

# 화학플랜트에서의 Risk 분석

## 1. 위험도평가 기법

화학플랜트의 위험도평가에는 다음 세 가지 기법이 있다. 우선, 가장 일찍부터 사용되어 온 취급하는 물질의 종류와 양, 보안체제의 정비상황 등 재해 발생과 그 규모 등에 관련된 많은 항목에 대해 등급을 매김으로써 그 등급에 따른 점수를 각 항목에 주어 집계하고, 그 종합점수로 각 플랜트의 위험도를 평가하려는 것(A), 그 플랜트에서 발생할 가능성이 있는 최대의 재해를 예측하여 그 피해를 가급적 정량적으로 평가하려는 것(B), 최근 실시되기 시작한 예측 가능한 모든 재해의 발생 확률과 피해 크기의 곱을 집계하여 그 수치에 따라 각 플랜트의 위험도를 평가하려는 것(C)이다.

A타입 평가기법으로는 Dow Chemical사가 개발한 화재폭발지수에 의거한 다우법과 ICI사의 몬드법 등이 있는데, 일본에서는 이들을 참고로 노동성 방식, 岡山현 방식 등이 개발·사용되고 있다. 이 기법으로는 각각의 플랜트를 비교하여 이 플랜트가 재해의 발생 위험이 크다든지 적다는 상대적인 평가는 가능하나, 실제로 재해가 발생한 경우에 어느 정도의 피해를 입을지에 대한 정보를 얻을 수는 없다. 다만, 이 기법들에서는 각 항목의 일람표에 각각의 평가점을 기입, 집계하는 방법이 취해지는데, 이것은 실제 작업자가 간단히 기입할 수 있고, 특별한 지식이 필요하지 않다는 이점이 있다.

B타입 기법에서는 우선 정량적 평가를 할 재해를 추출할 필요가 있으므로 이벤트트리분석(ETA)이 행해진다. ETA는 예를 들어, 가연성 액체의 배관 밸브에서 누설이 일어난 경우, 어느 정도의 시간 동안 계속되고 어느 정도 양이 누설되어 착화원으로 인해

화재나 폭발이 일어난다는 일련의 사태(이벤트)를 나뭇가지처럼 이어 최종적인 사고로 이어질 수 있는지를 분석하는 것이다. 개개의 이벤트가 발생할 확률을 평가하고, 그들을 곱하여 최종 현상인 사고 발생 확률과 규모를 평가할 수 있다. 이렇게 하여 예상되는 많은 사고 중 발생할 가능성이 있는 사고로서 가장 큰 피해를 입히는 것에 대해 평가가 실시된다. 실제로는 최대의 것 하나가 아니라, 피해가 큰 몇 가지 사고에 대해 평가하게 된다. 여기서 문제가 되는 것은 발생할 가능성이 있다는 것은 어느 정도의 발생 확률을 가지는 사고를 말하는가 하는 점인데, 이에 대해서는 생략한다.

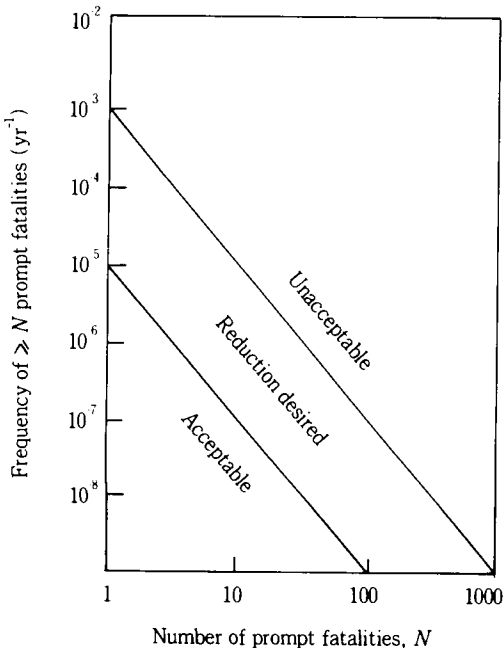
C타입 기법은 B타입 기법을 발전시킨 것이라 생각하면 된다. 예상되는 최대의 사고 뿐 아니라 평가 가능한 모든 사고에 대해 발생 확률과 피해 크기(이 크기에는 구체적인 사고의 영향 범위나 사망자 수도 포함)를 평가, 그것을 종합하여 각 플랜트의 위험성을 파악하려는 것이다. 구미에서는 이러한 방안이 주류가 되고 있다. 이러한 기법을 앞의 ETA와 같은 기법으로 처리하는데 상당한 시간이 걸리므로 그를 위한 컴퓨터프로그램도 개발되어 뉴질랜드에서는 간편한 방법을 채택하고 있다. 즉, 개개의 요소에 대해 화재의 발생 가능성, 폭발 가능성, 독성가스의 누설 가능성을 고려하여 우선 이 세 종류 사고의 수를 행으로 하는 표를 만든다. 열 방향으로는 각 사고가 발생할 확률, 예상되는 피해규모, 양자에 의한 평가점이란 항목을 설정, 이 표를 risk 분석 전문가를 포함한 현장 책임자로 이루어진 그룹의 토의로 채워간다. 이들 각 요소사고의 평가점 합계에 따라 그 플랜트의 종합적인 위험도가 평가되며, 이러한 기법이라면 표계산소프트웨어로 간단히 실시할 수 있고, 몇 시간 내에 작업이 가능하

다고 한다. 물론, 독성가스를 사용하고 있지 않은 요소는 독성가스의 누설사고가 없고, 화재나 폭발사고도 발생 가능성이 없으면 표에서 삭제된다. 사고가 발생할 확률이라 해도 100년에 1회 정도 일어날 것 같든지, 1000년에 1회 정도라는 레벨 평가이지만, 어렵셈치고는 어느 정도 정확한 수치를 얻을 수 있고, 개개 요소의 위험성을 재인식하는데 효과가 있다.

## 2. Risk와 Hazard

위험도에 관해서는 risk와 hazard라는 용어가 사용되는데, 간단히 말해 hazard는 전술한 B타입 위험도평가를 했을 때 예상되는 사고의 크기를 나타내는 것이고, risk는 C타입 평가를 한 결과로 예상되는 전체의 위험도이다. 다른 말로 바꾸면 hazard는 어떤 사고를 가정할 경우, 그 사고에 의한 피해의 크기이지만, risk는 특정 사고를 상상하는 것이 아니라 화학플랜트라면 그 플랜트가 존재하기 위해 일어날 수 있는 모든 사고에서 생길 수 있는 피해의 기대치라고 말해야 한다.

예를 들어, 액화석유가스의 球型가스홀더가 주변



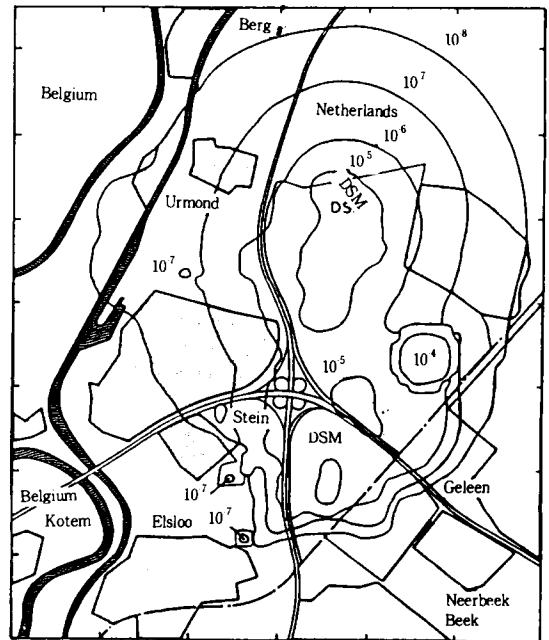
【그림 1】 화학플랜트에서의 사고 크기와 발생확률의 허용레벨(네덜란드의 예)

화재로 가열되어 파손, BLEVE라 불리는 과열액체의 비등에 의한 증기폭발로 Fire Ball이 형성되는 사고를 가정할 경우, 예상되는 hazard는 상당히 크다. 그러나, 실제 장치에서는 그러한 대사고가 일어나지 않도록 안전대책이 실시되어 이러한 사고가 발생할 확률은 상당히 적으므로 결과적으로 가스홀더가 존재함으로 인한 risk는 적다고 할 수 있다.

## 3. 허용 가능한 Risk의 수준이란?

risk분석을 한 결과는 어떤 플랜트에서 사망자가 10명 나온 사고가 발생할 확률은 10<sup>-6</sup>회/년이란 수치로 표현된다(그림1). 또한, 플랜트의 레이아웃상에 인간이 그 위치에 계속 서 있었을 경우에 사고가 발생하여 사망할 확률이 같은 위치를 이은 등고선으로 표시된다(그림2). 거기서 문제가 되는 것은 어느 정도의 수치면 허용되고, 어느 정도 수치면 개선이 필요한가 하는 기준이다.

일본에서는 아직 B타입의 평가기법 정도만 실시되고 있고, 허용되는 risk의 수준이란 논의는 앞으로의 과제이지만, B타입 평가를 할 경우에도 어느 정도의



【그림 2】 플랜트 레이아웃상의 사망확률 등고선

확률로 발생하는 것을 실제로 일어날 수 있는 사고라 생각하는가 하는 기준은 필요하다. 그래서 약  $10^{-6}$ 회/년, 즉, 100만년에 1회 정도보다 큰 것은 검토에 부치지만, 그것보다 작은 것은 무시해도 좋다는 합의가 이루어져 있다. 그러나, 이것은 어디까지나 risk 분석에 직접 참여한 전문가들 간의 합의일 뿐 실제 플랜트 주변에 살고 있는 주민들이 받아들일지는 별개의 문제이다.

예를 들어, 자연재해로 인한 사망자의 발생은  $10^{-6}$ /(人·年), 즉 인구가 5천만명이라 하면, 자연재해로 사망하는 것은 1년간 약 50명이고, 이것이 앞의 사고 발생확률의 기준  $10^{-6}$ 회/년의 근거로 사용되지만, 양자가 같은 의미를 가지는 것은 아니라는 것은 명백하다. 마찬가지로 화재의 사망자 발생은  $10^{-5}$ /(人·年), 교통사고는  $10^{-4}$ /(人·年)이다.

이들 자연재해나 교통사고의 사망자 발생은 어떤 의미로는 받아들여지고 있다. 물론 자연재해나 화재, 교통사고의 발생 방지를 위해 노력하고 있으나, 교통사고의 경우, 자동차를 없애면 완전히 방지할 수 있음에도 불구하고 연간 1만2천5백명 정도가 사망하는 risk는 묵인되고 있다.

이에 비해 화학플랜트나 원자력발전소의 risk가 다르게 받아들여지는 데는 2가지 이유가 있다. 하나는 자연재해는 사람과 장소를 가리지 않는다는 점이다. 자연재해는 일어나는 장소가 정해져 있는 것은 분명하지만, 그것은 인간이 정착하기 전부터 거기에 있던 것이고, 자연재해가 선택한 것이 아니라 인간이 그 장소를 선택했다고 할 수 있다. 또한, 교통사고로 사망자가 발생할 risk는 상당히 크지만, 교통사고의 경우 자신이 가해자가 될 가능성도 있고, 평소 자동차의 이용으로 자신이 이익을 볼 수 있으므로 어느 정도 큰 risk도 받아들이는 것이다. 화재의 경우, 전기, 담배불, 방화 등이 화재발생의 가장 큰 원인이지만, 자신이 화기 관리를 확실히 하면 화재를 막을 수 있다는 생각 때문에 건물의 철저한 난연화가 실시되지 않는 것이라 생각된다. 이 재해들에 대해서는 재해가 자신들에게 다가온 것이 아니라 자신들이 재해에 다가갔다는 인식이 존재하는 것이다.

한편, 화학플랜트나 원자력발전소는 분명히 재해쪽에서 자기들에게 다가온 것으로, 그것들이 있어서 이익을 얻는 것은 자신들이 아니라 그 risk를 부담하지

않는 다른 사람들이다. 따라서 자연재해와 같은 수준의 risk라면 무시할 수 있는 것이 아니라, 극단적으로 말해 전혀 risk가 없는 상태에서  $10^{-6}$ /(人·年)의 risk가 존재하는 상태인 것은 risk가 무한대로 커졌다고 받아들일 수도 있다. 인간의 수명을 생각하면, 사망으로 이어지는 risk가 전혀 존재하지 않더라도  $10^{-2}$ /(人·年)이란 죽음의 위험에 직면해 있고, 이에 비하면  $10^{-6}$ /(人·年)이라는 것은 충분히 무시할 수 있는 수준이라는 것이 risk 분석 전문가의 생각이지만, 인근 주민들에게는 다른 사람들은 그런 시설로부터의 위험이 0/(人·年)인데 자신들은  $10^{-6}$ /(人·年)이라는 큰 위험을 안고 있다는 견해도 가능하지 않을까.

또 하나의 문제점은 자연재해나 교통사고, 화재로 인한 사망의 risk는 통계로 이끌어낸 것인데 비해 화학플랜트나 원자력발전소의 risk는 학문적으로 이끌어낸 것으로, 많은 경우 사실에 의한 뒷받침이 없는 것이다.

원자력발전소에서는 안전장치를 몇 겹으로 함으로써 사고가 발생할 risk를 가급적 줄이려 하고 있고, ALARA(As Low As Reasonably Achievable)라 하여 합리적으로 달성 가능한 최소의 risk를 지향하는 노력이 지속되고 있다. 그런데 왜 인근 주민들이 원자력발전소는 안전하다고 여기지 않는가 하면, 그 이유는 학문적으로 예상된 사고가 발생할 위험이 극단적으로 작음에도 불구하고 현실적으로는 신문에 보도되는 것과 같은 사고가 일어나기 때문이다. 여기에는 원자력관계의 비밀주의도 나쁜 영향을 미치고 있는데, 원자력발전소에 관해 최종적인 risk로 공표되고 있는 것은 인근 주민에게 피해가 날 정도의 사고로, 발생확률이 대단히 작다. 이 확률이 작은 것은 원인이 되는 현상이 발생해도 도중에 몇 단계의 안전시스템이 작동하여 큰 사고가 되는 것을 막기 때문이다. 신문에 보도되는 작은 사고가 발생한 경우, 문제로 해야 할 것은 사고가 발생했다는 것보다 그 사고가 발생할 확률은 지금까지의 risk분석에서는 얼마라 계산되고, 실제로 사고가 발생함으로써 종래의 risk 분석 결과를 수정할 필요가 있는가 라는 것이라 생각되는데, 매스컴에서는 사고가 발생했다는 것만을 문제시하며, 그 사고가 종래의 예측을 뒤집을 가능성이 있는지를 문제로 삼는 일은 없는 것 같다. 그러한 태도인 이상 아

우리 원자력발전소의 risk는 얼마라는 수치를 나타내고, 그 수치가 다른 자연재해의 risk에 비해 지극히 작다고 주장해도 실제 사고가 발생하고 있다는 사실 앞에서는 의미 없는 수치에 불과하다. 작은 사고가 발생한 경우에 그 사고가 전체 risk 분석에서 차지하는 위치나, 종래 예측에서는 어느 정도의 발생확률이었던가를 적극적으로 공표하는 자세를 보이지 않는 한 원자력발전소에 대한 불안감은 불식되지 않는다.

지금까지 화학플랜트에 대해서는 원자력발전소만큼 상세한 risk분석이 이루어진 적이 없다. 개개의 플랜트에 대해 사망사고의 발생확률이란 수치는 나타나 있지 않다. 앞서 말한 표현으로 하자면, 화학플랜트에 대해서는 hazard분석이 주류로, 개개의 플랜트에서 발생하는 최대의 hazard라 하더라도 플랜트 부지 내로 억제하여 인근 주민들에게 영향이 없게 하려는 것이 종래의 방안이다. 그러한 관점에서 지난날 일본 富士석유의 사고를 보면, 열교환기에서의 사고가 최대의 hazard가 아니라 아마도 반응탑 폭발사고가 최대의 hazard라 예측될 것이다. 따라서 어느 정도 규모의 사고는 충분히 예측할 수 있었고, 실제로 공장 부지 내에서 사고가 수습되고 있다. 종래의 B타입 위험도 예측 범위에서는 입지계획 또는 공장 레이아웃상의 문제점은 없었다 할 수 있다. 그러나, C타입 risk 분석을 하게 되면, 보다 큰 hazard가 예상되는 반응탑 뿐만 아니라 열교환기의 hazard도 모두 평가하여 열교환기 앞에서 있는 일의 risk 등도 평가할 필요가 있다.

또한, 확률론적으로 risk를 평가할 경우, 파이프에 균열이 생길 확률이  $5 \times 10^{-5}$  /년이란 수치가 사용되고 있으나, 이것이 어떤 의미인지 일반인은 알 수 없을 것이다. 위 수치는 2만년에 1회의 비율로 파이프에

균열이 생긴다는 것이지만, 현실적으로 2만년이나 어떤 영향도 받지 않고 존재하는 금속은 없고, 이 숫자는 적절히 유지된다는 것이 전제로, 유지한다는 것은 인간이 어떤 간격으로 개입한다는 것이므로 재료의 강도 뿐 아니라 인간이 과오를 저지를 가능성도 고려할 필요가 있으나, 이에 대해서는 아직 검토되지 않고 있다. 또한, 확률론적으로 risk를 예상할 경우, 아직 실제로는 발생하지 않은 사고를 모두 빠짐없이 예상할 수 있는지도 큰 문제이다. 비행기사고를 예측할 경우, 엔진 정지나 주 날개의 파손으로 인한 사고는 쉽게 예상할 수 있어도 꼬리날개의 파손에 의한 사고를 간과할 가능성은 없는가 하는 것이다. 우주선에서도 아주 작은 부품의 관리를 잘못해서 연료가 새는 사고를 일으키는 일이 있는데, 인간이 모든 가능성을 예측하는 것은 불가능하지 않나 하는 의문이 항상 떠나지 않는다.

#### 4. 정리

이상으로 화학플랜트에서의 위험도평가의 실태와 risk의 방안 등에 대해 사건을 섞어 기술하였는데, risk분석은 앞으로의 과제라 할 것이다. 본 고에서는 다루지 않았지만, 구미에서는 risk를 경제적 득실과 비교하는 논의도 이루어지고 있는데, 그러한 생각이 우리의 정신적 풍토에 도입될지는 의문이다. 역시 서양적인 생각과 동양적인 생각의 차이라 해야겠지만 무엇이든 숫자로 표현한다는 서양적 합리주의로는 주민의 이해를 얻기가 곤란하지 않을까?

화재 Vol.43 No.2 (93. 4)에서