

층상 분체인 유연탄의 분진폭발에 관한 연구

양준석, 변헌수*
 여수대학교 화학공학과
 (hsbyun@yosu.ac.kr*)

A Study on Dust Explosion of Lamella Powered Coal

Joon-Suk Yang, Hun-Soo Byun*
 Department of Chemical Engineering, Yosu National University,
 Chonnam 550-749, Korea
 (hsbyun@yosu.ac.kr*)

1. 서론

최근 석유화학 각종 산업설비는 첨단화, 대형화, 복잡화 되어 가고 있으며, 석유화학 설비의 위험성(개인적, 사회적 위험성)이 커짐에 따라 발생 가능한 중대산업사고를 최소화 하고자 하는 노력이 지속적으로 추진되고 있다. 집단 에너지공급을 위해 Boiler의 원료로 널리 사용되는 유연탄에서 발생하는 분진은 직경이 420 마이크로미터 이하인 미세한 분말상의 물질로서 적절한 비율로 공기와 혼합되면 점화원에 의해 폭발할 위험성이 있는 가연성 분진으로 취급된다. 이러한 가연성 분진은 가연성, 미분상태, 지연성가스(공기) 중에서의 교반과 유동, 점화원의 존재의 4가지 조건이 충족되면 발화하여 분진 폭발의 조건이 된다. 본 연구에서는 층상 분체인 유연탄을 저장, 이용하는 공정(Silo, Crusher, Bag Filter)에서 발생할 수 있는 유연탄 분진의 성상 및 폭발성 등에 영향을 미치는 영향에 대하여 고찰하고 분진폭발 예방을 위한 설계 및 운전상의 조치사항에 대한 사례 연구를 통하여 화학장치설비의 경제성을 고려한 분진폭발의 위험성을 최소화 하는 모델을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 Coal 분진의 성상 및 폭발성 등에 영향을 미치는 인자에 대한 고찰

1) 폭발한계(LFL) : 0.055 g/l, UFL: 자료 없음

일정한 농도조건의 폭발한계는 거의 얻어지지 않고 하한계농도에서도 불완전 연소로 된다. 결과적으로 분진의 폭발한계농도는 일정한 시험법에 의해 일정한 약속조건 하에서 얻어진 수치라고 할 수 있다.

2) 발화온도

발화온도는 입도, 휘발분의 함유량, 분위기 중의 산소농도 등의 인자에 의해 크게 좌우된다. 일반적으로 분진운의 발화온도는 분진층의 발화온도의 2배로 보면 된다. 즉 분진층의 경우가 250 °C 라면 분진운에서는 500 °C로 된다. 그러므로 퇴적 분진의 발화온도를 측정하는 것이 중요하나 층의 두께에 따라 큰 온도차가 발생하므로 층상분체의 발화온도와 분체층 두께와의 관계는 Fig.1에 나타나 있다.

* 분진층의 두께와 착화온도 (°C)와의 관계

분진의 종류	층의 두께 (mm)					
	3	5	6	10	20	50

유연탄 < 70 μ	착화온도 (°C)					
	270	234	230	210	195	171

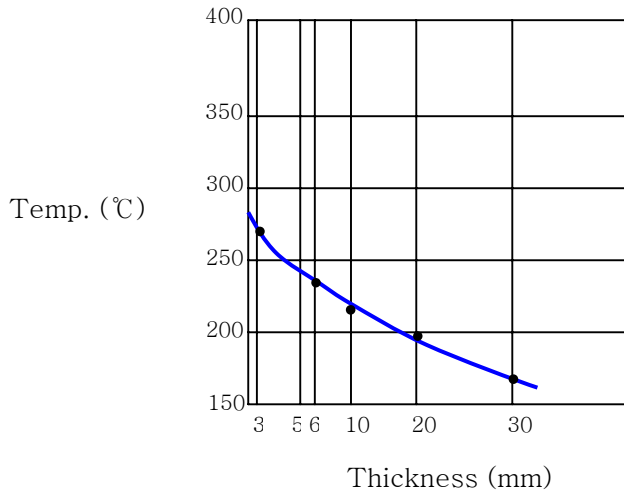


Fig.1 Relation of Temperature and layw thickness from larmella Powened Coal

3) 최소발화에너지(MIE): 60 mJ

분체를 사람의 손으로 처리하는 경우, 그 최소발화에너지가 2 mJ 이하일 경우 인체의 체전에 주의하지 않으면 안된다. 최소발화에너지가 10 mJ 이하의 분체를 취급할 때에는, 정전기 방지용의 바닥, 의복 및 신발을 갖추어 둘 것을 권장한다. 메탄의 경우 상압에서의 MIE는 0.29 mJ (Ref.: Daniel A. Crowl / Joseph F. Louvar, Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications Chap. 6) 인데 반하여, 본 공장의 coal은 MIE가 60 mJ 이므로 메탄보다 200배 이상으로 위험성이 작다고 간주할 수 있다.

4) 분진의 휘발성분(VM) 및 발열량

VM(Volatile Matter): 40 wt. %, 발열량: 6,663 kcal/kg

분진의 폭발성에 관한 인자로서 분진 자신의 화학적인 구조나 반응성은 대단히 중요한 의미를 가진다. 발열량이 큰 것일수록 폭발성이 크며, 석탄분진(탄진)과 그 밖의 분진에서 휘발성분(VM)의 대소가 폭발성에 큰 영향을 미치고 휘발성분 (VM)이 많을수록 폭발하기 쉽다. 또한 분진 자체의 열분해의 용이함이나 탄화 수소계 기체의 발생속도 등이 관계가 있다. 탄진에서는 휘발분이 11% 이상으로 폭발하기 쉽고, 폭발의 전파가 용이한 것을 폭발성 탄진이라고 한다. 한편 분진 중의 회분 함유량의 대소가 폭발성에 영향을 미치는데, 15~30%의 회분을 함유하는 역청탄으로 40% 이상의 휘발성분 (VM)을 갖는 것은 폭발하기가 용이하다.

5) 입도와 입도분포

분진폭발의 용이성은 분진의 입도나 입도분포에 크게 좌우된다. 분진은 입자 표면에서 반응하기 때문에 표면적이 입자체적에 비교하여 커지면 열의 발생 속도가 방산속도를 상회하게 되어 폭발에 이르게 된다. 일정한 중량을 가진 분진의 표면적을 나타내는 경우, 비표면적이라는 표현을 한다. 이것은 다음과 같은 관계식으로 나타내어 진다.

$$S = \frac{N \times k_s d^2}{N \times \rho \times k_v d} = \frac{\phi}{\rho d}$$

여기서, S: 비표면적 $\phi : \frac{k_s}{k_v}$

d: 평균입자직경 N: 입자수 ρ : 분진의 밀도

k_s, k_v : 형상계수, 구상입자에서는 $k_s = \pi$, $k_v = \pi/6$

따라서 평균입자경이 작고 밀도가 작은 것일수록 비표면적은 크게 되고 표면 에너지도 크게 된다. 입도가 너무 작으면 분진의 종류에 따라서는 서로 잡아당겨 분산이 나빠지고 그로 인해 폭발성이 감소하는 것도 있고 입자의 전기적 성질도 관계된다.

2.2. 분진폭발 예방을 위한 설계상의 조치사항

Coal 분진이 발생하는 설비인 Coal Unloading Hopper, Belt Conveyor, Crusher, Silo에 분진 폭발에 대한 안전대책으로서 국소배기장치, 소화설비가 설치되어 있다.

2.2.1 국소배기장치

- 국소배기장치 설치 위치
 - (1) Coal Unloading Hopper
 - (2) Belt Conveyor

2.2.2 소화설비 장치

소화설비 장치로서 다음 6가지를 설치하여야 한다.

- 1) 소화설비(Fire Fighting) 2) 외벽 물 분무설비(Water Spray) 3) N₂ 주입설비
- 4) 온도감지설비 5) CO 감지기 6) Air 차단밸브(Knife Gate)

2.2.3 내압강도

분진폭발의 폭발안전의 방법으로는 내압방폭구조, 분산, 폭발억제, 폭발벤트가 있다. 분체를 취급하는 플랜트 전체를 분진폭발에 견딜 수 있는 구조로 하는 것은 비현실적이다. 따라서 플랜트의 major equipment는 분진폭발의 압력에 견딜 수 있는 충분한 강도를 갖는다.

2.3 분진폭발 예방을 위한 운전상의 조치사항

- 분진발생 물질을 수송하는 설비와 관련된 수송덕트 및 접속부위는 접지 및 분당되어 있다.
- 분진발생 또는 분진 취급지역에서는 흡연, 직화이용기기, 불꽃이 발생할 수 있는 기기의 사용을 금지하고 있다.

- 설비가 설치되는 건축물의 바닥 및 기타 표면에 분진이 누적, 비산되지 않도록 항상 청결상태를 유지하여야 한다. 주위 환경의 청결도는 분체화재 예방의 중요한 요소중의 하나이다.
- Coal Storage Silo 내부의 화재 발생 시 소화설비의 초기기동, 정상기동(수동기동), 비상기동 등의 운전 조건은 [소화설비 계통설명서]에 따른다. 소방설비는 자동 운전 되도록 구성되어 있으나 소화수를 뿌릴 것인지 아니면 석탄의 일부를 Silo 밖으로 배출시켜 소화시킬 것인지를 판단하여 운전한다.
- 외기 온도 상승으로 인한 Silo 내부의 온도 상승을 방지하기 위해 물분무설비 및 온도감지설비를 설치하여야 하며 하절기 외기가 35℃ 이상일 경우 간헐적(5~10분)으로 소화수를 뿌려 Silo 표면온도가 상승하는 것을 방지하여야 한다.
- N₂ 주입설비 및 CO 감지기
Coal Silo 내의 CO 농도가 50ppm 일 경우 N₂ 밸브를 열어 N₂ Gas 를 주입하고, 20ppm 이하로 유지될 때 밸브를 닫도록 한다. 공기 중 CO 는 0.5ppm 으로 미량이다. 참고로 CO 의 폭발한계 농도는 12.5% ~ 74.0%이며, 자연발화 온도는 608.9℃, 비중은 1.25kg/m³이다. 운전원은 CO 농도를 상시 감시하여 20ppm 이하로 유지될 수 있도록 한다.
- Coal Handling 설비의 휴지 시 Silo 내부로 공기가 유입되지 않도록 하기 위해 Extractor 하부 Chute 에 Air 차단밸브(Knife Gate) 설치 자동차단 되도록 하였다.
- Silo 자연발화 감지
 - (1) Silo 외벽 온도 감시
 - (2) 코크스 타는 냄새에 의한 화재 감시
 - (3) CO 농도 50 ppm 에서 자연발화 인식
 - (4) Silo 내부의 석탄온도로 화재 인식
 - 25 ~ 35 ℃: 산화반응 시작
 - 50 ~ 70 ℃: 석탄분자의 파괴 시작
 - 90 ~ 140 ℃: 저속연소발생, 메탄가스, 일산화탄소, 이산화탄소, 수증기발생
 - 180 ~ 270 ℃: 자연발화, 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 메탄가스 발생
 - 270 ℃ 이상: 석탄이 맹렬하게 발화
 - (5) Silo 하부로 배출되는 석탄의 상태(온도, 불씨)를 주기적으로 점검

3. 결론

유연탄을 사용하는 주요 공정에서 분진의 형태로 존재할 수 있는 물질은 Silo, Crusher, Bag Filter 에서 발생하는 coal 분진이다. MSDS에 의하면 coal 분진은 분진/공기 혼합물은 발화하거나 폭발할 수도 있는 위험이 있으나 산업안전보건법, 유해화학물질관리법, 소방법에서 법적 규제가 미규정되어 있으나 분진폭발에 대한 안전대책으로서 국소배기장치를 설치하여야 하며 외벽 물 분무설비, N₂ 주입설비, 온도감지설비, Air 차단밸브와 같은 소화설비가 설치되어야 한다. 또한 충분한 내압 강도의 기기를 설치하여 분진폭발의 위험성을 최소화 할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Frank P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Vol.1, Chap. 17
- [2] ITB Fuel Analysis
- [3] MSDS (유해위험물질 물성 및 사용량)
- [4] 방폭공학 Chapter 4