

# 유해화학물질 사고 예방전략

화학물질은 제조·사용·폐기 등 전 과정에서 다양한 경로를 통하여 인체와 환경에 치명적 재난을 가져올 잠재력을 가지고 있으므로 사업장 내부뿐만 아니라 Off-site의 영향까지 사전 예측하여 관리하는 종합적인 화학사고 예방 제도의 도입과 관련 연구 필요성이 제기되고 있다. 즉 기존의 단면적, 정성적이며 기술적 측면, 인허가를 위한 예방 중심, 설비 중심의 화학사고 대응 방식에서 포괄적, 적극적, 생산적, 정량적이며, 인문·사회학적, 다차원적 방식으로 확대가 반드시 이루어져야 한다.

## ▶ 박 교 식 | 명지대학교 화학공학과 교수

서울대학교 화학공학과/한국과학기술원 화학공학과 석, 박사/미국 텍사스 A&M대학 화공과 Post Doc.  
한국가스안전공사 가스안전연구개발원 실장, 터키 Middle East Technical Univ. 화공과 교수, 서울대학교 화학공정신기술연구소 객원연구원 등 역임  
tel. 031-330-6385 | hwayi21@empas.com

## 1. 유해화학물질 사고대비 안전관리 선진화 필요성

우리나라의 석유화학 산업은 1970년대 정부 주도 육성을 바탕으로 1990년대 이후 민간 주도의 급격한 발전을 이루면서 생산과 수출량이 꾸준히 증가하여 2012년 현재 에틸렌 생산량 기준 세계 5위, 일차에너지 소비량 세계 9위, 사용 화학물질이 약 50,000여종에 이르는 세계적인 화학 대국으로 성장하였다. 또한 21세기 들어 화학 산업은 에너지·화학 산업이라는 기존의 틀에서 벗어나 나노·무기소재, 정밀유기화학, 반도체, 전기화학, 생물공학, 환경공학 등 다양한 형태로 미래 부가 가치를 생산하고 있어서 고부가 가치 신물질 및 신제품 생산을 위한 화학 산업의 범위 확대에 말미암아 기존의 에너지·화학 산업에서 경험하지 못한 고압, 고온 등 가혹한 조건의 생산 방식과 잠재적으로 유독한 유해물질 사용의 선택이 불가피해 지고 있다. 게다가 화학산업의 범위 확대는 기존의 화학사고 안전관리의 방식이 중복적으로 적용될 가능성이 높고 이로 인해 일관성이 결여될 가능성이 크다. 특히, 2012년 9월 27일 구미 불화수소 누출사고 등 최근 빈번히 발생하고 있는 사고를 통해 화학물질 사고로 인한 피해는 사업장 내부에만 국한되는 것이 아니라 사업장 외부까지 확대되어 엄청난 환경재난을 가져올 수 있음을 경험하였다. 또한, 최

근 잇달아 터진 사고를 통해 화학물질 관리 및 화학사고 대응에 대한 한계점이 노출되고 국민들의 불안감이 가중되고 있다.

한편 화학물질은 제조·사용·폐기 등 전 과정에서 다양한 경로를 통하여 인체와 환경에 치명적 재난을 가져올 잠재력을 가지고 있으므로 사업장 내부뿐만 아니라 Off-site의 영향까지 사전 예측하여 관리하는 종합적인 화학사고 예방 제도의 도입과 관련 연구 필요성이 제기되고 있다. 즉 기존의 방어적, 단면적, 정성적이며 기술적 측면, 인허가를 위한 예방 중심, 설비 중심의 화학사고 대응 방식에서 포괄적, 적극적, 생산적, 정량적이며, 인문·사회학적, 다차원적, 사전예방, 대응 및 사후처리 전 과정 중심, 설비 및 인적 시스템 중심으로의 방식으로 확대가 반드시 이루어져야 한다. 이에 따라 미국과 유럽의 환경관리제도를 살펴보고 우리나라의 장외영향 평가제에 대하여 간단히 소개 한다.

## 2. 국내외 사고예방 및 관리제도

미국의 위해관리계획(RMP, Risk Management Plan)과 유럽 각국의 LUP(Land Use Planning)는 유해화학물질의 누출에 따른 환경의 영향을 고려한 제도로서 위험물을 취급하는 시설 주변의 토지이용계획 수립 시 다음의 3가지 방법론이

있으며 이를 우리나라의 실정에 맞게 적용할 필요가 있다. 즉 우리나라의 경우 이용할 수 있는 토지가 한정되어 있으므로 위험물을 취급하는 시설을 산업체에서 가동하거나 새로이 건설할 경우 거주지역 등 취약성이 큰 시설과 경쟁할 수밖에 없는 입장이다. 이에 대하여 우리나라에서는 다음의 방법론을 경우에 따라 적절하게 적용함으로써 위험시설로부터 주변 시설의 안전을 확보하고 산업체의 생산 활동에 가급적이면 지장을 주지 않도록 유도함이 바람직하다.

**적용 방법론**

**- 영향중심의 접근**

- 몇 개의 타당한 시나리오에 대한 영향을 평가하여 적용
- 치명적인 효과나 심각한 부상을 유발하는 영향범위만을 보여줌

**- 위험도 중심 접근**

- 가능한 사건 시나리오에 대한 영향을 평가하여 적용
- 영향범위는 물론 관련 가능성을 구하여 위험도수준 결정

**- 상세분석대신일반적인(Generic)거리 개념을 도입하여 결정에 활용**

- 산업체의 환경에 대한 영향에 따라 안전거리 적용

우리나라의 경우 장외영향평가제도를 도입할 때 위의 여러 방법을 참조하여 시설의 위험도와 주변 환경에 따라 적용이 용이한 방법을 적용하면서 그 적정성 확보 여부에 따라 추가적인 평가를 실시하는 방법을 모색해야 한다고 본다. 즉 사고의 시나리오에 따라 그 영향을 평가하여 거리를 산정한 후 실제거리와 비교하여 영향거리보다 실제거리가 큰 경우 이를 적합하다 보며 영향거리보다 실제 거리가 짧을 경우, 상세분석대신 '일반적인(Generic)'빈도자료를 활용하여 위험도를 평가하여 그 결과에 따라 사후 관리의 정도를 판단한다. 일반적인 빈도자료를 이용하여 평가한 위험도가 일정수준 이상이면 추가의 완화조치나 시설의 특성을 고려한 빈도의 활용 등을 통하여 충분한 안전성을 확보하도록 제한한다.

**해외 관련제도**

**- 미국의 RMP**

미국은 사고의 발생으로 인한 위험이 사업장 외로 미치는 시설에 대하여 1999년부터 이 제도를 시행중이며 주요 요소로는 다음 표와 같이 위험성평가(Hazard Assessment), 예방프로그램(Prevention Program), 비상대응프로그램(Emergency Response Program) 등이다. 기술적인 내용을 체계적으로 정리하고 있어서 최악의 시나리오 선정시 관련 조건과 인화·폭발성 및 독성으로 대표되는 위험물질의 물리·화학적 특성, 누출성상, 기상조건 등에 따라 사고 시나리오를 도출하는 방법을 우리나라 제도 도입시 참조하면 바람직하다고 본다.

Table 1. 미국 RMP의 주요 구성요소 및 내용

위험성평가 (Hazard Assessment)	누출사고의 잠재적 영향, 과거 5년간의 사고사례, 최악의 시나리오, 대안적 누출사고의 평가
예방프로그램 (Prevention Program)	안전예방, 유지, 모니터링, 근로자 훈련 방법
비상대응프로그램 (Emergency Response Program)	비상응급조치, 근로자 훈련, 사고 시 비상기관, 대중에게 정보제공

**- 유럽의 LUP**

유럽은 1970년대 초 잇따른 화학물질사고와 이에 따른 영향이 인근 국가에 영향을 미치는(Cross-frontier) 것에 대비하여 세베소지침을 1982년 공표하고 EU회원국들이 각국 실정에 맞추어 채택하게 하고 있다. 이에 따라 세베소 지침을 유럽 각국이 국내법화 하는 과정에서 서로 다른 방법론을 채택하고 있어서 일반적 안전거리, 결과 중심 접근, 리스크 중심 평가의 3가지 접근법과 토지사용계획의 사용 여부에 따른 비교는 다음과 같다.

- 독일은 일반적인 안전거리개념을 도입하여 "사고시 영향"에 근거하여 규제

- 가용한 최상의 기술을 적용하였다는 가정하에 영향만을 고려하였으므로 시설별로 확보하여야 할 안전거리가 상대적으로 큼

- 영국과 네덜란드는 위험성개념을 도입하여 “사고시 영향”과 “사고의 발생확률”에 근거하여 규제
- 영향이 크더라도 빈도가 매우 적거나 빈도를 줄일 수 있는 방법을 강구하여 위험성에 근거한 규제를 시행함으로써 유해물질취급시설의 운영에 탄력성을 더함

Table 2. 대표적인 사고 시나리오 및 영향 범위

시나리오	적용시설	효과
BLEVE (비등액체화구폭발)	액화 가연성 가스	열방사, 과압
UVCE (개방계증기운폭발)	액화 가연성 가스	과압
제트 화재	액화 가연성 가스, 가연성 가스, 고압 가연성 액체	열방사
풀 화재	가연성 액체	열방사
내용물 유출	액화/비액화 독성 가스 저장용기	독성 흡입

### 3. 우리나라 장외영향평가제도의 구성 및 운영

장외영향평가에 필요한 항목은 기본 평가 정보, 장외영향평가정보 및 타법과의 관계정보이며 다음과 같은 내용을 포함한다.

#### 기본 평가정보

##### ○ 구성

- 화학물질의 목록 및 유해성 정보
- 취급시설의 공정 안전 관련정보
- 취급시설의 입지정보 및 인근지역의 입지정보

##### ○ 운용

- 필요시 위해관리계획서와 공유
- 업체에서 인허가시 제출할 서류를 최소화하고 법규간의 중복성을 최소화하기 위하여 공정안전보고서/안전성향상계획서 상의 내용을 그대로 활용

- 취급시설의 목록, 명세, 공정정보, 운전절차 및 유의사항 등
- 도시지역 · 공업지역 등의 지역구분, 공공 · 환경 수용체 등의 인근지역의 외부 수용체 분석
- 주변 환경에 대한 항목을 도출하기 위하여 영국 COMAH와 미국 RMP의 지역구분 및 외부 수용체 등 항목 분석
- 국내 주변 환경 항목의 현황 분석
- 지역구분, 인구 및 환경 항목과 관련하여 정보를 제공하고 있는 통계청, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 등의 정보제공 현황을 분석
- 장외영향평가에 활용할 주변 환경에 대한 항목을 도출할 때 주변 환경 항목에 대한 국내의 비교 분석을 통해 장외영향평가에 활용할 항목을 도출하고 전문가의 검토를 거쳐 최종 항목 선정

#### 장외 평가정보

##### ○ 구성

- 취급하는 유해화학물질의 종류
- 유해화학물질의 위험 유형
- 용기 또는 배관의 저장량
- 운전온도 및 운전압력 등 운전조건

##### ○ 운용

- 사고위험분석 실시
- 위험요인을 크게 최대저장량, 고온/고압 운전조건, 독성, Light Component, (유지보수/인적요인) 등 5가지로 분류하고 이에 해당하는 장치 · 설비를 중심으로 위험성 평가
- 사고 시 영향은 독성물질 누출, 인화성 물질의 지연점화로 인한 증기운 폭발(VCE, Vapor cloud explosion), 즉 시점화로 인한 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), Pool 화재, Jet 화재 등 5가지로 구분(표 2 참조)
- ※ 각 위험요인별로 해당 기기를 선정하고 취급물질 및 운전조건에 따라 매트릭스를 작성하여 발생가능성이 큰 사고시나리오 도출

- 사고 시나리오 도출

- 사고위험분석 실시 결과 사고의 가능성을 분석하여 각각의 시나리오 번호로 나뉘어 영향으로 정리
- 독성 노출, 증기운의 폭발(VCE)에 의한 폭발과압 영향, 혹은 액상누출후 물이 형성되고 여기에 점화원이 있어서 발생하는 풀화재에서의 복사열에 의한 피해 등
- 이 중 그 영향이 커서 중대한 사고로 분류되어 추가의 보완조치가 예상되는 사고 시나리오에 대하여 분석후 결과에 따라 보완조치의 필요여부 결정
- 최악의 사고 시나리오란 유해화학물질의 최대량이 저장용기 또는 배관 등에서 화재·폭발 및 유출·누출되어 사람 및 환경에 미치는 영향범위가 최대인 경우의 사고시나리오를 말함(즉, 여러 조건을 고려하여 영향을 미칠 수 있는 거리가 최고인 시나리오를 말한다).
- 대안의 사고 시나리오란 최악의 사고 시나리오보다 현실적으로 발생 가능성이 높고 사람이나 환경에 미치는 영향이 사업장 밖까지 미치는 경우의 시나리오를 말함. 이 때 수동적(Passive) 및 능동적(Active) 완화시스템을 모두 고려함

- 안전성 확보방안

- 기술적 대책과 관리적 대책을 구분하여 작성
  - \*수동적 완화장치 : 방류벽, 방벽, 배수로, 피치 등
  - \*능동적 완화장치 : 살수설비, 세정기, 수막설비, 긴급 차단 시스템 등
- 관리적 대책
  - \*설비·장치의 유지보수 계획, 자체 점검계획, 변경관리 및 가동 전 점검계획 등 시설 및 설비·장치의 기능과 성능을 유지 또는 개선하기 위한 각종 조치계획 포함

- 위험도 산정식

$$\text{위험도} = (\text{영향범위 내 주민수}) \times (\text{주요기기 고장빈도}) \times (\text{보완조치에 의한 안전성향상도})$$

장외영향평가서의 적용

○ 신규 시설에 적용할 경우

- 유해화학물질 취급시설을 신규 설치·운영하고자 할 때에 해당
- 기존 시설에서 일정규모 이상 변경시에 해당
  - 동일 사업장내 단위설비 용량의 100분의 50이상 증설
  - 유해화학물질을 보관·저장, 제조·사용하는 단위설비의 설치 위치가 사업장 부지 경계로 변경되는 경우
  - 환경부 시행규칙 제28조제1항1호에 따른 유해화학물질 영업변경 허가사항에 해당되는 경우

○ 기존 시설에 적용할 경우

- 유해화학물질 기존 취급시설에 대한 최초 제도시행시에 해당

영국이나 미국의 경우 일정수량 이상을 취급하는 사업장을 대상으로 LUP나 RMP제도를 적용하고 있으나 우리나라는 모든 사업장이 대상이어서 합리적인 제도적용을 위한 운영상의 보완이 필요하므로 일정 규모이하의 위험물을 취급·저장하여서 사고시 그 영향향이 장외로 미치지 않는 시설에 대해서는 간이장외영향평가를 실시하고 보고서를 제출하게 할 필요가 있다. 대상시설 선정시 주요 고려인자로는 업종별(또는 영업형태별), 취급설비의 특성, 과거 사고이력, 인근 지역 인구현황, 외부 수용체(공공·환경) 등과 위험물의 저장량, 독성(혹은 인화성) 등을 고려한다. 이에 따라 간이평가서 제출대상 선정을 위한 규정수량 적용 알고리즘은 영국의 COMAH와 미국의 RMP의 기준 및 국내 타법규를 참조하여 제시될 것이다.

