

KOSHA GUIDE

P-131-2013

# 화학공정에서의 분진폭발 방지에 관한 기술지침

2013. 06

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 제정자 : 한국산업안전보건공단 한우섭

○ 제 · 개정경과

- 2013년 06월 화학안전분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- VDI 2263 Dust fires and dust explosions, Hazards, assessment, protective measures, 2010
- Guidelines for Safe Handling of Powders & Bulk Solids, AIChE CCPS, 2005
- NFPA 654 Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids, 2006
- 부유성 금속분진의 발화위험성 연구, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, 2012-연구원-920, 2012

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자: 2013년 7월 19일

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

## 화학공정에서의 분진폭발방지에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 기술지침은 분진 원료를 제조하거나 사용하는 사업장에서 분진 공정(분쇄 및 분급, 혼합, 건조, 집진, 수송, 저장 등)에 따른 위험요인, 착화원 관리, 운전 조건 및 안전관리 등에 대한 필요한 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

### 2. 적용범위

이 지침은 화학공정에서 일어날 수 있는 분진 화재·폭발을 예방하고 피해저감대책에 적용한다.

### 3. 정 의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다

(가) “분진화재 (Dust fire)”라 함은 퇴적분진이나 분진층과 같이 바닥 또는 설비 표면에 퇴적되어 있는 분진의 연소현상으로서 분진의 열분해로 발생한 가연성가스의 착화로 화염을 동반하는 발염연소, 공기부족이나 가연성가스의 발생량이 적어 화염을 동반하지 않는 훈소 그리고 가연성가스를 동반하지 않는 탄소나 일부 금속 등에서 나타나는 표면연소를 말한다.

(나) “분진농도 (Dust concentration)”라 함은 분진이 공기중에 부유, 분산되어 있는 분진-공기 혼합물에 있어서 단위 체적당 혼합물 중의 분진의 중량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )을 말한다.

(다) “분진폭발한계 (Explosion limit of dust)”라 함은 분진폭발의 발생을 결정하는

조건으로서 분진의 폭발상한계는 실험적으로 측정이 어렵기 때문에 일반적으로 분진-공기 혼합물 중의 분진농도가 폭발을 일으키는 필요 최소한의 양으로서 폭발하한농도를 말한다.

(라) “최대폭발압력 (Maximum explosion pressure)”이라 함은 밀폐공간 내의 분진이 발화하여 화염이 전파하고 발생한 열에 의해 용기 내의 압력이 상승하는데 반응이 분진운 전체로 진행하여 나타난 압력의 최대값을 폭발압력이라 하며 이러한 폭발압력이 농도 변화에 따라 가장 큰 값을 가질 때의 폭발압력을 말한다.

(마) “폭발압력상승속도 (Rate of pressure rise)”라 함은 밀폐 공간내의 분진이 착화하여 발생한 열로 압력이 상승하여 폭발압력으로 나타나는데 일정 분진농도에서의 폭발압력을 폭발압력이 최대로 도달하는데 걸리는 시간으로 나눈 값을 말한다.

(바) “폭발한계산소농도(Limiting oxygen concentration)”라 함은 분진-공기 혼합기에 불활성가스를 첨가하여 분진-공기 혼합기 내의 산소 농도를 감소시키면 분진농도의 변화에 관계없이 폭발이 발생하지 않는 한계가 존재하는데 이러한 산소농도 한계를 말하며 폭발한계산소농도는 분진 및 불활성기체의 종류에 따라 변화하며 온도와 압력의 상승에 의해 낮아지는 경향이 있다.

(사) “화염전파속도 (Flame propagation velocity)”라 함은 공기 중에 부유 분산된 혼합기 내를 분진 화염이 이동하는 속도로서 일반적으로 화염면의 전방에 존재하는 분진 입자의 이동속도와 연소속도의 합을 말한다.

(아) “폭발압력방산구 (Explosion vent)”라 함은 분진폭발 위험성이 있는 장치에 특정 재질이나 구조상 약한 부분을 설치하여 폭발 발생 시에 파열되어 압력이 방출되게 함으로써 장치 전체의 파손을 방지하기 위한 피해 최소화 목적의 안전설비를 말한다.

(자) “폭발억제장치 (Explosion suppression system)”라 함은 압력, 자외선, 적외선 등의 센서를 사용하여 분진폭발을 신속하게 감지하고 폭발이 전파하는 경로나

폭발화염에 대하여 소화제를 분사함으로써 초기 단계에서 폭발에 의한 피해 확산을 억제하기 위한 시스템을 말한다.

(차) “공간전하운 (Space-charge cloud)”이라 함은 부유 분진 내의 일정 영역에 공간적으로 정 또는 부로 대전되는 현상을 말한다.

(카) “과부하계전기 (Thermal relay)”라 함은 과부하, 구속에 의한 선로 및 계통기기의 소손을 방지하기 위하여 미리 설정해 놓은 과부하 상태가 되면 동작하는 계기를 말한다.

(2) 그밖에 용어의 뜻은 이 지침에서 규정하는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 따른다.

## 4. 화학공정 분진폭발 안전대책

### 4.1 일반 사항

- (1) 고장에 의해 발열 위험이 있는 베어링은 케이스 밖에 설치하여 분체와의 접촉을 방지한다.
- (2) 회전축의 실링 부분에 분진이 침입하여 마모나 변형을 일으키고 마찰에 의해 발열 할 수가 있으므로 실링 부분에서의 분진의 누출, 이상음, 이상 발열의 여부를 정기적으로 점검한다.
- (3) 전기 누전에 의해 누전차단기(ELCB)가 작동했을 때는 원인을 확실하게 규명하고 대책을 실시한다.
- (4) 모터가 과부하를 일으켜 과부하계전기(Thermal relay)가 작동하는 경우에는 발생 원인을 확실하게 조사하고 대책을 실시하기 전에는 모터를 재 기동하지 않는다.

- (5) 가연성 분진이 있는 장소에서는 착화원이 될 수 있는 용접, 용단 및 그라인더 등의 작업은 하지 않는다.
- (6) 금속이 혼입되면 충돌이나 마찰에 의해 착화원이 될 수 있으므로 볼트, 너트 및 부품의 탈락 방지가 필요하며 위험이 있을 때는 스크린이나 마그네틱으로 제거하거나 금속탐지기를 사용한다.
- (7) 분진이 다량으로 퇴적되면 발열반응 등에 의해 온도가 상승하므로 자연발화 위험성이 있는 분진은 온도를 상시 감시한다.
- (8) 분진 점검구를 한번에 열면 공기의 유입이나 부착된 분진이 탈락, 낙하하면서 부유 분진이 발생하여 분진폭발 위험성이 있다.
- (9) 설비에 부착 된 분진층이 박리될 때는 대전되어 방전 위험이 있으므로 분진이 발생한 상태에서는 작업하지 않도록 하고 부유 분진이 침강하기까지 15~20 분간 방치한다.
- (10) 발열이 일어나는 조명 등은 발화원이 될 수 있으므로 사용하지 않도록 하며 부득이 사용해야 하는 경우에는 투시창(Sight glass)과 같은 확인용 창문유리를 설치하여 분진과 격리되도록 하여 사용한다.
- (11) 일상 점검 및 센서에 의해 실시간으로 이상 진동이나 이상 승온, 이상 음의 유무를 모니터링함으로써 기기, 장치 등의 관리를 유지한다.
- (12) 작업 장소는 정기적으로 청소하여 부유 분진으로 이어질 수 있는 퇴적 분진의 발생을 근원적으로 방지한다.
- (13) 퇴적 분진이 착화되면 퇴적분진층을 화염이 전파하는데 일반적으로 분진은 총발열량이 크기 때문에 폭발성이 약한 분진이더라도 발화하면 화재폭발위험성이 있으므로 주의한다.
- (14) 분진의 화재폭발 예방은 분진이 착화원과 접촉하지 않도록 하는 것이 중요하며

특히 용접, 용단 등의 불꽃 입자, 마찰이나 충격 가열, 전기불꽃 등에 의한 착화원 관리가 중요하다.

- (15)분진의 화재폭발 예방을 위해서는 취급, 사용하는 분진이 주요 착화원(용접, 용단 등의 불꽃 입자, 마찰이나 충격가열, 전기불꽃 등)에 의해 착화되는지의 여부와 착화되었을 때의 화염의 크기, 연소확대의 정도, 화염의 전파속도에 대한 자료를 확보하여 활용한다.
- (16)분진의 건조 설비나 저장 공정에서와 같이 퇴적분진이 고온표면이나 고온 분위기 환경에 놓여 있는 경우에는 자연발화에 의한 착화위험에 유의해야 한다.
- (17)발화온도는 분진의 종류, 퇴적분진의 두께와 형태, 가열 지속시간에 영향을 받기 때문에 건조설비나 저장 공정을 사용하는 사업장에서 취급하는 분진의 용점, 열분해온도, 발화온도를 조사하여 발화 위험온도에 이르지 않도록 온도관리를 해야 한다.
- (18)질소 등의 불활성가스를 첨가하여 폭발한계산소농도 이하로 유지하는 안전대책을 강구하는 경우에는 폭발한계산소농도 이하의 산소농도에서도 퇴적분진의 발화 위험성이 있는 경우가 있으므로 분진의 발화가 일어나지 않는 산소농도의 한계값은 분진 사용 전에 확인하여야 한다.
- (19)마그네슘, 티탄, 지르코늄, 망간, 칼슘 등은 질소가스 분위기에서도 발화할 수 있으며, 리튬과 베릴륨 등은 이산화탄소 환경의 실온에서도 자연발화 위험성이 있으므로 사용 조건에서의 발화온도를 확인하여 그 이하의 온도에서 취급하거나 사용하여야 한다.
- (20)분진에 의한 화재폭발 피해 저감을 위해서는 조기 발견이 매우 중요하므로 온도, 연기, 적외선, 가스탐지기 센서 등을 활용한 자동화재정보설비를 설치하도록 한다.
- (21)분진화재의 소화제로서 물을 사용하는 경우에는 대부분의 유기물 분진에는 사용 가능하지만 금속분진의 화재에서는 물 분해에 의한 수소가스 폭발위험이 있기

때문에 물의 사용을 금지한다.

(22)금속분진 화재에 염화나트륨이나 인산암모늄을 주성분으로 하는 소화제는 연소하고 있는 금속 표면상에서 용융하여 연소 표면을 피복하고 질식과 냉각효과에 의해 소화작용을 나타내므로 사용 중에는 금속분진이 날리지 않도록 소화제의 방출 압력을 낮추어 소화제가 화재표면에 퇴적되도록 해야 한다.

(23)마그네슘이나 알루미늄 등의 금속분진화재에서는 건조 모래나 건조 흙을 사용한 질식효과로 소화하는 방법이 효과적이다.

(24)기계설비의 마찰현상에 의한 과열은 구동축의 금속에서 주로 발생하는데 축 베어링의 주유나 불완전한 청소로 인하여 분진이 축의 지지부에 침입하여 정상적인 윤활기능이 상실되면 구동축의 온도가 300 ℃이상으로 상승하면서 분진의 축열 현상으로 착화 위험성이 있으므로 정기적인 분진 제거를 해야 한다.

(25)가열된 표면에 분진이 퇴적되면 산화반응이 촉진되어 착화로 이어질 수 있기 때문에 과열 위험이 있는 부분은 분진 방호구조로 하고 정기적인 청소를 해야 한다.

(26)보수 관리를 고려하여 분진 청소나 주유 등의 작업이 쉽도록 기계설비의 설계나 배치를 고려해야 한다.

(27)분진폭발은 부유 상태에서 가장 위험하지만 퇴적 상태의 분진이라도 폭풍압에 의해 공기중에 분산 가능하므로 퇴적분진의 발생이 최소화되도록 장치 등에서 누출된 분진을 신속하게 제거하여 분진이 광범위하게 부유되지 않도록 해야 한다.

(28)분진을 취급하는 건물은 불연성구조로 해야 하며 건물 내부는 분진이 퇴적되기 어렵거나 퇴적되더라도 청소 또는 제거하기 쉬운 구조로 해야 한다.

(29)분진을 취급하는 장치, 덕트 등은 불연성 재료를 사용하고 장치 전체를 약하게 감압하는 방법 등을 활용하여 장치 외부로 분진이 누설되지 않는 구조로 한다.



- (30)덕트는 폭발 시에 화염의 전파 경로가 되기 때문에 가급적 다른 덕트와의 연결을 피하고 개구부는 청소를 위해 충분한 크기로 해야 하며 공정상 인근설비와 덕트로 연결해야 하는 경우에는 폭발전파차단장치나 폭발억제장치를 설치하도록 한다.
- (31)부유 분진의 원인이 되는 작업장의 퇴적 분진은 정기적으로 청소를 통하여 제거해야 하며 발화하기 쉬운 분진의 청소나 제거 시에는 일반 진공청소기를 활용하지 않도록 하고 필요시에는 정전기 대책이나 방폭구조의 전기청소기를 사용한다.
- (32)분진 취급 공정에서는 부유 분진의 발생을 완전히 제거하는 불가능하기 때문에 분진 농도의 제어가 현실적으로 어려우므로 플랜트의 설계 및 공정의 적절한 선택을 통하여 분진 취급 설비용량을 최소화함으로써 부유 분진의 형성을 저감시키도록 해야 한다.
- (33)사일로, 저장조 등의 상부에서 분진을 공급하는 경우에는 부유 분진이 저장 공간 전체에 충만해지기 때문에 분진폭발 위험성이 증가하므로 측벽의 투입구를 통하여 분진을 공급해야 한다.
- (34)필요 이상의 대형 분진 저장조를 사용하면 분진폭발한계 이상의 농도가 공간 내에 형성되어 분진폭발 위험성이 증가할 수 있으므로 저장조를 작게 하거나 여러 개의 저장조로 분할하여 설치한다.
- (35)공정이나 분진 원료를 습식 환경에서 취급하여도 문제가 없는 경우에는 부유 분진의 생성방지에 의한 폭발 위험성을 예방할 수 있으며 부유 분진의 침강을 용이하게 하기 위하여 미세 분무수를 소량 산포하는 방법을 적용할 수 있다.
- (36)사일로, 저장조 내의 부유 분진의 형성을 억제하는 것이 어려운 경우에는 집진기를 설치하여 부유 분진을 제거할 수 있지만, 집진기의 호퍼에 분진의 대량 축적이 될 수 있기 때문에 정기적인 분진 제거 관리를 철저히 해야 한다.
- (37)분진폭발 예방을 위하여 불활성가스 첨가 시에는 산소농도를 0 %까지 하는 것은 비용이나 기술 측면에서 어렵기 때문에 질소를 사용하는 경우의 산소농도는

5~9 %, 이산화탄소를 사용하는 경우의 산소농도는 8~12 %에서 일정 수준의 안전 확보가 가능하지만, 고온표면이나 용접버너, 폭발물 등의 강한 착화원이 존재하는 경우에는 산소농도를 더욱 낮게 유지해야 한다.

(38) 불활성가스를 사용하여 분진폭발을 예방하는 방법은 밀폐형의 장치에만 한정되며 기밀성이 충분히 유지되는 조건을 만족해야 한다.

(39) 밀폐형 장치에서는 불활성가스 첨가에 의해 일정한 산소농도가 되도록 충분한 가스혼합이 되어야만 하므로 불활성가스의 첨가 작업이 종료하면 가스분석장치와 연동시켜 자동적으로 공급 정지하도록 인터록 등의 장치를 설치하고 불활성가스의 누출로 인한 산소결핍사고에 대한 예방대책을 반드시 강구해야 한다.

(40) 부유 분진의 주요 착화원이라 할 수 있는 전기 스파크, 불꽃, 정전기 방전 등에서는 100 mJ을 넘는 에너지가 발생할 수 있으므로 공정상 분진 농도의 컨트롤이 어려운 경우에는 폭발 예방을 위한 착화원 대책을 우선적으로 고려해야 한다.

(41) 용접, 용단 시의 불꽃이 착화원이 되어 분진폭발 위험성이 높으므로 작업장 내에서 용접 및 용단작업을 실시하지 않도록 하는 것이 가장 중요하며 부득이한 경우에는 작업 장소 부근에 가연물이나 퇴적 분진을 제거하거나 불연 시트를 덮고 작업을 실시해야 한다.

(42) 분진이 발생하는 장소에서는 불꽃을 발생시키거나 과열의 위험성이 있는 전기설비를 사용하지 않도록 하며, 특히 모터의 불꽃, 퓨즈와 배선 등의 쇼트, 스위치 개폐시의 불꽃, 전구 파손 시의 불꽃, 조명등의 과열부, 변압기의 유증기에 의한 연소 등에는 주의가 필요하다.

(43) 사일로, 저장조 등과 같이 분진폭발 위험성이 있는 밀폐공간 내에서 전기설비를 가지고 들어가 수리, 점검, 청소 등의 작업을 실시하는 경우에는 방폭구조가 아닌 전기설비를 사용해서는 안 된다.

(44) 분진발생 장소에서 사용하는 전기설비에 대해서는 점검개소, 방법, 주기 등을 정한 체크리스트를 사용하여 점검, 기록하고 불량기기는 신속히 정비해야 하며,

누전 위험성을 제거하기 위해서는 정기적으로 절연저항검사를 실시하고 누전경보기를 설치한다.

(45)분진 내에 이물질 혼입에 의한 충격 불꽃을 방지하기 위해서는 분진 원료를 투입하기 전에 철, 금속 등의 이물질 제거를 해야 하는데 이를 위해서 마그네틱 분리기 등을 사용하면 효과적이며 정기적 점검을 통하여 마그네틱 분리기에 부착된 이물질을 제거해야 한다.

(46)분진에 혼입되는 이물질은 외부로부터 만이 아니고 설비 장치의 볼트나 너트류, 기계 일부의 파손에 의한 금속편도 혼입될 수 있기 때문에 각 설비마다 이물질 제거기를 설치한다.

(47)환기팬이나 기계 작동부분이 가드와 접촉하여 충격이나 마찰에 의한 불꽃이 발생하는 경우도 있으므로 작동부와 가드와의 간격은 충분히 유지하도록 해야 하며 분진이 많이 발생하는 공정 조건에서는 가드 및 팬의 임펠러 등에 의해 마찰 불꽃이 발생하지 않는 재료를 사용해야 한다.

(48)자연발화에 의한 분진폭발사고는 퇴적분진이 먼저 발화하여 소규모의 화재가 일어나고 주변의 부유 분진에 화염이 전파되어 일어나는 경우가 많으므로 퇴적량을 가급적 적게 관리하는 것이 필요하고 다량의 분진 저장에 필요한 경우에는 소분하여 저장해야 한다.

(49)분진 저장을 위해 용기를 사용할 시에는 가급적 통기성이 적은 용기에 넣어 보관해야 하며 고온 환경에서는 발화 위험성이 있으므로 직사광선이나 보일러, 증기 파이프 등의 근처에 보관하지 않도록 한다.

(50)자연발화 위험성이 높은 분진을 저장하는 경우에는 분체층 내의 온도관리 모니터링과 함께 화재검지기를 설치한다.

(51)분진폭발 강도와 같은 물적피해 위험성을 알기 위해서는 최대폭발압력과 폭발압력상승속도 등의 파라메타를 사용하여 평가하며 이러한 폭발특성값이 분진의 평균입경에 따라 달라지므로 사용 분진의 입도 분포 및 평균입경 등에 대한 분체

특성에 대한 기술자료를 먼저 확보하여야 한다.

#### 4.2 분쇄 공정

- (1) 공기 분위기에서 분쇄하는 경우에는 발열량이 큰 물질이나 마찰, 충격 불꽃을 발생할 수 있기 때문에 분진폭발 억제를 위해 충분한 내압력을 가지도록 설계해야 하며 내압력의 확보가 불가능한 경우에는 폭발방산구나 폭발억제장치를 설치해야 한다.
- (2) 분쇄장치 내에 금속 파편이나 돌 조각 등이 혼입되면 마찰 및 충격 불꽃을 발생할 수 있어 착화위험성이 있으므로 금속검지기나 마그네틱 분리기 또는 공기 압력을 사용하여 이물질을 제거하는 분리장치를 설치하고 분쇄기의 원료 투입구에는 이물질의 혼입을 방지하기 위한 금속망이나 필터를 설치한다.
- (3) 혼합기에 공급되는 원료의 공급 속도가 최적 값에서 크게 벗어나는 경우에는 분쇄기 내에서 이상 온도가 발생하면서 화재나 폭발을 일으킬 수 있으므로 분쇄기의 부하가 너무 크거나 작지 않도록 설계 시에 충분히 고려해야 하며 가동용 모터에도 과전류차단기를 설치하도록 한다.
- (4) 해머밀(Hammer Mill)이나 로터 식 분급기를 내장한 회전충격식 분쇄기에서 분쇄능력 이상의 미세 분진의 분급조건을 설정하면 분진이 장치 내에 쌓여 분진농도가 증가하게 되므로 회전부와 분진의 마찰열에 의한 발화위험성이 있다.
- (5) 플라스틱 수지, 고무, 목재 등과 같이 분쇄가 쉽지 않은 재료를 분쇄하는 경우에는 마찰열에 의한 발화 위험성이 증가하므로 화재·폭발에 주의해야 한다.
- (6) 분쇄기의 배기 온도와 분쇄물의 온도를 측정하여 분진이 발화할 위험이 없는지를 확인해야 한다.
- (7) 회전충격식 분쇄기에서는 모터의 동력으로 배기 온도를 추정할 수 있으므로 모터의 동력이 일정한 값을 초과하지 않도록 관리해야 한다.

- (8) 분진폭발을 일으키기 쉬운 분진의 분쇄나 분급은 불활성가스 분위기에서 실시하여야 하는데 분진원료의 종류와 입자경에 따라 다르지만 일반적으로 10 % 이하의 폭발한계산소농도에서 작업을 실시해야 한다.
- (9) 저속 회전의 분쇄기에서는 분쇄 분진이 충격 불꽃에 의해 착화될 가능성은 작지만 마찰열에 의해 분진 입자가 산화하여 불꽃이 발생할 수 있으므로 비교적 큰 입경으로 분급하는 분쇄기라 하더라도 미세 분진 입자가 발생하기 때문에 발화 위험성에 주의해야 한다.
- (10) 금속 원료의 투입에서부터 분쇄물의 취출까지 불활성분위기 공정 조건에서 실시하는 작업이라 하더라도 분쇄물의 배출 시에는 설비내의 미량 공기 혼입으로 산소 농도가 증가하여 분진폭발을 일으킬 수 있으므로 정전기 및 충격 불꽃의 착화원 관리를 포함하여 충분한 예방대책이 필요하다.
- (11) 분쇄기에서 대전성이 높은 분진을 처리하는 작업에서는 분쇄공정에서부터 포집공정에 이르기까지 비전도성과 접지가 불완전한 부분이 없도록 해야 한다.
- (12) 플라스틱 수지 등의 분급분쇄설비에서는 각 설비마다 접지를 해야 하고 가스켓, 고무 패킹에서 접지가 불완전한 부분이 없도록 각 기기 및 배관을 접지선으로 본딩 접속을 해야 한다.
- (13) 고속 회전하는 로터가 포함된 분쇄기나 분급기는 기계부분의 접촉과 회전부의 마찰로 발열이 일어나 발화원이 되지 않도록 구동축 진동과 온도의 점검, 정기적인 관리가 필요하다.

#### 4.3 혼합 및 반응 공정

- (1) 혼합기에 분진을 투입시에는 부유 분진의 발생을 피할 수가 없기 때문에 분진폭발 발생 위험요인을 제거하고 투입작업을 실시하여야 한다.
- (2) 분진 원료가 수분에 의한 영향이 작은 경우에는 혼합기 내에 워터 미스트 등의 불활성 액체를 사용한 다음에 분진을 투입하거나 분진 투입 속도를 조절하여 부

유 분진 발생량을 저감시키는 방법을 사용해야 한다.

- (3) 반응기 내에 가연성 용제나 유증기가 존재하고 있는 상태에서 분진을 투입하여 교반작업을 하는 것은 분진폭발 위험성이 매우 높으므로 안전대책이 필요하다.
- (4) 혼합기 및 반응기의 장치는 사용 중에는 정전기 발생이 일어나기 쉬우므로 정전기 불꽃에 의한 착화위험 예방대책을 세워야 한다.
- (5) 반응기 등의 투입구에는 도전성재료를 사용하여 접지를 하도록 하며 작업자는 대전방지복과 정전화를 착용하고 투입속도를 낮추는 방법으로 정전기 대책을 세운다.
- (6) 혼합기 및 반응기의 내부를 불활성 가스로 치환하는 방법을 사용하는 경우에는 불활성 가스의 공급과 배기가 원활하게 이루어지는지를 용기 내부의 산소농도를 측정하면서 실시해야 하며 분진투입 작업자의 산소결핍에 대한 방지대책도 함께 세워야 한다.
- (7) 혼합기 등의 내부 공간에 유증기를 저감시키기 위해서는 먼저 불활성가스로 치환한 다음에 분진을 투입하고 다음에 용제를 넣는 작업방법으로 변경하는 것만으로도 가능한 경우가 많으며 보다 적극적인 예방대책을 위해서는 반응 및 혼합 공정의 변경을 검토하거나 불연성이나 난연성의 용제를 사용해야 한다.
- (8) 고속교반형혼합기는 혼합 날개의 회전속도가 3~5 m/s로서 1시간 이내의 사용으로 수십℃의 온도 상승이 발생하므로 열에 약한 합성수지 분진의 교반 시에는 열용착이 발생할 수 있으며 응집성이 높은 분진의 혼합에서는 용기 벽면에 분진 재료가 부착되고 혼합 날개에 의해 강한 전단력이 가해지면서 마찰열이 발생하여 단시간에 고온으로 되면서 발화할 위험성이 있다.
- (9) 용기회전식 혼합기에서 정전기가 발생하는 부분은 용기의 회전에 따라 변화하므로 혼합용기 전체에 접지가 필요하지만 교반형혼합기의 고정용기는 대부분 접지 상태이기 때문에 회전 날개만 접지하면 충분하며 회전부에서 고정부로의 접지는 슬립링(slip ring)이나 금속 브러쉬 등을 사용하여 확실히 접지가 되도록 한다.

- (10) 용기회전식 혼합기에서는 투입 호퍼에 배기처리용 버그필터와 산소농도계를 설치하고 분진 원료를 투입하기 전에 불활성가스를 흘려 넣어 내부를 폭발한계산소농도 이하로 유지한 후에 투입조작을 실시하는데 타 공정과의 사이에도 외부로부터 공기 유입을 억제하기 위하여 압력이 다소 높게 하여 정압 상태가 되도록 해야 한다.
- (11) 혼합기의 투입 및 배출 공정은 개방상태에서의 조작을 피하고 분진 원료의 폭발한계에 대한 안전정보를 사전에 측정하거나 조사하고 분진 원료가 주위 환경에 누출되지 않도록 하는 설비를 사용해야 한다.

#### 4.4 건조 공정

- (1) 건조기에서의 주요 위험요인은 건조기내 자연 발화나 정전기 방전에 의한 분진의 화재·폭발로서 건조기내에서 발생한 화염이 다음 공정으로 전파되어 피해가 확대되는 경우가 있으므로 예방대책을 강구해야 한다.
- (2) 분진의 공급 및 배출 불량으로 인하여 체류 시간이 증가하거나 건조 열원의 제어 불량에 의해 재료가 과 건조되고 온도가 상승하여 발화가 일어나므로 온도 관리에 주의해야 한다.
- (3) 건조한 분진 재료가 격렬하게 움직이면서 분진 상호간 및 분진과 벽과의 마찰에 의해 정전기 발생이 증가하는데, 건조기 드럼 등의 본체가 불량 도체로 구성되어 있는 경우에는 정전기 발생과 대전이 증가하고 방전에 의한 불꽃이 착화원으로 될 위험성이 있다.
- (4) 건조 효율을 높이기 위해 건조 배기가스를 순환하는 경우에는 배기 가스 중의 분진이 직화로에 의해 연소하여 불꽃이 되는 경우와 열교환기에 분진이 부착되어 점차 산화 열분해가 진행되면서 자연 발화할 수 있으므로 주의해야 한다.
- (5) 유동층 건조기는 분진을 열풍으로 부유시켜 건조하는 가장 일반적인 건조기로서 건조 능력이 크기 때문에 입상 및 분말 재료의 건조에 많이 사용되고 있는데 설비의 제어 미스 등으로 인해 화재·폭발 사고 발생빈도가 높은 장치이기 때문에

안전관리 대책이 필요하다.

- (6) 유동충전조기에서는 모든 장치 연결부에 접지 본딩하고 장치 전체에 대한 접지를 실시해야 하며 백필터 내장형은 도전성의 필터를 사용하도록 하고 분진폭발이나 이상 연소가 일어났을 경우에 대한 안전대책으로서 건조기내 승압방지판이나 폭발방산설비를 설치해야 한다.
- (7) 유동충전조기의 폭발압력방산구는 파열판식, 경첩문식, 이탈 패널식 등이 있는데 방산구를 작게 하면 건조기 내압이 상승하고 크게 하면 내압 상승이 작아지지만 넓은 면적이 필요하므로 주변에 미치는 영향 등을 포함한 종합적인 안전을 고려하여 폭발방산구 크기를 결정해야 한다.
- (8) 유동충전조기의 화재·폭발 원인이 되는 이상 과열에 대한 운전조작의 예방대책으로는 입구온도, 분진온도(분진층내 온도), 배출가스온도 등을 모니터링하여 온도와 유동성 이상을 감지하여 열원 차단과 송풍기를 정지하는 방법을 적용해야 한다.
- (9) 유동층에서는 분진 재료의 공급 불량이나 유동 불량으로 분진 온도가 상승함으로써 화재나 분진의 열분해에 의해 발생하는 가연성가스 폭발을 일으키는 경우가 많으므로 주의해야 한다.
- (10)회전드럼식 건조기는 분진 재료를 투입하고 배출하는 동안에 열풍에 접촉시켜 건조하는 방식으로 대량 처리에 적합한 건조장치이지만 유동충전조기와는 달리 열풍과 분진재료 사이의 열전달 효율이 낮아서 열풍 온도를 보다 높게 하여 배기가스 순환 능력과 건조 효율을 올리고 있기 때문에 발화 위험성 대책을 강구해야 한다.
- (11)회전드럼식건조기에서 발생하는 분진의 화재·폭발 사고의 원인은 공급 불량에 의한 분진 재료의 이상 과열이 대부분이지만 장치 제어가 정상적으로 이루어지지 않아서 발생하는 사고도 많이 있으므로 철저한 안전교육 및 관리를 통한 사고 예방대책을 강구해야 한다
- (12)회전드럼식건조기의 폭발사고는 분진 재료의 열분해에 의해 발생된 가연성 가스



에 의한 경우도 많기 때문에 건조 열원이 착화원이 되지 않도록 분진 재료와 열풍을 병행하게 흐르게 하여 고온 열풍이 습도가 높은 분진 재료에 접촉시키고 분진 재료의 함수율이 최저가 되는 배출구에서 열풍 온도가 저하되는 방식을 사용해야 한다.

- (13)회전드럼식건조기의 기동 및 중지 공정 등에서와 같이 비정상작업 시에 화재·폭발 사고가 발생하기 쉽기 때문에 예상되는 위험요인을 각 시스템 별로 추출하여 최적 운전조작의 흐름도를 만들어 작업을 실시해야 한다.
- (14)회전드럼식건조기는 직접 가열방식이기 때문에 연소장치(건조 버너)에 설치된 화염검출장치(Fire detector)에 의한 연소불량 감지와 탈수 슬러지 호퍼에 설치한 레벨 감시용 센서를 활용하여 재료 공급의 불량을 감지하여 연료 차단이나 드럼 내 물 스프레이 등의 예방대책을 실시해야 한다.
- (15)원통교반형건조기는 증기를 열원으로 사용하기 때문에 발화 위험성이 없을 것으로 판단하기 쉽지만 실제로는 분진 재료가 가열면과 직접 접촉하고 있기 때문에 축열 현상으로 인하여 분진의 발화온도까지 상승할 수 있으며 분진 부착물이 국부적 과열을 일으켜 발화 위험성이 있으므로 주의해야 한다.
- (16)원통교반형건조기의 화재는 주로 공급불량에 의한 이상 과열, 작업 시작 및 중지 공정에서의 이상 과열, 정지 후의 산화 축열에 의한 과열 등과 같이 원인이 많으므로 사고 예방대책으로서 배기가스 온도, 분진 재료의 온도를 상시 감시하여야 한다.
- (17)원통교반형건조기에서 분산성이 불량한 재료를 건조하는 경우에는 장치 내에 재료가 일부 남아 있을 수 있기 때문에 작업 시작과 정지 공정에서 가열 및 냉각에 따른 안전한 운전 방법이 필요하며 안전대책으로서 물 분부 소화설비를 설치하여 장치를 보호하고 산화성이 높은 분진 재료를 사용하는 경우에는 질소 치환 등의 방법을 사용한다.
- (18)건조기의 운전 조건이 대기압이 아닌 진공 상태에서 과다 건조에 의한 이상 가열이 일어나는 경우에는 대기압 조건으로 공정 변경하는 과정에서 공기의 혼입

으로 화재·폭발이 일어날 수 있는 위험성이 있으므로 주의해야 한다.

(19)분진을 만들지 않는 건조 방법으로서 열풍방식이 사용되는데 열풍방식에서는 열에 의한 분해나 변질 등의 화학적 영향을 받지 않는 온도를 사전에 파악해 두는 것이 안전대책상 중요하며 이를 위해 시차주사열량계(DSC ; Differential scanning calorimeter)를 사용한 열안정성평가지험을 통하여 열분해특성 정보를 확보할 수 있다.

(20)건조공정 시간을 단축시키기 위하여 감압방식을 사용하는 경우가 있는데 건조 처리 후에 대기압을 승압시키기 위해서는 일반 공기를 사용해서는 안 되며 질소 가스를 사용하여 시스템 내의 산소농도가 상승하지 않도록 할 필요가 있다.

#### 4.5 집진 및 분리 공정

(1) 버그필터식 건식집진기의 화재·폭발 사고의 착화원은 주로 정전기와 자연발화의 경우가 가장 많고 불씨 등이 외부로부터 흘러 들어오는 경우도 있으므로 주요 착화원 관리가 중요하다.

(2) 집진공정에서 분진 화재·폭발 사고를 일으키지 않는 운전조건은 착화원이 되는 요인을 완전히 제거하는 것이 가장 중요하며 주요 착화원에는 정전기 스파크, 장비 회전부에서 불꽃, 과열물, 화염, 외부 열원 및 자연발화 현상 등이 있다.

(3) 건식집진기에서 포집된 분진은 펄스제트 방식으로 제거하는 과정에서 폭발한계 이상의 부유 분진이 발생하게 되므로 착화원이 존재하는 경우에 분진폭발이 발생할 위험성이 있다.

(4) 집진 공정의 전 단계 공정에서 발생한 불꽃이나 불뚱이 집진기에 이송되어 가연성 소재의 필터에 포집되면 통과하는 공기에 의해 연소하면서 화염이 전파되고 화재폭발 사고로 이어지므로 이에 대한 대책 강구가 필요하다.

(5) 집진기에 반입되는 점화원은 분쇄 공정에서 고속 회전하는 로터와 혼입 이물질에 의한 충격 불꽃이나 장치표면에 부착하여 성장한 퇴적 분진과의 접촉, 마찰로 인한 발열, 발화 물질이 있으므로 이러한 점화원 대책이 필요하다.

- (6) 건조 공정에는 고온 가열체에 의한 가연성 물질의 발화 위험성이 있으므로 이물질 제거 장치, 적절한 유지 보수 및 운전 관리가 요구되는데, 특히 국소배기 집진장치에서는 가스 용접 불꽃이나 용단 불꽃 및 가연성 가스가 집진 장치에 흡입되지 않도록 하는 운전 관리가 필요하다.
- (7) 소각로의 배기가스 집진, 금속 용융로, 재생용 집진시설에서는 고온 배기 가스 중에 포함된 분진이 착화원이 되어 폭발할 위험성이 있으므로 예방대책을 강구해야 한다.
- (8) 금속 용융로에서는 불뚝이나 화염을 사이클론과 버퍼 타워를 활용하여 외부에서 반입되는 불씨를 완전히 제거할 수 있는 불씨 제거장치를 설치해야 한다. 또한 사이클론에서 포집이 불가능한 분진의 불씨는 탄산칼슘을 산포하여 연소분진이 체류하는 시간 내에 소화시켜서 집진장치 내로 유입되는 것을 방지해야 한다.
- (9) 집진 및 분리 공정에서는 전 단계 공정에서 착화원이 되는 요인이 집진공정에 운반되어 분진폭발에 이르는 경우가 많으므로 이러한 위험요인을 제거하는 것이 가장 중요하며, 만일 착화원 제거가 곤란한 경우에는 장치 내에서 폭발이 발생하여도 피해를 최소화하고 주위의 작업자 및 설비 등에 피해가 가지 않도록 하는 폭발억제대책을 실시하여야 한다.
- (10) 분진폭발이 발생할 가능성이 있는 집진기의 폭발피해 저감대책으로서 폭발압력에 견딜 수 있는 장치의 내압설계와 함께 발생한 폭발압력을 장치 외부로 방출시키는 폭발방산구의 설치를 우선적으로 검토해야 한다.
- (11) 집진기의 파손 방지를 위해서는 분진폭발에 의한 급격한 압력 상승을 폭발발생 초기에 압력 검출기로 측정하고 시설이 파괴되기 전에 소화제를 살포하여 폭발을 억제하는 폭발억제장치를 설치해야 하며 이 장치에는 폭발압력을 감지하고 긴급차단밸브를 작동시켜 폭발압력이 전파되지 않도록 하여 설비를 보호하는 안전 장치를 포함시켜야 한다.
- (12) 분진 수송, 포집 시에는 입자끼리의 충돌이나 입자와 벽면과의 접촉, 분리에 의

해 발생하는 정전기가 축적하고 방전에 의해 분진폭발이 일어날 위험이 있으므로 장치접속부에 접지, 본딩을 실시하고 설비 전체를 접지하여 정전기를 제거해야 한다.

- (13) 집진 필터에 포집된 분진의 정전기 제거를 위해서는 정전기 방지용 필터를 사용하고 집진기의 내부 면을 도장하는 경우에는 도전성 도료를 사용하여야 한다.
- (14) 정전기 방지용 필터로는 스테인레스 재질의 리드선을 사용한 제품과 탄소섬유 혼방 제품, 제전성 섬유를 사용한 제품을 사용한다.
- (15) 펄스제트 방식의 버그필터식 집진기에서는 다이어프램과 솔레노이드 밸브를 사용하기 때문에 방폭지역에 설치할 시에는 내압 방폭형 솔레노이드 밸브를 사용해야 한다.
- (16) 집진기의 분진폭발사고를 방지하기 위한 운전 조건으로서 분진 농도와 배출량, 처리 가스의 종류, 가스량과 차압, 온도, 습도 등을 일상 점검해야 하며 운전관리 목표 값의 변화를 모니터링하고 이상 발생 시의 대책을 철저히 해야 한다.

#### 4.6 수송 공정

- (1) 수송 공정에서는 특히 버킷 엘리베이터, 공기수송장치, 공기수송장치에 연결된 집진기, 사이로 등의 저장장치 등에서 폭발사고 위험성이 높으므로 예방대책을 강구해야 한다.
- (2) 비닐 용기와 같은 플렉시블 용기(Flexible container)를 사용할 때에는 가스 또는 증기의 가연성혼합기 최소착화에너지가 0.14 mJ 이하에서는 플렉시블 용기를 사용할 수 없으며, 최소착화에너지가 0.14 mJ 이상의 가스 또는 증기의 가연성혼합기가 존재하거나 최소착화에너지가 3 mJ 이하의 가연성 분진을 취급 할 때에는 대전방지형 플렉시블 용기만을 사용해야 한다.
- (3) 가스, 증기 가연성 혼합기는 존재하지 아니하고 최소착화에너지가 3 mJ 이상의 가연성 분진 만을 사용하는 경우에는 대전방지형 또는 연면방전방지형의 플렉시

불 용기를 사용할 수 있다.

- (4) 플렉시블 용기의 접지 단자는 확실하게 접지선을 연결해야 한다.
- (5) 폴리에틸렌 재질의 절연성 비닐 용기를 사용하면 정전기 대전방지 효과는 유지되지 않을 수가 있으므로 주의한다.
- (6) 전도성 금속재료로 된 용기라 하더라도 배출을 촉진하기 위하여 바이브레이터를 사용하여 진동을 가하는 경우에는 컨테이너가 방진 고무에 의해 마운트와 전기적으로 절연될 위험성이 있으므로 반드시 접지 할 필요가 있다.
- (7) 막힘 문제를 해결하고 완전한 분진 배출을 목적으로 망치를 사용하여 진동을 가하는 경우에는 철제 해머를 사용하면 분진폭발의 점화원이 되어 불꽃이 발생하므로 사용하지 않는다.
- (8) 절연성 또는 전도성이 있는 재료로 되어 있는 용기라 하더라도 용기 안쪽이 절연물로 코팅되어 있는 용기는 접지를 하여도 대전성이 감소되는 전하 완화가 없기 때문에 최소착화 에너지가 3 mJ 이하의 분진에서는 사용하지 않도록 한다.
- (9) 공기 수송에는 고체-기체 분리를 위해 사용되는 백 필터가 원인이 되어 폭발사고가 자주 발생하고 있으며 공기수송장치에 연결된 설비에서도 발생하는 경우가 많으므로 시설의 계획, 취급 시에 주의가 필요하다.
- (10) 공기수송장치에서는 공기 수송 과정에서 분진은 대전 위험성이 증가하기 때문에 대전 방지 설비를 설치해야 한다.
- (11) 저장조 등에 분진을 배출 할 때에는 폭발농도 이상의 부유 분진운이 발생할 확률이 높으므로 대전 분진운에 의한 방전이나 저장조 벽면에 퇴적된 분체층이 박리 시에 발생하는 방전, 그리고 저장조 내에 충전 할 때 일어나는 콘 방전에 의해 발화 위험성이 있으므로 대책을 강구해야 한다.
- (12) 수송되는 분진에 금속 이물질이 혼입하면 분진 배출 과정에서 착화원이 되는 불꽃이 발생할 수 있으므로 주의해야 한다.

- (13) 공기수송장치의 설치 시에는 수송관 플랜지 연결부는 본딩을 실시해야 한다.
- (14) 전도성이 있는 금속 수송관의 일부를 절연성 파이프로 할 수 있으며 흐름성을 모니터링하기 위한 투시창(Sight glass)을 설치하거나 접속을 용이하게 하기 위해서 호스를 사용 하는 경우가 있는데, 이 경우에는 절연성 파이프를 최대한 짧게 하여 양쪽의 전도성 파이프를 서로 본딩해야 한다.
- (15) 유체를 사용하여 분체를 수송하는 경우에는 분체가 배관 벽 등에 퇴적하여 체류되지 않을 정도의 분체수송속도를 유지도록 하고 정전기의 대전을 억제하기 위해서는 가능한 한 수송속도를 작게 해야 한다.
- (16) 수송 공정의 전 단계 공정 설비에서 탈락이나 파손에 의해 혼입되는 금속 이물질을 분진 수송 전에 금속탐지기에 의해 검지하고 수송을 정지시키거나 마그네틱 분리기나 미세 철망을 통해 제거해야 한다.
- (17) 미분탄이나 석유 코크스 분말 등은 퇴적 중에 산화 축열하여 발화할 위험성이 있는데, 이러한 상태에서는 훈소(Smoldering)라 하더라도 공기 수송되는 과정에서 불씨가 부유 분진에 착화되어 폭발할 위험성이 있으므로 주의해야 한다.
- (18) 곡물 분진폭발사고에 있어서 버켓 엘리베이터에서의 사고가 가장 많은데, 분진이 발생하기 쉬운 공간이 존재하고 버켓이 충돌하거나 버켓을 지지하는 벨트가 폴리에서 미끄러지면서 발생하는 마찰열 등의 착화원에 의한 발화 위험성 대책을 강구해야 한다.
- (19) 운송 장치를 구동하는 체인이나 벨트가 늘어나면 체인이 원활하게 작동이 되지 않거나 벨트의 미끄러짐이 일어나며 흔들림이나 진동이 발생하고 부품끼리 또는 부품과 케이스가 충돌하여 불꽃이나 마찰열의 착화원이 되므로 정기적인 점검과 적절한 장력을 유지하도록 관리해야 한다.
- (20) 벨트의 속도 검출기를 사용하여 미끄러짐 발생을 조기에 검출하고 버켓 엘리베이터와 같이 분진을 상하 방향으로 운반하는 수송장치는 역전방지장치를 설치하

는 것이 필요하다.

- (21) 수송배관은 폭발에 대한 강도를 가지면서 접지도 해야 하기 때문에 일반적으로 금속재질로 되어 있는데 분진 종류에 따라서 정전기가 많이 발생할 위험성이 높은 경우에는 수송속도를 충분히 낮추어야 한다.

#### 4.7 공급 및 배출 공정

- (1) 분진 공급 및 배출공정에서 사용하는 호이스트의 후크 부분은 접지를 실시한다.
- (2) 호이스트 체인에 의한 접지는 접점이 많기 때문에 효과가 낮고 또한 녹이나 먼지 등에 의해 절연막이 생성하는 문제점이 발생하며 전도성 측면에서 보면 체인보다는 와이어를 사용하며 와이어에 코팅이 되어 있는 경우에는 혹은 연결하는 부분의 도전성에 주의해야 한다.
- (3) 분진 투입작업 시의 작업자는 정전기 방지 작업복과 정전기 방지 작업화를 사용하고 장갑을 사용하는 경우에는 대전 방지용 장갑을 사용해야 한다.
- (4) 대전 방지용 작업화의 검사는 작업장 내가 아닌 출입 전의 작업장 입구 밖에서 실시해야 한다.
- (5) 작업자는 두꺼운 양말과 절연성 안창의 사용을 금지한다.
- (6) 정전기를 방지하기 위해 분체의 낙하 속도를 억제하고 분진 투입 간 거리를 작게 한다.
- (7) 플렉시블 용기(Flexible container)로부터 분진을 투입 할 때에 배출 불량 등을 이유로 용기를 두드리는 경우에는 금속 막대기의 사용을 금지하고 나무 망치 등을 사용해야 하며 과도하게 용기를 두드려 털어 내지 않도록 한다.
- (8) 분진 투입 시에 호이스트를 오르내림하여 분진을 털어 내리려고 하는 경우에는 대전된 컨테이너와 투입부가 전촉 분리되는 과정에서 방전될 위험성이 있다.

- (9) 보관용 자루나 용기 등을 이용하여 가연성 분진을 다른 용기에 투입 충전 할 때에는 자루 및 용기 등에 부착된 분진을無理하게 털어내지 않도록 한다.
- (10) 투입구 부분의 뚜껑이 패킹이나 분진에 의해 절연되어 대전된 상태가 되지 않도록 분당을 실시한다.
- (11) 분진의 제진 효과를 위하여 접지된 철망 사이로 분진을 통과 시키는 것은 대전 방지 효과보다도 정전기 발생 효과가 더 크기 때문에 오히려 대전성을 증가시키는 원인이 되므로 주의가 필요하다.
- (11) 공급 및 배출 공정 작업장의 바닥은 전도성 바닥으로 한다.
- (12) 대전 방지용 매트 는 뒷면까지 도전성이 없으면 효과가 없으며 오염된 표면을 깨끗이 청소하더라도 뒷면에 분진이 쌓여 절연되면 대전 방지 효과가 저하되기 때문에 간편한 매트 하부 검사도 고려하여 대전방지 매트는 필요한 장소에만 깔고 정기적으로 청소하도록 한다.
- (13) 도전성이 있는 금속재질의 작업 바닥이라 하더라도 도색을 하거나 녹이 슬거나 하면 전도성이 없어지므로 주의해야 한다.
- (14) 공급 장치의 운전 중에 배출구 막힘이 발생한 경우에는 분진이 막힌 채로 공급부가 계속 회전하면 마찰열이 발생하는 경우가 있으므로 발열을 검지하는 방법을 통하여 공급기가 운전 정지되도록 하는 예방대책을 강구한다.

#### 4.8 저장 공정

- (1) 저장 공정의 분진폭발 피해를 저감시키기 위해서는 부유 분진 발생량을 줄이는 것이 요구되는데 이를 위해 저장조의 용량은 필요 이상으로 크게 하지 않으며 만일 저장조의 양을 줄일 수 없는 경우에는 저장조 내부에 전도성 환봉 등을 설치하여 공간전하운(Space-charge cloud)의 크기를 작게 해야 한다.
- (2) 사이로 등의 저장조의 내벽에 부착하여 퇴적된 분진이 낙하 할 때는 대전하여



방전될 수가 있으므로 분진 부착량이 많아지지 않도록 정기적으로 분진을 제거해야 한다.

- (3) 분진이 착화되지 않도록 하기 위한 대책으로는 불활성 가스를 이용하여 산소농도를 폭발한계산소농도 이하로 유지해야 하는데 운전 정지 시 또는 정기 수리시 등과 같은 비정상작업시에는 부유 분진이 발생하기 쉽고 산소농도가 상승하기 때문에 화재·폭발 위험성이 높아지므로 주의가 필요하다.
- (4) 비교적 큰 저장조에 절연성 분진을 충전 할 때에는 원추형 모양으로 퇴적된 대전 분체의 표면과 접지표면 사이에서 발생하는 콘 방전은 분진 입경이 1 mm 이상에서는  $10^{10} \Omega \cdot m$  이상의 저항을이거난  $1 \mu C/kg$  이상의 질량비전하를 갖는 분진에서 많이 발생하며 이 때 발생하는 방전에너지는 수십 mJ 이하이므로 부유 분진이 폭발한계농도 이상이 되면 분진폭발의 착화원이 될 가능성이 있으므로 주의해야 한다.
- (5) 저장조 내부에는 대전된 분진운에서 브러시 방전이 일어나는 것을 방지하기 위해서 불필요한 돌출부가 없도록 해야 한다.
- (6) 저장조의 점검구 및 맨홀의 뚜껑 등은 패킹, 도장 등으로 인해 절연되어 접지가 불충분하게 될 우려가 있는데, 볼 밸브와 버터 플라이 밸브는 케이스 본체가 본딩되어 있더라도 회전하는 밸브 본체는 부도체의 실링에 의해 절연되어 있으므로 주의가 필요하다.
- (7) 대전 물체가 부도체(절연물)이면 접지 또는 본딩에 의해 대전을 충분히 감소시킬 수가 없는데, 최소착화에너지가 0.1~1 mJ의 가연성 물질이 존재하는 경우에는 도체 표면적이  $25 \text{ cm}^2$  이하가 되도록 하고 그 도체는 접지 또는 본딩을 확실하게 해야 한다.
- (8) 산소농도계 및 온도계 등의 계측기는 필터로 보호하여 센서 부분이 막히거나 오염이 되는 것을 방지하고 필터는 정기적인 청소를 통하여 환기성을 유지시켜 계측 불량을 발생하지 않도록 해야 한다.

- (9) 저장조에는 화재·폭발 피해를 저감시키기 위하여 폭발 발생시에 적외선, 자외선, 초음파 등의 센서로 감지하여 연소억제재를 고속으로 분사하여 화재를 진화하거나 폭발을 억제하도록 하는 폭발억제장치를 설치해야 하며 폭발이 일어나기 전에 온도 상승과 연기를 감지하여 소화하는 방법도 효과적이다.
- (10) 저장조 내 분진이 착화되었을 때의 소화 대책으로 스프링클러 시스템을 설치하는 경우에는 노즐이 분진에 접하고 있기 때문에 막힘 현상이 일어나지 않도록 단순한 구조로 해야 한다.
- (11) 스프링클러 시스템이 오동작으로 인하여 피해가 우려되는 경우에는 온도계와 화재경보기의 알람에 의해 자동으로 작동되지 않고 안전관리자의 판단에 의해 수동으로 작동시키는 방법을 적용하는데 이러한 경우에는 조작용 밸브를 안전한 장소에 설치해야 한다.
- (12) 폭발전파차단장치에는 고속차단밸브 및 화학적 차단장치가 있는데 스크류 컨베이어나 로터리 밸브도 차단장치로서 사용 할 수 있다.
- (13) 저장조의 폭발 예방대책으로서 폭발방산설비(폭발 벤트)를 사용해야 한다.
- (14) 높이가 큰 원통형 사일로는 분진폭발 발생 시에 상부면에 큰 폭발압력이 작용할 수 있으므로 사일로의 높이 및 직경의 비율(L/D)을 5 이하로 설계해야 한다.

## 5. 설비 보수관리 시의 주의사항

- (1) 작업장 내의 전기설비는 과전류, 절연불량에 의한 발열이나 보호커버 및 스위치 손상으로 인한 전기 불꽃이 발생하지 않도록 정비해야 한다.
- (2) 전기설비는 항상 접지가 적절하게 되어 있는지를 주기적 점검 등을 통하여 확인하여야 한다.

- (3) 작업장 내의 바닥, 창틀, 및 기계류의 주변은 분진이 퇴적하기 쉬운 장소이기 때문에 주기적으로 청소하여야 하며 청소 도구로는 충격불꽃을 발생하기 쉬운 금속재질이나 정전기 발생이 많은 플라스틱 재질의 도구를 사용하지 않도록 하며 청소 시에 부유 분진이 발생하지 않도록 주의해야 한다.
- (4) 부유 가연성 분진이 존재하는 장소에 설치된 전기설비는 분진이 기기 표면에 퇴적되지 않도록 자주 청소를 하여야 한다.
- (5) 국소배기장치의 덕트 내에 있는 퇴적 분진은 흡입성능을 저하시키고 착화원이 유입되는 경우에는 화재·폭발로 이어질 수 있기 때문에 주기적인 퇴적 분진의 제거와 청소를 실시해야 한다.
- (6) 금속분진의 사용 시에는 시스템 내에 수분의 결로 현상이 없는지를 운전개시 전에 확인하여야 한다.
- (7) 분진 취급 작업장 내의 조명기구는 방폭형 기구를 반드시 사용하여야 한다.
- (8) 분진 취급 작업장 내의 각종 인터록은 적절하게 작동되는지를 정기적으로 작업 전에 체크하여야 한다.
- (9) 버그필터, 혼합기, 건조기, 분쇄기 등과 같이 정전기 발생과 축적이 쉬운 장치는 작업 전에 확실한 접지 상태를 점검하고 전하의 축적이 없는가를 작업 전에 확인하여야 한다.
- (10) 장치 내부의 보수 관리 작업 시에는 우선적으로 방폭형의 청소기를 사용하여 분진을 제거하도록 한다.
- (11) 분진 방호구조의 전기기기를 점검하거나 분해 후에 재조립하는 경우에는 분진의 침입이 되지 않는 방진 성능을 유지하도록 해야 한다.
- (12) 용접, 용단, 연삭, 연마 작업 시에는 불꽃 입자가 주위로 비산하여 착화원이 될 가능성이 있으므로 이러한 작업 주변에 있는 가연성분진은 완전히 제거하고 나

서 작업을 실시하도록 해야 한다.

- (13)작업장 내에서 금속분진이 퇴적 또는 부착되어 있는 기기를 용접이나 용단 작업을 하는 경우에는 발생하는 연기 가스(Fume)에 주의하고 충분한 환기를 실시한다.