

위험성 감소를 위한 체계적인 접근 방식 I

“다양한 유형의 공정 사고의 위험성 감소를 위한 엔지니어링 및 관리상의 옵션에 대해 소개한다. Part I에서는 위험성 감소 원칙과 화재 위험성감소에 대해서 소개한다.”

I. 위험성 감소 원칙

위험 플랜트, 장비, 운영 시스템 또는 운송 시스템의 안전성을 결정하는 요소는 다음과 같다.

1. 존재하는 위험 요소
2. 차폐(遮蔽)의 적합성 및 위험 시설 또는 운영 시스템 제어(하드웨어 및 소프트웨어 포함)
3. 보호 시스템의 적합성
4. 피해 제한 사항

개념적으로 존재하는 위험 요소는 전체적인 안전성 패키지에 의해 균형을 이루도록 해야 한다. 이것은 그림 1의 위험성 저울에 표시된 것과 같다. 원칙적으로 위험성 감소를 위한 바람직한 접근 방식은 목록의 위에서부터 아래로 작업하는 것이다. 즉, 아래 도표의 왼쪽에서 오른쪽으로 진행되는 것이다.

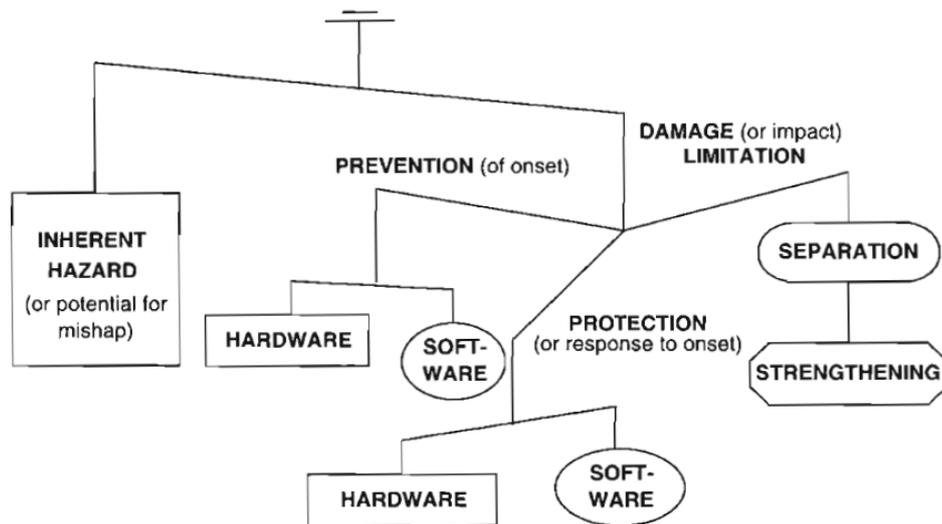


그림 1. 위험성 저울

존재하는 위험 요소는 가능하다면 최대한 제거 또는 감소되어야 한다. 이 작업은 제안된 설계 시작 단계에서 가장 쉽게 수행할 수 있지만 기존 플랜트에 대해서도 상당한 개선 작업을 수행할 수 있다.

1.1 존재하는 위험 요소의 제거 또는 감소 (처음부터 보다 안전한 설계를 위한 전략)

존재하는 위험 요소는 다음과 같다.

- 존재하는 위험 물질의 양(존재하는 물질이 많을수록 재난 발생 가능성 증가)
- 물질에 대한 물리적 및 화학적 특성(일부 물질은 다른 물질보다 반응성 또는 유독성이 강함)
- 처리 또는 저장 중인 물질에 대한 공정 조건(예: 극한 수준의 압력 및 온도는 물질 저장 및 운영 제어에 어려움이 있기 때문에 그에 따라 재난 발생 가능성 증가)
- 플랜트 및 장비의 복잡성(예: 플랜트 및 장비가 복잡할수록 기존의 결합 가능성 증가)

존재하는 위험 요소의 제거 또는 감소를 위한 전략은 다음과 같다.

1. 최소화: 최소량의 위험 물질을 사용한다.
2. 대체화: 위험 물질을 상대적으로 위험이 낮은 물질과 교체한다.
3. 위험 완화: 다음을 사용한다.
 - 위험이 낮은 조건
 - 위험이 낮은 물질
 - 위험 물질 또는 에너지의 영향을 최소화하는 시설
4. 단순화: 다음 사항을 만족시키는 시설을 설계한다.
 - 불필요한 복잡성 최소화 또는 제거
 - 오류 발생 가능성이 낮은 운영 시스템
 - 발생된 오류 해결 가능

예를 들어 어떤 기업이 특정 제품군을 위해 생산 시설 확장을 제시했다. 이 제안에는 위험 중간재의 생산 능력 증대 및 중간재를 사용하여 다양한 소비자 제품을 제조하는 해당 플랜트의 생산 능력 증대가 포함되어 있었다. 처음에는 위험하고 잠재적으로 불안정한 중간재용 탱크 저장 능력을 확장하여 업스트림 플랜트 또는 다운스트림 플랜트가 중단되거나 생산 능력을 제한 받을 동안 대처하는 데 필요한 생산 유연성을 제공하도록 제안되었다. 현장의 저장 능력 확장으로 인해 기존의 위험 요소의 증가는 수많은 복잡하고 고가(高價)의 차폐 시설 및 보호 시스템을 통해 균형을 맞추었다. 최종적으로 기존의 저장 시설은 용량 증가 없이 관리하고 업스트림 플랜트 및 다운스트림 플랜트는 설계된 생산 능력보다 조금만 확장하여 생산 중단되는 경우를 대비하도록 결정했다. 순수하게 추가되는 비용은 전체 프로젝트 비용과 비교하여 크지 않았다.

보팔에서 제조되는 최종 제품의 제조 방식에 두 가지의 사용 가능한 공정이 있다. 두 가지 모두 그 당시 화학 산업에서 널리 사용되고 있던 공정이었다. 이 중에서 한 공정만 메틸 이소시아나염(MIC)을 중간재로 제조한다. 나중에 알게 된 사실이지만 보팔의 플랜트가 다른 공정을 사용했다면 MIC는 누출되지 않았고 사고가 발생하지 않았을 것이다. 보팔 플랜트는 사고 예방을 위해 적절한 차폐 시설, 제어 및 보호 시스템을 사용했다. 공장 외부에 인접해 위치한 빈민가에 대한 완충 구역도 없고 거주 주민들이 가스 누출 영향을 받지 않도록 보호할 어떠한 "강화 조치"(또는 외부로부터 차폐할 수 있는 능력)도 없는 상태에서 차폐 시설, 제어 및 보호를 위한 시설 및 소프트웨어에 대한 기준은 위험성을 낮추기 위해 매우 절실했

다. 그러나 사고가 발생한 후에 알게 되었지만 이러한 기준은 충분하지 못했다.

II. 공정 플랜트의 화재 위험성 감소

2.1 일반적인 설계상 특징

특정 프로세스 구역에 인화성 또는 가연성 물질이 있는 경우 화재 안전성을 위해 고려할 일반적인 설계상 특징은 다음과 같다.

- 재고량 최소화(기존 안전성 극대화)
- 차폐 시설에 대한 엄격한 기준 또는 누출 예방 시스템(대부분의 화재는 누출에 의해 발생)
- 레이아웃(열복사 또는 연소 제품에 취약한 지역으로부터 주요 재고 물질 분리)
- 환기 시스템(인화성 증기 누출로 인해 발화 없이 확산 가능)
- 억제 장치, 차단 장치 및 배수 장치(인화성 액화 액면 화재의 규모는 풀의 크기에 따라 결정되기 때문에 유출된 인화성 액체의 확산 방지. 누출 발생 가능성이 높은 누출원은 누출 경로 영역을 최소화하기 위해 배출 입구 가까이에 위치하도록 해야 한다.)
- 즉각적인 누출 감지
- 누출 격리 방법(화재 또는 잠재적 화재 진화)
- 발화원 통제(누출에 의한 발화 가능성 감소)
- 적절한 소방 시설

일반적인 안전 조치는 다음과 같다.

2.2 파이프라인

- 유지 보수를 위한 일관된 접근성을 확보하기 위해 최소한의 조인트를 사용한다.
- 필요한 경우 플랜지 조인트를 사용하고, 가스켓 종류는 처리하는 물질과의 접촉을 고려하여 안정성 및 누출 예방을 위해 신중하게 선택한다. 스크류 형식의 조인트는 위험한 서비스에 사용하지 않는다.
- 상대적으로 취약한 소규모 내경을 가진 파이프(40mm 이하 직경) 사용을 최소화한다. 필요한 경우 피해 및 누출을 방지하기 위해 기계적인 장치를 지원한다.
- 액면계는 경험적으로 결함을 가지고 있기 때문에 인화성 또는 유독성 물질 취급시 사용하지 않는다.
- 복잡한 파이프라인을 통해 휘발성이 강한 액체 또는 인화성 가스를 취급하는 경우 인화성 가스 감지기를 주변에 설치한다.
- 원격 작동식 비상 차단 밸브를 인화성 물질을 처리하는 모든 대형 용기의 배출 노즐에 장착하여 다운스트림 파이프라인의 누출을 격리시킬 수 있다.
- 유리 재질의 파이프는 사용하지 않는다.
- 사용 재질 및 제조 방법을 신중하게 선택하여 처리 물질(예: 수소) 및 환경 물질(예: 빗물의 염수(鹽水) 분무에 의한 염화물 흔적)에 의한 부식 및 기타 야금술적 공격으로 발생할 수 있는 문제를 방지한다.

- 특히 처리 물질의 역류 예방이 중요한 경우 불환(不環) 밸브보다는 이중 블록 및 누출 밸브와 같은 적절한 설계 조치를 취한다.

2.3 인화성 액체를 저장하는 탱크

- 저장 탱크는 실제 크기를 최소화한다.
- 탱크는 관련 규정을 준수하도록 차폐 시설 내에 설치한다.
- 탱크는 질소 블랭킷팅(blanketing), 통풍 및 진공 방지 시스템, 통풍구의 화염 방지기, 접지 케이블 등과 같은 방법으로 저장된 물질로부터 적절하게 보호한다.

2.4 인화성 액체를 취급하는 펌프

- 펌프는 가능한 외부에 설치한다.
- 사용 재질을 신중히 고려하여 선택한다.
- 기계적 씰을 사용하고 특별히 씰링 안정성이 요구되는 경우 누출 감지 경보 장치가 장착된 인터셀 플러싱 시스템과 함께 이중 기계적 씰을 선택한다.
- 이중 기계적 씰을 사용하지 않는 경우 스톱 부싱을 부착하여 씰 결합에 의한 누출 발생 가능성을 최소화한다.

2.5 인화성 액체를 취급하는 반응기

- 배출 노즐은 원격 작동식 비상 차단 밸브와 함께 장착한다.
- 작업 지역에 인화성 증기를 배출하지 않고 반응기 개발 또는 고체 원료 충전을 위한 방법을 제공한다.
- 릴리프 밸브는 블로우다운 드럼, 불꽃 등이 적절한 방향으로 배출되도록 혼합 액체 및 증기 배출(해당하는 경우) 처리를 위한 적정 규모의 사양을 선택한다.
- 반응기의 교반 장치에 대한 씰 설계시 특별한 주의를 기울여야 한다.
씰에 결합이 발생하는 경우 대량의 유출 가능성을 최소화하기 위해 탑 엔트리형 교반기를 사용하는 것이 바람직하다.

2.6 건물

- 프로세스 건물은 비가연성 재질로 건설해야 한다.
- 높은 위치에서의 배출 장치는 비가연성 재질로 건설해야 한다.
- 화재 감지 및 소방 장비는 화재 위험 요소에 맞게 설계하고 설치해야 한다. 연기 감지기 또는 인화성 가스 감지기를 내부에 설치하는 경우 공조 시설 및 대류에 의해 발생하는 실제 공기 흐름을 확인하기 위해 연기 테스트를 실시한 후 이러한 감지기의 최종 위치를 결정한다.
- 물류 창고 운영과 관련된 사무실은 사무용 비품에 의한 화재 발생 가능성을 최소화하기 위해 물류 창고 외부에 설치한다.
- 지게차에 필요한 배터리 충전기는 결합으로 인해 저장된 물질이 발화하지 않도록 적절한

장소에 배치한다.

- 저장소 패턴은 함께 보관하지 않아야 되는 물질 사이에 적절한 거리를 유지하고 인화성 물질은 격리되도록 설계한다.

2.7 촉매제 취급

- 촉매제가 일정 시간 동안 대기 중에 노출되면 자연 발화할 수 있는 경우 질소와 같은 비활성 기체의 블랭킷에 저장하고 이러한 촉매제를 취급하는 플랜트는 공기를 차단하도록 설계한다.