

공정의 분체조건에 따른 발화 및 화재폭발 위험성평가(1/2)

분체 조건에 따른 화재폭발사고 위험성

- ❖ 화재폭발사고사례 분석에 의하면 분진 화재폭발 위험성은 분체 조건의 영향을 받기 때문에 부유 및 퇴적 조건에서의 위험성 변화에 대한 조사가 필요함
- ❖ 산안법 GHS분류기준에서 인화성고체의 단편적인 위험성 구분으로 인한 분진의 다양한 화재폭발 위험성을 나타내지 못하는 문제점의 개선도 요구되고 있음

가연성 분진의 사고경향 및 대책

- ❖ 분진 화재폭발사고는 부유 조건에서 많이 발생하고 있지만 IT 산업발전 등에 따른 금속 원료의 사용 증가로 퇴적 조건에서의 화재폭발 위험성이 증가하고 있음
- ❖ 분진에 의한 화재폭발사고 예방을 위해서는 분체 조건에 따른 위험성의 예측이 쉽지 않으므로 부유 또는 퇴적 조건에서의 위험성 정보가 필요함

평가대상 물질 및 방법

- ❖ 분진 조건(부유 또는 퇴적 상태) 및 입경변화에 따른 분진폭발특성 조사를 위해 Sugar, Mg, Al, Zr(4종 분진)의 서로 다른 입경을 갖는 8개 시료를 사용하였음
- ❖ 부유분진의 폭발특성은 분진폭발시험장치를 사용하였고, 퇴적분진의 화재폭발 위험성은 국제연합(UN) 위험물운송 규정시험 및 열분석시험에 따라 수행되었음

시험평가 결과

부유분진의 화재폭발특성 분석 결과

- √ 동일분체 조건에서 입경 감소에 따른 영향을 보면 Mg 및 Al의 경우에는 입경이 감소할수록 폭발 위험성이 증가하였지만, Sugar는 입경 감소가 폭발 위험성의 증가로 나타나지 않았으며 폭발압력이 다소 증가한 반면에 폭발지수는 반대로 감소하였음
- √ Sugar, Mg, Al 분진의 폭발특성시험 결과, 폭발강도지수(Kst)는 Al-A, Al-B, Mg-A, Mg-B의 순으로 높게 나타났으며, Sugar-A 및 Sugar-B의 Kst는 거의 유사하였음
- √ 부유 조건에서의 최대화염전파속도($(V_{fl})_{max}$)는 분진 종류, 입경 변화에 따른 영향을 받으며 특히 Al-A 분진은 화염전파에 따른 폭발피해 확대 위험성이 가장 높았음

항목	Sugar-A	Sugar-B	Mg-A	Mg-B	Al-A	Al-B
평균입경, μm	215.1	601.6	115.1	195.3	233 nm	16.5
폭발하한농도, g/m^3	180	180	30	30	60	30
최대폭발압력 (P_{max}), bar	5.5	5.7	10.5	8.4	9.2	7.3
최대폭발압력상승속도 ($[dP/dt]_{max}$), bar/s	85	91	203	149	839	225
폭발지수 (Kst value), $[\text{bar}\cdot\text{m/s}]$	23	25	55	40	227	61
폭발등급 (St class)	1	1	1	1	3	3
최대화염전파속도 ($(V_{fl})_{max}$), m/s	4.2	4.4	5.4	5.3	25.3	8.9

공정의 분체조건에 따른 발화 및 화재폭발 위험성평가(2/2)

❖ 퇴적분진의 화재폭발특성 분석 결과

- ✓ Mg 및 Al은 입경이 감소하면 폭발 위험성이 증가하였는데, Sugar는 입경 감소에 따른 폭발 위험성의 변화가 매우 작았으며 이는 열분해 개시온도가 낮고 용융에 의해 완전증발되어 입경 변화에 따른 열분해성 차이가 거의 없기 때문으로 판단됨
- ✓ 퇴적층의 기울기가 없는 편평한 조건에서의 연소속도를 측정한 결과, Mg-A, Mg-B, Al-A, Zr-A, Zr-B에서 각각 2.9, 3.2, 14.2, 55.6, 2.6 mm/s의 값이 얻어졌으며, 특히 입경이 상대적으로 큰 Mg-B의 연소속도가 Mg-A보다 빠른 결과로 나타났음

분진 그룹	분진명	Median diameter, Dp	연소속도 (mm/s)	비고
유기물	Sugar-A	215.1 μ m	-	비 전파
	Sugar-B	601.6 μ m	-	비 전파
금속	Mg-A	115.1 μ m	2.9	전파
	Mg-B	195.3 μ m	3.2	전파
	Al-A	233 nm	14.2	전파
	Al-B	16.5 μ m	-	비 전파
	Zr-A	4.99 μ m	55.6	전파
	Zr-B	729.7 μ m	2.6	전파

❖ 퇴적분진층의 기울기 조건에 따른 화재확대 위험성

- ✓ 입경이 서로 다른 2종의 Mg 및 Al-A에 대해 기울기가 30° 조건의 분진 퇴적층에서의 연소속도는 상방전파가 하방전파의 경우보다 높게 측정되었음
- ✓ 경사면(기울기 30°) 퇴적층 조건에서의 화염확산속도는 모든 시험 분진에서 상방전파가 하방전파보다 높게 나타났음

분진명	분진조건	평균입경, Dp	연소속도(mm/s)	
Mg-A	상방	115.1 μ m	3.5	
	하방	115.1 μ m	3.3	
Mg-B	상방	195.3 μ m	3.9	
	하방	195.3 μ m	3.1	
Al-A	상방	233 nm	15.6	
	하방	233 nm	14.2	

■ 안전대책 및 제도개선 필요성

- ❖ 분진의 화재폭발위험성은 퇴적 상태의 화염전파 위험성(화재확대)과 부유 분진의 화염전파 위험성(폭발피해확대)을 구분하여 관리해야 하며 퇴적 분진에서는 입경, 분진 종류, 퇴적층 조건 등에 따른 위험성 저감에 적합한 안전대책이 요구됨
- ❖ 현재 산안법 상의 인화성고체는 GHS분류시험에서 퇴적분진의 화재발생 및 확대 위험만을 평가하고 있는데 대부분의 분진 화재폭발사고는 부유분진에서 발생하고 있음
- ❖ 따라서 산안법 규정의 GHS 분류기준에서는 분진폭발을 평가하지 않고 있는 문제점을 해결하기 위해 산안법 상의 "인화성고체"의 용어를 "가연성고체(분진)"로 개정이 필요함