

KOSHA GUIDE

X - 78 - 2018

# LNG 및 인화성가스 저장탱크의 위험성평가에 관한 기술지침

2018. 11.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 숭실사이버대학교 양원백

○ 제·개정 경과

- 2018년 10월 리스크분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- KS B 6971(2009) : LNG저장탱크-위험성평가
- KGS AC115(2016) : 액화천연가스용 저장탱크 제조의 시설·기술·검사 기준

○ 관련법령·고시 등

- 산업안전보건법 제41조의 2(위험성평가)

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지([www.kosha.or.kr](http://www.kosha.or.kr))의 안전보건기술지침 소관분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2018년 11월 05일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

## LNG 및 인화성가스 저장탱크의 위험성평가에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 액화천연가스 및 인화성가스 저장탱크에서 LNG 및 인화성가스가 누출될 때 이로 인한 위험성을 정량적으로 평가하기 위한 정량적 위험성 평가 기준을 제시하고 피해최소화 대책을 수립하기 위해 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

### 2. 적용 범위

- (1) 이 지침은 액화천연가스(LNG : Liquefied Natural Gas)저장탱크에서 LNG 및 NG가 누출될 때 이로 인한 위험성을 정량적으로 평가하기 위한 정량적 위험성 평가를 실시할 때 적용한다.
- (2) 또한, 인화성가스 저장탱크에서 인화성가스가 누출될 때의 위험성을 정량적으로 평가하기 위한 정량적 위험성 평가를 실시할 때도 적용한다.

### 3. 용어의 정의

- (1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.
  - (가) “인화성가스”라 함은 연소 범위의 하한이 13 %이하 또는 상하한의 차이가 12 % 이상인 가스를 말하며, 안전규칙 별표1(위험물질의 종류) 제5호에서 정한 가스를 말한다.
  - (나) “결함수 분석 (Fault tree analysis)”이란 위험이 사고로 전이될 수 있는 경로를 확인하기 위한 연역적인 방법으로, 잘 정의된 사고 또는 정상 사상으로부터 출발하여 사고의 원인이 될 수 있는 다양한 시나리오를 역으로 추적하여 나가는 방법

을 말한다.

- (다) “사건수 분석(Event tree analysis)”이란 초기사건에서 시작하여 마지막 결과를 추론해 나가는 귀납적인 분석방법을 말하며 고장의 발생경로와 그 사고발생의 확률에 대한 정보를 제공하는 정량적 위험성 평가기법을 말한다.
- (라) “고장율(Failure rate)”이란 어느 한 구성요소가 어느 기간 후 고장날 수 있는 값을 말하며, 평균값을 평균 고장율이라 하고 결함 횟수를 시간으로 나눈 값으로 표현된다.
- (마) “공통원인고장(CCF : Common cause failure)”이란 동일한 기능을 갖는 기기들에 있어 설계, 제작 및 운전 등에 있어서 공통원인에 의해 동시에 실패하는 사건을 말한다.
- (바) “사고발생가능성(Likelihood)”이란 사고가 발생하거나 발생할 것을 예상하여 분석한 결과를 말한다. 사고발생가능성은 단위 시간당 발생 숫자로 표현한 사고발생 빈도(Frequency)와 0에서 1 사이의 숫자로 표현한 사고발생확률(Probability)로 구분될 수 있다.
- (사) “대기 안정도 (Pasquill-Gifford atmospheric stability factors)”란 풍속과 태양 복사열로 결정되며, A : 매우 불안정, B : 불안정, C : 약간 불안정, D : 중간(보통), E : 안정, F : 매우 안정으로 구분된다.
- (아) “비등액체 팽창증기폭발(BLEVE : Boiling liquid expanding vapor explosion)”이란 가연성인 위험물질이 용기 또는 배관 내에 비점 이상의 온도 및 압력하에서 액체 상태로 저장·취급되는 경우 외부화재, 부식, 내부압력 초과 및 설비결함 등에 의하여 용기의 파손과 함께 대기 중으로 누출되면 액체상태의 위험물질이 증발되면서 갑자기 증기로 변화되어 외부로 치솟게 되는데 이때에 외부 화재, 스파크, 정전기, 담뱃불 등의 발화원에 의하여 폭발 및 화염을 발생시키는 현상을 말한다.
- (자) “화구(Fire ball)”란 저장·취급조건에 따라 다르긴 하지만 비등 액체 팽창폭발에 의하여 공중에 생성된 공같은 모양의 화염 덩어리를 말한다.

- (차) “증기운 화재(Flash fire)”란 누출된 위험물질이 공기중으로 확산되어 구름형태로 떠다니다가 물질의 폭발하한계 이하로 희석되기전 발화원을 만나면 화재가 발생하는 것을 말한다. 이 경우 화염의 속도는 음속보다 작으며 무시할 수 있을 정도의 과압이 발생한다.
- (카) “고압분출 화재(Jet fire)”란 배관, 저장 탱크등에서 연속적으로 누출되는 고압의 위험물질이 누출원 근처의 발화원에 의하여 점화되는 현상을 말하며 이 경우 연속적으로 복사열이 발생된다.
- (타) “액면 화재(Pool fire)”란 액체(액화가스포함)의 위험물질이 누출되어 주변 바닥에 고여 있는 액체가 기화하여 발화원에 의해 점화된 것을 말한다.
- (파) “개인적 위험성(Individual risk)”이란 위험시설 주변에서 개인이 사상(死傷)할 수 있는 확률로 나타낸 것을 말한다.
- (하) “사회적 위험성(Social risk)”이란 시설의 위험정도를 임의의 수의 인명피해를 발생시킬 수 있는 누적빈도로 나타낸 것을 말한다.
- (거) “ERPG (Emergency Response Planning Guideline)”란 비상대응계획수립지침(ERPG, Emergency Response Planning Guideline)은 관심의 우선순위, 취급, 저장평가, 누출 시 확산지역의 파악 및 지역사회의 비상대응계획을 수립하는데 사용되는 지침을 말하며, 이 지침에서 사용되는 농도는 공기중의 농도에 따라 ERPG-1, ERPG-2 및 ERPG-3 로 구분한다.
- (너) “프로빗(Probit)분석”이란 여러 가지 사고영향모델에서 확률을 평가하는 방법으로, 주어진 사고의 피해 크기와 피해 영향 가능성의 연관 관계를 실험식을 이용하여 분석하는 방법을 말한다.
- (더) “DEGADIS”란 밀도가스분산모델(Dense Gas Dispersion Model)로 유해화학물질의 분산을 모델링한 수확분산모델을 말한다.
- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건 기

준에 관한 규칙 및 관련고시에서 정하는 바에 의한다.

#### 4. 위험성평가 수행 단계

LNG 및 인화성가스 저장탱크를 설치하기 위하여 부지를 선정하는 단계, 저장탱크의 배치도를 결정하는 단계, 저장탱크의 설계 · 건설단계 및 저장탱크 운전단계와 같은 각 단계에서 안전을 확보하기 위한 위험성을 평가하여야 한다. 각 단계별 위험성 평가의 목적, 검토사항 및 검토결과의 반영사항은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 단계별 위험성 평가의 목적 및 주요 검토사항

| 위험성평가 수행 단계           | 목 적                                              | 검토 사항                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1단계 : 부지선정 단계         | 저장탱크 형식 및 부지 결정                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지질학적, 기상 자료</li> <li>- 인근지역의 공장 및 거주조건</li> <li>- 비행기 운항경로 및 횡수(필요시)</li> <li>- 인근도로 현황 및 교통흐름, 교통사고 통계(필요시)</li> </ul>                |
| 2단계 : 저장탱크 배치도 결정 단계  | 저장탱크 안전거리 산정 및 배치 결정                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지질학적, 기상 자료</li> <li>- 인접한 다른 저장탱크에서의 화재 및 소화대책</li> <li>- 부지내 도로현황 및 교통흐름(필요시)</li> </ul>                                             |
| 3단계 : 저장탱크 설계 및 건설 단계 | 본질적 안전 확보를 위한 설계, 사고예방대책, 부지의 경비계획 및 피해최소화 대책 수립 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최악의 시나리오 도출</li> <li>- 최악의 시나리오 발생가능성 분석</li> <li>- 최악의 시나리오 피해규모 예측</li> <li>- 개인적 위험성 및 사회적 위험성 산출</li> <li>- 위험성 허용여부 검토</li> </ul> |
| 4단계 : 저장탱크 운전 단계      | 안전한 운전절차 수립, 유지보수 작업 및 변경관리 절차 확립                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정상운전, 시운전, 가동정지, 하역(Loading/Unloading) 및 수리작업 시 위험요인</li> </ul>                                                                        |

## 4.1 1단계 : 부지 선정 단계

- (1) 탱크를 설치하기 위한 부지(Site) 의 적정성을 평가하여야 한다. 이를 위해서 지질학적 자료, 기상자료, 인근 지역의 공장 및 거주조건 등의 자료가 요구된다.
- (2) 저장탱크 토출펌프의 용량에 따라 <표 2>와 같은 시나리오를 작성하여 사고피해규모를 예측하고, 그 결과 누출지점으로부터 5 kw/m<sup>2</sup>의 복사열이 미치는 피해영향거리를 안전거리로 확보하고 있는가를 확인하여 저장탱크의 위험요인으로부터 공공시설 등을 보호할 수 있는지를 평가한다.

&lt;표 2&gt; 1단계 위험성평가 시 위험성평가 기준

| 구분     | 적용 내용                                                                                             | 비고 |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 누출위치   | 지붕으로 충전/배출되는 경우, 이송하는 펌프의 정격용량이 가장 큰 배관이 저장탱크 외벽을 지나는 위치 중 가장 낮은 위치(단, 사고 피해예측 시 누출높이는 지면을 가정한다.) |    |
| 누출크기   | 저장탱크 외벽에 설치된 배관의 직경                                                                               |    |
| 누출률    | 저장탱크 토출펌프 용량의 100%                                                                                |    |
| 누출시간   | 10 분                                                                                              |    |
| 사고피해예측 | 풀화재(Pool Fire)에 대한 복사열 계산 (단, 풀의 크기는 최대크기로 적용한다.)                                                 |    |

## 4.2 2단계 : 저장탱크 배치도 결정 단계

- (1) 저장탱크 크기 및 부지가 결정되면 인접한 다른 저장탱크에서 발생할 수 있는 화재를 고려하여 2단계 위험성 평가를 실시한 후 그 결과에 따라 저장탱크 간의 이격거리를 결정하고 저장탱크 배치도(Layout)를 결정하도록 한다.

- (2) 1단계 위험성 평가(부지 선정 단계)시 고려되었던 사고 시나리오의 피해규모예측 결과 폴화재 복사열이  $37.50 \text{ kW/m}^2$ 가 미치는 피해영향거리를 안전거리로 확보할 수 있도록 한다.
- (3) 이렇게 분석된 저장 탱크 간 이격거리가 관련 법규에서 요구하는 안전거리보다 짧을 경우라 할지라도 법규 요구사항은 만족하여야 한다.
- (4) 만일 법규에서 요구하는 안전거리보다 긴 이격거리가 필요하다고 분석되는 경우에는 이를 반영하여 저장탱크 간 안전거리를 확보하고 배치도를 결정하여야 한다.
- (5) 다만, 소화설비 또는 살수설비 등 피해를 최소화할 수 있는 타당한 방안이 확보될 경우 이를 고려한 보다 상세한 정량적 위험성평가 결과에 따라 안전거리를 산정하도록 한다.
- (6) 또한 본 평가에서 산출된 피해영향거리 내에는 부지 내 다른 설비를 설치하지 않아야 한다.

#### 4.3 3단계 : 저장탱크 설계 및 건설 단계

- (1) 저장탱크 설계 및 건설단계 위험성 평가는 저장탱크의 설계가 완료되어 건설 및 시운전 전 단계에서 수행된다.
- (2) 3단계 위험성 평가를 통해 저장탱크의 건설 및 운전 중 발생할 수 있는 위험요인을 파악하고 필요한 방호대책 및 피해최소화 대책 등을 수립하여 건설 및 운전 중 발생할 수 있는 위험을 예방하여야 한다.
- (3) 위험성 평가의 범위는 설비, 운전, 건설작업 등을 포함하여야 한다. 3단계 위험성 평가에는 저장탱크 형식별로 <표 3>과 같은 위험요인을 고려하여야 한다.
- (4) 다만, <표 3>의 외부요인 중 비행기 추락, 교통사고 등은 LNG 및 인화성가스 저장탱크 부지의 위치 특성에 따라 고려될 수 있으며, 반드시 포함되어야 하는 요인은 아니다.



&lt;표 3&gt; 3단계 위험성평가 시 고려될 수 있는 위험요인

| 탱크형식 구분  | 외부요인           | 주요 위험요인                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 지상식 저장탱크 | 비행기 추락, 비산물체 등 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 완전파손 후 누출 : 질식 및 냉각 사고</li> <li>- 지붕파손으로 인한 풀화재</li> </ul>                                                                                                                                                     |
|          | 교통 사고          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 외벽에서의 작은 누출</li> </ul>                                                                                                                                                                                         |
|          | 외부 화재          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 내부의 온도와 압력 상승으로 인한 탱크 지붕 파손(콘크리트 지붕일 경우에는 제외할 수 있다. 단 지붕 파손의 경우, 지붕에 설치된 노즐 중 가장 큰 크기를 파손 면적으로 가정한다.)</li> <li>- 탱크 내부의 온도와 압력 상승으로 인한 압력방출밸브 개방으로 NG의 급격한 방출 (제트 화재(Jet fire), 플래시 화재(Flash fire))</li> </ul> |
|          | 지진             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 변형으로 인한 외벽 및 지붕 파손(LNG의 외부 누출, 단 지붕파손의 경우에는 지붕에 설치된 노즐 중 가장 큰 크기를 파손 면적으로 가정한다. 외벽파손의 경우에는 2단계 위험성 평가 시 적용된 누출 시나리오를 적용하되 누출시간은 1시간으로 가정한다.)</li> </ul>                                                        |
|          | 강풍, 태풍, 폭설 등   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크변형으로 인한 일부파손(LNG누출)</li> <li>- 강풍에 의한 비산물체의 부딪힘으로 인한 탱크 일부 파손</li> </ul>                                                                                                                                        |
| 지중식 저장탱크 | 비행기 추락, 비산물체 등 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지붕파손으로 인한 풀화재</li> </ul>                                                                                                                                                                                          |
|          | 지진             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크변형으로 인한 지붕 및 구조물 파손(인화성가스의 외부누출)</li> </ul>                                                                                                                                                                     |
|          | 강풍, 태풍, 폭설 등   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 지붕 구조물 파손</li> </ul>                                                                                                                                                                                           |

- (5) <표 4>는 사고 시나리오를 사고원인별로 나누어 재배치한 표이다. 정량적 위험성 평가에 대한 예측 가능한 사고 시나리오의 작성기준, 도출된 시나리오에 대한 사고 발생 가능성 분석 기준 및 사고 피해규모 예측은 "5. 위험성 평가 수행기준"에 따라 수행한다.

<표 4> 3단계 위험성 평가 : 주요 사고시나리오

| 설비                   | 중분류 원인     | 사고발생 원인                                                                                                                      | 주요 위험요인                                                                                                         |
|----------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 저장탱크 및 부속설비(배관, 밸브류) | 외부사고       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자연재해 : 강풍, 태풍, 폭설, 지진 등</li> <li>- 인위재해 : 외부화재, 폭발, 비행기 추락, 비산물체 등</li> </ul>       | - <표 3> 참조                                                                                                      |
|                      | 운전오류       | <과압> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 증발가스 유출중단(밸브고장, 압축기 고장 등)</li> <li>- 다른 조성의 LNG유입으로 롤오버(Rollover)발생</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과압에 의한 배관 파손</li> <li>- 과압에 의한 지붕 크랙 등의 손상</li> </ul>                  |
|                      |            | <진공:압력저하> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 증발가스 압축기의 과부하</li> <li>- 하역시 진공방지밸브(Vacuum Breaker)고장 등</li> </ul>        | - 탱크 지붕 및 배관 파손 및 손상                                                                                            |
|                      |            | - 보냉재 공간의 질소량 조절 실패                                                                                                          | - 탱크 내벽손상 및 외벽 저온충격으로 파손                                                                                        |
|                      | 설계 및 건설 오류 | - 배관 파손                                                                                                                      | - 저장탱크 균형이 깨져 파손가능                                                                                              |
|                      |            | - 바닥 가열시스템 손상                                                                                                                | - 저장탱크 주변지반의 동결로 저장탱크 균형이 깨질 수 있음                                                                               |
|                      |            | - 유지보수 시 펌프낙하                                                                                                                | - 탱크바닥 손상                                                                                                       |
|                      | 기타         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 멤브레인 품질불량(멤브레인 저장탱크의 경우에 만 고려될 수 있음)</li> <li>- 건설 시 강재 내부 탱크 용접불량</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저장탱크 외벽에 저온영향(충격 혹은 파손)</li> <li>- 단열불량으로 증발가스 다량발생 혹은 과압우려</li> </ul> |

- (6) 이러한 사고 시나리오는 운전 중 발생할 수 있으나, 그에 대한 방호대책 및 피해 최소화대책은 설계단계에서 수립되어야 함으로 3단계 위험성 평가에서 수행되어야 한다.
- (7) 예비 위험성 평가 단계에서 수행하는 사고피해규모 예측은 최악의 대기조건을 기준으로 수행한다.
- (8) 이렇게 분석된 사고발생 가능성과 사고피해규모가 "6. 위험성 평가기준"을 만족할 수 있도록 저장탱크의 각종 설비 및 제어장치, 방호장치, 부지의 경비 계획 수립 및 피해최소화 대책 등을 수립하여야 한다.
- (9) 저장탱크 건설 중 중량물이 낙하하거나 전기적 충격이 발생하면 탱크 내벽의 균열이나 파손 혹은 주요 제어장치의 오작동을 유발할 수 있으므로 중량물 낙하 방지 대책 및 전기관련 사고가 발생하지 않도록 대책을 마련하여야 한다.
- (10) 이 외에도 건설 단계에서 근로자의 상해가 발생하지 않도록 각종 건설작업의 단계에 따라 발생할 수 있는 위험요인을 파악하여 그에 대한 대책을 마련할 수 있는 건설 중 위험성 평가를 수행하여야 한다.

#### 4.4 4단계 : 저장탱크 운전 단계

- (1) 저장탱크 건설이 완료된 후 운전기간 중 발생할 수 있는 위험요인을 찾아내고 이에 따른 대책을 수립하도록 한다.
- (2) 이러한 위험성 평가는 최소한 첫 번째 위험성 평가가 완료된 후 5년마다 반복해서 수행되어야 한다.
- (3) 위험성 평가는 먼저 위험 및 운전성분석 (HAZOP) 기법 등의 정성적 위험성 평가 기법을 활용하여 위험 요인을 찾아내어 예측 가능한 시나리오를 도출함으로써 시작되며, 정성적 위험성 평가 결과 우선순위가 높은 시나리오에 대해서는 정량적 위험성 평가를 실시하도록 한다.
- (4) 사고피해규모를 예측하기 위하여 최악의 대기조건 외에 임의의 대기조건을 사용할

수 있다.

- (5) 임의의 대기조건이란 해당 설비가 위치한 지역의 실제 대기조건을 말하며, 임의의 대기조건을 적용하기 위해서는 해당 지역에서의 풍속, 풍향, 기온, 습도 등에 대한 최소 3년간의 자료가 뒷받침되어야 한다.
- (6) 이렇게 분석된 각 시나리오별 사고발생 가능성과 사고피해규모는 "6. 위험성 평가 기준"을 만족하는 가를 평가한 후 허용할 수 없는 수준의 위험성을 갖는 시나리오는 필요한 안전대책을 수립하거나 안전장치 등을 추가하여 위험수준을 낮추도록 한다.
- (7) 예를 들어 운전 중 LNG 롤오버에 의한 위험요인을 제거하기 위하여 LNG 조성을 모니터링하고 정기적으로 순환시키도록 운전절차서를 수립하는 등 의 조치가 취해져야 한다.

## 5. 위험성평가 수행 기준

### 5.1 잠재위험요인의 분석

저장탱크를 대상으로 위험성 평가를 수행하기 위해서는 대상설비를 선정하여 잠재위험요인을 분석하고, 그에 따른 사고시나리오를 작성하여 사고발생가능성과 사고피해규모를 예측하여 위험성을 결정하여야 한다.

### 5.2 저장탱크 사고 시나리오 작성

- (1) 저장탱크에서의 작업형태는 비교적 단순하고 취급물질도 단순하기 때문에 잠재 위험요인 및 사고의 발생 시기 등을 몇 가지 요인으로 특성화할 수 있다.
- (2) <표 5>는 저장탱크에서 발생할 수 있는 잠재위험요인을 그 특성에 따라 몇 가지 구성요소로 분류하여 제시한 것으로 사고 시나리오를 작성할 때 참고하도록 하되, 여기에 국한하여서는 안된다.

(3) <표 5>의 사고형태 중 비등액체팽창 증기폭발(BLEVE : Boiling liquid expanding vapor explosion)과 화구(Fire ball)는 저장탱크 지붕이 콘크리트로 마감된 경우에는 고려하지 않는다.

<표 5> 사고시나리오의 구성요소

| 분류기준                                                               | 구성요인     | 구성요소                                                                                                  | 비고       |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 발생설비                                                               | 장치의 종류   | - 저장탱크 본체                                                                                             | 지상식      |
|                                                                    |          | - 저장탱크 지붕                                                                                             | 지상식, 지중식 |
|                                                                    |          | - 저장탱크 주변배관<br>- 저장탱크의 압력방출밸브 (PRV/PSV)                                                               | 지상식, 지중식 |
| 발생시기                                                               | 운전시기(형태) | - 이송작업<br>- 순환작업<br>- 저장<br>- 시운전<br>- 비상정지<br>- 유지보수작업<br>- 기타                                       | 지상식, 지중식 |
| 대상물질                                                               | 누출형태     | - 액체(LNG)<br>- 기체(인화성가스)                                                                              | 지상식, 지중식 |
| 사고전개                                                               | 누출시간     | - 압력방출밸브 누출 : 5분<br>- 배관 및 저장탱크 누출 : <표 7> 참조<br>- 기타 : 비상조치 수행까지의 시간                                 |          |
|                                                                    |          | - 대응조치 수행까지의 시간                                                                                       | 임의의 시나리오 |
|                                                                    | 점화원      | - 즉시 점화(30초 이내)<br>- 지연 점화(2분 이내)<br>- 점화되지 않음                                                        |          |
|                                                                    | 화재지속시간   | - 풀화재 : 30분                                                                                           |          |
| 사고형태                                                               |          | - 인화성가스 누출 : 확산, 제트화재, 플래시화재<br>- LNG누출 : 확산, 풀화재, 플래시화재<br>- 비등액체팽창 증기폭발(BLEVE)/화구(Fire ball) : 저장탱크 |          |
| 사고시나리오를 작성할 때, 운전시기에 대해서는 사고발생가능성 분석 시 필요에 따라 그룹화하여 통합하여 작성할 수 있다. |          |                                                                                                       |          |

### 5.3 저장탱크 위험요인의 분석

(1) 저장탱크 위험요인을 분석하기 위해서는 다음과 같은 자료가 필수적이다.

- (가) 자연재해 발생가능성 : 폭설, 강풍 및 지진 등의 발생가능성
- (나) 운전주기
- (다) 각종 제어시스템의 설치와 작동원리
- (라) 각종 밸브의 크기, 형태 및 설치 개수
- (마) 각종 계기의 크기 및 설치 개수
- (바) 배관의 크기 및 길이
- (사) 각종 밸브, 계기, 배관의 크기, 형태 및 오류 유형에 따른 고장율 자료
- (아) 안전운전절차서 및 운전원의 교육정도 등 인적오류

(2) 고장율 자료는 각 설비에 대한 자체 운전 및 유지보수 기록에 따라 수집되고 분석된 신뢰도 자료를 바탕으로 작성하여야 한다.

(3) 다만, 운전초기이거나 운전후 수집된 자료가 부족하여 분석 자료의 신뢰성이 충분하지 않은 경우에는 유사설비의 자료나 국내·외에 널리 알려진 일반 설비의 신뢰도 자료를 적용하되, 이 경우 신뢰도 자료의 출처는 반드시 명기하여야 한다.

(4) 고장율 자료는 각 설비에서의 누출크기에 따라 또는 손상정도에 따라 다르게 표현되므로 이를 참조하여야 하며, 밸브 및 배관의 경우에는 크기와 고장의 형태에 따라 고장율이 다르므로 이를 고려하여야 한다.

(5) 사고발생가능성을 분석할 때 공통원인고장(CCF : Common cause failure)을 고려하여야 한다.

(6) 일반적으로 시스템의 신뢰도를 높이기 위하여 예비시스템(Redundancy system)을 설치하는 경우가 있는데, 이때의 고장율은 단순히 두 시스템의 고장율을 곱하여 계산하게 되면 실제 사고율과 차이가 발생하게 된다는 경험에 근거한다. 따라서 공통원인고장을 고려하지 않고 분석하면 사고발생가능성이 과소평가될 수 있다.

- (7) 저장탱크를 대상으로 사고발생가능성을 분석하기 위하여 결함수분석(FTA : Fault tree analysis)와 사건수분석(ETA : Event tree analysis)등 정량적 위험성 평가기법을 활용할 수 있다.

#### 5.4 사고피해규모 예측

- (1) 정성적 위험성 평가 등에 의해 도출된 다양한 누출 시나리오로 인한 사고피해규모를 예측하기 위하여 필요한 자료 중 중요한 두 가지는 누출조건과 대기조건이다.
- (2) 여기에 제시된 누출조건 및 최악의 대기조건은 2단계 및 3단계 예비 위험성 평가를 수행할 때 고려되어야 하는 기준이며, 4단계 운전 중 위험성 평가를 수행할 때에는 최악의 대기조건 외에 임의의 대기조건을 적용할 수 있다. <표 6>은 최악의 결과를 초래할 수 있는 대기조건을 나타낸다.

<표 6> 최악의 대기조건 기준

| 대기조건 항목                    | 최악의 대기조건             |                      |
|----------------------------|----------------------|----------------------|
|                            | 분산(확산)모델             | 화재모델                 |
| 대기온도( ℃ )                  | 3년간 최고온도             | 21                   |
| 풍속( % )                    | 1.5                  | 10                   |
| 태양 복사열( W/m <sup>2</sup> ) | 0.0                  | 600                  |
| 대기 안정도                     | Pasquill-Gifford : F | Pasquill-Gifford : F |

- (3) 누출조건이라 함은 누출되는 상태, 누출되는 시간, 누출되는 높이와 주변 지형조건 등이 포함된다. 누출 시간은 누출위치에 따라 달라지며 실제로는 누출 후 조치에 소요되는 시간을 고려하여 산정하여야 한다.
- (4) 누출위치에 따른 누출시간은 <표 7>에 제시된 적용사례를 참고로 하되, 여기에 국한하지 않도록 한다.

&lt;표 7&gt; 저장탱크 사고피해규모 예측기준:누출조건

| 구분                                  | 누출시간(적용사례)  | 비고(적용사례)                                             |
|-------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------|
| 저장탱크 본체                             | 1시간(누출량 기준) | 지상식 저장탱크 : 저장탱크 외벽에 설치된 저장탱크 토출 측 가장 큰 배관의 직경과 같은 크기 |
| 저장탱크 지붕 파손                          | 30분         | 저장탱크 지붕 위 가장 큰 노즐과 같은 크기                             |
| 배관의 일시적 파단<br>(Catasrophic rupture) | 10분         | 가장 큰 배관 직경                                           |
| 압력방출밸브 대기방출                         | 5분          | 가장 큰 압력방출밸브의 직경                                      |
| 기타 배관등에서의 누출                        | 10분         | 배관 단면적의 10 %                                         |

(5) <표 8>은 사고영향을 평가하기 위하여 평가모형을 선정할 때 고려하여야 할 사항을 제시하고 있다.

&lt;표 8&gt; 사고영향 평가기법 모델선정

| 구분       | 분석기법으로 허용 가능한 모델                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 확산모델     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DEGADIS</li> <li>- 바닥경사, 열 전달, 습도, 풍속 및 풍향, 대기 안전성, 부력 및 표면 조도 등을 포함한 LNG증기 확산에 영향을 미치는 물리적인 요인을 고려한 모델</li> <li>- 평가할 위험의 조건 및 규모에 적합한 실험데이터에 의해 인정된 모델</li> <li>- 관할기관이 허용한 모델</li> </ul> |
| 화재/폭발 모델 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- LNG Fire</li> <li>- 저장탱크 배치, 풍속 및 풍향, 습도, 대기온도를 고려한 모델</li> <li>- 평가할 위험의 조건 및 규모에 적합한 실험데이터에 의해 인정된 모델</li> <li>- 관할기관이 허용한 모델</li> </ul>                                                  |
| 영향 모델    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 프로빗(Probit)분석에 의한 영향모델 적용</li> </ul>                                                                                                                                                        |



## 5.5 피해거리 산출기준

- (1) 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 평가하기 위해서는 사고피해규모를 예측할 때 다음과 같은 기준을 적용하여 피해거리를 평가하여야 한다. 다만, 프로빗을 직접 산출할 수 있는 경우에는 예외로 한다.
- (2) LNG와 인화성가스의 누출로 인한 피해거리는 2가지 관점에서 평가된다. 하나는 누출되는 LNG와 인화성가스의 농도이고, 다른 하나는 화재 발생 시 방출되는 복사열이다.
- (3) <표 9>는 농도의 평가기준을 나타낸다.

&lt;표 9&gt; 위험성평가 시 농도기준

| 평가 구분 | 농도기준   | 비고                                                                                  |
|-------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 레벨 1  | ERPG-1 | 거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 오염물질의 냄새를 인지하지 못하거나 건강상 영향이 나타나지 않는 공기중의 최대 농도               |
| 레벨 2  | ERPG-2 | 거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 보호조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상의 영향이 나타나지 않는 공기중의 최대 농도 |
| 레벨 3  | ERPG-3 | 거의 모든 사람이 1시간 동안 노출되어도 생명의 위험을 느끼지 않는 공기중의 최대 농도                                    |

- (4) <표 10>은 화재 발생 시 방출되는 복사열 기준이다.

&lt;표 10&gt; 위험성평가 시 복사열 기준

| 평가 구분 | 크기                     | 비고                            |
|-------|------------------------|-------------------------------|
| 레벨 1  | 5 kW/m <sup>2</sup>    | 20초 동안 노출 시 통증 및 2도 화상 가능     |
| 레벨 2  | 12.5 kW/m <sup>2</sup> | 2차 화재유발 및 1분 노출 시 사망 가능성 90 % |
| 레벨 3  | 37.5 kW/m <sup>2</sup> | 공정 및 장치에 해를 입힐 수 있는 복사열       |

## 6. 위험성 평가기준

(1) 사고발생가능성 및 사고피해 규모결과에 따라 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 산출하여 위험의 허용 여부를 결정한다. 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 평가할 때 사용되는 주요 용어는 다음과 같다.

(가) 사고발생가능성(F ; Frequency) : 해당 사고가 발생하는 빈도를 1/년으로 산출한 값

(나) 사망자 수 : 해당 사고로 인해 사망할 수 있는 사람의 숫자

(2) 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 산출하기 위해서는 어떤 설비에서 발생할 수 있는 사건(사고시나리오)을 도출하여 해당 사건의 발생 가능성과 해당 사건의 피해규모를 먼저 분석하여야 한다.

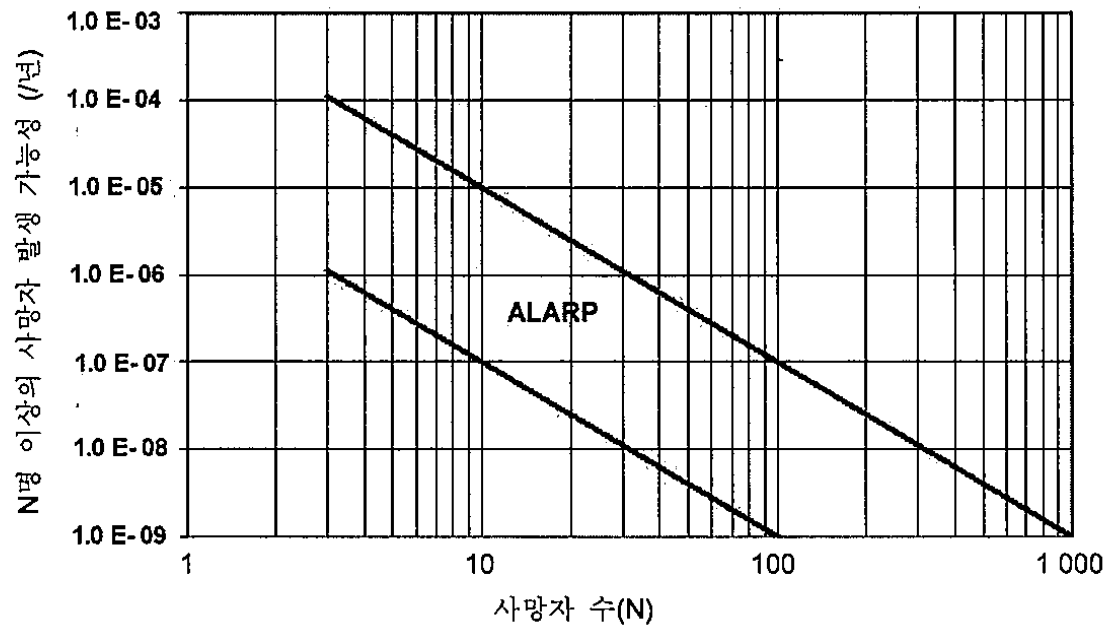
(3) 개인적 위험성은 개인을 중심으로 위험성을 산출하고, 사회적 위험성은 설비를 기준으로 위험성을 산출한다고 이해할 수 있다.

(4) 하나의 설비에 대해 개인적 위험성과 사회적 위험성을 산출하는 경우, 개인적 위험성을 산출하기 위해서는 개인과 설비 사이의 거리가 중요하게 고려되어야 하며, 사회적 위험성을 산출하기 위해서는 설비 주변의 영역별 혹은 거리별 인구밀도를 중요하게 고려하여야 한다.

(5) 하나의 설비에서 발생할 수 있는 여러 가지 다양한 각각의 사고발생가능성을  $F_i$ 라고 하면, 하나의 설비로 인해 발생하는 사고 가능성  $F$ 는  $F_i$ 의 합이 된다. 개인적 위험성 및 사회적 위험성의 허용 여부를 판단할 수 있는 위험성 기준은 <표 11> 및 <그림 2>와 같다.

<표 11> 위험성의 허용가능범위 예시

| 구분      | 개인적 위험성                                      |
|---------|----------------------------------------------|
| 허용가능 범위 | $F < 1.0E-06/\text{년}$                       |
| 조건부 허용  | $1.0E-06/\text{년} < F \leq 1.0E-05/\text{년}$ |
| 허용 불가능  | $F > 1.0E-05/\text{년}$                       |
| 비고      | $F = \text{해당사고로 인한 사망 가능성}$                 |



<그림 2> 사회적 위험성 평가 기준