

위험성 감소를 위한 체계적인 접근 방식 II

“다양한 유형의 공정 사고의 위험성 감소를 위한 엔지니어링 및 관리상의 옵션에 대해 설명한다. Part II에서는 위험물질수송시 위험성감소, BLEVE, 증기운 폭발, 분진폭발, 유독성 가스의 위험성 감소에 대해서 소개한다.”

III. 위험 물질 수송 시 위험성 감소

위험 물질 운반 중에 발생하는 위험 사고와 관련된 다양한 언론 보도가 발표된다. 이것은 다음과 같은 원인으로 인해 발생할 수 있다.

- 발생하는 사고의 심각성
- 이러한 사고들이 일반적으로 도로 및 주거 지역 또는 학교와 같이 공공장소에서 발생

위험 물질 수송에 의해 발생하는 리스크를 최소화하기 위한 다양한 방법이 있다.

3.1 존재하는 위험 요소의 최소화

- 위험 물질을 사용할 플랜트와 동일한 장소에서 위험 물질을 생산하는 것과 같이 위험 물질 운반의 최소화
- 적절하게 설계된 파이프라인과 같이 장소 사이에 안전한 방법으로 위험 물질 운반
- 염화 비닐(인화성이 강하고 압축 액화 인화성 가스 형태로 발화 가능성이 높음) 대신 2염화에틸렌(인화성이 강하지 않고 정상 온도에서 액체 상태이며 냉각 시 발화하기 어려움)을 선적하는 것과 같이 대체 물질 운반

3.2 위험 사고 예방

- 내장형 밸브 등이 부착된 견고한 배럴을 가지도록 유조차를 설계하여 부식 또는 전복 시 저장된 위험 물질이 유출되지 않도록 한다.
- 구조적으로 완벽하고 도로 주행용으로 적합하고 고급 운반 차량에 맞게 새시를 설계하여 기계적인 손상에 의해 배럴이 노출되면서 발생하는 교통사고 가능성을 최소화한다.
- 다음 사항을 고려하여 운전자를 선정한다.
 - 조심하고 집중하는 운전 습관(안전 운전 기록 및 차분한 성격 사이의 상호 관계를 입증한 연구는 아직 없다.)
 - 장거리 및 장시간 운전을 위한 적합성, 필요한 경우 위험 및 비상 대응 조치에 대한 전문 교육 이수
- 운전자 교육을 위한 적절한 교육 일정 수립 및 테스트, 위험 요소 대처, 바람직한 운전 요령 및 비상 대응 조치를 포함한 높은 수준의 교육 수행
- 출발 및 운행 전에 해당 차량에 대한 점검 및 차량의 비정상 상태 또는 결함 보고 또는 위험 물질 운반 중에 비정상 상태 또는 결함 보고

- 교육을 이수하고 공인된 운전자만이 위험 물질 운반할 자격 부여
- 평상시 차량 및 탱크 상태, 사용되는 절차에 대한 감사
- 교통사고를 최소화하기 위한 운행 경로 선택

3.3 예방 조치

- 필요한 장비, 책임 소재 및 커뮤니케이션 채널에 대한 정의, 해당 장비가 제공되고 대기할 수 있도록 준비, 모든 관련 담당자가 해당 책임 및 수행 방법을 인지하고 커뮤니케이션 경로 구축을 포함하는 비상 계획 수립
- 특히 운전자 교육은 비상조치 중 가장 필요한 사항이다.
- 비상 상황 실습은 가능한 실제 상황에 가깝게 수행한다.

3.4 피해 제한(격리 및 강화)

차량이 일반 도로에서 주행하기 때문에 경찰이 차단벽을 설치하거나 인접 지역을 통제하는 것 이외에 사고로부터 일반인 또는 공공 재산을 격리하는 것은 어렵다.

IV. BLEVE 위험성 감소

1970년대 전 세계 여러 지역에서 발생한 BLEVE(비등액체 팽창증기 폭발) 사고 이후 사고 예방을 위한 원인 분석 및 방법에 대해 활발하게 연구되었으며 오늘날 심층적으로 분석되고 있다.

원인은 내부의 액체 레벨 위에서 가압 저장 용기의 표면 강판에 화염이 접촉하면서 발생한다. (액체 레벨 아래의 경우 외부 화염에 의한 열은 강판의 대류 및 액체 내부의 비등점에 의해 제거된다.) 액체 비등점은 릴리프 밸브가 추가 압력 상승을 제한하기 위해 작동할 때까지 압력이 증가한다. 그러나 액체 레벨 위의 강판은 설계 응력을 더 이상 견딜 수 없는 수준으로 가열되어 파손되고 결국 내용물이 유출되어 발화될 수 있다.

BLEVE는 간단한 설계 및 작동 원칙을 적용하여 완전히 예방할 수 있다. 이러한 설계 원칙은 다음과 같다.

- 인화성 액화 가스 또는 정상적인 대기압 비등점 이상의 인화성 액체를 저장하는 용기의 수 및 크기를 최소화한다.
- 이러한 용기 및 상대적으로 낮은 비등점을 가진 인화성 액체를 저장하는 차폐 용기의 화재 노출 가능성을 최소화한다. (일반적으로 인화성 용제를 저장하는 200리터 드럼은 내용물이 끓어 내부에 압력이 형성되기에 충분한 시간 동안 화재에 노출되는 경우 BLEVE가 발생할 수 있다.)
- 역사적으로 여러 BLEVE 사고를 보면 파이프라인의 누출이 원인이었기 때문에 앞서 언급한 화재 안전성 원칙을 적용해야 한다.
- 용기 또는 파이프라인의 액체 누출로 인해 용기에서 멀리 떨어진 장소까지 흐르거나 화염이 용기 표면에 충돌할 수 있는 화재가 발생하지 않도록 해야 한다. 이를 위해 용기 주변의

지면에 용기로부터 1/50 및 1/100 사이의 경사도를 가지도록 배수로를 설치해야 한다.

- 또한 용기 주변의 파이프라인은 누출 가능성을 최소화하도록 설계해야 한다. 일반적으로 이를 위해 용기 노즐 설치를 특히 액체 레벨 아래에서는 최소화하거나 액면계 설치를 피하고 소규모 직경의 파이프라인 및 파이프 조인트 사용의 최소화 및 액체 배출 라인의 첫 번째 밸브를 비상 차단 밸브로 설치하고 안전상 일정한 거리에 펌프 및 기타 장비를 배치한다.
- 불연성 단열재를 사용하여 용기를 화재로부터 보호하거나 일정 거리에서 개방 밸브 시스템이 작동하도록 한다.
- 인화성 가스 감지기를 설치하여 용기에서 인화성 물질 누출이 발생하는 경우 경보 장치가 작동하도록 한다.
- 용기를 정기적으로 점검하지 않는 구역에는 화재 감지기를 설치하여 화재 발생 시 감지기가 자동으로 작동하여 개방 시스템 및 경보 시스템을 작동하도록 한다.

V. 증기운 폭발 위험성 감소

인화성 증기가 공기와 혼합되어 발화되면 증기운 폭발이 발생할 수 있다.

대기 중에서 인화성 증기가 폭발하려면 상당량(일반적으로 5톤 이상) 및 급속한 배출 속도가 필요하다. 실제로 이러한 속도는 상당량 및 고압가스 파이프라인의 파손, 정상적인 대기압 비등점 이상의 온도에서 저장된 인화성 액화 가스 또는 인화성 액체의 누출에 의해서만 발생한다.

실내의 경우 보다 소량의 증기로도 발화된 구름의 차폐성으로 인해 증기운 폭발이 발생할 수 있다. 결과적으로 인화성 가스의 소량 누출 또는 인화성 액체 용제의 증발을 통해 제한된 증기운 폭발에 충분한 대량의 구름이 생성될 수 있다. 이러한 폭발은 건물 및 내부에 상당한 피해를 줄 수 있지만 폭발에 사용 가능한 소량의 열에너지로 인해 폭발은 건물 주위에 순간적인 영향을 주는 것으로 제한된다.

또한 아세톤 또는 이소프로판올과 같은 용제의 누출에 의해 누적된 증기는 증기가 건물에 의해 차폐된 경우 증기운 폭발이 발생할 수 있다. 실제로 이러한 폭발은 공장 경계를 벗어나는 범위의 영향을 주지는 않지만 작업자와 공장 재산에 심각한 영향을 줄 수 있다.

증기운 폭발에 의한 리스크를 최소화하기 위해 적용되는 일반적인 설계 원칙은 다음과 같다.

- 구름의 잠재적인 크기를 최소화한다. (구름이 클수록 발화원에 접근할 가능성과 발화된 구름이 폭발할 가능성이 높고 폭발력도 강해진다.)
- 구름의 차폐성을 최소화한다. (차폐성이 높을수록 구름이 발화하기에 충분할 정도로 농축되고 발화된 구름이 폭발할 가능성이 높고 폭발력도 강해진다.)
- 발화원을 최소화한다.

설계 시 다음 사항의 적용 여부를 고려한다.

- 대기압 비등점 이상의 온도에서 고압의 인화성 가스, 인화성 액화 가스 및 인화성 액체의 저장을 최소화한다. (이러한 액체가 누출에 의해 감압되는 경우 전체 또는 일부 양이 순간적으로 증기로 전환되면서 다량의 증기를 생성한다.)
- 누출에 의해 일정량의 증기가 발생하는 경우 누출 속도를 낮추기 위해 압력 및 온도를 최소화한다.
- 파이프 연결 장치의 최소화, 견고한 파이프라인, 액면계 사용 제한 등을 통해 누출 가능성을 최소화한다.
- 인화성 가스 감지기와 같은 누출 감지 시스템을 사용한다.
- 누출을 신속하게 차단하기 위해 원격 작동식 비상 차단 밸브 설치
- 위험 물질에 대한 주요 잠재 누출원을 외부에 배치하고 인접 장비의 차폐성을 최소화한다. 가스 컴프레서 건물과 같이 차폐된 공간에서 소량의 구름(예: 100kg 이하)에 의한 폭발로도 상당한 피해를 줄 수 있다.
- 발화원을 통제한다.

VI. 분진 폭발 위험성의 감소

분진 폭발은 발생하는 건물 주변에 순간적으로 영향을 준다. 일반적으로 분진 폭발은 기계 또는 건물과 같은 차폐된 공간 내에서 가연성 분진이 발화할 때 발생한다. 대부분 공통적으로 소량의, 상대적으로 위험이 없는 초기 분진 폭발은 지붕 빔 및 선반과 같은 건물 내의 수평면에 쌓인 분진을 흔드는 정도이며 몇 초 지난 후의 두 번째 폭발이 심각한 피해를 줄 수 있다. 이 사이클은 여러 차례 반복될 수 있다. 그림 1을 참조한다.

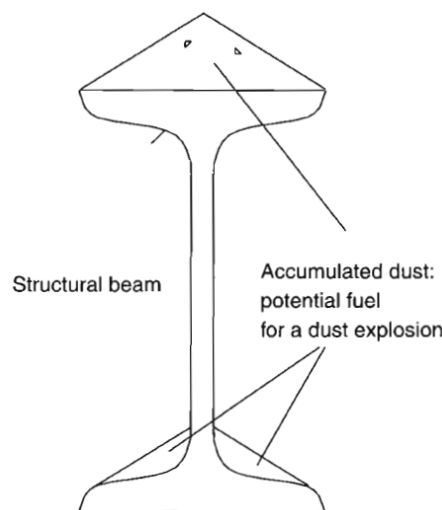


그림 1. 빔에 축적된 분진

분진 폭발을 방지하기 위한 설계 원칙은 다음과 같다.

- 습식 공정과 같이 분진 생성 작업을 피한다.
- 차폐된 공간에 분진이 축적되지 않도록 한다.
- 덕트를 통해 분진이 배출되도록 한다.
- 승강식 선반 및 수평면(예를 들어 시간이 경과함에 따라 분진이 축적될 수 있는 지붕 구

조물) 사용을 피한다.

- 분진을 취급하는 기계 내의 발화원을 통제한다.
- 기계 장치 내 특정 공간에 질소가 축적되어 분진 구름이 생성되지 않도록 한다. (질소에 의해 질식할 수 있는 심각한 위험이 있으므로 주의해야 한다.)
- 분진 폭발이 발생할 수 있는 컨테이너를 제어하고 폭발이 발생했을 때 압력 상승을 억제하기 위한 폭발 억제제를 투입하는 차단 시스템을 설치한다.
- 프로세스 전반에 걸쳐 폭발이 전파되지 않도록 프로세스 상의 용기 사이에 전파 경로를 차단한다(예: 로터리 밸브 등).
- 분진 폭발 가능성이 있는 장비(예: 백 필터)를 건물 외부에 설치하여 폭발 가능성을 최소화한다.

가장 중요한 제어 조치는 축적된 분진을 정기적으로 제거하는 작업을 수행하는 것이다. 이 작업은 제약 회사의 경우 폭발 안전성 기준과는 별도로 제약 회사 기준을 만족시키기 위해 반드시 필요하다.

VII. 유독성 가스 위험성 감소

유독성 가스 위험성의 최소화를 위해 필요한 적절한 조치는 기존의 안전성, 적절한 격리, 하드웨어 및 소프트웨어 제어, 적절한 보호 하드웨어 및 소프트웨어, 피해 방지를 위한 시설과 같은 화재 및 폭발에 대비하여 필요한 안전 조치와 매우 유사하다.

다음은 적용해야 할 주요 설계 특성이다.

- 누출을 방지하도록 유독성 물질의 완전한 격리
- 누출에 의한 누출율을 최소화하기 위해 최소한의 크기의 견고한 파이프라인
- 누출 발생 시 즉각적인 경고를 알리기 위한 가스 감지 시스템
- 주요 누출 발생 시 즉시 흐름을 차단하는 누출 체크 밸브 장착
- 누출 규모에 관계없이 즉시 차단하도록 유독성 물질 저장 시설에 원격 작동식 비상 차단 밸브 장착. 이러한 밸브 작동이 플랜트 운영에 심각한 영향을 주지 않는 한 밸브는 가스 감지 시스템에 의해 자동으로 작동하여 누출 기간 및 인명 피해를 최소화한다.
- 밀봉할 경우 인화성 문제가 없고 수용성인 유독성 물질의 경우, 가스 감지기에 의해 자동으로 작동하며 수동으로도 작동 가능한 스프링클러 시스템이 설치된 건물 내에 가스 실린더의 보관. 이러한 물질의 예는 염화수소 및 암모니아이며 이러한 물질은 수용성이 강하고 건물 내의 대기 중으로 급속하게 분산되어 유출되지 않는다.