

제223호

2012년 11월

위험관리정보

목 차

□ 방재정보

- ✓ 분진 폭발과 화재 속의 미립자 / 1
- ✓ 음식점 주방 설비 등에 대한 화재예방 대책 / 10

□ 방재뉴스

- ✓ 건축물 외벽의 마감재료 / 19
- ✓ 방화구획 관통부의 충전재 / 23

□ KFPA 화재안전 우수건물 인정제도 / 25

□ 신착자료 목록 / 29

□ 안 내

- ✓ 판매도서 안내 / 30

분진 폭발과 화재 속의 미립자



■ 요약

OSHA(미국 산업안전보건청)는 최근 지난 10년간 막대한 손실을 초래한 분진 폭발과 관련하여 가연성 분진에 대한 NEP(국가중점 프로그램)를 도입했다. NFPA(미국방화협회)는 2007년에 OSHA가 채택할 가능성이 높은 가연성 분진에 대한 표준을 발표했다.

이 보고서는 유사성과 차이점을 가진 여러 국가 및 국제적인 표준들을 비교해 보는데 초점을 맞추었다. 또한 폭발 사례를 연구하고, 크기, 모양, 밀도, 정전하와 같은 물리적 속성들이 어떻게 이러한 현상에 영향을 미치는지에 대한 이해에 초점을 맞추었다.

■ 서 설

이 보고서는 가연성 분진과 관련하여 1995년 이후 미국에서 막대한 피해를 초래한 사고들에 초점을 맞추었다. 현재까지 확인된 이 비극적인 교훈은, 가연성 분진은 주의하여 다뤄야 하며 처리장치 및 관련 공정을 설계하고 운영하는 데 있어 엄중한 기준이 있어야 한다는 사실이다.

■ 가연성 및 비가연성 고형체

많은 금속뿐만 아니라 대부분의 고체 유기물질(식료품, 목제품, 화학적 제조, 주요 금속, 고무나 플라스틱 상품, 전기적인 도구, 금속가공 제품, 설비 제조, 기타)과 비금속 유기물질은 충분한 농도로 존재한다면 잘게 부서지거나 확산 시 타거나 폭발한다.

이러한 사고들 중 단지 4% 만이 비유기물들과 관련이 있고, 대다수는 위에서 열거한 유기물이나 금속제품과 관련이 있다.

■ 가연성 분진의 정의에 대한 NFPA의 모순

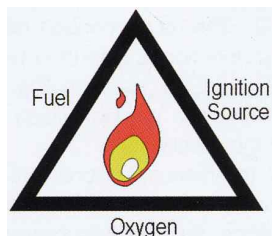
현재 쓰이는 용어에 있어 모순이 있으며, 중요한 개념들의 해석이 필요하다. 한 가지 중요한 이슈는 다음과 같은 가연성 분진의 특징에 관한 것이다.

- NFPA 654(2007년 판)에서는, 가연성의 미립자가 그 크기나 모양에 관계없이 공기 중 또는 다른 산화 매체 안에서 일정 농도 범위를 초과한다고 의심될 때 화재 또는 폭발위험 요소를 제공한다고 정의하고 있다.
- NFPA(2002년 판)에서는 가연성 분진을 직경이 420 μm 이하(미국 표준여과 기준 40번을 통과한 물질)이고 공기 중에서 분산되거나 점화될 때 화재나 폭발위험 요소를 제공하는 미세하게 분리된 입자라 정의한다.
- 가연성 분진(NFPA 68, 69, 499, 77)과 관련하여 많은 기준과 가이드라인들은 기본사항으로 입자의 크기를 420 μm 를 기준으로 한다.
- 가연성 분진에 대한 VDI 표준(독일 표준)은 기본적으로 입자 크기를 500 μm 미만으로 하고 있다.

현재 보고서의 목적은 이러한 정의에 대한 근거를 조사하고 분진과학과 고형물 처리기술에 대한 관점에서 분진의 정량화에 대해 몇 가지 방향을 제시하는 것이다.

■ 가연성 분진의 연소와 폭발의 차이

예를 들어, 산불이 발생했을 때 나무가 타면서 연소물질들은 훈소(smoldering)하거나 열로 인해 불이 날 것이다. 열은 격렬한 공기의 유동을 만들어 내고 그 결과 나무들은 급속히 연소한다. 연소가 계속됨에 따라 관목과 마른 나뭇잎들은 공기 중에서 불타오르고 불길은 견잡을 수 없게 된다. 그러나 [그림 1]에서 폭발이 일어나기 위해서는 [그림 2]의 상태와 같이 혼합이 잘 되기 위해 압력을 증가시키는 제한공간이 꼭 추가되어야 한다. 여러 고체 가공 공정은 폭발을 일으키는 제한공간을 갖고 있다.



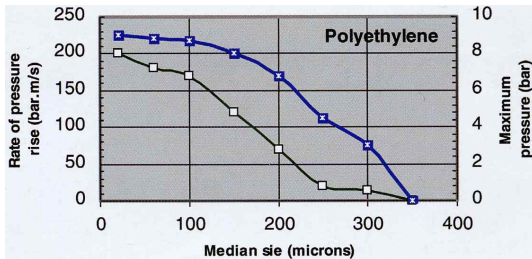
[그림 1] 화재의 3요소



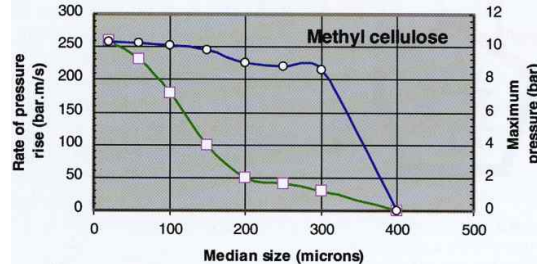
[그림 2] 폭발의 5요소에서 폭발은 제한공간과 혼합이 필요함.

■ 물리적 속성에 대한 문헌조사

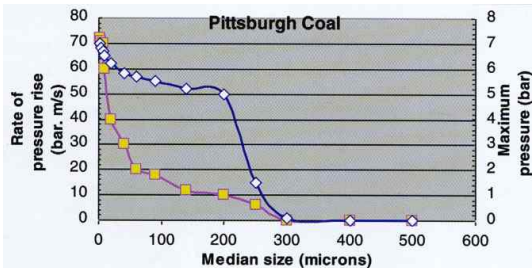
유기물인 폴리에틸린과 메틸 셀룰로오스에 관한 [그림 3]과 [그림 4]의 출처는 Bartknecht의 저서이다. 입자의 크기가 매우 작아서 용량이 거의 zero에 가까운 400 μ m까지는 최대압력과 압력 증가 속도가 감소하는 것에 주목해야 한다.



[그림 3] 폴리에틸렌 특성 데이터



[그림 4] 메틸 셀룰로오스 특성 데이터



[그림 5] 피츠버그 석탄 특성 데이터

Eckhoff는 다양한 상황 연구를 통해 대개 400-500microns 이하의 입자가 분진 폭발을 초래하는데 필수적인 역할을 한다는 것을 밝혀냈다.

Cashdollar의 유기물질과 금속 분말의 가연성 실험은 가연성에 미립자의 크기가 중대한 기여를 한다고 결론지었다.

연소 구형체의 20리터에 대한 실험 결과는 입자크기의 함수에 따라 최대압력 증가가 감소하는 경향을 보여준다. 철은 80microns 미만, Pittsburg 석탄은 중간크기와 320microns 미만에서 압력증가가 0에 가깝게 된다.

또한 Calle의 연구 등을 포함하여 유기재 및 금속 분진을 연구하는 많은 연구자들이 이러한 결과들을 지지하고 있다.

Lai의 연구는 미립자 직경의 효과와, 밀과 옥수수 그리고 수수에 대한 분진 폭발의 잠재성 구성에 초점을 두었다. 그 크기에 있어서도 약 70microns에서 400microns까지 다양한 금속/유기 미립자 사이즈에 대해 여러 연구자들의 문헌이 인용되었다. 추가적으로 Lai의 연구는 Price의 연구(1922)와 Nagy와 Hartman(1944)의 연구를 참고하였다.

위의 참고문헌에서 보면 500microns 이상의 큰 입자들은 압력증가율과 폭연에 영향을 미치지 않는 반면, 압력증가율을 제어하고 그렇게 해서 분진폭연을 만드는 것은 500micron 이하의 미세 먼지이다.

■ 가연성 분진에 대한 국제적 기준

ATEX(유럽방폭규격)는 유럽의 기준으로, 94/9/EC(1994)와 1999/92/EC의 방침에 근거하며, 주로 가스와 수증기에 초점을 맞추고 있다. 이러한 것들은 사실상 고품 처리 설비의 포괄적인 이해를 갖기 전에 분진으로 확대되었다. ATEX는 가연성 분진 관련 이슈를 다루는 정책과 제약에 들어가는 VDI 기준이 포함돼 있다.

VDI 기준(NFPA 기준과 유사)은 IEC(국제전기기술위원회), ISO(국제표준화기구)에서 사용하는 가연성 데이터를 수량화하기 위해 다양한 실험들을 채택해왔다. 여기서 권장하는 미립자 크기 분포는 샘플링을 통해 얻은 63microns 보다 작고 그 규격에 부합된 상품을 나타낸다.

북미에서 NFPA는 2007년 이후에 표준이 된 가이드라인을 발표했다. 거기에는 ATEX와 같은 법은 없으나 OSHA는 가연성 분진에 대한 규칙을 제정하고자 노력 중이다.

그 동안에 OSHA는 가연성 분진에 대한 NEP를 발표하고, 다양한 NFPA 표준을 집행했다. 분말 또는 고품 상품을 생산·제조하는 산업에서 이행이 되도록 다양한 NFPA 표준과 가이드라인은 물질 테스트에 ASTM 기준을 채택했다. 적합한 자격기준으로서의 ASTM 테스트 내용은 [표 1]과 같다. 최소 폭발 농도를 측정하기 위한 다른 ASTM 테스트들이 있다. 테스트는 분진운의 최소 폭발농도, 분진 속의 산소의 양 제한, 위치 등을 말한다.

그러나 NFPA 기준과 ATEX 모두 위험평가를 의무화한다. 발생하는 폭발적인 대기의 가능성과 그것들의 지속성을 평가하고, 점화원은 정전하, 기계장치와 그것의 상호작용, 구조물질 그리고 이에 확대되는 효과들을 포함한다. 적합한 절차와 함께 처리와 장비들에 대한 알맞은 설계, 운영, 유지보수가 요구된다.

마지막으로, 위의 요구에 알맞은 업데이트를 유지되기 위해 문서로 기록할 필요가 있다.

ASTM E 1226	분진 폭연 지표, 압력 상승 속도, 최대 압력	Kst, $(dp/dt)_{max}^1$, P_{max}	상대적인 폭발 강도를 측정하고, 폭발의 격렬함을 예측.	<75 μ m 분진 권장
ASTM E 2019	최소 점화 에너지	MIE	분진 구름 점화의 가능성 예측.	<75 μ m 분진 권장
ASTM E 2021	분진 층에서의 최소 점화 온도	MIT	분진 층의 자연발열 발생시의 온도를 예측	<75 μ m 분진 권장

[표 1] 분진의 연소성에 관한 몇 가지 ASTM 테스트

■ 분진 폭발에 대한 CSB 조사

CSB(화학안전위험위원회)의 종합보고서는 [그림 6]과 같이, 가연성 고체에 의한 몇 가지 중대한 폭발이 있어왔다는 다음의 예시들에 초점을 맞춰왔다. [표 2]와 같이 물리적인 특성을 가진 이러한 심각한 사고와 관련된 제품/입자들의 유형에 다시 초점을 맞춰 강조할 것이다.



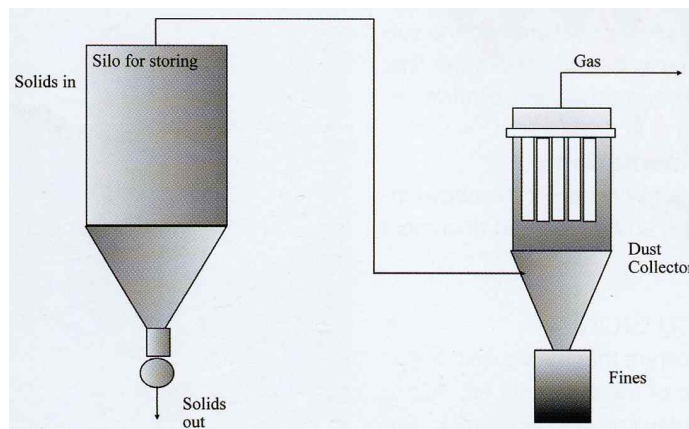
[그림 6] 과도한 설탕분진이 몇 인치씩 수평면에 쌓여 있을 가능성 등으로 인해 미국 조지아주 소재 임페리얼 설탕공장에서 치명적인 분진 폭발을 야기했다.

회사(공장 또는 산업)	분진의 유형	원 인	사상자
Imperial Sugar, 2008 설탕 분진 폭발	유기분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 14 부상 : 42
West Pharmaceutical Services, Inc, 2003	유기분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 6 부상 : 12
CTA Acoustics, Inc, 2003	금속분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 7 부상 : 42
Hayes Lemmerz International, 2003	금속분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 1 부상 : 3
Malden Mills, 1995	유기질 (나일론 섬유 분진)	분진의 연소성에 대한 무지	부상 : 37
Ford River Rouge:(1999) 석탄 분진 폭발	유기질	천연가스 폭발에 기인한 첫번째 사고 이후의 연속적인 석탄 분진 폭발	사망 : 6 부상 : 36
Jahn Foundry:(1999) 합성수지 분진 폭발	유기분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 3 부상 : 12
Rouse Polymerics:(2002) 고무 분진 폭발	유기분진<500 μ m	분진의 연소성에 대한 무지	사망 : 5 부상 : 7

[표 2] 미국의 최근 분진 폭발 사고

■ 위험요소 분석 - 사일로 충전(filling) 사례

합성 펠릿을 사용하는 설비로 [그림 7]에 있는 전형적인 처리 공장에서의 단위 조작을 고려한다. 그 위험 분석단계는 주요 물질 전문가와 공정 운전을 맡은 공장 직원과의 합동으로 행해져야 한다. 팀으로서 접근하는 방식은 어려운 문제들을 풀어가기 위해 필요하다. 한명은 적절하게 NFPA 기준들을 해석하고 그것들을 구현할 수 있어야 한다.



[그림 7] 가연체 고체 저장 사일로

1. LOPA(계층적 방호 분석)을 사용하는 각각의 단위 조작에 대한 현실성 있는 시나리오의 식별
2. 단위 조작을 결합하여 총체적인 위험의 측정
단위 조작에서의 모든 처리 과정에 대한 원인-결과를 가지는 시나리오가 유일하다는 것을 인지한다. 만약 두개의 사고 이상이 똑같은 원하지 않는 결과에 도달한다면 각 원인-결과는 다른 구별된 시나리오이다. 만약 모든 유일한 시나리오가 한 단계 또는 단위 조작으로 구별되어 진다면 전체적인 위험의 통제는 불가하다. 나아가 위에 제한된 것처럼 접근이 필요해진다.

■ 사일로 충전 단계 - 현실성 있는 시나리오 작성

1. 제품이 유기체, 철제 또는 무기체인가? 모든 유기체와 철제 제품들은 연소가 가능하고 그래서 입자들이 연소하기 쉽다.
2. 다음으로 중요한 요소는 입자의 크기이다. 입자 대부분은 3~4mm 원반형이다.
 - 3~4mm 이하의 크기를 가지고 있는가? 그것들을 수량화 할 수 있는가?
미세분진이 생성되는 이유는 무엇인가? 미세분진 생성을 강화하는 것을 전달하고 있는가?
 - 운송중 미세분진이 발생할 수 있으므로 미세분진의 양을 수량화해야 한다.
3. 3~4mm 입자의 연소성
 - 3~4mm 입자의 연소성에 대해 토론한다. 한 사업에 대해 매우 구체적으로 토론을 계획하는 것이 현실성 있는 시나리오를 구별 가능하게 할 것이다.
 - 만약 3~4mm 입자의 위험이 없다고 결정이 되면 이를 문서화 한다.
 - 그 다음 단계를 진행한다. 만약 미세분진이 만들어지면 그것들을 수량화 한다.
4. 미세분진 수집
 - 샘플을 모아 생산된 미세분진을 수량화 한다. 그리고 입자 크기 분포와 입자의 농도를 측정한다.
5. 착화원의 식별
 - 현실적인 정전하 형성 시나리오를 가지고 있는가?
 - 사일로 안쪽에서 불꽃이 발생할 가능성을 가지고 있는가?
 - 모든 전하 형성은 주기적인 회의를 통한 프로그램에 대한 유지 보수와 장비에 대한 기초교육 및 유대를 통해 관리되어야 한다.

- 사일로 주변의 시설관리는 어떠한가? 현재의 분진안전 관리기준과 NEP 는 시설관리에 더 강하게 초점을 맞추고 있다는 점을 염두한다.

6. 완화계획은 무엇인가?

- NFPA 68, 69에 따른 진압설비나 적절한 배출 또는 불활성화를 고려하여 적합하게 이행한다.
- 본질적으로 안전한 구조와 처리과정으로 설계한다 - 좋은 예는 분포가 불균형을 이루지 않도록 사일로를 설계하여, 미세분진의 축적을 최소화 한다.

■ 집진기 운영과 유지보수

- 건물 안 또는 밖에 위치시킬 것인지 위치를 선정하는 것이 중요하다. 건물 밖에서 가동되는 집진기로 인한 피해 - 생명이나 재산상의 손실 - 가 야기되지 않도록 배출구를 유도한다.
- 집진기가 폭발 벤팅, 진압설비 또는 불활성화에 적합한지 고려한다.
- 분진의 집적에 따라 폭발 가능성이 높아지므로, 청소 주기와 백필터의 맥동(먼지를 털어내기 위한)에 주의를 기울여야 한다.
- 집진기 주변의 시설관리에 주의를 기울인다.
- 혼합기 형성에 대한 어떤 시나리오가 있는지 논의한다.
- 위험에 대한 상호공조와 기초교육이 완료되었음을 확인한다.

■ 가연성에 대한 정보

사일로와 집진기에 대한 위의 질의사항에서 알 수 있듯 사일로와 집진기로부터 미세분진을 모으는 것이 필요하다는 점은 명백해진다.

이러한 미세분진은 74microns 미만의 샘플을 생산하기 위하여 74microns 체를 통해 걸러지거나 갈아진다. 또한, [표 1]에서 언급하는 Kst, MIE 그리고 MIT 같은 지표들을 평가하기 위해 ASTM 표준에 맞춰 테스트한다.

맞닥뜨릴지 모르는 단위 조작 각각에 대한 위의 의문사항들을 반복하고, 피드백에 근거한 새로운 질의 사항들을 추가해 나간다.

이것은 위험분석을 실행하는 것을 가능하게 하고 더 안전하고 믿을만한 단일 설비 운영의 결과에 이르도록 한다.

■ 기록

위의 정보들을 모아 기록하고, 정기적으로 업데이트한다.

■ 결론

분진 폭발 사고의 대부분의 원인이 고품체 처리와 사용에 있어서 부정확한 지식 때문이라는 것은 분명하다. OSHA와 같은 관리주체가 교육과 훈련을 통해 이러한 인식을 주도하고 발전시켜야한다는 점은 타당하다. 그리고, 조속히 국가적인 표준을 채택하는 것이 중요하다.

다음과 같은 점은 특히 염두에 두어야 한다.

- 문헌적 데이터에 근거하면, 400-500 μ m 범위 안의 분진 대부분은 중요한 역할을 하지 못하고 주로 74 μ m 미만의 미세한 분진이 중요한 역할을 한다. 즉 압력증가율, 최대압력 등에 영향을 미친다.
- 유기물질 또는 금속 분진 대부분은 가연성이다. 단지 4% 미만만이 비 유기물질 분진에 속한다.
- 그 생성물을 알아야 한다. 어떻게 그 생성물이 만들어지는지 그리고 더 거슬러 올라가, 다루거나 처리하는 동안에 손실이 발생했는지를 알아야 한다.
- LOPA 형식의 위험요소 검토를 수행하는 것이나 위험요소 수준을 평가하는 것이 중요하다. 그런 다음 결정을 내린다.
- 시설관리가 매우 중요하다.

※ 저자 Dr.Konanur Manjunatb는 처리공학 전문가이고, Dow 케미컬 공학솔루션 고품체 처리 그룹의 책임자이다. Mysore(인도)대학에서 기계공학 학사학위를 받았고, 호주 뉴캐슬대학교에서 고품체처리에 대한 연구로 공학박사학위를 받았다. 통합설계에 있어서 분진과 수증기 폭발을 포함한 특성, 운송, 저장, 여과, 건조에 대한 약 25년간의 직접적인 경험이 있고, 35편 이상의 간행물에 기고해왔다.

출처 : fs-world (2012년 가을호)

번역 : 중앙지부 이준혁 주임