

## 폭발의 예방과 보호

본 내용은 Loss Prevention News vol. 14 No. 30에 게재된 Explosions: Prevention and protection을 번역한 것으로 폭발의 예방, 억제 및 폭발보호대책에 대해 기술하고 있다.

20년동안 미국보험협회(AIA: American Insurance Association)에서 화학플랜트의 대형 폭발에 대한 위험 조사를 실시한 결과에 의하면 장치결합, 위험물질의 평가 잘못, 운전미숙 및 화학공정결합 등이 전체 사고의 약 80%를 점유하고 있으며, 그 중에서도 장치결합이 전체 손실건수의 약 1/3을 차지하고 있다(표1 참조).

그러므로 화학공장에서는 제일 먼저 안전장치를 설계·설치해야 하며, 그 다음으로 공정중의 물질에 대한 위험성을 평가한 후 플랜트를 안전하게 운전해야 할 것이다. 따라서 폭발사고를 예방하고, 장치를 보호하는 데에는 기초치식이 필요하므로 여러 분야에서의 연구가 필요하다.

(표1) 20년동안 화학공장에서의 화재 및 폭발

사고원인	사고건수	%
플랜트 위치 결합	16	3.5
플랜트 Layout 결합	9	2.0
구조결합	14	3.0
불질평가 잘못	93	20.2
공성결합	49	10.6
물질취급 부주위	20	4.4
운전미숙	79	17.2
장치결합	143	31.1
안전프로그램 결합	37	8.0
합 계	460	100.0

### 1. 폭발영향

#### 가. 폭풍피해(Blast Damage)

폭발이란 에너지의 급속방출에 의해 압력파가 공기중에서 발생하는 현상이며, 에너지원과 관계없이 압력교란이 주위 공기중에서 일어난다.

폭발이 개방된 곳에서 발생할 때 반응전면은 발화원으로부터 바깥쪽으로 움직이며, 충격파나 압력파에 의해 진행한다.

연료-공기 혼합물의 연소가 완료된 후에는 반응이 종결되나 압력파는 바깥쪽으로 계속해서 움직인다.

폭풍피해는 압력파에 뒤이어 일어나는 폭풍에 의해 야기되나, 폭발피해의 대부분은 폭풍파(blast wave)에 의해 발생된다.

폭풍파에 의한 피해는 과압에 비례하며, 일반적으로 압력증가속도와 폭풍파 지속시간의 함수이고, 폭발할 수 있는 장치에서 발생하는 압력증가속도와 압력은 취급물질, 그 물질의 억류, 반응속도와 단위 부피당 이용 가능한 에너지의 복합함수이다.

(표2)에는 과압에 의한 피해의 정도를 나타내고 있으며, 폭발점으로부터 각기 다른 거리에서의 폭발에 의한 과압은 TNT당량을 사용함으로써 평가할 수 있다.

(표2) 플랜트산업에서의 폭발효과

구조물	손실 정도	과 압	
		psi	kpa
유리창	○ 5% 파괴	0.1-0.15	0.7-1
	○ 50% 파괴	0.2-0.4	1.4-3
	○ 90% 파괴	0.5-0.9	3-6
가옥	○ 타일의 탈락	0.4-0.7	3-5
	○ 문이나 창살의 파괴	0.3-1.3	6-9
	○ 수선후 거주가능-천장, 창 및 타일의 손상	0.2-0.4	1.4-3
	○ 약간의 구조손상 - 칸막이나 불박이장이 뒤틀림	0.5-0.9	3-6
	○ 거주불가-지붕의 일부나 전체가 붕괴, 1면 또는 2면의 외부벽체 부분적 파손, 하중을 받는 칸막이의 심각한 손실	2-4	14-28
	○ 벽돌로 된 외부벽체 50~70%가 파괴되어 위험함.	5-12	35-80
전주큰나무비산물	○ 거의 완전히 파괴	11-37	80-260
	○ 파괴	10-25	70-170
	○ 파괴	24-55	170-380
열차	○ 과압에 상응하는 거리보다 먼 곳에서 비산물에 의한 피해 발생	0.1-0.2	0.7-1.4
	○ 과압에 상응하는 거리보다 먼 곳에서 열차의 탈선	12-27	80-190

#### 나. 비산피해 (Missile Damage)

폭발이 제한된 용기나 구조물에서 발생할 경우 용기와 파편은 넓은 지역에 걸쳐 상당한 거리까지 날아가 사람과 구조물에 피해를 입힐 수 있다.

제한된 공간에서의 폭발도 폭풍파에 의해 파편이 비산되어 구조물에 영향을 미친다.

파편은 가끔 플랜트설비 여러 군데의 피해를 입히며 저장탱크, 공정장치 및 배관 등에 파편이 떨어져 2차적으로 화재와 폭발을 일으키기도 한다.

#### 다. 폭발구덩이 및 열복사(Crater and Thermal Radiation)

폭발은 구덩이(crater), 지면음파(ground sound wave), 열복사와 같은 또다른 효과를 나타내기도 한다.

구덩이는 폭발로 인해 매설된 서비스배관이나 공정배관이 파괴될 경우에만 발생하고, 지면충격파는 대략 1,000톤 미만의 TNT당량을 가진 폭발에서는 별로 중요하지 않으며, 화학플랜트나 정제장치에서 발생하는 폭발의 열효과는 일반적인 피해범위내에서 직접적인 영향을 미친다. 그러나 열복사는 핵폭발시 엄청난 결과를 초래한다.

### 2. 폭발예방(Explosion Prevention)

폭발예방대책으로는 인화성 혼합물 형성의 회피와 발화원의 제거가 있으며, 폭발이 일어날 확률은 인화성 혼합물을 비가연성으로 만들 수 있는 환경으로 전환시킴으로써 어느 정도 감소시킬 수 있다.

인화성 가스혼합물을 비반응성 가스로 희석시킴으로써 비가연성으로 만들 수 있다. 따라서 모든 발화원을 제거한다는 것은 매우 어려우므로 이런 방법보다 위험한 환경을 제어하는 방법이 훨씬 더 수월하다는 것을 알 수 있다.

그러나 폭발위험이 있는 작업장에는 정전기와 같은 발화원을 반드시 제거해야 한다.

발화원을 제거하는 또다른 방법으로는 폭발이 일어날 수 있는 곳에 불꽃이나 폭발에 견디는 전기장치를 설치하는 것이다.

위험한 환경을 제어하는 공정중에서 질소나 이산화탄소가 사용되는 것을 불활성화(Inerting)라 하며, 불화성화란 산소농도를 최소산소농도(MOC: Minimum Oxygen Concentration) 이하로 낮추어 가연성 혼합물을 비인화성으로 만드는 것이다.

반응기, 저장탱크, 원심분리기와 같은 장치에 위험환경 제어 공정이나 불활성화가 필요하다. 즉, 이런 장치에 불활성가스인 질소나 이산화탄소가 산소농도를 감소시키기 위해 사용되며, 대부분의 인화성가스에 있어서 MOC는

10%, 분진의 경우 MOC는 8%이다.

경험상 불활성화에 필요한 산소농도는 MOC보다 4% 이상 낮게 유지해야 한다. 따라서 가스의 MOC가 10%라면 불활성화에 필요한 산소농도는 약 6%로 유지해야 한다.

분진폭발도 불활성화에 의해 예방될 수 있으므로 밀가루, 전분, 설탕, 금속, 석탄의 분진과 기타 다른 가연성 분진을 취급하는 산업체에는 폭발보호장치의 설치는 물론 불활성 가스장치를 설치하는 것이 바람직하다.

분쇄기, 혼합기, 콘베이어, 분진집진기와 같은 장치도 이런 방법이 적용된다.

그러나 불활성화 방법은 장치의 신뢰성, 약제 공급량, 약제의 비용 등에 약간의 문제점이 있다.

불활성화를 경제적으로 하려면 불활성가스량이 초과되어서는 안되며, 또한 불활성 가스설비를 설치할 경우 우선 플랜트의 설계와 배지에 영향을 미치는가를 고려해서 위험을 평가하는 것이 필수적이다.

예를 들면 가장 많은 불활성가스량이 필요한 장치의 부근에 설치되기를 원할지도 모르며, 또한 공정용기의 형태, 크기 및 위치와 저장시설이 공급해야 하는 불활성 가스장치와 아주 다를지도 모른다.

### 3. 폭발보호(Explosion Protection)

폭발보호에는 봉쇄(Containment), 차단(Isolation), 불꽃방지(Flame Arrestor), 폭발억제(Explosion Suppression)과 폭발배출(Explosion Venting) 등의 대책이 있다.

#### 가. 봉쇄(Containment)

봉쇄에 의한 폭발보호란 폭발이 일어날 수 있는 장치나 건물이 폭발시 발생하는 압력에 견디도록 충분히 강하게 만드는 것을 말한다.

봉쇄의 폭발보호대책은 작은 규모의 플랜트에만 실효성이 있으며, 엄청난 피해를 가져올 용기가 파괴되는 것을 방지한다.

일반적으로 밀폐용기에서의 폭연연소(Deflagration Combustion)시 발생하는 최대압력은 대략 주위압력의 8배 정도된다.

공정장치는 이런 압력에 견디도록 설치되어 있으며, 또 다른 봉쇄방법으로는 폭발위험이 있는 지역을 에워싸는 방폭벽(Blast Walls), 차단물(Barricades), 방폭큐비클 등을 설치하는 것이다.

#### 나. 차단(Isolation)

차단에 의한 폭발보호란 폭발이 다른 곳으로 전파될 때 자동적으로 고속차단할 수 있는 설비를 말하며, 이런 장치에는 매우 빨리 검지하는 설비와 밸브를 차단시키는 설

비가 설치되어야 한다.

**다. 불꽃방지( Flame Arrestors )**

불꽃방지는 불꽃이 인화성가스나 증기 - 공기혼합물의 전파를 예방하는 설비이다.

불꽃방지에는 가스나 증기가 통과할 수 있는 좁은 틈을 가진 망이 설치되어 있으며, 이 망은 너무 좁아 불꽃을 통과시키지 않는다.

만약 불꽃이 방지기내로 들어올 경우 작은 불꽃으로 세분화되어 곧 소화된다.

불꽃방지는 폭발위험이 있는 플랜트와 장치에 널리 사용되며, 보통 다음과 같은 장소에 설치한다.

- 폐가스를 처리하는 Flare Stacks
- 인화성액체가 저장된 탱크의 방출관
- 회수장치로 솔벤트증기를 이송하는 덕트설비
- 버너 또는 로 등에 가스를 이송하는 배관설비
- 내부 연소엔진의 크랭크
- 인화성 분위기내에서 작동하는 연소엔진의 배기통

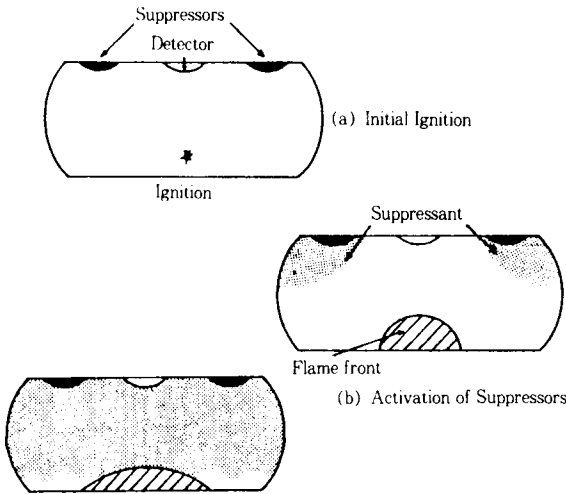
**라. 폭발억제( Explosion Suppression )**

폭발억제대책은 폭발의 발달을 검지해서 자동고속억제설비에 의해 억제될 수 있는 조건하에서 가능하다.

폭발시 압력증가속도는 매우 빨라 수천분의 1초 정도 밖에 되지 않으나, 파괴적인 압력이 발달하는 데에는 충분한 시간이 있다.

만약 조건이 정확하다면 억제설비를 작동시키는데 이런 시간을 이용하는 것이 가능하다.

억제설비의 작동원리가 (그림1)에 나와 있다. 이런 설비를 설계할 때에는 폭발에 의해 발생하는 압력증가속도



(그림1) 자동폭발억제설비의 작동 모습

의 자료가 필요하며, 압력증가속도에 의해 검지장치를 선택할 수 있다.

폭발억제설비의 원리는 파괴적인 압력이 발달하기 전에 인화성 분위기내로 소화약제를 고속으로 분사하는 것이다.

자동폭발억제설비는 보통 폭발개시후 10/1,000초 이내에 작동한다.

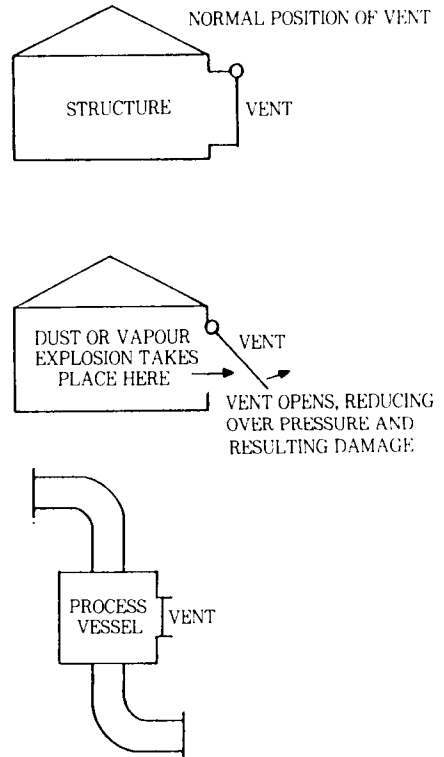
이런 설비는 폭넓게 사용되며, 대표적으로 저장탱크, 석탄분쇄기, 사이로 및 화학반응기 등에 이용된다.

**마. 폭발배출( Explosion Venting )**

밀폐된 공간에서 연소가 일어날 경우 가스의 팽창으로 압력이 증가하여 열에너지가 방출되며, 탄화수소화합물의 팽창비율은 대략 1:8정도이다. 따라서 구내를 이러한 압력에 견디도록 설계하지 않으면 파괴될 것이다.

용기나 건물에서의 폭발배출은 상승하는 압력을 파괴 또는 심한 피해없이도 밀폐구내에서 견딜 수 있는 값으로 제한하기 위하여, 충분히 짧은 시간에 팽창된 가스를 상승하는 압력에 의해 밖으로 내 보낼 수 있도록 충분히 큰 개구부가 있어야 한다.

폭발을 적절하게 배출하기 위해서는 다음과 같은 몇가



(그림2) 구조물과 공정용기에 있어서의 폭발배출

지 조건을 고려해야 한다. 즉, 위험한 작업이나 장치는 옥외, 작은 별도의 건물 또는 건물내에 내압력벽으로 구획된 부분에 위치해야 한다.

폭발위험이 있는 장치가 다층 건물내에 있을 경우 최상층에 위치해야 하며, 배출압력으로 인해 인명이나 구조물이 피해를 입지 않도록 배출구를 설치해야 한다.

건물이나 공정용기에서의 폭발배출은 보통 (그림2)에 서와 같이 파열판넬(Blow-out panel)을 사용하며, 이런 판넬의 강도는 벽체의 강도보다는 약하게 설계한다. 따라서 폭발사고시 판넬이 작동하여 폭발에너지가 배출되므로 적절한 배출구 면적을 갖도록 설계해야 한다.

이러한 설계에는 분진이나 가스의 폭발, 구조물과 그

공간에 허용할 수 있는 최대과압을 고려해야 한다.

폭발배출은 낮은 압력의 구조물과 높은 압력의 구조물의 2종류로 분류할 수 있다.

낮은 압력의 구조물이란 0.1 bar(gauge 압력) 이하의 압력에 견딜 수 있는 금속판 벽체를 가지고 있는 구조물과 기타 낮은 강도를 가진 건물이고, 높은 압력의 구조물이란 0.1 bar(gauge 압력)를 초과하는 압력에 견딜 수 있는 스틸 압력용기, 콘크리트 건물 등을 말한다.

여러 설비들에 대한 배출구면적의 비율은 다른 많은 문헌에 나와 있으며, 그중에서 특히 NFPA Code No. 68의 자료가 많이 이용된다.

## \* HAZOP Study란?

HAZOP는 Hazard and Operability study의 略語로 화학공장과 같이 규모가 크고 위험이 많은 공장에 있어서 위험을 발견하고, 그 발견된 위험을 어떻게 처리하여야 할 것인가를 연구, 토론하여 보고서화하는 위험관리상의 한 기법이다.

이 기법의 진행과정을 略述하면 다음과 같다.

- ① 먼저 HAZOP Study를 수행할 Team을 구성한다. Team의 구성은 통상 3~4인(또는 7~8인)으로 구성되며, Team장은 상위직의 경험많은 공장 관계자 1인, 공정기술에 정통한 자 1~2인, 비교적 연소한자로 HAZOP Study가 수행하는 동안에 발견된 위험이나 기타 참고할 만한 사항을 기록하는 간사 1인으로 구성된다.
- ② HAZOP Team은 공장을 신설할 때는 모든 관계도면을, 기존공장에 있어서는 공정시설과 관계도면을 가지고 검사를 실시하며,
- ③ 검사의 형태는 전공정을 대상으로 할 수도 있고, 특히 위험한 공정을 선정하여 부분적으로 시행할 수도 있다.(전공정을 대상으로 실시하면 많은 시간이 소모되고 결과의 분량도 많아 특별히 위험공정을 선정하여 실시하는 것이 통례임)
- ④ 검사의 방법은 공정의 전과정을 통하여 발생될 수 있고, 고려될 수 있는 모든 위험을 파악하여 기록한다.