

# 최근의 금속공장 분진폭발사고에 대하여

사례연구

지난 호에 이어 금속공장에서 발생하는 분진폭발 사고에 관해서 현황 및 사례를 소개한다.

## 1. 머리말

최근 제강, 주조 금속가공 등의 금속공장에서 폭발사고가 많이 발생하고 있다. 금속공장에서의 폭발사고는 통상 작업과정 중에서는 예상할 수 없는 격렬한 폭발이 되는 경우가 고온의 용융금속이나 금속입자가 연소하면서 주위에 비산하기 때문에 인적·물적손해가 크게 일어나기 쉽다. 또한 폭발 전·후에 화재가 난 경우에는 소화에 시간이 걸려 피해가 커지는 경우도 있다. 이것은 금속 연소시에 주수하면 수소가 발생하거나 수증기 폭발위험이 있어 소화방법으로 마른 모래나 전용 소화약제를 채택하기 때문에 화재진압에 시간이 걸리는 것이다.

실제로 알루미늄공장 화재에서 주수 때문에 수증기폭발이 일어나 커다란 사고가 난 경우도 있고, 마그네슘과 같이 공기 중은 물론 질소나 이산화탄소소화약제를 쓰는 기체 중에서도 연소성질을 갖는 것도 있다.

금속공장에서의 전형적인 폭발사고는 금속분말에 의한 분진폭발과 용융금속과 물의 접촉에 의한 수증기 폭발이 있지만 그것은 결코 새

로운 현상이 아니고 전부터 알려져 왔던 것이다. 최근의 연구에서도 이런 폭발현상에 대해 설명되어 왔다. 이에 대해 실제에 일어나는 사고는 생산기술의 혁신이나 다양한 공업제품의 출현과 함께 그 형태는 변하고 있으며 발생건수도 많아지고 있다. 더구나 사고 발생에 있어 규모나 확률적인 면이 있어 실험적인 증명을 하는 것이나 상세한 검토 및 발생예측도 어려운 경우가 많다. 이러한 폭발사고에 관해 최근의 경향을 소개한다.

## 2. 폭발재해

과거의 금속공장 폭발재해사례에서는 금속재료나 분진폭발에 관해서 소개하고 있다. 여기에서는 폭발재해 중에서 금속분진에 의한 것을 주로 소개한다.

표 1에서는 과거 30년 동안 일본에서 분진폭발 발생상황을 나타내고 있다. 와세다대학 공학종합연구센터의 재해정보센터 데이터베이스 및 신문기사 정리내용과 1971부터 1980년까지의 분진폭발 재해발생통계도 참고하였다.

<표1> 분진폭발 발생상황

연 도	발생건수	사망자수	부상자수	금 속 류		
				발생건수	사망자수	부상자수
1971 ~1980	75	23	159	18	8	16
1981 ~1990	35	9	53	15	6	29
1991 ~2000	19	14	60	12	7	21

**<표2> 분진 종류별 폭발발생현황  
(1991~2000)**

분진의 종류	사고건수	사망자수	부상자수
금속	12	7	21
마그네슘	6	3	16
마그나륨	2	3	1
알루미늄	1	0	3
철	1	0	0
기타금속	2	1	1
기타	7	7	39
황	1	0	2
석탄	1	0	2
목분	1	2	11
소맥분	1	0	0
송지	1	0	3
고무류	1	5	21
무기약품	1	0	0

과거 30년을 10년 단위로 보면 분진폭발 전체의 발생건수는 감소하는 경향을 나타내고 있는데 비하여 금속류에 관한 건수는 그다지 감소하지 않았으며, 특히 사상자수는 감소경향이 보이지 않는다. 또한 분진폭발 전체에서 금속 분진폭발 발생비율은 1971~1980년이 24%, 1981~1990년이 43%, 1991~2000년에는 63%의 증가경향을 나타내고 있다. 최근 10년간 분진 종류별로 폭발 발생현황은 표 2와 같다. 마그네슘 폭발이 제일 많고 그 다음이 마그나륨, 알루미늄의 순이다. 10년 간의 발생건수는 많다고 할 수 없으나 황, 석탄 등 금속이외의 것과의 비교해서 2배 정도이다. 특히 최근 수년간 많아지고 있다. 금속분진의 폭발사고에 있어서 공정별 발생건수는 표 3과 같이 연마공정(부수된 집진기 관련 사고도 포함)이 두드러지게 많다.

착화원인을 보면 분진폭발은 마찰, 충격, 정

전기의 비율이 많다고는 하지만 최근의 사례에서도 용접불꽃과 같이 명확한 경우를 제외하면 같은 경향이라고 생각될 수 있지만 사고 데이터베이스를 근거로 단정하기는 어렵다.

**<표3> 공정별 금속분진 폭발발생현황  
(1991~2000)**

공정	발생건수
연마	7
분쇄	3
수송	1
기타	1

### 3. 최근의 발생사례

표 4에서는 최근 수년간 주요 금속공장에서의 금속분진 사고를 기록하였다.

사고사례는 신문, 안전공학협회지, 화재학회지 등의 사례보고와 산업기술종합연구소 데이터베이스 및 와세다대학 재해정보센터 데이터베이스를 이용하였다. 가능한 한 많은 사례를 모아서 해석할 필요가 있지만 폭발사고 전체나 각각의 사고내용을 상세히 파악하는 것은 곤란하다. 예를 들어 최근의 사고라도 신문기사, 공공기관의 정보데이터베이스에 등재되어 있지 않았고, 사고발생을 확인할 수 없는 경우나 확인하였다 하더라도 당사자 연락만으로는 사고의 상황파악이나 세부내용을 확인하기에는 어려운 경우가 있어 이러한 사고는 표에서 제외하였다. 사고를 방지하기 위해서는 사고정보가 유용하며 위협예지에도 도움이 된다.

#### 3.1 분진폭발

분진폭발에 관해서 발화온도, 최소발화에너지, 폭발한계, 압력상승속도 등의 특성치는 여러 가지 값이 보고되었다. 이들 특성치가 측정장치

<표4> 금속공장의 폭발사고(금속분 사고) 사례

사례	발생일시·장소	업종	사 고 개 요
1	1997. 4. 22 18:45 후쿠오카현	제조공장	탄탈(Ta)분말제조공장에서 공장 밖에 설치한 높이 6m의 대형 집진기 내에 부착된 탄탈분과 쓰레기 등을 외측으로부터 플라스틱 제 헬머로 두드리면서 집진기 하부의 흡퍼에 붙은 비대전성 폴리백주머니에 넣는 작업 중에 갑자기 발화했다. 사망 1명, 부상 1명
2	1998. 9. 17 17:55 야마나시현	가공공장	마그네슘 부품의 연마가공공정에서 발생한 마그네슘분진을 집진기에 모아 작업종료 후에 집진기를 청소하던 중에 폭발했다. 사망 1명, 부상 1명
3	1999. 1. 10 10:10 야마나시현	가공공장	건식 마그네슘 집진기 개량공사를 위해 집진기 내의 필터를 꺼내고 기계내부에 쌓인 분진을 손으로 모으면서 진공청소기로 흡인을 시작할 무렵 갑자기 폭발했다. 폭발규모는 작지만 2차 화재에 의해 공장이 전소했다. 사망 1명, 부상 1명
4	1999. 5. 11 13:05 도야마현	제조공장	페로망간을 분쇄할 때 화재가 발생, 집진기 가동을 정지하고 물로 소화한 후 진압여부를 확인하던 중에 집진덕트가 폭발했다. 합금분말이 물과 반응하여 발생된 수소가스가 폭발한 것으로 추정. 사망 2명
5	1999. 12. 13 17:30 이와테현	가공공장	휴대전화부품을 제조하는 과정에서 발생한 마그네슘분진을 옥외에 배출하는 방폭형 배출기가 폭발하여 유리창이 파손되었다. 배풍기의 상태가 나빠 고무 덕트호스를 다른 배풍기에 연결하려고 할 때 폭발했다. 부상 8명
6	2000. 4. 21 13:10 치바현	제조공장	마그네슘과 알루미늄의 합금(마그나륨)을 MIII을 사용하여 기는 분말로 분쇄 및 체로 치는 공정 중에 분진이 폭발했다. 부상 8명
7	2000. 6. 24 11:30 기타큐슈시	제조공장	바닥의 알루미늄 분말에 용접불똥이 떨어져 불이 붙어 초기진압했다. 그 후 부근의 금속분말탱크에서 알루미늄분말을 꺼내는 작업 중 공기 증으로 흩어진 알루미늄분말이 타다 남은 잔불에 인화되어 폭발했다. 부상 3명
8	2000. 9. 4 8:50 가나가와현	가공공장	건식집진기 밑에 쌓인 마그네슘가루를 공기식 청소기(모터 없음)로 흡입 중 폭발했다. 사망1명, 부상1명
9	2000. 11. 24 11:22 도쿄마찌다시	가공공장	마그네슘합금 연마작업장에 설치된 습식집진기의 수조에서 물을 뺀 후에 덕트를 연결하기 위해 용접작업을 할 무렵 집진기가 폭발한 것으로 쌓여진 마그네슘 가루에 인화된 것으로 보인다. 건물 외벽이 날아가 버렸다. 부상 5명
10	2001. 8. 1 17:00 미야기현	제조공장	마그네슘 합금을 연마하던 중 집진덕트 내에서 폭발했다. 집진기는 습식을 사용함.

의 영향과 분체 분산도의 불균일이 생기는 것에 의해 동일조건에서 실험을 했어도 같은 결과를 얻는데는 한계가 있다. 표 5는 금속분진 폭발특성치를 계통적으로 측정한 것으로서 폭발의 격

렬함 순서에 해당하는 폭발시의 압력상승속도 순으로 작성하였다. 이것은 밀폐공간에서 폭발할 때 압력개방에 관한 것을 고려하기 때문이다. 표 중에서 티타늄보다 위에 기록된 물질은 평균

압력 상승속도가 높아 위험한 물질이다. 사고 예에 있는 마그네슘, 마그나륨, 알루미늄은 모두 최소 착화에너지도 낮고, 위험성이 높다.

표 5의 폭발특성은 입도 뿐만 아니라 분체의 제조방법에 따라서도 큰 변화가 있음을 알 수 있다. 또한 공존하는 유기물에 의해서도 영향을 받는다.

사례 1에서 중금속 탈탄은 분진폭발 위험성이 적은 것으로 보이나 알루미늄이나 알루미늄정도는 아니지만 퇴적된 가루에서는 최소 착화에너지가 적어 쉽게 발화됨을 알 수 있다. 이와 관련하여 금속계 신소재에 관한 폭발특성치가 보고되어 있다. 사례 2, 3, 5, 8, 9, 10은 모두 마그네슘 합금의 연마공정에서 발생한 사례이다. 마그네슘은 일반금속과 달리 적당한 물기를 함유

한 부스러기나 미분은 나화에 의해 쉽게 착화하여 격렬한 연소를 하기도 하고, 대기중의 이산화탄소나 아황산가스, 습기와 반응하므로 취급에 주의할 필요가 있다. 그렇지만 근래 Mini Disk, CD플레이어 노트북, 휴대전화, 디지털카메라 등 휴대용기기의 구조제로서 가볍고 튼튼한 마그네슘합금의 사용이 많아지게 되고, 이런 물품의 수요증대에 따른 사고가 많아졌다.

마그네슘합금의 표면가공에서 발생하는 문제점은

- ① 형틀에 주입할 때 표면 파문이나 잡물제거를 할 필요가 있다.
- ② 발화하기 쉬운 분진이 발생한다.
- ③ 형상이 복잡하기 때문에 가공공정을 자동화하기에 어려운 점이 있다.

<표5> 금속분진 폭발특성

물질명	부유분진 발화온도(℃)	최소발화 에너지(mJ)	폭발하한계 농도(g/m <sup>3</sup> )	최대폭발 압력(MPa)	평균압력 상승속도(MPa/s)
마그네슘 (스텐프법)	520	20	20	0.50	30.34
마그나륨 (50:50)	535	80	50	0.42	15.51
알루미늄 (스텐프법)	645	20	35	0.61	14.82
마그네슘 (분쇄법)	520	80	20	0.45	10.34
지르코늄	실온	15	40	0.29	10.00
알루미늄 (어드마이즈법)	700	50	40	0.40	7.24
마그네슘 (어드마이즈법)	600	240	30	0.39	5.17
티타늄	480	120	45	0.30	5.17
규소	755	900	160	0.43	3.10
주석	630	160	190	0.18	1.72
망간	450	120	210	0.17	1.38
나트륨	500	60	220	0.23	1.38
아연	680	900	500	0.09	1.03

또한 연마분진을 모으는 집진기와 관련된 문제점은 건식집진기의 값이 싸고 집진효율이 좋기 때문에 많이 사용되고 있고 내부의 백필터, 하부에 분진잔류, 집진기를 연결하는 덕트 내 굴곡부 및 플렉시블 배관 등에 분진퇴적이 있다. 이런 퇴적물에 의해 연마 중에 발화폭발이 일어나기도 하고 집진기 내부 청소시에 발화폭발한 사례가 나타난다. 또한 퇴적분진이 있으면 1차 폭발에 의해 다량의 분진을 분산시켜서 피해를 크게 만든다. 습식집진기를 사용해도 사례 10과 같이 집진기에 연결된 덕트내 분진폭발이 일어나기도 하고 사례 9와 같이 습식 집진기를 개조할 때, 마그네슘 제거가 불충분한 상태에서 용접사고가 난 경우도 있다.

이러한 분진폭발사고 발생을 방지하는 것은 쉬운 일은 아니지만 기술적·경제적인 점에서도 실제로는 곤란한 경우가 많아서 예방대책과 동시에 피해를 최소한으로 줄이는 방호대책이 필요하다.

사고사례로부터 ①습식집진기의 사용, ②분진의 퇴적방지, ③폭발압력방출구의 설치, ④ 집진기를 옥외에 설치하는 등의 대책이 필요하다고 생각된다.

폭발압력 방출구에 관해서는 설계와 설치방법을 적절히 할 필요가 있다. 폭발압력방출구의 크기가 부적절한 경우 장치의 내압을 초과하여 방출구 이외의 부분이 파손되며, 파손부분으로 화염이 분출된다. 또한 방출구가 설치되어 있어도 집진기가 실내에 설치되어 있으면 위험은 마찬가지이며, 실제로 실내에 설치된 예를 볼 수 있다. 습식집진기나 집진기를 옥외에 설치하여 사용하면 적어도 피해를 최소한으로 막을 수 있으며, 인적피해를 방지할 수 있었다고 여겨지는 사례가 많다.

기타분진 폭발사례를 포함하여 종사자의 안전교육 또는 안전지식에 있어서도 철저히 할

필요가 있지만 사례에서 보면 충분하다고 볼 수 없는 경우가 많다.

### 3.2 반응에 의한 수소가스 폭발

사례 4와 같이 물과 반응에 의해 수소가스가 발생하고, 공기와 혼합에 의해 폭발하기도 한다. 통상 수소가스 발생은 많지 않지만 환기가 좋은 장소에서는 일어나기 어렵고, 덕트 등에 있어서도 통풍을 정지했을 때 일어난 경우가 있다. 마그네슘 분진에 있어서 습식집진기를 사용한 경우 물과의 접촉에 의해 집진기 내에서 수소가스가 발생하므로 팬을 정지할 때에는 수소가스를 집진기 밖으로 배출할 수 있도록 주의한다.

## 4. 맺음말

금속공장의 폭발사고는 소규모 사고까지 포함하면 꽤 많은 사고가 있었고 그 중에는 사례에서 보는 바와 같이 파괴를 동반하는 산업재해가 되는 것도 있다. 최근사고의 공통점은 비교적 단순한 것이 많고, 같은 작업을 하는 사람에게 사고사례 교훈이 되기도 하며, 일부 작업장에서는 일부분만을 보완하였기 때문에 같은 사고가 반복해서 발생한다. 이와 관련된 업무에 종사하는 사람에게 분진폭발이나 수증기폭발의 지식을 철저히 할 필요가 있지만 이러한 공정사고 위험성에 관해서 정통한 사람이 공정 전체 시스템으로서 안전관리를 하여 본질적인 사고방지를 하는 방향으로 갈 필요가 있다고 생각된다. ㉞

— 安全工學(2002.2)

— 번역: 경영기획부 팀장 정의수