

## 네덜란드의 위험성 평가 예

- 위험성 평가 및 위험 등고선도 -

### Risk Assessment and Risk contour mapping

편 집 실

.....

#### 개 요

이 논문은 설계상의 안전 및 완전한 정량적 위험성 평가에 의해 맞추는 것이 가능한 여러가지 방법(QRA : Quantitative risk analysis)에 초점을 두면서, 위험성 평가의 방법론의 간략한 개요를 소개하고 있다. QRA의 결과는 단독 위험 및 그룹 혹은 사회적 위험으로써 보통 소개된다. 계산된 단독 risk는 자주 단독 위험 graph(IRG : Individual risk graph)와 단독 위험등고선(IRC : Individual risk contours)의 형태로 나타낸다. IRG와 IRC는 예를 들면 다음과 같은 사고의 시나리오로 계산된다. : 여러가지 기상조건 하에서 2kg /s의 암모니아의 유출을 1800s로 한다. 이 예는 그래프가 곡선의 상승을 나타내는 것이 확실하다. 마지막으로, QRA는 예를 들어서 토지이용계획 등에 유용한 수단으로 될 수 있다고 할 수 있다. 한편 화학플랜트의 안전에 대해서는, 위험성 평가를 위해 다른 방법이 유효하며, 불가피하다.

**key word :** 위험성 평가, 단독 risk, 等高線圖

.....

최근의 대규모 공업 재해의 결과로써, 공공기관에 의한 공업프로세스, 설비의 안전성에 대해 한층더 주의를 기울이게 되었다. 그 결과, 위험분석 기술이 점점 더 중요한 역할을 차지하게 되었다. 그러한 위험분석기술의 적용은 플랜트, 설비와 수송공급시스템의 위험을 정하는 출발점이 된다. 위험은 다양한 레벨에서 감소된다. 그것은(공업플랜트와 설비의 주변지역의 경우는 특별한 수법을 이용해서) 설계면에서 본래의 안전설비를 확장함으로써 보다 감소된다. 이외 지역의 경우에는 피난 계획에 의해 위험은 감소한다. 양자의 위험 감소에 대한 적용은, 명확한 위험분석에 대한 접근을 필요로 한다.

본 논문은 단독 위험 等高線圖의 계산과 계획에 있어서 다양하고도 유용한 방법과 주목점의 간결

한 變遷을 서술했다.

#### 설계에 있어서 안전성

플랜트와 설비의 안전성은, 플랜트 그리고 설비 설계라는 대규모의 계획 중에 결정된다. 그러한 연유로 설계 초기 단계에 안전성의 해석을 숙고하는 것은 대단히 중요하다. 이것을 위해 적용된 수법 중에는 체크리스트를 이용한 방법이 있다. 이 방법에는 사용되는 화학물질의 위험성과 프로세스의 경로가 고려되어지고 있다. 이것은 “프로세스 안전해석”이라고 부른다. 모든 위험성과 실시가능성(HAZOP)의 연구는 플랜트와 설비의 설계와의 관계에 의해 성립하고 있다. 이 방법은 유해한 상황과 현상을 알아볼 수 있다. HAZOP의 해

석은 집중적 연구 프로세스로, 그 결과는 해석을 실행하기 위한 질과 노력에 강하게 의존하고 있다.

TNO에 의해 행해진 Bhopal 사고 해석은 다음과 같은 것을 강조했다. 그 사고에서 배운 가장 중요한 것의 하나는, 안전성의 문제에 있어서 HAZOP의 수법을 적용하는 것의 필요성이다. 그 과정(메칠이소시안산염은 중간생성물로서 필요하지 않는가, 그렇다고 한다면 중간 저장도 어느정도 필요하지 않는가 라는 문제를 제기하고 있지만,)에 관해서, 그리고 플랜트의 설계(안전대책의 유무와 그 내용, Heater 시스템과의 상호작용 등)에 관해서도, HAZOP과 같은 수법의 적용은 유해한 일의 대부분을 경감할 수 있을 것이다. 그리고 안전성의 분석에 의한 설비의 수정은 아마도 사고를 방지할 것이다.

안전성 연구/ RISK 분석

플랜트와 설비에 의해 만들어지는 RISK의 고려와 분석은(그 결과의 적용에 의존하고 있는 것이지만,) 그림 1에 나타난 단계의 하나(혹은 그 이상)를 구성하고 있다. 강조되는 점은, 항상 사고가 일어날 가능성과 잠재적 사고의 시나리오에 관한 同定(Identification), 그것들에 기여할 수 있는 요인을 동정하는 것에 있다. HAZOP의 분석은, 플랜트와 설비의 현존 설계에 기초를 둔 사고의 시나리오(예를 들면 위험한 화합물의 방출 등)에

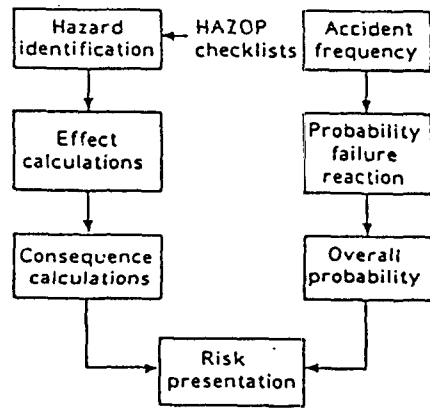


Fig. 1 Stages in a risk analysis

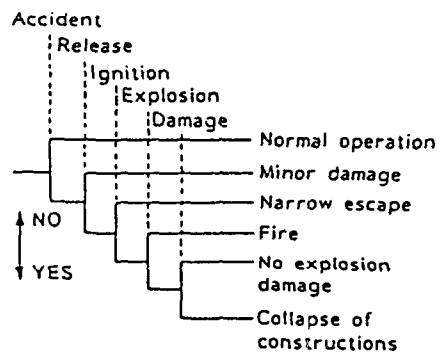


Fig. 2 Possible development of an accident

적용된다.

안전성의 평가는 플랜트와 설비에 대한 검토를

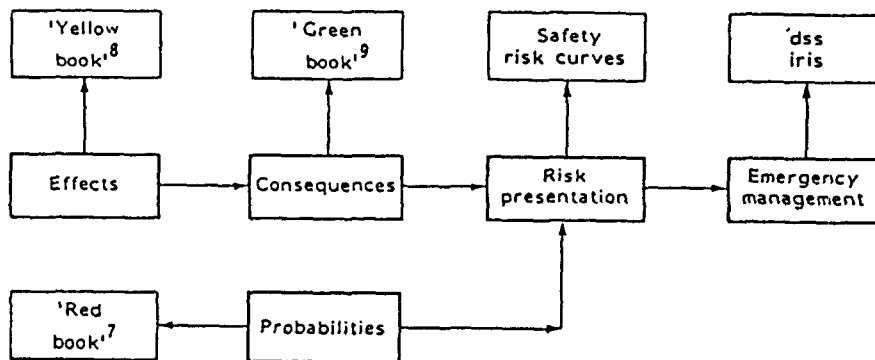


Fig. 3 Hazard evaluation methods used in The Netherlands

하고 있다. 거기에는 비상시와 일상시에 있어서 관리와 운영에 관한 항목이 포함되어 있다. 좀더 일반적인 검증의 기술도 있다. 예를 들면 체크리스트의 이용, 그리고 사고기록의 고려도 또한 중요하다.

사고의 발생과 안전대책에 관련된 영향의 기여 요인에 대한 식견을 얻기 위해서는, Fault Tree와 Event Tree 방법이 대단히 유효하다. 後者는 특히, 사고 확대의 가능성을, 그 발생했던 시간으로 설명하는데 적합하다.(그림 2 참조) 사고의 확대에 관한 여러가지 타입의 가능성도, 이 방법으로 분석할 수 있다.

위험물질의 상당한 누수는 그 환경에 있어서, 예상될만한 유출의 시나리오에 결정적인 결과와 영향으로 되어버릴 것이다. 그 결과는 종종 기상 상황(예를 들면 공기와 바람의 방향 등에 따라 亂기류)과 발화점의 장소, 상황과 같은 몇개의 요인에 의존하고 있다. 손해의 크기 정도와 손해가 나

을 확률을 일반적으로 "risk"라고 정의된다.(그림 1과 3 참조)

단독 및 그룹 risk

그림 2에 의한 완전한 정량적 위험분석(QRA)의 결과는, 자주 단독, 그룹 RISK로써 나타나며, 다음과 같이 정의된다.

단독 RISK : 플랜트와 설비, 혹은 수송과정에서의 사고의 결과, 사망에 이를 확률은 그 사고현장에서의 거리 관수로써 나타난다. 그러한 RISK는 실제로는 사람이 영구하게 그 장소(옥외)에 있었던 경우만 존재한다. 단독 RISK는, RISK곡선과 RISK등고선도에서 보충 설명된다.(그림 4 참조)

그룹 RISK(사회적 RISK) : 매년 어떤 정도의 희생자가 나올 가능성이 있는 그룹 RISK를 생각하는데 있어서 인간의 존재에 관련한 인구통계의

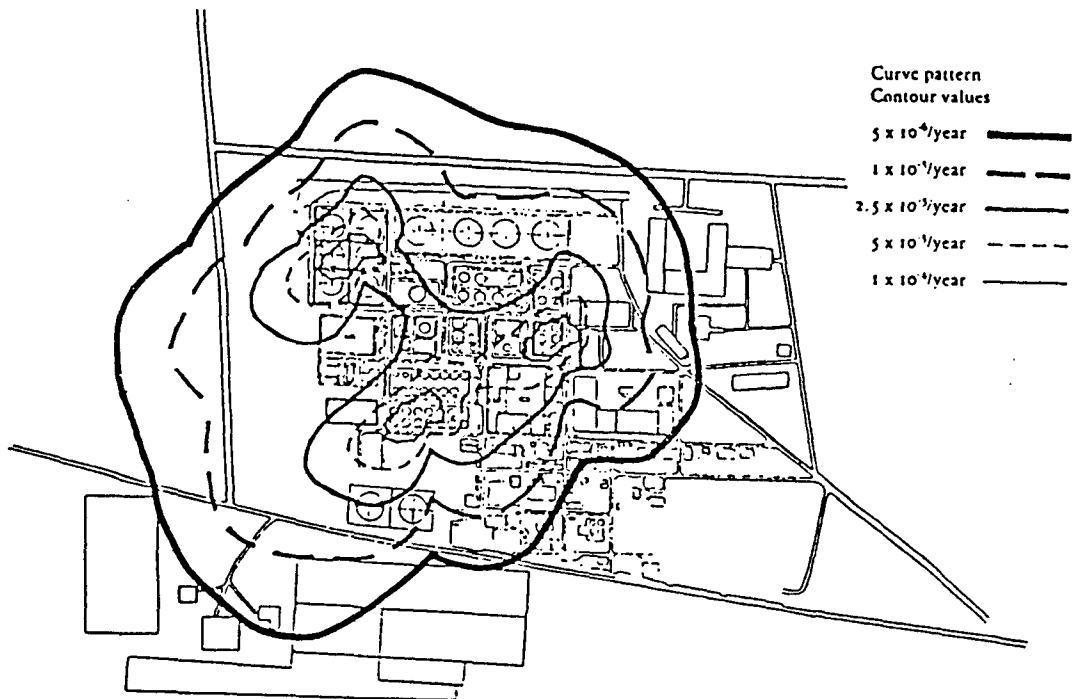


Fig. 4 Individual risk illustrated by isorisk contours around a plant(hypothetical situation)

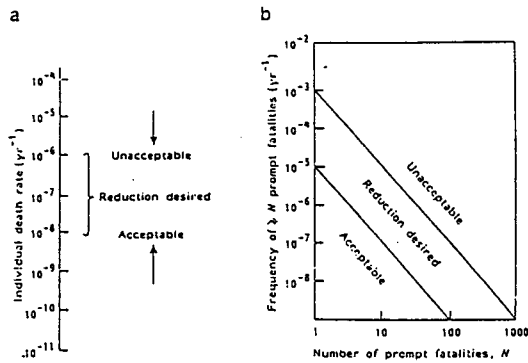


Fig. 5 Risk criteria for chemical hazard prevention in The Netherlands. a, Individual risk criteria ; b, societal risk criteria

데이터가 필요하다.

일반적으로, 완성도가 높은 QRA를 만드는데에는 많은 계산을 필요로 하며, 그리고 자동화된 수법이 요구된다. 그 결과, TNO가 flexible computer 소프트웨어의 Package를 발달시키고 있다.

네델란드 정부는, 단독 risk와 그룹 risk의 레벨에 따른 허용기준을 이용하고 있다.(그림 5 참조)

위험等高線圖

그림 1에 근거해서 실행된 완전한 QRA의 결과는, 명확한 그림의 형태로 나타낼 필요가 있다 (RISK PRESENTION) 어떤 끔직한 결과(사망에 이르는 것)의 전체적인 확률은, 종종 단독 RISK 등고선(IRC)으로써 타나난다. 이 등고선은 위험한 활동의 주변에 있어서, 지리적으로 같은 단독 RISK의 위치를 연결한 것이다.

어떤 특정한 플랜트와 설비에 대한 IRC의 계산은, 보통 많은 구체적인 계산이 필요하다. 그것은 사고에 관한 일어날 수 있는 상황의 여러가지 조합과 그러한 하나하나의 가능성을 고려하기 때문이다.

계산은 다음의 것을 고려하며, 다양한 방법으로 행할 필요가 있다.

- 사고의 시나리오
- 사고에 대한 시스템의 반응(운전의 정지, 시

스템의 오작동, 오퍼레이터의 개입 등)

- 기상상황(모든 기상의 종류, 풍향, 풍속, 그리고 이러한 조합)

- 발화의 위치와 시간

20 이상의 사고 시나리오가 어떤 평균적 플랜트에 대해 IRC의 계산은, 컴퓨터가 없다면 실행할 수 없다.

플랜트에서 어느 정도 떨어진 장소에서의 단독 RISK는, 모든 사고의 상황에 관계한 RISK의 층대에서 결과가 나온다.

後단계로 되어 결과를 수정하는 것은, 보다 간단하다든지, 두번째의 플랜트와 수송 ROOT의 리스크를 더하며, 더우기 완전한 공업지대의 IRC의 결과를 나타내고, 그 결과에 장래성을 부여한다.

계산된 단독 RISK는, 사고현장에서의 거리의 관수로써 하나인 바람의 방향에 관한 그래프의 형태로 나타내는 것도 가능하다. 이 곡선은, 단독 RISK 그래프(IRG), 혹은 f-x 곡선으로 부른다. 이러한 곡선의 각 바람방향에 관한 계산은, IRC의 확립을 가능하게 한다.

단독 RISK 그래프(IRG)

여기서 독성이 있는 물질(암모니아)에서의 사고에 있어서, 한가지 바람 방향에 대한 IRG의 계산 예를 든다. 사고 시나리오에 관계있는 데이터는, 표1에 나타낸다. 이것은, 압축된 암모니아가 파이프(직경 2.5cm)의 파열에서 유출했는지, 혹은 냉각된 암모니아가 POOL(수백 m²)에서 유출해서 증발했는지를 생각할 수 있다.

IRG를 분석하면, 처음은 산란했던 분석조차 되

Table 1. Accident scenario data for calculation of IRG

Accident frequency	10 <sup>-4</sup> yr <sup>-1</sup>
Material	NH <sub>3</sub>
Release height	0m
Release duration	1800s
Release rate	2kgs <sup>-1</sup>
Weather types	(1) neutral ; (2) very stable
Wind speeds	(1) 5ms <sup>-1</sup> ; (2) 2ms <sup>-1</sup>
Probit relation(Pr)	12.65+ln C²t where C=concentration(kgm <sup>-3</sup> ) ; t=time(s)
Dispersion mode	Gaussian

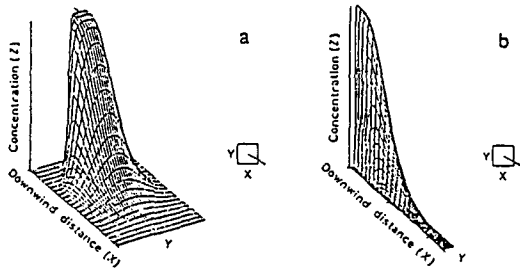


Fig. 6 Three-dimensional plots of an ammonia release for different weather types : a, neutral weather conditions ; b, very stable weather conditions

지 않는 것은 확실하다. 표 1에 있어서(1); (2)의 상태에서의 암모니아의 방출의 결과는, 그림 6에 3차원의 형태로 나타난다. 암모니아 증기의 그래프의 형태는, 대단히 안정된 기후에서는, 좁고 길게 되며, 확실하지 않은 기후에는 대단히 폭이 넓고 짧게 된다는 것을 알 수 있다. 농도, 노출시간, 그리고 표 1에서 나온 정규 편차치의 관계에 의해 결과의 모델에서 IRG는 계산된다.

여러가지 그래프가 산출되고 있다. Response Fraction의 정의는, 다음과 같이 되어 있다. : 1800초간, 어떤 정해진 농도 하에서 사망에 이르는 퍼센트. 보통은, 兩軸이 對數 표시의 것이 단독 risk에 이용되며, 致死數의 전체 빈도가 나타난다. (그림 10 참조) 이것은, 그림 9의 종축에는 사고의

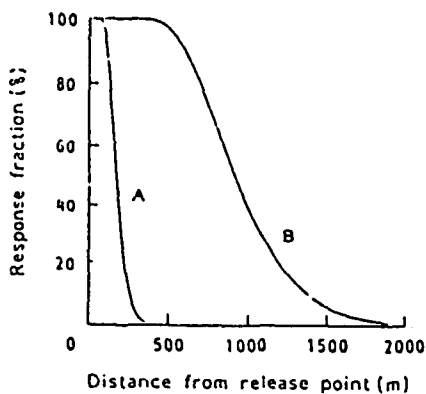


Fig. 7 Response fraction as a function of distance (linear scale). Weather conditions : A neutral ; B, very stable. Scenario : release of ammonia at  $2\text{kgs}^{-1}$  for 1800s

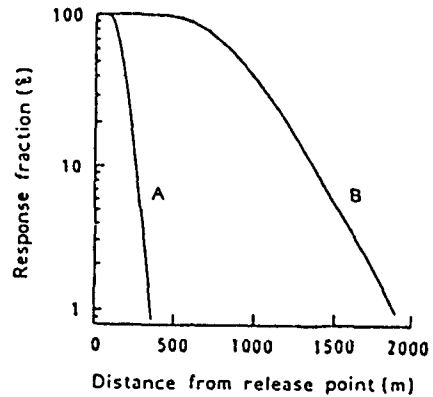


Fig. 8 Response fraction as a function of distance (vertical axis logarithmic). Weather conditions : A, neutral ; B, very stable. Scenario : release of ammonia at  $2\text{kgs}^{-1}$  for 1800s

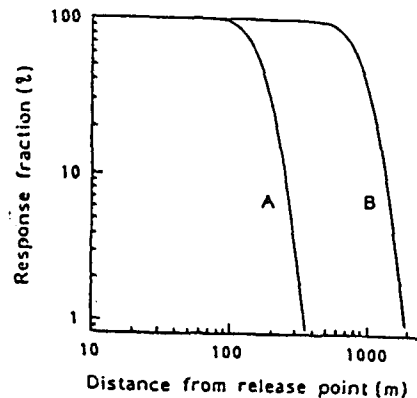


Fig. 9 Response fraction as a function of distance (logarithmic scales). Weather conditions : A, neutral ; B, very stable. Scenario : release of ammonia at  $2\text{kgs}^{-1}$  for 1800s

빈도뿐만 아니라, 바람의 방향과 기후의 종류의 公算이 곱해지고 있다.

단독 위험=사고빈도

× response fraction

× 기후의 종류의 公算(probability)

× 풍향의 公算

그림 10에 나타난 IRG는, 정확한 풍향의 예측에 의해, 모든 풍향에 관한 작도가 가능하다. 사고에 대한 최종적인 IRG는, 생각할 수 있는 여러가

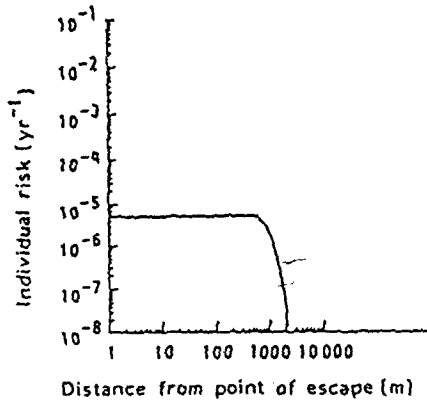


Fig. 10 Individual risk graph for stable weather

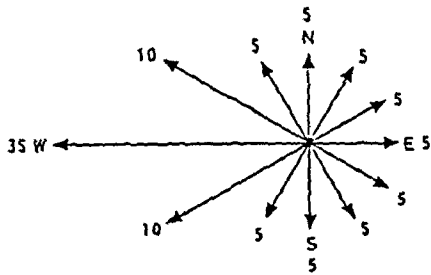


Fig. 11 Wind rose with probabilities, used for construction of IRGs for each wind direction

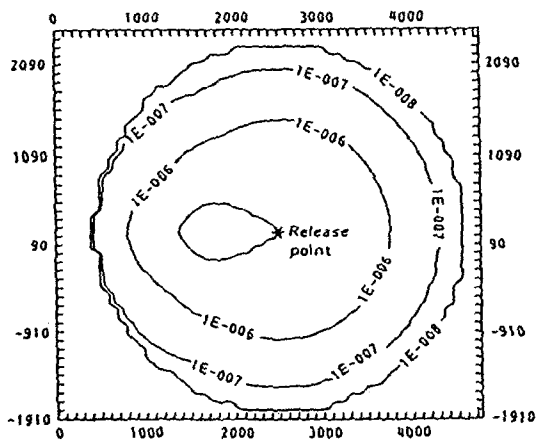


Fig. 12 Individual risk contours for ammonia release (stable weather conditions, wind speed  $2\text{ms}^{-1}$ )

지 종류의 기후와, 그것의 예측에 대한 IRG의 누적이다. 이것은, 위에 서술했듯이, 간단한 근거에 의해 행해지는 것은 없다.

### 단독 RISK 등고선도(IRC)

IRC(그림 4 참조)는, 여러가지 풍향에 대한 IRG에 의해 圖示된다.

예측 풍향도의 예는, 그림 11에 나타낸다. 각각의 풍향에 관해서 계산된 IRG는, 그림 10의 형태로 나타낸다. 각각의 풍향에 있어서 같은 단독 RISK의 포인트는 계속 연결된다. 그것은 IRC에 도달하기 위함이다.(그림 12)

그림 4에 나타난 IRC는, 완전한 화학 플랜트의 활동 RISK를 나타내는 한편으로, 수많은 사고의 시나리오와 모든 기후의 종류에 관해서도 나타내고 있다.

### 결 론

본 논문에서는, 설계에 있어서 안전성과 새롭고 단속적인 설비를 위한 여러가지 방법에 초점을 두고, 정량적인 RISK분석의 도입도 포함해서, RISK ASSESSMENT에 관한 짧은 개요를 서술했다.

안전성과 RISK 분석에는 많은 방법이 있고, 각각 적용성과 단계가 있는 것을 인식해야만 한다. 이러한 것들의 사이에는, QRA는 과대평가되는 것은 아니지만, 유용한 역할을 해내고 있다. 전술한 RISK 등고선도와 RISK 허용기준과의 가능한 비교를 수반한 QRA의 성과는, 완전한 RISK/안전 ASSESSMENT와 혼동해서는 안된다. 플랜트의 안전운전을 위해, 여러가지 유용한 방법이 정기적으로 적용되어야 한다.

조직과 관계하는 사람들이 안전성의 의식에 대해, 계속적으로 重視해가는 것은 대단히 중요하다. 그리고, 회사 운영에 있어서 높은 레벨의 임무 달성도 불가피하다.