

KOSHA GUIDE

E - 47 - 2012

# 가스 폭발위험장소의 설정 및 관리에 관한 기술지침

2012. 8.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 류보혁
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 김규정
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전시스템연구실
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 류보혁

### ○ 제 · 개정 경과

- 1999년 3월 전기안전분야 및 4월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 1999년 5월 총괄기준제정위원회 심의
- 2003년 11월 전기안전분야 기준제정위원회 심의
- 2003년 12월 총괄기준제정위원회 심의
- 2010년 11월 전기안전분야 제정위원회 심의(개정)
- 2011년 11월 전기안전분야 제정위원회 심의(개정)

### ○ 관련규격 및 자료

- KS C IEC 60079-10-1(폭발분위기 - 제10-1부 : 폭발위험장소의 구분)
- NFPA 497 (Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, or vapors and of hazardous locations in electrical installations at chemical process areas)
- API Recommended practice 505 (Classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as class 1, zone 0, zone 1, and zone 2)

### ○ 관련법규 · 규칙 · 고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리) 및 제311조(폭발위험장소에서 사용하는 전기기계 · 기구의 선정 등)

### ○ 기술지침의 적용 및 문의

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

공표일자 : 2012년 8월 27일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

## 가스 폭발위험장소의 설정 및 관리에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리)에 의거, 인화성 액체의 증기·미스트 또는 인화성 가스(이하 “인화성 가스 등”이라 한다.)로 인한 화재·폭발위험이 있는 장소에서 사용하는 방폭 전기기계·기구의 적절한 선정 및 설치를 위하여 인화성 가스 등이 존재할 수 있는 장소를 구분하는데 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

### 2. 적용 범위

- (1) 이 지침은 정상대기상태(101.3 kPa, 20 ℃)에서 인화성 가스 등의 존재로 인하여 폭발분위기가 조성될 우려가 있는 장소에 적용한다.
- (2) 이 지침은 다음의 경우에는 적용하지 아니한다.
  - (가) 폭발성 메탄가스가 존재할 우려가 있는 광산
  - (나) 폭발성 물질의 제조 및 취급 공정
  - (다) 인화성 고체(인화성 또는 섬유성 분진) 폭발위험장소
  - (라) 이 지침에서 다루는 이상(Abnormal) 상태의 개념을 벗어난 아주 심각한 사고(용기 또는 배관 등의 파열과 같이 예측 곤란한 사고)가 일어날 수 있는 장소
  - (마) 의학적인 목적으로 이용되고 있는 의료실

주) 미스트(Mist)는 인화성 증기와 동시에 형성되어 존재할 수 있으나, 본 지침에서는 인화점이 다소 높은 액체가 압력 분사되어 미스트를 형성하더라도 위험한 것으로 고려하고 있지 않다. 이러한 경우 본 지침에 의한 폭발위험장소의 구분은 미스트가 존재하는 장소에서 적절한 전기기계·기구를 선정하지 못하는 경우가 있을 수 있다. 인화성 미스트에 대한 자료는 <부록 4>를 참조한다.

- (3) 이 지침에서는 사고결과에 의한 피해영향은 고려하지 않는다.

### 3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “폭발분위기(Explosive atmosphere)”라 함은 대기 상태에서 발화·소비되지 않은 혼합물로 연소가 계속될 수 있는 가스, 증기, 미스트 또는 분진상태의 인화성 물질이 혼합되어 있는 상태를 말한다.

(나) “가스폭발분위기(Explosive gas atmosphere)”라 함은 대기 상태에서 발화·소비되지 않은 혼합물로 연소가 계속될 수 있는 가스나 증기상태의 인화성 물질이 혼합되어 있는 상태를 말한다.

주) 혼합물의 농도가 폭발상한(UEL: Upper explosive limit)을 넘을 경우에는 가스폭발분위기는 아니지만, 폭발위험장소가 되기 쉬우므로 가스폭발분위기로 간주한다.

(다) “가스폭발위험장소(Hazardous area)”라 함은 전기기계·기구(이하 “전기기기”라 한다.)를 설치·사용함에 있어 특별한 주의를 요하는 가스폭발분위기가 조성되거나 조성될 우려가 있는 장소를 말한다. 이 폭발위험장소는 가스폭발분위기의 생성빈도와 지속시간에 따라 다음과 같이 분류(Zones)한다.

- ① “0종 장소(Zone 0)”라 함은 가스, 증기 또는 미스트의 인화성 물질의 공기 혼합물로 구성되는 폭발분위기가 장기간 또는 빈번하게 생성되는 장소를 말한다.
- ② “1종 장소(Zone 1)”라 함은 가스, 증기 또는 미스트의 인화성 물질의 공기 혼합물로 구성되는 폭발분위기가 정상작동 중에 생성될 수 있는 장소를 말한다.
- ③ “2종 장소(Zone 2)”라 함은 가스, 증기 또는 미스트의 인화성 물질의 공기 혼합물로 구성되는 폭발분위기가 정상작동 중에는 생성될 가능성이 없으나, 만약 위험분위기가 생성될 경우에는 그 빈도가 극히 희박하고 아주 짧은 시간 지속되는 장소를 말한다.

주) 1. 지속(Persist)이라는 용어는 인화성 분위기가 존재하는 전체 시간을 의미한다. 이것은 누출전체시간과 누출이 정지된 후에 확산되는 인화성 분위기의 시간을 합한 시간으로 구성된다. (<부록 2>의 “지속시간”이라는 용어는 인화성 분위기가 존재하는 전체시간 중의 일부 분만을 규정한다.)

2. 발생빈도 및 주기 표시는 특정 산업 또는 관련 코드를 적용할 수 있다.

(라) “비폭발위험장소(Non-hazardous area)”라 함은 전기기기를 설치·사용함에 있어 특별한 주의를 요하는 가스폭발분위기가 조성될 우려가 없는 장소를

말한다.

(마) “누출원(Source of release)”이라 함은 가스폭발분위기를 조성할 수 있는 인화성 가스 등이 대기 중으로 누출될 우려가 있는 지점 또는 위치를 말한다.

(바) “누출등급(Grades of release)”이라 함은 누출형태에 따라 다음과 같이 세 등급으로 분류하며, 이 누출원은 3가지 누출등급 중의 하나 또는 그 이상이 조합된 형태로 존재할 수 있다.

- ① “연속 누출(Continuous grade of release)”이라 함은 연속적 또는 장기간 발생할 수 있는 누출을 말한다.
- ② “1차 누출(Primary grade of release)”이라 함은 정상작동 중에 주기적 또는 때때로 발생할 수 있는 누출을 말한다.
- ③ “2차 누출(Secondary grade of release)”이라 함은 정상작동 중에는 발생하지 않으나, 발생할 경우에는 간헐적이거나 단시간 동안의 누출을 말한다.

(사) “누출률(Release rate)”이라 함은 누출원으로 부터 단위 시간당 누출되는 인화성 가스 등의 양을 말한다.

(아) “정상작동(Normal operation)”이라 함은 설비가 설계변수 범위 내에서 작동되는 상태를 말한다.

- 주) 1. 펌핑되고 있는 유체에 의해 축축해진 기밀 부위로부터의 누출과 같은 미량의 누출은 정상작동으로 간주한다.
2. 가동중지 또는 긴급수리를 요하는 고장(예, 펌프 기밀 부위, 플랜지, 가스킷 또는 사고로 인한 누출 등)은 정상작동으로 간주하지 않는다.
3. 정상작동은 기동 및 정지상태의 작동을 포함한다.

(자) “환기(Ventilation)”라 함은 바람, 공기의 온도차에 의한 영향 또는 인위적인 수단(팬, 배출기 등)을 이용하여 공기를 이동시켜 신선한 공기로 대체시키는 것을 말한다.

(차) 폭발한계(Explosive limits, Flammable limit)

- ① “폭발하한(LEL : lower explosive limit)”이라 함은 공기 중에서 인화성 가스 등의 농도가 이 값 미만에서는 폭발되지 않는 한계를 말한다.
- ② “폭발상한(UEL : upper explosive limit)”이라 함은 공기 중에서 인화성 가스 등의 농도가 이 값을 넘는 경우에는 폭발되지 않는 한계를 말한다.

- (카) “가스 또는 증기의 비중(Relative density of a gas or a vapour)”이라 함은 같은 압력과 온도에서 공기의 비중 대비 가스 또는 증기의 비중을 말한다.
- (타) “인화성 물질(Flammable material)”이라 함은 물질 그 자체가 가연성으로 인화성 가스, 증기 또는 미스트를 생성할 수 있는 물질을 말한다.
- (파) “인화성 액체(Flammable liquid)”라 함은 예측되는 작동 조건하에서 인화성 증기를 생성할 수 있는 액체를 말한다.
- (하) “인화성 가스 등(Flammable gas or vapour)”이라 함은 어떠한 비율로 공기와 혼합될 때 가스폭발분위기를 생성하는 인화성 액체의 증기 또는 인화성 가스를 말한다.
- (거) “인화성 미스트(Flammable mist)”라 함은 가스폭발분위기를 형성하는 공기 중에 확산되어 있는 인화성 액체의 작은 입자를 말한다.
- (너) “인화점(Flash point)”이라 함은 어떠한 표준 조건하에서 인화성 액체가 증발하여 공기 중에서 폭발하한 농도 이상의 혼합기체를 생성할 수 있는 가장 낮은 온도를 말한다.
- (더) “끓는점(Boiling point)”이라 함은 101.3kpa(1,013밀리바) 압력의 대기압에서 액체가 끓는 온도를 말한다.(이를 “비점”이라고도 한다)
- 주) 액체 혼합물에서 사용하는 최초의 끓는점은 분류되지 않은 액체 혼합물을 표준실험 증류법에서 결정된 최저 끓는점을 나타낸다.
- (러) “증기압(Vapour pressure)”이라 함은 고체 또는 액체가 그 자체의 증기와 평형 상태를 이룰 때의 압력을 말하며, 이는 물질 및 온도의 기능이다.
- (머) “가스폭발분위기의 발화온도(Ignition temperature of an explosive gas atmosphere)”라 함은 특정 조건하에서 공기와 혼합되어 있는 가스 또는 증기형태의 인화성 물질을 점화시킬 수 있는 가열된 표면의 최저온도를 말한다.
- (버) “폭발위험장소의 범위(Extent of zone)”라 함은 가스/공기 혼합물의 누출원에서 이 혼합물이 공기에 의하여 폭발하한값 이하로 희석된 지점까지의 거리를 말한다.
- (서) “액화가스(Liquefied flammable gas)”라 함은 액체로 저장 또는 취급되는 인화성 물질로써 대기압 및 대기온도에서는 인화성가스인 것을 말한다.

- (2) 그 밖에 용어의 뜻은 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 안전보건규칙에서 정하는 바에 따른다.

## 4. 폭발위험장소의 설정

### 4.1 설정목적

가스폭발분위기가 생성될 우려가 있는 장소에 설치하는 전기기기의 적절한 선정과 설치를 위하여 가스폭발위험장소(이하 “위험장소”라 한다.)는 가스군(Gas group)과 온도등급을 고려하여 다음과 같이 설정하여야 한다.

### 4.2 기본원칙

#### 4.2.1 안전원칙

- (1) 인화성 가스 등을 저장 또는 취급하는 곳의 설비는 정상작동 여부에 관계없이 항상 인화성 가스 등의 누출의 빈도·시간 및 양에 의하여 정해지는 위험장소의 범위가 최소화되도록 설계·작동 및 보수하여야 한다.
- (2) 정상작동이 아닌 보수작업 등의 경우에 있어서의 위험장소는 일시적으로 확대될 수 있으며, 이러한 사항은 “안전작업허가 지침”에 명시하여야 한다.
- (3) 비상사태 하에서는 필요에 따라 해당 위험장소에 적합하지 않은 전기설비의 격리, 공정작동의 정지, 용기의 격리, 유출물질의 저장 및 비상배출 설비의 구비 등의 보완조치를 추가적으로 적용할 수 있다.
- (4) 가스폭발위험분위기(이하 “위험분위기”라 한다)의 생성이 우려되는 경우에는 다음의 단계적인 조치를 취하여야 한다.
  - (가) 점화원 주위에서 일어날 수 있는 위험분위기 생성확률 감소
  - (나) 점화원의 제거
  - (다) 위의 (가) 및 (나)의 조치가 불가능할 경우에는 위험분위기의 조성과 점화원이 동시에 발생할 우려를 아주 낮게 하기 위한 적절한 보호장치·공정설비·

계통의 선정을 위한 절차를 수립해야 한다. 이러한 조치는 고도의 신뢰성을 갖고 있을 경우, 단독으로 선택할 수도 있고 같은 수준의 안전을 확보하기 위하여 조합할 수도 있다.

(5) 인화성 가스 등이 사용되고 있는 장소에서는 언제든지 위험분위기의 조성은 물론, 전기기기가 점화원이 될 수 있으므로 다음 원칙을 따른다.

(가) 위험분위기가 조성될 우려가 높은 곳에서는 점화원이 될 가능성이 적은 전기기기의 사용을 우선으로 하는 것이 바람직하다.

(나) 위험분위기가 조성될 우려가 낮은 곳에 전기기기를 설치할 때에는 완화하여 적용할 수 있다.

(6) 설계도면의 간단한 검토만으로 위험장소를 구분하는 것은 아주 위험하므로, 도면검토 이외에 다음과 같은 위험분위기의 생성가능성에 대한 자세한 분석이 이루어져야 한다.

(가) 위험분위기의 생성가능성을 평가한다.

- ① 누출원이 될 수 있는 인화성 가스 등을 취급하는 각 공정 설비의 목록을 자세히 검토한다.
- ② 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 누출빈도와 기간(누출 등급)·누출 속도·농도·환기 등 주변 장소의 위험분위기의 현존 가능성을 정하기 위한 기본 요소를 파악한다.

(나) 최적 설계 또는 적절한 운전절차에 의해 가급적 0종 또는 1종 장소를 최소화 시킴으로써 공장내 설비는 주로 2종 장소나 비위험장소로 할 수 있도록 한다.

- ① 인화성 가스 등의 누출이 불가피한 공정설비는 2차 누출등급으로 제한하고, 이것이 곤란할 경우에는 누출량과 누출속도를 최대한 억제하여야 한다. 장소구분 시에는 이 원칙을 최우선적으로 고려한다.
- ② 필요한 경우, 비정상적인 작동 시에도 대기 중으로 누출되는 인화성 가스 등의 양을 최소화하여 위험장소의 범위를 줄이기 위해 반영된 공정설비의 설계·작동 및 배치에 대한 신뢰성을 확인하여야 한다.

(다) 장소구분이 완료되고 필요한 모든 기록이 만들어지면 장소구분에 책임이 있는 자와의 사전 협의없이 설비나 작동절차의 어떠한 변경도 이루어져서는 안된다.

- ① 승인없이 임의로 장소를 변경할 경우, 장소구분 효과를 저해할 수 있다.
- ② 장소구분에 영향을 미치는 모든 설비 중 유지보수가 필요한 설비들이 안전에 영향을 미칠 수 있는 경우, 주의 깊게 점검하여 재조립 후에는 정상작동하기 전에 당초 설계의 안전성을 보증할 수 있어야 한다.

#### 4.2.2 인화성 가스 등의 물질에 관한 기초사항

위험장소를 구분할 경우에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

##### (1) 인화성 가스

가스가 누출되었을 때 위험분위기를 생성하는 범위는 가스의 비중에 따라 달라진다. 즉, 공기보다 가벼운 가스는 급속히 상부 방향으로 확산되고, 공기보다 무거운 가스는 지표면을 따라 서서히 확산되는 경향이 있으므로, 위험장소의 범위는 무거운 가스 쪽이 보다 더 넓게 된다.

##### (2) 압축액화가스

압축되어 액체상태로 취급·저장되는 가스는 누출되는 즉시 기화·팽창되어 공기보다 무거운 가스와 마찬가지로 지면을 따라 확산된다.

##### (3) 초저온 액체 및 초저온 액화가스

-101 ℃ 이하에서 취급되는 초저온 액체 및 초저온 액화가스들은 소량 누출시에는 누출 즉시 기화·팽창되나, 다량 누출 시에는 인화성 액체와 같이 액체상태를 유지하여 수평방향으로 이동하고 주위 열을 흡수함에 따라 수직으로 기화된다.

## 5. 폭발위험장소의 설정 절차

### 5.1 일반

(1) 다음의 장소는 위험장소로 설정하여야 한다.

(가) 인화성 가스 등이 쉽게 존재할 가능성이 있는 장소

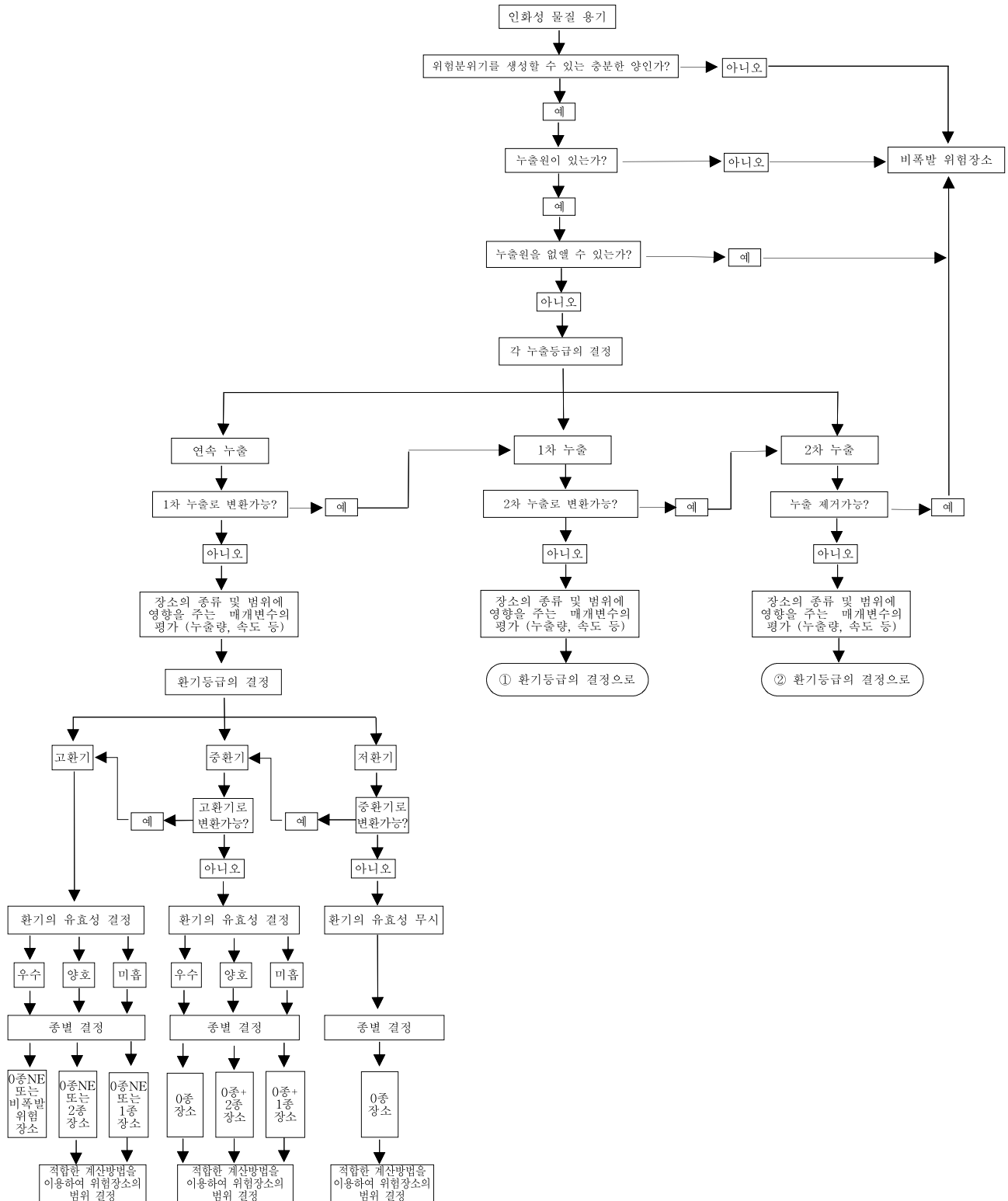
(나) 인화점이 40 ℃ 이하의 액체가 저장·취급되고 있는 장소

(다) 인화점이 40 ℃를 넘는 액체가 인화점 이상으로 저장·취급될 수 있는 장소

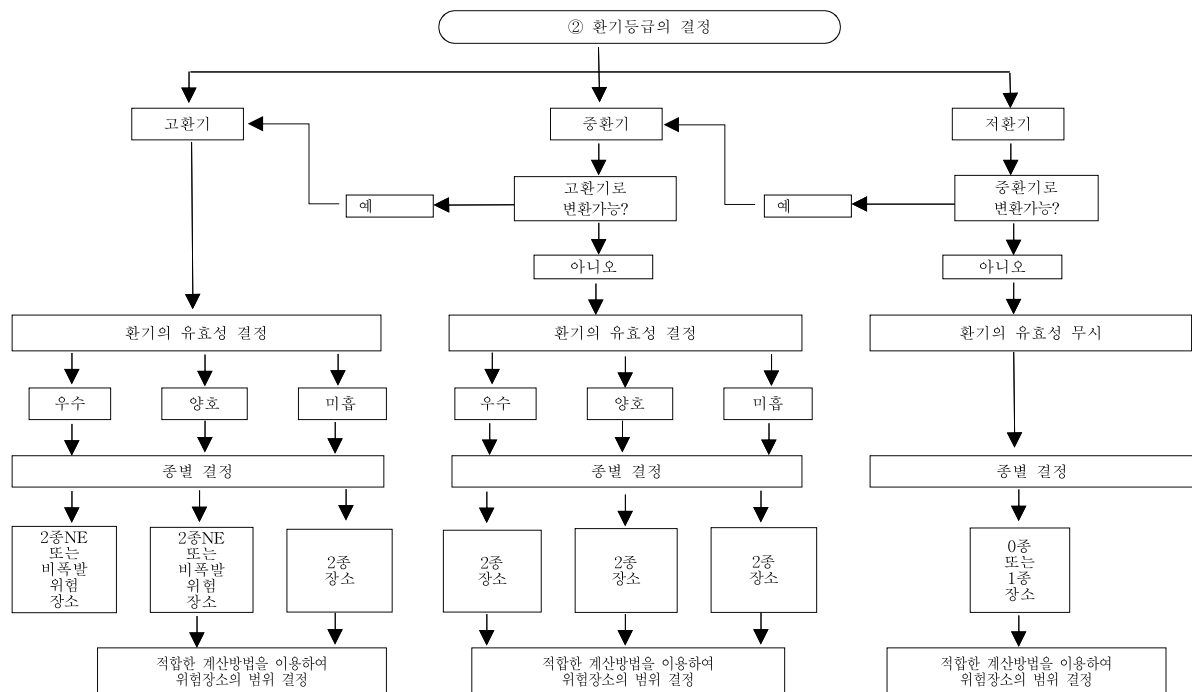
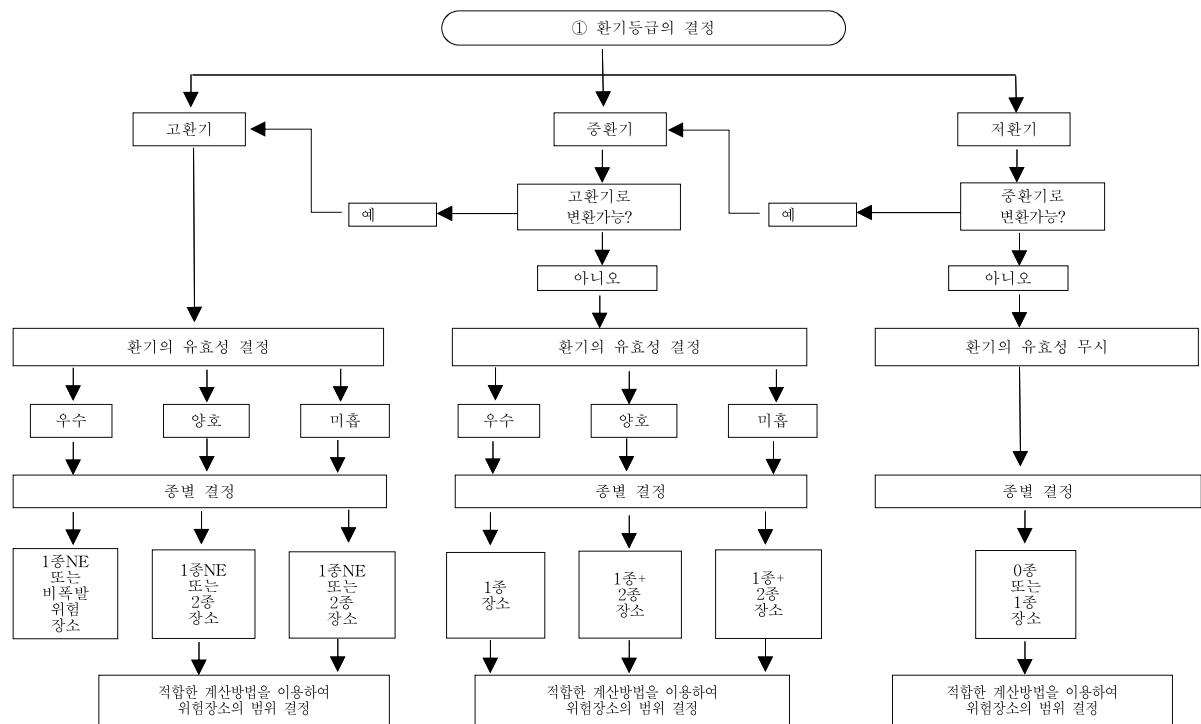
(2) 장소설정은 인화성 가스 등의 물질특성·공정 및 설비에 대한 충분한 지식을

보유한 자가 안전, 전기, 기계 등 관련 공학 전문가와 협의하여 실시하여야 한다.

- (3) 장소설정 절차는 <그림 1>에서 간략하게 제시하고 있으며, 위험분위기의 정도에 따라 <부록 3>에 있는 도식의 예를 참고로 하여 0종·1종 및 2종 장소로 분류한다.



&lt;그림 1&gt; 폭발위험장소의 설정 절차



&lt;그림 1&gt; 폭발위험장소의 설정 절차(계속)

## 5.2 누출원

- (1) 위험장소의 종별 설정의 기본 요소는 누출원의 인지와 누출등급의 결정이다
- (2) 위험분위기는 인화성 가스 등이 공기 중에 존재할 경우에만 생성되기 때문에 인화성 가스 등의 물질이 해당 장소 내에 존재할 수 있는지를 확인하여야 한다. 즉, 인화성 가스 등(이러한 물질을 발생시킬 수 있는 인화성 액체 및 고체 포함)이 공정설비(전폐구조와 관계없이)내에 저장되어 있는 경우, 설비 내부의 인화성 가스 등의 존재나 누출이 설비 외부에 위험분위기를 형성시킬 수 있는지를 검토하여야 한다.
- (3) 공정설비의 모든 구성요소(예, 탱크·펌프·배관·용기 등)는 잠재적인 인화성 물질의 누출원으로 간주한다. 다만, 이들 구성요소가 인화성 가스 등을 저장하지 않거나 대기 중으로 방출할 가능성이 전혀 없는 경우에는 누출원으로 고려하지 않는다. (예, 전체가 용접된 배관 등)
- (4) 이들 요소가 대기 중으로 인화성 가스 등을 누출시킨다고 가정할 경우, 먼저 누출 빈도와 지속시간의 설정에 의한 누출등급을 정할 필요가 있다. 밀폐된 공정설비의 개구부(예, 필터 교환 또는 배치 충전 등의 개구부)는 위험장소의 구분 시 누출원으로 고려한다. 위의 절차에 의해 각각의 누출원을 각각 “연속,” “1차,” “2차” 누출원으로 구분하며, 이 누출등급은 위험장소의 형태와 범위에 영향을 미치는 누출량과 기타 요소를 결정하는데 필요하다.
- (5) 잠재적인 위험이 존재할 수 있더라도 누출될 수 있는 인화성 물질의 전체량이 매우 작은 경우(예를 들면, 실험실용 등)에는 본 지침에서의 위험장소 설정절차를 적용하는 것은 적절하지 않을 수 있다. 이러한 경우에는 사용물질과 관련된 특별한 위험성을 평가하여야 한다.
- (6) 소각로, 화로, 보일러, 가스터빈 등 인화성 가스 등을 태우는 공정설비에서의 위험장소 구분은 퍼지주기, 기동 및 정지조건을 고려하여 결정한다.
- (7) 액체가 분사되어 미스트를 형성하는 경우에는 인화점보다 낮은 온도에서도 점화가 될 수 있으므로, 미스트의 운(Clouds of mist)이 생성되지 않도록 조치하여야 한다. (부록 4 참조)

## 5.3 위험장소의 종류

(1) 위험분위기가 존재할 가능성과 위험장소의 형태는 누출등급과 환기에 주로 관계된다.

- 주) 1. 일반적으로 연속누출등급은 0종 장소, 1차 누출등급은 1종 장소 그리고 2차 누출등급은 2종 장소를 형성한다.
2. 인접된 누출원의 중복으로 인해 다양한 종류의 위험장소가 형성되는 경우에는 그 중에서 가장 위험한 위험장소를 적용한다. 동일한 종류의 위험장소가 중첩된 경우에는 통상의 위험장소구분 형태를 따른다. 그러나, 각기 다른 기기군(Group) 또는 온도등급을 갖는 위험장소가 중첩된 경우에는 특별히 유의하여야 한다. 예를 들어, IIC T1 2종 장소에 IIA T3 1종 장소가 중복되는 경우에는 IIC T3 1종 장소가 과다 계상된 것일 수 있으나, IIC T1 1종 장소나 IIA T3 1종 장소로 적용할 수는 없다. 이러한 경우에는 위험장소 구분도에 IIC T1 2종 장소 또는 IIA T3 1종 장소와 같은 사항을 기록하도록 한다.

#### 5.4 위험장소의 범위

- (1) 위험장소의 범위는 가스·공기의 혼합물이 공기에 의해 안전율을 고려한 폭발하한값 이하로 희석되는 누출원에서부터 희석된 지점까지의 평가거리 또는 계산거리이다. 폭발하한값 이하로 희석되는 가스 또는 증기의 확산범위를 평가할 때에는 전문가의 자문을 받도록 한다.
- (2) 공기보다 무거운 가스는 지면 아래쪽(피트, 우묵한 곳 등)으로 흐르고, 공기보다 가벼운 가스는 위쪽(지붕 쪽 등)에 체류할 가능성이 있다는 것을 고려하여야 한다.
- (3) 누출원이 위험장소 외부 또는 인근 위험장소에 위치하는 경우에는 해당 위험장소 내로 상당한 양의 인화성 가스 등이 침투하는 것을 방지하기 위하여 다음과 같은 적절한 조치를 취한다.
- (가) 물리적인 장벽의 설치
- (나) 위험분위기의 침투를 방지하기 위하여 인접된 위험장소에 대해 충분한 과압 유지
- (다) 인화성 가스 등이 인입될 수 있는 모든 개구부 쪽으로, 공기가 밀려 나가도록 하기 위하여 신선한 공기를 해당 장소로 충분하게 퍼지 실시
- (4) 위험장소의 범위는 인화성 물질의 본질적인 특성 즉, 화학적 및 물리적인 변수에 주로 영향을 받고, 기타 공정 특징에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 기타 변수의 변화는 없다고 보고 각 변수의 영향을 간단히 나타내면 5.5항과 같다.

#### 5.5 위험장소 설정의 주요 변수

### 5.5.1 인화성 가스 등의 누출량

누출량이 크면 클수록 위험장소의 범위는 커진다. 누출량은 다음과 같은 기타 변수에 의존된다.

#### (1) 누출원의 기하학적 구조

누출원의 물리적인 특성. 예, 개방된 표면, 누출이 발생할 수 있는 연결부 구조 등 (<부록 1> 참조)

#### (2) 누출률

누출원이 주어지는 경우, 누출량은 누출률에 따라 증가한다. 제품이 공정설비 내에 있는 경우의 누출률은 누출원의 공정압력과 기하학적 구조와 관련된다. 인화성 가스 등의 운(Cloud)의 크기는 증기의 누출량과 확산율에 의해 결정된다. 누출부에서 빠른 속도로 뿜어 나오는 인화성 가스 등은 공기와 혼합되어 희석되면서 원뿔 모양으로 분출된다. 위험분위기의 범위는 풍속과는 거의 무관하다. 단, 누출률이 낮거나 고형 물질과 충돌하여 누출속도가 떨어질 경우 누출은 바람에 의해 이동되고 누출의 희석과 범위의 정도는 풍속에 영향을 받게 된다.

#### (3) 농도

누출량은 누출된 혼합물 내의 인화성 가스 등의 농도를 증가시킨다.

#### (4) 인화성 액체의 휘발성

이는 증기압과 기화열에 주로 관련된다. 만약 액체의 증기압이 알려져 있지 않을 경우에는 끓는점과 인화점을 이용할 수 있다. 인화성 액체의 인화점이 최고 사용온도보다 높을 경우에는 위험분위기가 생성되지 않지만, 인화점이 낮을수록 위험장소의 범위는 넓어지게 된다. 그러나, 인화성 액체가 안개 형태로 누출될 경우(예; 분사형태) 인화점이 하에서도 위험분위기가 형성될 수 있다.

주) 1. 인화성 액체의 정확한 인화점을 구하기 어려울 때도 있다.(특히, 혼합물에서의 경우)

2. 일부 액체(예; 할로젠 탄화수소 등)는 위험분위기를 생성하지만, 인화점을 갖고 있지는 않다. 이러한 경우 폭발하한에서 포화된 농도에 상응하는 등가액체온도를 관련된 액체의 최고 온도와 비교하여야 한다.

#### (5) 액체온도

온도의 증가에 따라 증기압은 증가되고, 이 증기압의 증가는 증발량을 많게 하여 누출량을 증가시킨다.

주) 누출 후의 액체온도는 고온 표면이나 대기온도에 의해서 상승될 수 있다.

### 5.5.2 폭발하한값(LEL)

- (1) 주어진 누출량에서 폭발하한값이 낮을수록 위험장소의 범위는 커진다.
- (2) LEL(vol.)이 15 %인 암모니아가 개방 공간에서 누출되는 경우에는 가스가 급속하게 확산되므로, 일반적으로 가스폭발분위기의 생성은 무시한다.

### 5.5.3 환기

일반적으로 환기가 증가됨에 따라 위험장소의 범위는 감소되나, 환기를 방해하는 장애물(예, 방유제(dike)·벽·천장)이 있을 경우 환기범위가 제한되어 그 범위가 확대될 수 있다. 건물의 각 부분을 통하여 자유로운 공기 흐름을 위한 대형 천장 환풍기, 충분히 개방된 벽면이 구비된 압축기실 등은 옥외와 같은 정도의 환기가 양호한 것으로 간주한다 (즉, “중”등급 및 “우수” 유효성).

### 5.5.4 누출시 인화성 가스 등의 비중

인화성 가스 등은 그 비중이 공기보다 가벼울 경우에는 위로 상승하고, 반대로 이보다 무거운 경우에는 지면으로 축적되게 된다. 지면에서의 위험장소 수평범위는 상대비중이 증가함에 따라 증가되고, 수직범위는 비중이 감소함에 따라 증가된다.

- 주) 1. 실제 적용시에는 0.8 이하의 비중을 가진 인화성 가스 등은 공기보다 가벼운 것, 1.2 이상의 비중을 가지는 경우에는 공기보다 무거운 것으로 간주한다. 또한, 0.8 ~ 1.2 사이의 비중을 가진 경우에는 양쪽 가능성 모두를 고려한다.
2. 공기보다 가벼운 인화성 가스 등의 저속 누출은 신속하게 위로 확산시켜 천장 쪽에 모이게 하여 그 아래 지역의 불가피한 확산을 증가시킨다. 분출구에서의 고속 제트분사는 인화성 가스 등의 회석에도 불구하고 가스/공기 혼합물이 폭발하한 이상의 범위가 증가될 수도 있다.
  3. 공기보다 무거운 인화성 가스 등의 저속 누출은 아래쪽으로 흐르고 대기 확산에 의하여 안전하게 회석되기 전에 지면으로 긴 거리를 형성할 수 있다. 인화성 가스 등이 움푹한 곳에 모이거나 낮은 곳을 통하여 흐를 수 있는 지를 정하기 위하여 현장의 기하학적 특성과 주변 지역에 대한 특별 고려를 한다. 만약 공기 동반에 의한 고속 제트분사에 의한 누출이라면, 저속 누출의 경우보다 폭발하한을 더 짧게 하여 가스/공기 혼합물을 줄일 수 있다.
  4. LNG와 같은 극저온 인화성가스가 함유되어 있는 장소를 구분할 때에는 주의를 요한다. 분출된 증기는 저온에서는 공기보다 무겁지만 주위온도에 가까워지면 공기보다 가벼워지기 때문이다.

### 5.5.5 기타 변수

## (1) 기후조건

대기압 상태에서의 가스 또는 증기의 분산속도는 풍속에 의해 증가되며, 초기 확산 작용을 일으키기 위하여 소요되는 최소 속도는 2 m/s~3 m/s 정도이다. 이 이하에서는 인화성 가스 등의 층이 형성되고, 이를 안전하게 확산시키기 위해서는 그 거리가 크게 증가된다. 대형 용기와 구조물에 의하여 보호되는 공정지역에서의 공기 이동속도는 실질적으로 풍속보다 낮을 수 있다. 그러나 각각의 설비에 의한 공기 이동 방해물은 저풍속에서도 난기류를 형성하는 경향을 보인다.

- 주) 1. <부록 2>의 4항에서와 같이, 외부 환경에서 초당 0.5 m의 풍속은 인화성 물질의 누출을 희석시키는데 적절한 환기로 간주한다. 층의 형성 경향이 계산으로 이루어질 수 있다고 할 지라도, 보수적인 접근법을 유지하기 위하여 이러한 저풍속은 그 목적상 적합하다고 볼 수 있다.
2. 통상적으로 이러한 경향이 발생하는 상황은 거의 없고, 있다 하더라도 단지 단시간만 발생하기 때문에, 층의 경향은 위험장소 구분시에 고려하지 않는다. 하지만, 만일 저풍속 시간이 특정 상황에서 연장될 것으로 예측된다면, 위험장소의 범위를 확산시키기 위하여 요구되는 추가적인 거리를 고려하여야 한다.

## (2) 지형조건

일부 액체는 물보다 밀도가 작아 물과 쉽게 혼합되지 않는다. 이러한 액체는 물 표면 위로 확산되고(공정의 지면 위의 드레인 또는 파이프 트랜치에 의한 것) 누출원에 의하여 점화될 수 있으므로, 공장의 넓은 지역에서 위험할 수 있다. 따라서, 가능한 한 설비의 배치는 위험분위기가 신속하게 희석되도록 설계하여야 한다. 환기가 제한된 장소(예, 피트 또는 트랜치 등)은 2종장소가 아닌 1종장소로 구분될 수 있다. 반면에 펌프류나 배관을 설치한 장소가 넓고 얕은 경우에는 이러한 적용을 엄격히 하지 않을 수도 있다.

## 5.5.6 위험장소의 범위 예시

아래의 사례에 대해 누출량과 위험장소의 범위에 영향을 미치는 변수들이 제시되고 있으며, 위험장소에 관한 예시를 <부록 3>에 나타내었다. 누출원과 누출물의 계산예시는 <부록 1>을 참고한다.

## (1) 누출원이 개방된 액체표면인 경우

대부분의 액체온도는 끓는점보다 낮으므로, 증기 누출량은 주로 다음 변수들에 의하여 결정된다.

- ① 액체 온도
- ② 액체 표면온도에서의 증기압
- ③ 증발표면의 치수
- ④ 환기

(2) 누출원이 거의 순간적으로 증기화(예, 제트분사 또는 분무)되는 액체인 경우  
분출된 액체의 순간적인 증기화에 의한 누출량은 액체의 유량과 같고 다음 변수에  
의하여 결정된다.

- ① 액체 압력
- ② 누출원의 기하학적 모양

주) 액체가 순간적으로 증기화되지 않을 경우, 증기방울·액체 분사 및 웅덩이 등에 의하여 또  
다른 누출원을 생성할 수 있기 때문에 그 상황은 더욱 복잡해진다.

(3) 누출원이 가스혼합물 누출인 경우  
가스 누출량은 다음 변수에 의해 영향을 받는다.

- ① 가스를 저장하고 있는 설비 내의 압력
- ② 누출원의 기하학적 모양
- ③ 누출된 혼합물 내의 인화성가스의 농도

## 6. 환 기

### 6.1 일반 사항

대기 중으로 누출된 인화성 가스 등은 농도가 폭발하한 이하로 내려갈 때까지 확산 또  
는 분산되어 희석된다. 환기는 누출원 주위의 위험분위기를 신선한 공기에 의해 대체  
하기 위한 공기 이동으로 희석을 촉진시키게 되며, 적합한 환기는 위험장소에 영향을  
미치는 위험분위기의 지속을 억제하게 된다.

### 6.2 환기의 주요 형태

환기는 대기의 온도차나 송풍기와 같은 강제수단을 이용한 공기 이동에 의한 것으로  
다음과 같이 크게 2종류로 구분한다.

#### (1) 자연 환기

## (2) 강제 환기(전체 또는 국소)

## 6.3 환기등급

- (1) 환기에서 가장 중요한 요소인 환기의 양과 정도는 누출원의 종류와 그에 관련된 누출량에 직접적으로 관련되며, 이는 환기형태보다는 풍속이나 시간당 공기순환율과 관련된다. 따라서 위험장소에서 최적의 환기조건을 얻을 경우, 관련 누출지점에서 환기가 증가될수록 지역의 범위는 작아지며, 경우에 따라서는 무시할 정도로 감소시켜 비위험장소가 될 수 있다.

- (2) 환기등급에 관한 상세한 내용은 <부록 2>를 참고한다.

## 6.4 환기의 유효성

환기의 유효성은 위험분위기의 존재 또는 형성, 그리고 위험장소의 형태에도 영향을 미친다. 유효성에 관한 상세한 내용은 <부록 2>를 참고한다.

주) 환기 등급과 유효성 등급의 개념의 조합은 위험장소 형태의 평가를 위한 양적 방법을 도출한다.  
(<부록 2> 참조)

## 7. 문서화

## 7.1 일반사항

- (1) 위험장소의 구분은 여러 단계를 거쳐 수행되며, 이러한 단계는 적절한 형태로 문서화하여야 한다.
- (2) 사용된 모든 정보는 다음과 같은 정보나 사용방법의 예에 의하여 참조할 수 있다.
- (가) 적합한 코드와 지침에 의한 권고 사항
  - (나) 인화성 가스 등의 확산 특성 및 계산
  - (다) 환기 유효성평가를 위한 인화성 물질의 누출변수에 관련된 환기특성 검토
- (3) 사용되는 모든 공정물질에 대한 위험장소의 구분에 관계되는 특성, 즉 분자량·인화점·끓는점·발화온도·증기압·증기밀도·폭발한계·가스군 및 온도등급 등을 목록화한다.

이 물질목록화의 예는 <부록 3>의 <표1> 및 <표 3>에 나타내었다.

- (4) 위험장소 구분에 관한 검토 결과와 계속되는 변경사항은 <부록 3>의 <표 2> 및 <표 4>를 참조한다.

## 7.2 도면·자료 서식 및 표

- (1) 위험장소구분 문서에는 위험장소의 형태와 범위, 점화온도, 온도등급 및 가스군 등을 나타내는 평면도와 입면도를 포함한다.

- (2) 장소구분도에 표기하여야 할 사항은 다음과 같다.

(가) 위험장소 구분에 관한 평면도와 입면도

(나) 위험장소의 종류와 범위 및 인화성 가스 등의 발화도·온도등급과 가스군

- (3) 지형이 위험장소 범위에 영향을 미치는 경우에는 이를 문서화한다.

- (4) 위험장소 구분 문서에는 상기사항 이외에도 다음과 같은 정보가 있어야 한다.

(가) 누출원의 위치와 표시, 대형 복합 공장 또는 공정지역의 경우, 위험장소의 구분 자료(Data sheet)와 도면이 상호 참조되도록 하기 위해 누출원을 목록화 또는 계량화한 자료

(나) 건물내의 개구부 위치 등(예, 환기용 문·창 및 출입구)

- (5) 위험장소 표기는 <부록 3>의 예제 그림 중에서 가장 적합한 것을 선정하되, 그 표기는 각 도면 모두에 나타내어야 한다. 다수의 기기군 및/또는 온도등급이 동일한 장소 형태 내에 필요한 경우에는 다른 기호가 필요할 수 있다. (예를 들어, IIC T1 2종장소 및 IIA T3 2종장소 등)

## &lt;부록 1&gt;

## 누출원과 누출률의 계산 예시

## 1. 공정설비

다음의 예는 단지 참고용이며, 이는 특정 공정설비 및 상황에 따라 적합하게 변경시킬 수 있다.

## 1.1 연속 누출원

- (1) 대기 중으로 연속 누출시키는 고정지붕식 저장탱크(Fixed roof tank) 내부의 인화성 액체 표면
- (2) 연속 또는 장기간 대기 중에 개방되어 있는 인화성액체의 표면(예; 유수분리기)

## 1.2 1차 누출원

- (1) 정상작동 중 인화성 물질이 누출될 수 있는 압축기·밸브·펌프 등의 기밀부(Seal)
- (2) 정상작동 중의 물배출시 인화성 물질이 누출될 수 있는 인화성 액체를 저장하고 있는 용기의 배출구
- (3) 정상작동 중 대기 중으로 인화성 물질의 누출이 예상되는 시료 채취점
- (4) 정상작동 중 대기 중으로 인화성 물질의 누출이 예상되는 안전 밸브, 통기구(Vent), 기타 개구부

## 1.3 2차 누출원

- (1) 정상작동 중에는 인화성 물질의 누출이 예상되지 않는 압축기·밸브·펌프 등의 기밀부
- (2) 정상작동 중에는 인화성 물질의 누출이 예상되지 않는 플랜지·연결부위·파이프 피팅류(Fitting)
- (3) 정상작동 중에는 인화성 물질의 누출이 예상되지 않는 시료 채취점
- (4) 정상작동 중에는 대기 중으로 인화성 물질의 누출이 예상되지 않는 안전밸브·통기구·기타 개구부 등

## 2. 개구부(Opening)

다음의 예는 단지 참고용이며, 이는 특정 상황에 따라 적합하게 변경시킬 수 있다.

### 2.1 누출원이 될 수 있는 개구부

위험장소 사이의 개구부는 누출원으로 간주하여야 하며, 다음 사항을 고려하여 누출등급을 정한다.

- (1) 인접 지역의 위험장소 중별
- (2) 개방 주기의 빈도 및 지속 시간
- (3) 밀봉 또는 접합의 유효성
- (4) 포함된 위험장소 사이의 압력 차이

### 2.2 개구부의 분류

개구부는 다음 특성에 따라 A, B, C 또는 D로 분류한다.

#### 2.2.1 A형 - B, C 또는 D형에 속하지 않는 개구부

- (1) 유틸리티 또는 접근용 통로 (예; 벽·천장 및 마루 등을 관통하는 덕트, 파이프 등)
- (2) 방, 건물의 고정 환기설비 출구, 장기간 또는 빈번하게 열리는 B, C 또는 D형과 유사한 개구부

#### 2.2.2 B형 - 상시 닫혀있고(자동폐쇄) 드물게 열리는 개구부 및 폐쇄된 피팅부

#### 2.2.3 C형 - 전체 원주를 따라 실링기구(개스킷 등)로 조립되어 B형과 같이 상시 폐쇄되고 드물게 열리는 개구부, 독립적으로 자동 폐쇄되는 B형 개구부 2개가 직렬로 연결된 것

#### 2.2.4 D형 - 특수 장치에 의해서만 또는 비상시에만 열 수 있는 C형과 유사한 상시 폐쇄된 개구부, D형 개구부는 유틸리티 통로(예, 덕트, 파이프 등)와 같이 효과적으로 밀폐한 것 또는 위험장소에 인접한 C형 개구부와 B형 개구부를 직렬로 조합한 것일 수 있다.

&lt;표 1.1&gt; 누출등급에서의 개구부의 영향

| 개구부 앞의<br>위험장소 | 개구부 형태           | 누출원이 될 수 있는 개구부의 누출등급                    |
|----------------|------------------|------------------------------------------|
| 0종 장소          | A<br>B<br>C<br>D | 연속<br>(연속) / 1차<br>2차<br>누출 없음           |
| 1종 장소          | A<br>B<br>C<br>D | 1차<br>(1차) / 2차<br>(2차) / 누출 없음<br>누출 없음 |
| 2종 장소          | A<br>B<br>C<br>D | 1차<br>(2차) / 누출 없음<br>누출 없음<br>누출 없음     |

주) 표의 누출등급을 산출하기 위한 개구부의 조작 빈도는 공정설계 조건 참조

### 3. 누출률(Release rate)

- (1) 다음의 예는 인화성 액체와 가스의 개략적인 누출률을 제시하고 있다. 누출률을 좀 더 상세하게 추정하기 위해서는 개구부의 특성, 예를 들면 방출계수나 방출형상에 대한 검토가 필요하다. 그러나 이러한 계수 값을 고려하지 않고 계산된 결과는 보수적인 설계를 위하여는 충분히 이용가능하다.
- (2) 본 예에서는 액체 또는 기체의 점도는 고려하지 않고 있다. 점도를 고려하게 되면 상당히 큰 개구부를 통해 인화성 물질이 누출되더라도 실제 누출률은 계산된 값보다 훨씬 작게 될 것이다.

#### 3.1 액체의 누출률

액체의 누출률은 다음의 식에 의해 간략히 추정할 수 있다.

$$\frac{dG}{dt} = S\sqrt{2\rho\Delta p} \quad (1.1)$$

여기에서,

$\frac{dG}{dt}$  : 액체의 누출률 (시간당 질량, kg/s)

$S$  : 액체가 누출되는 개구부의 면적 (표면적, m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 액체의 밀도 (부피당 질량, kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta p$  : 누출부위에서의 차압 (Pa)

### 3.2 가스의 누출률

압축가스의 밀도가 액화가스 밀도보다 낮은 경우에는 저장용기로부터의 가스누출이 단열팽창에 의해 진행될 것이다. 가스용기 내부의 압력이 임계압  $p_c$  보다 높은 경우에는 가스의 누출속도가 음속 이상이 된다.

$$p_c = p_o \left[ \frac{\Upsilon + 1}{2} \right]^{\Upsilon/(\Upsilon - 1)} \quad (1.2)$$

여기에서,

$p_o$  : 가스용기 외부의 압력

$\Upsilon$  : 단열팽창시의 비열계수

이상적인 가스에 대하여는 방정식  $\Upsilon = \frac{Mc_p}{Mc_p - R}$  가 사용된다.

여기에서,

$c_p$  : 정압상태에서의 잠열 (J kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)

$M$  : 가스의 몰 질량 (kg/kmol)

$R$  : 가스상수 (8314 J kmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)

#### 3.2.1 음속 이상의 가스속도를 갖는 가스의 누출률

음속 이상의 가스속도는 이론적으로 해당 가스의 최대 음속과 같다. 가스의 속도가 음속 이상인 경우 저장용기로부터의 가스 누출률은 다음의 식에 의해 간략히 추정할 수 있다.

$$\frac{dG}{dt} = Sp \sqrt{\Upsilon \frac{M}{RT}} \left[ \frac{2}{\Upsilon + 1} \right]^{(\Upsilon + 1)/2(\Upsilon - 1)} \quad (1.3)$$

여기에서,

$\frac{dG}{dt}$  : 가스의 누출률 (시간당 질량, kg/s)

$p$  : 저장용기 내부의 압력 (Pa)

$\Upsilon$  : 단열팽창시의 비열계수

$S$  : 가스가 누출되는 개구부의 면적 (표면적, m<sup>2</sup>)

$M$  : 가스의 몰 질량 (kg/kmol)

$T$  : 저장용기 내부의 절대온도 (K)

$R$  : 가스상수 (8314 J kmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)

방출 부위에서의 가스속도( $V_s$ )는 음속과 같으며, 이는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$V_s = \sqrt{\Upsilon \frac{RT}{M}} \quad (1.4)$$

### 3.2.2 음속 미만의 가스속도를 갖는 가스의 누출률

음속 미만의 가스속도는 해당 가스의 최대 음속보다 작다. 가스의 속도가 음속 미만인 경우 저장용기로부터의 가스 누출률은 다음의 식에 의해 간략히 추정할 수 있다.

$$\frac{dG}{dt} = S p \sqrt{\frac{M}{RT} \frac{2\Upsilon}{\Upsilon-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_o}{p} \right)^{(\Upsilon-1)/\Upsilon} \right] \left( \frac{p_o}{p} \right)^{1/\Upsilon}} \quad (1.5)$$

여기에서,

$\frac{dG}{dt}$  : 가스의 누출률 (시간당 질량, kg/s)

$p$  : 저장용기 내부의 압력 (Pa)

$p_o$  : 저장용기 외부의 압력 (Pa)

$S$  : 가스가 누출되는 개구부의 면적 (표면적, m<sup>2</sup>)

$M$  : 가스의 몰 질량 (kg/kmol)

$T$  : 저장용기 내부의 절대온도 (K)

$\Upsilon$  : 단열팽창시의 비열계수

$R$  : 가스상수 ( $8314 \text{ J kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

방출 부위에서의 가스속도는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$V_o = \frac{dG/dt}{\rho_o S} \quad (1.6)$$

여기에서,

$V_o$  : 방출부위에서의 가스속도 ( $\text{m/s}$ )

$\rho_o = \rho \left( \frac{p_o}{p} \right)^{1/\gamma}$  : 저장용기 내부의 가스밀도가  $\rho$  일 때의 팽창가스 밀도 ( $\text{kg/m}^3$ )

저장용기 내부의 가스밀도는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (1.7)$$

#### 4. 누출률의 계산예시

##### < 예시 1 > 인화성 액체의 누출

- 저장설비 : 아세톤으로 채워진 3 m 높이의 저장탱크
- 운전조건 : 저장용기 브리더 밸브의 설정치는 +0.05 bar
- 사고내용 : 저장용기 하부의 플랜지 손상으로 1 mm의 구멍을 통해 아세톤이 누출

<누출률의 계산>

$\rho = 790 \text{ kg/m}^3$  : 액상 아세톤의 밀도

$S = 10^{-6} \text{ m}^2$  : 누출 단면적

$\Delta h = 3 \text{ m}$  : 아세톤의 액체표면과 누출구멍 사이의 높이

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  : 중력가속도

$\Delta p_v = 5 \times 10^3 \text{ Pa}$  : 브리더 밸브의 설정치 (저장용기 최고높이에서 최대압력 발생가정)

누출되는 구멍에서의 최대 차압은

$$\Delta p = \Delta p_v + \rho g \Delta h = 5 \times 10^3 + 790 \times 9.81 \times 3 = 2.8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

이때의 누출률은

$$\left( \frac{dG}{dt} \right)_{\max} = S \sqrt{2\rho \Delta p} = 10^{-6} \times \sqrt{2 \times 790 \times 2.8 \times 10^4} = 6.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

### < 예시 2 > 음속 이상의 가스 누출

- 저장설비 : 수소를 이송 중인 가스배관
- 운전조건 : 수소가스 배관 내의 온도 20 °C, 압력 11 bar
- 사고내용 : 플랜지 손상으로 2.5 mm<sup>2</sup>의 구멍을 통해 수소가스가 대기로 누출

<누출률의 계산>

- $p = 11 \times 10^5 \text{ Pa}$  : 배관 내부의 압력
- $T = 293 \text{ K}$  : 절대온도
- $M = 2 \text{ kg/kmol}$  : 수소의 몰 질량
- $S = 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  : 누출 단면적
- $\gamma = 1.41$  : 수소가스 단열팽창시의 비열계수

여기에서 임계압  $p_c$  는

$$p_c = p_o \left[ \frac{\gamma + 1}{2} \right]^{\gamma/(\gamma-1)} = 10^5 \times \left( \frac{1.41 + 1}{2} \right)^{1.41/(1.41-1)} = 1.9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$p > p_c$ 이므로, 누출가스의 속도는 음속 이상이 된다. 그러므로 가스 누출률은

$$\begin{aligned} \frac{dG}{dt} &= S p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT}} \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \right]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \\ &= 2.5 \times 10^{-6} \times 11 \times 10^5 \times \sqrt{1.41 \times \frac{2}{8.3 \times 10^3 \times 293}} \times \left( \frac{2}{1.41 + 1} \right)^{(1.41+1)/[2 \times (1.41-1)]} \\ &= 1.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

### < 예시 3 > 음속 미만의 가스 누출

- 저장설비 : 메탄가스 저장용기

○ 운전조건 : 저장온도  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 저장용기의 릴리프 밸브 설정치는  $+0.005\text{ bar}$

○ 사고내용 : 저장용기의 오동작으로  $10\text{ cm}^2$ 의 구멍을 통해 가스가 대기로 방출

### <누출률의 계산>

$p = 1.005 \times 10^5\text{ Pa}$  : 저장용기의 내부 압력

$p_o = 10^5\text{ Pa}$  : 대기압

$T = 253\text{ K}$  : 절대온도

$M = 16\text{ kg/kmol}$  : 메탄의 몰 질량

$S = 10^{-3}\text{ m}^2$  : 누출 단면적

$\gamma = 1.32$  : 메탄가스 단열팽창시의 비열계수

여기에서 임계압  $p_c$  는

$$p_c = p_o \left[ \frac{\gamma + 1}{2} \right]^{\gamma/(\gamma-1)} = 10^5 \times \left( \frac{1.32 + 1}{2} \right)^{1.32/(1.32-1)} = 1.84 \times 10^5\text{ Pa}$$

$p < p_c$  이므로, 누출가스의 속도는 음속 미만이 된다.

$$\frac{p_o}{p} = 0.995$$

그러므로 가스의 누출률은

$$\begin{aligned} \frac{dG}{dt} &= Sp \sqrt{\frac{M}{RT} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_o}{p} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \left( \frac{p_o}{p} \right)^{1/\gamma}} \\ &= 10^{-3} \times 1.005 \times 10^5 \times \sqrt{\frac{16}{8.3 \times 10^3 \times 253} \times \frac{2 \times 1.32}{1.32-1} \times [1 - 0.995^{(1.32-1)/1.32}] \times 0.995^{1/1.32}} \\ &= 2.8 \times 10^{-2}\text{ kg/s} \end{aligned}$$

이 경우, 가스누출시의 초기속도는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{1.005 \times 10^5 \times 16}{8.3 \times 10^3 \times 253} = 0.8\text{ kg/m}^3$$

$$\rho_o = \rho \left( \frac{p_o}{p} \right)^{1/\gamma} = 0.8 \times (0.995)^{1/1.32} = 0.8 \text{ kg/m}^3$$

그러므로 초기속도는  $V_o = \frac{dG/dt}{\rho_o S} = \frac{2.8 \times 10^{-2}}{0.8 \times 10^{-3}} = 35 \text{ m/s}$ 가 된다.

## &lt;부록 2&gt;

## 환기

## 1. 개요

- (1) 이 부록은 본문 6항과 관련하여 환기등급을 평가하고 정의된 환기조건과 예시 등을 통하여 누출된 인화성 가스 등을 희석시키는데 아주 중요한 강제환기설비의 설계지침을 제공한다.
- (2) 개발된 방법은 다음에 따라 위험장소의 종류를 결정하는 데 사용한다.
  - 위험분위기의 생성을 방지하기 위하여 요구되는 최소 환기율의 평가
  - 환기등급을 결정하는 데 필요한 가상체적  $V_z$ 의 계산
  - 누출지속시간의 계산
  - <표 2.1>을 이용하여 환기등급 및 유효성과 누출등급으로부터 위험장소의 종류 결정
  - 위험장소와 지속시간이 일치되는 지를 확인
- (3) 이 계산은 위험장소의 크기를 직접 결정하기 위한 용도는 아니다.
- (4) 이 부록은 실내 환경에서의 사용을 우선으로 하지만 <표 2.1>의 적용에 의하여 실외 환경에서도 적용할 수 있다.

## 2. 자연 환기

- (1) 자연 환기란 대기의 온도차나 바람에 의한 공기 이동에 의해 이루어지는 형태의 환기를 말한다. 이 자연환기는 개방된 곳에서 생성되는 그 어떠한 위험분위기도 해소시키기에 충분한 환기가 대부분 보장되며, 이는 실내(예; 벽 또는 천장에 개구부가 있는 건물)에서도 효과적일 수가 있다.

주) 옥외에서의 환기등급은 실제의 최소 풍속이 0.5 m/s로 지속된다는 것을 전제로 한다. 그러나 그 풍속은 특정장소에서는 2 m/s 이상일 수도 있고 0.5 m/s 이하일 수도 있다.(지면에 직접 닿는 곳)

- (2) 자연 환기의 예는 다음과 같다.

- 석유화학 공장에서의 개방된 구조물, 파이프 랙, 펌프지역 등 및 이와 유사한 전형적인

#### 개방지역

- 위험장소를 구분하기 위한 목적으로, 옥외 개방상황과 유사한 정도의 개방형 건물 안의 벽이나 천장에 가스 또는 증기의 비중을 고려한 환기용 개구부가 있는 개방 건물 구조
- 개방 건물구조는 아니지만, 환기를 목적으로 한 영구 개구부에 의하여 제공되는 자연환기(일반적으로 개방 건물구조보다 작다)가 되는 건물구조

### 3. 강제 환기

#### 3.1 일반사항

- (1) 강제 환기란 인위적인 수단(예; 팬 또는 배출기 등)에 의하여 공기를 이동시키는 환기형태를 말한다. 이 강제 환기는 주로 방이나 밀폐된 공간에 적용되나, 개방 상태에서 장해물로 인하여 자연 환기가 제한되거나 방해되는 것을 보상하기 위해 사용하기도 한다.
- (2) 강제 환기는 전체 또는 국부, 또는 이들 2가지 모두일 수 있으며, 공기의 이동 및 순환정도는 적절하게 조절할 수 있다.
- (3) 강제 환기의 목적은 다음과 같다.
  - 위험장소의 크기 축소
  - 위험분위기의 지속시간 단축
  - 위험분위기의 생성 억제

#### 3.2 설계시 고려사항

- (1) 강제 환기는 옥내환경에서 효율적이고 신뢰성 있는 환기설비로부터 제공받을 수 있어야 하고, 폭발방지를 위해 설계된 강제 환기설비는 다음 요건을 충족시킬 수 있어야 한다.
  - 환기 유효성의 제어와 감시
  - 배출설비 외부 배출구 인근, 기타 개구부와 내부의 위험장소 구분 고려
  - 위험장소의 환기용 공기는 비위험장소에서 흡입
  - 환기설비의 용량결정 및 설계를 하기 전에 설치 위치 · 누출등급 · 누출량을 먼저 결정
- (2) 추가로 강제 환기설비의 성능에 영향을 미치는 다음 요소를 고려한다.

- 인화성 가스 등은 대부분 공기와 비중이 다르므로, 공기의 이동이 거의 없는 밀폐된 지역의 바닥이나 천장 근처에서 축적되는 경향을 보인다.
- 온도에 따른 가스 비중 변화
- 장애물(Impediment)과 방해물(Obstacle)에 의한 공기의 이동 감소 또는 소멸 영향, 즉 일부 지역에서의 불완전한 환기

### 3.3 강제 환기의 예

#### 3.3.1 전체 환기의 예

- 건물내의 전체 환기를 개선하기 위해 벽 및/또는 천장에 환풍기를 설치한 건물
- 지역의 전체 환기를 개선하기 위해 적절한 위치에 환풍기를 설치한 개방 장소

#### 3.3.2 국소 환기의 예

- 연속 또는 주기적으로 인화성 증기가 누출되는 공정설비에 적용하는 공기 또는 증기 배출 설비
- 위험분위기가 여러 형태로 일어날 수 있을 것으로 예측되는 곳의 작은 국소 환기 설비에 적용하는 강제 환기 또는 배기설비

## 4. 환기 등급

위험분위기의 분산(Dispersion) 및 지속을 제어하는 환기의 유효성은 환기의 등급, 유효성 및 환기설비의 설계에 달려있다. 예를 들면, 환기는 위험분위기의 축적을 방지하는 데 충분하지 않지만, 가스분위기의 지속을 억제하는 데는 효과적일 수도 있다. 환기등급은 다음과 같은 3종류로 나눌 수 있다.

### 4.1 고환기(VH, High ventilation)

고환기란 누출원에서의 농도를 순간적으로 감소시킬 수 있는 환기로, 결국 가스 농도를 폭발하한 값 이하로 낮추어 위험장소의 범위를 무시할 정도로 작게 하는 것을 말한다. 그러나, 환기의 유효성이 미흡한 경우에는 무시할 정도의 위험장소 주위는 다른 종별의 위험장소가 될 수 있다.

### 4.2 중환기(VM, Medium ventilation)

- (1) 중환기란 누출이 진행되는 동안에는 위험장소 내의 농도를 안정된 상태로 제어할 수

있고, 누출이 중단된 후에는 더 이상의 위험분위기가 지속되지 않도록 하는 환기를 말한다.

(2) 위험장소의 종류와 범위는 설계변수에 따라 제한된다.

#### 4.3 저환기(VL, Low ventilation)

누출이 진행되는 동안에는 누출 농도를 제어할 수 없고, 누출이 중단된 이후에도 위험분위기의 지속을 억제할 수 없는 정도의 환기를 말한다.

### 5. 환기등급의 평가 및 위험장소의 환기 영향

#### 5.1 일반사항

누출이 중단된 후의 인화성 가스 등의 구름(Cloud)의 크기와 그 지속시간은 환기에 의해 제어할 수 있으며, 위험분위기의 정도와 지속시간을 제어하기 위해 필요한 환기등급 평가시의 주의사항은 다음과 같다.

- (1) 이 방법은 기술하는데 한계가 있기 때문에 단지 근사적인 결과만 줄 수 있다는 것을 감안하여야 한다. 그러나 안전측면에서 보면 그 결과에 오류가 있을 수 있으므로 안전계수를 사용하여야 하며, 이 방법의 적용은 많은 가정적인 예시로 설명한다 (8항 참조).
- (2) 환기등급 평가시에는 먼저 입증된 경험 또는 논리적인 계산이나 확실한 가정에 의해서 누출원에서의 인화성 가스 등의 최대 누출량을 알아야 하는 것을 필요로 한다.

#### 5.2 가상체적 $V_z$ 의 산정

##### 5.2.1 일반사항

가상체적  $V_z$ 의 내부에 인화성 가스 등의 농도가 안전율  $k$ 의 값에 의존되는  $LEL$ 의 0.25(25 %) 또는 0.5(50 %)를 넘는다는 것을 의미한다. 이것은 산정된 가상체적 끝단에서의 가스 또는 증기의 농도가 확실히  $LEL$  이하에 있다는 것 즉,  $V_z$ 는  $LEL$ 보다 높은 농도를 갖는 체적임을 뜻한다.

5.2.2 가상체적  $V_z$ 와 위험장소 크기와의 관계

- (1) 가상체적  $V_z$ 은 누출원으로부터 인화성 가스 등의 체적의 외곽(Envelope)에 관한 내용을 제시하고 있으나, 그 외곽이 위험장소의 체적과 동일하지는 않다. 그 이유는 첫째 가상체적의 모양은 일정하지 않고 환기조건에 의하여 영향을 받을 수 있다(5.3항 및 6항 참조). 이들 요소들 중에서 환기의 등급과 유효성 및 변수는 가상체적의 모양에 영향을 준다. 둘째, 누출원에 관련된 가상체적의 위치를 설정할 필요가 있다. 이것은 아래로 향하는 풍향에 따른 편향된 가상체적에서의 환기방향이 우선적으로 관련된다. 셋째로 많은 상황(예; 외부조건)에서, 환기방향의 변화 가능성을 고려하여야 한다.
- (2) 따라서, 주어진 누출원으로부터 위험장소의 체적은 일반적으로 크게 고려한다. 경우에 따라 가상체적  $V_z$ 의 수배까지를 잡아주기도 한다.
- (3) 가상체적(식 2.4 및 2.5 참조)을 구하기 위하여 먼저 인화성 물질이 누출되는 경우, 이의 농도를  $LEL$  이하로 완화시키기 위한 신선한 공기의 최소 환기량을 계산할 필요가 있다. 이것은 다음 식으로 계산된다.

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL_m} \times \frac{T}{293} \quad (2.1)$$

여기에서,

$(dV/dt)_{\min}$  : 신선한 공기의 최소 유량 ( $m^3/s$ )

$(dG/dt)_{\max}$  : 누출원에서의 최대 누출률 ( $kg/s$ )

$LEL_m$  : 폭발하한 ( $kg/m^3$ )

$k$  :  $LEL_m$ 로 표시되는 안전계수(연속 및 1차 누출 등급 : 0.25,  
2차 누출 등급 : 0.5)

$T$  : 외기 온도(켈빈, K)

주)  $LEL_v$ (vol.%)를  $LEL_m$ ( $kg/m^3$ )로 변환하고자 하는 경우에는 다음 식을 이용할 수 있다.

$$LEL_m = 0.416 \times 10^{-3} \times M \times LEL_v$$

여기에서,  $M$ : 분자량( $kg/kmol$ )

- (4) 누출원 인근에서의 고려 대상 체적 ( $V_0$ )내의 실제 환기율과 계산값  $(dV/dt)_{\min}$  사이의 관계는 ( $V_k$ )로서 표현할 수 있다

주) 고려 대상 체적( $V_0$ ) 상의 환기에 의하여 공급되는 체적 내에 누출원이 다수 있는 경우에는 각각의 누출원과 누출등급에서의  $(dV/dt)_{\min}$ 의 값을 구하는 것이 필요하다. 여기에서 결정되는 유량은 <표 2.2>에 요약하였다.

$$V_k = \frac{(dV/dt)_{\min}}{C} \quad (2.2)$$

여기에서,

$C$ 는 단위시간당 신선한 공기의 환기 회수( $S^{-1}$ )를 말하며, 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$C = \frac{dV_0/dt}{V_0} \quad (2.3)$$

여기에서,

$dV_0/dt$  : 대상 체적을 통과하는 신선한 공기의 전체 환기량

$V_0$  : 대상 누출원 인근에 있는 실제 환기에 의하여 공급되는(설비 관리내의) 전체 체적

주) 일반적으로 실내 환경에서는  $V_0$ 는 누출원에 특정한 국소환기가 없다면 고려대상의 방이나 건물의 체적으로 한다.

- (5) 식 (2.2)는 이상적인 흐름상태의 신선한 공기가 주어진 누출원에서 순간적으로 균일하게 혼합된다는 것을 전제로 한 것이다. 실제로는 해당 지역의 불량한 환기, 공기흐름의 장애 등으로 인하여 이러한 이상적인 조건은 이루어 질 수 없다. 따라서, 누출원에서 효과적인 공기순환은 식 (2.3)의  $C$ 에 의하여 주어진 것보다 낮아 체적( $V_z$ )를 증가시키게 된다. 따라서 식 (2.2)에 별도의 보정계수  $f$ 를 고려하면 다음과 같은 식이 된다.

$$V_z = f \times V_k = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} \quad (2.4)$$

여기에서,

$f$  : 폭발성가스의 희석(diluting) 효과를 나타내는 환기의 유효성

$f=1$ (최적상태), 일반적으로는  $f=5$ (공기흐름장애)

### 5.2.3 옥외(개방장소)

옥외에 대한 분석은 현장배치 및 특성을 고려하여 검토하여야 한다. 가상체적의 계

산은 적절한 모델링 방법, 예를 들면 CFD(Computerized Fluid Dynamics) 분석 등을 통해 수행되어야 한다. 그러나 이와 같은 방법을 적용하기가 어려운 경우 아래 예시에서 설명하는 방법으로 계산할 수도 있다.

- (1) 한 변이 15 m인 가상 체적을 고려할 때, 옥외에서는 아주 낮은 풍속이라도 높은 환기율을 이룰 수 있다. 3,400 m<sup>3</sup>(V<sub>0</sub>)의 체적에서 풍속이 약 0.5 m/s인 경우에도 순환율(공기 교환율)은 100/h(0.03/s) 이상이 된다.
- (2) 옥외 개방된 장소에서 단위시간당 신선한 공기의 환기회수 C=0.03/s를 고려할 경우, 위험장소의 가상체적 V<sub>z</sub>는 식(2.5)을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_z = \frac{f(dV/dt)_{\min}}{0.03} \quad (2.5)$$

여기에서,

- $f$  : 공기흐름의 방해 계수(식 (2.4) 참조)  
 $(dV/dt)_{\min}$  : 신선한 공기의 최소 유량(m<sup>3</sup>/s),  
 0.03 : 초당 환기 회수

- (3) 그러나, 일반적으로 개방된 공기상태에서는 다양한 확산기구(Dispersion mechanism)에 의해 보다 빨리 희석되므로, 이 식에 의한 체적은 실제보다 크게 나타난다.
- (4) 여기에서 복잡함을 피하기 위하여,  $f$ 의 이상적인 값 선정은 실험에 의하여 정할 수 있다.

#### 5.2.4 제한된 개방공간

만약, 환기체적이 5m×3 m×1 m(V<sub>0</sub>=15 m<sup>3</sup>)과 같이 작은(유수분리기 등) 경우 풍속이 0.05 m/s이라면, C는 35/h(0.01/s)가 된다.

#### 5.2.5 지속시간 $t$ 산정

- (1) 누출이 정지된 후에 평균농도를 초기 값인  $X_o$ 에서 LEL의  $k$ 배로 떨어뜨리는데 소요되는 시간  $t$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} \quad (2.6)$$

여기서,

$X_o$  : 인화성 물질의 초기 농도( $LEL$ 과 같은 단위, 즉 vol.% 또는  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). 위험 분위기의 일부에서 인화성 물질의 농도는 100 vol.%가 될 수도 있다(일반적으로 누출원에 아주 근접한 곳에서만이 가능). 그러나  $t$ 의 계산은 누출빈도와 시간 등과 같이 체적에 영향을 받는 기타 요소들을 고려하는 특수한 경우에  $X_o$ 의 값에 관련된다.

$C$  : 단위 시간당 환기횟수

$t$  :  $C$ 와 동일한 시간 단위( $C$ 가 초(시간)이면  $t$ 도 초(시간)로 한다)

$f$  : 공기흐름방해계수  $V_z$  계산 시에 적용한 값(식 (2.4) 참조)

$\ln$  : 자연 로그

$k$  :  $LEL$ 과 관련된 안전계수( $(dV/dt)_{\min}$ ) 계산 시에 적용한 값, 식 (2.1) 참조))

- (2) 식(2.6)에 의하여 얻어진  $t$ 의 값은 위험장소의 형태를 결정하는데 필요한 양적인 수단은 아니고, 특수 공정 및 상황에 따라 시간의 크기를 비교하는 부가적인 정보를 제공해 주는 것이다.

### 5.3 환기등급의 평가

#### 5.3.1 일반사항

- (1) 최초평가에서는 연속누출등급은 0종, 1차 누출은 1종, 2차 누출은 2종장소로 하나, 이것은 환기영향으로 인해 항상 일정하지는 않다.
- (2) 경우에 따라, 환기유효성의 정도와 등급이 현저히 높아 비위험장소가 될 수도 있고, 반대로 환기등급이 낮아 위험장소 종별이 높아 질 수도 있다(예; 2차 누출원이 1종 장소). 즉, 환기등급은 경우에 따라 인화성 물질의 누출이 중단된 후에도 위험 분위기를 지속시키고 이를 서서히 희석(확산)시켜, 결국 위험분위기는 누출등급에 의하여 추정했던 것보다 더 오래 지속시킬 수도 있다.
- (3) 체적  $V_z$ 는 각각의 누출등급에 대한 고·중 또는 저환기와 같은 환기수단을 제공하기 위하여 사용할 수 있다.

#### 5.3.2 고환기(VH, High ventilation)

- (1) 위험성평가에서  $V_z$ 와 같은 체적의 인화성 가스 등의 점화결과로써 온도 및/또는

압력의 갑작스런 증가로 인한 잠재적인 손상의 정도가 무시할 정도일 경우의 환기만을 고환기(VH)로 간주할 수 있다. 위험성평가는 2차적인 영향(더 많은 인화성 물질의 누출 등) 또한 고려하도록 한다.

- (2) 위의 조건은 일반적으로  $V_z$ 가  $0.1 \text{ m}^3$  보다 작을 경우 또는  $V_0$ 의 1 %보다 작을 경우에서 그중 작은 경우에 적용하며, 이러한 상황에서 위험장소의 체적은  $V_z$ 와 같은 것으로 간주한다.
- (3) 실제적으로 고환기는 밀폐된 작은 장소나 아주 적은 누출량에서 누출원 주위의 국소 배기설비에서만 적용할 수 있다. 첫째, 대부분의 밀폐 장소에는 다수의 누출원이 있으며, 일반적으로 비위험장소로 구분된 장소에 다수의 작은 위험장소가 있는 것은 비현실적이다.

둘째, 위험장소를 고려할 때 전형적인 누출량에서 자연환기는 개방상태에서도 충분하지 않을 수 있다. 또한, 주어진 누출량에서 보다 큰 밀폐된 장소를 강제 환기하는 것은 비실용적 일 수 있다.

주) 강제환기에서  $V_z$ 를 계산하는 경우, 분석실(Analyser house) 또는 파이롯트 설비 외함(Pilot plant enclosure)과 같이 상대적으로 작은 공간의 잠재 점화원으로부터 뽑아내어 환기시키는 국소배기설비나 회석용 환기설비와 같은 우수한 공기흐름의 강제 환기 방법을 고려할 수 있다.

### 5.3.3 저환기(VL, Low ventilation)

만약  $V_z$ 가  $V_0$ 를 초과한다면 환기는 낮은 것으로 볼 수 있다. 저환기는 일반적으로 피트(pit) 내에서도 같이 공기 흐름은 제한하는 곳 이외의 개방장소에서는 일어나지 않는다.

### 5.3.4 중환기(VM, Medium ventilation)

- (1) 고환기나 저환기가 아닌 환기는 중환기로 간주할 수 있다. 일반적으로  $V_z$ 가  $V_0$ 와 같거나 작은 경우에 중정도의 환기는 인화성 액체의 증기 또는 가스 누출의 회석을 제어할 수 있다. 이는 1차 또는 2차 누출등급에 관련되는 누출이 중단된 후에 위험 분위기의 회석에 소요되는 시간에 따라 1종 또는 2종 장소 조건이 된다. 수용할 수 있는 회석시간은 예측되는 각 누출의 빈도와 지속시간에 관련된다. 체적  $V_z$ 가 밀폐된 공간의 체적보다 현저히 작은 경우에는 위험장소는 밀폐된 장소의 일부만을 설정할 수 있다. 밀폐공간의 크기에 관련되는 경우, 체적  $V_z$ 를 밀폐공간의 체적과 비슷하게 할 수 있다. 이러한 경우, 밀폐공간 전체를 위험장소로 설정한다.

- (2) 체적  $V_z$ 가 아주 작거나 공기흐름이 현저히 제한되는 경우 이외의 옥외 장소는 중 환기로 간주한다.

## 6. 환기의 유효성

- (1) 환기 유효성은 위험분위기의 존재나 형성에 영향을 미치므로, 환기의 유효성(등급도 마찬가지로)은 위험장소의 종류를 결정할 때 고려한다.
- (2) 환기의 유효성은 다음과 같이 3가지 등급으로 나눌 수 있다(<부록 3> 참조)
- 우수(Good) : 환기가 연속적으로 이루어지는 상태
  - 양호(Fare) : 정상 작동상태에서 이루어지는 환기상태, 간혹 짧은 시간동안 환기가 불연속 될 수 있다.
  - 미흡(Poor) : 환기에 의한 공기의 흐름이 우수 또는 양호에 미치지 못하는 상태, 불연속이 장시간 지속되는 것은 이에 해당되지 않는다.
- (3) 환기가 위의 유효성에서 미흡 이상을 충족시키지 못하면 그 지역에서 환기가 이루어진다고 할 수 없다.

### 6.1 자연 환기(Natural ventilation)

옥외지역의 경우, 환기 평가시에는 보통 최소 풍속 0.5 m/s을 기준으로 하며 이는 실제적인 환기가 연속적으로 이루어짐을 뜻한다. 이러한 경우의 환기 유효성은 “우수”라고 할 수 있다.

### 6.2 강제 환기(Artificial ventilation)

강제 환기의 유효성평가 시에는 설비의 신뢰성과 유효성, 예를 들어 예비 송풍기의 구비 등을 고려한다. 즉, 우수 유효성에서는 일반적으로 환기설비가 고장났을 때 예비 송풍기의 자동 작동을 요구한다. 그러나 환기 실패시에 인화성 가스 등의 누출을 방지하기 위한 규정(예; 공정의 자동정지 등)이 마련되는 경우에는 유효성이 좋은 것으로 판단하여 환기작용에 의해 결정된 위험장소를 변경할 필요는 없다.

## 7. 실무 지침

위험장소형태에 따른 환기영향은 <표 2.1>과 같이 요약할 수 있고, 그 계산의 예는 8항에 나타내었다.

<표 2.1> 위험장소형태에 따른 환기영향

| 누출<br>등급        | 환기 등급                       |                             |                            |    |            |            |                       |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----|------------|------------|-----------------------|
|                 | 고                           |                             |                            | 중  |            | 저          |                       |
|                 | 환기의 유효성                     |                             |                            |    |            |            |                       |
|                 | 우수                          | 양호                          | 미흡                         | 우수 | 양호         | 미흡         | 우수, 양호,<br>또는 미흡      |
| 연속              | (0종 NE)<br>비위험 <sup>1</sup> | (0종 NE)<br>2종 <sup>1</sup>  | (0종 NE)<br>1종 <sup>1</sup> | 0종 | 0종 +<br>2종 | 0종 +<br>1종 | 0종                    |
| 1차              | (1종 NE)<br>비위험 <sup>1</sup> | (1종 NE)<br>2종 <sup>1</sup>  | (1종 NE)<br>2종 <sup>1</sup> | 1종 | 1종+<br>2종  | 1종+<br>2종  | 1종 또는 0종 <sup>3</sup> |
| 2차 <sup>2</sup> | (2종 NE)<br>비위험 <sup>1</sup> | (2종 NE)<br>비위험 <sup>1</sup> | 2종                         | 2종 | 2종         | 2종         | 1종 및 0종 <sup>3</sup>  |

주) 1. NE는 정상작동조건에서 무시할 정도로 적은 이론상의 장소를 나타낸다.

2. 2차 누출에 의해 생성되는 2종장소가 1차 또는 연속 누출등급에 의한 것을 초과할 경우 그 범위를 좀더 넓게 한다.

3. 환기가 아주 미흡하고 실제적인 위험분위기가 지속되는 누출이 있다면 0종장소로 한다.

4. +는 둘러싸여짐을 의미 즉, 0종 +2종은 0종장소가 존재하고 그 주위를 2종장소가 둘러싸고 있음을 의미한다.

<표 2.2> 위치  $V_0$  내의 다수 누출원의 합산 순서

| 누출등급 | $(dV/dt)_{\min}$ 내에서 취해야 할 조치                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------|
| 연속   | $(dV/dt)_{\min}$ 의 모든 값을 합계하여 식 (2.2)~(2.6)에 전체 결과 적용                      |
| 1차   | <표 2.3>에 따라 $(dV/dt)_{\min}$ 의 가장 큰 값의 필요한 수를 합계하여 식 (2.2)~(2.6)에 전체 결과 적용 |
| 2차   | $(dV/dt)_{\min}$ 중 가장 큰 값 1개를 이용하여 식 (2.2)~(2.6)에 이 값을 적용                  |

&lt;표 2.3&gt; 다수의 1차 누출등급 합산 순서

| 1차 누출등급의 수 | <표 2.2>에 따라 사용하여야 하는 1차 누출등급의 수 |
|------------|---------------------------------|
| 1          | 1                               |
| 2          | 2                               |
| 3 ~ 5      | 3                               |
| 6 ~ 9      | 4                               |
| 10 ~ 13    | 5                               |
| 14 ~ 18    | 6                               |
| 19 ~ 23    | 7                               |
| 24 ~ 27    | 8                               |
| 28 ~ 33    | 9                               |
| 34 ~ 39    | 10                              |
| 40 ~ 45    | 11                              |
| 46 ~ 51    | 12                              |

## 8. 환기등급을 확인하기 위한 계산 예

주) 여기에서 사용되는  $LEL$ 의 값은 단지 예시용이며,  $X_0 = 100$  %로 가정하였다.

### <계산 1> 옥내에서 인화성 액체의 연속누출

#### ■ 조건

| 구분       |                      | 상태                                  |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 액체               | 톨루엔 증기                              |
|          | 톨루엔의 분자량             | 92.14 kg/kmol                       |
|          | 누출원                  | 벤트                                  |
|          | 폭발 하한 ( $LEL$ )      | 0.046 kg/m <sup>3</sup> (1.2 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 연속                                  |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.25                                |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | $2.8 \times 10^{-10}$ kg/s          |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥내                                  |
|          | 환기 횟수 $C$            | 1/h ( $2.8 \times 10^{-4}$ /s)      |
|          | 품질 계수 $f$            | 5                                   |
|          | 주위 온도 $T$            | 20 °C (293 K)                       |
|          | 온도 계수( $T/293$ K)    | 1                                   |
|          | 건물 크기 $V_0$          | 10 m × 15 m × 6 m                   |

#### ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{2.8 \times 10^{-10}}{0.25 \times 0.046} \times \frac{293}{293} = 2.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 체적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{5 \times 2.4 \times 10^{-8}}{2.8 \times 10^{-4}} = 4.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- 지속시간 : 이것은 연속 누출에서는 적용하지 않는다.

#### ■ 계산결과

- 가상체적  $V_z$ 는 아주 작으므로 무시한다.
- $V_z < 0.1 \text{ m}^3$  (5.3.2 참조)이므로, 환기등급은 대상 누출원 및 장소를 감안할 때 고회기로 간주할 수 있다.
- 환기 유효성이 “우수”라면, 아주 작은 0종 장소(0종 NE)가 된다.(<표 2.1> 참조)

## &lt;계산 2&gt; 옥내에서 인화성 액체의 2차 누출

## ■ 조건

| 구분       |                                | 상태                                  |
|----------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 액체                         | 톨루엔                                 |
|          | 톨루엔의 분자량                       | 92.14 kg/kmol                       |
|          | 누출원                            | 플랜지의 결함부위                           |
|          | 폭발 하한 ( <i>LEL</i> )           | 0.046 kg/m <sup>3</sup> (1.2 vol.%) |
|          | 누출 등급                          | 2차                                  |
|          | 안전 계수 <i>k</i>                 | 0.5                                 |
|          | 누출률 ( $dG/dt$ ) <sub>max</sub> | 2.8×10 <sup>-6</sup> kg/s           |
| 환기<br>특성 | 조건                             | 옥내                                  |
|          | 환기 횟수 <i>C</i>                 | 1/h (2.8×10 <sup>-4</sup> /s)       |
|          | 품질 계수 <i>f</i>                 | 5                                   |
|          | 주위 온도 <i>T</i>                 | 20 °C (293 K)                       |
|          | 온도계수 (T/293 K)                 | 1                                   |
|          | 건물 크기 <i>V</i> <sub>0</sub>    | 10 m × 15 m × 6 m                   |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{2.8 \times 10^{-6}}{0.5 \times 0.046} \times \frac{293}{293} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 체적 *V<sub>z</sub>*의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{5 \times 1.2 \times 10^{-4}}{2.8 \times 10^{-4}} = 2.2 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-5}{1} \ln \frac{1.2 \times 0.5}{100} = 25.6 \text{ h}$$

## ■ 계산 결과

- 가상체적 *V<sub>z</sub>*는 *V*<sub>0</sub>보다는 현저히 작지만 0.1 m<sup>3</sup> 보다는 크다.
- 환기등급은 이 기준을 기초로 한 대상 누출원 및 장소를 고려하여 중환기로 간주할 수 있다. 그러나 인화성분위기가 지속된다면 2중 장소는 적합하지 않다.

## &lt;계산 3&gt; 옥내에서 인화성 가스의 1차 누출

## ■ 조건

| 구분       |                      | 상태                                  |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 가스               | 프로판 가스                              |
|          | 프로판의 분자량             | 44.1 kg/kmol                        |
|          | 누출원                  | 캔 충전 노즐                             |
|          | 폭발 하한 (LEL)          | 0.039 kg/m <sup>3</sup> (2.1 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 1차                                  |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.25                                |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | 0.005 kg/s                          |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥내                                  |
|          | 환기 횟수 $C$            | 20/h ( $5.6 \times 10^{-3}$ /s)     |
|          | 품질 계수 $f$            | 1                                   |
|          | 주위 온도 $T$            | 35 °C (308 K)                       |
|          | 온도 계수 (T/293 K)      | 1.05                                |
|          | 건물 크기, $V_0$         | 10 m × 15 m × 6 m                   |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{0.005}{0.25 \times 0.039} \times \frac{308}{293} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 체적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{1 \times 0.6}{5.6 \times 10^{-3}} = 1.1 \times 10^2 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-1}{20} \ln \frac{2.1 \times 0.25}{100} = 0.26 \text{ h}$$

## ■ 계산 결과

- 가상체적  $V_z$ 는  $V_0$ 보다 크지 않지만 무시할 수는 없다.
- 환기등급은 이 기준을 기초로 한 대상 누출원 및 장소를 고려하여 중환기로 간주할 수 있다. 지속시간 0.26 시간에서 작동이 빈번하게 반복되지 않는 한 1종 장소는 적합하지 않다.

## &lt;계산 4&gt; 옥내에서 인화성 가스의 2차 누출

## ■ 조건

|          | 구분                   | 상태                                   |
|----------|----------------------|--------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 가스               | 암모니아 가스                              |
|          | 암모니아의 분자량            | 17.03 kg/kmol                        |
|          | 누출원                  | 증발기 밸브                               |
|          | 폭발 하한 (LEL)          | 0.105 kg/m <sup>3</sup> (14.8 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 2차                                   |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.5                                  |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | $5 \times 10^{-6}$ kg/s              |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥내                                   |
|          | 환기 횟수 $C$            | 15/h( $4.2 \times 10^{-3}$ /s)       |
|          | 품질 계수 $f$            | 1                                    |
|          | 주위 온도 $T$            | 20 °C(293 K)                         |
|          | 온도 계수 (T/293 K)      | 1.0                                  |
|          | 건물 크기 $V_0$          | 10 m × 15 m × 6 m                    |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{5 \times 10^{-6}}{0.5 \times 1.105} \times \frac{293}{293} = 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 체적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{1 \times 9.5 \times 10^{-5}}{4.2 \times 10^{-3}} = 0.02 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-1}{15} \ln \frac{14.8 \times 0.5}{100} = 0.17 \text{ h}(10\text{min})$$

## ■ 계산 결과

- 가상체적  $V_z$ 는 무시할 정도의 값으로 줄일 수 있다.
- 환기등급은 이 기준에 따라 대상 누출원 및 장소에 관련하여 고회기( $V_z < 0.1 \text{ m}^3$ )로 간주할 수 있다(<표 2.1> 참조).
- 환기 유효성이 “우수”라면, 아주 작은 2종 장소(2종 NE)가 된다.(<표 2.1> 참조)

## &lt;계산 5&gt; 옥내에서 인화성 가스의 2차 누출

## ■ 조건

|          | 구분                   | 상태                                  |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 가스               | 프로판 가스                              |
|          | 프로판의 분자량             | 44.1 kg/kmol                        |
|          | 누출원                  | 공기압축기 밀봉부                           |
|          | 폭발 하한 (LEL)          | 0.039 kg/m <sup>3</sup> (2.1 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 2차                                  |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.5                                 |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | 0.02 kg/s                           |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥내                                  |
|          | 환기 횟수 $C$            | 2/h ( $5.6 \times 10^{-4}/s$ )      |
|          | 품질 계수 $f$            | 5                                   |
|          | 주위 온도 $T$            | 20°C (293 K)                        |
|          | 온도 계수 (T/293 K)      | 1                                   |
|          | 건물 크기 $V_0$          | -                                   |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{0.02}{0.5 \times 0.039} \times \frac{293}{293} = 1.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 체적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{5 \times 1.02}{5.6 \times 10^{-4}} = 9,200 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-5}{2} \ln \frac{2.1 \times 0.5}{100} = 11.4 \text{ h}$$

## ■ 결과

- 10 m × 15 m × 6 m의 방에서는 가상체적  $V_z$ 는  $V_0$ 보다 크므로, 지속시간은 상당히 크다.
- 환기등급은 이 기준을 기초로 한 대상 누출원 및 장소를 고려하여 저환기로 간주할 수 있다.
- 지역은 최소한 1종 장소로 구분하고, 환기의 유효성과 관계없이 0종 장소가 있을 수 있다(<표 2.1> 참조). 이것은 수용 불가하므로, 다음 단계로 누출량을 줄이거나 공기압축기 주위에 국소배기장치를 설치하여 환기를 대폭 확대한다.

## &lt;계산 6&gt; 옥외에서 인화성 가스의 2차 누출

## ■ 조건

| 구분       |                      | 상태                                |
|----------|----------------------|-----------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 가스               | 메탄 가스                             |
|          | 메탄의 분자량              | 16.05 kg/kmol                     |
|          | 누출원                  | 배관 피팅부                            |
|          | 폭발 하한 (LEL)          | 0.033 kg/m <sup>3</sup> (5 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 2차                                |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.5                               |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | 1 kg/s                            |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥외                                |
|          | 최소 풍속                | 0.5 m/s                           |
|          | 공기순환 회수 $C$          | $> 3 \times 10^{-2}/s$            |
|          | 품질 계수 $f$            | 1                                 |
|          | 주위 온도 $T$            | 20 °C (293 K)                     |
|          | 온도 계수 (T/293 K)      | 0.98                              |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 체적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{1}{0.5 \times 0.033} = 59.3 \text{ m}^3/s$$

- 가상 체적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{1 \times 59.3}{3 \times 10^{-2}} = 2,000 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-1}{0.03} \ln \frac{5 \times 0.5}{100} = 123 \text{ s (max)}$$

## ■ 결과

- 가상체적  $V_z$ 는 무시하지 못한다. 가정(5.2 참조)을 참고로 하여,  $V_0$ 의 값이 옥외에서 3,400 m<sup>3</sup>이므로  $V_z$ 는  $V_0$ 보다 작다.
- 환기등급은 이 기준에 따라 대상 누출원 및 지역과 관련하여 중환기로 간주할 수 있다(<표 2.1> 참조).
- 옥외이므로 환기유효성은 “우수”이고 2종 장소로 분류할 수 있다.(<표 2.1> 참조)

## &lt;계산 7&gt; 옥내에서 인화성 가스의 2차 누출

## ■ 조건

| 구분       |                      | 상태                                  |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| 누출<br>특성 | 인화성 가스               | 톨루엔 증기                              |
|          | 톨루엔의 분자량             | 92.14 kg/kmol                       |
|          | 누출원                  | 플랜지의 결함부                            |
|          | 폭발하한 (LEL)           | 0.046 kg/m <sup>3</sup> (1.2 vol.%) |
|          | 누출 등급                | 2차                                  |
|          | 안전 계수 $k$            | 0.5                                 |
|          | 누출률 $(dG/dt)_{\max}$ | $6 \times 10^{-4}$ kg/s             |
| 환기<br>특성 | 조건                   | 옥내                                  |
|          | 환기 횟수 $C$            | 12/h ( $3.33 \times 10^{-3}$ /s)    |
|          | 품질 계수 $f$            | 2                                   |
|          | 주위 온도 $T$            | 20 °C (293 K)                       |
|          | 온도 계수 (T/293 K)      | 1.0                                 |
|          | 건물 크기 $V_0$          | 10 m × 15 m × 6 m                   |

## ■ 계산절차

- 신선한 공기 최소 유량 채적

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{6 \times 10^{-4}}{0.5 \times 0.046} \times \frac{293}{293} = 26 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- 가상 채적  $V_z$ 의 평가

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} = \frac{2 \times 26 \times 10^{-3}}{3.33 \times 10^{-3}} = 15.7 \text{ m}^3$$

- 지속시간

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} = \frac{-2}{12} \ln \frac{1.2 \times 0.5}{100} = 0.85 \text{ h (51min)}$$

## ■ 계산 결과

- 가상채적  $V_z$ 는 무시할 정도는 아니나,  $V_0$ 는 초과하지 않는다.
- 환기등급은 이 기준에 따라 대상 누출원 및 지역과 관련하여 중환기로 간주할 수 있다(<표 2.1> 참조).
- 환기 유효성이 “우수”라면, 2종장소로 분류할 수 있다(<표 2.1> 참조). 지속시간을 기본으로 하면 2종 장소가 적절하다.

## &lt;부록 3&gt;

## 폭발위험장소의 구분 예

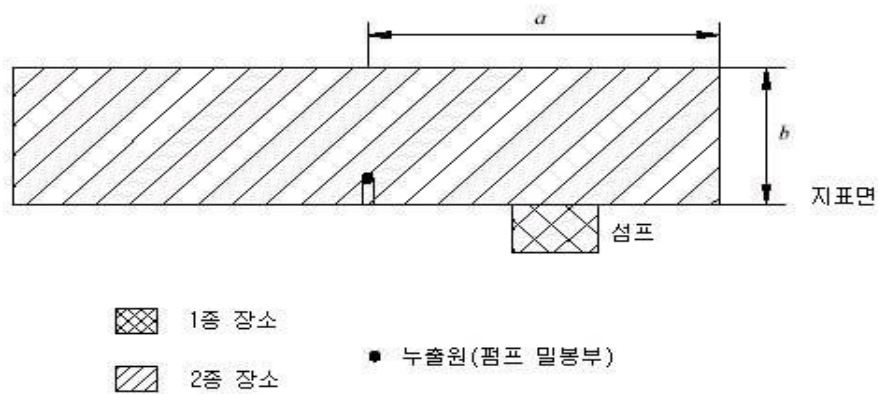
1. 위험장소의 구분 지침에는 인화성 가스 등이 용기에서 누출되었을 때의 그 상태 변화에 관한 지식과 특정 조건하의 설비기기의 성능에 관련한 경험에 따른 올바른 기술적 판단을 포함한다. 따라서 설비 및 공정 특성상 예측할 수 있는 모든 변수를 제공해 준다는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 선정된 예는 공기 중에 적절한 농도로 혼합되어 위험한 물질이 될 수 있는 인화성 액체, 액화가스 또는 증기 기타 정상상태에서 인화성 가스 등이 존재하는 위험장소에서 기구를 안전하게 사용하기 위한 위험장소 구분에 대한 전반적인 원리에 대한 최상의 기술이다.
2. 도면상에 나타난 거리 이내에 있는 설비의 부품은 주어진 조건을 갖고 있다. 누출 조건은 설비의 기계적 성능과 기타 대표적인 설계기준을 고려해야 하나, 일반적으로 이러한 모든 요소를 다 고려할 수는 없다. 즉, 위험장소의 구분에 영향을 미치는 모든 설비부품과 공정물질 둘 모두에 관련되는 취급 물질, 폐쇄시간, 확산시간, 압력, 온도 및 기타 기준의 목록 등과 같은 요소와 고려하여야 하는 특별한 문제점 적용의 필요성 등 모두를 고려할 수는 없다. 따라서 여기의 예는 단지 참고용이고 실제 적용시에는 특별한 상황을 감안하여 채택할 필요가 있다.
3. 이 예시는 위험장소를 구분하기 위한 목적만이 아니고, <부록 2>의 <표 2.1>의 사용을 포함하는 본 지침과 절차를 따름으로써 많은 다양한 상황에서 실제로 얻을 수 있는 전형적인 결과를 나타내주기 위한 것이다. 이것들은 자세한 부속 규격 개발에 사용할 수 있다.
4. 각각의 예에서, 주어진 위험장소의 형태와 범위에 영향을 미치는 요소는 전체가 아닌 일부의 예에 지나지 않는다. 위험장소의 구분결과는 통상적으로 인화성 가스 등의 양이 아닌 인식할 수 있는 특정 요소와 기타 요소를 고려함으로써, 보수적인 결과를 제공하게 된다. 이것은 만약 작동변수를 보다 구체화한다면 보다 자세한 구분을 할 수 있다는 것을 의미한다.

## &lt;예 1&gt; 옥외 지상에 설치된 산업용 펌프

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건               |                                      |       |
|---------|------------------|--------------------------------------|-------|
| 설비 및 공정 | 산업용 펌프(옥외 지상 설치) |                                      |       |
| 취급물질    | 종류               | 인화성 물질(액체)                           |       |
|         | 인화점              | 운전온도 및 대기온도 이하                       |       |
|         | 증기비중             | 공기보다 무거움                             |       |
| 누출원     | 누출부위             | 펌프의 기밀 부위(Mechanical(diaphragm)seal) |       |
|         | 누출등급             | 2차                                   |       |
| 환기      | 구분               | 일반 지역                                | 섬프    |
|         | 형태               | 자연 환기                                | 자연 환기 |
|         | 등급               | 중                                    | 저     |
|         | 유효성              | 우수                                   | 우수    |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 저압으로 운전되는 용량 50 m<sup>3</sup>/h인 펌프에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

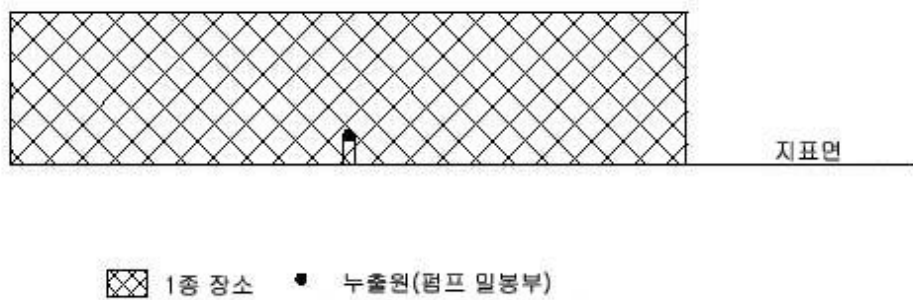
a = 3 m, 누출원에서 수평, b = 1 m, 지면 및 누출원으로 부터 위

## &lt;예 2&gt; 옥내 바닥에 설치된 산업용 펌프

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건              |                                      |    |
|---------|-----------------|--------------------------------------|----|
| 설비 및 공정 | 산업용 펌프(옥내바닥 설치) |                                      |    |
| 취급물질    | 종류              | 인화성 물질(액체)                           |    |
|         | 인화 점            | 운전온도 및 대기온도 이하                       |    |
|         | 증기비중            | 공기보다 무거움                             |    |
| 누출원     | 누출부위            | 펌프의 기밀 부위(Mechanical(diaphragm)seal) |    |
|         | 누출등급            | 2차                                   |    |
| 환기      | 구분              | 일반 지역                                | 섬프 |
|         | 형태              | 강제 환기                                | -  |
|         | 등급              | 저                                    | -  |
|         | 유효성             | 양호                                   | -  |

## ■ 위험장소 구분도



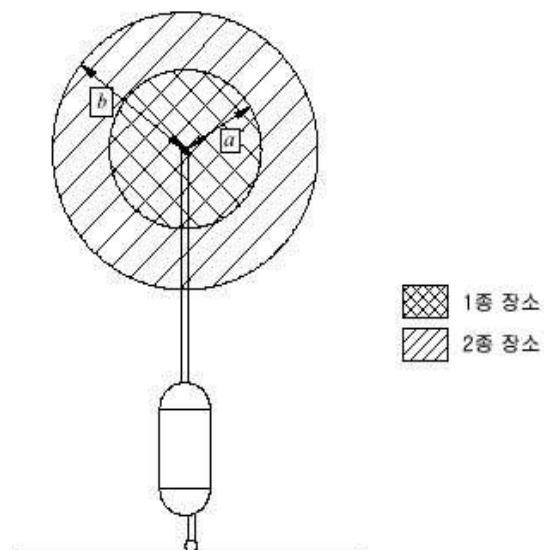
※ 위험장소의 구분 결과가 체적  $V_0$ 를 둘러싸고 있기 때문에 범위 표시(m)가 없음. 만약, 환기가 “중환기로 개선된다면 위험장소는 줄어들고 2종장소만 생성됨(<표 2.1> 참조)

## &lt;예 3&gt; 옥외에 설치된 압력방출밸브

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조 건                  |                 |
|---------|----------------------|-----------------|
| 설비 및 공정 | 압력방출밸브(압력용기로부터 대기방출) |                 |
| 취급물질    | 종류                   | 휘발유(인화성 액체)     |
|         | 인화점                  | 운전온도 및 대기 온도 이하 |
|         | 증기비중                 | 공기보다 무거움        |
| 누출원     | 누출원                  | 밸브의 출구          |
|         | 누출등급                 | 1차 및 2차         |
| 환기      | 형 태                  | 자연 환기           |
|         | 등급                   | 중               |
|         | 유효                   | 우수              |

## ■ 위험장소 구분도



■ 누출원(벤트 배출구 직경 25mm)

※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 밸브의 개구부 압력이 약 0.15 MPa 인 밸브에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

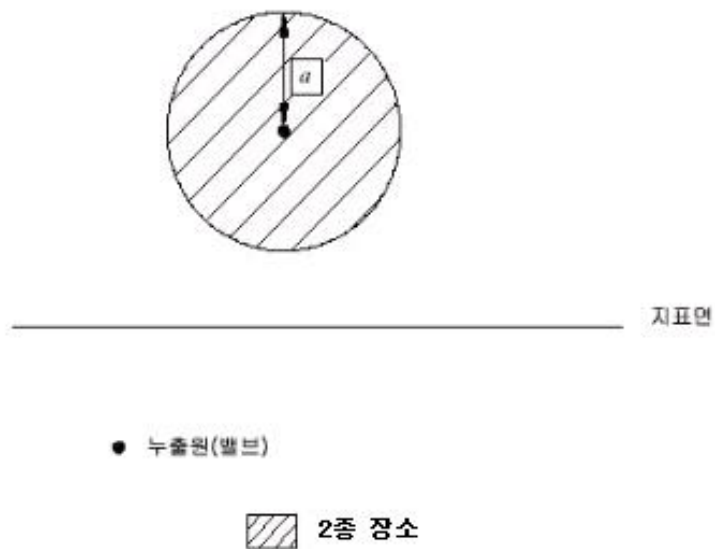
a = 3 m, 누출원으로부터 모든 방향, b = 5 m, 누출원으로부터 모든 방향

## &lt;예 4&gt; 제어밸브

## ■ 위험장소의 중별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                       |                      |
|---------|--------------------------|----------------------|
| 설비 및 공정 | 제어밸브(인화성가스 수송 밀폐 배관에 설치) |                      |
| 취급물질    | 종류                       | 프로판 가스               |
|         | 인화점                      | -                    |
|         | 증기비중                     | 공기보다 무거움             |
| 누출원     | 누출원                      | 밸브의 축 기밀(Shaft seal) |
|         | 누출등급                     | 2차                   |
| 환기      | 형태                       | 자연 환기                |
|         | 등급                       | 중                    |
|         | 유효성                      | 우수                   |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

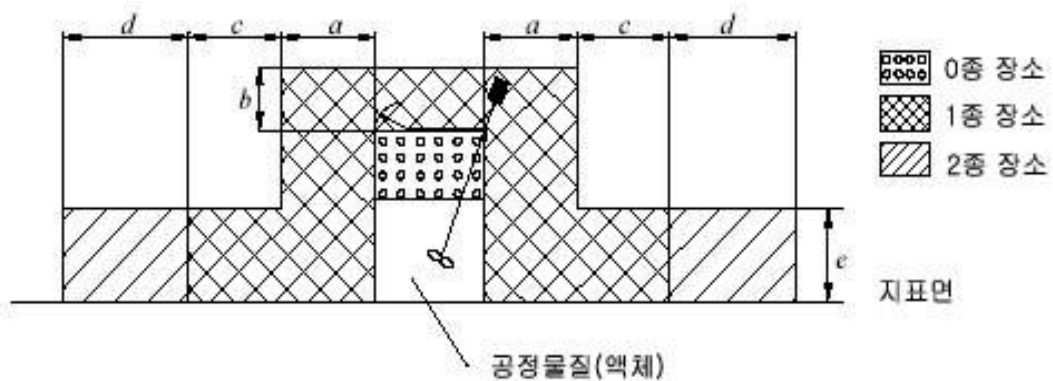
$a = 1 \text{ m}$  , 누출원으로부터 모든 방향

## &lt;예 5&gt; 옥내 고정 설치된 혼합조

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                                                                   |                                                                      |
|---------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 설비 및 공정 | 혼합조(옥내에 설치되고 정상 작동중 정기적으로 개방, 액체는 배관을 통하여 충전 및 배출, 모든 배관 용접된 플랜지 접속) |                                                                      |
| 취급물질    | 종류                                                                   | 인화성 액체                                                               |
|         | 인화점                                                                  | 운전온도 및 대기온도 이하                                                       |
|         | 증기비중                                                                 | 공기보다 무거움                                                             |
| 누출원     | 누출원 및 누출등급                                                           | 1. 용기내의 액체 표면 : 연속<br>2. 혼합조 개구부 : 1차<br>3. 혼합조 인근의 액체 넘침 또는 누설 : 2차 |
| 환기      | 형태                                                                   | 강제 환기                                                                |
|         | 등급                                                                   | 저(혼합조 내부), 중(혼합조 외부)                                                 |
|         | 유효성                                                                  | 양호                                                                   |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

a = 1 m, 누출원으로부터 수평, b = 1 m, 누출원으로부터 위, c = 1 m, 수평

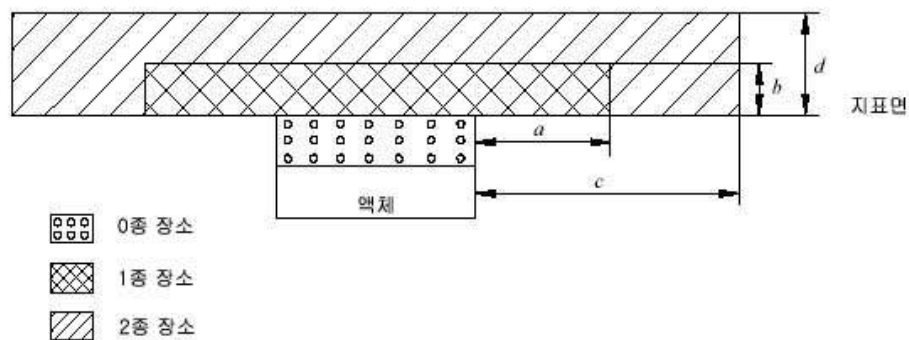
d = 2 m, 수평, e = 1 m, 지면으로부터 위

## &lt;예 6&gt; 옥외 설치된 유수 분리기

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                              |                                                                      |        |
|---------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 설비 및 공정 | 유수분리기(옥외 지상 설치, 석유정제소 내의 대기 개방) |                                                                      |        |
| 취급물질    | 종류                              | 인화성 물질(액체)                                                           |        |
|         | 인화점                             | 운전온도 및 대기 온도 이하                                                      |        |
|         | 증기 비중                           | 공기보다 무거움                                                             |        |
| 누출원     | 누출 부위/<br>누출 등급                 | 1. 정상운전시의 액체 표면 : 연속<br>2. 공정 교란시의 액체표면 : 1차<br>3. 비정상운전시의 액체표면 : 2차 |        |
| 환기      | 구분                              | 분리기 내부                                                               | 분리기 외부 |
|         | 형태                              | 자연 환기                                                                | 자연 환기  |
|         | 등급                              | 저                                                                    | 중      |
|         | 유효성                             | 우수                                                                   | 우수     |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

$a = 3 \text{ m}$ , 분리기로부터 수평으로,  $b = 1 \text{ m}$ , 지면으로부터 위로,

$c = 7.5 \text{ m}$ , 수평으로,

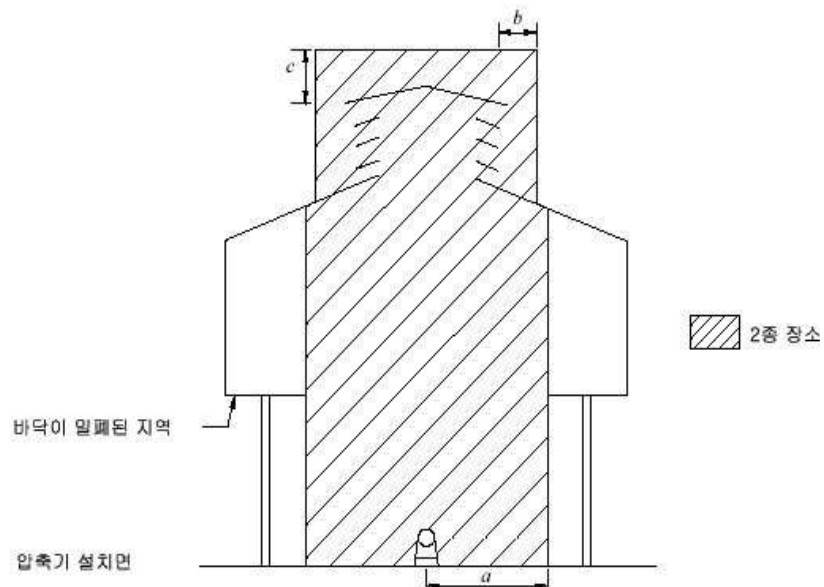
$d = 3 \text{ m}$ , 지면으로부터 위로

## &lt;예 7&gt; 옥내 설치된 수소 압축기

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                      |                            |
|---------|-------------------------|----------------------------|
| 설비 및 공정 | 수소압축기(건물 내 지면 위에 개방 설치) |                            |
| 취급물질    | 종류                      | 수소 가스                      |
|         | 인화점                     | -                          |
|         | 증기비중                    | 공기보다 가벼움                   |
| 누출원     | 누출원                     | 압축기 기밀부, 압축기 인근의 밸브, 플랜지 등 |
|         | 누출등급                    | 2차                         |
| 환기      | 형태                      | 자연 환기                      |
|         | 등급                      | 중                          |
|         | 유효성                     | 우수                         |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

a = 3 m, 누출원에서 수평, b = 1 m, 환기 개구부에서 수평,

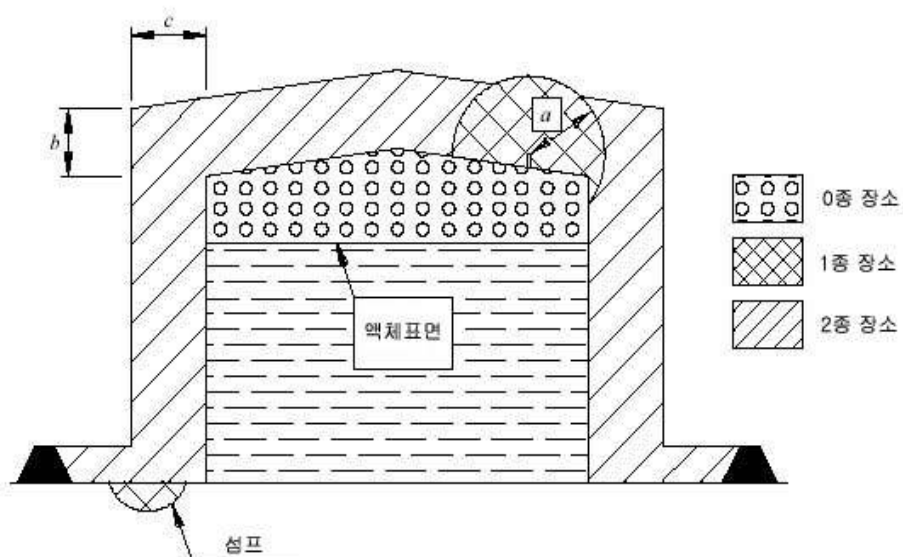
c = 1 m, 환기개구부 상부

## &lt;예 8&gt; 옥외 설치된 인화성 액체 저장탱크

## ■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                           |                                                                           |
|---------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 설비 및 공정 | 옥외 저장 탱크(고정 지붕형, 내부 부동 지붕없음) |                                                                           |
| 취급물질    | 종류                           | 인화성 액체                                                                    |
|         | 인화점                          | 운전온도 및 대기온도 이하                                                            |
|         | 증기비중                         | 공기보다 무거움                                                                  |
| 누출원     | 누출 부위/<br>누출 등급              | 1. 액체 표면 : 연속<br>2. 배기구 개방, 천장의 기타 개구부 : 1차<br>3. 플랜지, 다이크 내부, 탱크 넘침 : 2차 |
| 환기      | 형태                           | 자연 환기                                                                     |
|         | 등급                           | 중                                                                         |
|         | 유효성                          | 우수                                                                        |

## ■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

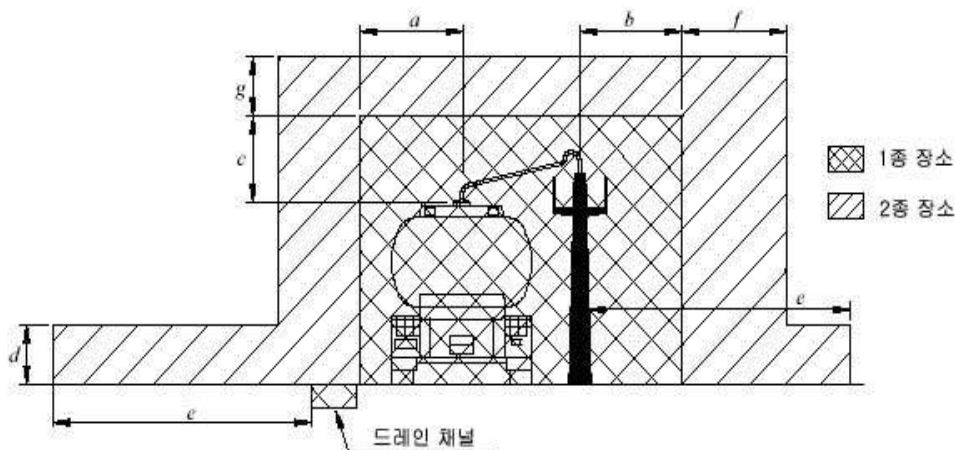
a = 3 m, 배출구로부터, b = 3 m, 지붕에서 위, c = 3 m, 탱크에서 수평

## &lt;예 9&gt; 옥외의 탱커 충전설비

■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소

| 구분      | 조건                             |                                                        |
|---------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 설비 및 공정 | 탱커 충전설비(옥외, 증기를 회수하지 않는 상부 충전) |                                                        |
| 취급물질    | 종류                             | 휘발유                                                    |
|         | 인화점                            | 운전온도 및 대기온도 이하                                         |
|         | 증기비중                           | 공기보다 가벼움                                               |
| 누출원     | 누출 부위/<br>누출 등급                | 1. 탱크 지붕의 개구부 : 연속<br>2. 지면에 누출 : 2차<br>3. 탱커의 넘침 : 2차 |
| 환기      | 형태                             | 자연 환기                                                  |
|         | 등급                             | 중                                                      |
|         | 유효성                            | 우수                                                     |

■ 위험장소 구분도



※ 적합한 변수를 고려하였을 때, 이 예에서의 대표적인 값은 다음과 같다.

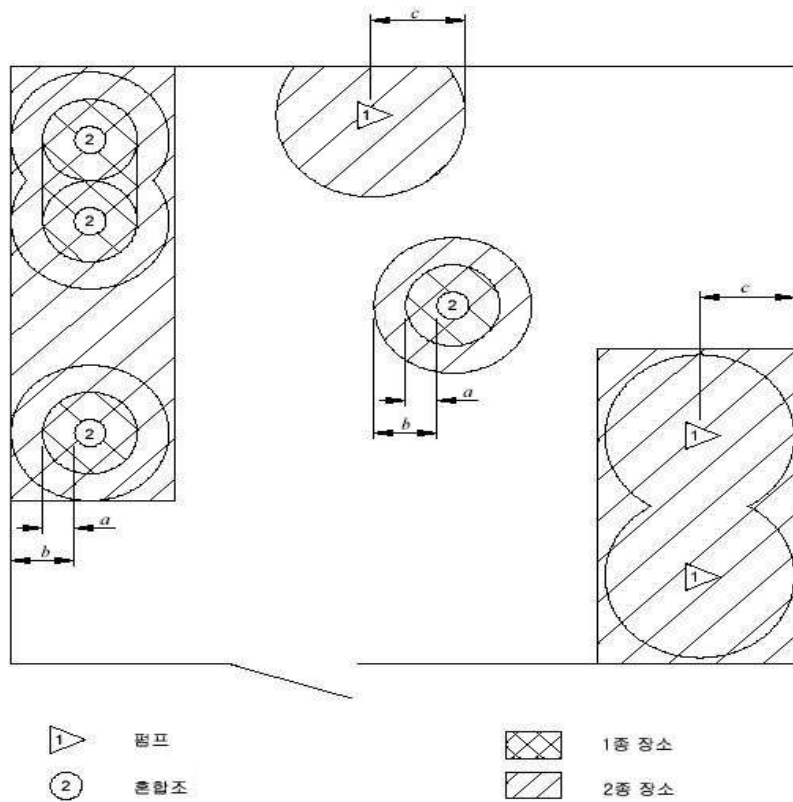
$a = 1.5 \text{ m}$ , 누출원에서 수평,  $b = 1.5 \text{ m}$ , 유연 접속부에서 수평,  $c = 1.5 \text{ m}$ , 누출원 상부  
 $d = 1.0 \text{ m}$ , 지면에서 위,  $e = 4.5 \text{ m}$ , 드레인 채널/갠트리에서 수평,  
 $f = 1.5 \text{ m}$ , 1종장소에서 수평,  $g = 1.0 \text{ m}$ , 1종장소에서 상부

주) 1. 설비가 증기회수 폐쇄배관이라면, 1종 장소는 거의 무시할 정도로 되고 2종 장소는 현저히 감소되는 등 범위가 줄어들게 된다.

2. 넘침에 의한 누출은 증기회수설비에서는 거의 일어나지 않는다.

**<예 10> 도장공장의 혼합실****■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소**

- <예 2>(중환기) 및 <예 5>를 사용하는 방법의 예로, 1개의 실내에 4개의 페인트 혼합조(#2), 3대의 펌프(#1)가 있다.
- 위험장소의 형태에 영향을 미치는 중요한 요소는 <예 2>와 <예 5>의 표를 참고한다.

**■ 위험장소 구분도**

※ 적합한 변수( 표 1 및 2 의 위험장소 구분 데이터 시트 참조)에 의해, 이 예의 대표적인 값은 다음과 같다.

$$a = 2 \text{ m}, \quad b = 4 \text{ m}, \quad c = 3 \text{ m}$$

평면도는 <예 10>, 입면도는 <예 2>와 <예 5> 참조

주) <예 2>와 <예 5>에서, 위험장소는 누출원을 중심으로 원통형이 된다. 그러나 혼합조가 서로 근접되어 있다면, 박스 형태로 커진다. 이러한 방법에 의하여 구분되지 않고 생략되는 장소는 없다.

여기에서,

- 1) 펌프와 혼합조는 잘 용접된 배관에 의하여 연결되고, 장치 인근에 플랜지, 밸브 등이 있다고 가정한다.
- 2) 이외의 다른 누출원, 개방된 혼합조 등이 있을 수 있으나, 여기에서는 이를 고려하지 않았다.
- 3) 만약 실내(Room)가 아주 작다면, 2종장소를 실내 모두로 확대한다.

<표 1> 폭발위험장소 구분 데이터 시트 - 인화성 물질의 목록 및 특성

| 설비명 : 도장공장(<예 10> 참조)                                                    |                 |                                |            |                   |       |                    |            |     |      |                         |         |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------|-------------------|-------|--------------------|------------|-----|------|-------------------------|---------|
| 구분                                                                       | 인화성 물질          |                                | 인화점<br>(℃) | 폭발하한              |       | 휘발성 <sup>1)</sup>  |            | 비중  | 발화온도 | 그룹 및 온도등급 <sup>2)</sup> | 기타 관련정보 |
|                                                                          | 물질명             | 분자식                            |            | kg/m <sup>3</sup> | vol.% | 증기압<br>(20 ℃, KPa) | 끓는점<br>(℃) |     |      |                         |         |
| 1                                                                        | 낮은<br>인화점<br>용제 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> | - 18       | 0.042             | 1.2   | 5.8                | 81         | 2.9 | 260  | IIAT3                   |         |
|                                                                          |                 |                                |            |                   |       |                    |            |     |      |                         |         |
| 1) 일반적으로 증기압은 주어지지만, 증기압 관련 자료가 없다면 끓는점을 대신 사용할 수 있다.<br>2) 예를 들면, IIBT4 |                 |                                |            |                   |       |                    |            |     |      |                         |         |

&lt;표 2&gt; 폭발위험장소 구분 데이터 시트 - 누출원 목록

| 설비명 : 도장공장(예 10 참조) |              |     |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   |        |                   |                   |     |                           |
|---------------------|--------------|-----|------------------------|------------------|-------------|---------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-----|---------------------------|
| 구분                  | 누출원          |     | 누출 <sup>a)</sup><br>등급 | 인화성 물질           |             |               | 상태 <sup>c)</sup> | 환기               |                  |                   | 폭발위험장소 |                   |                   |     | 비고                        |
|                     | 설비명          | 위치  |                        | 참조 <sup>b)</sup> | 운전온도<br>(℃) | 운전압력<br>(KPa) |                  | 형태 <sup>d)</sup> | 등급 <sup>e)</sup> | 유효성 <sup>e)</sup> | 종류     | 수평<br>(m)         | 수직<br>(m)         | 참조  |                           |
| 1                   | 용제펌프<br>기밀부  | 펌프장 | S                      | 1                | 대기          | 대기            | L                | A                | M                | 양호                | 2중     | 1.0 <sup>1)</sup> | 3.0 <sup>2)</sup> | 예 2 | 1) : 누출원 상부<br>2) : 누출원에서 |
| 2                   | 혼합노즐<br>액체표면 | 혼합장 | C                      | 1                | 대기          | 대기            | L                | A                | L                | 미흡                | 0중     | 1)                | 1)                | 예 5 | 1) : 노즐 내부                |
| 3                   | 혼합노즐<br>토출구  | 혼합장 | P                      | 1                | 대기          | 대기            | L                | A                | M                | 양호                | 1중     | 1.0 <sup>1)</sup> | 2.0 <sup>2)</sup> | 예 5 | 1) : 토출구 상부<br>2) : 토출구에서 |
| 4                   | 혼합노즐<br>유출   | 혼합장 | S                      | 1                | 대기          | 대기            | L                | A                | M                | 양호                | 1중     | 1.0 <sup>1)</sup> | 2.0 <sup>2)</sup> | 예 5 | 1) : 지면 상부<br>2) : 노즐에서   |
|                     |              |     |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   |        |                   |                   |     |                           |
|                     |              |     |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   |        |                   |                   |     |                           |

<sup>a)</sup> C : 연속, S : 2차, P : 1차

<sup>b)</sup> <표 1>의 구분번호

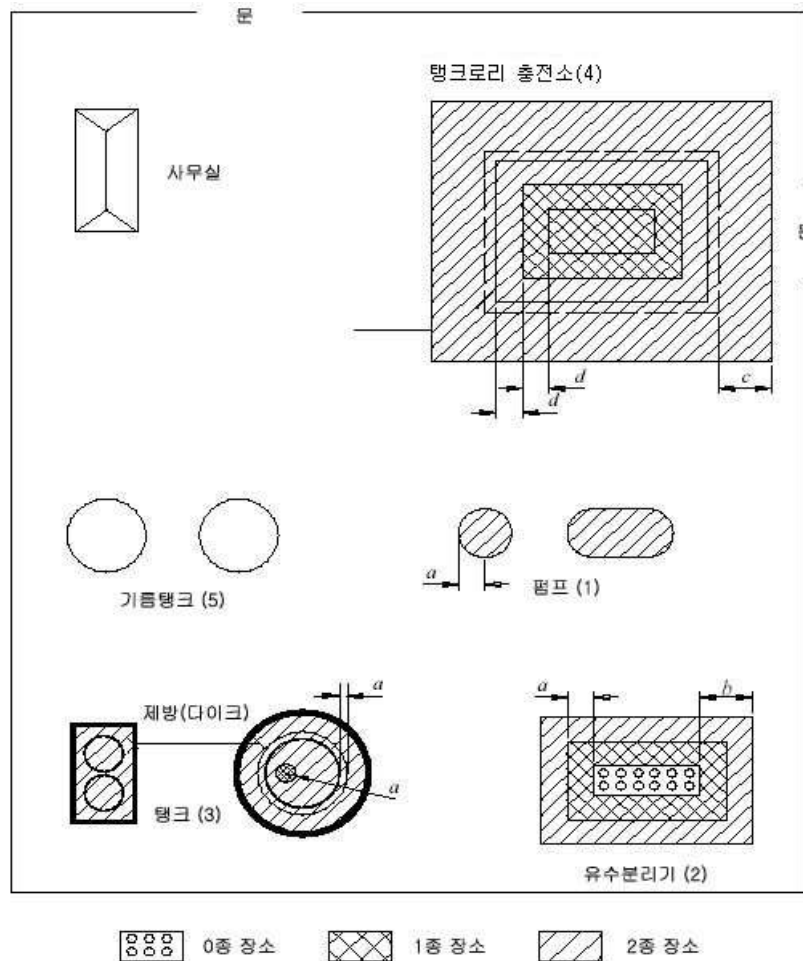
<sup>c)</sup> G : 가스, L : 액체, LG : 액화가스, S : 고체

<sup>d)</sup> N : 자연환기, A : 강제환기

<sup>e)</sup> H : 고환기, M : 중환기, L : 저환기

**<예 11> 휘발유 및 윤활유 탱크장****■ 위험장소의 종별 및 범위에 영향을 미치는 주요 요소**

- <예 1, 6 및 9>를 사용하는 방법의 한 예로, 3개의 휘발유 저장탱크(다이크, # 3), 각각 근접되어 있는 5대와 1대의 펌프(# 1), 1개의 충전소(# 4), 2개의 기름탱크(# 5), 1개의 유수분리기(# 2)가 탱크장에 설치되어 있다.
- 위험장소의 형태에 영향을 미치는 중요한 요소는 <예 1, 6, 8 및 9>의 표를 참고한다.

**■ 위험장소 구분도**

※ 적합한 변수( 표 3 및 4 의 위험장소 구분 데이터 시트 참조)에 의해, 이 예의 대표적인 값은 다음과 같다.  $a = 3 \text{ m}$ ,  $b = 7.5 \text{ m}$ ,  $c = 4.5 \text{ m}$ ,  $d = 1.5 \text{ m}$

여기에서,

- 1) 평면도는 <예 11>, 입면도는 <예 1, 6, 8 및 9>를 참조한다.
- 2) 자세한 사항(위험장소 내부 용기, 범위, 탱크 배출구 등의 구분)은 <예 1, 6, 8 및 9>를 참조한다.

주) 탱크 내부, 분리기(0종장소) 및 탱크 배출구(1종장소)의 정확한 구분을 위하여 <예 1, 6, 8 및 9>를 참고할 필요가 있다.

- 3) 다른 누출원이 있을 수 있으나, 간략히 하기 위하여 이들을 고려하지 않았다.

<표 3> 폭발위험장소 구분 데이터 시트 - 인화성 물질의 목록 및 특성

| 설비명 : 휴발유 및 윤활유 탱크장(<예 11> 참조)                                           |                |     |            |                   |        |                    |            |       |       |                         |         |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|-----|------------|-------------------|--------|--------------------|------------|-------|-------|-------------------------|---------|
| 구분                                                                       | 인화성 물질         |     | 인화점<br>(℃) | 폭발하한              |        | 휘발성 <sup>1)</sup>  |            | 비중    | 발화온도  | 그룹 및 온도등급 <sup>2)</sup> | 기타 관련정보 |
|                                                                          | 물질명            | 분자식 |            | kg/m <sup>3</sup> | vol. % | 증기압<br>(20 ℃, KPa) | 끓는점<br>(℃) |       |       |                         |         |
| 1                                                                        | 휘발유            | -   | < 0        | 0.022             | 0.7    | 50                 | < 210      | > 2.5 | 280   | IIAT3                   |         |
| 2                                                                        | 연료유            | -   | 55 - 65    | 0.043             | 1      | 6                  | 200        | 3.5   | 330   | IIAT2                   |         |
| 3                                                                        | 기름, 휘발유 혼합유된 물 | -   | < 0        | -                 | > 0.7  | -                  | -          | > 1.2 | > 280 | IIAT3                   | 평가된 값   |
| 1) 일반적으로 증기압은 주어지지만, 증기압 관련 자료가 없다면 끓는점을 대신 사용할 수 있다.<br>2) 예를 들면, IIBT4 |                |     |            |                   |        |                    |            |       |       |                         |         |

&lt;표 4&gt; 폭발위험장소 구분 데이터 시트 - 누출원 목록

| 설비명 : 휘발유 탱크장(<예 11> 참조)                                                                                                                                                                                                                                    |                  |        |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   |        |                   |                   |     |                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|------------------------|------------------|-------------|---------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-----|-------------------------------------------------|
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                          | 누출원              |        | 누출 <sup>a)</sup><br>등급 | 인화성 물질           |             |               | 상태 <sup>c)</sup> | 환기               |                  |                   | 폭발위험장소 |                   |                   |     | 비고                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                             | 설비명              | 위치     |                        | 참조 <sup>b)</sup> | 운전온도<br>(℃) | 운전압력<br>(KPa) |                  | 형태 <sup>d)</sup> | 등급 <sup>e)</sup> | 유효성 <sup>e)</sup> | 종류     | 수평<br>(m)         | 수직<br>(m)         | 참조  |                                                 |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                           | 휘발유 펌프 기밀부       | 펌프장    | S                      | 1                | 15          | 500           | L                | A                | M                | 양호                | 2중     | 1.0 <sup>1)</sup> | 3.0 <sup>2)</sup> | 예 1 | <sup>1)</sup> : 누출원 상부<br><sup>2)</sup> : 누출원에서 |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                           | 분리기 액체 표면        | 폐수 처리장 | C                      | 3                | 15          | 101.25        | L                | N                | L                | 우수                | 0      | <sup>1)</sup>     | <sup>1)</sup>     | 예 6 | <sup>1)</sup> : 지면 아래의<br>분리기 내부                |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |        |                        |                  |             |               |                  | N                | M                | 우수                | 1      | 1.0 <sup>1)</sup> | 3.0 <sup>2)</sup> | 예 6 | <sup>1)</sup> : 지면 위<br><sup>2)</sup> : 분리기에서   |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |        |                        |                  |             |               |                  | N                | M                | 우수                | 2      | 3.0 <sup>1)</sup> | 7.5 <sup>2)</sup> | 예 6 | <sup>1)</sup> : 지면 위<br><sup>2)</sup> : 분리기에서   |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                           | 휘발유 탱크 액체표면      | 탱크장    | C                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 미흡                | 0      | <sup>1)</sup>     | <sup>1)</sup>     | 예 8 | <sup>1)</sup> : 탱크 내부                           |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                           | 휘발유 탱크 배출구       | 탱크장    | P                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 우수                | 1      | 3.0 <sup>1)</sup> | 3.0 <sup>1)</sup> | 예 8 | <sup>1)</sup> : 벤트 주위 3m                        |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                           | 휘발유 탱크 다이크, 플랜지등 | 탱크장    | S                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 양호                | 2      | <sup>1)</sup>     | <sup>1)</sup>     | 예 8 | <sup>1)</sup> : 다이크 내부                          |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                           | 휘발유 탱크넘침         | 탱크장    | S                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 우수                | 2      | 3.0 <sup>1)</sup> | 3.0 <sup>1)</sup> | 예 8 | <sup>1)</sup> : 지면 위                            |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                           | 탱커 충전설비 탱크상부 개구부 | 충전지역   | P                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 양호                | 1      | 1.5 <sup>1)</sup> | 1.5 <sup>2)</sup> | 예 9 | <sup>1)</sup> : 지면 위<br><sup>2)</sup> : 누출원에서   |
|                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |        |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   | 2      | 1.0 <sup>1)</sup> | 1.5 <sup>2)</sup> | 예 9 | <sup>1)</sup> : 누출원 상부<br><sup>2)</sup> : 누출원에서 |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                           | 탱커 충전설비 드레인 내부유출 | 충전지역   | S                      | 1                | 15          | 101.325       | L                | N                | M                | 우수                | 2      | 1.0 <sup>1)</sup> | 4.5 <sup>2)</sup> | 예 9 | <sup>1)</sup> : 지면 위<br><sup>2)</sup> : 드레인채널에서 |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                           | 기름탱크             | 탱크장    | -                      | 2                | -           | -             | L                | -                | -                | -                 |        | - <sup>1)</sup>   | - <sup>1)</sup>   | -   | <sup>1)</sup> : 인화점이 높아<br>비폭발위험지역              |
| <div><div><sup>a)</sup> C : 연속, S : 2차, P : 1차</div><div><sup>b)</sup> &lt;표 1&gt;의 구분번호</div><div><sup>c)</sup> G : 가스, L : 액체, LG : 액화가스, S : 고체</div><div><sup>d)</sup> N : 자연환기, A : 강제환기</div><div><sup>e)</sup> H : 고환기, M : 중환기, L : 저환기</div></div> |                  |        |                        |                  |             |               |                  |                  |                  |                   |        |                   |                   |     |                                                 |

## &lt;부록 4&gt;

## 인화성 미스트

1. 인화점 이상에서 취급하는 액체가 누출되는 경우에는 본 지침에서 정한 폭발위험 장소 설정에 따라 처리가 가능하다. 그러나 특정조건 하에서는 인화점 이하에서 액체가 누출되더라도 인화성 미스트 운(Cloud)을 형성하는 경우가 있다. 운전온도에서 위험하지 않다고 여겨지는 액체조차도 어떠한 상황에선 폭발위험성을 높이는 인화성 미스트를 형성할 수 있다. 일반적으로 이러한 현상을 나타내는 예로서는 인화점이 높은 액체연료, 열교환오일, 윤활유 등이 있다.
2. 실제로 액체 누출은 즉시 낙하하려는 성질의 큰 액체방울과 에어로졸 형태로 공기 중에 떠 있는 작은 파편 등 넓은 범위의 액체방울 덩어리가 형성될 것이다. 미스트의 인화성은 액체방울과 증기가 함유된 공기의 농도, 휘발성, 미스트 운 속에서의 액체방울 크기 등에 의해 결정된다. 액체방울의 크기는 액체가 누출되는 동안의 압력, 액체의 특성(밀도, 표면장력, 점도), 방출구의 크기와 모양 등에 기인한다. 일반적으로 고압의 작은 배출구가 누출시 분사로 인한 미립자화에 크게 기여하게 되며, 이로 인해 폭발위험이 증가하게 된다. 그러나 작은 방출구는 누출물을 떨어트리므로 위험이 감소되는 경향도 있다.
3. 에어로졸 크기의 액체방울은 미스트 운 상태에서 가장 쉽게 발화하는 것으로 입증되었다. 그러나 에어로졸 크기의 액체방울은 일반적으로 전체 누출량 중 매우 적은 부분을 차지한다. 그러나 소량의 분사된 미스트가 주변의 액체 표면에 영향을 미치는 경우에는 이로 인해 미스트가 더 증가할 수도 있다.
  - 주) 1. 에어로졸은 대기 중에 부유하는 작은 입자 (50 마이크로 이하)이다.
  - 2. 에어로졸 안의 액체방울은 누출 조건에 따라 누출된 전체 질량 중 1 % 이하 정도이다.
  - 3. 액상의 방울로 구성된 운은 충분한 양의 증기나 매우 작은 액체방울이 존재하지 않는 한 일반적으로 점화하기 어렵다.
4. 정상운전 또는 예측 가능한 오작동으로 인해 인화성 미스트를 형성할 수 있는 액체 누출의 가능성은 이러한 누출을 야기할 수 있는 사건에 따라 주의 깊게 평가하여야 한다. 평가결과는 누출확률이 매우 낮고, 미스트 운의 생성도 극히 드문 오작동 또는 심각한 고장에서만 발생할 수 있음을 보여줄 것이다. 평가는 유사한 공장을

참조하거나, 운전경험에 의해 뒷받침되어야 한다. 그러나, 미스트의 열역학적 복잡성과 미스트 형성과 인화성에 영향을 주는 수많은 요소로 인해 참조할 사항이 모든 경우에 적용 가능하지 않을 수 있다. 이러한 경우, 관련 자료에 기초한 합리적 판단이 필요하다.

5. 모든 누출이 미스트를 형성하는 것은 아니라는 것을 아는 것이 중요하다. 예를 들어, 가스 또는 증기의 가장 일반적인 2차 누출을 야기하는 플랜지 개스킷, 채워진 박스, 그랜드 등의 파손으로 인한 누출은 대체적으로 점액질 액체의 경우 미스트 보다는 똑똑 떨어지는 경우가 대부분이므로 무시해도 좋다. 이는 배관연결부, 밸브 등에서 생성될 미스트의 가능성이 너무 과대평가되지 않아야 한다는 뜻이다. 또한, 액체의 물리적 특성, 취급공정에서의 조건, 공정설비의 기계적 세부사항, 장비의 품질과 누출원 근처의 장애물 등이 고려되어야 한다.

- 주) 1. 인화점 이하에서 배출된 액체가 미스트로 인해 화학공장에서 폭발한 사례는 극히 드물다. 이는 누출사고로부터 점화하기에 충분한 작은 액체방울 크기로 형성하기가 매우 어렵기 때문일 것이다.  
2. 인화성 미스트는 증기점화에 필요한 에너지의 스파크에서도 점화가 가능하지만, 일반적으로 점화하기 위해서는 매우 높은 표면온도가 요구된다. 고온 표면과 접촉에 의한 미스트의 점화는 일반적으로 증기에서의 점화보다 더 높은 온도가 요구된다.

6. 인화성 미스트의 형성이 가능하다면, 이로 인한 위험을 줄이기 위해 누출원은 보다 안전하게 보관되고 관리되어야 한다. 예를 들어, 미스트의 유착을 촉진시키기 위한 다공성 가드, 미스트 감지기 또는 억제 시스템 등을 사용한다. 미스트를 봉쇄하거나 이와 유사한 제어가 곤란한 곳에서는 위험장소의 설정을 고려하여야 한다. 그러나 미스트의 분산 메커니즘과 점화특성이 가스나 증기와는 다르기 때문에, <부록 2>에 설명한 설정방법으로는 적용할 수가 없다.

- 주) 1. 인화성 미스트를 형성하는데 필요한 조건은 아주 복잡하므로, 정성적 평가만이 적용 가능하다. 취급 액체의 미스트를 형성하고, 이를 점화시키는데 필요한 요소를 먼저 규명하는 것이 중요하다. 액체의 누출을 야기하는 사건의 발생확률과 연관된 이러한 요소들은 위험의 정도를 평가하기에 충분하고, 위험장소의 설정이 필요한지를 결정하는데 도움을 줄 것이다.  
2. 일반적으로, 위험장소의 종류를 결정하는 유일한 요소는 누출등급이다. 대부분의 경우 2차 누출이 적용된다. 연속누출 또는 1차 누출은 대체로 스프레이 도장처럼 분사장비와 관련되어 있다.  
3. 미스트에 대한 위험장소를 설정하였다면, 그 곳은 가스 또는 증기와 관련된 위험장소와는 구분이 되도록 적절한 표시로 도면에 나타내어야 한다.

7. 액체방울 크기의 특성에 의해 점화되지 않는 미스트가 증기 발화점 이상의 고온 표면에 떨어지는 경우 화재를 일으킬 수 있다. 그러므로 누출 가능성과 고온표면과의 접촉 가능성을 막을 수 있는 관리가 필요하다.
8. 미스트를 점화하기 위해서는 인화성 증기 또는 인화성 분진과 유사하게 최소한의 농도가 요구된다. 비인화성 액체에서는 대체적으로 가시성을 감소시키는 운 (Cloud)과 관련이 있다. 미스트가 가시성을 갖는 지를 확인하여야 하고, 누출시 일반적으로 일정시간 내에 환기가 시행되어야 한다.
- 주) 분무형 연료의 폭발하한은 증기의 폭발하한과 비슷하거나 더 낮은 것으로 알려져 있다.
9. 인화성 미스트는 공정운전의 일부분인 윤활시스템, 스플래싱(Splashing) 시스템, 혼합기 등의 내부에서 발생할 수 있다. 이러한 공정설비의 내부는 위험장소로 고려할 수 있다. 일부 조건에서는 이러한 미스트가 대기 중으로 방출될 수 있다. 예를 들어, 크랭크실의 브리더(Breather), 탱크 또는 기어박스의 배기구를 통해 윤활유 미스트가 대기로 방출되면서 화재위험이 발생한다. 그러므로 이 경우의 미스트는 추출장치(Extractor)를 통해 보다 안전하게 제거되어야 한다.
10. 스프레이 도장처럼 의도적으로 액체를 분사하는 상황에서는 추가 고려사항이 적용되어야 한다. 이러한 경우 폭발위험장소의 설정은 일반적으로 관련 산업의 특정 규격을 참조하여야 한다.