

화학공장의 정량적 위험성 평가

고재욱
(광운대학교 교수)

1. 머리말

화학공업은 고도의 기술 집약적 상지산업으로서 기술의 발달에 따라 다른 산업분야와 우리 생활에 많은 유용한 제품들을 제공한다. 그러나 공장 내에는 여러 가지 고성능의 복잡한 공정을 포함하고 있을 뿐만 아니라 가연성 물질과 반응성이 매우 높은 물질 그리고 독성물질 등과 같은 잠재적으로 유해한 화학물질들을 원료, 중간체, 제품의 형태로 사용·저장하고 있다.

특히, 공정의 특성상 취급하는 대부분의 물질이 유체의 위험성 물질이며, 고온·고압의 반응공정을 거쳐 제품을 생산하게 되므로 누출에 대한 잠재위험이 많으며, 누출시에는 화재·폭발 그리고 독극물 누출에 의한 피해를 일으킬 가능성이 매우 높다.

그리고 화재·폭발이 갖는 보유에너지는 매우 크고 독극성 물질이 누출되는 경우에는 매우 넓은 지역에까지 영향을 주기

때문에 중대사고로 발전하기 쉽다. 따라서 이로 인한 영향은 공장 내에서 일하고 있는 근로자는 물론 공장 인근주민의 사상과 제3자에게 막대한 재산피해를 가져다 줄 것이다. 그리고 공장설비의 파괴에 따른 결과로 재산상의 손실이 막대함은 물론 설비의 복구기간이 길기 때문에 관련된 산업에 대한 원재료의 수급 등의 차질을 가져와 종국에는 사고의 영향이 확대되어 국가 경제에까지 악영향을 미치게 될 것이다. 그 결과 사회적으로 엄한 지탄을 받게 되어 기업의 명예가 실추되고 경영자체에 곤란을 겪게 될 것이다.

중대사고를 미리 경험하여 이러한 것들의 중요성을 깨우쳐 알게 된 선진국가들 사이에서는 화학공장에 대한 안전성을 확보하기 위하여, 일련의 안전대책을 수립하여 화학공장에서의 잠재위험성 및 대응능력을 평가하고 긴급상황 발생시 대처 계획의 수립을 의무화하고 있는 실정이다. 이를 위해 여러 외국기관에서는 수 차례의 시행오차를

통해 각자의 고유 모델을 개발하여 공정안전관리(PSM)을 수행하고 있으며 우리나라에서도 올해부터 PSM 및 가스의 SMS 제도가 도입되어 산업현장에 적용되고 있다. 그러나 아직은 초기 단계에 있어 위험성 평가를 위해 정성적 방법을 선호하고 있으나 위험성을 과학적이고 체계적으로 평가하기 위해서는 선진국가들처럼 향후 정량적 평가가 반드시 수반되어야 한다.

2. 정량적 위험성 평가

국내의 PSM 및 SMS 제도에 서 제시한 화학공장의 위험성 혹은 안전성 평가방법들은 부분적으로 평가의 목적과 범위에 따라 장·단점을 가지고 있으며 한 두 가지의 평가방법을 이용하여 화학공장의 위험성을 평가한다는 것은 불가능하다. 화학공장의 위험성을 합리적으로 평가하기 위해서는 정성적 평가방법과 정량적 평가방법을 복합하여 사용하여야 하며, 보통 잠재위험 확인 및 가상사고 시나리오 확인을 위해 정성적 평가방

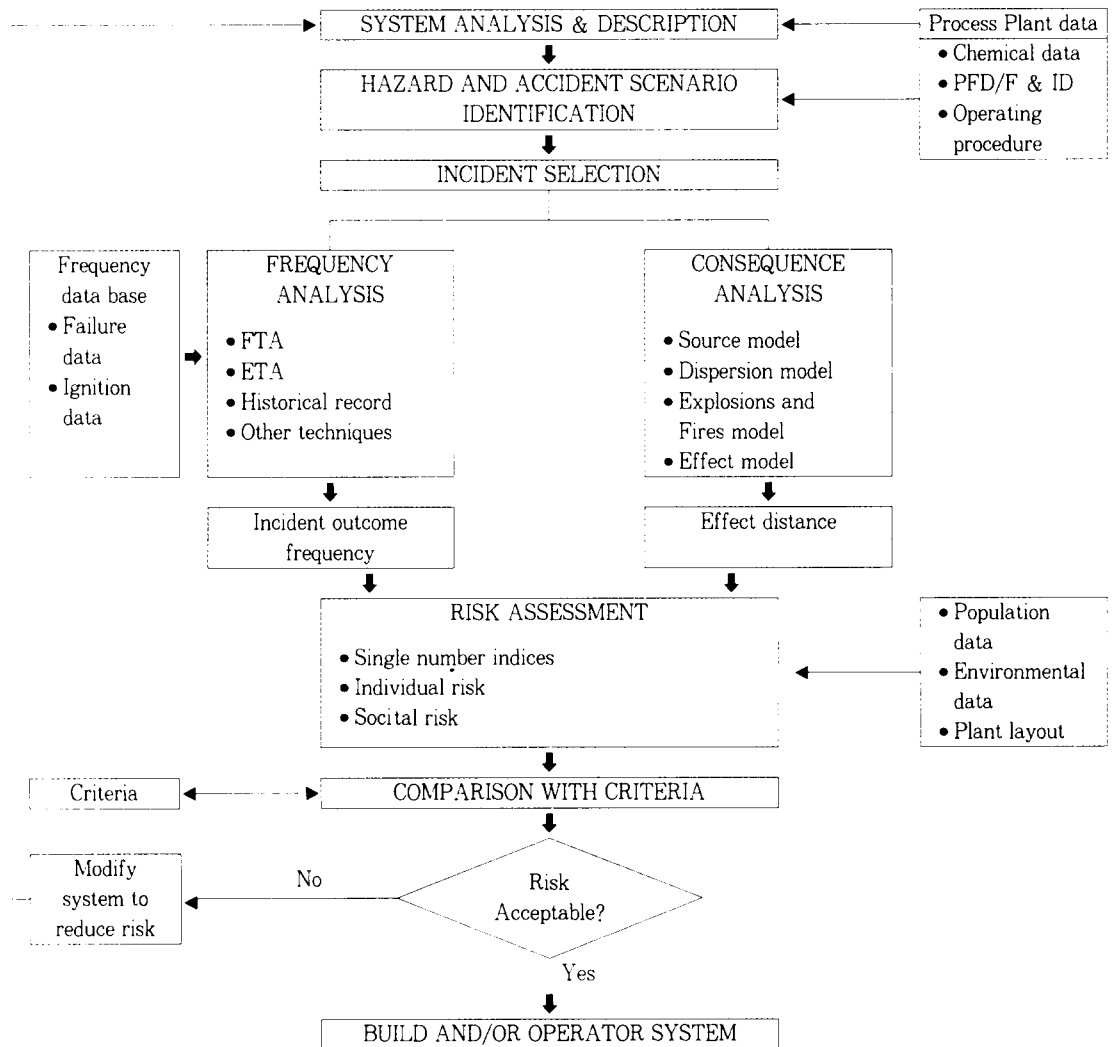
법을 확인한 후, 구체적인 위험성 수준의 도출, 안전성 향상을 위한 위험성 제어 전략의 수립, 사고시 비상대책 및 공장 내·외부를 위한 방재대책 수립 등을 위하여 정량적 평가방법을 사용하게 된다.

여기에서는 정량적 위험성 평가방법들의 구체적인 설명보다는 위험성 평가를 위한 각 단계 및 단계들간의 상호관계를 묘사하여 정성적 평가 방법들과 정

량적 평가 방법들의 사용단계 및 상호관계를 알아보고 전반적인 화학공장의 위험성 평가 과정을 설명하고자 한다.

위험성 평가의 framework (기반구조)은 화학관련시설 등을 설계, 시동, 운전, 정지하는 과정에서 중대사고를 발생할 수 있는 잠재위험들을 찾아내어 발생빈도와 사고결과의 함수로 위험성을 평가하는 체계이다(〈그림〉 참조). 이것은 평가대상으

로 선정된 시스템을 묘사한 후 공정에 관한 정보를 분석하여 여러 개의 분석 단위로 분할하여 하나씩 평가를 수행한다. HAZOP(HAZard and OPerability) study와 PHA(Preliminary Hazard Analysis) 방법 등과 같은 정성적 평가방법들을 사용하여 “무엇이 잘못될 수 있는가?”라는 질문을 통하여 일탈(deviation)상태 및 일탈원인을 분석한다. 그리고 이들 결과로



부터 발생 가능한 가상 사고 시나리오를 정하고 각각의 사건에 대하여 과거의 경험과 물질 데이터, 공정 데이터 등을 정성적으로 분석하여 가상 사고의 결과(예 : 화재, 폭발 등)를 확인한다. 그리고 “피해정도가 어느 정도인가?”라는 질문에 대하여 각각의 발생 가능한 사고 시나리오에 대한 사고 결과를 정량적으로 산정한다. 사고결과를 정량적으로 분석하기 위해 위험물질의 방출과 관련된 물리화학적 과정을 나타내는 방출(source) 모델, 위험물질이 사고지점에서 공장이나 주변지역으로의 풍매전달을 묘사하는 분산(dispersion) 모델, 화재 및 폭발을 다루는 모델 및 사고결과로 인한 피해거리나 치사율을 계산하는 영향(effect) 모델 등을 사용한다. 그리고 “발생 가능성은 어느 정도인가?”라는 질문에 대하여 역사적 데이터, 장치 고장율, 인적 신뢰도 및 공정 데이터를 이용한 FTA(Fault Tree Analysis)와 ETA(Event Tree Analysis) 등을 이용하여 발생 빈도를 정량적으로 산정한다. FTA는 잠재위험 사고(예 : LPG 누출)를 야기시킬 수 있는 장치 고장, 인적 오류 등을 연역적으로 찾아내고 데이터를 이용하고 사고 발생 빈도를 계산하고, ETA는 사고나 사건으로부터 사고 결과(예 : 폭발)들의 발생 가능성을 귀납적으로 계산한다. 종종 FTA

와 ETA를 직렬로 조합하여 사고결과의 빈도 또는 확률을 계산한다. 다음 단계는 사고결과 분석 및 빈도 분석을 통해 구한 정량적 근거를 바탕으로 위험성 수준을 결정한다. 빈도와 사고결과 분석으로부터 구한 수치의 단순 곱을 가지고 공정의 위험성에 대한 등급을 매길 수도 있고, 빈도와 사고 결과의 수치들을 여러 구간으로 구분하여 matrix형태를 만들어 공정의 위험순위를 정할 수도 있다. 또한, 빈도와 사고결과 분석으로부터 얻은 수치들을 이용하여 위험원 근처에 있는 사람에게 미치는 사고 발생 확률을 등위험도(isorisk) 개념으로 표현하는 개인적 위험성(Individual Risk) 평가방법과 개인적 위험성에 위험원 주변의 인구 밀도 및 인구 분포밀도가 도입된 사회적 위험성(Social Risk) 평가방법을 사용하여 화학공장의 전반적 위험성 수준을 산정한다. 이렇게 정량적 위험성 평가방법을 사용하여 산정된 위험 수준을 국가에서 제시하는 위험성 기준에 비교하여 받아들여질 만한 위험인가를 판단하여 수용 못하는 경우에는 발생빈도를 줄이거나 사고 결과를 감소시키는 공정의 보안을 통하여, 화학공장이 가지고 있는 위험성을 수용할 수 있을 때까지 반복 과정을 수행하여야 한다.

3. 맺는 말

위험성 평가의 정량화는 위험성 수준의 산정, 위험성 제어 전략의 수립, 비상대책 및 방재 대책에 활용될 뿐만 아니라 보험요율의 책정에도 응용될 것이다. 조만간 정량적 위험성 평가 방법들은 화학공장의 위험성 평가에 있어서 핵심부분이 될 것이며, 향후 정량적 환경 평가를 첨가하는 SEMS(Safety and Environmental Management System)의 중추역할을 할 것이다.

화학공장의 정량적 위험성 평가를 위해서는 평가에 필요한 공정, 장치 고장, 인적 오류, 기후, 주변 환경들에 대한 관련 데이터 베이스들과 효율적으로 연계되어야 하며, 정성적 평가방법들과 연계하여 효율적으로 적용하여야 하며, 기존에 개발된 정량화된 모델식 및 방법들의 검증 및 장·단점 파악이 필요하다. 또한, 위험성 평가방법에 관련된 값비싼 외국의 소프트웨어들에 대응할 수 있도록 국내 실정에 맞는 정성적 및 정량적 평가방법을 위한 소프트웨어들의 개발도 절실히 요구된다. 이를 위해 산학 및 관련 기관들의 협동 체계는 다른 어느 연구 분야보다도 절실히 필요하다고 사료된다.☉