

KOSHA GUIDE

P - 4 - 2012

공장건물의 위험관리에 관한  
기술지침

2012. 7

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 서울산업대학교 안전공학과 이영순 교수

○ 개정자 : 이 정 석

○ 제 · 개정 경과

- 2009년 8월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

○ 관련 규격 및 자료

- API 752
- KOSHA GUIDE 「사고피해 예측기법」
- KOSHA GUIDE 「화학공장의 피해최소화대책 수립에 관한 기술지침」

○ 관련 법규

- 산업안전보건법 제49조의 2(공정안전보고서의 제출 등),
- 산업안전보건법 시행령 제33조의 7(공정안전보고서의 내용)
- 산업안전보건법 시행규칙 제130조의 2(공정안전보고서의 세부내용 등)

○ 적용 및 문의

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

공표일자: 2012년 7월 18일

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

## 공장건물의 위험관리에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 공장건물 위치에 따른 상주자의 위험도를 최소화함으로써 중대산업사고의 예방을 위해 필요한 관리적 사항을 제시하는 데 그 목적이 있다.

### 2. 적용범위

이 지침은 중대산업사고를 예방하기 위한 정유, 석유화학 및 화학업종 등의 공장건물에 대해 적용한다. 다만, 해상시설물에는 적용하지 않는다.

### 3. 정 의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “공장건물(Process plant building)”이라 함은 공정으로부터 위험물질이 누출되어 이로 인한 영향을 받거나 받을 수 있는 공장 내의 임시 가건물을 포함한 모든 건물을 말한다.

(나) “위험(Hazard)”이라 함은 고유의 물리·화학적 특성(가연성, 독성, 부식성, 저장된 화학물질 또는 기계적 에너지)으로 인해 사람, 자산 및 환경에 위해를 유발하는 요소를 말한다.

(다) “위험도(Risk)”는 사람, 환경 또는 일반 대중에게 위해한 영향을 초래하는 위험 노출 가능성과 관련된다. 위험도는 상해 또는 손실의 영향과 사고(Incident)의 가능성의 두 가지 항에서 경제적 손실 또는 인적 상해에 대한 잠재성의 측정을 의미한다.

(라) “산출(Evaluation)”이라 함은 건물에 대한 위험도를 결정하기 위해 위험을 분석하는 과정을 말한다.

(마) “위험도 평가(Risk assessment)”라 함은 정성적 또는 정량적으로 계산한

사고발생확률(Probability)과 피해의 크기(Consequence)를 결정하여 위험도를 산정하는 것을 말한다.

(바) “평가(Assessment)”라 함은 공장이나 시설에서 발생할 수 있는 사고의 가능성과 피해의 크기로 표현되는 리스크(Risk)를 허용기준(Acceptance criteria)과 비교함을 말한다.

(사) “총 위험도(Aggregate risk)”라 함은 평가 대상이 되는 건물 또는 시설 내에 존재하는 각 구성원의 위험도를 모두 합한 값을 말한다.

(아) “평가 시나리오 (Evaluation-case event)”라 함은 모든 사건, 그 사건에 미치는 영향, 그리고 가능하거나 또는 합리적으로 타당한 사고결과를 고려한 시나리오를 말한다.

(자) “개인적 위험도(Individual risk)”라 함은 특정 건물 내부 개인에게 미칠 수 있는 위험도(Risk)를 말한다.

(차) “스크리닝(Screening)”이라 함은 공정 및 시설에서 사용하는 특정한 물질과 공정 상태, 그리고 공장건물에 거주하는 사람의 위험을 이미 설정된 기준과 비교하여 보다 타당한 결과를 선정하는 절차를 말한다.

(카) “증기운 폭발(VCE)”이라 함은 가연성 가스 또는 물질의 증기운(Cloud)이 공기 중에서 폭발함을 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 의한다.

## 4. 공장건물 위험관리를 위한 공통사항

### 4.1 공장건물 내 근무자(출입자 포함)에 미치는 위험요소

#### 4.1.1 물질의 위험성

##### (1) 인화성 물질

(가) 점화원이 존재하는 경우, 인화성 물질은 플래쉬 화재(Flash fire), 제트 화재(Jet fire), 액면화재(Pool fire), 또는 화구(Fireball)를 유발할 수 있으며, 공장건물은 화재에 의한 복사열에 노출될 수 있는 잠재성을 가진다.

(나) 인화성 물질은 대기 중에서 증기운 혼합물을 형성할 수 있으며, 지연 점화가 발생하면 증기운 폭발이 발생할 수 있다. 폭발의 등급, 노출된 건물의 위치 및 특정 구조에 따라 건물 내 근무자에게 미치는 위험의 정도는 달라진다.

##### (2) 독성 물질

(가) 독성물질이 건물에 유입되면 공장 건물 내의 근무자는 독성 물질을 흡입할 수 있다.

(나) 독성 물질의 확산 특성, 누출 조건, 그리고 물질의 독성은 공장 건물의 거주자에 대한 독성 영향의 잠재성 평가에 고려되는 인자의 일부분이다.

##### (3) 기타 공정 물질

(가) 일부 공정 물질은 폭발반응 또는 화학적·열적 분해를 일으키는 잠재적 위험을 일으킬 수 있다.

(나) 이들 물질이 포함하는 사건(Event)은 공장건물과 거주자에 대해 폭발 영향, 독성 누출, 화재, 그리고 비산물에 대한 잠재 위험성을 갖는다.

#### 4.1.2 공정조건의 위험성

- (1) 고압: 고압 압축가스를 포함하는 용기의 결함은 가스의 폭발적 팽창의 피해 영향을 가져올 수 있으며, 위험한 폭풍파(Blast wave)를 형성한다.
- (2) 고온 : 고비점 액체와 저비점 액체의 급격한 혼합은 저비점 액체의 증기폭발을 유발할 수 있다. 예로, 뜨거운 오일을 포함하는 용기에 물의 첨가 또는 물에 용융금속의 주입은 위험한 폭발을 일으킬 수 있다.
- (3) 고온 고압 : 대기 끓는점 이상 온도에서 저장된 액체는 용기 결함에 의해 감압되면 일시에 다량의 증기가 발생하여 폭발한다(BLEVE). 압축가스 용기가 과열하여 급격한 압력의 변화가 일어나면 가스가 팽창하여 폭풍파를 형성하고, 점화원이 존재한다면 가연성 물질은 화구를 발생시킬 수 있다.

#### 4.1.3 사고 영향 인자

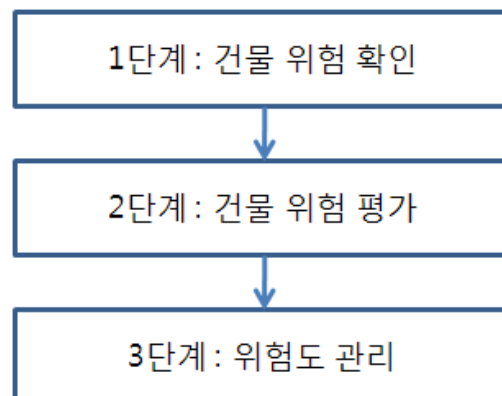
- (1) 사고의 형태 또는 잠재적 영향을 결정하는 인자는 다음과 같다.
  - (가) 공정 물질의 고유 특성 : 인화성, 연소범위, 증기의 확산 특성, 화염의 전파 특성 등의 변수
  - (나) 누출 조건 : 온도, 압력, 누출 속도 및 시간, 누출 위치 등의 공정 특성.
  - (다) 기타 현장 특정 조건 : 공기와의 사전 혼합 정도, 연소 동안 생성된 난류, 누출조건, 기상 상태, 그리고 누출 지역의 물리적 배치 등.
  - (라) 공정 설계와 통제 : 공정 정체량의 크기와 잠재적 감소, 공정 통제, 공정 알람과 인터록, 정지시스템, 완화시스템 등.
  - (마) 비상 대응 : 자동 정지 및 배출과 같은 비상 대응, 공정개입, 대피, 비상팀 대응 등.
  - (바) 공정안전관리시스템(PSM)

## 4.2 대상 공장건물의 위험요소

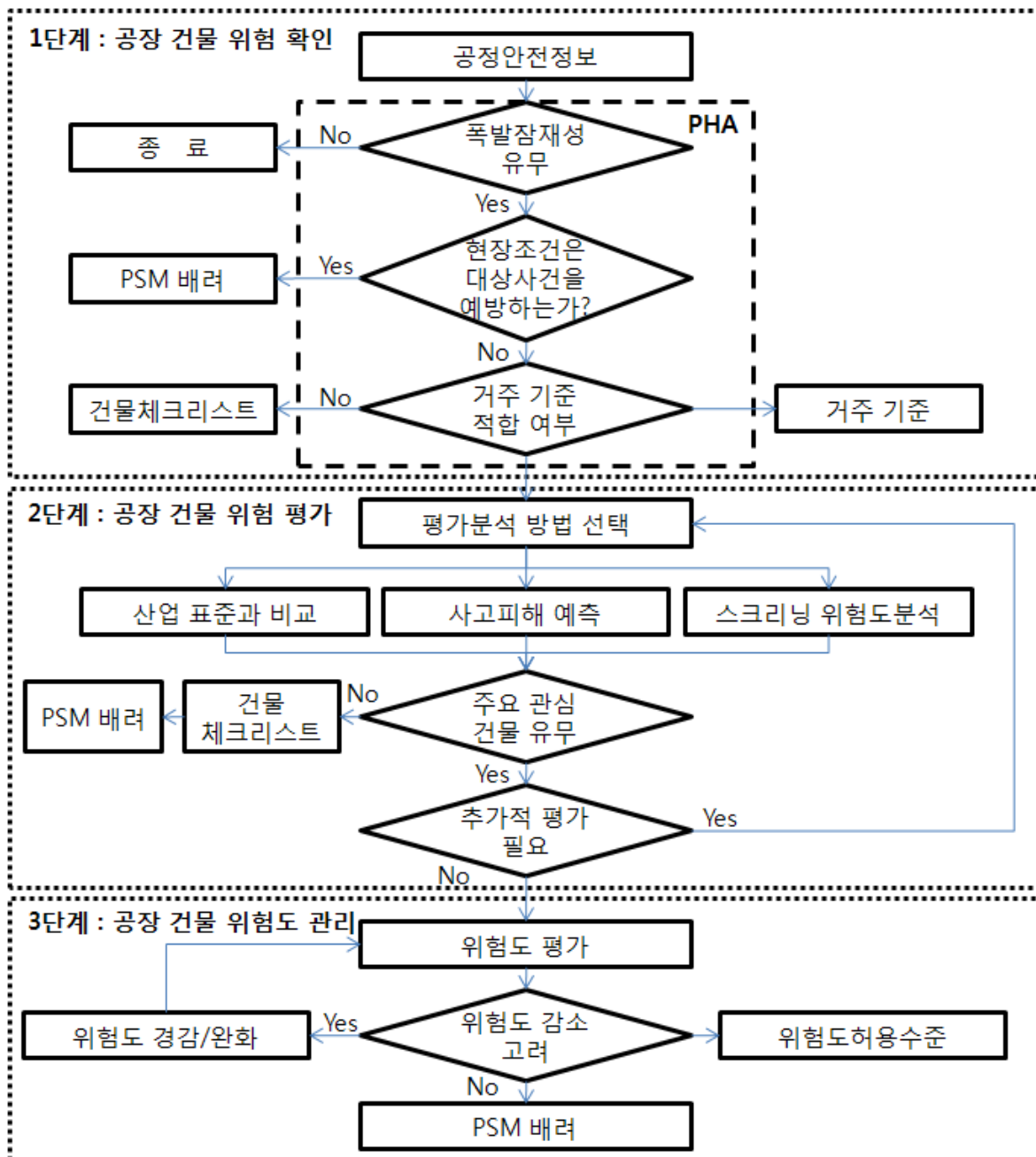
- (1) 4.1항에 제시된 인자는 평가되는 설비 또는 공정에서 형성되는 결과에 의존하는 잠재 사고의 가능성(Likelihood)과 심각도(Severity)에 영향을 준다. 동시에, 건물 설계, 구조, 기능, 거주, 그리고 위치에서 여러 변수가 있다.
- (2) 위험도 감소 대책이 요구되는 일부 공장건물에 대해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.
  - (가) 보유량(Inventory) 감소를 위한 공정 변경 또는 관심 물질의 제거
  - (나) 가능한 누출의 가능성을 줄이기 위한 예방 수단
  - (다) 완화 시스템의 설치
  - (라) 화재, 폭발 또는 독성물질 누출에 의한 영향을 최소화할 수 있는 건물 구조의 개선

## 4.3 공장건물 위험도 평가 및 위험관리 절차

- (1) 폭발로부터 건물 거주자에 대한 위험과 위험도 관리를 위한 3단계 평가절차는 <그림 1>과 <그림2>와 같다. 단계별 접근방법은 건물에 근로자가 거주 시 이들에게 어떤 위험이 있는가를 체계적으로 확인하고 평가하기 위해 사용된다.



<그림 1> 폭발 위험도 분석 단계



<그림 2> 공장건물의 위험도 평가 및 위험관리 절차

(2) 분석 절차는 검토되는 건물의 거주자에 대해 중대한 위험도가 없다면 어떤 단계에서도 종료될 수 있다. 또한 분석은 절차의 순서에 따라 수행하는 것이 원칙이지만 1단계의 적용을 고려한 후에는 2 단계 또는 3 단계를 직접적으로 수행할 수도 있다.



- (가) 1 단계 : “건물과 위험 확인(Building and hazard identification)”은 거주 수준과 폭발 잠재성을 가진 공정 부근 지역에 근거한 조사(Investigation)를 먼저 수행하여야 한다.
- (나) 2 단계 : “건물 평가(Building evaluation)”는 건물 거주자의 잠재적 위험을 평가하기 위한 것으로, 산업표준과 비교, 사고결과크기 분석, 스크린 위험도 분석 방법 중 전부 또는 일부를 사용한다.
- (다) 3 단계 : “위험도 관리(Risk management)”는 건물에 대한 복잡한 평가를 수행하기 위해 정성적 및 정량적 위험도 평가 도구(Risk-assessment tool)의 사용에 의해 산출된 위험도를 평가하여 위험도를 감소하고 관리하도록 한다.

#### 4.4 기술지침의 적용 시 고려사항

- (1) 이 기술지침을 적용하기 위해서는 다음 사항을 사전에 준비하여야 한다.
- (가) 비상조치계획 및 절차 : 정상 근무 및 비상 시 공장건물 근무자의 수와 역할, 최대 수용인원 등의 기준을 정한다.
- (나) 평가 시나리오 : 공장건물에 영향을 주는 잠재적 화재, 폭발, 그리고 독성 누출 사고를 포함하는 시나리오를 작성한다.
- (다) 사고피해 모델링/분석 프로그램 : 고위험 물질의 중대한 누출 가능성에 대한 영향을 평가하기 위하여 적절한 프로그램을 활용한다.
- (라) 위험도 허용기준(Risk acceptance criteria) : 정성적 또는 정량적으로 사업장의 위험도 허용여부를 결정하기 위해 허용기준을 정한다.

#### 4.5 공장건물 운영 기준 및 비상 대응 절차

##### 4.5.1 운영 전략

- (1) 사업장은 개인 작업 환경과 운영 방침에 따라 다음 사항을 고려하여 거주기준(Occupancy criteria)을 수립하여야 한다.

- (가) 공정 내부 또는 부근에 위치한 건물에서 거주하는 사람의 수를 고려한다. 다만, 운전원, 현장 관리자, 계기 운전자, 기술자, 그리고 정비사 등과 같은 직접 관련이 있는 직원은 가까운 지역에 위치하도록 해야 한다.
- (나) 공정 지역과 매우 근접한 건물의 거주 특성 : 부정기 또는 정기적으로 사람들이 모이는 활동을 고려하여야 한다. 작업장 또는 의무실과 같이 공정은 아니지만 여러 사람이 포함되는 활동, 공정 설비에 접근할 필요가 없는 사람의 교육 활동, 그리고 주변 식사, 라커 또는 설비와 관련된 활동이 포함되어야 한다.
- (다) 공정 지역 외부를 고려한 인원 : 분석 기술자, 공정 운전자, 그리고 보수자 등과 같은 인원은 주로 공정지역 외부에 위치한 단위 설비에 책임을 수행하는 작업 책임을 가지고 있다. 이들 인원은 보고서를 작성하고, 전화를 사용하고, 굿은 날씨로부터 피난처를 찾기 위해 건물 가까운 공정지역(예로 운전자 피난처)에 임시적으로 들어간다.
- (라) 피난 능력 : 건물은 피난을 위한 적절한 출구를 제공해야 한다. 화재, BLEVE, 그리고 일부 VCE의 결과로 잠재적인 사고가 일어날 수 있다. 잠재적 상황을 알리기 위해 감지기과 알람 및 피난 능력이 제공되어야 한다. 폭발반응 또는 화학적·열적 분해에 대한 잠재성을 가지는 공정 물질은 일부 또는 경고 없이 독성, 화재, 폭발을 일으킬 수 있으므로 충분한 초기 경고가 제공되어야 한다.

#### 4.5.2 거주기준

- (1) 거주기준(Occupancy criteria)은 두 가지 방법이 있으며, 사업장은 단일 방법 또는 이중 접근 방법을 조합하여 표준을 정할 수 있다.
  - (가) 거주와 비거주 건물을 나타내기 위한 정량적 표준을 사용하는 사업장에 의해 거주와 비거주를 정의할 수 있다. 거주 건물은 직원이 통제소, 연구소, 사무실과 같은 그들 작업의 중요 부분을 하는 동안 거주하는 건물로 정의할 수 있다. 비거주 건물은 일시 작업 또는 공정 모니터를 수행하기 위해 가끔 작업자가 방문하는 건물로 정의할 수 있다.
  - (나) 거주 부하는 건물에서 거주자에 대해 총 통합 시간(Total integrated time)으로써 정의된다. 거주 부하는 일반적으로 연평균 특정 기간 동안 사

람이 머무는 시간으로 표현된다. 거주 부하 허용 표준은 ‘200~400 시간/주’로 사용된다. 거주 부하를 결정하기 위해 고려되는 인자는 다음과 같다.

- ① 방문자, 협력업체, 그리고 훈련생과 같은 외부 직원의 거주
- ② 기기의 교정(Calibration) 및 보수와 같은 작업자의 일상적 수행 활동

(다) 개인 거주(Individual occupancy)는 개인이 건물에서 머무는 총점유시간 %로 정의한다. 개인 거주 표준은 일부 사업장에서 ‘25%-75%’의 범위가 쓰인다.

(라) 일정 집중 거주(Peak occupancy)는 주어진 시간 동안에 잠재적으로 폭로된 사람의 수로써 정의한다. 다만 허용 일정 시간동안 증가된 거주 표준은 5~40인으로 한다.

#### 4.5.3 비상 대응과 관련된 공장건물의 평가

- (1) 비상조치계획을 수립할 때에는 비상 시 거주자의 역할을 명확히 수행할 수 있는가를 고려하여야 한다.
- (2) 거주자가 건물 내에 머무를 필요가 있거나 또는 직원이 비상 시 건물에 들어갈 필요가 있다면 건물의 평가기준은 보다 엄격하게 적용하여야 한다.
- (3) 비상 대응과 관련된 건물로는 통제소와 비상대응 피난처 등이 있다. 원격 통제소와 같은 건물은 안전한 대피가 이루어질 수 있도록 더 엄격한 기준으로 평가되어야 한다.

#### 4.5.4 공장건물의 운영조건 변경

- (1) 건물의 거주자 수가 증가되거나 비상대응 건물로서의 역할이 변경될 때에는 재평가하여야 한다.

#### 4.6 1단계 : 공장건물 위험확인

1단계에서는 예비위험분석(PHA) 또는 폭발에 의해 잠재적으로 영향을 받는 건물을 확인하기 위한 현장 특정 건물의 정성적 위험성평가를 실시한다.

##### 4.6.1 공정 안전 자료

- (1) 공장건물의 위치로부터 위험 결과를 확인하고 평가하기 위한 첫 단계는 자료의 수집이다. 자료수집은 폭발의 확률 또는 강도에 영향을 주는 잠재성에 대한 현장 특성 변수에 초점을 둔다.
- (2) 공정 안전 자료는 공정 단위, 공정 조건, 그리고 물질 처리에 대한 기본 정보를 제공할 수 있다. 필요한 자료의 양은 각 공정 평가 단계에 따라 다르다. <표 1>은 단계별 필요한 공정안전자료의 종류를 보여준다.

<표 1> 단계별 공정안전자료 예

단계	공정안전자료 예
1 단계	MSDS 거주 건물 비상 역할 건물
2 단계	1단계 자료 물질 보유량 온도, 압력, 유속 건물구조, 재질과 면적 공정과 건물 사이 거리 유사 공정 폭발 빈도 자료
3 단계	1,2 단계 자료 과거 사고 이력 건물 설계와 구조 상세 자료 운전절차 완화시스템 자료 기타 공정의 적절한 자료 안전관리 시스템

#### 4.6.2 대상 물질

- (1) 고온 또는 고압 공정의 가연성 가벼운 탄화수소, 화학물질 그리고 가스 또는 무거운 탄화수소와 같은 물질은 누출 후 증기운 폭발(VCE)의 잠재성을 가진다. 증기운을 형성할 수 있는 물질의 예로는 에탄, 프로판, 부탄, 그리고 올레핀계(에틸렌, 프로필렌, 그리고 부틸렌) 등의 누출을 들 수 있다. 휘발성 물질이 고온에서 누출될 때는 증기운을 형성할 수 있다.
- (2) 과압의 주요 원인은 BLEVE, VCE, 압력용기의 기계적 결함에 의한 용기폭발 및 화학물질의 폭발반응·분해반응 등이 있다.

#### 4.6.3 현장조건

- (1) VCE 잠재성에 영향을 주는 인자는 밀집과 제한 공간, 공장 배치, 지역 공간, 점화원, 지형, 배수, 누출된 물질의 량, 그리고 누출 속도 등이 있다. 특히, 밀집과 제한 공간은 폭발의 크기에 기인하는 핵심인자로서 고려된다.
- (2) 현장조건을 검토할 때는 배관지지대(Pipe rack), 칼럼, 용기, 그리고 서로 인접한 다른 공장 설비 등의 배치상태를 고려하여야 한다.
- (3) 운전온도, 운전압력, 그리고 설비에서 물질 보유량과 같은 공정 조건은 VCE에 영향을 줄 수 있는 현장 조건으로 작용한다. 차단밸브의 잠금, 설비의 압력 배출, 그리고 비상정지시스템의 가동은 누출을 경감시키는데 기여할 수 있다.
- (4) VCE의 잠재적 심각도에 영향을 주는 인자는 다음과 같다.
  - (가) 누출공의 크기와 초기 누출 속도
  - (나) 누출을 감지하기 위해 요구되는 시간
  - (다) 비상조치 활동의 시의성과 효율
  - (라) 누출물질이 하강하는데 요구되는 시간

(마) 누출 물질이 회석되어 없어지는 거리와 시간

(바) 누출 시 잠재 점화원의 위치

#### 4.6.4 공장건물의 거주기준 적합성 평가

- (1) 현장조건에 따라 폭발로 인한 영향이 건물에 미칠 것으로 예상된다면, 공장건물이 4.5.1에 따라 수립한 거주기준을 만족하는지 평가하여야 한다.
- (2) 거주기준을 만족하지 못하는 건물은 보다 상세한 평가를 수행하여야 한다.
- (3) 거주기준을 만족하는 공장건물은 <부록 1>의 건물 체크리스트를 이용하여 평가할 수 있다.

#### 4.7 2 단계 : 공장건물 위험 평가

5.1.4항의 (2)목에서 거주기준을 만족하지 못하는 공장건물은 아래 5.2.1항, 5.2.2항 혹은 5.2.3항 중 하나의 방법에 따라 공장건물 위험을 평가하여야 한다.

##### 4.7.1 산업표준 비교평가

- (1) 폭발 영향의 경감을 위해 산업계, 보험회사, 정부 및 서비스기관 등에서 제공하는 건물 설계와 공간에 대한 표준과 기술지침을 활용하여 이를 상호 비교하여 평가 한다.

##### 4.7.2 사고피해예측

- (1) 사고피해예측의 목적은 폭발로 인한 피해를 경감하고, 건물에 미치는 영향, 설비 내부 또는 거주자에 대한 잠재적 상해 또는 건물의 손상 정도를 평가하는데 있다.
- (2) 사고피해예측을 실시할 때에는 다음의 수동적 완화시스템 및 적극적 완화시스템을 모두 고려하여야 한다.

- (가) 수동적 완화시스템은 폭발 피해를 제한하기 위한 설비의 설계, 배치 또는 공간확보 등을 포함한다.
- (나) 적극적 완화시스템은 물질의 누출을 줄이기 위한 자동 차단밸브, 비상 자동정지 시스템, 그리고 자동 물분무 시스템 등을 포함한다.
- (3) 폭발 과압을 계산하는 방법으로는 TNT-당량, 멀티 에너지, 그리고 Baker-Strehlow 방법 등이 있다. 계산된 과압이 건물의 허용압력을 초과한다면, 보다 상세한 평가를 고려하여야 한다.
- (4) 건물이 폭발 영향으로부터 거주자를 충분히 보호할 수 있다면, 상세평가를 실시하지 않아도 되며, 건물 체크리스트를 사용한 평가가 가능하다.
- (5) 사고피해예측을 실시한 후 과압에 대한 건물의 대응을 고려하여야 한다. 폭발에 대한 건물의 대응은 건물 구조 설계, 건물 재질, 폭심으로부터의 건물 방향, 그리고 폭발원 등에 따라 달리하여야 한다.
- (6) 사고피해예측을 실시할 때에는 폭발원 등에 다른 영향(<표 2>), 건물요소별 과압영향(<표 3>), 건물재질에 따른 과압영향(<표 4>), 사람에 대한 과압영향(<표 5>) 등을 고려하여야 한다.

&lt;표 2&gt; 건물에서 가능한 폭발 영향

폭발원	폭발형태	폭풍과	건물거주자 위험
가연성 물질 증기운	폭연	장기간 보통 고압	폭풍과 및 화재에 대한 건물 손상, 연소생성물, 유리파편
응축 화학물질 폭발	폭굉의 폭연	단기간 높은 고압	폭풍과에 의한 건물 손상, 비산물, 유리파편, 진동
분진	폭굉	장기간 낮은 과압	화재, 폭풍과에 의한 건물 손상, 유리파편, 연소생성물
BLEVE	물리적 팽창 및 폭굉	장기간 보통 과압	화재, 연소생성물, 폭풍과에 의한 건물 손상, 유리파편, 비산물
고압가스 누출	물리적 팽창	단기간 높은 과압	폭풍과에 의한 건물 손상, 유리파편, 비산물

&lt;표 3&gt; 건물 요소별 과압 영향

건물요소	과압, kPa(psi)	영향
유리창	1.4(0.2)	파손
유리창	3.4-6.9(0.5-1.0)	신체를 침투할 수 있는 속도로 비산
목재틀	6.9-13.8(1.0-2.0)	구조물 파괴와 잠재적 붕괴
강철피복	6.9-13.8(1.0-2.0)	벽, 천장, 가구 내부 손상
콘크리트석면피복	6.9-13.8(1.0-2.0)	산산이 부서짐
벽돌피복	13.8-20.7(2.0-3.0)	날아감
비강화벽돌	6.9-20.7(1.0-3.0)	벽 붕괴, 잠재적 비산



&lt;표 4&gt; 건물 재질별 과압 영향

건물 재질 유형	과압 kPa(psi)	영향
목재 건물	6.9(1.0)	건물 전복, 지붕 및 벽 파괴
	13.8(2.0)	대부분 파괴
	34.5(5.0)	전체 파괴
공학적 강철틀 건물	10.3(1.5)	피복 제거와 내부 벽 손상, 낙하물 위험
	17.2(2.5)	건물틀은 유지되나 내부 벽은 뒤틀릴 정도로 파괴됨
	34.5(5.0)	전체 파괴
비강화벽 건물	6.9(1.0)	일부 벽 파괴
	8.6(1.25)	벽 및 지붕은 부분적 파괴
	10.3(1.5)	대부분 파괴
	20.7(3.0)	전체 파괴
강철 및 콘크리트 강화건물	10.3(1.5)	벽 손상
	13.8(2.0)	지붕 슬라브(slab) 파괴
	17.2(2.5)	대부분 틀 파괴
	34.5(5.0)	전체 파괴
강화콘크리트 건물	27.6(4.0)	지붕 및 벽 휨. 내부 벽 손상
	41.4(6.0)	건물 중대 손상 및 파괴
	82.7(12.0)	전체 파괴

&lt;표 5&gt; 비보호된 거주자의 과압 영향

영    향	허용 과압, kPa(psi)
고막파열	34.5(5)
치명적 머리 상해	55.2(8)
중대한 폐 손상	68.9(10)
치명적 신체 상해	75.8(11)

(7) 폭발로 인해 건물이 입게 되는 손상의 정도는 과압과 폭발 충격을 포함한 여러 가지 변수에 의존한다. 건물변수로는 건물의 재질, 건물의 형상, 두께와 폭, 보강재와 연결부, 창문 및 물리적 상태 등이 있다.

#### 4.7.3 스크리닝 위험도 분석

- (1) 스크리닝 위험도 분석은 공장건물의 거주자에 대한 개인적 위험도를 결정하기 위해 사용된다.
- (2) 공장건물 거주자에 대한 위험도를 결정하기 위해 폭발피해의 크기와 사고발생빈도 평가를 함께 고려한다.
- (3) 스크리닝 위험도는 아래 사항을 고려하여 평가(분석)하여야 한다.
  - (가) 폭발이 발생할 수 있는 공정 부근에 공장 건물과 구조물 형태 확인
  - (나) TNT 당량, 멀티에너지, Baker-Strehlow, 또는 다른 방법을 이용하여 각 건물에서 각 사건에 대한 폭발 부하 결정
  - (다) 설비에서 공정 형태에 대해 이력 또는 산업 데이터에 근거하여 폭발의 빈도 결정
  - (라) 해당 건물과 과압에서 거주자의 상해 확률 산출
  - (마) 폭발빈도와 개인이 건물에 거주하는 시간의 백분율에 (라)에서 구한 상해 확률을 곱하여 단일 사건에 대한 개인적 위험도 산출
  - (바) 모든 건물 거주자에 대한 총계 위험도 계산
  - (사) 사업 수행여부를 결정하기 위해 사업장의 위험도 허용기준과 (바)에서 계산된 위험도를 비교
- (4) 스크리닝 위험도 분석에서는 간단하고 보수적인 접근법으로 <표 4>를 사용할 수 있다.

#### 4.7.4 추가 평가

- (1) 평가한 결과가 사업장의 허용위험기준을 초과하면 보다 상세한 평가를 실시하여야 한다. 여기서 산업표준 비교평가보다 상세한 평가란 사고피해예측 혹은 스크리닝 위험도분석을 말하며, 사고피해예측보다 상세한 평가란 스크리

닝 위험도분석을 말한다.

- (2) 2 단계 평가 절차는 부가적 산출 및 위험도 평가의 필요성을 확인하기 위하여 거주자에게 충분한 위험을 가지는 건물임을 확인하여야 한다.
- (3) 부가적 산출(Evaluation) 및 평가(Assessment)가 필요 없는 건물은 체크리스트에 의해 일반적인 위험도 경감 대책을 마련할 수 있다.

## 4.8 3단계 : 위험도 관리

### 4.8.1 관심사건 확인

- (1) 시나리오는 공장건물 위험평가 단계에서 도출되는데, 대체로 아래 유형 중 하나 이상의 관심사건을 포함하였는가를 확인한다.
  - (가) 용기 또는 배관에서와 같은 중요 누출 결과로 인한 압력 고장
  - (나) 배관 또는 용기에서 부식 구멍 또는 용기 연결부 손실
  - (다) 밸브 또는 대기 연결부의 부적절한 개방
  - (라) 용기 또는 탱크의 과충전
  - (마) 설비의 기계적 충격 또는 깨지기 쉬운 고장
  - (바) 펌프 패킹 또는 메커니컬 실의 고장
  - (사) 선적과 하역을 포함하는 이송 운전
  - (아) 반응 폭주 결과와 같은 화학반응
- (2) 선택된 시나리오가 다음과 같은 인자를 고려하였는가를 확인한다.
  - (가) 설비의 과거 사고이력 : 설비에서 과거 사고이력 검토는 공장건물에 영향을 주는 폭발에 대한 잠재성을 증가시키도록 한다.
  - (나) 유사 업종에서의 사고이력 : 유사 설비에 대한 산업 사고 정보는 가능 시나리오를 확인할 때 고려된다.

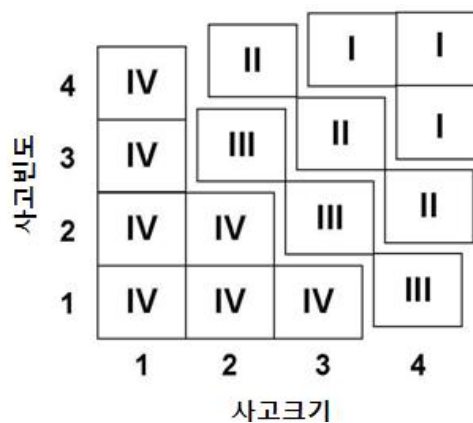
- (다) 공정 조건 : 지극히 높거나 또는 낮은 온도 및 압력, 반응성 또는 부식성 공정 물질, 그리고 발열반응과 같은 일정 공정 조건은 폭발의 확률을 증가시킨다.
- (라) PSM 이행상태평가 : 사업장의 PSM 이행상태평가는 중대 사고의 빈도를 감소시킨다.
- (마) 보수와 검사 : 보수와 검사는 배관과 압력 배출 밸브를 포함하는 압력 유지 설비의 폭발 가능성을 줄이기 위해 정기적으로 검사됨을 확인한다.

#### 4.8.2 위험도 평가 방법

위험도 평가(Risk assessment)는 특정 사건 또는 정성적 및 정량적 시나리오를 확인하고 분석한다. 시나리오의 빈도와 사고크기를 평가하고, 건물 거주자에 대한 총괄 잠재 위험도(Overall potential risk)를 정의한다.

##### (1) 정성적 위험도(Qualitative risk)

- (가) 정성적 위험도의 결정은 경험을 기반으로 하는 위험도 평가방법이다.
- (나) 관심 시나리오가 확인된 후, 공장건물에 영향을 주는 잠재성은 <그림 3>에서와 같이 위험도 행렬을 사용하여 순위화 하고, <표 6>에서와 같이 결과 순위 등급을 부여한다.
- (다) 위험도 행렬을 사용한다면 가능성(Likelihood)과 사고크기(Consequence) 등급의 표준 설명이 정의되어야 한다.



<그림 3> 위험도 행렬

&lt;표 6&gt; 위험도 등급

위험도 순위	등급	설명
I	허용불가 (unacceptable)	위험도 III 등급으로 통제하기 위해 공학적·관리적 통제에 의해 우선순위로 완화되어야 함
II	바람직스럽지 못함 (undesirable)	위험도 III 등급으로 통제하기 위해 공학적 통제에 의해 완화되어야 함
III	조건부 허용 (ALARP)	절차 및 관리의 변경
IV	허용(acceptable)	완화 불필요

## (2) 정량적 위험도(Quantitative risk)

(가) 건물 거주자에 대한 위험도의 정량적 분석은 FTA와 ETA를 포함하는 기술을 사용한다.

## 4.8.3 위험도 비교

- (1) 위험도 결정 후 위험 감소 대책이 취해질 것인가에 대해 결정되어야 한다. 평가된 위험도와 사업장의 위험 허용 수준과 비교하여 결정한다.
- (2) 추가적 위험감소대책이 제안될 때, 위험도가 충분히 감소되는지를 확인하기 위해 위험 감소 대책으로 인한 위험도는 재평가되어야 한다.

## 4.8.4 위험도 허용 수준

- (1) <그림 3>의 전형적 위험도 순위 행렬은 정성적 위험도 허용 수준(Risk acceptance criteria)을 포함한다.
- (2) 정량적 위험도 결정 수준(Quantitative risk decision criteria)은 허용 위험도에 대해 특정 수치화 값으로 나타난다. 사업장은 위험도 평가를 개시하기 전에 위험도 허용 수준을 설정해야 한다.

#### 4.8.5 위험 감소 대책

(1) 예방 대책 : 발생으로부터 사고 예방은 위험도를 줄일 때 가장 우선순위이다.

(가) 위험 물질의 인벤토리 감소

(나) 공정 제어, 비상 정지, 그리고 중복 수단과 같은 공학적 제어

(다) 반응 폭주 또는 부식에 대한 잠재성을 감소하기 위해 공정 조건 또는 재료의 변경

(라) 부식성 유체에서 배관과 설비에 대한 검사 주기 증대

(마) 설비 재질 개선

(바) 사고 가능성을 줄이기 위해 크레인 리프트 및 굴착과 같은 작업 절차 강화

(사) 열작업(Hot work), 락아웃/태그아웃(Lockout/tagout), 라인 브레이킹(Line breaking)에 대한 허용과 같은 관리 통제 등

(2) 건물에 대한 전형적 완화 대책

(가) 직원 재배치 또는 건물 내 룸(Room) 기능 재배열

(나) 창문 제거

(다) 거주자에게 위험도를 감소시키기 위해 창문 변형.

(라) 강화 출입구와 문 틈 감소 또는 제거

(마) 연결 강화와 유연성 향상을 위해 건물에 구조적 보강 또는 성능 변경

(바) 폭발과 추체로부터 보호를 위해 외부 벽 설치

(사) 위험에 대한 충분한 거리 또는 폭발 내성 설계를 사용한 새로운 건물 건설

(아) 폭발성 증기의 역류를 막기 위해 바닥(Floor)과 허브드레인(Hub drain) 설계

(3) 폭발과압을 고려한 공장건물의 변경관리

(가) 변경관리 개정은 공장건물에 영향을 주는 운전 또는 공정이 있을 때 과압을 고려하여 실시하여야 한다.

(나) 변경관리는 폭발 영향 평가, 건설 기간에 폭발내압 설계 방침, 그리고 폭발 부하에 관련된 건설 세부사항을 포함도록 한다.

(4) 건물의 운영조건 분석을 통해 상주자의 수를 감소시키는 방법을 확인할 수 있다. 건물에서 상주자의 감소는 예상된 건물 손상과 거주자의 상해 확률에 근거한다.

## 5. 화재 위험도 평가

<그림 4>는 건물 거주자에 대한 화재 위험성을 평가하기 위한 절차이다.

### 5.1 화재 위험도 평가 인자

(1) 대상 물질(Materials of concern)

(가) 설비 주변에 위치한 건물에 화재의 폭로 잠재성을 가지는 공정의 가연성 물질

(2) 건물 운영 조건(Building occupancy)

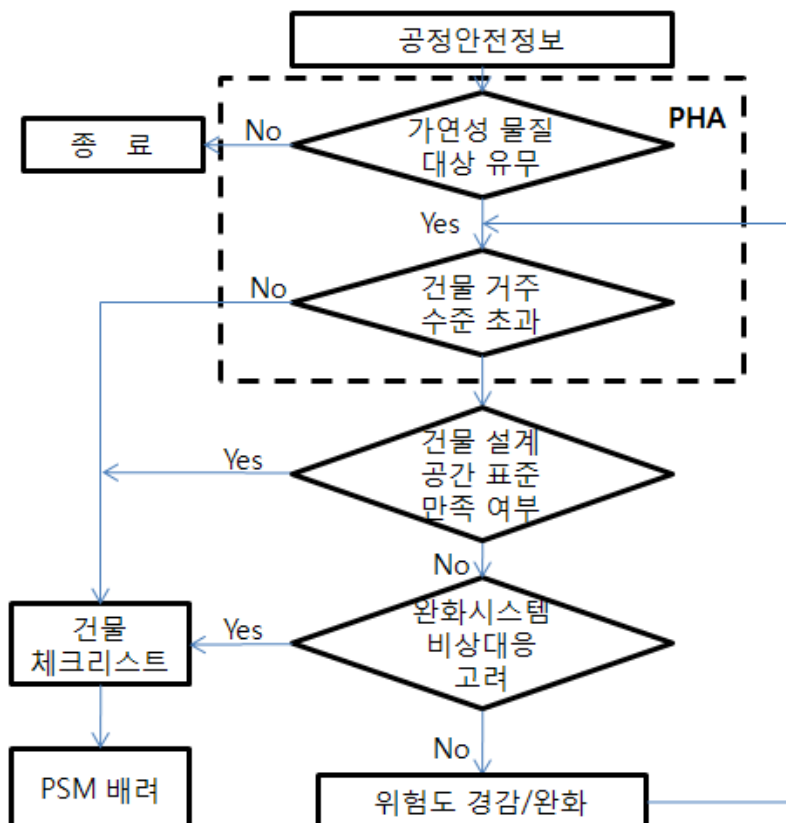
(가) 현장 조건이 화재로 인한 잠재성을 결정할 때, 공장 건물은 화재 위험에 대해 사업장의 미리 정의된 거주 표준과 비교하여야 한다.

(3) 공간(Spacing)

(가) 건물이 직접적으로 화재에 노출되지 않는다면, 구조물에 대한 화재 위험은 대부분의 건물 형태 보다 낮다.

(나) 복사열 영향은 거리에 따라 두드러지게 감소된다.

(다) 불연성 구조물의 건물 또는 일부 연소성 물질이 포함된 건물은 일반적으로 건물이 직접 영향을 받지 않는다면 최소 관심사이다.



<그림 4> 화재 위험도 분석 절차

## 5.2 완화와 비상 대응

- (1) 외부 화재에 폭로된 건물에서 거주자의 위험은 건물 구조물질, 화재로부터 거리, 가연성 증기 점화 예방 시스템에 의존한다.
- (2) 건물 설계는 전형적으로 비상시 거주자의 피난 용이성, 화재진압 수단의 활성화, 그리고 비상대응 계획이 수행되기 위한 충분한 시간을 제공해야 한다.
- (3) 건물의 비상 대응 계획은 적합한 피난처에서 대피를 위한 보호구 사용과 같



은 작업자가 적합한 수단을 취하는 것을 포함하고, 또한 바람이 불어오는 방향 또는 측면방향에서 안전하게 대피하는 바람 조건에 의존한다.

### 5.3 화재 위험 경감 대책

#### 5.3.1 예방 대책

- (1) 전기설비는 가연성 물질의 점화원 예방을 위해 적합하도록 설치한다.
- (2) 배관과 설비에 대해 검사 프로그램을 마련하여 실시한다.
- (3) 열작업(Hot work), 록아웃/태그아웃(Lockout/tagout), 라인 브레이킹(Line breaking) 등과 같은 관리 통제를 제공한다.
- (4) 사고의 가능성을 감소시키기 위해 크레인 리프트와 굴착과 같은 작업 절차를 강화한다.
- (5) 위험 물질의 인벤토리를 가급적 줄인다.
- (6) 폭발반응 또는 부식에 대한 잠재성을 줄이기 위해 공정 조건 또는 물질을 변경하도록 한다.
- (7) 구조물의 향상을 꾀한다.

#### 5.3.2 완화 대책

- (1) 이격 거리와 방벽(Barrier)에 의한 화재로부터 물리적 분리를 제공한다.
- (2) 차단 밸브를 설치한다.
- (3) 누출 억제 시스템을 설치한다.
- (4) 적합한 화재 저항 외부 건물 구조를 제공한다.

(5) 다음을 포함하는 건물 내 외부에 적합한 화재 및 연기 진압 설비를 제공한다.

(가) 건물에 대한 소방 및 진압 시스템과 적합한 위치에서 워터 스프레이 또는 외부 모니터

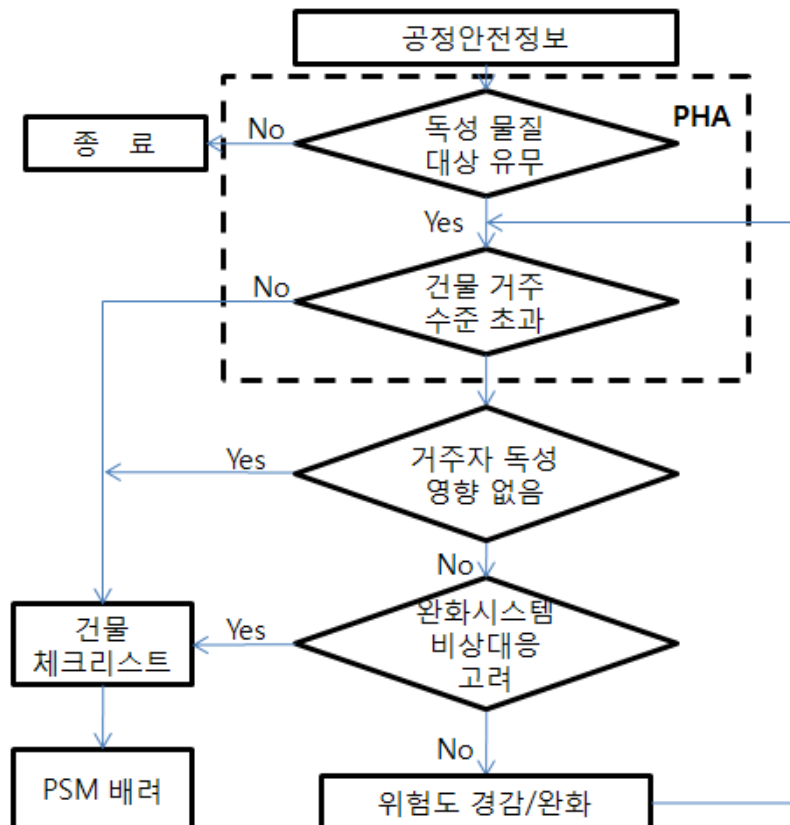
(나) 연소 생성물을 검출하고, 공기흡입구 차단, 건물 내 공기 순환 차단과 같은 건물 환기 통제

(다) 건물로부터 누출 방향에 지역 배수 제공

(6) 각 건물에 대해 비상 대응 계획에서 탈출 경로를 제공한다.

## 6. 독성 물질 위험도 평가

<그림 5>는 건물 거주자에 대한 독성 물질의 영향을 평가하기 위한 절차이다.



<그림 5> 독성물질 누출 위험 분석 절차

## 6.1 독성물질 위험도 평가 인자

### 6.1.1 독성 위험 확인

#### (1) 관심 독성물질

(가) 건물 주위에서 사용되는 심각한 독성물질 및 공정 휘발성 물질에 대해 적용된다.

#### (2) 건물 운영조건

(가) 현장 조건이 독성 누출에 영향을 받는다고 결정된다면, 공장건물은 독성 누출에 대해 공장의 미리 정해진 운영조건 표준에 따라야 한다.

#### (3) 현장 조건

(가) 독성 물질의 기상 분산은 물리적 특성, 물질의 누출 상태, 누출된 량, 날씨 조건, 장애물, 그리고 누출원과 방향을 포함하는 많은 현장 특정 인자에 의존한다.

(나) 건물로 유입되는 독성물질의 량과 속도는 유입점의 위치와 크기, 가스의 외부 농도, 건물의 내부와 외부의 상대적 압력에 의존한다.

(다) 유입점은 열렸거나 밀폐되지 않은 창문 또는 문, 통기구, 공기 치환 구, 계기 케이블 또는 전선관, 또는 밀폐되지 않은 연결관이 될 수 있다.

## 6.2 완화와 비상 대응

### 6.2.1 통제 방법

(1) 가스의 동적 분산 시에는 거주자가 누출에 적절하게 대응할 수 있는 충분한 시간을 제공한다.

(2) 신선한 공기의 통제, 독성 가스 검출 알람 설치, 그리고 자동 또는 수동 공기흡입구 차단 능력을 제공하는 환기시스템은 독성 물질의 유입을 통제하는

효과적인 방법이다.

### 6.2.2 비상대응 계획

(1) 비상대응 계획은 다음을 취하는 거주자에 대해 적합한 수단을 포함해야 한다.

(가) 적당한 피난처

(나) 도피를 위한 개인보호구의 사용

(다) 누출원으로부터 바람이 불어오는 방향 또는 측면 방향으로 안전하게 대피

## 6.3 독성 누출에 대한 위험도 경감대책

### 6.3.1 예방수단

(1) 독성 누출의 발생으로부터 사고를 예방하는 것은 위험을 경감할 수 있는 가장 우선적인 대책이다. 예방적 위험 경감 수단은 다음을 포함할 수 있다.

(가) 위험물질 인벤토리 감소

(나) 폭발반응 또는 부식에 대한 잠재성을 감소하기 위한 공정조건 또는 물질의 변경

(다) 배관과 설비에 대한 검사 프로그램의 제공

(라) 설비의 재료기술 향상

(마) 사건의 가능성을 경감하기 위한 크레인 리프트와 굴착과 같은 활동에 대한 적업 수행의 강화

### 6.3.2 완화수단

(1) 독성물질의 누출로부터 건물 거주자의 위험은 다음에 의존한다. 시간은 일반적으로 거주자 상해 확률을 감소시킴에 있어 가장 중요한 인자이다.

- (가) 누출된 물질의 독성
  - (나) 누출된 량
  - (다) 독성 물질의 분산 영향 인자
  - (라) 건물 위치
  - (마) 건물에 환기시스템의 통제
  - (바) 건물로 침투 비율
  - (사) 건물의 비상대응계획 효율
- (2) 독성물질 누출로부터 건물 거주자에게 위험을 감소시키기 위한 전형적 완화 수단은 다음을 포함할 수 있다.
- (가) 건물에 공기 유입을 차단할 수 있고 적당한 검출을 할 수 있는 환기 시스템 통제
  - (나) 공기보다 무거운 물질의 잠재 누출에 대한 높은 위치에서 통풍구 사용
  - (다) 건물에서 안전한 피난, 환기 및 유입 경로 통제, 그리고 명확한 피난 경로를 포함하는 비상대응 계획
  - (라) 누출의 빠른 전달을 위한 알람시스템 또는 감지기와 연동
  - (마) 건물 거주자에 대한 적합한 안전보호구 지급
  - (바) 건물 내 인원 감소
  - (사) 압축 환기 시스템
  - (아) 가능한 밀폐로 건물 안으로 가스 유입 위치 검토

## &lt;부록 1&gt;

## 건물 체크리스트

거주자에게 중대한 위험을 나타내지 않을 때, 분석 동안 확인된 공장건물에 대한 일반 위험 경감 조치가 이루어짐을 확인하기 위해 다음의 체크리스트를 검토할 수 있다.

건물 체크리스트						
건물명 :		날짜 :		작성자 :		
위험	질문	Y	N	NA	비고	
F,T	1. 건물은 위험 영향을 받는 위치에 있는가?					
E,F,T	2. 건물은 화재 및 독성 누출에 대한 비상 대응 계획에 포함되었는가? 거주자는 비상대응절차에 대해 교육을 받았는가? 피난 방법이 명시되었는가?					
E	3. 건물 내 사무실 설비 및 재료 관련 서류의 대부분은 적절하게 보호되는가?					
E	4. 조명기구, 천장 또는 벽 연결 설비는 견고한가? 고정 통제는 내부 벽에 연결되어 있는가?					
E	5. 중량물은 바닥층 수준으로 저장되었는가?					
E	6. 모든 외부 창문은 거주자에게 잠재적 상해에 대해 허용되는가?					
E,F,T	7. 건물의 문은 잠재적 폭발 또는 화재원으로부터 반대편에 있는가?					
F,T	8. 건물에 허용할 수 있는 외부와 내부 화재 진압 설비가 있는가?					
F,T	9. 건물 내 감지 시스템이 있으며, 탄화수소, 연기 또는 독성물질을 감지하고 신선한 공기를 제공할 수 있도록 하는가?					
F,T	10. 공기 흡입구는 적절하게 위치했는가?					
F,T	11. 환기시스템은 건물 내 공기배출 또는 공기 이동을 막을 수 있는가? 탄화수소, 독성물질 누출 시 공기 흡입은 차단되는가? 건물은 양압 시스템을 가지고 있는가?					
F,T	12. 건물의 모든 측면으로부터 볼 수 있는 풍향계가 있는가?					
E,F,T	13. 건물 거주자에게 경고하기 위한 경고 알람 또는 의사소통 시스템이 있는가?					
T	14. 거주 부하에 대한 신선한 공기 공급 또는 충분한 산소호흡기가 있는가?					
E,F,T	15. 모든 하수관은 증기 진입 차단을 위해 적절하게 밀봉되어 건물에 연결되어 있는가?					

주 : E = Explosion, F = Fire, T = Toxic, NA = Not Applicable