

B-17

가스 누출·폭발 사고의 위험성 평가 및 예측 기술 개발

강승균, 이대희, 이현석, 정상용*, 고재욱
광운대학교 화학공학과, 한국가스안전공사*

Development of Risk Assessment and Predictive Technology for Gas Release and Explosin Accident

Seung-Gyun Kang, Dea-Hee Lee, Heun-Seuk Lee,
Sang-Yong Jung*, Jae-Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University,
Korea Gas Safety Corporation*

1. 서론

안전관리를 위한 위험성평가기술의 낙후로 대산 정유공장 폭발사고(약 350억 피해), 대구 도시가스 폭발사고(약 540억 피해) 등과 같은 대형사고 위험성이 상존하고 있다. 산업규모에 걸 맞는 가스 안전관리 기술을 조속히 추진하여 선진국 형 대형사고 방지 체계 구축을 위하여 본 연구에서는 가스 사용시설의 위험요인을 분석하고, 폭발 위험 해석 및 평가 알고리즘을 구축하여 이를 토대로 가스누출, 폭발에 대한 위험완화, 사고 대응기술 및 관련 S/W(Prototype)를 개발하였다. 또한 개발된 기술을 바탕으로 상용화가 가능한 S/W 개발 및 S/W의 신뢰성 분석을 수행과 현장적용을 가능하게 하였고, 이를 위하여 본 연구에서 개발한 가스시설의 통합안전관리 시스템은 6개의 부분으로 나누어져 개발된 후 하나의 통합시스템을 구축하였다.

2. 연구 내용

본 연구를 통해 개발되는 가스시설의 통합비상대응시스템은 다음과 같이 6개의 부분으로 나누어져 있으며, 각 Module은 사고 위험요인 진단/평가 시스템의 개발, 사고 원인 분석 시스템의 개발, 폭발 위험 해석 시스템의 개발, 사고 영향 평가 시스템의 개발, 사고 빈도 분석 시스템의 개발, 사고 대응 시스템의 개발로 구성되어있다. 개발된 통합안전관리 시스템은 각 개별 모듈로서 완성도를 갖추어 Stand-alone 방식의 독립적 S/W 시스템으로 기능을 수행할 수 있도록 개발되었으며, 또한 각 산업시설의 특성에 맞추어 맞춤형 시스템으로의 통합이 용이하도록 Data Base 구조 및 User Interface가 설계되어 있고, 더불어 6개의 각 모듈 통합하여 통합적인 가스안전관리 시스템을 구성 하였다.

3. 연구 결과

- 사고 위험요인 진단/평가 시스템의 개발

장치산업 시설물의 잠재원인 파악, 분석 및 진단을 실시하여, 위험원 제거를 위한 잠재위험요소 파악 및 현재의 안전관리 수준을 진단/평가하는 기능을 수행한다. 본 연구에서는 다양한 산업 시설물에서 일어날 수 있는 인적, 장치적 위험요인을 정성적, 정량적인 방법을 다각적으로 접근하여 잠재된 사고의 요인을 진단/평가하는 시스템을 개발하였다.

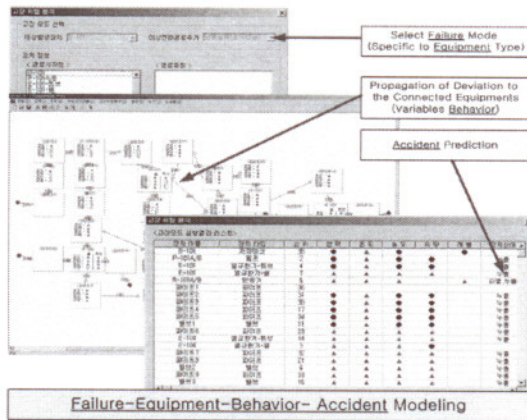


그림.1 시설물 위험요인진단 S/W

- 사고 원인 분석 시스템의 개발

국내의 가스시설 관련 사고에 대한 사례를 분석하여 전문가 시스템에 따라 논리적 도표 형태로 사고의 근본 원인 및 메카니즘을 분석하고, 사고요인을 도출하며, 사고 원인을 제거 방안을 도출하여 예방의 근간을 이룰 수 있게 하는 시스템이다.

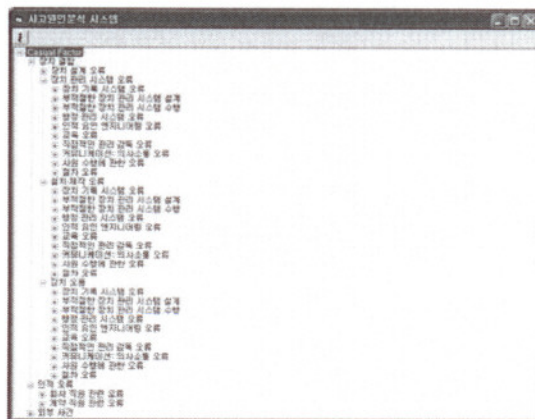


그림.2 사고 원인 분석 시스템 S/W

• 폭발 위험 해석 시스템의 개발

특히 가스 사고의 경우 발생 빈도가 높은 밀폐 공간 또는 개방공간에서의 가스 폭발 사고에 대하여 나타날 수 있는 영향을 모사하고, 그 피해범위, 피해강도 등을 예측할 수 있는 시뮬레이터이다.

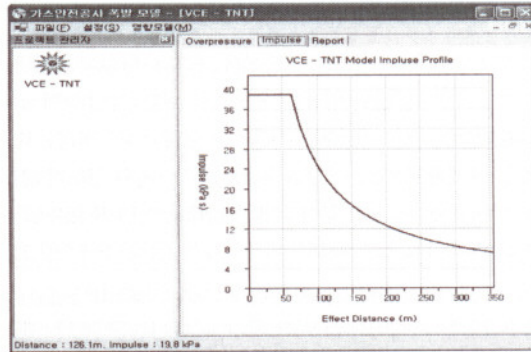


그림.3 정량적 폭발 위험 해석 시스템 S/W

• 사고 영향 평가 시스템의 개발

가스누출로 인한 화재 또는 과압으로 인한 폭발 등 발생 가능한 사고에 대하여 그 피해 정도를 본 연구 과제를 통해 개발된 누출원 모델과 도미노 효과 등을 통해 모사할 수 있도록 개발 된 시스템이다.

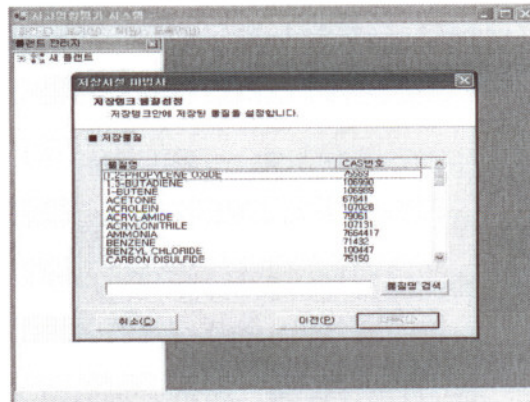


그림.4 사고 영향 평가 시스템 S/W

• 사고 빈도 분석 시스템의 개발

중대 누출 및 폭발 사고사례에 대한 D/B 시스템과 사고 위험요인 분석 시스템을 바탕으로 하여 발생 가능한 사고들을 예상하고, 빈번하게 일어날 가능성이 있는 사고를 제시하여 능동적으로 대응하여 사고 예방이 도움이 될 수 있는 시스템이다. 본 시스템은 Fault Tree 구조로서 구현되며, 사고 가능성이 높은 메카니즘을 우선적으로 할 수 있는 Minimal Cut Set을 자동 연산하여 사용자가 효율적으로 위험 관리를 수행할 수 있도록 하였다.

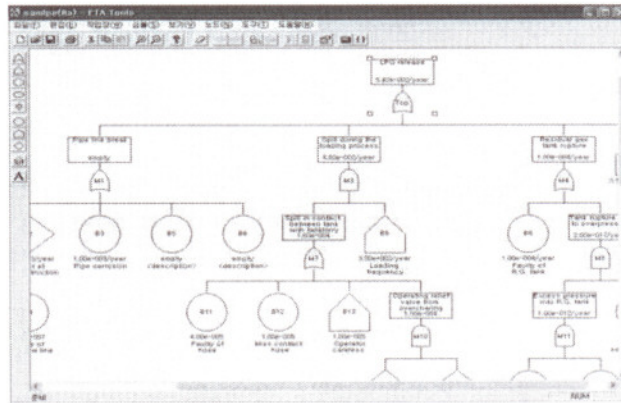


그림.5 사고 빈도 분석 시스템 S/W

• 사고 대응 시스템의 개발

사고 영향 분석 시스템을 통해 얻을 수 있는 사고 피해정도에 대한 데이터와 지리, 지형 정보 및 사고 대응기관 등에 대한 정보를 이용하여 산업체에서 실용적으로 활용할 수 있는 사고 대응 시스템이다.

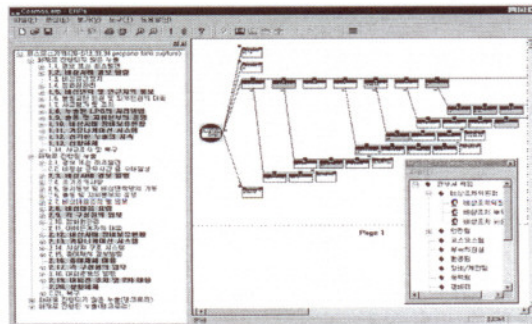


그림.6 사고 대응 시스템 S/W

• 통합 안전관리 시스템의 개발

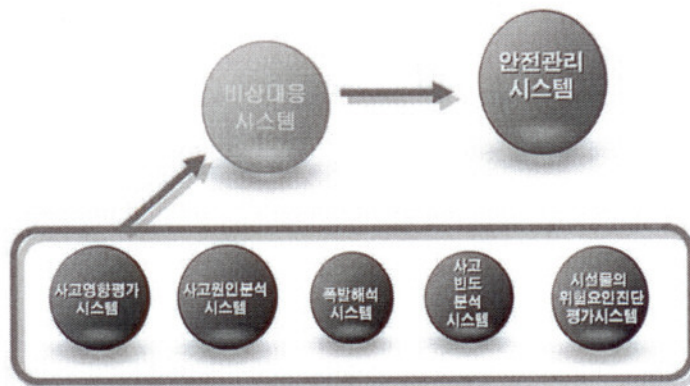


그림.7 통합 가스안전관리 시스템 개념도

앞에서 설명한 각각의 Module을 하나의 가스안전시스템으로 통합하였다. 이 중 사고빈도분석시스템, 사고원인분석시스템, 사고영향평가시스템, 폭발해석시스템은 사고 발생 가능성과 빈도를 예측하고 사고전개의 메커니즘을 제공하여 사고의 근본원인을 분석하게 한다. 또한, 누출사고의 피해영향범위를 관심거리에 대한 농도비로 나타냄으로써, 폭발사고 시 피해범위 예측과 사고에 대응 할 수 있는 데이터를 제공하여 사고의 발생가능성을 줄이고 만일 사고가 발생하더라도 그 피해정도를 최소화 할 수 있게 한다.

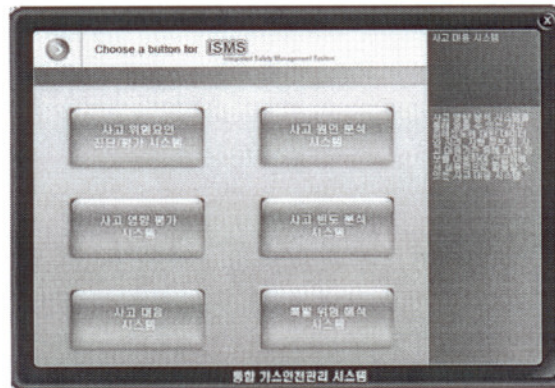


그림.8 통합 가스안전관리 시스템 S/W

위험요인 진단평가시스템은 잠재적 위험요소를 파악·관리하고 정량화하여 관련 DB를 구축한다. 위의 각각의 Module을 통하여 사고대응시스템은 사고 대응절차 수립과 사고시나리오 합성 그리고 사고에 대한 복구 절차를 수립할 수 있는 정보를 제공하고, 비상대피로 및 접근로 선정하게 한다. 또한 사고대응시스템은 GIS와 연동하여 관심지역과 대상으로 하는 속성들을 지도에 구현한다. 본 연구를 통하여 개발된 통합 가스안전관리시스템은 체계적인 비상대응 절차와 사고예방을 가능케 함으로써 안전시설의 확충에 대한 지침을 제공할 수 있다.

4. 활용 분야

본 연구에서는 산업시설에서의 가스 안전 관리 및 위험성 평가기술에 관한 정확한 이론과 응용기술의 개발을 수행하여 기반 기술 측면에서의 발전에 기여할 뿐만 아니라 그 연구성과물은 다음과 같이 활용되어질 것으로 기대된다.

그리고, 이를 통해서 얻어진 성과는 사고발생이나 환경파괴의 가능성이 높은 산업설비에 대한 위험원인을 다각도로 분석하고 사고발생 시에 예상되는 영향을 평가하는 시스템을 사용하여 효율적이고 통합적으로 수행하기 때문에 개발되어질 시스템은 가스를 사용하는 산업체 전반에 걸쳐서 활용이 가능하다

한국가스안전공사, 한국산업안전공단 등 관련된 인증기관으로부터 개발될 연구결과를 산업현장에서 직접 적용해 봄으로써 연구 결과의 활용도를 높이고, 신뢰도를 제고할 수 있을 것이고, 본 연구 결과들은 소방방재청, 한국가스안전공사, 한국가스공사, 한국산업안전공단 등을 통해 국내 석유화학, 가스, 정유산업시설/사업장에 배포되어질 것이며, 특히 개발되는 소프트웨어는 위탁 및 연계 교육을 통한 실무자 기술 교육에

직접 사용되어져서 산업시설물의 안전관리의 합리적 토대 및 지속적인 연구 기반조성에 이용될 것이며 안전문화정착에 기여할 것이다.

본 연구에서 개발될 기술은 국제화된 종합적인 위험관리체계(IRMS)의 구축에 궁극적인 목표를 설정하는데 이용될 것이며, 이는 현재 추진 중인 EHS&Q의 표준화된 기준에 부합하는 것으로서 OECD국의 기준에 앞서나가게 되는 것이다.

5. 감사의 글

이 연구 결과는 소방방재청의 인적재난 안전기술개발사업의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. Delvosalle Ch., "Domino effects phenomena: Definition, Overview and Classification," European Seminar on Domino Effects, Leuven, Belgium, Federal Ministry of Employment, Safety Administration, Direction Chemical Risks, Brussels, Belgium, 5-15 (1996)
2. Carrier J. F. and Stepanopoulos, G., "Wavelet-Based Modulation in Control-Relevant Process Identification", AIChE J., 44(2), 341-359 (1998).
3. Catino, C.A. and L.H. Ungar, "Model-Based Approach to Automated Hazard Identification of Chemical Plants," AIChE Journal, 41, 97 (1995).
4. CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, CCPS of the AIChE, New York (1989).
5. CCPS, Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. AIChE, New York (1994).
6. CCPS, Guidelines for Integrating Process Safety Management, Environment, Safety, Health, and Quality, CCPS of the AIChE (1997).
7. AIChE CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd ed. NY, (1999)
8. 안성준, 이동연, 김구희, 김건남, 윤인섭, "통합위험관리시스템 (IRMS)을 위한 피해 예측시스템의 개발", 화학공학의 이론과 응용, 8(2), 2949 (1999).
9. 어수영, 역할-거동 모델링에 기반한 화학공정 이상진단을 위한 이상-인과 그래프 모델의 합성, 서울대학교 화학공학과 (2001).
10. 윤인섭, "화학공장의 통합위험관리체계(IRMS) 구축", 화학공학의 이론과 응용, 5(1), 353 (1999).
11. 윤인섭 외, 화학공정의 피해예측모델 및 소프트웨어 개발, 한국산업안전공단 연구용역 보고서, 한국산업안전공단 (2000).