

화학공장에서 PSM(공정안전관리) 수행을 위한 평가기법

정 창 기

(위험관리 정보센터 위험관리실장)

1. 개요

지금 구미에서는 그들이 과거에 경험한 대형사고를 기반으로 PSM이라는 새로운 개념의 제도를 내놓고 있다. 그들의 요구는 바로 구미에서 새롭게 싹트고 있는 PSM 개념의 일환이다. 그러나, PSM 제도는 새로운 개념이 아니다. 그들의 견해는 대부분 우리가 이미 알고 있는 것이고 특별한 것은 아니다. 다만, 산발적인 안전개념들을 PSM이라는 제도(Process Safety Management) 하에서 일목요연하게 체계적으로 정리하고 차분하게 실행에 옮기는 것이다.

PSM의 개념속에는 위험의 분석, 평가가 필수적인 과정이다. 즉, 위험을 대처하는 데는 위험의 실상을 가늠하는 것이 꼭 필요하기 때문이다. 위험의 가늠 즉, 정량화(定量化 Quantification)야말로 PSM의 완성을 위해서도 필요한 개념이겠지만 위험을 보유하고는 보험산업에 있어서도 위험의 실체를 인식하는데 필수적인 개념이기 때문이다. 더구나 보험산업에서는 국내 보험시장의 해외 의존도를 줄이고 보험시장의 개방에 따른 외국 유수의 보험사들과의 피나는 경쟁을 위해서는 이 분야의 연구는 더욱 필요하다.

2. 위험관리의 단계

위험의 형태를 가름할 수 있어야 올바른 대책을 수립할 수 있다. 우리가 수행하는 위험분석 및 평가의 과정은 대부분이 비논리적이거나, 감과 경험에 의존하여 평가하여 왔다. 그러나 보다 정확한 위험을 분석하고 평가하기 위해서는 장기간에 걸쳐 비축된 많은 량의 사고 데이터가 필요하다. 추상적인 위험을 정량화된 형태로 바꾸어 비교·분석함으로써 효율적인 대책의 수립이 가능하다.

3. 위험도의 결정

위험이라고 지칭되는 용어로 Hazard와 Risk가 있다. Hazard는 설비의 피해나 상황에 대하여 잠재적 위험을 가지고 있는 화학적·물리적인 상태를 의미하며, Risk는 잠재적 손해나 설비의 피해 가능성 및 그 크기의 정도를 의미한다. 위험의 빈도와 심도의 비중은 사용 목적에 따라서 다를 수가 있다. 보험회사에서는 빈도보다는 심도에 중점을 둔다. 보험회사에서 중요하게 생각하는 EML은 위험의 심도라고 할 수 있다. 보험요율은 위험의 빈도와 심도를 사용 목적에 맞게 계리적 관점에서 정리한 위험도라고 할 수 있다.

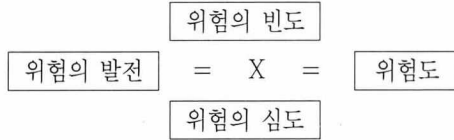
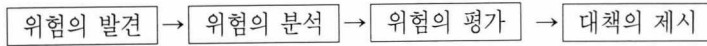
4. 위험 평가의 접근 방법

위와 같은 위험의 바탕 위에서, 일반적으로 수행되는 위험평가(Hazard Evaluation)의 스케줄은 다음과 같다.

HAZOP을 수행하기 위해서는 연구의 목적물과 범위를 설정한 후 HAZOP Team을 구성한다. 구성원은 경험이 많고 기술적으로 전문지식을 가지고 있는 사람으로써 7~8인이 적당하다. 이들은 공정의 성격에 따른 각종 자료를 수집, P&ID's로부터 작업을 시작하게 된다. 배관·기계장치와 설비의 각 주요 부분을 분석하기 위하여 설계의도에 정확하게 상의한 후 각 배관이나 장치의 각 부분에 대하여 HAZOP 지침어를 온도, 흐름, Level 및 성분과 같은 공정의 변수에 적용시킨다. HAZOP은 공정이 진행중이거나 또는, 공정의 변화로 인하여 기존의 설비에 새롭게 대두되는 위험이나 정보의 결핍으로 인하여 설계에서 예기치 못한 위험을 발견하는데 특히 유용하다.

5. 위험의 발견

Hazop의 의미를 간단히 정의하자면 공정중의 Components에 대하여 공정중의 변수(온도, 압력, 성분, 액위 등과 같은 변화요인)



- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 범위의 정의 ② Data의 수집 ③ 시설물에 대한 HAZOP Study 위험의 발견 (Hazard Identification) ④ 위험에 대한 정성적 등급 부여 위험의 빈도, 심도 산출 | <ul style="list-style-type: none"> ⑤ 선택된 위험에 대한 정량적 분석 위험의 분석(Risk Analysis) ⑥ 위험의 확률과 영향평가의 결합 위험도 산출 ⑦ 위험도의 비교 위험의 평가(Risk Assessment) ⑧ 위험 완화 방법의 평가 대책의 수립 (보유(보험), 회피, 이전, 분산 등) |
|--|---|

를 Guide Word에 적용시켜 가면서 생길 수 있는 위험을 찾아내는 기법이다.

본 세미나에서는 저장탱크와 펌프만으로 구성된 극히 간단한 P&ID's를 이용하여 본 설비(또는 시스템) 중에 잠재된 41가지의 위험을 찾아내었다. 이 41가지의 위험을 현실적으로 위험한 것으로 도출된 것은 A로, 잠재된 위험은 B로 분류하고, B위험은 다시 면밀한 분석 검토를 수행하여 다시 중대한 위험으로 귀결된 것은 A로 분류하고, 그렇지 않은 것은 C로 분류(이해를 돕기 위하여 단순 분류)한다. 이 과정을 통하여 41개 위험이 13개의 위험으로 축소되었다. 즉, 이 위험들은 현실적으로 또는, 잠재된 위험으로서 중대한 결과를 가져올 수 있다. 그런데, 이들 13가지의 위험은 분석과정 중에서 모두 저장탱크내의 내용물(인화성 액체)이 누출되었거나 누출될 것으로 분석되었다. 이것이 Top Event이다.

이 과정은 논리적 과정을 제시하여 보다 복잡한 과정의 위험분석을 수행하기 위함이다.

6. FTA의 구축

여기에서는 Logical한 과정인 Fault Tree라는 기법을 이용하여 Hazop Study에서 제시된 Top Event와 그와 관련된 부수적인 사고(Hazop Study)로 도출된 Basic Event 사이의 상관관계를 분석하여 Fault Tree를 구축한다. 이 과정은 논리적 표현 방법인 'AND' gate와 'OR'gate를 이용하여 경로를 구성하여 빈도를 계산한다. 이것이 위험의 빈도이다.

FTA를 구축하려면 Basic Event의 확률이 제시되어야 한다. 우리나라에는 이러한 사고 사례의 비축도 되어 있지 않으며, 또한, 사고분석을 통한 수치해석의 Technique도 거의 전무한 실정이다. 따라서, 외국의 사고 DB를 이용할 수 밖에 없다. 이 계산 과정은 몇가지 확률 관계식을 이용하면 쉽게 얻어질 수 있다.

7. 시스템의 수정

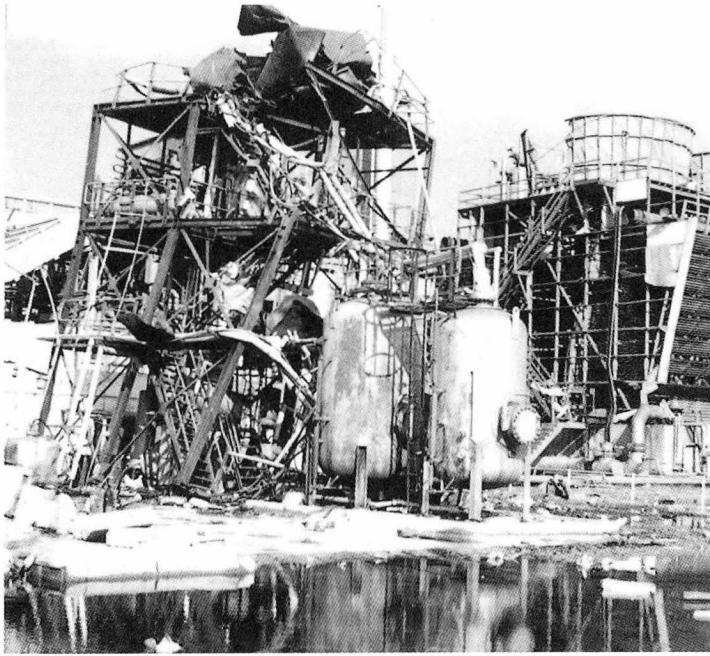
Fault Tree에서는 사고의 확률이 평가된다. 가장 가능성이 있는 사고는 과충전($3 \times 10^{-2}/yr$)으로

인한 저장탱크로부터의 액체의 방출이다. Fault Tree를 이용함으로써 여러가지 안전성에 대한 효과를 연구하는 것은 어려운 일이 아니다.

예를 들면, 탱크트럭의 충전 Pump에 High Level로 인한 어떤 사고가 발생될 것이라면 별도의 조업중단 기능을 부가함으로써 액체방출의 확률($3 \times 10^{-4}/yr$)이 감소(거의 $1 \times 10^{-2}/yr$)될 것이다. 그렇게 되면, 그 다음으로 가장 가능한 사고($2 \times 10^{-3}/yr$)가 가장 높은 사고 빈도를 가지게 될 것이다. 이 사고에도 어떤 조치(즉, 탱크에 독립적인 저압 경보 장치를 부가)를 취함으로써 확률을 감소시킬 수 있을 것이다. 이와 비슷한 방법으로 그 다음으로 가장 가능한 사고의 확률을 감소시킬 수 있으며 계속하여 같은 방법으로 수행할 수가 있다. 이것은 안전측면에서 중요한 개념이다.

8. 위험의 심도

지금까지는 논리적 과정을 통하여 위험을 찾아내어 가장 발생빈도가 높은 위험을 도출시켰다. 앞



에서도 언급한 바와 같이 위험도는 위험의 빈도와 심도를 모두 고려하는 것이다. 여기에서는 위험의 심도를 결정한다. 그러나 이 과정은 누출의 형상과 사고 형태가 다양하기 때문에 그 결과를 얻는 과정(몇 학기를 소요하는 분량)은 생략하고 다만, 유출된 모델(Source Term 모델)의 계통도를 통하여 평가식을 활용한 결과만을 계산에서 활용한다.

9. Case Study를 통해본 QRA 및 Dow Index의 의의 및 활용방안

가. QRA(Quantitative Risk Analysis)

이 방법은 앞에서 설명된 Hazop Study와 FTA를 통하여 사고사례의 시나리오를 가상하여 위험의 빈도와 심도를 구하여 위험을 정량화하는 과정이다. 이 과정은 화학 공장의 누출로 인한 모

든 형태의 위험을 평가할 수 있어 그 활용도가 광범위하다.

특히, 유독가스 확산 모델이 제시됨으로써 환경영향 평가가 가능해지고, 화재, 폭발, 유독가스에 의한 재산 피해뿐만 아니라 인명 피해까지 평가가 가능하므로 상해보험, 신체 및 환경관련 배상책임보험의 EML산정의 길을 열어놓았다.

나. Dow Index

이 방법은 Dow Chemical사의 보험계약 체결에 따른 견해 차이로 발생되었으나, 이 기법의 논리적 관점이 인정되어 미국의 화학 공학회를 통하여 보급되고 있다. 이 기법은 QRA에서 처럼 논리적 방법에 의해 위험을 찾아내어 평가하는 것은 아니고, 사고시 피해 관점의 EML의 평가와 조업중단으로 인한 간접손실까지 평가가 가능하다.

다만, 본 기법의 기본 관점은

사고 사례를 DB화한 것이므로 피해비용 관점이 인색하여 보험자로서는 수용하기 어려운 점이 있다.

- ① Checklist기법으로 직접 위험을 도출시킬 수 있다.(그러나, 빈도를 제시하지는 못함)
- ② 본 기법의 핵심인 F&EI(Fire & Explosion Index) 지수는 그 자체가 위험의 정도를 지칭하는 위험지수이지만
- ③ 공정중에 내포된 순수위험의 피해반경이다.
- ④ 손실방지 설비의 신뢰성이 가미되어 피해반경을 평가할 수 있으므로, 손실방지에 투입된 비용을 평가할 수 있다.
- ⑤ 검사기관 같은 곳에서는 지적한 내용의 효과를 비용측면에서 평가할 수도 있다.

다. EML측면에서 본 QRA와 Dow Index 기법의 공통사항

① EML을 활용하여 자가보유 한도의 측정이 가능하여 보험료 절감의 효과가 있다.

즉, 총보유 자산가액 - EML = 자기보유량

이때의 EML은 QRA결과를 활용하기 바람(Dow Index의 결과는 EML이 과소 평가되는 경향이 있음)

② 보험자의 책임 준비금 산정에 활용 가능하다.

③ 국내에서의 적정보유량을 파악할 수 있으므로 해외재보험 등에 의한 의존도를 줄일 수 있다.

④ 보험 요율의 자율화에 대비, 개별요율의 기반을 구축할 수 있다.

⑤ 화재 보험의 환경·상해 보험 및 이와 관련된 배상책임보험의 EML평가에도 활용가능하다. ☉