

爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術指針

1994. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

머 리 말

최근 정밀화학공업의 발전과 더불어 위험물질의 사용량과 신종 화학물질의 취급이 증가하고 있으며, 설비 및 공정이 복잡하고 다양화되어 가고 있는 실정으로서 폭발·화재로 인한 중대재해의 위험성이 더욱 증가하고 있다. 따라서 설비를 신설하거나 증설할 경우에는 이를 고려하여 폭발·화재에 의한 인명이나 경제적 손실을 방지하기 위해서 취급물질과 설비에 적절한 예방 및 방호장치나 시스템이 반드시 설치되어야 한다.

특히 폭발·화재에 의한 사고는 일반적인 안전사고와 달리 예방차원만을 고려하여서는 안되며 만일의 경우 폭발·화재가 발생하더라도 이를 완전하게 억제하거나 차단함으로써 피해를 억제할 수 있는 방호차원의 대책이 반드시 수반되어야 한다.

그러나 중대재해 조사결과에 의하면 국내에서 발생하는 폭발·화재 사고의 경우 대부분이 방호 측면이 고려되지 않음으로서 대형사고로 발전된 예가 많은 실정으로서 이에 대한 대책 수립이 시급한 실정이다.

폭발·화재에 대한 피해억제방법에는 여러 방법이 있으나 가장 확실한 방법중의 하나로서 폭발억제장치(Explosion Suppression System)가 권장되고 있다. 폭발억제장치는 국내에서도 이미 1988년부터 도입되어 일부 사업장에서 사용되고 있으며 앞으로 그 사용량은 계속 증가할 것으로 추정되고 있다. 그러나 아무리 훌륭한 장치라 할지라도 그것이 적절하게 설치되고 관리될 경우에 그 효과를 기대할 수 있는 것으로서 국내의 경우 폭발억제장치에 대한 기술이 아주 미흡한 실정이다.

따라서 본 지침서에서는 이에 대처하고자 설비에서의 폭발특성과 각종 방호대책의 개요 그리고 폭발억제장치의 원리, 구성기기 및 설계지침 등을 상세하게

기술하고 아울러 “폭발억제장치의 설치에 관한 기술상의 지침(안)”을 제시함으로써 사업장에서 이들 장치를 설치 및 취급함에 있어 도움이 되게 하였다.

아무튼 이 지침서가 사업장에 널리 활용되어 폭발·화재방지에 기여하고 당 공단의 사전안정성심사, 기술지도 및 점검시에 많이 활용될 수 있기를 기대한다.

1994. 12.

산업안전연구원장

目 次

第 1 章 序 論	3
第 2 章 設備에서의 爆發特性	5
1. 爆 發(Explosion).....	5
2. 氣相爆發의 過程	6
3. 密閉容器에서의 最大爆發壓力	8
4. 密閉容器에서의 爆發壓力 上昇速度	13
5. 密閉容器에서 爆發壓力에 미치는 環境的 影響	14
第 3 章 爆發防護對策 概要	26
1. 防護對策의 必要性.....	26
2. 設備에 대한 防護對策	27
第 4 章 爆發抑制裝置의 原理	34
第 5 章 爆發抑制裝置의 構成機器	38
1. 感知器(Detectors).....	39
2. 制御盤(Control Units).....	42
3. 抑制劑 및 容器(Suppressors)	44
第 6 章 爆發抑制裝置의 設計指針	49
1. 適用對象設備.....	49

2. 設計時 考慮事項	49
3. 物質의 危險性評價	50
4. 爆發抑制效果	53
5. 爆發抑制試驗	54
6. 爆發抑制試驗 結果解析	56
7. 感知器(Detectors)	57
8. 抑制劑(Suppressant)	58
9. 電氣雷管	61
10. 制御盤(Control Units) 및 電氣配線	62
11. 設置時 留意事項	63
12. 傳播防止	64
13. 檢査 및 補修維持	64
 第 7 章 爆發抑制裝置의 設置例	 66
 第 8 章 爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術上의 指針(案)	 75
 第 9 章 結 論	 80
 參考文獻	 81
 附 錄 1. 爆發抑制裝置 설치실태(國內 및 日本)	 83
2. 가스 및 蒸氣에 대한 爆發特性	85

第 1 章 序 論

爆發抑制裝置(Explosion suppression system)는 폭발에 대비한 방호장치의 일종으로 폭발에 의한 압력상승 그 자체를 초기에 안전하게 정지시키는 장치로서 많은 장점이 있으나 설치비용이 고가인 것이 결점이다. 이 시스템은 설비내부에서 가연성물질의 燃燒 또는 爆發을 感知하여 破壞的인 압력이 발생하기 전에 抑制劑를 방출하여 火災을 消火抑制함으로서 설비의 파괴를 방지하는 일종의 自動消火시스템이다.

이 장치의 原理는 제 2차 세계대전 말기 영국공군의 전투기 燃料탱크의 폭발 방지대책으로 연구되었다. 그 이후 영국, 미국등에서 1950년대 부터 산업용 抑制裝置를 개발하여 널리 사용하여 왔으며, 일본의 경우도 1967년 부터 이를 도입하여 1990년 까지 132개 시스템이 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 실태조사 결과에 의하면 국내의 경우는 1988년 부터 이 장치가 도입되어 현재 14개 시스템이 사업장에서 사용되고 있는 실정으로서 아직 많이 활용되고 있다고는 할 수 없으나 최근 각종 사업장에서 이들 장치의 설치를 검토하고 있어 보급이 증가할 것으로 추정되고 있다.

설비의 폭발로 인한 피해억제 방법으로서는 설비를 耐爆構造로 설계(Explosion-proof design)하는 방법, 爆發壓力放散口(Explosion pressure relief)를 설치하여 폭발압력을 외부 안전한 장소로 방출시킴으로서 설비의 파괴를 방지하는 방법, 폭발의 전파를 방지하는 遮斷裝置(Isolation devices)를 설치하는 방법 그리고 본 지침의 爆發抑制裝置를 사용하는 방법등이 있다. 이 방법 중에서 가장 많이 사용되고 있는 방법이 爆發壓力放散口를 설치하는 방법으로서 이는 設置費用이 저렴하나 爆發音이 발생하고 火災이나 未燃燒物質이 대기중에 방출, 경우에 따라서는 파이어볼(Fire ball)의 발생위험등이 있으며 공정상 放散口를

외부로 誘導할 수 없는 등의 缺點이 있고 또한 설비내의 취급물질이 毒性物質인 경우 설비외부로 방출될 경우 작업자의 피해는 물론 환경오염을 유발하는 등의 문제점이 야기될 수 있다. 따라서 爆發抑制裝置는 고가이기는 하나 이러한 문제점을 방지할 수 있어 설치가 권장되고 있다.

이 장치는 미국의 경우 美防火協會(NFPA)에서 National Fire Code No. 69 “Explosion Prevention System”(1986)으로 기준이 마련되어 있으며, 또한 국제표준기구(International Organization for Standardization)에서도 1985년 International Standard 6184/4 “Determination of Efficacy of Explosion Suppression Systems”을 규정하고 있다. 따라서 이 장치도 임의로 설치 사용되어서 안되며 적절한 기준에 따라 설치되었을 때 그 효과를 기대할 수 있다.

따라서 본 기술지침에서는 爆發抑制裝置의 설치 및 취급에 도움이 될 수 있도록 설비에서의 폭발특성, 폭발억제장치의 원리, 구성기기 및 설계지침등을 기술하고 “爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術上の 指針(案)”을 제시함으로서 이 장치가 적절하게 설치 사용되어 재해방지에 기여할 수 있도록 하고자 하였다.

第 2 章 設備에서의 爆發特性

1. 爆發(Explosion)

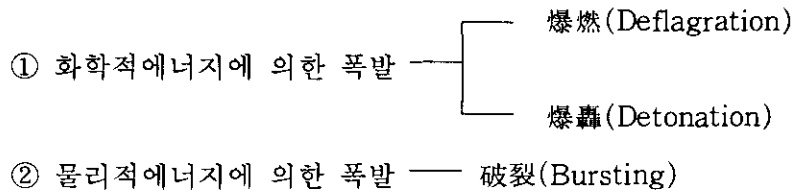
爆發이란 “급격한 化學反應에 의하여 본래의 물질이 高溫高壓의 기체로 변하는 것 또는 어떤 시스템이 화학적 혹은 물리적 변화를 일으켜 그로 인하여 발생하는 에너지가 외부에 기계적인 에너지로 轉換되는 과정”으로 정의될 수 있다.

본 指針에 관련되는 설비는 첫째, 반응기, 배합기(Blender), 혼합기(Mixer), 미분쇄기, 제분기, 건조기, 오븐, 여과기, 스크린 및 집진기등 공정설비류 둘째, 저장탱크, 호퍼 및 사일로등 저장설비류 셋째, 공기식 컨베이어, 스크루 컨베이어 및 버킷 엘리베이터등 분체이송설비류 넷째, 실험설비 및 시험생산설비(Pilot plant)등으로서 이들 설비에서 일어날 수 있는 폭발은 주로 가연성가스, 미스트 및 분진에 의한 氣相爆發로서 이에 대한 폭발현상의 종류와 재해유형은 <표 2-1>의 밑줄친 부분에 주로 해당한다.

<표 2-1> 폭발현상의 종류 및 재해유형

종별 기준	압력상승 요 인	변화 또는 반응이 일어나는 상 또는 면	변화 또는 반응이 관여하는 물질의 상태	압력상승이 일어나는 공간의 상태	변화 또는 반응이 일어나는 부분의 성질	재해의 형
폭발 현상의 종류	(1) 기상에 대한 엔탈피 증가 <u>① 발열화학반응</u> <u>② 급속가열</u>	(1) 기 상 (2) 액 상 (3) 고 상 (4) 기·액 계 면 (5) 고·액 계 면 (6) 액·고 계 면	(1) 기 체 <u>① 혼합기체</u> <u>② 분무상 기 체</u> (2) 기 체 액 체 <u>① 지연성 기체·분무</u> (3) 기 체 고 체 <u>① 지연성 지체·분진</u> (4) 액 체 (5) 고 체	(1) 개방 (2) 밀폐 <u>① 가로세로 높이 가운 데 임의 두방향의 비가1에 가까운 경 우</u> <u>② 가느다란 공간</u> (3) <u>일부개방</u>	(1) 발열화학 반응을 수반하 지 않는 경우 <u>① 증발면</u> <u>② 승화면</u> <u>③ 가열면</u> (2) 발열화학 반응을 수반하 는 경우 <u>① 연소파</u> <u>② 폭발파</u> <u>③ 화산열</u>	(1) 착화원을 요 하는 경우 <u>① 착화파괴형</u> <u>② 누설차화형</u> (2) 화학반응열의 축적에 의하는 경 우 <u>① 자연발화형</u> <u>② 반응폭주형</u> (3) 과열액체의 증발에 의한 경우 <u>① 열이동형</u> <u>② 평형과정형</u>

그리고 폭발은 폭발을 일으키는 에너지의 종류에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.



爆燃은 爆速이 音速 이하로서 일반적으로 0.3~10 m/sec 인 반면에 爆轟은 폭발범위내의 어떤 농도에서 반응속도가 급격히 증가하여 音速을 초과하는 경우를 말하며, 그 속도는 대체로 音速의 4~8 배(1,000~2,700 m/sec) 정도로서 고속의 衝擊波가 형성되는 바 파괴력이 아주 크다. 일반적으로 폭발범위는 연소 범위 보다도 더 좁으며 넓은 공간이 아닌 파이프나 또는 용기의 직경에 대한 길이 비가 10 이상일 경우에 발생하기가 쉽다.

2. 氣相爆發의 過程

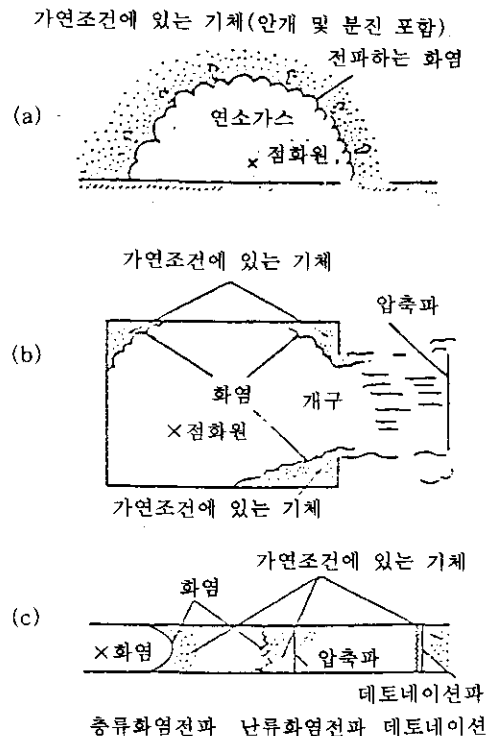
氣相爆發에서 야기되는 공통적인 주요과정을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 어떤 범위의 기상에 있어서 가연조건의 형성
- (2) 어떤 點火源에 의한 발화 또는 열의 蓄積등에 의한 발화
- (3) 火炎(燃燒波) 또는 爆轟波가 전파하여 압력상승등에 기인한 破壞나 衝擊에 의한 피해발생
- (4) 폭발에 의해 발생된 압력파가 전파되고 그 衝擊에 의한 피해발생
- (5) 폭발에 의해 설비가 파괴되고 그 飛散物의 충돌에 의한 피해발생
- (6) 파이어 볼(Fire ball)의 輻射熱에 의한 피해발생
- (7) 폭발 후 화재로 轉移되고 이로 인한 燒損發生
- (8) 폭발에 의해 유해물질이 발생하고 그 汚染에 의한 피해발생

氣相爆發은 종류가 다양하고 발생조건에 따라 각 과정에 있어서의 현상이 달

라질 수 있으며 상기 과정중 (4)~(8)은 경우에 따라 발생할 수 있는 피해과정을 나타낸 것이다.

氣相爆發은 일어나는 공간상황에 따라 [그림 2-1]과 같이 많은 차이가 있다. [그림 2-1](a)와 같이 공간이 개방되어 있는 경우 반경 수미터에 걸쳐 가연조건이 형성되었다 하더라도 분위기에 의한 過擴散 등을 고려하면 비교적 단시간에 가연조건이 형성되기 어려우며, 이 경우 착화되었다 할지라도 압력파의 강도는 그다지 강하지 않을 것이다. 그러나 반경 수십미터에 걸쳐 가연조건이 형성되는 경우에는 피해가 야기될 수 있으며 특히 상기 (4)와 (6)의 피해발생 우려가 높다. [그림 2-1](b)와 같이 가로, 세로, 높이중 임의의 두방향 길이비가 1에 가까운 설비등 밀폐공간에서의 폭발은 내부의 가연성혼합비, 농도분포, 점화원의 위치,



[그림 2-1] 공간상황에 따른 기상폭발현상

설비를 구성하는 부분중 약한 부위의 強度와 넓이 그리고 개구부 넓이등 그 상태에 따라 달라진다. 그리고 [그림 2-1](c)와 같이 파이프 및 닥트 그리고 밀폐공간의 두방향 길이가 다른 한 방향에 비해 대단히 큰 설비 등에서의 폭발은 조건에 따라서 爆轟으로 전이할 수 있다. 따라서 설비의 모양, 내부구조 및 내면상태 그리고 가연물의 상태 및 농도등에 의해 폭발현상을 예측하여야 한다.

3. 密閉容器에서의 最大爆發壓力

폭발의 효과는 폭발시 발생하는 最大爆發壓力, 爆發壓力 最大上昇速度 및 超過壓力피크의 持續時間에 따라 달라지게 된다. 따라서 폭발방호시스템을 설치할 경우에는 이들 爆發特性을 충분히 고려하여 설치하여야 한다.

가. 可燃性가스 및 蒸氣

보통 폭발이 발생할 때 밀폐용기내에서 발생하는 最大爆發壓力(P_m)은 初期壓力(P_i), 가스의 몰(Moles)변화 및 온도변화등에 의해 좌우된다. 즉,

$$P_m = \frac{P_i n_f T_f}{n_i T_i} \quad (2-1)$$

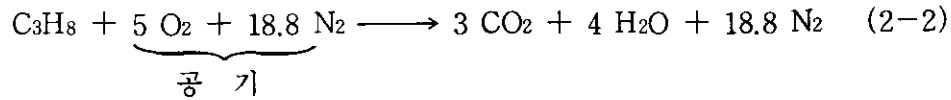
여기서 n_f : 연소 또는 분해생성물의 기체몰수

n_i : 초기혼합물중의 기체몰수

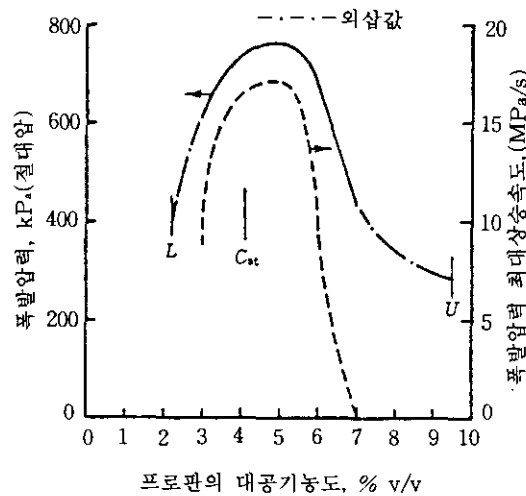
T_f : 최종온도

T_i : 초기온도

그러나 공기중에서 프로판(C_3H_8)의 완전연소를 예들들면 가스의 몰 변화는 무시된다.



즉, $n_i = 24.8$, $n_f = 25.8$ 로서 이경우 폭발압력은 주로 연소과정에서의 온도 상승으로 초래된다. 보통 공기중에서 측정되는 最大壓力(絶對壓)은 初期壓力(絶對壓)의 약 8배가 된다. 프로판에 있어서는 [그림 2-2]에 나타낸 바와 같이 공기에 대한 혼합기의 조성이 化學量論濃度($C_{st} = 4.02 \% \text{ v/v}$) 보다도 약간 클 경우에 발생한다. 혼합기의 압력에서는 加成性이 성립되지 않는다. 따라서 폭발압력의 피크는 대공기혼합기의 化學量論濃度 부근에서 일어나게 된다.



[그림 2-2] 프로판-공기혼합기의 爆發壓力과 爆發壓力 上昇速度(初期壓力
약 100kPa abs. , 온도 65. 5 °C, 10 ℓ 용기)

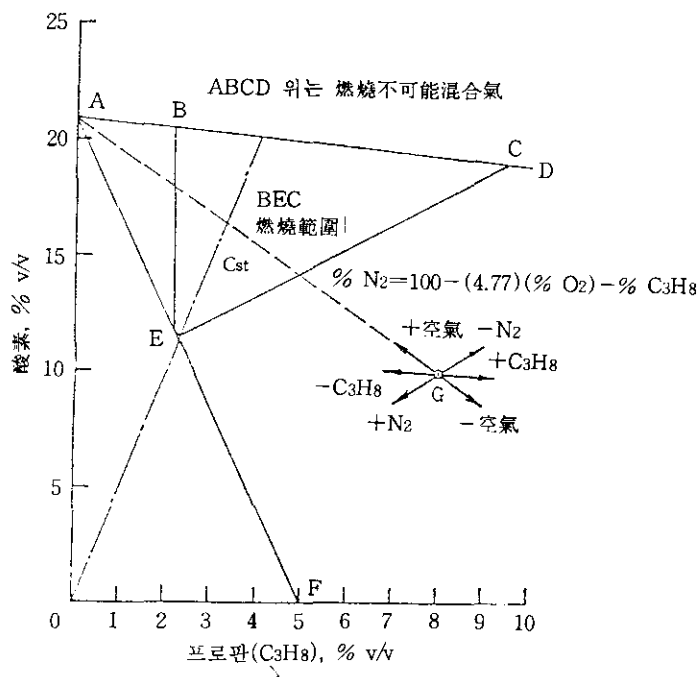
[그림 2-3] 및 [그림 2-4]의 燃燒限界線圖에서도 BEC내의 폭발압력은 化學量論濃度 부근에서 최대가 된다. 산소가 부족하면 最大爆發壓力은 E를 향하여 C_{st} 를 따라 감소하는 바 그 관계로 부터 추정할 수가 있다.

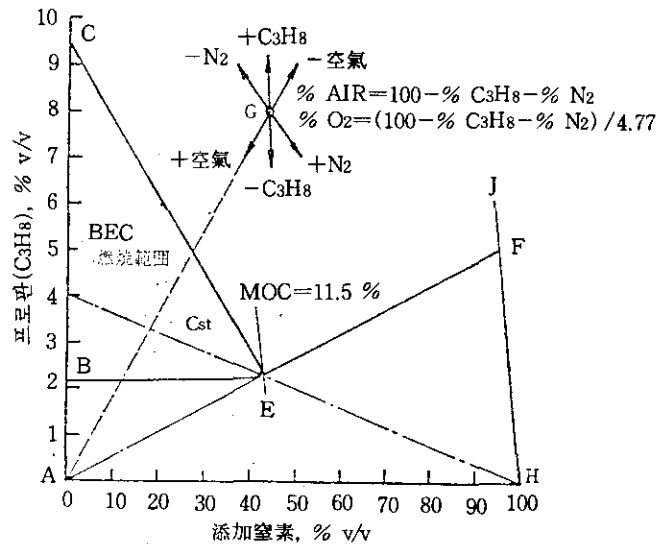
(2-3)

서는 818.4 kPa abs

壓力, kPa abs

$C_{st,a}$: 공기에 대한 化學量論濃度, % v/v


$$\text{abs, \% N}_2 = \text{첨가질소의 \%}, \% \text{ 공기} = (4.77)(\% \text{ O}_2)]$$



[그림 2-4] 프로판-공기-질소혼합기의 燃焼限界線圖[표준대기온도 및 101 kPa abs, 첨가질소의 % = 공기+프로판+첨가질소 혼합기중의 비율]

[그림 2-3] 및 [그림 2-4]의 E에 있어서 프로판의 경우는

$$P_{mn} \approx \frac{(818.4)(2.20)}{4.02} \approx 448 \text{ kPa abs}$$

이것은 포켓된 물질이 폭발한다고 가정하여 밀폐된 공간내에서 발생하는 최대 압력을 측정하는 데에 필요하다. 주어진 가연성물질의 량이 주어지면 이 최악의 경우는 化學量論的 조건에 있고 이 조건에 필요한 가정된 용적이 산출되어야 한다. 압력은 다음 예에서 나타낸 바와 같이 이 밀폐공간의 용적전체에 동일하게 작용함으로서 최대압력이 된다.

프로판의 경우를 예를 들면 27 °C의 프로판 0.1 m³(0.18 kg)를 10 m³의 용기에 넣어 착화시킬 때 對空氣濃度 5 % v/v에서 最大爆發壓力은 이론적으로 0.1/0.05 = 2 m³의 공간에서는 717.1 kPa gage(818.4 kPa abs)가 되며 10 m³의

용기에서의 최대압력은 $(2/10)(717.1) \approx 143.4$ kPa gage가 될 수 있다(0.1 m³의 프로판을 전용적 10 m³중에 혼합하면 프로판 농도는 1 % v/v, 즉 L 이하로 되어 폭발압력이 존재하지 않는 것에 주의).

포켓된 소량의 가스 발화로 부터 계산을 하면 파손을 야기하는 가스압력이 될 때의 가스량은 같은 방법으로 추정하는 것이 가능하다. 對空氣濃度가 5 %인 프로판이 100 m³ 爐中에서 연소할 경우 爐가 35 kPa gage에서 파손된다고 가정하면 5 % 프로판-공기혼합기가 단지

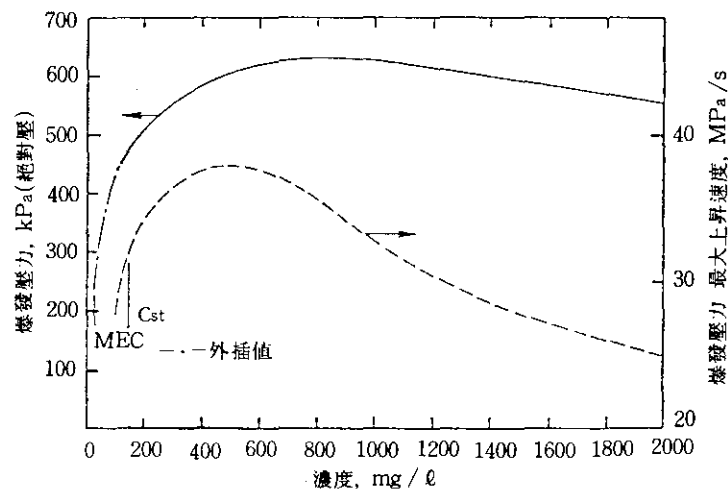
$$\frac{(35 \text{ kPa gage})(100 \text{ m}^3)}{717.1 \text{ kPa gage}} = 4.9 \text{ m}^3$$

가 포켓되어 폭발할 때에 爐內의 전압이 35 kPa gage가 된다.

따라서 이 혼합기의 공급속도가 250 m³/min라고 하면 $(4.9)(60)/250 = 1.18$ 초 발화가 지연되어 35 kPa의 과압을 발생함으로서 爐가 파손된다.

나. 粉塵(Dust)

粉塵의 경우는 최대에 근접하는 爆發壓力과 爆發壓力 上昇速度가 흔히 200~



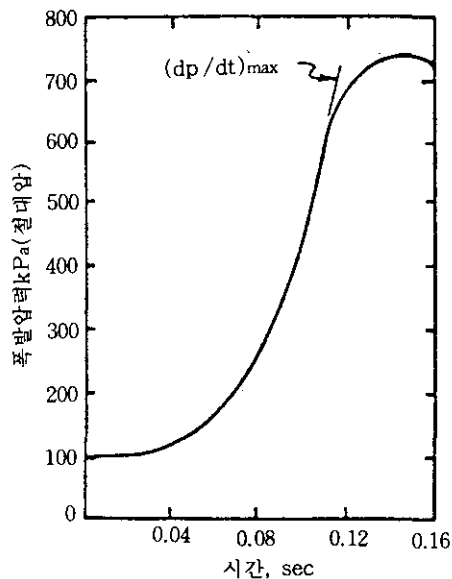
[그림 2-5] 안식향산분진의 爆發壓力에 대한 농도의 영향(1.23 ℓ 밀폐용기, 24 W 연속유도 스파크에 의한 착화, 200 mesh 입자)

1,000 mg/ℓ 의 농도범위에서 나타난다. 이와 같이 최대강도의 폭발압력을 나타내는 분진의 농도범위가 높아 가스나 증기의 경우와는 아주 대조적으로 이 압력효과의 피크치는 對空氣化學量論濃度 보다도 상당히 높은 농도에서 나타난다.

예를 들면 안식향산(C_6H_5COOH)의 경우 그 化學量論濃度(C_{st})는 139 mg / ℓ (25 ℃)이나 이 압력효과의 피크치는 [그림 2-5]에 나타낸 바와 같이 200 mesh의 미세분진에서는 특히 높은 농도에서 일어난다.

4. 密閉容器에서의 爆發壓力 上昇速度

爆發壓力 上昇速度($dp/dt = r$)는 개구면적을 결정하는 가장 중요한 측도가 된다($t = 초$). 對空氣濃度가 9.4 %인 메탄혼합기에 의한 爆發壓力 上昇速度를 [그림 2-6]에 나타내었다($C_{st} = 9.5 \% v/v$). [그림 2-6]에 의하면 폭발의 초기단계에서는 압력상승이 적다. 즉 압력은 처음 70 m/sec에서는 단지 101 kPa



[그림 2-6] 9.4 % v/v 메탄-90.6 % v/v 공기혼합기의 爆發壓力(實驗值)(28 ℓ 입방체 밀폐용기, 혼합기에 亂流가 주어지지 않을 경우)

밖에 상승하지 않지만 그 후에 이와 같은 시간내에 압력은 517 kPa 상승하여 最大爆發壓力에 달하게 된다. 실험에 의한 爆發壓力 最大上昇速度는 폭발의 거의 종료 시점, 즉 火炎이 용기벽에 거의 도달한 때에 발생한다.

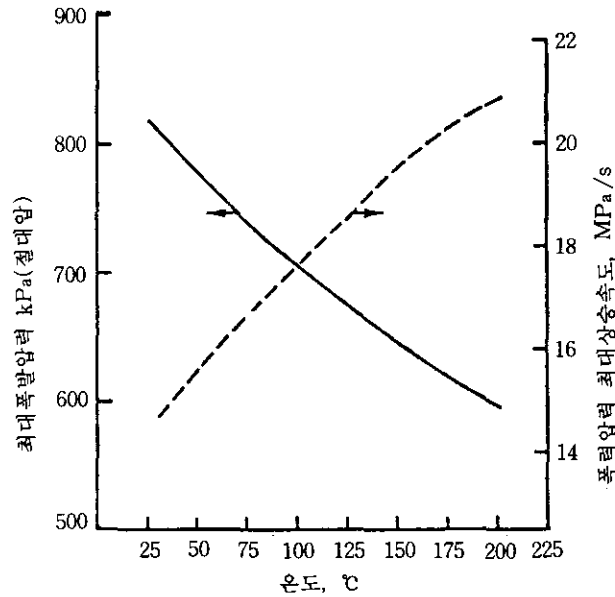
그리고 앞의 [그림 2-2]에 나타낸 바와 같이 가연물의 농도는 爆發壓力 上昇速度에 영향을 미치게 되며 爆發壓力 最大上昇速度 r_m 은 對空氣化學量論濃度 보다도 약간 더 농후한 농도에서 일어나게 된다.

5. 密閉容器에서 爆發壓力에 미치는 環境的 影響

지금까지 논의한 爆發壓力(P_m)과 爆發壓力 上昇速度(dp/dt)는 101.325 kPa abs 및 표준대기온도를 기준으로 논의 한 것이다(단, [그림 2-3]은 65.5 °C를 기준). 또한 측정 데이터도 실제 프로세스의 용기에 비하여 아주 작은 용기에서 측정된 것이다. 따라서 프로세스에 적용시는 이들 환경요인을 고려하지 않을 수가 없다. 다음에 P_m 및 dp/dt 에 영향을 미치는 환경적 영향에 대하여 구체적으로 기술하고자 한다.

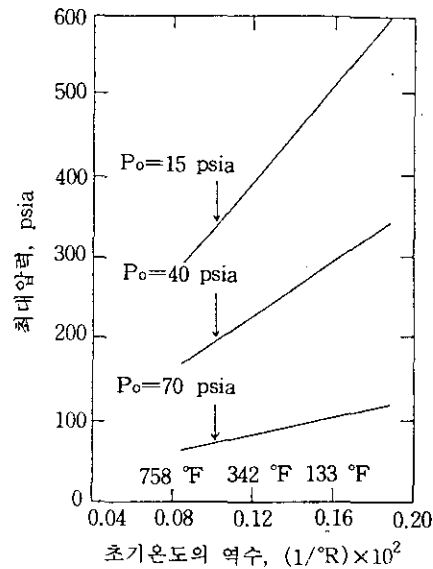
가. 初期溫度(Initial Temperature)

온도가 상승하게 되면 最大爆發壓力은 감소하게 되는 데 이는 온도가 높아지면 용기중에 존재하는 물질의 양이 감소하게 되기 때문이다. 프로판의 最大爆發壓力(對空氣濃度 5 % v/v)은 27 °C에서 818.4 kPa abs로 부터 204 °C에서 597.8 kPa abs로 감소하게 된다. 한편 爆發壓力 最大上昇速度 r_m 은 연소속도가 初期溫도의 상승에 비례하여 증가하기 때문에 온도의 상승에 따라 증가한다. 對空氣濃度 5 %인 프로판에 있어 온도에 대한 P_m 과 r_m 의 관계를 [그림 2-7]에 나타내었다.



[그림 2-7] 最大爆發壓力과 爆發壓力 上昇速度에 미치는 온도의 영향(初期壓力 약 100 kPa abs, 10 ℓ 밀폐용기중의 對空氣濃度 5 % 프로판)

그리고 [그림 2-8]은 對空氣濃度 9.9 % v/v 메탄의 初期壓力 및 初期溫度 변화에 대한 最大爆發壓力을 나타낸 것이다.



[그림 2-8] 最大爆發壓力에 미치는 初期壓力과 初期溫度와의 관계(對空氣濃度 89.9 % 메탄)

나. 初期壓力(Initial Pressure)

식 (2-1)에 의하면 P_m 은 P_i 에 비례하게 된다. 폭발압력의 피이크가 그 初期壓力의 약 8배가 된다고 하는 관계는 압력이 상승한 경우에도 성립한다. 그 예로서 對空氣濃度 5 % v/v의 프로판의 경우를 <표 2-2>에 나타내었다.

<표 2-2> 最大爆發壓力에 미치는 初期壓力의 영향(對空氣濃度 5 % 프로판)

初期壓力(P_i) kPa abs	最大爆發壓力(P_m) kPa abs	P_m/P_i
200	1,620	8.10
400	3,309	8.27
600	4,895	8.16

爆發壓力 最大上昇速度 r_m 은 初期壓力에 따라 직선적으로 증가한다. 따라서 對空氣濃度 5 % v/v의 프로판(C_3H_8)과 40 % v/v의 수소(H_2)의 경우를 예로 들면 대기온도하의 32 ℓ 용기중에서는 다음과 같다.

$$r_m, C_3H_8 = 0.63 P_i + 17.2 \quad P_i = 0 \sim 310 \quad (2-4)$$

$$r_m, H_2 = P_i + 68.9 \quad P_i = 0 \sim 310 \quad (2-5)$$

다. 容器의 形狀(Vessel Geometry)

(1) 容積과 形狀

용기의 용적 또는 형상은 最大爆發壓力 P_m 에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 길이 대 직경의 비가 큰 장치에서와 같이 熱損失이 큰 경우에는 최대압력이 낮아지게 된다. 한편 爆發壓力 最大上昇速度 r_m 은 용기의 용적 V 에 큰 영향을

받는다. 따라서 용기의 형상, 亂流(Turbulence)의 정도 및 발화점이 같은 조건 일 경우 임의의 화합물에 대하여 다음 식이 성립한다.

$$(r_m)(V^{1/3}) = \text{const.} = K_{st}/10 \text{ 또는 } \text{kg}/10 \quad (2-6)$$

따라서 예를 들면 64 m³ 구형용기의 r_m은 1 m³ 구형용기 값의 1/4이 된다 (용기의 중앙에서 착화될 때에 r_m이 가장 높게되고 만일 착화가 중심으로 부터 벗어나면 화염은 연소가 종결되기 전에 용기의 근접한 벽에 접촉하게 된다. 뿐만 아니라 착화원이 복수인 경우에는 dp/dt가 증가한다).

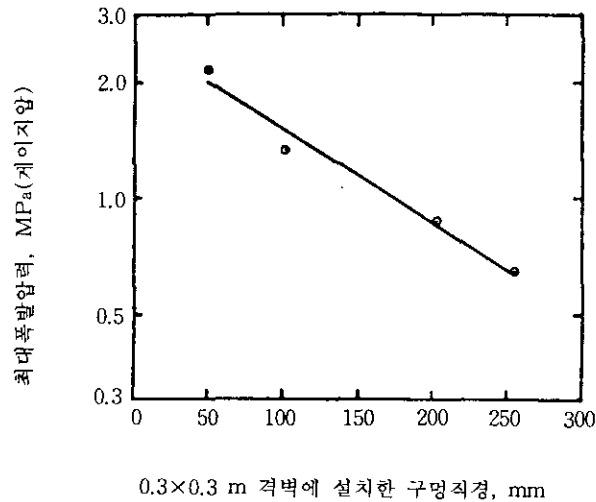
(2) 壓力의 重疊(Pressure Piling)

내부가 隔壁으로 杜絶된 장치에서는 압력이 중첩하는 결과로 인하여 앞에서의 압력 보다도 폭발압력이 크게된다. 杜絶된 실의 한 쪽에서 발화가 일어나게 되면 화염의 전방에 있는 가스혼합물의 일부는 두실을 杜絶한 격벽을 밀게되고 이로 인하여 제 2의 다른 실에서 가연성혼합기의 압력이 증가하게 된다. 이와같이 압축된 혼합기는 최초 발화된 실에서 발생한 화염에 의해서 발화하게 된다. 이 경우 최종적인 폭발압력은 공간을 2분한 격벽의 크기와 밀접한 관계가 있다. 美國內務省 鑛山局(The Bureau of Mines, U.S.Department of Interior)은 단면적 0.3×0.3 m, 높이 1.27 m의 밀폐상자(0.11 m³)를 이용하여 실험을 행하였다. 이 실험에서 크기를 적절히 변화시킬 수 있는 하나의 구멍을 갖는 0.3×0.3×0.13m의 격벽을 움직여 杜絶比를 1:1, 3:1 및 7:1로 변화시키면서 양측 공간에는 9.5 % v/v 의 천연가스(C_{st} ≈ 9.5 v/v)를 봉입하여 수행하였다. 그 결과는 [그림 2-9]에 나타낸 바와 같이 最大爆發壓力의 변화에 의해서 압력의 중첩 효과를 잘 보여주고 있다. 그리고 最大爆發壓力과 구멍의 직경 사이에는 다음과 같이 準對數(Semilogarithmic) 관계가 성립한다.

$$\log P_m = -0.002416D_h + 0.424208 \quad (2-7)$$

$$D_h = 50.8 \sim 254$$

最大爆發壓力를 나타낸 杜絕比는 1:1이었으나 구멍의 직경이 203 mm인 경우는 3:1로서 넓은 杜絕室에서 발화하였으며 외경 203 mm 이하에서 최대압력은 발화공간에 인접한 공간에서 얻어졌다.



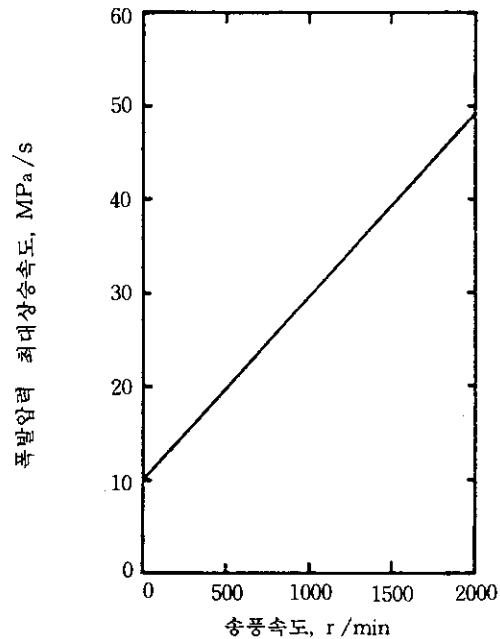
[그림 2-9] 最大爆發壓力에 미치는 압력의 重疊效果(0.3×0.3 m의 격벽으로 2분된 용적 0.11 m³의 杜絕室, 對空氣濃度 9.5 % 천연가스)

라. 亂流(Turbulence)

最大爆發壓力 P_m 은 공기에 대한 化學量論濃度에서는 初期亂流에 의해 단지 약간(약 6 %) 증가하게 된다. 初期亂流가 P_m 에 미치는 영향은 연소하한과 상한에서 더욱 현저한 데 거의 연소하한에 있는 메탄-공기혼합기에 의한 시험에서 初期亂流가 가해진 경우의 P_m 은 初期亂流가 가해지지 않은 경우 보다도 약 30 % 정도 증가하였다.

그리고 初期亂流는 爆發壓力 上昇速度를 현저하게 증가시키는 데, 그 예로서 [그림 2-10]은 對空氣濃度 3 %인 펜탄의 r_m 에 미치는 亂流의 영향을 나타낸 것이다. 사용된 용기는 1.7 m³로서 亂流를 야기하는 직경 460 mm의 송풍기가 설치되어 있다($C_{st} = 2.56 \% v/v$). 爆發壓力 最大上昇速度는 송풍기의 회전속

도에 따라 직선적으로 상승하여 회전수 2,000 rpm에서는 亂流가 가해지지 않은 경우의 약 5배 이상으로 된다. 이와 같이 r_m 은 강한 初期亂流가 있는 경우 亂流가 전혀 없는 경우에 비하여 적어도 5배 이상이 된다.



[그림 2-10] 爆發壓力 最大上昇速度에 미치는 亂流의 영향(1.7 m³ 밀폐용기중의 對空氣濃度 3.0 % v/v 펜탄)

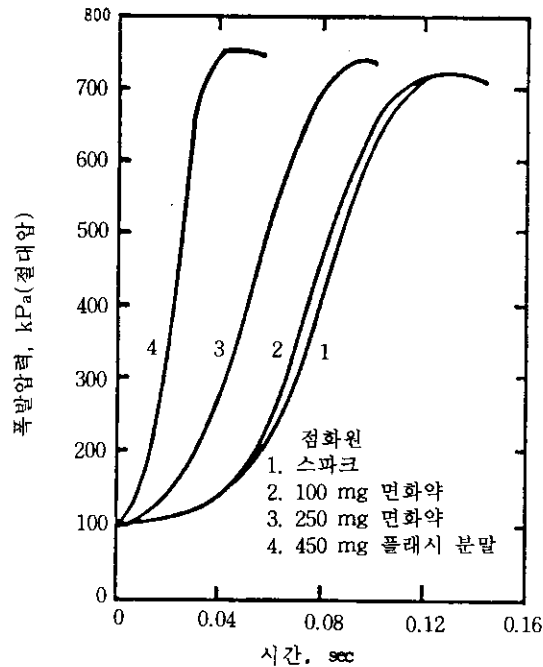
마. 發火에너지(Ignition Energy)

最大爆發壓力(P_m) 및 爆發壓力 上昇速度(dp/dt)에 미치는 착화원의 영향에 관한 美國 鑛山局에서 수행한 연구결과에 의하면 28 ℓ 용기에 對空氣濃度 9.4 ~ 9.5 % v/v의 메탄을 넣고 발화제로서 다음 4가지를 사용한 결과

- (1) 스파크
- (2) 100 mg 면화약(펄프화되지 않은 니트로셀룰로오스)
- (3) 250 mg 면화약(펄프화되지 않은 니트로셀룰로오스).

(4) 400 mg 플래시(Flash) 분말(마그네슘과 과염소나트륨)

[그림 2-11]에 나타난 바와 같이 발화제의 강도가 증가함에 따라서 最大爆發壓力이 약간 증가하게 된다.



[그림 2-11] 爆發壓力 上昇速度에 미치는 發火源의 영향(28 ℓ 입방형 밀폐용기, 對空氣濃度 9.4 % v/v 메탄)

그리고 爆發壓力 最大上昇速度는 (1)~(3)의 발화제에 대해서는 거의 같으나 아주 강력한 발화제인 400 mg 플래시분말을 사용한 경우는 특히 爆發壓力 最大上昇速度가 높게 나타났다. 한편 평균 爆發壓力 上昇速度는 200 mg 먼화약과 400 mg 플래시분말을 사용한 경우에 현저하게 증가한다. 따라서 이러한 발화제를 사용할 때는 발화개시시간이 크게 단축됨을 알 수 있다. 이와 같이 壓力上昇速度가 증가하게 되는 것은 강한 발화제의 사용에 의해 화염면적이 확대되기 때

문이라고 추정되고 있다. 참고로 이 때의 爆發壓力 上昇速度를 <표 2-3>에 부가하여 나타내었다. 일반적으로 급격한 폭발이 완만한 폭발 보다도 폭압을 방산 하기가 더 어렵다. 따라서 강한 발화제에 의해 급격한 폭발이 야기될 수 있으나 이러한 發火源은 산업 플랜트에서는 거의 발생되지 않는다.

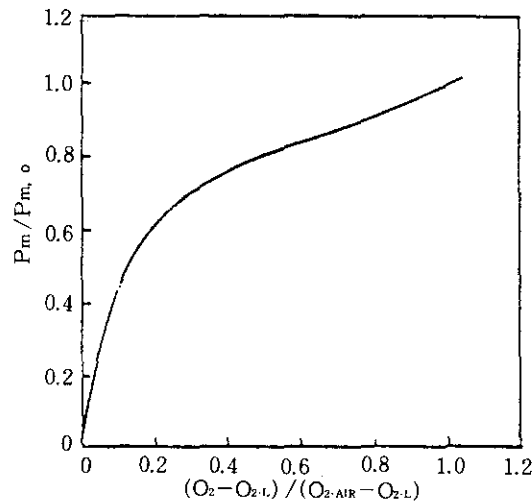
<표 2-3> 爆發壓力 上昇速度에 미치는 發火源의 영향(용기 28 ℓ, 對空氣濃度 9.4 % 메탄, 압력 101.325 kPa abs)

發 火 源			r_m MPa/s	r_{av} MPa/s	200 kPa abs에 달하기 까지의 시간, msec	
스	파	크	—	11.8	4.65	53
면	화	약	100 mg	11.8	4.65	51
면	화	약	250 mg	11.8	6.32	28
플	래	시 분 말	400 mg	29.2	14.0	12

바. 酸素濃度

폭발에 있어서 산화제(Oxidant)는 공기중의 산소가 대부분이며 21 % 이상의 산소농도는 연소반응을 격렬하게 하고 爆轟(Detonation)으로 전이할 가능성을 증가시키게 된다.

最大爆發壓力에 미치는 산소농도의 영향을 [그림 2-12]에 나타내었다. 여기서 가로축은 산소농도로서 폭발한계 산소농도를 0, 공기를 1로 나타내고 세로축의 最大爆發壓力은 공기중에서 初期壓力이 대기압인 경우의 最大爆發壓力 $P_{m,0}$ 에 대한 비로서 표시한 것이다. 이 그림에 의하면 無次元 산소농도가 0.3 이상이면 폭발압력의 감소가 적음을 알 수 있다.



[그림 2-12] 最大爆發壓力에 미치는 酸素濃度の 영향

사. 可燃物の 影響

(1) 可燃性가스 및 蒸氣

가연성가스 및 증기는 폭발범위 즉, 爆發下限界(Lower Explosive Limit)와 爆發上限界(Upper Explosive Limit)를 가지며, 이들 범위내에서 착화가 가능하고 연소가 지속될 수 있다. 앞의 [그림 2-2]에서 설명한 바와같이 最大爆發壓力은 이들 혼합기의 조성이 化學量論濃度(C_{st})보다 약간 높을 때 가장 높다. 대부분 탄화수소화합물은 最大爆發壓力이 헥산(Hexane)의 $\pm 10\%$ 이내이며, 壓力上昇速度 또한 유사한 범위 이내이다. 참고로 부록 1에 흔히 사용되는 가연성 가스 및 증기의 용적비(%)에 따른 最大爆發壓力과 壓力上昇速度등 폭발특성을 나타내었다.

(2) 可燃性粉塵

분진에 대한 폭발상한농도는 실험중에 분진을 적당하게 부유시키는 문제 때문

에 측정하기가 어려우나 가스와 같이 연소시의 最大壓力 上昇速度를 갖는 이상적인 농도는 측정이 가능하다.

最大爆發壓力과 最大壓力 上昇速度는 일반적으로 분진의 입자크기가 감소할수록 증가하며, 最大爆發壓力은 입자크기에 더욱 민감하다. 또한 이 민감성은 대략 50 μm 이하의 입자에 있어서 가장 현저하다. 그리고 最大爆發壓力의 민감성은 입자크기가 200~420 μm 범위내에서 입자가 더 클수록 현저하다.

참고로 爆發壓力 上昇速度에 미치는 Corn starch 입자크기의 영향을 <표 2-4>에 나타내었다. 이 결과에 의하면 爆發壓力 最大上昇速度는 입자가 적을수록 현저하게 증가한다. 이는 미세분진의 경우 분산이 쉽고 빠르게 착화될 수 있기 때문에 입자가 큰 분진 보다 큰 폭발압력효과를 나타낸다고 생각할 수가 있다.

<표 2-4> 爆發壓力 最大上昇速度에 미치는 Corn starch 입자크기의 영향

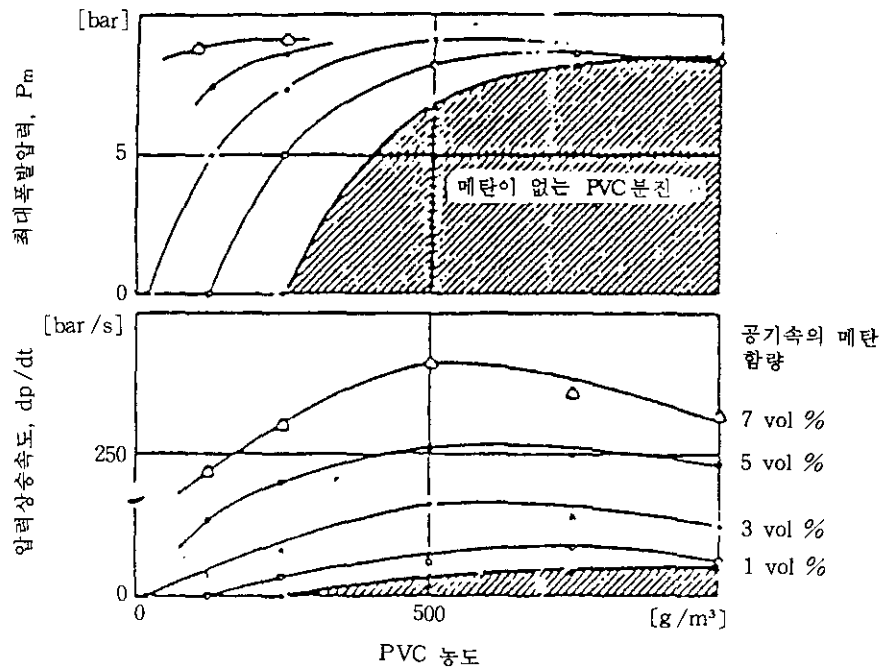
平均粒徑(μm)	爆發壓力 最大上昇速度(MPa/s)*
178	1.72
126	6.20
89	13.1
37	45.8
22	59.3

* Corn starch 농도 : 500 mg/ℓ, 시험용기(밀폐) : 1.23 ℓ

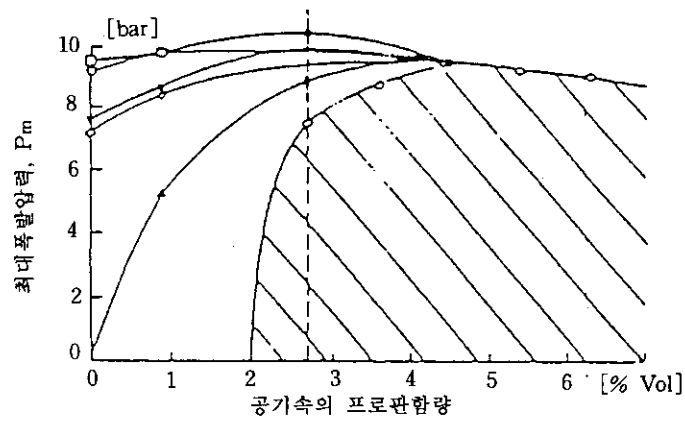
(3) 하이브리드 혼합물(Hybrid mixture)

하이브리드 혼합물은 공기(산화제)중에 가연성가스와 분진이 혼합된 것으로서 흔히 유동층 및 기류건조기 등에서 형성될 수 있다. 이들 물질은 혼합비율에 따라 연소특성에 많은 차이가 있으나 일반적으로 하이브리드 혼합물은 폭발하한계

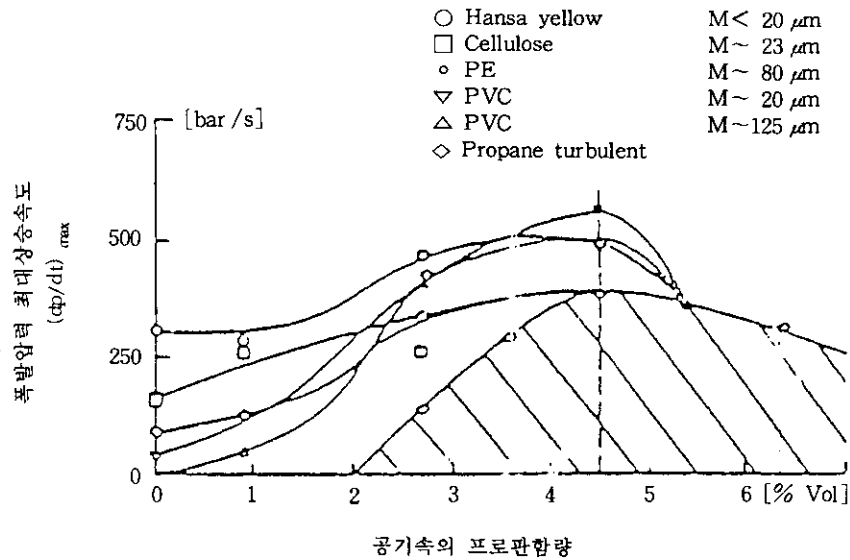
농도와 최소착화에너지가 낮아지며 또한 폭발시 最大爆發壓力이나 爆發壓力 最大上昇速度가 상당히 증가하기 때문에 폭발에 대한 위험성이 훨씬 높다. 예로서 PVC 분진과 메탄가스 혼합비율별 그리고 프로판가스와 각종 분진의 혼합비율별 爆發壓力과 爆發壓力 最大上昇速度와의 관계를 각각 [그림 2-13]과 [그림 2-14]에 나타내었다.



[그림 2-13] PVC-메탄-공기혼합물의 연소특성(1 m³ 용기, 착화에너지 10,000 J)



하이브리드 혼합물에서의 분진



[그림 2-14] 분진-프로판-공기혼합물의 연소특성(1 m³ 용기, 착화에너지 10,000 J)

第 3 章 爆發防護對策 概要

1. 防護對策의 必要性

화학설비 및 건조설비와 그 부속설비 그리고 기타 폭발의 위험성이 높은 각종 설비에서 가연성가스, 蒸氣 또는 粉塵으로 인한 폭발을 방지하기 위하여 아무리 충분한 예방대책을 강구한다 할지라도 설비의 사용중 결함이나 작업자의 오조작 등 각종 요인으로 인하여 폭발·화재의 잠재위험성은 항상 내재되어 있다고 보아야 한다. 특히 위험물질이나 가연성분체류를 취급하는 설비, 즉 反應, 混合, 粉碎, 乾燥, 集塵, 移送 및 貯藏設備등에서 설비내부의 농도를 爆發下限界 이하로 완전하게 억제할 수 없으며 점화원 또한 완벽하게 배제할 수 없는 경우가 많아 폭발은 언제나 야기될 수 있다고 보아야 한다.

이와 같이 설비내부에서의 폭발을 완벽하게 방지할 수 없는 경우에는 폭발로 인한 영향을 최소화하기 위한 대책수립이 반드시 고려되어야 한다. 국내에서 발생하는 폭발사고의 경우 조사결과에 의하면 대부분 방호측면이 고려되지 않음으로서 대형사고로 발전된 예가 많은 실정이다.

그러나 방호설비를 적절하게 설치한 경우에는 만일 폭발이 발생한다 할지라도 근로자 뿐만 아니라 설비의 파괴를 방지함으로서 그 피해를 최소로 억제할 수가 있다. 대부분의 설비내부에서의 爆發事故는 폭발에 의한 壓力上昇으로 설비가 破壞되거나 내용물이 분출되면서 흔히 2차 폭발을 야기시키는 경우가 많으며 또한 설비나 건물의 파괴시 발생하는 비산물에 의해 그 피해가 확대되는 경우가 많다. 따라서 설비를 설계할 경우에는 폭발·화재의 예방측면 뿐만 아니라 방호측면도 반드시 고려하여 설계하여야 한다.

2. 設備에 대한 防護對策

설비의 구조적 방호수단으로서는 폭발을 사전에 예방하는 것이 아니라 만일의 경우 폭발이 발생될 것에 대비하여 설비가 예상되는 爆發壓力에 충분히 견딜수 있게 설계 제작하는 방법, 異常壓力이 발생할 경우 耐壓強度 이하에서 그 압력을 안전하게 방출하는 방법, 壓力上昇을 초기에 억제하는 방법 그리고 爆發壓力 또는 火炎傳播를 차단하는 방법등을 고려할 수 있으며, 이들 방법을 설비에 적절하게 적용함으로써 폭발로 인한 피해확대를 억제할 수가 있다. 다음에 그 방법에 대해서 간단히 요약하고자 한다.

가. 耐爆設計 (Explosion-Proof Design)

耐爆設計란 장치 및 장치에 연결된 부속설비가 내부에서 폭발이 발생할 경우 파괴되지 않고 폭발압력에 견딜 수 있는 강도로 설비를 설계하는 것으로서 설비를 이와같이 강고하게 제작하면 제작비용은 높으나 그 피해를 설비내부로 제한함으로써 설비의 破壞는 물론 爆風이나 火炎 또는 飛散物로 인한 피해를 억제할 수 있다.

일반적으로 耐爆設計는 最大爆發壓力을 고려하여 설계하나 만일 장치의 내부가 구조상 分割되어 있거나 配管등으로 연결되어 있다면 어느 한 구간에서 폭발이 발생될 경우 앞의 폭발특성에서 기술한 바와 같이 장치의 다른 구간에서의 압력상승으로 인하여 이 구간에서의 폭발은 初期壓力이 상승된 상태에서 발생되기 때문에 大氣壓下에서의 豫想最大爆發壓力 보다 더 높아지게 된다. 따라서 耐爆設計에서는 이들 폭발특성을 충분히 고려하지 않으면 안된다. 즉 이와 같은 초과 예상압력을 고려하여 耐爆設計를 하거나 또는 폭발압력의 전파를 차단할 수 있는 장치를 설치하여야 한다.

(1) 適用 範圍

耐爆設計에 의한 防護는 일반적으로 爆轟(Detonation)이 야기될 수 있는 시스템에는 적용되지 않으며 또한 적절한 실험결과가 없는 경우 길이 대 直徑의 비 (L/D)가 5 이상인 설비에도 적용되지 않는다.

그리고 적절한 실험결과가 없는 한 두개 이상의 설비를 큰 직경의 닥트로 연결한 시스템에는 初期壓力上昇등의 요인 때문에 적용하여서는 안되며, 또한 初期壓力이 30 psig(206.7 kPa gage)를 超過하는 시스템에도 적용되어서는 안된다.

(2) 設計 基準

(가) 설비의 設計壓力은 설비의 폭발시 破裂을 방지(즉 極限強度)하거나 또는 永久變形을 방지(즉 降伏強度)할 수 있도록 다음 식에 의해 계산하여야 한다.

$$P_r = \frac{1.5[R(P_i+14.7)-14.7]}{F_u} \quad (3-1)$$

$$P_d = \frac{1.5[R(P_i+14.7)-14.7]}{F_y} \quad (3-2)$$

여기서 P_r = 내부 폭발에 기인한 破裂을 방지할 수 있는 設計壓力, psig.

P_d = 내부 폭발에 기인한 變形을 방지하기 위한 設計壓力, psig.

P_i = 연소 분위기하에서의 最大初期壓力, psig.

R = 最大爆發壓力과 最大初期壓力의 比.

F_u = 설비의 極限應力과 許容應力の 比.

F_y = 설비의 降伏應力과 許容應力の 比.

(나) 위 식에서 無次元 比인 R 은 절대압력 單位下에서의 최대폭발압력과 최

대초기압력의 比로서 일반적으로 粉塵-空氣 混合物에 있어서 R 는 10.0 으로 주어진다. 그러나 運轉溫度가 25 ℃ 이하인 경우에는 다음 식에 의해서 보정되어야 한다.

$$R' = R \times \frac{298}{273 + T_i} \quad (3-3)$$

여기서 R은 분진의 경우 10.0 이며 T_i 는 運轉溫度를 의미한다.

- (다) 그리고 저급 카본스틸(Carbon steel) 및 스테인레스 합금으로 제작된 설비는 $F_u = 4.0$ 그리고 $F_y = 2.0$ 이다.
- (라) 상기 設計壓力은 설비에 爆發壓力放散口가 설치되지 않은 경우이며 이것이 설치될 경우에는 設計壓力이 낮아질 수 있다.
- (마) 분진을 취급하는 시스템에서 최대초기압력은 물질을 공급, 정지하거나 또는 이송되는 壓縮機 및 送排風機의 최대 가능한 배출압력 혹은 압력방출장치의 設定壓力을 의미한다. 또한 분진을 重力下에서 배출할 경우 최대초기압력은 0.0 psig로 한다.
- (바) 眞空下에서 운전되는 시스템에 대해서는 최대초기압력을 대기압(0.0 psig)으로 한다.
- (사) 設計壓力은 설비의 벽 두께를 기준으로 하며 부식이나 침식등의 허용은 무시한다.
- (아) 최대폭발압력은 밀폐된 용기에서 실측한 데이터를 이용하여야 한다. 일반적으로 穀物粉塵의 最大爆發壓力은 대략 6~8 Kgf/cm² 정도로서 10 Kgf/cm²를 초과하는 경우는 적다.

나. 爆發壓力放散(Explosion Pressure Relief)

爆發壓力放散口(이하 爆發口라 한다)는 폭발위험이 있는 장치나 설비 또는 건

물등에 설치하여 내부에서 폭발이 발생할 경우 그 壓力과 火炎을 외부 안전한 곳으로 방출시킴으로서 설비의 破壞를 방지하고 壓力波, 飛散物 및 火炎등으로 인한 피해를 억제하는 방호장치로서 원리는 安全밸브(Safety valve), 破裂板(Rupture disk)과 같으나 구조, 기능, 응용범위등에 있어서 차이가 있으며, 放出量이 크기 때문에 폭발방호에 적절하다. 폭발구는 방호장치 중 설치가 용이하고 설치비용이 저렴하기 때문에 권장되나 잘못 설치하는 경우에는 더 큰 위험이 초래될 수 있어 주의가 요망된다. 특히 粉體를 저장 또는 가공하는 공정의 경우 각종 粉碎機, 集塵機, 버킷 엘리베이터, 컨베이어, 사일로(Silo) 및 닥트류등에는 반드시 설치하여야 할 중요한 방호장치 중의 하나로서 흔히 사용되고 있으나 부적절하게 설치하여 사용하고 있는 경우가 많다. 따라서 爆發口를 설치할 경우는 設置場所, 爆發口の 構造, 放散設定壓力, 放散誘導管(Vent ducts)設置 및 放散面積등 각종 사항을 적절한 설치기준에 준하여 설치하여야 한다.

아직 爆發口에 관한 상세한 설치기준이 제도적으로 마련되어 있지 않으나 이에 대한 구체적인 각종 사항을 當研究院 研究報告書(化學 91-081-14)에 기술한 바 있기에 여기서는 생략한다.

다. 爆發抑制裝置(Explosion Suppression System)

앞에서 언급한 爆發壓力放散口는 폭발압력을 외부 안전한 장소로 방출시킴으로서 설비의 파괴를 방지할 수 있으며 設置費用이 저렴하나 爆發音이 발생하고 火炎이나 未燃燒物質이 대기중에 방출됨으로서 경우에 따라서는 파이어볼(Fire-ball)의 발생위험이 있으며, 또한 放出口를 외부로 誘導하여야 하는 등의 缺點이 있다. 반면에 爆發抑制裝置는 폭발에 의한 압력상승 그 자체를 초기에 안전하게 정지시키는 장치로서 많은 장점이 있으나 설치비용이 고가인 것이 결점이다. 이 시스템은 설비내부에서 가연성물질의 연소 또는 폭발을 感知하여 破壞的인 압력이 발생하기 전에 억제제를 방출하여 화염을 消火抑制함으로서 설비의 파괴를

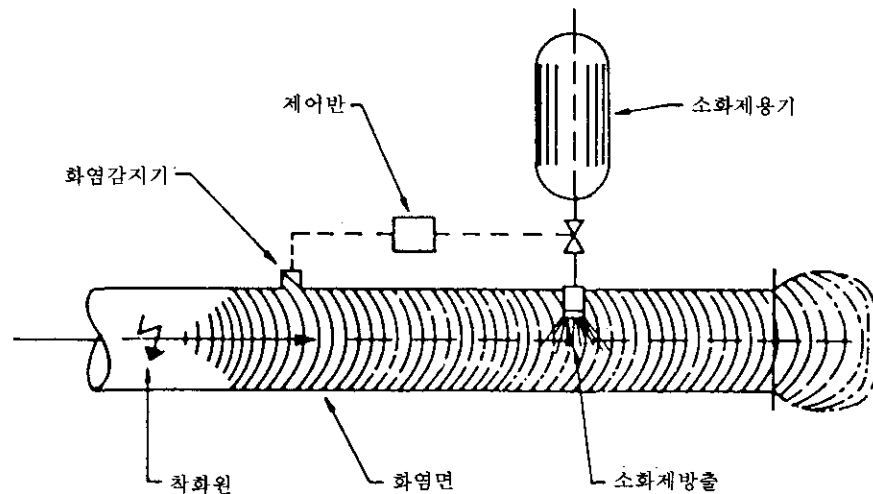
방지하는 일종의 自動消火시스템이다. 본 지침은 이에 대하여 규정하고자 하는 바 다음 장에서 이를 중심으로 구체적으로 기술하고자 한다.

라. 스파크 消火시스템(Spark Extinguishing System)

스파크 消火시스템은 주로 粉體의 空氣輸送 및 컨베이어 시스템에서의 폭발·화재를 방지하기 위하여 사용되는 장치로서 폭발억제장치와 유사하다. 粉體는 가스등과 달리 工程內에서 착화원에 의해 서서히 연소되면서 空氣輸送이나 컨베이어 시스템을 통하여 集塵機, 사일로, 호파등으로 移送되어 분진폭발이나 대규모의 화재가 초래되는 사례가 있다. 이를 방지하기 위하여 스파크 消火시스템은 주로 移送라인에 설치함으로서 불꽃을 조기에 感知하여 自動消火하는 장치이다. 이 장치 역시 美防火協會(NFPA)가 National Fire Code No. 69 “Explosion Prevention System”으로 규정하고 있으며 외국에서는 분체 이송설비에 많이 사용되고 있다. 국내에서도 현장실태 조사결과 “○○ 홍업(주)”에서 合板 생산 라인에 설치 사용하고 있으나 많이 보급되어 있지 않은 실정으로서 권장되는 장치 중의 하나이다.

스파크 消火시스템은 可燃性粉體 또는 固體를 이송하는 닥트 또는 컨베이어 등에서 이송되는 불꽃이나 殘火를 검출하고 소화하는데 이용되는 장치로서 분체 이송설비에 한하여 사용되어야 하고 가스에 사용되어서는 안되며, 또한 消火劑(Extinguishing agent)로서 사용하는 물질이 위험을 초래할 수 있는 경우에도 이를 사용해서는 안된다.

構成機器는 [그림 3-1]과 같이 感知器(Detectors), 스파크感知 制御판넬(Control panels) 및 消火噴出시스템으로 구성되어 있다.



[그림 3-1] 스파크 消火시스템 구성도

마. 爆發傳播 防止裝置

粉體 取扱設備는 粉碎機, 集塵機, 사일로, 호퍼, 버킷 엘리베이터, 컨베이어, 피이더 및 닥트류등 각종 설비가 서로連結된 시스템으로 구성되어 있는 경우가 대부분으로서 설비의 어느 부분에서 폭발이 발생되면 컨베이어나 닥트류등을 통하여 火災이나 爆壓이 타설비로 전파되어 대형連鎖爆發事故의 위험성이 극히 높은 실정이다. 따라서 粉塵爆發에 대한 최고의 防護對策은 폭발사고에 대비하여 플랜트내의 각 유니트가 격리되는 것이 가장 바람직하겠으나 실제 공정상 이는 불가능한 실정이기 때문에 가능한 설비사이에 遮斷裝置를 설치하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있다.

이와 같은 대형連鎖爆發事故를 방지하기 위해서 특히 다음과 같은 경우에는 설비 사이의 연결부에 반드시 적절한 隔離裝置(Isolation devices)를 설치하여 유니트를 분리하여야 한다.

- ① 耐爆構造로 設計되지 않은, 즉 防護되지 않는 설비와 爆發危險이 있는 설

비, 즉 防護된 설비의 연결부

- ② 설비가 긴 배관이나 닥트로 연결된 경우 火炎噴出로 인한 點火 가능성이나 高壓으로 인한 위험을 고려하여 큰 설비와 작은 설비의 연결부 또는 비교적 高強度設備과 低強度設備의 연결부

그러나 상기 설비 뿐만 아니라 기타 위험이 있는 설비에 대해서도 적절한 遮斷裝置가 설치되어야 한다. 참고로 다음에 粉體 取扱設備에 적절한 遮斷裝置 중에서 중요한 장치 몇가지를 제시하고자 한다. 따라서 설치시는 공정을 충분히 검토한 후에 적절하게 설치하여야 한다.

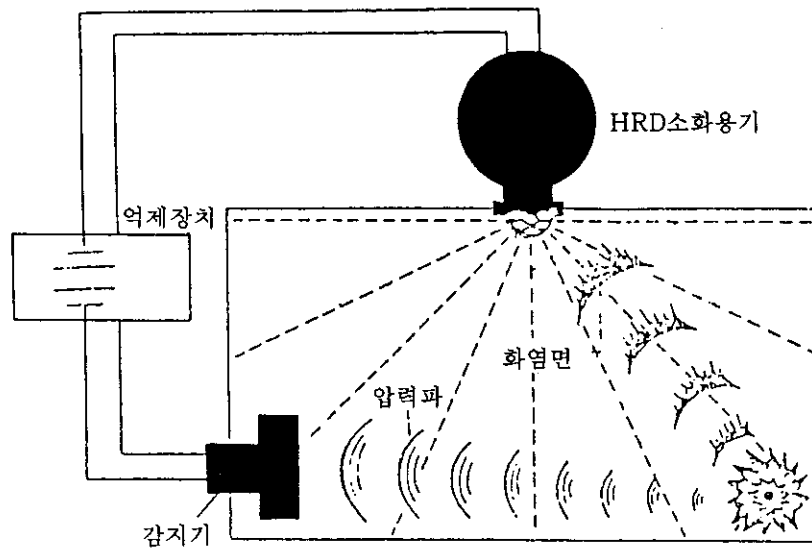
- (1) 回轉밸브(Rotary valve)
- (2) 스크루 초크(Screw choke)
- (3) 消火遮斷器(Extinguish barrier)
- (4) 高速作動 슬라이드밸브(Rapid-action slide valve)
- (5) 高速作動 플랩(Rapid action flaps)
- (6) 高速作動 베리어밸브(Barrier valve)
- (7) 릴리이프 파이프(Relief pipe)

이들에 대한 자세한 사항은 當研究院 研究報告書(化學 92-1-20)에 기술되어 있기에 여기서는 생략한다.

第 4 章 爆發抑制裝置의 原理

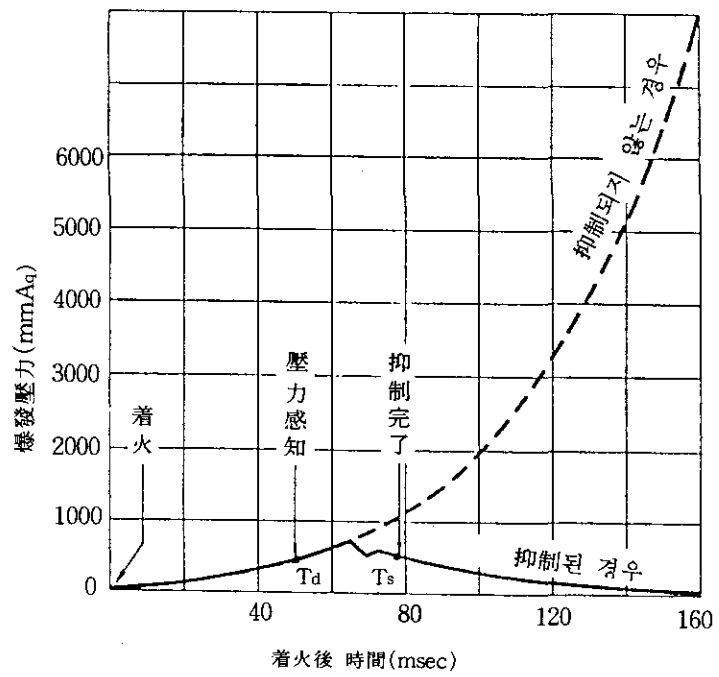
爆發抑制의 原理는 밀폐된 공간에서 폭발이 발생할 경우 반드시 온도와 압력의 상승이 수반되며 또한 發火하여 破壞的인 壓力이 발생하기까지는 일정시간이 경과되는 바 이와 같은 破壞的인 압력이 발생하기 전에 溫度, 火炎 또는 壓力上昇을 感知, 制御裝置에 의해 抑制劑를 방출함으로써 이를 消火시키는 것이다. 다시 말하면 폭발은 일반적으로 생각되는 순간적인 현상이 아니라 발화하여 파급적 압력이 발생하기까지는 조건에 따라서 다르겠지만 흔히 30~100 msec 정도의 시간이 소요되는 바 이 시간내에 폭발을 정지시킬 수 있다. 폭발억제시스템은 [그림 4-1]과 같이 爆發感知器(Explosion detector), 制御盤(Control unit) 및 소화제가 충전된 爆發抑制器(Suppressor)로 구성되어 있다.

억제과정을 설명하면 설비(상자형) 外側에 感知器와 억제제를 충전한 消火容器를 설치하고 制御裝置를 연결한 것으로 설비내부에서 가연성 혼합기체가 연소 한계에 들때 점화되면 혼합기체는 빛과 열을 발하며 연소를 시작하게 된다. 점화 직후 화염면의 전파속도는 農產物, 플라스틱, 木材, 染料, 石炭등의 일반적인 분진의 경우 1~2 m/sec이고 메탄, 에탄, 프로판등 탄화수소가스의 경우는 2~3 m/sec 정도로서 설비가 밀폐되어 있어 연소가스에 의해 압력상승이 시작되면 壓力波는 音速(공기하에서 340 m/sec)으로 擴散되기 때문에 이를 感知器가 감지하고 제어기가 억제기를 작동시키게 된다. 이때 感知로 부터 消火容器가 작동되기까지의 시간(시스템의 응답시간)은 대략 3 msec 이며 억제제는 30~62 m/sec의 속도로 분사된다.



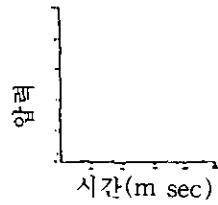
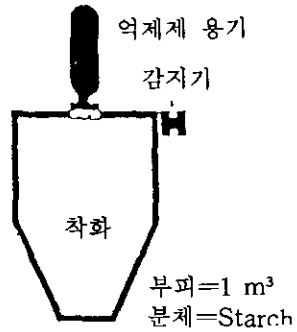
[그림 4-1] 爆發抑制裝置의 作動原理

다음 [그림 4-2]는 폭발을 억제할 경우 압력변화를 나타낸 것으로서 T_d 는 폭발을 感知한 시간이며 爆發을 感知한 後에 억제제가 방출되어 억제효과를 발휘하기 까지 압력은 계속 상승하고 억제제가 화염에 접촉하여 완전히 억제효과를 발휘한 때, 즉 T_s 에서 억제완료되어 압력은 감소된다. 따라서 설비의 耐壓強度 이하로 압력을 유지함으로써 설비의 폭발을 방지할 수 있다. 폭발에 의한 압력 상승속도는 앞의 제 2장에서 기술한 바와 같이 취급 가연성물질의 종류, 설비의 내용적과 형상 그리고 初期壓力과 初期溫度等 각종 요인에 따라 달라지며 억제장치가 감지에서 부터 억제제를 방출하여 효과를 발휘하기 까지의 시간은 기기의 특성에 따라서 정하여 지는 것으로서 壓力上昇速度가 극단적으로 빠른 경우에는 억제시의 압력 P_s 가 기계설비의 耐壓을 초과하게 되고 억제장치를 사용하는 의미가 없게 됨으로 설계시 주의가 요망된다. 대략 着火에서 抑制까지의 과정에 있어서 압력과 소요시간은 [그림 4-3]과 같다.

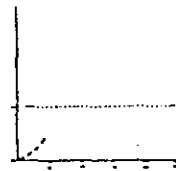
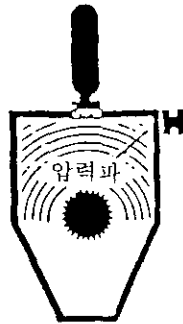


[그림 4-2]爆發抑制時 爆發壓力 上昇曲線

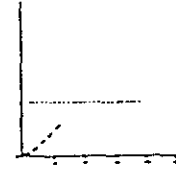
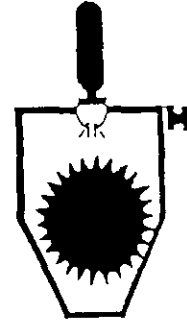
1. 着火
時間 : 0 msec
壓力 : 0 barg



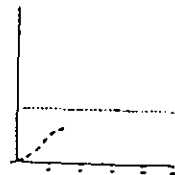
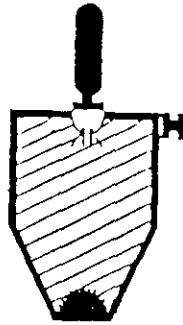
2. 感知器 作用
時間 : 20 msec
壓力 : 0.035 barg



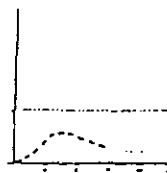
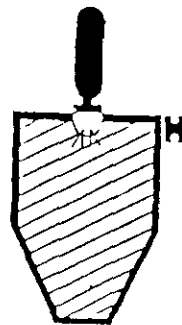
3. 抑制劑 噴射
時間 : 30 msec
壓力 : 0.085 barg



4. 噴射 繼續
時間 : 50 msec
壓力 : 0.2 barg



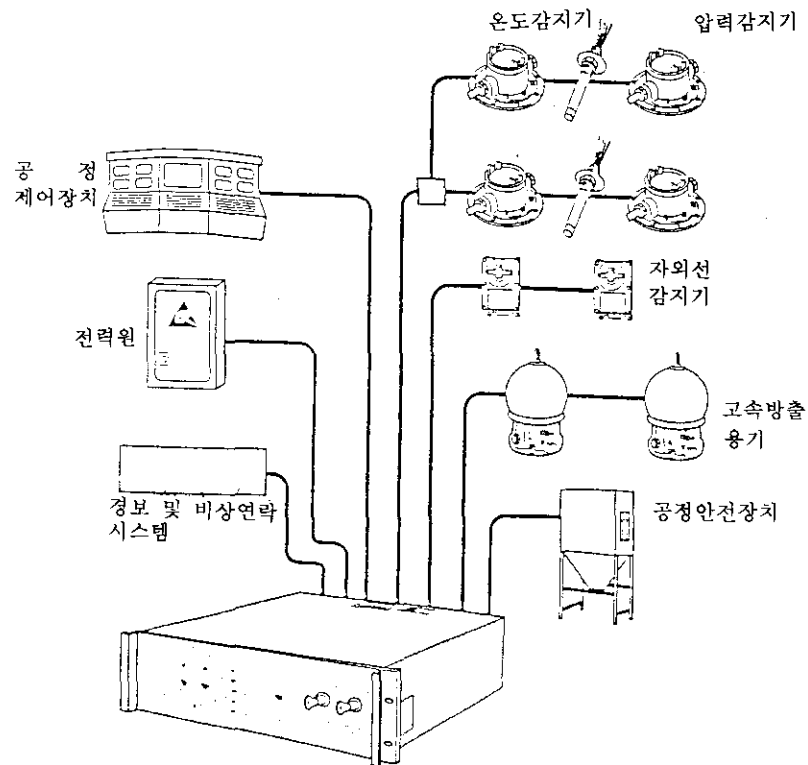
5. 噴射 完了
時間 : 80 msec
壓力 : 0.15 barg



[그림 4-3] 爆發抑制過程(그래프의 가로 點線은 설비의 耐壓強度)

第 5 章 爆發抑制裝置의 構成機器

爆發抑制裝置 및 스파크 消火시스템(Spark extinguishing system)은 고속작동 슬라이드밸브(Rapid action slide valve) 및 벤텍스 고속작동밸브(Ventex rapid action valve)등과 유사하게 폭발을 감지하는 感知器(Detector)와 신호를 받아 작동을 유도 하는 制御盤(Control unit)으로 구성되어 있고 고속차단밸브 대신에 消化劑를 고속으로 방출할 수 있는 高速放出抑制劑容器(Suppressor)로



[그림 5-1] 爆發抑制裝置의 構成機器 및 工程과의 연결도

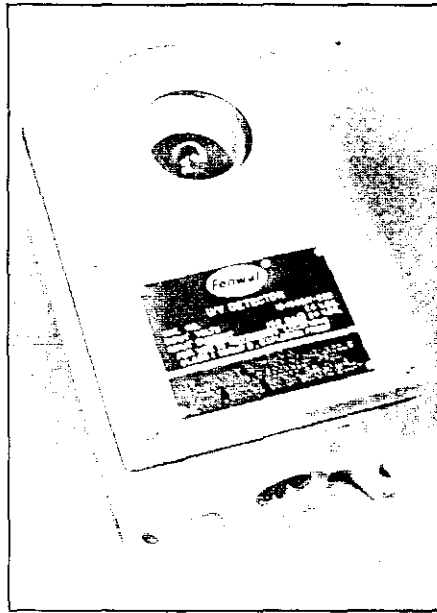
구성되어 있다. 그리고 爆發抑制裝置의 制御盤은 필요할 경우 [그림 5-1]과 같이 전체 공정제어장치 및 기타 안전장치등과 인터록시킴으로서 폭발억제 이후의 공정안전을 고려하여야 한다.

1. 感知器(Detectors)

폭발의 발생을 感知하는 수단으로서 火災의 발생, 압력 및 온도의 상승을 感知하는 방법이 있으며, 어느 방법에서도 感知器는 빠른 응답과 확실한 동작이 요구된다. 感知器는 특히 설비의 운전압력이나 온도등 작업조건의 변동, 振動이나 衝擊등의 外力, 공정에서 취급되는 물질의 부착 또는 이로 인한 부식등에 의한 감도의 저하등에 영향을 받지 않고 설정된 조건에 달할 경우에 빠르게 작동될 수 있는 것을 적절하게 선정하여 설치하여야 한다. 흔히 사용되는 感知器의 종류와 특징을 대략 기술하면 다음과 같다.

가. 火災感知器

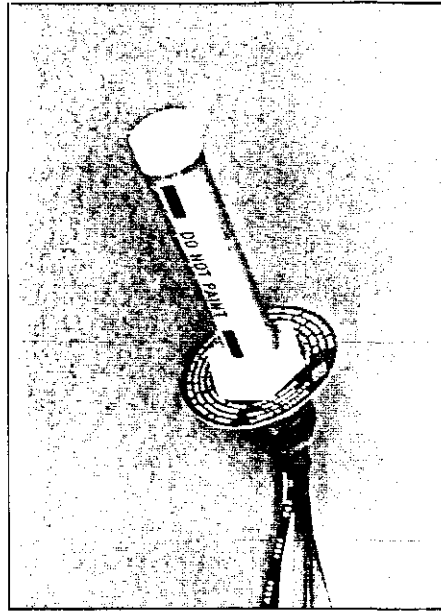
폭발의 進行速度(火災傳播速度 또는 壓力上昇速度)가 빠른 경우에 유효한 感知器로서 火災으로 부터 放射되는 赤外線이나 紫外線을 檢出하는 光學式 感知器이다. 그러나 光學式 感知器는 기계적인 동작이 없는 것으로 應答性이 좋지만 신호로서 취출하기, 위한 電子回路를 필요로 하는 등 回路構成이 복잡하고 또한 분진을 취급하는 공정에서는 透視性이 나쁘거나 感度が 弱化되는 등 문제가 있을 수 있으므로 주의가 요망된다. 火災感知器에는 放電管을 이용한 紫外線感知器와 포토셀등 光導電型 受光素子を 이용한 赤外線感知器가 실용화되어 있다. [그림 5-2]는 紫外線感知器의 한 예이다.



[그림 5-2] 紫外線感知器(Ultraviolet detector)

나. 溫度感知器

發火하는 장소가 回轉機器의 過熱등으로 한정되어 있는 경우나 發火하여도 압력이 상승되기 어려운 조건에서는 高感度の 溫度式 感知器가 유효하다. 분진폭발의 경우 뜨거운 연소가스로 부터 열전달에 의해 직접 작동되는 熱電感知器(Thermoelectric detector)는 열원 가까이에 잘못 설치될 경우에 오작동될 수 있기 때문에 적절하지 않다. 그리고 이 感知器는 응답성이 늦다. [그림 5-3]은 金屬의 膨脹에 의해 작동하는 補償率方式의 感知器로서 급격한 온도상승을 확실하게 감지할 수 있는 溫度感知器이다.



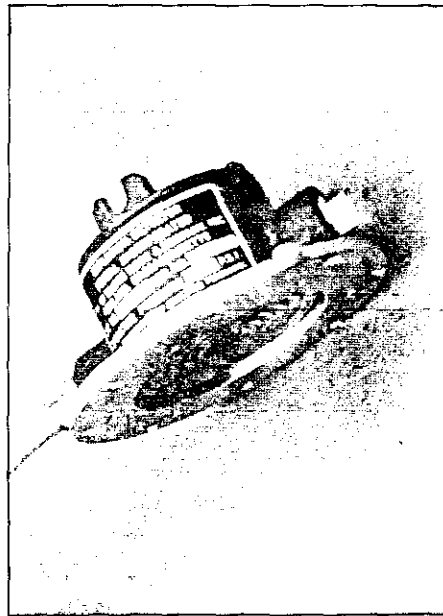
[그림 5-3] 温度感知器(Thermal detector)

다. 壓力感知器

현재의 기술상 폭발억제시스템에서 초기폭발을 검지하는 데 적합하여 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 感知器이다. 밀폐된 설비내에서 폭발 초기단계의 발생압력은 모든 방향으로 音速으로 확산되는 바 설비내에 설치된 壓力感知器가 이를 감지하게 된다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 壓力感知器는 설비내에서의 압력이 미리 설정된 限界壓力을 초과할 때에 이를 감지하는 것이다. 限界壓力은 공정의 壓力變動 以上으로 설정되어야 한다. 따라서 감지압력은 작업시 압력의 변동폭을 잘 조사한 후에 정하여야 한다. 이 感知器는 [그림 5-4]에 나타난 것과 같이 金屬다이하프램(Diaphragm)과 마이크로스위치를 조합하여 사용한다. 다이하프램의 접촉면은 접촉면의 압력이 기준 압력으로서 사용되기 때문에 대기에 자유롭게 접할 수 있도록 주의하여야 한다. 따라서 이는 효과적으로 유

지되도록 하여야 한다.

이 感知器는 미리 설정된 압력에 달할 때 작동하는 바 변동폭이 지나치게 큰 경우에는 定壓式이 적합하지 않으며 대신에 壓力上昇率을 검출하는 感知器를 사용하여야 한다. Strain gauge 또는 Piezo-electric 壓力感知器는 압력을 연속적으로 측정하는 데 사용되며 압력상승속도를 모니터할 수 있다. 그러나 上昇率檢出型의 것은 感度設定이 어렵고 설정조건의 유지가 어려운점등으로 많이 사용되고 있지 않다.



[그림 5-4] 다이나프램타입 壓力感知器(Diaphragm-type pressure detector)

2. 制御盤(Control units)

制御盤은 感知器로 부터 수신된 신호를 분석하여 해당 고속방출소화용기에 장착된 電氣雷管을 작동시키는 장치로서 매우 짧은 순간에 이를 수행하도록 되어

있다. 爆發抑制시스템은 신뢰성있는 작동을 위하여 아주 정교한 制御시스템이 요구된다. 制御시스템은 [그림 5-1]과 같이 공정제어장치 및 기타 공정 안전장치등과 인트록함으로서 만일 抑制시스템이 작동된다면 안전한 방법으로 플랜트나 이송시스템등을 자동정지시키고 기타 방호장치 즉 폭발전파방지를 위한 고속 작동밸브 작동, 폭발구 파열, 경보기 작동 그리고 관련 소화설비의 가동등이 가능하게 하는 것이 바람직하다.

다시 말하면 폭발방호를 위한 制御시스템은 만일 시스템의 어떤 부분에 이상이 발생될 경우 작업자에게 경보를 발하고 플랜트의 긴급정지 및 2차 소화장치의 起動등이 가능하여야 한다. 그리고 충격등에 기인한 限界壓力感知器의 예기치 않은 작동을 최소화하기 위하여 2개의 感知器를 각각 다른 면에 설치하여 사용하는 것이 바람직하다.

또한 感知器는 信號를 소화용기에 전달하여 抑制劑를 방출하는 주요한 기능을 갖는 장치로서 예측할 수 없는 폭발사고에 확실히 응답할 수 있도록 故障 監視 回路가 설치 되어야 한다. 美防火協會의 NFPA 69 基準에서도 制御盤은 感知器 및 消火容器의 回路斷線이나 기타 故障를 감시하는 機能을 갖도록 규정하고 있으며, 또한 상용전원의 고장에 대비하여 豫備電源등이 구비되어야 한다. [그림 5-5]는 制御盤의 예를 나타낸 것이다.



[그림 5-5] 制御盤(Control unit)

3. 抑制劑 및 容器(Suppressors)

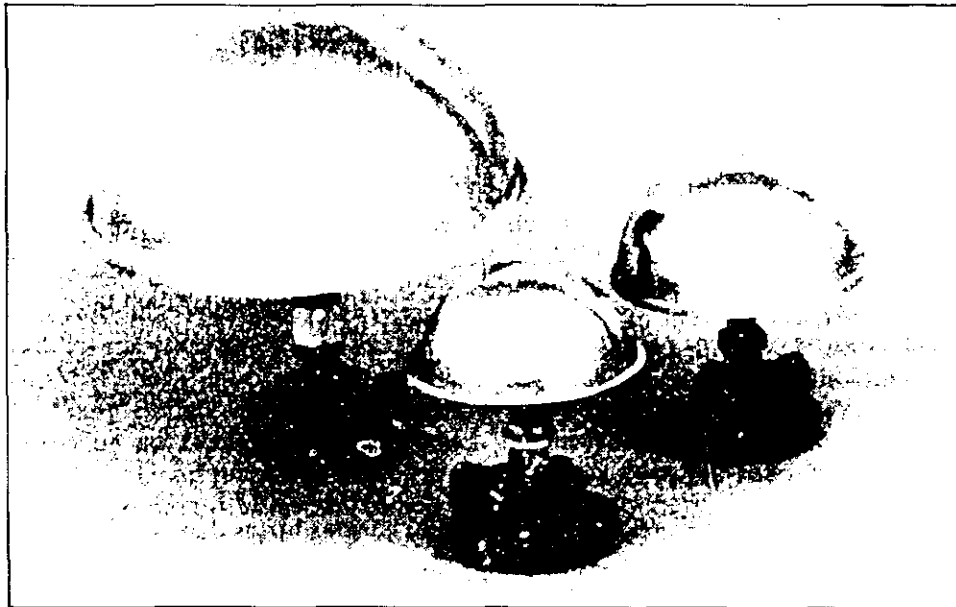
가. 抑制劑容器

抑制劑를 저장하는 데 사용되는 抑制劑容器는 제조자에 따라서 다양한 형태로 제작되고 있으나 어떤 형태든지 制御盤의 신호에 의해 고속으로 抑制劑를 방출할 수 있는 기능을 가져야 한다.

다음에 이들 抑制劑容器(抑制器)의 종류에 대해서 간단히 기술하고자 한다.

(1) 半球形 抑制器(Hemispherical Suppressor)

이 억제기는 [그림 5-6]에 나타난 바와 같이 半球形으로서 化學的雷管 (Chemical detonator)에 의해서 작동된다. 雷管의 점화는 抑制劑 방출이 용이하도록 약한 반구모양의 둥근지붕(Dome) 구조로 되어 있다. 抑制劑의 초기속도는 대략 200 m/sec이며 억제기는 대체로 10~30 msec 내에 방출이 완전하게



[그림 5-6] 半球形 抑制器(Hemispherical suppressor)

완료된다. 半球形 抑制器는 抑制劑의 용량이 비교적 적어 대체로 0.005 m³ 정도이며 단지 液體抑制劑에 한하여 사용되고 있다. 또한 그들은 플랜트내부에 직접 장착되며 그들의 한정된 방출거리(<2.5 m) 때문에 주로 설비의 용량이 적은 경우에 사용된다. 그리고 이 억제기는 고온(>60 ℃)으로 운전되는 공정에는 적절하지 않다.

(2) 高速放出容器(High Rate Discharge Bottle, HRD)

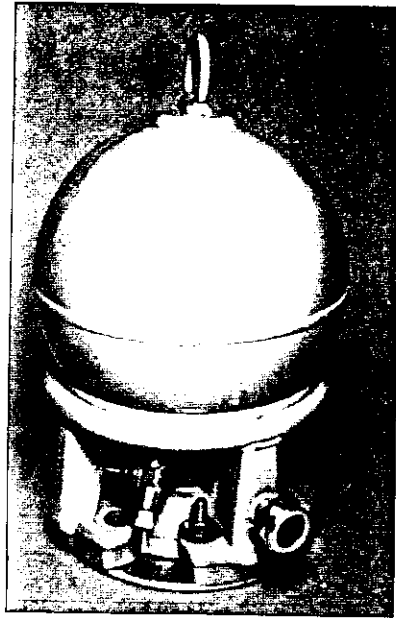
高速放出容器([그림 5-7] 참조)는 가장 흔히 사용되는 억제기로서 여기에는 대부분의 抑制劑를 저장할 수 있으며 크기는 0.003 m³~0.1 m³ 정도가 많이 사용된다. 큰 억제기의 경우 60 kg의 抑制劑를 저장할 수 있다. 억제기는 질소에 의해 高壓으로 가압되며 일반적으로 20~120 bar 범위로서 高壓은 용기의 출구를 밀봉함으로서 용기내에 수용된다. 고속방출용기의 출구크기는 다양(통상 76 mm)하며 각 용기는 하나 또는 두개의 출구를 갖는다. 이 고속방출용기는 앞의 억제기와 달리 방호하고자 하는 설비의 외부에 장착된다. 抑制劑는 출구 파이프를 통하여 이동, 설비내부로 방출되며 Pepperpot 노즐을 통하여 방출된다. 抑制劑를 高速으로 방출하는 抑制器는 억제장치에서 가장 중요한 부분으로 高速으로 작동시키기 위해서 용기의 개방기구에는 破裂板과 電氣雷管을 조합한 것이 사용되고 있다. 高速放出消火容器(High rate discharge extinguisher)라 불리는 억제기는 일반적으로 용기내에 加壓用窒素와 抑制劑가 충전되어 있어 感知器의 감지에 의해 電氣雷管이 발파되고 파열판이 파괴되면서 加壓用窒素의 힘으로 抑制劑가 분사된다.

억제기는 다음 요구조건을 고려하여 설치되어야 한다.

- (1) 高質量放出率
- (2) 효과적인 분사를 위한 抑制劑의 高速放出速度
- (3) 抑制劑의 분산을 위한 적절한 角度

高質量放出率 및 放出速度는 억제기 출구의 직경 및 추진제 압력의 크기정도

그리고 출구와 노즐 사이에 굽힘과 같은 흐름의 제한등에 따라 달라진다. 抑制劑의 分散角度는 抑制劑의 속도와 노즐의 상세한 설계에 따라 좌우된다. 대체로 HRD용기는 폭발감지 10 msec 이내에 분사되어 대략 100 msec 이내에 전 내용물을 방출하게 된다.



[그림 5-7] 球形 高速放出容器(Spherical high rate discharge bottle)

나. 抑制劑(Suppressant)

抑制劑는 대상으로 되는 가연물의 종류 및 설비의 형상등을 고려하여 가장 有效한 것을 선택하여 사용해야 한다.

폭발은 가연성연료-공기혼합물중으로 자유롭게 연소파가 전파되며 전파메카니즘은 물리 또는 화학적으로 제어될 수 있다. 분진폭발의 경우를 예를 들면 분진입자들 사이에 열전달은 보통 분진폭발의 전파율을 제어하기 위해 고려되어야 한다. 따라서 대부분 분진폭발을 억제시키기 위해서는 연소파를 억제하는 것이

기본이다.

(1) 粉末消火劑(Dry Powder)

암모니움 포스페이트(Ammonium phosphate)는 분말소화약제의 구성성분으로서 가장 흔히 사용되고 있다. 粉末抑制劑는 억제효과가 크고 감지부의 설계에 여유를 가질 수 있지만 주요 문제는 작동될 경우 생산물질이 抑制劑로 오염되고 작동 후 분말의 제거가 용이하지 않아 생산설비에 있어서는 사용예가 많지 않다. 특히 高價食品의 경우등에는 사용할 수 가 없으며 주로 폐기처리용 분쇄기 등에 사용되고 있다. 粉末抑制劑는 아주 고압으로 加壓(60~120 bar)되어 있는 바 이 압력은 방호되는 밀폐설비의 전부분으로 확산되고 설비내에 압력증가를 초래하게 된다.

(2) 할로겐화물 消火劑(Halone)

일반적으로 가연물과 산소에 의한 燃燒反應에 대하여 화학적으로 逆觸媒作用에 의하여 억제를 행하는 할로겐화물 소화제가 많이 사용되어 왔다. 지금 까지 사용되어 온 할론은 증발하는 액체 Halogenated hydrocarbons 으로서 가장 광범위하게 사용되는 것은 할론 1011(CH_2ClBr)이며 할론 1211(CF_2ClBr)과 같이 억제효과가 우수하고 독성이 적다. 그리고 할론 2402($\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$) 및 할론 1011은 억제효과와 작동 후의 처리가 容易하다는 점에서 좋으며, 할론 1301(CF_3Br)는 내부의 구조가 복잡하여 擴散性이 좋은 抑制劑가 필요한 경우나 특히 人體에 대한 安全性이 요구되는 경우에 효과적이다. 그러나 최근 할론 소화제는 오존층 파괴가 문제시 되어 사용이 규제되고 있다. 對替消火劑에 대해서는 當研究院 研究報告書(化學研 94-1-14)에 상세하게 기술되어 있기에 생략한다.

(3) 물

물은 소화작용이 냉각효과가 주로서 억제효과는 할로겐화물 소화제 보다 못하며 물질에 따라서는 물로서 억제될 수 없는 경우도 있다. 그러나 식품공업등에

서는 안전성 측면을 고려하여 물을 사용하는 경우가 많다. 물은 할론 보다도 더 큰 용량이 요구되는 데 이는 물의 낮은 밀도와 낮은 열전달성 때문이다. 더구나 분진의 경우 많은 분진표면을 젖게할 수 없다. 그리고 물을 기본으로 하는 抑制劑는 설비의 외부에 장착시 동결등의 문제점이 있다. 따라서 제조처에 따라서는 동결방지용 염을 사용하는 경우가 있다.

이상의 抑制劑에서 폭발등급을 기준으로 보면 일반적으로 할론, 물 및 분말소화제는 St 1 폭발을 소화할 수 있으며, 할론의 경우는 분진폭발에 대해서 물이나 분말소화제가 이들 폭발을 만족스럽게 억제할 수 있는 것과 달리 적절하지 않다.

참고로 이들 抑制劑에 대한 특성을 <표 5-1>에 비교 요약하였다.

<표 5-1> 抑制劑의 종류별 특성비교

고 려 항 목	분말소화제	할 론	물
독 성	없 음	약 간	없 음
오염성	있 음	약 간	제품 적심
분해성	없 음	있 음	없 음
분진폭발등급	St 1 및 St 2	보통 단지 St 1	친수성 St 1 및 St 2

第 6 章 爆發抑制裝置의 設計指針

1. 適用對象設備

爆發抑制裝置는 가연성가스, 미스트 또는 粉塵등에 의한 폭발의 위험이 있는 다음과 같은 밀폐된 설비에 설치될 수 있다.

- (1) 반응기, 배합기(Blender), 혼합기(Mixer), 미분쇄기, 제분기, 건조기, 오븐, 여과기, 스크린 및 집진기 등 공정설비류
- (2) 저장탱크, 호퍼 및 사일로등 저장설비류
- (3) 공기식 컨베이어, 스크루 컨베이어 및 버킷 엘리베이터등 분체이송설비류
- (4) 실험설비 및 시험생산설비(Pilot plant)등

그리고 爆發抑制裝置는 抑制劑가 효과적으로 분산될 수 있는 곳에 한하여 사용이 가능하며, 또한 그 공정에서 취급되는 물질의 물리화학적 성질을 고려하여 사용되어야 한다. 뿐만 아니라 爆發抑制裝置는 가스상 酸化劑에 의해 폭발이 야기될 수 있는 시스템에 한하여 사용되어야 한다.

2. 設計時 考慮事項

爆發抑制裝置는 설비의 운전조건과 설비의 크기 및 형상 뿐만 아니라 취급물질의 특성에 따라 설계에 큰 차이가 있을 수 있다. 아무리 우수한 장치라 할 지라도 그것이 적절하게 설계되어 설치될 경우에 만이 그 효과를 기대할 수 있으며, 만일 잘못 설계되어 설치될 경우에는 미작동이나 오작동등으로 인하여 오히려 생산에 차질을 초래함은 물론 장치의 過信등으로 인하여 재해발생 위험성이 증가될 수도 있다. 따라서 爆發抑制裝置를 설계할 경우에는 다음 사항을 충분히

조사분석하고 검토하여야 한다.

- ① 취급물질의 爆發特性(最大爆發壓力, 爆發壓力 上昇速度等)
- ② 工程圖
- ③ 機器圖面
- ④ 運轉條件(온도, 압력, 물질의 농도범위 및 공기유량등)
- ⑤ 과거 폭발사고사례 및 그 원인
- ⑥ 기타 특기사항등

뿐만 아니라 공정내 잠재된 폭발위험의 종류와 그 정도를 파악하기 위하여 가연성물질의 형태, 가연성물질 대 酸化劑의 비, 방호대상물의 용적 및 운전조건등과 같은 인자도 상세하게 검토하여야 한다.

또한 爆發抑制裝置는 爆發傳播防止用 高速遮斷밸브의 작동, 爆發口의 破裂, 공기식 移送시스템등 관련설비의 정지, 非常警報 및 2차 재해방지를 위한 관련 消火設備의 가동등 각종 장치류와의 인터록을 고려하여야 한다.

3. 物質의 危險性評價

爆發危險性을 評價하는 爆發特性에는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 發火溫度
- ② 最小發火에너지
- ③ 爆發下限界濃度
- ④ 最大爆發壓力
- ⑤ 爆發壓力 上昇速度等

따라서 爆發抑制裝置를 설치할 경우에는 상기 데이터를 충분히 검토하여 적절하게 설치하여야 한다. 粉塵의 경우 이들 데이터를 이용하여 그 위험성을 상대적으로 평가하는 방법으로는 미국 내무성광산국에서 고안된 Pittsburgh coal

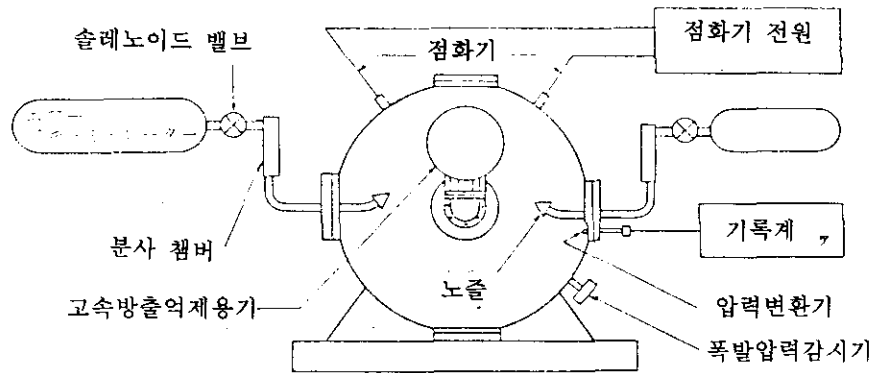
粉塵을 표준으로 하여 구한 指數가 잘 알려져 있으며, 또한 Cubic law에 의해서 구한 定數가 있다. 후자는 다음 식에 의해서 구할 수 있으며 물질마다 고유한 값을 갖는다.

$$(dp/dt)_{\max} \cdot V^{1/3} = K_{st}(\text{bar} \cdot \text{m}/\text{sec}) \quad (6-1)$$

여기서 $(dp/dt)_{\max}$ 는 爆發壓力 最大上昇速度, V 는 용기의 부피 그리고 K_{st} 는 삼승근법상수이다. 이 값은 容積이 작은 실험용기(1 m³ 정도)에서 구하여 지며 같은 형상의 실규모설비에 있어 압력상승을 예측하는 데 이용된다.

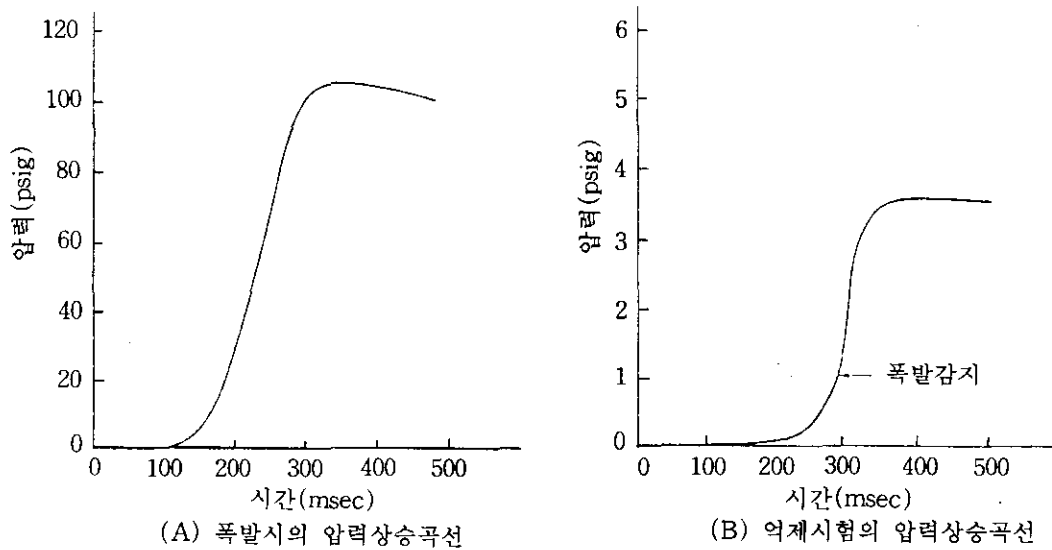
폭발억제를 위한 적절한 抑制劑의 종류와 그 농도는 억제시험에 의해 최적인 것을 선택하여야 한다. 억제시험은 폭발을 억제할 수 있는 지를 판정하는 것으로 가장 격렬한 폭발조건에서 시험하는 것이 바람직하다. 그리고 가스 및 증기의 경우는 化學量論濃度 그리고 粉塵의 경우는 설비에서 취급되는 가장 미세한 粒子를 사용하는 것이 바람직하다.

다음에 참고로 Pittsburgh coal粉塵을 사용한 폭발실험 및 억제시험의 한 예를 제시한다. 실험장치 및 조건의 개요는 [그림 6-1]과 같으며 샘플粉塵은 분사챔버에서 압축공기로 용기내에 산포된다. 점화는 중심부의 전기스파크를 이용하여 폭발압력은 압력변환기로 측정하여 기록한다. 또한 억제시험에서는 압력感知器와 高速放出消火容器를 사용하며 실험결과와 한 예를 [그림 6-2]에 나타내었다. [그림 6-2](A)는 폭발시험의 壓力上昇曲線으로서 압력은 150 msec에서 아주 급격하게 상승되어 최고압력이 106 psig(7.5 kg/cm²)에 달함을 알 수 있다. 반면에 [그림 6-2](B)는 억제시험의 壓力上昇曲線으로서 억제된 압력은 6 psig(0.25 kg/cm²)임을 알 수 있다. 참고로 粉塵爆發의 위험성등급을 <표 6-1>에 나타내었다.



- (1) 샘플분진 (Pittsburgh coal 분진) : 입도 200 메시 85 %
 - (2) 시험용기용적 : $1.9 \text{ m}^3 (67 \text{ ft}^3)$
 - (3) 분진농도 : $500 \text{ g/m}^3 (0.5 \text{ oz/ft}^3)$
 - (4) 착화원 : 방전스파크(실험용기 중심에 설치)
 - (5) 소화제 : 할론1011(농도 1 l/m^3)
 - (6) 감지기 : 작동압력 350 mmAq(0.5 psig)
- * (5), (6)은 억제실험조건

[그림 6-1] 爆發抑制試驗裝置 例



[그림 6-2] 爆發 및 抑制試驗時의 壓力上昇曲線(67 ft^3 구형용기, 0.5 oz/ft^3 Pittsburgh coal 粉塵)

〈표 6-1〉 粉塵爆發 危險性等級

분진 폭발 등급	K _{st} (bar·m·s ⁻¹)		폭 발 특 성
	약한 발화원 (대략 10 W·s)	강한 발화원 (대략 10,000 W·s)	
St-0	0	0	비 약 강 폭 주 함 발 함
St-1	≤ 100	≤ 200	
St-2	100-200	≤ 201-300	
St-3	> 200	> 300	

4. 爆發抑制效果

방호하고자 하는 설비에 있어서 폭발억제에 의한 爆發壓力の 低減效果는 다음에 나타난 感知器 및 抑制劑의 각 항목에 따라 좌우되는 경우가 많다.

(1) 感知器(Detector)

- ① 타입
- ② 폭발이 감지되는 限界壓力

(2) 抑制劑(Suppressant)

- ① 抑制效率
- ② 抑制器 數
- ③ 抑制劑 質量
- ④ 抑制劑 放出速度
- ⑤ 抑制劑 散布程度

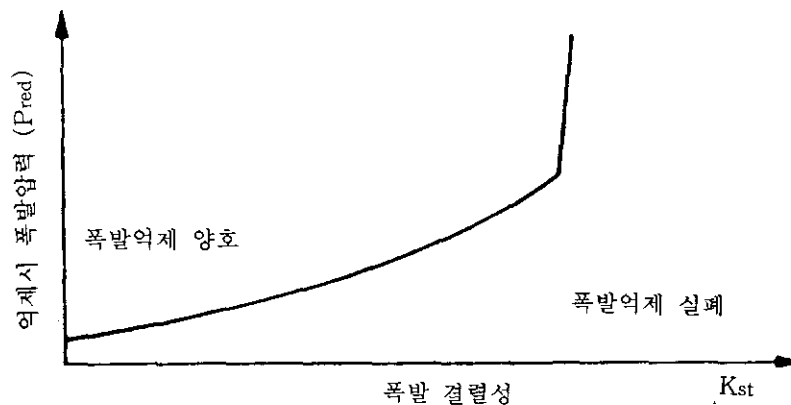
따라서 방호하고자 하는 설비 및 취급물질을 충분히 고려하여 억제장치는 적절하게 선택, 설계하여야 한다.

5. 爆發抑制試驗

설계에 앞서 먼저 抑制劑의 종류와 수, 爆發感知器의 한계압력등에 의한 폭발 억제효과를 충분히 검토하여야 한다. 이는 적절한 시점에 억제를 시작하여 설비의 耐壓強度를 초과하지 않도록 압력을 억제하는 설계의 기초자료가 되기 때문이다. 설계는 시험용기에서 폭발억제를 수행한 결과 얻어진 실험결과를 해석함은 물론 많은 경험을 토대로 하여야 한다. 폭발시험은 특정 폭발시스템의 종류에 따라 선택된 시험용기내에서 수행됨으로서 억제된 폭발압력의 결과가 측정되어야 한다. 따라서 다음 변수 중 어느 하나를 독자적으로 변화시키면서 몇가지 시험이 수행되어야 한다.

가. 爆發의 激烈性

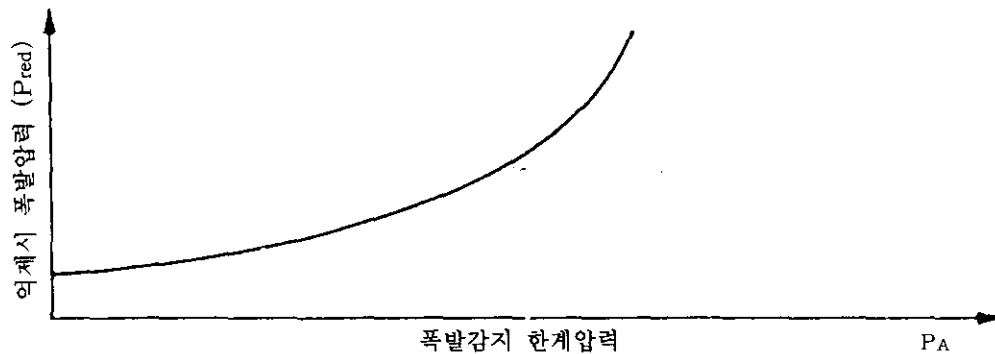
선택된 시험용기내에서 폭발위험에 대한 특정 폭발억제시스템의 적용범위를 결정하기 위한 일련의 평가방법중의 하나이다. 이 평가는 폭발 감지압력과 억제기의 수를 일정하게 하여 가연성물질의 爆發激烈性 즉, 爆發指數 K_{st} 를 변화시키면서 폭발억제시의 爆發壓力(P_{red})을 측정함으로써 억제정도를 파악하는 방법이다([그림 6-3] 참조).



[그림 6-3] 爆發抑制時 爆發壓力(P_{red})에 대한 폭발격렬성

나. 爆發感知器의 感知壓力

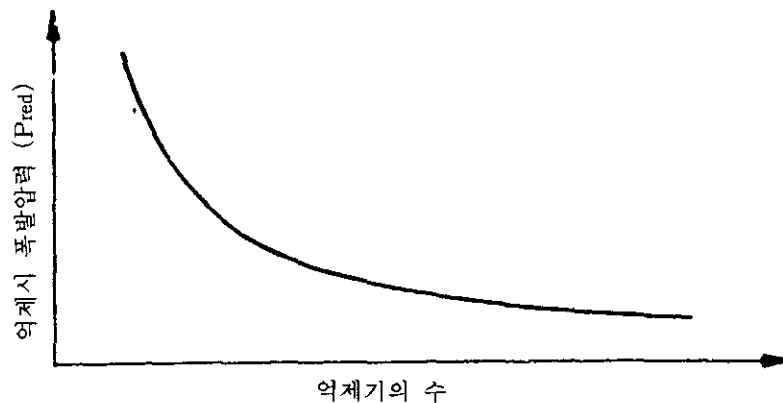
선택된 시험용기에 설치된 특정 폭발억제시스템의 적용범위를 결정하기 위하여 爆發指數 K_{st} 및 억제기 수를 일정하게 하여 感知壓力(센스 응답)의 범위에서 일정한 격렬성을 갖는 폭발에 대하여 평가하는 방법이다([그림 6-4] 참조).



[그림 6-4] 爆發抑制時 爆發壓力(Pred)에 대한 폭발감지 한계압력

다. 설치되는 抑制器의 수

큰 시험용기에 다중으로 설치된 폭발억제기의 적용범위를 평가하기 위하여 爆發指數 K_{st} 와 感知壓力을 일정하게 하여 폭발격렬성을 평가하는 방법이다([그림 6-5] 참조)



[그림 6-5] 爆發抑制時 爆發壓力(Pred)에 대한 抑制器 數

폭발억제시스템의 효과를 평가하는 방법은 BS 6713, ISO 6184 Part 4 및 DIN EN 26 184 Part 4에 규정되어 있다. 또한 Thumb formulae의 법칙과, 수학적 모델 그리고 컴퓨터 시뮬레이션등에 의해 시험결과를 유용하게 해석하기 위한 방법이 폭발억제시스템의 공급자에 의해서 개발되어 왔으며 실제 설계목적으로 사용되고 있다.

특정공정에서 폭발억제시스템을 효과적으로 설계하기 위해서는 잠재적인 폭발 위험성의 크기를 예측하는 것이 중요하며 이를 위해서는 다음 정보가 필요하다.

- ① 最大爆發壓力과 爆發壓力 上昇速度等 폭발특성
- ② 플랜트 구성요소의 幾何學的 形相
- ③ 설비의 耐壓強度
- ④ 압력, 온도등 運轉條件
- ⑤ 亂流(Turbulence)等 공정상태

6. 爆發抑制試驗 結果解析

폭발억제시스템에 대한 爆發抑制時 爆發壓力(P_{red})을 구하는 것은 그 시스템의 효율과 시스템이 적용되는 산업플랜트의 最小設計強度(Minimum design strength)를 결정하기 위해서이다. 상기 5의 나. 및 다.에서 언급된 시험절차에 의해 폭발억제시스템의 적용범위를 결정할 수 있다. 이 시험결과에 의해 다음 사항을 해석하는 것이 가능하다.

- (1) 시스템에 의해 억제될 수 있는 가장 격렬한 폭발
- (2) 폭발을 억제하기 위한 最大感知壓力
- (3) 다른 容積에 대한 시험결과와의 응용
- (4) P_{red} 측정결과를 서로 관련시킨 억제시스템 효과

7. 感知器(Detector)

感知器는 앞에서 설명한 바와 같은 이유로 인하여 대다수의 시스템에서 壓力感知器가 사용되며 폭발을 가능한 빠르게 감지할 수 있도록 가능한 발화원에서 근접한 위치에 설치되어야 한다. 壓力波는 音速으로 전파되는 것으로 발화원으로부터 感知器까지의 거리에 비례하여 감지가 늦어질 수 있다. 따라서 설비의 형상이 극단적으로 좁고 긴 경우나 용적이 큰 경우에는 感知器를 2개 이상 설치하여야 한다. 또한 배관이나 닥트내를 전파하는 압력파를 검출할 경우에는 感知器를 일정 간격으로 설치하는 것이 바람직하다. 그리고 진동이나 충격에 의한 오작동을 방지하기 위하여 맨홀이나 점검구 부근에는 설치하지 않아야 하며 필요시 진동을 흡수하는 장치를 연결 설치하거나 感知器를 2개 설치하여 점점을 시리즈로 접속하여 사용하는 것이 바람직하다.

다음과 같은 경우에는 紫外線感知器가 효과적이다.

- ① 설비가 개방되어 있어 압력이 상승되지 않는 경우
- ② 기계설비의 耐壓이 낮은 경우(150 mmAq 이하)
- ③ 작업자가 방호구역내에 있으며 압력감지가 늦은 경우
- ④ 容積이 작아서 壓力上昇率이 빠르고 압력감지가 늦은 경우

다만 紫外線感知器는 白熱燈, 螢光燈, 自然光 및 赤熱된 물체(火炎을 발하지 않는 상태)에는 반응하지 않지만 전기스파크, 鎔接아아크등에는 민감하게 반응한다. 따라서 이들이 감지되지 않도록 설치방법을 잘 고려하여야 한다.

다음에 感知器 설계시 반드시 고려되어야 할 사항을 요약하였다.

- (1) 연소과정에서 발생하는 압력증가 또는 복사에너지를 감지함으로서 폭발을 검출할 수 있어야 한다.
- (2) 설비의 정상운전압력이 비교적 낮을 때 즉, 12.7 psia(87.5 kPa abs.) 이하인 경우는 壓力上昇率에 감응하는 感知器가 사용되어야 한다.

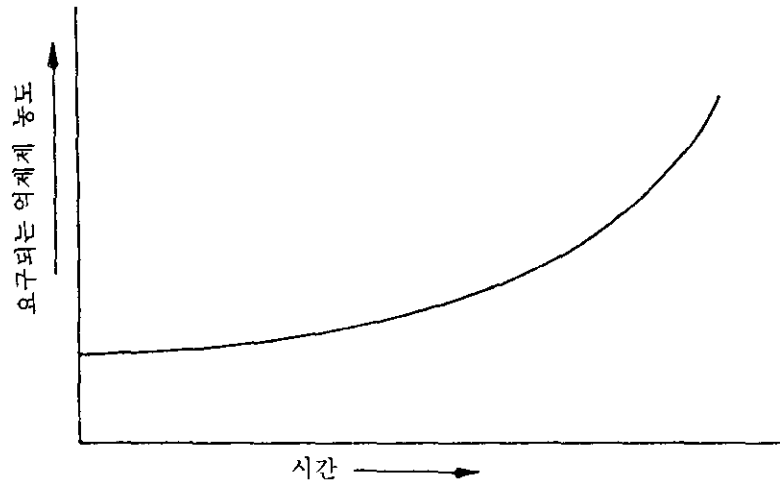
- (3) 설비의 정상운전압력이 대략 대기압이거나 비교적 일정할 경우에는 고정된 압력상승에 감응하는 感知器가 사용되어야 한다.
- (4) 초기단계의 압력증가가 어려운 즉 대기에 개방된 설비의 경우는 복사에너지에 감응하는 感知器가 사용되어야 한다.
- (5) 복사에너지에 감응하는 感知器는 설비등에 의하여 엄폐되지 않도록 설치되어야 한다.
- (6) 감지회로는 연속적으로 감시되어야 하며 감시시스템은 만일 感知器回路에 결함이 발생할 경우 警報를 발할 수 있어야 한다.

8. 抑制劑(Suppressant)

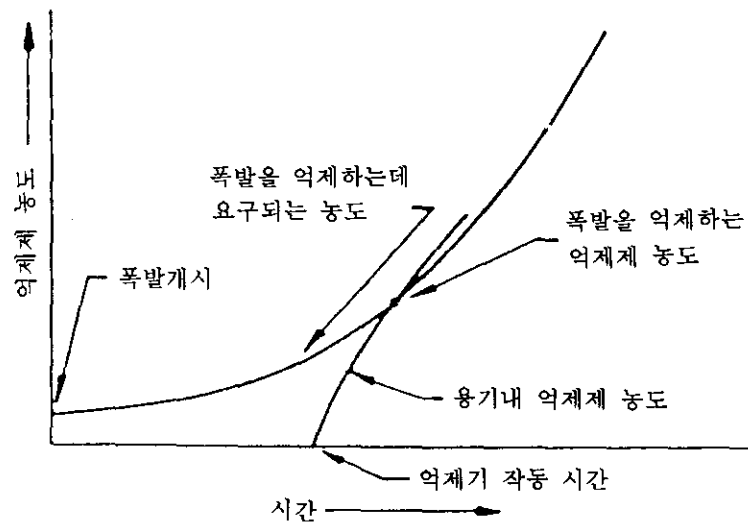
抑制劑는 억제시험에 따라서 적절한 종류와 필요한 농도를 구하여 사용하여야 한다. 다음에 필요한 抑制劑의 전량이 방호하고자 하는 설비내부의 전장소로 일시에 방출될 수 있도록 용기의 용량과 수를 정하고 설치장소를 결정하여야 한다. 설비의 형상이 변칙적이고 내부에 격리판등이 설치되어 있어 한 방향에서 全域으로 방출될 수 없을 경우에는 보다 작은 용량의 용기를 분할하여 여러 방향에서 방출되도록 설계하여야 한다.

억제기의 내용물이 일정 시간에 걸쳐 용기내로 방출된다면 용기내의 抑制劑濃度는 시간의 함수이다. 放出速度의 시간과 방출되는 량의 변화는 억제기의 구체적인 기계적인 설계사양 및 출구의 굵어짐 같은 어떤 장애물에 따라 달라질 수 있다. 폭발을 억제하기 위하여 요구되는 抑制劑의 농도는 폭발압력이 시간과 함께 증가하기 때문에 [그림 6-6]에 나타난 바와 같이 증가한다. 즉 抑制劑가 늦게 공급되면 될 수록 抑制劑의 량이 더 많이 요구된다. 그리고 억제를 성공시키기 위해서 공급되는 抑制劑의 농도는 [그림 6-7]에서 요구되는 농도에 준하여야 한다. 만일 충분한 량의 抑制劑가 충분히 빠른 속도로 공급될 경우에 한하여 폭발은 소멸되어 압력상승이 정지하게 된다. 만일 이 감소된 최대압력이 플렌트

의 耐壓強度 보다 적으면 억제는 성공적이 될 것이다.



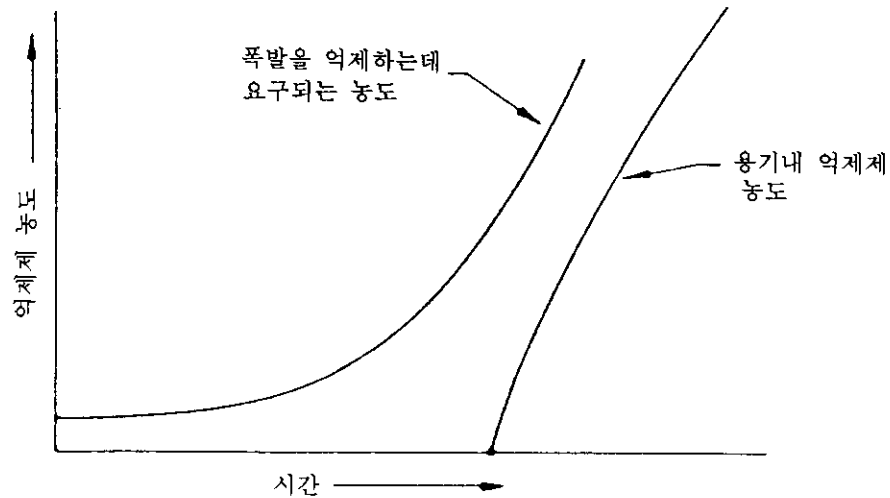
[그림 6-6] 爆發抑制의 시간에 대해 요구되는 抑制劑濃度の 증가



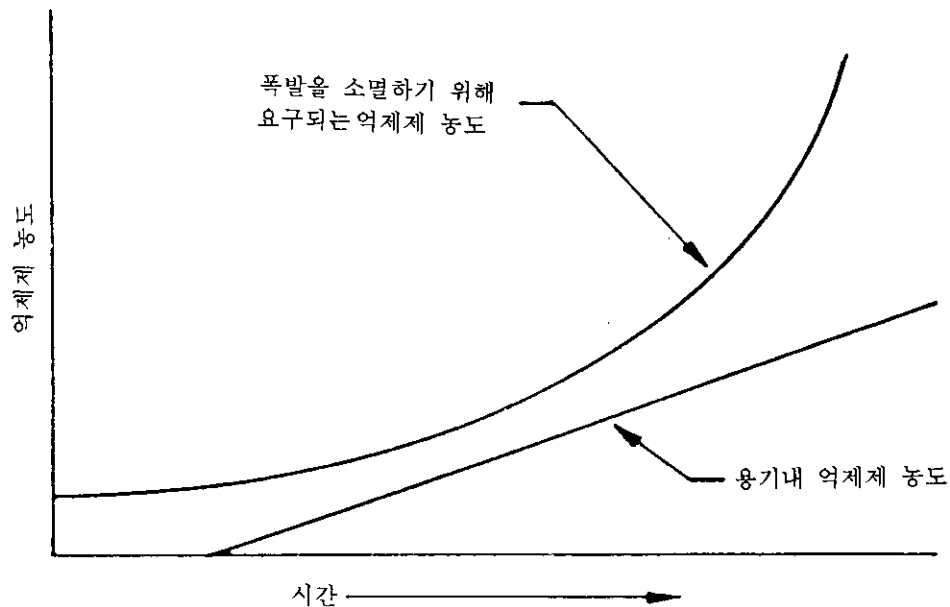
[그림 6-7] 억제시 공급되는 抑制劑濃도와 요구되는 抑制劑濃度

그리고 억제장치가 플렌트의 방호에 실패하게 되는 경우는 [그림 6-8]~[그림 6-10]과 같은 경우로서 [그림 6-8]은 폭발이 너무 늦게 감지된 경우, [그

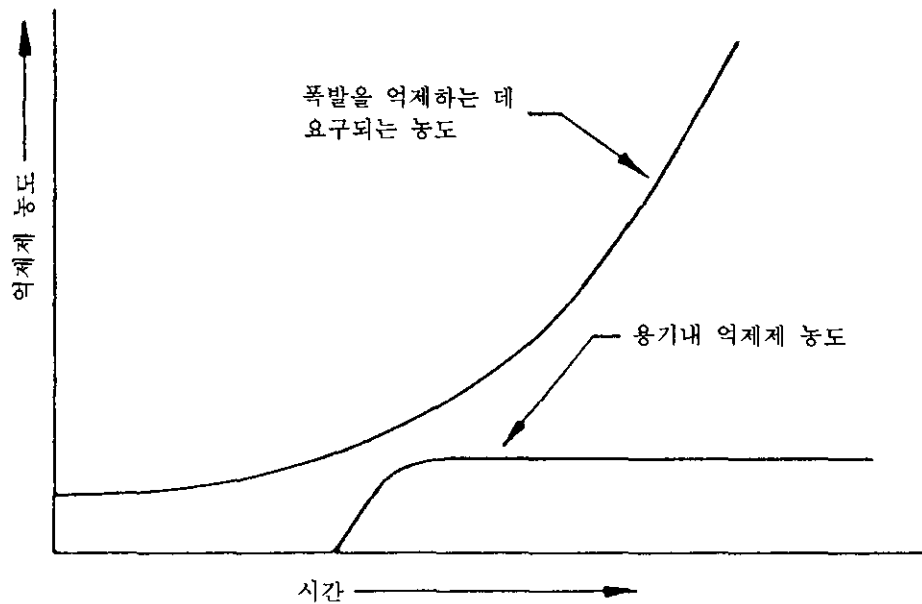
그림 6-9]는 抑制劑의 放出速度가 너무 늦은 경우 그리고 [그림 6-10]은 抑制劑의 量이 너무 적은 경우에 해당된다. 따라서 효과적으로 폭발을 억제하기 위해서는 적절하게 설계사양을 결정하여야 한다.



[그림 6-8] 感知가 너무 늦어 억제가 실패한 경우의 시간에 대한 抑制劑濃度



[그림 6-9] 抑制劑 放出速度가 너무 늦어 억제가 실패한 경우의 시간에 대한 抑制劑濃度



[그림 6-10] 抑制劑量이 부족하여 억제가 실패한 경우의 시간에 대한 抑制劑濃度

아울러 억제기 설계시 고려되어야 할 사항으로서 抑制劑는 밀폐된 방호대상설비 내에서 취급되는 가연성물질에 적합한 것을 사용하여야 하며 예상되는 최대 온도에서도 작동될 수 있는 抑制劑를 선택하여 사용하여야 한다.

9. 電氣雷管

電氣雷管은 高速放出消火容器내에 가압에 의해 충전되어 있는 抑制劑를 制御盤의 신호에 의해 전기적으로 발포함으로써 抑制劑를 방출하는 장치이다. 폭발억장치 설계시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 高速放出消火容器에는 電氣雷管이 장착, 抑制劑 방출에 사용되어야 한다.

- (2) 電氣雷管은 최대사용온도를 초과하지 않는 위치에 설치되어야 한다.
- (3) 電氣雷管의 배선회로는 연속적으로 감시되어야 한다.
- (4) 감시시스템은 電氣雷管의 회로에 이상이 발생할 경우에는 경보를 발할 수 있어야 한다.
- (5) 電氣雷管은 제조처의 사양에 적합한 전기에너지원이 사용되어야 한다.

10. 制御盤(Control unit) 및 電氣配線

가. 制御盤

制御盤은 感知器로 부터 입수된 정보를 분석하여 高速放出消火容器를 구동시키는 위한 정격전류 및 전압을 출력하는 장치로서 설계시 반드시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 制御盤에는 예비축전지가 내장되어야 하며 예비축전지의 용량은 당해 爆發抑制裝置에 연결된 모든 電氣雷管및 警報器등을 작동하기에 충분하여야 한다.
- (2) 制御盤에는 회로의 개방 및 접지, 주전원 및 축전지전원의 이상등 결함을 검출할 수 있는 監視回路가 있어야 하며 이 監視回路는 시각적 결함표시기와 연동되어 있어야 한다.
- (3) 制御盤은 사업장 방폭구조 전기기계, 기구, 배선등의 선정, 설치 및 보수 등에 관한 기준에 적합하게 설치되어야 한다.

나. 電氣配線

전기배선은 다음 사항을 고려하여 설치하여야 한다.

- (1) 爆發抑制裝置 및 장치구성품 사이에 모든 배선은 接地되어야 하고 유도전

류를 방지할 수 있도록 가능한 기타 배선으로 부터 격리 및 차폐되어야 한다.

(2) 전선관은 습기 및 기타 汚染物의 浸透를 방지할 수 있도록 密封되어야 한다.

(3) 전선관이 여러 爆發抑制裝置의 배선용으로 사용될 때 각 억제장치에 배선 배관은 분리 사용되거나 아니면 각 장치는 차폐 케이블에 의해 보통 전선 관내에 배선되어야 한다.

11. 設置時 留意事項

爆發抑制裝置의 각 구성품이 적절하게 선정되었다 할 지라도 그들이 적절한 장소에 설치되지 않으면 많은 문제점을 야기하게 된다. 특히 유의하여야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 爆發抑制裝置의 모든 구성품은 시스템 설계자에 의해 규정된 위치 및 방법에 따라 설치되어야 한다.

(2) 感知器와 抑制劑 방출노즐은 주위환경 또는 振動等에 의해 결함이 야기되지 않도록 설치되어야 한다.

(3) 抑制劑 방출노즐은 방호대상설비내의 어떤 부속장치나 구조물등에 의하여 손상 또는 방해받지 않도록 설치되어야 한다.

(4) 感知器 및 高速放出消火容器는 異物質의 축적이 보호될 수 있도록 설치되어야 한다.

(5) 端末裝置 및 구성품은 濕氣 및 기타 오염물질로 부터 보호되어야 한다.

(6) 爆發抑制裝置의 설치위치는 각 구성품의 최대사용온도를 초과하지 않는 곳에 위치하여야 한다.

12. 傳播防止

앞의 방호대책에서 기술한 바와 같이 폭발이 발생된 설비에서 타 설비로 화염의 전파를 방지하는 각종 방법이 있다. 그러나 爆發抑制裝置도 전파방지에 이용될 수 있다. 즉 각종 설비가 배관이나 닥트로 접속되어 있는 경우에는 배관이나 닥트에 억제기를 설치하고 感知器를 설비에 설치함으로 폭발시 화염전파를 방지할 수 있는 바 설계시 반드시 이를 고려하여야 한다.

13. 檢査 및 補修維持

爆發抑制裝置는 고도의 정밀성을 요하는 장치로서 검사 및 보수유지에 철저를 기하여야 한다. 만일 관리를 잘 못할 경우에는 誤作動에 의한 방출등은 물론 관련 설비와의 인터록등으로 많은 문제점이 야기될 수 있다. 점검 및 보수유지와 관련하여 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 爆發抑制裝置는 장치 제조처에 의해서 훈련된 작업자에 매 3개월 마다 완전하게 검사 및 시험되어야 한다.
- (2) 高速放出消火容器는 누출여부 및 抑制劑의 량이 점검되어야 하고 용기의 압력이 확인되어야 한다.
- (3) 高速放出消火容器의 순무게 감소가 5 %를 초과하거나 또는 순압력 감소(온도에 따른 변화량 고려)가 10 %를 초과할 경우에 그 용기는 재충전 또는 교체되어야 한다.
- (4) 爆發抑制裝置가 작동된 경우에는 모든 구성품을 재검사하고, 또한 필요할 경우 해당 부품을 교체 또는 조정하여야 한다. 그리고 폭발억장치의 부품

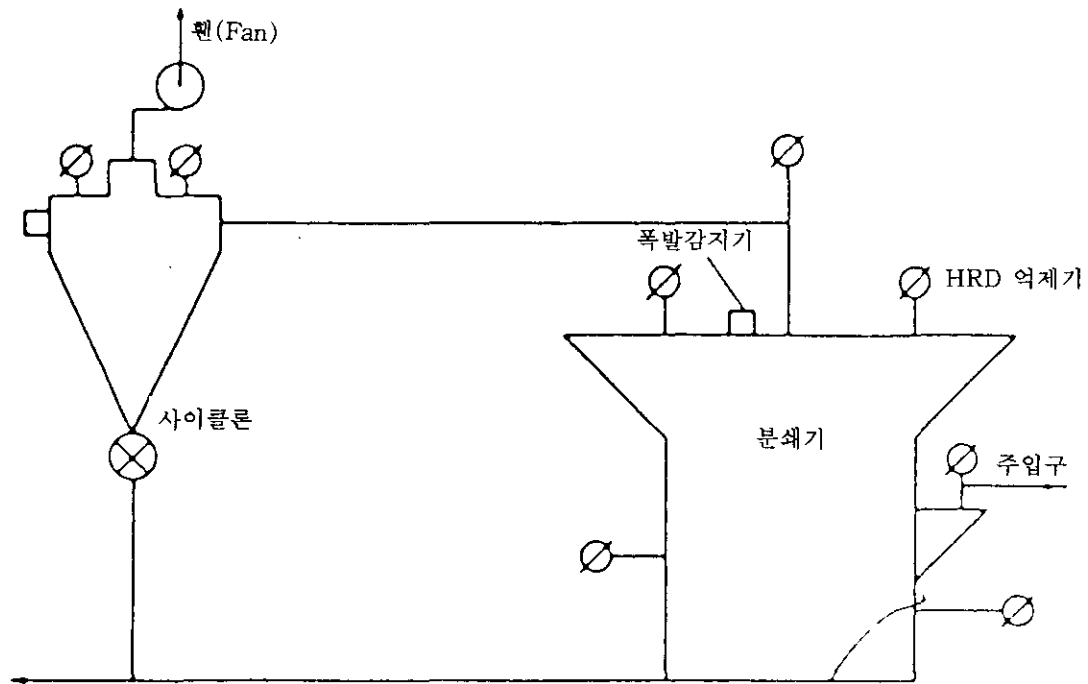
을 교체하거나 재조립한 경우에는 완전한 운전조건으로 그 기능을 복원하기에 앞서 그 성능을 시험하여 확인하여야 한다.

그리고 작업자의 안전을 위하여 爆發抑制裝置가 설치된 설비를 보수할 경우에는 보수작업을 수행하기에 앞서 장치의 기능을 해제시키거나 방호되는 설비가 억제장치의 콘트롤 패널과 연동되게 함으로서 작동이 되지 않게하여야 하고 또한 작업자는 보수작업에 앞서 안전절차에 관하여 충분히 훈련되어 있어야 한다.

第 7 章 爆發抑制裝置의 設置例

爆發抑制裝置는 앞장의 적용대상설비에서 제시한 바와 같이 각종 설비나 장치에 설치할 수 있으며, 실제 현장에서는 이들 설비나 장치에 爆發抑制裝置外에 각종 防護裝置를 병행하여 설치하는 경우도 있다. 여기서 설비별로 그 예를 참고로 제시하고자 한다.

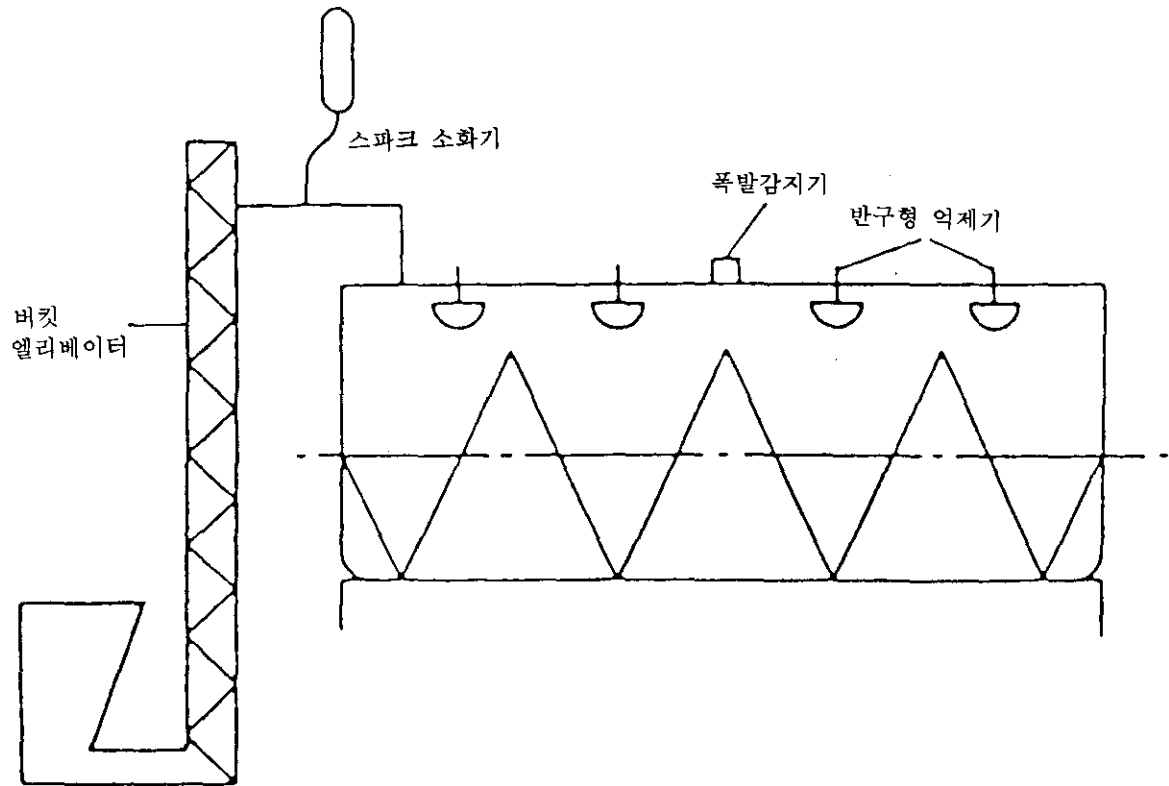
1. Coal 粉碎工程



[그림 7-1] 微粉炭燃料(Pulverised Coal fuel) 粉碎機 및 사이클론의 설치예

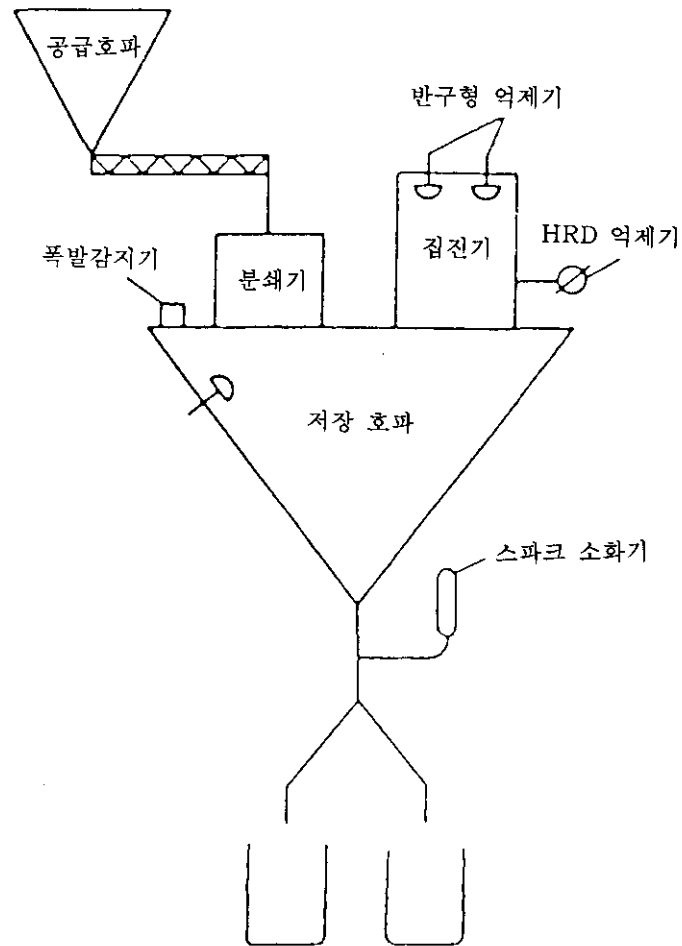
— 高速放出 粉末抑制器 사용

2. 雪糖製造工程



[그림 7-2] 攪拌병커(Stirring bunker)의 설치에

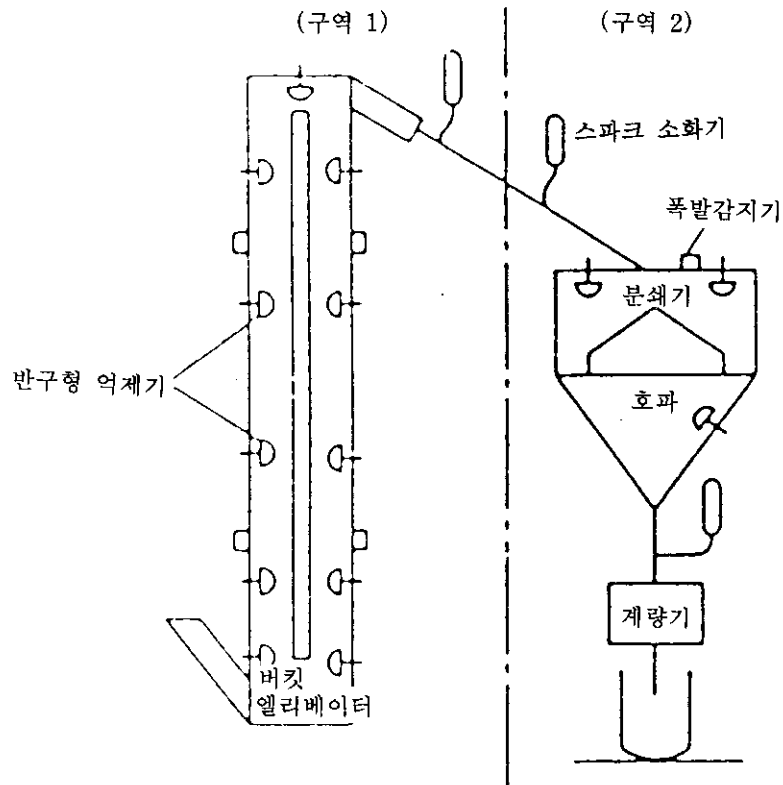
- 攪拌병커 : 반구형 억제기 할론 1011 사용
- 버킷 엘리베이터와 병커 사이 : 스파크 소화기



[그림 7-3] 粉碎機, 集塵機 및 호파(Hopper)의 설치에

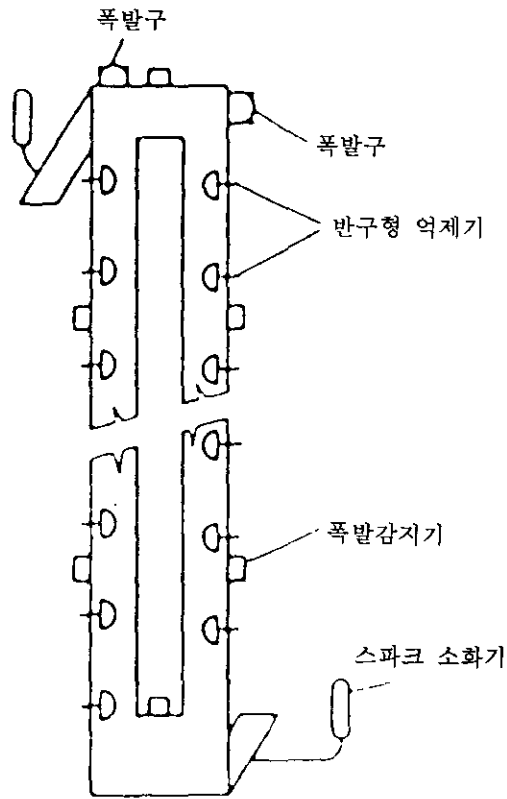
- 저장호파 : 粉碎機 근접위치에 감지기 및 반구형 억제기
- 粉碎機 : 耐壓設計
- 集塵機 : 2개의 반구형 억제기
- 集塵機 排出部 : 고속방출억제기
- 저장호파 排出部 : 스파크 소화기

3. 硫黃(Sulphur) 移送 및 粉碎工程



[그림 7-4] 버킷 엘리베이터(Bucket elevator) 및 粉碎機의 설치에

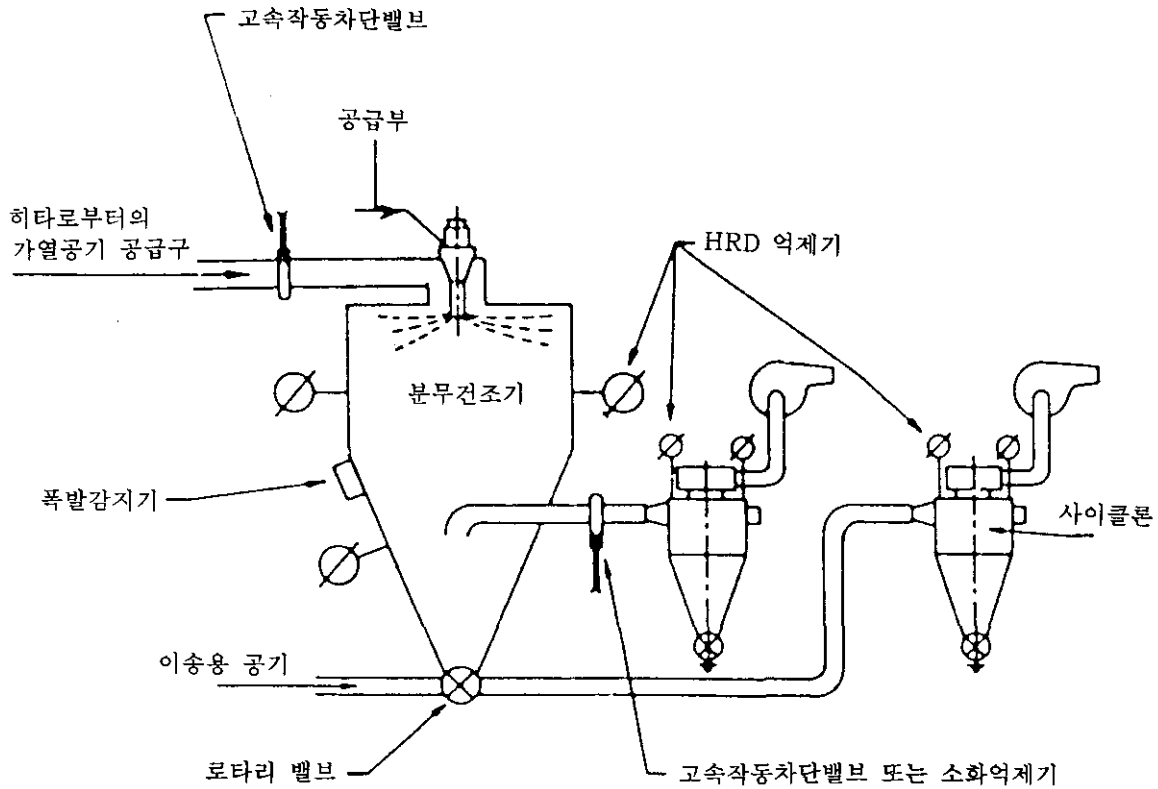
- 버킷 엘리베이터 및 粉碎機 연결부 : 스파크 소화기
- 버킷 엘리베이터, 粉碎機 및 호파 : 반구형 억제기



[그림 7-5] 버킷 엘리베이터(Bucket elevator)의 설치예(爆發口 병행 설치)

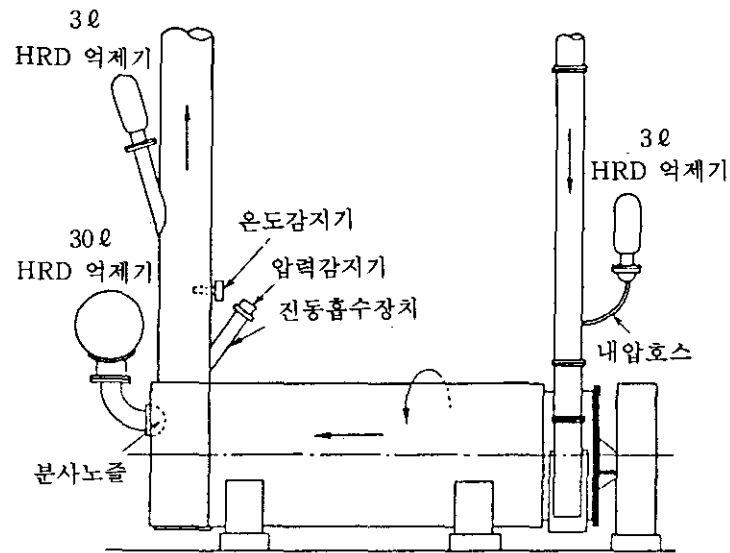
- Boot 및 Leg부 : 반구형 억제기
- Head부 : 爆發口
- 전후단부 : 스파크 소화기

4. 其他 乾燥工程



[그림 7-6] 噴霧乾燥機(Spray dryer)및 사이클론의 설치에

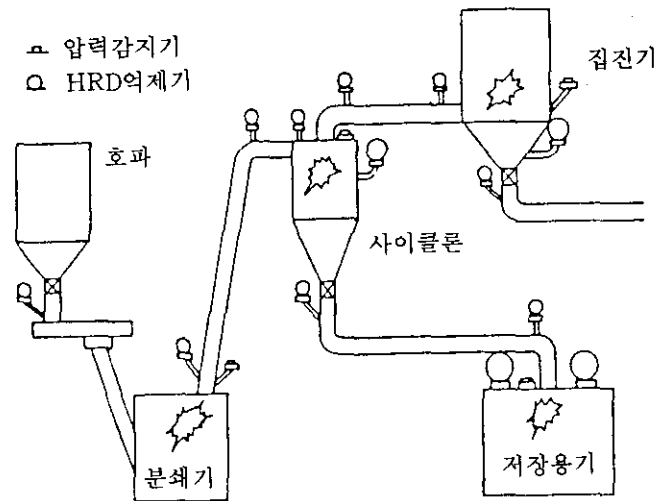
- 噴霧乾燥機 및 사이클론 : 압력감지에 의한 고속 방출억제기
- 噴霧乾燥機와 사이클론 연결부 : 고속작동차단밸브 및 스파크 소화장치
- 인터록 : 폭발억제기 작동시 전 시스템 자동정지
로타리밸브 자동정지
噴霧乾燥機 고속작동차단밸브에 의해 가열공기 공급차단



[그림 7-7] 回轉乾燥機의 설치예

— 乾燥機 및 배출·공급부 : 고속방출억제기

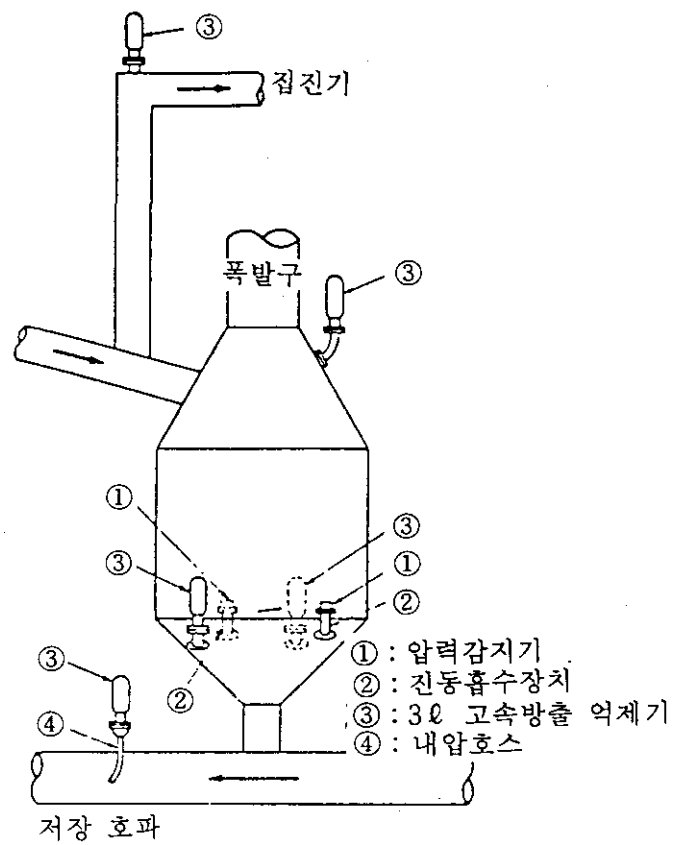
5. 其他 粉碎工程



[그림 7-8] 粉碎工程의 설치예

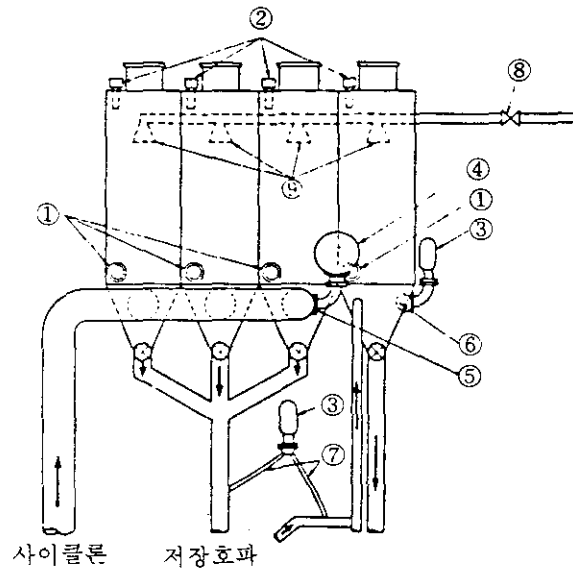
— 호파, 集塵機, 사이클론, 濾過集塵機 및

덕트 : 고속방출억제기



[그림 7-9] 粉碎機의 설치예

6. 濾過集塵機



1. 압력감지기 2. 온도감지기 3. 3ℓ 고속방출억제기
4. 10ℓ 고속방출억제기 5. Blow-out plug
6. Spreader 7. 내압호스 8. Delng valve
9. 스프링클 헤드

[그림 7-10] 濾過集塵機의 설치예

- 集塵機 하부 : 압력감지기 및 고속방출억제기
- 集塵機 상부 : 온도감지기 및 스프링클러 헤드

第 8 章 爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術上的의 指針(案)

제정 1994. . . 제 호

제 1 조(목적) 이 지침은 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 제27조 및 산업안전기준에 관한 규칙(이하 “안전규칙”이라 한다) 제270조의 규정에 의하여 폭발억제장치를 설치하는 경우에 이에 필요한 사항을 정하여 사업주로 하여금 완벽하고 효율적인 장치를 선정토록 하여 화재·폭발을 예방하고자 하는데 그 목적이 있다.

제 2 조(적용의 범위) ① 이 지침은 사업주가 필요에 의하여 폭발억제장치를 설치하는 경우에 한하여 적용한다.

제 3 조(용어의 정의) ① 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각호의 1과 같다.

1. “폭발억제장치(EXPLOSION SUPPRESSION SYSTEM)”라 함은 밀폐 또는 한정된 설비내에서 발생한 화재를 조기에 감지하여 이를 초기 단계에서 진압하므로써 폭연(DEFLAGRATION)으로 인한 압력이 설비의 설계압력 이상으로 상승하는 것을 사전에 방지하여 설비등의 파손을 예방하기 위하여 설치하는 장치를 말한다.
2. “억제제(SUPPRESSANT)”라 함은 고속방출소화용기내에 가압된 상태로 충전되어 화재가 폭연으로 발전하지 않도록 하기 위하여 사용되는 소화약제를 말한다.
3. “감지기”라 함은 화재를 초기단계에서 감지하여 폭발억제장치의 제어반에 작동신호를 제공하는 장치를 말한다.
4. “제어반”이라 함은 감지기로 부터 수신된 신호를 분석하여 해당 고속

방출 소화용기에 장착된 전기뇌관을 작동시키는데 필요한 전류를 공급하는 장치를 말한다.

5. “고속방출소화용기”라 함은 억제제가 가압충전된 용기로서 전기적 신호에 의해 억제제를 방출하는 용기를 말한다.

② 기타 이 지침에 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고 법, 동법 시행령, 동법 시행규칙 및 안전규칙이 정하는 바에 의한다.

제 4 조(설치대상) 폭발억제장치는 가연성가스, 액화성 액체의 증기 및 가연성 분진 등 (이하 “폭발위험물질”이라 한다)에 의한 폭발의 위험이 있는 다음 각 호의 1과 같은 밀폐된 설비에 설치한다.

1. 반응기, 배합기(BLENDER), 혼합기(MIXER), 미분쇄기, 제분기, 건조기, 오븐, 여과기, 스크린 및 집진기 등의 공정설비
2. 저장탱크, 호퍼 및 사일로 등의 저장설비
3. 공기식 컨베이어, 스크루 컨베이어 및 버킷 엘리베이터 등의 분체이송 설비
4. 실험설비 및 시험생산설비(PILOT PLANT)등

제 5 조(설치시의 제한조건) ① 폭발억제장치는 억제제가 효과적으로 분산될 수 있는 곳에 설치 한다.

② 폭발억제장치는 설치하고자 하는 설비에서 취급하는 물질의 물리화학적 성질에 따라 억제제를 적절히 선택하여 설치한다.

③ 폭발억제장치는 가스상 산화제에 의해 폭발이 야기될 수 있는 설비에 한하여 설치한다.

제 6 조(설계시 고려사항) 폭발억제장치의 설계에는 다음 각호를 고려한다.

1. 폭발위험물질의 폭발특성(폭발위험물질의 형태, 폭발위험물질대 산화제의 비율 등)

2. 폭발억제장치가 필요한 설비의 전체용적 및 운전조건
3. 검지기술
4. 억제제의 종류
5. 설치, 운전 및 시험 절차 등

제 7 조(감지기) ① 감지기는 연소에 의하여 야기된 압력증가 또는 복사에너지등을 감지함으로써 폭연을 감지할 수 있는 것을 설치한다.

② 대기에 개방된 설비에 설치하는 경우에는 복사에너지에 감응하는 감지기를 사용한다.

③ 복사에너지에 감응하는 감지기는 감지기능이 방해받지 않도록 설치한다.

④ 감지기는 이물질에 의하여 감지기능이 저하되지 않도록 보호되도록 한다.

제 8 조(전기 뇌관) ① 전기적 신호에 의하여 작동하는 뇌관(이하 “전기뇌관”이라 한다)이 고속방출 소화용기의 방출노즐에 장착된 파열관을 파괴하여 억제제의 충전압력에 의하여 억제제가 방출되도록 설치한다.

② 폭발억제장치가 설치될 설비의 최대운전온도에서도 기능에 영향이 없는 전기뇌관을 설치한다.

제 9 조(제어반) ① 모든 폭발억제장치는 예비전원이 내장된 제어반과 함께 설치하며 예비전원의 용량은 당해 제어반에 연결된 폭발억제장치에 필요한 모든 전기뇌관 및 경보기 등을 작동하기에 충분한 것을 사용한다.

② 제어반은 사업장 방폭구조 전기기계·기구·배선 등의 선정·설치 및 보수 등에 관한 기준에 적합하게 설치한다.

제 10 조(감시회로) ① 감지기, 전기뇌관 및 제어반에는 회로의 개방 및 접지·지락이나 주전원 및 비상전원 등의 이상시에 결함을 연속적으로 검출할 수 있는 감시회로를 설치한다.

② 감시회로에는 이상을 알릴 수 있는 경보기 및 표시등을 설치한다.

제 11 조(억제제) ① 억제제는 폭발억제장치가 설치되는 설비 내에서 취급되는 폭

발위험물질에 대하여 물리화학적으로 안전할 것을 사용한다.

② 억제제는 폭발억제장치가 설치되는 설비내에서 예상되는 최대운전운도에서도 제성능을 갖는 것을 사용한다.

제12조(설치) ① 폭발억제장치는 폭발억제장치의 설계자 또는 공급자에 의해 규정된 위치 및 방법에 따라 설치한다.

② 감지기와 억제자 방출노즐은 주위환경 또는 진동 등에 의해 결함이 야기되지 않도록 설치한다.

③ 억제제 방출노즐은 폭발억제장치가 설치되는 설비내의 부속장치나 구조물 등에 의하여 손상 또는 방해받지 않도록 설치한다.

④ 감지기 및 방출장치는 이물질의 축적 등에 의하여 그 기능이 저해되지 않도록 설치한다.

⑤ 폭발억제장치의 압착단자 및 모든 부품은 습기 및 기타 물질로 부터 부식 또는 오염 되지 않도록 제작한다.

⑥ 폭발억제장치의 각 구성품은 각 구성품의 최대허용온도를 초과하지 않는 곳에 설치한다.

제13조(배선) ① 전선은 도전성이 있는 재질로 차폐된 것을 사용하고 이를 접지한다.

② 유도전류에 의하여 방해받지 않도록 다른 용도의 전선과는 격리하여 배선한다.

③ 전선관은 습기 및 기타 오염물 등이 침투하지 않도록 밀봉한다.

제14조(배선) ① 폭발억제장치가 설치된 설비를 보수할 경우에는 보수작업을 수행하기에 앞서 폭발억제장치의 기능을 정지시켜야 하며 또한 폭발억제장치가 설치된 설비의 제어장치와 폭발억제장치의 제어반과는 연동시키어 작동이 되지 않게 한다.

② 보수작업은 안전절차에 관하여 충분히 훈련된 보수 작업자에 의하여 실시

한다.

제15조(검사 및 유지보수) ① 폭발억제장치는 제조공급자가 제공한 운전 및 보수요령서에 의하여 완전하게 검사, 시험 및 유지보수한다.

② 고속방출소화용기의 자체무게가 5 % 이상 감소된 경우에는 고속방출 소화용기를 교체 한다.

③ 고속방출소화용기의 억제제 충전압력의 차(설계압력과 실제압력과의 차이를 말함)가 10 % 이상 나는 경우에는 억제제를 재충전 한다.

④ 만일 폭발억제장치가 작동된 경우에는 모든 구성품을 재검사 하고, 또한 필요한 경우 해당 부품을 교체 또는 조정한다. 그리고 폭발억제장치의 부품을 교체하거나 재조립한 경우에는 완전한 운전조건으로 그 기능을 복원하기 전에 시험을 실시하여 그 성능을 확인 한다.

부 칙

제 1 조(시행일) 이 지침은 고시한 날로 90일 후에 시행한다.

제 2 조(경과조치) 이 지침 시행일 이전에 설치된 폭발억제장치에 대하여는 이 지침에 의하여 설치된 것으로 본다.

第 9 章 結 論

爆發抑制裝置는 앞에서 기술한 바와 같이 적절하게 설계, 설치될 경우 폭발에 대한 가장 확실한 防護裝置 중의 하나로서 고가이기는 하나 폭발로 인한 대형 피해를 방지하기 위해서는 보급이 확대되어 나가야 할 것이다. 최근에 국내에서도 爆發・火災를 방지하기 위해서 사업장 스스로가 이들 장치를 도입하여 설치하고 있어 그 수요는 앞으로 크게 증가할 것으로 기대되고 있다.

이와 같은 고가의 첨단 防護裝置를 법적으로 설치를 의무화할 수는 없으나 모든 豫防 및 防護裝置가 그러하듯이 이들이 잘못 설치될 경우에는 미작동이나 오작동등으로 공정에 문제를 야기시키고 생산에 차질을 초래할 뿐만 아니라 장치의 과신등으로 오히려 爆發・火災의 위험성이 더 증가하게 된다.

따라서 본 指針書에서는 爆發・火災 防護對策의 개요와 爆發抑制裝置와 관련된 설비에서의 爆發特性을 요약 정리하였으며, 또한 爆發抑制裝置의 原理, 構成 機器 및 設計指針, 檢査 및 補修維持 그리고 設置例등을 기술함으로서 장치의 설치 및 취급에 도움이 되게 하였다.

뿐만 아니라 외국의 爆發抑制裝置에 관한 각종 基準을 근거로하여 爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術上의 指針(案)을 작성 제시함으로서 制度上의 基準을 마련하는 데 기여하고자 하였다.

아무튼 이 指針書가 사업장에서 널리 활용되어 爆發・火災防止에 기여하고 當公團의 事前安全性審査, 技術指導 및 點檢時에 많이 활용될 수 있기를 기대한다.

参 考 文 献

1. 那須貴司, "爆發抑制裝置", 高壓ガス, 22, pp. 16~34(1985)
2. 夏本兵治, 粉じん爆發, オ-ム 社, 東京, pp. 15~26(1992)
2. 安全工學協會, 爆發, 海文堂, 東京, pp. 290~300(1983)
3. 総合安全工學研究所, 火災 爆發危險性の測定法, 東京, pp. 139~149(1977)
4. 夏本兵治, "粉じん爆發と爆發危險性評價について", 粉體の工業, 20, 2(1988)
5. 日本化学會, 粉じん爆發と火災, 東京, pp. 182~202(1981)
6. 産業安全研究院, 爆發壓力放散口에 의한 爆發・火災 防止對策에 관한 研究, 韓國産業安全公團(1991)
7. 産業安全研究院, 粉塵으로 인한 爆發・火災 防止對策에 관한 研究, 韓國産業安全公團(1992)
8. 内藤道夫, "粉じん爆發防止システムとその制御", 化学工業, 28, 3, 328(1984)
9. Ted Reardon, "Explosion Suppression in Aerosol Filling", Aerosol Age (1984)
10. Swift, "Protection Methods Against Dust Explosion" Powd. & Bulk Engng., 1, 9, 22(1987)
11. A.Vogel, "Handling Explosion Dust-Part II", Powd. & Bulk Engng, 1, 2, 88(1987)
12. 北川徹三, 爆發災害の解析, 日刊工業新聞社, pp. 23~48(1971)
13. G.Butters, "Dust Explosion Prevention and Protection in the Plastic Industry", Plast. Rubber Process, 5, 27(1985)
14. J.F.Naporano, "Shredding System Improvement to Suppress Explosions", U.S.Pat. 3972841(1976)
15. Frank T.Bodurtha, "Industrial Explosion Prevention and Protection",

- McGraw-Hill Com., New York, pp. 47~67(1980)
16. C.Schofield, "Guide to Dust Explosion Prevention and Protection", The Institution of Chemical Engineers, pp. 37~56(1988)
 17. Joseph A.Senecal, "Deflagration Suppression of High Kst Dusts", Plant /Operation Prog., 8, 3, 147(1989)
 18. Joseph A.Senecal, "Detection & Suppression of Progress Dust Deflagrations: An Overview with Examples", Fenwal Inc., pp 2~6 (1990)
 19. Peter E.Moore, "Extending the Limits of Explosion Suppression Systems", Staub Reinhaltung Der Luft, 47, 209(1987)
 20. National Fire Protection Association, "NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems", National Fire Code Vol. 2(1986)
 21. National Fire Protection Association, "NFPA 61C, Standard for the Prevention of Fire & Dust Explosions in Feed Mills", National Fire Code Vol. 2(1984)
 22. International Organization for Standardization, "Explosion Protection Systems—Part 4 : Determination of Efficacy of Explosion Suppression Systems", ISO 6184 /4(1985)
 23. Fenwal Inc., Explosion Suppression Installation, Operation Maintenance Manual (1988)
 24. J.P.Gillis, "Explosion Venting Suppression of Bucket Elevators", The National Grain & Feed Association, ESV-81-066(1981)
 25. European Patent Office, "Explosion Suppression System", EP 0 472 432 A1(1992)
 25. V.Tufano, "Modeling Runaway Reaction in Reactors Protected with Suppression Systems", J. Hazard Mater. 19, 3, 225(1988)

附錄1.

爆發抑制裝置 설치실태(國內 및 日本)

(1) 國內 爆發抑制裝置 설치실태

('94년 12월 현재)

사 업 장 명	총설치 시스템수	설치년도	취급가연물질	방재대상설비	
				설치설비 명	설치 수
광 양 제 철	2	'88년 : 1	석탄	분쇄기	4
		'91년 : 1		여과집진기	8
				사이클론	4
포 항 제 철	4	'88년 : 2	석탄	분쇄기	4
		'92년 : 2		집진기	8
				사이클론	4
제 일 모 직	4	'89년 : 2	합성수지 (ABS)	건조기	2
동 양 철 관	1	'92년 : 1	도료	도장실	1
				집진기	1
대 륙 제 관	1	'94년 : 1	부탄가스	가스충전실	2
한 진(주)	4	'93년 : 4	곡물류	집진기	4
				버킷엘리베이터	2

※ 동양철관 및 대륙제관 : 감지기 - 자외선감지기

(2) 日本의 爆發抑制裝置 설치실태

(1990년 현황)

可燃物		설치시스템 수	防災對象	
粉類	名稱		設備名	설치시스템 수
플라스틱	스티렌樹脂	1	粉碎機	1
	페놀樹脂	3	粉碎機 粉碎機	2 1
	A B S樹脂	34	粉碎工程 乾燥工程 集塵工程 集貯藏	2 17 8 7
	M B S樹脂	7	乾燥工程	7
	비스페놀 A	8	集塵機 集貯藏	4 4
	A H鹽	1	集塵機	1
塗料·顔料	粉體塗裝	8	塗裝工程 集塵機	7 1
	토우너	2	集塵機	2
	顔料	2	集塵機 乾燥·集塵工程	1 1
木材·셀룰로오스	木材	14	粉碎工程 乾燥工程 集塵機 集貯藏 合板製造	4 3 2 1 4
	카르복실·메틸 셀룰로오스	18	粉碎機 集塵機 粉碎混合工程 粉碎·集塵工程	11 2 3 2
	粘性高粉子	4	粉碎工程 乾燥工程	2 2
	紙	3	粉碎工程	3
燃料	石炭	23	粉碎工程 集塵機 乾燥工程	15 6 2
가스·蒸氣	돌메탄엔올	3 1	乾燥機 遠心分離機	3 1

※ 본 자료는 日本 フェンオール(株)에서 제공받은 자료임

附錄2.

가스 및 蒸氣에 대한 爆發特性

		가스 및 증기의 용적비 (%)														
		2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18
아세톤	최대 압력상승 속도	-	-	48	62	79	83	80	76	61	-	-	-	-	-	-
아세톤	최대 압력상승 속도	-	-	0.44	0.20	0.08	0.07	0.08	0.16	0.52	-	-	-	-	-	-
아세톤	평균 압력상승 속도	-	-	134	500	1538	2000	1500	900	158	-	-	-	-	-	-
아세톤	평균 압력상승 속도	-	-	110	300	1000	1200	1000	475	110	-	-	-	-	-	-
아크릴로니트릴	최대 압력상승 속도	-	-	-	62	80	98	104	109	-	106	104	97	-	-	-
아크릴로니트릴	최대 압력상승 속도	-	-	-	0.132	0.104	0.049	0.044	0.042	-	0.068	0.13	0.23	-	-	-
아크릴로니트릴	평균 압력상승 속도	-	-	-	500	925	2275	2500	2800	-	2500	2000	890	-	-	-
아크릴로니트릴	평균 압력상승 속도	-	-	-	300	775	2000	2400	2600	-	1600	800	400	-	-	-
부탄	최대 압력상승 속도	-	-	72	97	97	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부탄	최대 압력상승 속도	-	-	0.132	0.057	0.0567	0.407	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부탄	평균 압력상승 속도	-	-	715	2100	2300	256	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부탄	평균 압력상승 속도	-	-	550	1700	1700	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-
벤젠	최대 압력상승 속도	72	-	93	97	77	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
벤젠	최대 압력상승 속도	0.14	-	0.05	0.06	0.14	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
벤젠	평균 압력상승 속도	850	-	2300	2300	1000	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
벤젠	평균 압력상승 속도	500	-	1850	1600	550	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부틸알콜	최대 압력상승 속도	-	-	70	95	94	104	-	97	-	96	81	70	-	-	-
부틸알콜	최대 압력상승 속도	-	-	0.26	0.088	0.08	0.064	-	0.11	-	0.11	0.36	0.56	-	-	-
부틸알콜	평균 압력상승 속도	-	-	425	1920	2000	2700	-	1600	-	1550	375	250	-	-	-
부틸알콜	평균 압력상승 속도	-	-	275	1100	1200	1600	-	975	-	950	225	125	-	-	-
디에틸에테르	최대 압력상승 속도	47	-	77	75	104	100	80	-	-	-	-	-	-	-	-
디에틸에테르	최대 압력상승 속도	0.36	-	0.107	0.101	0.051	0.056	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
디에틸에테르	평균 압력상승 속도	366	-	925	1250	3000	2100	370	-	-	-	-	-	-	-	-
디에틸에테르	평균 압력상승 속도	125	-	725	750	2000	1800	200	-	-	-	-	-	-	-	-

	가스 및 증기의 용적비 (%)														
	5	7	8	10	12	13	14	15	16	18	20	25	30	35	40
아세트알데이드															
최대압력	-	76	32	94	94	-	78	65	-	-	-	-	-	-	-
최대압력 도달 시간	-	0.088	0.070	0.049	0.051	-	0.192	0.42	-	-	-	-	-	-	-
최대압력 상승 속도	-	1025	1250	2100	2000	-	510	200	-	-	-	-	-	-	-
평균압력 상승 속도	-	800	1150	1900	1800	-	400	150	-	-	-	-	-	-	-
아세트알데이드															
최대압력	79	121	134	144	148	150	146	144	138	-	112	100	-	-	-
최대압력 도달 시간	0.0336	0.0192	0.0185	0.012	0.015	0.017	0.02	0.024	0.025	-	0.048	0.175	-	-	-
최대압력 상승 속도	2500	6000	10000	11000	12000	12000	11000	8000	6500	-	4500	1400	-	-	-
평균압력 상승 속도	2300	6000	7250	12000	10000	8800	7300	6000	5500	-	2400	575	-	-	-
에틸알콜															
최대압력	49	-	92	97	999	-	96	-	89	80	73	-	-	-	-
최대압력 도달 시간	0.94	-	0.06	0.056	0.064	-	0.084	-	0.23	0.33	0.72	-	-	-	-
최대압력 상승 속도	75	-	2050	2500	2300	-	2075	-	1200	325	238	-	-	-	-
평균압력 상승 속도	50	-	1500	1700	1550	-	1150	-	400	240	100	-	-	-	-
수소															
최대압력	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	65	68	99	101	99
최대압력 도달 시간	-	-	-	-	-	-	-	0.029	-	-	0.028	0.025	0.011	0.010	0.0112
최대압력 상승 속도	-	-	-	-	-	-	-	2750	-	-	3000	3100	9900	11000	10000
평균압력 상승 속도	-	-	-	-	-	-	-	2100	-	-	2300	2700	9000	10000	8800
메틸알콜															
최대압력	-	-	65	79	85	-	-	90	-	84	76	-	-	-	-
최대압력 도달 시간	-	-	0.22	0.08	0.08	-	-	0.06	-	0.10	0.18	-	-	-	-
최대압력 상승 속도	-	-	475	1818	2000	-	-	3030	-	1750	1000	-	-	-	-
평균압력 상승 속도	-	-	300	1000	1050	-	-	1500	-	840	400	-	-	-	-
메틸렌클로라이드 89%															
최대압력	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	70	44	-	-	-
최대압력 도달 시간	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.72	0.48	0.72	-	-	-
최대압력 상승 속도	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	238	75	-	-	-
평균압력 상승 속도	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	150	60	-	-	-

		가스 및 증기의 용적비 (%)														
		1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
이소프로필알콜	최대압력	-	-	-	-	66	85	92	-	89	-	69	-	-	-	-
	도달시간	-	-	-	-	0.23	0.08	0.072	-	0.12	-	0.70	-	-	-	-
	상승속도	-	-	-	-	475	1560	1925	-	1325	-	145	-	-	-	-
	평균압력	-	-	-	-	280	1050	1300	-	750	-	100	-	-	-	-
이소프로필에테르	최대압력	-	65	90	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	도달시간	-	0.22	0.088	0.061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	상승속도	-	640	1825	1675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	평균압력	-	300	7000	1650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
나프타	최대압력	80	89	94	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	도달시간	0.11	0.07	0.06	-	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	상승속도	1000	2500	2500	-	303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	평균압력	725	1250	550	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
프로판	최대압력	-	-	-	74	92	96	84	48	-	-	-	-	-	-	-
	도달시간	-	-	-	0.098	0.057	0.056	0.129	1.36	-	-	-	-	-	-	-
	상승속도	-	-	-	1250	2400	2500	1375	35	-	-	-	-	-	-	-
	평균압력	-	-	-	760	1600	1700	650	35	-	-	-	-	-	-	-
프로필렌디클로라이드	최대압력	-	-	-	-	-	83	88	-	56	-	-	-	-	-	-
	도달시간	-	-	-	-	-	0.020	0.174	-	0.22	-	-	-	-	-	-
	상승속도	-	-	-	-	-	675	1100	-	775	-	-	-	-	-	-
	평균압력	-	-	-	-	-	410	500	-	250	-	-	-	-	-	-
볼루엔	최대압력	40	78	-	88	92	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	도달시간	1.28	0.16	-	0.08	0.10	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	상승속도	43	850	-	2200	2400	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	평균압력	30	500	-	1100	920	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* 최대압력 (psig), 시간 (sec), 압력상승속도 (psig /sec)
 * 밀폐된 10ℓ 크기의 용기에서의 실험결과

爆發抑制裝置의 設置에 관한 技術指針
연구자료(화학연 94-5-18)

발행일 : 1994년 12월

발행인 : 원 장 서 상 학

연구자 : 책임연구원 정 판 석

발행처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

화 학 연 구 실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

전 화 : (032) 518-6484 / 6, 502-0031
