

V. 화학공장 사고예방을 위한 종합적 위험관리체계 구축

한국산업안전공단
권혁면

화학공장사고예방을 위한 종합적 위험관리체계(IRMS) 구축

1. 현 황

현재 국내에는 위험물질을 취급하는 위험설비에 대한 실태와 위험물질 취급 수량에 대한 구체적인 자료가 체계적으로 전산화되어 있지 않아 위험요인을 파악하는데 많은 인력과 시간이 소요될 뿐 아니라 위험요인을 제거하거나 개선하는데도 어려움이 많은 실정이다.

한편 위험설비의 위치를 지도상에서 정확히 파악할 수 있는 위험설비 위치정보가 구축되어 있지 않고 있다.

또한 위험설비의 고장발생확률을 예측하는데 기본이 되는 위험설비의 신뢰도 DB가 구축되어 있지 않아 위험설비 결함에 의한 사고를 예방하는데 어려움이 있고 예방정비(Preventive Maintenance)가 과학적으로 이루어지지 못해 가동이 중지되거나 경제적인 정비·보수작업이 이루어지지 못하고 있다.

사고발생확률을 예측하고 사고발생시 피해를 예측하는 정량적 위험성평가 기법이 도입되어 있지 않아 사고발생 가능성을 수치적으로 예측할 수 없을 뿐 아니라 사고발생시 과학적이며, 구체적으로 그 피해범위를 예측하지 못하고 있다.

화학공장에서의 화재, 폭발, 위험물누출 사고는 그 원인이 다양하고 복잡하며 기상 등과 같은 여러요인이 복합적으로 작용하고 있어 사고형태를 예측하기 어려우며, 개별사업장에서의 한번의 사고는 자칫 연쇄적인 사고로 이어져, 인적·물적 피해는 물론 경제적 파급 효과가 큰 특징을 갖고 있다.

따라서 화재·폭발·위험물 누출 등 중대산업사고를 예방하기 위하여 위험설비에 대한 종합적인 위험관리체계(Integrated Risk Management System, IRMS)를 구축할 필요성이 제기되고 있다.

현재 EU에서는 지리정보체계(GIS)를 이용하여 Seveso Plant Information Retrieval System (SPIRS)이라는 프로젝트를 수행하고 있으며, 이미 Seveso II규정 적용대상 사업장(화학공장 등 위험물 취급 사업장)으로부터 Data를 받아 입력하고 있다.

- Seveso II 규정 : Seveso I (중대산업사고예방 규정)을 '96년 개정하여 1999년 2월까지 유럽 각국의 자국법으로 시행

SPIRS의 구축 목적은 도식화된 위험지도를 작성하여 위험관리정보를 제공하고 체계적인 위험관리, 비상조치계획 및 토지 이용계획에 활용할 계획으로 있다.

영국산업안전보건청(HSE)에서는 『위험설비위치정보시스템 (일명 HSE Map)』을 개발하여 화학물질 취급사업장, 가스배관 및 지하매설물 등의 위치와 화학물질의 사용량 등을 컴퓨터로 관리하고 있으며, 위험설비에서 화재, 폭발 또는 독성물질누출 사고가 발생할 경우 그 피해범위(위험등고선 : Risk Contour)를 사전에 예측하고 즉각 조치할 수 있도록 하고 있다.

또한 이와같은 시스템을 활용하여 위험시설 주변지역에 다른 위험시설이나 주거용건물 또는 공동건물 등을 설치할 경우 위험성을 평가하여 안전한지의 여부를 확인한 후에 설치허가를 하도록 제도화 하고 있다.

2. 정량적 위험성평가

2.1 정량평가의 목적

정량평가가 항상 복잡한 것은 아니다. 정량평가는 현재의 위험형태에 맞도록 적용되어야 하며 여기에 따라 어느정도 상세한 평가를 수행해야 하는지 결정된다. 그러므로 각각의 정량평가들은 특정한 상황에 따라 적합한 방법을 사용하여야 하며 경제적인 비용으로 사용 조건에 따라 그 깊이가 달리하는 등 효율적으로 활용되어야 한다.

이러한 개념은 공장이나 설비의 설계과정 중 위험성을 적절히 감소시킬 수 있는 영역이 어디인지를 파악하고 비용상 가장 효율적인 방법, 채택된 위험 접근방식의 실효성과 한쪽에 치우치지 않도록 균형있게 평가하는데 있어 특히 필요하다. 그렇다고 모든 가능한 사고 및 위험성에 대한 전반적인 파악이 필요하다는 것은 아니다. 어느 부분에서 “합리적으로 실행가능성이 있는(Reasonably Practical)” 위험감소가 이루어질 수 있는지 만 설명할 수 있다면 정량 평가는 충분히 활용되었다고 할 수 있다.

여기서는 항목별로 여러 다른 종류의 적용기술을 검토할 것이다.

- (가) 공장이나 설비로부터 발생하는 전반적인 위험을 예측하고 그 위험이 수용 가능한지 또는 받아들일 수 없는지의 판단, 결정.
- (나) 결과적으로 얻어지는 위험에 대한 우선 순위가 일반 정책 목적상 얼마나 유용한지 검증
- (다) 이러한 연구 결과 위험으로 인하여 위험설비주위의 토지개발시 고려하여야 할 사항들

이러한 연구를 수행할 경우, 원래 목적의 차이, 분석 깊이의 차이 그리고 평가에 있어 필요시 생략하는 항목 등이 중요해진다. 특정 프로젝트로부터의 이익이라든가 특정 위험에 대한 거부감 등에 대한 '정책적(engineering의 반대개념)인 결정이 강력한 영향력으로 작용할 수 있다는 사실은 명백하며 앞으로도 그렇게 될 것이라 예상된다. 이런 변수가 있다는 관점에서 보면 위험의 우선 순위는 단지 하나의 지침에 지나지 않다. 서로 다른 목적으로 마련된 정량평가 결과들을 단지 '읽기'만 함으로써 그러한 평가의 결과를 오도하거나 부적절하게 응용하는 경우가 많다.

2.2 정량평가 결과의 표현방법

주요 사건의 결과에 대한 정량화는 사회적 위험을 표시하는 단어나 용어로 표현된다. 이것은 여러사람을 희생자로 하는 반 사회적인 재난, 발생한 피해 이상의 다른 요인들을 고려해야 하는상황(예를 들어 원자력의 경우 토양의 오염) 모두를 인식하는 개념이다. 치명적인 중대산업사고피해의 정량화된 표현은 관습적으로 여러 가지 표나 FN 곡선(N명 또는 그 이상이 사망하는 사건에 대한 빈도(경험이나 예측을 통한)를 보여줌)로 표시된다. N이라는 숫자로 표현된 상황은 주변 정황에 따라 변할 수 있다. 원자력 사건의 경우, 즉각적 사망 숫자만으로 표현하는것은 별 쓸모가 없다. 그러므로 원자력 FN 곡선은 지연된 사망에 대해서도 평가해야 한다. 비원자력 발전소의 경우 즉각적인 사망자나 중상자를 고려하는 것이 적절할 것이다.

2.2.1 사망

위험을 다룰 때 대부분 주로 사망 위험을 생각한다. 이것이 다소 임의적으로 보일 수도 있지만 이러한 접근법은 다음과 같은 정당성을 갖는다. 사망 자료는 기록으로 남으며 비교적 간결하다. 하지만 그 정

도가 차이가 나는 부상의 경우에는 문제가 있으며 종종 자료를 구할 수 없고 있다 하더라도 자료를 해석하기가 어렵다. 또한 통계방법에 따라 실제 많은 차이가 날수 있으며 이러한 차이는 국가간에는 더욱 현격해진다. 예를 들어 한국의 재해율은 96년도 0.88%까지 감소되었으나 사망자수는 2,670명으로서 사망만인을 3.27이다. 그러나 안전선진국으로 우리가 간주하는 영국의 제조업종 재해율은 95년에 1.25%의 재해율로서 우리보다도 높게 나타나지만 사망자수는 191명으로서 사망만인을 0.16에 불과하다. 실질적인 경험에서 볼때 통계상의 어떤 방법을 사용하던 산업활동에서 부상과 사망 사이에는 어떤 상관관계가 존재하는 것을 대부분 인정하고 있고 이 비율에 대해서는 Heinrich(1959)가 대표적으로 연구한바 있으며 이러한 기준이 한국현실에 적합한지는 한국통계상의 특성과 더불어 추후 연구검토가 필요하다.

어떤 특정한 위험으로부터의 부상감소에 비례하여 사망을 주는 경향이 있으므로 사망률을 중요한 실제적 기준으로 이용한다고 해서 부상에 따른 개인적 손실을 무시하는 것은 아니다.

산업재해 위험에 대한 지표들은 기존의 연구로 부터 이미 도출되어 사용되고 있다. 손실 시간당 사고율(Lost time accident rate)은 10^5 노출시간 당 사고수로 표현된다. 이 시간은 대략 한 근로자의 평생 노동시간에 해당한다. 사망 사건은 사고빈도가 훨씬 낮기 때문에 불편한 작은 수를 피하기 위해 사망 사건률(FAR)은 10^8 노출시간 당 사망자수로 정의된다. 이 시간은 대략 1000명의 근로자의 평생 노동 시간에 해당한다. 이러한 단위는 연간 사망률 또한 일반적인 사망 위험성과 관련하여 사용되는 지표에 속한다.

사망의 직접 위험을 이용하는 방법이 가장 적절한 방법으로 전반적으로 인정되고 있지만 이것이 전부가 아니라는 것을 알 필요가 있는데 어떤 위험은 즉각적 사망을 일으키지 않으면서 지연된 사망, 다시 말해 중상이나 심각한 부상을 야기하기 쉽다. 핵반응기로부터 유출된 방사선이나 독성물질들은 대개가 시간이 흐른 후에 많은 사망에 이르게 하는 원인으로 작용할 가능성이 있다.

2.2.2 경제적 피해

위험도에 영향을 미치는 중대산업사고로 인한 피해에는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 공장 (Three Mile Island, Chernobyl, Flixborough등)의 파손에 대

한 위험. Marshall은 Chernobyl과 TMI 경우 추정비용을 각각 약 수십억원으로 추정하였으며 이는 단순한 그 공장만에 대한 피해 외에 동종 전체 산업의 '이미지'에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

- 2) 인근지역주민이 수 년 동안 소개되어야할 만큼 큰 유출시의 경제적 피해효과(Chernobyl, Seveso). Marshall은 Chernobyl 경우의 직접비용을 30억원 이상으로 평가했다(구제비용과 환경치유비용 등). 실제 경제적 비용은 이것보다 더 클 것이다.
- 3) 원자력 사고의 경우 등, 미미한 유출 사고인 경우에도 발생하는 '불안요인'(암환자 발생 등).
- 4) 사고결과로서의 직간접 상해 (Seveso나 Chernobyl사고에 의한 임산부의 유산, 기형아출산 등).
- 5) 잠재적요인. 사건 이후에 사람들은 지금 당장은 피해갔지만 잠재적 가능성이 있는 더 큰 재난에 대해 걱정한다.

2.2.3 위험성 평가에서 위험수용 기준의 필요성

Kletz(1971)는 자신이 말한 위험성 평가의 방법론에서 위험에 이르는 사건의 확률에 관한 4가지 상황을 파악한바 있다.

- 1) 사건의 확률은 낮은 값을 가진다.
- 2) 사건의 확률은 시행 기준이나 규정(code)을 적용해서 낮아질 수 있다.
- 3) 사건의 확률은 간단한 위험 분석에 의해 표준적인 시행 기준이나 규정과 동등한 안전성을 가지고 있다는 것을 증명함으로써 낮아질 수 있다.
- 4) 사건의 확률은 반드시 정량적으로 추정되어야 하며, 분석에서 이용되는 수치적 설정치를 사용하여 위험기준에 비교할 수 있도록 변환되어야 한다. 단순한 경우에는 간단한 위험성 분석을 사용하는 반면 보다 복잡한 경우에는 FTA와 같은 좀더 자세한 방법을 이용해야 한다.

2.2.4 기준과 규정

실제로 위험한 상태까지 갈 수 있는 사건의 확률은 원래 낮지 않더라도 적절한 시행 기준이나 규정을 이용하여 그 수준을 낮출 수 있다.

예를 들면 압력 용기에서 과압(overpressure)의 확률이 어느 정도 존재하지만 압력용기에 대해 기준과 규정에 명시된 대로 안전밸브를 사

용하면 과압의 확률을 낮출수 있다. 또 다른 예를 들면 모든 전기설비는 접지원으로 작용할수 있는 확률이 있는데 위험지역분류 규정 및 방폭전기설비 기준에 맞도록 설치하면 그 확률이 낮아짐을 알 수 있다.

하지만 중요한 사실은 중대산업사고 위험이 있는 곳에서 기준과 규정만으로 충분하다고 생각해서는 안 된다는 것이다.

2.2.5 동등한 수준의 안전확보

기준이나 규정을 적용하여 위험을 낮추는 것은 대부분의 경우 가능하지만 때때로 적용하기 어려울 경우도 있다. 이 경우에, 기준이나 규정과 동등 이상의 안전을 확보할 수 있는 대안을 강구하는 것도 활용이 가능하다.

2.2.6 기술적 가능성

현존하는 최고 기술을 이용하여 공장의 신뢰성을 향상시킨다 해도 여기에는 분명히 한계가 있다. 이와 마찬가지로 중요하게 그 신뢰성을 추정할 때 사용하는 기본 데이터의 신뢰수준 정도에도 명백히 한계가 있다.

공장의 신뢰성에 대해 주로 사용되는 방식은 연간 중요 사건 $\times 10^5$ 으로 표현되는 위험율이다.

더 낮은 위험율에 도달하는 것이 어려운 이유는 이러한 낮은 수준에서는 발생하지 않을 듯한 고장과 한가지 원인이 아닌 여러 변수에 의해 위험성이 영향을 받기 시작하기 때문이다.

2.3 위험의 수치화

2.3.1 위험곡선

공식적인 위험 기준이 모두 사회적 위험 산출에 사용된다고 할 때 가장 흔히 사용하는 기준은 FN 곡선이다. FN 곡선의 기본적인 특징은 별도로 언급하겠지만 여기에서 언급하는 것은 위험기준 곡선에 사용되는 파라미터와 관련된 것이다.

다른 위험도기준의 형태와 마찬가지로 FN 곡선은 단일기준 곡선이나 또는 정도를 셋으로 분류하게 되는 두 기준에 의한 곡선의 형태로 그려진다. 이러한 세가지 분류는 위험이 기준치 이상인 곳, 무시할 만한 곳, 더 깊은 검증을 요하는 곳의 세 곳이다. 이 접근방식은 ALARP 원

칙의 사회적 위험도에의 적용과 일치하며 ALARP보다 더 많이 쓰인다.

FN 곡선의 특징은 FN 직선의 특성을 고려하면 쉽게 이해할 수 있다. 이런 직선을 정의하는 두 가지의 요소는 통상 단일 중대 사고 발생도 (F축 절편)와 직선의 기울기이다. 실제적인 위험과 위험도 기준에 대한 FN 곡선의 특징은 Hagon(1984)을 참조하면 된다.

위험의 수치화는 원자력 설비에 대한 활용이 일반 사업장 보다 먼저 사용되기 시작하였다. 영국의 HSE는 사이즈웰에 핵발전소를 건설을 계기로 위험 기준의 개발 접근방법에 대한 2개의 문서를 발표했다. 그 중 하나는 '핵발전설비로 부터의 위험수용기준(The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations)' (HSE, 1988c) 이다. 이 문서는 방사선으로 인한 사망위험에 대해 근로자와 주민들에게 다음의 기준을 제시하고 있다. 여기서는 정상작업시의 방사선에 노출되는 위험과 원자력사고로 인한 위험이 구분되어있다.

원전설비에서 평균적인 방사선노출작업을 할 때의 실제적인 근로자 위험은 $10^{-4}/\text{year}$ 에서 $2.5 \times 10^{-4}/\text{year}$ 사이이다. 극소수의 근로자들은 그 열배가 넘는 위험에 노출되어있다. $2.5 \times 10^{-4}/\text{year}$ 의 위험은 중화학공업이나 광물추출 등에 종사하는 근로자들과 같은 수준이고 $10^{-4}/\text{year}$ 의 위험은 평균적인 제조업에서의 위험과 같은 수준이다. HSE는 대체적으로 위험의 상한선을 $10^{-3}/\text{year}$ 로 잡고 있다.

일반주민에게 미치는 위험은 근로자들 보다 최소한 열배 이상 낮아야 된다는 기준에 의해 일반주민의 위험도 상한선은 $10^{-4}/\text{year}$ 로 잡는다. 상한선의 반대로 보통 통용되는 위험도는 $10^{-6}/\text{year}$ 로 잡는다. 이 정도의 위험도는 일반적으로 별로 문제를 일으키지 않는다고 여겨진다. 이것은 집에서 감전될 위험과 비슷하고 교통사고로 죽을 위험의 1/100 정도이다.

원전설비의 정상작업이 주민들에게 미치는 실제적인 위험은 $10^{-5}/\text{year}$ 에 훨씬 못미치며 Nuclear Installation Inspectorate(NII) 원칙에 의해 설계된, 원전설비사고가 야기하는 위험은 $10^{-6}/\text{year}$ 정도이다. 두가지 원인 모두 대부분의 원전설비에 가까운 주민에게 야기하는 위험은 $10^{-6}/\text{year}$ 정도이지만 소수의 주민은 $10^{-5}/\text{year}$ 정도이며 이를 초과하는 경우는 거의 없다.

이 문서는 FN 곡선나 비슷한 기법들이 제공하는 사회적 위험도에 대해서는 언급하고 있지 않다. 대신 사회적 위험도의 척도로 세가지 시나리오를 제공한다 : (1) 기준사고, (2) 사고로 통제할 수 없는 누출,

(3) 반경 3km 내에서 100mSv에 상당하는 양을 발생시키는 제어되지 못한 누출.

이러한 관점에서 영국전역에서 통제가 불가능할 정도의 누출의 사고를 막을수 있는 위험도의 한계는 10^4 /year 정도가 된다. 그런 누출에 대해 검증된 위험도는 실제로는 10^6 /year 정도이다.

2.3.1 생명의 가치

위험을 낮추는데 이용가능한 척도를 평가하는 또 한 가지 기준은 생명의 가치이다.

사고 비용과 안전투자 비용의 효용성은 Robens Committee(Robens, 1972)의 중요한 관심사였다. Robens 보고서 자체가 산업 재해의 국가적인 비용을 추산하려고 했다. 또한 이 위원회는 산업 안전에 이르는 비용 효율성에 대한 Sinclair, Marstrand, Newick(1972a, b)의 연구를 지원하였다. 이 문제는 안전실무자 들에 있어 매우 큰 중요성을 가지며 이 주제에 대해서는 National Academy of Engineering (1972)등의 많은 연구가 있었다.

Melinek(1974 BRE CP88/74)와 Keltz(1976b)는 생명의 가치를 추정하는데 이용될 수 있는 몇 가지 방법에 대한 이론을 도입하였는데 이 보고서의 내용은 이들의 이론에 근거하여 이들이 사용한 수치를 변형하지 않고 그대로 이용하고 그 당시의 화폐 가치를 반영하였다. 물론 이러한 수치는 현재 감각에 적합하도록 추가적인 연구보고가 필요한 부분이다. 이 방법은 다음의 5가지로 요약될 수 있다.

(1) 미래생산 (2) 행정비용 (3) 소비자의 취향 (4) 법정판정 (5) 생명보험.

생명의 가치를 추산하는 한 가지 방법은 한 개인이 공동체에게 제공할 것으로 생각되는 미래의 생산이나 서비스를 계산하는 것이다. 여기서 변형된 방법은, 비록 일의 가치를 동일하게 나타내지는 않지만 미래에 있을 수입을 추정하는 것이다. 미래 생산에 대한 대부분의 추정치는 £10000에서 £100000의 범위에 속한다. Road Research Laboratory는 £15000이라는 추정치를 제시했다.(R.F.F. Dawson, 1967)

2.3.3 공정 위험과 그 외의 위험의 비교

일반인이 위험한 시설에 노출되는 위험은 본의 아니게 발생하지만 근

로자는 그 시설의 작업과 관련된 위험을 최소한 어느 정도까지는 본의로 받아들인다고 일반적으로 생각된다.

Kletz(1971)과 S.B. Gibson(1976a)와 같은 위험성 분석 저자들은, 작업장의 근로자 위험과 임의로 혹은 본의 아니게 겪게 되는 그 외의 위험을 비교하였다. 다음은 임의적 위험과 본의 아닌 위험에 대한 Kletz(1976d)의 자료이다.

<표1. 위험수준의 경계값>

	사망률 (사망자수/사람-년)
자발적 위험	
피임약을 복용	2×10^{-5}
축구경기를 함	4×10^{-5}
암벽 등반	4×10^{-5}
자동차 운전	17×10^{-5}
흡연(20개비/일)	500×10^{-5}
비 자발적 위험	
운석	6×10^{-11}
휘발류와 화학물질의 운송(UK)	0.2×10^{-7}
비행기 추락(UK)	0.2×10^{-7}
압력 용기의 폭발(USA)	0.5×10^{-7}
번개(UK)	1×10^{-7}
제방 범람(네덜란드)	1×10^{-7}
핵발전소로부터 누출(at 1km)(UK)	1×10^{-7}
화재	1×10^{-7}
자동차 사고	150×10^{-7}
백혈병	600×10^{-7}
	800×10^{-7}

S.B. Gison(1976c); Pochin(1975); Roach(1970); Wall(1976);Bulloch(1974);
Turkenburg(1974); Melinek(1974) BRE CP 88/74)

2.3 위험성평가 절차

위험도(Risk)는 사고의 발생빈도(Frequency)와 사고결과예측(Consequence)을 고려하여 결정된다고 정의할 수 있다.

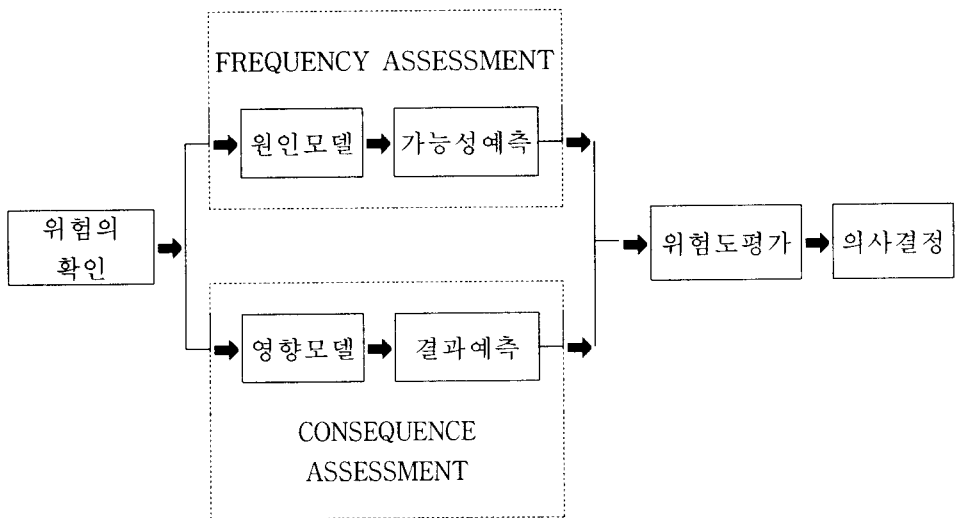
일반적으로 조립, 금속, 기계 업종이나 건설업에서는 단순반복형 재해

와는 달리 화학공정에서의 사고는 그 원인이 매우 복잡적이며 단순하지 않은 특징을 나타낸다. 따라서 이에 대한 위험성평가도 어려운 편이라고 할 수 있으며 어느 한가지 특정한 평가방법으로 공정의 분석을 국한시킬 수 없고 공정의 특성이나 평가 대상에 따라 적절한 방법을 선택하여야 할 것이다.

화학공정에서의 위험성평가 단계는 다음과 같이 크게 3단계로 분류할 수 있다.

- (1) Hazard Identification Method(위험의 확인)
- (2) Hazard Assessment Method(위험의 평가)
 - ① Frequency Assessment Method
 - ② Consequence Assessment Method
- (3) Risk Evaluation Method(위험도평가)

<그림1. 위험성평가의 단계별 분류>



(4) Hazard Identification Method

위험요소의 존재여부를 확인 규명하는 절차로써 대개 정성적 평가 방법이 이용된다. 간단한 문헌검색이나 Check List, HAZOP 등의 방법을 이용하여 시설과 공정에 대한 위험요소를 확인하는 절차로써 2단계 위험성평가인 Hazard Assessment의 기초자료가 된다.

(5) Hazard Assessment Method

위험요소의 확인과 규명이 완료되면 이 자료를 기초로 사고의 발생빈도(Frequency Assessment)와 결과(Consequence Assessment)에 대한 정량적 평가가 이루어진다.

이 방법에는 설비 또는 사고의 이력에 대한 검토나 FTA, ETA 등을 이용한 사고빈도 예측과 각종 분산, 누출모델을 이용한 결과예측방법 등이 이용된다.

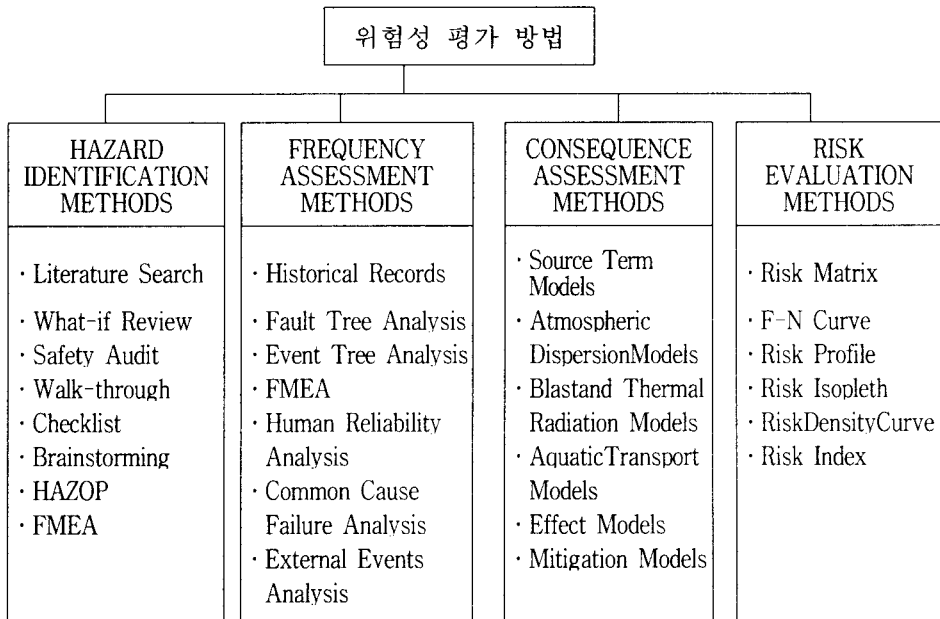
(6) Risk Evaluation Method

위와같이 위험의 확인(정성평가)과 빈도 및 결과예측(정량평가)이 완료되면 이것을 근거로 종합적인 위험성평가를 실시하게 된다.

Risk Matrix, F N Curve, Risk Profile 등의 방법이 이용될 수 있으며 위험성평가를 통한 위험관리계획(Risk Management Program)을 수립할 수 있다.

위험관리계획의 구성요소는 5가지로써 계획(Planning), 평가(Assessment), 조정(Control), 감독(Monitoring), 기록(Documentation) 등으로 구분할 수 있다.

<그림2. 위험성평가 방법의 분류>



3. IRMS 추진경과

한국산업안전공단에서 1997년부터 IRMS 구축사업을 추진하여온 과정은 다음과 같다.

3.1 ILO, OECD, UNEP 지침에서 요구하는 안전기준

IRMS 구축과 관련된 국제기구의 요구 또는 권장사항을 요약 정리하면 다음과 같이 중대산업사고예방을 위하여 체계적인 위험관리를 시행하도록 권고하고 있다.

국제기구	요 구 내 용
ILO협약 제174호 (중대산업사고예방에 관한 협약, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사업장의 위험성평가 및 공정안전보고서 작성 ○ 위험설비 종합관리체계 및 비상조치계획 수립·시행 ○ 가상 사고시나리오별 피해예측
OECD Environment Monograph No.51 (화학물질사고예방 지침, 1992)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토지이용계획 수립시 위험설비 안전성평가 ○ 정부·공공기관의 위험설비 종합관리 및 정기 감독 ○ 위험성평가 및 GIS 구축, 비상조치계획 수립·시행
UNEP APELL (지역사회의 대형사 고예방 및 대응, 1988)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지역사회 위험시설별 위험성평가 ○ GIS 및 위험지도(Risk Map) 구비 ○ 위험설비 잠재위험 확인 및 사고 시나리오별 대책

3.2 산업안전 선진화 3개년 계획에 IRMS 반영

1996년에 정부가 확정된 산업안전선진화 3개년 계획에 위험설비에 대한 실태 및 각종자료 전산화, 위험설비 위치정보시스템(GIS) 구축, 사업장별 예방 대책과 가상시나리오 분석 등을 추진하도록 반영되었고, 이 계획을 학계 등 전문가들이 참석한 가운데 공청회를 통해 의견을 수렴한 후 확정된바 있다.

3.3 EU와 공동추진

1997년 6월 OECD 화학사고예방 Workshop에서 국내 PSM 현황 및 IRMS 추진계획을 발표한바 있고, 독일, 영국 등 여러 국가의 대표들이 IRMS에 대한 관심을 보였으며 EU 대표로부터 IRMS를 공동으로 추진할 것을 제의받은바 있다. EU는 현재 개발하고 있는 SPIRS 프로젝트(IRMS와 유사함)에 대하여 계속적으로 공단과 협의하고 있다.

3.4 ILO와의 국제 Workshop에서 IRMS 계획 발표

1997년 10월 20일부터 10월 22일까지 3일간 서울에서 국제노동기구 (ILO)와 공동으로 개최한 제3차 화학물질국제워크샵에서 국내 IRMS 추진 계획이 공단에서 발표되어 워크샵의 결론 및 권고사항에 포함되었다.

3.5 여천·울산 석안회 합동회의에서 IRMS 계획 발표

IRMS 구축과 관련하여 사업장의 의견을 수렴하기 위해 제16회 여천·울산 석유화학 안전관리위원회 합동 회의(1997.11.21~11.22)에서 IRMS 추진 계획을 발표한바 있다.

이때 사업장의 의견 및 건의내용을 요약하면 다음과 같다.

- 위험관리의 진일보된 기법으로써 구축시 울산 및 여천 공단의 안전 관리에 크게 기여할 것으로 판단됨.
- IRMS의 각 요소에 필요한 소프트웨어의 구입 등에 사업장의 부담이 가능한 최소화 될 수 있는 방향으로 구축 유도

3.6 신정부 추진 100대 과제로 선정

1998년 2월 13일 정부가 발표한 신정부추진 100대 정책 과제에 “폭발 등 대형사고 위험이 있는 화학공장 등 위험설비에 대한 종합적 위험관리체제를 구축” 이라는 과제가 포함된바 있다.

3.7 안전 선진화 5개년 계획으로 수정보완

안전선진화 3개년 사업으로 추진되던 본 사업이 사업의 추진단계에서 기간 및 업무의 조정이 필요케되어 안전 선진화 5개년 계획으로 수정 보완하여 계속 추진하고 있다.

4. 사업의 목적

화학공장의 위험설비 및 물질을 효과적으로 관리하고 화재·폭발·누출과 같은 중대 산업사고 발생시 신속히 대처하기 위해서 다음과 같은 기능을 갖춘 종합 위험관리 체제(IRMS)를 구축하는것이 사업의 목적이다.

- PSM 및 정량적 위험성 평가의 기본이 되는 위험설비 및 물질에 대한 실태를 파악 체계적으로 진산화하므로 위험설비 및 물질에 대한 정보를 언제 어느 곳에서든지 신속하고 정확히 파악.
- 화학공장의 각종위험설비별 고장율을 수집·분석·가공하여 위험설비의 신뢰도 데이터베이스를 구축하므로 FTA 및 ETA등과 같은 정량 분석을 통하여 사고 발생 빈도 등을 예측함.
- 가상사고 또는 사고 발생에 따른 피해를 지역별 시간별로 과학적으로 예측하고 주민 및 근로자의 대피로, 소방차, 구급차 등의 접근로를 지능을 갖춘 지도위에 정확히 표시함.
- 또한 위험설비 및 위험물질 보유 사업장의 위험도를 등고선 형식으로 숫자로 표시하여 객관적으로 위험성 여부를 판단 할 수 있음.
- 사업장 위험도의 적정성을 판단할시 위험성 결과 개선에 필요한 비용을 부담하거나 편익을 갖게되는 사회 또는 지역에 거주하고 있는 모든 개인의 비용과 편익을 산정하여 비교하는 비용·편익분석기법을 수행하는 자료를 제공함
- 만약 사업장의 위험도가 허용가능한 범위내에 있지 않는 경우에는 위험발생 요인을 최소화 하거나 또는 그 피해를 최소화 할 수 있는 대책을 수립.

5. 추진방향

5.1 구축방향

본 위험설비 종합관리체제 구축사업은 1998년부터 2001년까지 4년에 걸쳐 울산, 여천, 온산 및 대산 석유화학공단 과 인천지역의 사업장을 대상으로 하여 기본 틀을 구축할 계획이다.

위험설비에 대한 정량적 위험성평가 결과와 위험설비 DB, 피해확산모델, 위험설비 신뢰도 DB 그리고 지리정보체계 등 모든 기능을 종합적으로 연결하여, 선진국에서와 같이 위험설비로부터 사고 발생시 또는 가상사고에 의해 예상되는 피해지역과 위험의 정도를 수치적으로 지도상에 나타나게 하는 위험지도(Risk Map)를 '98년부터 2001년까지 완성하여 선진국 형태의 IRMS를 구축 완료 한다.

울산, 여천, 온산, 대산 및 인천지역의 석유화학 공장과 주변지역을 대상으로하여 기능을 갖춘 KISCO Map을 구축하여 운영할 것이며, 이 전자지도 위에 발화원, 위험설비 주변의 인구밀도 등을 입력하고 화재·폭발·누출 등과 같은 가상사고 시나리오 또는 사고 발생시 사고 결과를 지도 위에 나타나게 하여 피해 예상 지역과 피해 결과 등을 스크린으로 보여줄 수 있도록 한다.

단계별 추진계획으로서 98년도에는 울산 및 여천의 시범사업장을 대상으로 위험설비 위치정보체계를 구축할 것이다.

'99년도에는 여천·울산 공단 전체 사업장을 대상으로 시작하여 2000년까지는 온산, 대산 및 인천 지역에 있는 화학공장을 대상으로 위험설비 위치정보체계를 구축하고

2000년도부터는 위험설비로부터 사고 발생시 또는 가상사고에 의해 예상되는 피해지역과 위험의 정도를 수치적으로 지도상에 나타나게 하는 위험지도의 구축을 시작하여 2001년까지 완성할 것이다.

특히 피해예측 및 기상정보 수신 프로그램을 개발하여 위험설비를 보유하고 있는 사업장에서 외국의 값비싼 프로그램을 이용하지 않고 자체적으로 가상사고 시나리오 등을 작성하고 피해 범위를 예측하도록 하여 적절한 안전대책을 수립하도록 할 것이다.

6. IRMS의 기본 기능

IRMS의 마지막 단계인 KOSHA Map에는 다음과 같은 기본적인 기능을 갖도록 구성한다.

6.1 사업장별 주원료, 주생산품 및 사용량

사업장별로 주원료, 주생산품의 사용량 및 생산량이 합산될뿐 아니라 지역별 및 전국의 통계가 분류되어 제공된다.

6.2 특정원료 및 생산품에 대한 사업장 및 지역별 통계

특정한 화학물질을 원료로 사용하거나 생산품을 제조하는 전국 또는 지역 사업장에 대한 통계 자료가 나타난다.

6.3 위험설비의 각종정보

위험설비의 크기, 내용물, 용량, 운전/조건·온도등 각종 공정 자료가 제공된다.

6.4 사고피해 크기

폭발, 화재, 위험물질 누출등과 같은 중대사고 발생 지점으로 부터 피해 범위, 크기 등이 도식화되어 지능을 갖춘 전자지도 위에 나타난다.

6.5 누출 확산물질의 진로 예측

암모니아, 염소 등과 같은 독성물질 누출시 누출물질의 확산 진로가 지능을 갖춘 전자지도 위에 표시된다.

6.6 비상사태 발생시 탈출도로

폭발, 화재, 위험물질 누출등과 같은 중대사고 발생시 근로자 또는 인근 주민이 안전하게 대피할 수 있는 탈출로가 지도 위에 나타난다.

6.7 위험설비 주변의 위험지도

정유공장, 에틸렌 공장등과 같은 위험설비 주변의 위험등급이 등고선 형식으로 지능을 갖춘 전자지도 위에 표시된다.

7. IRMS 구성요소

7.1 PSM

사업장에서 작성한 PSM보고서 즉 공정안전보고서에는 IRMS의 구성요소인 위험설비DB 와 사고사례DB를 구축할 수 있는 기본자료와 HAZOP 보고서, 위험설비 배치도 등이 포함되어 있다.

7.2 위험분석(정성적 분석)

위의 자료를 기본으로 위험분석을 수행하여 사업장 내부 또는 외부에 중대한 영향을 미칠 수 있는 위험요인을 정성적으로 찾아내어 사고시나리오를 작성한다.

7.3 위험도 수치화(정량적 분석)

사고시나리오가 결정되면 사고가 발생할 수 있는 확률과 사고로 인한 피해를 예측하여야 한다. 사고발생확률은 위험설비의 신뢰도 DB에서 구축된 각설비의 고장율 데이터와 결합수 분석기법(FTA) 또는 사건수 분석기법(ETA)을 이용하여 기기 또는 사고의 발생 빈도 및 확률을 수학적으로 계산한다.

한편 사고피해예측은 현재공단이 보유하고 있는 "SAFER"등과 같은 피해 예측 모델을 이용하여 그 피해 결과 및 범위를 예측한다.

사고 발생확률과 사고피해 결과가 계산되면 위험도는 사고 발생확률과 사고피해 결과의 조합인 숫자(예: 3×10^{-4} , 2×10^{-6} 등)로 표시된다.

7.4 위치정보체계(GIS)

수치화 된 위험도 및 가상사고에 의한 피해 결과를 객관적으로 표현하기 위해서는 기본적으로 전자화 된 지리정보체계가 필요하다. 따라서 사업장 단위공장의 배치도면, 공장전체의 배치도면, 공단지역의 사업장 배치도면, 지역도면(1 : 5,000 또는 1 : 25,000)및 대한민국전도 등을 기본으로 하는 지리정보체계를 구축한다.

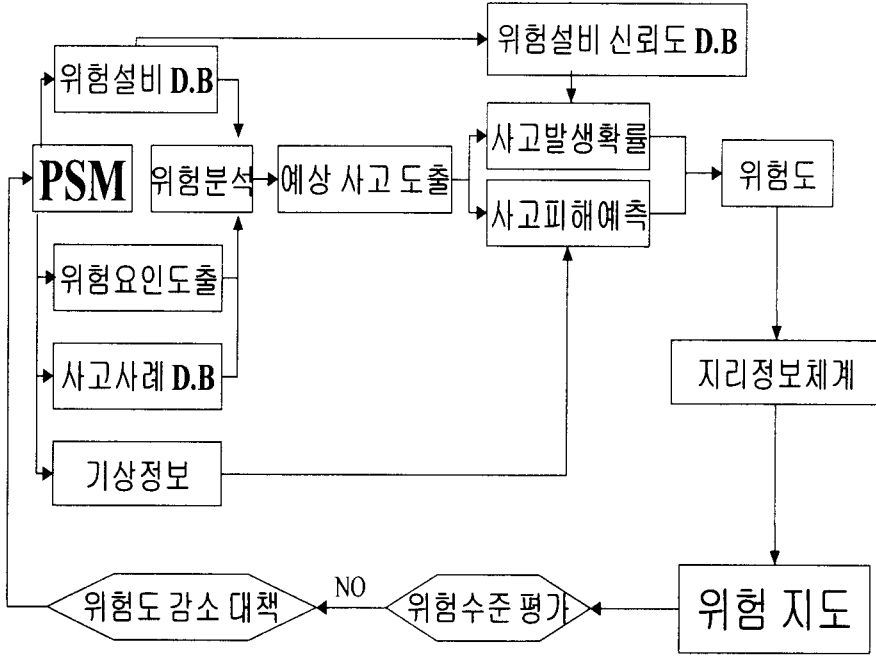
7.5 KISCO Map Display

가상사고에 의한 피해범위 및 결과는 울산, 여천, 대산 등과 같은공단 지역의 도식화된 지도 위에 나타나게 된다. 예를 들어 한화 울산공장에서 염소가스가 누출되었다면 그 결과는 필름의 형태로 지도위에 나타나며 염소가스의 예상 진로, 크기 등을 파악할 수 있으므로 사업장 내의 근로자는 물론 인근 주민에게 염소가스의 예상 진로에서 벗어나 안전한 곳으로 대피하도록 안내한다.

또한 위험설비주변의 위험정도를 객관화 할 수 있도록 이를 숫자로 표시하여 등고선 형식으로 울산, 여천, 대산등과 같은 공단지역의 도식화된 지도 위에 나타나게 한다

7.6 위험수준 감소 대책 및 피해최소화 대책

KISCO Map에 표시된 위험설비 주변의 위험도가 허용기준을 벗어나거나 또는 가상사고에 의한 피해결과를 허용할 수 없을 정도로 위험하다고 판단되는 경우 에는 사업장으로 하여금 위험수준 감소 대책 및 피해최소화 대책을 수립하도록 하여 이를 공정안전보고서에 다시 Feed-Back하도록 하는 안전대책을 수립하도록 한다.



<그림 3. IRMS 체계도>

8. IRMS 구축상황 및 계획

8.1 위험설비 DB 구축

PSM 심사가 끝난 사업장으로부터 위험설비 자료가 입력된 디스켓을 접수 하여 위험설비 DB를 구축하고 있다.

PSM 대상 416개 사업장의 자료를 '97년부터 입력하여 왔으며 2000년에 DB를 완성할 계획이다.

8.2 설비신뢰도 DB 구축

설비신뢰도 DB 구축을 위한 각 설비별 보수/고장이력 조사양식을 결정하고 50종의 설비에 대한 고장이력을 조사하였다.

또한 조사된 고장자료를 입력하기 위한 입력 프로그램을 개발하여 10,000여건의 자료가 입력되었다. 1999년부터 2000년 상반기에는 자료

분석 및 FTA와의 연계프로그램을 개발 중이다

8.3 중대산업사고 사례 DB 구축

OECD 양식을 참조하여 중대산업사고 양식을 결정하고 국내외 중대산업사고 사례를 조사하였다.

또한 조사된 사고사례 입력 전산프로그램을 개발하여 현재까지 1,100건의 자료가 입력되었으며 2000년에는 사고분석 프로그램을 개발 중에 있으며 EU 및 OECD의 중대산업사고사례와 공유체계를 구축할 예정이다.

8.4 가상사고 시나리오 도출

사업장에서 위험성 평가시 선정할 WORST CASE 시나리오 선정지침을 KISCO CODE로 공표하였다. 또한 1999년부터 사고 시나리오 선정 프로그램을 개발 중에 있으며 앞으로 사고시나리오는 사고의 발생 확률 및 사고의 크기를 수치로 계산하는 정량적 위험성 평가의 초기입력자료로 활용될 것이다.

8.5 피해예측 프로그램 개발

울산공단 지역 및 여천공단 지역에 기상장비를 설치하여 피해예측 분석시 지역의 기상정보를 실시간으로 알 수 있게 하였으며, 고가의 외산 피해예측 프로그램을 국산화하기 위해 개발 중에 있다.

8.6 위험설비 위치정보체계를 활용한 위험지도(KOSHA MAP) 작성

울산의 3개 단위공장을 대상으로 시범적인 위치정보 체계를 구축하여 성공한후 울산, 여천 지역 등 국내 5개 석유화학공단 지역을 대상으로 확대하였으며 이를 활용하여 위험원 및 사고형태를 가시적인 방법으로 사전분석하고 그 피해 및 결과를 예측하여 사고 예방에 활용할 뿐만아니라 등고선 형식으로 지도위에 표시되는 위험도가 허용범위를 벗어날 경우에는 사업장에서 위험도 감소대책 및 피해 최소화 대책을 수립할 수 있게함.

9 활용계획

9.1 사고예방

- 사업장의 안전 또는 위험도를 수치적으로 평가
사업장의 위험도를 정량적으로 평가할 수 있게되어 사업장간의 위험도 차등 관리가 가능하게 되며 안전활동의 성과도 수치적으로 평가할 수 있게 됨.
- 각 요소별로 개별 프로그램을 요소별 특징에 따라 사고예방활동에 활용함.
 - 위험설비, 위험물질 정보 검색
 - 사고피해크기 계산
 - 누출확산물질의 진로예측, 대피지역 지정 등
 - 설비의 최적관리, 사고사례로 부더의 교훈 습득에 활용
 - 공장주변지역의 인구, 도로, 비상대응기관 등 각종 정보 활용
 - 위험설비 주변의 위험도를 산출후 위험수준 감소대책 수립시 활용
- 사고예방을 위한 투자와 손실을 비교할 수 있게되어 사업장의 사고예방 활동을 촉진하게 됨.
 - 사고 후 피해예측 프로그램을 이용하여 피해의 크기를 계산, 실제 사고와 비교검토 함으로써 현실적이고 과학적인 사고원인파악 및 대책수립에 활용 함.
- 위험도가 시각적으로 표현되므로 경영자 및 근로자 모두에게 안전의식을 향상시키고 교육자료로도 활용 가능함.

9.2 R.C, RMP 및 APELL 등 추진에 활용

- 사업장 R.C 및 RMP를 시행하는 도구로서 사용하는 동시에 사고를 실시간으로 분석하므로써 피해예측, 대피지침시달, 비상기관과의 연락 등에 효과적으로 활용함.
 - ※ R.C : 국제화학물질협회(ICCA)가 주관하여 추진하는 Responsible Care 운동
 - ※ RMP : 미국 환경청에서 시행하고 있는 Risk Management Program
- 지역차원(지도원, 소방서, 재난관리과 등)에서는 APELL과 연계하여 사고시 피해예측, 대피지침시달, 비상연락 등에 효과적으 활용함.
 - ※ APELL : 유엔환경계획이 추진하고 있는 지역사회에서의 비상인

지 및 대응(Awareness, Preparedness Emergency at Local Level) 활동임.