

# 化學 PLANT에 있어서의 RISK ANALYSIS

## 1. 危險度 評價法

화학 Plant에 있어서의 위험도 평가를 보면 다음 3가지 방법이 있다고 생각되어 진다. 우선 가장 일찍 부터 사용되고 취급된 물질의 종류나 양, 보안체제의 정비상황 등 재해발생이나 재해규모 등에 관계한다고 생각되는 많은 항목에 대하여 Rank로 나누고, 그 Rank에 따라 점수를 각 항목에 주어 집계하고, 그 종합점으로 각 Plant의 위험도를 평가하도록 하는 것(A). 다음으로, 그 Plant에서 발생 가능성이 있는 최대 피해를 예측하고, 그 피해를 될 수 있는한 정량적으로 평가하도록 하는 것(B). 마지막으로, 최근 행해지고 있는 예측 가능한 모든 재해에 대하여, 그 발생확률과 발생한 경우의 피해크기와의 곱을 집계하고, 그 값에 의해 각 Plant의 위험도를 평가하도록 하는 것(C)이다.

A Type 평가법으로 유명한 것으로 Dow Chemical사가 개발한 화재폭발지수에 기초를 둔 Dow법이나 ICI사의 Mond법 등이 있는데, 일본에서는 이들을 참고하여 노동성방식, 강산현방식 등이 개발되어 사용되고 있다. 이 방식에서는 각각의 Plant를 비교하여, 어느 쪽 Plant가 피해 발생 위험이 큰가 작은가 하는 상대적인 평가를 할 수 있는 것이며, 실제로 재해가 발생한 경우에 어느 정도 피해를 줄까하는 정보를 얻을 수 없다. 단, 이들 방식에서는 각 항목의 일람표에 각각의 평가점을 기입하여 집계하는 방법을 취하고 있는데, 이는 실제 작업자가 간단하게 기입할 수 있으며, 특별한 지식을 필요로 하지 않는다는 것이 이점이다.

B Type에는 우선, 정량적 평가를 행할 재해를 추출할 필요가 있고, 이를 위해서는 Event Tree Analysis(ETA)를 많이 하게 된다. ETA는 예를 들면 가연성 액체의 배관 Valve에서 누설이 일어난다면, 그 누설이 어느 정도의 시간동안 지속하고, 어느

정도의 양이 누설하며, 착화원이 될 수 있는 것에 중기가 도달할 때, 화재나 폭발이 일어난다고 하는 일련의 사상(Event)을 나무가지 모양으로 하여 최종적인 사고로 연결되는지 어떤지를 해석하는 것이다. 도중에 각각 Event의 발생확률을 평가하고, 이들을 서로 엮어서 최종사상인 사고 발생확률이나 규모를 평가할 수 있다. 예를 들면 어떤 Plant에 대하여 예상되는 많은 사고중 발생할 가능성이 있는 사고로 가장 큰 피해를 가져온다고 하는 것에 대하여 평가가 행해진다. 실제로는 최대의 것 하나만이 아니고 피해의 크기가 그리 크지 않은 사고에 대해서도 평가하게 된다. 여기에서 문제로 되는 것은 발생 가능성이 있는 것은 어느 정도의 발생확률을 갖는 사고를 말하는가 하는 점인데, 이들에 대해서는 후술한다.

C Type 방식은 B Type 방식을 발전시킨 것이라고 보면 좋다. 예상되는 최대 사고뿐만 아니라 평가 가능한 모든 사고에 대하여 발생확률이나 피해크기(크기에는 구체적인 사고 영향범위나 사망자의 수도 포함되는데)를 평가하고, 그들을 통합하여 개개의 Plant 위험성을 파악하도록 하는 것이다. 구미에서는 이러한 고찰방식이 주류를 이루고 있다. 이는 개개의 요소에 대하여 화재 발생 가능성, 폭발 가능성, 독성가스 누설 가능성을 고려하여, 우선 요소수에 이 3종류의 사고수의 행수를 갖는 표를 만든다. 옆에는 각각의 사고발생확률, 예상피해규모, 양자에 의한 평가점 항목을 만들고, 이 표를 Risk 해석 전문가도 포함된 현장 책임자 등으로 된 Plant의 종합적 위험도가 평가되는데, 이러한 방법이라면 표계산 Soft에 의해 간단히 실시할 수 있으며, 수시간내에 작업할 수 있다고 보고되고 있다. 물론 독성가스를 사용하지 않는 요소에 대해서는 독성가스 누설사고는 없고, 화재나 폭발사고에 대해서도 발생 가능성이 없다면 표에서 삭제된다. 사고발생확률에 대해서도 100년에 1

회 정도로 일어난다든가, 1000년에 1회 정도로 일어난다든가 하는 Level의 평가가 있는데, 계산치로서는 어느 정도 정확한 값을 얻을 수 있으며, 개개의 요소 위험성을 재인식하는 데는 효과가 있다고 여겨진다.

## 2. RISK와 HAZARD

위험도에 관하여는 Risk와 Hazard라는 용어가 사용되는데, 간단히 말하면 Hazard는 선술한 B Type의 위험도 평가를 할 때의 예상사고의 크기를 표시하는 것이며, Risk는 C Type의 평가를 한 결과로서 예상되는 전체의 위험도이다. 다른 말로 나타내면 Hazard는 어떤 사고를 가정한 경우 그 사고에 의한 피해의 크기인데, Risk는 특정 사고를 예상하는 것은 아니고, 화학 Plant라면 그 Plant가 존재하기 위해서 일어날 수 있는 모든 사고로부터 생길 수 있는 피해의 기대치라고도 말할 수 있다.

예를 들면 액화석유가스의 구형 Gas Holder가 주변화재로 가열 파괴되어 BLEVE라 불리는 과열액체의 비등에 의해 증기 폭발로 부터 다시 Fire Ball이 형성되는 것과 같은 사고를 가정한 경우, 예상되는 Hazard는 꽤 크다. 그러나 실제 장치에서는 그러한 대사고가 일어나지 않는 것처럼 안전대책이 시행되고 있고, 이러한 사고가 발생할 확률은 상당히 작기 때문에, 결과로서 Gas Holder가 존재하는 것에 의해 Risk는 작다고 말한다.

## 3. 許容할 수 있는 RISK水準은?

Risk Analysis를 행한 결과는, 예를 들면 어떤 Plant에서 사망자가 10인정도 나올만한 사고발생확률은 10<sup>3</sup>회/년의 수치로 표현(도1)된다.

또 똑같은 위치를 맞는 등고선으로 표시(도2)한다. 여기에서 문제로 되는 것은 그곳에서는 어느 정도의 수치이면 허용되고, 어느 정도의 수치이면 개선할 필요가 있을까하는 기준이다.

일본에서는 아직 B Type 평가법 정도 밖에 행해지지 않으며, 허용되는 Risk 수준이 과제인데, B Type 평가를 행할 경우에도 어느 정도의 확률로 발생하는 것을 실제로 일어날 수 있는 사고로 여길 수

있는 기준은 필요하다. 이것에 대하여는 보통 10<sup>3</sup>회/년, 즉 100만년에 1회정도보다 큰 것은 검토할 가치가 있는데, 이것보다 작은 것은 무시하여도 좋다는 것이 Consensus로 되고 있다. 그러나 이는 어디까지나 Risk Analysis에 직접 종사하는 전문가들 사이의 Consensus이며 실제로는 Plant 주변에 살고 있는 주민에게 받아 들여지는가는 별 문제이다.

예를 들면, 곤잘 비교의 대상으로 되고 있는 자연재해에 의한 사망자 발생은 10<sup>3</sup>/(인·년), 즉 일본의 인구를 1억으로 보면 자연재해로 죽는 것은 1년간 약 100인이며, 이는 앞에서 말한 사고 발생확률 기준 10<sup>3</sup>회/년에 근거로 사용한 것이지만, 양자의 의미가 서로 다르다는 것은 명확하다. 같은 모양으로 비교하면 화재에 의한 사망자발생은 10<sup>5</sup>/(인·년), 교통사고는 10<sup>4</sup>/(인·년)이다.

이들의 자연재해나 교통사고 사망자 발생은 어떤 의미로서는 받아 들여지고 있다. 물론 자연재해나 화재, 교통사고 발생을 방지하는 노력은 하고 있지만, 예를 들면 교통사고의 경우, 자동차를 전폐하면 완전히 방지할 수 있는 데도 상관하지 않고 1년에 1만명 정도가 사망하는 Risk는 받아들여지고 있다고 말할 수 있다.

이들과 화학 Plant 또는 보다 극단적인 예인 원자력발전소의 Risk와의 받아 들여지는 방법이 다른 것은 2가지 이유가 있다고 생각되어 진다. 하나는 자연 화재등은 사람이나 장소를 선택하지 않는다는 점이다. 자연재해는 일어날 장소가 한정되어 있는 것은 확실하지만, 그것은 인간이 살기 전부터 그곳에 있는 것이었으며, 자연재해 쪽에서 선택된 것이 아니고, 인간의 편에서 선택했다고 말할 수 있다. 또 교통사고에서 사망자가 나오는 Risk는 상당히 크지만, 자신이 가해자로 될 가능성도 있고, 또 평소 자동차의 이용으로 자기 자신이 이익을 보기위해 어느 정도 큰 Risk도 받아 들여지고 있다고 여겨진다. 화재의 경우 도쿄 등에서는 방화가 화재발생원인의 Top을 차지하고 있으며, 스스로 불의 기본 관리를 확실히 한다면 화재는 막을 수 있다는 감각이 있기 때문에 건물의 철저한 난연화 등이 이루어지지 않고 있다고 생각된다. 이상, 이들의 재해에 대하여는 재해 쪽에서

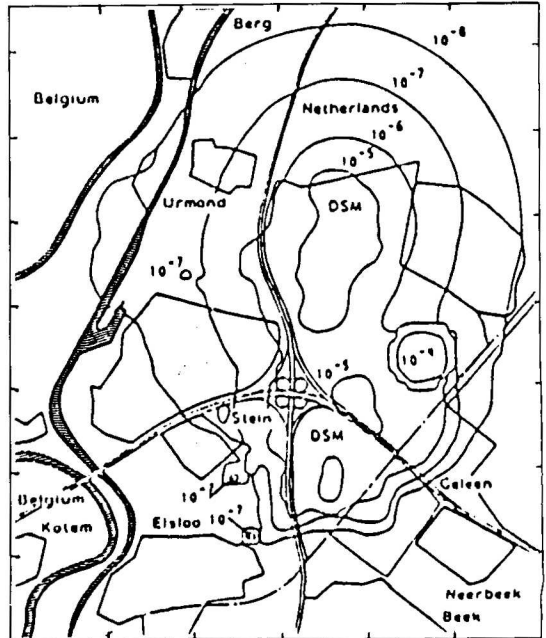
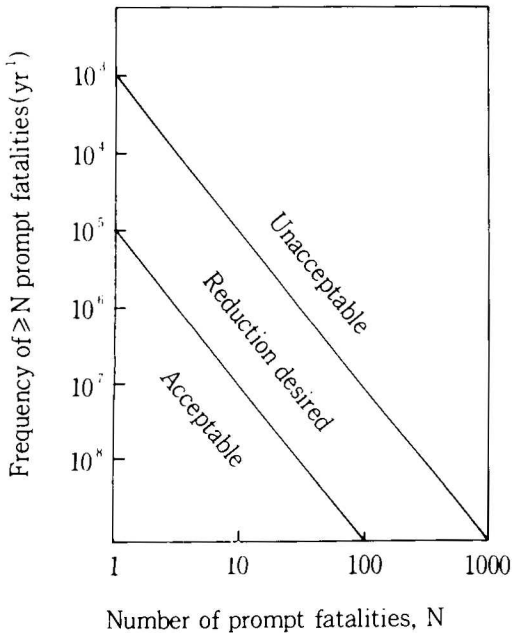
그 곳에 접근한 것이 아니고, 인간 스스로가 재해에 접근한다는 인식이 존재하고 있다고 생각된다.

한편, 화학 Plant나 원자력발전소는 분명히 재해 쪽에서 자신들에게 접근해 왔고, 그들이 할 수 있는 한 Merit를 받아 들이는 것은 자신들이 아니며, 이 들로부터 Risk를 부담하는 것도 아니며, 다른 사람들이다. 따라서 자연재해와 같은 Level의 Risk라면 무시할 수 있다고 하는 것도 아니며, 극단적으로 말 하자면 전혀 Risk가 없는 상태에서  $10^6 / (\text{인} \cdot \text{년})$ 의 Risk가 존재하는 상태로 되는 것은 Risk가 무한대로 크게 되었다고 받아 들일 수 있다. 인간의 수명을 고려하면 다른 사망에 관련된 Risk가 전혀 없다하여도  $10^2 / (\text{인} \cdot \text{년})$ 라는 사망 Risk를 기본적으로 갖고 있으며, 이에 비하면  $10^6 / (\text{인} \cdot \text{년})$ 라는 것은 충분히 무시할 수 있는 Level이라는 것이 Risk Analysis 전문가들의 견해인데, 주변주민로서는 다른 사람에게는 이들 시설로부터의 Risk는  $0 / (\text{인} \cdot \text{년})$ 이므로, 자신들은  $10^6 / (\text{인} \cdot \text{년})$ 이라는 큰 Risk를 안고 있다는 생각을 할 수 있을 것이다.

또 하나의 문제점은 자연재해나 교통사고, 화재 등

에 의한 사망 Risk는 통계에 의해 유도되는 것에 대하여, 화학 Plant의 Risk나 원자력발전소의 Risk는 학문적으로 유도되므로, 많은 경우 사실에 의한 뒷받침은 없는 것이다.

원자력발전소에서는 안전장치를 여러 겹으로 설치하여 사고발생 Risk를 될 수 있는 한 적게하고 있으며, 이를 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)라고 하여, 합리적으로 달성 가능한 최소의 Risk를 목표로 하는 노력을 계속하는 것이다. 그럼에도 불구하고 어째서 주변주민에게 원자력발전소는 안전하다고 받아 들이지 못하는가 하는 이유를 생각하면, 학문적으로 예상되었던 사고발생 Risk가 극단적으로 적어도 상관하지 않고, 현실에서는 신문에서 보도되는 것처럼 사고가 일어난다고 생각하고 있다. 이에 원자력관계의 비밀주의도 악영향을 미치고 있다고 하겠지만, 원자력발전소에 관한 최종적인 Risk로서 공표되고 있는 것은 주변주민에게 피해를 줄만한 사고발생확률은 대단히 작다. 이렇게 확률이 작게되는 것은 원인으로되는 사상이 발생하여도 도중 몇 단계의 안전장치가 작동하여 큰 사고로 되지



<도 1> 화학 Plant의 사고크기와 발생확률의 허용 Level(Netherlands)

<도 2> Plant Lay-Out상의 사망확률 등고선

않도록 막고 있기 때문이다. 사소한 사고가 발생한 경우, 문제로 삼을 만한 것은 사고가 발생했다는 것보다도 그 사고가 발생할 확률은 이제까지의 Risk 분석으로는 얼마인가 계산하고, 실제 사고발생한 것에 의해 종래 Risk 분석결과를 보고 다시 평가할 필요가 있을까 어떨까 하는 것이라고 생각되는데, Mass Comm에서는 사고가 발생했다는 것만을 문제로 하여, 그 사고가 종래의 예측을 뒤엎을 가능성 있을까 어떨까 하는 것을 문제로 삼지는 않는다고 생각된다. 이러한 태도로 있는 이상, 어느 원자력발전소의 Risk는 얼마라는 수치를 나타내어 그 수치가 자연재해 등의 Risk에 비해 극단적으로 작다고하는 주장을 하여도 실제로 사고가 발생하고 있는 사실 앞에는 의미가 없는 수치로 되어 버리고 만다. 작은 사고가 발생한 경우에는, 그 사고가 전체 Risk 분석 중에서 점하고 있는 위치나, 종래 예측으로는 어느 정도의 발생확률로 되고 있는가를 적극적으로 공표하려고 하는 자세를 나타내지 않는 한, 원자력발전소에 대한 불안감은 불식될 수 없다.

한편, 화학 Plant에 대해서는 일본에서는 이제까지 원자력발전소 만큼 상세한 Risk Analysis가 행해진 것은 없다. 개개의 Plant에 대해서 사망사고 발생 확률이라고 하는 수치는 나타내고 있지 않다. 앞에서 말한 표현으로 말하자면, 화학 Plant에 대해서는 Hazard Analysis가 주류이고, 개개의 Plant에서 발생하는 최대 Hazard에서도 Plant부지내에서 억제하여 주변주민에 영향이 없도록 하는 종래의 사고방식을 갖고 있다. 이러한 관점에서 과거 일본의 Fuji 석유 Shukeho 정유공장 사고를 보면, 열교환기에서의 사고가 최대 Hazard로서 예상되는 것은 아니고, 필시 반응탑 폭발사고가 최대 Hazard라고 예상할 수밖에 없다. 따라서 어느 정도 규모의 사고는 충분히 예측할 수 있으며, 실제 공장부지내에서 사고는 수습할 수 있다. 종래의 B Type 위험도 예측 범위에 있어서 그 사고에 관하여는 입지계획 또는 공장 Layout상의 문제점은 없다고 말할 수 있다. 그러나 C Type의 Risk Analysis를 행하게 된다면, 큰 Hazard로 예상되는 반응탑뿐만 아니라, 열교환기 등의 Hazard도 모두 평가하고, 열교환기 전에 설치되는

것의 Risk 등도 평가하게 된다.

또 원자력발전소나 화학 Plant 등에 공통적으로 말할 수 있는 것은 확률론적으로 Risk를 평가하는 경우, 예를 들면 Pipe에 균열이 생기는 확률이  $5 \times 10^{-7}$ 년 등의 수치가 사용되고 있는데, 이것이 어떠한 의미를 갖는가는 일반인에게는 이해될 수 없다고 생각한다. 상기의 수치는 2만년에 1회의 비율로 Pipe에 균열이 생긴다고 하는 것인데, 현실적으로 2만년 동안 어떤 영향도 받지 않고 존재하는 금속은 없으며, 그 숫자는 적절하게 Maintenance 되는 것이 전제로 되어 있는데, Maintenance한다고 하는 것은 인간이 어느 간격으로 개입한다고 하는 것이며, 재료의 강도뿐만 아니라 인간이 과오를 범할 가능성도 고려할 필요가 있는데, 이에 대해서 아직 검토되어 있지 않고 있다. 또 확률론적으로 Risk를 예상하는 경우, 아직 실제로는 발생하지 않은 사고를 모두 누락 없이 예상할 수 있을까 하는 것도 큰 문제이다. 예를 들면 비행기 사고를 예측하는 경우, Engine 정지나 주 날개의 파손에 의한 사고는 용이하게 예상할 수 있어도 꼬리 날개 파손에 의한 사고를 간과할 가능성이 없는가 하는 것이다. Space Shuttle 등에서도 아주 사소한 작은 부품 관리가 잘못되었기 때문에 연료가 새어나와 사고를 일으키는 것도 있었지만, 인간이 모든 가능성을 예측하는 것은 불가능한 것이 아닐까 하는 물음이 항상 따라다니고 있다.

#### 4. 結 言

이상, 화학 Plant에 있어서 위험도 평가의 현상이나 Risk의 고찰 등에 대하여 사건을 많이 넣어 말했지만, Risk Analysis는 금후의 과제이다. 본론에서는 다루지 못했지만 구미에서는 Risk를 경제적 득실과 비교한다고 하는 의론도 이루어지고 있는데, 이러한 생각이 우리나라 정신적 풍토에 받아들여질 수 있을까 하는 의문이 있다. 동양 이질론을 전개할 의도는 없지만, 물론 서양적 사고방식과 동양적 사고방식의 차이라고 보는 편이 좋다고 생각한다. 하여튼 숫자로 나타내는 서양적 합리주의로서는 주민의 이해를 얻기에는 곤란하지 않을까 하는 기분이 든다. ☹