

분진 (더스트) 의 자연발화 예방대책

1991 . 12 . 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전보건연구원
INDUSTRIAL SAFETY AND HEALTH RESEARCH INSTITUTE

머 리 말

분진으로 인한 재해는 가연성 가스나 인화성 액체류의 재해에 비하여 그 발생빈도는 적으나 분진화재는 폭발사고로 이어지게 되면 대규모의 설비파괴와 인명살상을 초래할 수 있는 위험성이 높은 특징이 있다.

특히 최근에는 플라스틱공업, 유기합성공업, 분말금속공업등 분체취급분야의 기술진보에 따라 원료 및 제품으로서 분체를 취급하는 공정이 많아진 상황으로서 이로인한 재해의 잠재위험성이 증가하고 있는 실정이다.

일반적으로 분진취급설비나 장소에 대하여는 여러가지 방호설비나 대책이 수립되어 있으나, 대개의 사업장에서 분진의 자연발화에 대하여는 충분한 지식이 없어 적절한 화재, 폭발의 방지대책이 전혀 수립되어 있지 않은 경우가 많다.

따라서 우리연구원 화학연구실에서는 분진(더스트)의 자연발화를 예방하여 이로인한 화재, 폭발사고를 방지함으로써 근로자의 안전을 도모하고자 본 책자를 발간하게 되었다. 본 자료가 분체를 취급하는 작업에 종사하는 실무자들에게 많은 도움이 되기를 바란다.

1991. 12. .

산 업 안 전 보 건 연 구 원 장

여 백

목 차

제 1 장 서 론	5
제 2 장 자연발화의 원리	7
2-1. 정의 및 특성	7
2-2. 자연발화의 진행단계	9
2-3. 화재통계	12
제 3 장 자연발화의 원인	16
3-1. 개 요	16
3-2. 주요원인	17
제 4 장 자연발화 온도측정법	19
4-1. 자연발화 이론	19
4-2. 자연발화 온도측정법	22
제 5 장 분진으로 인한 자연발화 예방대책	25
5-1. 기본예방대책	25
5-2. 발화원인별 대책	25
5-3. 주요장치 및 설비에 대한 대책	27
5-4. 화재감지, 경보 및 소화설비	30
참고문헌	32
부 록	33
Ⅰ. 산업안전보건법에 의한 위험물 분류표	35
Ⅱ. 소방법에 의한 위험물 분류표	37
Ⅲ. 국제연합의 위험물 분류표	43

여 백

제 1 장 서 론

분진에 의한 화재는 퇴적분진이나 분진층과 같은 연소현상을 총칭하는 것으로서 특히 자연발화라 함은 공기중의 퇴적분진이 비교적 저온(상온)에서 외부로부터의 에너지 공급없이 자연적으로 발열현상을 일으킴으로서 그 열이 축적되고 온도가 상승하여 발화연소에 도달하는 현상을 말한다.

분진의 발화는 이로인한 화염, 기류의 형성 등으로 퇴적분진이 부유하게 되어 2차적으로 분진폭발을 수반하게 됨으로써 막대한 재산 및 인명피해를 야기시킬 위험성이 높다. 일반적으로 제조공업에서의 분진으로 인한 재해는 가연성가스나 인화성 액체류의 재해에 비하여 그 발생건수나 피해정도는 훨씬 적지만 최근에는 플라스틱공업, 유기합성공업, 합성섬유공업, 분말금속공업 등 분체 취급분야의 기술진보에 따라 원료 및 제품으로서 분체를 취급하는 공정이 많아진 상황으로서 분진으로 인한 재해의 잠재 위험성이 증가하고 있는 실정이다.

특히 분진으로 인한 자연발화는 오랜시간에 걸친 축열과정이 있기 때문에 대개 화재원인을 명확히 파악하기가 어려운 실정이며, 외부열원으로서 직사광선(햇빛)이 작용된 경우 주간의 축열과정을 거쳐 근로자가 없는 야간에 발화되기 쉽기 때문에 목격자가 없어 대개 화재원인 불명으로 처리되는 경우가 많다.

그러나 일반적으로 가연성 분진 취급장소나 설비 등에 대하여는 이의 위험성에 따라 환기, 통풍, 제진, 화기 사용금지, 방폭구조의 전기기계, 기구 사용등이 정해져 있어서 분진으로 인한 화재, 폭발의 방지대책이 수립되어 있는 편이나, 대개의 사업장에서 분진의 자연발화에 대하여는 그 잠재적 위험성을 충분히 인식하지 못하고 있는 경우가 많아 이에 대한 적절한 대책이 요구되고 있다.

분진에 의한 화재, 폭발사례를 보면 발생장소와 분진의 종류에 따라 차이가 있기는 하나 다음과 같은 점화원으로 인하여 화재가 발생하는 것으로 알려져 있다.

<표 1-1> 화재의 점화원

에너지의 분류	점화원
기계열	타격, 마찰, 단열압축, 충격파 고온가스, 고온고체
전기	정전기, 아크, 불꽃
광학	적외선, 레이저
화학	화염, 자연발열(분해, 중합, 산화)

이와같은 분진의 화재, 폭발사고는 분진의 종류나 점화원에 따라 예방대책이 각각 다를 수 있겠으나, 자연발열에 의한 자연발화의 경우 대개 작업자가 없는 야간이나 작업장 이외의 창고, 야적장 등에서 많이 발생하므로 초기진화가 어려우며 이로인한 재산상의 피해가 다른 화재에 비해 매우 크고 또한 진화작업시 폭발등의 사고로 인한 인명피해도 큰 편이라고 할 수 있다.

따라서 본서에서는 분진(더스트)의 자연발화 원인과 영향을 주는 요인등에 대하여 고찰하고 이에대한 방호대책을 현장의 실정을 감안하여 이해하기 쉽게 정리하였다.

제 2 장 자연발화의 원리

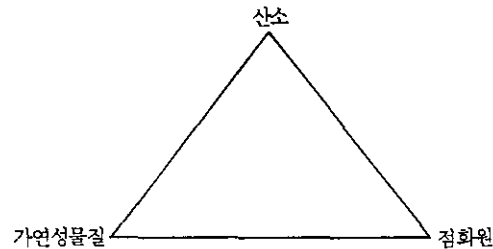
2-1. 정의 및 특성

1. 용어의 정의

(1) 자연발화

자연발화 (自然發火, Spontaneous ignition)는 다른곳으로부터 아무런 화원 (火源)이 주어지지 않아도 공기중, 상온 (常溫)에서 자연발열되어 그열이 오랜시간에 걸쳐 축적됨으로서 당해 물질의 발화점에 이르러 연소를 일으키는 현상을 말한다.

일반적으로 물질의 연소작용이 발생되기 위하여는 세가지 요소 즉 가연물 공기 (산소), 점화원이 반드시 필요하며 이들 세가지 요소중에서 어느것 하나를 제거하면 연소작용은 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 일부 물질의 경우는 화학적 구성이 자체적으로 산소를 포함하고 있기 때문에 외부로부터 산소의 공급이 없는 상황에서도 연소가 가능하며, 자연발화의 경우는 점화원이 없이 자연발열에 의해 연소에 이룰수도 있기 때문에 화재 (연소)의 3요소는 어느 경우에도 반드시 적용된다고는 할 수 없다.



[그림 2 - 1] 화재 3각형

(2) 발화온도

발화온도는 가연성분진을 공기중에서 가열했을 때 자연발화하는 최저온도를

말한다. 발화온도는 가열하는 용기와 측정방법, 분진의 형태 등에 의하여 크게 차이난다. 분진의 형태는 부유분진(분진-공기혼합물)과 분진층(퇴적분진)이 있고 각각 부유분진의 발화온도, 분진층의 발화온도라 한다. 전자는 일정 조건하의 가열분위기중에 분진을 분산시켜 측정하고 후자는 가열판위에 분진층시료를 놓고 측정한다. 이때 발화온도는 시료분진의 체류시간, 가열방법, 시료의 크기등에 의하여 영향을 받으며 분진층의 발화온도는 부유분진층의 발화온도보다도 일반적으로 낮은 값을 나타낸다.

(3) 최소발화에너지

분진-공기혼합물에 국부적인 에너지를 투입했을때 혼합물의 온도, 압력, 분진농도등의 다양한 조건하에서 발화하는 최소에너지를 그 분진-혼합물의 최소발화에너지라 하고 이것을 측정하는데는 일반적으로 전기방전이 사용된다.

분진-공기혼합물의 용기속에 장치된 전극간에 전기스파크를 발생시켜 발화여부를 조사하여 최소발화에너지를 측정한다. 실온에서의 분진-공기혼합물의 최소발화에너지는 통상 1mJ 이상이며 대부분의 분진이 10mJ 이상으로 보고되어있다.

(4) 발화원

가연조건을 형성하고 있는 분진에 에너지를 부여함으로서 화재, 폭발의 원인이 되는 물질이나 현상을 말한다. 발화원의 예로는 전기기기의 불꽃, 정전기 불꽃, 용접의 불꽃, 고온표면, 고온가스, 충격·마찰에 의한 불꽃, 마찰열, 열복사, 단열압축 등이 있다.

2. 분진의 발화특성

분진화재는 퇴적분진이나 분진층과 같은 축적된 분진의 연소현상을 총칭하는 것으로 분체화재라고도 한다. 분진화재에는 발염(發炎)연소, 그을림연소, 무염(無炎)연소의 세가지 형식이 있다. 발염연소는 분진의 가열결과 열분해

또는 기화에 의하여 가연성기체를 발생하여 이것이 발화원에 의하여 발화하며 화염을 동반하는 연소현상이다. 그러나 공기가 부족하거나 가연성 기체의 발생량이 부족하면 발염연소 현상이 생기지 않는다. 이것을 그을림연소라 한다.

무염연소는 가연성 기체를 발생하지 않는 탄소나 금속등의 고체 및 유기물의 분해생성물인 탄소가 공기의 침입에 의하여 발생하는 표면 연소현상을 말한다.

이와같이 분진화재의 형식에 따라 그 특성이 다를수도 있겠으나 일반적으로 분진의 자연발화는 다음과 같은 두가지 중요한 특징을 갖는다.

(1) 입자나 분체를 포함하는 분진은 일반적인 고체에 비하여 비표면적 (Specific Surface area) 이 매우 커서 공기와의 접촉이 용이하므로 산화되기 쉬운 특성이 있다. 또한 물질의 산화시 발생하는 산화열은 자연발화의 원인이 되고 나아가 화재, 폭발등의 대형사고를 일으키기 쉽다.

(2) 일반적으로 분진은 다공질 (多孔質) 이나 섬유상의 형태를 취하고 있어서 이들이 퇴적층을 형성하고 있는 상태에서는 열전도율이 매우 낮은 특성을 갖는다. 따라서 외부로부터의 열원 (熱源) 이나 산화반응 등에 의하여 자연발열이 시작되는 경우, 보온효과를 갖게되어 열의 축적이 용이하므로 계속적인 내부온도의 상승이 이루어져 발화점에 이르기 쉽다.

2-2. 자연발화의 진행단계

분진의 자연발화는 열의 축적과정을 필요로 하기 때문에 대개 오랜 시간이 소요되는 편이나 모든 경우가 반드시 이에 해당한다고는 할 수 없다. 즉 반응이 매우 격렬하게 진행되는 물질의 경우는 아주 짧은 시간내에도 당해 물질의 발화온도를 초과할 수가 있으므로 세심한 주의를 필요로 한다.

그러나 발화에 이르는 시간이 물질에 따라 다소 차이는 있더라도 대개 분진의 자연발화는 다음의 세단계를 거치게 된다.

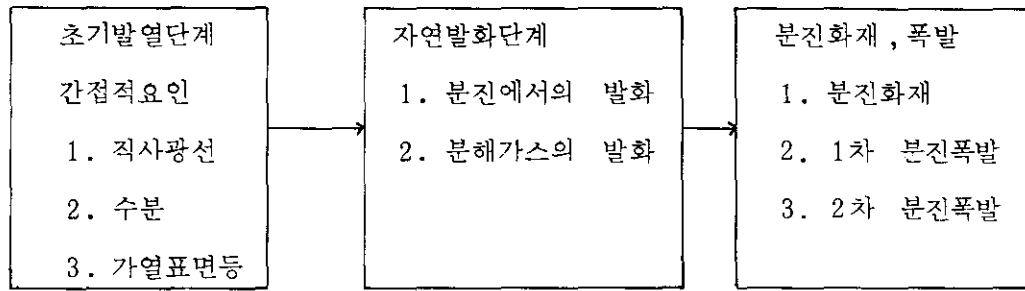


그림 2-2. 자연발화 진행단계

1. 초기발열단계

원칙적으로 자연발화란 외부로부터 점화원이 없이 상온에서 자연히 발열을 시작하여 발생하는 현상이라고 하지만 실제로는 간접적인 요인들이 작용하여 이것이 초기발열의 원인으로 되고 나아가 당해 물질의 발화점 이상으로 온도가 상승하여 자연발화에 이른다고 할 수 있다. 초기발열의 간접적 요인으로는 여러가지가 있겠으나 몇가지 대표적인 것에 대하여 설명하면 다음과 같다.

(1) 직사광선 : 태양광선을 비롯하여 모든 빛은 파장에 따라 일정한 에너지 ($E = h\nu$)를 갖고 있으며 따라서 야적장 등에 장기간 원료나 제품을 보관할 경우 이 에너지가 초기발열의 원인으로 작용하여 자연발화에 이른다. 직사광선으로 인한 자연발화는 대개 주간의 축열과정을 거쳐 저녁이나 야간에 발생하는 경우가 많기 때문에 초기진화가 불가능하여 대형 화재, 폭발사고로 이어지므로 각별한 주의를 요한다.

(2) 수분 : 금수성(禁水性)물질 또는 흡습으로 인한 반응성이 있는 물질 등은 공기중의 수분이나 누수, 침수시 수분과 접촉으로 발열이 된다. 이경우는 대부분 축열과정이 매우 짧아 반응이 격렬하게 진행되므로 그 피해가 매우 크며 또한 폭발사고를 수반하기 쉬운 특징을 갖고 있다.

(3) 가열표면, 기계적 마찰열: 설비, 배관등의 가열 표면이나 기계류 구동부 등에 분진이 퇴적되어 있는 경우, 이들 열원(熱源)으로부터 지속적으로 에너지가 공급되므로 퇴적 분진층 내부에 열이 축적되고 결국은 발화에 이르는 것을 일컫는다.

즉 이와같은 외부의 간접적인 영향으로 인하여 초기 발열이 시작되면 물질의 특성에 따라 분해, 산화, 흡착, 중합, 발효 등의 연쇄적 반응과정을 거치면서 이때 발생하는 반응열이 분진 내부에 축적되어 발화에 이른다.

2. 자연발화단계

자연발열이 진행되는 과정에서 외부로 방열(放熱)이 충분히 이루어진다면 그 물질은 자연 발화에는 이르지 않겠지만, 분진의 경우는 다공질(多孔質)이나 섬유상의 경우가 많아 열전도율이 매우 낮으므로 그 열이 외부로 방출되지 않고 분진층 내부에 축적되며 다음과 같은 유형으로 발화된다.

(1) 분진에서의 발화: 축열과정을 거치면서 퇴적 분진의 내부 온도가 당해 물질의 발화온도 이상으로 상승함으로써 자연 발화

(2) 분해가스에 의한 발화: 자연발열시 분해, 산화, 중합, 흡착 등의 화학반응을 거치면서 분진으로부터 가연성(可燃性) 분해가스가 발생하고 이때 분진층 내부의 온도가 이 가스의 발화 온도보다 높을 경우 가스에 의한 초기 자연발화

3. 분진의 화재폭발

초기 자연발화에 이어 화염은 급격하게 주위의 분진에 인화되어 비화장소 부근 기류에 변화를 준다. 이 기류변화에 의하여 퇴적분진이 부유하고 국소적으로 분진의 폭발한계 조건에 도달하면 분진폭발로 진행된다.

일반적으로 분진-공기 혼합물에서 기상중의 산소와 분진이 반응하여 국소적인 연소반응대를 형성하고 이 반응대가 혼합물중에 전파됨으로써 압력의

발생이 인정되면 이것을 분진폭발이라 한다. 분진폭발은 현상적으로는 가스폭발과 유사하나 특징으로는, 최초의 소규모의 폭발로 생긴 폭풍에 의하여 퇴적분진이 부유하게 되고 다시 폭발이 연쇄적으로 발생하여 대규모의 재해를 발생시킬 가능성이 높은 점이다.

여기서 부유분진이 발생하는 최초의 단계를 1차폭발이라고 한다. 그리고 새롭게 형성된 분진운이 화염을 동반하며 폭발하는 단계를 2차폭발이라 한다.

공장에서의 대부분의 분진폭발 순서는 다음과 같다. 먼저 플랜트내의 한 장소에서 분진폭발이 발생한다(1차폭발). 그리고 부적당한 폭발방지대책으로 인하여 화염이 플랜트로부터 작업장까지 확대한다. 그때 작업장에 퇴적되어 있는 분진이 분산·부유하여 분진운을 형성하며 플랜트로부터의 화염에 의하여 발화한다(2차폭발). 이때 2차폭발은 1차폭발보다도 대규모이고 또한 방출하는 에너지량도 많으며 건물의 파괴 및 인명의 살상을 불러 일으킨다.

2-3 화재통계

1. 국내의 주요 발생사례

자연발화로 인한 화재사례로서 명확히 원인이 규명된 것은 많지 않은데 이는 자연발화의 특성상 주로 야간에 화재가 발생하여 목격자가 없어 원인파악이 어려웠기 때문으로 추정된다. 즉 사례에서 보는 바와 같이 대개의 사고는 야간에 발생하였으며 특히 창고, 야적장 등 평소 점검이 잘 이루어지지 않는 장소에서 대형화재가 발생한 것으로도 자연발화는 갑자기 발생하는 것이 아니라 오랜 시간에 걸친 축열과정을 거치는 것임을 알수 있다.

〈표 2-1〉 국내 주요 자연발화 발생사례 (내무부 화재통계연보)

일 시	장 소	인명피해 (사망/부상)	재산피해 (천원)
'70. 4. 1. 04:10	부산 부두 보세창고	-	374,550
'74. 8. 9. 09:30	부산 국제화학 사상공장	- / 54	58,348
'78. 1.12. 22:00	경기시흥 삼영화학	-	117,260
'78. 3.11. 04:05	경기안양 동일방직 야적장	- / 4	26,242
'79. 8.13. 23:57	인천 대동창고(주)	- / 94	261,020
'81. 3. 8. 14:00	경기부천 한비산업(주)	-	81,600
'81. 7. 9. 14:00	부산 대양산업공업(주)	- / 2	127,460
'87. 8.14. 07:55	서울 공항동 공항창고	9 / 80	110,000

또한 자연발화의 특징은 작업자가 없는 야간에 화재가 발생하므로 초기 진화가 어려워 다른 화재와는 달리 재산피해는 매우 크지만 인명피해는 비교적 적은 편이다. 그러나 경우에 따라서는 화재 진화작업도중 폭발등의 사고로 인하여 의외로 인명피해가 큰 경우도 있어서 표 2-1에서와 같이 자연발화로 인한 인천 대동창고(주) 및 공항창고 화재의 경우, 인명피해를 기준으로 할때 건국이래 10대 대형화재에 포함되어 각각 7, 8번째 해당하는 대형참사를 나타낸 것으로 집계되었다.

2. 일본에서의 자연발화 통계자료

일본의 경우 분진으로 인한 화재 폭발사고중 자연발화로 인한 발생건수는 26건 (11.5%)으로서, 분진화재의 3번째 주요한 원인으로 꼽히고 있으며 공정별 화재, 폭발사고를 분석하여 볼때 17건이 저장과정에서 발생하는 것으로 나타나 자연발화에 대한 주의가 필요함을 알 수 있다.

일본에서의 자연발화로 인한 대형사고 예로서는 1964년 발생한 동경 부근 창고지대에서의 질화탄(Nitro Cellulose) 화재, 폭발사고를 들수 있다.

동경 창고지대에서 질화면 80 kg들이 드럼 (건조 질화면 60 kg에 에탄을 20 kg를 가한 습면)을 노천에서 약 100일간 야적하고 있는 상황에서 자연발화하여 약 2,300여개의 드럼이 발화, 연소하고 부근의 유기 과산화물 축매 약 1톤이 연소 폭발하여 진화작업중이던 소방관 19명이 사망, 114명이 부상하였다.

이의 원인을 살펴보면 사고 당일은 맑은 날씨로서 태양 직사광선으로 인하여 드럼 표면은 최고 섭씨 60 ~ 70 도까지 상승하고, 이로 인하여 질화면의 분해가 시작되어 그 분해열이 축적됨으로서 오후 10 시경에 발화온도에 도달하여 화재가 발생한 것으로 추정된다. 질화면의 경우와 같이 자연발화는 주간의 축열과정을 거쳐 야간에 발생하는 경우가 많으므로 특히 노천에 장기간 야적하는 것을 피해야 하며 부득이한 경우 차양을 설치하여 직사광선을 차단하여야 한다.

〈표 2 - 2〉 착화원별 분진화재폭발 발생상황 (1952 ~ 1984)

착 화 원 별	발 생 건 수	구 성 비 (%)
마찰, 충격	68	30.2
금속의 과열	9	4.0
불 티	14	6.2
정 전 기	39	17.3
전기설비	10	4.4
용접, 용단불꽃	26	11.6
자연발화	26	11.6
불 명	24	10.7
기 타	9	4.0
계	225	100

〈표 2 - 3〉 공정별 분진화재폭발 상황

공 정	발 생 건 수	구 성 비 (%)
분 쇠	49	21.8
집 진	49	21.8
건 조	32	14.2
수 송	24	10.7
저 장	17	7.6
연 소	3	1.3
기 타	51	22.7
계	225	100

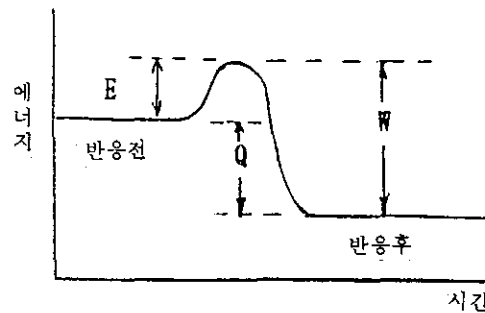
〈표 2 - 4〉 분진 종류별 화재폭발 상황

분 진 종 류	발 생 건 수	구 성 비 (%)	사 상 자 수
석 탄	12	5.3	7 / 38
무기약품	29	12.9	9 / 28
금 속	49	21.8	37 / 129
농산가공품	42	19.7	16 / 97
합 성 물	31	13.8	5 / 46
유기 화학약품	42	18.7	9 / 63
섬유, 목재	19	8.4	5 / 69
기 타	1	0.4	1 / 0
계	225	100	88 / 474

제 3 장 자연발화의 원인

3-1 개 요

일반적으로 연소란 발열 산화현상으로서 연소가 일어나려면 발열 산화반응이 쉽게 일어날 수 있는 가연성물질, 가연성물질을 산화시키는 산소공급원, 가연성물질과 산소공급원을 활성화시키는데 필요한 에너지인 점화원의 세가지 요소가 반드시 필요하다. 또한 연소는 화학반응으로서 산화반응에 해당되며 계(系)에 일정한 에너지(E)가 주어져서 활성화상태에 도달하면 반응이 진행되어 에너지(W)를 방출하면서 생성계로 옮겨가는 것으로서 생성계와 반응전 계(系)의 에너지 차(Q)가 연소열에 해당한다.



[그림 3-1] 화학 반응시의 에너지 변화

따라서 연소는 활성화 에너지(E)가 작고 반응전후의 에너지 차(Q)가 클수록 진행되기 쉬운 특징이 있다.

그러나 이와같이 화재 발생의 일반적인 특성과는 달리 자연발화는 외부로부터 산소의 공급이나 점화원이 없어도 발생할 수 있으며, 이때는 반드시 초기발열의 간접적 요인들이 연소에 필요한 활성화 에너지를 공급하여 연소반응을 자발적으로 진행시킬 수가 있으므로 이들 원인에 따른 특성을 설명하면 다음과 같다.

3-2 주요원인

1. 분해열

화학물질은 빛, 수분, 산소와의 접촉 등 여러가지 원인으로 인하여 화학적으로 분해되기 쉬운 것들이 많다. 이때 분해열의 축적으로 인하여 자연발화가 되는 것으로서 일단 화학적으로 분해가 시작되면 반응이 매우 빠르게 진행되어 온도가 급격히 상승되고 이에 따라 발화 및 화재, 폭발로 발전된다.

분해열에 의한 자연발화 가능성이 높은 물질은 대개 가열, 마찰, 충격 또는 다른 화학물질과의 접촉등으로 인하여 산소나 산화제의 공급이 없더라도 폭발등 격렬한 반응을 일으킬수 있는 물질로서 소방법상 위험물 제5류나 산업안전기준에 관한 규칙 제 254 조에서 규정한 폭발성 물질이 이에 해당된다.

2. 산화열

이 경우는 산화성물질이나 불포화물을 다량 함유하고 있어서 공기중의 산소와 접촉에 의하여 산화열을 발생시키고 이의 축적으로 발화에 이르는 것을 말한다.

일반적으로 화학적 분해에 의한 발화보다 자연발화에 이르는 시간이 비교적 길게 소요되며 따라서 대개 사전 징후로서 냄새, 연기등을 발생시키기 때문에 어느정도 예방이 가능하다.

산화열을 발생시킬수 있는 물질은 산화력이 매우 강하고 가열, 충격 및 다른 화학물질과 접촉등으로 인하여 분해되거나 반응하는 것으로서 소방법 위험물 제 1 류, 준위험물 제 1 류, 제 2 류 산업안전기준에 관한 규칙 제 254 조에서 규정한 산화성 물질이 이에 해당된다.

3. 흡착(흡수)열

공기중의 수분이나 기타 수분에 접촉하여 화학반응을 일으키며 발열되거나

가연성가스를 발생하며 발화에 이르는 것으로서 금수성물질이 이에 해당한다. 반응이 매우 빠르고 격렬하게 진행되며, 반응시 발생된 가연성가스에 의한 화재, 폭발의 위험성이 크다.

흡착(흡수)열은 발생시킬수 있는 물질은 소방법의 위험물 제 2류, 제 3류 및 준위험물 제 3류 또는 산업안전기준에 관한 규칙 제 254 조에서 규정한 자연발화성 및 금수성(禁水性)물질이 이에 해당된다.

4. 발효열

탄화수소물이 미생물에 의하여 발효할때 생성되는 발효열로 인하여 탄화되며, 궁극적으로 발화에 이르는 것으로서 다른 경우에 비하여 서서히 온도가 상승한다. 미생물 발효에 의한 것이므로 온도는 섭씨 40도 이상 상승되기 어려우나 발효시 생성되는 분해가스(주로 메탄가스)에 의해 발화되는 경우가 많다. 발효열을 발생시킬 수 있는 물질은 먼화류, 대패밥, 목재 가공품등 주로 탄화수소물이 대부분으로서 소방법상 특수 가연물이 이에 해당된다.

5. 기타

화학섬유는 모노머의 중합체로 구성되어 있으며 이들 원료의 중간체인 경우는 잔류 모노머에 의한 중합발열의 가능성이 있고(중합열), 2종류 또는 그 이상의 물질이 혼합되거나 상호 접촉에 의하여 발화의 위험이 있는 경우(혼합열)도 있다.

제 4 장 자연발화 온도 측정법

4-1 자연발화 이론

어느 물질에서의 발화온도라 함은 외부로부터 화염, 전기불꽃 등의 착화원을 주지 않고 가열할 때 발화에 이르는 최저온도를 일컫는다. 따라서 발화온도는 물질을 가열하는 용기의 표면상태, 가열속도 등에 영향을 받으며 특히 분말, 입자상의 고체의 경우는 그 상태에 따라 동일물질이라도 각각 다르다. 즉, 발화온도는 물질 특유의 정수(定數)라 할 수 없고 인화점이 물질 특유의 정수라 할 수 있다.

이상과 같은 이유로 분진(고체)의 자연발화온도를 단정하여 말할 수는 없으며 더욱이 동일물질이라도 그 상태 및 주변조건(습도, 채광, 통풍여부 등)에 따라 다르기 때문에 이의 측정도 매우 곤란하다.

따라서 자연발화온도는 분진을 일정조건(분체 입경, 층의 두께, 함수율 등)하의 단열상태에서 측정하여 일반적인 발화온도의 예측 및 참고자료로 이용하고 있다.

1. Frank-Kamenetskii의 이론

시스템내의 열수지로 부터 한계발화정수(critical ignition parameter) δ_c 를 정의하고 고체(분진)의 형태에 따라 한계값을 제시하였다.

$$\delta_c = \frac{\Delta H \cdot E \cdot r^2 \cdot A}{\lambda R T_c^2} \exp(-E/RT) \quad (4.1)$$

ΔH : Molar heat of reaction [J/mol]

E : Activation Energy [J/mol]

r : Size factor [cm]

T : Initial starting temperature [$^{\circ}$ K]

T_c : Critical ignition temperature [$^{\circ}$ K]

λ : Thermal conductivity [J/cm min $^{\circ}$ K]

A : Frequency factor [mol/cm² min]

R : Gas constant

상기식은 물질의 자연발화온도를 예측하는데 유효하며 자연발화는 $\delta > \delta_c$ 인 경우 발생하고 이때의 대상물의 형태에 따라 δ_c 값은 다음과 같다.

<표 4-1> 입자형상에 따른 δ_c

δ_c	형 상	δ_c	형 상
0.88	무한평면	2.51	입 방 체
2.00	무한원주	2.70	팔 각 주
3.23	구	2.77	직 원 주
1.69	무한정각주	2.94	직 방 체
1.89	무한팔각주		

F-K 이론에서의 한계발화정수 δ_c 값은 다른 여러학자들에 의해 실험적으로 증명되고 있으며 자연발화온도 측정에 매우 유용하게 쓰이고 있다.

앞의 F-K가 제시한 δ 에 대하여 고찰하여 보면 특정물질에서의 E, ΔH , A, λ , R은 일정한 값을 갖게 되고 따라서 물질의 크기(r)와 주변온도(T)만이 δ 값을 결정하는 인자로서 작용함을 알 수 있다.

따라서 식으로 부터 물질의 형태 (Shape)에 따른 한계발화정수 δ_c 값을 고정시키면 입자의 크기(r)는 실험을 통해 측정 가능하고 이로부터 예상되는 자연발화온도를 역으로 산출할 수 있다.

이와같은 방법으로 산출한 자연발화온도는 다음과 같은 가정하에서 성립하는 제약을 받는다.

- (1) 내부온도의 상승값이 가열온도(외부온도)에 비하여 작을 때

$$T - T_a \ll T_a$$

(2) 외부의 열원이 없는 단열상태

그러나 이런 제약조건에도 불구하고 F-K 이론에서의 δc 값은 여러 학자들의 실험을 통해 자연발화온도 측정에 매우 정확하고 유용한 기초자료임이 증명되고 있다.

2. Semenov 의 이론

시스템내의 열수지로 부터 발화가 일어나는 최대의 온도상승 (ΔT_c)을 구하였다.

$$(dT/dt) = Q Co^n ko Vexp(-E/RT) - \alpha S(T-T_a) \quad (4.2)$$

축열량 = 발열량 - 방열량

위의 식으로 부터 발화가 일어나는 최대의 온도상승 (ΔT_c)은 다음과 같이 표시되고

$$\Delta T_c = T_c - T_a \approx (RT_a^2 / E) \quad (4.3)$$

이를 이용하여 자연발화온도를 예측할 수 있다.

3. 열방사에 의한 고체발화이론

목재나 플라스틱 분진의 발화시 고체물질의 열분해에 의해서 생성된 가연성가스가 대기중의 산소와 혼합되어 발화에 이르는 경우가 있으므로 앞의 두 이론과 같이 고체자체의 발화온도 예측만으로는 설명되지 않는 경우가 있다.

즉 자연발열에 의해 고체의 온도가 상승하면 고체는 분해되어 가연성가스를 기상층으로 방출하고 이 분해가스는 공기와 혼합되어 화학반응을 일으킴으로서 연소(발화)가 시작되는 경우가 많다. 이와같은 발화의 한계치는 방사사열의 면적, 고체표면의 상태, 공기의 기류이동 등에 의하여 영향을 받는 것으로서 목재나 플라스틱 섬유 등의 발화형태를 정량적으로 모델화시켜 수식으로 표시하는 방법으로는 다음과 같이 3가지 방식이 있다.

(1) 단순고상(固相) 모델

- 발화현상을 고체내의 전열문제로 한정
- 발화는 고체표면의 온도가 일정치에 도달하였을 때 발생
- 분해가스의 방출, 공기와의 혼합, 반응단계가 빠르게 진행

(2) 수정고상 모델

- 고체내의 열전달과 기상중의 발화에 이르는 화학반응을 동시에 고려

(3) 일반모델

- 상기 2가지 모델에 기상층의 운동량, 에너지 등을 복합적으로 고려
- 이상과 같은 3가지 열방사에 의한 발화이론으로 부터 발화에 이르는 시간을 예측할 수 있다.

4-2 자연발화 온도 측정법

1. 개 요

특정 물질에 대한 자연발화 관련시험방법은 물질의 성상(性狀), 주변조건, 보관상태등에 따라 적절한 것을 선택하여야 한다. 대표적인 자연발화 시험법은 다음과 같으나 주의할 점은 이들 시험법에 의한 자연발화 온도가 당해 물질의 고유 정수가 될수 없는 상태로서 항상 주변조건이나 보관상태등을 참고로 하여야 한다.

- 보관, 운송중의 자연발화
 - 축열 저장시험에 대한 자가가속(自己加速) 분해온도 측정법 (SADT)
- 공기 존재하의 자연발화
 - 가열(加熱) 자연발화성 측정법 (IMO, CFR 등)
- 상온, 공기 존재하의 자연발화
 - 자연발화성물질 시험법 (일본소방법)

- 열분석에 따른 분해 개시온도 (T_{DSC} , T_{DAT})

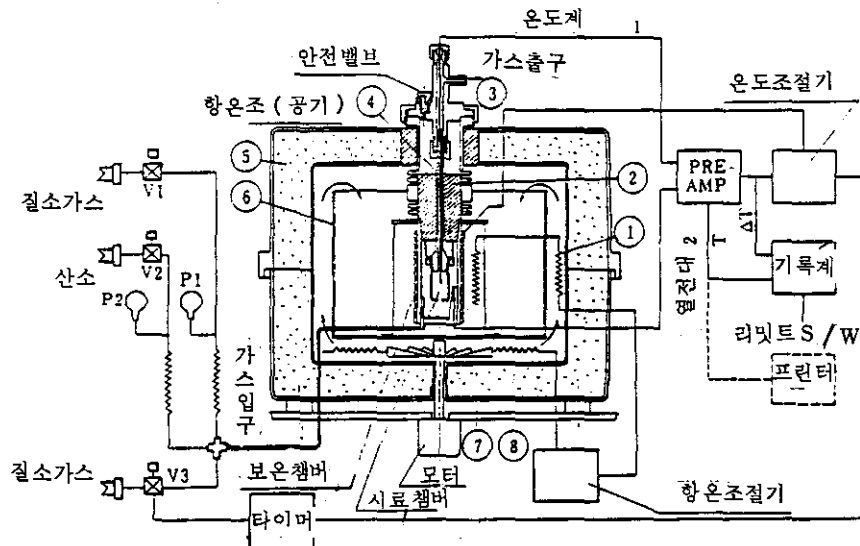
위와 같이 물질의 자연발화 관련 시험방법은 여러가지가 있으나 분진에 대하여 많이 사용하고 있는 자연발화온도 측정법에 대하여 다음에 예를 들어 설명하였다.

2. 분진의 자연발화 온도측정법

이 방법은 Frank-Kamenetskii의 이론을 응용한 것으로서 실험장치의 구성, 측정 및 평가방법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

(1) 장치구성

그림 4-1과 같이 단열재를 사용하여 시험장치를 보온하고 가스(질소 및 공기 또는 산소) 주입설비 및 내부온도를 검지할 수 있도록 한다. 검지되는 내부온도는 기록계와 프린터로 온도변화를 측정하고 시험장치 내부는 일정온도를 유지하기 위한 설비가 구비되어야 한다.



[그림 4-1] 자연발화 시험장치 구성도

1. 온도계 2. 보온재 3. 시료챔버 4. 실리카 튜브 5. 보온재
6. 감시창 7. 공기혼합기 8. 가열기

(2) 측정방법

- 1) 측정대상 분진을 일정량 시료병에 충전한다.
- 2) 질소 가스를 2 ml/min 의 속도로 공급하고, 가열기를 작동한다.
- 3) 모터를 작동하여 시료 챔버내의 온도를 균일하게 일정온도를 유지시키며 시료를 예열, 건조한다.
- 4) 시료가 완전히 또는 일정조건으로 건조되면 산소(또는 공기)를 2 ml/min 의 속도로 공급하며 온도가 일정속도로 상승하도록 가열한다.
- 5) 발화, 또는 탄화 개시온도를 측정한다.

(3) 자료분석

F-K 이론에서 유도한 식(4.1)을 양변에 로그(Log)를 취하여 정리하면 다음과 같다.

$$\ln T_c + \frac{a}{2T_c} = \ln r + \frac{1}{2} [\ln(\frac{a \cdot \Delta T}{\delta c \alpha}) - b] \quad (4.4)$$

여기서, $a = \frac{E}{R}$

$$b = \ln \left[\frac{\Delta T \cdot C_p \cdot \rho}{\Delta H \cdot A} \right]$$

$$\lambda = \alpha \cdot C_p \cdot \rho$$

한편 식 4.4에서 a, b, λ 에 포함되어 있는 $\Delta H, E, A, \alpha, C_p$ 등의 값은 시료의 고유상수이고 분진의 입경 r 과 T_c 및 ρ 는 측정 가능하므로 한계발화정수 δc 값을 실험 데이터로 부터 구할수 있다. 시료의 한계발화정수 δc 는 분체가 여러 조건에서 자연발화에 소요되는 시간 및 온도를 예측할수 있는 자료로 활용할 수 있다.

이 방법은 단일 또는 혼합물질에 대하여 분체의 일정조건(분진층의 밀도, 입경, 함수율)에 맞추어 발화온도를 측정할 수 있으므로 현장조건에 맞는 데이터를 수집할 수 있는 장점이 있다.

제 5 장 분진으로 인한 자연발화 예방대책

화재의 3 요소로는 가연물, 산소, 점화원이라 할 수 있으나 분진의 자연발화는 이와는 특이한 자연발열로 인한 화재이므로 여기에 맞는 적절한 예방대책이 필요하다.

5-1 기본 예방대책

분진의 자연발화는 비교적 오랜시간 동안 자연발열과 축열과정을 거쳐 발화에 이르는 것이므로 평소에 수시로 점검을 실시하여야 한다.

분진은 일단 착화되면 맹렬한 속도로 연소되며 이어서 화재 및 분진폭발로 진행되기 때문에 자연발열 및 축열상태를 사전 감지하여 대형사고를 방지하여야 한다.

1. 가연분진의 제거

분체를 취급하는 작업장이나 그 주위에는 누출 분진이 퇴적된 상태로 있는 경우가 많으며 이는 자연발화 및 인화의 위험이 있으므로 작업장에 분진이 퇴적되지 않도록 항상 정기적으로 청소를 해야 하며 또한 청소시 분진을 비산시키지 말아야 한다.

2. 건물구조

분체를 취급하는 창고, 작업장 등의 건물은 불연성이나 난연성 재재를 사용하여야 하며 내부구조는 분진이 퇴적되더라도 즉시 청소, 제거 가능하게 되어야 한다.

5-2 발화 원인별 대책

자연발화의 원인으로는 앞에서 이미 언급한 바와 같이 그 물질의 특성에

따라 각각 다르다.

따라서 취급물질의 종류에 따라 그 특성을 감안하여 작업장, 창고 등의 자연발화 예방대책이 수립되어야 할 것이다.

1. 분해열

분해열을 발생시키는 화학물질로는 산업안전기준에 관한 규칙 제 254조의 폭발성 물질 및 합성수지류 등이 있으며 빛, 수분 및 산소와의 접촉을 주요 원인으로 들 수 있다.

따라서 화학물질의 분해를 억제하기 위하여 각 물질의 특성에 따라 직사광선을 피하거나 밀봉하여 수분 및 산소와의 접촉을 차단하여야 한다. 또한 이들 물질을 사용시 일단 개봉된 용기는 1회에 전량 사용하는 것이 바람직하나 부득이 일부만 사용하고 잔량을 보관, 저장하여야 할 경우에는 완전한 밀봉을 하여야 한다.

2. 산화열

산화열을 발생시키는 물질은 화학적 분해에 의한 발화보다 자연발화에 도달하는 시간이 비교적 길게 소요되며 따라서 사전 이상징후(연기, 냄새등)에 의한 감지 및 예방이 가능하다. 이들 물질은 공기중의 산소와의 접촉에 의하여 산화반응으로 발열되므로 공기와의 접촉을 차단(밀봉, 용매중에 침적)함으로써 자연발화를 예방할 수 있다.

3. 흡착(흡수)열

금수성 물질이 이에 해당되는 것으로서 공기중의 수분이나 기타 수분과의 접촉을 금해야 한다. 이들 물질은 수분흡착에 의한 발열과 더불어 분해반응을 일으켜 가연성가스를 발생시키므로 자연발화시 매우 빠르고 격렬하게 순간적으로 화재, 폭발을 일으킬 수 있다.

이들 물질들은 방수용기에 저장 보관하며 사용후 잔량을 보관시 완전한 밀봉, 용매침적 등의 방법으로 공기중의 수분과의 접촉을 차단할 수 있다.

4. 발효열

탄화수소물이 이에 해당되며 주로 면화류, 대패밥, 벚꽃류, 고무류, 석탄, 목탄, 목재 가공품 등을 들 수 있다.

일반적으로 발효열은 그다지 높지 않아 이들 물질의 직접적인 발화는 일어나지 않으나 미생물 발효시 생성되는 가연성가스(주로 메탄가스)에 의해 발화하는 경우가 많다.

따라서 탄화수소물의 보관, 저장시에는 미생물의 발효조건중의 하나인 수분을 외부와 차단함으로써 발효를 방지할 수가 있으므로 가능한 노천에 장기간 야적하지 않도록 하여야 한다.

5-3 주요장치 및 설비에 대한 대책

1. 반응기, 혼합기 등의 장치류

가동중인 반응기, 혼합기 등에서의 자연발화 위험성은 거의 없다고 할 수 있으나 장기간 운휴상태로 있을 경우 장치내부 및 투입구 부근 등의 퇴적분진이 방치되지 않도록 청결을 유지하여야 한다. 이때 장치내에 분체가 있는 상태에서 부득이 장기간 가동을 중지할 경우 내부를 불활성가스로 치환하는 것도 효과가 있으며, 주기적으로 상태(이취, 연기등) 및 온도점검을 실시하여야 한다.

2. 건조기

건조기는 열원이 존재하므로 다른 장치류에 비해 발화, 폭발의 위험성이 매우 높다. 물론 분체가 발화되지 않도록 열원의 온도를 안전하게 설정하여야 하나 물질에 따라 건조기로 부터의 가열 열원(熱源)이 자연발열을 발생시

키는 역할을 할 수도 있으므로 특히 조심하여야 한다. 또한 적정용량의 건조기를 사용하도록 하여 가열 건조시간이 필요이상으로 길게 됨으로서 분체의 장기체류에 따른 물질의 열화(劣化)에 의하여 자연발화되지 않도록 할 필요가 있다.

3. 저장조

저장조는 소형 일반용기로 부터 공정상 주요 기능을 담당하는 대형 사일로(Silo)에 이르기 까지 많은 종류가 있으며, 특히 대형설비에서의 자연발화는 분진폭발 사고로 이어질 수 있기 때문에 그 안전대책이 매우 중요하다.

저장조는 내화구조로 하되 대형설비는 가급적 옥외에 설치하여야 한다. 또한 대부분의 사일로는 부유분진의 포집을 위하여 집진기를 병설하는데 이 집진기를 주기적으로 점검치 않을 경우 집진기내의 자연발화로 인하여 사일로로 화염등이 전파되지 않도록 차단벽 등으로 격리하여야 한다.

일반적으로 분체 저장조의 주위에는 분진이 누출되어 퇴적분진을 형성할 가능성이 있으므로 국소배기장치의 설비 및 청결을 유지하여야 한다.

4. 창고 및 야적장

일반적으로 창고나 야적장등에 보관되는 원료 및 제품은 경우에 따라 수개월씩 장기간에 걸쳐 반출되지 않는 경우가 있다. 특히 야적장의 경우는 용기의 포장상태에 따라 적사광선, 수분으로 부터 노출된 상태로서 자연발화의 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 이는 창고 및 야적장에서 자연발화로 인한 대형사고 사례가 빈번한 것으로도 알수 있으며 대표적으로는 국내 서울 공항동 공항창고 화재폭발사고('87. 8. 14. 발생, 9명 사망 80명 부상) 인천 대동창고 화재('79. 8. 13. 발생, 94명 부상) 및 일본 동경의 창고지대('64. 7. 14. 발생, 19명 사망, 114명 부상)질화면 화재폭발 사고등을 들

수 있다.

이와같이 창고 및 야적장에서의 자연발화로 인한 화재는 대형 폭발사고를 수반하며 인명과 재산에 막대한 피해를 주게되므로 다음과 같이 안전점검을 철저히 수행하여야 한다.

- (1) 위험물의 과다한 물량 보유금지 (산업안전기준에 관한 규칙 제 10 조, 노동부 고시 제 90 - 88 호)

공정 및 생산계획에 비하여 필요이상의 과다한 물량을 보유하여 장기간 사용치 않을 경우 자연발열로 인한 발화의 위험이 따르므로 적절한 양을 보유하여 빠른 시간내에 소모함으로써 재해를 예방하고 만약의 경우 화재 등의 사고시에도 대형 화재폭발 등을 방지할 수 있다.

- (2) 안전거리 준수 (노동부고시 제 90 - 89 호)

위험물보관, 저장시 단위공정시설 및 설비, 보일러, 또는 가열로부터 일정거리 (20 m) 이상의 안전거리를 유지하여야 한다.

이때 방호벽, 자동화 소화설비 등 안전상의 조치를 하였을 경우에는 그러하지 아니한다.

- (3) 롯드 (Lot) 관리

원료 또는 제품별 롯드관리를 통하여 선입선출을 준수함으로써 장기간 보관에 따른 변질 및 자연발열을 방지할 수 있다.

- (4) 화재경보장치 및 소화설비 (안전규칙 제 292 조, 제 293 조, 소방법 시행령 제 18 조, 제 19 조)

야적장인 경우는 설치가 곤란하나 일반창고에는 반드시 화재감지, 경보장치가 설비되어 있어야 하고, 이에 따른 적절한 소화기 등의 소화설비가 구비되어야 한다.

특히 사업장에서는 원료, 제품등을 창고에 적재시 소화설비가 있는 통로까지 차단하는 경우가 많으므로 이에 주의하여 화재 발생시에 소화설비를 이

용하지 못하는 일이 없도록 하여야 한다.

(5) 차양, 배수관계 점검

자연발열의 초기 원인으로 직사광선이나 수분등이 작용하는 경우가 많으므로 보관물질의 특성에 따라 특히 야적시에 차양 및 배수로 등에 관심을 갖고 점검하여야 한다.

실내 창고의 경우에도 통풍등이 불비하여 습기가 차는 경우가 많으므로 금속성 물질등의 보관시 특별히 주의하여야 한다.

(6) 폐기작업

청소로 수집한 분진 또는 불필요한 분진을 폐기할 경우에는 분진의 장기 체류나 다른 화학품과의 혼합에 의하여 발화할 가능성이 있는지 여부도 검토하여야 한다.

소각에 의한 폐기는 일반적인 처리방법이지만 폐기분진을 일반폐기물과 섞어두면 의외의 원인으로 화재가 발생하고 또한 분진폭발을 일으킬 위험이 있으므로 일반 폐기물과 함께 방치하거나 섞어서 처리하지 않도록 주의하여야 한다.

5-4 화재감지, 경보 및 소화설비

자연발화는 축열과정이 있는 특징으로 주로 일과후나 야간에 발생하는 경우가 많다. 따라서 초기진화가 매우 어려우며 더욱이 분진으로 인한 자연발화시 화재가 급격히 진행되므로 화재감지 및 경보장치와 이에 수반하는 소화설비가 완벽하게 갖추어져야 한다. 또한 이와함께 자연발화는 반드시 사전 이상징후(그을음, 연기, 냄새 등)가 나타나므로 정기적 순찰을 통하여 예방하는 것도 중요하다.

1. 관련법규

(1) 산안법 안전규칙 제 292 조, 제 293 조

- 계측장치 등의 설치
- 자동경보장치의 설치

(2) 노동부고시 제 90 - 88 호, 제 90 - 89 호

- 특수화학설비의 범위
- 화학설비 및 시설의 안전거리

(3) 소방법시행령 제 18 조, 제 19 조

- 특수 제 2 종 장소 (사업장, 공장 등), 제 3 종 장소 (창고 등)

2. 설비종류

(1) 감지, 경보설비 : 화재발생을 감지, 통보하는 기계, 기구 또는 설비로는 다음과 같다.

- 자동화재탐지설비, 전기화재경보기, 자동화재속보설비, 비상경보설비 (비상벨, 자동식 사이렌, 방송설비)

(2) 소화설비 : 물, 기타 소화약제를 사용하여 소화를 행하는 기계, 기구 또는 설비와 이에 상응하는 소화성능이 있는 것.

- 소화기 및 간이소화용구, 옥내소화전, 스프링클러, 물분무 등 소화설비 (물분무, 포, 이산화탄소, 할로젠화합물, 분말), 옥외소화전 설비, 동력소방펌프설비

(3) 피난설비 : 화재발생시 피난하기 위하여 사용되는 것

- 피난기구 (사다리, 구조대 등), 유도등, 유도표지, 비상조명등, 인명구조장구

(4) 소화용수설비 : 화재진압에 필요한 소화용수를 저장하는 설비

- 소화수조, 상수도 소화용수 설비

(5) 기타 : 배연설비, 연결송수관, 연결살수, 비상콘센트, 무선통신 보조설비

참 고 문 헌

1. K. Takashi, "Critical Ignition Temperature of Wood Sawdusts",
Fire Safety Sci. Proceed.of the 1'st Int'l Symp.463 (1986)
2. W.J.Parker, "Prediction of the Heat Release Rate of Wood",
Fire Safety Sci. Proceed.of the 1'st Int'l Symp.207 (1986)
3. B.J.Tyler, D.K.Henderson. "Spontaneous Ignitions in Dust
Layers", I.Chem.E. Symp. Ser., 102, 45 (1987)
4. N.Gibson, "Decomposition, Fire and Explosion Hazards from
Dusts", I.Chem.E. Symp. Ser., 63, D1/A/1 (1981)
5. R.C.Moore, "Flammable Gas and Dust Monitoring"
Meas.and Control, 17, 17 (1984)
6. N.Schultz, Fire and Flammability Handbook, pp24-27(1985)
7. 井伊谷鋼一, 粉體工學 ハントブシク, 朝倉書店, 東京, pp141-148 (1986)
8. 吉田忠雄, 田村昌三, 反應性化學物質と火工品の安全, 大成出版社, 東京,
pp 291-309 (1988)
9. 日本火災學會, 火災便覽, 共立出版(株), 東京, pp 38-238 (1984)
10. 박공식, 최성락, 화재 폭발 및 연소현상, 형설출판사. pp146-162 (1982)
11. 민경희, 화공안전공학, 국제이연사. pp22-78 (1979)
12. 한국산업안전공단, 산업안전업무편람, 법규편 (1991)
13. 한국산업안전공단, "건조설비로 인한 폭발, 화재 방지대책", (1990)
14. 내무부, 화재통계년보, (1989)

부

록

여 백

부록 I. 산업안전보건법에 의한 위험물 분류표

1. 폭발성물질

- 가. 니트로글리콜, 니트로글리세린, 니트로셀룰로우스, 기타 폭발성의 질산에스테르
- 나. 트리니트로벤젠, 트리니트로톨루엔, 피크린산, 기타 폭발성의 니트로화합물
- 다. 과초산, 메틸에틸케톤과산화물, 과산화벤조일, 기타 유기과산화물

2. 발화성물질

- 가. 금속리튬
- 나. 금속칼륨
- 다. 금속나트륨
- 라. 황 린
- 마. 황화린
- 바. 적 린
- 사. 셀룰로이드류
- 아. 탄화칼슘 (카아바이드)
- 자. 인화석회
- 차. 마그네슘분말
- 카. 알루미늄분말
- 타. 마그네슘분말 및 알루미늄분말 외의 금속분말

3. 산화성물질

- 가. 염소산칼륨, 염소산나트륨, 염소산암모늄, 기타 염소산염류
- 나. 과염소산칼륨, 과염소산나트륨, 과염소산암모늄, 기타 과염소산염류
- 다. 과산화칼륨, 과산화나트륨, 과산화바륨, 기타 무기과산화물

라. 질산칼륨, 질산나트륨, 질산암모늄, 기타 질산염류

마. 아염소산나트륨, 기타 아염소산염류

바. 차아염소산칼륨, 기타 차아염소산염류

4. 인화성물질

가. 에틸에테르, 가솔린, 아세트알데히드, 산화프로필렌, 아황산탄소, 기타 인화점이 섭씨 영하 30도 미만인 물질

나. 노르말렉산, 산화에틸렌, 아세톤, 메틸에틸케톤, 기타 인화점이 섭씨 영하 30도이상 0도 미만인 물질

다. 메탄올, 에탄올, 크시렌, 초산벤젠(초산아밀), 기타 인화점이 섭씨 0도이상 30도 미만인 물질

라. 등유, 경유, 테레핀유, 벤질알콜, 초산, 기타 인화점이 섭씨 30도이상 65도 미만인 물질

마. 가연성가스(수소, 아세틸렌, 에틸렌, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 기타 섭씨 15도 1기압에서 기체로 있는 가연성 물질을 말한다.)

부록 Ⅱ. 소방법(시행령)에 의한 위험물 분류표

1. 위험물(제 12 조제 1 항)

유 별	품 명	지 정 수 량
제 1 류	염소산염류	50 킬로그램
	과염소산염류	50 킬로그램
	과산화물	50 킬로그램
	질산염류	1,000 킬로그램
	과망간산염류	1,000 킬로그램
제 2 류	황 린	20 킬로그램
	황 화 린	50 킬로그램
	적 린	50 킬로그램
	유황(황)	100 킬로그램
	금속분 A	500 킬로그램
	금속분 B	1,000 킬로그램
제 3 류	금속칼륨	5 킬로그램
	금속나트륨	5 킬로그램
	카바이트(탄화칼슘)	300 킬로그램
	인화석회(인화칼슘)	300 킬로그램
	생석회(산화칼슘)	500 킬로그램
제 4 류	특수인화물	50 리터
	제 1 석유류	100 리터
	초산에스테르류	200 리터
	의산(개미산)에스테르류	200 리터
	메틸에틸케톤	200 리터

유 별	품 명	지 정 수 량
제 4 류	알코올류	200 리터
	피 리 딘	200 리터
	클로로벤젠	300 리터
	제 2 석유류	500 리터
	제 3 석유류	2,000 리터
	제 4 석유류	3,000 리터
	동식물유류	3,000 리터
제 5 류	질산에스테르류	10 킬로그램
	셀룰로이드류	150 킬로그램
	니트로화합물	200 킬로그램
제 6 류	발연질산	80 킬로그램
	발연황산	80 킬로그램
	클로로술폰산	80 킬로그램
	무수황산	80 킬로그램
	농황산	200 킬로그램
	농질산	200 킬로그램
	무수크롬산	200 킬로그램

비 고 :

1. “금속분 A”라 함은 마그네슘 및 알루미늄의 분·박 및 리본(사진촬영용 기타에 사용되는 섬광분을 포함한다)을 말하며, “금속분 B”라 함은 마그네슘 및 알루미늄 이외의 금속분을 말한다.

2. “특수인화물”이라 함은 에테르, 2 황화탄소 및 골로디온 기타 760 밀리미터의 기압에 있어서 액체(섭씨 20 도이상 40 도 이하의 사이에서 액상으

로 되는 것을 말한다. 이하같다)로 되는 것으로서 착화온도가 섭씨 100도 이하인 것 또는 인화점이 섭씨 영하 20도이하로서 비점이 섭씨 40도이하인 것을 말한다.

3. “제 1 석유류”, “제 2 석유류”, “제 3 석유류,” “제 4 석유류”라 함은 각각 다음에 재기되는 물품 및 성상(760밀리미터의 기압에 있어서의 성상을 말한다)을 가지는 것을 말한다.

가. 제 1 석유류: 아세톤 및 휘발유 기타 액체로서 인화점이 섭씨 21도미만인 것.

나. 제 2 석유류: 등유·경유 기타의 액체로써 인화점이 섭씨 21도이상 70도미만인 것.

다. 제 3 석유류: 중유·클레오소오드유 기타 섭씨 20도에서 액상이 되는 것으로서 인화점이 섭씨 70도이상 200도미만인 것.

라. 제 4 석유류: 기계유·실린더유 기타 섭씨 20도에서 액상이 되는 것으로서 인화점이 섭씨 200도 이상인 것. 다만, 20리터이하의 불연성용기에 수납 밀전하여 지정수량 미만의 양을 저장·취급하고 있는 것을 제외한다.

4. “알코올류”에는 퓨젤유 및 변성알코올을 포함한다.

5. “동식물유”라 함은 760밀리미터의 기압과 섭씨 20도의 온도에서 액체로 되는 동식물유로서 불연성용기에 수납 밀전되고 저장 보관되어 있는 것 이외의 것을 말한다.

6. “셀룰로이드류”라 함은 니트로셀룰로우스를 주재로 한 제품·반제품 및 부스러기를 말한다.

7. “니트로화합물”이라 함은 니트로기가 2이상인 것을 말한다.

8. “농황산”이라 함은 비중 1.82 이상인 것을 말하며, “농질산”이라 함은 비중 1.49 이상인 것을 말한다.

9. 도료류 기타 품명이 다른 물질을 혼합한 것에 속하는 위험물의 품명

과 그 지정 수량은 내무부령으로 정한다.

2. 준위험물 (제 12 조제 2 항)

유 별	품 명	수 량
제 1 류	아염소산염류	10 킬로그램
	취소산염류	15 킬로그램
	옥소산염류	20 킬로그램
	중크롬산염류	600 킬로그램
제 2 류	유지류 및 유포류	100 킬로그램
	부잠사	100 킬로그램
	기름찌꺼기	1,000 킬로그램
제 3 류	금속리튬	5 킬로그램
	금속칼슘	50 킬로그램
	탄화알루미늄	60 킬로그램
	수소화물	60 킬로그램
	칼슘실리콘	200 킬로그램
제 4 류	락카빠데	200 킬로그램
	고무풀	200 킬로그램
	제 1 종 인화물	200 킬로그램
	나프탈린	600 킬로그램
	송 지	600 킬로그램
	파 라 핀	600 킬로그램
	제 2 종 인화물	600 킬로그램
	장 뇌	600 킬로그램
제 5 류	니트로소화합물	40 킬로그램

유 별	품 명	수 량
제 5 류	디니트로소펜타메틸렌테트라민	40 킬로그램
	니트륨아미드	40 킬로그램
제 6 류	과염소산	30 킬로그램
	염화티오닐	80 킬로그램
	염화술폰딜	80 킬로그램

비 고 :

1. “유지류” 및 “유포류”라 함은 동식물유가 스며 배인 종이 또는 포와 이들의 제품을 말한다.
2. “부잠사”라 함은 번데기 기름이 스며 배인 것을 말한다.
3. “수소화물”이라 함은 알칼리금속 및 알칼리토류금속(배릴륨 및 마그네슘을 제외한다)의 수소화물을 말한다.
4. “고무풀”이라 함은 생고무에 휘발유 기타 인화성 용제를 가공하여 풀과 같은 상태에 있는 것을 말한다.
5. “제 1 종 인화물”이라 함은 상온에서 고체인 것으로서 섭씨 40도미만에서 가연성의 증기를 발생하는 것을 말한다.
6. “제 2 종 인화물”이라 함은 상온에서 고체인 것으로서 다음 각호의 1에 해당하는 것을 말한다.
 - 가. 섭씨 40도이상 100도미만에서 가연성의 증기를 발생하는 것.
 - 나. 섭씨 100도이상 200도미만에서 가연성의 증기를 발생하고 또한 연소열량이 그램당 8천칼로리 이상인 것.
 - 다. 섭씨 200도 이상에서 가연성의 증기를 발생하고 또한 연소열량이 그램당 8천칼로리 이상인 것으로서 용점이 섭씨 100도미만인 것.
7. “니트로소화합물”이라 함은 1의 벤젠핵에 2이상의 니트로소가 결합된 것을 말한다.

3. 특수가연물 (제 12 조제 2 항)

품 명		수 량
면화류		200 킬로그램
목모 및 대패밥		400 킬로그램
넙마 및 종이조각		1,000 킬로그램
사 류		1,000 킬로그램
벚짚류		1,000 킬로그램
고무류		3,000 킬로그램
석탄 및 목탄		10,000 킬로그램
목제가공품 및 톱밥		10 입방미터
합성수지류	발포시킨 것	20 입 방미터
	기타의 것	3,000 킬로그램

비 고 :

1. “면화류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 면상 또는 톱상의 섬유 및 마사원료를 말한다.
2. “사류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 실과 누에고치를 말한다.
3. “벚짚류”라 함은 마른 벚짚·마른 북더기 또는 이들의 제품과 마른 풀을 말한다.
4. “고무류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 고무제품·고무반제품·원료고무 및 고무조각을 말한다.
5. “합성수지류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 고체의 합성수지제품·합성수지반제품·원료합성수지 및 합성수지 부스러기를 말하며, 고무류·섬유류 및 지류와 이들의 부스러기를 제외한다.

부록Ⅲ. 국제연합의 위험물 분류표

(U.N 경제사회 이사회 위험물 전문가 회의)

분 류	구 분	정 의
1. 폭 발 물	1-1	동시에 대량 폭발의 위험을 가지는 물질 또는 물품
	1-2	비산위험은 있으나 일제히 대량폭발의 위험이 없는 물질 및 물품
	1-3	화재의 위험은 있으나 일제히 대량폭발의 위험은 없고, 폭발위험이나 비산위험이 작은 물질 및 물품
	1-4	뚜렷한 위험이 없는 물질 및 물품
	1-5	동시에 대량 폭발의 위험이 있고 아주 민감한 물질
2. 고 압 가 스		압축가스, 액화가스, 가압용해가스 또는 심냉가스
3. 인화성액체		액체의 물질, 액체의 혼합물, 또는 고체물질을 용해물 또는 현탁물로 하여 함유하는 액체로서 밀폐식 시험기에 의한 인화점이 60.5℃(개방식 시험기에 의한 경우는 65.5℃)이하의 것
4. 가연성고체	4-1 가연성고체	폭발물로서 분류되어져 있는 것 이외의 것으로서, 수송조건에서 용이하게 연소하는 것 또는 마찰에 의하여 화재의 원인으로 될 수 있는 것

분 류	구 분	정 의
4. 가연성고체	4-2 자연발화성 물 질	통상의 수송조건 하에서 자연발화하기 쉬운 것, 또는 공기와 접촉하여 발열하여 발화하기 쉬운 것
	4-3 금수성물질	물과 접촉하여 자연발화하기 쉬운 것 또는 가연성가스를 위험량 정도로 발생하기 쉬운 것
5. 산화성물질 및 유기과산화물	5-1 산화성물질	그 자체는 반드시 가연성은 아니나 일반적으로 산소를 유리하여 다른 물질의 연소를 일으키기 쉽게 하든지 또는 연소를 조장하는 물질
	5-2 유 기 과 산 화 물	2개의 -O-O-구조를 가지고, 과산화수소의 수소 한개 또는 2개가 유기기로써 치환된 유기물질, 유기과산화물은 열적으로 불안정하므로써 자기가속 발열 분해를 일으키기 쉽다.
6. 유독성물질	6-1 독 성 물 질	마신다든지 흡입한다든지, 피부에 접촉했을 때에 사람을 사망에 이르게 하든지, 중대한 장애를 일으키든지, 사람의 건강에 해를 끼치는 것
	6-2 전염성병원 물 질	동물 또는 인간의 병의 원인으로 되는 것이 알려져 있든지, 또는 의심이 있는 미생물 또는 독소를 함유하는 물질

분진 (더스트) 의 자연발화 예방대책
화학 (화학 91 - 081 - 15)

발행일 : 1991. 12. 31.
발행인 : 원 장 김 원 갑
작성인 : 연구원 주 종 대
발행처 : 한국산업안전공단
 산업안전보건연구원
주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34 - 4
전 화 : (032) 518 - 6484 / 6

인쇄 : 학림사 : 267 - 3676, 273 - 4175 (비매품)