{room} - 7.2 \sqrt{\delta_f + \delta_m} + T_{reach} + 1, 0 \right)$	

STEP 5. 연기하강시간의 산정

$T_{smog} = A_{room} * (H_{room} - 1.8) / \max(V_s - V_e, 0.01)$

㉠ T_{smog} : 연기하강시간(분)

㉡ A_{room} : 해당거실의 면적 (m²)

㉢ H_{room} : 해당거실의 기준점으로부터 평균천정높이 (m)

㉣ V_s : 연기발생량 (m³/분)

$V_s = 9 \{ (\delta_f + \delta_m) A_{room} \}^{5/3} \{ H_{low}^{5/3} + (H_{low} - H_{room} + 1.8)^{5/3} \}$

- H_{low} : 해당거실의 가장 낮은 위치로부터 평균천정높이 (m)

㉤ V_e : 유효 배연량 (m³/분)

STEP 6. 피난안전성 평가

㉠ T_{escape} ≤ T_{smog} 일 때 : 거실 피난 안전

㉡ T_{escape} > T_{smog} 일 때 : 거실 피난 불안전

2.2 층피난 안전성평가 산정식

STEP 1. 피난개시시간의 산정

$T_{start} = \sqrt{\Sigma A_{floor}} / 30 + 5$ (공동주택, 호텔 및 유사용도)

$T_{start} = \sqrt{\Sigma A_{floor}} / 30 + 3$ (기타)

㉠ T_{start} : 화재가 발생한 후 층에 존재하는 자가 피난을 개시할 때까지 요하는 시간 (분)

㉡ A_{floor} : 해당 층을 통과하지 않으면 피난할 수 없는 바닥면적의 합계 (m²)

STEP 2. 지상까지의 보행시간

$T_{travel} = \max(\Sigma l_e / v)$

㉠ T_{travel} : 재관자가 지상으로 통하는 출구에 도달하는 시간 (분)

㉡ l_e : 각문까지의 거리 중 최대인 것 (m)

㉢ v : 보행속도 (m/분)

STEP 3. 지상출구의 통과시간

$T_{queue} = \frac{\sum P \times A_{load}}{\sum Neff \times B_{st}}$

㉠ T_{queue} : 층에 있는 자가 해당층으로부터 직통계단출구를 통과하는데 필요한 시간(분)

㉡ P : 재관자밀도 (人/m²)

㉢ A_{load} : 복도를 통과하지 않으면 직통계단에 도달할 수 없는 부분의 면적 (m²)

㉣ B_{st} : 해당층의 직통계단 출구의 폭 (m)

㉤ Neff : 유효유효계수 (人/분*m)

STEP 4. 행동피난 시간 산정

$T_{escape} = T_{start} + T_{travel} + T_{queue}$

T_{escape} : 해당거실의 행동피난 시간 (분)

표5 층피난 Neff(유효유효계수)산정 방법

수용가능 인원수	유효 유효계수
$\sum A_{st} \geq 0.25 \sum P \times A_{load}$	Neff = 90
$\sum A_{st} < 0.25 \sum P \times A_{load}$	$\frac{320 \times B_{neck} \times \sum A_{st}}{B_{st} \times \sum P \times A_{load}}$

- A_{st} : 해당층과 하부층의 계단실의 바닥면적 (m²)

- B_{neck} : 해당직통계단의 출구폭 (m)

STEP 5. 연기하강시간의 산정

$$T_{smog} = \frac{A_{room} \times (H_{room} - H_{lim})}{\max(V_s - V_e, 0.01)}$$

- ㉠ T_{smog} : 연기하강시간 (분)
- ㉡ A_{room} : 해당실의 바닥면적 (m^2)
- ㉢ H_{room} : 해당실의 기준점으로부터 평균천정높이 (m)
- ㉣ H_{lim} : 한계연기층 높이 (m)

STEP 6. 피난안전성평가

- ㉠ $T_{escape} \leq T_{smog}$ 일 때 : 층 피난 안전
- ㉡ $T_{escape} > T_{smog}$ 일 때 : 층 피난 불안전

3. Case Study

일본의 피난안전성평가를 이용하여 상영관이 2개가 있는 영화관을 피난안전성을 평가를 실시하였다.

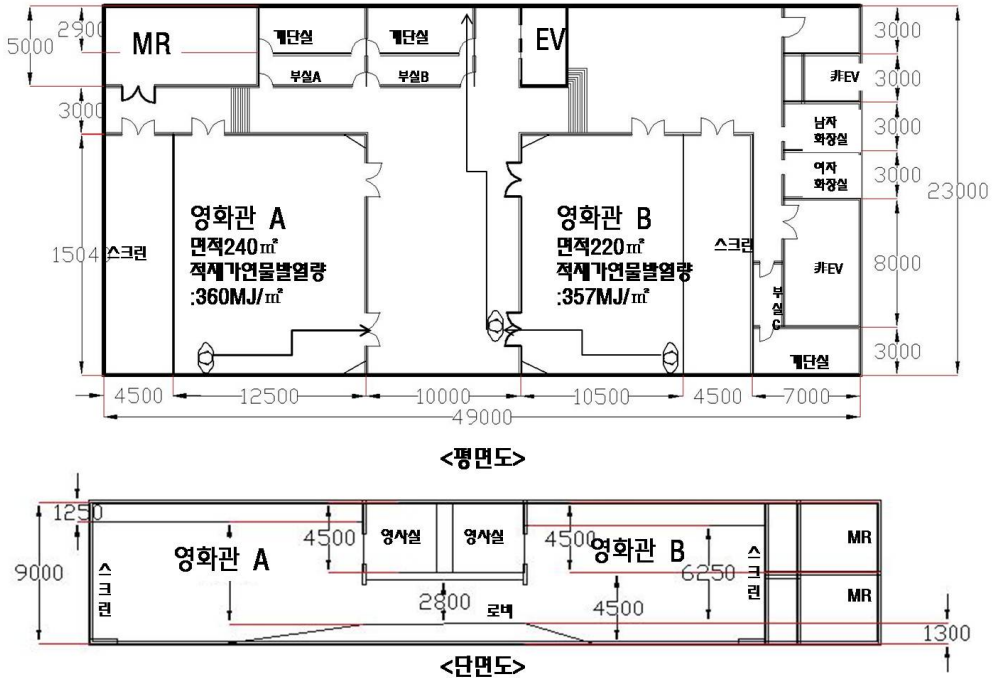


그림 3 영화관에서의 평면도 및 단면도

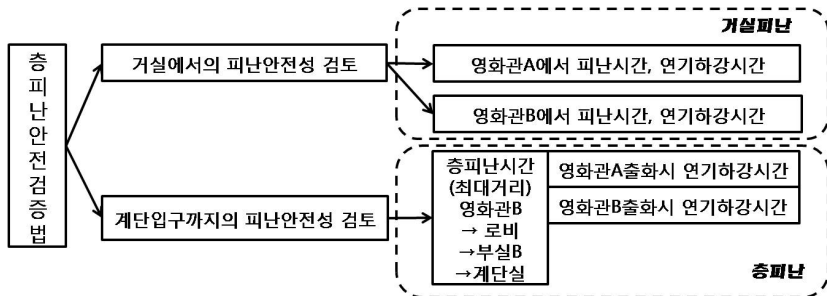


그림 4 본 연구에서의 피난안전성평가 계획

그림4와 같이 케이스터디는 거실피난과 층피난으로 나누어 실시하였다. 검증방법은 본 연구의 2.1장과 2.2장에서 제시한 산정식을 이용하여 계산을 실시하였다. 거실피난에서의 le값은 영화관A에서는 15m, 영화관B에서는 13m로 산출하여 계산하였다. 또한 층피난에서는 그림4에서 제시한 최

대경로로서 영화관B에서 계단실까지 34m로 계산하였다. 또한 거실피난 및 영화관 안에서의 보행속도는 0.5m/s로 하였으며, 로비에서의 보행속도는 1m/s로 계산하였다. 여기서 거실피난에서 유효출구폭(Beff)는 각각 영화관7.2m의 폭에서 영화관A에서는 5.84m로 감소되었고, 영화관B에서는 6.06m로 감소되었다. 산정식을 이용하여 계산한 결과는 다음 표6과 같은 결과값을 나타내었다.

표 6 피난안전성평가 검증

구 분	영화관A	영화관 B
거실피난시간 $t_e = t_{start} + t_{travel} + t_{queue}$	1.30 (분)	1.18 (분)
거실연기하강시간 t_s	1.32 (분)	1.20 (분)
안전성 검증 $t_e > t_s$	안전함	안전함
총피난시간 $t_e = t_{start} + t_{travel} + t_{queue}$	5.55 (분)	
총 연기 하강 시간 $\sum t_s$	38.12 (분)	38.00 (분)
안전성 검증 $t_e > \sum t_s$	안전함	안전함

4. 피난 시뮬레이션과의 비교

일본피난안전성평가를 위한 값에 따라, Simulex와 Building Exodus에서 거실피난과 층피난에 대해 비교를 실시해보았다. 시뮬레이션에서 수행조건으로 연기하강시간을 제외하고 피난완료시간을 측정하여 일본피난안전성평가를 이용한 산정식에 의한 계산과 비교한 결과 Simulex와 Building Exodus의 거실 및 층 피난의 완료시간은 0.01~ 0.3(분)의 차이가 나타났다.

표 7 본연구의 수치값 비교

구 분	영화관A	영화관B
일본피난안전성평가의 산정식에 의한 계산	거실피난 1.30(분)	1.18(분)
	층피난 5.55(분)	
Simulex	거실피난 1.31(분)	1.19(분)
	층피난 5.85(분)	
Exouds	거실피난 1.32(분)	1.19(분)
	층피난 5.7(분)	

3. 결 론

2009년부터 국내에 시행될 성능위주의 설계에서 기초데이터로 일본 피난 안전성 평가 검증법 루트B 활용한 케이스스터디 조사결과, 출화실에서 피난종료에서의 시간 측정에 필요한 재실자밀도, 출화실에서의 크기, 출구폭, 그리고 각 용도에 해당되는 보행속도와 유동계수와 연기하강시간의 측정을 위해 고정, 적재 가연물의 발열량 및 배연설비, 칸막이등의 차연성능에 대한 기초적이 DataBase구축이 필요하다고 생각된다.

또한 범용적으로 많이 사용되고 있는 Simulex와 buildingExodus와의 비교에서도 큰 차이를 보이고 있지 않다. 향후 피난시 인간거동에 구체적인 데이터 구축이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 日本國土交通省住宅局建築指導課(2001), 2001年 避難安全檢證法の解説及び計算例とその解説
2. 김동은외 5명(2008). 身体特性及び在室者密度を考慮した避難安全規定の比較研究. 2008년 일본 건축학회 발표논문
3. 이우윤외 5명(2007), 일본내화·피난안전성평가기준과 Simulation에 의한 국내 초고층주거시설의 화재위험성 평가사례에 관한 연구, 호서대 졸업논문