

## 일본 폐기물 소각시설 폭발

1995년 7월 6일 목요일 오전 9시 59분경 일본 新奈川縣 秦野市 伊勢原市 환경위생조합 청소공장 1호소각로에서 폭발사고가 발생하여 1명이 사망하고 2명이 부상을 입었다.

1호 소각로 (연속식 스토커爐, 능력 90톤/일) 의 후연소장치 아래에 위치한 호퍼 슈트 점검구에서 슈트 내의 크링커를 청소하는 도중 폭발이 일어나 점검구의 고온가스와 재에 의해 작업자가 심한 화상을 입었다.

사고는 재처리슈트와 재처리기 내에서 발생한 가연성가스(수소 가스)가 주성분이 슈트 점검구를 통하여 공급된 공기와 혼합되어 폭발분위기를 조성하게 되었고, 이때 크링커 등의 점화원에 의해 폭발한 것으로 추정된다.

# 일본 폐기물 소각시설 폭발

## 1 일반 사항

- 소재지 : 日本 新奈川縣 伊勢原市
- 인명피해 : 사망 1명, 부상 2명
- 사고일시 : 1995. 7. 6 (목) 09시 59분
- 재산피해 : 소각로 슈트 및 가습기 파손
- 사고장소 : 1호 소각로
- 사고원인 : 폐가스 폭발

## 2 사고 현황

환경위생조합 청소공장의 소각로에서 폭발사고가 발생하여 1명이 사망하고 2명이 부상을 입었다.

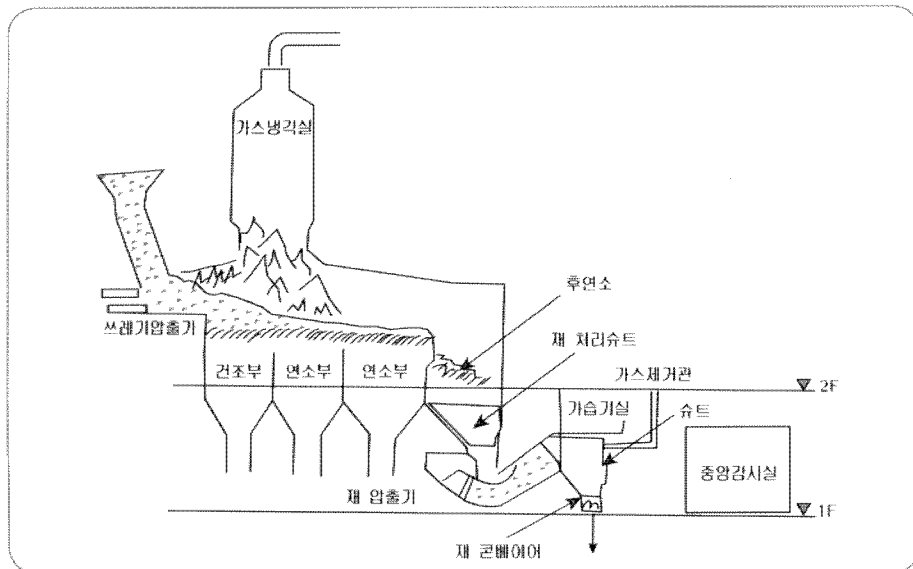
사고 다음 날인 7월 7일에 사고조사위원회를 구성하여 현장 조사를 시작하였다. 재의 분석, 가스발생 실험 및 전체의 토의를 통하여 조기에 결론을 도출하여야 하기 때문에 신속히 조사에 임했다.

당 조사위원회에서는 폭발원인을 수소가스 폭발로 추정하였는데 사고 발생 전 상황은 다음과 같았다.

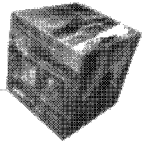
7월 6일 01시경, 1호 로의 재 처리 탬퍼에 이상이 있음을 발견하고 재 처리기를 수동으로 조작하였으나 완벽하게 작동되지는 않았다. 더 이상 쓰레기의 연소를 계속하는 것은 무리라고 판단되어 01시 45분경 쓰레기 투입을 중지하고 연소를 중단하기 위하여 04시경에 조작을 종료하였다. 08시 20분에 야간근무조로 부터 업무를 인수한 주간근무조 7명, 기술담당 주사 및 담당 기사는 즉시 작업을 시작하였다.

처음 점검구를 연 직원의 증언에 의하면, 그 시점에 점검구는 벽면과 같이 재로 막혀 있었다고 한다. 작업 초기에는 점검구를 통하여 스크프로 재를 제거하려 하였으나 크링커로 생각되는 단단한 층에 걸려 소량의 재밖에 제거할 수 없어 정(끝)을 이용하여 아래쪽으로 떨어뜨리는 작업을 계속하였다. 그 때 단속적으로 물을 주입하면서 작업을 하였으나 폭발 직전에는 주수를 하지 않았다.

09시 59분경, 그림 1에 나타난 바와 같이 재 처리슈트 내부에서 폭발이 발생하였고, 점검구로 방출된 고온의 가스와 재를 뒤집어쓴 직원 3명이 화상을 입었다. 직원 중 1명은 사고 10일 후 사망하였으며, 1명은 중상을 입었다. 또한, 물적피해로는 슈트 부분이 변형되었으며 인접 가습기실의 일부가 파손되었다.



▲ 그림 1. 소각로 개략도 및 폭발 위치



### 3 사고원인 추정

#### 3.1 원인 추정의 결론

재 처리슈트와 재 처리기 내에서 발생한 가연성가스(수소가스가 주성분)가 슈트 점검구를 통하여 공급된 공기 와 혼합되어 폭발한계 이내인 상태에서 크링커 등의 착화원에 의해 폭발한 것으로 추정되었다.

#### 3.2 원인 추정의 경위

사고 발생의 상황에 비추어 폭발의 원인은 다음의 2가지로 생각할 수 있다.

- 고온의 크링커에 의한 수증기 폭발
- 가연성가스 발생에 의한 가스 폭발

여기에서는 현장조사 및 관련 실험 분석 결과 등에 의해 사고 원인을 추정하였다.

##### (1) 현장조사 결과

###### ① 소각로의 파손 상황

소각로의 재 처리슈트 부분은 열을 받아 변색되거나 팽창하였다. 이 변형은 중심부에서 외측을 향하여 나타났고 특히 중심부에서 점검구로 향하여 흰것이 발견되었다. 또, 방청도료의 변색, 박리 등이 나타난 것으로 보아 연소폭발로 추정된다.

후연소실에서는 재 처리땀퍼 상방의 내벽에 하부로부터의 가스 방출 등의 원인으로 생각되는 부채 모양의 변색이 확인되었다.

슈트 하부의 재 처리기는 변형, 변색이 없었다. 측면의 점검구를 통하여 습한 재가 장치 내에 충전되어 있는 것을 발견하였다.

###### ② 재의 분출

가습기실 내에 재가 퇴적되어 있는 점과, 슈트 측 출입문 내측에 재가 부착되어 있었던 점으로 보아, 재의 폭발에 의해 재 처리슈트에 설치되어 있는 점검구에서 가습기실로 향하여 분출된 것으로 생각된다.

###### ③ 폭발위치 및 착화원

폭발위치는 재 처리슈트 내의 변형으로 보아 재 처리땀퍼 아래의 슈트 내에서 발생한 것으로 추정된다.

크링커의 제거작업에 참여한 직원에 의하면 "크링커를 밀었더니 화재 흔적이 있었다"고 하였다. 또 폭발에 의해 점검구로 부터 분출된 재에 의해 가습기실 내 전기배선의 피복이 녹아 슈트 내에 주입되었다. 이 때문에 사용하던 비닐호스가 용해되었고 여기에 재 입자가 부착되어 슈트 내 온도가 높아져 착화원인이 되었다고 추정할 수 있다.

##### (2) 실험 분석 결과

###### ① 슈트 및 재 처리기 내의 재의 조성

7월 7일과 8월 3일 2회에 걸쳐 현장에서 채취한 재에 대해 형광X선분석법에 의해 알루미늄 함유량을 조사하였다. 그 결과는 표 1과 같다.

소각 재 가운데 알루미늄 함유량은 9.0%였으나 특히 크링커에 함유되어 있던 알루미늄의 양이 11.6%로 높았다. 문헌에 의하면 소각 재 가운데 알루미늄 함유량은 통상 6-8% 이어서, 본 시설의 알루미늄 함유량은 타도시의 것 보다 많았다. 또, X선에 의한 분석 결과 알루미늄 화합물이 확인되었다.

표 1. 시료에 포함된 알루미늄 함유량

시 료 명	채 취 일	알루미늄 함유량
슈트 내에서 분출된 재	7월 7일	9.0 %
압출기 내의 재	8월 3일	9.0 %
압출기 콘베이어의 재	8월 3일	9.0 %
압출기 내에 있던 크링커	8월 3일	11.6 %

② 재에서의 가연성가스 발생 실험

그림 2와 같은 실험장치에 의해 7월 7일에 재 처리슈트에서 분출된 재에 증류수를 주입하여 가연성가스 발생에 대한 실험을 2회 실시하였다.

소각 재와 재에 포함되어 있는 알칼리 성분에 의해 pH 12.0이 되는 물이 공존하면 10~30분 후에 가스가 발생하였다.

이 실험에서 가스의 발생량은 평균 8.1ml/kg·min이고 수소(농도 약 80%)와 메탄(농도 약 2%)의 가연성 가스가 함유되었다. 이는 다른 연구 내용과도 비슷한 결과였다.

(3) 폭발 재해의 추정

① 수증기폭발의 가능성

수증기폭발을 예상한 경우 다음과 같은 가정이 맞지 않는다.

첫째, 슈트 점검구에서 수도 호스로 주입하면서 작업을 시작할 때 물이 고온의 크링커와 접촉하여 슈트 내에서 폭발하였다. 둘째, 후연소실에 있던 고온의 크링커가 재 압출기 내에 떨어져 재의 냉각수와 접촉하여 폭발하였다.

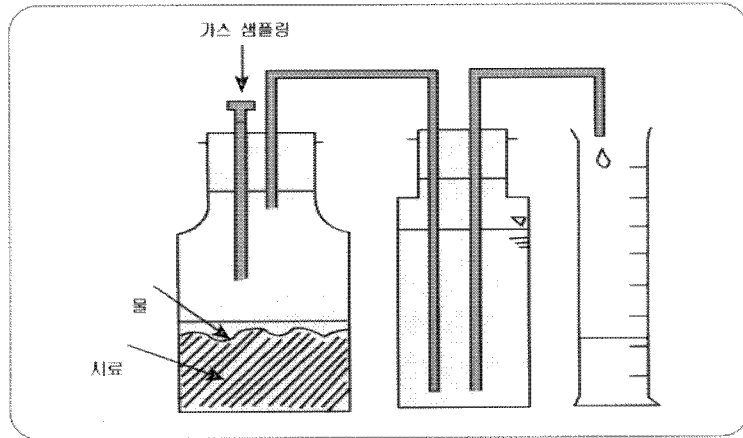
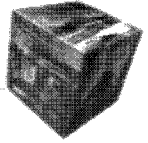
현지 조사 결과, 폭발 위치가 재 처리슈트 내로 추정되는 점, 주수를 시작해서부터 1시간 30분 후에 폭발이 발생하였고, 또 폭발시에는 주수를 하지 않았다는 점 등으로 보아 이번 폭발사고가 수증기폭발이 되었을 가능성은 극히 적다고 추정된다.

② 가연성가스 발생에 의한 가스폭발의 가능성

지금까지의 조사결과 등에서 아래와 같은 가스폭발의 가능성을 시사하는 사실이 밝혀졌다

- 폭발위치는 재 처리슈트 내이고, 연소폭발로 추정된다.
- 슈트 내에서 분출된 재로 인한 가스발생 실험을 통하여, 수소를 주성분으로 하는 가연성가스의 발생이 확인되었다.
- 수소가스는 폭발한계 하한 4%, 상한 75%, 발화점 400℃로서, 연소하한계가 낮고 연소범위 또한 크기 때문에 발화의 조건에 쉽게 충족된다.

또, 가스발생 실험의 결과에서 폭발이 발생한 시간에 수소가스가 슈트 내에서 폭발한계 이상의 농도였을 가능성이 큰 것으로 추정된다. 이상에서 볼 때, 수소가스를 주성분으로 하는 가연성가스가 폭발하였다고 추정된다. 또, 메탄이 폭발의 직접 원인이 되었을 가능성에 대해서는 단정할 수 없었으나 메탄이 공존한 점으로 보아 폭발력이 증가하여 피해가 커졌을 가능성은 부정할 수 없다.



▲ 그림 2. 가스발생 실험장치

## 4 문제점 및 대책

### 4.1 재 처리슈트의 막힘 방지

- (1) 사고의 간접적인 원인은 재 처리슈트의 막힘이었다. 이 막힘은 크링커의 생성에 의해 일어나는 예가 많다. 크링커에 관하여서는 생성 메카니즘이 충분히 해명되어 있지는 않으나 지금까지의 경험으로 보아 발열량이 높고 알루미늄 함유량이 많아서 파쇄물을 소각할 때 생성되기 쉽다고 나타나 있다. 사고가 발생한 소각로에서 소각하고 있는 파쇄물의 불연성가스도 고칼로리이고 알루미늄 함유량이 24%로 많기 때문에 이들을 대량으로 소각하지 않도록 한다.
- (2) 만일 슈트 내에서 막힘이 생기는 경우, 신속히 확인하기 위한 카메라 등의 장치로 감시한다.
- (3) 슈트 내에 온도센서를 설치하여 슈트 내 막힘의 상황을 감시한다.
- (4) 후연소실 하부 호퍼·슈트 내의 가연성가스를 검지하는 수단을 강구한다. 또, 재슈트 부분에 질소가스를 주입하는 밸브를 설치하여 막힘 제거작업을 하기 전에 질소가스를 주입하여 내부의 가연성가스를 치환할 수 있도록 한다.
- (5) 막힘 제거작업을 하는 경우 내부가 아직 적열상태일 때는 충분히 냉각될 때 까지 기다린 후 다시 점검하여 안전하다고 판단한 후에 착수한다. 주수는 수소가스 발생의 원인이 되기 때문에 절대 금지한다.
- (6) 막힘 제거작업의 안전을 확보하기 위하여 개개의 시설에 대한 적절한 작업 요령을 작성한다.

### 4.2 재 압축기의 개선

사고의 발단은 재 압축기가 충분히 작동하지 않았기 때문이라고 생각할 수 있다. 이 시설에서는 이전부터 자주 작동이 불량하였다는 기록이 있고, 또한 사고 방지의 측면에서도 개선이 필요하였다.

사고가 발생한 설비의 재 압축기를 점검한 결과 커다란 크링커가 장치 내에서 발견되어, 막힘의 원인에 이르지 않았으나 그 비중은 재 압축기의 압출능력보다 훨씬 컸다.

재 압축기의 압출 능력 평가는 중요한 과제이다. 이 시설에는 사고 후에 약 2억원을 투자하여 카메라, 가연성 가스 검출기의 설치 및 재 압축기의 압출 능력 확대 등과 같은 개선이 있었으며 현재까지 1건의 폭발사고도 일어나지 않았다.