

폭발압력방출설비에 의한 피해방지 대책

유 희 등 · 협회 위험조사부 서베이팀장

① 머리말

사회가 발전하고 선진국이 될수록 가스, 분진 등 가연성 물질을 더 많이 사용하게 되며, 이러한 가연성 물질로 인하여 화재나 폭발사고 또한 증가하여 인명피해와 재산피해가 늘어나고 있는 추세이다. 최근 북한의 용천 폭발사고에서 알 수 있듯이 폭발로 인하여 도시 전체가 피해를 입고 도시기능이 마비될 수도 있으나, 폭발에 대한 대비는 허술하기 그지없다.

특히 가연성 분진을 취급하는 산업체의 경우, 현장 점검시 보호대책이 무엇이 있는지 방화관리자도 잘 모르는 경우를 종종 볼 수 있을 정도로 폭발에 대한 관심이 적은 편이다.

산업현장에서 가연성 가스, 증기, 미스트, 분진 또는 이들의 혼합물이 존재하는 곳은 항상 사람의 실수, 장치의 결함, 절차의 잘못 등으로 인한 화재는 물론 폭발에도 대비하여 건물이나 장치를 설계하고 관리하여야 한다.

② 폭발방지 방법

폭발을 방지하는 방법에는 연소방지에 기초한 방법(산소농도 제어, 가연성 물질 농도 감소)과 손해 예방 또는 제한에 기초한 방법(폭발억제, 스파크소화설비, 폭발봉쇄, 폭발압력방출, 폭발차단) 등이 있다.

가. 연소방지에 기초한 방법

산소농도 제어는 불활성 가스의 퍼지에 의하여 가연성 가스 - 공기(또는 산소) - 불활성 가스 3성분계에서 산소를 화염이 전파하는데 필요한 최소 산소농도(LOC : Limiting Oxidant Concentration) 이하로 유지하는 방법이고, 가연성 물질 농도 감소는 적절한 환기 등에 의해 가연성 물질의 농도를 연소범위 하한의 25% 이하로 유지하는 방법이다.

가연성 가스 및 분진의 종류와 사용될 불활성가스 종류에 따른 최소 산소농도는 이미 많은 자료에 나와 있으므로 참고하기 바란다.

폭발압력방출이란 폭발로 인해 발생된 최대압력을 실이나 용기구조에 피해를 주지 않는 수준으로 제한하여 방출구를 통해 외부로 방출하는 것이다. 이 설비를 통해 폭발사고시 장치를 보호하는 것은 물론 파괴된 장치를 신속히 재가동 시킬 수 있도록 폭발효과를 제어하는 안전장치를 적용하는 것이 가능하며, 작업원의 인명피해도 보호될 수 있다.

나. 손해예방 또는 제한에 기초한 방법

폭발억제(Explosion Suppression)는 가연성 가스, 증기 및 분진을 취급하는 밀폐장치에서 폭발 초기의 열, 빛, 압력을 검지해서 소화약제를 작동시켜 폭발을 억제하는 방법이며, 스파크소화설비는 가연성 분진이나 고체를 이송하는 덕트를 통해 스파크나 불티가 지나갈 때 검지해서 소화하는 설비이다. 폭발봉쇄는 폭발의 압력을 용기가 견디도록 압력용기나 내폭발압력용기를 사용하는 것이다. 폭발차단설비는 폭발을 억류, 방향전환하거나 화염을 소화하여 통과하지 못하도록 하는 설비로서, 로터리밸브, 화염방지기, 자동식고속작동차단밸브, 화염방향전환기, 화염소화설비, 수봉장치 등이 있다.

③ 폭발압력방출설비

가. 개요

폭발압력방출이란 폭발로 인해 발생된 최대압력을 실이나 용기 구조에 피해를 주지 않는 수준으로 제한하는 것이며, 방출구(Vent)를 통해 외부로 연소 생성물을 방출하는 것이다. 방출구로는 폭발문이나 파열판 등이 있다. 방출구가 설치되지 않은 밀폐공

간에서 최적 연료/공기 혼합물이 폭발하는 동안 상승된 최대압력은 초기 절대압력의 8~10배 사이일 것이다. 많은 경우에 이런 압력을 견뎌낼 수 있거나 수용할 수 있는 밀폐공간을 제작하는 것은 비실용적이고, 비경제적일 수 있다. 폭발압력방출설비는 폭발효과를 감소시키기 위한 보호대책으로서 다른 폭발예방대책과 함께 사용해야 더욱 효과적이다.

나. 폭발압력방출의 장점

폭발압력방출은 다른 폭발보호대책에 비해 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

- (1) 불활성화설비나 폭발억제설비는 작동할 때마다 경비가 소요되나 폭발압력방출설비는 운전비용이 거의 소요되지 않는다.
- (2) 불활성화설비나 폭발억제설비의 유지관리 비용보다 덜 든다.
- (3) 용기는 최대폭발압력에 견디도록 설치할 필요가 없다. 왜냐하면 구 내는 훨씬 감소된 압력에 견디도록 설계하면 되기 때문이다.

다. 폭발압력방출의 단점

- (1) 가연성 물질이 존재하는 구 내가 건물 내에

있을 경우 연소생성물과 미연소물질을 건물 외부로 방출하기 위하여 방출구 유도덕트를 설치해야 한다.

방출구 외부 지역은 화염과 연소생성물이나 미연소물질이 배출될 수 있으므로 사람이 다치지 않도록 해야 하며, 다른 2차 위험을 야기시키지 않도록 해야 한다.

(2) 옥외에 위치한 용기의 경우 방출된 버섯구름 모양의 연소생성물이 30m 이상 비산할 수 있다는 사실에 주의해야 한다. 연소중인 분진운이나 입자들은 바람에 의해 상당한 거리까지 이동될 수 있다.

(3) 방출설비의 유지관리 잘못으로 인해 효율성이 쉽게 떨어질 수 있다.

(4) 독성물질은 방출해서는 안된다.

(5) 방출된 물질로 인해 종종 광범위한 지역을 청소해야 하는 경우가 있어 생산이 중단될 수 있다.

(6) 효과적인 방출을 위해서는 충분한 크기의 개구부가 폭발의 폭풍과 진행방향의 적합한 위치에 설치되어야 한다.

라. 벤트 종류

(1) 파열판(Bursting Disks)

파열판은 작동시 작은 알갱이로 부서지는 물질 또는 찢어지거나 멀리 떨어져 나가는 물질로 되어 있다. 파열판은 폭발문 등의 방출구에 비해 제조원가가 저렴하고 공기밀폐가 쉬우며, 무게가 가벼워 용기내의 최대압력에 거의 영향을 미치지 않는다. 또한 경칩 등이 없기 때문에 디스크가 파열되지 않을 가능성이 거의 없으며, 적은 공간을 이용할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 디스크의 기계적 강도가 낮기 때문에 큰 면적을 가진 용기에 대해서는 문제가 야기될 수 있

다. 디스크 아래에 격자(Grid)를 설치함으로써 기계적 강도를 증가시킬 수 있으나 디스크가 개방되는 것을 방해해서는 안된다. 파열판은 기후와 압력변동 때문에 주기적으로 교체해 주어야 한다.

방출구 면적을 계산하기 위하여 디스크의 파열압력을 알 필요가 있으며, 파열정압은 간략하게 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$P_{stat} = \frac{d \cdot \delta B}{D}$$

P_{stat} : 정압

d : 디스크 두께

D : 방출구 덮개 직경

δB : 물질의 인장강도

그러나 각 물질에 따라 변형이 다르므로 개방정압은 시험을 통해 결정해야 하며, 디스크를 고정시키는 방향은 개방압력에 영향을 미칠 수 있으므로 시험을 통해야 한다.

(2) 폭발문(Explosion Doors)

덮개 달린 방출구는 폭발 후 다시 자동적으로 닫히는 주요 이점이 있다. 이것은 플랜트를 재가동하는데 걸리는 시간을 줄여 주며, 연소물질과 가연성 물질의 배출도 줄일 수 있다. 또한 용기 내에 남아있는 연소물질에 산소의 접근을 제한하기도 한다. 그러나 최대압력은 폭발시 최대 효과를 얻기 위해 가능한 $6 \sim 7 \text{kg/m}^2$ (최대 10kg/m^2) 이하로 가볍게 해야 한다. 이보다 더 큰 패널은 자체의 큰 관성 때문에 방출구가 작동하는데 지장을 주어 결국 방출시 발생

되는 최대압력을 증가시킬 것이다. 또한 설계압력에서 문이 항상 개방될 수 있도록 유지 관리하는 것이 매우 중요하다.

마. 저강도 밀폐공간의 벤트 면적

본 항목은 1.5psig(0.1 bar gauge) 이하의 압력을 견딜 수 있는 실뿐만 아니라 오븐, 집진기, 기타 다른 유사한 장치 등 저강도 밀폐공간용 폭발벤트 설계에 적용할 수 있으며, 벤트면적은 아래의 식에 의해 계산될 수 있다.

$$A_v = \frac{C(A_s)}{(P_{red})^{1/2}}$$

- 여기서 A_v = 벤트면적(ft² 또는 m²)
- C = 연료특성 상수
- A_s = 밀폐공간의 내부 표면적(ft² 또는 m²)
- P_{red} = 구조물의 가장 약한 부분이 손상 없이 견딜 수 있는 허용 최대압력(psi 또는 bars로 표시하고 1.5 psi 또는 0.1 bar를 초과하지 않는다)

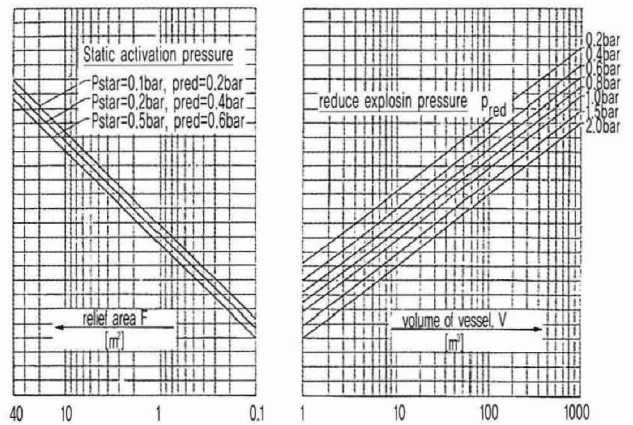
〈표 1〉 벤팅 방정식에 적용할 연료 특성 상수

연료	C(psi) ^{1/2}	C(bar) ^{1/2}
무수 암모니아	0.05	0.013
메탄	0.14	0.037
기본 연소속도가 프로판의 기본 연소속도의 1.3배 미만인 가스*	0.17	0.045
St-1 분진	0.10	0.026
St-2 분진	0.12	0.030
St-3 분진	0.20	0.051

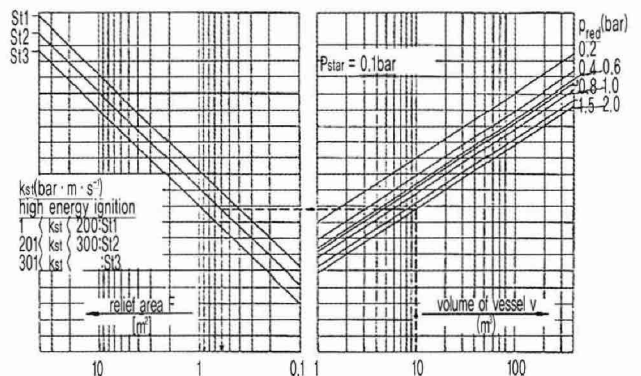
참고 : 탄화수소 미스트와 유기 인화성 액체를 포함

벽에 있는 문, 창문, 덕트, 다른 개구부도 허용 최대압력(P_{red})을 견딜 수 있도록 설계해야 한다. 길게 연장된 밀폐공간의 경우 벤트면적은 가장 긴 길이에 대해서 가능한 고르게 적용해야 한다. 사용할 수 있는 벤트면적을 길게 연장된 밀폐공간의 한쪽 끝으로 제한하면 직경에 대한 길이의 비율이 2~3을 초과하지 않아야 한다.

바. 고강도 밀폐공간의 벤트 면적



[도표 1] 메탄, 천연가스의 계산도표 (K_G=bar · m · s⁻¹, 약한 발화원, 난류 없음)



[도표 2] P_{Star}=0.1 bar인 분진의 계산도표

고강도 밀폐공간의 벤트 면적을 구하는데 사용하는 계산도표는 1.5 psig(0.1 bar gauge)를 초과하는 높은 압력을 견딜 수 있는 용기, 사일로 등과 같은 밀폐공간과 길이 대 직경 비율이 5이하인 밀폐공간에만 적용한다.

폭발압력방출이 필요한 밀폐공간을 건물내부에 위치할 경우, 폭발시 밀폐공간으로부터 방출되는 화염과 압력파는 사람에게 위험하고 다른 장비를 손상시킬 수 있으므로, 방출 유도덕트는 건물 내부가 아닌 옥외로 유도하여야 한다. 방출 유도덕트는 길이 3m 이하로 가능한 짧게 외벽 가까이에 위치하여야 한다. 방출 유도덕트는 방출하는 동안 밀폐공간 내 압력을 상당히 증가시킬 것이다. 유도덕트는 벤트 자체의 횡단면과 적어도 같은 횡단면을 가져야 한다.

[도표 1]과 [도표 2]에서 벤트를 설치해야 밀폐공간의 부피와 허용 최대압력(P_{red})의 등압선과의 교차점으로부터 왼쪽 그림으로 선을 연장하여 작동정압, 물질상수 $K(\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 또는 위험등급에 해당하는 선과 교차하는 점으로부터 아래로 수직선을 그리면 필요한 벤트면적을 구할 수 있다.

사. 긴 용기의 벤트 면적

긴 용기란 길이 대 직경의 비율이 5보다 큰 용기(Silo)를 의미한다.

이러한 용기에서의 폭발은 배관에서와 마찬가지로

로 축방향을 따라 발생하나, 폭발과정은 입방체 용기의 폭발과 상당한 차이를 나타낸다. 만약 한쪽 끝이 개방된 긴 용기에서 폭발이 밀폐된 끝부분에서 시작될 경우 연소로 인해 부피가 크게 증가하여 불꽃전면에 있는 미연소혼합물을 이동시킬 것이다. 그 결과 발생하는 폭발속도는 일반적인 불꽃속도보다 훨씬 더 빠르다.

따라서 긴 용기의 폭발압력방출을 위해서는 체적과 관계없이 단면적(덮개 또는 지붕 면적) 전체를 벤트로 사용해야 한다.

4 맺음말

최근 폭발에 대한 안전기술을 관심있는 모든 산업 분야에 적용시키려는 노력으로 인해 그 기술이 많이 발전하였다. 그 결과 가연성 물질의 폭발데이터, 특히 물질상수인 K_G 나 K_{St} 값이 알려진 경우 폭발사고시 장치를 보호하는 것은 물론 파괴된 장치를 신속히 재가동시킬 수 있도록 폭발효과를 제어하는 안전장치를 적용하는 것이 가능하며, 작업원의 인명피해도 보호될 수 있다.

그러나 우리나라는 기초학문은 물론 시험장비도 부족한 실정이며, 폭발보호설비를 설치한 곳은 외국 의 설비 도입시 설치한 몇 몇 사업체에 불과하다.

따라서 이 분야에 대한 지속적인 관심을 가지고 끊임없는 노력과 투자가 필요하다. ㉞

참고문헌

1. NFPA 68 Venting of Deflagration
2. NFPA 69 Explosion Prevention System
3. FM 7-17 Explosion Suppression System
4. Dust Explosion -Jean Cross and Donald Farrer-
5. Industrial Explosion Prevention and Protection -Frank T. Bodurtha-
7. 폭발(일본) -안전공학강좌2-