論 文 13-1-14

데이터베이스를 이용한 산업시설의 위험성평가시스템 구축에 관한 연구

A Study on Development of Risk Assessment System for Industry Facilities Using DataBase

엄 성 인* · 김 성 빈* · 김 윤 화* · 김 기 수* · 백 종 배** · 고 재 욱*
S.I. Um · S.B. Kim · Y.H. Kim · K.S. Kim · J.B. Beak · J.W. Ko
(1998년 1월 7일 접수, 1998년 2월 27일 채택)

ABSTRACT

Recently, industrial accidents have occurred in various patterns due to the diversity of industries and the integration of facilities. Especially, the major accidents affect broad area and result in huge loss of lives and properties. Domestic researches on techniques for keeping away from such hazardous danger have been actively performed but their activities are limited in some institutes and universities. In advanced countries, integrated management systems like Seveso Directive of EU and OSHA(Occupational Safety and Health Act) of U.S.A. have been legislated along with the systematic research activities. In Korea, the integrated safety management systems called SMS(Safety Management System) and PSM(Process Safety Management) have been applied to major industries. These systems made chemical industries manage the process safety information by collecting and arranging safety data by themselves. In order to implement the system successfully, it is urgently required to prepare a tool for searching and accumulating process safety data systematically.

In this study, a computerized prototype of Risk Assessment System which is essential to SMS and PSM was developed as a main system and data base as subsystem to handle safety information.

* 광운대학교 화학공학과
** 충주산업대학교 안전공학과

1. 서 론

최근 산업의 다양화와 시설 집약화 등에 따라 산업현장에서 발생되고 있는 각종 사고는 매우 다양해 졌으며, 이와 관련되어 발생된 사고는 피해범위가 커 막대한 손상을 초래하고 있다. 현재 이러한 위험을 예방하는 측면의 기술적인 연구가 국내에서도 활발히 이루어지고 있지만 일부 안전 전문기관 및 대학에 국한되고 있는 실정이다. 선진국의 경우는 체계적인 기술연구 뿐 아니라 이에 대한 통합적인 관리를 제도화하고 있다. 유럽공동체의 세베소 지침(Seveso Directive)이나 미국의 산업안전보건법(OSHA) 등이 이 제도의 대표적인 예이며, 우리나라의 경우도 SMS(Safety Management System)와 PSM(Process Safety Management) 등의 제도를 통해 기업에 분산되어 있는 안전관련 자료를 취합하여 기업 자율적으로 관리하도록 하는 안전의 종합적 관리제도가 시행되고 있다. 이러한 제도를 효율적으로 시행할 수 있도록 하기 위해서는 안전 정보를 저장하거나 검색할 수 있는 여건 및 위험을 평가하기 위한 기반을 조속히 조성하고 이를 시스템화하여야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 SMS 및 PSM에서 핵심이 되는 위험성평가시스템과 이에 대한 자료관리를 위한 부 시스템(subsystem)인 데이터베이스로 구성하였다. 이들을 상호 연관시켜서 화학산업의 안전정보를 효율적으로 운영하여 위험성을 평가하고, 그 결과 안전성평가 표준 제시 및 비상계획 수립에 반영할 수 있도록 하는 프로그램을 구축하였다.

2. 유해화학물질의 데이터베이스 구축

유해화학물질의 급속한 증가 및 다변화, 다양한 산업시설의 위험성에 대한 과학적·체계적인 평가의 필요, 종합적 안전관리시스템의 효율적인 구축 등 필연적으로 정립되어야 할 이유가 충분하고 향후 산업시설의 지리정보시스템과 연계하여 네트워크 구축에 활용될 수 있는 자료의 개발이 필요하다. 데이터베이스란 어떤 조직의 다수의 사용자들이 사용하기 위한 통합 및 저장된 데이터의 집합체로 분산되어 있는 자료를 통합, 저장, 운영하는 공용의 데이터로 중복될 수 있는 데이터의 배제, 데이터 상호간의 연결, 비밀보호장치 유지 및 확장성과 융통성이 풍부하여 종합적인 효율의 향상이 가능하다. 따라서 산업 현장에서 제조·사용되는 유해화학물질의 properties 등에 대한 데이터베이스를 구축하여 위험성평가시스템을 원활하게 활용할 수 있는 기반을 조성하였다.

Fig. 1은 위험성평가시스템에 활용하기 위해 구축한 유해화학물질의 데이터베이스 구축 진행 절차를 묘사한 것이다.

화학물질에 대한 안전보건자료는 과학적인 실험과 오랜 경험을 통하여 확인된 물성과 특성이 기술되어 있으며 취급자, 운송자, 사용자에게 필요한 안전수칙과 취급요령, 위험성, 통제방법, 취급 및 저장시 주의사항, 폐기방법, 의료관리, 응급처치 등 취급상의 포괄적인 위험성과 안전대책이 제시되어야 한다. 대부분의 화학물질은 정상적인 상태에서 제조회사에서 제시된 방법과 절차에 따라 취급하거나 저장시에는 위험성이 없으나 주위 환경의 변화나 취급 방법에 따라 물리 화학적 반응이나 위험한 상태로 발전될 수 있으므로 운송자, 취급자, 사용자가 상황변화에 효율적으로 대처할 수 있도록 제품을 인도하기 전에 물질안전보건자료를 제공하여야 한다.

Fig. 2는 유해화학물질에 대한 안전·보건 관련 자료를 제공해 주는 화면으로 수정이 가능하도록 한 프로그램이다.

3. 위험성평가시스템 구축 및 적용

화학공정의 안전관리란 공정과 관련하여 발생되고 있는 각종 상해와 사고를 예방하기 위하여 공정위험 사항을 파악하고 이해하며 이를 통제하는데 있어 관리원칙과 관리시스템을 적용하는 것이다. Table 1은 산업시설의 공정안전관리 시스템에 대한 구성 요소와 주요 내용을 언급하였다. 이 중 본 연구는 안전관리시스템에서 가장 핵심적인 공정위험성평가에 대하여 전산 프로그램을 구축하였다.

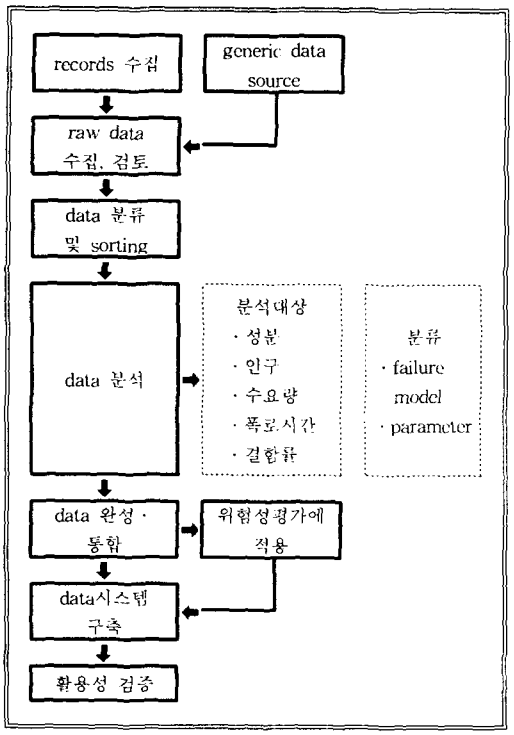

Fig. 1 Procedure for development of data base

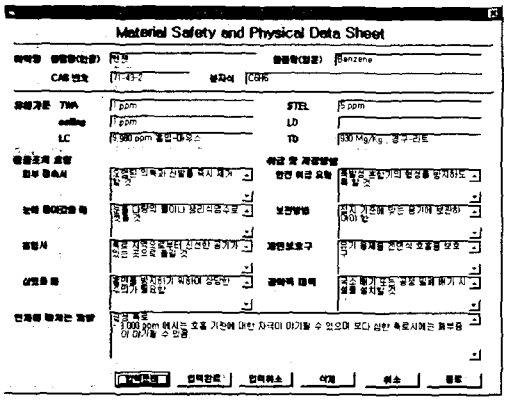

Fig. 2 Picture of material safety and physical data

작업의 광범위한 영역을 평가하기 위해서는 각 위험성평가 기법의 범용성과 효용성을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 정성·정량적 평가가 가능한 도구가 될 수 있도록 구성하였다. 위험성평가에 대한 사례 적용은 산화에틸렌 공정에 대하여 결과분석 중심으로 실시하였다.

Table 1 Elements of process safety management system

구성요소	주요내용
1. 책임:목적과 목표	운전의 지속성, 시스템의 지속성, 조직의 안속성, 회사의 기대치 및 관리, 대안방법
2. 공정정보와 문서화	공정의 정의 설정 및 설계 기준, 공정 및 장치 설계, 위험관리를 위한 의사결정 내용의 문서화, 보호시스템, 정상조건과 고장조건, 화학적 또는 산업 보건 위험
3. 자본 프로젝트 검토 및 설계 절차	적절한 요구 절차, 투자목적을 위한 위험평가, 위험진단, 우지선정, 배치계획, 공정 설계 및 검토 절차, 프로젝트 관리절차
4. 공정위험성 평가	위험 파악, 기존 운전 내용에 대한 위험 평가, 위험의 경감, 잔류물 위험관리,(공장내 비상상황에 대한 대응 및 비상 위험 완화), 비상상황하에서의 공정관리
5. 변경사항 관리	기술의 변경, 시설의 변경, 공정안전에 영향을 미칠 수 있는 조직의 변경, 변경 절차, 일시적인 또는 영구적인 변경
6. 공정 및 장치의 완전성	신뢰도 엔지니어링, 건설자재, 제작 및 검사 절차, 설치 절차, 예방 정비, 공정, 하드웨어 및 시스템 검사
7. 인적 요소	인적 오류 평가, 운전자/공정 및 장치의 연결, 관리통제장치와 하드웨어
8. 교육 및 작업내용	기술 및 지식의 정의, 교육프로그램, 운전 및 정비 절차 설계, 지속적인 심부 교육과 재교육, 강사 교육 과정, 기록관리
9. 사고조사	사고의 유형(대형사고, 아차사고)별 분석, 사후관리와 해결책, 의사소통, 제3자의 개입
10. 기준, 규정 및 법규	내부 기준, 지침 및 규칙(과거의 기록, 신축성 있는 작업내용 기준, 개정내용 등)
11. 감사	공정과 관련한 감사 및 준수여부 확인
12. 공정안전 지식 함양	내부 및 외부 영향 연구, 예측 시스템 개선

정성적 분석에는 다양한 기법이 있으나 Fig. 3은 이 중 HAZOP을 수행하는 화면을 보인 것이다.

사고 및 위험에 대한 빈도 등을 계산하기 위한 분석기법으로는 대표적으로 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis) 등이 있다. 그러나 본 연구에서는 피해 범위 등을 평가할 수 있는 결과 분석을 위주로 프로그램을 구성하였다.

Fig. 4는 결과분석을 실행하기 위한 메뉴 선택 화면이다. 이를 통하여 결과분석을 클릭한 화면

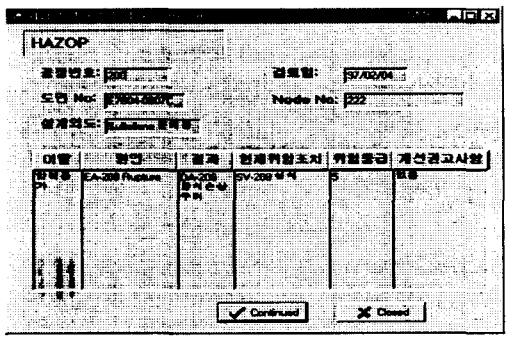

Fig. 3 Input picture of HAZOP

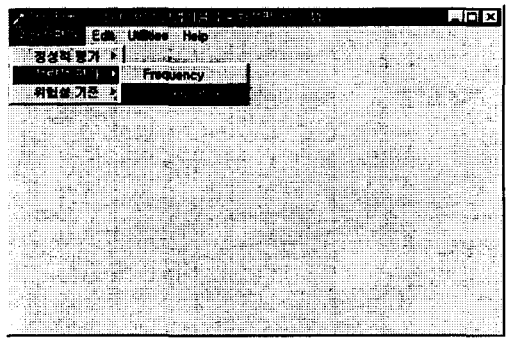

Fig. 4 Initial picture of consequence analysis

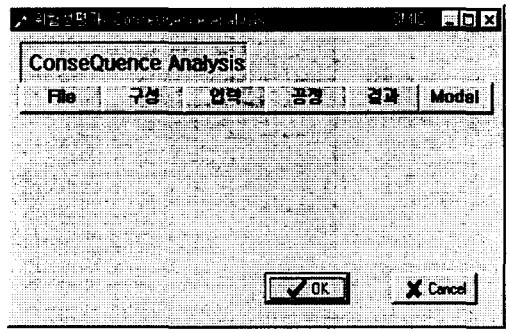

Fig. 5 Picture of consequence analysis

은 Fig. 5와 같다. 이는 정성적 분석과 연계하여 피해 범위 등을 산정하기 위한 프로그램으로 초기 화면에서 메뉴를 선택하여 분석을 수행하게 된다. 여기에는 구축된 유해화학물질 데이터베이스가 매우 중요하게 활용된다.

물질에 대한 데이터들은 구축된 유해화학물질 데이터베이스의 자료를 클릭하여 입력이 되도록 하였다. 피해를 예측하기 위한 시나리오는 다양한 사례로 나뉘어 진다. 즉 공정내의 장치와 장치별 형태, 공정상에서 다루어지는 물질의 상, 물질의 누출 형태 등 여러 유형을 예측하여 위험을 평가하는 것은 매우 복잡하다. Fig. 6은 결과 분석을 위한 입력 화면이다.

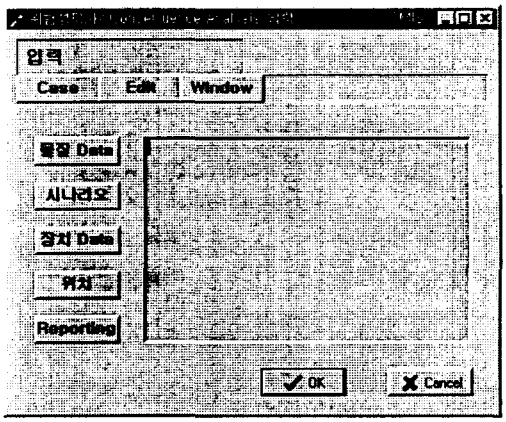

Fig. 6 Input picture of consequence analysis

산화에틸렌 공정은 에틸렌과 산소를 은촉매에 산화반응하여 주성분인 산화에틸렌과 부산물인 이산화탄소 및 이산화수소를 생성한다. 또한 폭발한계가 넓고, 독성이 강한 물질로 누출시에는 화재 및 독성에 의해 인체에 매우 유해하다. 산화에틸렌에 대한 물리적인 특성은 구축한 데이터베이스 자료에서 정보를 얻었다.

산화에틸렌에 의한 피해 범위를 산정하기에 앞서 잠재 위험을 정성적 기법으로 확인하여야 한다. 그러나 본 사례 연구에서는 결과분석을 중심으로 하여 평가를 수행하였다. 이는 위험성을 항상 내포하고 있는 화학공정의 중대 잠재위험 도출 및 사고로 인한 피해범위를 정량적으로 평가하여 발생원으로부터 위험영향 범위를 인지하고, 비상사태시 그에 따른 적절한 조치를 취할 수 있는 정보의 제공과 다양한 시나리오를 통한 위험기준의 판단 근거를 제시할 수 있기 때문이다. 아래 사항은 피해범위를 산출하기 위해 적용한 시나리오이다.

- 누출원 해석 (누출속도, 시간에 따른 누출량 등)
- 제트 화재시 복사열이 미치는 반경

- 액체 풀의 형성범위
- 풀 화재시 복사열이 미치는 반경
- 증기운의 확산반경(농도 대 거리)
- 증기운의 확산후 점화원에 의한 폭발시 과압 반경(Flash Fire)
- 비액 팽창 증기 폭발화염의 크기

각 시나리오별로 산정한 결과값 중 본 논문에서는 BLEVE에 의한 영향 범위만을 Fig. 7에 제시하였다.

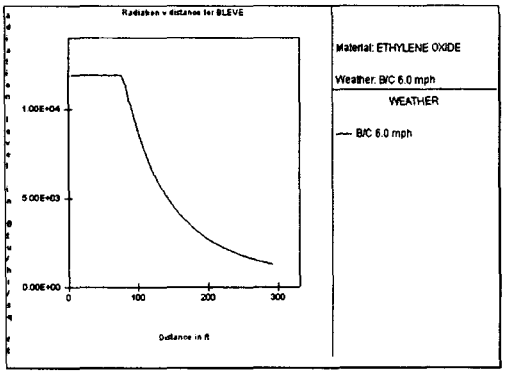

Fig. 7 Heat Radiation and distance for BLEVE

위험성평가에 대한 메뉴는 3개로 구분하여 구성하였고, 특히 결과분석 메뉴에 대하여 사례를 적용하였다. 적용 대상은 산화 에틸렌 공정으로 하였고, 다양한 시나리오를 설정하여 분석을 하였다. 적용한 결과 피해범위에 대한 산출이 가능했고, 정성적평가 프로그램과 연계가 가능하였다. 그러나 빈도분석에 대한 프로그램의 개발이 아직 미흡하기 때문에 빈도분석에 관한 프로그램이 개발된다면 위험을 예측하는 프로그램으로 이상적인 시스템이 되리라 판단된다.

4. 결 론

선진국에서는 화학산업시설에 대한 공정안전관리가 이미 정착되어 산업정보로써 활용되고 있으며, 또한 국내에서도 시행되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 시대적 상황을 고려하여 안전관리체계를 좀 더 체계적이고 기술적으로 도움을 줄 수 있는 전산화된 위험성평가시스템과 자료의 지원을 위한 부 시스템인 유해화학물질의 데이터베이스를 구축하였다.

개발된 위험성평가시스템을 활용하여 산화에틸렌 공정을 모델로 하여 결과분석을 중심으로 실시하였고 이를 위해 구축된 유해화학물질 데이터를 활용하였다. 이를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 위험성평가시스템에 실제 데이터의 입력 및 저장이 간소화되어 인력 및 시간 감소효과를 확인하였고 정확한 값을 얻을 수 있었다.
2) 유해화학물질에 대하여 구축한 데이터베이스는 자체적으로서 뿐아니라 위험성평가시스템의 기본자료로서의 활용성을 검증하였다.
3) 위험성평가시스템에 의해 산정된 값은 정량화된 위험 기준이 가능하며 이를 통해 체계적인 관리가 가능하였다.
4) 위험성평가시스템과 유해화학물질 데이터베이스의 연계가 원활함으로써 산업시설의 사용자가 손쉽게 활용할 수 있는 기반을 제시하였다.
5) 구축된 유해화학물질 데이터베이스와 위험성평가시스템은 추후 지리정보시스템과 연계가 가능하다고 사료된다.

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구(과제번호: 961-1109-145-2) 지원과 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다

참 고 문 헌

1) AIChE/CCPS : International Conference on Vapor Cloud Modeling. Cambridge, MA (November), American Institute of Chemical Engineers, New York. (ISBN 0-8169-0424-3), 1987b.
2) AIChE/CCPS : International Symposium on Preventing Major Chemical Accidents. Washington(February), American Institute of Chemical Engineers, New York, (ISBN 0 8169 0411 1), 1987a.
3) AIChE/CCPS : International Symposium on

Preventing Major Chemical Accidents. London(May), Center for Chemical Process safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, (ISBN 0-81690-0411-1), 1988.
4) AIChE/CCPS : Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 1989.
5) AIChE/CCPS : Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, New York, 1985.
6) Borkowski et al.: The In-Plant Reliability Data Base for Nuclear Plants Components, The Valve Component. U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-3154, Washington, D.C., 1983.
7) Dhillon, B,S and Rayapati, S.N. : Chemical-System Reliability : A Review, IEEE Transactions on Reliability, 1988.