

정량적 위험 평가 프로그램 개발

김주형, 이정우, 김기수, 여경철, 고재욱*
(주)에이드 부설 기술연구소, 광운대학교 화학공학과*

Development of Software for Quantitative Risk Assessment

Ju-Hyung Kim, Jeung-Woo Lee, Ky-Soo Kim, Gyung-Cheol Yeo, Jae-Wook Ko*
Technical Research Center of AID Corporation,
Department of Chemical Engineering in Kwangwoon University*

1. 서론

대규모 위험성에 대한 예방책으로 선진국들에서는 수년 전부터 체계적인 안전대책을 수립하여 시행하고 있으며, 특히 미국은 화학공학회(AIChE) 산하에 화학공정 안전센터(CCPS, Center for Chemical Process Safety)를 설치하여 화학공장의 사고예방기법을 연구, 보급하고 있다.

우리 나라에서도 '96년부터 한국가스안전공사에서 가스산업시설에 대한 안전관리시스템(SMS) 제도를 도입하여 실행하고 있으며, 한국산업안전공단에서 공정안전관리(PSM)제도를 도입·실행 중이다. 그러나, '96년과 '97년에 제출된 공정안전관리 보고서를 살펴보면 대부분이 정성적 위험성 평가에 만족하는 것을 볼 수 있다.

그런데 세계적인 위험성 평가의 추세가 정량적인 위험성 평가로 흐르고 있고, 이미 일부 대기업체에서는 이에 대한 대응책으로 외국의 정량적 위험 평가 프로그램을 구입을 하고 있으며, 이를 활용하는 방안을 준비중에 있다. 이러한 외국의 프로그램들은 어느 정도의 화공안전의 지식을 필요로 하고 있어서, 현장에 있는 일반 사용자들이 다루기에는 어려움이 있다. 따라서 안전 관련 부서만의 정량적 위험 평가 프로그램이 아닌 전 사원이 공유할 수 있도록 프로그램을 사용하기 편리하며, 특히 평가 절차, 평가 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 개발하고자 한다.

본 프로그램에서, HAZOP Study와 이상 트리 분석(Fault Tree Analysis) 방법, 사건 트리 분석(Event Tree Analysis) 방법을 토대로 한 결과를 사용하여 가스산업시설의 잠재위험 확인 및 잠재위험과 관련된 사건의 진행 순서를 구할 수 있도록 구성하려고 하였다. 그리고 미국의 화학공학회(AIChE) 산하에 화학공정 안전센터(CCPS, Center for Chemical Process Safety)에서 연구, 보급하고 있는 화학공장의 사고예방기법을 바탕으로 얻은 Source Model들과 미국의 EPA에서 공인하고 배포하고 있는 여러 가지 Dispersion Model들을 근거로 하여 가스산업시설의 주변지역에 미치는 화재의 방사열에 의한 피해 영향, 폭발의 초과 압력에 의한 피해 영향을 다룬 가스 사고의 Effect Model들을 바탕으로 프로그램을 제작하려고 한다.

2. 초기 사건들(initiating events)과 그에 따른 영향

잠재위험 확인에 대한 연구의 한 부분은 잠재위험 사건과 그와 관련되어 발생할 수 있는 초기 사건의 고찰을 포함한다. 이것은 상세히 고려되어야 할 사건들을 결정하기 위해 수행되며, 또한 그같은 사건들의 결정적인 원인과 제어가 꼭 필요한 부분을 밝히기 위해서도 수행된다.

본 연구에서는 가스산업시설의 저장·충전시설에 존재하는 잠재위험을 파악하였으며, 잠재위험이 사고로 전개되어 저장·충전시설 주변에 미치는 위험성을 정성적·정량적 평가 방법으로 접근하여 프로그램에 반영하려 하고 있다. 또한 국내 가스산업시설의 저장·충전시설에 적용한 연구결과로부터 프로그램의 기본 logic을 만드는 데 도움을 얻고자 한다.

공정들을 HAZOP Study한 결과 액화 가스 누출 사고를 야기할 수 있는 잠재위험으로는 파이프라인 계통의 파열에 의한 누출 사고와 외부 열원에 의한 저장탱크의 파열에 의한 사고 등이 가장 큰 액화 가스 누출 사고 원인으로 밝혀졌다. 따라서 액화 가스 저장시설의 경우 정기적인 파이프라인 점검과 보수가 필요하다.

또한 FTA 방법과 ETA 방법을 이용하여 액화 가스 누출 사고의 전개 과정을 살펴본 결과, 지하 저장탱크의 경우 액화 가스 누출 사고가 발생할 경우 그 폭발 형태는 UVCE(Unconfined Vapor Cloud Explosion)와 Flash Fire로의 전가가 가장 큰 확률을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 지상 저장탱크의 경우 UVCE와 외부 열원에 의한 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), 그리고 Pool Fire에 의한 Thermal Effect가 가장 큰 피해 발생요인으로 밝혀졌다.

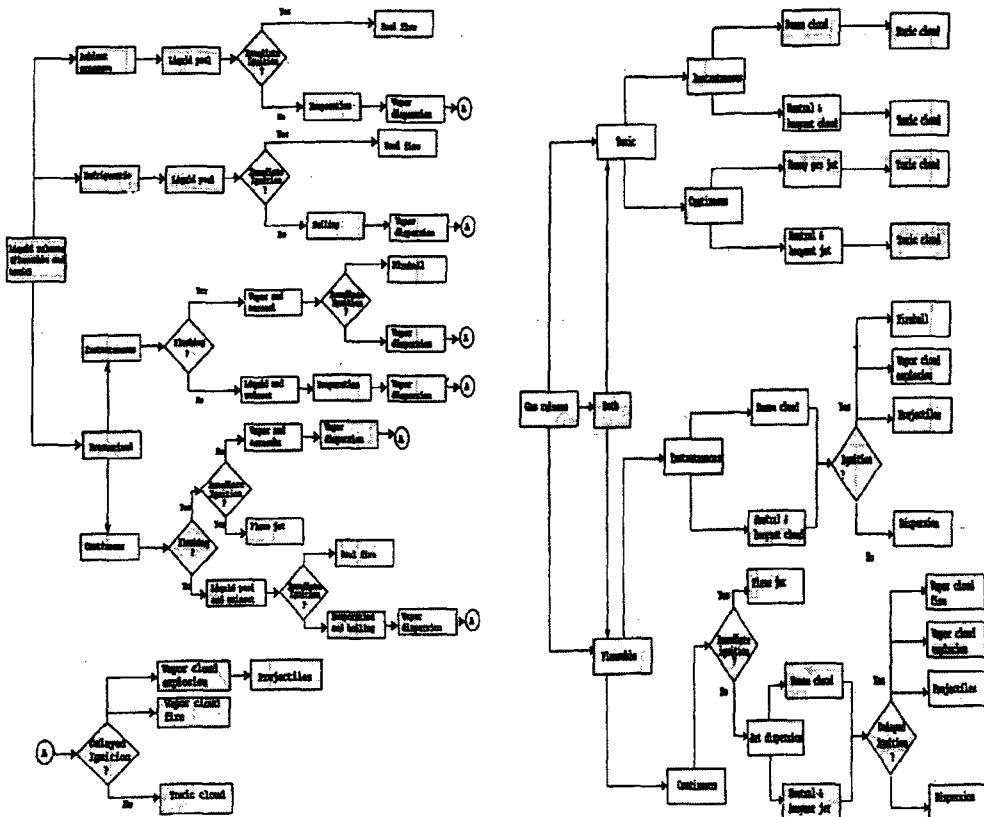


그림 1. ETA를 통한 프로그램의 기본 logic 구축

3. 정량적 위험 평가 프로그램의 구조

본 평가 프로그램의 구조를 간략하게 살펴보면 다음 다섯 가지 모듈로 나눌 수 있으며, 이를 나타내면 그림 2. 와 같다.

- ▶ 평가하고자 하는 시나리오의 입력 모듈
- ▶ 누출, 확산 모델의 계산 모듈
- ▶ 화재, 폭발, 독성의 영향 계산 모듈
- ▶ 위험성 평가 모듈
- ▶ 위험성 평가의 결과 출력 모듈

위의 다섯 가지 모듈 중, 누출, 확산 모델의 계산 모듈과 화재, 폭발, 독성의 영향 계산 모듈, 그리고 위험성 평가 모듈들을 각각의 Component Object이며, 시나리오의 입력 모듈과 출력 모듈은 위의 세 가지 모듈로 시나리오의 입력 사항들을 보내고, 계산 결과를 보다 사용자에게 익숙하고 편리하게 전달하기 위해서 그래픽 사용자 인터페이스로 설계를 하였다. 그리고, 입력 모듈과 출력 모듈은 Component Object로 만들지 않고, Component Object들을 연결 시켜줄 Container에 포함시키도록 설계를 하였다.

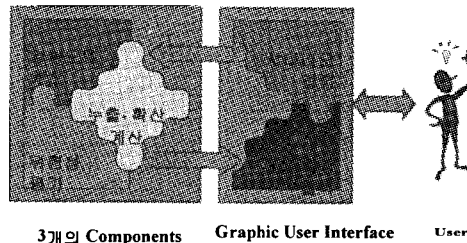


그림 2. 평가 프로그램의 다섯 가지 모듈의 구조적 관계

4. Consequency Analysis Module

강도 산정(Consequency Analysis)이란 위험물질의 누출로부터 최종 위험성을 산출하는 과정으로써 잠재적인 위험의 형태 및 크기에 대한 분석과 정량화가 포함되어 있다. 강도 산정은 주로 화재·폭발과 독극물 방출의 경우 그 재해로 인해 사람들이 입을 수 있는 피해와 시설물에 대한 피해를 다루며 위험의 정도는 방출열, 가연성 가스나 액체들이 폭발할 때의 높은 압력과 공기 중의 독가스의 농도로 나타낸다. 따라서 강도 산정에서는 화재로 인한 방사열, 무한정 증기운 폭발 경우와 같은 폭발로 인한 폭발 과압력(Overpressure), 독극물의 직접 또는 간접 방출로 인한 유독 수준(Toxicity Level)의 정량화와 관련된 방법을 다룬다.

위험 물질의 누출에 의한 피해 범위(Effect Zone) 및 인명 피해 규모를 산정하기 위해서는 다음과 같은 연구들이 수행되어야 한다.

- 잠재위험 확인 (Hazard Identification)
- 누출 모델 (Source Model)

- 확산 모델 (Dispersion Model)
- 영향 모델 (Effect Model)

잠재위험 확인 단계는 위험성 평가를 수행하기 전에 선행해야 할 단계로써 위험성 평가에 필요한 자료수집과 아울러 공정/시스템 내에 존재하는 위험원을 확인하는 단계이다.

누출 모델 단계는 독성 물질의 누출이 발생할 경우 독성 물질의 누출 속도, 총 누출량, 누출 시간 등을 계산하는 단계로써, CCPS의 “Chemical Process Quantitative Risk Analysis”를 토대로 다음과 같은 7가지의 기본적인 Source Model¹⁾들을 정리하였다.

1. 구멍을 통한 액체의 흐름
2. 탱크내 구멍을 통한 액체의 흐름
3. 파이프를 통한 액체의 흐름
4. 구멍을 통한 증기의 흐름
5. 파이프를 통한 증기의 흐름
6. Flashing Liquids
7. 개방된 용기 안의 휘발성 액체의 증발

분산 모델 단계²⁾는 위험 물질의 누출에 의한 피해 거리와 그에 따른 위험 수준을 계산하는 단계이다. 분산의 기본개념은 세 가지로 설명할 수 있는데 첫째는 위험물질이 누출되는 순간에 대한 분산 모델로 기계적 난류(Mechanical Turbulence)현상이라 한다.

그리고 다음 단계는 기계적 난류의 경우를 지나면서 분산은 서서히 진행되며 대기의 영향이나 풍속의 영향을 덜 받는 경우이다. 그래서 이 단계를 부력에 의한 난류현상(Turbulence due to Buoyancy)이라 한다.

마지막 경우로써는 누출 또는 발생된 증기가 거의 대기조건에 의존하여 분산되는 것으로 소위 대기 난류에 의한 분산(Dispersion by Atmospheric Turbulence)이라고 한다. 분산 모델로서 널리 알려진 Gaussian Model은 마지막 분산 단계인 대기의 영향을 받는 단계에서 어떻게 증기가 분산되어 나가는 것인가를 보여준다.

본 프로그램은 사고 지역에서 누출원 모델로부터 계산된 위험성물질의 분산을 예측하기 위해서는 미국의 EPA에서 공인, 배포하는 SLAB 모델⁵⁾과 ISC 모델을 참고하여 개발하였다.

그리고 영향 모델 단계^{3,4)}는 누출된 위험 물질에 대한 개인적 위험성 및 사회적 위험성을 산출하기 위한 자료를 제공하는 단계로써 독성 영향 모델, 화재 영향 모델과 폭발 영향 모델이 있다. 그림 3.은 위험성 물질의 누출시 피해 결과 모델에 대해서 구현한 Logic이다.

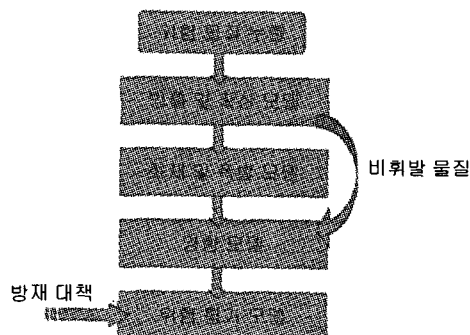


그림 3. 위험성 물질의 누출시 피해 결과 모델에 대한 Logic

5. 정량적 위험 평가 프로그램 개발

본 정량적 위험 평가 시스템은 MicroSoft사의 프로그래밍 언어인 MS Visual C++ 5.0 Professional Version과 MS Visual Basic 5.0 Professional Version을 같이 사용하고 있다.

본 평가 프로그램은 32 Bit Windows 체제에서 최적으로 사용할 수 있게 개발되고 있다. 따라서 본 프로그램을 실행하기 위해서는 Pentium이상의 CPU와 16 MByte 이상의 메모리가 필요하고, OS는 Windows 95를 기본으로 하고 있으며, Windows 98 및 Windows NT에서도 사용이 가능하다.

정량적 위험성 평가 프로그램은 사용자에게 친숙하고 편리한 GUI(Graphic User Interface) 환경을 특징으로 하고 있다. GUI는 메뉴와 아이콘, 탭형태의 입력창, 입력 위저드 등의 여러 가지를 포함하고 있다.

평가 프로그램은 기본적으로 타이틀 바와 메뉴 바, 아이콘 바를 가지고 있고, 타이틀 바에는 현재 진행중인 상황을 함께 표시해 준다. 기본적인 화면 구조를 그림 4., 그림 5. 에 나타내었다.

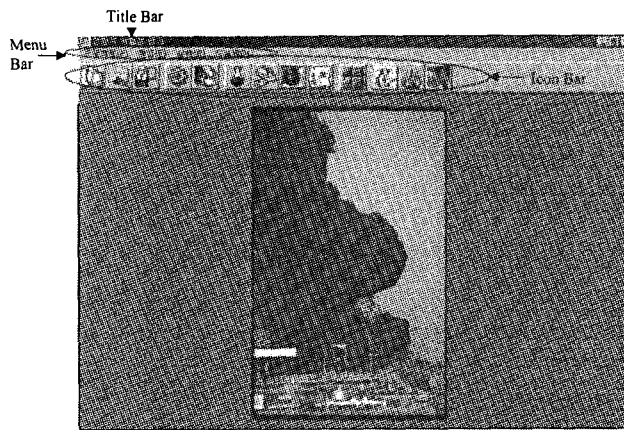


그림 4. 기본적인 화면 구조

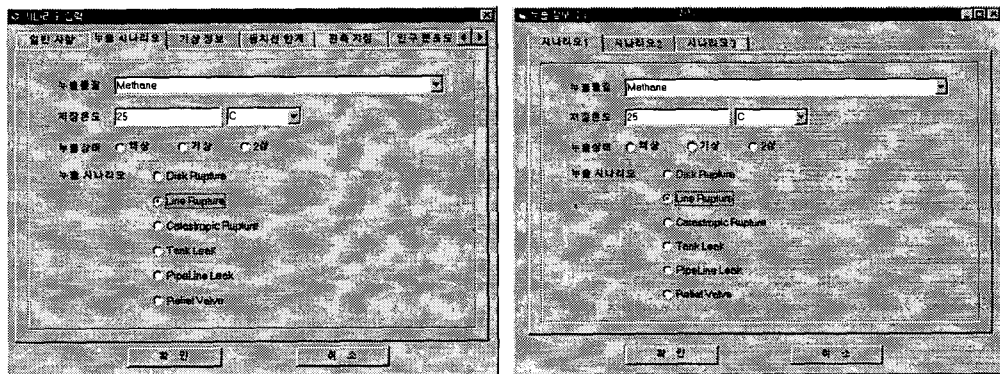


그림 5. 탭 형태의 시나리오 입력 창과 조회, 편집 창 - 누출 정보

또한 마법사를 따라가기만 하면 정량적 위험 평가 수행부터 보고서 작성까지 사용자가 코드 작업없이 편리하게 수행할 수 있도록 OLE Wizard 기능을 갖추고 있다.

프로그램을 모듈화하여, 추후에는 3차원으로 누출지역과 피해지역을 확인할 수 있으며, 시간에 따른 피해 상황의 동영상 구현 및 Process의 지리적/물리적/속성적 정보를 반영할 수 있는 기능을 추가 가능하도록 개발 중이다. 다음 그림6. 은 평면상의 지도에 나타난 위험 평가 결과이다.

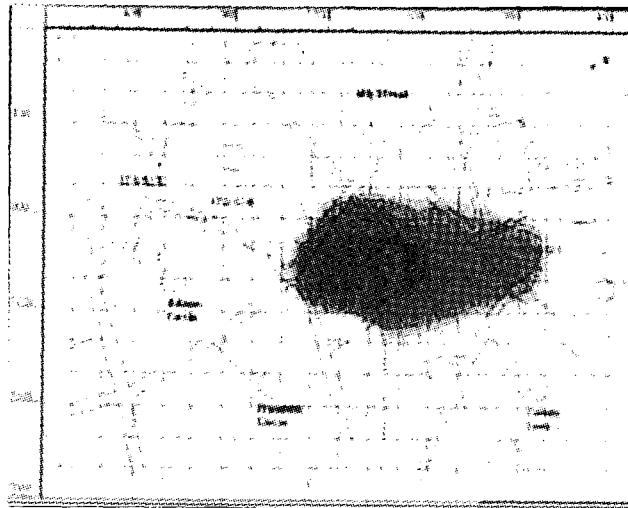


그림 6. 평면상의 지도에 나타난 위험 평가 결과

참고문헌

- 1) AIChE/CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York (ISBN 0-8169-0402-2), 1989.
- 2) AIChE/CCPS, "Guidelines for Use of Vapor /cloud Dispersion Models", Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York (ISBN 0-8169-0403-0), 1993.
- 3) AIChE/CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires, and BLEVEs", Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994.
- 4) C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M., "Methods for the calculation of physical effects (Yellow Book, CPR 16E)", Committee for the Prevention of Disasters. Third edition, 1997.
- 5) Donald L. Ermak, "User's Manual for SLAB : An Atmospheric Dispersion Model for Denser-than-Air Releases [Abridged Version]", Lakes Environmental, 1997.