

# PBD

## (Performance-Based Fire Safety Design : 성능위주 방화설계) 일반

### 1. 개요

소방에서의 성능위주설계는 고층 및 복합건축물의 출현으로 인한 시방위주설계의 문제점을 해결하고자 발생한 설계방식이다.

1980년대 초반 정도까지 대부분의 소방 설계는 법규를 만족시키는 방향으로 발전되어 왔다. 이러한 규정은 국내의 경우에는 명문화된 소방법규 및 건축법규 등의 형태로 설정되어 있고, 해외의 선진국의 경우에는 더욱 세분화 되어 방대한 양의 NFC(National Fire Code), IBC(International Building Code) 등의 코드로 발전되어 세계적으로 널리 쓰이고 있다.

국내에서는 화재안전기준과 건축법 등의 법규가 시방위주설계의 기준이 된다.

그렇다면 시방위주설계와 성능위주설계의 기본적인 차이점은 어떨까?

간단하게 말하면 시방위주설계는 표준화재를 기준점으로 하고 있고, 성능위주설계는 설계화재를 기준점으로 하고 있다고 보아야 할 것이다.

1980년대까지는 표준화재를 기준으로 설계를 할 경우 건물의 소방시설은 화재를 제어할 수 있었다고 가정하였다. 이것은 다른 말로 한다면 가장 가혹한 화재조건을 표준화재로 산정하였고 이에 따른 설계는 발생할 수 있는 화재로 인한 모든 위험을 제어할 수 있다는 뜻이 된다.

그러나 공학의 발달로 인한 초고층, 초대형 및 복합건물의 출현 등 기존의 건물형태와는 구별할 수 없는 건물의 등장은 표준화재 이상의 화재가혹도를 갖는 건물의 탄생을 의미하며, 기존의 표준화재로 설계할 경우 화재위험성에 대한 제어수단으로서의 기능을 상실하게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위한 대책으로써 성능위주 방화설계가 나타나게 된 것이라 할 수 있다.

또한, 위에서 언급하였듯이 표준화재는 기존 건물 중 가장 가혹한 조건을 건물에 적용하는 것으로서 저층건물 및 소형건물 등 위험도가 낮은 건물에 대해서는 여유설계가 되어 경제적인 측면에서는 부정적인 효과가 나타나게 된다. 이러한 현상에 적용하기 위하여 발전한 공학을 이용하여 실제화재에 근접한 설계화재를 예측하고 이에 따라 각 건물에 가장 경제적이고 적합한 설계를 하고자 하는 시도가 PBD(성능위주 방화설계)인 것이다.

결론적으로 시방위주 소방설계는 기존의 건물조건에서 가장 가혹한 화재환경에 저항할 수 있는 건물을 설계하고자 하는 것이며, 성능위주 방화설계는 각각의 건물의 화재환경에 최적화된 화재저항을 갖는 건물을 설계하고자 하는 것이라 할 수 있다.

## II. 정의

성능위주 방화설계는 건물주 및 이해당사자들의 보호 우선순위를 이해함으로써 설계 목적을 설정하고 이에 따른 화재현상을 공학적으로 분석하여 가장 합리적이고 경제적인 방화설계를 수행하는 방법이다.

이 목적을 달성하기 위하여 화재특성, 건물특성, 거주자 특성을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션 등의 과학적 장비, 데이터를 이용하여 실제화재에 접근된 설계를 실시하는 것을 성능위주 방화설계라 할 수 있다.

## III. 평가방법

성능위주 방화설계는 크게 보면 실제화재를 예상하여 설계화재를 산정하여 설계를 하는 과정과 그에 대한 안전성을 검토하는 두 가지 과정을 거쳐야 하며 이 과정은 필수적으로 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이 도입되어야 한다.

실제화재를 예상하는 방법은 크게 화재가 일어남을 기정사실로 받아들이는 결정론적 방법과 화재 또는 기타 사고의 발생 확률과 피해의 크기를 동시에 고려하는 위험론적 방법으로 나뉘어진다.

결정론적 방법은 일반 건물화재에서 주로 사용되는 방법이며 평가방법은 화재가혹도

가 가장 큰 화재를 기준으로 설계를 하여야 한다.

이에 반해 위험론적 방법은 화학공장 등의 공정시설에서의 설계방법이며, 이것은 공정의 위험성은 화재뿐만 아니라 폭발, 독성물질의 누출로 인한 인명피해 등을 동시에 고려하여야 하기 때문이다.

결국 결정론적 방법은 화재가 일어남을 기반으로 화재의 제한, 진압 및 피난을 위한 방화설계를 하여야 하며 위험론적 방법은 위험물의 누출을 통한 피해의 종류, 위험의 크기를 산정하여 위험의 제한, 인터락 시스템(Inter-lock Systems)의 설정, 안전거리의 확보 등의 다양한 대책이 포함된 방화설계가 이루어져야 함을 의미한다.

두 방법에 대한 공학적 내용은 아래와 같다.

### 1. 결정론적 방법

- 물체의 운동을 기술할 때 단순화된 운동방정식을 세우고 그 방정식을 풀어서 그 물체의 미래 상태를 예측하는 것으로 이미 내린 결론을 가지고 가설을 세운 후 그것을 정해진 진리로 받아들이는 것을 의미.
- 화재 시나리오 작성 후 위험크기 평가
- 화재성상과 피난시간 분석을 통해 피해정도를 평가

### 2. 위험론적 분석방법

- 화학공장 등에 적용, 분석위험은 화재, 폭발, 독성 등을 평가
- 위험을 분석하여 사회적, 개인적 허용기준 이상인지 이하인지를 평가하는 것으로 위험의 발생빈도 및 위험의 크기를 구한 뒤 위험의 불확실성을 고려하여 수치적으로 나타내는 방법
- Risk = 결과 × 확률(또는 빈도 × 가혹도)로 위험을 분석하여 개인적 위험 또는 사회적 위험으로 나타내는 방법

## IV. 목표

성능위주 방화설계가 시방위주 방화설계를 대체하기 위해서는 아래와 같은 목표를 달성하여야 한다. 이 목적이 달성되지 않는다면 성능위주 방화설계는 소유주 및 관계자에게 외면당하게 될 것이다.

### 1. 화재안전 극대화

화재특성, 건물특성, 거주자 특성을 고려하여 건물 특정 위험을 정량화하여 구체적인 위험감소대책 수립, 인명 및 재산 피해를 최소화할 수 있다는 것을 증명하여야 한다.

### 2. 법 규정의 유연성 부여

사양 중심의 법 규정의 경직성, 획일성을 탈피하여 Active System과 Passive System의 상호 보완을 통한 최적의 설계를 함으로써 쾌적한 공간 및 아름다운 외관 등의 시각적 가치를 높일 수 있어야 한다.

### 3. 경제적 이익

관계자와 전문가가 계획단계부터 참여하여 투자비용의 절약, 최적의 소방시설 구현이 가능, 화재성상의 정확한 예측을 통한 설계로 경제적이고 신뢰도가 향상될 수 있음이 증명되어야 한다.

### 4. 고급소방기술자 양성 및 소방기술의 발전

화재 및 피난 시뮬레이션 실험자료, 각종 데이터의 축적 및 교육기관, 연구소 설립 등을 통하여 소방기술의 발전을 도모함으로써 궁극적으로는 경제적이며 안전한 설계를 할 수 있음이 증명되어야 한다.

## V. 위험성 및 선결조건

성능위주 방화설계는 설계과정에 CFD(Computer Fluid Dynamics : 전산유체역학)가 사용되며 과정의 복잡성에 의해 검증이 어려운 단점이 있다. 이것은 성능위주 방화설계가 안전성을 증가시키는 방향으로 사용되기 보다는 법규의 완화를 위한 수단으로 악용될 여지도 있다는 것을 의미한다. 성능위주 방화설계가 이러한 위험성을 극복하기 위해서는 설계검증의 용이성을 전제로 발전되어야 한다는 것으로 최소한 아래와 같은 내용들이 선결되어야 할 것이다.

### 1. 통일된 설계지침서

세부항목을 포함한 표준 절차서가 마련되어야 설계절차의 표준화가 이루어지고 안전성 검토가 용이해질 것이다.

## 2. 교육훈련

설계자, 인허가자, 시공자 기타 연관자의 성능위주 방화설계에 대한 교육훈련을 통하여 설계, 시공 및 안전성 검토의 수준이 향상될 것이다.

## 3. 화재시뮬레이션 연구

성능위주 방화설계의 부적절한 사용을 막기 위한 시뮬레이션 프로그램의 개발, 도입 및 교육과 다수의 시험을 통하여 시뮬레이션의 신뢰성을 향상시켜야 한다.

## 4. 데이터 베이스(Data Base) 구축

연소시험, 건축자재 열 특성, 화재사례, 고장률 등에 대한 정확하고 통일된 데이터가 확보되어야 시뮬레이션, 방화설계의 신뢰성이 확보될 것이다.

# VI. 설계절차

성능위주 방화설계의 개략적인 설계절차는 아래와 같다.

### 1. 프로젝트의 범위 정의

증축, 신축, 개축 등의 계약에 대한 정의를 말하며 예산, 설계 한도, 관계자 설정, 관계자 요구사항, 점유자, 건물특성, 적용법규 등을 결정하는 과정이다.

### 2. 최종목표 결정

정성적 목표를 정의하는 과정이며, 목표의 우선성을 결정하여야 한다. 예를 들면 일반 건물에서 'ASET을 RSET보다 크게 하여야 한다.'라고 정의한다면 이것이 최종목표가 될 것이다. 이 최종목표는 인명보호, 재산보호, 기업 활동의 연속성 제공, 환경피해 최소화 등 필요에 의해 우선순위가 변할 수 있다.

### 3. 목적 정의

정량적 목표를 정의하는 과정이며 최종목표의 구체화를 의미한다.

최종목표 결정 내용의 구체화로 방화구획, 피난시간 확보, 인적, 물적 손실을 줄이기 위한 대상 규정 등으로 Active 시스템이 정상적일 때 인원이 가장 많은 실에서 거주

가능시간을 피난시간보다 많이 확보하는 것 등의 구체적 방법을 결정하는 단계이다. 이것은 최종목표 범위 내에서 서술되어야 하며, 특정기술기준 및 특별한 부가기준만족, 최대허용 부상, 재산 피해, 장비 손실, 영업 정지, 환경피해 범위 등으로 표현, 최대허용손실은 금전으로 표현 가능, 설계목표나 작동은 성능목표로 표현가능, 명확한 목표, 이해당사자의 동의 획득, 화재로부터 완전한 자유는 없다는 인식이 전제되어야 한다.

#### 4. 성능범위의 확정

성능기준의 결정단계이며 목적정의는 이 성능범위의 확정을 기준으로 표시된다. 즉, 목적의 정의를 수치화하는 단계로 볼 수 있으며 일반적인 성능범위의 예는 아래 표와 같다.

목적	성능기준		최소기준	최대기준
거주자 인명안전	열에 대한 영향	거주자에게 노출되는 복사열(KW/㎡)	2.0	2.5
		바닥에서 반사되는 복사열(KW/㎡)	-	10
		호흡되는 공기의 온도(℃)	65	220
		상층부 연기온도(℃)	80	200
	시계에 대한 영향	일반적 공간의 시계확보 (m)	2	4
		대공간의 시계확보	10	
		실내 연기층 높이(m)	1.9	
	독성에 대한 영향	일산화탄소(ppm)	1,400	1,700
		이산화탄소(%)	5	6
		산소(%)	10	15
소방관의 인명안전	건축물의 붕괴	철골구조 붕괴온도(℃)	-	538
재산보호	화염전파	거주공간에서 화재전파(℃)	500	600
		거주공간 밖에서 화재전파(℃)	-	325
		바닥에 복사되는 복사열(KW/㎡)	10	20
	연기전파	특정지역-주변온도(℃)	20	-

#### 5. 화재시나리오 작성

성능위주 방화설계를 하기 위해서는 최소 8개 이상 시나리오를 작성하여야 하며, 목적, 판단에 의해 2 내지 3개로 축소(가장 빈도가 높은 사고와 가장 가혹도가 큰 경우의 2개)할 수 있다.

이 시나리오에는 화재특성(점화, 성장기 등), 건물 특성(건축, 구조, 방화설비, 소방서 대응, 환경요소 등) 및 거주자 특성(인원, 수면상태, 물리, 정신 상태, 빌딩 친밀도 등)이 반드시 포함되어야 한다.

NFPA 인명안전코드(Life Safety 101 Code)에서 제시하는 8가지의 시나리오는 아래와 같으며, 일반적으로 이 시나리오를 기준으로 설계를 하는 것이 바람직하다.

(1) 전형적인 용도관련 일반적인 화재(가장 빈도가 높은 화재)

건물 점유자 행동, 점유자 수와 위치, 비품, 수용품, 가연물 특성, 환기상태, 최초 발화물과 위치를 명확하게 설명한 후 시험하여야 한다.

(2) 화재 발생 시 옥내측 문이 개방된 피난로에서 급속도로 성장하는 화재

사용가능한 피난로가 감소하는 것에 초점, 최대 잠재 확산에 대한 화재영향정보를 파악하여야 한다.

(3) 점유자가 없는 방에서 시작, 많은 거주자 층 공간으로 확대되는 화재

건물 내 가장 큰 방에 인접한 창고에서 발생, 최대 화재하중, 최대 성장속도를 가진 화재를 설정

(4) 대형 점유공간의 은폐공간화재-전기화재 등 고려

많은 사람들이 있는 큰 실에 인접한 은폐된 벽 또는 천장 공간에서 발생한 화재, 감지설비나 진압설비가 없는 은폐 공간의 화재가 많은 재실자가 있는 곳으로 확산되는 경우에 초점

(5) 많은 거주자가 있는 인접한 위치의 화재로 소방시설의 영향범위에 들어가지 않은 곳에서 천천히 성장하는 화재

쓰레기통의 담뱃불 등으로 작게 시작된 화재가 큰 화재로 발전하는 형태

(6) 최대가연물 하중에 의한 화재

건물의 일반 사용 조건에서 최대 화재 하중에 의한 가장 심각한 화재로 재실자가 있는 공간에서 빠르게 성장하는 화재(예 : 행사용 방 또는 집회용 방 등에서 발생한 화재)

**(7) 외부로부터의 화재**

떨어진 곳에서 발생하여 대상이 되는 구역으로 화재가 성장하거나 피난로를 막거나 거주 불가능 조건을 만드는 화재

**(8) 소방시설을 사용하지 못하는 장소의 화재**

소방설비 또는 소방시설의 신뢰도가 떨어지는 상황 또는 사용할 수 없는 상황에 초점 (밸브 잠김, 개구부 폐쇄 등)

**6. 시험설계 개발**

화재설계가 끝난 후 가장 피해가 크다고 예상되는 실의 화재를 예상하여 시험설계를 선택, 이 단계에서 3단계에서 정의된 목적의 해결책을 수립, 설계의 목표를 달성할 수 있는 화재에 대한 방어요소, 소화시스템, 진압전략 등에 의해 설계 대안을 선택할 수도 있다.

**7. 시험설계 평가 및 최종 설계방안 선택**

목표를 만족시키지 못하는 설계방안은 수정 또는 폐기되어야 한다.

제시된 설계를 평가하는 것으로 피난 평가, 화재영향 평가, 열 영향 평가, 가시도, 구조적 평가 등이 있다.

화재시나리오를 평가하기 위해서는 화재 시뮬레이션을 사용하며 존 모델과 필드 모델을 이용하며, 피난시간을 계산하는 방법으로는 수계산에 의한 방법과 피난 시뮬레이션을 사용하는 방법이 있다.

위험평가 및 비교를 통해 성능기준을 만족하는지 여부와 더 많은 분석을 통해 최종설계를 선택한다.

**8. 설계 문서화**

문서는 계획 - 설계 - 시공 - 유지관리의 연속성이 가장 중요하다.

설계보고서는

- (1) 성능위주 소방 설계 보고서
- (2) 시방서 및 도면
- (3) 상세도면
- (4) 운전 및 보수작업 지침서
- (5) 시험성적서 등이다.



## VII. 결론

현대 건물의 고층화 및 복합화에 따라 기존 시방위주의 소방설계의 적용에는 분명한 한계가 있으며 이에 따라 개발된 성능위주 방화설계는 현대건물의 안전성 향상에 커다란 도구가 될 수 있다. 그러나 준비가 제대로 되지 않은 성능위주 방화설계는 기존의 시방위주의 소방 설계보다 위험한 건물을 탄생시킬 수 있는 위험성이 있으므로 철저한 자료의 확보, 관계법의 정비, 관계자의 능력향상 및 시험의 활성화를 통해서만이 성능위주 방화설계를 실용화할 수 있을 것이다.

---

**안승일(위험사업부문 조사연구팀)**