

## 화학공장의 안전과 방재

김 재 덕\* 이 윤 용\*

### 1. 서 론

화학공장은 여러가지 관련법규, 기준 및 규격에 맞도록 설계가 이루어지지만 안전 면에서는 항상 주의를 필요로 한다. 왜냐하면 화학공장은 반응장치, 분리장치, 열교환기, 펌프, 압축기, 각종 계측 제어장치 등이 유기적으로 연결되어 있는 대규모 시스템이므로 조그만 고장에도 예기치 않은 사고로 발전할 수 있기 때문이다. 또한 가연성 물질이나 독성물질을 대량으로 취급하고 있어 사고가 발생할 경우 조업중단에 따른 경제적 손실 이외에도 종업원의 안전 및 지역환경에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 화학공장의 안전성 확보를 위해 끊임 없이 노력을 경주하는 것은 기업의 책임이라 할 수 있다.

그 노력은 법령에 의한 규제의 강화, 제조, 보수, 관리 및 안전기술의 진보, 종업원의 교육 및 훈련에 의한 지식수준의 향상 등에 의해 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 노력에도 불구하고 현장에서 간혹 사고가 발생한다. 더욱이 그 사고 유형을 보면 지금까지는 경험한 적이 없는 새로운 유형의 사고도 간혹 발생하고 있다. 최근 화학공장의 사고건수는 감소하는 추세이지만 앞으로 더욱 사고를 줄이려면 지금까지의 노력이상이 필요하다.

사고가 발생하면 보통은 사고원인에 관한 조사 및 평가가 있게 되고 동종의 사고가 또다시 일어나지 않도록 대책이 이루어진다. 때에 따라서는 사고를 일으킨 하나의 플랜트에 영향을 받아 비록

본질적으로 문제가 없는 경우에도 모든 기업의 플랜트에 개선책이 요구된다. 그러나 조금 지나면 또 다른 기업의 플랜트에서 사고가 일어나고, 또 새로운 대책이 필요하게 된다. 결국 이 상황이 반복이 되면서 안전에 대한 대비책이 하나씩 늘어나게 된다. 이렇게 해서 화학공장의 안전수준이 올라간 것은 사실이지만 완벽한 것은 아니라고 판단된다. 이러한 노력에 덧붙여 사전에 충분한 대책을 세워두는 것이 더욱 바람직하다.

또한 사고가 일어난 후의 대책이 너무 늦는 경우가 많이 있다. 사고의 영향이 너무나 커져 다시는 일어날 수 없는 예도 간혹 볼 수 있다. 사고방지의 최선책은, 사고를 예방하는 것이며 충분한 자금을 투입해서라도 안전기술을 개발해야만 할 것이다. 그러나 이 문제는 그렇게 간단하지는 않은데 절대로 사고가 없다고는 말할 수 없기 때문이다. 불행히도 사고가 발생했을 때를 대비하여 피해규모나 인근사회에의 영향을 최소화하기 위한 방재시스템도 마련하지 않으면 안된다.

본 고에서는 화학공장의 안전대책으로서 예방과 방재의 두가지 면의 대책에 대해서 기술하였다.

### 2. 위험성 분석(Risk Assessment)

먼저 사전에 안전대책을 행할 때는 위험의 종류와 크기를 명확히 정의하지 않으면 안된다. 일반적으로 "위험"이라고 불려지는 것은 일어날지도 모르는 잠재적인 위험을 말하며, 막연한 것으로서 구체성이 없다. 때문에 본고에서는 "위험"을 인간의 생명이나 생산활동에 있어 바람직하지 않는 사

\* 한국과학기술연구원 CFC대체기술센터

고발생의 불확실성의 정도와 그 결과의 크기의 곱으로 정의된다. 즉

$$\text{위험} = \sum f_i c_i$$

$f_i$  : 사고의 발생확률  
 $c_i$  : 사고에 의한 피해의 크기

그러나 일반적으로 종종 확률은 무시되고 피해의 크기만이 강조되는 경우도 많다. 건축물의 붕괴나 일상의 자동차사고에 대한 매스컴의 보도를 보면 이러한 사정은 이해가 될 것이다. 위험은 상술한바와 같이 불확실성이 함께 따라다니지만, 여기에는 확률적인 것, 우발적인 것, 해명되지 않은 것, 예측이 불가능한 것 등이 있다. 또 위험성 분석의 결과는 분석하는 주체의 개인적, 사회적 상황에 의해서도 변화한다. 즉 객관적 위험분석과 주관적 위험분석은 반드시 일치한다고는 할 수 없다. 공장관계자의 위험성 분석과 인근주민의 것과 일치하지 않을 경우 충분히 주의할 필요가 있다. 원자력 폐기물처리장의 건설을 둘러싼 대립이 그의 좋은 예이다.

위험성 분석의 첫째단계는 위험의 추출과 인식에서 시작하여, 둘째, 위험의 정량화 즉 위험성을 분석하는 것이지만 여기에만 끝나지 않고, 셋째, 위험에 알맞은 대책의 결정, 그리고 넷째, 그의 실시와 계속 등에 의해서 안전관리에 이어지게 된다. 첫째단계는 어떠한 위험이 존재할 수 있는가를 찾아내는 것이며, 둘째단계는 그것들이 어느 정도의 위험성을 갖는 것인가를 정량적으로 분석하는 것이다. 셋째단계는 그 위험에 대한 대책을 검토해서 결정하는 것이지만 이는 계획, 설계, 제작, 건설, 운전 등 모든 면에서 상세히 행할 필요가 있다. 각각의 hardware는 물론이지만 여기에 관여하는 사람에 대해서도 충분히 고려할 필요가 있다. 방재관계설비 및 시설도 또한 여기서 검토된다. 넷째단계는 대책의 실시이다. 이 단계에서도 hardware의 평가와 평가과정에 대한 충분한 논리가 중요하지만 human factor도 대단히 중요하게 된다. 그러나 human error에 사고의 최종책임을 모두 미루는 것은 옳지 않다. 왜냐하면 사고에서는 종종 설비나 관리의 결함이 human factor의 형태로 나타나기 때문이다.

방재설비의 적절한 운영도 재해규모의 크기를 좌우하는 중요한 요소이다. 위험성 분석시 위험성이 있다고 평가되어도 그 위험이 공학적으로 또는 사회적으로 허용되는 것이라면 받아들일 수 있다고 판단한다. 이 점이 "절대안전"을 대단히 애매한 형태로 요구하는 여러가지 규제와는 다른 점이다. 절대안전이란 현실적으로는 존재하지 않으며, 위험에 대해서 기술적으로 충분한 대응을 하고 목표하는 위험이하로 한다는 그러한 입장인 것이다.

또한 전술한 바와 같은 risk의 본질에서 보면 위험성 분석에는 발생확률이 중요한 위치를 차지한다. 이에 대한 자료를 얻으려면 사고사례, 장치나 부품의 고장경력, 사람의 잘못 등에 관한 방대한 자료와 해석의 노력이 필요하다. 이것은 오랫동안의 꾸준한 노력의 결과 얻어질 수 있는 것으로 하루아침에 얻어지는 것이 아니다. 이와 같은 확률론적 논의는 지금까지의 안전기술론에서 특히 빠져 있었던 부분이다. 이 확률론은 중요한 개념이지만, 이것만으로 모두가 해결될 수는 없다. 안전대책이나 안전관리를 실행할 때 대상이 되는 사고의 결정론적인 해석이 또 한편으로 필요하다. 확률론과 결정론은 때때로 대립하는 것으로 여겨지지만, 실제로 양자가 존재함으로 해서 위험성 평가와 그 뒤의 안전관리도 살아나게 되는 것이다.

### 3. 위험성 분석기법

위험성 분석기법은 크게 정성적인 접근과 정량적인 접근으로 나눌 수 있으며, 그 기법과 개요를 표(1)에 나타내었다. 이중에서도 특히 자주 인용되는 HAZOP, FTA, ETA를 간략히 소개하겠다.

#### 3-1. HAZOP(Hazard and Operability Study)

HAZOP은 1963년 영국 ICI에서 개발한 것으로 처음에는 Operability Study로 시작하였으나 위험성을 검토대상에 넣음으로서 Hazard를 추가하여 현재의 HAZOP으로 개량되었다. HAZOP의 목적은 이름에서 나타나 있는 것처럼 위험요소(Hazard)의 발견 및 사고를 일으킬 수 있는 원인을 찾아내어 그에 대한 대응책을 모색하는 것과

표 1. 위험성 분석기법

1. 안전점검	공정의 수명이 있는 한 임의의 단계에서 실시 가능 현존의 시설에 대해서 실시 목시 검사에서 공식점검까지 폭이 넓다
2. Check list	시스템의 상태를 확인하기 위해, 점검항목을 기재한 list를 만들고, 이에 의거하여 점검을 실시한다
3. 상대적인 격차	공정, 장치설계, lay-out등의 최선의 상태에 있는지 아닌지를 검토해서 그 정도에 따라서 수치적인 격차를 부여한다
4. 예비적 위험 해석(PHA)	상세한 설계내용을 모르는 시점에서, 공정의 위험성을 예비로 평가해서, 그후의 설계를 안전면에서 方向을 제시한다
5. What-if 해석	만약 무엇이 일어나면, 어떻게된다는 질문을 통해서 바람직하지 않는 사고로 이어질 위험이나 상황을 검토한다
6. What-if해석 check list해석	What-if 해석과 Check list방식의 조합
7. 위험 및 조작성(HAZOP)	공정의 위험을 여러가지 조작조건을 변화시켜서 해석한다. 예컨대 온도가 상승하면 반응기는 어떻게 되나 등
8. 고장mode와 효과해석(FMEA)	기기나 장치가 고장일 때 어떠한 효과가 생기는지, 또 그것이 대단히 위험한 사태인지 등을 해석한다
9. Fault tree해석(FTA)	처음에 사고의 효과를 나타내고, 그것이 어떤 경로에서 발생한 것인가를 구성요소까지 찾아올라가 해석하고, 원인을 명확히 한다
10. Event tree해석(ETA)	FTA와는 반대로, 결정적인 사상으로 부터 사고 또는 재해의 시나리오를 그려서 대책의 효과와 피해의 크기를 해석한다
11. 원인·결과 해석	FTA와 ETA를 조합한 것으로 잠재적 사고의 기본적인 원인과 그것에 의한 결과를 해석한다
12. 인간신뢰성 해석	잠재적인 human error 및 그 内部에 있는 원인을 신뢰성 공학의 수법을 써서 분석한다

화학공장의 조업성(Operability)측면을 재검토하여 가동을 향상 및 운전상의 문제로 제기될 수 있는 사고를 줄이고자 하는 것이다.

HAZOP은 새로운 기술이나 공정개발을 위하여 고안된 기법이나 기법의 특성으로 인하여 공장의 증설, 개조, 관리 및 안전성 검토 등 모든 면에서 언제라도 사용할 수 있는 기법으로 발전하였다. HAZOP은 공정에 관한 여러분야의 전문가들이 모여서 공정에 관련된 자료를 토대로 자유토론을 수행하는 것이다. 이 자유토론에 의하여 공정상의 위험성을 찾아내며 또한 조업상태를 재검토하기 때문에 한사람만에 의해서 수행되는 다른 공정위험성 평가기법과는 차이가 있다.

이와 같이 HAZOP은 화학공정에 대하여 상세한 정성적 분석을 할 수 있으나 많은 인력과 비용이 소요되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 checklist나 what-if같은 기법과 HAZOP을 병행하거나 대상공정을 위험도별로 순서를 정한 후 중요한 공정에 대해서만 HAZOP을 수행할 수도 있다.

화학공정에 관한 HAZOP은 공정설계상의 문제점의 발견, 기기의 고장, 잘못 조작에 따른 영향을 해석하여 그 대책을 검토하는 데 유용하다. 구체적인 HAZOP의 수행방법으로는 먼저 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)를 사용하여 시작한다. P&ID에는 각종장치, 기기, 배관의 연결상태와 크기, 재질, 설계압력, 온도사양 등의 제원, 제어제통에 관한 정보가 나타나 있으며, 이밖에도 공정배관은 물론, 시운전배관, 유틸리티 배관 긴급차단시와 유지보수시의 배관 등 모든 배관이 기재되어 있다.

HAZOP은 P&ID의 한개의 배관 또는 한개의 장치에서 발생할 수 있는 공정이상을 상정하고 그 원인과 결과의 검토, 또는 공정이상에 대한 대책의 검토 등을 통해 화학공정의 안전성을 확보하는 것이다. 예를 들어 한 배관에서의 흐름을 변수로 선정했을 경우, 유량의 증가, 감소, 정지, 역류와 같은 guide word를 이용해서 이것이 변화했을 때의 양상을 사전에 예측하고 또는 실험 등으로 확인해서 플랜트의 운전조건에 허용도를 알고자 하

표 2. HAZOP의 guide word

Guide Word	의 미	설 명
Not 또는 No	설계의도의 전면적 부정	설계의도가 전혀 달성되지 않던가 어떤 일도 발생하지 않는다.(예 : 유체가 흐르지 않는다.)
More 또는 Less	양적 증가 또는 감소	유량, 온도, 압력과 같은 양적 특성의 증가 또는 감소에 대해 적용한다. 또한 가열기 또는 반응기에 적용할 수 있다.
As Well As	질적 증가	설계의도는 달성되었지만 예상치 않은 다른 일이 수반한다.(예 : 장치오염)
Part Of	질적 감소	설계의도의 일부가 달성하지 않는다.(예 : 조성이 기준치에 미달)
Reverse	설계의도에 대한 논리적 반대성	역류와 같이 설계의도와 역으로 일이 발생한다.(역반응도 포함)
Other Than	설계의도 이외의 대안	Key word로서 배관사양, 압력방출설비, 유지보수 등을 사용하여 개별적으로 체크한다.

는 것이다. 또한 이 방법은 현장사람이 이해하기가 쉽다.

HAZOP의 수행순서는 다음과 같다.

- 공정을 구성하는 한개의 배관이나 장치를 선정한다.
- 공정에서 일어날 수 있는 이상으로서 guide word를 사용한다.(표 2 참조)
- 다양한 전문분야를 갖는 전문가와 staff들이 여러 각도에서 자유토론을 통해 해석한다.
- 해석결과를 기록한다.

### 3-2. FTA(Fault Tree Analysis)

화재나 폭발과 같은 최종적인 사고를 정상事象으로 하고 그 사고가 발생하는 경위를 직접원인, 간접원인으로 찾아 올라간 것이 FTA이다. 그려진 FTA가 나무의 형이 되어 있기 때문에 "사고의 나무" 또는 "결합관련 나무표"라고도 말한다.

이때 각 事象에 발생확률을 붙이면 어떤 route에서 사고가 발생되기 쉽고 어떤route에서 일어나기 어려운가를 알 수 있다. 그렇게되면 어디에 중점을 두고 대책을 하면 좋다는 것이 명확해지고 시스템의 개선이 된다. 이 기법은 사고가 발생하기 이전의 대책에도 사고후의 원인규명에도 사용될 수 있다. 또 관계자가 서로 모여서 논의를 하면서 작성할 수 있으므로 문제에 대해서 공통의 인식을 갖게 된다.

### 3-3. ETA(Event Tree Analysis)

ETA는 사고를 결정적으로 한 재해의 확대상황에 대해 쓰여진 시나리오이다. FTA와 같이 나무

형태로 되어 있기 때문에 "재해의 나무" 또는 "재해관련수표" 등으로 불려진다. 재해의 확대방지를 위해 여러가지 방재대책이 이루어지며, 그 성공, 불성공에 의해서 재해확대의 시나리오가 다르게 이루어진다.

ETA의 골격을 그림1에 나타내었다. 이 경우도 확률을 붙이면 방재관계의 약점이 부각된다. 대책해가 되는 것은 당연히 확률적으로는 작아진다. 재해의 규모를 상정할 때에 그 위험의 기본개념을 정확히 해두지 않으면 상식 밖의 결론이 나올 수 있으므로 주의해야 한다. 또한 ETA는 대응책들도중에서 넣을 수 있으므로 재해가 일어날 확률이 실제보다 너무 작게 될 수도 있으므로 신중하게 행할 필요가 있다.

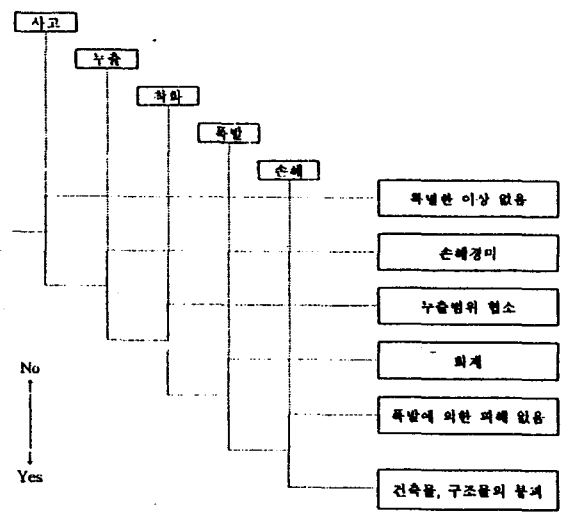


그림 1. ETA의 예

#### 4. 위험성 분석기법의 선택기준

위험성 분석기법의 모든 것을 행하는 것은 시간적, 경제적으로 손해가 되므로 상황에 따라 적절한 기법을 선택하는 것이 중요하다. 화학공정의 위험성분석 기법의 선택에 영향을 주는 조건들은 다음과 같다.

- (1) 주어진 시간과 비용의 규모
- (2) 공정위험성 분석 팀의 경험과 지식
- (3) 분석의 목적과 범위
- (4) 안전에 관련된 자료의 준비정도
- (5) 공정의 특성
- (6) 공정의 단계(project stage), 즉, 설계단계, 건설단계, 증설단계 등

위의 조건 등 중 기법 선택을 위하여 비중을 두고 연구해야 할 필요가 있는 항목은 (5)와(6)이다. 다른 항목들도 공정 위험성분석의 담당자가 기법 선택을 위하여 고려할 사항이지만 특별히 연구할 대상이라기 보다는 쉽게 이해되는 조건들이다. 따라서 본문에서는 주어진 공정의 특성과 단계에 어느 기법이 적절한 지에 초점을 맞추어 고찰하려 한다. 먼저 공정의 특성 측면에서 공정을 분류하는데 필요한 고려사항들은 다음과 같다.

- 공정에 인접한 근무자 숫자 : 근무자의 안전과 근무환경이 공정위험성분석 수행의 중요 목적 중의 하나이기 때문에 기법의 선택시 고려되어야 할 사항이다.
- 공정의 크기와 복잡성 : 공정의 크기와 복잡성은 공정위험성분석 수행에 필요한 시간과 비례하기 때문에 고려하여야 한다. 여기서 장치들의 밀집도와 같은 물리적 복잡성, 장치들 간의 연관관계 등의 기능적 복잡성이 함께 고려되어야 한다.
- 공정에서의 사고, 조업중단의 경험 : 공정에서의 사고와 조업중단의 빈도는 앞으로의 가능성을 예시한다.
- 공정물질의 독성과 가연성 : 이 두 가지 특성은 사고시 크기에 관련된 항목이다.
- 공정 내에 존재하는 위험물질의 총량 : 사고시 결과의 규모에 직접 연관된 요소이다.
- 공정의 정확성 : 공정의 운전온도, 압력 등의

요소는 공정이 내포하고 있는 난이도의 척도가 된다.

- 공정의 현재 수명 : 오래된 공정일수록 제어 방식 등이 낙후되어 있으며, 노후화에의 영향 때문에 고려되어야 한다.
- 공정의 loading, unloading의 빈도-위험물질을 다룰 경우, (un)loading의 빈도는 장치의 고장 또는 작업자의 실수로 인한 사고 가능성과 비례한다.
- 도미노 효과 : 어떤 공정에서의 고장, 사고가 다른 공정이나 또는 공장 전체로 파급될 수가 있는 측면을 고려한 항목이다.
- 공정의 종류 : 일반적으로 회분식 공정이 연속공정보다 분석이 더 어렵다.

앞에서 제시된 항목들을 정리하여 적절한 공정 위험성 분석 기법을 선택할 근거를 마련한다. 이 선택과정은 정성적/상대적 평가이고, 이를 수행하는 담당자의 주관적 의견이 개입되며, 또한 각 회사의 특성과 여건에 따라 각기 다른 결론이 도출될 수 있다. 기법 선택을 위한 분류를 공정 단위나 또는 더 작은 단위로 나누어서 시도할 수도 있다.

공정위험성분석 담당자 또는 팀이 회사 내부의 방침과 여건을 고려하여 앞에 제시된 열 개의 항목에 점수(weight)를 배정하고, 그에 기초하여 각 대상 공정(또는 더 작은 단위)에 대하여 평가를 한다. 총 점수는 각 대상의 총체적인 위험도를 나타내며, 공정위험성 분석기법의 선택 및 예상되는 노력의 정도를 알아보는 데 도움을 준다. 총 점수가 상대적으로 낮은 공정에 대해서는 적은 시간이 소요되는 기법으로 분석을 수행하며, 총 점수가 커질수록 상세한 기법을 도입하는 객관적 접근이 효과적이다. 이와 같은 분석 대상 및 도입 기법의 분류는 전공장의 위험성 평가를 효과적으로 해결하는데 기여한다. 즉, 소요되는 시간과 투자라는 한 측면 그리고 분석의 완전성 및 정밀성이라는 또 다른 측면을 이 과정을 이용하여 서로 균형있게 할 수 있다.

기법의 선택에 영향을 주는 또 다른 요소는 앞에서 (6)번째 항인 대상 공정의 단계라고 할 수 있다. 공정의 단계는 위험성과 관련된 자료의 총

분도(4)항)와 주어진 시간(1)항)에도 관련이 있다. 일반적으로 첫번째 부류에 속한 위험성 분석 기법들은 프로젝트가 어느 단계에 있더라도 적용이 가능하지만, 두번째, 세번째 부류에 속한 기법들은 관련자료의 준비정도와 상관관계가 크기 때문에 자료가 충분히 준비된 일부 단계에서만 효과적인 적용이 가능하다.

연구개발에서 공장의 건설, 운영에 이르는 각 단계에서 비교적 잘 행해지는 手法을 표 3에 나타내었다.

표 3. 화학플랜트에 있어 각종 위험성 평가기법의 선택 예

단 계	기 법
연구·개발	PHA, 相對評價, What-if
개념 설계	PHA, 상대평가, check list
pilot plant	PHA, check list, HAZOP
상세 설계	PMEA, HAZOP, FT
건설 /start-up	安全點檢, check list, HRA
日常 作業	HAZOP, check list, What-if
増設 /改修	Check list, What-if, HAZOP
사고 조사	FT, ET, HRA

지금까지의 설명에 추가되어서 일반적으로 기법을 선택하는데 유용하게 사용될 수 있는 지침 항목들은 다음과 같다.

- 공정의 부분들 사이의 기능적 의존성을 고려하는 데는 FTA가 유리하다.
- 공정에서 장치들 사이의 물리적 의존성을 고려하는 데는 FMEA가 유리하다.
- Active component의 multiple failure가 위험의 주원인이 될 경우에는 FTA분석이 필요하다.
- Human error가 주 관심일 경우에는 HAZOP, What-If, FTA, ETA 접근으로 분석이 가능하다.
- 절차서의 검증을 위한 목적에는 What-If, HAZOP 등이 활용된다.
- 운전자의 관점을 표현하기 유리한 기법에는 What-If, HAZOP, ETA가 있다.
- 사고분석의 목적으로는 FTA, What-If 등이 유리하다.
- External event의 분석을 돕는 기법에는 What-If, ETA가 있다.

-연속분석의 근거를 마련하기에 유리한 기법으로는 HAZOP, What-If, FMEA, FTA, ETA가 있다.

-어느 기법을 도입하든지 분석과 함께 시스템 간의 의존성 형식으로 준비하는 것이 효율적이다.

### 5. 내진설계

화학플랜트에서는 대량의 가연물을 취급하고 있으므로 당연히 건물이나 설비에 대해서 내진성을 필요로 한다. 특히 고압가스 관계설비에는 시설의 중요도에 따라 엄한 내진설계 기준이 있다. 옥외탱크에 대해서도 防油를 포함한 엄한 내진설계기준에 따라 설계되어야 한다.

일본의 경우 고베대지진에 있어서도 석유탱크

표 4. 고베(神戸)시에서의 옥외탱크의 피해상황  
(a) 옥외탱크 저장소의 갯수

옥외탱크 저장소	특정 옥외탱크 저장소		특정이외의 옥외탱크
	新法탱크	舊法탱크	
687	11	132	544

(b) 옥외탱크 저장소의 피해상황

조 사 항 목	피해 탱크 갯수			
	신법탱크	구법탱크	특정이외 탱크	합계
누출	0	0	1	1
균열	0	0	1	1
옆면의 변형	0	2	10	12
Annulus Side 변형	0	3	4	7
지붕의 변형	0	3	0	3
지붕의 파손	0	1	0	1
Anchor bolt의 빠짐	0	9	34	43
Earth 빠짐	2	8	20	30
경사	0	20	83	103
침하, 경사	0	31	92	123
기초	3	31	35	69
· 보강조치 이상	3	19	26	48
지반	4	50	136	190
· 땅 쪼개짐	7	55	123	185
설	1	27	38	66
· 우수진입방지Seal 균열	1	27	38	66
· 우수진입방지Seal 파손	2	16	31	49
· 배관접속부위 누출	0	2	5	7
비	0	2	7	9
· 소화설비 손상	0	2	7	9
· 기타설비	0	5	48	53

에 관해서는 방조제의 이동 때문에 탱크주변의 토사가 파헤쳐지고 일부 경사도 졌으나 탱크 본체가 손상되었다던가 배관에 균열이 가서 내용물이 누출한 적은 없었다.

고베시내의 옥외탱크의 피해상황을 표4에 나타냈는데 큰 탱크보다는 작은 탱크가, 그리고 '77년 이후의 신법보다 구법에 따라 설치한 탱크의 피해가 더욱 컸다. 또한 LPG 저온탱크의 배관플랜지에서 약간의 누출이 있었지만 탱크본체는 전혀 피해가 없었고 배관의 지지부가 액화 등의 이유로 함몰했기 때문이다. 이러한 사례로부터 일본의 탱크 등에 대한 내진설계기준이 방유제(Dike)를 제외하고 매우 적절하다는 것을 보여주고 있다. 우리나라는 일본에 비해 지진피해가 훨씬 적긴 하지만 100% 안전지대가 아니고 화학공장은 사고에 의한 피해규모가 엄청난 것을 감안하여 나름대로의 내진 설계를 해야 할 것이다.

#### 6. 조기이상·사고검출시스템

플랜트에 있어서 공정의 상태를 감시하고 있는 것은 제어시스템이다. 최근의 시스템은 공정인자의 변동이 작으면 자동적으로 보정이 되어 정상운전이 될 수 있도록 되어 있지만 또한 당연히 이상시의 검지도 가능하다. 그러나 그것이 단지 표준상태부터의 약간의 변동인지 반응이 폭주하려고 하는 것인지는 판단하기가 어렵다. 그 외에도 플랜트의 감시시스템에서는 이상한 고장은 잘 알 수는 있지만, 일반적인 사고 재해를 감지하는 것은 곤란하다.

이러한 사고발생을 재빨리 찾자는 것이 방재설비이다. 이것은 화재, 누설가스 및 액체의 검출 등 세가지 검출, 경보시스템으로 되어있어 조기의 사고검지를 꾀하고 있다. 더욱이 이것은 방재감시실에서 방재요원에 의해서 상시 감시한다. 방재감시실에는 화재감지기, 가스감지기, 저온감지기, 적외선감지기 등에서 오는 정보를 통해 여러 위험지역내의 화재, 가스나 액체누출, 침입자 등에 대한 신속한 대비를 할 수 있도록 해야한다. 즉 이 시스템은 사고를 사전에 감지하지는 못하고, 사고가 나면 빠른 시간 내에 감지할 수 있는 것을 목표로

하고 있다.

#### 7. 방화·소화시스템

불행히 사고가 발생하여 재해에까지 확대했을 때에는 최후의 방책이 방화·소화설비이다. 방화설비란, 화재가 이루어지지 않도록, 즉 불이 붙지 않거나 연소되지 않도록 설비를 방호하는 것으로서 물 스프링클러 설비나 물 분무 설비 등이 이에 해당된다.

이에 반해 소화설비는 화재가 발생한 설비를 소화하는 역할을 하고 있는데 화학공장화재는 물론서는 소화가 어렵기 때문에 다른 강력한 소화제가 필요하게 된다. 큰 것으로는 고정소화설비에 이르기까지 종류가 많다. 소화기에 가장 많이 사용되고 있는 약제는 인산암모늄계의 분말소화제이다. 이것은 유류화재에 뿐만 아니라 목재화재에도 효과가 있다.

한편 대형의 고정소화설비에서는 분말소화제는 거의 사용되지 않으며 포소화제나 하론소화제가 가장 많다.

이들 방화·소화설비는 늘 사용하지 않기 때문에 꼭 필요할 때에는 작동이 되지 않는 경우도 있으므로 평상시 보수관리가 매우 중요하다.

이는 지진의 경우 특히 중요하며, 배관이 안전하여도 펌프실이 넘어진다면 회전축이 휘어져서 펌프를 돌리지 못하였다던가 하는 trouble은 얼마든지 있다. 주변기기를 포함한 끊임없는 유지보전이 필요하다. 또한 방화·소화에는 사람이 필요하며 이 사람들에게 대한 훈련이 부족해서는 안된다.

#### 8. 결 론

화학공장의 안전과 방재는 광범위한 과제이므로 각각의 구성요소가 모두 정확하게 대응하여야만 달성이 될 수 있다. 이를 위해서는 사고를 일으키지 않기 위한 방책을 강구하는 것이 제일 중요하며 그 노력의 일환으로 HAZOP, FTA, ETA와 같은 공정의 위험성 분석이 매우 효과적임을 알 수 있다. 그리고 완벽한 방재시스템이나 소화시스

템의 구축으로 공장의 신뢰성을 높일 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 김연중, 윤여홍, 김명준, "HAZOP Study의 효율적 운영 및 그 결과의 이용", 화학공업과 기술, 12(4), 333(1994)
2. 김연중, 윤여홍, 김명준, "석유화학공장에서의 효과적인 공정위험성분석의 수행을 위한 고려사항", 화학공업과 기술, 12(6), 550(1994)
3. 上原陽一, "化學工場における安全と防災", 化學工業 1995年 7月, 545(1995)
4. 高木伸夫, "化學プラントの安全性評價", 化學工業, 56(10), 735(1992)
5. Center for Chemical Process Safety of AIChE, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", New York(1989)
6. Center for Chemical Process Safety of AIChE, "Guideline for Hazard Evaluation Procedures", 2nd edition, New York(1992)
7. Center for Chemical Process Safety of AIChE, "Guideline for Engineering Design for Process Safety", New York(1993)