

중국 상해의 성능위주 화재안전설계 적용

전 세계 많은 국가의 건축물 설계방법이 기술적, 경제적, 사회적인 이유로 인해 법규위주 설계에서 성능위주 설계로 변하고 있다. 이 글에서는 중국 상해에서의 성능위주 화재안전설계의 발전 및 개발에 대해 소개하고자 한다. 법규위주 설계와 성능위주 설계에 사용된 대안 기술과 적용범위의 원칙, 성능위주 설계의 장점 및 단점에 대해 포괄적인 분석을 소개하고 또한 성능위주 화재안전설계 시 중요한 관계들을 소개한다. 성능위주 화재안전설계의 예로 상해 푸둥 국제공항 제2터미널을 소개한다.

성능위주 화재안전설계는 건물의 기능, 구조, 화재하중, 기타 조건들을 광범위하게 고려하여 건물을 설계하는 것이다. 종합적인 화재안전과 투자의 경제성을 판단하기 위해 이론을 바탕으로 한 화재안전공학의 기법, 컴퓨터 시뮬레이션, 수학적 계산을 이용하여 설계한다. 성능위주 화재안전설계는 소방분야에서 가장 진보된 기술이며, 가장 현실적인 연구 분야이다.



1. 성능위주 화재안전설계의 특징

가. 성능위주 화재안전설계의 장점

① 목표

전통적인 방법으로 소방설계 시 설계자는 단지 소방법규의 원칙을 따라야만 했다. 그러나 성능위주 화재안전설계 시 설계자는 화재안전목표와 기능적인 성능목적을 중심으로 설계한다. 화재안전목표를 설정한 후 설계자는 여러 공간, 기능적 요구사항, 빌딩의 기타 관련 조건들에 기초하여 성능기준을 만족시키는 방법을 자유롭게 선택하고 이러한 방법들을 통합하여 설계해야 한다. 일반적으로 소방설계의 기본적인 목표는 인명안전과 재산보호, 사업의 연속성 제공, 화재의 영향으로부터 환경보호를 포함하여 인명과 화재안전에 적절한 방호수준을 제공하는 것이다. 성능기준을 개발하고, 해당 조건과 목표를 만족하는 시험설계를 만들고 평가하는 것은 성능위주 설계의 핵심이라고 할 수 있다.

② 타당성

성능위주 화재안전설계는 특정 건물의 실제 환경에 따라 설계된 것으로 모든 빌딩에 적용되지 않는다. 예를 들어 인명안전의 측면에서 피난처와 피난 경로는 독성 가스, 연기, 복사열로부터 안전요원들을 보호하기 위해 설계되어야 한다. 화재전파방지의 측면으로 인접 건물과 인접 가연물이 점화되지 않도록 방호되고, 건물 내 화재가 발생한 실에서 화재가 제어될 수 있는 방법이 고려되어야 한다.

③ 통합성

성능위주 화재안전설계는 각각의 소방설비를 개별적으로 설계하는 것보다 모든 소방설비가 통합적으로 기능하도록 포괄적인 방화대책을 세우는 것을 강조한다. 설계 시 소화설비와 같은 능동적인 소방대책뿐만 아니라 방화구획과 같은 수동적인 소방대책도 고려된다. 그러한 포괄적인 설계접근방법은 종종 시공 시 비용면에서 훨씬 경제적이다.

경보설비, 스프링클러설비, 제연설비의 기능과 장점을 통합하는 것이 화재안전목표를 이루는 데 더욱 도움이 될 수 있다.

④ 유연성

성능위주 설계는 법규위주 설계와는 다르다. 성능위주 설계는 설계자의 창의력을 발휘함에 의해 설계를 더욱 자유롭고 유연하게 만들 수 있다. 성능위주 설계는 새로운 건축재료의 개발을 돕고, 결과적으로 새로운 제품, 새로운 기술의 개발을 이끈다. 또한 현대 건축물의 미적인 측면과 최첨단 요구사항을 적용할 수 있다. 그리고 보험회사가 화재안전분야에 참여할 수 있는 기회를 제공한다.

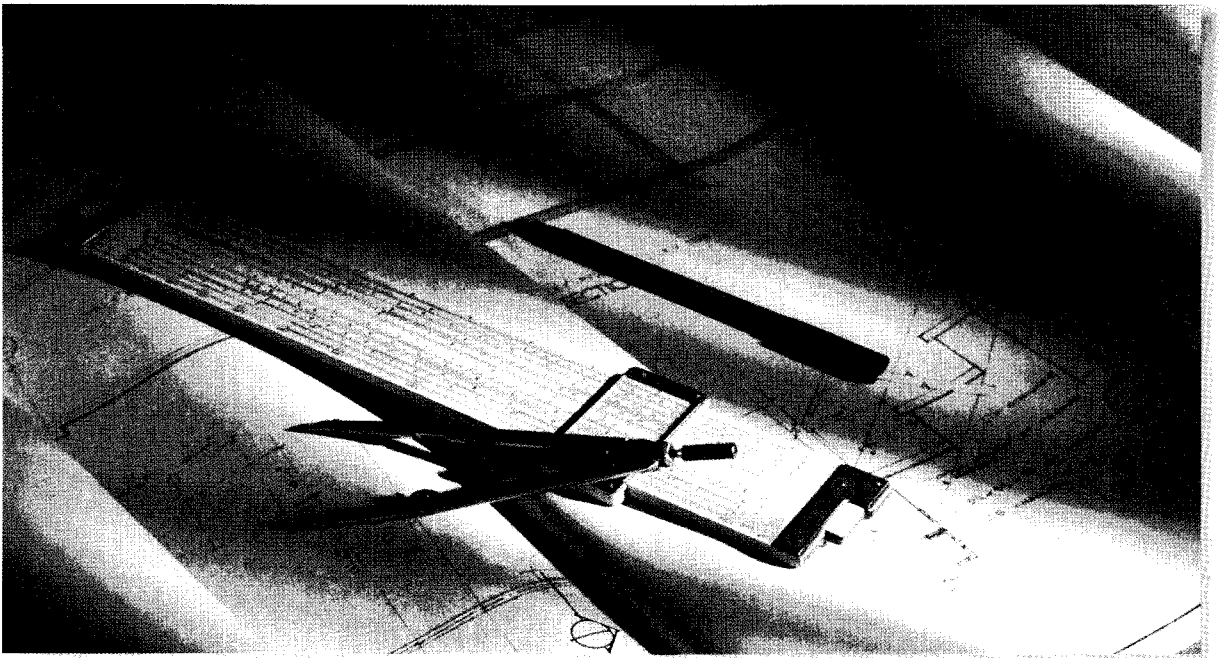
⑤ 합리성

성능위주 설계의 연구는 전통적인 설계를 완벽하게 만들고, 설계를 더욱 과학적이고 합리적으로 만들기 위함이다. 다시 말해 성능위주 설계는 안전기준을 개발하고, 소방에 관련된 직접비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 화재안전수준을 만족시킨다는 전제조건하에 소방설비를 더욱 최적화할 것이다.

나. 성능위주 화재안전설계의 단점

① 제한성

성능위주 설계는 특정 건축물에 대한 것으로, 방화구획, 피난, 제연, 소방설비, 건물 보호와 같은 많은 문제



를 해결할 수 있다. 그러나 그 설계가 모든 건축물과 모든 상황에 적합한 것은 아니다. 건물용도가 바뀌면 성능위주 설계가 적용된 건물은 다시 설계되어야 한다. 이것이 성능위주 화재안전설계의 제한성이다.

② 복잡성

성능위주 설계는 방대한 양의 실험자료와 전문가의 설계, 설계를 평가하기 위한 도구가 필요하다. 현재 중국 내의 여러 연구실에서 실험한 기초 실험자료는 산재되어 취합하기 어렵고, 그 자료의 양이 적은 편이다. 그리고 아직까지 대규모 설계에 적용하기 위한 소프트웨어가 없고, 현재 성능위주 설계를 위해 사용되고 있는 대부분의 소프트웨어는 화재실험 및 많은 실제 프로젝트에서 검증되지 않았다. 이러한 점이 소프트웨어의 한계이며, 이 한계는 계산의 검증과 설계의 적합성에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

③ 난점

성능위주 설계는 화재역학, 수학, 통계학, 컴퓨터공학, 행동심리학 분야를 포괄하는 새로운 기술이다. 성능위주설계는 유연성을 필요로 하는 곳에 적용되는데, 문제는 법규위주 설계보다 너무 난해하다는 것이다. 이러한 단점으로 인해 설계자에게는 풍부한 이론적 지식, 많은 경험, 전문적인 교육, 그리고 도덕성이 필요하다.

④ 시간 소모

성능위주 설계는 매우 복잡하고 난해하다. 성능위주 설계절차 중 분석, 계산, 설계의 문서화를 위해서는 많은 시간이 필요하고, 그것은 고객, 설계자, 관련 기관들 사이의 많은 토론을 통해서 이루어진다. 성능위주설계는 고객, 설계자, 검토자의 목표를 모두 만족시키는 것이어야 하며, 반복적인 협상의 결과이며 모든 관계인들이 합의하는 것이어야 한다.

2. 성능위주 화재안전설계의 적용범위와 설계요소

가. 적용 범위

성능위주 화재안전설계는 많은 장점을 가지고 있지만, 그것이 모든 건축물에 적합하다는 것을 의미하는 것은 아니다. 초대형 복합건물의 설계 시 특이하고, 일반적이지 않은 문제를 해결하기에 중국의 소방법이 충분하지 못한 상황이나, 법을 적용하는 것이 건물의 용도에 비해 너무 엄격한 경우에 성능위주 설계가 적용될 것이다. 일반적으로 다음과 같은 건축물에 적합할 것이다.

- 대규모 철도 역사, 공항 터미널, 전시관, 경기장, 영화관
- 쇼핑몰, 대형할인매장, 창고, 수송센터와 같이 층고가 높거나, 규모가 큰 공간
- 높고 큰 아트리움을 가진 공공장소
- 약품, 전자제품 등을 위한 대규모 클린룸(Clean Room)
- 재산소실 또는 인명손실의 우려가 높은 중요한 건물

성능위주 화재안전설계는 현재 소방법이 화재안전을

이루는데 적합한 경우에는 적용될 수 없다. 따라서 다음과 같은 건물에는 적용될 수 없다.

- 아파트, 기숙사 등과 같은 주거용 건물
- 공공건물의 사무실, 호텔의 객실, 병실, 교실과 같은 일반적인 장소
- 1, 2등급의 기연물과 폭발물을 취급·저장하는 소형 제조소와 창고
- 노래방, 오락실, 무도장과 같은 공공장소
- 노약자를 위한 요양원, 어린이들을 위한 유치원과 같은 장소

나. 설계요소

일반적인 설계 내용을 제외하고 성능위주 설계는 다음의 요소에 기초하여 수행된다.

① 특정요소

특정요소에는 건물용도, 화재의 크기, 거주자특성, 열방출속도, 연기량, 연기와 가스의 온도 및 밀도, 독성 가스의 농도가 포함된다.

② 환경요소

환경요소에는 피난계획, 환경영향, 구조내력, 소방서의 소방능력이 포함된다.

③ 시간요소

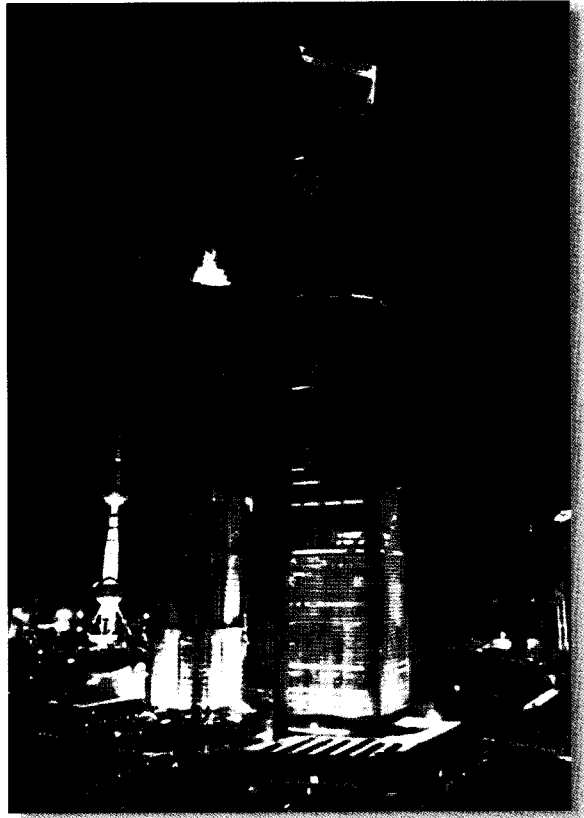
시간요소에는 전실화재에 도달하는 시간, 구획된 공간의 화재전파 시간, 화재경보설비의 작동시간, 제연설비, 스프링클러설비, 기타 자동식 소화설비의 작동시간, 소방서의 대응에 필요한 시간, 거주자의 피난을 위한 시간이 포함된다.

④ 확률요소

확률요소에는 화재통계자료, 화재예방과 소화설비의 신뢰성이 포함된다.

⑤ 안전목표

안전목표에는 인명안전, 재산 및 건물의 보호뿐만 아니라 화재피해를 줄이기 위한 화재전파의 방지, 사업의 연속성 제공, 화재의 환경영향 제한 등이 포함한다.



3. 성능위주 설계의 적용에 있어 주의해야 할 중요한 관계

가. 성능위주 설계와 법규위주 설계의 관계

규모, 형태, 용도가 간단한 대다수 건물의 경우 법규는 설계자에게 충분한 지침을 제공한다. 목표와 목적이 없는 법규는 화재안전을 위한 최소기준을 설정하고, 그것은 용도별로 규정되어 있다. 감지기 또는 스프링클러 배치, 특정 내화도, 최대 보행거리 등을 이러한 예로 들 수 있다. 그래서 법규는 설계자와 검토자에게 상대적으로 편리함을 제공하고, 법규위주의 설계는 일반적인 화재안전설계 및 화재로 인한 손실예방에서 중요한 역할을 한다. 그러나 법규는 새로운 기술, 새로운 기법, 새로운 건축물, 새로운 재료의 발전을 제한하는 단점이 있다. 그와 같은 특성으로 법규는 건물의 모양과 용도뿐만 아니라 건축가의 창의성까지 제한하게 된

다. 성능위주의 설계는 특정대상, 유연성, 통합성이란 특징을 가진다. 그리고 그것은 새로운 문제에 대해 새로운 해결방법을 제공한다. 성능위주 설계는 복합적 기능, 초대형 공간, 매우 높은 층고를 가진 건축물에 적용가능하며, 법규위주의 설계는 일반적인 건물에 쉽게 적용될 수 있다. 이와 같이 두 가지 설계 방법은 서로 다른 방법을 대체할 수 없다. 성능위주 설계는 법규위주 설계의 훌륭한 보완책으로써 두 가지 설계방법은 오랜 기간 동안 병행하여 사용될 것이다. 중국에서 성능위주 설계에 관한 연구와 적용은 초기단계에 있다. 성능위주 설계에 관한 법규 및 지침은 아직 확립되지 않았다. 따라서 성능위주 설계 방식이 확립되는 동안에 법규위주 설계를 적용하는 것이 필요하다.

나. 성능위주 설계와 화재안전평가의 관계

성능위주 설계는 프로젝트 수행 시 불안전하고 불분명한 규정을 적용함에 의해 초래되는 문제들을 분석하고 해결하는 데 초점을 맞춰 진행된다. 전체 설계에 대한 화재안전평가는 성능위주 설계의 핵심이다. 화재안전평가는 설계된 건물에 필요한 화재안전수준을 달성했는지를 평가할 뿐만 아니라, 설계를 더욱 완벽하게 만들고 수정하는 데 활용될 수 있다. 전체적인 화재안전수준은 중국의 관련 법규와 기준에 적합해야만 한다. 그러므로 평가는 관련법규와 기준, 화재통계자료, 중국내외의 실험 자료를 기초로 하여 이루어진다.

다. 대중화와 점진적 발전과의 관계

성능위주 설계는 화재안전설계 시 발생하는 새로운 문제점들을 해결하는 데 유용한 접근방식을 제공할 수 있고 점차 더욱 많은 사람들에 의해 받아들여지고 있지만, 여전히 초기단계에 있고 어떤 면에서는 완벽하지 않다. 그러므로 성능위주 설계를 화재안전설계 시 발생하는 모든 문제점을 해결할 수 있는 유일한 대안이라고 생각



하기는 어렵다. 오늘날, 중국의 화재안전설계는 실제로 소방법에 기초하고 있다. 성능위주 설계는 단지 현재 소방방법으로 해결할 수 없는 건물, 혹은 특정부분에만 사용되고 있다. 실제로 선진국에서도 단지 1~5%의 건물만이 성능위주방식으로 설계되고 있다. 예를 들어 미국의 건물은 1%, 뉴질랜드와 호주의 건물은 1%~5%, 독일의 건물은 1.5% 정도만이 성능위주방식으로 설계된다. 중국에서 성능위주 설계방식으로 설계되는 건물은 0.5% 미만이다. 성능위주 설계와 평가는 활발히 보급되고 있지만, 그 적용은 느리게 진행되고 있다.

4. 상해에서 적용된 성능위주 화재안전설계

가. 상해의 소방관련 문제점

상해에는 6430km²의 면적에 2천만 명 이상의 인구가 살고 있다. 1990년대 이후로 상해는 활력과 생명력이 넘치는 도시로 급속히 변해가고 있다. 2010년 세계박람회를 상해에서 개최할 예정이며, 2020년까지 현대적인 도시로 탈바꿈하여 국제 경제와 무역의 중심이 될 것으로, 도시 기능과 역할 개발 및 조정을 통해서 5가지 측면에서 크게 변화할 것이다.

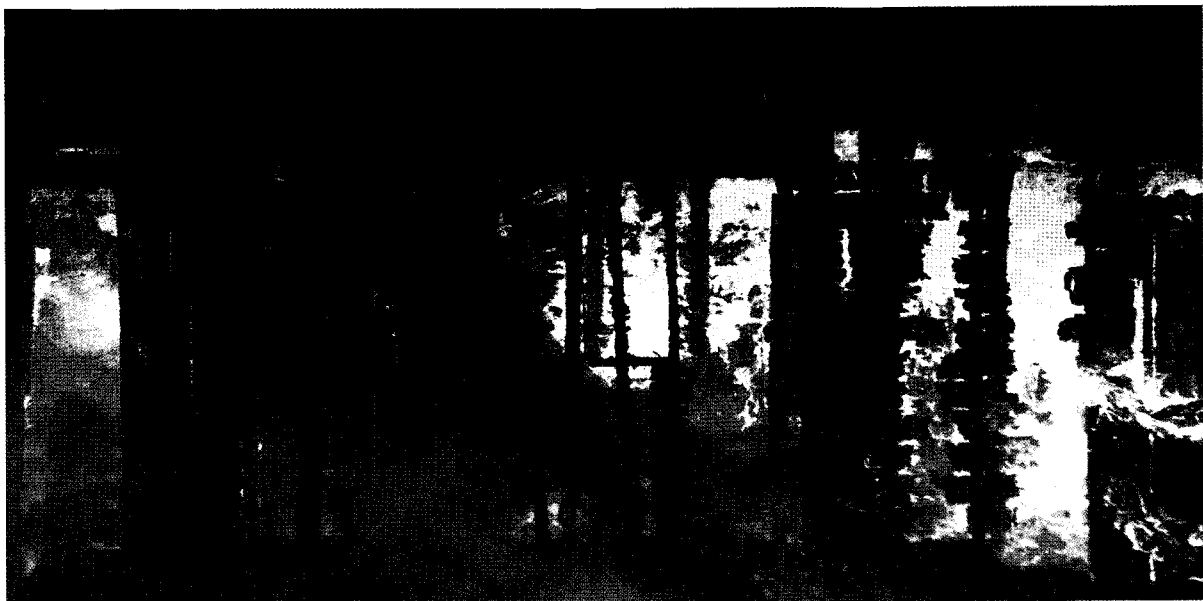
① 고층 빌딩

상해에는 24m 이상의 고층빌딩이 13,000동, 100m 이상의 초고층빌딩이 420동이 있다. 대표적인 건물로 높이 420.5m의 진마오 빌딩은 현재 중국에서 가

장 높은 건물이다. 올해 7월에 완공 예정인 국제금융 센터는 지붕까지의 높이가 492m로 세계에서 가장 높은 건물 중 하나가 될 것이다.

② 지하공간

현재 상해에는 약 15,000,000m²의 지하공간이 있고 점차 확장되어 개발될 예정이다. 예를 들어 가장 넓은 지하의류시장이 후양푸강의 제방 근처에 지어질 예정이고, 2010년 만국박람회(EXPO)를 위해 500KV 주변압기를 지하 45m 깊이에 설치할 것이다. 또한 현재 후양푸강을 가로지르는 7개의 터널이 사용 중이며, 6개의 터널이 공사 중이다. 장지양강의 '남터널과 북대교' 사업으로 1층은 철도, 2층은 차도로 구성된 2층의 터널 건



설을 계획 중이며, 이 터널의 길이는 8km, 지름은 15m로 그 안을 220KV 도심 전력케이블이 지나갈 것이다. 이 터널은 세계 최초의 다중용도 터널이 될 것이다.

③ 화학공장 단지

상해에는 5대 화학단지로 가오차오 화학단지, 우징 화학단지, 따오푸 화학단지, 진산 화학단지, 상해 화학공업단지가 있다. 특히 상해 화학공업단지의 조성으로 인해 세계 최고의 화학회사들이 점차 상해에 들어오고 있다. 1,200,000톤 규모의 에틸렌 공장과 10,000,000톤 규모의 정유공장이 상해에 세워질 것이다.

④ 대규모 사업

상해에는 대규모 건축물인 대형 수송센터와 대형 쇼핑몰 등이 계속 건설될 예정이다. 특히 총합계면적 1,300,000㎡의 훙치아오 수송센터, 대형 중국전시장, 테마전시장, 컨벤션센터 등이 2010년 만국박람회(EXPO)를 위해 건설 중이다.

⑤ 철도

현재 상해에서는 총 길이 145km의 5개 노선의 철도가 사용 중이며 6개 노선과 178개소의 역사가 추가로 건

설 중이다. 2010년 말까지 철도의 길이는 400km까지 연장될 것이다. 상해에는 지하철과 경전철에 더불어 자기부상열차가 사용 중이다.

이상 언급된 사업으로 인해 전 세계의 많은 사람들이 관심을 갖는 화재안전설계 문제들이 상해에 집중되어 발생되고 있다. 만일 수많은 대규모 사업에서 내화, 방화구획, 피난, 제연, 소화설비의 설계를 법규에 따라 수행한다면, 그 건물들은 제 기능을 발휘하거나 발주처의 많은 고안사항을 실현하는 것이 불가능하고, 수정이 필요할 것이다. 즉, 많은 경우에 화재안전설계에 관련한 큰 문제가 발생할 것이다.

나. 성능위주 화재안전설계의 적용

상해의 대규모 사업에는 성능위주 화재안전설계의 적용이 활발히 추진되고 있다. 상해 푸둥국제공항 제2터미널(이하 T2)은 수용능력 40,000,000명/년의 거대한 현대식 건물로 터미널 빌딩, 승객통로, 비행기통로 등을 포함한 면적이 485,500㎡이다. 건물은 철근콘크리트구조와 철골구조의 혼합구조로 이루어져 있으며 터미널 빌딩은 높이 40m, 길이 416m, 승객통로는 높이 32.3m, 길이 1,414m, 비행기통로는 높이 42.3m,

길이 289.5m이다. 터미널 빌딩, 비행기통로, 승객통로에는 대규모 공간이 있다. 법규에 따라 방화구획을 하기 위해 전체 공간을 나누어 구획하는 것은 어려운 일이다. 따라서 방화구획이 너무 크고, 피난거리가 너무 길게 설정이 되었다. 게다가 철골구조의 내화피복, 제연, 감지와 경보, 자동식 소화설비에서도 많은 기술적인 문제가 발생하였다.

건물의 특징과 기능에 초점을 두고, T2는 검증된 컴퓨터 모델링과 수학적 계산 하에 화재안전공학적인 방법으로 설계되었다. 화재 시 T2내 고온의 연기흐름은 FDS 소프트웨어로 검증되었고, 승객의 피난은 STEPS 소프트웨어로 검증되었다. 소프트웨어는 복사열, 연기의 온도, 감지기 및 스프링클러 반응시간을 계산하는 데 사용되고, 화재의 위험성과 피해를 분석하였고, 이에 대해 수치값으로 증명하였다. 이에 기초해서 T2를 위한 방화구획, 제연, 피난, 철골 구조의 피복 등에 대한 계획이 제안되었다.

① '화재예방실(Fire Prevention Cabin)' 개념

화재예방실 개념이 탑승수속을 위한 넓은 승강장에 위치한 판매점과 사무실과 같이 높은 화재하중을 가진 지역에 적용된다. 화재예방실 개념으로 높은 위험의 설계화재를 가진 지역에는 강화된 소방시설의 설계가 이루어질 것이다. 구획의 세분화, 화재감지 및 경보설비, 제연설비, 스프링클러설비의 통합 적용을 통해서 화재의 피해를 제한할 수 있다. 대규모 공간에 대한 물리적 구획이 없으므로 화재예방실 설계를 적용하여 화재 시에 공항의 운영에 도움이 되고, 승객의 자유로운 이동을 가능하게 할 것이다.

② '연료섬(Fuel Island)' 개념

연료섬이란 가연물이 있는 지역을 의미한다. 섬의 설계로 터미널 내 대규모 공간의 고정된 또는 이동하는 가연물 사이의 화재로부터 안전한 공간이 분석될 것이다. 매점과 매장 사이에는 화재로부터 안전한 공간이 확보되어야 한다. 화재전파를 막기 위해 대기실 안의 의자사이에는 적절한 거리를 유지해야 한다.

③ '화재차단지역(Fire Isolation Belt)' 개념

차단지역은 두개의 이격된 부분 사이에 띠 모양의 안전지대를 의미한다. 탑승수속장과 통합검사장 사이에는 12m 폭의 화재차단지역을 설계하고, 국제대기실과 통합검사장 사이에는 15m 폭의 화재차단지역을 설계한다. 차단지역 안에는 어떠한 가연물도 놓을 수 없다. 이는 화재전파를 방지함으로써 터미널 안의 방화구획 문제를 해결하기 위한 합리적인 접근 방법으로 판단된다.

④ '저온연기배출(Cold Smoke Extraction)' 개념

저온연기배출은 화재가 진압된 후에 공기조화설비로 연기를 배출하는 것을 의미한다. 이러한 개념의 적용으로 터미널의 대형공간 내 화재하중이 낮은 공공지역에는 기계적 제연설비를 설치하지 않을 수 있다. 확실한 연기배출 효과를 위하여 성능위주 설계의 평가 이후에 터미널의 최상부에는 자동식 배연창을 설계하고 설치하는 것이 필요하다.

⑤ '부분피난(Subsection Evacuation)' 개념

부분피난은 화재 시 터미널 전체로부터의 피난이 아닌 구획된 구역에서 구역으로의 피난을 의미한다. 터미널과 같은 대규모 공간 내에서 발생한 소규모 화재의 경우 승객이 건물 밖으로 피난할 필요가 없다. 화재가 극단적으로 제어되지 않을 때만 터미널 내 전체 승객의 피난이 필요한 것이다. 성능위주의 분석에 기초하여 터미널 내에서는 60m 이하의 피난거리가 필요하다.

⑥ '철골의 부분적인 내화피복(Local Protection)' 개념

성능위주 설계의 평가에 기초해서 대기장의 18.4m 높이의 철골구조에만 내화피복을 한다. 그리고 다른 부분은 내화피복이 필요하지 않다. 이것이 철골의 부분적인 내화피복 개념이다. 다양한 기능과 모양을 가진 현대식 건물들이 매일 상해에 세워지고 있다. 현재 상해는 성능위주 화재안전설계와 평가의 적용에 있어서 엔지니어와 설계자에게 큰 무대를 제공하고 있다. 앞으로 성능위주 화재안전설계는 더욱 깊고 폭넓게 장려되고 활용될 것이다. ☞