

## 화학공장의 위험도 표현 시스템 개발

김정원, 김윤화, 신현순, 송성욱, 권혁면\*, 고재욱  
광운대학교 화학공학과, 한국산업안전공단\*

### Development of Risk Representation System for Chemical Plants

Joung Won Kim, Yoon Hwa Kim, Hyun Soon Shin, Seong Wook Song,  
Hyuk Myun Kwon, Jae Wook Ko  
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University  
Korea Occupational Safety & Health Agency\*

#### 서론

화학산업시설은 위험 물질을 대규모로 취급하기 때문에 사고 발생 시 사업장의 근로자 뿐만 아니라 사업장 주변의 주민들에게까지 그 피해를 끼칠 수 있다. 이러한 대형사고를 효과적으로 제어하고 대응하기 위해서는 국내 화학산업단지의 위험성을 객관적으로 표현할 수 있는 위험도 수치화 시스템 및 각종 안전계획 Guideline의 개발이 이루어져야 한다.

선진 외국의 경우, 화학공장의 위험성을 적극적으로 제어할 수 있는 각종 프로그램과 Code를 개발하고 있으며, 사고 발생 시 주민 스스로 대규모 산업시설의 위험성을 인지하고 대처할 수 있게 하기 위해서 사업장의 위험도를 지도상에 표현하여 공개하고 있다.

따라서 국내 화학산업시설에서도 사업장별 위험도를 전자 지도망에 표기하여 실제 위험성을 파악하여야 하며, 파악된 위험성을 감소시킬 수 있는 대책을 강구하고 사고 시 각 사업장별 위험성을 고려하여 합리적인 비상대응계획을 수립하여야 한다.

본 연구에서는 피해예측을 토대로 계산된 화재, 폭발, 누출사고에 의하여 예상되는 피해 정도와 사고발생빈도 Data를 다양한 Graphic 기능을 사용하여 적절히 표현할 수 있는 사업장 위험도 수치화 프로그램을 개발하였으며, 이를 국내 화학산업시설에 적용하여 객관적인 위험성을 평가할 수 있는 기반을 제공하였다. 또한, 산업 현장에서의 응용성을 극대화시키기 위해서 개발된 시스템을 이용하여 비상대응계획 수립 Guideline 및 비상대응구축 지원 시스템을 개발하였고, 국·내외 Code 및 법령을 검색하여 안전성 향상 대책을 지원하는 안전기준 프로그램을 개발·보급하였다. 아울러 향후 국내에 적용하게 될 위험성 기준을 설정하기 위하여 선진 외국의 관련 자료를 검토하여 위험성 판정 기준에 보조 Tool로 사용할 수 있는 Risk Matrix를 개발하였다.

#### 위험도 수치화 시스템

산업시설의 위험도를 수치화 하는 방법에는 크게 Risk Index, Individual Risk, Societal Risk 형태로 구분할 수 있다. Risk Index(위험성 지수)는 단순한 표시(Presentation)를 산출하는 하나의 숫자 또는 도표이며 Individual Risk(개인적 위험성)는 사고의 영향권 내에 있는 개인의 위험성을 고려하며 Societal Risk(사회적 위험성)에서는 사고의 영향권 내에 있는 인구에 미치는 위험성을 고려한다.

이들을 세세하게 구분하면 12가지 방법이 있다. 아래 열거한 12가지의 방법들 중에 현재 널리 이용되고 있는 위험도 수치화 방법은 Individual Risk Contour와 Societal Risk Curve(F-N Curve)라고 할 수 있다.

위험도	표현 형식
<b>지수</b> 사고 사망률 개인적 위험 지수 평균 사망률 사망 지수 등가 사회적 비용 지수	사망 예측 지점/10 <sup>8</sup> 노출 시간 피크 개인적 위험 또는 FAR의 예측 시간 단위당 예측되는 평균 사망자 수 피해 결과에 대한 단일 값 표시 단일 숫자 지수 값 표시
<b>개인적 위험</b> 개인적 위험 등고선 개인적 위험 프로파일 최대 개인적 위험 평균 개인적 위험 (노출된 인구) 평균 개인적 위험 (전체 인구)	현지 지도 위에 동등한 위험 값의 폐쇄 곡선(Closed curve)을 첨가함 명시된 방향의 플랜트에서 거리의 함수로 나타나는 개인적 위험의 그래프 최대 위험에 처한 사람에 해당되는 개인적 위험의 단일 숫자 값 노출된 인구에서 사람과 평균 위험을 예측하는 단일 숫자 값  모든 사람의 위험 노출 여부에 관계없이 사전에 결정된 인구에서 개인과 평균 위험을 예측하는 단일 숫자 값
<b>사회적 위험</b> 사회적 위험 곡선 (F-N 곡선)	N 또는 더 많은 사망, 피해나 노출 대 N, 사망 수, 피해나 노출을 야기하는 사건의 추적 확률 또는 빈도의 그래프
<b>평균 사회적 위험</b>	평균 사망률에 대한 또 다른 용어

아래의 Fig 1.은 59건의 화재사고 시나리오에 대한 개인적 위험성을 Risk Contour로 전자 지도 위에 표현한 것이다. 색상을 통해 Frequency를 알 수 있다.

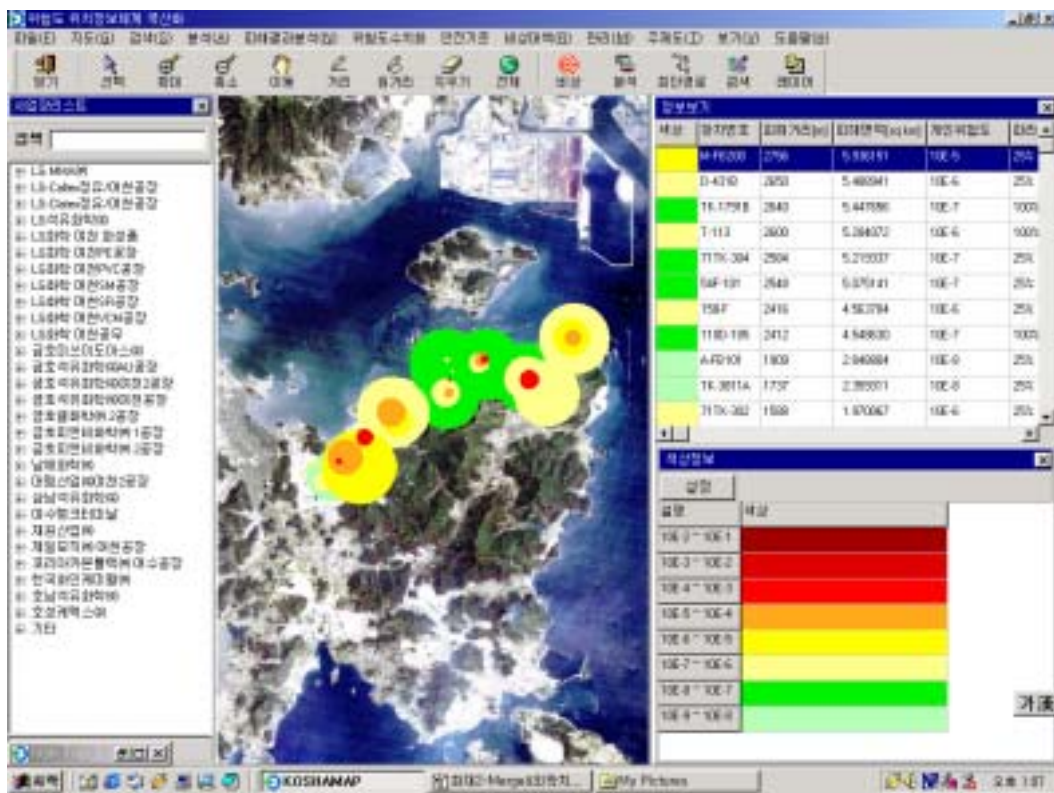


Fig 1. 59건의 화재사고 시나리오에 대한 Risk Contours

## 안전기준 프로그램

안전기준 프로그램은 위험도 표현 후 위험성 감소 대책을 마련하는데 도움을 줄 수 있는 D/B 개발뿐만 아니라 사용자들이 독자적으로 본 프로그램을 이용하여 사고 대상 기기에 관련된 각종 Code들을 찾아볼 수 있도록 하기 위하여 개발하였다. 더불어 본 프로그램은 사용자가 관련 내용을 편리하고 쉽게 찾아볼 수 있도록 구성한 것과 새로운 내용을 수시로 추가·보완 할 수 있는 것이 장점이라 할 수 있다.

본 안전기준 프로그램은 피해예측을 통하여 나온 결과를 Map상에 Contour로 표현한 후 산출된 피해영역을 줄일 수 있는 감소전략을 위한 안전기준을 사용자가 쉽게 찾을 수 있도록 사고가 발생할 수 있는 대상기기를 대분류 및 소분류로 구분하고, 다음으로 분석된 국내·외의 관련된 각종 Code(NFPA, OSHA, API, KOSHA 등) 및 법령(국내법 및 COMAH regulation)들을 소분류에 포함시키는 방법으로 DB를 구성하였다. 또한 편리한 사용을 위하여 각종 Code 및 법령이 포함되어 있는 국내·외 기관 및 단체의 홈페이지에 손쉽게 접속되도록 구성되어있고, 법령 및 Code의 사용 시 키워드만으로 원하는 부분을 찾아 볼 수 있도록 하였다.

## 비상대응계획 시스템

국내 산업시설에서 예방, 준비, 대응, 복구의 4단계 접근방식을 토대로 비상대응계획을 수립할 수 있도록 비상대응계획 지원 시스템을 개발하였으며, 관련 S/W 및 EPA, CCPS, Emergency Planning등의 국제 Guideline들을 분석하여 일차적으로 국내 실정에 적합한 비상대응계획 시스템의 Stand-alone 형식으로 개발하였다.

위에 제시한 Guideline들을 토대로 국내 산업시설에서 효율적으로 사용할 수 있는 비상대응 Guideline (1), (2)를 정리하였으며, 관련 내용은 다음과 같다.

### ■ 비상대응계획 Guideline 1(안)

- 1) 누출 경보에 대한 최초 대응
- 2) 사고의 평가
- 3) 화재로 진행되는 않는 누출의 처리
- 4) 제한된 범위의 화재 대응
- 5) 대규모 화재 시 대응

### ■ 비상대응계획 Guideline 2(안)

- 1) 화재로 진행되지 않은 누출(독성물질 누출 포함)
- 2) 화재로 진행된 누출(폭발사고 포함)

## Risk Matrix 시스템

계산된 사고 시나리오가 갖는 Risk의 의미를 해석하기 위해서는 위험성 평가 기준(Risk Assessment Criteria)이 있어야 한다. 그러나, 산업안전보건법 및 안전관련 관계법에서 국내 산업시설에 대한 위험성 기준을 제시하고 있지 않기 때문에 현 시점에서는 산업시설 별 위험성을 상대적으로 평가할 수밖에 없다.

따라서, 본 연구에서는 국내 산업시설의 위험성을 평가하기 위하여 외국의 각종 기준을 검토하고, 위험성 기준을 토대로 국내 산업시설의 위험성을 상대적으로 평가할 수 있는

Risk Matrix 시스템을 개발하였다.

- 국내 산업시설의 위험성을 상대적으로 비교할 수 있도록 세계 각국의 위험성 평가 등급의 자료 제공
- 영국의 HSE, 네덜란드의 TNO, 국제연합의 위험도 기준을 기반으로 하고 미국의 위험도 기준 등을 지원
- 사업장의 위험성 수준을 통계 처리하여 국내 기준을 산출할 수 있는 위험성 기준제안

## 결론

본 연구를 통하여 국내 대규모 화학산업단지의 위험성을 지도상에 표현하고, 각종 안전 관리 대책 및 비상조치 계획을 수립할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 기대효과를 요약 하면 다음과 같다.

- 국내 화학산업시설의 위험도를 지리정보시스템에 저장·관리할 수 있으며, 상대적으로 높은 위험도를 갖는 사업장에 대하여 집중 안전관리를 할 수 있다.
- On-Site와 Off-Site 비상조치 수립 Guideline을 이용하여 사고 발생 시 예상되는 피해 규모를 최소화할 수 있으며, 화학산업시설에 대한 일반 대중의 호응도를 크게 높일 수 있다.
- 위험성 감소 대책 Guideline을 이용하여 사업장내 위험설비들을 안전하고 과학적으로 관리할 수 있으며, 이를 토대로 국내 화학산업 시설의 안전성을 전체적으로 향상시킬 수 있다.
- 위험성 판정기준 D/B를 이용하여 국내 화학산업시설의 위험성을 상대적으로 평가할 수 있으며, 평가 결과를 토대로 산업특성별 위험성 판정 기준을 개발할 수 있다.

결론적으로, 본 연구를 통하여 국내 화학산업시설의 안전성을 객관적으로 평가할 수 있으며, 이를 토대로 각종 안전대책 및 비상대응 전략을 합리적으로 수립할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. CCPS, *Guideline for Technical Planning for On-site Emergencies*, AIChE, New York, 1995.
2. CCPS, *Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, AIChE, New York, 1989.
3. CCPS, *Guideline for Hazard Evaluation Procedure*, AIChE, New York, 1989.
4. CCPS, *Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models*. AIChE, New York, 1987.
5. CCPS, *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*. AIChE, New York, 1994.
6. Crowl, D. A. and J. F. Louvar, *Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications*, Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
7. KOSHA-Code, 한국산업안전공단, 2001.
8. KOSHA MAP III 사용자 매뉴얼, 한국산업안전공단, 2000.