

화학공장의 화재·폭발 재해 예방

1. 개요

화학공장에서 생산되는 제품은 화학물질을 원료로 각종 반응과 분리혼합 등의 공정과정을 거쳐 생산하게 된다.

대부분의 공정이 유해위험물질을 사용하고있어 사용자나 운영자의 부주의, 오조작, 관리소홀로 인한 화재·폭발·누출사고가 발생한다.

특히, 석유화학단지는 가스, 위험물 등 유해화학물질을 수십만 리터이상 저장할 수 있는 탱크들이 서로 인접하고 있어 사소한 부주의로 인해 발생한 작은 화재나 폭발이 인접 탱크로의 연쇄폭발이라는 대형 사고로 이어질 수 있어 더욱 세심한 주의가 필요하다.

2. 산업화재

산업화재는 가연성 물질이나 대량의 탄화수소계 위험물질의 취급과 관련된 광범위한 석유화학공정이나 가연성가스산업에서의 저장 및 이송, 반응, 정제, 분리 등을 행하는 기계설비의 고장 등에 의하여 발생하는 각종 형태의 누출에서부터 시작되며, 경우에 따라서는 폭발로 이어지기도 한다.

예를 들어, 탄화수소가 밀폐된 용기에서 방출된 후 점화되면 액면화재(Pool Fire) 분출화재(Jet Fire) 증기운 화재(Vapor Cloud Fire) 증발화재(Flash Fire) 또는 화구(Fire Ball) 등의 화재로 이어지는 것이다.

가. 액면화재(Pool Fire)

개방된 용기내에 탄화수소계가 저장된 상태에서 증발되는 연료에 점화되어 발생한 난류적인 확산형 화재로, 풀의 상부 표면에서 연소가 일어나는 것을 말한다. 액면화재는 초기에 진압하지 않으면 진압

이 어려워 초기 소화의 중요성이 더욱 강조된다.

나. 분출화재(Jet Fire)

탄화수소계의 이송 배관이나 용기로부터 고속으로 누출이 계속될 때 점화되어 화재로 이어지는 경우로, 난류확산형 화재이다.

다. 증기운 화재(Vapor Cloud Fire)

가연성 증기에 점화되어 전이되는 것을 말하며, 심각한 화염으로 가속되지 않는 경우이다. 탄화수소계가 개방된 자유공간에 상대적으로 서서히 누출될 때 생기는 현상이다.

라. 화구(Fire Ball)

탄화수소계 연료의 연소가 난류적으로 빠르게 확장되는 것으로, 일반적으로 화염이 공과 같이 형성되는 것을 말한다. 이것은 증기운 화재보다 심각하며, 폭발에 가깝다.

인화성 액체의 비등기화로 액체 입자를 포함하는 증기가 대량으로 대기에 방출됨으로써 점화됨으로부터 착화되어 화구를 형성한다. 최초에는 반구형이 되어 외부에 화염을 발생하지만 부력이 강하여 위로 상승하면서 기류에 의한 화구가 지속되어진다. 또한, 화구 밑에는 공기를 흡입하여 액체 입자가 연소되므로 화구(Fire Ball) 형태의 증기운 화재라고도 한다.

3. 폭발

폭발은 급격한 화학반응이나 기계적 팽창으로 급격히 이동하는 압력파나 충격파를 만들어내는 현상을 말한다. 폭발은 과충전에 의한 용기파열과 같은 물리적 폭발과 급격한 화학반응에 의한 화학적 폭발로 구

분할수있다.

가. 물리적 폭발

진공용기의 압괴, 과열액체의 급격한 비등에 의한 증기폭발, 용기의 과압과 과충진 등에 의한 용기과열 등을 들 수 있으며, 물질의 용해열, 수화열도 물리적 폭발요인이 된다.

나. 화학적 폭발

화학반응에 의하여 단시간에 급격한 압력상승을 수반할 때 폭발이 이루어지고, 이러한 화학반응으로는 산화·분해·중합반응 등이 있으며, 폭발시에 많은 양의 열이 발생한다.

(1) 화학적 폭발의 종류

구분	특징	예
산화 폭발	비정상적인 연소시 가연성 물질이 공기와의 혼합·화합으로 산화반응을 일으킴.	가연성가스, 증기, 미스트와 공기와의 혼합, 밀폐공간 내부에 가연성가스 체류시 등
분해 폭발	자기분해성 물질의 분해	산화에틸렌, 아세틸렌의 분해반응, 디아조 화합물의 분해열 등
방지 중합 폭발	방지 중합 폭발은 대개 용량반응이 아닌 열(냉각 등)실제로 인한 급격한 압력상승, 2차로 증기운 폭발을 일으킴.	중합열을 흡수할 수 있는 설비를 갖추지 못한 이상 반응, 냉각설비 고장으로 인한 온도조절 실패 등

다. 비등액체 팽창증기 폭발(BLEVE)
 비등액체 팽창증기 폭발(Boiling Liquid Expanded Vapor Explosion)은 액체가 들어있는 탱크가 과열될 때 일어난다. 용기가 과열되면 탱크 내용물 중의 상당비율이 폭발적으로 증발하게 된다.

- ① 액체가 들어있는 탱크의 주위에서 화재가 발생한다.
- ② 화재로 인한 열에 의하여 탱크의 벽이 가열된다.
- ③ 액위 이하의 탱크벽은 액에 의하여 냉각되나, 액의 온도는 올라가고 탱크내의 압력이 증가된다.
- ④ 화염이 열을 제거시킬 액은 없고, 증기만 존재하는 탱크의 벽이나 천정에 도달하면, 화염에 접촉하는 부위의 금속온도가 상승하여 그 구조적 강도를 잃게 된다.
- ⑤ 탱크는 과열되고 그 내용물은 폭발적으로 증발한다.

라. 증기운 폭발(Vapor Cloud Explosion)

증기운 폭발은 다량의 가연성 증기가 급격히 방출하여 폭발하는 현상으로, 일반적으로 과열로 압축된 액체의 용기가 과열될 때 일어난다.

4. 화재·폭발 재해 사례

가. 폭발

(1) 86년 10월 28일 여천 ○○중합화학 생산부 LPH저밀도폴리에틸렌공장의 2차 압축실린더에서 에틸렌가스가 누출, 발화·폭발하여 사망 4명, 중화상 1명을 내는 대형 사고 발생

(2) 89년 10월 4일 ○○화학 여천공장에서 ABS 콤파운드 실내의 압축기에서 발생한 잔류 폐가스가 인화·폭발하여 사망 16명, 부상 17명의 인명피해와 3억4천만원의 재산피해를 낸 사고가 발생

나. 화재

- (1) 77년 8월 16일 ○○화학 여천공장에서 발생한 Flange Gasket의 파손으로 수소가스가 새어나오는데 대한정비를 위해 Hanger 설치 작업 중 용접불뚱이 튀어 화재 발생
- (2) 88년 2월 17일 ○○발전소 여천공장에서 용접 작업 중 부주의로 인한 화재 발생

5. 작업 및 설비별 화재·폭발 재해예방

가. 용접 및 용단작업

[위험요인]

- ① 아세틸렌, LPG 산소 등 가연성·조연성가스 사용(가스 누출에 의한 화재·폭발 발생, 아세틸렌은 산소없이도 분해 폭발)
- ② 용접 불티나 화염이 주변의 가연물질에 점화
- ③ 밀폐공간내 작업시 환기부족
[안전대책]
- ① 위험지역내 화기작업시 안전작업허가서를 발행하고 사전 안전조치를 철저히 수행 후 작업
- ② 용접작업시 주위의 가연물(기름, 나무, 도료, 걸레, 내장재, 전선 등) 폭발성 물질 및 가연성가스의 격리 또는 제거
- ③ 불꽃비산방지조치
- ④ 소화기 비치

(1) 드럼통, 탱크, 배관 등의 용접작업시 준비사항

- ① 용기, 구조물내 모든 가연성 물질, 폐기물, 쓰레기 등 제거
- ② 가열시 가연성 또는 독성물질 발생 우려물질 제거
- ③ 압력축적을 막기 위해 용기 또는 구조물 내부 환기
- ④ 용접부위에 국소적으로 물을 넣거나 불활성기체로 내부 치환
- ② 밀폐장소에서 용접작업시 준비 및 조치사항
- ① 안전작업허가서 발행, 사전 안전조치

- ② 연결된 파이프, 덕트는 분리하거나 맹판(Blind) 설치
- ③ 밀폐공간내부는 작업 중 균일하게 환기
- ④ 가연성·유독가스 존재 및 산소결핍 여부 사전 점검
- ⑤ 외부에 감시인 배치하여 출입감시 및 구조활동 참여
- ⑥ 작업자는 안전대, 구명줄 및 기타 적절한 개인보호장비 착용
- ③ 가스용접 작업시 준수사항
- ① 가스용기는 열원에서 멀리 세워서 보관, 전도방지조치
- ② 방화복, 가죽앞치마, 가죽장갑 등의 보호구 착용
- ③ 산소밸브는 기름이 묻지 않도록 유의
- ④ 가스호스는 꼬이거나 손상되지 않도록 유의
- ⑤ 안전한 호스연결기구(호스클립, 호스밴드)로 조임.
- ⑥ 검사받은 압력조정기 및 역화방지기 사용
- ⑦ 가스호스 길이는 최소 3m 이상
- ⑧ 작업종료 후 공급구의 밸브, 코크를 반드시 잠금.
- ⑨ 작업중지시 가스호스 해체는 환기가 충분한 장소에서 실시
- ⑩ 산소가스를 환기 또는 먼지 제거용으로 사용금지

나. 위험물 저장 및 입출하 설비

[위험요인]

- ① 과압에 의한 파열
- ② 진공에 의한 압괴
- ③ 외부화염에 의한 화염전파, BLEVE
[안전대책]
- ① 압력방출설비(안전밸브, 파열판 등) 설치
- ② 화염차단설비(화염방지, 호흡밸브 등) 설치
- ③ 기타 소화 및 살수설비, 방유제 등 설치

다. 반응설비

[위험요인]

- ① 이상·폭주반응에 의한 폭발·화재
 - ② 가스또는 증기누설에 의한 폭발·화재 및 중독
 - ③ 반응제어 실패로 인한 폭발·화재
- [안전대책]
- ① 계측·경보·긴급차단장치 및 예비동력원 확보
 - ② 압력방출설비(안전밸브, 파열판) 설치
 - ③ 냉각장치 및 불활성가스치환장치

라. 혼합·분리 설비

[위험요인]

- ① 폭발범위내의 농도, 발화점 이상의 농도
 - ② 불균일한 혼합, 체류시 이상·폭주반응
 - ③ 코팅재질 손상시 화학반응 및 가연성 가스 발생
- [안전대책]

- ① 온도·압력 제어장치 및 경보장치
- ② 압력방출설비, 가스누출감지경보기, 냉각설비
- ③ 환기시설 및 소화설비

마. 건조설비

[위험요인]

- ① 용제의 환기 불충분시 폭발·화재
 - ② 온도조절장치 이상시 건조물의 과열, 화재
 - ③ 전기 배선불량, 정전기 등으로 인한 폭발·화재
- [안전대책]

- ① 위험물 취급시 간접가열방식 채택
- ② 불순물누적방지 및 규정 건조시간 준수
- ③ 폭발압력 방산구의 설치

바. 열교환기

[위험요인]

- ① 고형부착물, 중합생성물에 의한 이상반응
 - ② 열응력에 의한 설비 파손 및 누출
 - ③ 부식, 마모에 의한 튜브손상
- [안전대책]

- ① 볼트·너트의 조임상태 및 가스켓 누설 확인
- ② 분해검사시 튜브내·외면의 상태 확인
- ③ 노즐부위의 손상 및 기·액경계면의 부식 확인

사. 이송·압축장치

[위험요인]

- ① 벨트걸이 구동방식 벨트이완에 따른 기능저하
- ② 원심펌프 : Cavitation, Surging
- ③ 왕복동 압축기 : 조건변경시 단열압축에 의한 폭발

[안전대책]

- ① 벨트 팽창상태의 이상 점검
- ② 구동부·축수부의 진동 및 윤활상태 점검
- ③ 접합부의 누설 상태와 손상, 부식, 균열 검사

