



화학공장의 위험도 표현 시스템 개발

이정우 · 임동호 · †고재욱

광운대학교 화학공학과

(2005년 4월 8일 접수, 2005년 6월 10일 채택)

Development of Risk Representation System for Chemical Plants

Jung Woo Lee · Dong Ho Lim · †Jae Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul Nowon-Gu, Korea

(Received 8 April 2005, Accepted 10 June 2005)

요 약

화학 산업시설은 위험 물질을 대규모로 취급하기 때문에 사고 발생 시 사업장 근로자뿐만 아니라 사업장 주변의 주민들에게까지 피해를 끼칠 수 있다. 이러한 대형사고를 효과적으로 제어하고 대응하기 위해서 국내 화학 산업단지의 위험성을 객관적으로 수치화하여 묘사할 수 있는 위험도 표현 시스템의 개발이 필요하다. 이에 본 연구에서는 사업장별 위험도를 전자 지도 망에 표기하여 실제 위험성을 파악하고 파악된 위험성을 감소시킬 수 있는 대책을 강구 할 수 있도록 위험도 표현 시스템(S/W)을 개발하였다.

Abstract – Because chemical industrial facilities deal with large amount of hazardous materials, the damage affect to off-site as well as on-site when an accident occurs. So it is necessary to develop a Risk Representation System for effective control and response to major accidents. In this study a Risk Representation System(S/W) was developed to help analyzing actual risk and to set an alternative that can reduce the analyzed risk by drawing the level of individual plant's risk on a digital map network.

Key words : Risk Representation System, Major Accident, Digital Map Network

I. 서 론

화학 산업시설은 위험 물질을 대규모로 취급하기 때문에 사고 발생 시 사업장의 근로자뿐만 아니라 사업장 주변의 주민들에게 까지 그 피해를 끼칠 수 있다. 이러한 대형사고를 효과적으로 제어하고 대응하기 위해서는 국내 화학 산업단지의 위험성을 객관적으로 수치화하여 묘사할 수 있는 위험도 표현 시스템의 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 화학 산업시설에서도 사업장별 위험도를 전자 지도망에 표기하여 실제 위험성을 파악하여야 하며, 파악된 위험성을 감소시킬 수 있는 대책을 강구

하고 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 표현 시스템을 개발하였으며, 이를 국내 화학 산업시설에 적용하여 객관적인 위험성을 평가할 수 있는 기반을 제공하였다.

II. 해외 위험도 표현 시스템

화학산업을 포함한 위해 산업시설의 위험성을 평가하기 위한 방법으로 제안된 위험도 표현 방법은 1980년도부터 선진국을 비롯한 많은 국가에서 정량적 위험성 평가, 토지이용 및 비상조치 접근을 위한 수단으로 널리 이용되고 있다. 특히, 미국의 OSHA Act 40 CFR 1910.119에서 규정하고 있는 PSM과 1997년도부터 전 유럽의 위해 산업시설에 적용되고 있는 Seveso Directive II의 COMAH(Control of Major Accident

†주저자:jwko@daisy.kw.ac.kr

Hazard) Regulation에 의하여 위해 산업시설의 가동에 따른 위험성(개인적, 사회적)을 객관적인 자료로 작성할 것을 요구하고 있다.

이와 같이 산업시설의 안전과 관련된 법의 규제가 강화되면서 미국, 영국, 네덜란드 등에서는 반복적인 계산과 도면작도에 투입되는 시간과 인력 소비를 줄이기 위하여 SAFETI, RISKPLOT, RISKCAT, RISKCURVE 등의 Software를 개발하여 사용하고 있다. 이러한 이유로 국내에서도 SAFETI, SAFER 등의 고가의 S/W를 도입하여 사용하고 있으나, 기능에 비하여 높게 책정된 가격으로 인하여 크게 실효를 발휘하지는 못하였다.

특히, SAFETI를 비롯한 S/W들이 제공하는 기능은 단일공장에 대한 위험도를 수치화 하는 것을 목적으로 하기 때문에 국내와 같이 대규모 화학공장 들이 밀집되어 있는 Complex 개념의 위험성을 동시에 다발적으로 표현하여 분석하는 기능은 제공하지 못하고 있다.

III. 위험도 표현 방법

산업시설의 위험도를 표현 하는 방법에는 크게 Risk Index, Individual Risk, Societal Risk 형태로 구분할 수 있다. Risk Index(위험성 지수)는 단순히 위험도를 산출하는 하나의 숫자 또는 도표이며, Individual Risk(개인적 위험성)는 사고의 영향권 내에 있는 개인의 위험성을 고려하고 Societal Risk(사회적 위험성)에서는 사고의 영향권 내에 있는 인구에 미치는 위험성을 고려한다. 이들을 상세하게 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. 또한 Individual Risk Contour와 Societal Risk Curve를 변형시켜 사용하고 있다(예, Societal Economic Loss Curve 등).

◆ Risk Indices

- Fatal Accident Rate
- Individual Hazard Index
- Average Rate of Death
- Mortality Index or Number
- Equivalent Social Cost Index or Loss Index

◆ Individual Risk

- Individual Risk Contour
- Individual Risk Profile
- Maximum Individual Risk

- Average Individual Risk (Based on Exposed Population)

- Average Individual Risk (Based on Total Population)

◆ Societal Risk

- Societal Risk Curve (F-N Curve)
- Average Societal Risk

IV. 위험도 표현 시스템

4.1. Risk Index 표현 시스템

Risk Index 방법론은 1980년대에 주로 사용되던 방법론이며, 표현이 간단하여 아직도 비전문가들에게 위험성을 설명할 때 사용하는 방법론이다. Risk Index 방식을 이용하여 사업장의 위험성을 표현하는 방법은 앞에서 열거했던 5가지 방법들이 주로 이용되며, 본 연구에서는 이 5가지 방법을 이용하여 화학공장의 위험성을 표현하도록 개발하였다.

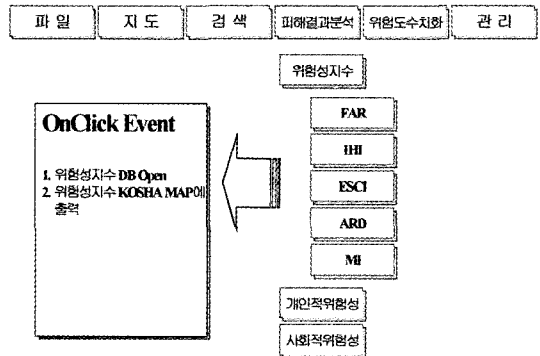


Fig. 1. Risk index method.

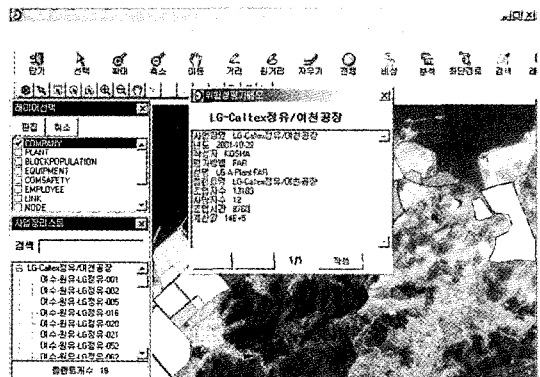


Fig. 2. Fatality accident rate.

Fig. 1에서 본 연구에서 제시된 risk index 표현 방법의 활성 화면을 확인할 수 있으며, Fig. 2에서는 5 가지 방법에 대한 전자지도상 표현된 시스템 중 그 예로서 Fatal Accident Rate(FAR)에 대한 화면을 볼 수 있다.

4.2. Individual Risk 표현 시스템

Individual Risk는 위험시설 인근에 있는 개인에게 미칠 수 있는 위험성으로 정의할 수 있으며, 피해의 성격, 피해발생 가능성, 피해가 발생할 수 있는 시간 등이 함수로 포함된다. Individual Risk는 가장 많이 노출된 개인, 특정장소에 있는 개인/집단, 또는 피해 영향권에 있는 평균 개인과 같이 인구정보와 관련하여 다양한 결과 값을 가져올 수 있다.

Individual Risk를 표현하는 방법은 인구분포 형태와 실제 작업시간 등을 고려하여 아래와 같이 다양한 형태로 표현할 수 있다.

- ◆ Individual Risk Contour
- ◆ Individual Risk Profile
- ◆ Maximum Individual Risk
- ◆ Average Individual Risk (Based on Exposed Population)
- ◆ Average Individual Risk (Based on Total Population)

4.2.1. Individual Risk Contour and Profile

화학공장 주변의 여러 지리적 위치의 개인적 위험을 예측하고 Risk Contour와 Profile을 생성하기 위한 계산 및 표현방법은 다음과 같다.

해당 위치에 대한 개인적 위험 예상 수치는 다음의 가정 하에서 각 위치에서 동일하게 계산 및 표현된다.

- 모든 위험은 포인트 누출원에서 비롯된다.
- 단일 풍속 및 대기 안정도 분류를 사용할 수 있다.
- 완화 인자를 고려하지 않는다.
- 점화원이 균일하게 분포한다. (즉, 점화 확률이 방향에 의존하지 않음).
- 피해 결과의 영향을 따로 처리할 수 있다. 특정 영향권 내에 발생되는 효력 수준이 일정하다(예, 100% 사망).

Fig. 3은 개인적 위험 계산 절차를 나타낸다. 이 절차는 연구에서 고려한 모든 사고, 사고결과 및 사고결과 사례에 대한 목록을 필요로 하며 모든 사고에 대한 피

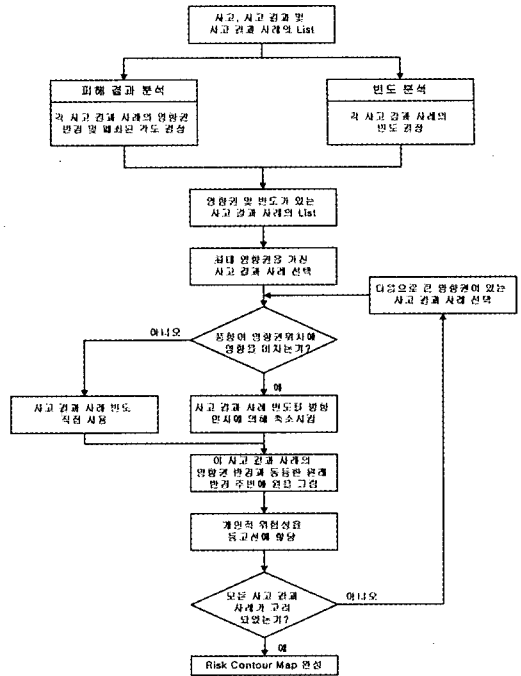


Fig. 3. A procedure for individual risk contours.

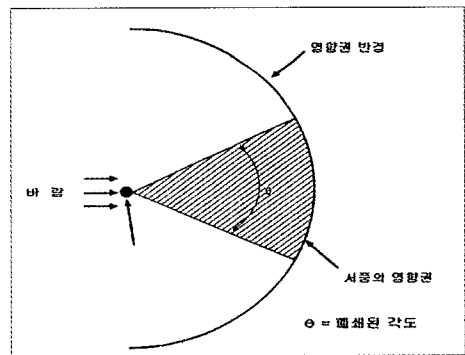


Fig. 4. Effect zone for an outcome case dependence on wind direction for the simplified Individual Risk estimation procedure of Fig. 3.

해 결과(영향권)와 빈도를 결정해야 한다. 영향권이 불연속적인 것으로 가정(위의 최종 가정 참조)되기 때문에 고려 중인 영향(예, 일부 독성 노출, 피해, 사망)의 발생권 내에서 누출원에서 떨어진 반경 거리에 대해서만 영향권을 정의할 수 있다. 풍향의 영향을 받는 사고 결과 사례의 경우에는 Fig. 4에서 표시한 것처럼 폐쇄된 각도와 관련된 영향권의 넓이도 예측해야 한다. 이에 대한 결과는 각각 관련된 빈도, 영향권 반경 및 폐쇄된 각도(Enclosed Angle)(필요한 경우)가 있는 연구에 대한 모든 사고결과사례다.

4.2.2. Individual Risk의 표현

Individual Risk 항목의 구성은 Fig. 1과 동일한 형태로 표현하며, Individual Risk를 Map에 투영하였을 경우 화면에 출력되는 모습은 Fig. 5과 같으며, Fig. 6은 몇 가지 사고로 인한 Risk를 Contour 형태로 나타내는 화면이다.

4.2.3. Individual Risk Profile의 표현

Individual Risk Profile 표현 방법은 앞서 살펴본

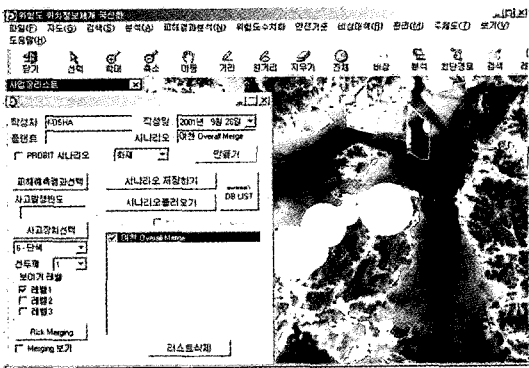


Fig. 5. Individual risk representation.

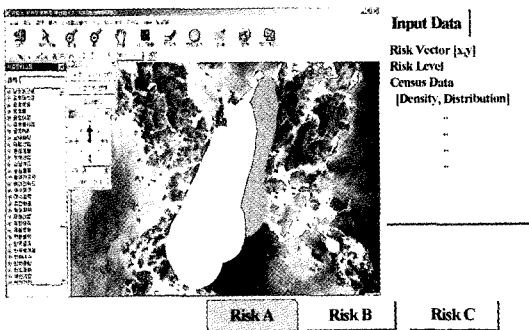


Fig. 6. Merge of risk contours.

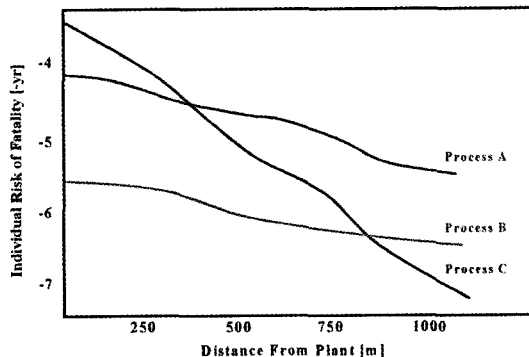


Fig. 7. Individual risk profile.

Contour 방식과는 달리 다양한 형태의 개인적 위험성을 Graph 형식으로 표현하는 방법이다. Individual Risk Profile은 F-N Curve와 같이 x축에 사고로부터 예측되는 피해의 규모, 즉 사상자가 발생할 수 있는 거리를 입력하고 y축에 그러한 사고를 야기할 수 있는 사고발생 가능성을 입력하여 구성하게 된다. Fig. 7은 일반적인 Individual Risk Profile의 형식을 보여주는 그림이다.

4.3. Societal Risk 표현 시스템

화학산업 시설의 경우 위험물질을 다양으로 생산, 취급하기 때문에 사고발생시 많은 사람에게 피해를 가져올 수 있다. 이와 같이 대규모 인구 집단이 피해를 입을 수 있는 위험성을 나타내는 것이 Societal Risk 표현 방법이다. Societal Risk를 표현하기 위해서는 앞서 서술한 Individual Risk와 같은 피해예측 결과와 사고발생 가능성에 대한 자료뿐만 아니라 주변지역의 인구분포 및 낮과 밤에 따른 인구의 이동형태와 같은 Social Data가 필요하다.

일반적으로 Individual Risk가 피해 범위에 있는 인구수와는 독립적인 수치인데 반해, Societal Risk는 피해 범위 내 존재하는 사람 수에 따라 그 수치가 바뀔

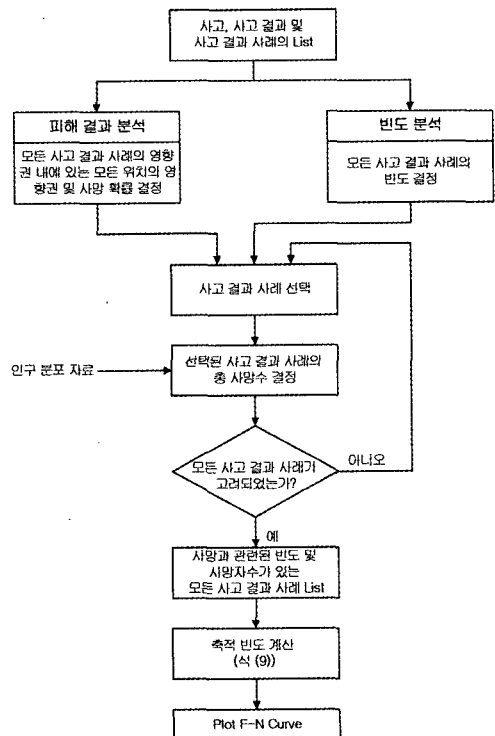


Fig. 8. A procedure for calculation of societal risk F-N curves.

수 있다. 예를 들어, 피해 가능지역에 낮 근무자가 10 명이고 밤 근무자가 2명이라고 할 때, 이 지역에서는 Societal Risk는 사고가 낮에 발생할 때가 밤에 발생할 때 보다 5배가 높게 계산된다.

4.3.1. Societal Risk의 계산

사업장 주변의 인구에 관한 Data는 물론 개인적 위험성 계산에 필요한 모든 Data도 사회적 위험성을 계산하는데 필요하다.

Fig. 8은 사회적 위험성을 표현하는 F-N 곡선을 계산하기 위한 절차를 나타낸 것이다. 단계는 피해 결과 (영향권) 및 빈도의 예측을 통한 개인적 위험 계산과 동일하다. 따라서 각 사고 결과 사례의 영향을 받는 사람의 수를 예측하려면 이 정보를 인구 자료와 결합해야 한다.

4.3.2. Societal Risk의 표현

위험도 표현 시스템의 메뉴항목 중에서 Societal Risk의 활성화는 Fig. 1과 동일한 방식으로 처리하며, Fig. 9와 Fig. 10은 Individual Risk Contour를 바탕으로 사

고로 인하여 발생된 사망자수와 사고의 발생빈도를 나타낸 F-N Curve와 그 결과 값을 토대로 F-N Curve를 Plotting한 내용을 보여주고 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 대규모 화학산업단지에 있는 화학공장들의 위험성을 지도상에 그래프적으로 처리하여 위험성의 실체를 가시화하고 안전성 계획을 효율적으로 수립할 수 있는 위험도 표현 시스템이 필요하다. 이를 위하여 미국의 위험설비안전센터(CCPS)에서 제한하고 있는 위험성 표현 방법에 대한 검토와 Coding에 앞서 System Design 측면에서 연구가 이루어졌다. 제안된 방법론에 대하여 설계한 Algorithm을 완벽하게 구현될 수 있도록 직접적인 Coding 및 GUI기능을 강화하였다.

본 연구의 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

- 국내 화학 산업시설의 위험도를 지리정보시스템에 저장·관리할 수 있으며, 상대적으로 높은 위험도를 갖는 사업장에 대하여 집중 안전관리를 할 수 있다.
- On-Site와 Off-Site 비상조치 수립과정에 사고 발생 시 예상되는 피해 규모 등을 활용하여 효율적인 계획을 수립할 수 있다.
- 연구 결과를 활용하여 위험성 감소 대책을 수립하여 사업장 내 위험설비들을 안전하고 과학적으로 관리할 수 있으며, 이를 토대로 국내 화학 산업시설의 안전성을 전체적으로 향상시킬 수 있다.

향후, 본 연구에서 개발된 위험도 표현 시스템을 현장에 적용하면서 사업장의 근로자들이 사용하기 편리하도록 GUI 기능의 보강과 데이터의 신뢰성 확보를 위하여 데이터수집 및 통계처리가 반드시 수반되어야 한다. 또한 선행연구에서 진행된 결과들과 연계가 보다 효율적으로 이루어지도록 Interface 기능의 보완이 필요하다고 사료된다.

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

감사의 글

이 논문은 2003년도 광운대학교 연구년 및 한국산업 안전공단의 지원에 의해 연구 되었으며, 연구비 지원에 감사를 드립니다.

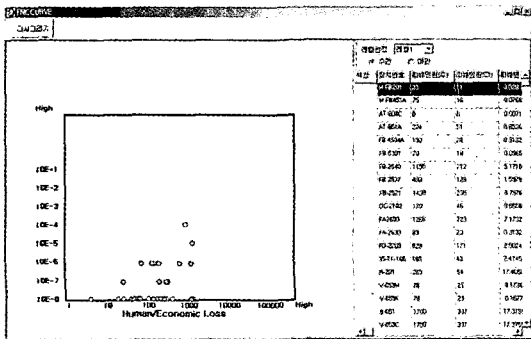


Fig. 9. F-N curve.

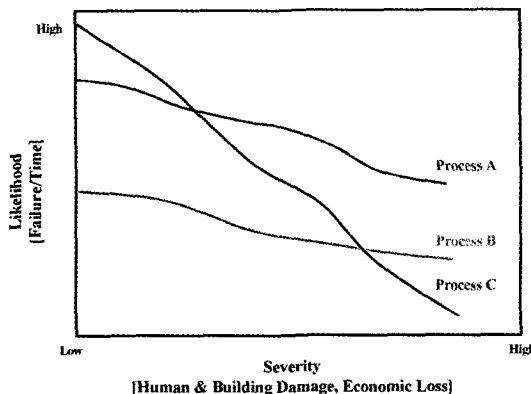


Fig. 10. F-N curve plotting.

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)