

건축물의 화재위험성평가(Fire Risk Assessment)

개요 및 관련자료

Brian J. Meacham, Ph.D., P.E., FSFPE | Fire Protection Engineering

화재가 발생할 수 있다는 사실은 모든 사람이 알고 있다. 2011년 미국에서만 1,389,500건의 화재가 발생하였고 이로 인해 3,005명의 사람이 사망하였다. 또한, 17,500명이 부상당했으며, 11.7조 달러의 재산손실이 발생하였다. 건축물에서 발생한 화재는 전체 화재의 35%인 484,500건에 이르며, 이로 인한 인명피해는 전체 사망자수의 84%인 2,640명, 전체 부상자 수의 79%인 15,635명, 재산손실은 전체 손실 83%인 9.7조 달러에 달한다. 대부분의 화재는 주거지에서 발생하지만, 2011년에 발생하였던 22건의 대형화재중 17건은 비주거용 건물에서 발생하였으며, 이로 인한 총 재산손실은 293.9 백만달러에 달한다.

모든 소방기술자들에게 가장 어려운 문제는 언제, 어디서, 그리고 어떤 조건에서 화재가 발생할지 정확히 알 수 없으며, 또한 어떤 사람이 위험한 상태인지 알 수 없다는 점이다. 건축물 및 소방 관련법규는 이러한 위험성을 경감시키기 위해 적용된다. 건축법 및 소방법은 복잡하고 광범위해서 대부분의 건축물은 충분한 방재성능을 갖출 수 있도록 규제된다. 그러나 이러한 법규를 통해서도 일부 특수건축물에 대해서는 그 용도에 맞는 규제가 이루어지지 못하고 있으며, 이로 인해 심각한 인명피해 또는 재산손실의 위험이 잠재될 수 있다. 화재위험성평가(Fire Risk Assessment, FRA)는 관련 법규를 통해 충분한 안전성이 확보되지 못한 건축물 또는 시설에 대하여 잠재된 위험을 평가하는 방법 중 한 가지이다.

□ 화재위험성평가

화재위험성평가의 일반적인 목적은 화재 위험성을 확인하고 이를 관리하는데 정보를 제공하는 것이다. 이러한 화재위험성평가는 다음의 3가지 문제를 해결할 수 있다.

가. 어떤 화재가 일어날 수 있는가?

- 나. 그 화재가 일어날 수 있는 가능성은 얼마나 되는가?
- 다. 그 화재가 발생한다면, 피해는 얼마나 될 것인가?

화재위험성평가(FRA)는 화재 및 그 화재로 인한 피해에 영향을 주는 요소를 평가한다는 점에서, 화재의 위험요소를 도출하는 화재위험도분석(Fire Hazard Analysis, FHA)와 사고로 인한 피해를 분석하는 심도분석(Consequence Analysis)과 구분된다.

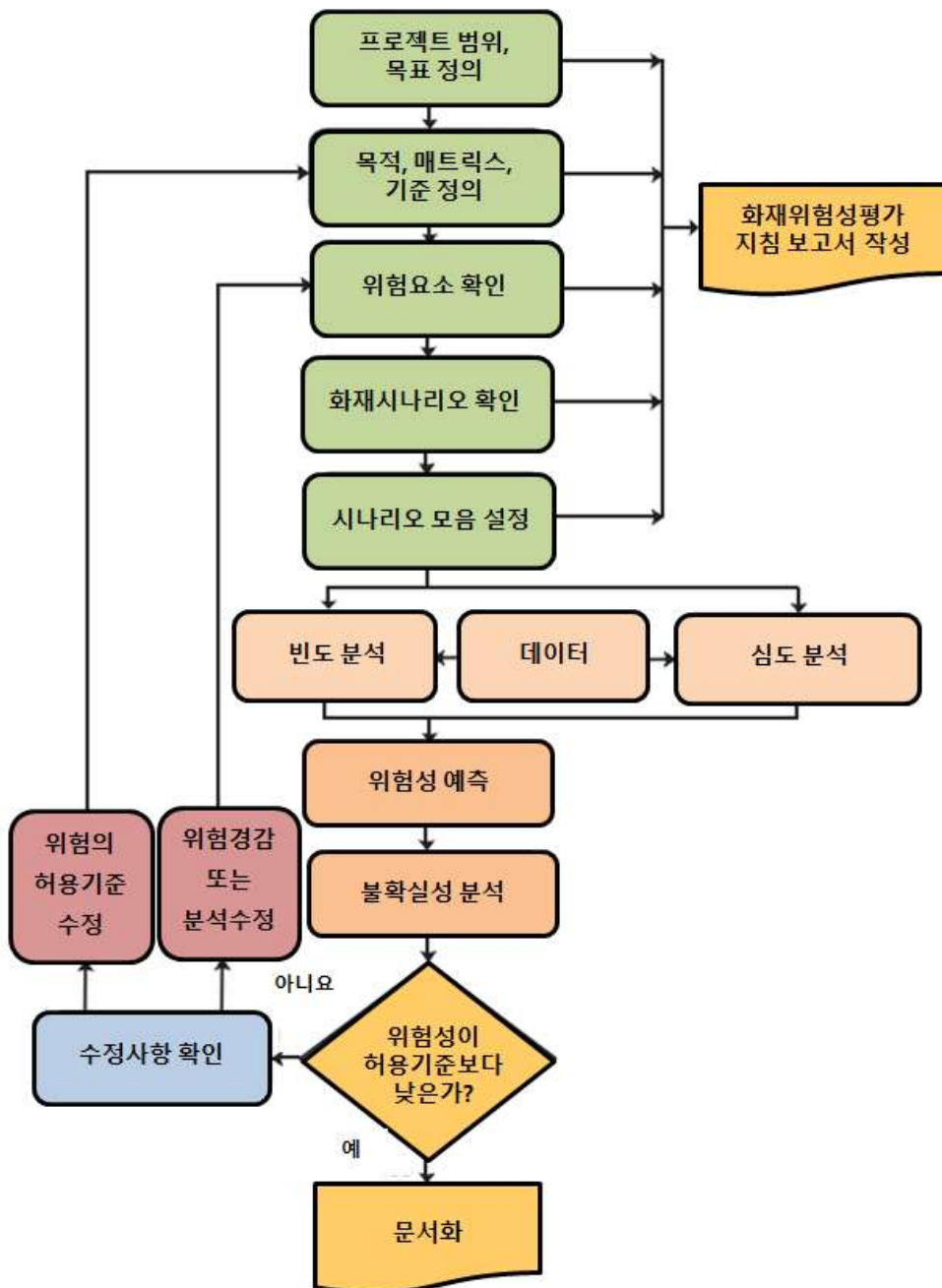


그림 1. 화재위험성평가 절차

화재위험성평가는 여러 가지 단계를 거쳐 수행한다. 먼저 평가의 목적 및 평가를 위한 측정기준을 결정하고, 화재시나리오 및 문제가 되는 위험요인을 도출한다. 그리고 이러한 시나리오에 대하여 빈도 및 심도 분석을 수행한다. 분석된 결과를 통해 해당 시나리오에 관련된 위험성을 예측한다. 특수한 경우 화재위험성평가는 사고발생가능성 또는 피해규모를 줄이고, 위험성을 경감시키는 대책을 수립하여 평가하는데까지 확대될 수 있다. 이러한 화재위험성평가의 절차는 그림 1과 같다.

위험성평가의 목적, 기준

화재위험성평가의 가장 중요한 단계가 위험성평가의 목적을 결정하고, 위험성 표현 방법 및 의사결정과정을 위한 측정 방법을 결정하는 것이다.

예를 들어 가장 높은 수준의 목적으로 “화재 발생 시 익숙하지 않은 사람들을 보호하고, 화재에 대응하는 사람들의 생존가능성을 향상시킴으로서 화재로부터 안전한 환경을 제공하는 것” 으로 결정할 수 있다.

첫 번째 질문은 어떤 거주자를 대상으로 할 것인가를 결정하는 것이다. 거주자의 특성을 파악하여 대상을 결정하고, 위험기준을 결정하는 것은 화재시나리오의 도출, 위험의 예측 및 평가에 중요한 요소이다.

또한, 재산손실에 대한 목적으로 직접적인 재산손실만을 분석할지 또는 간접적인 사업장 운영의 연속성까지 분석할지에 따라 평가에 영향을 주는 요소가 달라질 수 있다.

위험성을 어떻게 측정하고, 표현하는가를 선택하는 것은 중요한 사항이다. 이를 통해 위험을 어떻게 인지할 것인가에 큰 차이를 발생된다. 예를 들어 위에서 언급된 인명안전과 관련된 위험성을 사망자수 대 전체 사람수의 비율로 표현할 수 있다. 이러한 경우 인구수당 9.6×10^{-6} 또는 비주거용 건축물당 2.99×10^{-7} 로 표현할 수 있다. 이러한 수치에 대하여 사람들은 교통사고로 인한 사망위험인 1.03×10^{-4} 의 비교수치가 주어진다해도 그 의미를 모를 수 있다. 따라서 이를 전체인원 104,161명 중 1명, 비주거용 건축물 내 3,344,481명 중 1명, 교통사고에 대하여 9,708명 중 1명 사망으로 다르게 표현할 수 있다. 어떤 경우 건축물당 화재수 등 다른 측정값으로 표현할 수도 있다.

위험요소, 사건, 시나리오의 확인

위험요소란 인명, 재산, 운영의 연속성 등에 피해를 발생시킬 수 있는 잠재요소와 관련된 상태 또는 물리적인 상황을 말한다. 위험요소에 의하여 발생할 수 있는 사고 위험은 시나리오를 분석하는데 기초가 된다. 만일 위험요소로 인한 부정적인 상황이 발생한다면, 그것은 사고로 이어질 수 있다. 화재 위험요소는 착화에 기여하는 열원, 가연물 등이 될 수 있다. 예를 들어 전열기기는 위험요소가 될 수 있다. 이러한 위험요소가 사고로 이어지는데 기여하는 위험요소로 지진을 들 수 있다. 지진은 전열기기를 전도시키고, 전열기기는 가연물에 접촉되어 화재가 발생할 수 있다. 이러한 화재가 인접한 연료로 확대되고, 성장하는 것이 화재시나리오이다. 즉, 화재시나리오는 연속된 사건에 의해 발생하는 화재이다.

화재시나리오는 화재가 발생하는데 중요한 사건을 확인하는 정성적이고, 시간순서에 기초한 설명이다. 따라서 화재시나리오는 발화단계에서부터 설치된 소방설비의 작동 등 소화단계까지 기술된다. 또한, 어떤 사람 또는 어떤 재산이 피해를 입었는지, 그 피해가 얼마나 되는지에 대한 결과를 표현할 수 있다.

시나리오 모음(Scenario Cluster)은 공학적 분석을 위해 충분한 수준으로 기술된, 특징을 가진 시나리오의 모음이다. 이러한 시나리오 모음은 개별 시나리오가 무시할 수 있는 빈도 데이터를 가지고 있을 수 있기 때문에 필요하다. 예를 들어 “불이 붙어 있는 양초가 거실소파 위에 있다. 소파에 화재가 발생하였고, 확대되었다” 라는 화재시나리오가 있다. 이러한 시나리오의 빈도데이터는 존재할 수 없다. 그러나 시나리오 모음에서는 “불꽃이 거실안의 가연물에 착화되었다” 로 표현될 수 있다. 이 시나리오의 빈도분석을 위한 데이터는 NFPA 화재통계보고서와 같은 자료에서 확인할 수 있다.

빈도분석, 심도분석 및 데이터

화재위험성평가(FRA)와 화재위험분석(FHA)를 구분하는 가장 중요한 점은 사건 또는 시나리오가 발생할 확률의 예측이다. 이러한 빈도분석을 위하여 신뢰성 있는 데이터가 필요하다. 이러한 자료는 NFPA 화재통계, 보험회사의 화재 데이터, 미국 화학공정안전센터와 같은 기관의 설비 및 시스템의 신뢰

성 데이터, 화재의 전파에 대한 데이터(예: 발화실, 착화물 등)를 포함하고 있는 NFIRS7과 같은 데이터베이스 등을 통해 신뢰성을 확보할 수 있다.

심도분석은 화재시나리오에서 소방설비의 성능과 같은 요소의 영향을 평가하는데 사용할 수 있다. 이러한 심도분석은 분석기법 또는 전산장비를 사용하여 수행하거나, 유사공정 또는 유사용도에서 발생한 과거 사고기록 등을 사용할 수 있다.

위험성 예측(Risk Estimation)

표 1. 심도분류 기준 예시

심 도	인명에 대한 영향	재산에 대한 영향
높음	사망, 매우 심각한 부상	피해액 > XX 백만달러 - 건축물 및 주변 시설 파손
보통	심각한 부상, 영구장애 및 입원이 필요한 환자 발생함	YY 달러 < 피해액 < YY 백만달러 - 심각한 장비 파손 및 주변 시설의 경미한 파손
낮음	경미한 부상, 영구장애 및 입원이 필요한 환자 발생 없음	피해액 < YY 달러 - 심각한 장비 파손 및 주변 시설의 경미한 파손
허용 가능	매우 낮은 수준의 부상	건축물의 경미한 파손, 최소 동작불능시간

표 2. 발생가능성 분류로 사용된 빈도기준 예시

구 분	설 명	빈 도(F)	상 세 설 명
A	발생가능성 있음 (Anticipated)	$>10^{-2}/\text{년}$ ($<100\text{년}$)	건축물의 사용기간 중 여러 번 발생할 수 있는 일반적인 사건
U	발생가능성 낮음 (Unlikely)	$10^{-4} < f < 10^{-2}/\text{년}$ ($100\text{년} \sim 10,000\text{년}$)	건축물의 사용기간 중 발생하지 않을 것으로 예상되는 사건. 자연재해로는 100년에 한번 발생할 수 있는 홍수, 돌풍 등
EU	발생가능성 매우 낮음 (EXTremely Unlikely)	$10^{-6} < f < 10^{-4}/\text{년}$ ($10,000\text{년} \sim 100,000,000\text{년}$)	건축물의 사용기간 중 발생할 가능성이 없는 사건
BEU	발생가능성 희박 (Beyond EXTremely Unlikely)	$<10^{-6}/\text{년}$ ($>100,000,000\text{년}$)	다른 모든 사건들

화재시나리오의 빈도 및 심도분석을 통해 만들어진 정보를 결합하여 위험성을 예측할 수 있다. 이는 정성적, 준정량적, 정량적인 방법 등 다양한 예측방법을 통해 분석될 수 있다. 정성적인 방법은 빈도와 심도를 정성적으로 취급한다. 이러한 방법에는 위험성 매트릭스(Risk Matrix)와 위험도지수와 같은 방법이 있다. NFPA 화재위험성평가시스템, MIL-STD-882D의 위험성 매트릭스 방법, DOE-STD-300910의 위험성 결합법 등이 이러한 정성적 분석의 예이다. 다음 표 1, 2와 그림 2은 위험성 결합 및 매트릭스 방법의 예를 보여준다.

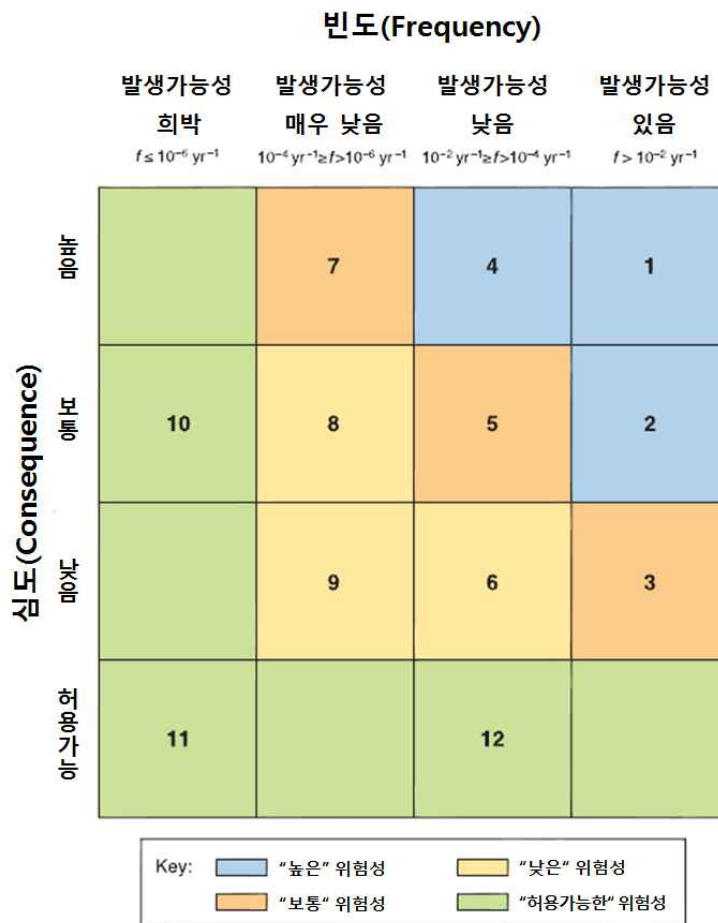


그림 2. 심도 순위, 빈도 순위 및 위험성 매트릭스

준정량적인 접근방법은 정량적인 측면 및 정성적인 측면을 결합한 것이다. 준정량적 빈도분석은 정량적 빈도분석에서도 사용되는 보험통계자료와 같은 데이터를 사용한다. 준정량적 심도분석에서도 정량적 심도분석에 사용하는 화재영향모델링을 사용한다. 이러한 접근방법은 사건수분석기법(Event Tree Analysis, ETA) 또는 다른 분석기법과 함께 적용될 수 있다. 사건수분석기법

은 여러 가지 화재안전시스템을 고려한 시나리오를 분석하는데 자주 사용된다. 사건수는 빈도와 심도를 표현하는 시나리오로 개발되고 이에 따른 위험성은 예측된다. 이러한 다양한 화재시나리오로부터 화재위험성을 정량화하는 방법은 다음과 같다.

$$\Sigma Risk_i = \Sigma Loss_i \times F_i$$

Risk_i = 시나리오 i 에 대한 위험성
 Loss_i = 시나리오 i 에 대한 손실
 F_i = 시나리오 i 가 발생할 빈도

위험성예측기법의 마지막 형태는 예상되는 손실로부터 화재방호의 최적 수준을 결정하고, 위험경감을 위해 필요한 비용을 결정하는 비용-효과 분석법이다. 이러한 접근방법은 보험산업에 자주 활용되며, 경영진이 위험의 허용, 경감, 전가, 회피를 결정하는데 사용된다. 비용-효과 분석법의 결과물은 초기 비용, 유지관리비용, 예상되는 손실을 비용의 관점으로 표현된다.

□ 화재위험성평가를 위한 지침

건축물의 화재안전평가를 위한 위험성평가기법에 관심이 증가하면서, 수많은 기관에서 관계행정기관과 설계자들에게 필요한 지침을 마련하였다. 이러한 지침은 특정 위험성분석기법 또는 위험성평가기법이 아니라, 실무자들이 건축물에 대하여 적절한 분석기법을 선택하는데 도움을 주고, 적절한 공학적 기법으로 위험성평가 절차를 수립하는데 도움을 준다.

SFPE 설계지침

: 화재위험성평가(SFPE Engineering Guide: Fire Risk Assessment)

SFPE에서 발행한 SFPE 설계지침은 건축물을 설계하고 평가하며, 화재안전성을 확보하려는 실무자들을 위한 지침이다. 이 문서는 위험성평가기법을 선정하고 사용하는데 도움이 되며, 수행 절차를 제공한다. 이 지침은 특정 위험성평가기법 또는 기술에 대하여 규정하지 않고 있으며, 다음과 같은 사항을 강조한다.

- 화재위험성평가를 위한 절차

- 위험요인 확인을 위한 기법
- 위험성평가를 위한 데이터
- 심도분석 모델링을 위한 방법
- 화재위험성을 계산하기 위한 방법
- 화재위험성평가의 문서화

SFPE 지침은 그림 1에 표기된 절차를 따를 것을 권장하며 각 단계에 관련된 지침과 정보 데이터가 제공된다.

NFPA 551, 화재위험성평가에 대한 평가지침(Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments)

화재/인명안전대책을 향상시키기 위하여 화재위험성평가를 많이 적용하고 있는 미국에서 NFPA 551 화재위험성평가에 대한 평가지침이 개발되었다. 이 문서는 화재위험성평가에 기초한 화재/인명안전대책을 평가하고 승인하는 책임자들을 위해 개발되었다. 특히 성능위주설계의 법규체제하에 사용된 화재위험성평가의 특성을 기술하는 체계를 제공한다. 따라서, 이 지침은 화재위험성평가가 적용된 건축설계를 평가하고 승인하는 건축, 소방, 기타 관련 공무원들에게 적합하다. SFPE 설계지침과 같이 NFPA 551에서는 특정한 화재위험성평가기법의 사용을 제한하지 않았으며, 설계의 허용기준을 정하지 않았다. 오히려 평가 또는 승인하는데 사용되는 기술적인 평가 절차와 그에 관한 문서에 대해 규정하였다. 이 평가절차는 다음의 그림 3에 보여진다.

NFPA 551에서는 위험성평가를 다섯 가지 분류로 정의하였다.

- 가. 정성적 분석방법
- 나. 준정성적 기준에 기초한 분석방법
- 다. 준정성적 심도 분석방법
- 라. 정량적 분석방법
- 마. 비용-효과 위험성 분석 방법

여기에서 화재위험성평가의 목적과, 평가에 고려되는 여러 요소들을 확인하는 것을 중요하게 다룬다. 그리고, 각 방법의 특징을 확인하고, 입력자료과 출력결과에의 문제, 가정의 한계, 화재시나리오의 선택, 그리고 불확실성에 대한 논의를 다루었다.

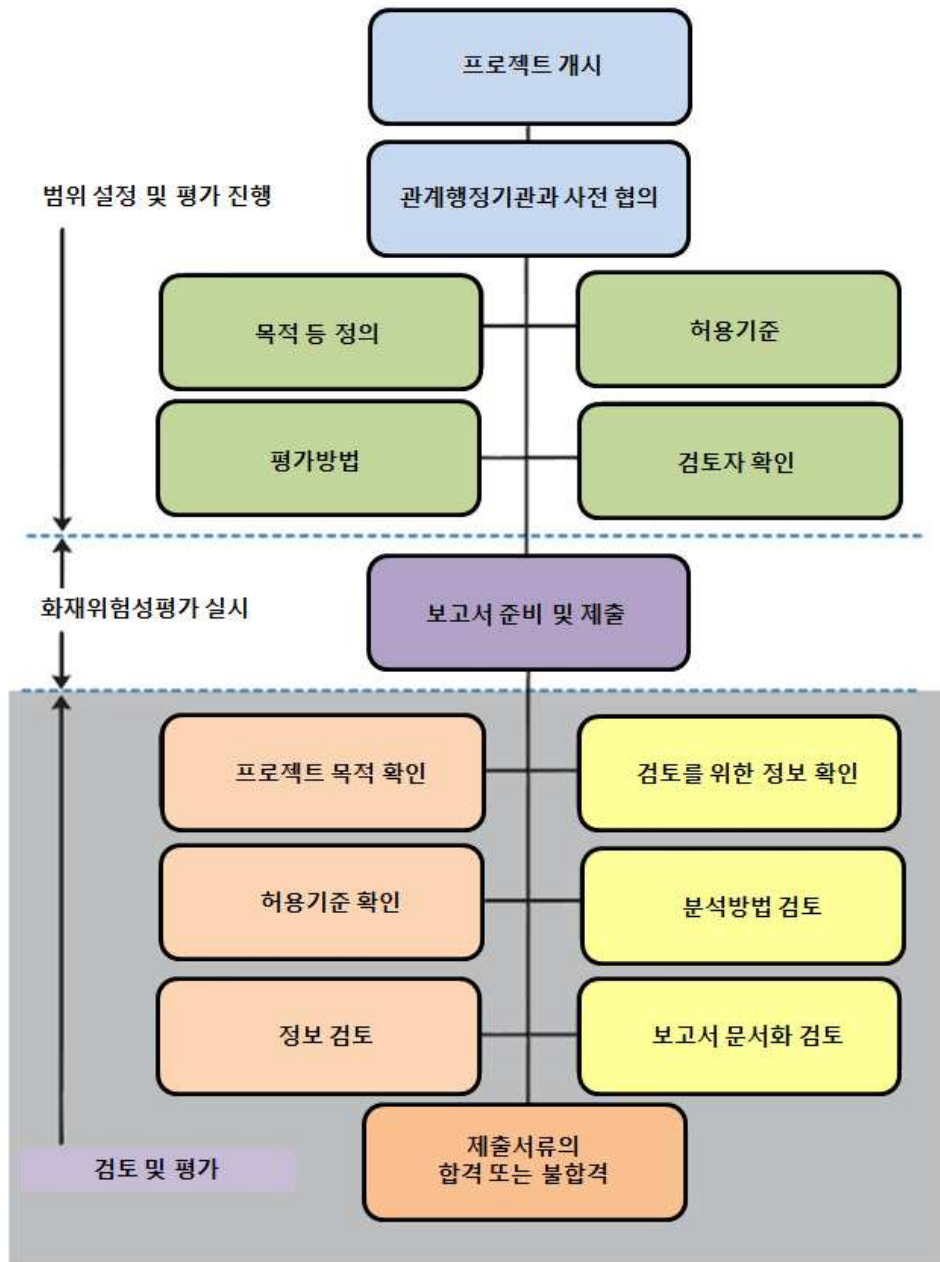


그림 3. NFPA 551 분석 절차

BS 7974-7, 확률론적 위험성평가(Probabilistic Risk Assessment)

영국 표준화기구에서는 수많은 화재관련 설계기준을 제공한다. BS 7974에서는 건축물 설계에 있어 화재안전공학을 적용하는 방법을 제공한다. 그 중 BS 7974-7에서는 건축물의 확률론적 위험성평가에 대한 기준을 제공한다. 특히 인명안전 및 경제적인 평가를 위한 허용기준과 관련한 기준을 제공하고 있다. 이러한 기준에는 개인적인 위험 및 사회적인 위험에 대한 절대적인 기준

을 포함하고 있다. 또한, 복잡한 분석기법을 사용한 평가기법을 제공하는데, 건축물의 용도에 따른 화재 발생확률, 평균 피해면적 등에 대한 자료를 포함하고 있다. 그리고 영국에서 발생한 화재로 인한 인명손실에 대한 통계, 전실화재(Flashover)의 확률, 그리고 소방설비의 신뢰성 데이터 등도 포함하고 있다.

ISO 16732-1 화재안전공학 - 화재위험성평가(ISO 16732-1 Fire Safety Engineering - Fire Risk Assessment)

ISO 16732-1은 화재관련 위험성의 정량화와 해석에 기본이 되는 원칙을 언급함으로써 화재위험성평가의 개념적인 기초를 제공한다. 이 기준에 의한 원칙과 개념은 인명안전, 재산보호, 기업의 연속성, 유산의 보존, 환경보호와 같은 화재 안전성의 목적에 적용된다.

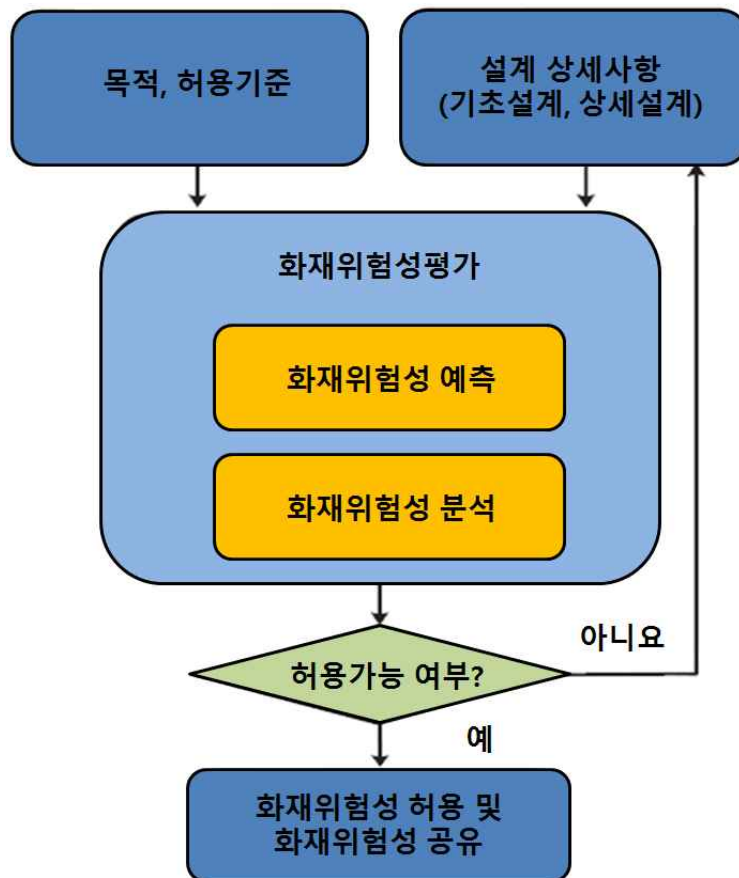


그림 4. ISO 화재위험관리 개념

이 기준에 언급된 원칙은 모든 종류의 화재시나리오에 적용될 수 있다. ISO

16732-1에서 원칙은 화재위험성평가의 정량화를 수행하는 각 단계에서 확인할 수 있다. 이러한 단계는 초기에는 화재위험의 종합적인 관리차원에서, 이후에는 화재안전설계의 관점으로 이루어진다.

화재위험성예측의 단계에서는 시나리오에 따른 빈도와 심도의 계산결과를 종합적으로 결합하여 화재위험성의 정량화한다. 이 지침은 또한 화재위험의 해석, 생성된 정보의 사용방법에 대한 내용을 담고있다.

마지막으로 이 기준에는 불확실성분석방법에 대한 기준을 제공한다. 화재위험예측에서 불확실성을 결정하고 그 불확실성의 의미를 해석하고 평가할 수 있다. ISO 16732-1에 의하면, 위험관리는 위험성평가뿐만 아니라 위험의 처리, 위험의 허용, 위험의 소통에 대한 것을 포함한다.

□ 화재위험성평가 관련 서적

‘SFPE 방화공학핸드북(SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)’ 은 화재위험성평가의 다양한 측면에 대한 새로운 내용이 추가되었다. 새 개정판에는 공정, 거주자의 형태, 분야(건축 환경, 운송) 등에 대한 측면이 고려되었다. 화재위험성평가에 대한 관심이 증가하고 이에 대한 다양한 기법/기술에 대한 수요에 따라 최근 10년동안 수많은 서적이 출판되었다.

‘화재안전성의 평가(Evaluation of Fire Safety)’ 는 화재위험성평가에 대하여 전문적으로 다루는 책은 아니지만, 화재위험성평가에 대한 다양한 측면을 포함하고 있다. 화재안전공학분야를 주도하는 5개 기관에서 자료를 취합하여 통계적인 화재손실데이터, 화재위험성의 측정, 다양한 화재위험성평가방법(예: 개별 설비, 화재위험성 모델링, 화재안전개념 그리고 기타 평가방법) 등을 포함하고 있다. 이 책은 화재안전성평가를 수행하려는 사람들을 위한 광범위한 정보를 제공한다.

2001년 9월 11일에 미국에서 발생한 비극적인 사건 이후로, ‘건축물에 대한 최악의 사고 경감:분석 및 설계(Extreme Event Mitigation in Buildings: Analysis and Design)’ 란 책이 최악의 사고 발생에 대비하여 건축물의 성능을 평가하기 위한 자료를 제공하기 위해 출간되었다. 이 책에서는 건축물을 허용할 수 있는 위험수준으로 관리하기 위하여, 화재 뿐만 아니라 광범위한

사고(예: 자연재해 등)에 대한 발생을 및 잠재적인 영향을 평가하고 이에 따른 경감대책을 제시한다. 이 책에서는 어떻게 위험성을 기반으로한 성능위주의 평가가 위험성을 경감하는 의사결정에 도움이 될 수 있는지에 대해 설명한다.

2007년 호주의 3명의 위험전문가가 ‘건축물 화재안전공학에서의 위험성분석(Risk Analysis in Building Fire Safety Engineering)’란 책을 출간하였다. 제목이 암시하는 것과 같이 화재안전공학에 위험성이란 개념을 적용하는 기본적인 기법에 대하여 주로 설명하였다. 위험성분석을 이해하기 위해 필요한 확률 분석으로 시작하여 다양한 기법(몬테 카를로 분석, 사건수분석법, 고장수분석법, 비용-효과 분석법 등)으로 확대하였다. 또한, 화재안전설비에 대한 확률론적 모델링을 설명하였다. 그리고 다양한 사례분석을 통해 성능위주의 방화설계에 대해 설명하고자 하였다.

‘건축물의 화재위험성평가 원칙(Principles of Fire Risk Assessment in Buildings)’에서는 화재위험성평가에 대한 단순한 접근방법을 설명하였고, 또한 화재의 성장, 연기의 전파, 거주자의 반응, 기타 요소들을 고려한 화재위험성평가의 기본적인 분석방법을 설명하였다. 이 책은 화재위험성평가를 위한 모델을 개발한 전문가에 의하여 작성되었다.

최근 저명한 영국 화재전문가들이 2011년 ‘정량적 화재안전성평가(Quantitative Risk Assessment in Fire Safety)’란 책을 출간하였다. 이 책은 정성적, 준정량적, 정량적 위험성평가기법에 대해 폭넓은 이해를 돕는다. 또한, 화재의 성장, 확대, 소방설비의 작동 등에 대한 확률적인 분석방법을 제공한다. 그리고 소방설비의 신뢰성, 거주자의 대응, 소방대의 영향에 대하여도 설명한다.

이러한 책들은 특정 산업, 재해, 위험성에 대하여 다루고 있을 뿐만 아니라, 화재위험성평가의 문제점을 해결하기 위한 방법에 대한 논의를 담고 있다.

출처 : Fire Protection Engineering. Jul.1,2013

번역 : 방재컨설팅팀 대리 최승호

* 번역물의 원본은 <http://magazine.sfpe.org/content/overview-approaches-and-resources-building-fire-risk-assessment> 에서 보실 수 있습니다.