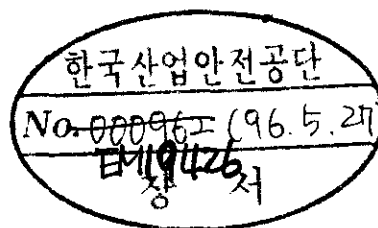


연구보고서
화학 92-1-20

粉塵으로 인한 爆發·火災 防止對策에 관한 研究

1992. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산업안전연구 개발” 사업의 일환으로 수행한
“분진으로 인한 폭발·화재 방지대책에 관한 연구”의 최종보
고서로 제출합니다.

1992년 12월 31일

주관연구부서 : 산 업 안 전 연 구 원
화 학 연 구 실
연 구 자 : 책임연구원 정 판 석

目 次

제 1 장 序 論	3
1. 研究 目的	3
2. 研究 期間	4
3. 研究 範圍 및 內容	4
제 2 장 粉塵의 爆發·火災 危險性	6
1. 概 要	6
2. 粉塵의 火災 危險性	7
3. 粉塵의 爆發 危險性	10
제 3 장 粉塵取扱設備 實態調査	25
1. 實態調査 概要	25
2. 粉塵取扱設備 保有現況	26
3. 安全防護 側面에서의 設置 및 取扱實態	29
4. 實態調査 結果에 의한 問題點 分析	34
제 4 장 粉塵爆發·火災 事故事例 調査	36
1. 國內에서의 粉塵爆發·火災事例	36
2. 日本에서의 粉塵爆發·火災事例	39
3. 美國에서의 粉塵爆發·火災事例	41
제 5 장 制度上的 問題點 및 對策	43
1. 粉體 取扱作業에 대한 安全擔當者の 指定	43
2. 粉體 取扱設備에 대한 自體檢査 實施	43
3. 粉體 取扱設備에 대한 有害·危險防止事項에 관한 計劃書등의 提出	44

4. 化學設備 및 附屬設備 種類의 追加	45
제 6 장 粉塵의 爆發 · 火災 豫防對策	47
1. 豫防對策의 基本原理	47
2. 粉塵爆發 豫防對策	48
제 7 장 粉塵의 爆發 · 火災 被害抑制對策	67
1. 耐爆設計	67
2. 爆發壓力放散口의 설치	70
3. 爆發抑制裝置의 설치	72
4. 스파크 消火시스템의 설치	83
5. 爆發傳播 防止裝置의 설치	88
제 8 장 工程別 安全對策	98
1. 粉碎工程	98
2. 輸送工程	102
3. 貯藏工程	108
4. 分離 및 集塵工程	109
5. 乾燥工程	112
제 9 장 結 論	114
參考文獻	117
附 錄	121
1. 粉塵爆發 · 火災 관련 關係法令	123

第1章 序 論

1. 研究 目的

可燃性粉體에 의한 粉塵爆發은 일반적인 산업재해와는 달리 설비의 破壞등으로 많은 人命 被害는 물론 막대한 경제적 손실을 야기시킨다. 이와 같이 粉塵爆發을 일으키는 분진은 金屬粉塵을 비롯하여 플라스틱, 무기·유기화학제품, 醫藥品, 穀物等 農産物, 木材等 纖維質類등 가연성물질로서 이들을 저장, 가공 및 제조하거나 부산물로서 생산하는 각종 사업장에서는 분진폭발에 대한 예방 및 방호 측면에서 대책을 마련해 두어야 한다. 특히 분체를 취급하는 공정은 粉體工學의 발달로 현저하게 진보되고 취급 또한 증가되고 있는 실정이며, 微粒子의 제조, 분쇄, 건조, 분급, 혼합등을 新工程에서는 流動이나 浮遊상태로 취급하거나 고온 분위기 하에서 처리하는 경우가 많다.

일본에서는 1987년 10월 현저하게 증가되고 있는 粉塵爆發로 인한 재해를 방지하기 위하여 “中央勞動災害防止協會”에서 14명으로 구성된 “粉塵爆發 防止對策 調査研究委員會”를 설치하여 산업현장에서의 분진폭발·화재에 의한 재해사례를 수집 및 조사하는등 분진폭발·화재에 대한 대책을 마련한 바 있다. 미국의 경우 穀物 사일로(Silos) 및 飼料工場에서의 분진폭발이 1958년~1978년 216건, 1979년~1986년 160건으로 증가하고 있으며, 특히 1977년 “콘티넨탈그레인社”의 穀物 粉塵爆發로 인하여 73본의 대형 사일로(Silos)중 48본이 연쇄적으로 대파되면서 36명이 사망하고 물적손실도 수백억원에 달하는 사상 최대의 사일로 폭발사고가 발생하여 미국은 이후 법적규제를 강화하였다.

최근 국내에서도 粉塵爆發이 자주 발생되고 있어 粉塵爆發 위험성이 상당히 인식되고는 있으나 가스 또는 액체에 의한 폭발 위험성 만큼 충분히 알려져 있지않을 뿐만 아니라 그 대책 또한 국내의 경우 아주 미흡한 실정이다. 국내의 경우 穀物을 荷役, 保管하는 業體, 飼料製造業體, 각종 穀物加工業體, 家具·合板등을

製造하는 業體 등에서 백필타 집진기, 버킷 엘리베이터(Bucket elevators) 및 사일로(Silos) 등에서의 분진폭발과 컨베이어(Conveyors) 등에서 화재사고가 빈번하게 발생되고 있고 飼料工場 등의 건설 및 증설로 인한 증가, 설비의 대형화 및 노후화등으로 분진으로 인한 폭발·화재사고가 증가할 우려가 높아 대책이 시급한 실정이다.

특히 이들 업체들은 대형 사일로나 빈(Bins) 등을 보유하고 있으며 특히 버킷 엘리베이터, 컨베이어류, 분쇄·분리기, 집진기(集振機)류, 호퍼(Hoppers) 및 닥트류등이 하나의 시스템으로 구성되어 있어 폭발이 발생할 경우 제 2, 제 3의 폭발이 연쇄적으로 야기될 위험성이 아주 높기 때문에 이들 제조업체에서는 설비를 재점검, 진단하여 예방 및 방호장치를 보완함은 물론 종합적인 대책을 마련하여야 할 것이다

따라서 본 연구에서는 이들 업종을 중심으로 설비상의 문제점을 분석하여 분진폭발을 豫防 및 防護할 수 있는 각종 시스템과 안전 작업방법등을 연구 보급하여 분진으로 인한 폭발·화재를 방지하고 그 피해를 최소화함으로서 重大災害 방지에 기여하고자 한다.

2. 研究 期間

1992년 1월~1992년 12월

3. 研究 範圍 및 内容

본 연구에서는 분진으로 인한 폭발·화재를 방지하기 위하여 분진으로 인한 폭발·화재 위험성이 높은 穀物을 加工하거나 荷役貯藏하는 업체, 家具등 木材를 취급하는 업체, 合成樹脂등을 제조하는 업체 및 기타 可燃性粉塵 발생업체를 중심으로 실태를 조사하여 豫防 및 防護시스템이나 작업방법상의 문제점을 조사분석하였으며 선진 외국에서의 각종 安全시스템 관련 자료를 수집하였다.

이를 토대로하여 분진으로 인한 폭발·화재 방지를 위한 국내의 制度上 문제점을 지적하고 종합적인 대책을 제시하고자 하였던 바 취급업체는 물론 설비제작업체 등에서 이를 활용하고 또한 당공단에서의 기술지도시 연구결과를 활용, 지도를 강화함으로써 분진폭발·화재로 인한 재해를 예방하고자 하였다.

第2章 粉塵의爆發・火災危險性

1. 概 要

粉塵(Dust)은 기체중에 浮遊하는 微細한 고체입자를 총칭하는 것으로서 입자 상물질은 주로 破碎, 選別, 堆積, 移積 기타 機械的 처리 또는 연소, 합성, 분해 시 발생한다. 영국규격(British Standard)에 의하면 입자의 직경이 $1\mu\text{m}(10^{-3}\text{mm})$ 이하인 것을 煙이라 하고 분진은 그 입자의 직경이 $1\mu\text{m}$ 이상인 것으로 규정하고 있다. 분진폭발·화재 측면에서는 최대 $1,000\mu\text{m}(16\text{BS mesh})$ 이하의 입자 크기를 갖는 粉體의 정의를 받아들이는 것이 편리하며 분진이란 200 BS mesh체를 통과하는 $76\mu\text{m}$ 이하의 입자로서 한정하고 있다. 분진형태로서는 浮遊粉塵 뿐만 아니라 보통 沈降이나 捕集에 의해 層狀으로 累積된 粒子群이나 堆積된 粒子群도 포함하며 공기중에 분진이 비교적 균일하게 부유분산된 상태의 固-氣混合物을 粉塵-空氣混合物(또는 粉塵雲)이라 한다. 이 경우 분진의 농도는 單位體積當 혼합물중의 粉塵重量(단위 g/m^3 , mg/m^3)으로 나타낸다. 공기중에서 연소할 수 있는 분진을 可燃性粉塵이라 하고 특히 공기중의 산소가 적거나 이산화탄소에서도 착화, 부유상태에서는 격렬하게 폭발할 수 있는 금속분진을 爆燃性粉塵이라 한다.

그리고 粉體란 아주 많은 고체입자의 집합체로서 각 粒子 사이에 적절한 상호 작용으로 움직일 수 있는 상태를 갖게 될 수 있는 것으로서 흔히 말하는 粉末, 粉등과 같은 의미를 갖는다. 일반적으로 사용되는 의미에 의하면 粉體는 인류의 생활에 유용한 것으로서 粒子經이 약간 큰 고체입자의 집합체를 의미하며, 粉塵은 공기중에 부유하는 粒子經이 적은 고체입자를 의미한다. 흔히 분진은 人體에 좋지않은 영향을 미치며 인류의 생활에 무용한 것을 의미할 경우가 많다.

그러나 공업적으로 粉體란 의미가 아주 넓어 입자가 큰 穀物에서 입자가 微細한 화학약품에 이르기까지 또한 입자가 각각 분산된 에어로졸이나 粉塵 특히 造粒物까지도 포함한다. 고체가 세분되어 분체화 될 경우 고체입자는 서로 流動性

을 갖게되고 比表面積이 크게되어 化學的活性이 증가하기 때문에 고체상태와는 상당히 다른 성질을 나타내며 이로 인하여 다음과 같은 폭발·화재의 위험성이 높게 된다.

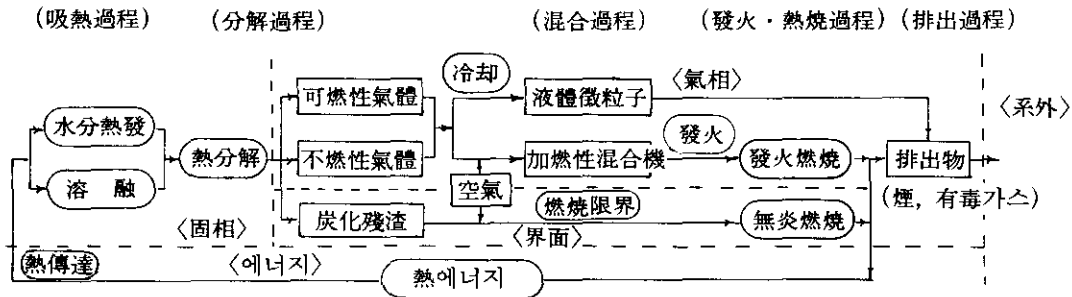
2. 粉塵의 火災 危險性

가. 燃燒의 概要

연소란 可燃性物質과 支燃性物質이 化學反應을 일으켜 다량의 열을 발생하는 현상을 말하며 일반적으로 支燃性物質은 酸素로 한정하고 있다. 고체의 연소형식으로서 고체는 공기와의 접촉면에 點火에 필요한 에너지를 가하면 酸素가 고체표면에 흡착하여 고체표면에서 酸化反應을 일으키거나 또는 고체가 熱分解하여 발생한 可燃性가스가 연소를 일으키고 自己加熱反應을 일으켜서 연소가 지속되게 된다. 전자를 表面燃燒, 후자를 分解燃燒라고 한다. 흔히 木炭이나 코오크스와 같이 완전히 탄화된 물질은 주로 표면연소를 일으키며, 대부분 물질은 주로 분해연소를 일으킨다.

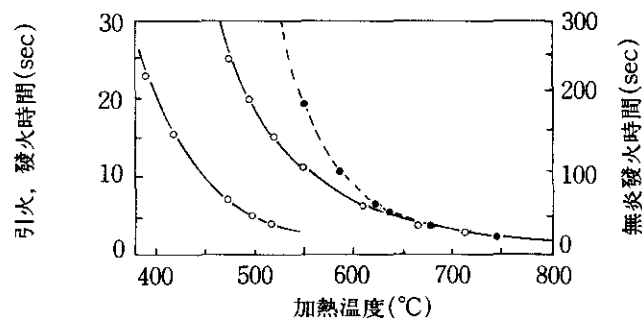
그러나 木材나 高分子物質은 연소과정이 복잡한 데 참고로 高分子物質의 연소과정을 [그림 2-1]에 나타내었다. 여기서 가열을 받는 高分子物質은 함유수분의 蒸發이나 溶融같은 흡열과정을 거쳐 熱分解를 일으키며 이때 분해생성물은 可燃性氣體, 不燃性氣體 및 炭化殘渣를 함유하게 되고 이 중 가연성기체가 공기와 혼합되어 可燃性 混合氣를 형성함으로써 착화원에 의해서 발화 연소를 일으키게 된다. 또한 이로 인하여 발생한 열은 未燃燒된 고분자물질에 가해짐으로서 물질과 에너지 사이에 연소 사이클이 형성, 연소가 지속되게 된다. 한편 炭化殘渣는 침입된 공기에 의해 산화되어 경우에 따라서는 표면연소를 일으키게 되며 이 열은 전자와 같이 未燃物質로 피이드백하게 된다. 그러나 혹 공기가 부족하거나 바람에 의해 가연성기체가 擴散, 蓄積되지 않는 경우에는 가연성 혼합기가 축적되지 않아 火災燃燒가 일어나지 않고 열분해 생성물은 직접 계외로 방출되게 되는 데 이

를 흔히 燐燒라고 한다. 이때 발생한 분해가스는 액체 미립자를 형성하며 이로 인하여 惡臭와 煙氣가 심하게 나게 된다. 따라서 高分子物質의 연소는 表面燃燒, 火炎燃燒 및 燐燒로 구분할 수 있으며, 또한 木材 등에서도 그 구성성분으로 인하여 연소과정은 복잡하다.



[그림 2-1] 高分子物質의 分解燃燒 過程

상기 그림에서 나타난 바와 같이 착화에는 火炎의 생성을 수반하는 火炎着火과 수반하지 않는 無炎着火가 있으며, 전자의 경우 착화원의 유무에 따라 引火와 發火로 구분할 수 있다. 보통 발화를 일으키는 온도를 發火溫度라 하며 이는 착화원이 없는 경우의 가열온도를 의미하며 착화원이 있는 경우는 引火溫度라 한다. 木材의 경우를 예로서 그 관계를 나타내면 [그림 2-2]와 같다.



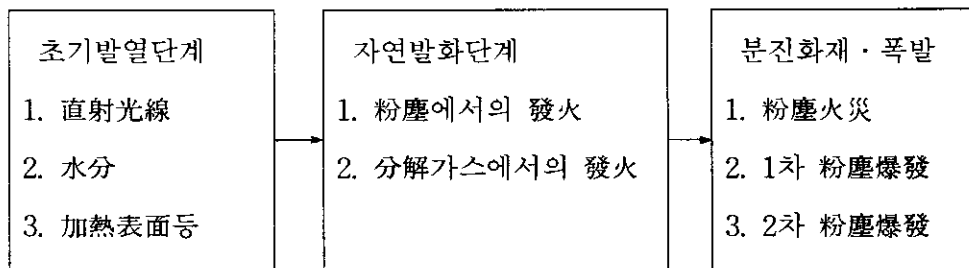
[그림 2-2] 木材의 發火, 引火 및 無炎發火의 관계

또한 물질에 따라서는 발화온도 보다 현저히 낮은 온도에서 分解熱, 吸着熱, 重合熱, 醱酵熱등으로 자연히 발열하고 그 열이 장기간 축적되어 발화점에 달함으로써 自然發火할 수 있는 물질이 있으며 특히 堆積粉塵의 경우 그 위험성이 높다.

나. 粉塵의 發火特性

粉塵火災는 堆積粉塵이나 粉塵層과 같은 蓄積된 분진의 연소현상을 총칭하며 粉體火災라고도 한다. 분진은 특히 일반적인 固體에 비하여 比表面積(Specific surface area)이 매우 커서 공기와의 접촉이 용이하고 酸化가 용이하며 이때 발생하는 酸化熱은 自然發火의 원인이 될 수 있다. 또한 일반적으로 분진은 多孔質이나 섬유상의 형태를 취하고 있어 퇴적층을 형성하고 있는 상태에서는 熱傳導率이 매우 낮아 외부로부터의 열이나 자체에서 발생된 酸化熱등을 축적하기 쉬워 發火點에 달하기가 용이하기 때문에 특히 유의하여야 한다.

분진의 自然發火는 열의 蓄積過程을 포함하기 때문에 오랜 시간이 소요되는 편이나 모든 경우가 이에 속한다고는 할 수 없다. 즉 반응이 매우 격렬하게 진행되는 물질의 경우 아주 짧은 시간내에서도 發火溫度를 초과할 수 있기 때문에 주의하여야 한다. 일반적으로 분진의 자연발화는 다음 <표 2-1>과 같이 세 단계를 거치게 된다.



<표 2-1> 自然發火의 進行段階

다. 火災의 危險性

可燃性物質을 粉碎하여 세분화하는 경우에 모든 물질은 분진에 의해 폭발·화재를 일으킬 위험성이 있다. 세분화에 의해 물질의 表面積이 현저하게 증가할 경우 보통 연소하기 어려운 물질도 쉽게 연소하게 된다. 이같은 화재 위험성을 갖는 가연성분진에는 플라스틱, 化學製品, 農産物, 石炭, 木粉塵, 金屬粉塵등 많은 물질이 있으며 최종제품 및 원료 뿐만이 아니라 廢棄物이나 副産物 또는 그들이 혼합된 물질을 포함한다. 분체의 이동이나 수송, 또는 입자가 큰 물질이나 塊狀物 등의 투입이나 수송에 수반하여 발생하는 摩耗粉塵등도 분진폭발이나 화재를 야기할 위험성이 높다. 또한 건조공정 같이 열원을 사용하는 라인은 화재는 물론 가연성가스나 증기가 공존하는 경우가 많아 더욱 위험하다.

이같은 위험성은 可燃性粉體를 제조 또는 취급하는 모든 산업공정에 존재하고 있으며 특히 분체를 취급하는 공정이 최근 粉體工學의 발달로 현저하게 진보, 증가하고 있는 실정으로서 微粒子의 製造, 粉碎, 乾燥, 分級, 混合등을 대부분 진공 공정에서는 유동이나 부유상태로 취급하거나 고온 분위기 하에서 취급하는 경우가 많아 그 위험성이 상당히 높고 사고사례가 많으나 이에 대한 충분한 지식이 없는 실정이다.

3. 粉塵의 爆發 危險性

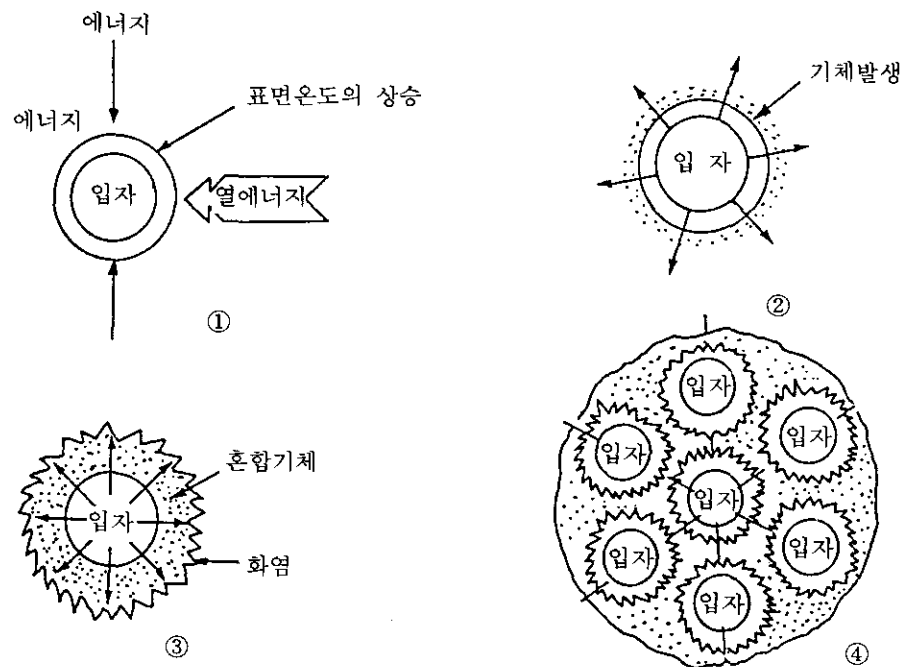
가. 爆發의 概要

爆發이란 급격한 화학반응에 의하여 본래의 물질이 高温高壓의 기체로 변하는 현상 또는 어떤 시스템이 化學的 혹은 物理的變化를 일으켜 그로 인하여 발생되는 에너지가 외부에 기계적인 에너지로 전환되는 과정으로 정의될 수 있다. 일반적으로 폭발은 氣相爆發과 凝相爆發로 대별할 수 있으며 기상폭발이란 폭발을 일으키기 이전의 상태가 기상인 경우를 의미하고 응상폭발은 폭발이전의 상태가 고

체 또는 액체와 같이 응상인 경우를 의미한다. 粉塵爆發이란 기상폭발에 해당되는 것으로서 분진의 연소에 기인한 폭발현상이며 그 발생조건은 연소의 개시조건과 같이 일반적으로 可燃物, 酸素 및 着火源이 주어져야 한다. 특히 분진의 경우 單位重量當의 표면적 즉 比表面積이 증가하기 때문에 반응속도가 증가하게 되어 그 위험성이 높다.

나. 粉塵의 爆發特性

粉塵爆發은 분진입자의 표면에서 산소와의 반응에 의하여 일어나는 것으로서 가스폭발처럼 可燃物과 酸化劑(空氣)가 균일하게 혼합되어 반응하는 것이 아니라 일정한 덩어리로 되어 있는 가연물의 주위에 산화제가 존재함으로서 不均一한 상태로 반응이 일어나며 폭발에 의해서 방출되는 에너지는 최고값을 기준할 경우 가스폭발의 수배에 달한다. 그러나 분진폭발은 가스나 폭발성물질과 달리 발화에 필요한 에너지가 훨씬 높으며 폭발과정은 다음 [그림 2-3]과 같다.



[그림 2-3] 粉塵의 爆發過程

상기 그림에서 먼저 분진입자 표면에 열에너지가 주어진다면 表面溫度가 상승하게 되고 입자표면의 분자가 熱分解作用을 일으켜 기체를 발생하고 입자 주위로 이를 방출시킨다. 다음에 이 기체는 공기와 혼합되어 發火, 火炎을 발생하며 이 화염에 의한 熱은 다시 粉塵의 분해를 촉진시켜 결국 폭발을 야기하게 된다.

일반적인 분진의 폭발특성은 <표 2-2>에 나타낸 바와 같이 폭발의 용이성과 폭발의 격렬성등으로 구분할 수 있으며 폭발에 영향을 미치는 인자는 <표 2-3>과 같다.

<표 2-2> 粉塵雲의 爆發特性

爆發의 容易性	爆發의 激烈性
爆發下限濃度	爆發壓力
爆發上限濃度	爆發壓力上昇速度
發火溫度	火炎傳播速度
最小着火에너지	
爆發限界酸素濃度	

<표 2-3> 粉塵爆發에 影響을 미치는 因子

粉塵의 性質	粉塵雲의 狀況	기 타
粉塵의 種類	粉塵雲濃度	着火源의 位置
粉塵의 粒度	酸素濃度	着火源의 크기
粉塵의 形狀	不燃性物質	容器 또는 空間의 形狀
含有 不燃性物質	可燃性가스	容器 또는 空間의 密閉度
	初期壓力	
	初期溫度	
	粉塵雲의 均一性	
	粉塵의 流動狀況	

다. 粉塵爆發 危險性

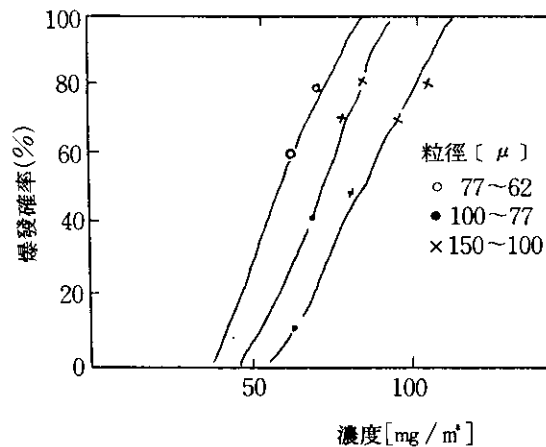
粉塵爆發의 위험성은 위에서 제시한 粉塵의 特性이나 폭발에 영향을 미치는 각종 요인에 따라 좌우된다고 보아야 한다. 따라서 여기서는 폭발·화재 예방 및 방호대책에 이용할 수 있는 粉塵爆發의 각종 위험성을 분진의 일반적인 특성을 중심으로 기술하고자 한다.

(1) 爆發下限濃度

粉塵爆發이 발생되기 위해서는 분진이 적절하게 주어진 공간에 分散되어 있어야 하고 폭발에 필요한 最低量 즉 爆發下限濃度を 유지하여야 한다. 보통 이 농도는 g/m^3 또는 mg/m^3 단위로 표시한다. 따라서 爆發下限濃도가 낮은 분진일수록 폭발위험성이 높다고 할 수 있다. 그러나 동일 물질이라 할 지라도 다음과 같이 粒子의 크기나 霧圍氣의 조건에 따라 달라질 수 있다.

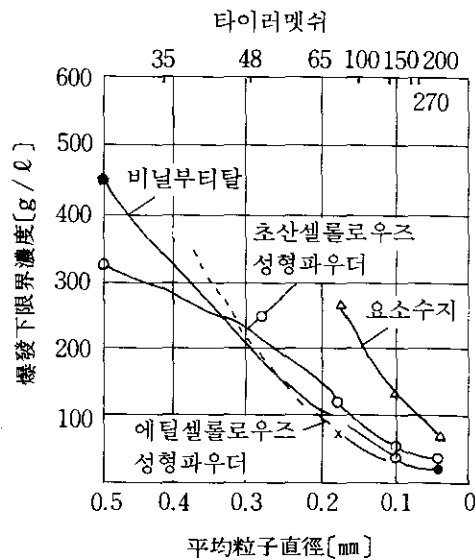
(가) 粒子의 크기

분진의 爆發下限濃度は 분진의 粒子 크기에 따라 크게 좌우된다. 일반적으로 입자의 크기가 작을수록 爆發下限濃度は 낮아지게 된다. [그림 2-4]는 폴리프로필렌(PP)분진의 爆發下限濃도와 爆發確率과의 관계를 나타낸 것으로서 爆發確率



[그림 2-4] 폴리프로필렌(PP) 粉塵의 爆發下限濃도와 爆發確率의 관계

이 100%인 爆發下限濃度는 대략 $73\text{g}/\text{m}^3$ 이며 10%는 $48\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 많은 차이가 있음을 알 수 있다. [그림 2-5]는 合成樹脂의 平均分塵粒子的 크기에 대한 爆發下限濃度を 나타낸 것으로서 분진의 粒子 크기가 작을수록 爆發限界濃度는 낮아지게 된다. 따라서 가능한 미세한 분진이 취급설비내에 존재하지 않도록 유의하여야 한다.



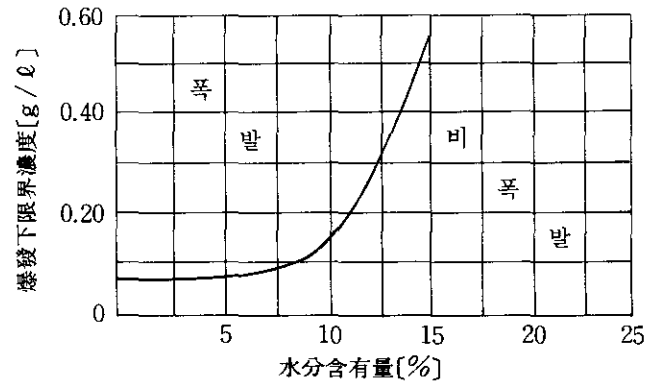
[그림 2-5] 合成樹脂類 粉塵의 平均粒子徑과 爆發下限濃度の 관계

(나) 水分의 含有

粉塵雲에 水分이 함유되어 있는 경우에는 일반적으로 爆發下限濃도와 最小着火 에너지가 높아져 폭발성을 잃게 된다. 따라서 카본블랙(Carbon black) 생산공정 처럼 시스템내에 水分이 많이 존재하는 경우에는 폭발의 위험성이 적다고 할 수 있다. [그림 2-6]은 爆發下限濃도와 水分 含有量과의 관계를 나타낸 것이다.

(다) 可燃性가스 및 蒸氣의 含有

空氣中에 可燃性가스와 粉塵이 혼합된 것을 하이브리드 혼합물(Hybrid mixture)이라 하며 흔히 乾燥工程이나 合成工程에서 형성되는 경우가 많고 精密化學工業등의 발달로 하이브리드 혼합물의 취급이 증가하고 있는 실정이다. 이들 물



[그림 2-6] 炭塵의 爆發下限濃도와 水分 含有量의 관계

질은 혼합비율에 따라 燃燒特性에 많은 영향을 미치게 되는 데 하이브리드 혼합물 즉 분진에 가연성가스가 혼합될 경우 일반적으로 爆發下限濃도와 着火에너지가 낮아지며 또한 폭발시 最大爆發壓力과 爆發壓力 最大上昇速度가 상당히 증가하기 때문에 위험성이 훨씬 높게 된다.

[그림 2-7]은 炭塵의 메탄 함유량에 따른 爆發下限濃도의 변화를 나타낸 것이다. 이 炭塵의 爆發下限濃도는 58g/m^3 이며 메탄가스가 공기와 혼합기를 형성할 경우 메탄가스의 爆發下限濃도는 5%이다. 이 兩點을 연결한 曲線이 메탄가스가 존재할 때의 炭塵의 爆發下限濃도의 변화를 나타내게 된다. 가연성가스-분진혼합기의 폭발에 관한 연구 결과에 의하면 下限濃도의 변화는 일반적으로 다음 식과 같다.

$$Ld-g = \{1 - (C_g / L_g)\}^n L_d$$

또는

$$Lg-d = \{1 - (C_d / L_d)^{1/n}\} L_g$$

$Ld-g$: 混合氣의 爆發下限界에 있어서 粉塵雲의 濃度, g/m^3

$Lg-d$: 混合氣의 爆發下限界에 있어서 可燃性가스의 濃度, %

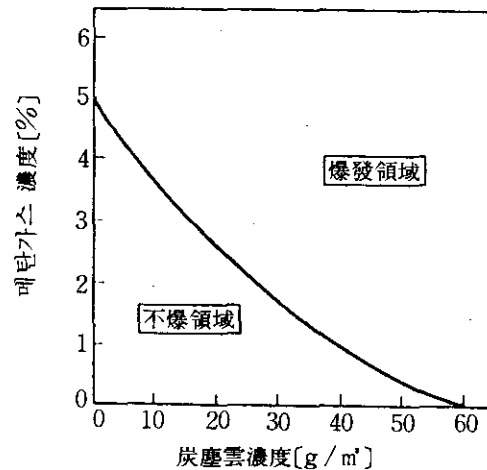
Ld : 炭塵雲의 爆發下限濃度, g/m^3

Lg : 可燃性가스의 爆發下限濃度, %

Cd : 粉塵雲의 濃度, g/m^3

Cg : 可燃性가스의 濃度, %

여기서 n의 값은 Ishihama에 의하면 탄진-메탄-공기혼합기의 경우 1.5, Bartknecht에 의하면 PVC분진-메탄-공기혼합기의 경우 2.0이다.



[그림 2-7] 炭塵의 爆發下限濃도와 메탄 含有量과의 관계(粒子-200mesh)

(라) 酸素濃度

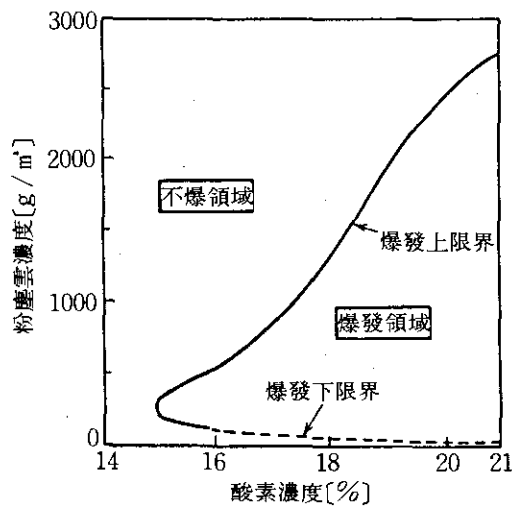
酸素濃도가 증가하게 되면 着火에너지와 爆發下限界의 濃도가 낮아지게 되며 뿐만아니라 粒子가 큰 粉塵도 폭발성을 갖게 되기 때문에 주의하여야 한다. 반면에 窒素등 不活性가스를 공급하여 酸素濃도를 상대적으로 감소시키면 爆發下限濃도가 높아지게 되어 폭발을 방지할 수도 있다. 따라서 폭발 위험성이 높은 설비의 경우는 가능한 시스템내에 窒素등 不活性가스를 공급하여 운전하는 것이 바람직 할 것이다.

(2) 爆發上限濃度

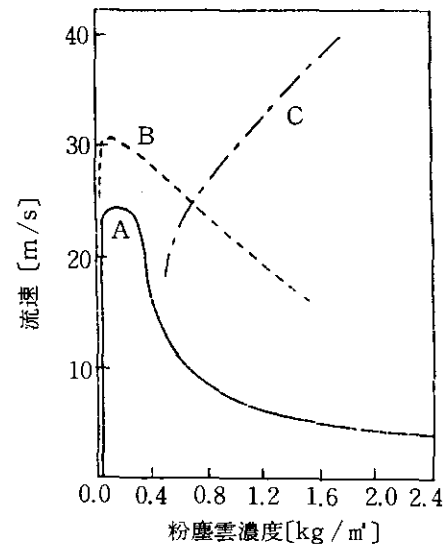
흔히 컨베이어등 機械的인 輸送手段 보다도 空氣輸送시스템이 오히려 폭발의 위험이 적은 데 이는 粉塵雲의 濃도가 높아 爆發上限濃도를 초과하기 때문으로서 이 농도에서는 착화원이 있어도 폭발이 발생되지 않게 된다. 즉 이 上限과 下限

의 농도를 爆發範圍 또는 燃燒範圍라 한다. 일반적으로 가스와 달리 분진의 경우 그 上限濃度는 실험 기술상의 어려움등으로 잘 알려져 있지 않은 실정이다. [그림 2-8]은 참고로 炭塵의 爆發上下限界에 미치는 酸素濃度の 영향을 나낸 것이다.

그리고 爆發上限濃度는 분진이 流動하는 경우 그 流速의 증가에 의해 크게 低下되고 爆發下限界濃度는 그다지 변화지 않는 것으로 보고되고 있다. [그림 2-9]는 유속변화에 따른 爆發限界濃度の 변화를 나타낸 것이다.



[그림 2-8] 爆發限界에 미치는 酸素濃度の 影響(炭塵粒子 270~400mesh)



[그림 2-9] 流速變化에 따른 爆發限界濃度の 變化

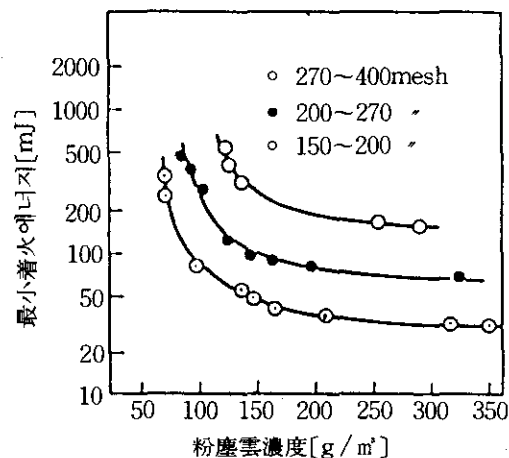
A : 炭塵, 가스 火炎着火, 2in 管, 吸引型
B : ABS樹脂, 電氣火花着火, 4in 管, 壓送型
C : 炭塵, 爆發火炎 着火, 3in 管, 壓送型

따라서 粉體를 高濃度 및 高速으로 空氣輸送에 의해 輸送하는 시스템에서는 분진이 착화·폭발하기가 어렵다. 분체의 流速을 증가시키면 폭발범위가 좁아지게 되고 폭발이 발생하는 限界速度를 계산할 수 있는 바 設計時는 이를 적절하게 이용하는 것이 바람직하다. 高濃度 및 高速으로 분체를 수송할 경우에 착화·폭발이 어려울 뿐만 아니라 만일 그 내부에 고체의 화염이 존재한다 하여도 輸送中에는 폭발이 야기되지 않게 된다. 그러나 고체의 화염은 단시간에 소멸되지 않는

것으로 그 후속공정에서 流速이 低下될 경우 그 화염이 착화원으로 작용하여 폭발하는 경우가 있다. 반면에 流速이 高速일 경우에는 多量の 靜電氣 발생에 의해 착화 위험성이 증가될 수 있기 때문에 주의하여야 한다. 따라서 수송한 분체를 사일로등에 직접 방출할 경우에는 유속이 낮아지고 粉塵雲의 濃度가 低下되어 폭발범위의 농도를 형성할 수 있기 때문에 특히 주의하여야 한다.

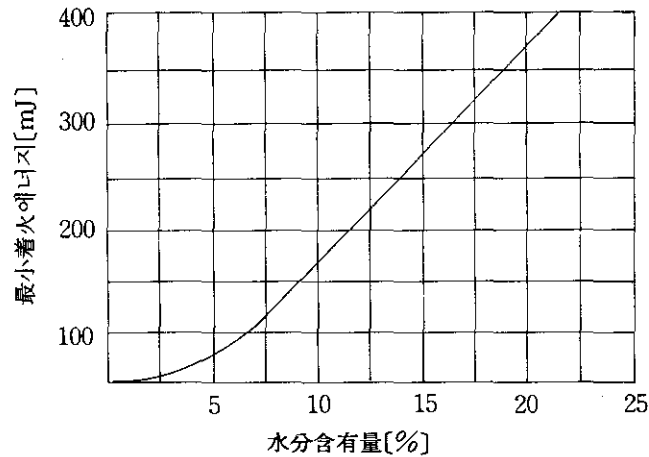
(3) 最小着火에너지

粉塵雲의 일부에 에너지가 주어질 때 분진운이 착화·폭발되는 데 이때 그 에너지의 最小値를 最小着火에너지라 한다. 이 最小着火에너지는 분진의 종류, 입도 및 분진의 농도에 따라서 변화한다. 그 한 예를 [그림 2-10]에 나타내었다.



[그림 2-10] 炭塵粒度別 最小着火에너지와 粉塵濃度の 관계

상기 그림에 의하면 最小着火에너지는 粉塵粒子가 작을수록 낮아지게 되며 또한 粉塵雲의 농도를 爆發下限濃度로 부터 증가시키면 最小着火에너지는 급격하게 감소하지만 粉塵雲의 濃度가 150~200g/m³ 이상에서는 그 변화가 적다. 또한 粉塵雲에 水分이 존재할 경우는 最小着火에너지는 증가하게 되는 데 그 예를 [그림 2-11]에 나타내었다.



[그림 2-11] 炭塵에서의 最小着火에너지에 미치는 水分의 영향

(4) 發火溫度

可燃性粉塵을 공기중에서 가열할 때 發火하는 最低溫度를 發火溫度라 한다. 發火溫度는 가열하는 용기나 측정방법, 분진의 形態등에 따라서 큰 차이가 있기 때문에 절대적인 物性値라고 할 수 없으나 위험도를 判定함에 있어서 중요하게 이용되고 있다. 분진의 형태로서는 浮遊粉塵과 堆積粉塵이 있으며 일반적으로 堆積粉塵은 浮遊粉塵에 비하여 입자간의 거리가 짧아 酸化反應의 과정에 있어서 單位體積當의 열의 손실이 훨씬 적다. 따라서 堆積粉塵이 浮遊粉塵의 경우 보다도 發火溫度가 낮은 편이다.

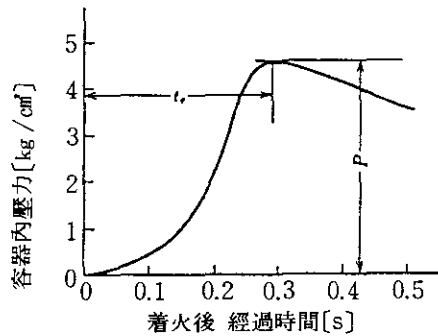
(5) 爆發限界 酸素濃度

[그림 2-8]에 나타난 바와 같이 酸素濃度を 감소시키면 폭발범위가 좁아지게 되고 爆發上限界와 下限界가 일치되게 된다. 따라서 이때의 酸素濃度 보다도 그濃度が 낮아지게 되면 粉塵雲은 폭발하지 않게 된다. 이 한계의 산소농도를 爆發限界 酸素濃度라 한다. 이는 실제 시스템에서 空氣에 不活性가스 즉 窒素나 二酸化炭素를 希釋하여 산소농도를 감소시킴으로서 폭발·화재를 방지하는 데 이용되고 있다. 爆發限界 酸素濃度は 사용되는 不活性가스의 종류에 따라 차이가 있다.

며 窒素가스를 사용하는 경우 대부분 有機粉塵의 폭발한계 산소농도는 13~16% 정도이다. 그러나 이 같은 경우에도 高温爐와 같은 강한 열원에서는 산소농도가 10% 정도일 경우에도 폭발할 수 있다.

(6) 最大爆發壓力

可燃性粉塵이 폭발할 경우 그 破壞力을 예측하는 데 사용되는 것은 最大爆發壓力과 壓力上昇速度로서 이들의 값이 큰 분진일 수록 설비를 파괴할 수 있는 위험성이 큰 분진이라 할 수 있다. 따라서 설비를 설치할 경우에는 이들 특성을 충분히 검토하여 設計하여야 한다. [그림 2-12]는 구형 밀폐용기의 중앙에서 착화원을 주어 분진폭발을 일으킬 때에 용기내에서의 壓力對 時間의 관계를 나타낸 예이다.



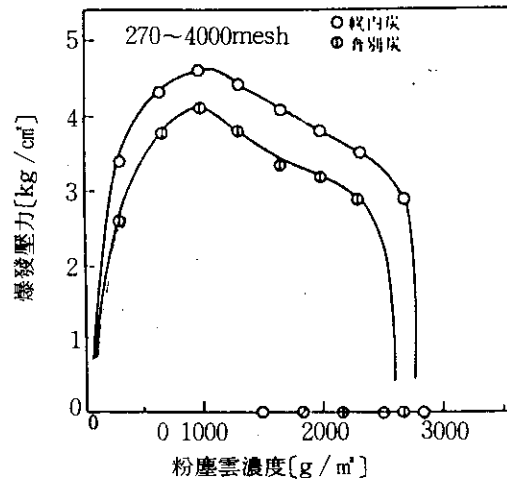
[그림 2-12] 炭塵爆發에 대한 容器内の 壓力과 時間과의 관계
(270-400 mesh, 1000g/m³의 炭塵)

일반적으로 容器内の 壓力 p 는 時間 t 의 n 乘에 비례하여 증가하고 최대치에 달한 후 압력이 감소한다. 이 피이크의 압력이 爆發壓力으로서 P 라 하면 다음 식이 성립한다.

$$\left(\frac{p}{P}\right) = \left(\frac{t}{t_e}\right)^n$$

여기서 t_e 는 着火로 부터 壓力피이크까지의 時間이며 容器가 큰 경우에는 t_e 가 커게되지만 P 는 변화하지 않는다. 가스폭발의 경우는 n 가 3에 근접하나 용기의

체적이 약 10ℓ 인 容器回轉方式의 실험장치에 의하면 분진폭발의 경우 2.5 정도 인 경우가 많다. 爆發壓力은 분진의 농도에 따라 달라지며 그 예를 [그림 2-13]에 나타내었다. 이 그림에 의하면 爆發下限濃度로 부터 출발하여 粉塵雲의 농도를 증가시키면 爆發壓力이 증가하여 어느 분진농도에서 최대로 된 후에 감소하게 된다. 이때 이 曲線의 最大值를 最大爆發壓力이라 한다.



[그림 2-13] 粉塵雲의 濃度에 따른 爆發壓力의 변화

(7) 爆發壓力 最大上昇速度

爆發壓力 上昇速度는 壓力對 時間曲線의 最大勾配 즉 dp/dt 를 壓力 最大上昇速度라 하며 이 특성치는 설비의 耐爆設計에 필요한 데이터가 된다. 압력상승속도는 폭발용기의 크기에 따라서 달라지며 용기크기의 영향을 고려하여 교정하는 “Cubic Law”라 불리는 다음 관계식이 알려져 있다.

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_1 (V_1)^{1/3} = \left(\frac{dp}{dt}\right)_2 (V_2)^{1/3} = \text{一定}$$

여기서 V 는 용기의 용적이며 상기 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max-1} (V_1)^{1/3} = \left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max-2} (V_2)^{1/3} = Kst$$

위 식에서 첨자 1, 2는 용적이 다른 시험용기를 나타내며 따라서 일련의 실험

에 의해서 얻어진 壓力 最大上昇速度(dp/dt)_{max}에 관해서도 시험용기의 용적을 V_1 , V_2 로 하여 이 일정한 값을 K_{st} 로 하면 상기 관계식이 성립된다. 여기서 K_{st} 는 爆發強度指數라 불리어 지며 분진폭발의 격렬성을 나타내는 指標로서 <표 2-4> 및 <표 2-5>와 같다.

<표 2-4> 粉塵爆發의 激烈性 等級

爆發等級	K_{st} , bar·m/sec	爆發의 特徵
0	0	未爆發
1	0~200	弱한 爆發
2	200~300	中程度의 爆發
3	300 이상	強한 爆發

<표 2-5> 代表的인 粉塵의 爆發等級

粉塵種類	P_{max} , bar	K_{st} , bar·m/sec	爆發等級
石 炭	7.8- 8.0	60 - 97	1
穀 物 粉	8.6- 9.3	98 - 112	1
폴 리 에 틸 렌	1.3- 7.9	4 - 120	1
염 화 비 닐	7.5- 9.6	37 - 168	1
에 폭 시 樹 脂	5.3-10.0	53 - 168	1
小 麥 粉	7.9-10.5	80 - 192	1
有 機 染 料	6.5-10.7	28 - 344	1-3
알 루 미 늬 粉	6.5-13.0	16 -1900	1-3

(8) 火炎傳播速度

火炎이 이동하는 속도를 火炎傳播速度라 하며 이것은 일반적으로 燃燒速度와는 다르다. 粉塵雲이 한 방향으로 流動하고 있는 경우 火炎의 겉보기 傳播速度는 실제 傳播速度和 流動速度의 곱 또는 차로 결정된다. 일반적으로는 겉보기 傳播速度를 火炎傳播速度라 한다. 火炎의 傳播速度는 전파중의 화염을 소멸하여 피해를 억제화하기 위하여 설치하는 爆發抑制裝置의 설계에 필요한 특성치이다. 傳播速

도는 高温의 연소대로 부터 그 전방의 未燃燒 粒子群으로의 傳播速度에 의해 큰 영향을 받는다. 傳導 및 放射가 주인 傳熱機構에 있어서 層流火炎과 亂流領域의 對流熱傳達이 주인 亂流火炎과는 상당히 큰 차가 있다. 일반적으로 層流火炎의 傳播速度는 10m/sec 정도 이하이지만 화염면이 흐트러져 未燃粒子가 高温領域으로 들어가 가열되면 전열속도가 증가하여 화염의 傳播速度도 증가하게 된다.

(9) 電氣抵抗率

粉體를 취급하는 과정에서는 靜電氣가 帶電하는 경우가 많고 특히 微分에서는 그 靜電氣가 착화원으로 되어 폭발하는 경우가 많다. 靜電氣는 흔히 두 물체가 접촉하여 떨어질 때 발생하고 그 발생량은 물체가 不導體일 경우에 문제가 되며 良導體일 경우에는 발생한 電荷가 용이하게 이동되어 接地된 경우 大地로 흐르게 된다. 일반적으로 電氣抵抗率이 $10^6 \Omega m$ 이하인 것을 導體, $10^{10} - 10^{11} \Omega m$ 이상의 것을 不導體라 한다. 그리고 電氣抵抗率이 $10^{10} \Omega m$ 이상의 물체에서는 靜電氣의 이동이 일어나기 어렵고 따라서 帶電되기 쉽다.

高速 氣體管路輸送 시스템에 있어서는 다량의 靜電氣가 발생하는 것으로 잘 알려져 있지만 기타의 분체취급공정에 있어서는 靜電氣 발생이 의외로 잘 알려져 있지 않은 실정이다. 참고로 <표 2-6>에 각종 粉體取扱工程에서의 靜電氣 발생량을 대략 나타내었다.

<표 2-6> 粉體取扱工程에서의 靜電氣 發生量

工 程	電荷量, C	工 程	電荷量, C
微粉碎	$10^{-4} - 10^{-7}$	分離(篩分)	$10^{-9} - 10^{-11}$
粉碎	$10^{-6} - 10^{-7}$	解袋	$10^{-7} - 10^{-9}$
스크루 컨베이어	$10^{-6} - 10^{-8}$		

라. 爆發 危險性이 있는 工程 및 作業

粉粒體를 取扱 및 生産하는 生産工程 또는 副産物로서 발생하는 粉粒體를 處理 및 利用하는 공정 중 특히 위험한 主要工程과 作業內容은 <표 2-7>과 같다.

<표 2-7> 粉塵爆發의 危險性이 있는 工程과 作業

工 程	作 業
解 袋	解袋, 投入, 混合
粉 碎	粉碎, 破碎, 研磨
輸 送	人力, 車輛 및 船舶에 의한 輸送, 機械輸送(스크루 컨베이어, 벨트 컨베이어, 버킷 엘리베이터등) 空氣輸送(供給器, 輸送管, 捕集機器등)
集塵・分級	集塵裝置(사이클론, 백필터, 電氣集塵, 濕式스크라바등) 分級機(氣流式, 篩分등)
貯 藏	貯藏(호파, 사일로등)

第3章 粉塵取扱設備 實態調査

1. 實態調査 概要

가. 調査目的

본 調査의 목적은 粉塵으로 인한 爆發, 火災 防止對策 研究의 일환으로 분진으로 인한 爆發・火災의 危險이 있는 설비를 중심으로 다음 사항에 관하여 취급실태를 調査, 把握함으로써 問題點을 분석하여 대책 연구에 필요한 基礎資料로 활용하고자 한 것이다.

- (1) 업종별 분진취급설비의 사용실태 파악
- (2) 취급설비의 安全防護裝置 설치실태 파악
- (3) 취급설비의 設計上 문제점 분석
- (4) 取扱方法上的 문제점 분석

나. 調査對象

調査對象은 粉體를 大量으로 취급하는 穀物을 荷役貯藏하는 업체, 飼料, 食料品 및 化學製品을 제조하는 업체 그리고 木製品을 加工 및 生産하는 업체등 분진으로 인한 爆發・火災의 危險이 높은 사업장을 대상으로 하였다.

다. 調査方法 및 内容

調査對象 50개 사업장에 설문지를 발송하여 回信을 받은 25개 사업장에 대하여 實態調査를 행하고 이들 사업장 중 일부 사업장에 대해서는 現場訪問 調査를 병행하였다. 본 조사에서는 集塵, 貯藏, 輸送 및 粉碎・分離工程등에 사용되고 있는 설비의 설치현황, 安全防護裝置의 設置實態 및 取扱方法 그리고 폭발・화재 事故事例등에 관하여 조사하고자 하였으며 조사항목은 産業安全保健法 및 外國의 安

全基準등을 참고로하여 설정하였다.

2. 粉塵取扱設備 保有現況

가. 業種別 業體數 및 設備 保有現況

可燃性粉塵 취급설비에 대한 實態調査 결과 조사된 25개 업체의 업종별 분포와 폭발·화재의 위험이 있는 설비 즉 集塵, 貯藏, 輸送, 粉碎 및 分離設備의 보유 수량을 <표 3-1>에 나타내었다.

業體當 平均 설비보유 대수는 飼料製造業體가 207대로서 가장 많이 보유하고 있으며 특히 輸送 및 貯藏設備를 많이 사용하고 있다. 다음은 化學製品, 穀物荷役 및 貯藏, 食料品製造業의 순이다. 이는 조사대상 업체의 규모에 따라 결정되기 때문에 절대적이라고는 할 수 없으나 일반적으로 粉體를 취급하는 제조업체는 대량의 설비를 보유 사용하고 있음을 알 수 있다. 家具製造業體의 경우는 木粉을 固體燃料로서 보일러에 사용하기 위하여 일부 저장 및 수송설비를 사용하고 있으며 纖維製造業體의 경우는 집진설비 만을 주로 사용하고 있다.

<표 3-1> 業種別 業體數 및 設備 保有現況

(單位：臺)

業 種	食 料 品	纖維製品	化學製品	穀物貯藏	飼 料	合板・家具	計
業 體 數	6	1	1	4	6	7	25
集塵設備	88	4	45	91	78	169	475
貯藏設備	128	—	52	226	545	19	970
輸送設備	186	—	47	211	573	68	1,085
粉碎分離	40	—	13	15	43	7	118
計	442	4	157	543	1,239	263	2,648
平均保有臺數	74	4	157	136	207	38	106

나. 業種別 集塵設備 保有現況

業種別 集塵機의 종류별 보유현황을 보면 <표 3-2>와 같이 백필터 集塵機가 68.2%로 가장 많으며 다음이 사이클론 29.3%, 電氣集塵機 1.7%의 순이다. 粉體 取扱 工程에서는 백필터 집진기를 일반적으로 가장 많이 사용하고 있으며 폭발·화재의 위험성 또한 가장 높은 실정이다.

<표 3-2> 業種別 集塵設備 保有現況

(單位:臺)

集塵設備	業種	食料品	纖維製品	化學製品	穀物貯藏	飼料	合板·家具	計	構成比(%)
백필터集塵機		44	3	14	86	57	120	324	68.2
사이클론		43	1	25	5	21	44	139	29.3
전기集塵機		—	—	6	—	—	2	8	1.7
其 他		1	—	—	—	—	3	4	0.8
計		88	4	45	91	78	169	475	100

다. 業種別 貯藏設備 保有現況

業種別 貯藏設備 즉 貯槽의 보유현황을 <표 3-3>에 나타내었다. 여기서 사일로(Silos)와 빈(Bins)은 使用業體 또는 製作業體에 따라 적절하게 임의로 불리어지고 있으며 뚜렷한 정의를 갖고 구분하여 사용하고 있지는 않다.

저장설비는 飼料工場에서 업체당 91대로서 가장 많이 사용하고 있으며 다음이 穀物 荷役貯藏, 化學製品, 食料品製造業등의 순으로 사용되고 있다. 사용업체에

<표 3-3> 業種別 貯藏設備 保有現況

(單位:臺)

貯藏設備	業種	食料品	纖維製品	化學製品	穀物貯藏	飼料	合板·家具	計	構成比(%)
사일로		31	—	36	155	69	19	310	32.0
빈		69	—	—	642	326	—	459	47.3
호파		28	—	16	7	150	—	201	20.7
計		128	—	52	226	545	19	970	100

따라 저장설비의 크기와 모양이 아주 다양하며 사용재질은 콘크리트 또는 철구조물을 사용하고 있다.

라. 業種別 輸送設備 保有現況

業種別 輸送設備의 보유현황을 <표 3-4>에 나타내었다. 이 표에서 輸送設備 중 가장 많이 사용되고 있는 설비가 스크류 컨베이어로서 23.5%를 사용하고 있으며 다음은 드렉 컨베이어, 버킷 엘리베이터, 벨트 컨베이어, 空氣輸送시스템의 순으로 사용되고 있다. 輸送設備 중에서 가장 폭발·화재의 위험성이 높은 버킷 엘리베이터의 경우 19개 업체에서 177대를 사용하고 있는 바 상당히 많이 사용되고 있는 실정이다. 특히 버킷 엘리베이터와 드렉 컨베이어는 주로 穀物을 荷役貯藏하거나 飼料를 製造하는 工場에서 많이 사용되고 있음을 알 수 있다.

<표 3-4> 業種別 輸送設備 保有現況

(單位：臺)

業種 輸送設備	食料品	纖維製品	化學製品	穀物貯藏	飼料	合板·家具	計	構成比(%)
버킷엘리베이터	17	—	1	49	109	1	177	16.3
벨트컨베이어	13	—	2	43	41	13	112	10.4
드렉컨베이어	—	—	—	105	135	—	240	22.1
스크류컨베이어	123	—	6	9	100	17	255	23.5
스크류피더	4	—	14	2	96	21	137	12.6
空氣輸送	29	—	24	3	28	16	100	9.2
其他	—	—	—	—	64	—	64	5.9
計	186	—	47	211	573	68	1,085	100

마. 業種別 粉碎分離設備 保有現況

業種別 粉碎 및 分離機의 보유현황은 <표 3-5>와 같다. 粉碎機는 14개 업체에서 62대로서 평균 4.4대, 分離機는 11개 업체에서 56대로서 평균 5.1대를 사용하고 있으며 특히 飼料 및 食料品 製造業體에서 많이 사용하고 있다.

〈표 3-5〉 業種別 粉碎分離設備 保有現況

(單位：臺)

業種 機種	食 料 品	纖維製品	化學製品	穀物貯藏	飼 料	合板・家具	計
粉 碎 機	9	—	7	5	34	7	62
分 離 機	31	—	6	10	9	—	56
計	40	—	13	15	43	7	118

3. 安全防護 側面에서의 設置 및 取級實態

가. 設備의 設置位置

일반적으로 폭발 위험이 높은 설비는 가능한 建物の 外部 안전한 곳에 설치하거나 耐爆構造로 設計함으로서 폭발시 그 被害를 局限化할 수 있어야 한다. 분체 취급설비의 설치위치는 〈표 3-6〉과 같다. 표에 의하면 粉碎機는 全部 건물내부에 설치되어 있고 반면에 사일로와 빈은 全部 建物外部에 설치하여 사용하고 있으며 기타 설비는 建物 内外부에 고르게 분포되어 있다.

〈표 3-6〉 主要 設備別 設置位置

	集塵機	사이클론	버킷엘리베이터	粉碎機	사일로·빈	호 파
保有 業體數	25	21	14	14	21	14
建物内部設置	11	10	7	14	0	9
比 率(%)	44.0	47.6	50.0	100	0	64.3

나. 마그네틱 세파레이터(Magnetic separator)의 設置實態

분체 취급설비는 原材料속에 함유되어 있는 鐵片이나 破石 또는 설비 자체에서 難脫된 볼트, 너트등의 異物質로 인한 스파크가 착화원으로 작용하는 경우가 많다. 특히 粉碎機등의 전단 라인에는 이들 물질을 제거하기 위하여 金屬檢出器 또는 마그네틱 세파레이터를 설치하여야 한다. 실태조사 결과에 의하면 粉碎機를

사용하는 14개 업체중에서 이들을 설치하여 사용하고 있는 업체는 7개 업체로서 50%였으며, 未設置하여 사용하고 있는 업체가 많은 실정이다.

다. 傳導性材質 使用實態

분체취급설비에서 靜電氣로 인한 폭발·화재 사례가 많다. 靜電氣 발생을 방지하기 위하여 設備本體 및 모든 附屬設備는 傳導性材質을 사용하는 것이 바람직하다. 실태 조사 결과는 다음과 같다.

(1) 백필터 集塵機의 백(Bags)재질을 傳導性纖維로 사용하고 있는 업체는 23개 업체중 13개 업체로서 非傳導性材質의 纖維를 사용하고 있는 업체가 43.5%로서 많은 실정이다.

(2) 空氣輸送 또는 集塵用으로 플렉시블 호오스를 연결 사용하는 경우가 많으며 이들을 사용하는 업체중 非傳導性材質을 사용하고 있는 업체가 40% 였으며, 특히 일반 PVC 合成樹脂를 사용하고 있는 업체가 20%를 차지하고 있다.

라. 設備別 接地實態

靜電氣 蓄積防止등을 위한 설비별 接地實態는 <표 3-7>과 같다. 표에 의하면 설비의 接地狀態는 미흡한 실정이며 특히 컨베이어, 사일로 및 수송닥트류등의 接地가 미흡한 것으로 나타났다.

<표 3-7> 主要 設備別 接地實態

	集塵機	粉碎機	컨베이어	사일로·빈	輸送닥트	分離機
保有 業體數	25	14	19	21	25	11
接地 業體數	19	12	8	12	13	8
比率(%)	76.0	85.7	42.1	57.1	52.0	72.7

마. 防爆用 電氣機械器具의 使用實態

분진취급설비 및 작업장 내에서 폭발·화재 위험이 있는 장소에 사용하는 전기 기계기구는 防爆性能이 있는 것을 사용하여야 한다. <표 3-1>은 防爆用 電氣機械器具의 使用實態를 나타낸 것으로서 설치상태가 미흡하다.

<표 3-8> 防爆用 電氣機械器具 使用實態

(對象 業體數 : 25)

	電氣모타	照明器具	스윗치	콘센트	移動用 電燈
設置 業體數	14	17	12	13	3
設置 比率(%)	56.0	68.0	48.0	52.0	12.0

바. 爆發壓力放散口 設置實態

분진폭발 위험이 있는 설비는 爆發壓力放散口를 설치하여 폭발시 爆壓과 火炎을 외부 안전한 곳으로 放出함으로서 설비의 破壞를 방지하고 그 被害를 抑制하여야 한다. 설치실태는 <표 3-9>에 나타난 바와 같이 아주 미흡하며 폭발시 설비의 파괴를 방지하기 어려운 실정이다.

<표 3-9> 爆發壓力放散口 設置實態

	粉碎機	백필타 集塵機	사일로·빈
對象 業體數	14	25	21
設置 業體數	5	12	5
設置 比率(%)	35.7	48.0	23.8

사. 릴리이프 파이프(Relief pipe) 設置實態

분체를 수송하는 配管 또는 集塵設備의 닥트등에는 릴리이프 파이프를 설치함으로서 폭발이 발생할 경우 流體의 흐름을 180도로 轉換시켜 爆壓과 火炎의 전파를 방지할 수 있다. 이를 설치 사용하고 있는 업체는 25개 업체중 1개 업체로서

설치상태가 거의 全無한 실정이며 火災傳播로 인한 연쇄폭발의 위험성이 높다.

아. 設備內 消火裝置의 設置實態

설비내부에서 화재가 발생한 경우 이를 消火하기 위하여 설비내부에 소화살수 설비를 설치하거나 또는 粉體 輸送配管을 통하여 火災이 移送되는 것을 차단하기 위하여 스파크 자동소화장치를 설치하는 것이 바람직하다. 흔히 설비내에서 화재가 발생한 경우 이를 진압하기 위하여 설비의 開口部를 개방하고 消火器 등을 사용한 소화작업시 外部空氣의 유입으로 폭발범위가 형성되고 분진이 浮遊함으로서 폭발이 야기되거나 또는 분체의 燃燒로 인한 火災이 輸送配管을 통하여 다음 공정으로 輸送되어 폭발하는 사례가 많다. 따라서 이를 방지하기 위하여 이들 설비의 설치가 권장되고 있으나 <표 3-10>에 나타난 바와 같이 설치상태가 아주 미흡하다.

〈표 3-10〉 消火設備 및 스파크 自動消火裝置 設置實態

	백필타 집진기	사일로·빈	배관·덕트
對象 業體數	25	21	25
設置 業體數	1	4	1*
設置 比率(%)	4.0	19.0	4.0

* : 스파크 自動消火裝置

자. 爆發抑制裝置의 設置實態

설비에서 폭발이 발생할 경우 이를 早期에 感知하여 자동으로 폭발을 억제함으로서 설비의 破壞나 火災의 전파를 차단시키는 장치로서 특히 분진폭발에 권장되고 있으나 실태조사 대상사업장의 경우 전혀 설치한 예가 없는 것으로 나타났다.

차. 自動 인터록장치의 設置

분체취급설비는 대부분이 連續工程으로서 수송배관에서의 막힘이나 설비자체의

결함으로 인한 異常發生時에 자동으로 関連설비가 停止되게 함으로서 폭발·화재를 방지할 수 있도록 설계되어야 한다. 실태조사 결과는 다음과 같다.

(1) 集塵設備의 전단 또는 후단이 분체로 인하여 막혔을 때 警報를 발하거나 自動停止되도록 인터록장치를 설치한 업체는 25개 업체중 9개 업체로서 36.0%였으며 설치 상태가 미흡하다.

(2) 로타리 밸브의 토출라인이 막혔을 때 모터의 過負荷나 過熱등을 감지함으로서 공급라인과 모터가 自動停止되게 인터록장치를 설치한 업체는 23개 업체중 11개 업체로서 47.8%였으며 설치상태가 미흡하다.

(3) 버킷 엘리베이터의 이상으로 인한 過負荷 또는 슬립현상 발생시 自動停止되게 인터록장치를 설치한 업체는 14개 업체중 10개 업체로서 71.4%였다.

카. 溫度感知器의 設置實態

(1) 사일로·빈등에는 貯藏溫度의 上昇등으로 인한 自然發火등에 대비하여 溫度感知器를 설치하는 것이 바람직하다. 이를 설치한 업체는 21개 업체중 8개 업체로서 38.1%였으며 설치상태가 미흡하다.

(2) 버킷 엘리베이터에 사용되는 베어링의 온도를 체크할 수 있는 溫度感知器를 설치한 업체는 14개 업체중 1개 업체로서 7.1%였으며 대부분 미설치 사용하고 있는 실정이다.

타. 摩擦 스파크防止用 送排風機의 設置實態

送排風機의 임펠러와 케이싱의 사이의 摩擦 스파크를 방지하기 위하여 케이싱의 내부를 라이닝하거나 無火花性金屬 材質의 임펠라를 사용한 송배풍기를 설치한 업체는 4개 업체로서 사용하고 있는 업체수가 적다.

파. 不活性가스 使用實態

분진폭발을 확실하게 방지할 수 있는 방법중의 하나는 窒素등 不活性가스를 설

비에 공급하여 설비를 운전하는 것이다. 不活性가스를 이용한 설비를 사용하고 있는 업체는 25개 업체중 2개 업체로서 설비자체가 대부분 氣密性이 없어 사용하지 않고 있는 실정이다.

하. 設備의 鎔接作業 實態

분진폭발·화재는 鎔接·鎔斷作業의 잘못에 의하여 발생된 사례가 아주 많은 것으로 보고되고 있다. 설문지의 응답결과 鎔接節次 및 方法이 적절하다고 판단되는 업체는 25개 업체중 12개 업체로서 鎔接·鎔斷作業에 관한 安全作業基準을 올바르게 설정하여 작업하는 업체가 많지 않은 실정이다.

4. 實態調査 結果에 의한 問題點 分析

앞에서의 粉體取扱設備에 대한 實態調査 결과 주요한 문제점을 요약하면 다음과 같다.

(1) 폭발·화재 위험이 높은 설비는 가능한 建物の 외부 安全한 곳에 설치하여야 하나 集塵機, 사이클론, 버킷 엘리베이터, 粉碎機 및 호퍼등을 대부분 建物の 내부에 설치 사용하고 있는 업체가 평균 58.0%로서 폭발이 발생할 경우 被害가 擴大될 위험성이 극히 높다.

(2) 異物質 混入으로 인한 摩擦·衝擊등을 방지하기 위하여 마그네틱 세퍼레이터(Magnetic separator) 또는 金屬檢出器를 설치하여 사용하고 있는 업체가 50.0%로서 설치상태가 미흡하여 폭발·화재의 위험성이 높다.

(3) 백필터 集塵機의 백(Bags) 및 플렉시블 호스등은 靜電氣 방지를 위하여 傳導性材質을 설치하여야 하나 非傳導性材質을 사용하는 업체가 각각 43.5%, 40.0%로서 靜電氣로 인한 폭발·화재의 위험성이 높다.

(4) 粉碎機, 集塵機, 컨베이어, 輸送ダクト 및 分離機등은 感電 또는 靜電氣의 축적을 방지하기 위하여 接地를 하여야 하나 이들 설비를 接地하여 사용하는 업체

는 평균 63.8%로서 미흡한 실정이다.

(5) 분진 취급설비 또는 粉塵爆發의 위험이 있는 장소에 사용하는 電氣모터, 照明器具, 스위치 및 콘센트등은 防爆用 전기기계기구를 사용하여야 하나 이들을 사용하는 업체는 평균 56.0%로서 防爆用 전기기계기구를 사용하지 않는 업체가 많다.

(6) 폭발·화재에 대비하여 설비내부에 消火設備, 스파크 自動消火裝置, 爆發抑制裝置, 爆發壓力放散口, 火炎傳播遮斷裝置 및 窒素供給設備등 각종 安全裝置를 설치한 업체가 거의 전무한 실정으로 일반 화학공장과 달리 豫防 및 防護裝置의 설치가 미흡하다.

(7) 輸送配管의 막힘, 각종 모터의 過負荷, 벨트의 슬립현상등 각종 이상현상 발생시 조기에 이를 感知하여 관련 장비를 自動停止시킬 수 있는 인터록장치의 설치가 미흡하다.

第4章 粉塵爆發・火災 事故事例 調査

1. 國內에서의 粉塵爆發・火災事例

분체취급설비 및 분진이 발생하는 사업장에서의 분진으로 인한 폭발·화재 사고사례는 국내에서도 많이 발생되고 있으나 調査되어 統計화된 자료가 거의 없으며 人命損失이 없는 경우 사업장에서 이를 가능한 공개하려 하지 않고 類似事故防止를 위한 특별한 補完對策을 수립하지 않은 상태에서 再作業하는 등으로 위험성이 높은 실정이다.

특히 化學工業의 발달로 粒子狀 화학제품의 생산량 증가와 穀物등을 이용한 食品이나 飼料등의 수요증가로 인하여 최근 폭발·화재 사고사례가 증가하고 있는 추세에 있다. <표 4-1>에 최근 분진폭발·화재로 인하여 발생한 重大災害 事例와 實態調査에서 조사된 事故事例의 일부를 나타내었다. 또한 이들 災害 및 事故事例를 工程 및 着火源別로 정리하면 <표 4-2> 및 <표 4-3>과 같다.

<표 4-2> 工程別 爆發・火災 發生 件數

工 程	發 生 件 數
輸送工程	4
- 機械式輸送	(1)
- 空氣輸送	(3)
集塵工程	2
粉碎工程	1
貯藏工程	1
乾燥工程	1
其 他	1
計	10

<표 4-3> 着火源別 發生 件數

着 火 源	發 生 件 數
摩擦・衝擊	4
- 風(Fan) 異狀	(1)
- 風過熱(막힘)	(1)
- 原材料 異物質	(1)
- 設備脫落 異物質	(1)
靜電氣 스파크	3
鎔接 불꽃	2
電氣設備	1
計	10

〈표 4-1〉 國內에서의 粉塵爆發・火災 事例

番號	會社名	勤勞者數	主要生産品	發生設備	加燃物質	發 生 原 因	被 害 程 度	發生日時
1	○○木材(株)	570	家具類	空氣輸送 다트	木 粉	工程에서 發生되는 木粉을 보일러 燃料 用으로 使用하기 위하여 空氣輸送 시스 템으로 移送中 쉘(Fan)의 摩擦 스파크 에 의해 爆發	수송다트(10m) 파괴	'84. 9.
2	(株)○○	1,370	合成樹脂	流動層乾 燥機	ABS樹脂	ABS 樹脂를 流動層乾燥機를 이용 스 팀을 熱源으로 건조작업중 靜電氣 스파 크로 爆發.	건조기연결 다트부 파괴	'89.
3	○○흥업(株)	120	合 板	백필터 集塵機	木 粉	木粉塵의 摩擦 또는 靜電氣로 인하여 1 차 爆發, 鎮火作業中 集塵機 2차 爆發. - 爆壓放散口가 건물창문 쪽으로 잘못 설치・피해확대	사망 2명	'89. 10
4	○○飼料工業	152	配合飼料	粉碎機 및 集塵다트	穀 物 粉	工場內部 2층 粉碎機에 연결된 다트의 외부 보수작업을 위한 鎔接作業中 爆 發. - 설비를 가동한 상태에서 용접, 스파 크로 爆發	집진기 및 부속 다트 파괴	'90. 6.
5	(株)○○産業	—	穀物荷役 貯藏	피이더 및 컨베이어	옥 수 수	옥수수 運送 船舶에서 사일로 까지의 荷役 作業中 穀物에 함유된 異物質과 피이더(Feeder)의 마찰 스파크에 의해 發火, 컨베이어를 통하여 급격하게 화 염 전파.	고무벨트 및 FRP 전소, 붐(Boom), 피이더, 컨베이어 열 손상	'90. 11.

番號	會社名	勤勞者數	主要生産品	發生設備	加燃物質	發生原因	被害程度	發生日時
6	○○싸이로 (株)	116	穀物荷役 貯藏	호퍼, 버킷 엘리베이터 및 集塵機	小 麥	小麥運送船舶에서 荷役作業중 호퍼내부 에서 1차폭발 후 버킷 엘리베이터 및 集塵機에서 2~3차連鎖폭발. 착화원은 정전기로 추정되고 있으나 정확한 발생 장소 및 원인은 불명	건물벽면 전파, 버킷 엘리베이터, 집진기, 컨베이어 등 좌굴 손상	'91. 2.
7	第一○○社	20	製本, 印刷物	—	종이粉塵	電氣設備의 充電部 누전으로 堆積되어 있던 종이 분진에 착화, 화재발생 추정	부상 1명, 인근 18개 사업장 전소	'91. 3.
8	○○工業(株)	397	輸送用機械	백필터 集塵機	알루미늄분	시설물 鎔斷作業중 용접불꽃이 분진 배 출구 알루미늄분진이 담겨있는 마대에 비산, 발화, 내부로 전파되어 진화작업 중 集塵機 폭발 — 爆壓放散口 미설치	사망 1명, 부상 3명	'91. 8.
9	(株)○○木材	1,121	家具類	輸送配管 및 백필터 集塵機	木 粉	木粉塵이 輸送배관의 토출측 배관을 막 음으로서 移送 嚙(Fan)의 마찰열로 發 火, 진화작업중 移送배관에서 1차폭발, 화염전파로 집진기가 2차 폭발. — 집진기의 爆壓放散口 미과열(설계잘못)	부상 6명	'92. 4.
10	○○綜合食品 (株)	220	澱粉, 糖	空氣輸送 다트	澱 粉	空氣輸送다트로 전분을 移送하는 공정 에서 異物質 혼입(장치에서 탈락된 철 핀)으로 인한 스파크로 爆發.	수송다트 및 사이클 론 파괴	'92. 11.

〈표 4-2〉에 의하면 空氣輸送工程에서 3건, 機械式輸送工程에서 1건으로 輸送工程에서 가장 많이 발생되었으며 다음은 集塵工程에서 2건 그리고 粉碎, 貯藏, 乾燥工程에서 각 1건으로 粉體를 취급하는 모든 공정에서 발생되고 있음을 알 수 있다. 또한 〈표 4-3〉에 의하면 폭발·화재의 直接原因이 되는 착화원은 摩擦・衝擊에 의한 것이 4건으로서 가장 많으며 다음은 靜電氣 스파크에 의한 것이 3건, 鎔接鎔斷 作業時의 鎔接熱과 鎔接불꽃의 飛散으로 인한 것이 2건 그리고 電氣設備의 결함으로 인한 것이 1건이었다.

특히 이들 사례중 重大災害는 鎮火作業의 잘못, 예방 및 방호장치의 미설치 또는 설치 잘못으로 인하여 발생한 재해로서 爆發壓力放散口의 경우 〈표 4-1〉의 재해사례에서도 나타난 바와 같이 爆壓放散口를 설치하지 않았거나 또는 설치한 경우에도 잘못 설치함으로서 폭발시 火炎과 爆壓이 공장내부로 전파된 사례, 爆壓放散口가 破裂되지 않고 集塵機가 破裂되면서 火炎이 地面으로 분출됨으로서 재해가 발생한 사례등 설비의 결함이나 작업방법의 잘못으로 인하여 야기되고 있다.

2. 日本에서의 粉塵爆發・火災事例

日本の 경우 1987년 “粉塵爆發 防止對策 調查研究委員會”를 구성하여 산업현장에서의 粉塵에 의한 폭발·화재 사례를 조사한 결과에 의하면 1952년~1984년 사이에 발생한 분진폭발 사례는 〈표 4-4〉와 같이 총 225건(死亡者 88명, 負傷者 474명)으로서 년평균 발생 건수는 7건, 死傷者數는 17명에 달한다. 이들 災害 및 事故事例를 工程 및 着火源別로 나타내면 〈표 4-5〉 및 〈표 4-6〉과 같다.

〈표 4-4〉 日本에서의 粉塵爆發・火災 事例

(1952년~1984년)

粉 塵 種 類		發 生 件 數		死 傷 者 數		死	傷
石 炭		12		45		7	38
無機藥品	硫 黄	19		20		3	17
	카 본	(29) 5		(37) 4		(9) -	(28) 4
	珪 化 石 灰	5		13		6	7
金 屬	알 루 미 늄	30		116		28	88
	마 그 네슘	(49) 5		(166) 9		(37) 2	(129) 7
	기 타 金 屬	14		41		7	34
農 産 加 工 品	쌀	3		16		5	11
	砂 糖	1		1		-	1
	澱 粉	7		36		4	32
	小 麥 粉	6		12		1	11
	수 춧 가 루	1		4		-	4
	팔 가 루	(42) 1	(113)	3	(16)	3	(97) -
	麥 酒 酵 母	1		1		-	1
	밀 기 울	2		5		-	5
	大 麥 粉	2		-		-	1
	飼 料 粉	14		23		2	21
	야 자 열 메 가 루	1		2		-	2
	기 타 穀 粉	3		10		1	9
合 成 物	染 料 中 間 物	8		6		2	4
	플 라 스 틱	(31) 20	(51)	38	(5)	2	(46) 36
	合 成 洗 劑	2		4		1	3
	合 成 接 着 劑	1		3		-	3
有 機 化 學 藥 品	無 水 프 탈 酸	11		20		3	17
	加 硫 劑	(42) 1	(72)	-	(9)	-	(63) -
	醫 藥 品	7		9		1	8
	기 타	23		43		5	38
纖 維 類	木 粉	14		39		3	36
	코 르 크	1		-		-	-
	리 그 닌	(19) 1	(74)	2	(5)	-	(69) 2
	紙 分 타	2		22		-	22
기 타		1		4		-	4
計		225		562		88	474

〈표 4-5〉 工程別 爆發・火災 發生
件數(日本)

工 程	發 生 件 數
粉碎製粉工程	49
集塵分離工程	49
乾燥工程	32
輸送工程	24
貯藏工程	17
燃燒室	3
其 他	51
計	225

〈표 4-6〉 着火源別 發生 件數
(日本)

着 火 源	發 生 件 數
摩擦・衝擊	68
－ 異物質混入	(19)
－ 其他	(49)
金屬의 過熱	9
裸 化	14
靜電氣 스파크	39
鎔接・鎔斷 불꽃	26
自然發火	26
電氣設備	10
不 明	24
其 他	9
計	225

3. 美國에서의 粉塵爆發・火災事例

美國의 경우는 穀物 사일로 및 飼料工場에서의 분진폭발 사고가 가장 문제가 되고 있기 때문에 여기서는 이를 중심으로 기술하고자 한다. 美國의 경우 1958년 ~1976년 사이에 穀物 사일로 및 飼料工場에서 발생한 분진폭발은 총 216건으로서 飼料工場에서 54건, 穀物 사일로에서 162건이었으며 이로 인한 피해는 死亡 148명, 負傷 408명, 損害額은 1,200만불로 추정되고 있다. 그리고 1977년~1978년, 2년 사이에 21건의 분진폭발이 발생되어 65명이 死亡, 84명이 重輕傷을 입는 재해를 기록하였으며, 특히 1977년 12월에는 5일 간격으로 다음에 요약한 사례와 같이 2건의 대형재해가 발생되어 분진폭발의 공포로 대책 마련에 고심하였으나 그 이후에도 사고가 계속되어 1979년~1986년, 8년간 穀物 加工施設에서 160건의 분진폭발 사고가 발생하여 50명이 死亡, 224명이 重輕傷을 당하였다고 美農務省

이 보고하였다. 참고로 이들 재해중 대형재해 2건을 요약 정리하면 다음과 같다.

가. ○○그레인사(社)

① 日 時 : 1977, 12, 22

② 概 要 : 爆發壓力으로 사일로가 破壞, 飛散되면서 貯藏容量 163,000톤 73본의 사일로 중에서 48본이 大破되고, 높이 75m 버킷 엘리베이터 탑의 1/2이 破壞되어 崩壞되었다. 폭발 당시 엘리베이터의 탑에는 작업자와 穀物檢査官 50명이 있었으며 調整室 겸 事務室에도 다수의 작업자가 있어 人命損失이 많았으며 物的損失도 數百億圓에 달하는 사상 최대의 사일로 폭발사고 었음.

③ 原 因 : 벨트 컨베이어의 摩擦에 의해 분진에 着火, 또는 사일로내의 穀物이 산패되면서 발생하는 高熱과 가스에 의한 自然發火등으로 추정.

④ 死傷者 : 死亡 36명, 重輕傷 9명

나. ○○포오트사(社)

① 日 時 : 1977, 12, 27

② 概 要 : 최초의 폭발은 오후 8시 35분 鐵道貨車 施設內에서 발생하여 벨트 컨베이어용 地下터널을 崩壞시켜 높이 75m의 버킷 엘리베이터 탑으로 전파, 리프터에서 적은 폭발이 연속적으로 발생하여 탑내부가 완전히 파괴되고 1본의 사일로가 화염에 쌓였으며 調整室도 全燒하였다. 이 사일로는 1년 전에 건설된 최신 설비로서 사일로 수는 40본이었으며, 폭발이 일어난 장소는 사일로로부터 100m 정도 떨어져 있었고 여기에서 엘리베이터 탑 까지 벨트 컨베이어로 지하 터널을 통하여 운반하는 구조로 되어 있었음. 物的損失은 數拾億圓으로 추정.

③ 原 因 : 着火源은 정확하게 알 수 없으나 이 사고는 地下터널 내부의 분진농도가 爆發範圍內에 있었기 때문에 爆發火炎이 전파되어 대형재해를 유발시킨 사고임.

④ 死傷者 : 死亡 18명, 重傷 22명.

第5章 制度上の問題點 및 對策

1. 粉體 取扱作業에 대한 安全擔當者の 指定

분체 취급설비 특히 化學藥品, 合成樹脂, 食品, 飼料製造工業등과 같이 공정이 連續工程인 경우에는 폭발·화재의 위험성이 높고 화학공장과 같이 대형 폭발사고가 발생될 수 있다. 그러나 현행 법에서는 이들 작업과 관련하여 安全擔當者を 지정하지 않아도 되도록 규정되어 있다. 따라서 이들 설비를 이용하는 작업에 대하여 다음과 같이 安全擔當者を 지정하도록 검토하여야 한다.

産業安全保健法 施行令 제11조 제1항의 安全擔當者を 지정하여야 할 작업의 종류로서 별표 2의 9항에 “분말 원재료등을 담은 호퍼·사이로등 저장탱크의 내부작업”으로 규정하고 있으나 분진으로 인한 폭발·화재의 위험이 높은 粉碎·輸送·貯藏·集塵·分離·乾燥등의 작업도 安全擔當者を 지정하여 작업하도록 이 조항에 포함시키거나 별도 조항을 규정하도록 검토하여야 한다.

특히 상기 施行令과 관련하여 별표 2의 10항에 加熱乾燥作業과 관련한 건조설비에 열원으로 보일러에 의한 蒸氣나 熱媒를 사용하면서 가연성분체를 건조하여 수분을 건조 제거하는 流動層乾燥機, 氣流乾燥機등 분진폭발의 위험이 있는 건조기가 제외되어 있는 바 이는 가능한 化學設備에 포함하도록 검토되어야 한다.

2. 粉體 取扱設備에 대한 自體檢査 實施

분체 취급설비는 분진농도가 爆發範圍내에서 운전되는 경우가 많고 각종 착화원이 설비내에 존재할 위험성이 높기 때문에 自體檢査가 수행되는 것이 바람직할 것이다. 그러나 현행 법에서는 이들 설비에 대한 自體檢査를 규정하고 있지 않다. 따라서 이들 설비에 대하여 다음과 같이 自體檢査를 실시하도록 규정하는

것을 검토하여야 한다.

産業安全保健法 제16조 제1항 自體檢査와 관련하여 동법 시행규칙 제73조 ①항에 勞働部令이 정하는 기계기구로서 化學設備 및 그 附屬設備가 규정되어 있으나 폭발·화재의 위험성이 높은 가연성분체 취급설비가 제외되어 있는 바 본 장의 4와 같이 化學設備에 대한 정의를 수정, 이들 설비도 자체검사를 수행하게 한다.

특히 상기 1에서 언급한 바와 같이 乾燥設備의 정의에 열원으로 보일러에 의한 증기나 열매를 사용하면서 可燃性粉體를 건조하여 수분을 건조 제거하는 流動層乾燥機, 氣流乾燥機등 분진폭발의 위험이 있는 건조기가 제외되어 있는 바 이들 설비도 가능한 化學設備에 포함하여 自體檢査가 실시되도록 검토되어야 한다.

3. 粉體 取扱設備에 대한 有害・危險防止事項에 관한 計劃書등의 提出

분체 취급설비는 앞에서 언급한 바와 같이 폭발·화재의 위험성이 높고 連續工程인 경우가 많아 대형 폭발사고의 위험성이 높기 때문에 이들 설비는 설계단계에서 부터 충분히 안전을 고려하여 건설되어야 한다. 따라서 이들 설비에 대하여 다음과 같이 有害・危險防止事項에 관한 計劃書등의 제출을 규정하도록 검토하여야 한다.

가. 勞働部令이 정하는 業種

産業安全保健法 제48조에 의하여 有害・危險防止事項에 관한 計劃書등을 제출하여 事前審査를 받아야 할 설비중 시행규칙 120조(事業場の 種類) ①항의 勞働部令이 정하는 業種 및 規模에 해당하는 사업 중 제1호에 化合物과 化學・石油・石炭・고무 및 플라스틱제품제조업으로 규정하고 있는 바 여기에 穀物등 기타 可燃性物質을 포함시킨다.

나. 勞勤部令이 정하는 設備

상기 시행규칙 120조(사업장의 종류) ②항의 勞勤部令이 정하는 것 중 제 2 호의 化學設備는 다음 4와 같이 그 정의를 수정한다.

4. 化學設備 및 附屬設備 種類의 追加

産業安全基準에 관한 規則 제255조 내지 제257조, 제270조 및 제 4 장과 관련한 <별표 3>의 化學設備 및 그 附屬設備를 상기 1, 2, 3의 문제점을 고려하여 다음 밑줄친 부분을 추가하도록 개정을 검토하여야 한다.

가. 化學設備

- (1) 반응기·혼합조등 化學물질 반응 또는 혼합장치
- (2) 증류탑·흡수탑·추출탑·감압탑등 化學물질 분리장치
- (3) 저장탱크·계량탱크·호퍼·사일로등 化學물질 저장 또는 계량설비
- (4) 응축기·냉각기·가열기·증발기등 열교환기류
- (5) 고로등 접화기를 직접 사용하는 열교환기류
- (6) 카렌다·혼합기·발포기·인쇄기·압축기등 化學제품 가공설비
- (7) 분쇄기·분체분리기·용융기등 분체化學물질 취급장치
- (8) 결정조·유동탑·탈습기·건조기 등 분체化學물질 분리장치
- (9) 펌프류·압축기·이젝타등의 化學물질 이송 또는 압축설비
- (10) 상기 (1)내지 (9)의 설비 이외에 가연성분체를 분쇄·분리·수송·저장 및 건조하는 설비

나. 化學設備의 附屬設備

- (1) 배관·밸브·관·부속류등 化學물질 이송관련 설비
- (2) 온도·압력·유량등을 지시·기록등을 하는 자동제어 관련설비

- (3) 안전밸브 · 안전판 · 긴급차단 · 방출밸브 또는 폭발구등 비상조치 관련설비
- (4) 가스누출감지 및 경보관련설비
- (5) 세정기 · 응축기 · 벤트스택 · 플레어스택등 폐가스 처리설비
- (6) 사이클론 · 백필터 · 전기집진기등 화학물질 또는 가연성물질의 분진처리설비
- (7) 가목내지 바목의 설비를 운전하기 위하여 부착된 전기 관련 설비
- (8) 정전기 제거장치 · 긴급 샤워설비등 안전관련 설비

第6章 粉塵의 爆發・火災 豫防對策

粉塵爆發로 인한 재해방지 대책으로는 설비내에서의 폭발・화재를 사전에 방지하는 豫防對策과 만일의 경우 폭발이 발생할 것에 대비하여 被害範圍를 局限化함으로써 설비와 인적손실에 대한 防護를 목적으로 하는 被害抑制對策을 들 수 있다.

흔히 가스폭발은 豫防對策에 중점을 두고 분진폭발은 豫防 및 被害抑制對策을 모두 중요시 하는 경향이 많은데 이는 분진폭발이 가스폭발 보다 일반적으로 예방이 어렵다는 것을 의미할 수도 있다. 따라서 분진폭발을 예방하기 위해서는 많은 지식과 주의가 요구되고 있는 실정이다. 여기서 가능한 구체적으로 豫防對策을 제시하고자 하는 바 설비의 설계, 설치 및 운전시에 이를 준수하여야 할 것이다.

1. 豫防對策의 基本原理

일반적으로 燃燒에 필요한 요소는 可燃性物質, 酸化濟 즉 酸素 그리고 着火에너지이며 분진폭발 역시 본질적으로는 급격한 燃燒의 일종으로서 폭발・화재를 예방하기 위해서는 이들 요소를 가능한 제거하거나 또는 격리하여야 한다.

가. 粉塵爆發

분진폭발은 가스폭발과는 달리 분진에 의해서 야기되기 때문에 다소 차이가 있으며 이에 대응하는 예방대책이 필요하다. 즉 공기중에서 분진폭발이 일어나기 위해서는 첫째, 분진이 공기중에서 浮遊・分散되어야 하며 둘째, 분산된 분진의 濃度가 爆發下限界 以上の 농도에 달하여야 하고 세째, 충분한 에너지를 갖는 着火源이 주어져야 한다. 따라서 분진폭발을 방지하기 위해서는 이상의 조건 중 어느 하나를 완벽하게 배제하면 가능하다. 그러나 실제 취급설비에서 이들을 완벽하게 배제한다는 것은 쉬운 것이 아니다. 따라서 취급설비 및 공정을 충분히 고

려하여 다음에 제시한 대책중 적절한 방법을 이용하여 대책을 강구하여야 할 것이다.

- ① 可燃性粉塵을 除去한다.
- ② 粉塵雲의 생성을 방지한다.
- ③ 酸素를 除去하기 위하여 不活性物質을 첨가한다.
- ④ 着火源을 除去한다.
- ⑤ 濕式 프로세스를 채용한다.

여기서 粉塵雲의 생성을 방지하기 위해서 분체의 粒徑을 크게 하면 가능할 것 같으나 실제 취급시 摩擦 등에 의해 微粉이 발생되기 때문에 완전한 방지책이라고는 할 수 없으며 또한 프로세스를 濕式으로 할 경우에는 분진의 발생을 방지할 수 있으나 실제 가능한 경우는 많지 않다고 보아야 한다. 또한 분진 취급설비는 가연성용제 및 가스 취급설비 처럼 공정 내부에 산소를 배제하기가 어려운 설비가 대부분으로서 대책 마련에 특히 주의가 요망된다.

나. 粉塵火災

분진으로 인한 화재를 예방하기 위해서는 粉塵雲의 생성을 방지하거나 不活性物質을 첨가하는 등의 분진폭발 예방대책은 무의미하며 특히 다음 두가지 예방대책을 강구하여야 한다.

- ① 可燃性粉塵의 除去 특히 堆積을 방지한다.
- ② 着火源을 제거한다.

2. 粉塵爆發 豫防對策

가. 粉塵의 發生抑制

분진폭발을 방지하기 위해서는 무엇보다도 분진이 浮遊・飛散되지 않게 하여야 한다. 浮遊・飛散을 방지하기 위해서는 첫째, 분진의 발생을 방지하는 방법 둘째,

飛散을 방지하는 방법 셋째, 발생한 분진을 제거하는 방법등이 이용될 수 있다. 여기서 발생을 방지하는 방법으로는 원료의 종류, 원료의 粒徑, 제조방법 그리고 濕式 프로세스의 채용등을 적절하게 활용함으로써 그 발생을 최소화할 수는 있을 것이다. 그러나 穀物을 貯藏 또는 加工하는 荷役業體나 飼料工場등에서는 원료 또는 제품의 특성상 발생을 억제하는 데 어려움이 있다.

나. 粉塵의 飛散防止

발생한 분진이 주위로 飛散되어 粉塵雲이 생성되는 것을 최소화하는 방법이다. 일반적으로 비산을 방지하기 위해서는 첫째, 설비를 氣密構造로 하고 둘째, 호파(Hopper), 사일로(Silos)등의 주입구는 落差를 감소할 수 있는 특수 슈우트(Chute)를 사용하고 셋째, 호파등 설비의 용량을 過大하게 하지 않고 적절한 크기로 하며 넷째, 컨베이어나 버킷 엘리베이터등을 空氣輸送 시스템으로 변경하는 방법등이 이용될 수 있다. 그러나 일반적으로 취급설비에서 사실상 浮遊粉塵의 형성을 방지하기가 어렵고 空氣輸送등을 제외하고 보통 그 濃度를 제어하는 것이 곤란하다. 하지만 플랜트의 설계나 프로세스의 적절한 선택에 의해서 粉塵雲의 형성을 억제하고 그 용적을 최소한으로 축소시킴으로서 가능하다. 예를 들면 사일로의 최상부에서 분체를 투입하는 것보다 측벽의 적당한 투입구에서 투입함으로써 浮遊 粉塵雲의 형성을 어느정도 억제할 수 있으며, 또한 필요 이상으로 큰 용적의 플랜트도 분진농도가 폭발하한계 이상으로 공간내에 형성될 위험성이 높아 바람직하지 않다. 따라서 가능한 설비의 크기를 작게하고 또 여러개로 분할하는 것이 바람직하다. 그리고 분체를 가능한 乾式 보다도 濕式으로 취급하는 것이 좋다.

다. 設備 内外部에서의 粉塵 除去

일단 발생한 浮遊粉塵이나 堆積되어 있는 분진은 제거되어야 한다. 堆積되어 있는 분진은 화재나 소규모의 폭발 또는 화재의 鎮火過程 중에 흔히 부유하게 됩

으로서 폭발 또는 2차 폭발을 야기하고 경우에 따라서는 건물 전체에 大爆發을 야기하는 사례가 많다. 분진 취급설비 특히 穀物 荷役・貯藏業體나 飼料工場 등 農産物 가공업체에서는 대부분 사일로, 버킷 엘리베이터(Bucket elevators), 각종 컨베이어류, 백필터 등 集塵機類, 분쇄분리기 등이 한 시스템으로 구성되어 있어 소규모의 폭발이 대형 폭발로 전이할 위험성이 높기 때문에 특히 주의하여야 한다.

따라서 부유분진이 형성되는 경우에는 가능한 빨리 이를 제거하는 것이 최선의 방법으로서 사일로(Silos)등에서 분진의 형성을 방지할 수 없는 경우에는 집진기를 설치하여 이를 제거하여야 하며, 이때 백필터 등 集塵機는 靜電氣 등으로 인한 폭발 위험이 없도록 주의하여야 한다. 집진기에 문제가 있는 경우에는 오히려 집진기에서의 폭발이 사일로 등의 폭발을 야기함으로써 더 큰 사고를 誘發할 위험이 있기 때문이다. 설비 내외부에서의 분진 누적을 최소화하고 清掃 등을 용이하게 하기 위하여 건물 또는 설비의 구조는 다음 사항을 고려하여야 한다.

그리고 작업장에 분진이 누적되는 것을 피하기 위하여 정기적으로 청소를 철저히 하여야 하며 특히 장치 또는 전구 등 열원이 있는 곳에 분진이 누적되는 경우에는 더욱 위험하기 때문에 유의하여야 한다. 청소시는 분진이 가능한 부유되지 않게 하여야 하며 또한 일반 眞空清掃機 등을 사용하여서는 안된다. 眞空清掃機를 사용하여야 할 경우에는 防爆性能이 있고 靜電氣防止를 고려한 제품을 사용하여야 한다.

(1) 建物の 構造

(가) 설비가 건물 내부에 설치되어 있는 경우에 건물은 不燃性構造로 하는 것이 바람직하며 건물의 내부구조는 분진이 가능한 누적되기 어렵고 또한 누적된 분진은 清掃, 除去가 용이한 구조로 설계하여야 한다.

(나) 벽면은 屈曲部를 적게하고 突出部는 가능한 수평에 대하여 60° 이상 傾斜를 갖도록 하는 것이 바람직하다.

(2) 設備의 構造

(가) 설비는 가능한 외부로의 분진 누출을 방지할 수 있도록 氣密構造로 하거나 陰壓狀態로 운전하는 것이 바람직 하다.

(나) 닥트나 컨베이어 라인등의 구부러진 부분, 접속부분 및 交叉點등은 분진의 누적을 방지할 수 있도록 설치하여야 한다.

(다) 특히 집진계통의 닥트류는 폭발·화재의 傳播를 방지할 수 있도록 가능한 타 닥트류와의 연결을 피하고 청소를 위한 개구부는 분진이 누적되기 쉬운 위치에 설치하여야 한다.

(라) 送排風機의 케이싱, 플랜지 연결부 그리고 스피들 부시(Spindle bushes)등은 분진이 누적되지 않는 구조로 하여야 한다.

(3) 維持管理

(가) 粉碎機, 乾燥機等이 설치된 밀폐된 공간의 바닥등에는 최소 0.32cm (1/8in) 以上으로 粉塵이 누적되지 않도록 청소등을 철저히 하여야 한다.

(나) 선반(Ledges), 壁 및 기타 장소의 粉塵을 압축공기로서 블로우(Blow)하여 제거할 경우에는 着火源이 存在하지 않도록 모든 機器等を 설다운(shut-down)한 후에 실시하여야 한다.

라. 不活性物質의 添加

분진폭발을 방지를 위한 상기 방법 이외에 不活性价스나 粉體등 不活性物質을 첨가함으로써 분진자체의 폭발위험성을 제거할 수 있으나 不活性 粉體類는 農産物의 경우에 사용이 거의 불가능하며, 불활성가스의 경우는 경제성 및 제품의 품질관리 측면에서 분진 취급플랜트에 전면적으로 적용하기가 어려우나 대상으로 하는 분진의 종류나 사용범위에 따라서 확실하게 효과를 기대할 수 있다. 따라서 착화원을 배제하기가 어려운 위험설비에는 사용을 고려하여야 한다.

(1) 不活性가스의 添加

설비내에 不活性가스를 공급하여 酸素濃度를 爆發下限界 이내로 억제하는 것은 일반 화학플랜트에서는 흔히 사용하고 있다. 그러나 穀物이나 木粉 사일로 등 저장설비나 가공설비는 大氣壓 상태에서 운전되는 경우가 많고 기밀성이 양호하지 못하여 일반 화학 플랜트와는 달리 불활성가스를 사용하기가 어려운 실정이다. 그러나 착화 위험성이 큰 경우에는 확실하게 효과를 기대할 수 있기 때문에 설비와 공정을 개선하여 사용할 경우 대책으로서 바람직하다. 불활성가스로서는 일반적으로 炭酸가스와 窒素가 사용되고 있으며 연소 폐가스가 사용되는 경우도 있다.

(가) 적합한 設備 및 安全裝置

앞에서 언급한 바와 같이 不活性가스는 粉碎機, 混合機, 乾燥機, 貯藏탱크등 밀폐형의 장치에서 기밀성이 충분히 유지된 경우에 유효하다. 그러나 백필타 집진 또는 버킷 엘리베이터 시스템등에서도 불활성가스를 대기중에 방출하면 운전비가 높아지기 때문에 폐쇄형으로 하여 再循環 시키는 경우가 있다. 이 경우 반드시 분진 배출시 등의 불활성가스 損失分은 보충해 주어야 한다. 그리고 불활성가스의 부족 또는 첨가가 정지될 경우 탄산가스, 산소등 가스分析裝置와 連動하여 자동적으로 경보를 발하고 운전이 정지되거나 불활성가스가 추가 공급되도록 인터록장치를 설치하는등 충분한 검토가 요망된다.

(나) 酸素濃度

불활성가스를 사용할 경우에는 酸素를 완전하게 불활성가스로 置換하는 것은 비경제적이며 이 경우에는 酸素濃度를 착화하지 않는 許容限度 以下로 유지하는 것이 좋다. 그 적절한 安全率은 취급분체나 기타 조건에 따라야 겠지만 보통 粉塵雲이 착화하는 한계농도 이하 보다 2% 정도 낮으면 된다. 즉 粉塵雲이 착화하는 한계농도가 11%이면 시스템 내의 산소농도는 9% 이하로 유지하여야 한다.

일반적으로 炭酸가스를 사용하는 경우에는 8~12%, 窒素를 사용하는 경우에는 5~9% 정도로 하는 것이 좋으나 강한 착화원 즉 高温表面, 爆發物, 용접 버너등

이 존재하는 경우에는 산소농도를 특히 낮게 유지하여야 한다.

(2) 不活性粉體의 添加

탄산칼슘, 규조토, 실리카겔, 無機鹽 등의 불활성분체를 가연성분진 중에 혼입하면 冷却效果和 浮遊性を 억제하는 효과에 의해 폭발을 방지할 수 있다. 그러나 제품이나 공정의 특성을 고려할 때 임의로 사용하기가 어려운 실정으로서 일반적으로 거의 이용되고 있지 않다.

마. 着火源의 除去

앞에서 언급한 日本에서의 분진폭발 사고사례 225건의 분석결과 着火源은 異物質混入 및 기타 원인으로 인한 摩擦・衝擊이 68건, 靜電氣 스파크 39건, 鎔接・鎔斷用 火炎 26건, 自然發火 26건, 裸火 14건, 電氣에너지 10건, 金屬의 過熱 9건 등의 순으로서 착화원의 관리에 무엇보다 신중을 기하여야 한다.

일반적으로 可燃性가스의 着火에너지는 가스나 증기에 비하여 높으며 가스의 最小着火에너지는 약 0.02~0.5mJ인데 반하여 분진은 가스에 비하여 약 10~100배 이상 높다. 그러나 보통의 스파크도 그 에너지가 100mJ을 초과하는 경우가 많아 火氣管理에 대한 대책이 필요하다. <표 6-1>에 일반적인 착화원의 종류와 그 예를 나타내었으며 그 중에서 중요한 것에 대해서는 자세하게 대책으로서 제시하고자 한다.

<표 6-1> 着火源의 種類와 例

착 화 원	열원	예
화염, 고온가스, 방사열, 연소 입자, 고온고체면, 자연발화	열	연소실, 가열로내 화염, 보일러, 전열기, 열교환기, 공기압축기, 원동기, 송풍기, 용접, 용단, 퇴적분체
적외선, 자외선, 태양광선	빛	가열, 집광발열 인화
마찰, 접촉, 파괴, 유체분출	기계	진동하중, 충격파괴, 파열, 질손, 접촉, 격돌, 전도, 압력변화, 분출

착 화 원	열원	예
축매, 화학변화, 분해, 산화, 중합	화학	각종 분자의 분자결합
정전기방전, 직류방전, 교류방전	전기	대전기방전(전기기기, 설비기기, 분체), 직류교류방전(전동기, 전기기기, 스위치), 전기용접, 낙뢰

(2) 一般 火氣

일반 화기로는 성냥, 라이타, 담배불, 난로등을 의미하며 작업장 내에 이들을 소지하고 출입함은 물론 사용을 엄격하게 禁止시켜야 한다. 특히 난로, 보일러등을 취급하는 작업장은 가연성분진이 발생하는 危險場所와 완전하게 격리하여야 한다. 특히 危險物 乾燥設備의 경우 열원으로서 直火를 하는 경우가 있는 데 이는 절대적으로 금지되어야 한다.

(2) 電氣設備의 過熱 및 스파크

분진이 발생하는 작업장에는 모타, 조명기구, 스위치, 콘센트등 스파크를 발생시키거나 過熱 우려가 있는 電氣設備를 설치 사용하여서는 안된다. 흔히 스위치류의 개폐시 스파크, 휴즈나 배선등의 쇼트 또는 누전, 전구의 파손시 스파크, 모타나 조명기구의 과열등에 의한 폭발. 화재사고가 많이 발생되고 있다. 따라서 분진이 발생하는 장소에 電氣機器를 사용할 경우에는 다음 사항에 특히 유의하여야 한다.

(가) 危險等級에 따라 충분한 防爆性能을 갖는 電氣機器를 설치, 사용하여야 한다.

(나) 粉塵爆發의 위험성이 있는 사일로, 버킷 엘리베이터, 집진기등을 점검 및 수리하거나 청소하기 위하여 내부에서 電氣機器를 사용할 경우에도 防爆性能이 있는 것을 사용하여야 한다.

(다) 버킷 엘리베이터, 분쇄기, 로타리 밸브등의 이상현상에 대비하여 모타에는 過電流遮斷器를 설치하여야 한다.

(라) 전기설비에 대한 點檢部位, 方法, 週期등을 규정하고 체크 리스트를 이용하여 점검하고 기록하여야 하며, 불량한 기기는 즉시 補修 또는 교체하여야 한다. 특히 漏電의 위험을 제거하기 위해서는 정기적인 絶緣抵抗檢査를 행함은 물론 漏電警報器를 설치하여야 한다.

(3) 靜電氣 放電

분진폭발은 事故事例에서도 나타난 바와같이 靜電氣로 인하여 발생하는 경우가 많다. 분체 취급설비에서 靜電氣의 발생을 방지하기 위해서는 接觸하는 물체의 特性과 接觸, 分離過程등 물리적 현상을 충분히 고려하여 한다. 특히 粉體를 加工 및 貯藏하기 위한 粉碎, 分離, 集塵 및 乾燥工程, 컨베이어등을 이용한 機械式輸送 또는 空氣輸送工程등에서는 靜電氣가 많이 발생될 수 있다. 따라서 이들 공정에서 靜電氣 발생을 방지하기 위해서는 다음 사항에 유의하여야 한다.

(가) 粉碎工程에서의 發生防止

可燃性物質을 粉碎할 때에는 그 結果 發生한 粉體類의 破壞나 상호간의 摩擦, 衝突 그리고 粉體와 粉碎機 사이의 摩擦, 衝突등에 의하여 靜電氣가 發生한다. 따라서 形態 및 크기가 매우 불균일한 粉體類를 適當한 크기의 균일한 분체로 만든 다음 서서히 粉碎해야 하며 粉碎量은 될 수 있는 한 小量으로 하고 粉碎速度도 比較的 느리게 하는 것이 바람직하다. 그리고 粉碎할 物體에 適當한 량의 수분을 添加해 주면 靜電氣의 發生을 防止할 수 있는바 공정에 지장이 없는 경우에 사용 하는 것이 바람직하다.

(나) 集塵工程에서의 發生防止

1) 백필타(Bag filter) 集塵

분체류의 集塵過程에서는 특히 분체류와 백필타와의 摩擦, 衝突에 의해서 靜電氣가 많이 발생하며 백필타에 부착되어 있던 분체류의 剝離에 의해서도 靜電氣가 발생한다. 따라서 백필타의 재질은 분체의 종류에 따라 상호 摩擦이나 衝突에 의해서 靜電氣가 적게 발생되는 재질 그리고 반드시 傳導性 또는 帶電防止處理된

재질을 사용하여야 한다.

2) 사이클론(Cyclone) 集塵

사이클론을 사용한 集塵過程에서는 분체가 사이클론 내벽과의 衝突이나 摩擦 등에 의해서 靜電氣가 발생한다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 風速을 될 수 있는 한 낮추고 사이클론의 내벽에는 突起物이나 障害物을 설치해서는 안되며 분체류가 局部的으로 부착하거나 집진상태가 急變하지 않도록 항상 청소를 하여 깨끗한 상태로 유지하여야 한다.

(다) 輸送工程에서의 發生防止

1) 컨베이어 및 버킷 엘리베이터 輸送

분체류를 수송하기 위하여 흔히 스크류(Screw) 컨베이어, 벨트(Belt) 컨베이어 또는 버킷 엘리베이터 등을 많이 사용하고 있으며 이때 분체류 상호간 또는 컨베이어와의 摩擦이나 衝突에 의해 靜電氣가 발생한다. 스크류 컨베이어일 경우에는 그 回轉數를 필요 이상으로 크게 하면 靜電氣 발생량이 증가하므로 적당한 回轉數를 유지시켜야 하고 벨트 컨베이어일 경우에는 그 자체에 振動을 가하거나 輸送量을 갑자기 증가시켜 異常振動이 발생하게 해서는 안되며 분체류가 浮遊하거나 飛散하지 않도록 해야 한다. 그리고 컨베이어의 벨트(Belt)나 버킷 엘리베이터의 버킷(Buckets) 등에 사용하는 섬유, 고무 및 플라스틱류는 반드시 傳導性 또는 帶電防止處理된 재질을 사용하여야 한다.

2) 空氣輸送

분체류가 空氣에 의해 관내에서 수송될 때는 분체 상호간 또는 관벽과의 摩擦이나 衝突에 의해서 靜電氣가 발생된다. 따라서 이러한 靜電氣의 발생을 방지하기 위해서는 관내 분체의 輸送速度를 필요 이상으로 크게 하여서는 안되며 관의 直徑을 분체 상호간의 摩擦이나 衝突을 고려하여 가능한 한도내에서 최대한 크게 하여야 한다. 그리고 관내에는 분체와 摩擦을 일으킬 우려가 있는 網이나 格子등을 설치해서는 안되며 관내 분체의 흐름이 亂流化되지 않도록 屈曲이나 勾配가 심하지 않게 설계하고 風速이나 輸送量을 갑자기 변화시켜서는 안된다.

또한 분체류가 관벽의 일부에 堆積되지 않도록 적절한 空氣振動을 가하거나 관벽의 내표면을 정기적으로 청소해야 하며 수송관은 가능한 傳導性이 좋은 재질을 사용하고 반드시 接地 및 본딩(Bonding)하여야 한다.

(라) 移替 및 混合工程에서의 發生防止

1) 移替 및 混入

분체류를 輸送配管이나 컨베이어 등을 통해 移替하거나 다른 분체류에 混入할 때에는 분체류 상호간 또는 移替, 混入裝置와의 摩擦에 의해 靜電氣가 발생하기 때문에 가능한 일정량을 연속적으로 공급하여야 하며 다량의 분체를 일시에 高速으로 移替하거나 混入하면 靜電氣 발생 위험이 높아지고 또한 그 발생량도 상당히 커지기 때문에 주의하여야 한다.

2) 混合

混合過程에서는 분체류 상호간이나 混合機와의 摩擦에 의해 靜電氣가 발생하기 때문에 그 혼합속도를 낮추고 또한 취급량도 가능한 적게하여야 한다.

(마) 乾燥工程에서의 發生防止

건조공정에서는 분체류 상호간이나 또는 乾燥機와의 摩擦, 衝突에 의해서 靜電氣가 발생한다. 따라서 乾燥機의 내벽은 다량의 분체가 부착되지 않는 구조로 하고 부착된 분체는 정기적으로 제거하여야 하며 분체류의 流動速度가 증가하지 않도록 건조량이나 분체의 특성을 고려하여 風量 및 溫度 등을 적절하게 조정해 주어야 한다. 또한 분체류가 過乾燥되지 않도록 空氣溫度를 적정수준 이상으로 높히거나 장시간 연속건조를 시켜서는 안된다.

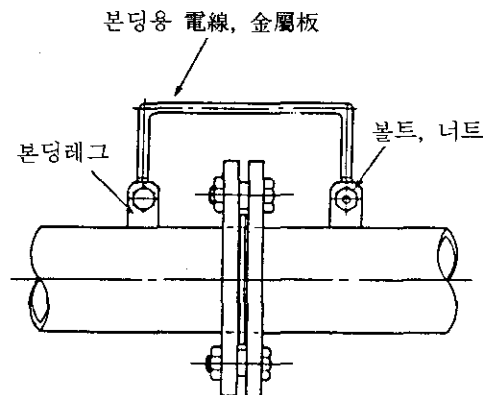
(바) 接地에 의한 帶電防止

接地란 金屬導體를 大地와 전기적으로 접속하므로서 서로 같은 電位가 되도록 하는 것으로서 설비내부에서 발생된 靜電氣를 大地로 누설시킴으로서 축적이나 대전을 방지하는 방법이다. 이는 靜電氣對策中 가장 기본적인 사항으로서 분체 취급설비는 반드시 적절하게 接地를 하여야 한다. 특히 벨트류는 傳導性材質을 사용하고 풀리(Pulley)등을 통하여 접지하고 버킷 엘리베이터의 버킷, 플렉시블

호스, 캔버스(Canvas), 닥트, 분체용기류 등도 傳導性材質을 사용하고 接地하여야 한다. 傳導性材質로서 合成樹脂, 고무, 纖維類는 帶電防止劑, 炭素(Carbon) 또는 金屬등이 함유된 것을 사용하여야 한다.

(사) 본딩(Bonding)에 의한 帶電防止

본딩은 複數의 金屬導體를 전기적으로 접속하여 서로 같은 電位가 되도록 하는 것으로서 일반적으로 非金屬性 絶緣體에 의하여 연결되어 있는 金屬導體를 <그림 6-1>과 같이 연결하는 방법이다. 흔히 可燃性氣體나 液體와 달리 粉體 輸送設備 등에는 이를 등한시하고 있는 실정으로서 靜電氣 발생이 우려되는 모든 絶緣部分에는 본딩을 하여야 한다.



[그림 6-1] 配管 접속플랜지 및 연결부위의 본딩(Bonding) 예

(4) 異物質 混入에 의한 衝擊 및 摩擦 스파크

앞의 國內 및 日本에서의 사고사례에 의하면 異物質 混入등 衝擊 및 摩擦 스파크에 의해서 야기된 사고가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 衝擊 및 摩擦 스파크는 흔히 金屬片이나 돌조각등 異物質 混入으로 인한 스파크에 의해서 발생되고 있다. 이를 방지하기 위해서는 다음 사항을 반드시 지켜야 한다.

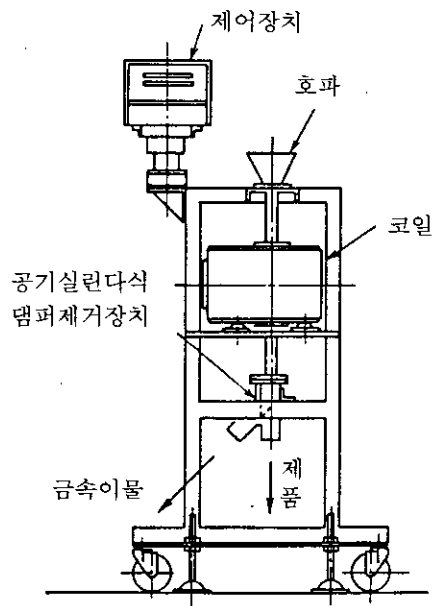
(가) 混入 異物質을 除去하기 위해서는 원료 공급시 選別 및 精選工程에서 이를 제거하여야 한다. 특히 穀物의 경우는 생산과정에서 異物質이 많이 혼입되

어 공급되는 경우가 많은 실정으로서 특히 주의하여야 한다. 따라서 설비에 공급하기 앞서 이송라인에서 이를 먼저 제거하여야 한다. 흔히 金屬 또는 非金屬片 異物質은 密度差를 이용한 공기식 분리기를 사용하여 분리할 수 있으나 金屬片의 경우는 오히려 마그네틱 세파레이터(Magnetic separator)를 설치하여 제거하는 것이 편리하며, 경우에 따라서는 金屬檢出機를 설치하여 제거할 수 있다.

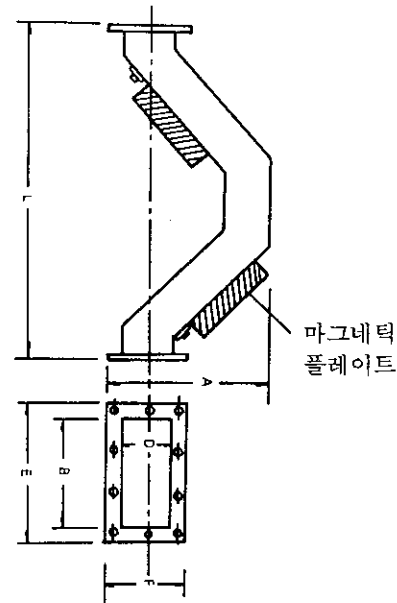
(나) 異物質 分離機에 수집된 異物質은 정기적으로 제거되어야 한다. 특히 金屬片등이 磁石上에 누적되어 있는 경우 분리기의 역할을 할 수 없으며 이로 인하여 만일 부착되어 있던 금속편이 다량으로 혼입될 경우 더욱 위험하게 된다. 또한 永久磁石이 아닌 電磁石을 이용할 경우에는 電源에 이상이 발생시 원료의 공급이 차단되도록 인터록하여야 한다.

(다) 異物質에는 외부에서 유입된 것 외에 설비 내부에서 離脫된 볼트, 너트 또는 破損에 의한 金屬片類등도 포함된다. 따라서 정선공정에서 異物質을 제거하였을 지라도 粉碎機, 버킷 엘리베이터등의 注入部에는 반드시 마그네틱 세파레이터를 설치하여 이들을 제거하여야 하며, 세파레이터를 통과하는 傾斜는 가능한 적게하여 분리가 용이하게 하여야 한다.

(라) 金屬檢出機는 코일에 의해 磁界를 발생시켜 금속이 그 磁界를 통과하게 함으로서 磁束의 변화를 檢知하여 신호를 발생시키는 장치로서 여러가지 형태가 사용되고 있다. 일반적으로 金屬檢出機는 金屬片이 존재할 경우 경보를 발하고 이 신호에 의해 댐퍼식 제거장치를 連動시켜 금속의 이송라인을 변경 제거한다. 金屬檢出機는 일반적으로 1~3mm 정도의 金屬片을 검지할 수 있다. [그림 6-2]는 金屬檢出機의 한 예를 나타낸 것이다.



[그림 6-2] 金屬檢出機의 例



[그림 6-3] 마그네틱 험프(Magnetic hump)형

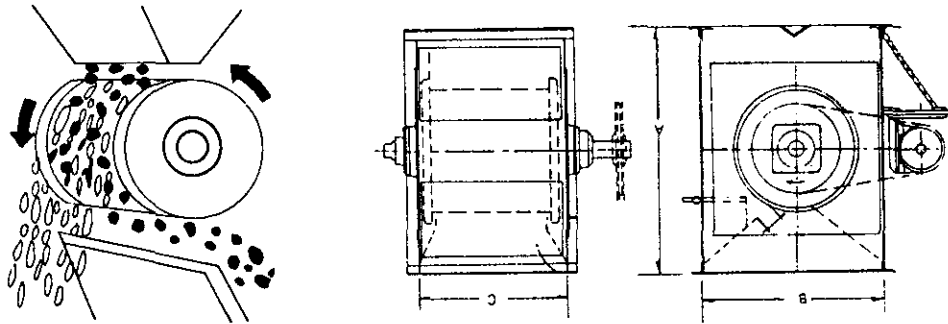
(마) 粉體에 사용되는 마그네틱 세파레이터(Magnetic separator)는 取扱物質과 工程에 따라 다양한 종류가 사용되고 있다. 흔히 취급되고 있는 종류는 다음과 같다.

1) 마그네틱 험프(Magnetic hump)형

가장 많이 사용되고 있는 세파레이터로서 管路에서 粉體의 흐름 방향을 바꿈으로서 속도를 줄이고 또한 텀블링 운동을 야기시킴으로서 험프의 상하면에 장착된 마그네틱 플레이트에서 金屬片등을 제거하는 형이다.([그림 6-3] 참조)

2) 마그네틱 드럼(Magnetic drum)형

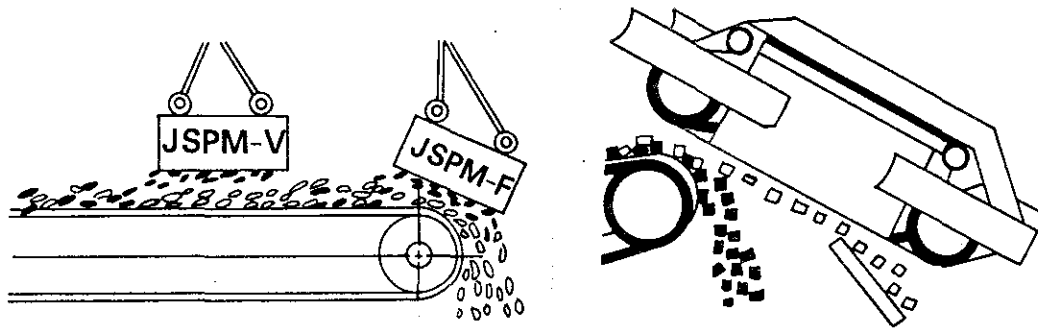
드럼 내부에 마그네트를 장착하여 외측의 드럼을 회전시켜 金屬片등을 분리하는 장치로서 컨베이어등에 주로 연결하여 사용한다.([그림 6-4] 참조)



[그림 6-4] 마그네틱 드럼(Magnetic drum)형

3) 서스펜디드 플레이트 마그네트(Suspended plate magnet)형

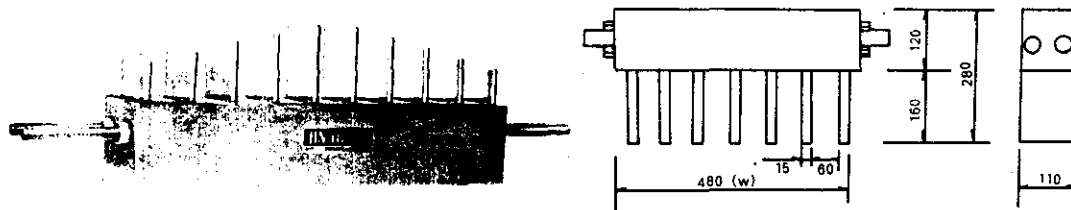
주로 슈우트나 컨베이어 벨트 위에 매달아서 설치 사용하며 설치가 간편하나 粉體의 이송량이 많은 경우 잘못 설치할 경우 下部의 金屬片등을 제거하는 데 어려움이 있다.([그림 6-5] 참조)



[그림 6-5] 서스펜디드 플레이트 마그네트(Suspended plate magnet)형

4) 레이크 마그네트(Rake magnet)형

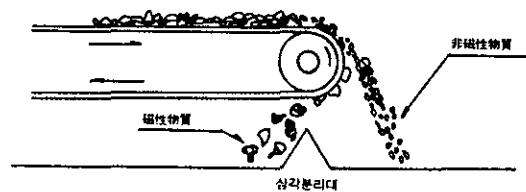
주로 컨베이어, 닥트 및 슈우트등에 설치 사용하며 갈퀴형으로 粉體의 이송량이 많은 경우에도 下部에 묻힌 金屬片등을 제거하기가 용이하다.([그림 6-6] 참조)



[그림 6-6] 레이크 마그네트(Rake magnet)형

5) 마그네틱 풀리(Magnetic pulley)형

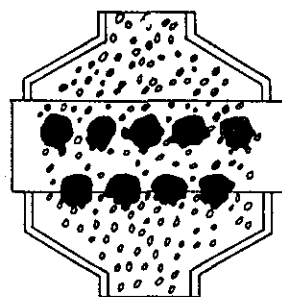
벨트 컨베이어의 풀리(Pulley)에 마그네트를 장착하여 사용하며 下部에 三角 분리대를 설치한다.([그림 6-7] 참조)



[그림 6-7] 마그네틱 풀리(Magnetic pulley)형

6) 그레이트 마그네트(Grate magnet)형

호퍼나 슈우트 내부에 설치 사용하며 주로 金屬粉등을 제거하기 위하여 사용하며 金屬粉의 크기와 粉體의 메쉬에 따라 여러 段을 重疊하여 사용할 수 있다. ([그림 6-8] 참조)



[그림 6-8] 그레이트 마그네트(Grate magnet)형

(5) 機械作動部 또는 工具類의 衝擊 및 摩擦 스파크

충격 및 마찰 스파크에는 이물질의 혼입 외에 송배풍기의 웬등 기계작동부와 케이싱의 접촉으로 인한 스파크 및 工具 사용시의 스파크등을 들 수 있다.

(가) 機械作動部에서의 衝擊 및 摩擦防止

機械作動부와 케이싱의 간격을 충분히 유지함으로서 摩擦이나 衝擊으로 인한 스파크를 방지하여야 한다. 송배풍기의 경우 고정된 입구와 임펠러 사이에 좁은 클리어런스를 갖는 웬에 있어서는 非金屬性 材質의 링(Ring)을 그사이에 삽입하거나 케이싱 또는 임펠라의 재질을 스파크가 발생되지 않는 재질을 사용하여야 한다.

(나) 防爆工具의 使用

설비의 보수시 사용하는 공구류는 非防爆工具를 사용하는 경우 충격으로 인한 스파크의 발생 위험성이 높다. 따라서 스파크가 발생하지 않는 合金製 또는 非金屬材料로 된 공구를 사용하여야 한다. 즉 베릴리움을 함유한 알루미늄합금제 또는 비금속제류를 사용하여야 한다.

(6) 機械設備의 局部過熱

기계설비에서의 局部過熱은 작동부분의 마찰에 의한 과열과 닥트류등 배출구의 막힘등으로 인한 供給速度의 이상에 의해 분쇄기, 로타리 밸브 또는 스크류우 피이더와 분체류와의 마찰에 의한 과열등을 들 수 있다.

(가) 기계설비의 마찰현상은 軸受部の 과열로서 축수의 注油 또는 청소의 불충분으로 인하여 야기되는 경우가 많다. 軸受上에 분진이 堆積하여 정상적인 윤활 기능을 상실할 때 과열이 발생된다. 예를들면 평축수 메탈의 온도는 통상 180°C 이하 이지만 정상 윤활기능이 상실된 경우에는 300°C 이상으로 과열되고 堆積되어 있는 분진의 蓄熱現象 등으로 착화원이 될 수 있다.

(나) 排出口등의 막힘으로 인하여 분체류가 停止된 상태에서 移送 웬(Fan), 로타리 밸브 또는 스크류우 피이더가 회전됨으로서 마찰열에 의해 과열

- 발화하는 경우가 있다. 최근 국내에서도 앞의 사고사례에서와 같이 “(주)○○목재”에서 木粉塵의 집진 및 수송공정에서 이와 같은 현상에 의해서 화재가 발생하고 이를 진화하는 과정에서 집진기가 폭발, 중대재해가 발생한 사례가 있다.

따라서 다음 설치기준을 참조하여 적절하게 설치하여야 한다.

① 모든 설비에 사용되는 베어링(Bearing)은 로울러(Roller) 혹은 볼(Ball) 같은 감마베어링(Antifriction bearing)이 사용되어야 한다.

② 베어링은 분진이 발생하는 설비의 케이스 내부에 설치되어서는 안되며, 潤滑油 주입구는 더스트 캡(Dust cap) 혹은 기타 氣密構造로 하여야 한다.

③ 버킷 엘리베이터등 특히 위험이 있는 설비의 케이스 내부에 베어링을 설치할 경우에는 베어링의 溫度를 체크할 수 있는 溫度檢知器(Temperature detector)를 설치하여야 한다.

④ 버킷 엘리베이터의 스피드가 20%로 늦추어지는 이상현상 발생시 경보를 발하고 만일 그 상태가 30초 이내에 正常速度로 환원되지 않으면 자동으로 모터의 전원이 차단됨과 동시에 공급라인이 차단되도록 인터록되어야 한다.

⑤ 주입구나 배출구의 막힘을 早期에 檢出하여 경보를 발하고 공급라인이 차단되도록 인터록되어야 한다.

⑥ 컨베이어나 버킷 엘리베이터등 설비의 非正常的인 回轉 또는 伸長(Tension)등을 早期에 檢出하여 警報를 발하거나 조절할 수 있는 장치를 설치하여야 한다.

(7) 鎔接. 鎔斷作業時の 鎔接熱 및 火災

鎔接・鎔斷作業時の 용접열 또는 화염이 가스, 증기 또는 분진의 폭발・화재 착화원으로 작용한 사례가 아주 많으며 앞에서 제시한 사고사례에 의하면 鎔接・鎔斷用 火災으로 인한 사고가 國內의 경우 20%, 日本의 경우 11.6%를 차지하고 있다. 이는 대부분 분진 취급설비의 보수를 위하여 또는 인접설비를 보수하기 위하여 鎔接・鎔斷作業을 하는 경우 용접열이나 불꽃등의 飛散으로 발화하거나 폭

발한 사례들로서 作業時 특히 주의가 요망된다.

가스용단작업시 발생하는 불꽃은 높이 2.2m에서 작업할 때 산소의 압력이 7.0 Kg/cm²인 경우 수평방향으로 10.5m 까지 飛散되며 高所작업의 경우는 훨씬 더 멀리 까지 飛散되는 데 특히 분진 취급설비는 대형 설비로서 높은 곳에 설치된 경우가 많기 때문에 주의하여야 한다. 불꽃의 비산으로 인하여 닥트등 설비내에서 발화시 화재의 발견이 곤란하여 급격한 연소가 야기되거나 특히 消火作業時 분진의 浮遊・飛散으로 분진폭발이 야기되는 경우가 많다. 국내 재해사례 중 “○ ○공업(주)”에서 발생한 사례가 그 경우에 해당된다고 할 수 있다. 따라서 현장에서는 가급적 鎔接・鎔斷作業을 금하여야 하며 부득이 작업하여야 할 경우에는 다음 작업기준을 준수하여 수행하여야 한다.

(가) 작업장소 또는 그 주위에 可燃性物質이나 堆積粉塵 등의 존재 여부를 확인하여야 한다.

(나) 發火할 위험이 있는 장소로부터 안전한 곳으로 작업장소를 이동시켜 작업하여야 한다.

(다) 가능한 鎔接, 鎔斷作業은 이 작업을 위하여 설계된 장소 즉 不燃性 혹은 耐火構造로 격리된 장소 또는 可燃性物質이 없는 장소에서 작업하여야 한다.

(라) 發火 우려가 있는 粉塵이나 기타 可燃性物質이 작업장 바닥에 있는 경우에는 11m 반경까지 깨끗하게 청소한 후에 작업하여야 한다.

(마) 可燃性物質이 반경 11m 이내에 적재되어 있고 이를 제거하기가 곤란한 경우에는 방염처리된 카바, 불연성 또는 금속판 등으로 차단막을 설치하여야 하며 차단막과 바닥 사이에는 틈이 없게 하여야 한다.

(바) 작업장소에서 반경 11m 이내의 벽, 바닥, 지붕, 닥트 등의 개구부나 틈은 차단되어야 한다.

(사) 작업장소 주위에 鎔接불꽃등을 운반할 수 있는 컨베이어 등이 있는 경우에는 주위에 차단막을 설치하여야 한다.

(아) 금속재질로 된 벽, 천정, 지붕위등에서의 작업시는 반대편에 있는 可

燃性物質이 열전달에 의해 발화할 위험이 있는 바 이를 제거하거나 제거가 불가능한 경우에는 화재감시인을 배치하여야 한다.

(자) 화재감시인이 필요하지 않은 장소에서는 鎔接, 鎔斷作業이 완료된 후 30분 동안 화재발생 여부를 확인하여야 한다.

(차) 斷熱材등 可燃性物質이 내부에 들어 있는 판넬구조의 금속벽이나 천정등은 그 상태로 용접하여서는 안된다.

(카) 벽, 천정, 지붕등과 접촉되어 있는 파이프등 금속을 용접할 경우 열전달에 의해 발화 위험이 있으면 그 상태로 작업하여서는 안된다.

(타) 분진 취급설비는 내부에 잔존하는 분진을 완전히 제거하거나 질소등으로 置換시킨 후에 작업하여야 한다.

(파) 설비가 밀폐되어 있는 경우에는 개구부를 개방한 후에 작업하여야 한다.

(8) 自然發火(Spontaneous ignition)

분진의 종류에 따라 자연발화가 분진폭발, 화재를 야기시키는 경우가 흔히 발생되고 있다. 특히 자연발화는 微粉炭등에서 많으나 油脂分을 함유한 분말등도 자연발화의 위험성이 높다. 자연발화는 건조, 저장공정에서 발생할 위험성이 높기 때문에 온도관리에 유의하고 蓄熱되지 않도록 저장하여야 한다. 따라서 직사광선이나 건조기, 보일러등 고온장소에서 이격하여야 한다 그리고 설비 내외부에 분진의 堆積量을 가능한 적게하고 長期滯留되지 않는 구조로 하여야 한다. 또한 저장시 不純物로서 금속분등이 조금이라도 함유되어 있으면 油分의 酸化速度를 촉진함으로 이를 제거하여야 한다

第7章 粉塵의 爆發・火災 被害抑制對策

粉塵으로 인한 爆發・火災를 예방하기 위하여 그 대책을 아무리 강구한다 할지라도 분체를 취급하는 설비에서 분진의 發生, 飛散 또는 除去를 완벽하게 한다거나 그 濃度를 爆發下限界 以下로 억제한다는 것은 현실적으로 거의 불가능한 실정이며, 點火源을 배제한다 하여도 예기치 않은 점화원의 발생등으로 폭발・화재는 언제나 야기될 수 있다고 보아야 한다. 따라서 만일의 경우에 대비하여 1차 폭발로 인한 설비의 破損은 물론 火災의 전파에 의한 제 2, 제 3의 폭발등을 방지하고 폭발시의 壓力波, 설비의 破壞로 인한 飛散物, 그리고 火災등으로 인한 인명의 손실과 경제적 손실을 방지하기 위하여 被害抑制對策을 반드시 강구하여야 한다.

실제 1977년 미국의 “○○그레인社”에서 곡물 분진폭발로 인하여 대형 사일로 73본 중 48본이 대파하는 등 연쇄폭발에 의해 대형 재해가 발생된 것은 이와 같은 방호대책의 문제점으로 인하여 야기된 사고로서 적절한 방호대책이 강구되었다면 피해를 아주 극소화할 수 있었을 것이다.

중요한 被害抑制對策으로는 설비를 예상되는 爆發壓力에 견딜 수 있게 設計製作하는 방법, 耐壓強度 以下에서 爆發壓力을 安全하게 放出하는 방법, 폭발을 초기에 抑制하는 방법 그리고 爆發壓力 또는 火災의 전파를 방지하는 방법등이 이용될 수 있다. 다음 내용을 참조하여 공장을 설계시는 취급물질의 특성이나 공정 조건을 고려하여 반드시 적절한 방법을 선정하여 폭발에 대비하여야 한다.

1. 耐爆設計 (Explosion-proof design)

耐爆設計란 장치와 장치에 연결된 부속설비가 내부에서 폭발이 발생할 경우 파괴되지 않고 폭발압력에 견딜 수 있는 強度로 설비를 설계하는 것으로서 설비를 이와같이 강고하게 제작하면 제작비용은 높으나 피해를 설비내부로 제한함으로써

폭발로 인한 暴風이나 火災 또는 설비의 破壞시 발생하는 飛散物로 인한 災害을 억제할 수 있다.

일반적으로 耐爆設計는 最大爆發壓力을 고려하여 설계하나 만일 장치의 내부가 구간으로 分割되어 있거나 配管등으로 연결되어 있다면 어느 한 구간에서 폭발이 발생하는 경우에 장치의 다른 구간에서 압력이 증가하게 되고 이 결과로 인하여 다른 구간에서의 폭발은 初期壓力이 상승된 상태에서 발생되기 때문에 大氣壓 하에서의 예상 最大爆發壓力 보다 더 높아지기 때문에 이를 설계시는 충분히 고려하여야 한다. 즉 이와 같은 초과 예상압력을 고려하여 耐爆設計를 하거나 또는 폭발압력의 전파를 차단할 수 있는 장치를 설치하여야 한다.

가. 適用 範圍

여기서 제시하는 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 설비에는 적용되지 않는다.

그리고 적절한 실험결과 없이 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 30psig(206.7 kPa gage)를 超過하는 시스템에도 적용하여서는 안된다.

나. 設計 基準

(1) 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.

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

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

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 = 연소분위기 하에서의 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.

(2) 위 식에서 無次元 比인 R 는 절대압력 單位下에서의 최대 폭발압력과 최대 초기압력의 比로서 일반적으로 粉塵·空氣 混合物에 대해서는 R 는 10.0으로 주어진다. 그러나 運轉溫度가 25°C 이하인 경우에는 다음 식에 의해서 조정된다.

$$R' = R \times \frac{298}{273 + T_i}$$

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

(3) 그리고 낮은 카본스틸(Carbon steel) 및 스테인레스 합금으로 제작된 설비는 $F_u=4.0$ 그리고 $F_y=2.0$ 이다.

(4) 상기 設計壓力은 설비에 爆發壓力放出裝置가 설치되지 않은 경우이며 이것이 설치될 경우에는 設計壓力이 낮아질 수 있다.

(5) 분진을 취급하는 시스템에서의 최대 초기압력은 물질을 공급, 정지하거나 또는 이송되는 壓縮機 및 送排風機의 최대 가능한 배출압력 혹은 압력방출장치 的 設定壓力을 의미한다. 또한 분진을 重力下에서 배출할 경우 최대 초기압력은 0.0psig로 한다.

(6) 眞空下에서 운전되는 시스템에 대해서는 최대 초기압력은 대기압(0.0 psig)로 한다.

(7) 設計壓力은 설비의 벽 두께를 기준으로 하며 부식이나 침식등의 허용은 무시한다.

(8) 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.

2. 爆發壓力放散口(Explosion pressure relief)의 設置

爆發壓力放散口(이하 爆發口라 한다)는 폭발위험이 있는 장치나 설비 또는 건물등에 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, 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 방호장치중 설치가 용이하고 설치비용이 저렴하기 때문에 권장되나 앞에서 제시한 국내에서의 사고사례와 같이 잘못 설치하는 경우에는 더 큰 위험이 초래될 수 있어 주의가 요망된다. 특히 粉體를 저장 또는 가공하는 공정의 경우 각종 粉碎機, 집진기, 버킷 엘리베이터, 컨베이어, 사일로 및 닥트류등에는 반드시 설치하여야 할 중요한 방호장치 중의 하나로서 설치장소, 爆發口의 構造, 放散設定壓力, 放散誘導管(Vent ducts)의 설치등은 다음에 제시한 設置基準에 따라 설치하여야 한다.

가. 設置 場所

폭발구는 설비의 설치 위치에 따라 安全한 空間 및 安全한 方向으로 爆壓과 火炎을 放出할 수 있도록 다음 장소에 설치하여야 한다.

- (1) 作業室이나 通路 등으로 향하지 않는 위치에 설치 한다.
- (2) 設備가 건물 내부에 설치된 경우는 건물의 벽, 천정, 배관, 기타 설비나 가연물등이 인접하지 않은 위치에 설치한다.
- (3) 설비가 건물의 외부에 설치된 경우는 人道, 건물벽, 창문, 가연성물질 취급장소등으로 향하지 않는 위치에 설치 한다.
- (4) 點火源 발생이 예측되는 위치에서 가능한 가까운 곳에 설치하고 일정하지 않는 경우에는 설비의 중앙에 설치 한다.
- (5) 사일로(Silos) 등에 있어서는 저장물질이 쌓이는 레벨 위쪽에 설치 한

다. 만일 레벨 아래에 설치될 경우 파이어볼(Fireball)의 발생 위험성이 높다.

나. 爆發口의 構造

爆發口는 爆壓과 火炎을 용이하게 放散시키고 破裂時 飛散되지 않는 구조로 하여야 한다.

(1) 폭발구 덮개는 방산을 용이하게 하기 위하여 면적당 무게를 12.5kg/m^2 이내로 하여야 한다.

(2) 폭발구의 면적은 폭발시의 압력을 설비의 耐壓強度 以下로 급격하게 방산할 수 있는 충분한 크기로 하여야 한다.

(3) 폭발구는 설비의 형상이나 설치위치 등을 고려하여 적절한 부위에 분할 설치할 수 있으며, 이때 폭발구의 면적은 이들 면적을 합한 값과 같아야 한다.

(4) 폭발구의 덮개 재질은 과열시 비산되지 않는 재질을 사용하여야 한다.

(5) 폭발시 폭발구의 덮개가 離脱되는 형식의 폭발구는 飛散防止 고리를 연결하여야 한다.

(6) 설비가 건물 외부에 설치될 경우 폭발구의 덮개 외부에 눈이나 얼음이 누적되지 않는 구조(非斷熱等)로 하여야 한다.

다. 放散設定壓力

(1) 폭발구의 放散設定壓力은 설비의 가장 약한 부위를 기준으로 그 내압강도의 $2/3$ 이하로 하여야 한다.

(2) 폭발구는 放散設定壓力의 $\pm 10\%$ 이내에서 작동되게 하여야 한다.

(3) 放散設定壓力은 외부의 風壓과 설비의 運轉壓力등을 고려하여 吳作動이 없도록 설정하여야 한다.

라. 放散誘導管의 設置

爆發口를 상기 “가. 설치장소 (1)~(3)”의 위치에 설치하기가 곤란한 경우에는

放散誘導管을 설치하여야 하며, 이 경우에는 다음 사항에 특히 유의하여야 한다.

- (1) 가능한 曲管部가 없게 直線이 되게 설치하여야 한다.
- (2) 放散誘導管의 길이는 3m 이내로 하고 가능한 짧게 설치하여야 한다.
- (3) 放散誘導管의 斷面積은 爆發口의 단면적 보다 같거나 더 크야 한다.
- (4) 放散誘導管의 強度는 최소한 設備本體 強度 이상이어야 한다.

爆發口の 面積을 計算하는 방법등 구체적인 각종 사항은 當研究院 研究報告書 (化學 91-081-14)에 기술되어 있기에 여기서는 생략한다.

3. 爆發抑制裝置 (Explosion suppression system)의 設置

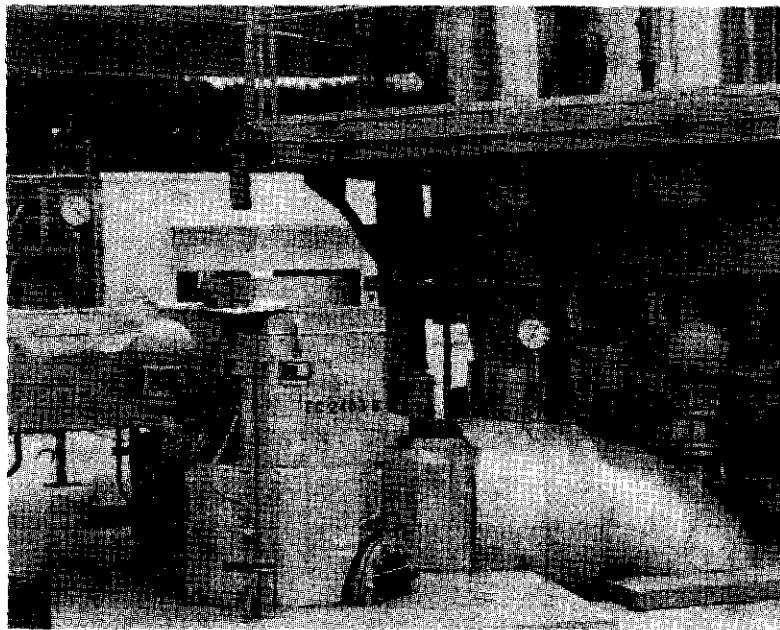
爆發壓力放散口는 設置費用이 저렴하며 폭발압력을 외부 안전한 장소로 방출시킴으로서 설비의 파괴를 방지할 수 있으나 爆發音이 발생하고 火炎이나 未燃燒物質이 대기 중에 방출, 경우에 따라서는 파이어볼(Fireball)의 발생 위험등이 있으며 공정상 放出口를 외부로 誘導할 수 없는 등의 缺點이 있다. 그러나 爆發抑制裝置는 폭발에 의한 압력상승 그 자체를 초기에 안전하게 정지시키는 장치로서 많은 장점이 있으나 설치비용이 高價인 것이 결점이다. 이 시스템은 설비내부에서 가연성가스, 미스트(Mists) 및 粉塵의 燃燒 또는 爆發을 感知하여 破壞적인 압력이 발생하기 전에 抑制劑를 방출, 화염을 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 폭발방지 대책으로 연구되었으며 그 이후 영국, 미국 등에서 1950년대부터 産業用으로서 抑制裝置를 개발하여 현재 널리 사용화되고 있다. 일본의 경우도 1967년 부터 이를 도입하여 1990년까지 132개 시스템이 사용되고 있는 데 그 실태는 <표 7-1>과 같다. 국내에서도 분진폭발 방호를 위하여 “○○모직(주)”등 3개 사업장에서 설치([사진 7-1] 참조) 사용하고 있으나 많이 알려져 있지 않다. 高價이기는 하나 위험한 분진 취급설비에는 설치하는 것이 바람직할 것이다.

〈표 7-1〉 日本의 爆發抑制裝置 설치 실태(1990년 현재)

可燃物		설치시스템 수	防 災 對 象	
分 類	名 稱		設 備 名	설치시스템 수
플 라 스 틱	스 티 렌 樹 脂	1	粉 碎 機	1
	페 놀 樹 脂	3	粉 碎 機	2
			粉 碎 機	1
	A B S 樹 脂	3 4	粉 碎 工 程	2
			乾 燥 工 程	1 7
			集 塵 工 程	8
			貯 藏	7
	M B S 樹 脂	7	乾 燥 工 程	7
塗 料 · 顔 料	비 스 페 놀 A	8	集 塵 機	4
			貯 藏	4
	A H 鹽	1	集 塵 機	1
	粉 體 塗 裝	8	塗 裝 工 程	7
			· 集 塵 機	1
木 材 · 셀 룰 로 오 스	토 우 너	2	集 塵 機	2
	顔 料	2	集 塵 機	1
			乾 燥 · 集 塵 工 程	1
	木 材	1 4	粉 碎 工 程	4
			乾 燥 工 程	3
			集 塵 機	2
			貯 藏	1
			合 板 製 造	4
	카르복실 · 메틸 셀 룰 로 오 스	1 8	粉 碎 機	1 1
			集 塵 機	2
			紛 碎 混 合 工 程	3
			粉 碎 · 集 塵 工 程	2
	粘 性 高 分 子	4	粉 碎 工 程	2
			乾 燥 工 程	2
	紙	3	粉 碎 工 程	3

可燃物		설치시스템	防災對象	
分類	名稱		設備名	설치시스템 수
燃料	石炭	2 3	粉碎工程	1 5
			集塵機	6
			乾燥工程	2
가스·蒸氣	톨루엔	3	乾燥機	3
	메탄올	1	遠心分離機	1



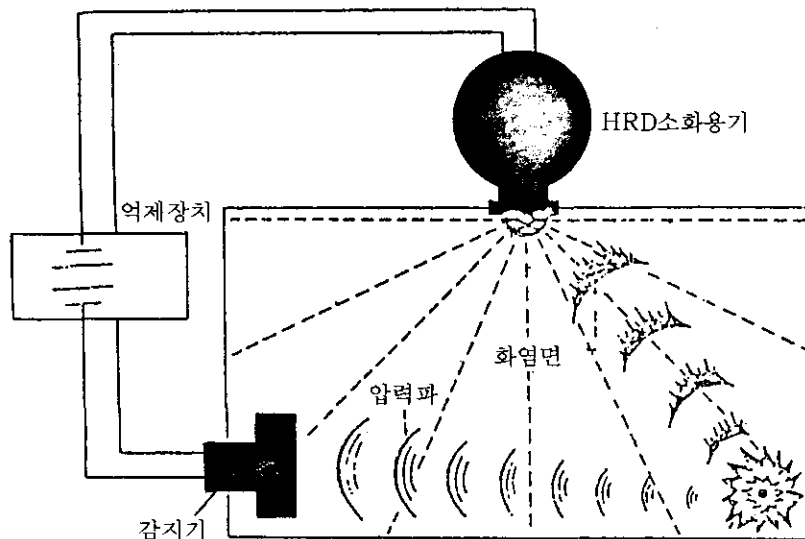
〔사진 7-1〕 氣流乾燥機의 상부에 설치된 爆發抑制裝置(○○모직)

이 장치는 미국에서 美防火協會(NFPA)가 1970년 National fire code No. 69 “Explosion prevention system”으로 규정하고 있으며, 현재 ISO에서는 國際規格化를 추진하고 있다.

가. 抑制裝置의 原理

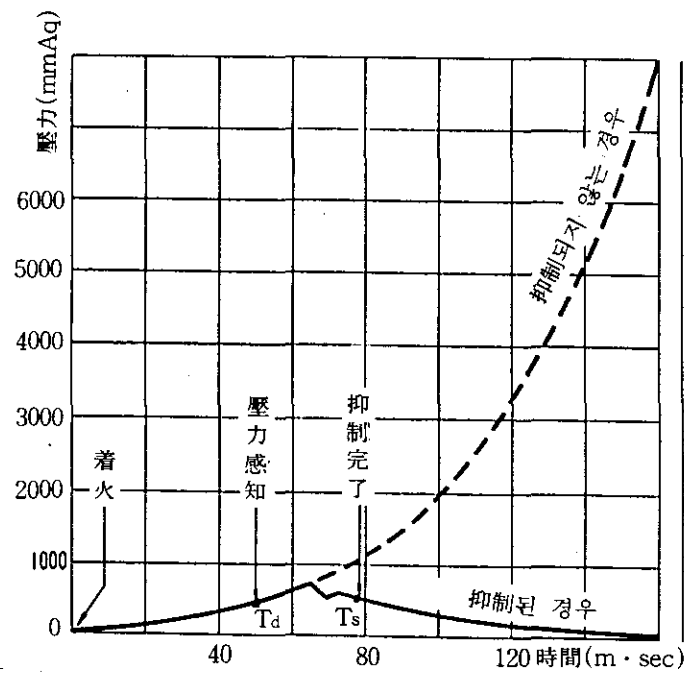
爆發抑制裝置의 原理는 밀폐된 공간에서 폭발이 발생할 경우 온도와 압력의 상

승을 수반하나 發火하여 破壞壓力이 발생하기 까지는 시간이 경과되기 때문에 이 破壞的인 압력이 발생하기 전에 온도와 압력상승을 感知하여 抑制裝置를 작동, 消火시키는 것이다. 다시 말하면 폭발은 일반적으로 생각되는 순간적인 현상이 아니라 發火부터 파괴적 압력이 발생하기 까지는 시간이 소요하게 되는데 이 시간내에 폭발을 정지, 억제할 수 있다. [그림 7-2]는 상자형 外側에 感知器와 억제제를 충전한 消火容器를 설치하고 制御裝置를 연결한 것으로 상자 내부에서 가연성물질의 혼합기체가 연소한계에 들때 점화되면 혼합기체는 빛과 열을 발하며 연소를 시작하게 된다. 점화 직후 화염면의 전파속도는 農産物, 플라스틱, 木材, 染料, 石炭등 일반적인 분진의 경우 1~2 m/sec, 메탄, 에탄, 프로판등 탄화수소 가스의 경우는 2~3m/sec 정도로서 연소가스에 의한 압력상승시 壓力波는 音速(공기하에서 340m/sec)으로 擴散되기 때문에 이를 조기에 감지할 수 있다. 또한 感知로 부터 消火容器가 작동되기 까지는 약 3msec이며 抑制劑는 30~60m/sec의 속도로 분사되어 소화, 억제하게 된다.



[그림 7-2] 爆發抑制裝置의 作動原理 火炎傳播

다음 [그림 7-3]은 폭발을 억제한 경우 압력변화를 나타낸 것으로서 T_d 는 폭발을 感知한 시간이며 爆發感知後에도 억제제가 방출되어 억제효과를 발휘하기 까지 압력은 계속 상승하고 억제제가 화염에 접촉하여 완전히 억제효과를 발휘한 때, 즉 T_s 에서 억제완료되어 압력은 감소된다. 폭발에 의한 압력 상승속도는 가연물의 종류, 공간의 내용적, 初期壓力 및 溫度에 의해 달라지며 억제장치가 爆發感知에서 부터 억제제를 방출하여 효과를 발휘하기 까지의 시간은 機器의 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 없기 때문에 주의가 요망된다. 대략 着火에서 抑制過程까지의 압력과 소요시간은 [그림 7-4]와 같다.

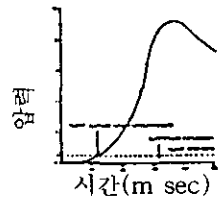
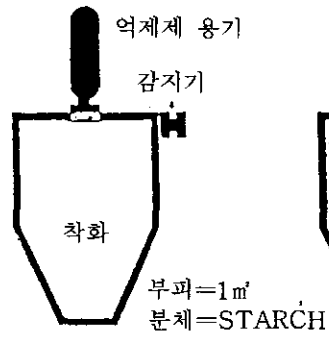


[그림 7-3] 爆發壓力上昇曲線

1. 着火

時間 : 0 msec

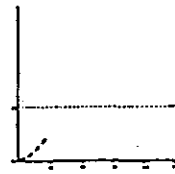
壓力 : 0 barg



2. 感知器 作用

時間 : 20 msec

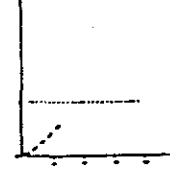
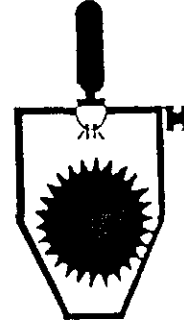
壓力 : 0.035 barg



3. 抑制劑 噴射

時間 : 30 msec

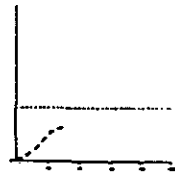
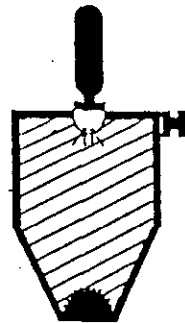
壓力 : 0.085 barg



4. 噴射 繼續

時間 : 50 msec

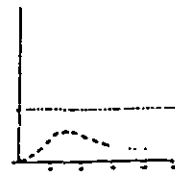
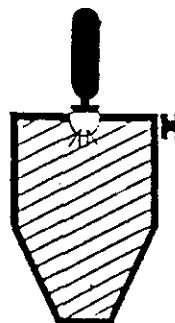
壓力 : 0.2 barg



5. 噴射 完了

時間 : 80 msec

壓力 : 0.15 barg



[그림 7-4] 爆發抑制過程

나. 構成機器

(1) 感知器(Detectors)

폭발의 발생을 感知하는 수단으로서 일반적으로 火炎의 발생이나, 압력 및 온도의 상승을 感知하는 방법이 사용되고 있으며, 어느 방법에서도 감지기는 빠른 응답과 확실한 동작이 요구된다.

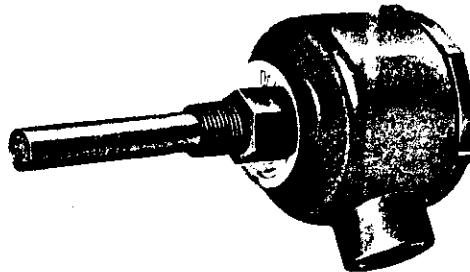
특히 압력이나 온도등 작업조건의 변동, 진동이나 衝擊등의 外力, 취급물질의 부착등에 의한 감도의 저하등 각종 요인에 영향을 받지 않고 설정된 조건에 달한 경우에 빠르게 작동되는 것이 필요하다.

(가) 火炎感知器

폭발의 進行速度(火炎傳播 速度 또는 壓力上昇 速度)가 빠른 경우에 火炎으로부터 放射되는 赤外線이나 紫外線을 檢出하는 光學式 感知器이다. 그러나 광학식 감지기는 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 프로세스에서는 透視性이 나쁘거나 感度が 弱화되는 등 문제가 있을 수 있으므로 주의가 요망된다.

(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. 예로서 [그림 7-5]는 金屬의 膨脹에 의해 작동하는 補償率方式의 感知器로서 급격한 온

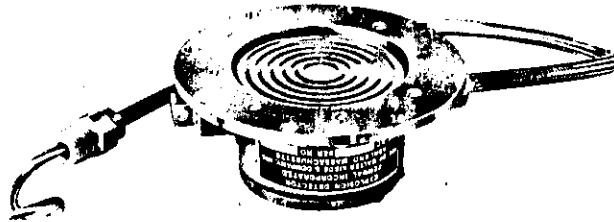


[그림 7-5] 溫度 感知器

도상승을 확실하게 감지할 수 있는 감지기이다.

(다) 壓力感知器

현재 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 감지기로서 이 感知器는 [그림 7-6]에 나타낸 것과 같이 金屬 다이아프램과 마이크로 스위치가 조합되어 사용된다. 이 감지기는 定壓式으로 미리 設定된 압력에 달할 때 작동하는 것으로 감지압력은 작업시의 압력 變動幅을 잘 조사한 후에 정하여야 한다. 變動幅이 지나치게 큰 경우에 定壓式은 좋지 않으며 壓力上昇率을 검출하는 것을 사용한다. 그러나 上昇率檢出型의 것은 感度設定이 어렵고 설정조건의 유지가 어려운점 등으로 많이 사용되고 있지 않다.



[그림 7-6] 壓力 感知器

(2) 抑制劑와 容器(Suppressors)

抑制劑로 사용되는 消火劑에는 <표 7-2>에 나타낸 바와 같이 할로젠화물 消火劑, 물 또는 粉末消火劑등이 있다. 억제제는 대상으로 되는 가연물의 종류, 설비의 형상등을 고려하여 가장 有效한 抑制劑를 선택하여 사용해야 한다.

일반적으로 가연물과 산소에 의한 燃燒反應에 대하여 화학적으로 逆觸媒 作用으로서 억제를 행하는 할로젠화물 소화제가 抑制效果, 작동후의 처리가 容易하고 취급하기가 쉬운점 등으로 가장 많이 이용되고 있다. 설비내부의 구조가 복잡하여 擴散性이 좋은 억제제가 필요한 경우나 특히 人體에 대한 安全性이 요구되는 경우에는 CF_3Br 이 유용하다. 물은 억제효과가 할로젠화물 소화제 보다는 약하지만 食品工業등에서는 안전성을 고려하여 물을 사용하는 경우도 있다. 분말소화제

는 억제효과가 크고 감지부 설계에 여유를 갖일 수 있으나 작동 후 분말의 제거가 용이하지 않아 사용례가 적은 편이다.

〈표 7-2〉 할로겐화물 消火劑의 物理的 特性

특 성 \ 종 류	CBrF ₂ · CBrF ₃	CH ₂ BrCl	CF ₃ Br
분자량	259.8	129.4	148.9
비점(°C)	47.3	67.8	-57.8
응고점(°C)	-110.5	-86.5	-163.0
임계온도(°C)	214.5	277.0	67.0
임계압력(atm)	34.0	60.0	39.1
임계용적(cc/mol)	329.0	—	200.0
임계밀도(g/cc)	0.790	0.641	0.745
액밀도(g/cc, 25°C)	2.163	1.938	1.538
가스밀도(g/l, 1atm비점)	—	—	8.71
증발잠열(cal/g비점)	25(추정)	57	28.38



[그림 7-7] 高速噴射消火容器

抑制劑를 高速으로 방출하는 抑制器(消火容器)는 억제장치 중 가장 중요한 부분으로 高速으로 작동시키기 위해서 용기의 개방기구에는 破裂板과 電氣雷管을 조합한 것이 사용되고 있다. 高速噴射消火容器(High rate discharge ex-

tinguisher)라 불리는 억제제 용기([그림 7-7] 참조)에는 加壓用 窒素등과 같이 抑制劑가 충전되어 있어 감지기가 작동하고 電氣雷管이 발파되어 파열판이 파괴되면서 加壓用 窒素등의 힘으로 억제제가 분사된다. 용기에 억제제가 전량 방출되는 데 소요되는 시간은 대략 100~500msec 정도이다.

(3) 制御裝置(Control units)

感知器로 부터 信號를 소화용기에 전달하여 억제제를 방출하는 주요한 기능을 갖는 장치로서 예측할 수 없는 폭발사고에 확실히 응답할 수 있도록 故障 監視回路가 설치되어야 한다. 美防火協會(NFPA)의 National Fire Code No. 69에서도 制御裝置 機能으로서 감지기, 소화용기의 回路 斷線이나 그 밖에 故障를 감시하도록 되어있다. 또한 상용전원의 고장에 대비하여 豫備電源 등이 필요하다. 그 밖에 억제장치의 작동시에는 플랜트의 긴급정지, 경보의 발신이나 2차 소화장치의 起動등 조치를 행할 수 있도록 인터록하여야 한다.

다. 抑制裝置의 設置方法

抑制裝置를 사용하기 위해서는 대상으로 되는 가연성물질의 폭발, 연소 특성을 조사하여 위험성을 평가하여야 하고 기계설비의 형상 및 길이, 작업조건에 따라서 차이가 있으므로 다음 사항을 충분히 검토하여 설치해야 한다.

(1) 可燃性物質의 危險性 評價

爆發危險性を 評價하는 爆發特性에는 發火溫度, 最小着火에너지, 爆發下限界濃度, 最大爆發壓力, 壓力上昇速度등이 있으며 이를 충분히 검토하여 적절하게 설치하여야 한다. 抑制劑의 종류와 필요한 농도는 抑制試驗을 행하여 최적한 것을 선택하여야 하며 抑制試驗은 가장 격렬한 폭발을 기준으로 하여 시험하는 것이 바람직하다.

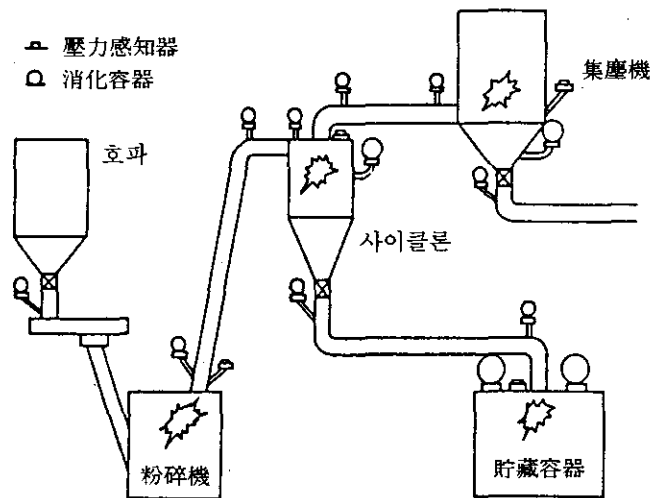
(2) 시스템 設計

감지기는 앞에서 언급한 이유 때문에 대부분 시스템에서는 壓力感知器를 사용

하며 폭발의 발생을 가능한 빨리 감지할 수 있도록 發火源에 근접한 위치에 설치하여야 한다. 壓力波는 音速으로 전파하므로 발화원으로 부터 감지기 까지의 거리에 비례하여 감지가 늦어진다. 그렇지만 기계의 형상이 끝부위가 가늘고 긴 경우나 용적이 큰 경우에는 감지기를 두대 이상 설치하여야 하며 배관이나 덕트 내를 전파하는 壓力波를 검출하는 경우에는 일정 간격으로 설치 하여야 한다. 또한 振動이나 衝擊에 의한 誤作動을 방지하기 위하여 맨홀이나 점검구 부근에 설치해서는 안된다.

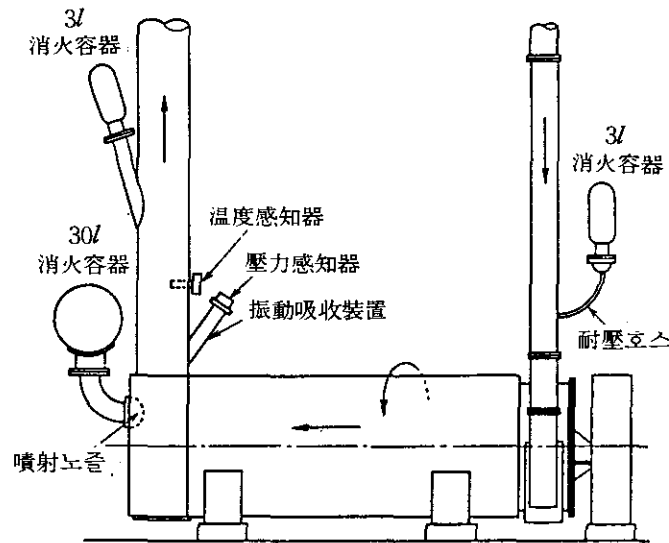
특히 設備의 耐壓이 낮은(150 mmAq 이하) 경우 및 용적이 작아서 壓力上昇率이 빠르고 압력감지가 늦은 경우에는 紫外線 感知器를 설치하는 것이 바람직하다. 단, 紫外線 感知器는 白熱燈, 螢光燈, 自然光, 赤熱된 물질에는 반응하지 않지만 電氣 스파크, 鎔接 아크 등에는 민감하게 반응한다. 따라서 이를 감지하지 못하도록 설치 방법등을 고려하여야 한다.

抑制劑는 抑制試驗에 의해 가장 적당한 種類와 필요한 농도를 선택하고 필요한 억제제 총량을 防護對象 設備全域에 순식간에 방출할 수 있도록 용기의 수와 용량을 결정하고 설치 장소를 選定해야 한다. 설비의 형상이 복잡하고 내부에 隔離



[그림 7-8] 粉碎工程에 설치한 예

板등이 있어 한 방향에서 내부 전체에 방출할 수 없을 때는 보다 작은 용량의 용기를 分割하여 여러방향에서 방출할 수 있도록 설계해야 한다. 그리고 타 설비로의 화염 전파를 차단할 수 있도록 배관등에도 적절한 위치에 설치하여야 한다. 粉碎工程 및 回轉乾燥機에 설치한 예를 [그림 7-8]과 [그림 7-9]에 각각 나타내었다.



[그림 7-9] 回轉乾燥機에 설치한 예

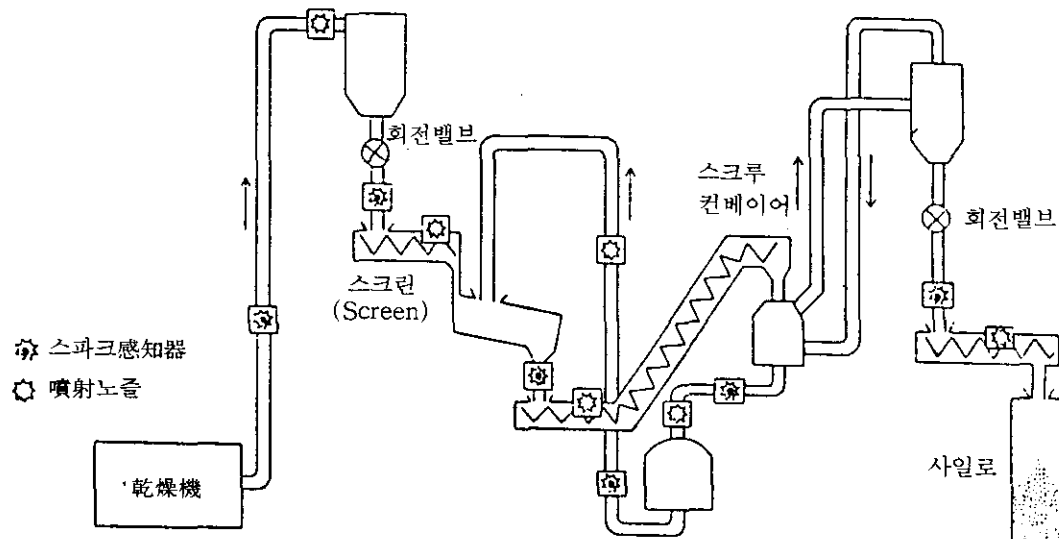
4. 스파크 消火시스템(Spark extinguishing system)의 설치

스파크 즉 불꽃 消火시스템은 주로 可燃性粉塵 또는 粉體를 이송하는 空氣 輸送시스템의 닥트를 통과하는 불꽃이나 殘火를 검출하여 消火함으로서 폭발·화재를 방지하기 위하여 사용되는 장치로서 폭발억제장치와 유사하나 可燃性가스와 미스트(Mists)에는 사용할 수 없으며, 장치류에 설치하여 폭발을 억제하는 용도로 使用할 수 없어 폭발억제장치와는 기능이 다르다고 할 수 있다. 粉體는 가스와 달리 空氣 輸送시스템의 닥트를 이용하여 이송할 경우 工程에서 발생된 스파크, 불꽃, 殘火 등이 이들을 통하여 集塵機, 사일로, 호파 등으로 이송되어 燃燒

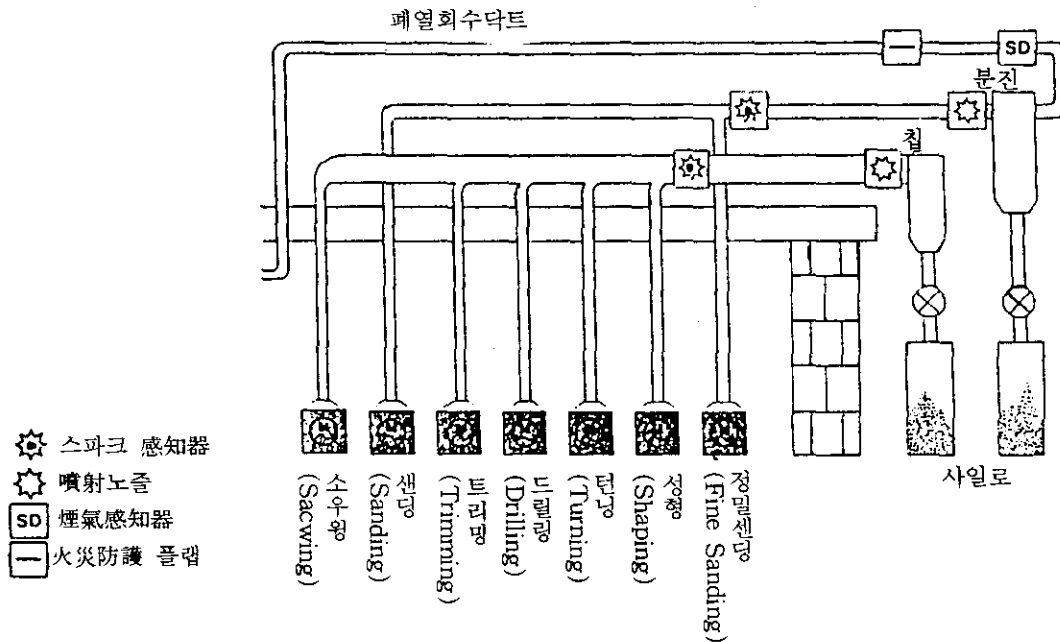
가 야기되거나 放置될 경우 분진폭발이나 대규모의 화재가 초래되는 사례가 있다. 이로 인한 폭발, 화재를 방지하기 위하여 移送라인에서 이를 感知하여 自動으로 消火할 수 있도록 설치 사용되는 장치이다. 이 장치 역시 美防火協會(NFPA)가 National fire code No. 69 “Explosion prevention system”으로 규정하고 있으며 외국에서는 移送다트류 등에 많이 사용하고 있는 설비로서 국내에서도 현 장실태 조사결과 “○○공업(주)”에서 合板 생산라인에 설치 사용하고 있으나 거의 보급되어 있지 않은 실정으로서 권장되는 장치 중의 하나이다.

가. 適用對象

스파크 消火시스템은 可燃性 粉體 또는 固體를 이송하는 닥트 내의 불꽃이나 殘火를 검출하여 소화하는 시스템으로서 粉體 이송다트에 한하여 사용되어야 하고 가스에 사용되어서는 안되며, 또한 消火劑(Extinguishing agent)로서 사용하는 물질이 위험을 초래할 수 있는 경우에는 이를 사용해서는 안된다. 참고로 木材를 취급하는 칩 보드(Chip board) 생산 및 家具工場에 적용한 예를 [그림 7-10] 및 [그림 7-11]에 각각 나타내었다.



[그림 7-10] 칩 보드(Chip board) 生産工程의 적용 예



[그림 7-11] 家具工場(Furniture Factory)의 적용 예

나. 構成機器

(1) 感知器(Detectors)

보통 사용되고 있는 感知器는 주로 赤外線 領域에 속하는 스파크 放射光을 받아 감지하는 것을 이용한다. 스파크 감지기의 포토셀(Photocell)은 이 복사스펙트럼 만을 감지하고 필터에 의해 可視光線과 短波光線을 갖는 輻射線에 대해서는 필터에 의해 보호되도록 설계된다. 경우에 따라서는 특수한 감지기가 사용될 수도 있으나 감지기는 빠른 응답과 확실한 동작이 요구되며 특히 압력이나 온도등 작업조건의 변동, 진동이나 衝擊등의 外力, 취급물질의 부착등에 의한 感度の 低下등에 영향을 받지 않고 설정된 조건에 달한 경우에 빠르게 작동되는 것을 사용하여야 한다.

만일 스파크 감지기가 특히 높은 온도(80°C 이상)로 운전되는 장치에 설치될 경우, 감지기는 포토셀(Photocell)이 유연성 있는 Fiber-optical Photoconductor

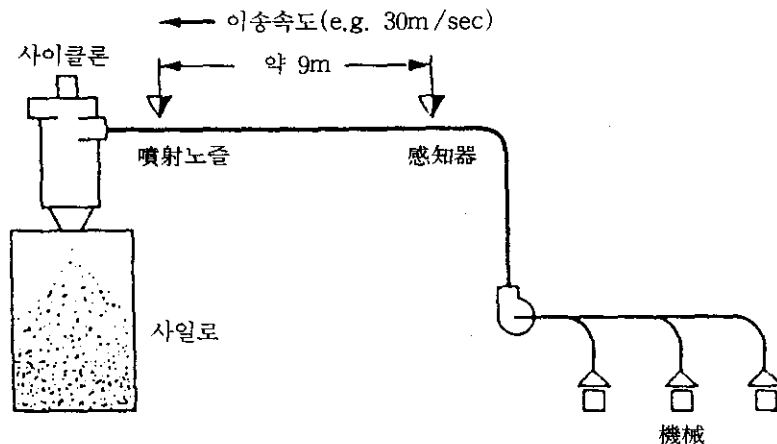
에 의해서 감도에 손상이 없도록 설비내부의 온도로 부터 熱的으로 차단되어야 한다.

(2) 스파크 感知 制御판넬(Control panels)

스파크 消火시스템을 제어하는 중심부로서 스파크 감지기로 부터 받는 신호를 기록 및 체크, 경보를 발하고 소화장치를 작동하며 인터록에 의해 설비를 정지하는 기능을 갖는다. 이들 制御판넬은 2~40개의 스파크 소화장치에 연결 확장하여 사용할 수 있다.

(3) 消火噴出시스템

제어판넬의 신호에 의해 설비 내부에 消火劑를 분출하는 自動 消火噴出시스템으로서 [그림 7-12]와 같이 구성되어 있다. 消火劑는 주로 물이 사용되고 있으며 빠른 작동밸브에 의해 정량의 물이 노즐을 통하여 분출함으로서 스파크를 소화한다. 消火劑는 한번 작동시 數 리터(ℓ) 정도의 量으로서 소화가 가능하며 특별한 경우에는 탄산가스(CO_2) 또는 할로젠등을 사용할 수 있다. 소화제로서 물을 사용하는 경우 누출을 감지할 수 있는 감지기를 연결 사용하고 있다.



[그림 7-12] 스파크 自動消火시스템 구성도

다. 消火裝置의 設置方法

消火裝置를 사용하기 위해서는 대상으로 하는 설비의 형상 및 크기등 그리고 취급물질의 성질등을 고려하여 설계하여야 한다. 스파크 감지기가 어떤 着火源을 감지하여 제어판넬에 신호를 발하여 消火裝置를 작동시키기 까지의 전체에 소요되는 시간은 단지 數分の 1秒 정도이며 감지기와 消火噴射 노즐 사이의 거리는 이 반응시간과 이송되는 물질의 속도에 따라 결정된다. 설치시는 다음 設置基準을 고려하여 설치하여야 한다.

(1) 感知器 設置

(가) 스파크 感知器는 직선인 닥트의 경우 直徑(대략 200mm~2,000mm)이 크면 특별한 구조적인 변화 없이 설치할 수 있으며 닥트 단면적의 전체를 이상적으로 모니터링하기 위하여 각기 반대편에 적어도 2개의 스파크 感知器를 설치하여야 한다. 닥트의 直徑이 500mm 혹은 그 이상인 경우에 물질의 이송량이 많고 밀도가 높은 경우에는 3개 이상의 스파크 感知器를 닥트 주위에 고르게 설치하여야 한다.

(나) 感知器와 消火劑 분사지점 사이의 거리는 닥트내 물질의 線形速度 (Linear velocity)와 감지기의 응답시간등에 따라 결정되어야 한다.

(다) 모든 感知器 回路는 감시되어야 하며 수동 리세트에 의해 回路 결함이 있는 경우 경보를 발하여야 한다.

(2) 電源供給

(가) 主電源은 감시되어야 하고 결함이 발생시 非常電源에 자동 연결되어야 한다.

(나) 각 스파크 消火시스템은 24시간 동안 시스템을 작동할 수 있는 非常電源에 연결되어야 한다.

(다) 수동 리세트장치는 主電源의 결함시 경보를 발할 수 있어야 한다.

(3) 消火시스템

(가) 噴射 노즐은 설비내부의 固體粒子가 노즐의 분사를 방해하지 않는 위치에 설치하여야 한다.

(나) 자동 인젝션 밸브에 대한 電氣回路는 감시되어야 하는 바 수동 리세트에 의해 電源 결함시 경보를 발해야 한다.

(다) 만일 消火劑로서 물이 사용되면 물 공급시스템은 인라인 스트레이너(In-line strainer)가 附加 설치되어야 한다.

(라) 消火劑는 그 시스템이 적어도 100회 작동할 수 있을 정도의 충분한 量을 저장하여야 한다.

(마) 수동 리세트 경보는 消火劑의 압력이 그 시스템의 작동 設計壓力의 50% 이하로 떨어질 경우 경보를 발해야 한다.

(바) 스파크 消火시스템은 매주 테스트 되어야 한다.

5. 爆發傳播 防止裝置의 設置

분체 취급설비는 粉碎機, 사일로, 호퍼, 버킷 엘리베이터, 集塵機, 컨베이어, 피이더, 닥트류등 각종 설비가 서로 連結된 시스템으로 구성되어 있는 경우가 대부분으로서 설비의 어느 부분에서 폭발이 발생되면 컨베이어나 닥트류 등을 통하여 火炎이나 爆壓이 타설비로 전파되어 대형 連鎖爆發 事故의 위험성이 극히 높은 실정이다. 따라서 분진폭발에 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. 앞에서 언급한 미국에서의 한 폭발사고에서도 나타난 바와 같이 1차 폭발로 인하여 73본의 사일로 중 48본의 사일로, 버킷 엘리베이터등 각종 설비가 연쇄적으로 폭발할 수 있기 때문에 이에 대하여 철저히 대비하여야 할 것이다.

이와 같은 대형 連鎖爆發 事故를 방지하기 위해서 특히 다음과 같은 경우에는 설비 사이의 연결부에 반드시 적절한 遮斷裝置(Isolation devices)를 설치하여 유닛을 분리할 수 있어야 한다.

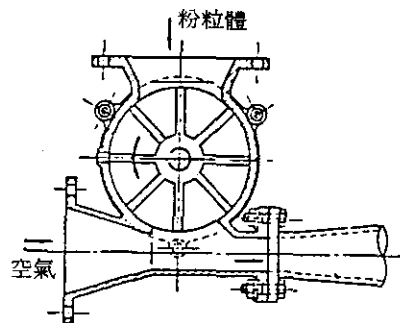
① 防爆構造로 設計되지 않은 즉 防護되지 않는 설비와 爆發危險이 있는 설비 즉 防護된 설비의 연결부

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

상기 설비 뿐만아니라 기타 위험이 있는 설비에 대해서도 적절한 遮斷裝置가 설치 되어야 하는 바 여기서는 분진 취급설비에 적절한 遮斷裝置 중에서 중요한 장치만을 제시하고자 한다. 설치시는 공정을 충분히 검토한 후에 설치하여야 한다.

가. 回轉밸브(Rotary valve)

回轉밸브는 [그림 7-13]과 같이 여러개의 날개깃을 갖는 회전부가 케이싱 내에서 회전하므로써 重力에 의해 분체가 날개깃 사이를 통하여 하부로 배출, 공급하는 排出機 및 供給機로서 형식, 구조 및 재질등에 따라 종류가 다양하며 흔히 회전밸브, 에어록(Air lock), 스타피더(Star feeder), 밴피더(Vane feeder) 등으로 불리어 지고 있다.



[그림 7-13] 로타리 피더(Rotary feeder)의 구조

이 回轉밸브는 집진기, 호파, 건조기등에 흔히 연결하여 사용되고 있으며 폭발로 인한 爆發火災이나 未燃燒物質이 放出, 傳播되는 것을 기계적으로 遮斷, 防止 하므로써 被害擴大를 억제할 수 있기 때문에 방호장치로서 중요한 역할을 할 수 있다. 이에 대하여 체계적으로 연구된 결과는 없으나 穀物粉塵을 사용하여 밸브의 하단부에서 폭발을 야기시켜 본체의 移送方向과 逆方向으로 화염을 전파시키도록 한 실험결과 밸브 상방향의 粉塵雲에 화염이 전파되지 않는다는 실험결과가 있으며 遮斷을 위해서는 설비에 설치된 爆發壓力放散口가 작동하는 시점에서 구동모타의 스위치가 단절되도록 回路를 설치 하는 것이 가장 바람직하다. 실제 放散口가 작동하는 시점부터 스위치가 차단되기 까지의 시간이 0.5 秒 이하가 적절하다.

그러나 본체와 케이싱의 마찰, 갭(Gap)에서의 입자의 마찰과 破碎, 케이싱과 회전부側板 사이의 摩擦등으로 큰 구동력이 요구되며 실제 다소의 異物質 混入이나 마찰이 있어도 停止되지 않고 회전을 계속하도록 운전에 필요한 것 보다도 큰 용량의 電動機를 사용하는 경우가 많다. 모타는 흔히 1~3.7Kw의 기어 모타(Gear motor)를 많이 사용하고 회전은 電動機로 부터 체인에 의해 구동하며 회전수는 20~50 rpm 정도로 사용한다. 또한 날개깃과 케이싱 사이의 갭은 일반적으로 0.1~0.2mm 하는 경우가 많다. 이상의 사양은 물론 취급물질의 성질, 상태, 운전조건 등에 따라서 적절하게 사용하겠지만 잘못 사용할 경우에는 오히려 위험을 초래할 수 있기 때문에 안전을 충분히 고려하여 설계하여야 한다.

回轉밸브의 모타는 過負荷時 또는 後段部の 막힘등 이상발생시는 자동 정지되도록 인터록되어야 하며, 또한 폭발시에는 밸브 구동모타의 스위치가 즉시 차단되도록 하여야 한다. 특히 過負荷나 異物質의 混入을 방지하기 위하여 다음 구조를 고려하여야 한다.

(1) 過負荷防止裝置

본체 중에는 흔히 木片, 볼트, 너트등 異物質이 혼입되어 날개깃과 케이싱 사

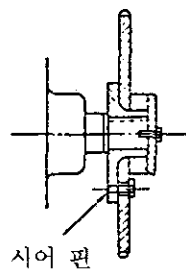
이에 마찰 및 스파크를 일으킴으로 폭발·화재를 야기하거나 또는 구동부 및 본체를 파손하는 경우가 많다. 異物質이 혼입된 경우 摩擦 클러치(Friction clutch) 또는 조 클러치(Jaw clutch)식으로 구동부분을 이탈시키는 구조, 過大한 토크(Torque)를 검출하여 리미트 스위치를 작동함으로서 전동기의 電源을 차단하는 방법등이 이용되어야 한다. 무엇보다도 근본적으로 전단부에는 異物質 제거용 스크린이 설치되어야 한다.

(2) 시어 핀(Shear pin)

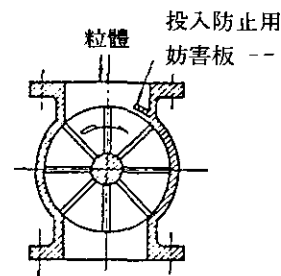
回轉밸브에 [그림 7-14]와 같이 시어 핀을 설치하여 異物質 混入등으로 인하여 過大한 回轉力이 작용하는 경우 자동적으로 핀이 절단되어 구동용 체인을 空轉하도록 하는 것으로서 간단한 구조이나 유효하게 사고를 방지할 수 있다.

(3) 異物質 投入防止用 妨害板

回轉部の 입구측에 [그림 7-15]와 같이 妨害板을 부착하여 異物質의 투입을 방지하는 방법으로 이용되고 있으며 또는 날개깃의 끝에 고무판등을 연결함으로서 이물질 혼입, 回轉部和 케이싱 사이에서의 공기누설 및 粉體의 부착등을 방지할 수도 있다.



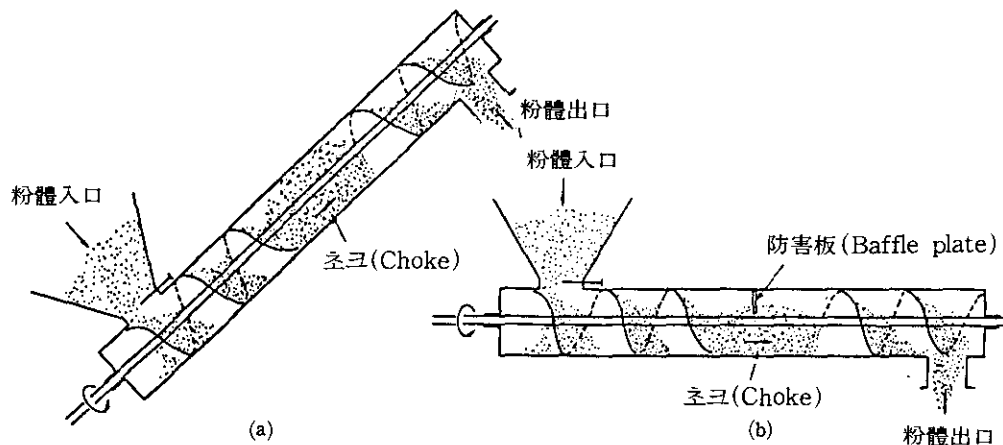
[그림 7-14] 시어 핀(Shear pin)이
설치된 체인



[그림 7-15] 異物質 投入防止用
妨害板 부착에

나. 스크루 초크(Screw choke)

플랜트의 유니트를 분리함으로서 폭발로 인한 火災의 傳播를 차단하기 위하여 [그림 7-16]과 같은 웜(Worm) 또는 스크루 초크(Screw choke)가 사용될 수 있다. 일반적으로 스크루 피더(Screw feeder)는 원동상 케이스에서 스크루를 회전시켜서 粉粒體를 供給 및 輸送하는 장치이다. 스크루 피더는 밀폐구조로 할 수 있어 분진이나 공기의 누설을 방지할 수 있고 耐壓 또는 眞空下에서도 사용이 가능하며 필요시 중앙부에서 공급되는 粉粒體를 전후 반대방향으로 분배 수송할 수 있어 많이 사용되고 있다.



[그림 7-16] 스크루 피더(Screw feeder)에서의 초크 설치 예

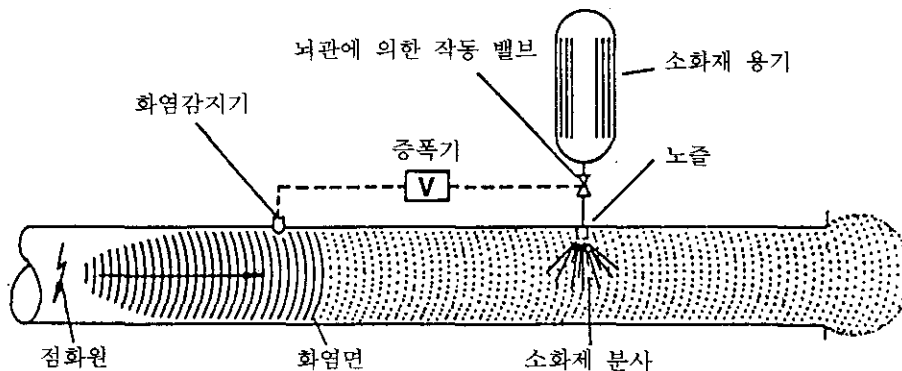
이 초크는 기본적으로 원동상 케이스에 스크루를 넣은 것으로 그 한 쪽에서 다른 쪽으로 반출할 수 있도록 반출입구 사이 공간은 분체로서 가득차게 되어 있다. 螺旋軸이 수직으로 경사져 있는 경우 [그림 7-16]에는 반입구에서 분체가 공급되지 않는 경우에도 초크가 완전히 비어 있어 화염전파가 가능한 통로가 되지 않도록 하기 위해서 라선의 한 피치를 제거한다. 웜 초크는 분체를 상당히 높은 곳, 즉 건물의 어느 층에서 다른 층으로의 이송에 사용할 경우 화염전파의 통로가 되는 다른 揚粉機 보다도 안전상 바람직하다. 수평이송이 필요한 경우에도

같은 방법으로 螺旋의 한 피치를 제거함으로서 반입구로 분체의 공급이 정지된 경우에도 원동상 케이스의 天井側과 粉體層上部의 사이에 틈이 없도록 하기 위하여 특히 妨害板(Baffle plate)을 [그림 7-16] (b)와 같이 설치하는 것이 필요하다. 스크루 초크에 의한 폭발전파 방지효과를 연구한 실험결과는 많지 않지만 米穀粉에 대한 실험결과가 보고된 바 있다. 초크가 분체로 가득차 있으면 그사이로 火炎이 통과하는 것이 어렵고 回轉밸브 보다도 초크내 분체의 滯留時間이 길어 분진화염이 그 사이로 전파할 가능성이 더 적다.

보통 스크루 초크는 전기 모터에 의해 구동되는 것으로 초크내의 분체는 심하게 摩擦을 받을 수 있기 때문에 구동 모터에는 위험상태가 발생할 수 있다. 따라서 모터에는 過負荷檢出回路를 설치하여야 하며, 異物質混入으로 인한 마찰 스파크등을 방지하기 위해서 투입구 전단에는 異物質 제거기가 설치되어야 한다.

다. 消火遮斷器(Extinguish barrier)

消火遮斷器는 [그림 7-17]과 같이 폭발로 인한 火炎을 初期段階에서 검지하여 增幅器(Amplifier)를 경유 뇌관을 작동함으로서 消火劑 용기의 밸브를 열어 화염의 전파를 遮斷하는 장치로서 그 원리는 폭발억제장치와 유사하며 窒素등 噴射體 가스에 의해 소화제가 배관이나 덕트 내부에 수 msec 이내에 확산되게 함으로서 화염의 전파를 방지한다.

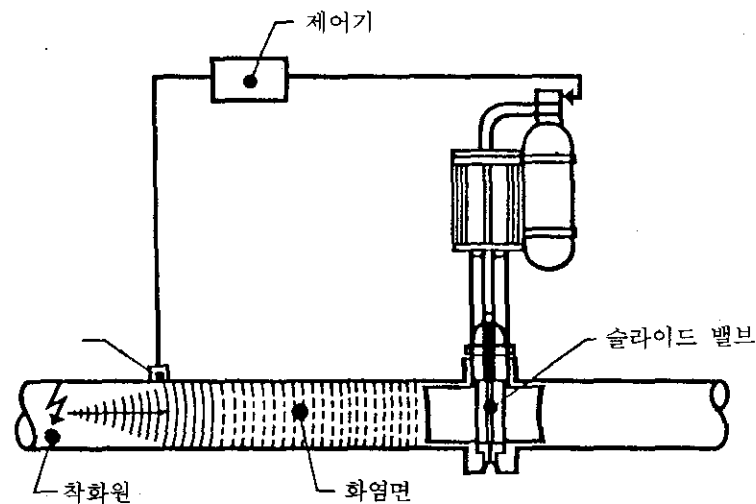


[그림 7-17] 消火遮斷器의 作動原理

火炎의 전파속도에 따라 다르나 檢出器와 消火劑 용기와의 거리는 대개 5~10m 정도로서 폭발이 발생할 경우 즉시 이를 검지하여 소화할 수 있는 거리여야 한다. 또한 소화제의 양은 가연성분질의 종류와 형태, 예상되는 화염 전파속도, 방호되어야 하는 배관이나 덕트의 직경등에 따라 달라질 수 있다.

라. 高速作動 슬라이드밸브(Rapid-action slide valve)

高速作動 슬라이드밸브(Slide valve)는 [그림 7-18]과 같이 배관이나 덕트의 외부에 설치된다. 따라서 운전시 어떠한 장애도 주지 않으며 포켓(Pockets)등이 없이 설치가 가능하여 분진등의 堆積이 없다. 이들 밸브의 하우징(Housing)은 鐵, 鑄鐵 또는 알루미늄 다이캐스팅등으로 만들어지며, 슬라이드 플레이트는 짧은 순간적인 작동을 위하여 가벼운 고인장력물질로서 제조한다. 이 장치도 검지와 작동장치 사이의 일정한 거리 유지가 중요한 데 이는 폭발속도와 차단시간에 따라 결정되며 차단시간은 보통 50msec 이하이다.



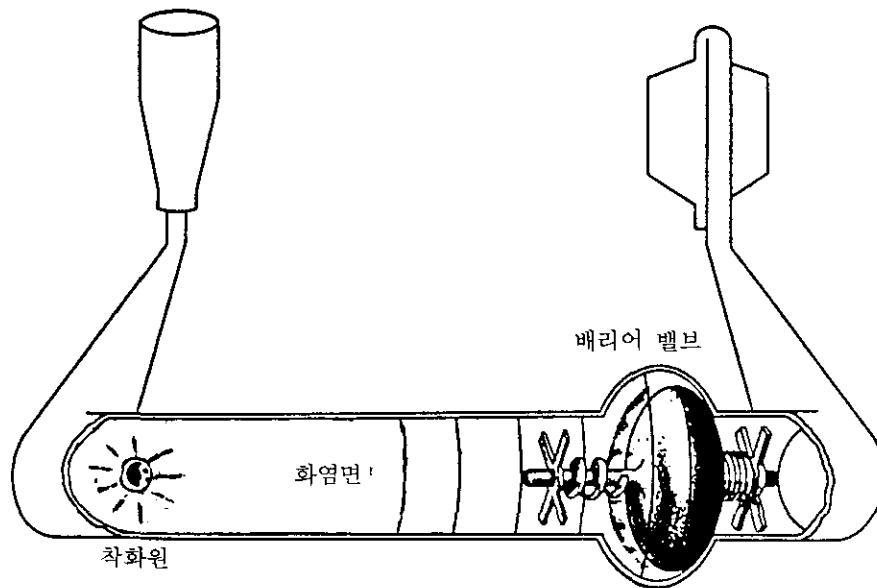
[그림 7-18] 高速作動 슬라이드밸브

마. 高速作動 플랩(Rapid action flaps)

高速作動 플랩은 플랩(Flap) 또는 스로틀 밸브(Throttle valve) 처럼 원판을 회전시켜 管路를 차단하는 것은 유사하나 高速作動 슬라이드밸브와 같이 爆發시 이를 감지하여 高速으로 作動하여 폭발시의 화염을 차단시키는 장치이다.

바. 高速作動 배리어밸브(Barrier valve)

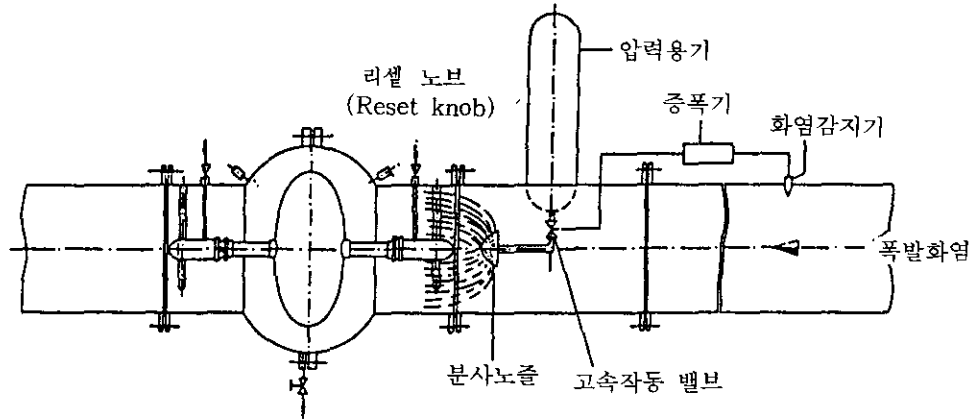
高速作動 배리어밸브는 [그림 7-19]와 같이 배관등의 内部流速이 일정 限界以上을 超過할 때, 즉 폭발이 발생한 경우에 작동됨으로서 화염의 전파를 차단하는 장치이며 폭발의 物理的인 負荷를 견딜 수 있을 때 사용이 가능하다. 그리고 管路 내부에 설치되기 때문에 분진의 량이 비교적 적은 라인에 설치하는 것이 바람직하다.



[그림 7-19] 高速作動 배리어밸브(Barrier valve)

배리어밸브에는 [그림 7-20]과 같이 내부유속을 이용하지 않고 화염을 감지하여 高壓窒素를 분사함으로서 차단시키는 벤텍스 고속작동밸브(Ventex rapid ac-

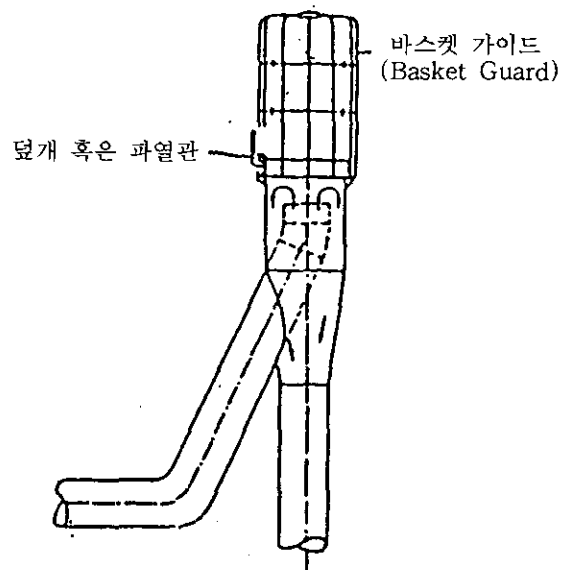
tion valve)도 사용되고 있다.



[그림 7-20] 벤택스 고속작동밸브(Ventex rapid action valve)

사. 릴리이프 파이프(Relief pipe)

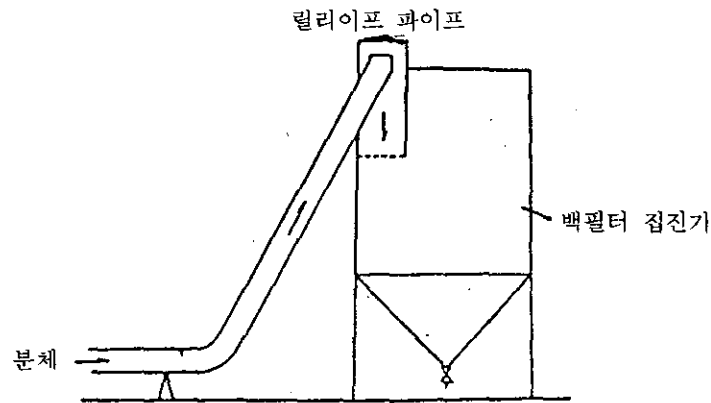
릴리이프 파이프는 [그림 7-21]과 같이 파이프 라인의 한 부분으로 구성되며, 덮개와 破裂板이 大氣로 부터 파이프를 차단하기 위하여 사용된다. 흔히 爆發 轉



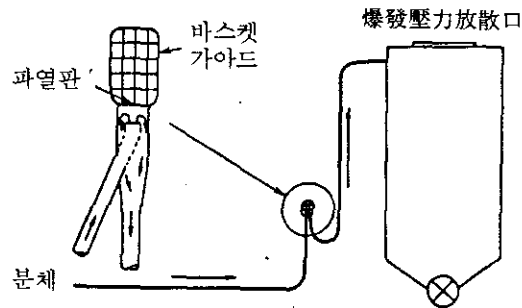
[그림 7-21] 릴리이프 파이프(Relief Pipe)의 구성도

換機(Explosion diverter)라고도 한다. 즉 방출장치가 개방되면서 180°로 흐름방향을 변화시킴으로서 폭발의 전이를 방지한다. 이때 放出口는 비위험지역 즉 작업장이나 통로가 아닌 곳으로 향하도록 하여야 한다.

설비에 적용한 예로서 [그림 7-22]는 릴리이프 파이프를 集塵機 내부에 설치한 것이며, [그림 7-23]은 集塵機 전단 配管에 설치한 예를 나타낸 것이다.



[그림 7-22] 集塵機 内部에 설치된 릴리이프 파이프(Relief Pipe)



[그림 7-23] 集塵機 전단 配管에 설치된 릴리이프 파이프(Relief Pipe)

第8章 工程別 安全對策

앞장에서는 주로 粉塵으로 인한 爆發・火災 豫防 및 防護對策을 종합적으로 제시하였으며, 여기서는 이를 고려하여 取扱設備 또는 工程別 安全對策을 구체적으로 제시하고자 한다. 제조공정은 보통 여러개의 유닛 즉 單位裝置로 구성되며 따라서 폭발・화재를 방지하기 위해서는 이들 장치 하나하나에 대하여 설계시 부터 충분히 검토하여 적절하게 설치하여야 한다.

粉體를 처리하는 플랜트에 있어서의 조작을 여기서는 편리상 粉碎, 輸送, 分離, 乾燥 및 貯藏으로 대별하여 爆發・火災防止를 위한 安全對策을 제시하고자 한다.

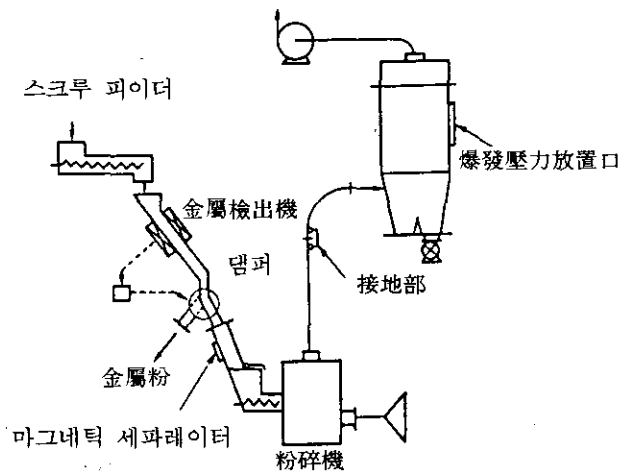
1. 粉碎工程

固體物質을 粉碎하여 粒子 또는 粉末로 하는 이 같은 프로세스는 粉碎된 물질 그 자체가 제품으로 되거나 또는 별도의 제품을 제조하기 위하여 사용되는 것으로 각종 공업에서 흔히 사용되는 프로세스이다. 粉碎는 단일 기계에 의해서 일단계로 행하여 지는 경우와 一連의 다른 기계를 사용하여 여러 단계에 걸쳐 행하는 경우가 있는 데, 어느 방법을 이용하는 것이 좋은가 하는 것은 어떤 제품을 생산하는가에 따라 결정되며 폭발・화재는 어느 방법에서도 발생할 수 있다고 하겠다.

앞에서 기술한 工程別 災害統計에서도 나타난 바와 같이 폭발・화재는 粉碎製粉工程에서 가장 많이 발생되고 있는 실정으로서 粉碎工程은 高速의 衝擊에 의한 발화 또는 발열에 의한 가연성가스의 발생 특히 처리량이 불안정하여 粉塵의 濃度가 爆發限界를 형성하는 등 폭발・화재에 대한 직간접적인 요인이 많이 내재되어 있기 때문이라고 하겠다. 따라서 폭발・화재방지를 위하여 粉碎工程에서 반드시 고려하여야 할 중요한 사항을 제시하면 다음과 같다.

가. 着火源의 排除

(1) 粉碎機는 원료에 鐵片 또는 石片등이 혼입될 경우 마찰이나 충격에 의한 폭발·화재의 위험성이 특히 높기 때문에 投入口 전단에는 마그네틱 세파레이터 (Magnetic separator), 空氣壓力을 이용한 分離器 또는 金屬檢出機등을 설치하여야 한다. [그림 8-1]은 粉碎工程에 金屬檢出機와 마그네틱 세파레이터를 설치한 예를 나타낸 것이다.



[그림 8-1] 金屬檢出機와 마그네틱 세파레이터를 설치한 粉碎工程 例

(2) 原料의 공급속도가 最適値를 超過할 경우 또는 배출구가 차단될 경우 粉碎機 내부에는 高温表面이 발생될 수 있다. 분쇄기는 負荷가 큰 경우는 물론 적은 경우에도 폭발·화재의 위험성이 있기 때문에 설계시 이에 주의하여야 한다. 粉碎機로 부터의 最適產出量은 供給速度 및 最適負荷에 적합하도록 설계된 粉碎機 구조와 잘 조화되도록 설계하여야 하며 安全運轉을 위하여 粉碎機의 모터에는 過負荷防止裝置를 반드시 설치하여야 한다.

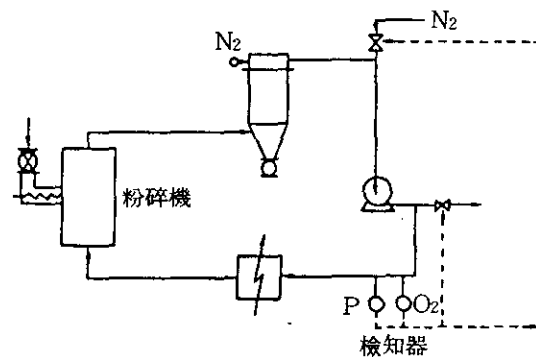
(3) 粉碎機 자체를 구성하는 부품 즉 볼트, 너트, 핀 및 라이닝재 등의 마모, 부식등에 의한 탈락, 마찰 및 충격에 의한 스파크의 발생을 방지하기 위하여 정기점검을 철저히 하여야 한다.

나. 爆發限界濃度の 排除

(1) 粉碎機의 原料 公급량이 最適値 以下이거나 또는 公급이 中斷될 경우 分碎機 내부에 분체의 농도가 상대적으로 부족하게 되므로서 分散되는 분진의 농도가 爆發限界內의 雰圍氣를 형성하고 粉碎機 내에 폭발성 혼합물이 존재하는 空間이 증가하여 폭발 위험성이 높아지게 된다. 따라서 粉碎機의 最適容量이 원료의 處理量과 일치하게 하고 또한 원료의 公급량을 적절하게 制御할 수 있도록 설계하여야 한다.

(2) 粉碎機 내부는 粉碎된 微粉이 堆積되거나 장시간 浮遊, 飛散되지 않게 구조를 설계하고 또 蓄熱되기 쉬운 장소에는 특히 분진이 堆積되지 않도록 주의하여야 한다.

(3) 취급물질의 着火溫度가 낮거나 위험한 물질인 경우 분쇄공정은 〔그림 8-2〕와 같이 不活性가스를 供給, 循環式으로 하는 것이 바람직하다. 이 경우 酸素濃度나 시스템 내의 압력을 감지하여 부족한 窒素를 公급하고 循環시스템 내의 가스를 冷却하여야 한다.



〔그림 8-2〕 窒素가스 循環式 粉碎工程의 例

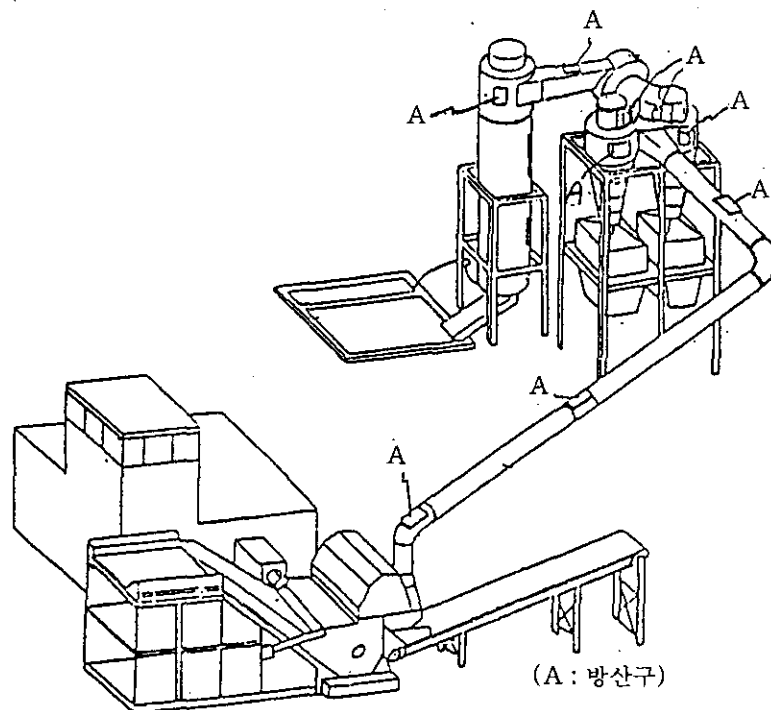
(4) 原料를 단계적으로 細密하게 分쇄하는 경우에 제품의 直徑이 數 cm인 경우 특히 기계가 低速으로 運轉되는 경우에는 폭발 위험성은 적으나 화재의 위험성이 있는 바 유의하여야 한다.

(5) 粉碎機는 氣密構造로하여 분쇄시 외부로 분진이 누출되어 작업장 내부에 축적되지 않게 하여야 한다.

다. 防護對策

(1) 粉碎機는 분진폭발에 대하여 충분한 耐壓強度를 갖도록 설계하여야 한다. 일반적으로 분쇄기는 機械的인 힘에 견딜 수 있도록 흔히 충분한 強度를 가지고 있다. 분쇄기의 입출구는 어느 정도 爆發壓力放散口의 역할을 할 수 있기 때문에 설계시 이를 적절하게 고려하면 폭발시 현저한 損傷을 받지 않을 수 있다. 內容積이 적은 분쇄기의 경우 충분한 強度를 갖기 쉬우며 石炭 粉碎用으로 內容積이 數 10m³에 달하는 분쇄기 에서도 3.5 kg/cm²의 압력에 견디도록 설계하는 것이 가능하다.

(2) 粉碎機에는 [그림 8-3]과 같이 爆發壓力放散口나 爆發抑制裝置를 설치하여야 한다.



[그림 8-3] 粉碎工程의 爆發壓力放散口 設置 例

(3) 粉碎機 자체에서의 폭발 위험성은 비교적 용이하게 제거할 수 있으나 분쇄된 제품을 다음 장치로 空氣輸送하는 경우에 폭발 위험성을 고려하여 爆發壓力에 견딜 수 있도록 設計하거나 爆發壓力放散口를 설치하여야 한다.([그림 8-3] 참조)

(4) 粉碎機 내부에서의 火災 발생시 消火할 수 있는 적절한 消火시스템을 갖추거나 접근하여 消火할 수 있는 공간을 가져야 한다.

(5) 粉碎工程의 각 유닛은 폭발시 火災이 전파되지 않도록 닥트등 연결 부위에는 로타리밸브등 각종 遮斷裝置를 설치하여야 한다.

(6) 폭발성이 강한 분진 또는 폭발위험성은 강하지 않으나 부근에 他裝置가 있거나 작업자가 상주하는 경우에는 주위에 防護壁을 설치하여야 한다.

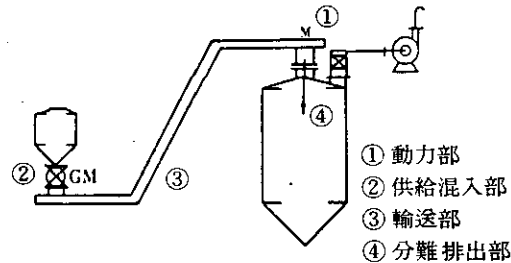
2. 輸送工程

가. 裝置概要 및 危險性

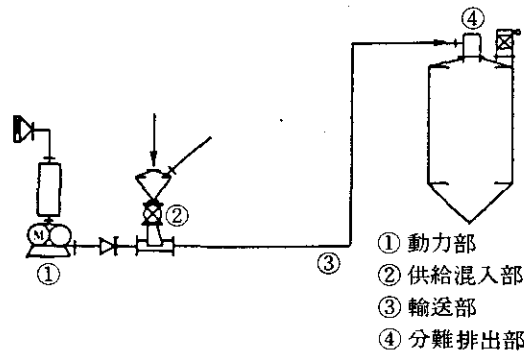
原料로 부터 粉體가 제조된 후 또는 原料 그 자체가 粉體인 경우에 반드시 이들은 다음 工程으로 輸送되어야 하며 흔히 輸送方法으로는 人力에 의한 방법, 機械的인 방법 그리고 氣體를 이용한 방법이 사용되고 있다. 여기서는 주로 벨트 컨베이어등 機械式輸送裝置([그림 8-4] 참조)와 氣體의 에너지를 이용한 氣體管路輸送裝置([그림 8-5] 참조)를 중심으로 安全對策을 제시하고자 한다.

이들 장치는 주로 動力部, 供給混入部, 輸送部, 分離排出部 및 制御部로 구성되며 이 공정에서의 주요한 폭발 위험은 주로 機械式輸送裝置의 벨트 또는 체인의 구동용 모터와 氣體管路輸送裝置의 送排風機 또는 壓縮機의 구동용 모터등에 의한 스파크나 過負荷, 수송라인에 定量供給시 사용되는 로타리 피이더(Rotary feeder)등 구동용 모터에 의한 스파크 및 摩擦등으로 인한 過熱과 過負荷, 수송라인에서의 분체 사이의 摩擦 또는 분체와 壁面과의 接觸摩擦에 의한 靜電氣 스파크, 粉體 分離機인 사이클론이나 백필터 集塵機등에서의 靜電氣 스파크, 자동제

어용 전자밸브, 리미트 스위치등 電氣機器에서의 電氣 스파크등 착화원이 항상 존재하기 때문에 그 위험성이 아주 높다.



[그림 8-4] 機械式輸送裝置의 대표적인 例



[그림 8-5] 氣體管路輸送裝置의 대표적인 例

나. 機械式輸送裝置

(1) 機械式輸送裝置는 스크루 컨베이어(Screw conveyor), 트랙 체인 컨베이어(Drag chain conveyor), 벨트 컨베이어(Belt conveyor), 버킷 엘리베이터(Bucket elevator)등을 사용하여 분체를 공기중에 분산시키지 않고 塊狀으로 수송하는 방법으로서 이상적인 컨베이어로는 浮遊粉塵이 생성될 수 있는 自由空間이 없고 착화원이 없는 것이 바람직하다. 그러나 스크루 컨베이어(Screw conveyor)는 자유공간이 없는 반면에 摩擦熱 또는 過負荷등으로 인한 착화원이 문제가 되고 있다. 따라서 구동용 모타등에는 過負荷防止裝置를 설치하여야 한다.

(2) 트랙 체인 컨베이어(Drag chain conveyor)는 분체중에서의 마찰은 적으나 復路側에는 自由空間이 있어 粉塵雲이 형성될 수 있어 착화 위험이 있다. 따라서 자유공간을 감소시키고 컨베이어가 空回轉되지 않도록 인터록하여야 하며 復路側을 住路側 보다 좁게하고 復路側의 컨베이어 케이스는 폭발압력에 견딜 수 있도록 설계하거나 건물의 외측으로 폭발압력방산구를 설치하여야 한다.

(3) 벨트 컨베이어(Belt conveyor)는 아주 간단한 구조이나 開放狀態에서는 분체의 輸送에 적절하지 않다. 벨트 컨베이어 주위 내부 自由空間은 트랙 체인 컨베이어 보다도 훨씬 더 넓어 폭발 위험성이 크다. 따라서 앞에서 제시한 防護裝置를 적절하게 설치하여야 한다.

(4) 機械式輸送 시스템에서는 靜電氣 발생 위험성이 높다. 따라서 모든 金屬 부분은 接地를 하고 非金屬 부분이 그 사이에 연결된 경우에는 본딩(Bonding)하여야 한다.

(5) 機械式輸送 시스템에 사용되는 베어링(Bearing)은 故障 또는 보수 불량시 過熱될 수 있는 위험이 있다. 따라서 모든 베어링은 수송부분의 外側에 설치되어야 하고 가능한 過熱時에 警報를 발하도록 하는 것이 바람직하다.

(6) 벨트 컨베이어는 구동용 로라가 空回轉되거나 벨트가 정지된 상태에서 回轉을 계속하면 과열될 수 있으며, 또한 벨트가 靜電氣를 발생할 수 있기 때문에 帶電되기 어려운 재질을 선택하거나 傳導性材質을 사용하여야 한다.

(7) 모터, 전기 제어부품, 동력제어반등 전기기계기구는 防爆仕様の 機器를 사용하고 接地하여야 한다.

(8) 버킷 엘리베이터는 輸送시스템 중에서 가장 분진폭발·화재의 위험성이 높은 설비로서 폭발사고가 가장 많이 발생하고 있다. 특히 곡물분진에서 가장 많은 데 이는 곡물의 移送에 가장 일반적으로 사용되고 있기 때문이다. 폭발·화재가 발생하는 이유는 첫째, 운전 중에 계속적으로 粉塵雲이 발생하기 쉽게 설계되어 있고 특히 底部와 最上部에 粉塵雲이 형성되기 쉽기 때문이며 둘째, 버킷이 衝突하거나 버킷을 支持하는 벨트의 슬립현상(Slipping)에 의하여 스파크나 摩擦

熱 또는 靜電氣에 의해서 착화될 수 있는 착화원이 많이 내재되어 있기 때문이다. 버킷 엘리베이터에서 설계시 주의하여야 할 사항은 다음과 같다.

(가) 특히 摩擦에 의하여 용이하게 착화될 수 있는 분진(硫黃 등)에 대해서는 버킷 엘리베이터를 사용하지 않아야 한다.

(나) 버킷 엘리베이터는 가능한 건물의 外側에 설치하고 외부로 분진이 漏出되지 않도록 氣密構造로 하여야 한다.

(다) 버킷 엘리베이터는 운전시의 내부압력을 대기압 보다도 약간 낮도록 설계하므로서 분진의 외부 누출을 최소화하여야 한다.

(라) 케이스는 耐火構造로서 충분히 화재에 견딜 수 있는 재질을 사용하여야 한다.

(마) 폭발이 발생할 경우 설비의 破壞를 방지할 수 있도록 耐爆構造로 강고하게 제작하거나 爆發抑制裝置 또는 爆發壓力放散口를 적절하게 설치하여야 한다. 爆發壓力放散口는 폭발과 화염을 안전한 공간으로 방출할 수 있도록 엘리베이터의 最上部에 설치하여야 하며 필요시는 放散誘導管을 설치하여야 한다.

(바) 착화원을 排除하기 위하여 버킷은 強固하게 固定시키고 모든 샤프트는 케이스의 밖에 설치하여야 하며 베어링 또한 強固한 것을 사용하고 過熱檢出器를 설치한다.

(사) 버킷 엘리베이터의 주 구동부는 케이스의 외부에 설치하고 케이스 내부에서의 벨트 슬립현상(Slipping)은 벨트 速度計로서 검출할 수 있어야 한다.

(아) 버킷 엘리베이터에는 排出換氣裝置를 설치함으로써 분진의 浮遊, 飛散을 방지하고 내부압력을 大氣壓 이하로 유지하여야 하며 배기 덕트는 안전한 장소에 설치된 集塵機에 연결하여야 한다.

(자) 버킷 엘리베이터의 벨트(Belts) 및 래깅(Lagging)을 傳導性材質을 사용하여야 하며, 벨트는 表面電氣抵抗이 300MΩ을 초과하지 않아야 한다.

(차) 버킷 엘리베이터의 헤드 풀리(Head pulley)부와 부트(Boot)부는 폴리, 벨트, 래깅, 배출구 등의 검사와 청소가 용이하고 접근하기 쉬운 구조로 하여

야 한다.

(카) 베어링(Bearing)은 케이스 외부에 설치하고 만일 내부에 설치할 경우에는 振動, 溫度等を 檢指할 수 있는 장치를 설치하여야 한다.

(타) 벨트의 스피드가 정상속도의 20%로 늦추어질 경우 경보를 발하고 30초 이내에 정상속도로 환원되지 않으면 모터와 공급라인이 차단되도록 인터록되어야 한다.

다. 氣體管路輸送裝置

분체를 보통 공기중에서 分散시켜 移送하는 장치로서 흔히 少容量으로 高壓空氣를 이용하는 방법과 大容量으로 低壓의 空氣를 이용하는 방법이 사용되고 있다.

少容量 高壓시스템은 비교적 최근에 개발된 것으로서 플랜트 내에서의 분체의 이송이나 특히 運送車輛으로 부터 저장용 호파로 하역하는 데 이용되고 있다. 이 방법은 高濃度의 분체를 비교적 높은 空氣壓으로 좁은 파이프를 통하여 高速으로 이송하며 대표적인 파이프 直徑은 10cm 정도이며 操作 空氣壓力은 0.5 kg/cm² 정도이다.

분체와 공기의 重量比는 분체에 따라서 다르지만 대략 40~1 정도로서 이 比는 극히 예외적인 분진을 제외하면 爆發上限 以上の 농도를 의미하며 모든 혼합물이 爆發限界內의 농도로 수송된다는 것은 아니다. 空氣輸送의 利點은 수평·수직 어느 방향으로도 이송이 가능하며 파이프 내에 분진이 누적되지 않는다는 점이다. 파이프 내에서의 線速度는 물질에 따라 다르지만 약 25m/sec 정도가 많다

大容量 低壓시스템에서는 플랜트의 각 장치 사이의 粉體輸送이나 副產物로서 생긴 분진의 제거등에 사용되고 있다. 이 시스템은 切斷機나 研磨機로 부터 생긴 분진의 제거나 배출 목적으로 사용되는 경우 송풍기를 사용하며 설계시는 空氣流速을 충분히 크게하거나 배출 덕트에 분진이 堆積되지 않도록 하여야 한다.

氣體管路輸送 시스템에서의 유의 사항은 다음과 같다.

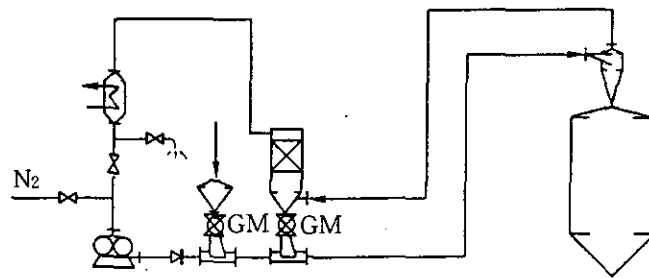
(1) 시스템에 공급되는 공기는 착화원이 流入되지 않도록 안전한 곳으로 부터 吸入되도록 설치하여야 한다.

(2) 시스템이 陽壓으로 운전되는 경우에는 送排風機, 펌프, 콤프레사등에는 공기 방출밸브를 설치하고 모타에는 過負荷防止裝置를 설치하여 배관이 막혀도 압력과 온도가 과대하게 되지 않도록 하여야 한다.

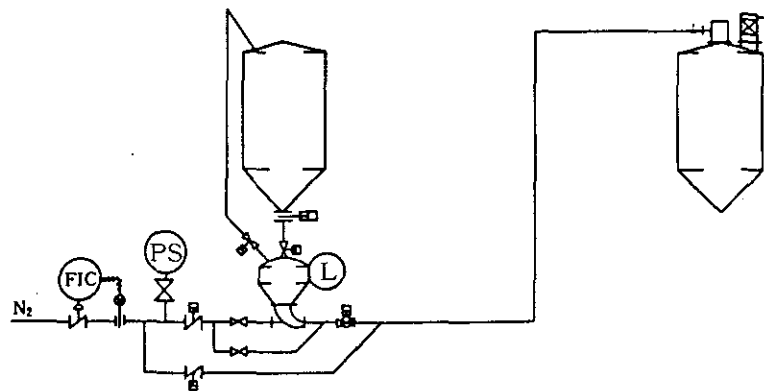
(3) 공기 공급라인에는 역지밸브를 설치, 시스템의 下流側에서 발생된 폭발 압력에 의해 송배풍기가 파손되지 않게 하여야 한다.

(4) 輸送 배관등은 타설비로 부터 화염이 전파되지 않도록 적절한 遮斷裝置를 설치하여야 한다.

(5) 착화가 용이한 분체는 [그림 8-6] 및 [그림 8-7]와 같이 가능한 공기 대신에 窒素등 不活性가스를 사용하여 시스템을 구성하여야 한다.



[그림 8-6] 窒素가스 循環式 氣體管路輸送 시스템의 例



[그림 8-7] 窒素가스 放出式 氣體管路輸送 시스템의 例

(6) 靜電氣 발생을 방지하기 위하여 모든 장치는 接地되어야 하며 非傳導性材質을 사용한 연결부위는 傳導性材質로서 본딩하여야 한다.

(7) 輸送用 배관은 보통 窓이 필요하지 않으나 만일 설치하여야 할 경우에는 그 강도를 배관의 강도와 같게 하고 분진의 燃燒熱에 견딜 수 있는 재질을 사용하여야 한다.

(8) 분체 供給部는 분진의 濃度가 높아 폭발 위험은 적으나 분체 排出部는 분체가 수송용 공기로 부터 분리되기 때문에 어느 부분에서는 농도가 爆發限界內에 들 수 있다. 특히 少容量 高壓시스템에서는 이 단계에서 폭발 위험성이 가장 높기 때문에 주의하여야 한다.

(9) 平均 粉塵濃度는 爆發下限界 濃度の 30% 이하로 하여야 한다. 이때 그 농도는 분진이 시스템 중으로 유입시 속도의 變動, 일시적인 분진의 沈澱 후 재 분산의 가능성, 분체의 크기 정도와 특성등에 따라 그 농도가 변할 수 있다. 따라서 평균 분진농도를 기준으로 하여야 한다.

(10) 배기라인은 정기적인 清掃등이 容易한 구조로 하여야 하며 분진이나 타르상물질이 닥트내에 堆積되지 않는 구조로 하여야 한다.

(11) 中央 集塵分離裝置를 사용한 배기시스템이 설계상 요구될 경우(흔히 분리장치는 옥외에 설치) 배관의 길이가 길어지게 되는 바 이 경우에 배관은 폭발 압력에 견딜 수 있게 耐爆構造로 하거나 爆發壓力放散口 또는 抑制裝置등을 설치하여야 한다.

(12) 分岐닥트의 내부에는 시스템의 발란스를 유지하도록 댐퍼를 설치한다. 댐퍼는 바르게 조절하여 분진이 닥터 내부에 堆積되지 않게 하여야 한다.

3. 貯藏工程

粉體貯藏設備는 단순한 貯藏容器에서 自動供給 및 排出設備를 갖춘 큰 사일로(Silos)나 빈(Bins)에 이르기 까지 그종류와 크기가 아주 다양하게 사용되고 있

다. 외국의 경우 사일로의 連鎖爆發로 인한 대형사고 발생사례가 많은 실정으로서 특히 유의하여야 한다

(1) 貯藏工程에 분체를 투입할 경우 투입시 발생하는 분진의 양을 감소시키기 위하여 輸送工程에서 집진을 행함은 물론 저장설비에도 集塵機를 설치하여 부유분진을 제거하여야 하며 집진된 분진은 다음 공정에서의 분진발생을 방지하기 위하여 저장설비에 재투입하여서는 안되며 별도 처리하여야 한다.

(2) 集塵機를 설치할 경우에는 集塵機의 폭발로 인한 화염의 전파에 유의하여야 하며 적절한 遮斷裝置를 설치하여야 한다.

(3) 傳導性이 높은 金屬製 저장설비는 電氣的으로 接地하여야 한다.

(4) 穀物等を 장기간 저장하는 경우 특히 수분이 높은 穀物은 酸化發熱을 일으켜 自然發火할 위험성이 높다. 따라서 穀物이나 石炭등을 저장하는 사일로등에는 온도감지기를 설치하여야 한다.

(5) 貯藏設備의 전단에는 異物質 제거설비를 설치함으로서 異物質이 운송설비 또는 투입시 저장용기벽 등에 접촉·충돌함으로 인한 스파크의 발생을 방지하여야 한다.

(6) 貯藏設備에는 爆發壓力放散口 또는 爆發抑制裝置를 설치하여야 한다. 폭발억제장치는 高價이기 때문에 폭발 위험성이 높은 少容量의 저장설비에 권장되고 있다.

(7) 저장물질에 따라서 필요시는 冷却設備 또는 消火設備를 설치하여야 한다.

4. 分離 및 集塵工程

空氣輸送에 의해 운반된 분체는 다음 공정에서 공기와 분리되어야 한다. 어떠한 분리기를 사용하느냐 하는 것은 그 시스템의 기능상의 요구, 분체의 종류·량·크기 등 제특성, 분리된 후의 작업내용등에 따라서 고려되어야 한다. 集塵工程은 일반적으로 분체 프로세스의 최종 공정으로서 미세한 분진을 분리포집하는 경

우가 많고 粉塵雲이 폭발범위를 형성하기 쉬워 가장 위험한 공정이라고 보아야 한다.

가. 放置室

분진을 分離 및 集塵하기 위한 공정으로서 少容量 高壓空氣 시스템에서 주로 사용된다. 輸送라인으로부터 직접 분체를 사일로에 방출시키고 수송용 공기는 백 필터등 보조분리장치를 경유 대기중으로 배출시킨다. 이같은 시스템에서는 특히 사일로 내에 부유분진이 존재하기 쉬워 위험성이 높다. 사일로 내부에서 분진이 분산하는 부분의 용적을 감소하기 위하여 사이클론으로 부터 분체가 사일로로 重力에 의해서 직접 낙하하는 것을 피하고 사이클론으로 부터 수직으로 설치된 관 또는 구멍으로 분체가 횡방향으로 사일로 내에 송입되도록 하는 것이 바람직하다. 폭발시 방호를 위하여 이들 설비에는 爆發壓力放散口등을 설치하여야 한다.

나. 사이클론(Cyclones)

粉體를 분리하기 위하여 重力을 이용하는 경우는 粒子의 크기에 따라서 효율에 많은 차가 있다 따라서 보다 효율적인 분리를 위하여 遠心力을 이용한 사이클론이 많이 사용되고 있다. 사이클론의 형상과 길이는 분리되는 분체의 제특성, 유속, 요구되는 효율등에 따라 적절하게 설계하여야 한다.

(1) 사이클론의 용량은 배출 공기중에 분진의 농도가 許容限界를 초과하지 않도록 설계하여야 하고 분리되는 분체가 광범위한 粉體粒子를 포함하는 경우 또는 許容限界를 초과할 경우에는 수대의 사이클론을 연결 사용하거나 사이클론 후단에 백필터 集塵機등을 설치하여야 한다.

(2) 사이클론은 청소를 위하여 쉽게 접근할 수 있어야 하고 적절한 위치에 청소용 개구부가 설치되어야 한다.

(3) 사이클론은 다음 경우를 제외하고 반드시 건물 외부에 설치되어야 한다.

(가) 직경이 76mm 이하인 작은 사이클론 타입의 分離機를 사용할 경우

(나) 건물의 외부벽에 인접하여 설치함으로서 爆發壓力放散口 및 放散誘導管(길이 3.05m 이내)에 의해 폭발을 외부 안전한 곳으로 방출할 수 있을 경우

(다) 爆發抑制裝置가 설치된 경우

(4) 옥외에 설치시에도 폭발에 대하여 耐壓強度를 갖게 설계하거나 爆發壓力放散口 등을 설치하여 설비의 파괴를 방지하여야 한다.

다. 백필터 集塵機

分離 및 集塵工程 중에서 백필터 集塵機는 가장 많이 사용되고 있으며 또한 폭발 위험이 가장 높은 설비로서 폭발 사고사례가 많다. 백필터 集塵機는 공기에 함유된 분진을 백필터를 이용하여 포집함으로서 부착된 분진을 機內로 낙하시킴으로서 적당한 농도의 粉塵雲이 설비내에 형성되기 때문에 폭발 위험성이 높다. 따라서 특히 착화원의 배제에 유의하여야 한다.

(1) 백필터의 濾布는 傳導性纖維를 사용하거나 帶電防止加工 처리를 한 재질을 사용하여야 한다. 백필터에서의 착화원은 주로 靜電氣 스파크로서 관벽과의 마찰로 帶電된 분진입자가 닥터내로 유동되어 백필터의 濾布面에 도달하고 여기서 특히 濾布와 분진 사이의 마찰, 부착, 분리등에 의해서 대전량이 증가하게 되고 濾布가 電氣絶緣性 纖維로서 제작된 경우 다량의 靜電氣가 축적하게 되어 폭발을 야기시키기 때문이다.

(2) 설비의 모든 傳導性 부분은 接地하고 非傳導性 재질에 의한 연결부위등은 본딩(Bonding)하여야 한다.

(3) 濾布에 부착된 분진은 落下時 마찰이나 충격에 의한 착화 위험성을 방지하기 위하여 공기에 의한 振動法등을 이용하고 특히 분진의 부착량이 많지 않도록 自動落下機構를 설계하는 것이 바람직하다.

(4) 集塵機에 사용되는 송풍기의 임펠라도 필요시에는 베릴리움이 함유된 알루미늄 합금등의 無火花性 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

(5) 集塵機의 공기흡입 덕트를 통한 용접불꽃, 담배불등의 유입으로 인한 폭

발·화재를 방지할 수 있도록 기밀구조로 하여야 한다.

(6) 백필터 集塵機 주위의 닥트등에는 분진의 堆積으로 인한 自然發熱가 야기되지 않도록 설계하여야 한다.

(7) 설비 주위의 전기기계기구는 가능한 먼곳에 설치하고 防爆用 전기기계기구를 사용하여야 한다.

(8) 集塵機는 청소를 위하여 쉽게 접근이 용이하게 설계하여야 하고 손으로 청소하는 것이 불가능할 경우에는 자동 세척설비를 설치하여야 한다.

(9) 백필터 集塵機는 다음 경우를 제외하고 반드시 건물 외부에 설치되어야 한다.

(가) 건물의 외부벽에 인접하여 설치함으로서 爆發壓力放散口 및 放散誘導管(길이 3m 이내)에 의해 폭발을 외부 안전한 곳으로 放出할 수 있을 경우

(나) 폭발억제장치가 설치된 경우

(10) 옥외에 설치시에도 폭발에 대하여 耐壓強度를 갖게 설계하거나 爆發壓力放散口 등을 설치하여 설비의 파괴를 방지하여야 한다.

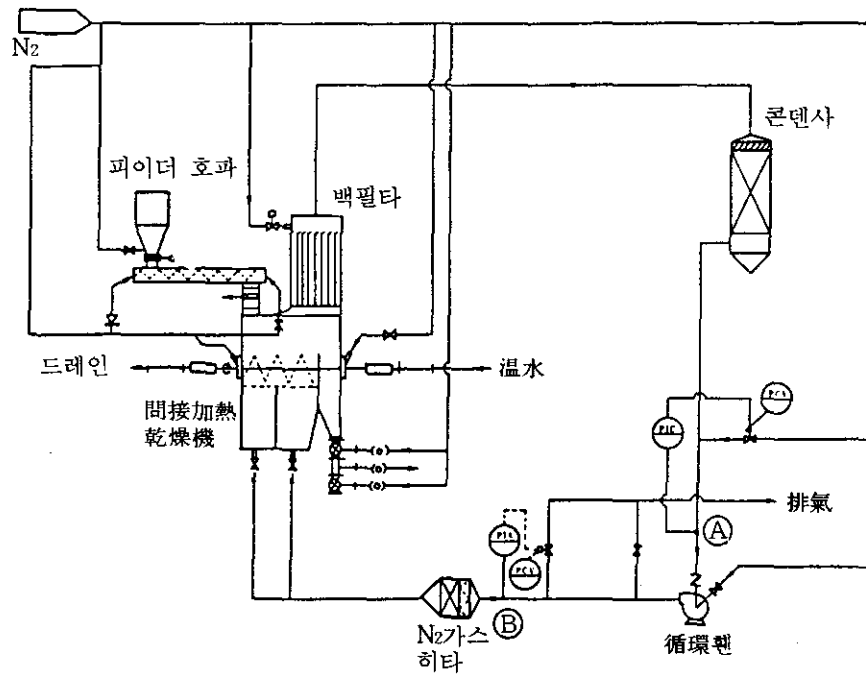
(11) 백필터 産業機에는 백필터를 통과하는 壓力의 降下를 檢指할 수 있는 모니터링 장치(Monitoring device)를 설치하여 관리하여야 한다.

5. 乾燥工程

최근 乾燥工程에서는 可燃性 有機溶劑나 잔류 모노머(Monomer)등을 함유한 분립상을 건조하는 醫藥品, 合成樹脂類등 폭발성이 있는 물질을 취급하는 경우가 많다. 특히 乾燥工程은 열원을 주로 사용하고 있기 때문에 그 위험성이 높으며 분·유기용제등이 함유되어 하이브리드 혼합물(Hybrid mixture)을 형성하고 있기 때문에 더욱 위험하다. 건조장치에서의 착화원은 주로 송배풍기나 댐퍼등의 충격이나 마찰에 의한 스파크, 전기 히타나 스팀 히타의 高温表面, 전기기계기구의 絶緣不良등에 의한 스파크, 帶電된 장치나 靜電氣放電으로 인한 스파크 및 유

동충 건조기등에서의 靜電氣 스파크등을 들 수 있다.

특히 유기용제를 함유한 분체를 熱風을 사용하여 건조할 경우는 질소등 불활성 가스를 가열하여 순환하는 시스템으로 설계하는 것이 바람직하다. ([그림 8-8] 참조) 乾燥設備에 관한 爆發・火災 防止對策은 既 研究(연구보고서, 화학 90-081-9)된 결과가 있기 때문에 여기서는 생략한다.



[그림 8-8] 間接加熱方式에 의한 溶劑乾燥裝置 공정도

第 9 章 結 論

可燃性粉體를 粉碎, 集塵, 分離, 貯藏, 輸送 및 乾燥하는 설비는 일반 化學工業에서 뿐만 아니라 穀物을 荷役貯藏 하거나 飼料를 제조하는 公業, 木材加工業 등 각종 사업장에서 많이 사용되고 있으며 可燃性가스나 蒸氣를 사용하는 설비와 같이 폭발·화재의 위험성이 아주 높고 1차 폭발로 인하여 2차, 3차의 連鎖爆發을 일으킴으로서 대형 사고를 誘發할 수 있는 위험성이 높다.

그러나 實態調査 結果에 의하면 25개 사업장에서 粉碎, 集塵, 輸送 및 貯藏을 위하여 사용하는 설비는 2,648대로서 평균 106대를 사용하고 있으며, 實態調査 및 事故事例에서 나타난 바와 같이 폭발·화재가 흔히 발생되고 있으나 폭발·화재를 豫防 및 防護하기 위한 설비상에 安全對策이 극히 미흡한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 이들 취급설비로 인한 폭발·화재를 豫防 및 防護하여 重大災害를 방지하고자 취급설비에 대한 문제점과 事故事例를 분석하여 對策을 제시하고자 하였던 바 중요한 사항은 다음과 같다.

1. 폭발·화재 위험이 높은 설비는 가능한 建物の 외부 安全한 곳에 설치하여야 하나 集塵機, 사이클론, 버킷 엘리베이터, 粉碎機, 호파등의 설비가 건물 내부에 설치(58.0%)되어있고 爆發壓力放散口의 설치가 미흡하거나 잘못 설치되어 있으며, 爆發抑制裝置 등 高性能의 防護裝置의 설치가 全無한 실정으로서 건물의 破壞 등 대형폭발·화재의 발생 위험성이 높은 실정이다.

따라서 설비를 新設할 경우 設計段階에서 부터 안전을 고려하여 설치하여야 하는바 事前安全性審査 등 制度上的 문제점이 개선되어야 한다.

2. 폭발·화재 事故事例에서 나타난 바와같이 集塵機의 爆發壓力放散口 설치상태가 불량하여 폭발시 防護裝置로서의 역할을 다하지 못하여 야기된 重大災害 事例가 2건으로서 일반적으로 분체 취급설비는 가스나 蒸氣를 취급하는 설비와 달

리 각종 安全防護裝置의 설치에 관한 기술이 극히 저조한 실정이다.

따라서 분체 취급설비에서의 폭발·화재를 방지하기 위하여 이들 설비를 제작 및 취급하는 사업장을 대상으로 집중적인 技術指導가 실시되어야 한다.

3. 분체 취급설비는 대부분 爆發範圍內에서 운전되는 경우가 많기 때문에 着火源을 최대한으로 배제하여야 한다. 그러나 實態調査 결과에 의하면 마그네틱 세파레이터등 異物質 除去裝置를 설치하지 않은 업체가 50%, 백필터 집진기의 백(Bags)이나 플렉시블 호스등을 非傳導性材質로서 사용하는 업체가 40~50%로서 많으며, 또한 사용하고 있는 傳導性材質의 적합성 與否를 파악하기 어려운 실정이다. 따라서 이들 재질에 대해서는 當 公團에서의 檢定實施 여부를 검토하여 필요시 檢定을 실시하여야 한다.

4. 粉體取扱設備 또는 분진폭발 위험이 있는 장소에는 防爆性能이 있는 전기기계구조를 사용하여야 하나 현재로서 이에 대한 技術指針등이 없으며 可燃性가스나 蒸氣를 취급하는 사업장에 비하여 그 設置實態가 56%로서 아주 미흡한 실정이다. 따라서 이에 대한 技術指針이 마련되고 技術指導가 실시되어야 한다.

5. 분진폭발은 美國의 災害事例에서도 지적된 바와 같이 폭발시의 火炎電播로 인하여 他設備가 連鎖적으로 폭발함으로서 대형 폭발사고의 발생 위험이 아주 높다. 그러나 대부분 사업장이 火炎電播遮斷裝置를 설치하지 않고 설비를 운전하고 있는 실정으로서 이에 대한 技術指導 등을 통하여 보급을 확산시켜 나가야 한다.

6. 制度上の 문제점으로서 현행제도에는 化學物質이 아닌 穀物類나 木材類등 분체를 취급하는 化學設備나 乾燥設備에 대해서는 폭발·화재의 위험이 극히 높으나 産業安全保健法에서의 化學設備나 乾燥設備로 간주되지 않고 있다. 따라서 다음과 같이 制度上の 문제점이 개선되어야 한다.

가. 化學物質 以外の 可燃性粉體를 粉碎, 分離, 輸送, 貯藏 및 乾燥하는 설비도 化學設備 및 附屬設備에 포함하도록 그 정의를 수정하여야 한다.

도 化學設備 및 附屬設備에 포함하도록 그 정의를 수정하여야 한다.

나. 有害・危險防止事項에 관한 計劃書を 제출하여야 할 勞動部令이 정하는 業種 및 規模에 化學物質外 穀物等 可燃性物質을 취급하는 관련 업체도 포함시켜야 하며, 상기 “가”에 의한 化學設備 및 附屬設備의 정의에 이들 분진폭발・화재 위험이 있는 설비에 대해서도 計劃書を 제출, 審査하여야 한다.

다. 可燃性物質에 대한 粉碎, 輸送, 貯藏, 集塵, 分離 및 乾燥作業 등에 있어서도 安全擔當者を 지정하여 작업하도록 규정하여야 한다.

라. 상기 “가”의 규정에 따라 분진폭발・화재 위험이 높은 화학물질 이외의 可燃性粉體를 粉碎, 分離, 輸送, 貯藏 및 乾燥하는 설비도 自體檢査를 실시하여야 한다.

아울러 상기에서 지적한 문제점과 對策에 앞서 본 報告書에서 제시된 각종 豫防 및 防護 시스템을 충분히 검토하여 粉體를 取扱하는 사업장이나 設備를 製作하는 업체 등에서는 取扱工程이나 取扱物質의 특성을 감안, 적절한 시스템을 설치 사용함으로써 災害豫防에 기여할 수 있기를 기대한다.

参 考 文 献

1. 日本化学会, 粉じん爆発と火災, 東京, pp. 180~290(1981)
2. 那須貴司, “爆発抑制装置”, 高圧ガス, 22, 3, 16(1985)
3. 青木隆一, “粉粒體貯槽の安全”, 化学工学, 49, 540(1985)
4. 北川徹三, 爆発災害の解析, 日刊工業新聞社, pp. 20~45(1971)
5. 中央労働災害防止協会, 粉じん爆発の防止対策, pp. 65~83(1989)
6. 榎本兵治著, 粉じん爆発, オ-ム社, 東京, pp. 111~131(1991)
7. 産業安全保健研究院, 爆発壓力放散口에 의한 爆発, 火災 防護對策에 관한 研究, pp. 7 24(1991)
8. 産業安全保健研究院, 粉塵防爆 安全技法, pp. 17~39(1990)
9. 寺崎正好, “アルミニウム系 粉末の爆発性に関する研究”, 機械技術研究所報, 40, 28(1986)
10. I. Swift, “Protection Methods Against Dust Explosion” Powd. & Bulk Engng. , 1, 18(1987)
11. W. Bartknecht, “Preventive and Design Measures for Protection Against Dust Explosions”, ASTM Spec. Tech. Publ. , 958, 65~190 (1987)
12. A. Vogel, “Handling Explosion Dust-Part”, Powd. & Bulk Engng, 1, 2, 88(1987)
13. K. L. Cashdollar and M. Mertzberg, Industrial Dust Explosion, pp. 250~290(1986)
14. Machine Safety Section of The ISSA, “Rules for Dust Explosion Protection for Machine & Equipment”, pp. 17~22(1987)
15. K. N. Palmer, “Dust Explosion : Initiation, Characteristics and Protection” 86, 24(1990)

16. B. T. Harrison, "Preventing Dust Explosions-A Case History", Chem. in Brit., 22, 647(1986)
17. A. G. Alekseev, "The Explosion Risk of Metal Powders", Staub. Reianhad Luft. , 50, 245(1990)
18. G. Butters, "Dust Explosion Prevention and Protection in the Plastic Industry" Plast. Rubber Process, 5, 27(1985)
19. P. Field, "Dust Explosion Protection", J. of Hazard. Mater. , 8, 223 (1984)
20. G. A. Lunn, "Safty of Powder Handling Systems ; Review and Detailed Discussion of Venting", Inst. Chem. Eng. Symp. Ser., 1, 233(1989)
22. J. F. Naporano, "Shredding System Improvement to Suppress Explosions", U. S. Pat. 3972841(1976)
23. 坂下攝, 粉體 プラント設計, 工業調査會, 東京, pp. 69~80(1988)
24. 工業調査會 化學裝置編集部編, 粉粒體機器 トラブピル 改善事例集, 東京, pp. 34~39(1991)
25. 狩守野武者, 粉粒體輸送裝置, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 72~75(1980)
26. 日本粉體工業技術協會, 粉粒體のバルクハドリソグ 技術, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 340~350(1987)
27. 川北公夫者, 粉粒體のトラブル 對策, 日刊工業新聞社, 東京, 215~217(1982)
28. 國立勞動科學研究所, 靜電氣災害防止對策 研究報告書, pp. 115~118(1985)
29. 安全工學協會, 爆發, 海文堂, 東京, pp. 290~300(1983)
30. 總合安全工學研究所, 火災. 爆發危險性の測定法, 東京, pp. 120~140(1977)
31. 榎本兵治, "粉じん爆發と爆發危險性評價について", 粉體と工業, 20, 2(1988)
32. National Fire Protection Association, "NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems" National Fire Code Vol 2. (1986)
33. National Fire Protection Association, "NFPA 61C, Standard for the

- Prevention of Fire & Dust Explosions in Feed Mills," National Fire Code Vol 2. (1984)
34. National Fire Protection Association, "NFPA 61B, Standard for the Prevention of Fires & Explosion in Grain Elevators & Facilities Handling Bulle Raw Agricultural Commodities" National Fire Code Vol 2. (1989)
 35. National Fire Protection Association, "NFPA 61A, Standard for the Prevention of Fire & Dust Explosion in Facilities Manubactaring & Handling Starch" National Fire Code Vol 2. (1989)
 36. National Fire Protection Association, "NFPA 231E, Recommended Pratice for the Starage of Baled Cotton," National Fire Code Vol. 9 (1984)
 37. National Fire Protection Association, "NFPA 650, Standard for Pneumatic Comveying Systems for Handling Combustible Materials," National Fire Code Vol. 7 (1990)
 38. Health & Safety Executive, "ZH 1/139, Safety Rules for the Extra-tion & Disposal of Wood working Waste" (1985)
 40. DIN NASG GA5, European Standard on Fire & Explosions (1991)
 41. J. Ravenet, "Dust Explosions in Silos & Plants—Causes & Prevention", 10, 2, 20 (1990)
 42. H. Stalder, "Flame Barrier Valves", Plant /Operations Progress, 6, 4, 175(1987)
 43. American Society for Testing Materials, "E1226—88, Standard Test Method for Pressure & Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts" (1988)

여 백

附 錄

여 백

附錄1. 粉塵爆發·火災관련 關係法令

1. 産業安全保健法

전문개정 1990. 1. 13.(법률 제 4220호)

第2章 安全保健管理體制

第14條(管理監督者등) ① 事業主는 당해 事業場의 管理監督者(經營組織에서 生産과 관련되는 당해 業務와 所屬職員을 직접 指揮·監督하는 部署의 長이나 그 職位를 담당하는 者를 말한다. 이하 같다)에게 당해 職務와 관련된 安全·保健上的 業務를 수행하도록 하여야 하며, 危險防止가 특히 필요한 作業에 있어서는 당해 作業의 管理監督者를 安全擔當者로 지정하여 安全業務를 수행하도록 하여야 한다.

② 管理監督者가 수행하여야 할 安全·保健에 관한 業務內容·安全擔當者를 지정하여야 할 作業의 종류, 安全擔當者가 수행하여야 할 安全業務의 내용 기타 필요한 사항은 大統領令으로 정한다.

第4章 有害·危險豫防措置

第23條(安全上の 措置) ① 事業主는 事業을 행함에 있어서 발생하는 다음 各號의 위험을 豫防하기 위하여 필요한 措置를 하여야 한다.

1. 機械·器具 기타 設備에 의한 위험
2. 爆發性·發火性 및 引火性 物質 등에 의한 위험
3. 電氣·熱 기타 에너지에 의한 위험

② 생략

③ 생략

④ 第1項 내지 第3項의 規定에 의하여 事業主가 하여야 할 安全上의 措置事項은 勞働部令으로 정한다.

2. 산업안전에 관한 규칙

개정 1990. 3. 21.(노동부령 제 75호)

제 4 편 폭발·화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지

제258조(통풍 등에 의한 폭발 또는 화재의 예방) 사업주는 인화성물질의 증기·가연성가스 또는 가연성분진이 존재하여 폭발 또는 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서는 당해 가스·증기 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위하여 통풍, 환기 및 제진 등의 조치를 하여야 한다.

제262조(화재의 위험이 있는 작업의 장소등) 사업주는 합성섬유·면·양모·천조각·톱밥·짚·종이류 기타 가연성 물질을 다량으로 취급하는 작업을 행하는 장소·설비 등은 화재예방을 위하여 적절한 배치 구조로 하여야 한다.

제266조(위험물 등이 있는 장소의 화기 등의 사용금지) 사업주는 위험물, 위험물 이외의 가연성분진·화학류 또는 제262조에 규정된 가연성물질이 존재하여 폭발 또는 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서는 불꽃 또는 아아크를 발생하거나 고온으로 될 우려가 있는 화기 또는 기계·기구 및 공구등을 사용하여서는 아니된다.

제267조(유류등이 존재하는 배관 또는 용기의 용접 등) 사업주는 위험물, 위험물 이외의 인화성유류 또는 가연성분진이 존재할 우려가 있는 배관·탱크 또는 드럼등의 용기에 대하여 미리 위험물외의 인화성유류·가연성분진 또는 위험물을 제거하는 등 폭발이나 화재의 예방을 위한 조치를 한 후가 아니면 용접·용단 기타 화기를 사용하는 작업 또는 불꽃을 발생시킬 수 있는 작업을 하여서는 아니된다.

제269조(출입금지 등) 사업주는 화재 또는 폭발의 위험이 있는 장소에는 화기의 사용을 금지하는 표시를 하고 관계자외의 자의 출입을 금지시켜야 한다.

제 5 편 전기로 인한 위험방지

제328조(전기기계·기구의 접지) ① 사업주는 누전에 의한 감전의 위험을 방지하기 위하여 전기기계·기구의 금속제 외함·금속제 외피 및 철대 등의 금속부분에 대하여는 전기사업법 및 전기설비기술기준에 관한 규칙의 규정에 의하여 접지하여야 한다.

② 사업주는 제 1 항의 경우외에 다음 각호에 해당하는 전기기계·기구 또는 금속체 등에 대하여는 접지하여야 한다.

1. 제333조에 의한 폭발위험이 있는 장소에서의 전기기계·기구

2~4. 생략

③ 생략

제333조(폭발위험이 있는 장소에서 사용하는 전기기계·기구) ① 생략

② 사업주는 가연성 또는 폭발성 분진에 의한 폭발위험이 있는 농도에 달할 우려가 있는 장소에서 전기기계·기구를 사용하는 때에는 당해 분진에 대하여 방폭성능을 가진 방폭구조 전기기계·기구를 사용하여야 한다.

제334조(방폭구조 전기기계·기구 등의 선정 등) 사업주는 제333조의 방폭구조 전기기계·기구·배선 등의 선정·설치 및 보수 등에 있어서의 동조 각항의 장소 구분에 따라 노동부장관이 정하는 기준을 준수하여야 한다.

제335조(변전실 등의 위치) 사업주는 제333조 각항의 장소에는 변전실·배전반실·제어실 기타 이와 유사한 시설(이하 “변전실등”이라 한다)을 설치하여서는 아니된다. 다만, 변전실 등의 실내 기압이 항상 양압을 유지하도록 하고 다음 각호의 조치를 한 때 및 당해 장소에 적합한 방폭성능을 갖는 전기기계·기구를 변전실 등에 설치·사용한 때에는 그러하지 아니한다.

제336조(작업시작전 점검등) ① 사업주는 이동식 방폭구조 전기기계·기구를 사

용하는 때에는 작업시작전에 전선 및 접속부 상태를 점검하여야 한다.

② 생략

제355조(정전기로 인한 화재 폭발방지) ① 사업주는 다음 각호의 설비를 사용함에 있어서 정전기에 의한 화재 또는 폭발 등의 위험이 발생할 우려가 있는 때에는 당해 설비에 대하여 확실한 방법으로 접지를 하거나, 도전성재료를 사용하거나 가습 및 점화원으로 될 우려가 없는 제전장치를 사용하는 등 정전기의 발생을 억제하거나 제거하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

1~4. 생략

5. 가연성 및 폭발성 분진을 취급하는 설비

6. 생략

② 사업주는 인체에 대전된 정전기로 인하여 화재 또는 폭발의 위험이 발생할 우려가 있는 때에는 정전기 대전방지용 안전화의 착용, 제전복의 착용, 정전기 제전용구의 사용 등의 조치를 하거나 작업장 바닥 등에 도전성을 갖추도록 하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.

〈별표 3〉

화학설비 및 그 부속설비의 종류(제255조 내지 제257조, 제270조 및 제 4 장 관련)

1. 화학설비

가. 반응기·혼합조 등 화학물질 반응 또는 혼합장치

나. 증류탑·흡수탑·추출탑·감압탑 등 화학물질 분리장치

다. 저장탱크·계량탱크·호퍼·사일로 등 화학물질 저장 또는 계량설비

라. 응축기·냉각기·가열기·증발기 등 열교환기류

마. 고로등 점화기를 직접 사용하는 열교환기류

바. 카렌다·혼합기·발포기·인쇄기·압축기 등 화학제품 가공설비

- 사. 분쇄기 · 분체분리기 · 용융기 등 분체화학물질 취급장치
- 아. 결정조 · 유동탑 · 탈습기 · 건조기 등 분체화학물질 분리장치
- 자. 펌프류 · 압축기 · 이젝타 등의 화학물질 이송 또는 압축설비

2. 화학설비의 부속설비

- 가. 배관 · 밸브 · 관 · 부속류 등 화학물질 이송관련 설비
- 나. 온도 · 압력 · 유량 등을 지시 · 기록 등을 하는 자동제어 관련설비
- 라. 가스누출감지 및 경보관련설비
- 마. 세정기 · 응축기 · 벤트스택 · 플레어스택 등 폐가스 처리설비
- 바. 사이클론, 백필터 · 전기집진기 등 분진처리설비
- 사. 가목내지 바목의 설비를 운전하기 위하여 부속된 전기 관련 설비
- 아. 정전기 제거장치 · 긴급 샤워설비 등 안전관련 설비

粉塵으로 인한 爆發 · 火災防止對策에 관한 研究
(연구보고서 화학 92-1-20)

발행일 : 1992. 12

발행인 : 원 장 徐 相 學

연구자 : 책임연구원 鄭 板 石

발행처 : 한국 산업 안전공단
산업 안전 연구원
화학 연구실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

전 화 : (032) 518-6484 / 6

비매품