

중대산업사고 예방을 위한 종합위험관리체제(IRMS) 구축에 관한 연구

권혁면[†] · 성대현 · 김재현 · 임대식 · 김기영 · 편무욱* · 문 일**

고재욱*** · 이영순**** · 윤인섭*****

한국산업안전공단 · 건국대학교* · 연세대학교** · 광운대학교*** · 서울산업대학교**** · 서울대학교*****

(2003. 4. 21. 접수 / 2003. 7. 30. 채택)

Research on the Prevention of Major Industrial Accident By Integrated Risk Management System

Hyuck-Myun Kwon[†] · Dae-Hyun Seong · Jae-Hyun Kim · Dae-Sik Yim · Gi-Young Kim

Pyeon Mu Wook* · Il Moon** · Jae-Wook Ko*** · Young-Soon Lee**** · En-Sup Yoon*****

Korea Occupational Safety & Health Agency · Konkuk University · **Yonsei University

Kwangwoon University · *Seoul National University of Technology · *****Seoul University

(Received April 21, 2003 / Accepted July 30, 2003)

Abstract : The Process Safety Management (PSM) by the Law of Industry, Safety and Health has been performed for preventing major accidents of chemical plants since 1996. In terms of preventing chemical accidents more precisely, it is essential to develop a tool for quantitative risk assessment. For this, KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency) developed an Integrated Risk Management System (IRMS). The system is designed to assimilate data on chemical plant hazards from external database, to integrate these data with location information (topographic and demographic), and to make them user-friendly accessible. The system consists of several main functions: display of five major Korean petrochemical complex layout, display of equipment layout with its information utilizing the external database, zonation of the hazard effected area with consequence analyses, the most probable accident scenario generation, accident/incident database and calculation of frequency of accident using equipment reliability database, etc. The highlight of IRMS is to provide the risk contours using GIS(Geographical Information System) technology. IRMS is intended to manage hazardous installation more systematically and effectively, to reduce the number of accident remarkably, further minimizing production loss in the plant.

The system is now under application to about 500 PSM sites as well as and emergency authorities in Korea by KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency)

Key Words : PSM, IRMS, GIS(geographical information system), risk contour

1. 서론

화학산업의 공정안전 및 손실방지분야에서 정의하는 위험관리(risk management)란 공정내에서 잠재적 위험을 찾아내어 예상되는 피해의 크기를 결정하고, 현재의 공정시스템의 능력과 안전장치의 적절성을 확인하며 이 위험들을 예방하고 제어하기 위한 절차를 평가 관리하는 것이다¹⁻³⁾.

대부분 위험관리분야의 연구는 주로 위험관리시스템을 구성하고 있는 개별요소들, 예를 들면 위험성확인기법, 가상사고시나리오 선정, 사고확률계산 및 피해크기산출 등에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다. 만일 이 개별요소들을 통합하여 관리할 수 있는 시스템이 개발되면 훨씬 효율적인 방법으로 화학공장의 안전을 관리할 수가 있을 것이다. 그동안의 통합위험관리분야를 살펴보면 다음과 같은데 이들 방법들은 통합의 정도가 많이 떨어지고 있다.

KOSHA는 위험관리분야의 통합관리분야를 개척하고자 1997년부터 종합위험관리체제(IRMS)를 개

[†]To whom correspondence should be addressed.
hmkwon@kosha.net

수 있으며 사업장 정보 및 지역정보로는 지역별 사업장, 사업장별 단위공정, 지역별 단위공정, 사업장별 회사명, 사업주명, 사업의 구분, 업종분류 등의 정보를 검색할 수 있다.

번호	사업장명	위험물질명	위험설비명	수량	비고
1	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
2	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
3	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
4	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
5	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
6	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
7	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
8	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
9	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
10	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
11	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
12	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
13	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
14	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도
15	충청남도-대전	Chlorine	200kg	200kg	충청남도

Fig. 2. List of chlorine handling sites

3.2. 중대산업사고 데이터베이스(K-ADB)

국내·외에서 매년 수십만 건의 중대산업사고가 발생되고 있으며, 많은 인명피해와 재산피해를 가져오는 사고가 종종 발생되고 있는 실정이다. 이러한 재해를 예방하기 위해서는 이미 발생한 과거사고사례를 수집·분석하여 사고원인 등을 찾아 동종사고 예방에 활용하는 것이 무엇보다도 중요하다.

이에 따라 한국산업안전공단에서는 국내·외의 중대산업사고 사고사례를 수집한 후, 체계적이고 정밀하게 분석·가공한 후 데이터 베이스화하여 이를 사업장에서 활용하여 동종사고를 예방할 수 있도록 중대산업사고 정보관리 시스템을 개발하여 한국내 최대의 사고사례 데이터 베이스를 구축하였다.

일련번호	발생일자	발생장소	발생원인	피해상황
100-00-00001	1998.01.15	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망, 2명 부상
100-00-00002	1998.02.20	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상
100-00-00003	1998.03.10	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망
100-00-00004	1998.04.05	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상
100-00-00005	1998.05.20	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망, 1명 부상
100-00-00006	1998.06.15	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상
100-00-00007	1998.07.10	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망
100-00-00008	1998.08.05	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상
100-00-00009	1998.09.20	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망
100-00-00010	1998.10.15	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상
100-00-00011	1998.11.10	충청남도-대전	가스 누출	1명 사망
100-00-00012	1998.12.05	충청남도-대전	가스 누출	1명 부상

Fig. 3. Accident cases relating to gas

3.3. 가상사고 시나리오 선정 프로그램 (K-ASGP)

화학공장에서 특성에 맞는 가장 신뢰성 있는 가상사고 시나리오를 도출할 수 있다면 사고의 예방은 완벽하게 이루어 질 수가 있을 것이다.

많은 안전전문가들이 이론적 논문을 발표하였고 미국의 환경부에서도 이론적으로는 체계가 작성되었지만 가상사고 시나리오를 제대로 선정하는 프로그램은 아직까지 없다. 이러한 세계적인 여건 속에 가상사고 시나리오를 체계적으로 작성하는 모델을 개발하고, 사고사례의 유형과 국내에서 사용되는 화학물질에 대한 데이터베이스를 만들어 가상사고 시나리오의 생성뿐만 아니라 우선 순위를 주는 가상사고 시나리오 선정프로그램의 개발은 세계적으로 유일한 프로그램이라 할 수 있다⁵⁾.

Equipment Type	Release Scenario
Distillation Column	Release
Reactor	Release
Storage Tank	Release
Heat Exchanger	Release
Compressor	Release
Condenser	Release
Distillation Column	Release
Reactor	Release
Storage Tank	Release
Heat Exchanger	Release
Compressor	Release
Condenser	Release

Fig. 4. Scenario generation for crude unit

3.4. 사고확률 계산 프로그램

선정된 사고시나리오에 대한 발생확률계산은 위험관리에 있어서 중요한 사항이다.

사고 확률계산을 위해서는 신뢰도 자료가 필요한데 크게는 기기신뢰도 자료와 인간신뢰도 자료가 필요하며, 그 외의 신뢰도 자료로는 공통원인고장 자료, 시험 및 보수 자료, 사고 발생빈도 등이 있다. KOSHA에서는 정량적 위험성 평가의 한 방법인 결함수 분석(FTA)에서 기기 신뢰도 자료와 인간신뢰도 자료를 사용할 수 있도록 필요한 방법과 소프트웨어(K-RdB)를 개발하였다.

K-RdB는 60 종류의 위험설비에 대한 고장률을 생성하여 데이터베이스를 구축하였으며 이 데이터는 사고확률 계산 프로그램과 자동연결되어 사고빈도 계산시간을 획기적으로 줄이는 계기가 되었다.

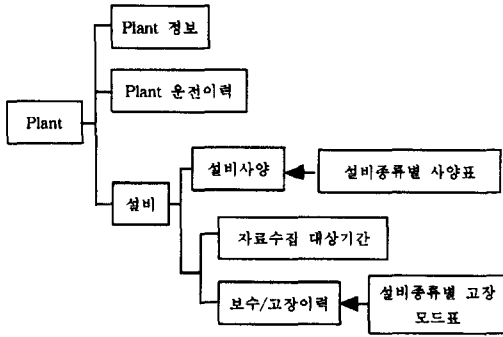


Fig. 5. Reliability DB structure

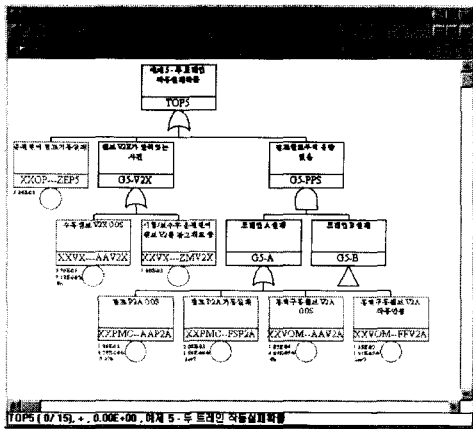


Fig. 6. Frequency calculation

3.5. 사고피해예측 프로그램(K-CARM)

가연성물질이나 독성가스 등 위험물질을 사용하는 사업장에서 화재·폭발·누출 등 위험물질에 의한 사고발생 위험은 항상 상존한다. 이러한 사고를 예방하고 피해를 최소화하는 비상대응 계획을 세우기 위해서는 사고피해의 크기를 정확히 알 필요가 있다³⁾.

공단이 개발한 프로그램은 기존의 소프트웨어를 기초로 하여 누출모듈, 확산모듈, 화재/폭발모듈, 기상처리모듈, 주변지형시스템모듈, 물성, 데이터베이스모듈, 영향평가모듈, 공정데이터모듈 등으로 구성되며 서로 구조적으로 연계되어 있으며 기능은 다음과 같다.

첫째 바탕지도 입력 기능이 있다.

사업장의 레이아웃 도면이나 지도를 파일로 입력하여 축적설정을 하고 인구분포, 등고선, 건물 등을 표시함으로써 계산된 결과를 지도상에 표시하고 피해 가능한 사람수 등을 계산할 수 있는 기능을 가지고 있다.

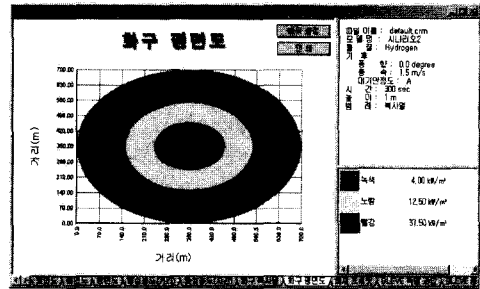


Fig. 7. BLEVE effect

둘째 기상자료 입력 및 풍향장 계산 기능이 있다. 측정된 풍향·속도 등 기상자료를 입력할 수 있으며 여러 장소의 기상자료를 바탕으로 풍향장을 계산하여 위치별로 보다 신뢰성 있는 기상자료를 도출할 수 있는 기능이다.

셋째 혼합물질에 대한 계산기능이 있다.

사업장에서 다양하게 사용하는 혼합물에 대한 계산을 할 수 있도록 혼합된 물질을 순수물질 등의 물질을 또는 질량분을 방법으로 혼합물의 물성치를 계산할 수 있도록 하여 물질에 따른 계산범위를 확대하였다.

넷째 건물 내에서의 누출과 확산에 대한 계산기능이 있다.

건물 내에 있는 물질이 누출되었을 때 건물 밖으로 확산되는 경우와 건물외부에 있는 물질이 누출되었을 때 건물 안으로 영향을 주는 정도를 환기율을 입력하여 계산함으로써 시간에 따른 건물내부의 농도변화와 피해를 도출할 수 있도록 하였다.

3.6. 사업장 위험도 수치화프로그램 (KOSHAMap)

화학공장에서의 사고는 그 원인이 다양·복잡하고 사고형태가 예측하기 어렵기 때문에 이를 쉽게 파악할 수 있도록 가시화할 필요가 있으므로, 위험설비 설치위치와 설치 지역의 기상조건 등을 지도상에 나타내는 위험설비위치정보체제를 화학공장 밀집지역별로 구축이 필요하다.

위험설비위치정보체제를 기본으로 한 위험설비에 대한 위험지도(KOSHAMap) 구축사업은 울산, 여천, 온산 및 대산 석유화학공단과 인천지역의 석유화학 사업장을 대상으로 하였다.

KOSHAMap 위에는 발화원, 위험설비 주변의 인구밀도 등을 입력하고 화재·폭발·누출 등과 같은 가상사고 시나리오 또는 사고 발생시 사고 결과를

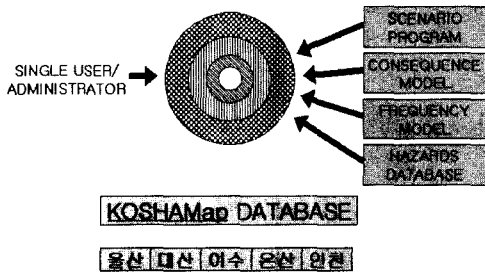


Fig. 8. KOSHAMap structure

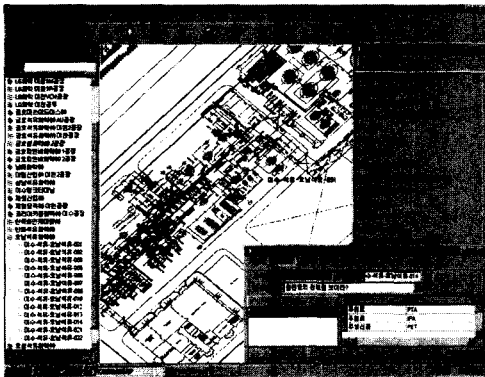


Fig. 9. Company information

지도 위에 나타나게 하여 피해 예상 지역과 피해 결과 등을 스크린으로 보여줄 수 있도록 하였다. 또한 피해의 크기와 빈도를 조합하여 수치화된 위험도를 등고선 형태로 위치정보체계에 포함하여 지역별 상대적 위험도를 비교할 수 있게 하였다.

수치화 된 위험도 및 가상사고에 의한 피해결과를 객관적으로 표현하기 위해서는 기본적으로 전자화된 지리정보체계가 필요하다. 따라서 사업장 단위공장의 배치도면, 공장전체의 배치도면, 공단지역의 사업장 배치도면, 지역도면 및 대한민국전도 등을 기본으로 하는 지리정보체계를 구축하여 KOSHAMap의 여러 기능을 표시하기 위한 기초자료로 사용한다.

KOSHAMap의 구조는 기본 GIS엔진 위에 IRMS의 다른 기능을 부가하여 Fig. 8과 같은 구조로 설계되어 있다.

산업시설의 위험도를 수치화 하는 방법에는 크게 위험지수(risk index), 개인위험도(individual risk), 사회위험(societal risk)형태로 구분할 수 있는데 IRMS는 이들을 모두 표현할 수 있다.

KOSHAMap을 활용하여 위험원 및 사고형태를 가시적인 방법으로 사전분석하고, 그 피해 및 결과를 예측하여 사고예방에 활용할 뿐만 아니라 위험

등고선이 지도위에 표시되므로 위험도가 허용범위를 벗어날 경우에는 사업장에서 위험도감소대책 및 피해최소화대책을 수립할 수 있다.

5. 결론

사고시나리오 선정, 피해예측프로그램 등 8개의 개별 프로그램으로 구성된 IRMS는 울산, 여천, 온산 및 대산 석유화학공단과 인천지역의 사업장을 대상으로 하여 기본틀을 구축하였으며, 위험설비에 대한 정량적 위험성 평가 결과와 위험설비 DB, 피해확산모델, 위험설비신뢰도 DB 그리고, 지리정보체계 등 모든 기능을 종합적으로 연결하여, 선진국에서와 같이 위험설비로부터 사고 발생시 또는 가상사고에 의해 사고발생 확률 및 예상되는 피해의 크기와 위험의 정도를 수치적으로 지도상에 나타나게 하는 위험지도작성 프로그램을 완성하였다. 완성 과정에서 개발된 프로그램들은 사전에 선정된 시범 사업장에 시험적으로 설치하여 일정기간 운영하면서 발생된 문제점을 개선하고 보완하는 과정을 거쳐 최종적으로 사업장에 보급하였다.

IRMS의 활용방안으로서 노동부 및 공단은 위험성평가서상의 사고빈도와 피해 범위계산 결과 검토 및 비상조치계획의 적합성 확인 등 PSM심사 및 확인, 주요 위험설비 및 취급위험물질 파악, 신뢰도 자료를 활용한 진단대상설비 파악 등 사업장 안전 점검 및 안전진단, 위험도에 따른 사업장의 차등관리에 활용하고 사업장에서는 사고발생빈도계산 및 감소대책 수립, 사고피해크기예측 및 완화대책 수립 등 정량적 위험성평가 수행, 누출확산 물질의 진로 예측 및 대피지역 선정, 공장주변지역의 인구, 도로, 비상대응기관에 대한 각종 정보활용 등 비상조치계획 수립, 위험성평가 등을 통한 공경안전교육 및 사고사례로부터 교훈습득 등 운전원 교육, 설비의 위험도에 기초한 검사 체제 구축 및 설비 신뢰도 자료를 활용한 예측·예방 정비 체제 구축 등 설비 검사·정비 체제의 선진화 그리고 사업장의 R·C운동을 시행하는 도구로서 사용될 수 있을 것이다.

지자체, 소방서 등 비상대응기관에서는 지자체의 중대산업사고 예방 및 사고시 비상대응시스템 구축, 위험물질 및 설비의 데이터베이스를 이용하여 사업장의 위험설비 및 위험물질관리, 사고피해예측 프로그램을 이용하여 정량적으로 계산된 사고시 피해의 크기결과를 활용한 사업장별 위험수준 확보, 위험지

도를 활용하여 경찰서, 소방서, 병원 등 비상대응기관과의 긴밀한 협조 및 지역사회 비상대응체제 구축에 활용 될 것이다.

한편 기존 IRMS에 공정안전보고서 작성 및 관리 기능을 추가한 K-IRMS를 활용할 경우 보고서 작성이 수월해지고 다년간에 걸쳐 작성되어 자료 수정에 어려움이 있는 PSM보고서관리에 많은 도움이 될 것이다.

참고문헌

- 1) CCPS of AIChE, "Plant Guidelines for Technical Management for Chemical Process Safety", pp. 65, 1995.
- 2) ILO, "Safework a Global Programme on Safety and Health at Work", pp. 1, 1999.
- 3) CCPS and AIChE, "Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety", 1989.
- 4) OECD, "Report of the workshop on integrated management of Safety, Health, Environment and Quality ENV/JM/ACC, pp. 15, 2001.
- 5) CCPS of AIChE, "Guideline for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud, Explosions, Flash fires, and BLEVEs", 1994
- 6) Moon, I., D. Ko, Scott T. Probst and Gary J. Powers, "A Symbolic Model Verifier for Safe Chemical Process Control System", J. of Chem. Of Japan, Vol. 30, No. 1. 1997.