

## 공정시설의 중대사고에 따른 예상손실액 산정 및 대책연구

구남주, 임차순, 고재욱  
광운대학교 화학공학과

### 1. 서론

경제 및 산업구조를 근대화시키기 위한 정부의 중화학공업 육성정책에 의해서 발전을 지속한 국내 화학공업은 선진국보다는 20~30년이 늦은 60년대 말부터 본격적으로 시작되었다. 1960년대 이후 이러한 화학공업의 발달은 산업발전에 획기적인 전기가 되어 신흥공업국으로 발전하는데 중추적인 역할을 하였다. 그러나 각종 공정 설비의 규모가 증가하고 유해한 화학물질의 사용이 크게 증가함에 따라 대형사고의 위험성도 더 한층 증가하게 되었다. 1974년 영국의 Flixborough의 증기운 폭발사고는 45억달러의 경제적 손실을 가져왔고, 1988년 미국 일리노이즈의 프로판 폭발(BLEVE)사고는 83억달러의 경제적 손실을 유발하는 등 위험물질에 의한 화재, 폭발, 누출과 같은 유형의 중대산업사고들은 1940년대 이후 전세계적으로 끊임없이 발생하고 있으며, 이로 인한 공장의 손실은 물론 주변사회의 경제적, 인명적 손실 또한 큰 비중을 차지하고 있다.

따라서 중대사고로 인한 발생 가능한 사회적, 경제적 손실산정에 대한 연구가 필요하며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 중대사고시 인근 지역 사회에 미치는 사고 영향의 심각성을 각성시키고, 지역사회에서의 비상조치계획수립 및 적절한 위험준비금적립 등의 방법으로 각 사업장에 적합한 위험관리를 실시하도록 하는 근거를 마련하여야 한다.

본 연구에서는 발생 할 수 있는 최악의 상황을 고려한 중대사고를 다루었으며, 특히 증기운 폭발, BLEVE 및 독성가스 누출로 인한 인근 지역에 발생 가능한 손실을 분석하였다. 따라서 중대사고 결과를 가지고 영향 모델에 적용하여 독성 누출에 따른 인적피해와 폭발에 따른 물적피해 및 인적피해의 예상 손실액을 산정 하였다.

### 2. 영향평가 및 위험관리 절차

정량적 위험성평가는 주변재산 및 인명에 영향을 줄 수 있는 위험성을 규명하고, 위험성의 결과를 평가함으로써 위험에 대한 대비책을 마련할 수 있다. 위험성을 규명하고 그에 대한 결과의 산정과정은 그림 1과 같다. 규명된 위험 및 결과를 통제하고 관리하기 위해서는 적절한 위험관리 기법이 적용되어야 한다.

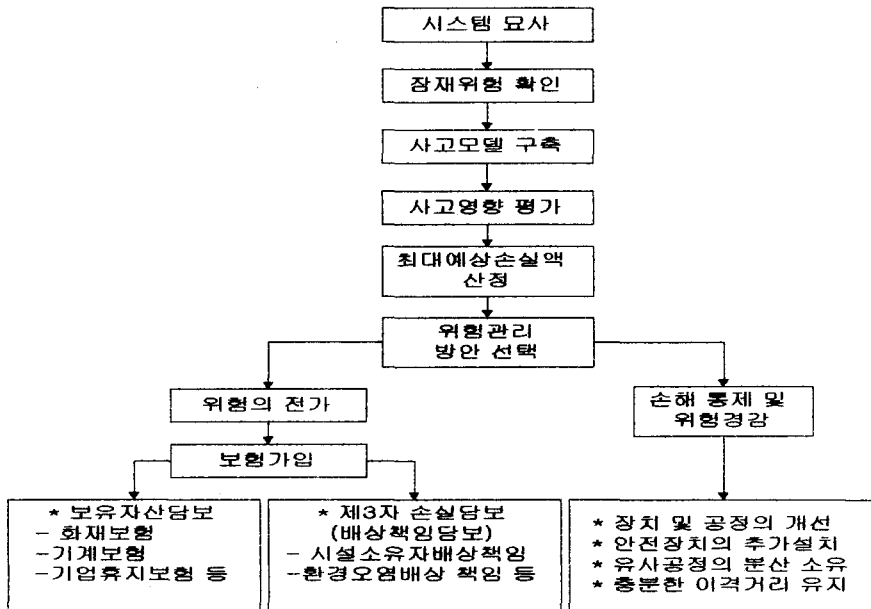


그림 1. 영향평가 및 위험관리 절차

### 3 사고 모델 구축

해당 화학공장에서 발생할 수 있는 적절한 결과모델을 구축하기 위하여 해당 사업장에서 사용중인 가연성물질 및 독성물질의 누출시 발생할 수 있는 모든 결과들을 고려하여야 한다. 이러한 물질이 장치나 공정상의 결합으로 누출되었을 때 발생할 수 있는 결과는 각기 물질의 위험특성에 따라 다르다.

독성이 낮은 가연성 물질의 경우, 화재와 폭발의 발생 가능성이 높으며, 가연성이 낮고 독성이 높은 물질의 경우 확산을 통하여 인체에 미치는 위험도가 더욱 높다. 이러한 구분이 불확실한 물질의 경우에는 가능한 결과, 즉 화재와 폭발, 확산을 통한 인명에 대한 피해정도 모두를 계산하여야 한다.

따라서 사고모델은 최대 예상손실 계산을 위하여 시스템 묘사와 잠재위험 확인 과정을 거쳐 대량의 위험물질을 취급, 저장하는 저장시설 및 공정시설 또는 독성이 강한 위험물질을 다루는 장치에 대하여 사고모델을 구축하는 것이 필요하다. 이때, 사고발생조건은 사고에 따른 피해범위 및 손실이 최대가 될 수 있는 조건(Worst Case)을 가정하였다.

### 3. 중대사고에 따른 예상손실액 산정

계산과정에서 가정되는 것은 누출모델, 분산모델, 영향모델 등에서 각 사고들이 발생할 수 있는 최악의 조건을 가정한 것이다. 이러한 최악의 조건은 최대 예상손실액의 계산을 위한 것이다. 최대 예상손실액은 물적손실액과 인적손실액을 합산한 금액으로 평가된다.

### 3.1 예상물적손실액

주변자산의 물적손실액에 대한 평가는 강도분석을 통해 파악된 피해범위 내에 위치한 주변자산을 금전적으로 평가하는 것이다. 주변자산에 대한 평가는 건물 및 동산위주로 계산하는 것이 중요하며, 이중 건물은 한국감정원에서 발간하는 신축단가표에 따라 평가한다. 신축단가표는 건물의 구조 및 사용목적에 따라 각 평방미터 신축가액을 산출하여 각 건물의 면적에 곱한 금액이다. 즉, 건물의 연면적이 100㎡이고, 평방미터당 신축단가가 52만 6천원이라면, 그 건물의 가액은 5,260만원이 되는 것이다.

### 3.2 예상인적손해액

중대사고에 따른 인명피해시 화학공장의 운영주체가 피해자들에게 배상하여야 할 손해배상금의 총합이다. 이러한 인명피해의 예상인적손해액은 인구자료를 토대로 독성물질 및 폭발사고 발생시의 피해자수를 예상하여 산정한다. 손해배상금은 사망시 현재 법원인정 기준으로 장례비, 일실수입, 위자료 및 그 외의 타당한 비용으로 되어 있다

- 장례비 : 가정의례준칙 범위내의 실비로서 보통 200-300만원이 보편적임
- 일실수입 : (월수입액-생활비) × 취업가능월수에 해당하는 호프만 계수
- 위자료 : 사망에 따른 위자료는 1인당 3,000만원.
- ▶ 평균배상금액 : 1억 5천 500만원

## 4. 사례 연구

### 4.1 독성물질 누출 시나리오

독성물질에 따른 최대 예상 손실액을 산정하기 위하여 수원에 있는 ○○공장을 대상으로 하였다. 사고모델은 암모니아를 저장하고 있는 저장탱크와 용접으로 연결된 배관의 파열로 인해 암모니아가 누출되었을 경우로 설정하였다. 3,600초(1시간)동안의 누출량 및 평균누출속도, 확산거리를 평가하였다. 누출모델링 및 피해결과를 계산하기 위해서 상용화된 SuperChems 프로그램을 사용하였다.

#### ■ 저장 탱크 개요

· 대상물질	무수암모니아	· 탱크길이	2.98m
· 탱크지름	1.97m	· 저장온도	5℃
· 저장량	4,926kg	· 대기압력	1기압
· 저장압력	5atm	· 풍속	1.5m/s
· 배관직경	2cm	· 상대습도	65%

■ Pressurized Liquid Discharge Model

저장량(4,926kg)의 약 99 %가 누출되는데 걸리는 시간은 3,403 초(약 57 분)며, 평균 누출속도는 1.44kg/s, 10분간 누출량은 864Kg으로 평가되었다.

■ Continuous Heavy Gas Model

암모니아의 누출로 인한 확산거리에 따른 농도가 암모니아의 LC50(2,000 ppm/4시간, 흡입-라트)의 10%(200ppm)에 도달하는 시간은 누출 후 약 1,431초 후가 되며 그때의 거리는 약 1,128m로 평가되었다.

4.2 최대 예상 인적 손실액 산정

각 20, 40, 60, 80, 100% 일 때의 거리와 농도를 알아보면 다음표와 같다.

차사율(%)	농도(ppm)	Downwind	Semi-width
20	9,200	160	82
40	10,775	150	80
60	12,350	140	78
80	14,472	132	77
100	21,590	75	50

위의 표로부터 피해면적을 산출 할 수 있으며, 인구밀도를 이용하여 인적피해 사항을 산정할 수 있다.

- 수원시 면적 : 121.20 km<sup>2</sup>
- 수원시 인구 : 76만 7천명
- 수원시 인구밀도 : 0.0633명/m<sup>2</sup>

차사율 (%)	피해 면적 (m <sup>2</sup> )	최대 예상 피해자수
20	1,759	2
40	1,696	4
60	1,118	5
80	10,075	50
99	5,890	37
합계	20,608	98

■ 총 배상금액 산정

최대 예상피해자수 × 1억 5천 5백만원 = 94억 6천만원

위의 결과로부터 ○○공장은 약 95억이라는 막대한 잠재 배상위험을 가지고 있으며, 이러한 금액은 자체 위험으로 담보하기에 어려우므로 위험의 전가를 통하여 위험을 피하여야 한다. 따라서 배상책임을 가입하는 것이 위험관리의 방법으로 적절하며, 보상한도금액은 약 95억으로 산정 하여야한다.

## 5. 결론

사회적 부담을 줄이기 위하여 각 기업은 사업을 운영하는데 있어서 발생할 수 있는 최대한의 손실액을 추정함으로써, 적절한 대책을 세우는 것이 중요하다. 낮은 손실액이 예상되는 사업장의 경우, 위험의 보유 및 위험설비에 대한 안전설비 등의 확충을 통하여 잠재적 위험에 대한 대비가 충분하지만, 막대한 손실을 가져오는 사업장의 경우, 자체 위험의 보유가 실질적으로 적절하지 못하므로, 위험의 전가중 보험 및 위험준비금 적립 등의 방법을 통하여 막대한 손실을 발생시키는 중대사고 위험에 대비하여야 할 것이다.

보험을 통하여 위험관리를 수행하는 경우, 국가생활과 기업활동의 경제적 안정성이 향상되고 더욱 사회의 안정을 도모하는 보험의 기능을 달성할 수가 있다. 그러므로 대형사고로 인한 사회적 부담을 줄일 수 있다. 각 기업의 지속적인 사업영위를 위하여 중대사고에 의해 발생할 수 있는 최대한의 손실액을 추정함으로써 해당사업장의 배상책임 가입시 적정한 LOL(보상한도액)을 제시함으로써 효율적인 위험관리는 물론 최적의 보험관리가 이루어질 수 있을 것이다.

## 6. 참고문헌

1. "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis"  
AIChE/CCPS, New York, 1989.
2. "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs", AIChE/CCPS. New York, 1994.
3. Crowl, D.A., Louvar J.F., "Chemical Process Safety Fundamentals with Applications", Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
4. Lees, F. P., "Loss Prevention in the Process Industries, Butterworths", 1996.
5. "화재·폭발 위험분석 실무지침", 한국화재보험협회, 1998.