

KOSHA GUIDE

X - 31 - 2012

화재 리스크 평가에 관한 기술지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 사단법인 한국안전학회 리스크관리 연구위원회
세인인포테크 SHE사업본부 김윤화

○ 개정자 : 산업안전보건연구원 안전연구실

○ 제·개정 경과

- 2010년 11월 위험관리분야 제정위원회 심의(제정)
- 2012년 4월 리스크관리분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 등 반영)

○ 관련규격 및 자료

- ISO/TS 16732, Fire safety engineering - guidance on fire risk assessment
- ISO 921:1997, Nuclear energy - Vocabulary
- ISO 2394:1998, General principles on reliability for structure
- ISO/TR 13387 (all parts), Fire safety engineering
- ISO 13943:2000, Fire safety - Vocabulary

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건 기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6월 20일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

화재 리스크 평가에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 사업장에서 발생 가능한 각종 화재의 영향을 평가하여 사전 예방대책 수립 및 사후 피해최소화 대책을 수립하는데 기준자료로 활용할 수 있도록 하며, 화재 위험성 평가자들이 반드시 검토해야 할 부분에 대하여 정리하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 기술지침은 정성적, 정량적 리스크 평가방법에 대하여 이해를 하고 있는 전문적인 리스크 평가 분석자를 중심으로 화재에 대한 리스크 평가를 수행하는 사업장에 적용할 수 있다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “개인적 리스크(Individual risk)”라 함은 피해범위 내에 있는 특정 사람에게 가해질 수 있는 리스크(예, 2도 화상을 입을 수 있는 개인적 리스크, $1.03 \times 10^{-3}/\text{yr}$)를 말한다.

(나) “결함수(Fault tree)”라 함은 특정사고를 유발하는 원인들을 연역적으로 유추하여 정리한 진행순서도를 말한다.

(다) “다양성(Variability)”이라 함은 리스크 평가과정 중에 활용한 각종 변수, 인자, 조건들에 대한 확률분포 함수들의 정량화를 의미한다.

(라) “대표적인 화재 시나리오(Fire scenario, representative)”이라 함은 화재 시나리오

집합체에서 화재에 의한 영향력이 크거나 발생확률이 높아서 리스크가 클 것으로 예상되는 시나리오를 말한다.

- (마) “민감도(Sensitivity)”라 함은 시스템 변동에 의한 리스크의 변화의 정도를 의미한다.
- (바) “불확실성(Uncertainty)”이라 함은 리스크 평가 과정에서 활용한 각종 자료, 변수, 인자, 혹은 수학적 관계들에서 발생할 수 있는 불규칙적인 오류들에 대한 불확실한 정도를 의미한다.
- (사) “사건수(Event tree)”라 함은 원인에 의하여 파생되는 사건의 결과를 귀납적으로 유추하여 정리한 진행순서도를 말한다.
- (아) “사회적 리스크(Societal risk)”라 함은 피해범위 내에 특정집단에게 가해질 수 있는 리스크를 말한다.(예, 2도 화상을 입을 수 있는 사회적 리스크, 25명/yr)
- (자) “수용범위(Acceptance criteria)”라 함은 평가된 화재 리스크가 공정의 가동중단, 설계의 변경, 안전장치의 추가 등의 대책이 없어도 리스크에 크게 문제되지 않는 범위를 말한다.
- (차) “신뢰도(Reliability)”라 함은 설비나 작업자가 설계의 목적대로 운전(행동)되는 확률(빈도)를 말하며, 설계 의도대로 설비가 작동할 가능성과 작업지시대로 작업자가 행동할 가능성 등을 포함한다.
- (카) “수용 가능한 화재 리스크(Fire risk, acceptable)”라 함은 리스크 판정과정에서 설계(혹은 공정)의 변경 없이 수용할 수 있는 리스크를 말한다.
- (타) “화재 리스크(Fire risk)”라 함은 화재가 발생하여 인적, 물적 피해를 유발할 수 있는 확률과 그에 따른 피해규모를 말한다.
- (파) “화재 리스크 매트릭스(Fire risk matrix)”라 함은 확률 값과 사고결과 값을 토대로 구성된 매트릭스에 각각의 화재 리스크 시나리오들을 배치하는 것을 말한다.
- (하) “화재 리스크 판정(Fire risk evaluation)”이라 함은 화재 리스크 평가결과를 리스크

기준에 비교하여 후속조치를 결정하는 과정을 말한다.

(거) “화재 리스크 평가(Fire risk assessment)”라 함은 화재로 인하여 예상되는 각종 리스크의 판정과 그에 따른 대책을 수립하는 과정을 총칭하는 것을 말한다.

(너) “화재 시나리오(Fire scenario)”라 함은 유해위험요인이 발화되어 화재로 진행되어 가는 과정을 묘사한 정보를 말한다.

(더) “화재 시나리오의 설계(Design fire scenario)”라 함은 안전공학적 대책을 수립하여야 하는 대표적인 화재 시나리오를 규정하는 작업을 말한다.

(러) “화재 유해위험요인(Fire hazard)”이라 함은 잠재적으로 화재를 유발하여 인적, 물질적 피해를 줄 수 있는 요인을 말한다.

(머) “ALARP(As low as reasonably practicable)”이라 실행 가능한 최저수준의 리스크 범위를 의미한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙, KOSHA GUIDE X-1-2011(리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침) 및 KOSHA GUIDE X-13-2012(중소규모 사업장의 리스크 평가 관련 유해위험요인 분류를 위한 기술지침)에서 정하는 바에 의한다.

4. 화재 리스크 관리 (Fire risk management)

<그림 1>의 화재 리스크 평가는 리스크 수용기준에 적합하지 않은 공정설계의 변경이나 교체 등의 작업을 수행할 때 활용된다. 주요 적용범위는 다음과 같다.

- (1) 현재 가동 중인 공정에 적용할 수 있다
- (2) 설계 중인 공정에 적용할 수 있다.
- (3) 개선대책을 포함한 재평가 단계에 적용할 수 있다.

평가에 대하여 책임을 갖고 있는 책임자(관계기관 혹은 사업장의 관계자)는 평가결과가 올바르게 평가되었고 리스크 기준에 부합되는지를 다음을 참고하여 명확하게 판정해줘야 한다.

- (1) 대상공정 선정의 적합성
- (2) 사고 시나리오의 선정의 적합성
- (3) 평가결과의 객관성 및 신뢰성
- (4) 개선대책의 적합성 및 시행여부에 대한 점검

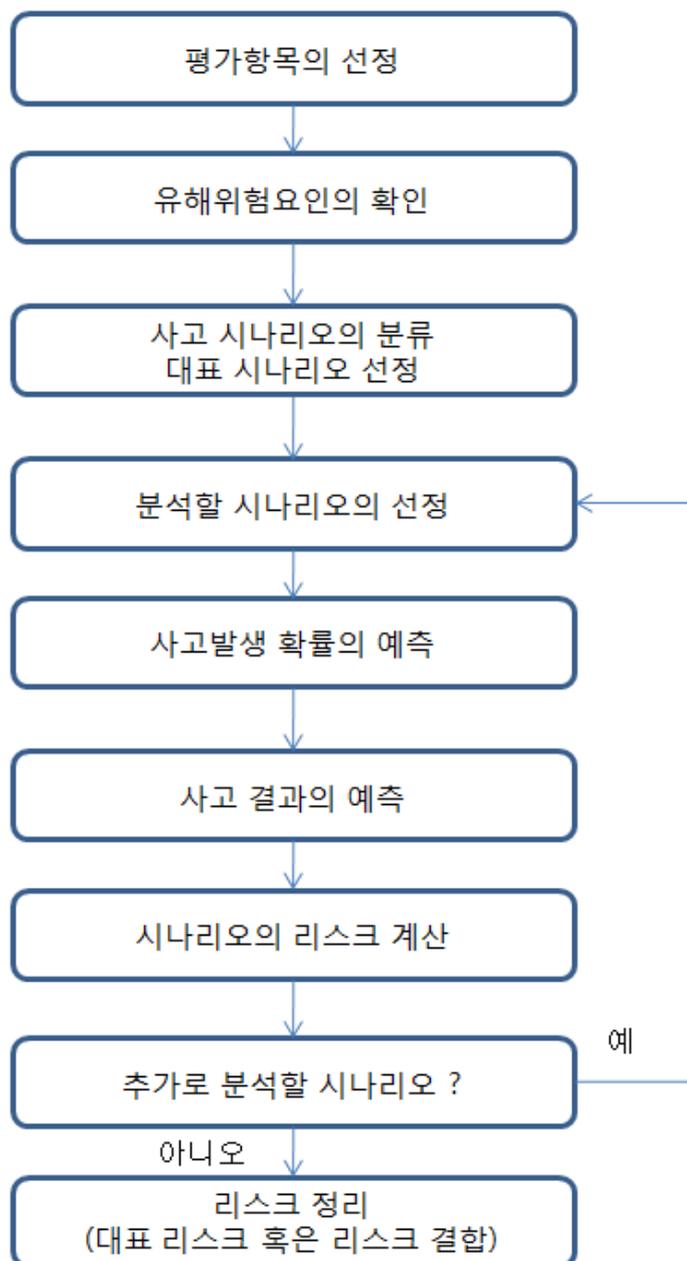


<그림 1> 화재 리스크 관리에 대한 흐름도

5. 화재 리스크 예측의 절차

5.1. 화재 리스크 예측의 개요

모든 사고 시나리오에 대하여 <그림 2>의 절차에 따라 평가가 완료되면 대표적인 리스크를 선정하여 화재 리스크 판정에서 리스크 수용여부를 판단하게 된다.



<그림 2> 화재 리스크 예측에 대한 절차도

5.2. 사고 시나리오의 활용

현실적으로 발생 가능한 시나리오 형태로 구성하여야 한다.

- (1) 사고 시나리오가 너무 방대한 경우에는 세분화하여 분석한다.
- (2) 사고결과가 작을 경우에는 몇 개의 시나리오를 묶어서 평가할 수 있다.
- (3) 사고 시나리오를 확대 해석해서는 안 된다.
- (4) 사고결과가 아주 작은 사고 시나리오는 고려대상에서 제외하여야 한다.
- (5) 사고발생 가능성이 아주 낮은 사고 시나리오도 제외하여야 한다.

5.2.1 유해위험요인의 확인

유해위험요인의 확인은 화재의 발생시간부터 화재의 성장단계까지 화재가 진행되는 다음의 과정을 분석하는 단계이다.

- (1) 화재의 발생시간
- (2) 초기화재의 발화지점
- (3) 화재의 특성을 규정할 수 있는 특정한 상황
(예, 정전기에 의한 유증기의 점화, 자연발화에 의한 건류석탄의 발화 등)
- (4) 화재하중의 파악
- (5) 점화원의 형태 (스파크, 뜨거운 표면, 자연발화, 기타)
- (6) 화재의 성장단계

다음과 같은 화재 발생지점이 사고의 규모를 크게 좌우하는 요소임을 명심하여야 한다.

- (1) 밀폐된 공간 (건물내부, 지하시설물, 공정의 밀집도가 큰 지역)
- (2) 개방된 공간 (최소 2명 이상이 개방되어 있는 공간)
- (3) 발화지점에서의 인구의 이동상태 (밀집지역 혹은 이동이 거의 없는 지역)
- (4) 화재가 성장할 수 있는 물체의 존재, 위치, 수량 등
- (5) 초기 살수시스템의 존재 여부 (스프링클러 등)
- (6) 비상구나 비상대피 장소의 존재

5.2.2 사고 시나리오의 통합

화재는 다양한 형태로 발전할 수 있기 때문에 <표 1>과 같이 몇 개의 사고 시나리오를 통합하여 하나의 화재 리스크 예측을 할 수 있다.

<표 1> 시나리오 묶음의 예

발화지점에 의한 구분 (A)	화재의 발전단계 (B)	총 사고 시나리오 수 (C)
1. 사람이 활동하는 공간	1. 불씨가 형성된 단계	$A \times B = C$ 15개
2. 사람이 활동하지 않는 공간	2. 발화가 되어 불꽃이 형성된 단계	
3. 출입 통로	3. 격렬하게 불꽃이 전파되는 단계	
4. 밀폐되어 있는 공간		
5. 건물외부 지점		
총 15개의 사고 시나리오를 한 개의 사고 시나리오로 묶어서 평가		
		
건물내부의 화재로 인한 피해의 예측		

5.2.3 무시할 수 있는 리스크를 갖는 사고 시나리오의 제외

유해위험요인의 확인단계에서 설정한 사고 시나리오가 무시할 수 있는 수준의 리스크를 갖는 사고 시나리오라면 리스크 예측 과정에서 제외할 수 있다. 그러나 이러한 판단이 명백하고 객관적이며 평가자와 검토자간의 사전협의를 되어야 한다.

5.3. 확률의 특성

5.3.1 확률예측의 일반적인 방법

일반적으로 확률 값은 다음과 같은 방법으로 확보할 수 있다.

(1) 자료원으로 부터의 취득

(대표적인 자료원 : IEEE std. 500, OREDA, CCPS Reliability Handbook)

(2) 시나리오의 상관관계를 설명할 수 있는 관계 요인들에 대한 확률

화재의 발화와 관련된 확률을 계산하기 위하여 장치설비의 오류확률, 관계된 작업자의 실수 확률, 점화될 수 있는 물질의 존재 가능성 등을 예측할 수 있는 모델의 사용 (FTA, ETA 등)

(3) 기술자의 판단 또는 경험

기술자의 판단 또는 경험을 활용하여 사고발생 확률 값을 예측하는 과정에서 다음과 같은 오류에 대하여 주의하여야 한다.

(가) 평가자에 따라 평가결과가 높게 평가되거나 낮게 평가하는 것.

(나) 장치의 오류확률로만 확률 값을 해석하는 것.

(다) 자료원을 이용한 화재 확률 값을 예측할 때 자료에서 제공하는 시나리오 형태로만 분석하여 실제 화재시나리오의 특성을 무시하는 것.

(라) 이중으로 설치한 안전장치의 신뢰성이 높다고 간주하여 사고발생 확률이 “0”이라고 판단하는 것.

5.3.2 자료원을 이용한 확률 값 예측

자료원에서 정보들은 대부분 빈도 값의 형태로 제공되며 대표적인 빈도 값의 형태들을 보면 다음과 같다. 이러한 빈도 값의 특징은 단위분모 당 발생하는 개체의 숫자로 표현되며 단위분모는 시간, 대상자수, 대상범위 등이 포함될 수 있다.

- (1) 특정지점에서 화재가 발생할 수 있는 확률 [발생건수 / year]
- (2) 특정화재에 의하여 피해를 입을 수 있는 피해자 [피해자수 / 1,000명]
- (3) 특정형태의 건물에서 화재가 발생할 가능성 [화재건수 / 1,000개 빌딩]

5.3.3 모델을 활용한 확률 값 예측

모델을 이용한 확률 값 예측방법은 확률 값과 사건의 전, 후 과정을 좀 더 상세하게 분석할 수 있는 장점을 갖고 있다. 다음과 같은 모델을 활용한 확률 값 예측의 가장 큰 장점은 확률 값으로 신뢰성을 갖기 힘든 경우 단위기간이나 예상개체의 수가 적어서 확률 값의 편차가 심할 경우에 매우 유용하다.

- (1) 몬테카를로 모사법 (Monte-Carlo Simulation)
- (2) 마르코프 모사법 (Markov Simulation)

5.3.4 기술자의 경험이나 판단을 활용한 확률 값 예측

기술자가 판단하는 확률 값은 기술자의 개인적 특성에 따라 불일치성이 있으며 경험이나 판단에 의하여 확률 값을 예측하므로 불확실성을 갖고 있다. 이러한 기술자의 판단에 의한 확률 값은 다음과 같은 형태로 제공될 수 있다.

- (1) 특정 값의 형태 (예, 화재착화 확률 1.03×10^{-3})

- (2) 특정한 범위 (예, 확률 값 2등급 : 아차사고가 매년 3건 이상 발생하는 경우)

5.3.5 확률과 신뢰성

모든 화재안전 장치들은 화재가 발생했을 때 다양한 상태로 존재할 수 있다. 확률은 각종 설비가 의도대로 작동할 수 있도록 준비되어 있을 가능성을 의미하며 신뢰성은 각종 장치가 작동이 준비된 상태에서 작동이 원활하게 될 수 있는 확률을 의미하는 것으로 전원이 연결된 화재 감지기가 화재를 감지할 수 있는 확률을 의미한다.

5.4. 사고결과의 특성

사고결과의 영향은 <그림 2>의 화재 리스크 예측단계의 핵심사항으로 과거 사고사례로부터의 유추하거나 기술자의 판단 등에 의한 방법이 있다.

사고결과를 예측하는 과정에서 다음과 같은 오류를 주의하여야 한다.

- (1) 사고 시나리오의 전개과정에 따라 사고결과가 달라질 수 있다. 사고원인에 따라 사고 피해의 정도가 크거나 적을 것이라고 속단하지 말아야 한다.
- (2) 고의적인 방화인 경우 가연제와 강력한 점화원, 화재에 취약한 부분에서의 발화 등을 고려하여 항상 피해의 정도가 클 것이라고 예상하지만 일반적인 통계자료를 볼 때는 꼭 그렇지 않음을 알 수 있다. <평균 손실금액 대비 110% 수준 - ISO/TR 13387 (all parts), Fire safety engineering>
- (3) 각종 안전설비, 장치, 인터록 프로그램에 대한 과거 운전자료가 없을 경우에 잘못 분석할 수 있다.
- (4) 기술자의 판단만으로 평가를 할 때 분석이 잘못 수행될 수 있다. 특히, 다수의 시스템을 동시에 고려하여 평가를 해야 할 때 기술자가 모든 사항을 고려하여 평가하기 어렵다.

5.4.1 사고사례로부터의 사고결과의 예측

사고사례를 이용하여 화재에 의한 영향을 예측하고자 할 때는 다음의 사항을 주의하여야 한다.

- (1) 피해가 예상되는 구조물에 대한 모든 정보가 구체화되어 있어야 한다.
- (2) 구조물, 건물이 변경되었거나 용도가 변경되었을 경우에 과거의 사례는 무용지물이 될 수 있다.
- (3) 과거의 사례보다는 공개되어 있는 참고자료를 이용하는 게 더 정확한 결과를 가져올 수 있다.

5.4.2 모델을 이용한 사고결과의 예측

화재모델은 수학적 모델을 이용하여 화재의 결과를 예측하는 프로그램으로 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) 좀 더 세밀하고 객관적인 결과를 얻을 수 있다.
- (2) 사고의 전개과정에 대한 해석을 할 수 있다.
- (3) 사고에 의한 구조물이나 설비의 손상정도도 평가를 할 수 있다.
- (4) 설계의 변경을 통하여 확보할 수 있는 리스크 감소의 정도를 분석할 수 있다.
- (5) 숙련된 분석가가 아닌 경우에는 상용화되어 있는 전문 솔루션을 사용해야 하므로 예산적인 부담이 될 수 있다.

5.4.3 엔지니어의 판단에 의한 사고결과의 예측

피해의 규모에 대해서는 분석자가 사전에 명확한 정의를 내려야 하며 기술자는 해당 화재가 정해진 기준 중에서 어디에 속하는지를 판단한다.

엔지니어의 판단에 의한 사고결과의 예측은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

- (1) 엔지니어의 판단에 의한 사고결과의 예측은 불확실성을 내포하고 있다.
- (2) 엔지니어의 판단에 의한 화재결과 소규모, 중규모, 대규모 피해 등과 같이 크게 3개의 범주로 구분하여 결정한다.

5.5. 화재 리스크의 계산

화재 리스크에 대한 수학적 공식은 모든 시나리오의 확률값과 사고결과를 <식 1>과 결합시키는 것이다. 특정 사고에 대한 리스크는 해당 사고를 유발 할 수 있는 모든 시나리오의 확률 값과 그에 따른 피해의 정도를 곱하여 계산한다.

리스크 = $\sum f$ (해당 시나리오의 확률 값, 사고결과), 모든 시나리오 <식 1>

(식 1)을 좀 더 자주 사용하는 형태로 바꿔보면 <식 2> 또는 <식 3>의 형태로 바꿀 수 있다.

리스크 = \sum (해당 시나리오의 사고결과 × 확률), 모든 시나리오.....<식 2>

리스크 = 규정된 안전기준을 초과하는 모든 사고시나리오에 대한 확률.....<식 3>

6. 화재 리스크 판정

화재 리스크 판정은 평가한 결과가 사전에 정의한 리스크 기준에 부합되는지와 리스크가 초과되어 대책수립을 해야 하는지를 결정하는 단계이다.

6.1. 개인적 리스크와 사회적 리스크

개인적 리스크는 특정지점의 개인이 화재로 인하여 특정한 피해를 받을 수 있는지를 판정하는 것이며, 사회적 리스크는 특정범위내의 집단이 화재사고로 인하여 몇 명이나 피해를 받을지를 판정하는 것이다. 개인적 리스크와 사회적 리스크의 간단한 예를 들면 다음과 같다.

- (1) 개인적 리스크 : 화재사고로 인하여 반경 50m 내에서 1도 화상을 입을 수 있는 확률,
 $1.03 \times 10^{-3}/\text{yr}$
- (2) 사회적 리스크 : 화재사고로 인하여 반경 50m 내에서 1도 화상을 입을 수 있는 피해
자의 수 : 14명/yr

6.2. 리스크 허용 범위

리스크 허용 범위는 화재 리스크의 결과를 수용할지 여부를 결정하는 기준으로 해당 시설(혹은 건축물)의 의사결정권자가 결정하게 된다. 리스크 허용 기준은 의사결정권자가 임의대로 책정할 수 있는 것이 아니라, 국제적인 가이드를 토대로 해당 시설(혹은 건축물)에 맞게 조정하여 사용하여야 하는 것이다.

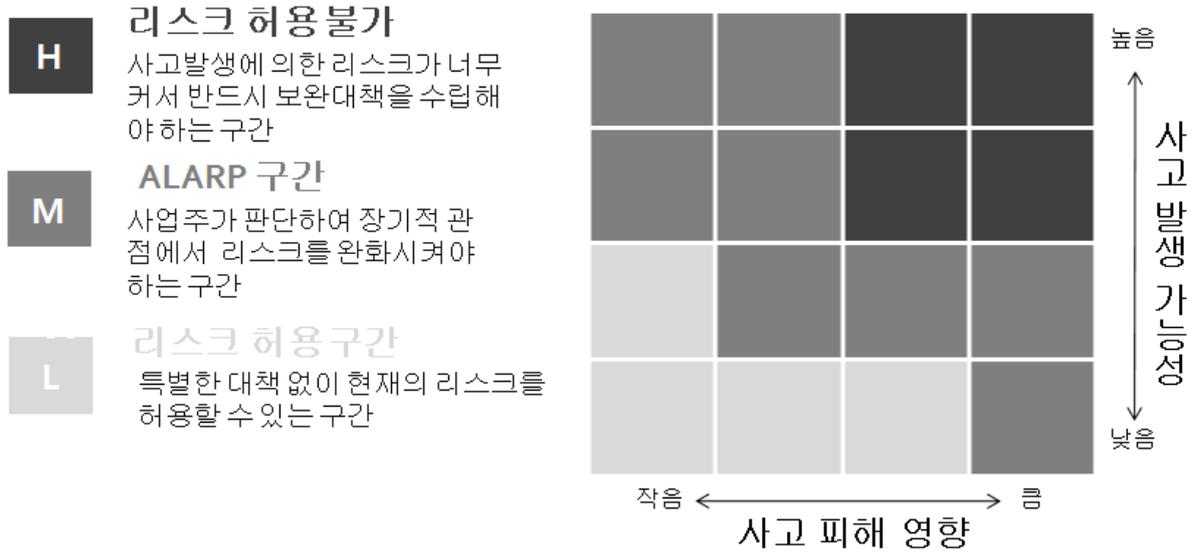
6.2.1 최근의 경험을 토대로 한 기준선의 정립

리스크 허용범위를 정립하는 첫 번째 단계는 과거의 사고사례를 토대로 수용할 수 있는 리스크의 범위를 결정하는 것이다. 즉, 화재사고로 인하여 예상되는 피해자의 수를 토대로 어느 범주까지 리스크로 수용할지를 결정하여야 한다.

6.2.2 기준선을 토대로 허용범위의 설정

리스크 허용범위의 설정을 위한 기준선이 정립이 되면 리스크를 완전히 수용할 구간, 조건부 수용구간, 리스크를 수용할 수 없는 구간으로 구체화한 후 구분하여야 한다.

6.2.3 ALARP에 근거한 허용범위의 설정



<그림 3> 리스크 수용에 대한 기준 개념 (ALARP)

사고 확률 값과 사고결과의 함수로 작성한 리스크 매트릭스를 토대로 리스크 허용범위를 구분하면 <그림 3>과 같다. 만약, 평가한 결과가 ALARP 범위에 위치하게 된다면 향후 리스크 감소대책을 수립하여 위험을 허용할 수 있는 구간으로 낮춰야 한다.