# 폐기물에 의한 화재·폭발위험과 재해사례

명지대학교 안전경영연구소
정의수 박사

우리나라에서는 2006년에 하루 약 32만톤의 폐기물이 발생(생활폐기물 15.3%, 사업장폐기물 31.7%, 건설폐기물 53.0%)하여 약 27만톤 재활용(83.5%), 1만7천톤 소각(5.4%), 2만5천톤을 매립(8.0%)하고 있다. 전국에는 294개소의 매립지(지방자치단체 251개소, 자가시설 43개소)와 2,028개의 소각시설(자치단체 201개소, 처리업체 77개소, 자가처리 1,750개소-생활폐기물 181개소, 사업장폐기물 1,569개소) 및 685개소의 중간처리업체가 운영되고 있다. 또한 압축·파쇄·건조·고형화 등의 시설도 392개 업소(지방자치단체 346개 업소, 자가처리업소 46개업소)가 운영되고 있다.

이들 장소에서의 화재·폭발사고 통계는 미상이다. 다만 소방방재청에서 발표한 2007년도 전국 화재발생현황을 보면 총 47,760건의 화재 중에서 생활폐기물 등 쓰레기류에서 착화 발생한 화재건수는 5,800건(12.1%)으로 집계하고 있다.

한편 한국표준산업분류(통계청 고시 제2007-53호, 2008.2.1)에서는 폐기물처리 및 이를 재활용하는 원료재생업을 「D 제조업」 범위에서 제외하고 「E 하수·폐기물처리, 원료재생 및 환경복원업」으로 재분류하였다.

본 고에서는 폐기물처리장에서의 화재 및 폭발위험에 대하여 정리하고자 한다.

## 1. 용어의 정리

쓰레기, 연소재(燃燒滓), 오니(汚泥), 폐유(廢油), 폐산(廢酸), 폐알칼리 및 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 폐기물이라고 하며, 이를 소각(燒却)·중화(中和)·파쇄(破碎)·고형화(固形化) 등의 중간처리(또는 재활용)와 매립, 해역(海域)으로 배출하는 등의 최종처리를 하는 것을 처리라고 한다.

### (1) 폐기물 처리업

매립, 소각 등 여러 가지 수단에 의하여 유해성 또는 무해성 폐기물(건설폐기물, 방사설폐기물 포함)을 운반수집, 처리 또는 처분하는 산업활동을 말한다.

### (2) 지정외 폐기물 처리업

가정 또는 사업장에서 배출되는 생활폐기물 등의 무해폐기물(지정외 폐기물)을 매립, 소각 등의 방법으로 처리하는 시설을 운영하는 산업활동으로 부수적으로 열과 증기를 생산할 수 있다.

### (3) 지정 폐기물 처리업

유기성 폐기물, 의료폐기물, 폐유, 폐산 등의 유해폐기물(지정폐기물)을 처리하는 시설을 운영하는 산업활동을 말하며, 폐수오니, 의료적출물, 동물사체 및 지정폐기물이 해당된다.

### (4) 건설 폐기물 처리업

건설관련 폐기물(건물 해체물 등)의 처리시설을 운영하는 산업활동(광재 및 폐주물사 처리 포함)을 말하며, 부수적으로 처리과정에서 재활용골재를 얻을 수 있다.

### (5) 금속 및 비금속 원료 재생업

폐기물, 스크랩, 기타 폐품 등을 처리하여 재생용 금속 또는 비금속 원료 물질로 전환하는 산업활동(이 활동에는 일반적으로 기계적, 화학적 전환공정이 있음)과 연속적으로 투입되는 폐기물로부터 금속 또는 비금속 원료물질을 분류, 분리하여 회수하는 활동이 포함된다. 여기에서 비금속 원료 재생업에 포함되는 공정은 다음과 같다.

- 폐유리 분쇄 및 선별
- 폐타이어로부터 고무분말 생산
- 플라스틱 또는 고무폐기물을 과립상으로 가공(세척, 용해, 연마)
- 재생용 종이를 이용하여 종이원료를 생산

## 2. 일본의 폐기물사고(화재, 폭발)와 특징

폐기물에 의한 화재·폭발은 인명 및 재산상의 피해, 사업중지 뿐만 아니라, 화재시 발생하는 유해가스로 인한 대기오염, 토양오염, 소화수에 의한 하천이나 지하수의 오염 등 환경오염에도 영향을 미치고 있다. 특히 퇴적폐기물의 양과 발열량 및 연소특성과 밀폐구조의 공정시설로 인하여 소화작업이 용이하지 않으며, 경우에 따라서는 장기간(2002년 사이다마현 화재 : 19일간 연소, 2004년 나카사키현 화재 : 13개월 연소, 2004년 후쿠오카현 화재 : 12개월 연소 등) 지속되어 피해지역 주민들은 악취, 천식, 가려움 등 건강상의 위협과 경제적 피해를 받고 있다.

### (1) 화재·폭발 사례

1997년부터 2001년까지 5년간 동경소방청관내에서 발생한 일반 및 산업폐기물 화재는 70건이 있었으며, 일본폐기물처리시설기술관리자협의회의 사고사례조사보고서에서는 1996년부터 2003년까지 1,447건의 사고가 발생하고 이중 화재 205건, 폭발 211건이 발생하였다고 조사되었다. 또한 가나가와현(神奈川縣) 산업기술종합연구소에서 정리한 2005년 상반기 폐기물화재, 폭발사고 사례를 [표 1]과 같이 볼 수 있다.

## [표 1] 2005년 상반기 폐기물에 의한 화재폭발

| 사고년월 | 장소 | 사 고 개 요 | 사고형태 |
|---|---|---|---|
| 2005.10 | 大阪 | 사업폐기물처리업에서 수회의 폭발이 일어나 철골조 단층 건물 380제곱미터가 소실되고, 주변에 주차중이던 트레일러 등 약 20대가 소손되었다. 작업자 1명이 사망하였다. 불길은 일시에 수십미터를 올라가고 1시간 30분 가까이 지속되었다. | 용재폭연 |
| 2005.8 | 北海道 | 발전소내 폐플라스틱저장탱크에서 출화, 탱크내의 폐플라스틱을 태웠다. 폐플라스틱의 파쇄열 또는 혼입된 철부스러기와의 마찰열로 발화가능성이 있다. 이 발전소는 폐플라스틱만을 연료로 사용하는 세계최초의 플랜트이다. | **퇴적화재** |
| 2005.6 | 愛知 | 폐타이어나 타이어 재단 칩 적치장에서의 화재로 백 수십톤의 타이어와 트레일러를 소실하고 13시간 후 진화되었다. | **퇴적화재** |
| 2005.6 | 愛媛 | 산업폐기물처리회사의 피트에서 출화되어 소각용 골판지, 목재부스러기등을 태우고 4시간 반후 진화되었다. | **퇴적화재** |
| 2005.6 | 岐阜 | 산업폐기물 중간처리회사의 야적된 폐목재에서 화재가 발생하여 40시간 후에 진화되었다. | **퇴적화재** |
| 2005.5 | 三重 | RDF제조시설의 파쇄기와 집진기를 연결하는 배관에서 화재가 발생하였다. 내부에 약 60℃의 RDF찌꺼기가 축열발화한 것으로 보고 있다. | **퇴적화재** |
| 2005.5 | 福岡 | 산업폐기물 소각공장의 폐플라스틱이나 기름오니보관장소에서 발화, 3사람이 화상을 입었다. 소각로에 크레인으로 기름오니를 투입중에 크레인 에 착화되고 기름오니에 연소되었다. | 작업중 화재 |
| 2005.4 | 秋田 | 시영청소센터의 불연물처리 파쇄기실에서 폭발이 있었다. 부상당한 사람은 없었지만 파쇄기 커버가 뒤집히고 입구의 철문빗장이 휘었다. | 기체폭발 |
| 2005.4 | 山口 | 철강리사이클업의 폐스프레이캔이나 리튬전지 등을 보관하는 창고에서 출화, 폭발하였다. 소규모 폭발이 반복되면서 창고 2개동이 전소되었다. 소방대원은 연기흡입으로 병원으로 후송되었다. | 반응폭발 |
| 2005.2 | 群馬 | 산업폐기물 분리처리장 약 700제곱미터가 연소되었다. 플라스틱이나 철부스러기 등이 약 5미터 높이로 쌓여 있었고, 출화당시에는 조업은 끝난 상태였다. | **퇴적화재** |
| 2005.2 | 大阪 | 산업폐기물처리시설에서의 폭발로 종업원 2명이 화상을 입었다. 트럭이 오니를 적재후 알루미늄 폐자재를 쌓으려고 할 때 폭발이 일어났다. 불꽃은 흑색이고, 황색, 청색의 연기가 맹렬히 올랐다. 오니중의 산이나 알칼리를 중화제거하고 고온으로 소각하고, 건조농축하는 공정이 있다. | 반응폭발 |
| 2005.2 | 長野 | 폐기물처리업의 공장이 전소되었다. 발포 스티로폼의 용해로가 누설되어 화원이 된 것으로 보고 있다. | 누설화재 |
| 2005.2 | 大阪 | 쓰레기 처리시설의 파쇄처리시설내에서 폭발이 있어 종업원이 부상을 입었다. 파쇄기에 쓰레기를 운반하는 벨트 콘베이어 위에서 가정용 가스봄베가 파열되었다. | 기체폭발 |

위 화재・폭발사고 13건 중에서 퇴적물의 축열화재가 6건을 차지하고 있다. 소각시에 발생하는 다이옥신에 대한 대책이 지연되어 소각할 수 없어 퇴적되기도 하고, 리사이클을 위해 저장된 야적 산업폐기물, 폐타이어, 생활폐기물 고형연료제품(RDF, Refuse Derived Fuel)과 폐플라스틱 고형연료제품(RPF, Refuse Plastic Fuel), 목분칩(바이오매스 연료대응) 등의 퇴적물이 증가되어 축열화재가 증가하고 있다. 축열화재는 발열과 방열의 불균형에 의해 발생하며, 초기발열의 유무나 크기, 퇴적량이나 퇴적상태가 커다란 요인이 된다. 폐기물은 종류에 따라 발열상태가 달라서 이 점을 고려하여 위험성의 사전평가를 할 필요가 있다. 2005년 이전의 퇴적 폐기물의 화재사례는 다음과 같다.

**[표 2] 퇴적 폐기물의 축열화재 사례**

| 일시 | 장소 | 사 고 개 요 |
|---|---|---|
| 1996.9 | 三重 | 사업폐기물의 최종처리장에서 야적 폐기물이 축열발화하였다. 8,000㎥의 폐기물이 20시간이상 연소 후 진화되었다. 소방서 신고지연이 화재확대 요인이 되었다. |
| 2001.4 | 千葉 | 건축폐자재 등 산업폐기물의 퇴적장에서 발생한 화재는 5일이상 지속되었다. 화재현장에서 소화수를 확보할 수 없어 1km이상 떨어진 저수조의 물을 사용하였다. |
| 2002.4 | 埼玉 | 높이 15m로 쌓아 올린 산업폐기물 보관장에서 화재가 발생하여 대량의 연기, 재가 주변으로 날리고, 19일간 연소가 지속되었다. 이 화재로 인접공장이 전소되었다. |
| 2002.11 | 沖繩 | 산업폐기물처리시설에서 화재가 발생하여 5개월 이상 계속되었다. 167명의 주민가운데 50명이 피난하고 7명이 호흡기계통 이상으로 입원하였다. 그 후에도 연소가 지속되고 악위가 발생하여 몸의 이상을 호소하는 주민이 속출되었다.<br>소각재와 산업폐기물을 동시에 매립하였기 때문에 소각재의 여열에 의해 산업폐기물이 축열화재로 된 것으로 추정하였다. |
| 2000.11 | 滋賀 | 일반폐기물의 파쇄처리시설내에 파쇄쓰레기를 반송하는 벨트 콘베이어 부근에서 출화하였다. 직원이 초기진화를 시도하였지만 실패하고 공공소방대가 출동하였다. 현장내 현기가 자욱하고, 설비구조가 복잡하여 소화에 3시간30분이상 소요되었다. |
| 2002.5 | 東京 | 불연물처리시설의 벨트 콘베이어부분에서 발화하였다. 소화를 위해 시설내의 발화장소로 향하던 소방관 1명이 순직하였다. 그때까지도 파쇄된 쓰레기의 여열에 의해 발화가 때때로 일어나고 있었지만 근본적인 대응책은 없었다. |

### (2) 폐기물, 리사이클 고유의 화재폭발

① 밀폐

폐기물은 악취가 나기 때문에 밀폐구조로 된 시설이 많아 화재시 살수나 소화활동이 어렵고, 화재시 발생된 유해가스나 가연성가스가 시설 내에 충만해서 2차적 피해를 일으킨 사례도 있다. 불연쓰레기의 파쇄시설에서는 스프레이캔에 의한 사고가 많으며, 방폭구조가 없는 시설에서도 큰 손해가 발생한다.

☞ 사례) 폐기물 파쇄시설이나 소각시설의 반송 콘베이어 화재는 분진의 비산방지를 위해서 밀폐식인 경우가 많아 화재감지 및 화재시 방수가 곤란하다. 이 때문에 반송 콘베이어 화재에서 큰 피해가 발생한 예가 적지않다. 2002년 동경에서 일어난 불연물처리시설의 콘베이어 화재에서는 밀폐구조인 시설에서 연기에 휩싸인 소방관이 중독 사망하였다.

② 축열

가. 발효에 의한 초기발열 : RDF, 목재칩

목초나 왕겨 등의 저장중 발효에 의한 화재와 같이 RDF나 목재칩도 같은 원인으로 화재가 발생하기도 한다. RDF는 가연쓰레기를 가열압축하여 반송이나 저장에 편리하도록 만든 연료로 가열 압축시 여열이나 생쓰레기의 발효발열이 진행되어 축열화재의 위험성이 있다. 폐기물에 의한 에너지 회수를 목적으로 폐기물을 가공하여 만드는 RDF와 RPF, 분뇨의 발전용연료 처리에 있어서 메탄 등의 발효가스누설 위험성도 지적되고 있다.

*** 고형연료제품**

고형연료제품의 품질 및 등급기준은 「자원의 절약과 재활용촉진법」 시행규칙 별표7에서 고형연료제품의 발열량 등으로 구분하며, 발열량은 6,500Kcal/kg이상(1등급)~3,500Kcal/kg이상(4등급)으로 구분하고 있다(연탄의 발열량은 4,600Kcal/kg이상-KS E 3731). 형상은 직경 30mm(RDF)~50mm(RPF)이하, 길이는 100mm이하이다. 일본의 清水芳忠 등의 연소실험에서 지류·포류 25~65w%, 합성수지·고무류 12~32w%, 나무·대나무·볏짚류 1~10w%, 먼지·쓰레기 8~50w%, 불연물류 0~3w%의 RDF 시료로서 발화온도를 측정한 결과 시료에 따라 차이가 있으나 발화온도는 174℃이고 시료온도가 80℃부근까지 상승하면 산화분해에 의해 발화온도까지 상승할 가능성이 있는 것으로 판명되었다.

**[표 3] RDF 사고 사례**

| 일시 | 장소 | RDF 화재·폭발 사고개요 |
|---|---|---|
| 2003.8.19 | 三重 | RDF를 연료로 사용하는 발전소의 RDF저장탱크(H:25m)에서 훈소중(최초확인: 7/20 수증기발생, 7/27 발열, 발화확인)이던 탱크의 소화작업을 위해 소방관, 발전소관계자 10 여명이 방수작업을 하던중 폭발(탱크지붕은 날아감)하여 소방관 2명이 사망하고 1명이 부상을 입었다. 이 탱크는 사고일 5일전에도 폭발사고가 발생하여 4명이 부상을 당했으며, 7월에는 동 탱크용 RDF를 임시저장하는 스즈카시의 창고에서도 자연발화가 발생하였다. 이 발전소는 2002년 12월 가동 후 저장탱크 하부에서 이상발열로 RDF 일부 소손 경험이 있었다. 이 사고를 계기로 전국의 RDF발전소 15개소에 대한 사고조사워킹그룹이 설치되었고 2003.11.22 사고조사 최종보고서가 제출되었다. 이보고서에서 RDF가 발열, 발화단계에서 열분해에 의한 가연성가스가 발생하고, 일부는 혐기성균에 의한 발효로 발생한 가연성가스가 축적되어 공기의 혼입, 화원의 발생으로 폭발이 용이하게 발생한 것으로 기술하였다. |

| | | |
|---|---|---|
| 2003.7 | 静岡 | RDF처리센터의 시험운전중 폭발사고가 발생하여 완공이 1년 지연되었으며, 화재 등의 고장으로 유지관리비가 7배이상 소요되어 동 시설의 건설 4개사를 상대로 79억엔의 손해배상소송을 제기하였다. |

나. 저온에서의 산소산화 : 폐타이어, 폐유처리용 활성백토, 폐플라스틱 등

불포화 탄화수소를 함유하고 있는 물질의 전형적인 화재는 튀김시에 발생하는 튀김 부스러기 화재이다. 열화된 타이어나 플라스틱류도 비교적 저온에서 산화에 의해 발열이 일어난다. 특히 열화된 타이어는 균열되거나 분자구조 변화에 의해 산화되기 쉽고 흑색의 타이어가 태양열을 흡수하기 쉬워 화재가 적지 않은 것이며 일단 화재가 발생하면 타이어의 연소열이 크고 소화가 용이하지 않으며 장시간 연소가 계속되기 때문에 인접건물이 있다면 유소(類燒)의 위험이 있다.

다. 금속성분과 물과의 반응 : 슈레더 분진

슈레더 분진은 과거에는 자동차 폐차장에서 금속분이나 배터리, 타이어, 범퍼 등을 제거한 후의 파쇄분이였지만 최근에는 폐가전처리에 의한 슈레더 분진도 발생하고 있다. 섬유분이나 폴리우레탄폼은 엔진유 등에 함침되어 산화되기 쉬운 상태로 된다.

슈레더 분진(을 포함하는 고형물, Automobile Shredder Residue, ASR)의 자연발화현상을 보면 ASR은 자기발열성이 있고 지극히 축열성이 높아 비교적 150℃정도의 저온에서도 자기발열하는 물질을 가지고 있으며, 분진의 온도가 약 200℃에 달하면 자기발열반응은 급격히 촉진되어 발화에 이르고 약 230℃가 되면 고농도(폭발한계)의 수소가스가 검출된다. 따라서 자연발화는 자기발열과 내부에서 발생하는 수소가스에 의한 연소로 판단된다.

**[표 4] 슈레더 분진에 의한 화재사례**

| 일시 | 장소 | 사 고 개 요 |
|---|---|---|
| 1995 ~ 1997 | 愛知 | 경자동차 슈레더 분진 퇴적장에서 과거 3년간에 12회의 화재가 발생하였다. 플라스틱 함유량이 많았고 발화하면 검은 연기를 심하게 내기 때문에 환경피해도 컸다. |
| 1990 ~ 2000 | 三重 | 전국의 슈레더 분진의 1/3이 집적하는 우에노(上野)시내에는 과거 10년간 4회의 커다란 슈레더 분진 화재가 발생하였다. |
| 1996.9 | 三重 | 산업폐기물 집적장의 슈레더 분진 퇴적장의 상부에서 화재가 발생하여 14,500㎥을 소손하였다. 중장비로 붕괴시켜 방수하고 모래를 뿌리는 소화작업을 반복하였다. |
| 1999 | 宮城 | 슈레더 분진을 가열압축하여서 감량화하는 공정에서 여열에 의한 산화반응이 가속되어 축열에 의한 출화가 되었다. |
| 2000 | 廣島 | 폐가전제품이나 폐차의 해체처리에서 발생하는 슈러더 분진에서 출화하였다. 소화수가 부근의 강에 흘러 들어갈 위험성이 있었다 |

라. 공정에서 가해지는 열(건조, 성형, 파쇄, 마찰) : RFP, 연료용 폐플라스틱

폐기물의 파쇄나 가열성형에 의한 열을 방열하지 않고 퇴적하면 화재위험성이 있다.

마. 원인이 복합적인 발열

쓰레기 피트나 대량으로 야적된 폐기물은 발효열, 산화열, 산화칼슘등 물과 반응하는 물질과 접촉, 담뱃불 등의 점화원 등 다양한 화재위험성을 내포하고 있다.

#### (3) 위험물질의 혼입에 의한 화재폭발

일반폐기물 처리시설에서 다량의 라이터, 휴대용 가스봄베, 스프레이캔, 도료캔, 불발폭탄 등은 대부분 수작업으로 선별되므로 선별작업에서 놓쳐 소각로나 파쇄장치를 파손시키는 예가 있다. 1995년 가나가와현 폐기물소각시설의 소각로에 대량의 알루미늄이 혼입되고 알루미늄 재가 소각로 하부의 호퍼슈트에 괴상의 재(크링커)를 형성하여 소각로 운전이 정지되었다. 이 크링커에 살수를 하여 수소가스 폭발사고가 슈트내부에서 발생하고 점검구로부터 고온가스와 재가 분출하였다. 이로 인해 1명이 사망하고 2명이 부상을 입는 인명피해가 있었다.

#### (4) 누설에 의한 화재폭발

리사이클과 관련하여 발생되는 위험으로 일반폐기물로서 분리수집된 폐플라스틱을 유화시키는 파이롯트 플랜트에서 용융플라스틱이 누설되어 화재가 발생하고 시설이 소실되었다. 폐플라스틱 유화시설에서 열이력을 받은 플라스틱의 발화온도를 높게 예상하여 위험인식이 희박했다. 화재안전시나리오상에서 보면 공정안전 검토가 불충분하였다.

#### (5) 퇴비화 과정에서 과열에 의한 화재폭발

2003년 가나가와현(神奈川縣)의 수퍼마켓에서 발생쓰레기를 퇴비화하는 장치실에서 화재가 발생한 후 폭발하였다. 수건의 유사화재가 발생된 것으로 판명되었다.

## 3. 결언

폐기물은 다양한 물질로 구성되어 있으나 이에 대한 위험성은 가연성, 부식성, 반응성, 독성, 폭발성, 방사성 및 생물학적 위험성 등으로 요약될 수 있다. 예전에는 폐기물 자체가 재생공업원료 또는 재생에너지 이전에 소각, 매립의 대상이었고, 경제적 가치가 적어 관심이 저조하였지만, 환경에 대한 관심이 증대되고 폐기물이 재생자원화되면서 화재위험과 관련하여 적극적 관리의 대상으로 바뀌었다. 따라서 폐기물관련 시설에서 재생자원의 확보와 아울러 화재·폭발위험의 수준을 평가하고 대응대책을 수립하기 위해서는 국내사례의 데이터베이스 구축과 발화메커니즘에 대한 연구와 실험이 필요할 것이다.

## <참고문헌>

1. 若倉正英(2006), “廢棄物による火災爆發の特徵と危險性評価について”, 豫防時報, Vol.224, P36～41
2. 若倉正英, 廢棄物の蓄熱火災, 神奈川縣産業技術總合研究所
3. 통계청(2007), “한국표준산업분류(통계청 고시 제 2007-53호, 2007. 12. 28)”
4. 통계청(2000), “한국표준산업분류(통계청 고시 제 2000-1호, 2000. 1. 7)”
5. 소방방재청(2008), “2007 및 2007.12월 화재분석”
6. 清水芳忠, 内田剛史,若倉正英, 新井充(2007), ごみ固形燃料の熱危險性評価, 2007 연구보고, 神奈川縣産業技術センター
7. 若倉正英(2008), “廢棄物の安全”, TIISニュース, No. 231, (社)産業安全技術協會
8. 科學技術振興機構, “一般廢棄物燒却施設における水素ガスの爆發事故”, http://www.jst.go.jp/
9. 荻原 瑠외 6인(2006), “廢棄物處理施設における事故事例解析及び安全管理システムの構築”, 神奈川縣産學公交流研究發表會, 神奈川縣産業技術センター

* 본 자료는 정의수 박사(전 화재보험협회 이사)님께서 작성해주셨습니다.