

KOSHA CODE

D - 44 - 2007

화학공장의 화재예방에 관한 기술지침

2007. 11

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

코드개요

o 제정자 : 이하연

o 제 · 개정 경과

- 2007년 6월 화공안전분야 제정위원회 심의
- 2007년 10월 화공안전분야 제정위원회 재심의
- 2007년 11월 총괄제정위원회 심의

o 관련규격 및 자료

- NFPA 30(Flammable and combustible liquids code), 1993
- Chemical process safety fundamentals with applications(2nd), Crowl/Louvar, 2001. Prentice Hall
- Loss prevention in the process industries, Frank P. Lees. 1980. Butterworth & Co. Ltd.

o 관련법령 · 고시 등

- 산업안전기준에 관한 규칙 제258조(폭발 또는 화재 등의 예방)

o 코드적용 및 문의

이 코드에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 전문기술실 (전화 032-5100-641, FAX 032-512-8315)로 연락하여 주십시오.

공표일자 : 2007년 11월 30일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

화학공장의 화재예방에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 「산업안전보건법」(이하 “법”이라 한다.) 제23조(안전상의 조치), 「산업안전기준에 관한 규칙」(이하 “안전규칙”이라 한다) 제258조(폭발 또는 화재 등의 예방) 동 규칙 별표3(화학설비 및 그 부속설비의 종류) 등에 따른 화학공장의 화재예방을 위한 기술 지침을 정하는 데 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 가연성 가스와 인화성 액체를 취급하는 화학공장에서 화재예방 및 유지관리에 적용한다.

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “연소”라 함은 물질이 산소와 결합하여 에너지를 방출하는 화학반응을 말한다.

(나) “화재”라 함은 인적, 물적인 피해를 수반하는 연소현상을 말한다.

(다) “점화”라 함은 가연성 가스 또는 인화성 액체의 증기 등이 산소(공기)와 혼합하여 연소범위를 형성한 상태에서 연소를 개시할 수 있는 충분한 에너지를 공급하는 것을 말한다.

(라) “인화점(Flash point)”이라 함은 사용중인 용기 내에서 인화성 액체가 증발하여 인화될 수 있는 가장 낮은 온도를 말한다.

- (마) “연소점(Fire point)”이라 함은 인화성 액체가 공기중에서 열을 받아 점화원의 존재하에 지속적인 연소를 일으킬 수 있는 온도이다. 동일한 물질일 경우 연소점은 인화점보다 약 3~10 °C 정도 높으며 연소를 5초 이상 지속할 수 있는 온도이다.
- (바) “발화온도(AIT : Auto ignition temperature)”라 함은 점화원 없이 가연성 물질을 대기 중에서 가열함으로써 스스로 연소 혹은 폭발을 일으키는 최저 온도를 말한다.
- (사) “연소범위(폭발범위)”라 함은 연소(폭발)이 일어나는데 필요한 가연성 가스나 인화성 액체의 특정한 농도범위를 말하며, 공기중의 가연성 가스나 인화성 액체가 연소하는데 필요한 농도의 하한과 상한을 각각 연소하한계(LFL : Lower flammable limit), 연소상한계(UFL : Upper flammable limit)라 하고, 보통 1기압, 상온에서의 부피 백분율(vol.%)로 표시한다.
- (아) “인화성 물질”이란 대기압 하에서 인화점이 65 °C이하인 인화성 액체로서, 안전규칙 별표1(위험물질의 종류) 제4호에서 정한 물질을 말한다.
- (자) “가연성 가스”라 함은 연소 범위의 하한이 10 %이하 또는 상하한의 차이가 20 %이상인 가스를 말하며, 안전규칙 별표1(위험물질의 종류) 제5호에서 정한 가스를 말한다.
- (차) “화재의 3요소”라 함은 화재(연소)가 지속되는 조건을 말하며, 가연물(위험물), 산소(공기) 및 점화원(불씨)의 3가지 구성요소를 말한다.
- (카) “최소산소농도(MOC : Minimum oxygen concentration)”라 함은 연소가 이루어지기 위해 필요한 최소의 산소 요구량을 말한다.
- (타) “최소점화에너지(MIE : Minimum ignition energy)”라 함은 연소에 필요한 최소 에너지를 말하며, 분진을 포함한 모든 가연성 물질은 고유한 최소점화에너지를 필요로 하는데 탄화수소의 평균적인 최소점화에너지는 0.25 mJ이다

(과) “비등액체팽창증기폭발(BLEVE : Boiling liquid expanding vapor explosion)”이란 액화상태의 가연성 가스나 비점이 낮은 인화성 액체가 충전된 저장탱크 주위에 화재가 발생하여 저장탱크 벽면이 장시간 화염에 노출되면 윗부분의 온도가 상승하여 재질의 인장력이 저하되고, 내부의 비등현상으로 인한 압력상승으로 저장탱크 벽면이 파열되는 현상을 말한다.

(하) “분출화재(Jet fire)”란 어느 정도 가압 하에 있는 가연성 기체나 인화성 액체가 용기, 파이프 등 설비의 구멍이나 틈새로부터 유출된 후 점화되었을 때 발생하는 화재를 말한다.

(가) “액면화재(Pool fire)”란 가연성 액체가 지면에 흘러나와 액면을 형성한 후 그 액면의 가연성 액체가 연소범위가 되었을 때 점화되면 화재로 액면 전체가 화염에 휩싸이게 되는 것을 말한다.

(2) 그 밖에 용어의 정의는 이 지침에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 동법 시행령, 동법 시행규칙 및 안전규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 화재

4.1 화재의 개요

가연성 물질이 산소와 결합하여 에너지를 방출하는 화학반응을 연소라 하며, 이러한 연소현상에 의해 인적, 물적인 피해가 발생하는 것이 화재이다.

4.1.1 화재의 발생조건

화재는 가연성 가스나 가연성 액체의 증기, 가연성 고체의 분해증기가 공기중의 산소와 충분히 혼합가스를 생성한 후 발화온도 이상으로 가열되거나 외부의 점화원에 의해 발생되는데, 화재(연소)가 지속되기 위해서는 가연물(위험물), 산소(공기) 및 점화원(불씨)의 3가지 구성요소가 확보되어야 한다.

4.1.2 화재의 지속요건

가연성 가스는 산소와 쉽게 혼합하여 연소가 가능하지만 액체나 고체는 기화가 먼저 이루어져야만 연소가 가능하다. 그러므로 액체나 고체의 화재는 열교환 과정을 수반하게 되는데 화재로부터 발생된 열이 충분하여야 액체나 고체를 기화시켜 화재를 지속시킬 수 있다.

4.1.3 화재의 제어

화재를 제어하기 위해서는 다음과 같은 조건중 하나를 선택하여 제어하면 된다.

- (1) 가연물 전체가 소모되거나 제거되어야 한다.
- (2) 산소농도가 최소산소농도 이하로 낮아져야 한다.
- (3) 발화온도 이하로 냉각되어야 한다.
- (4) 소화약제 등 화학적인 방법으로 화재가 억제되어야 한다.

4.1.4 화학공장에서의 관리대상

- (1) 화재를 예방하기 위해서는 화재의 3요소 중 최소한 1요소 이상을 관리하여야 한다.
- (2) 일반적으로 화학공장은 가연성 가스 및 인화성 물질을 대량으로 취급하고 있고, 산소는 공기중에 약 21 % 포함되어 있어서 가연물 및 산소의 관리가 어려우므로, 다음과 같이 점화원을 집중관리하여야 한다.
 - (가) 정상운전 중에는 고열, 고온, 정전기 및 충격 등 화학공정에서 발생할 수 있는 점화원을 관리 대상으로 한다.
 - (나) 다만, 정기보수작업 등 정비작업이 이루어질 때에는 용접불꽃 등의 점화원을 불가피하게 사용하여야 하므로, 가연물을 관리대상으로 한다.

4.1.5 화재의 분류

화재는 한국산업규격의 화재분류(KS B6259)에 따라 A급 화재(일반 가연물 화재, 고체가연물화재), B급 화재(유류 및 가스화재), C급 화재(전기화재), D급 화재(금속화재)로 분류한다.

4.2 화재의 성장

화재의 성장은 화재에 의한 열전달이나 가연물의 이동에 의한 화염의 전파로 확대 성장한다.

4.2.1 열전달의 형태

열전달은 전도, 대류 및 복사에 의해 이루어진다.

4.2.2 형태별 비율

- (1) 화재시 발생하는 연소열의 75 % 정도는 연소생성물의 온도를 800~1,200 °C로 상승시키는데 사용되지만 이 온도에서 공기의 밀도는 대기온도의 공기에 비해 25 %정도이므로, 대류현상에 의해 상부(대기중)로 상승하게 된다. 그러므로 옥내형 공장에서는 화재의 확대에 커다란 영향을 미치지만, 개방형 공장에서는 화재의 확대에 커다란 영향을 미치지 않는다.
- (2) 복사에 의한 열전달은 비교적 작은 25 %정도이지만 주위의 물질에 직접 전달 되고 개방공간을 횡단할 수 있으므로 개방형 공장에서는 중요한 열전달의 형태이다.

4.3 연소의 특성

4.3.1 인화성 액체의 인화점

- (1) 인화성 액체의 취급온도가 그 물질의 인화점보다 높을 때에는 점화원과의 접촉에 의해 인화될 위험이 있으므로 인화점이 낮을수록 위험하다.

- (2) 인화점의 수치는 타구밀폐식(Tagliabue : ASTM D56-61) 및 펜스키말테식(Pensky Martens : ASTM D93-61) 등의 밀폐식 측정방법에 의한다.

4.3.2 연소범위의 결정

가연성 가스나 인화성 액체의 증기에 대한 연소범위는 밀폐식 측정장치에서 가스나 증기와 공기의 혼합기체를 실험장치에 주입하여 점화시키면서 폭발압력을 측정하는데, 가스나 증기의 농도를 변화시키면서 연소범위를 결정한다.

4.3.3 가스나 증기혼합물의 연소범위

- (1) 실험에 의해 혼합된 물질의 개별적인 연소범위를 알고 있을 때 혼합물의 연소 범위는 르샤틀리에(Le Chatelier)식을 사용하여 계산한다.

$$LFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LFL_i}}$$

$$UFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{UFL_i}}$$

여기서

LFL_i : 공기중 i 성분의 연소하한계

UFL_i : 공기중 i 성분의 연소상한계

y_i : i 성분의 몰분율

n : 물질의 종류의 수

- (2) 실험데이터가 없어서 연소한계를 추정하는 경우에는 다음 식을 이용한다.

$$LFL = 0.55C_{st}$$

$$UFL = 3.50C_{st}$$

여기서

C_{st} : 완전연소가 일어나기 위한 연료, 공기의 혼합기체 중 연료의 부피(%)

$$C_{st} = \frac{\text{연료의 몰수}}{\text{연료의 몰수} + \text{공기의 몰수}} \times 100$$

4.3.4 연소범위에 대한 온도의 영향

- (1) 연소범위는 온도에 따라 증감하는데 다음 식은 인화성 물질의 증기에 유용한 경험식이다.

$$LFL_T = LFL_{25} [1 - 0.75(T - 25)/\Delta H_c]$$

$$UFL_T = UFL_{25} [1 + 0.75(T - 25)/\Delta H_c]$$

여기서

ΔH_c : 유효 연소열(kcal/mol)

T : 온도(°C)

- (2) 또한 온도가 100 °C 증가할 때마다 연소하한계는 8 % 감소하고, 연소상한계는 8 % 증가한다. 이에 따라 다음 식을 사용할 수 있다.

$$LFL_T = LFL_{25} - (0.8LFL_{25} \times 10^{-3})(T - 25)$$

$$UFL_T = UFL_{25} + (0.8UFL_{25} \times 10^{-3})(T - 25)$$

4.3.5 연소범위에 대한 압력의 영향

압력은 연소하한계에 거의 영향을 주지 않으며, 절대압력 50 mmHg 이하에서는 화염이 전파되지 않는다. 연소상한계는 압력이 증가할 때 연소범위가 넓어지는데 경험식은 다음과 같다.

$$UFL_P = UFL + 20.6(1 + \log P)$$

여기서

P : 절대압력(MPa)

- 4.3.6 가스나 증기혼합물의 연소범위 계산, 연소범위에 대한 온도 및 압력의 영향 등에 대한 세부 계산방법은 KOSHA Code D-18-2004(가연성 가스 또는 증기혼합물의 폭발한계 산정에 관한 기술지침)에 따른다.

4.3.7 연소 3요소의 예외사항

다음과 같은 물질은 산소가 없어도 연소(폭발)가 가능함으로 특별하게 관리하여야 한다.

- (1) 디보란(B_2H_6), 니트로메탄(CH_3NO_2) 등 안전규칙 별표1(위험물질의 종류) 제 1호 폭발성 물질과 같이 점화에너지만 있으면 직접 분해하는 물질
- (2) 마그네슘, 알루미늄, 칼륨 등 안전규칙 별표1(위험물질의 종류) 제2호 발화성물질과 같이 순수한 질소내에서도 연소가 일어날 수 있는 물질

5. 화학공장에서의 주요 화재의 형태

화학공장에서의 화재의 형태는 크게 분출화재와 액면화재로 구분할 수 있다. 다음의 화학공장 주요화재 형태 중 펌프에서의 화재나 플랜지에서의 화재는 분출화재의 형태로 나타나고, 상압탱크에서의 화재는 액면화재의 형태로 나타난다.

5.1 펌프(Pump)에서의 화재

펌프는 구동부위인 그랜드(Gland)나 실(Seal)에서 내부 유체가 누출되기 쉽고 누출과 동시에 화재를 일으킬 수 있다. 따라서 이중구조의 기계적 실(Mechanical seal)을 사용하는 등의 방법으로 누출을 최소화할 수 있다.

5.2 플랜지(Flange)에서의 화재

플랜지에서는 상온 부근에서 운전되는 설비보다 고온이거나 저온인 경우에 배관 내부 유체 누출의 확률이 높다. 주된 원인은 온도의 상승이나 하강 시에 발생하는 재질의 팽창, 수축의 차이로 인해 밀착부위에 틈새가 발생되기 때문이다. 누출을 예방하기 위해서는 운전개시(Start-up)시에 온도의 상승이나 하강을 단위시간당 허용하는 범위 내에서 실시하고, 기술기준에서 제시하는 온도에서 토크렌치를 사용하는 등의 적절한 회전력으로 볼트의 재조임 작업(고온볼트 작업, 냉각볼트 작업)을 해주어야 한다.

5.3 보온재에서의 화재

고온의 온도를 유지하기 위해 설치한 보온재에 고비점성분의 유류나 가연성 액체가 침투되면 자연발화에 의해 화재가 일어나기도 한다.

5.4 저장탱크에서의 화재

상압탱크는 내부폭발 후 화재로 이어지거나 방유제 내부 누출에 의한 액면화재가 주로 발생된다. 압력탱크는 일부분 누출에 의한 분출화재가 발생되거나 외부화재에 의해 비등액체팽창증기폭발이 일어나기도 한다.

6. 화상

6.1 화상의 종류

- (1) 1도 화상(홍반성화상) : 변화가 피부의 표층에 국한되고, 환부가 빨갛게 되며, 가벼운 부기와 통증을 수반하는 화상
- (2) 2도 화상(수포성화상) : 화상직후 혹은 1일 이내에 물집이 생기는 화상
- (3) 3도 화상(괴사성화상) : 피부의 전체 층이 괴사하여 궤양화하는 화상
- (4) 4도 화상(흑색화상) : 피하지방, 근육, 뼈까지 도달하는 화상

6.2 복사열에 의한 화상

사람이 4~6초 동안 복사열을 받아 화상을 입는 정도는 다음과 같으며, 복사열에 의한 사망확률 등에 관한 계산은 KOSHA Code P-05-2005(사고피해영향평가에 관한 지침)에 따른다.

- (1) 1도 화상을 받는 한계 : $3 \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$
- (2) 2도 화상을 받는 한계 : $6 \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$
- (3) 3도 화상을 받는 한계 : $9 \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$

6.3 근로자의 작업복

근로자들에게 지급되는 작업복은 $2,400 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ 정도의 복사열에 견딜 수 있는 작업복을 지급하도록 권장하며, 여름철용으로 지급되는 작업복도 소매가 긴 작업복을 지급하여야 한다.

7. 화재 예방방법

화학공장에서 화재를 예방하는 방법에는 위험물 관리, 점화원 관리 또는 산소 관리 등의 방법이 있다.

7.1 위험물 관리

위험물질 종류별 제조 또는 취급 등에 필요한 특별한 사항은 안전규칙 제254조 (위험물질 등의 제조 등 작업시의 조치)에 따르며, 기타 사항은 다음과 같다.

7.1.1 위험물 관리의 일반사항

- (1) 사업장 내에서 취급하는 위험물은 잘 설계된 취급설비(용기류나 배관류 등)에서 벗어나지 않도록 관리되어야 한다. 취급설비에서 벗어날 경우에는 소각처리를 하는 등의 조치를 취하여 안전하게 배출되도록 하여야 한다.
- (2) 위험물 취급설비는 공정의 운전조건(운전압력, 운전온도 등)과 취급물질의 물성, 사용재질의 특성, 설비의 설치목적 등에 따라 내압, 내열성 또는 내부식성을 고려하여 설계하여야 한다.
- (3) 윤활유 등과 같이 인화점이 높아서 위험물질에 포함되지 않는 물질도 고압에 의해 미스트(Mist) 상태로 분무되는 경우에는 가스와 같은 위험성을 갖게 되므로 핀홀(Pinhole)과 같은 미세한 구멍에서 안개처럼 누출되지 않도록 관리되어야 한다.

KOSHA CODE

D - 44 - 2007

7.1.2 압력용기의 설계 및 재질선정

압력용기의 설계압력과 설계온도는 KOSHA Code D-33-2004(화학설비 등의 공정설계지침)에 따라 결정하여야 하며, 재질은 KOSHA Code D-10-2001(화학설비의 재질선정에 관한 기술지침)에 따라 부식방지 측면에서 취급 유체에 적합한 재질을 선정하여야 한다.

7.1.3 배관의 설계 및 재질선정

배관의 설계조건은 KOSHA Code D-33-2004(화학설비의 공정설계지침)에 따라 결정하여야 하며, 재질은 KOSHA Code D-10-2001(화학설비의 재질선정에 관한 기술지침)에 따라 부식방지 측면에서 취급유체에 적합한 재질을 선정하여야 한다.

7.1.4 접속부의 관리

취급 유체의 조건에 적합한 재질의 개스킷을 사용하고, 접합면을 상호 밀착시키는 등 적절한 조치를 취하여야 한다.

7.1.5 위험물 저장탱크

- (1) 인화성 물질을 저장하는 상압탱크는 탱크의 입·출하와 일광에 의한 증발량을 고려하여 충분한 크기의 통기구를 상부에 설치하여야 한다. 외부화재 등 복사열에 의한 증발량 증가에 대해서는 통기구외에 긴급통기설비를 설치하고, 지붕형 상압탱크 내부폭발에 대해서는 탱크의 원통과 지붕을 연결하는 부위에 취약부위를 만들어야 한다.
- (2) 액화석유가스와 같이 상온·상압 하에서 가스인 가연성 가스를 액화시켜 보관하거나 액상의 가연성 물질을 압력용기에 보관하는 경우에 설비의 주위에서 화재가 발생되면 전달된 열에 의해 비등액체팽창증기운폭발이 발생할 수 있으므로, 설비의 냉각이나 복사열을 차단하기 위한 물분무설비 등이 설치되어야 한다.

KOSHA CODE

D - 44 - 2007

- (3) 인화성 물질, 가연성 액화가스 등을 저장하는 탱크의 주위에는 누출 시 확산에 의한 화재의 확대를 예방하기 위하여 방유제를 설치하여야 한다. 방유제는 KOSHA Code D-1-2007(방유제 설치에 관한 기술지침)에 따른다.

7.1.6 안전거리

안전규칙 제291조(안전거리) 및 안전규칙 별표 3의2에 따른다.

7.1.7 내화조치

가스 또는 분진폭발위험장소에 설치되는 건축물 등에는 화재 시 붕괴에 의한 화재의 확대를 방지하기 위하여 철구조물에 내화조치를 하여야 한다. 내화의 방법은 KOSHA Code D-42-2006(내화구조에 관한 기술지침)에 따른다.

7.1.8 공정배출물의 처리

공정으로부터 배출되는 인화성 물질의 증기, 가연성 가스 등은 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 처리하여야 한다. 이중 연소처리 및 회수에 의한 방법은 KOSHA Code D-15-2001(플레어시스템의 설치에 관한 일반 기술기준)과 KOSHA Code D-32-2003(플레어시스템의 공정설계 기술지침)에 따른다.

7.1.9 위험물 취급설비의 유지·보수

위험물을 취급하는 설비의 성능을 유지하기 위해서는 주기적으로 유지·보수를 실시하여야 하는데 설비의 유지·보수는 KOSHA Code O-4-1998(화학공장의 정비·보수에 관한 기술기준)에 따른다.

7.1.10 긴급 시 위험물 이동

대형의 위험물저장탱크에 화재가 발생되었을 때는 내부의 위험물을 펌프를 이용하여 안전한 장소로 이송하는 등의 방법으로 화재의 규모를 최소화하여야 한다.

7.2 점화원 관리

7.2.1 점화원의 종류

점화원의 종류에는 기계적 점화원(예 : 충격, 마찰, 단열압축 등), 전기적 점화원(예 : 전기적 스파크, 정전기 등), 열적 점화원(예 : 불꽃, 고열표면, 용융물 등) 및 자연발화 등으로 구분된다.

7.2.2 최소점화에너지

일반적으로 최소점화에너지는 압력이나 산소농도가 증가하면 낮아지고, 분진이 가스보다 높게 나타난다.

7.2.3 기계적 점화원의 관리

- (1) 기계적 점화원은 운동에너지, 위치에너지 및 탄성에너지가 열에너지로 전환되면서 점화원으로 작용하게 된다. 기계적 점화원을 관리하기 위해서는 열에너지로 전환이 가능한 기계적인 요소를 관리하여야 한다. 기계적 점화원의 관리방법은 다음과 같다.

(가) 설비의 점검·정비 시에는 비점화성 재질의 공구류를 사용한다.

(나) 높은 장소에서는 철재 자재 또는 공구 등 낙하 위험이 있는 물체가 방치되지 않도록 정리정돈 등의 조치가 필요하다.

- (2) 가연성 가스의 압축과 같은 단열압축은 압력의 증가에 따라 온도가 상승하므로, 압축된 가스의 온도가 취급중인 물질의 발화온도와 비교하여 발화온도의 80 %를 초과하지 않도록 다단압축을 시키면서 중간냉각을 시키는 등의 조치가 필요하다.

7.2.4 전기적 점화원의 관리

- (1) 가스폭발위험장소나 분진폭발위험장소에 사용되는 전기설비는 점화원으로 작용되지 않도록 적절한 형태의 방폭형 전기기계기구를 설치하여야 한다.
- (2) 폭발위험장소의 구분 및 방폭구조 전기기계기구의 선정은 KOSHA Code E-17-2003(폭발위험장소 구분에 관한 기술지침), KOSHA Code E-18-2006(분진폭발위험장소 설정에 관한 기술지침) 및 KOSHA Code E-20-2004(폭발위험장소에서의 전기설비 설치에 관한 기술지침)에 따라 이루어져야 한다.
- (3) 방폭구조 전기기계기구의 성능은 KOSHA Code E-22-1999(방폭전기설비의 선정 및 유지보수에 관한 기술지침)에 따라 유지·보수하여야 한다.

7.2.5 열적 점화원의 관리

- (1) 열적 점화원은 불꽃, 고온의 표면과 같이 에너지의 크기가 크고, 온도가 취급중인 위험물질의 발화온도를 초과하므로 쉽게 점화원으로 작용된다.
- (2) 운전온도는 당해 위험물 발화온도의 80 %를 초과하지 않도록 공정물질과 스팀 사용 기기류에 대해서는 보온조치를 하여 고온의 표면이 노출되지 않도록 하여야 한다.

7.2.6 정전기 관리

- (1) 정전기는 이론상 $10^6 \Omega$ 이하만 유지하면 체류하지 않는 것으로 되어 있지만 전기적으로 격리된 부위에 대해서는 본딩(Bonding) 등의 방법으로 $10^3 \Omega$ 이하로 유지하여야 한다. 그리고 설비의 한곳 이상은 접지저항 10Ω 이하의 접지를 실시하여야 한다.
- (2) 근로자가 겨울철에 심하게 움직이면 인체에 대전되는 정전기의 전위는 10^4 V 이상이 되며 인체의 평균적인 정전용량은 200 pF 정도이므로 인체의 대전 에너지는 10 mJ 정도 된다.

$$E = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times (200 \times 10^{-12}) \times (10^4)^2 = 0.01J = 10mJ$$

여기서

E : 대전에너지(J)

C : 정전용량(F)

V : 전압(V)

- (3) 정전기로 인해 인체에 대전될 수 있는 에너지는 탄화수소류의 평균적인 최소점화에너지의 40배에 해당하여 화학공장내에서 점화원으로 작용될 위험이 있다. 따라서 근로자들에게 지급되는 작업복은 제전사의 코로나방전의 원리에 의해 인체의 정전기를 위험수준 이하로 낮추어주는 제전복을 지급하여야 한다.

7.2.7 자연발화의 관리

- (1) 운전온도가 대기온도보다 높아서 고온용 보온을 해놓은 부위에 고비점의 탄화수소류(윤활유 등)가 침투되어 있거나, 기름걸레를 한 곳에 장기간 방치하는 경우에 발화할 수 있으므로 청결하게 유지되어야 한다.
- (2) 발화점이 비교적 낮은 고분자물질(예 : C₄고분자 등)이 모아져 햇빛에 노출된 경우는 자연발화가 쉽게 이루어지므로, 이러한 조건을 피하여야 한다.

7.3 산소 관리

7.3.1 최소산소농도

산소농도를 최소산소농도 이하로 관리하면 연소하지 않는다. 대부분 가연성 가스의 최소산소농도는 10 %정도이고, 가연성분진인 경우에는 8 %정도이다. 인화성 액체의 증기에 대한 최소산소농도는 12~16 %정도이고 고체화재중에 표면화재는 약 5 %이하, 심부화재에 대해서는 약 2 %이하이다.

7.3.2 불활성화(Inerting)

- (1) 불활성화란 가연성 혼합가스나 혼합분진에 불활성가스를 주입하여 산소의 농도를 최소산소농도 이하로 낮게 유지하는 것이다.
- (2) 불활성 가스는 질소, 이산화탄소, 수증기 또는 연소배기가스 등이 사용된다. 연소억제를 위하여 관리되어야 할 산소의 농도는 안전율을 고려하여 해당물질의 최소산소농도 보다 4 % 정도 낮게 관리되어야 한다.
- (3) 안정적이고 지속적인 불활성화를 유지하기 위해서 대상설비에 산소농도측정기를 설치하고 산소농도를 관리하여야 한다.
- (4) 산소농도측정기는 정확한 농도측정을 위하여 제조회사에서 제시하는 기간이 초과되기 전에 교정이 필요하며, 감지부(Sensor)를 주기적으로 교체해 주어야 한다.

7.3.3 불활성화 방법

불활성화를 위한 치환(Purging) 방법에는 다음과 같이 진공치환(Vacuum purging), 압력치환(Pressure purging), 스위프치환(Sweep-through purging), 사이폰치환(Siphon purging)이 있다.

(1) 진공치환

진공 치환은 압력용기류에 주로 적용하며 완전진공설계가 이루어진 용기류에 적용이 가능하다. 목표로 하는 농도에 대한 치환 횟수는

$$j = \frac{\log \left(\frac{y_o}{y_i} \right)}{\log \left(\frac{p_H}{p_L} \right)}$$

여기서

j : 치환 횟수

y_i : 목표농도

y_o : 초기농도

p_H : 치환과정 중 높은 압력(절대압력)

p_L : 치환과정 중 낮은 압력(절대압력)

(2) 압력치환

압력치환은 용기류에 적용이 가능하며 가압시키는 압력은 설계압력 이내에서 결정되어야 한다. 목표로 하는 농도에 대한 치환횟수는 진공치환의 방법과 같다.

(3) 스위프치환

스위프치환은 한쪽의 개구부로 치환가스를 공급하고 다른 한쪽으로 배출시키는 방법으로 이루어지며 주로 배관류에 적용하는 것이 바람직하다.

(4) 사이폰치환

사이폰치환은 대상기기에 물이나 적합한 액체를 채운 뒤 액체를 배출시키면서 치환가스를 주입하는 방법으로 이루어진다. 액체를 채웠을 때 하중에 문제가 되는 경우에는 적용이 불가능하다.

(5) 기타 불활성화 세부 방법은 KOSHA Code P-40-2001(불활성가스 치환에 관한 기술지침)에 따른다.

7.4 소화설비

7.4.1 화재발생시 조기에 감지하여 효과적으로 소화활동을 실시하기 위해서는 「소방시설유지 및 안전관리에 관한 법률」 동법 시행령 제3조에 따른 소방시설(소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화용수설비 및 소화활동설비)의 철저한 유지·보수 및 관리가 필요하다.

7.4.2 화학공장의 소화설비에 필요한 소화용수량은 KOSHA Code F-01-1991(화학설비의 소화용수산출 및 소화펌프 유지관리지침)에 따른다.

7.5 비상조치계획 및 훈련

7.5.1 화학공장에서 운용이 가능한 설비 및 근로자들의 능력수준에 일치하는 비상조치계획이 수립되고 화재 등 비상상황에 적용되어야 한다. 비상조치계획에는 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다.

- (1) 화재발생 시 경보 및 소화 절차(경보, 소방서 통지 및 직원대피 등 소화작업 등과 같은 순차적 절차)
- (2) 화재 시 임무를 수행하기 위한 근로자들의 임무부여와 훈련
- (3) 소화설비의 유지관리
- (4) 지속적인 방화훈련

7.5.2 소화설비의 운용과 소화활동에 참여하도록 임무가 부여된 근로자는 설비의 운용 및 소화훈련교육을 받아야 하고, 재교육은 최소한 1년에 1회 이상 실시되어야 한다.

7.5.3 석유화학공단 내 석유화학공장에서는 대규모 화재가 발생할 경우를 대비하여 방재센터 운영과 주민 대피 등을 위한 해당지역의 비상대책기관과 유기적인 협조가 이루어져야 한다.

7.5.4 화재발생 시 안전하게 조업중단을 할 수 있도록 절차가 마련되어야하며, 이를 위해 정기적인 훈련 및 연동·제어장치 등의 신뢰도검사 같은 대책이 필요하다.

7.5.5 기타 세부적인 비상조치계획은 KOSHA Code P-29-2000(비상조치계획 수립 지침)에 따라 적절하게 수립한다.