



성능위주의  
**소방설계 기술기준**

2005. 5

 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설 삼성건설  
**CSDP**  서울대 안전 및 방재연구센터  
Center for Safety and Disaster Prevention

**목차**

- 성능위주 소방설계(PBD) 필요성
- PBD 기술기준서 의의
- 목적
- 수록내용
- 관련 표준
- 향후 계획

## [ 성능위주 소방설계 필요성 ]

- 현실적이고 효율적인 화재안전 확보 및 자원 배분
- 건축물의 복잡화 및 대형화에 따른 법규적인 소방설계 및 화재안전확보의 한계성
- 명확한 화재위험관리의 목표 및 관리필요
- 정량적인 화재위험관리의 필요
- 화재위험의 국제적 공동대응 및 교류의 필요

## [ PBD 기술기준서 의의 ]

- 국내최초의 소방설계 PBD 기술기준 마련
- 건축물내의 정량적인 화재위험평가를 위한 교두보 마련 및 파급효과 증대
- 현장에서 적용 가능한 국내외 PBD 적용사례 소개
- PBD 수행 가능한 각종 물질 및 화재연소 Data 수록
- 국내외 소방전문가의 검증된 기준서

## [ 목적 ]

- 기존 및 신축 건축물에 대한 성능위주의 소방설계기준 및 화재영향평가 기준서 제시
- 정량적 화재위험성평가를 통한 건축물 내 인명안전성을 확보를 위한 기준서 제시
- 법규중심 화재안전관리 및 현장상황에 맞는 시나리오 중심의 PBD 방법 소개
- 안전의 국제화 흐름 대응 및 국제교류 가능한 기준제시

## [ 수록내용 ]

- 성능위주 소방설계 및 화재영향평가
  - 결정론적 방법  
프로젝트 범위, 목표, 성능기준, 화재시나리오  
화재 및 피난 시뮬레이션, 위험평가 및 비교  
위험경감대책, 불확실성, 보고서 작성
  - 위험론적 방법  
프로젝트 범위, 목표, 성능기준, 화재시나리오  
화재 및 피난 시뮬레이션, 위험평가 및 비교  
위험경감대책, 불확실성, 보고서 작성  
개인 위험 및 사회적 위험

## [ 수록내용 ]

- 성능위주 소방설계 수행 Tools
  - Failure Modes and Effects Analysis
  - Failure Analysis
  - What if Analysis
  - Fault Tree Analysis
  - Event Tree Analysis
  - SFPE HB 피난시간 계산 예제

## [ 수록내용 ]

- 성능위주 소방설계 수행 Tools
  - NFPA 고층빌딩 화재발생 데이터
  - NIST 실물화재 데이터
  - NFPA Heat Release Rate 데이터
  - 물질 연소데이터
- 법규중심의 화재영향평가
  - 서울시 소방방재본부 소방방재계획 Checklist
  - NFPA 101 Life Safety Code 피난기준
  - IBC Code 빌딩 화재안전평가 (2000년도 기준)

## 수 록 내 용

### ■ PBD 적용사례

- 국내사례 2편
- 해외사례 2편
  - 미국사례 (쇼핑몰)
  - 일본사례 (쇼핑몰)

\* 3<sup>rd</sup> International Conference on PBD and Fire Safety Design Methods 에서 발췌

### ■ 참고문헌 및 관련기준

- 참고문헌 및 관련기준
- 용어정의

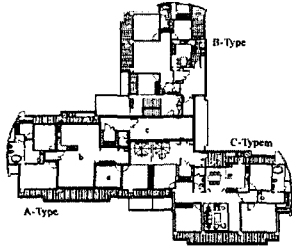
## 참 고 문 헌 및 관 련 표 준

- 국내 소방관련법
- NFPA 101 (Life Safety Code)
- NFPA 5000 (Building Construction and Safety Code)
- IBC Code (International Building Code)
- SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection  
(Analysis and Design of Buildings)
- ISO/TR 13387

## 국내사례

### ■ 프로젝트 영역 정의

[그림-1] Typical Plan



[표-1] ABC 빌딩 건축개요

구분	내용	
건축물 규모	지하2층 + 지상 37층, 4개 타워	
면적	전체면적	95,542m <sup>2</sup>
	지상면적	69,722m <sup>2</sup>
	A Type 세대	147.65m <sup>2</sup> , 거주인원 7명
사용용도	주차장 (B1-B2), 상업용도 (1F-2F), 주거용도 (3F-37F)	
구조	철근콘크리트 구조	
방화시스템	각 층 스프링클러, 연기감지기, 알람 시스템설치	

## 국내사례

### ■ 목표규명

화재안전을 위한 목표

- 주거공간에서의 거주자의 인명안전
- 화재로 인한 부상 및 생명의 손실을 최소화

### ■ 목적정의

현행 국내법에서는 각 층과 각 세대간의 방화구획이 되어 있는 상태이다. 프로젝트영역과 목표를 만족시키기 위한 목적으로, 스프링클러가 성능을 정상적으로 발휘할 때, 거주인원이 가장 많은 A Type 세대 구성원들이 각실에서 거주 가능할 수 있는 시간을 계단실까지 피난하는 시간 보다 많이 확보하는데 있다

## 국내사례

### ■ 성능범위 선택

화재시뮬레이션 평가를 위한 성능범위 열, 가시거리, 그리고 독성에 의한 기준으로 평가

[표-2] 인명안전 화재영향평가를 위한 성능기준

목적	구분		성능기준
인명안전	열에 의한 기준	연기층 높이가 2.1m 보다 높을 때 상층부 온도	200℃
		연기층 높이가 2.1m 보다 낮을 때 상층부 온도	100℃
		복사열	2.5kW/m <sup>2</sup>
	가시거리 기준	OD (Optical Density)	0.5[1/m]
		가시거리	2m
		연기층 높이	1.6+0.1*H [m]
	독성기준	CO	1400ppm
		O <sub>2</sub>	15%
		CO <sub>2</sub>	5%

\* H는 바닥에서 천장까지의 높이

## 국내사례

### ■ 화재시나리오

[표-3] 미국 고층아파트 주요화재발생장소에 따른 화재건수 및 인명·재산피해 연 평균값 - (1994~1998년)<sup>4)</sup> Data from NFPA

주요화재장소	화재건수	인명손실	재산손실 (in Millions)
부엌	5,110 (58.7%)	7 (14.9%)	\$6.0 (19.7%)
침실	800 (9.2%)	16 (35.6%)	\$8.0 (26.5%)
거실	410 (4.7%)	12 (27.6%)	\$6.2 (20.4%)

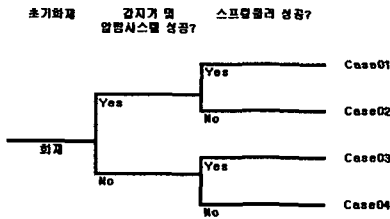
- 화재건수는 부엌에서 가장 빈번
- 인명손실이 가장 많이 일어나는 화재는 침실

건물전체의 화재 위험을 평가하기 위해서는 거주형태 유형 및 화재 발전특성에 따라 화재 시나리오를 설정한 후 분석해야 하지만, 본 연구에서는 가장 위험하다고 판단되는 침실화재시나리오를 선정 (침실-a 화재발생장소)

## 국내사례

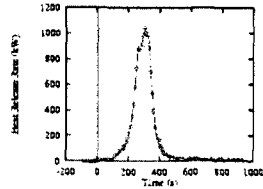
### 화재시나리오/설계화재

[그림-3] Event Tree 분석



감지기 및 스프링클러의 작동에 따른 결과 값을 비교하기 위하여 Event Tree 분석으로 4개의 화재시나리오를 개발

[그림-4] 구석에 배치된 매트리스 HRR



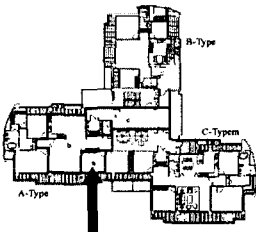
침대에서 화재가 발생한 것으로 가정 초기 화재성장을 최대 1.1MW까지 성장하는 매트리스 화재와 같다고 설정 - NIST 실물화재 실험

## 국내사례

### 시험설계 개발

[표-4] 각 실의 치수 및 건축재료

실	치수	재료
실-a (침실)	3.5m*3.0m*2.7m	벽:콘크리트, 천정:Gypsum 바닥:plywood
실-b (부엌, 내부벽도, 거실)	4.9m*12m*2.7m	"
실-c (벽도, 욕)	3.0m*10m*3.0m	벽·천정·바닥: 콘크리트



발화장소: 실-a  
(실-a가 침실 중에서 피난을 할 수 있는 출입구와 가장 근접하여 있으므로 피난영향에 미치는 최악의 상황이 연출될 수 있기 때문)

발화물질: 침대, 컴퓨터, 의자, 휴지통으로 가정



[ 국내사례 ]

■ 시험설계 평가

화재시뮬레이션 가정

- 모든 문과 창문은 오픈.
- 각방의 스프링클러는 3.2m 간격으로 배치
- 상온은 20℃ 연기감지기는 32℃
- 스프링클러 작동온도 72℃, 살수 밀도  $7 \times 10^{-5}$  m/s, RTI=260 (m\*s)<sup>1/2</sup>

[ 국내사례 ]

■ 시험설계 평가

화재시뮬레이션 결과

- 연기감지기는 31.2초에 스프링클러는 199.5초에 작동
- 화재성장: 3MW 까지 성장 (SP 미 작동 시), 450kW 까지 성장 (SP 작동 시)
- 화재전파는 일어나지 않음
- 시나리오에 따른 화재크기 및 스프링클러의 작동 여부를 떠나 거주가능 시간이 같음
- Sprinkler 설치에 따른 화재위험의 경감에 아무런 영향을 미치지 않음 (성능효율 미약)
- 설계의 변경이 요구

[표-5] 화재시뮬레이션 결과에 따른 거주가능 시간

분류	스프링클러 작동시			스프링클러 미작동시		
	실-a	실-b	실-c	실-a	실-b	실-c
열에 의한 기준	140초	-	-	140초	-	-
가시거리 기준	30초	145초	200초	30초	145초	200초
독성기준	-	-	-	255초	330초	-

## 국내사례

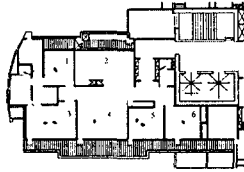
### ■ 시험설계 평가

#### 피난시뮬레이션 가정

- 거주자는 모두 정상인
- 연기감지기과 알람 설비는 연동
- 연기감지기 작동 시 피난을 시작하기까지의 반응시간은 60초
- 스프링클러만 작동 시 반응시간은 스프링클러작동 시간과 150초 중 작은 값
- 연기감지기 스프링클러 모두 미 작동 시 반응시간은 스프링클러만 작동하는 반응시간+30초
- 화재가 발생하는 장소 재실자의 감지시간은 0초 반응시간은 10초

#### 총 피난시간

$$t_{\text{피난시간}} = t_{\text{감지시간}} + t_{\text{반응시간}} + t_{\text{이동시간}}$$



실 번호	재실자	피난속도
1	여자어른 1명	0.96m/s
2	-	-
3	남자어른 2명	1.33m/s, 1.35m/s
4	남자어른 1명	1.28m/s
5	아이 2명	1.07m/s 0.69m/s
6	남자어른 1명	1.3m/s

## 국내사례

### ■ 시험설계 평가

#### 피난시뮬레이션 결과

Case	감지시간	반응시간	이동시간	총 피난시간
Case01	31.2초	60초	28.6초	119.8초
Case02	31.2초	60초	28.6초	149.8초
Case03	-	150초	28.6초	178.6초
Case04	-	150초	28.6초	208.6초

#### 화재시뮬레이션 결과

분류	스프링클러 작동시			스프링클러 미작동시		
	실-a	실-b	실-c	실-a	실-b	실-c
열에 의한 기준	140초	-	-	140초	-	-
가시거리 기준	30초	145초	200초	30초	145초	200초
독성기준	-	-	-	255초	330초	-

## 국내사례

### ■ 시험설계 평가

#### 시험설계 결과 분석

Case	사망인원	비 고
Case01	0	연기감지기 및 스프링클러작동
Case02	0	연기감지기만 작동
Case03	5	스프링클러만 작동
Case04	5	연기감지기, 스프링클러 미작동

- 스프링클러가 작동 할 때 거주자의 안전을 보장한다는 목적에 불만족
- 화재가 초기 빠른 성장과 많은 연기량으로 인해 스프링클러 작동 전에 각 실 거주 불가능한 조건에 이르게 함
- 스프링클러가 작동하던 하지 않던 화재 시뮬레이션에 의한 거주가능시간이 같음
- 설계의 수정이 필요

## 국내사례

### ■ 수정설계 개발 및 평가

[표-9] 기존설계안과 수정설계안 스프링클러 설정 조건

Case	기존설계안	수정설계안01	수정설계안02	수정설계안03
RTI / $T_g$	260m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup> / 72℃	50m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup> / 72℃	50m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup> / 65℃	100m <sup>1/2</sup> s <sup>1/2</sup> / 65℃

\* $T_g$ : 스프링클러 작동온도

[표-10] 기존설계안과 수정설계안 화재시뮬레이션 결과

Case	기존설계안		수정설계안01		수정설계안02		수정설계안03	
	$t_d/t_w$	HRR <sub>max</sub>	$T_d/T_g$	HRR <sub>max</sub>	$T_d/T_g$	HRR <sub>max</sub>	$T_d/T_g$	HRR <sub>max</sub>
Case01	$t_d=31.2$ $t_w=199.5$	450kW	$t_d=31.2$ $t_w=135$	120kW	$t_d=31.2$ $t_w=124.3$	83kW	$t_d=31.2$ $t_w=150$	180kW
Case02	$t_d=31.2$	3MW	$t_d=31.2$	3MW	$t_d=31.2$	3MW	$t_d=31.2$	3MW
Case03	$t_d=199.5$	450kW	$t_d=135$	120kW	$t_d=124.3$	83kW	$t_d=150$	180kW
Case04	-	3MW	-	3MW	-	3MW	-	3MW

\*  $t_d$ : 연기감지기 감지시간(초),  $t_w$ : 스프링클러 작동시간(초), HRR<sub>max</sub>: 최대화재크기

## 국내사례

### 수정 설계안 평가

[표-11] 화재시뮬레이션에 의한 수정 설계안 거주가능 시간

설계안	스프링클러 작동시			스프링클러, 미작동시		
	실-a	실-b	실-c	실-a	실-b	실-c
기존설계안	30초	145초	200초	30초	145초	200초
수정설계안 01	30초	145초	200초	30초	145초	200초
수정설계안 02	30초	155초	255초	30초	145초	200초
수정설계안 03	30초	145초	200초	30초	145초	200초

[표-12] 기존 설계안 및 수정 설계안의 피난출발시점, 총 피난시간 & 사망자수

Case	기존설계안		수정설계안01		수정설계안02		수정설계안03	
	출발시점/ 총피난시간	사망자수	출발시점/ 총피난시간	사망자수	출발시점/ 총피난시간	사망자수	출발시점/ 총피난시간	사망자수
Case01	91.2초/ 119.8초	0	91.2초/ 119.8초	0	91.2초/ 119.8초	0	91.2초/ 119.8초	0
Case02	121.2초/ 119.8초	0	121.2초/ 119.8초	0	121.2초/ 119.8초	0	121.2초/ 119.8초	0
Case03	150초/ 178.6초	5	135초/ 163.6초	0	124.3초/ 152.9초	0	150초/ 178.6초	5
Case04	180초/ 178.6초	5	135초/ 163.6초	0	124.3초/ 152.9초	0	150초/ 178.6초	5

## 국내사례

### 수정 설계안 평가

- 기존설계안 및 수정설계안03은 이 프로젝트에서 설정한 목적 불만족 (스프링클러 성능의 비 효율)
- 수정설계안01과 수정설계안02 설정한 목적 만족
- 수정설계안01 (거주가능시간을 증가 못 시킴 Case03의 경우 스프링클러의 빠른 반응에 의해 피난출발시점의 시간을 감소시켜 프로젝트의 목적을 충족)
- 수정설계안02 (거주가능시간을 효율적으로 증가 피난출발시점 감소)
- 수정설계안02 건축물의 인명안전성을 가장합리적으로 증대시키는 방안이라 판단
- 이 프로젝트에서 설정한 화재에 대한 스프링클러의 기본 설정 값 중 스프링클러 작동은도 보다는 RTI 값에 더 민감하게 반응

## 결론

- 1. 성능위주 설계 및 화재영향평가기준서 중 결정론적 방법에 따른 평가는 법적으로는 밝혀낼 수 없는 실제 상황의 화재에 대응방법으로 화재위험경감방안 도출하는 데 있어 구체적이고 효과적
- 2. Case Study를 수행한 결과, 스프링클러의 설치와 작동 여부만으로는 인명안전 보장 못함.
- 3. Case Study에서 설정된 화재 시나리오와 화재의 크기에서는 스프링클러의 RTI값이 스프링클러의 작동온도보다 민감한 인명안전인자임
- 4. 건축물 화재영향평가를 제대로 수행하기 위해서는 여러 가지 다른 시나리오에 대한 검토가 필요하며, 문제점이 도출되었을 때 그에 따른 대안과 위험경감대책이 필요
- 5. 성능위주의 설계 및 화재영향평가 기준서에 의한 화재위험대응이 합리적이고 효율적으로 가능할 것으로 기대 되며, 이는 건축물에서의 화재위험의 예방과 억제에 크게 기여할 것으로 사료됨

## 향후 계획

- 건축물 종합재난 방재 매뉴얼 및 비상대응 프로그램 (내년 상반기)
- 빌딩 화재 성능분석 지침서 (내년 하반기)
  - Barrier Performance
  - Structural Analysis
  - Fire Suppression System Analysis
  - Smoke Analysis