

건물 설계 및 관리 단계에서 화재위험성평가(Fire Risk Assessments)의 적용

David A. Charters, 공학박사, FSFPE | Fire Protection Engineering

왜 화재위험성평가를 하는가?

과거에는 대부분의 건물에 대하여 설계 단계에서 화재위험성을 평가하지 않았는데 왜 지금 시작해야 하는가? 이 의문에 대한 답은 많지만, 가장 큰 이유는 과거에 발생했던 수많은, 다양한 화재사고를 예방하기 위해서이다. 이러한 재난들은 화재전문가들에게 잘 알려져 있으므로, 여기에서는 따로 언급하지 않는다.

과거에 발생했던 재난들에서 발견할 수 있는 하나의 공통점은, 역설적으로 그것들이 모두 다르다는 사실이다. 이들 재난의 건물 종류나 원인, 재난에 기여한 주요 요소는 저마다 다양하다. 그래서 지난번에 일어났던 재난이 재발하지 않도록 가능한 모든 조치를 취하더라도, 다음번에는 전혀 다른 종류의 재난이 발생할 수 있다. 화재위험성평가(Fire Risk Assessments)를 통하여 과거의 재난뿐만 아니라 가까운 미래에 발생할 수 있는 재난에 대한 잠재적인 위험을 다룰 수 있다.

표 1. 매트릭스법(Matrix Method)을 위한 빈도 등급의 예

발생 빈도(F)	범위	등급
전혀 발생하지 않음	10,000년에 1회 미만	0
거의 발생하지 않음	1,000년에 1회 ~ 9,999년에 1회	1
드물게 발생함	100년에 1회 ~ 999년에 1회	2
간헐적으로 발생함	10년에 1회 ~ 99년에 1회	3
때때로 발생함	1년에 1회 ~ 9년에 1회	4
자주 발생함	1년에 1회 ~ 1년에 10회	5
일반적으로 발생함	1년에 10회 초과	6

건물 설계 단계에서 화재위험성평가를 수행하는 또 다른 이유는 이러한 위험 및 위험관리가 건물 설계과정, 기준, 시험, 인증 등의 핵심 요소이기 때문이다. 예를 들어, 공학에 대하여 간단히 정의하자면

“공학은 우리가 정확히 분석할 수 없는 형태를 지닌, 완전히 이해하기 어려운 재료를 가지고 모델화하는 예술이다. 그리하여 대중이 우리들의 무지를 의심하지 않게 적절히 대처할 수 있도록 해야한다.”

이것은 1946년 토목공학협회장의 글을 인용한 것으로서, 이 글이 지니는 다른 의미는 아마도 기존의 공학 원칙들 또한 그들이 수행한 일의 기본원리에 대하여 항상 의문을 가지라는 뜻일 것이다.

성능위주 화재안전설계의 실행에 있어서, 등가의 법칙은 종종 대체 설계방안의 적정성을 판정하기 위하여 사용된다. 등가성(Equivalency)은 다음과 같이 정의할 수 있다:

“.....은 설계된 건물의 재실자에 대한 위험이 체계화된 규정에 따라 설계된 동종의 건물보다 크지 않을 것을 증명한다.”

대부분 대체방안의 등가성은 액면가 또는 결정론적 성능위주분석(연기유동, 피난분석 등)을 이용하여 평가할 수 있지만, 이 정의에 의한 등가성의 진정한 측정기준은 위험(Risk)이다.

그러나 대부분의 화재위험성평가는 그것이 법적인 요구사항이기 때문에 수행된다. 몇몇 국가에서는 법적 요구사항으로 적절하고 충분한 화재위험성평가를 수행하도록 하고 있다. 세계적으로 고위험 산업은 작동하는데 필요한 안전지침을 제정하도록 규정화하는 경향이 있다. 종종 이러한 안전지침은 위험을 기반으로 하고 위험으로서 화재를 포함한다. 또한 많은 국가의 기업관리 관련 법규는 이 사회가 기업이 직면한 화재를 포함한 위험을 처리해 나갈 것을 요구하고 있다.

정성적 화재위험성평가

대부분의 사람들은 예를 들어, 도로를 건널 때처럼 사회생활에서 위험성평가가 반영되어 있다는 사실을 깨닫지 못한다. 때때로 소방기술자도 마찬가지이다. 예

를 들어 소방공학설계보고서(Fire Protection Engineering Design Brief; FPEDB) 또는 정성적 설계검토(Qualitative Design Review; QDR)로 알려져 있는 성능위주 화재안전설계를 시작할 때의 검토과정은 일반적으로 다음과 같은 일련의 작업으로 구성된다.:

- 건물구조설계 검토
- 화재안전설계 목표설정
- 화재위험 및 잠재적 결과 확인
- 화재안전설계 시행
- 분석 방법 및 수용기준 결정
- 분석을 위한 화재/재실자 시나리오 확인
- 보고서

영국의 기존 건축물의 정성적 화재위험성평가 과정은 다음 일들을 확인하는 것이다:

1. 화재 위험을 확인할 것
 - 점화원
 - 연료 공급원
 - 산소 공급원
2. 위험에 처한 사람을 확인할 것
 - 부지 내 또는 부지 주변에 있는 사람
 - 특히 위험에 처한 사람들
3. 위험을 평가, 제거, 저감, 방호할 것
 - 화재발생위험 평가
 - 화재로 인한 인적 위험 평가
 - 화재위험의 제거 또는 저감
 - 인적위험의 제거 또는 저감
 - 감지 및 경보
 - 소방
 - 피난경로
 - 조명
 - 표지 및 안내판
 - 보수

4. 기록, 계획, 통지, 교육 및 훈련
 - 중요한 결과 및 조치 기록
 - 비상계획 작성
 - 관련된 사람에게 통지; 다른 사람과 협력
 - 훈련 실시
5. 검토
 - 보고서에 따라 평가할 것
 - 필요하면 교정할 것

이러한 정성적 화재위험성평가와 다른 것들 사이에는 유사한 점이 있다. 정성적 위험성평가는 화재위험이 낮은 좁고 단순한 부지에 대해서는 충분할지도 모르지만, 화재위험이 높은 더 넓고 복잡한 부지에 대해서는 그것만으로는 충분하지 않을 수도 있다.

반정량적 화재위험성평가

종종 광범위한 화재 위험을 파악하고 이에 대하여 우선순위를 정할 필요가 있다. 반정량적 화재위험성평가를 통하여 복합건축물에 발생할 수 있는 모든 화재 위험을 평가하고 우선순위를 정할 수 있다.

이러한 위험성평가기법 중 가장 많이 활용되는 것으로는 매트릭스법(Matrix Method)이 있다. 매트릭스법은 어떠한 사건이 얼마나 자주 발생할 수 있는지(표 1)와 얼마나 심각한 화재가 발생할 수 있는지(표 2 및 표 3)에 관한 일련의 항목을 정의한다.

표 2. 매트릭스법(Matrix Method)을 위한 심도 등급의 예

심도(S)	등급
사상자 없음	0
경미한 부상	1
중대한 부상	2
사망자 한명	3
사망자 다수	4

매트릭스법에서 각 일련의 항목은 일정 크기의 범위로만 표현될 뿐 정확한 크기를 나타내지는 않는다. 각 지역의 과거 기록정보 및 건물과 관련된 사람들의 도움을 받아 그 지역의 사건 빈도 및 심도 등급을 선정할 수 있다. 이들 등급을 조합하여 각 지역의 위험 등급(표 3)을 선정할 수 있다. 이것은 위험 저감의 우선순위를 정하고 가장 높은 위험에 대하여 상세한 분석을 수행하기 위하여 매우 효과적인 방법이다.

표 3. 매트릭스법(Matrix Method)을 위한 결합위험등급의 예

장소	위험등급
증축공사현장	7.0
소매아웃렛	6.0
중앙홀 및 앞뜰	5.0
플랫폼 및 진입로	5.0
의류매장	4.0
지하철역사	3.0
고속도로	3.0
호텔 주위	2.0

이러한 상대적인 위험 등급은 위험 저감의 우선순위를 정하고 더욱 상세한 분석이 필요한 부분이 어느 것인지 파악하는 일에는 도움이 되지만, 다른 대체적인 인명안전방안 또는 기준과 비교하거나, 화재안전에 대한 추가적인 투자의 승인을 결정하기에는 충분하지 않다. 반정량적 화재위험성평가보다 더 상세한 분석을 수행하기 위해서는 더 많은 정보가 필요하다.

세계 최대의 화재실험

화재위험성의 수준을 예측하기 위한 더 좋은 정보를 얻는 일과 관련하여:

“잘못될 수 있는 일은 잘못될 것입니다.” - Disreali

“측정할 수 없다면, 그것을 제어할 수 없습니다.” - Lord Kelvin

“미래를 예측하기 원한다면, 과거에 대하여 연구해야 합니다.”

- Confucious

세계 최대의 화재실험과 그 참가자들을 고려하는 것은 가치가 있다. 건물을 사용할 때마다, 철학적 관점으로는 건물을 사용하는 매 순간마다 화재안전실험을 수행하는 것으로 생각할 수 있다. “실험”은 거의 매번 화재의 발생 없이 안전하게 끝난다. 건물에 화재가 발생할 때마다 화재를 보다 효과적으로 제어하기 위한 자료를 수집함으로써 화재위험을 측정할 수 있는 기회가 생긴다. 이러한 자료는 화재안전성의 개선이 필요한 건물의 형태나 관심 지역에 대한 정보를 분석하기 위하여 사용할 수 있다.

이러한 자료는 건물의 부분 또는 특정 형태의 건물에 대한 화재안전성을 검토하는데 매우 큰 도움이 되지만, 어떤 특정한 건물의 설계 단계에서 미래의 잠재적인 화재위험을 고려하는 데에는 큰 도움이 되지 않을 수도 있다.

정량적 화재위험성평가

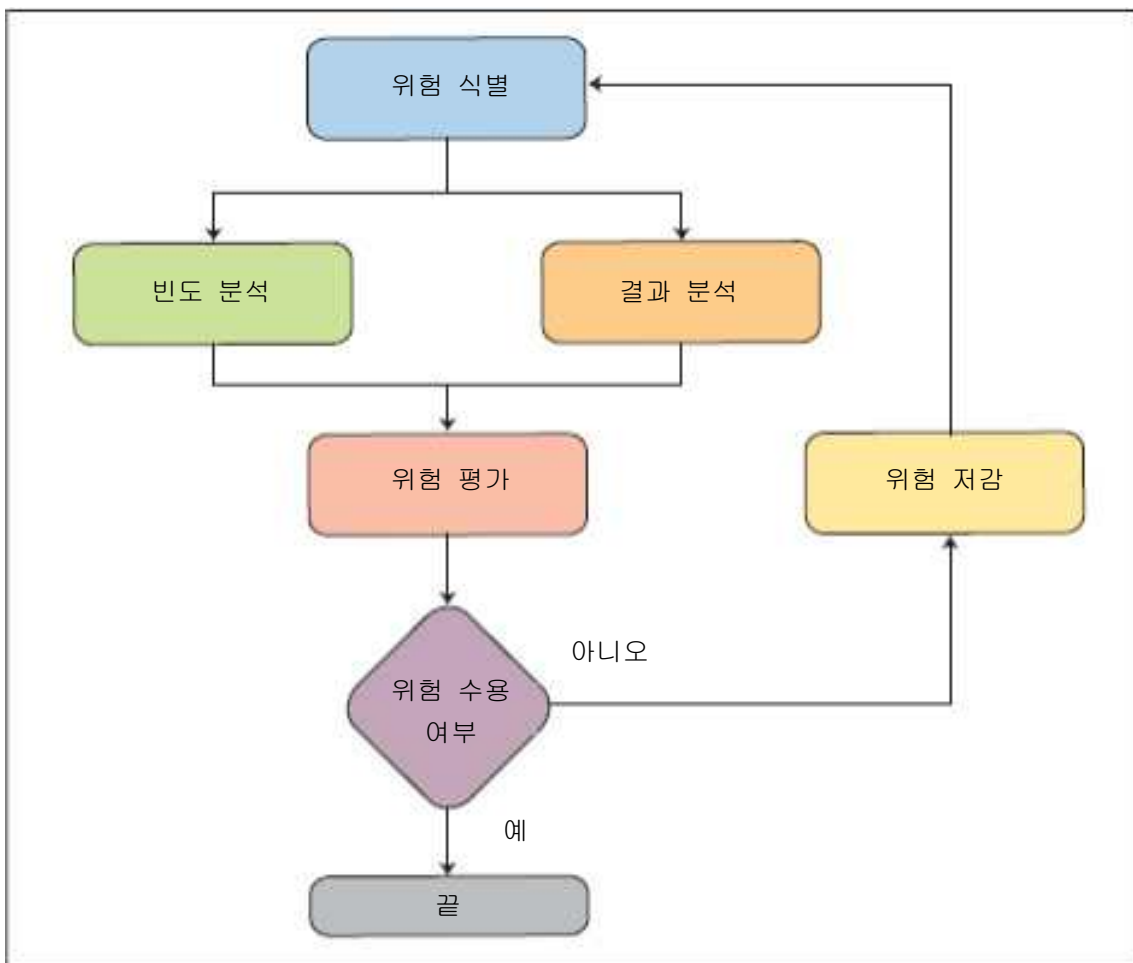


그림 1. 정량적 화재위험성평가 과정

특정한 건물의 설계 단계에서 미래의 잠재적인 화재위험을 고려하기 위하여, 정량적 화재위험성평가를 수행할 필요가 있다. 정량적 화재위험성평가는 화재사건의 물리적 결과에 대한 예측을 화재보고자료에 의한 확률적 정보와 결합하여 분석하는 기법이다.

그림 1은 다음과 같은 정량적 화재위험성평가의 주요 업무를 나타낸다. :

- 위험 식별 - 무엇이 잘못될 수 있는가?
- 빈도 분석 - 잘못될 가능성은 얼마인가?
- 결과 분석 - 얼마나 심각해질 수 있는가?
- 위험 수용 - 이에 대하여 무엇을 수행하여야 하는가?

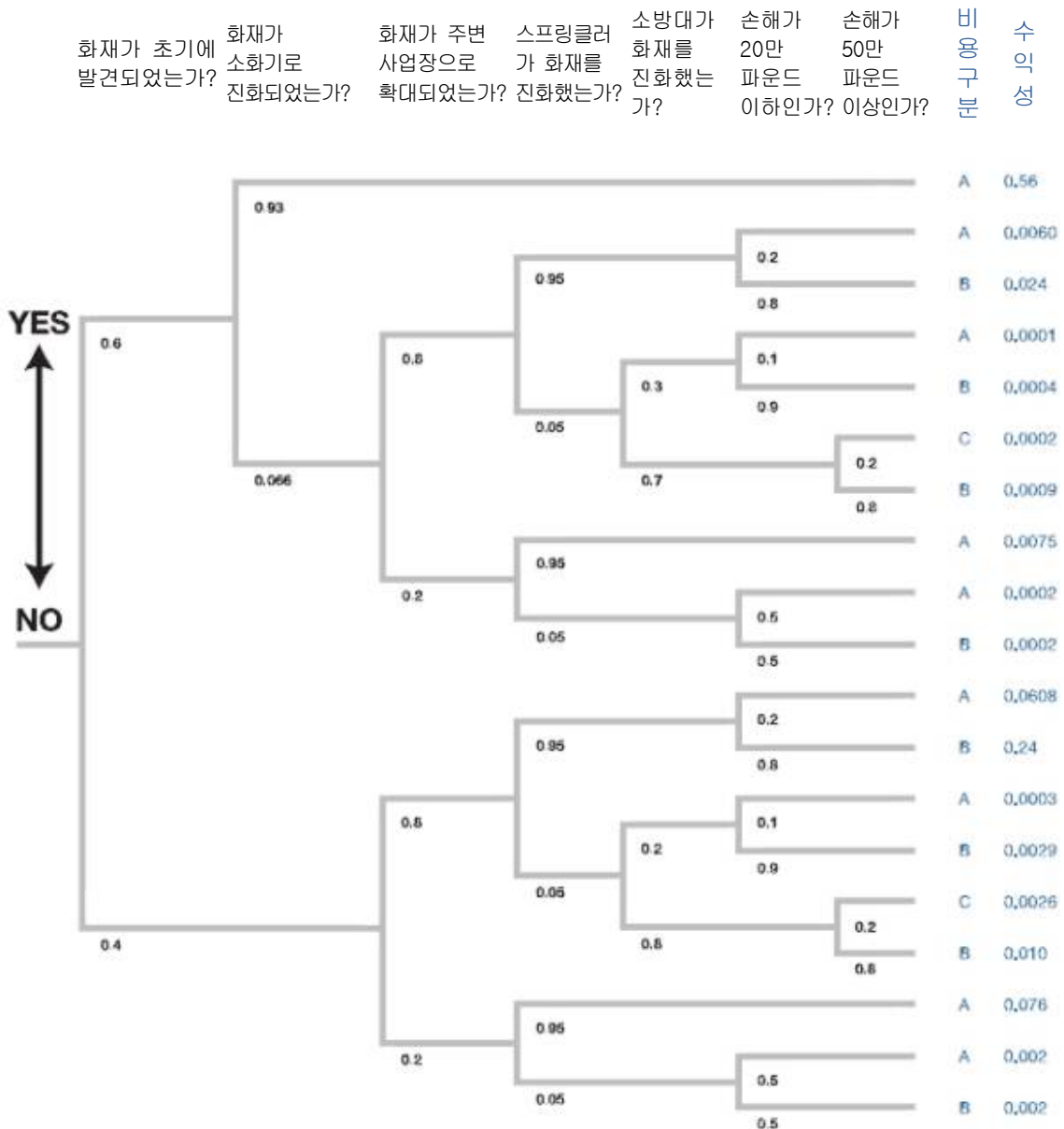
잘못될 가능성은 얼마인가?

어떤 특정한 건물의 설계 단계에서 미래의 화재위험을 정량화하는데 있어서 어려운 부분은 관심 대상이 될 만한 큰 규모의 사건은 수가 매우 적고, 대부분 아직 발생하지 않았거나, 화재보고자료에 기록되어 있지 않다는 점이다. 따라서 일련의 화재 사건 과정을 많은 보조사건으로 나눌 필요가 있다. 이러한 보조 사건은 아직 발생하지 않은 화재 사건의 확률 빈도를 예측하기 위하여 재구성된다.

이러한 과정은 일반적으로 사건수(Event trees) 및 결함수(Fault trees) 분석을 이용하여 수행한다(그림 2 및 그림 3).

사건수 분석은 초기 사건(왼쪽), 즉 발화에 의한 화재 위험으로부터 발생 가능한 모든 결과(오른쪽)를 고려하기에 유용하다. 초기 사건의 발생 빈도는 화재보고자료를 이용하여 예측할 수 있고, 보조 사건의 조건부 확률은 화재보고자료 또는 결함수 분석을 통하여 정량화할 수 있다.

결함수 분석은 모든 잠재적인 근본 원인(아래쪽에 위치한)로부터 상부의 관심 사건(예를 들면, 소방설비의 작동 실패와 같은)이 발생할 확률을 정량화하기에 유용하고, 이것은 다시 화재보고자료를 이용하여 정량화할 수 있다.



결과비용의 전체 확률

20만 파운드 이하	A	0.71
20만 ~ 50만 파운드	B	0.28
50만 파운드 이상	C	0.0028

그림 2. 사건수(Event trees) 분석의 예

사건수 및 결함수 분석에 사용된 자료의 질적 수준에 대한 우려는 당연하지만, 이용 가능한 자료가 제한적임에도 불구하고 정량적 화재위험성평가를 수행하는 이유는 다음과 같다:

- 단순히 결함수 및 사건수를 구성하는 것으로도 설계의 고장 유형 및 개선 방

안에 대하여 많은 것을 알 수 있다.

- 정확한 예측의 개념으로 수치적인 결과를 다루어서는 안 된다. 이것은 관행적인 기술기준 및 결정론적 성능위주분석과 마찬가지로 단지 설계 방안에 대한 더 좋은 정보를 얻기 위한 하나의 방법일 뿐이다.

따라서 화재위험의 정량적 평가는 새로운 화재시험 항목이 제품을 사용하는 동안 적용되는 일련의 항목에 대한 성능을 보장하는 것 이상으로 정확히 예측하는 것으로 받아들여서는 안 된다. 그러나 이들은, 즉 정량적 화재위험성평가와 화재시험은 양쪽 모두 어떤 설계에서 발생할 수 있는 위험 결과를 개선할 수 있다.

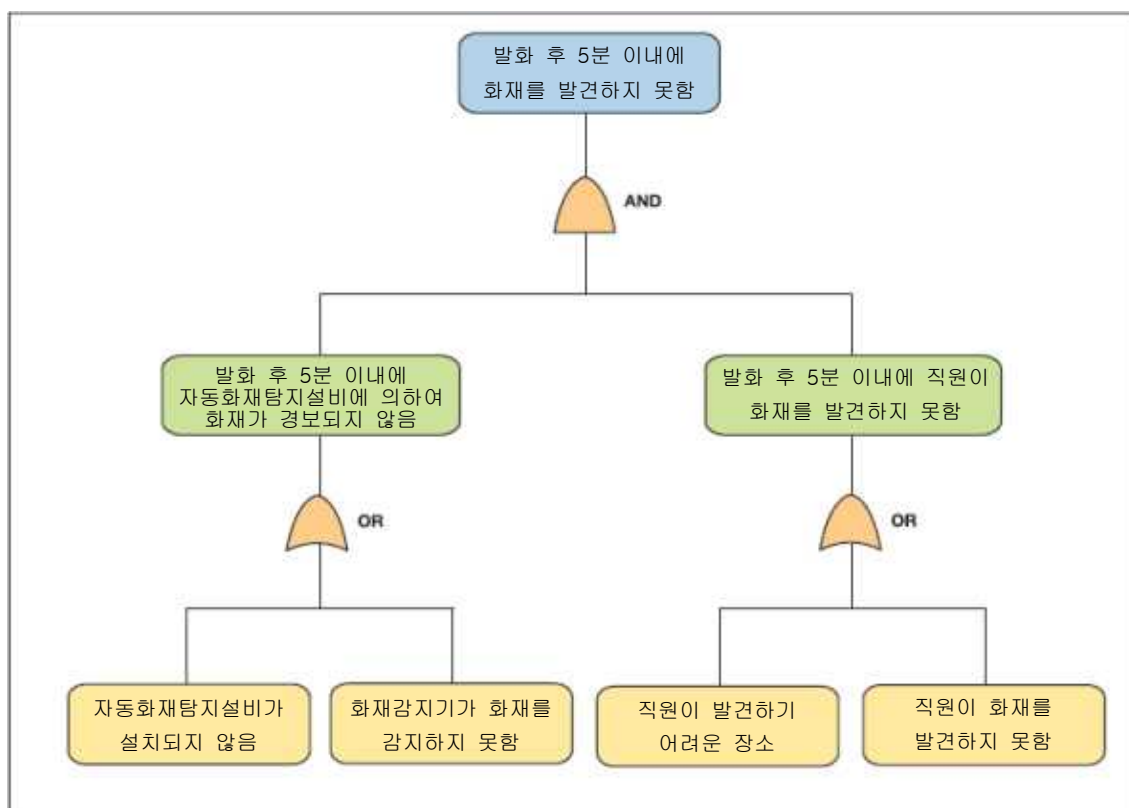


그림 3. 결함수(Fault trees) 분석의 예

얼마나 심각해질 수 있는가?

화재의 위험수준을 예측하기 위해서는 일이 잘못될 가능성이 얼마인가를 고려하는 것과 마찬가지로 다양한 화재사건의 결과들이 얼마나 나빠질 수 있을 것인가를 고려할 필요가 있다. 화재가 얼마나 심각해질 수 있는가를 예측하는 가장 정

확한 방법은 화재시험을 실제로 수행하는 것이다.

이것은 결과를 예측하는 가장 흥미로운 방법이지만, 정량적 위험성평가에서 관심 있는 광대한 범위의 화재사건에 대하여 실제 화재시험을 수행하는 것은 터무니없는 비용과 시간이 소요되는 방법이다. 따라서 대부분의 정량적 화재위험성평가에서는 컴퓨터 모델을 사용하여 결과를 예측한다.

이에 대하여 무엇을 수행해야 하는가?

빈도와 결과 분석에 기반한 건물 설계과정에서 화재위험을 정량화하는 경우에 가장 중대한 문제는 화재위험에 대하여 무엇을 수행해야 하는가이다. 이를 결정하기 위해서는 왜 사람들이 위험을 받아들이거나 견디는지를 생각해 볼 필요가 있다.

사람들이 위험을 받아들이거나 견디는 가장 일반적인 이유는 단순히 그들이 위험을 인지하지 못하기 때문이다. 석면 및 연기와 관련된 위험이 이러한 부류에 속한다. 단순히 화재위험성평가를 수행하는 것만으로도 화재위험을 줄이는 데 도움이 된다.

사람들이 위험을 받아들이는 경향이 있는 것에 대한 그 다음으로 일반적인 이유는 위험이 너무 경미해서 무시할 정도이기 때문이다. 또한 사람들은 위험과 관련된 활동으로 인하여 큰 이익을 얻을 수 있는 경우에 이를 견딘다. 예를 들어, 해마다 많은 사람들이 교통사고로 인하여 부상을 입거나 죽더라도 자동차로 여행하는 것은 사람들에게 인기가 있다.

위험의 수용과 관련된 흥미로운 역설적 사실이 있다. 예를 들어, 사람들은 대부분 하늘을 나는 것을 두려워하지만 자동차를 운전하는 것은 왜 즐겁게 생각할까? 하늘을 나는 것은 자동차를 운전하는 것보다 훨씬 더 안전하지만 사람들은 아직 하늘을 나는 것을 더 두려워하는 경향이 있다. 그 차이는 다음과 같다. 사람들은 어떤 활동을 할 때 위험 수준이 더 높더라도 만약 그 위험을 제어할 수 있다고 생각하면 이를 기꺼이 받아들인다. 그래서 사람들은 자동차를 운전할 때 위험을 잘 제어할 수 있다고 느끼고(자발적 위험) 하늘을 날 때 위험을 제어하기 어렵다고 느낀다(비자발적 위험). 이러한 사실은 왜 사회적으로 단독주택에 대한 화재위험이 공공건물의 화재위험보다 더 견딜만하다고 여겨지는지를 알려준다.

설계 단계에서의 화재위험성평가를 위하여 수용 가능한 기준은 변할 수 있다:

- 절대적인 위험기준이 없는 인명안전의 관점에서, 어떤 건물의 화재위험은 일반적으로 체계적인 규정에 따라 설계된 비슷한 형태의 건물에 대한 화재위험과 비교할 수 있다.
- 화재안전의 경제적 목적의 관점에서, 일반적으로 어떤 금융비용/이익이나 투자수익률에 관한 기준이 있다.

건물 설계 단계에서 화재위험성평가의 적용사례

다음의 사례에서는 건물의 화재안전설계에 대한 부가적인 통찰력과 더욱 완벽한 시각을 얻기 위하여 정량적 화재위험성평가를 규범적인 지침 및 결정론적 성능위주 화재안전설계와 결합하여 적용하고 있다.

덴마크의 Fields 쇼핑센터

Fields는 덴마크에 건축된 최초의 쇼핑센터이다. Fields는 설계 단계에서 몇몇 국가들의 기준을 고려하는 동안, 소매점포의 화재안전과 관련된 일반적인 관심 측면에서 발전이 있었다. 관할관청은 규정을 만족하고 성능위주설계 측면을 보충하기 위하여 정량적 화재위험성평가의 수행을 요청하였다.

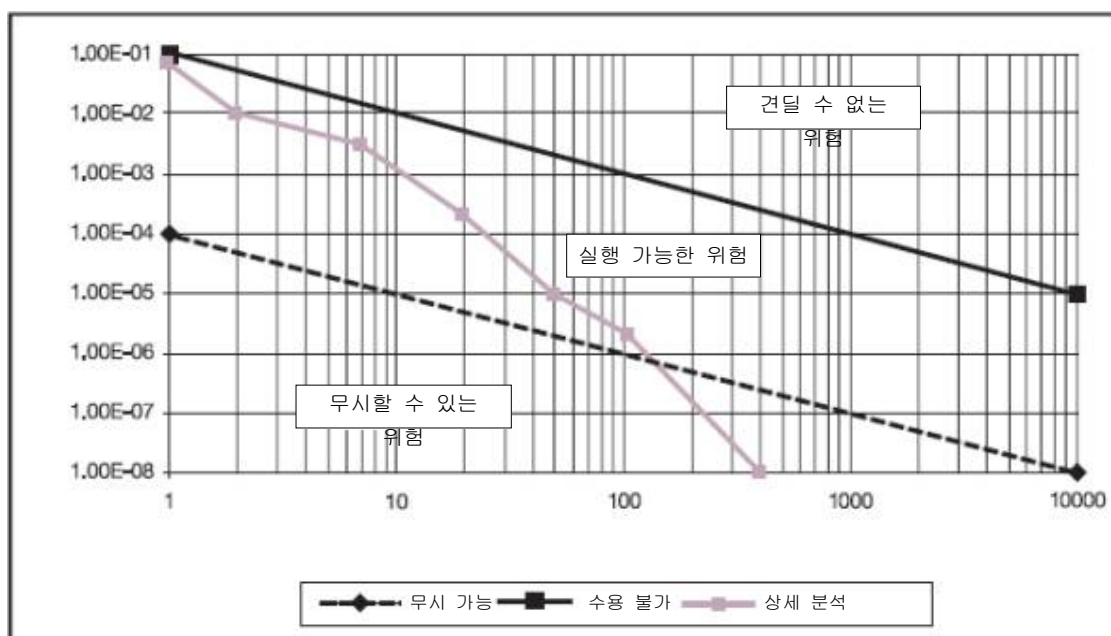


그림 4. 위험의 상대적 수준에 관한 F-n 선도의 예

소매점포의 화재안전을 둘러싼 일반적인 우려 때문에, 관할관청은 화재위험에 관한 절대적인 기준을 개발하였다. 개발된 기준의 화재위험성평가는 모든 소매 분야에서의 화재위험이 위험기준보다 아래에 위치해 있음을 나타내고 있다. 또한 그림 4와 같이 소규모 사업장과 대규모 사업장 간의 예측된 위험수준에 차이가 있음을 알 수 있다. 대규모 사업장에서의 위험이 훨씬 높다. 설계의 초기 단계에서 시스템 설계자는 주요 소방설비의 신뢰성을 향상시킴으로써 최소한의 추가비용을 투자하여 대규모 사업장의 화재위험을 저감할 수 있다.

철도 기반시설

철도산업에서 화재로 인한 인명위험은 과거에도, 지금도 계속 낮은 상태이지만, 주요 철도시설의 운영자들은 화재발생건수, 화재경보 및 화재로 인한 영업손실 등에 관심을 가져왔다. 그리하여 매트릭스법을 활용하여 가장 화재위험이 높은 지역에 대하여 우선순위를 정하고, 잠재적인 위험을 파악하고 이를 저감시킬 수 있는 기법을 정하는 일련의 위험관련 워크샵을 개최하였다.

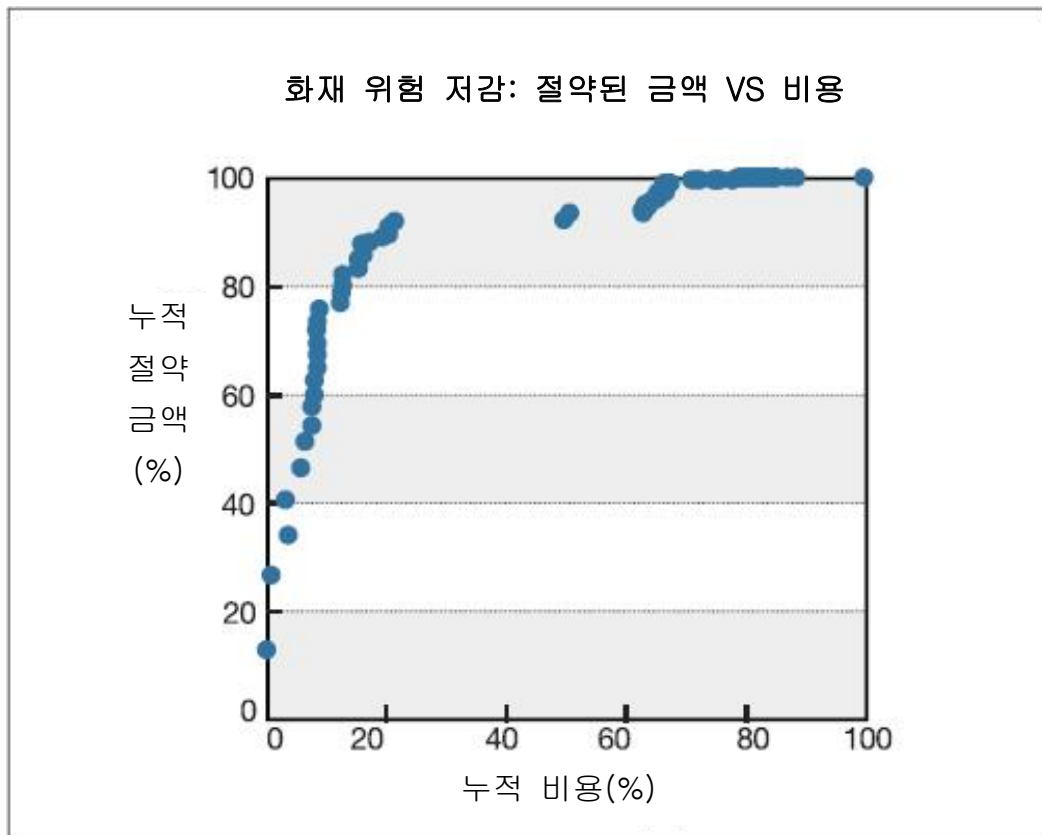


그림 5. 화재위험 투자를 위한 위험 비용/이익율의 예

그들은 이러한 위험저감기법의 위험 비용 대비 이익을 정량화하고, 그림 5와 같이 비용/이익률을 그래프로 정리하였다.

그래프에 의하면 단지 15%의 잠재적인 투자를 통하여 80%의 위험 경감 이익을 얻을 수 있는 것을 알 수 있습니다. 이것은 300만 파운드의 투자를 통하여 전년 대비 1,400만 파운드의 이익을 얻고, 2,200만 파운드의 불필요한 투자를 피할 수 있다는 의미이다. 또한 위험저감기법을 통하여 화재안전을 유지하여 열차 시간을 더욱 정확하게 지킬 수 있는 것은 철도시설 이용객에게도 이익이 된다.

화재안전지침

최근의 규정이나 지침 중에서 화재보고 자료의 통계적 분석이나, 몇몇 사례를 통하여 알려졌지만 이러한 사실은 대부분 위험 대비 비용적 측면에서 유익하지 않다면 개정되지 않는다. 예를 들어, 9/11 사건 이후에 영국에서는 초고층 건물에 대하여 추가적인 계단의 수를 줄이도록 제안하였는데, 이는 위험 대비 비용적 측면에서 유익하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 그 조항을 규정하기 위하여 증가한 비용은 위험을 줄이는 데 들어간 비용보다 훨씬 많았다. 그래서 그 규정에는 비상용승강기의 설치를 강화하는 대안 또한 포함되어 있다.

출처 : Fire Protection Engineering. Jul.1,2013

번역 : 대전충청지부 대리 장수원

* 번역물의 원본은 <http://magazine.sfpe.org/content/application-fire-risk-assessments-building-design-and-management>에서 보실 수 있습니다.