

신설 플랜트의 안정성 및 위험성 관리

“새로운 프로젝트의 위험성 관리 프로세스에 대한 통합 접근 방식에 대해 소개한다. 초기 단계에서 새로운 설계에 안전성 및 안정성 적용 방법과 수행 가능한 방법을 설명한다.”

I. 소개

새로운 프로젝트 초기 단계에서 설계의 안전성을 고려하는 것은 이러한 개념을 개발하고 정의하는 시점에서 적용하는 것이 설계가 완료된 후 안전성을 추가하는 것보다 훨씬 쉽다. 예를 들어 제시된 플랜트 위치가 부적절하게 주거 지역에 근접한 경우 이를 보완하기 위해 상당한 안전 장비가 필요하다. 이것은 추가적인 자본 및 유지 보수비용을 필요로 한다. 반면에, 안전성 연구를 초기 단계에서 시작하는 경우 부적절한 위치 선정을 피할 수 있으며 다른 공정 선택 또는 위험 물질 저장을 최소화하도록 설계하는 방법으로 기존의 플랜트 안전성을 개선함으로써 제한된 완충 구역 설정에도 불구하고 주거 지역에서의 심각한 사고 발생을 줄일 수 있다.

설계 및 건설 단계에서 새로운 프로젝트의 안전성 관리를 위한 적절한 접근 방식 중 하나는 설계 및 건설 단계에서 다양한 연구를 반복적으로 수행하는 것이다. 이러한 연구에는 사용 가능한 정보 및 각각의 프로젝트 단계에서 수행되는 활동이 포함되며 아래에서 설명한다. 이러한 단계는 그림 1과 같이 요약할 수 있으며 이것은 PMI (Project Management Institute)가 정의한 프로젝트 단계이다.

II. 안전성, 신뢰성 및 환경 기준

본 연구는 특정 프로젝트에 대한 설계가 개념적 단계에 있을 때 하며 가능하면 블록 다이어그램 단계에서 시행한다. (그림 1의 단계 1).

본 연구 목표는 다음과 같다.

1. 사용할 물질 및 프로세스에 존재하는 위험 요소 식별
2. 플랜트가 안정성 및 환경 분야에서 걱정 수준을 만족시키는 데 필요한 기준 정의
3. 입찰 업체에게 제공하는 기술 사양에 포함되며 이러한 기준을 만족시키는 설계를 제공하도록 플랜트 설계를 위한 가이드라인 정의

이러한 연구는 두 개의 회의를 통해 수행되며 연구 및 조사를 위해 몇 주 동안 개별적으로 진행된다. 첫 번째 회의는 플랜트의 다양한 부분을 책임지는 경영진으로 구성된다. 일반적으로 다음과 같은 구성원으로 구성된다.

- 프로젝트 관리자
- 프로젝트 설계 관리자
- 프로젝트 건설 관리자
- 건설 현장 소장

- 공정 안전 관리자

플랜트 설계 개념은 회의를 통해 개략적으로 수립된다. 그런 다음 원자재, 중간재, 최종 제품 등과 같은 플랜트에 존재하는 모든 공정 물질에 대한 목록이 작성된다. 공정 물질 워크시트는 위에서부터 관련 물질들을 열거하고 해당 물질 옆에 관련 위험 요소 또는 환경 문제를 언급하며 화재, 폭발, BLEVE, 유독성 누출, 만성적 유독성, 수용할 수 없는 수준의 액체 유출 등과 같은 제목이 포함된 플립차트 형식으로 작성된다.

그런 다음 팀은 각 물질들을 차례대로 검토하여 이론적으로 언급한 위험 요소 또는 환경 문제를 제공하는 평가한다.

팀은 원자재 저장, 다양한 공정 구역, 최종 제품 보관, 탱크로리 선적, 운반 등의 각 플랜트 구역에 대해 정의하고 플랜트 구역 및 공정 운영을 위한 두 가지 워크시트를 사용하여 예상 문제 목록에서 각 사항을 검토한다.

생산 손실의 원인이 되는 위험 요소, 잠재적 환경 문제 및 주요 잠재적 요소가 확인되면 다음 단계는 이러한 문제를 해결할 수 있는 대표적인 방법에 대해 토론하고 이해하는 것이다.

다음 단계는 위험 요소 및 위험을 제거하거나 최소화하는데 적절한 엔지니어링 및 관리 이니셔티브를 정의하는 것이다. 일반적으로 다음과 같은 고려 사항이 포함된다.

- 위험 물질 사용 금지 또는 보다 낮은 온도, 압력, 유량 등을 사용하는 방법으로 존재하는 위험 요소 제거 또는 감소. Kletz는 다음과 같이 언급했다: "위험 물질이 없다면 누출될 가능성도 없다."
- 누출 방지를 위해 개선된 위험 물질 밀폐, 반응 활성화 또는 기타 형태의 제어 손실을 방지하기 위한 공정 작업 제어. 여기에는 장비("하드웨어") 조치, 관리 및 운영상("소프트웨어") 조치가 포함된다.
- 밀폐 손실 또는 제어 손실이 발생한 경우 조치를 위해 개선된 보호 시스템. 여기에도 "하드웨어" 및 "소프트웨어" 조치가 포함된다.
- 발생한 사고에 대해 보호 조치를 통해 해결할 수 없는 경우 사고 영향을 제한하기 위한 피해 범위 제한. 이것은 위험 사고 발생 위치 및 노출되는 인명 또는 재산 사이의 완충 구역을 확대하거나 위험 사고 영향을 줄이기 위해 노출되는 시설의 강화를 포함한다.

이러한 단계가 완료되는 시점에서 모든 참석자들은 고려해야 할 주요 문제 유형에 대한 명확한 견해를 가지게 된다. 주요 문제는 다음과 같다.

- 화재
- 증기운 폭발
- 자연 발화
- 심각한 유독성 가스 누출
- 수용할 수 없는 수준의 대기 유출
- 예상치 못한 중단
- 예상치 못한 생산 능력 감소

그런 다음 회의 주최자는 참석자 개인별로 각 위험 요소에 대한 보고서를 작성하도록 책임을 할당한다. 각 보고서는 다음 세 가지 사항에 대한 설명이 포함되어야 한다.

1. 안전성, 환경 또는 안정성에 위협이 되는 특성 및 원인
2. 적절한 적용 기준
3. 이러한 기준을 준수하도록 수용 가능한 설계

이제 회의를 종료한다. 대형 플랜트의 경우 이 첫 번째 회의는 하루 종일 계속될 수 있다.

보고서 작성 책임이 있는 각 참석자는 관련 전문 지식을 수집하고 사용해야 한다. 실제로, 보고서 작성에 있어서 다른 관련 직원의 도움을 받을 수 있다. 보고서 작성을 완료하면 보고서 초안의 복사본을 팀 내의 모든 구성원들에게 배포한다. 각 구성원은 해당 보고서 초안을 검토한다.

모든 보고서 검토가 완료되면 두 번째 회의를 소집한다. 관련 보고서를 함께 페이지별로 검토하고 제시된 모든 의견에 대해 토론하고 합의된 의견은 채택한다. 그런 다음 합의된 보고서는 엔지니어링 계약 업체에 전달하여 기술 사양에 맞게 엔지니어링 가이드라인 및 요구 사항에 포함시키도록 하여 입찰 업체에 제출한다(또는 내부에서 설계하는 경우 설계 팀에 제출).

생산 관리 책임 범위 내에서 추가적인 요구 사항이 제시된 경우 생산 팀이 참고하여 처리하도록 한다.

이러한 접근 방식의 중요성에 대한 예는 다음과 같다.

1. 석유 화학 공장은 주거 지역으로부터 약 500미터 떨어져서 플랜트를 건설할 것을 제안했다. 이 첫 번째 연구에서 신뢰할 만한 최악의 증기운 폭발도 유리창을 깨는 정도 이상의 피해를 주거 지역에 주지 않는 것으로 판단했다. 따라서 입찰 업체가 제시한 설계는 정의된 방법으로 발생하는 최악의 누출 사고가 정의된 무게(톤) 이상의 증기운을 발생시키지 않도록 요구되었다. 그 결과, 플랜트는 인화성 물질 저장량이 상당히 감소되었으며 그에 따라 존재하는 위험 요소를 확실하게 줄일 수 있었다.

2. 대형의 LPG 냉동 저장 시설이 제안되었다. 범용으로 사용하는 이러한 시설의 냉동 방식으로 두 가지 접근 방식이 있다. 하나는 완전한 대형 탱크 외부에 위치하는 대용량 LPG 저장 시설이고 다른 하나는 소규모 저장시설이다. 우발적으로 발생할 수 있는 증기운 폭발에 확실하게 대비하기 위해 소규모 저장 시설이 채택되었다. 그 결과, 플랜트의 존재하는 위험 요소는 상당히 감소되었으며 추가 비용도 거의 소요되지 않았다.

III. 안전성, 신뢰성 및 환경에 대한 검토

그림 1의 단계 2에서 입찰 업체로부터 제안서를 받은 경우(또는 내부 설계와 같이 입찰이 필요 없는 경우, 플로우시트 초안 작성이 완료된 경우) 개발한 폭 넓은 설계 사항은 다음과 같은 기준으로 검토한다.

- 안전성, 신뢰성 및 환경 기준의 결과로 지정된 설계 가이드라인이 이 설계 단계에 모두 포함되었는지 확인
- 설계가 위험성 및 환경 기준을 준수하는 지 여부를 가능한 실질적으로 평가
- 세부적인 후속 설계 시 중점적으로 다루어야 하는 설계상 특성 또는 여러 구역 식별

여러 입찰 업체로부터 제안서를 받은 경우 입찰 업체 선정 프로세스의 일부로서 각 업체에 대한 신속한 SRE 검토를 수행하는 것이 일반적이다. 그런 다음 계약 업체와의 협상을 종료하기 전 또는 우선 협상 업체가 변경 요청에 대해 수용 가능하고 입찰 가격은 상향 조정하기 힘든 시점에서 보다 세부적인 SRE 검토를 수행하여 원하는 개선 사항을 확인한다.

일반적으로 검토에는 위의 세 가지 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 세 가지 특징적인 작업 프로그램이 포함된다.

- (a) 우선 협상 업체 선정전에 모든 입찰 업체에 대한 신속한 검토
 - (b) 우선 협상 업체와의 계약 체결 전에 보다 세부적인 검토
 - (c) 안전성 및 환경 요구 사항을 준수하는 지 확인하기 위해 설계에 대한 정밀한 조사
- 이러한 사항은 성공적인 입찰 업체 선정을 위해 설계 사무실에 구성된 클라이언트 팀의 주요 역할 중 하나이다.

이러한 프로그램은 다음과 같은 단계로 구성된다.

1. SRE 사양에 대한 각 항목이 모든 물리적 요구 사항을 만족시키는 지 확인하기 위해 입찰 업체에 대한 철저한 검토를 수행한다.
2. 전반적인 안전성 점검 및 세부적인 설계 지정을 위한 기준으로 주요 리스크원인의 식별을 통해 가능한 실질적으로 사전 안전성 평가를 실시한다(예를 들어 특정 프로세스 구역에 대한 거의 완벽한 제어 및 보호 시스템, 펌프 및 파이프라인에 대한 특별 설계 요구 사항).

이러한 사전 위험성 평가는 세부적인 설계 사항에 대해 전반적이고 충분하게 수행할 수 없기 때문에 "신속한 등급 결정" 방식을 통해 체계화될 수 있다. 그러나 감독 기관이 계량적인 사전 보고서를 요청하는 경우 간단한 안전성 목록에 대한 철저한 분석 및 계량화를 통해 보다 세부적으로 수행하는 것이 바람직하다. 사전 평가가 감독 기관의 검토를 위해 필요한 경우 예상 안전성에 대한 포괄적인 검토를 제공하는 신속한 등급 결정과 설계 및 사후 관리 시 세심한 주의가 필요한 이러한 간단한 안전성 목록은 해당 감독 기관과의 협상 및 성숙된 상호 신뢰 조성을 위해 매우 적절한 수단이 될 수 있다.

또한 신속한 등급 결정을 포함하여 이러한 사전 평가는 계약을 체결하기 전에 최소한의 추가 비용으로 안전성 최소화를 위한 설계 변경에 합의하기 위해 우선 협상 업체에게 고려 사

항에 대한 많은 정보를 제공한다.

이러한 접근 방식의 예는 다음과 같다.

1. 어떤 대형 석유 화학 공장의 경우 주거 지역으로부터 필요한 완충 구역 거리를 판단하기 위해 기본적인 계량적 안전성 평가 컴퓨터 시스템을 사용하여 세 개의 모든 입찰 업체에 대해 평가했다. 평가를 시작하기 전에는 모든 입찰 업체가 동일한 결과가 나올 것으로 예상되었다. 그러나 두 업체는 동일한 결과가 나왔지만 세 번째 업체는 다른 업체보다 세 배의 거리가 필요한 것으로 나왔다. 이러한 평가를 조사한 결과, 특정 구역 프로세스의 설계에 대한 접근 방식에 차이가 있었다. 즉, 특정 구역의 경우 직경이 큰 파이프라인 및 펌프를 통해 상당히 대용량의 위험 물질 저장 시설이 필요했던 것이다. 이러한 사항이 확인된 후 상당한 위험 요소가 실제로 존재하는 것으로 확인되었다. 따라서 플랜트의 해당 구역에 대한 재설계 가능성이 제기되었고 입찰 업체 선정 연기를 고려하게 되었다.

2. 플랜트에 스팀 터빈에 의해 구동 되는 대형 가스 컴프레서 설치가 제안되었다. 컴프레서 및 터빈은 안정성이 뛰어나기 때문에 비상 차단 시스템을 위해 매우 중요하다고 판단되었다. 따라서 이 단계에서 일반적인 수준보다 높은 안정성을 가진 시스템 사양으로 결정되었다. 또한 해당 장비 제조 업체에 대해 검토하고 전체 플랜트 중단을 방지하기 위해 스팀 밸브를 포함하여 차단 시스템에 대해 정기적으로 테스트할 수 있도록 설계 단계에서 특별한 기능을 제공하도록 했다.

IV. 위험과 운전 분석 (HAZOP)

세부적인 설계상 "프로세스 및 계측 다이어그램" 단계를 완료한 시점인 그림 1의 단계 3(모든 장비 항목, 모든 파이프라인, 밸브, 계측 장비 및 제어 시스템을 도식적으로 표시한 최종 플로우시트)에서 HAZOP 연구를 수행하는 것이 가장 적절하다.

V. 건설에 대한 품질 검사 및 감사

건설 및 시운전 단계에서 일반적인 품질 검사 절차(그림 1의 단계 4) 이외에 초기 안전성 및 환경 연구에서 확인된 요구 사항이 실제로 건설된 플랜트에 적용되었는지 확인하는 것을 포함하여 완성된 실제 플랜트를 점검하는 것이 매우 중요하다. 이러한 검사는 신입 사원의 교육 및 적응 프로그램의 일부로도 활용할 수 있다.

VI. 안전성 검사의 사전 실습

그림 1의 단계 4에서 플랜트를 시운전하기 전에, 가동 준비 단계로써 위험 물질을 플랜트에 공급하기 전에 플랜트와 관련 없는 외부 선임 안전 관리자에 의해 플랜트를 검사하는 것이 매우 중요하다.

이 단계에서 선임 관리자가 간단한 검사를 통해 심각한 결함을 확인할 가능성은 높지 않지만 검사가 실시되고 관리자가 HAZOP 연구에 대한 세부 사항, 압력 용기 등록, "보류된 사항" 목록 또는 완료될 예정인 작업 목록 확인 및 여러 감독 기관으로부터 받은 승인 사항과 같은 여러 사항들을 요청할 것에 대처하기 위한 올바른 작업 수행을 유도할 수 있다.

VII. 사후 가동 HAZOP 연구

플랜트 건설 및 시운전의 최종 단계에서 일반적으로 필요할 수 있는 HAZOP 연구에 대한 변경 없이 플랜트 일부 사소한 사항을 변경하는 것은 일반적이다. (초기 연구가 신중하게 수행되었다면 최종 단계의 사소한 변경 규모는 매우 작은 비율이 될 것이다.)

그림 1의 단계 5의 초기 단계인, 플랜트를 가동하고 가동 시점에서의 압력이 약간 낮아지는 경우 이러한 변경 사항은 설치 기준 내에 있는지 확인하기 위해 HAZOP 연구에 제출되어야 한다.

PHASE	Phase 1 Conception and Definition	Phase 2 Flowsheet Design	Phase 3 Detailed Design	Phase 4 Construction and Commissioning	Phase 5 Operation
Project Activity	Review of Concept to give direction to design Technical Specification Finalized →	Tender Selection Contract signed →	Detailed Design Design frozen →	Construction/Fabrication/ Commissioning Handover to customer/user →	User/Maintenance
Reliability and Risk Activity	<ul style="list-style-type: none"> • Hazard Identification • Development of guidelines for design 	<ul style="list-style-type: none"> • Check compliance with specification • Preliminary risk analysis and assessment • Compare tenders • Guide detailed design 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribute to detailed design • Check "final" design • Guide Phases 4 and 5 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensure construction/fabrication meets specification, contract requirements and design intent, i.e., ensure "fitness for purpose" - 	<ul style="list-style-type: none"> • Review any modifications made during construction • Ensure future risks remain low
Reliability and Risk Methods	<ul style="list-style-type: none"> • Hazard Identification • Check sheets 	<ul style="list-style-type: none"> • Risk Management Process • Risk Balance for risk reduction • Tangible/intangible risk elements identified 	<ul style="list-style-type: none"> • Hazop • FMEA/FMECA* • Other detailed identification methods 	<ul style="list-style-type: none"> • Quality Assurance methods 	<ul style="list-style-type: none"> • Post-startup review of modifications • Ongoing risk monitoring, auditing and review

그림 1. 프로젝트 단계