

화학공업에서의 안전 과제

1. 서 언

사회의 성숙도, 기술 수준, 시스템의 규모나 수준 변화에 따라 안전에 대한 철학과 방법론도 영향을 받는다. 즉, 사회가 성숙함에 따라 고도의 안전성이 요구되며, 기술의 진보, 시스템의 거대화에 따라 안전확보를 위한 고도의 기술과 새로운 방법론이 요구된다. 화학공업도 석유화학중심의 중화학공업에서 정밀화학 또는 초정밀화학으로 옮겨감에 따라 그에 따른 안전 대책에도 새로운 대응이 필요하다.

여기서는 기술 진보와 안전문제, 사회적 배경의 안전문제에 대한 영향, 리스크 해석과 안전문제에 대해 개괄적으로 알아보고, 보전작업 중의 사고사례에 대해 서술하고자 한다.

2. 기술 진보와 안전문제

기술개발은 그 목적인 기능성의 추구하고 안전성 문제를 균형있게 진행시켜야 하나, 현실적으로는 아래의 이유로 안전 문제에 대한 대응이 불충분한 경우가 많다.

- ① 안전성에 관한 충분한 검토를 위해서는 상당한 노력과 경비가 소요된다.
- ② 개발경쟁이 극심한 분야에서는 대부분의 노력을 기능성 추구에 기울이므로 안전성을 검토할 여유가 적어진다.
- ③ 안전성의 검토나 대책이 불충분하다고 해서 반드시 사고나 재해가 일어난다고는 할 수 없다.

기능성 추구는 목적에 부합하도록 연구개발하면 가능하다, 안전성 검토는 이상현상의 문제를 대상으로 하고, 검토항목이나 내용의 누락을 허용치 않으므로

가능성이 있는 모든 상황에 대해 여러 각도로 검토해야 한다. 따라서 상기 ①에서 서술한 바와 같이 많은 노력과 경비가 소요될 뿐 아니라 ②나 ③의 사정을 감안하면, 안전성 검토나 대책에 어느 정도 힘을 쏟는가는 경영방침의 중요한 요소가 된다. 따라서 度數率의 추이는 사회환경의 변화에 따라 기업의 경영자세가 안전성 중시로 바뀌어 온 확실한 증거라 생각된다.

기술개발 단계나 설계단계에서 안전성 검토나 대책이 불충분했음에도 사고나 재해를 피하는 것은 현장 운영이나 관리자 능력에 힘입은 바가 크다. 그들은 경험이나 직감, 또는 조업 중에 체험하는 이상접근을 통해 위험성을 개선하고, 안전성을 확보한다. 그러나, 기술이 진보하면 이와 같은 개인적인 능력이 제대로 발휘되지 못하는 요소가 늘어나는데, 그 몇 가지를 열거한다.

① 기술의 급속한 진보

기술의 진보가 지나치게 빠르면 경험적 지식에 의한 판단이 곤란해지거나 시행착오적인 대응을 하게 된다.

② 프로젝트의 복잡화와 개인의 책임감

프로젝트가 복잡하게 세분화됨으로써 개인의 책임이 희박해져, 장인기질적인 기술로 안전을 확보하기를 기대할 수 없다.

③ 시스템의 대규모화·복잡화

시스템이 대규모화·복잡화하면 이상이 발생했을 때, 그것이 어떻게 전파될지 순간적인 예측이 어려워지고, 판단이나 대응이 잘못될 가능성이 커진다.

④ 자동화에 따른 새로운 인적 요인

자동화가 진전되면 사람이 담당하는 일은 이전과 달리 시스템의 감시나 이상시의 대응이 주가

되기 쉽다. 이 경우, 아래와 같은 인적 요인의 문제가 생긴다

- 일에 대한 열의 저하
- 자동화시스템의 이해부족
- 자동화시스템에 대한 운용 과신
- 급격한 자동화에 의한 Man-Machine시스템의 미비, 자동운전 습관에 의한 이상시의 대응 지연

⑤ 선진기술과 후진기술의 혼재

이는 최근의 중대재해에 공통적인 것으로, 기술의 진보과정에서 아래와 같은 불균형이 생긴다.

- 선진기술과 노후기술의 혼재
- 선진기술 시스템 중에 이전의 노후 설비, 기기류의 혼재
- 선진기술 시스템의 운용 조직이나 인적 수준이 기술의 선진성을 따르지 못함.
- 선진기술과 문화적 배경의 부적합

3. 사회적 배경의 안전 문제에 대한 영향(화학공업의 정밀화)

최근에는 산업안전에 대한 국제적인 영향이 늘고 있고, 앞으로 점점 더 커질 것으로 예상된다. 즉, 산업구조는 경쟁력 제고를 위해 예전의 소품종 다량생산형에서 하이테크기술을 구사한 고부가가치 제품의 다품종 소량생산형으로 변화해 왔다. 그 결과, 안전 측면에서 다음과 같은 문제가 발생하고 있다.

① 新물질이나 그것을 취급하는 공정의 위험성을 충분히 파악할 수 있는가.

신제품이나 중간체가 생겨나는 템포가 빨라져 新물질의 위험성이나 그것을 취급하는 공정의 안전성을 정확하게 평가하기가 어렵다. 현재, 평가기법의 연구가 진전되어 몇 가지 기법이 제안되고 있으나, 만족할만한 표준적인 기법은 확립되어 있지 않다.

② 기업비밀의 방어가 견고해진다.

신제품 개발능력이 회사 운명을 결정하므로 기업비밀의 방어가 견고해져 보안에 관한 정보교환을 저해한다.

③ 생산설비의 공용

다품종 소량생산인 경우, 효율적인 운용을 위한 설비의 공용화가 운전미스의 원인이 되어 사고

를 일으킬 수 있다.

물질의 위험성을 파악하기 위하여 이전부터 위험성 Data Sheet를 작성하고 있다. 그러나, 그것을 이용하여 공정의 위험을 회피하기 위한 설계나 운전방법을 확정하기 위해서는 유사공정의 설계나 운전을 숙지하고 있는 숙련된 엔지니어의 힘이 필요하다. 왜냐하면, 기존의 Data Sheet는 공정의 다이내믹한 움직임에 대응하기 위한 정보를 총망라한 것이 아니라 한정된 조건에서의 물성을 부여한 것에 지나지 않으므로, 실제 공정의 설계나 운전에서 이용할 경우 유사한 공정에서 경험한 정보와 조합하여 이용해야 한다.

그러나, 기술개발의 템포가 빨라지면 지금까지의 경험이 그다지 도움이 되지 않는 새로운 생산기술이나 新물질이 개발되는 일도 많아진다. 그러므로 예측 곤란한 공정위험을 사전평가로 찾아 내는 기법의 확립이 중요한 과제이다.

4. 리스크 해석과 안전관리

생산시스템이 거대해지면 작은 시스템에 적용해 왔던 안전관리기법으로는 충분히 대응할 수 없게 된다. 다음에 영국의 ICI가 신규 공정과 플랜트 설계를 위해 개발한 위험조사기법을 소개한다.

우선, 프로젝트의 초안을 만드는 조사단계에서 위험조사(1단계)가 실시된다. 이것은 모든 관련물질의 위험성 및 그들의 상호작용과, 인근 공장이나 주민들이 프로젝트에 가하는 제약 리스트를 만들기 위함이다. 여기에는 일어날 수 있는 위험현상의 특성을 귀납적으로 해석하는 방법인 Event Tree를 이용한 논리조직이 사용된다.

신규 프로세스를 설계할 때 프로세스나 프로젝트의 명세를 작성하는데, 이 단계에서도 위험조사(2단계)를 실시한다. 이것은 문제가 되는 위험현상과 그 원인을 찾아내어 필요한 설계변경을 하는데 유효하다. 문제가 되는 위험현상의 검토에는 바람직하지 않은 현상의 원인을 연역적으로 해석하는 기법인 Fault Tree(FTA)가 도움이 된다.

상세한 라인이나 운전매뉴얼이 완성되었을 때(즉, 상세설계단계)에는 위험조사(3단계)를 실시하는데 이는 바람직하지 않은 현상이 일어났을 때 그것이 어떻게 확대 전파하여 재해가 되는지를 평가하는 기법

으로 ICI에서 개발한 HAZOP기법이 이에 속한다. 이 단계에서 모든 위험을 발견해 내는 것이 가장 바람직하나, 이보다 나중 단계에서 위험이 발견되면 문제점을 제거하기 위한 설계변경이 곤란해진다.

이상의 3가지 위험조사를 실시한 후 모든 조치가 이행되었는지, 그리고 최종적으로는 실제의 플랜트 설계나 운전방법이 설계의 기본적 개념과 일치하는지를 확인해야 하는데, 이 작업을 위하여 위험조사(4, 5, 6단계, 즉, 건설단계, 운전부문에 대한 권한의 위임 단계 및 운전단계)가 실시된다. 이러한 리스크해석을 수행했음에도 불구하고 아래와 같은 문제점이 제기되고 있다.

- 모든 위험요소를 빠뜨리지 않고 찾아 낸다는 보장이 없다.
- 현상의 발생확률에 대한 신뢰성 있는 데이터가 적다.
- 인적 요소에 대해 불확정 부분이 많고, 모델화, 정량화 등의 기법이 확립되어 있지 않다.
- 사회적으로 수용 가능한 리스크 수준의 판정이 어렵다.

모든 위험요소를 빠뜨리지 않고 찾아내는 일은 대단히 어렵다. 실제로도 전혀 예상하지 않았던 현상이 발생, 사고나 재해가 된 사례가 많다. 이것을 해결하기 위해서는 누구라도 이용할 수 있도록 데이터베이스를 정비하여 공개할 필요가 있다. 회사의 경영전략에 이용하거나 공장의 입지 조건을 검토하기 위해서는 현상의 발생확률에 대한 신뢰성있는 데이터가 필요하나, 현재로는 적절히 이용할 수 있는 데이터가 없다. 이에 대해서도 데이터베이스의 구축이 요망된다.

재해방지를 위한 시스템 중에서 사람의 역할이 차지하는 비율은 상당히 높다. 인간은 고도의 판단능력 과 행동력을 갖는 반면 실수도 많다. 인적 요소를 잘 고려하면 재해방지에 강력한 무기가 되지만, 반대인 경우에는 재해의 원인이 된다. 때문에 리스크해석 중 에서 인적 요소는 지극히 중요하다. 그러나, 인간의 심리는 섬세하고 불확실성이 높아 모델화가 어렵다. 예로부터 사고나 산업재해를 방지하기 위해 인적 요소를 높은 수준으로 유지하기 위한 노력이 이루어지고 있고, 이것이 안전관리의 주된 요소가 되고 있다. 사회적으로 허용되는 리스크의 수준을 파악하고, 리스크해석의 결과가 사회적으로 수용가능한지 또는 개

선을 위한 변경이 필요한지를 판단해야만 한다.

5. 안전관리와 평가

생산시스템의 고도화·복잡화, 새로운 시스템, 설비, 물질의 도입을 수반하는 신규 플랜트의 도입이나 생산설비 변경 빈도의 증가, 또는 젊은이들의 의식 변화나 외국인 고용 등 화학공업을 둘러싼 환경의 변화를 생각하면, 화학공장의 안전관리도 이전의 방식으로는 통용되지 않을 수도 있다. 생산시스템의 진보, 사람들의 의식 변화 및 사회정세의 변화를 고려한 안전관리시스템의 구축이 앞으로의 과제이다.

6. 설비안전에서의 안전문제

가. 설비보전작업에서의 재해

(1) 사고사례

청소나 점검, 수리 등의 설비보전작업은 일반제조업에 비해 재해 발생률이 높다. 이러한 사고를 감소시키기 위해서는 원인요소의 해석이 불가피하다. 그래서, 설비보전작업 중에 발생한 전형적인 사고 사례를 정리해 보고자 한다.

(2) 보전작업 중의 안전상의 문제점

보전작업에서는 사고가 발생하기 쉬운데, 사고사례에서 보전작업 중의 안전상의 문제점을 정리하면 아래와 같다.

- ① 비정상작업으로, 기기 장치에 검지경보기나 환기시스템이 설치되어 있지 않을 수 있다. 또한, 안전교육이 불충분하거나 플랜트 내의 물질, 취급기기 등에 관한 안전 정보가 부족한 경향이 있다.
- ② 작업장소가 일정치 않고, 대상으로 하는 기기류도 다양하므로 작업기준의 정비가 지연된다.
- ③ 출장작업이므로 발주회사와 연락이 잘 되지 않아 작업환경을 충분히 파악하지 못한 것이 사고로 연결되는 일이 잦다.
- ④ 기기를 정지시키지 않고 점검이나 보수를 하는 일이 많다.
- ⑤ 가스치환이나 산소농도, 유해가스농도의 측정 또는 각종 보호구의 준비 등 사전 안전대책이 불충분한 상태로 작업을 하기 쉽다.

사례1. 수소화 정제플랜트의 정기점검 중 누설사고

기기 장치	수소화분해장치	작업형태	정기점검	원인요소	누설, 착화?
개요	수소화 분해장치의 정기점검을 위해 장치의 운전을 정지, 수소에 의한 플렉션(Fraction) 중에 수소가 혼합된 경유가 분출, 화재가 되어 배관 소손.				
원인	320℃의 윤활유에 50℃의 수소가 혼합됨에 따라 배관 내의 온도가 급격히 저하하여(200℃) 플랜지, 가스켓 사이의 압력 저하 초래, 이음의 불균일로 인해 높은 관내압이 형성되어 분출.				

사례2. 개수공사 중의 탱크화재

기기 장치	보일러	작업형태	개수	원인요소	세정 불충분
개요	보일러의 개수로 불필요하게 된 중유탱크를 가스용단으로 해체 중, 탱크 내에서 화재가 발생하여 탱크 소손.				
원인	해체작업 전에 탱크 내부의 중유는 제거되었으나, 탱크 내부의 세정, 화기 사용금지 등 작업지시서의 내용이 준수되지 않았음.				

또한, 보전작업은 시스템 주변에서 수행하는 경우가 많아 시스템 중추와의 의사소통 미비나 부조화로 위와 같은 문제점이 발생한다.

의 움직임이 정상운전상태와는 다르다. 또한, 작업원의주의도 작업대상에 집중되지 쉬워서 대상 이외의 위험한 상황이 간과되어 사고로 이어지는 경우도 많다.

나. 보전업무 미비에 의한 사고와 안전관리

보수점검 정비매뉴얼의 미비나 보수점검이 매뉴얼 대로 실시되지 않아 설비보전이 적절하게 이루어지지 않는 것은 기기 장치의 수명을 해칠 뿐만 아니라 예상치 못한 재해의 원인이 되기도 한다. 기계보전연맹의 자료를 토대로 작성한 각 설비의 사고 원인 통계에 의하면, 보수 미비로 인한 사고 비율이 상당한데 특히, 압축기, 냉동기 사고의 66%가 보수관리 불완전이 원인이며, 인쇄기나 펌프 사고의 40% 이상이 보수 불량이나 보수 불완전에 기인하고 있다.

보전의무 미비가 원인이라 생각되는 사고례를 해석하면, 다음의 문제점이 드러난다.

① 설비보전의 약체화와 사고

장치의 복잡화로 정기점검이나 정기수리로 간단히 보수가 되지 않거나, 장치의 상태를 체크하기가 어려운 블랙박스 부분의 증가, 숙련자의 부족, 작업자의 고령화가 설비보전의 약체화를 초래하고 있다.

② 정기수리 후의 사고 다발

정기수리 직후나 섰다운, 보전작업시는 시스템

7. 맺음말

화학공업은 부가가치가 높은 제품을 만들기 위하여 정밀해지고 있으며, 이에 따라 新물질을 취급하는 新공정이 많아지고 있다. 그 결과, 이상반응에 의한 사고로 심각한 재해나 환경오염을 야기시킬 위험성이 있는 프로세스도 증가하고 있다. 따라서 공정안전평가기법의 체계화 또는 안전진단과 점검체제의 정비가 중요한 과제로 부각되고 있다.

최근의 화학공업 사고례의 태반은 시스템 주변에서 일어나고 있고, 그 수도 적지 않다. 대부분은 교육의 불철저에 의한 지식부족, 점검미비, 연락이나 안전확인 미비, 작업기준과 매뉴얼의 미비 또는 불이행 등 초보적인 안전관리의 문제가 사고원인이 되고 있다. 기술의 진보에 따른 시스템의 고도화·복잡화, 젊은이의 의식 변화, 외국인 고용으로 인한 종업원의 다양화 등 안전관리를 둘러싼 환경 변화를 고려하여 안전관리체제를 구축하는 것이 중요하다.

“Safety Engineering”(95. 3&6)에서 발췌