



# 폐화약 소각처리 중 폭발사고

## 1. 사고내용

○ 2007. 2. 21(수) 오전 10시 2분경 강원도 태백시 소재 (주)○○화약에서 폐화약(액상, 에멀전, 응고상태)과 완제품(응고상태)으로 반포된 타업체 함수폭약(○○화약 제품)을 소각하는 과정에서 폭발이 발생하여 2명의 작업자가 사망하고 공실 외부에 있던 9명이 고막파열을 입은 사고임.

○ 사고발생시점에 휴식시간(10:00~10:15)에 흡연 등을 위해 여러 명이 공실 외부에서 휴식중에 폭발로 재해자(고막파열)가 많았음.

○ 현장 근로자에 따르면 “쾅”소리와 함께 폐화약 처리장내 시설물 벽돌 등의 파편이 사방으로 튀어 아수라장이 됐다”고 사고 당시 상황을 설명함.

## 2. 피해현황

- 인적피해 : 인적피해 : 2명 사망(작업자), 9명 부상
- 물적피해 : 폭발압에 의해 폐기장 내 벽돌 등의 비래하여 5개 공실 지붕 및 유리창 일부 파손(반경 약 90m이내)

## 3. 사고물질 및 사고발생설비

### ○ 사고물질

사고물질은 화약폐기물로서, 폭약원료 및 첨가제가 일부 불량되관, 기타 폐기물(Box, 비닐 등)과 혼재되어 있었음.

- 주 화약 원료 물질명 : 질산암모늄( $NH_4NO_3$ )
- 반제품, 불량 제품 : 함수폭약(알칼리 금속 또는

알칼리 토금속류의 질산염, 탄산염 등의 산화제, 예감제, 발열제, 물 등을 주성분으로 하며 폭약의 모양이 겔(슬러리) 또는 에멀전 상태이고 조성 중에 물을 함유하고 있는 내수성 폭발을 말함.)

### ○ 사고발생설비

사고발생장소는 약 10m x 10m의 부지내에 위치한 화약류 폐기용 소각장으로서 폭발시 피해확산을 위해 폐기장내 통로 주위에는 높이 2미터정도의 흙둑이 설치되어 있으며 내부 일부벽은 벽돌로 쌓여 있음.

폐기장내에는 소각을 위한 화덕, 철망, 소화기 및 방화수통 등이 설치되어 있었으며 기기설비류는 설치되어 있지 않았음.

## 4. 사고발생 상황

화약폐기처리를 위한 소각작업은 철제화덕형태의 구조물위에 처리대상 물질을 놓은 후 화덕 밑에 종이 나 나무 등 발화제를 놓고 점화하여 연소시키는 방법을 사용함. 주 소각 대상인 폐 함수폭약류는 스스로 발화하지 않으나 강한 열에 노출될 경우 표면연소의 형태로 연소됨.

### ○ 사고당시 상황

- 작업 근무자 2명이 소각작업에 투입되어 폐기물 소각을 시작

· 소각방법은 소각장 밖에 위치한 폐기용기의 내용물을 일단 비닐봉지에 담아 소각장소의 화덕위에 폐기물을 소량 점화한 후 폐기물의 연소상태를 보아가며 폐기물을 추가 투입하는 방법으로 진행함.

- 10:05 분경 소각장소에서 강력한 폭발이 발생함.
- 폭발 후 작업 근무자 2명은 사망
- 인근 근무자 2명 화상
- 기타작업자 7명은 창상 또는 고막파열로 부상하였음.

※ 상황 추정

- 사고발생시각이 휴식시간중(10:00~10:15)이어서 인근작업장의 근로자 일부가 작업장건물 밖에서 휴식을 취하던 중 다수의 피해가 발생한 것으로 추정됨.

5. 사고원인(추정)

가. 소각 폐기물의 사전 분류 및 확인 미흡

주요 소각대상물질은 화약원료, 반제품을 포함한 폭발성물질과 기타폐기물이 혼재한 형태로, 대형폭발의 잠재위험이 있음에도 소각폐기물의 분류 및 확인 미흡으로 불량뇌관 등이 포함된 상태에서 소각이 이루어짐.

나. 관계자의 작업자의 출입

폭발성물질을 취급하는 폐화약 소각작업은 당초 작업자 2명에 의해 수행되었으나 사고당시 관계자와 작업자가 소각장소내 출입 또는 인접한 곳에 위치하여 피해규모가 큼.

다. 공정안전보고서 내용 미준수

2006.6월 산업안전보건위원회를 거쳐 개정된 공정안전자료중 “배출물의 처리설계 기준 및 사양”과 “폐약소각장 운영” 관련내용을 준수하지 않음.

- 화기작업허가서에 따르면 외부로부터의 폐기물 반입 등 특별한 내용이 추가될 경우 기존 작업허가외에 공장장의 작업허가 재승인을 득하도록 되어있으나 이행되지 않음.

- 소각방법에 따르면 소각시 기폭의 우려가 있는 불량뇌관 등은 분리 제거하도록 되어있으나 분리되지 않음.

6. 사고교훈 및 동종 재해예방 대책

가. 폭발성물질에 대한 사전 분류 및 안전조치

폭발성 물질을 소각폐기할 경우 뇌관등 폭발원으로 작용할 수 있는 물질이 포함되어 있는지 충분한 조사가 이루어져야 하며, 이러한 물질의 포함에 대한 개연성을 완전히 제거할 수 없을 경우 소각방법 대신 폭파 등 다른 안전한 방법을 사용하여 폐기처리되어야 함.

나. 폭발위험장소에 대한 관계자의 출입금지조치

화약류 폐기장소등 폭발의 위험이 있는 장소에는 해당작업을 위한 관계자 외에 현장출입을 금지하여야 함.

다. 공정안전보고서 내용 준수

공정안전보고서 및 보고서에 따른 하부기준을 준수하여야 함.

7. 사고사진



〈사진 1〉 사고 후 폐기장 전경



〈사진 2〉 폐기물 내용물



〈사진 3〉 폭발되지 않은 미사용 뇌관 증거물



〈사진 4〉 폭발 잔해에서 발견된 뇌관

〈붙임 1〉

TNT당량 모델 피해예측 계산서

□ 적용대상

함수폭약 폭발사고에 따른 TNT 당량계산

□ 적용 기술기준

1. 사고피해영향 평가에 관한 지침(KOSHA CODE P-9-2005)

2. 사고피해예측기법(KOSHA CODE P-31-2001)

□ 피해예측계산

1. 함수폭약 소각량 : 22.05 lb(=10kg) 기준

2. 물질의 연소열량 :

$$980\text{kcal}/1\text{kg}(\text{TNT}) = 1,764 \times 10^3 \text{ Btu}/\text{lb}$$

[제작자 제품중 중간정도의 폭발력을 가진 자료 기준]

3. 폭발수율계수 : 0.8(제작자 제품중 ANFO 함량 80% 적용기준)

4. 계산적용

4-1) TNT 당량 산출 적용식

$$W = \frac{\mu \times M \times Ec}{2000}$$

여기서, W : TNT당량(lb)

$\mu$  : 폭발수율계수

M : 함수폭약 소각량(lb)

Ec : 폭발을 일으킨 물질의 연소열(Btu/lb)

$$W = \frac{0.8 \times 22.05\text{lb} \times 1764\text{btu}/\text{lb}}{2000}$$

$$= 15.56 \text{ TNT당량}(\text{lb})$$

4-2) 환산거리(Scaled distance) 산출

$$Z_G = R_G/W^{1/3}$$

여기서,  $Z_G$  : 환산거리(ft/lb<sup>1/3</sup>)

$R_G$  : 가장 먼 유리창의 깨어진 지점 : 279ft(85m)

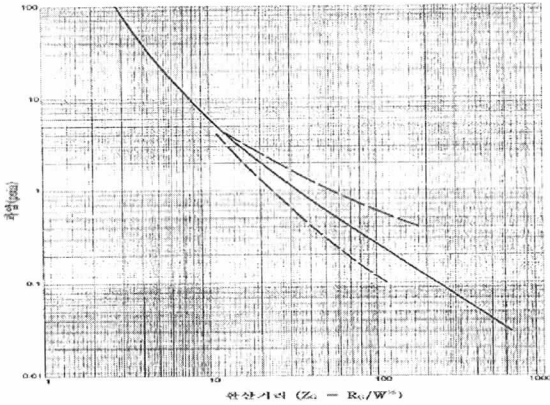
W : TNT당량 : 15.56(lb)

$$Z_G = 279\text{ft}/(15.56(\text{lb}))^{1/3}$$

$$= 111.7 \text{ ft}/(\text{lb})^{1/3}(\text{환산거리})$$

4-3) 과압 산출

아래의 <TNT 과압 곡선>에서 가장 먼 유리창의 깨어진 지점 279ft(85m) 과압 산출 : 0.26psi(1.79kPa)



〈그림1〉 TNT 과압 곡선(fps단위)

[50% 확률 고막파열의 경우]

$$Pr = -12.6 + 1.524 \ln Ps \Rightarrow \text{[티엔오(TNO) 계산식]}$$

Pr : 프로빗, Ps : 과압(50%에 해당하는 프로빗은 5.0 이므로)

$$5 = -12.6 + 1.524 \ln Ps$$

$$17.6 = 1.524 \ln Ps$$

$$Ps = \text{Exp}(17.6 / 1.524) = 43,199(\text{N/m}^2) = 6.3(\text{psia})$$

〈TNT 과압곡선〉에서 6.3 psi에 해당하는 환산거리 (ZG)는 = 10 이므로

$ZG = R_G/W^{1/3}$ 를 적용하여 실제거리(RG)는 = 25(ft) = 7.6(m)로 예측할 수 있다.

[90% 확률 고막파열의 경우]

$$Pr = -12.6 + 1.524 \ln Ps \Rightarrow \text{[티엔오(TNO) 계산식]}$$

Ps : 90%에 해당하는 프로빗은 6.28이므로

$$6.28 = -12.6 + 1.524 \ln Ps$$

$$18.88 = 1.524 \ln Ps$$

$$Ps = \text{Exp}(18.88 / 1.524) = 240,013(\text{N/m}^2) = 34.8(\text{psia})$$

이 경우 환산거리(ZG)는 = 4.3 이므로

$ZG = R_G/W^{1/3}$ 를 적용하여

실제거리(RG)는 = 11(ft) = 3.3(m) 할 수 있다.

## □ 피해 검토결과

○ 상기 결과에서처럼 85m 거리에서 유리창이 파손된 현장조건을 고려하여, 유리창이 깨어질 수 있는 폭발압 0.26psia(1.79kpa)를 기준으로 할 때 계산된 사고시의 소각된 함수폭약의 양은 22.05 lb(10kg) 전후로 판단되며, 이때의 폭발압을 기준으로 현장에서 처럼 90% 이상의 작업자가 고막이 파손되기 위하여는 34.8psia(240kPa) 이상의 폭발압이 필요하다.

이 폭발압은 사고 지점으로부터 3.3m 이내에서 발생된다.

또한, 50% 이상의 작업자가 고막이 파손될 경우에는 6.3psia(43kPa)의 폭발압이 요구되며, 이 때의 거리는 7.6m로 계산되어졌다.

○ 그러므로 현장처럼 2m 높이의 폭압방지 독이 없었을 경우에는 34.8psia의 폭발압에 의해 작업자 11명 전원이 사망하였을 것이나 폭압방지 독 뒤편에 있던 작업자는 고막이 손상되는 재해를 입었고, 폭압방지 독 안에 있었던 사고지점 주변의 작업자는 사망한 것으로 추정됨.

○ 상기 검토는 공간이 완전 개방된 상태에서의 계산결과(3.3m)이므로 실제상황에서는 폭압방지 독의 영향을 고려하면 3.3m보다 다소 짧은 거리의 폭압방지 독 바로 뒤편에서 작업자들이 모여 있었을 것으로 추정됨. ◀



[한국산업안전공단]