

# 산업재해의 위험관리와 안전대책



李 允 容

〈한국과학기술원  
측매·분리공정 연구실장  
·공학박사〉

## 1. 서론

공업이 발전하고 경쟁이 심화됨에 따라 생산규모는 대형화되고 있다. 생산공정은 더욱 복잡해졌고 인화성물질이나 독성물질 같은 위험물질을 대량으로 처리하는 공장이 늘어나고 있다.

산업재해 위험도 따라서 높아지고 있고 그 피해도 대형화되고 있는 추세에 있다. 이제 산업재해는 한 공장의 사업상의 손실에 그치지 않고 물자유통의 혼란을 야기하여 타산업에 막대한 지장을 초래할 뿐 아니라 인근 지역주민의 생명과 재산을 위태롭게 하는 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

우리나라와 같이 국토가 좁고 인구가 과밀한 나라에서는 공업화추진과 함께 앞으로 이 산업재해방지와 안전대책에 대해서는 어느 나라에서 보다도 중요하게 다루어져야 할 것으로 생각된다.

산업재해를 방지하기 위해서는 공장을 건설하기전 즉, 공장을 계획하고 설계하는 단계에서부터 공장안전에 대한 우선적 배려를 하지 않으면 안된다. 재해를 유발할 수 있는 모든 요소를 면밀히 검토하고 이에 대한 적극적인 대처를 세워야 한다.

본고에서는 화학공장을 예로 몇가지 중요한 재해방지와 안전대책에 관하여 기술하고자 한다.

## 2. 공장재해요인

20년간 발생한 화학공장의 재해를 조직적으로 분석한 한 보고서<sup>1)</sup>에 따르면 화학공장의 재해는 다음과 같은 요인에 의하여 일어난다.

- 부적합한 공장입지
- 부적합한 공장배치
- 부적격 구조물
- 물질지식 결여
- 위험공정 안전대책 결여
- 물질이송기술 불량
- 운전실수
- 장치결함
- 효율적 재해방지계획 결여

이 보고서는 화학공장재해의 80%가 공장에서 취급하는 물질에 대한 인식부족, 위험공정에 대한 안전대책미비, 운전실수 및 장치결함에 의하여 일어났고 재해의 특징은 대량의 인화성물질, 불안정화합물 및 먼지폭발에 의하여 화재와 폭발로 이어지고 있음을 지적하고 있다.

### 위험물에 대한 정보

구분	내용	비고
용도	위험에 관한 일반지식 예방에 관한 일반지식	
소방방법	법규 예방 안내책자 예방대책에 관한 근거자료	
특성-모든 공정조건 하에서의 적당한 평가	화학식(화학구조) 순도, 물리적상태, 형태, 냄새, 감지가능 농도	
물리적 특성	분자량, 증기밀도, 비중, 용점, 비점, 용해도 또는 혼화성, 점도, 입자크기, 기포발생 또는 유화특 성, 임계온도 및 임력 팽창계수, 표면장력, Joule-Thompson 효과, 점결성질	
부식성	오염요인(같이 저장할 수 없는물 질), 산화제 또는 환원제, 위험한 반응	
인화성 정보	인화점, 연소점, 인화한계 (L.E.L., U.E.L.), 착화온도, 자연발화, 증기압, 유전상수, 전기저항	
반응성(불안정성) 정보	electrical group 면지의 폭발성정 시차열분석(DTA), 충격시험, lead block test, 폭발에 의한 폭발전파, 방출무게시험, 열분해 시험, 감용시험, 자체가속온도, card gap test (under con- finement), JANAF, 임계직경, 발화성	
독성정보	독성시험(독성의) 시초한계값 (T.L.V.), 최고허용농도 (M.A.C.), 치사농도(LC <sub>50</sub> ), 치사량(LD <sub>50</sub> )	
생물학적 성질	노출효과 흡입, 호흡기 자극, 섭취, 피부와 눈 자극	
필요한 방사성 정보	방사능조사: 알파, 베타, 감마, 그리고 중성자 노출, 방사능 오염	

### 3. 위험물질

우선 공장의 안전조업을 위해서는 공장에서 취급하는

모든 물질, 즉 원료, 부원료, 반응중간체, 촉매, 부산물, 제품 및 폐기물에 이르기 까지 모든 물질의 성질과 특성을 잘 파악하는 것이 중요하다.

인화성물질, 독성물질, 부식성물질, 방사능물질, 폭발성물질, 산화성물질 및 극온·극냉물질과 같은 위험물질에 관해서는 단순한 분자구조식이나 조성과 같은 일반적 성질 외에 표1에 표시한 것과 같이 폭발한계, 부식성, 반응성, 독성, 노출영향, 방사능위해등 광범한 지식과 정보를 갖추고 위험의 성격과 규모를 판단하여야 한다.

공장화재와 폭발의 주원인이 되는 인화성물질에 관해서는 폭발한계농도, 인화점, 발화점 외에 입자의 크기등 성상과 공정조건에서의 영향도 고려해야 한다.

어떤 화합물은 햇빛이나 약한 화기에도 쉽게 폭발하며 또 약한 충격에 의해서도 폭발하는 화합물도 있다. 이러한 물질을 저장하거나 이송하는데는 각별한 주의가 있어야 한다.

인체에 유해한 독성물질을 취급할때는 최대허용농도, 치사농도, 치사량, 인체 침입경로 및 증상등에 관한 정보를 갖추고 호흡기, 피부, 눈에 접촉되지 않도록 주의하여야 하고 과대한 노출이나 빈번한 노출을 피해야 한다.

### 4. 위험물질의 누출

위험물질의 누출사고는 일차적으로 공장이 잘 설계되고 정밀하게 검사되었다면 정상적인 운전과 보수관리만 잘 하여도 상당히는 방지할 수 있다.

그러나 누출이 있을때 누출물질과 위치를 신속하게 감지하고 차단하여 위험을 감소시킬 수 있는 계기설비를 하여야 한다.

위험물질의 배관은 사고시 과량유출이 일어나지 않도록 설계해야 되고 긴급차단반브를 설치해야 된다.

누출사고는 장치재질이 적합하지 않던가 장치에 손상이 생겨도 일어날 수 있고 공정에 이상이 있거나 운전실수에 의해서도 일어날 수 있다.

누출액체로부터 독성기체가 발생할 수도 있다. 이때는 제독제나 화학약품으로 기체를 무독화 시키거나 그 지역을 폐쇄 또는 연소시켜 처리할 수 있다.

액체표면을 덮어 피해를 줄이는 방안도 있다. 긴급대

처후 누출액체를 폐기하는 방안도 강구해 두어야 한다.

인화성기체가 다량 누출될 위험이 있는 공정은 노천이나 통기가 잘 되는 곳에 설치하여야 한다. 비중이 무거운 기체는 아래쪽으로 모이고 액체도 물성에 따라 불에 뜨거나 가라앉거나 또는 잘 혼합하므로 누출물질의 성질을 잘 파악하여 처리방안을 마련해야 된다.

폐기물 드레인에 위험물질 특히 인화성기체가 축적되지 않도록 특별히 주의하여야 한다.

## 5. 발화원

모든 발화원이 될 수 있는 요소를 점검하고 이들을 인화성 및 폭발성물질 구역에서 제거하거나 차단해야 된다. 발화원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 전기 스파크
- 전등
- 용접불
- 가열표면
- 담배불
- 자연발화
- 발화합금
- 엔진, 가솔린 및 디젤터빈
- 마찰 스파크
- 정전기 스파크
- 발열화학반응
- 방화
- 외부화기
- 기타

마찰에 의한 스파크는 여러 요인으로 부터 일어날 수 있다. 특히 구동기계에 조심을 해야 되고 회전기계에는 스파크가 일어나지 않는 재질을 사용하는 것이 좋다.

정전기 스파크를 방지하기 위해서는 공장의 장치를 도전으로 연결하고 지선(Earth)과 연결하여 국부적인 대전이 일어나지 않도록 해야 된다. 이때 지선저항은 10Ω를 초과해서는 안된다.

액체의 정전기 발생은 교반속도, 혼합속도, 유속이 증가하면 커지고, 액체와 기체가 공존할때 정전기 발생율은 더욱 커진다.

따라서 기체와 공존하는 인화성액체를 관으로 이송할

때는 과대한 유속을 피하는 것이 좋고 받브도 개구가 큰 것을 사용해야 된다.

인화성 액체를 용기에 넣을 때도 주입관과 용기를 지선으로 연결하여 정전기발생을 방지하여야 한다.

정전기는 액체가 튀는 과정에서도 발생하므로 빈 용기에 처음 넣을때는 서서히 넣어 튀지 않도록 해야 되고 주입관이 액중에 잠기게 하여 주입하는 것이 좋다.

고체입자간의 정전기발생은 습기, 입자크기, 입자속도 등에 따라 다르나 인화성 기체가 있으면 입자의 방전이 촉진된다.

또한 가연성입자가 있으면 인화성기체의 폭발하한농도가 더욱 낮게 되어 위험이 증대된다.

## 6. 폭발

폭발사고는 폭풍과 파편으로 공장내에 연쇄적 재해(Domino Effect)를 유발하게 되므로 폭발방지에 적극적인 대책을 세워야 한다.

### 가. 건물과 장치안에서의 폭발

건물안에 누출된 가연성기체로 인해 폭발이 일어나면 급격히 상승한 건물내부압력에 의하여 지붕이나 건물외벽이 무너지고 장치에 손상을 준다. 장치가 폭발하면 파편등에 의해서 인접장치에 연쇄피해를 입힌다.

### 나. 고압액화가스 저장탱크의 균열폭발

고압인화성 액화가스의 저장탱크가 외부 화재등에 의하여 고열을 받게되면 탱크의 균열이 생기고 대량의 액체와 가스가 일시에 외부에 방출되어 커다란 불덩어리를 이루는 폭발을 일으키게 된다. 고압탱크 파편에 의한 피해도 막대해진다.

이와같은 폭발을 BLEVE(Boiling Liquid-Expanding Vapor Explosion)이라고 한다.

저장탱크를 보온하여 외부열을 차단하던가 외벽을 물로 항상 적셔 냉각하도록 하는 등의 대처가 있어야 한다.

### 다. 대기중에서의 폭발

인화성물질이 대기중에 다량 누출되어 많은 양의 인화성기체와 공기가 구름같이 형성된 다음 인화되어 폭발하는 현상(Unconfined Vapor Cloud Explosion)으로 최근 많은 화학공장의 대형폭발사고의 원인이 되고 있다.

## 7. 위험공정

다음과 같은 위험공정에는 특별한 안전설비와 재해방지설비가 구비되어야 하고 위기관리대책이 있어야 한다.

가. 부분적인 과열이나 충격으로 폭발적 반응이 유발될 수 있는 공정

나. 습기나 통상오염물질에 의해서 격렬한 반응이 일어나는 공정

다. 자연중합이나 자연발화가 유발될 수 있는 공정

라. 극심한 온도와 압력을 조래할 발열공정

마. 인화성물질이 다량 유출될 수 있는 고온 고압공정

바. 불안정화합물 취급공정

사. 폭발한계근처 농도에서 조업하는 공정

## 8. 공장배치와 소방

서로 접하면 쉽게 반응하거나 격렬한 반응을 유발할 수 있는 위험물질은 서로 인접하지 않는 곳에 저장하도록 한다.

위험공정이나 공장의 핵심이 되는 공정, 또는 파손위험이 있는 장치는 건물이나 방벽등으로 격리시켜 보호하는 것이 좋다.

발화원이나 소음발생원도 방벽 또는 건물로 격리시킨다. 소방, 보수관리 및 조작상의 효율과 편의를 위해서 공정을 구분하여 배치할 필요도 있다. 이때는 언제나 조작, 보수관리 및 위급사항에 대처할 수 있도록 충분한 공간을 확보해야 한다.

화재예방과 조기진화를 위한 효과적인 감지기기, 경보시스템과 소방시설을 갖추고 종업원에 대한 철저한 교육과 훈련을 실시하여야 한다. 소화제와 소화설비는 공장의 특수상황에 맞는 것을 선택하는 것이 중요하다.

## 9. 표준안전작업교본과 훈련

공장의 모든 공정을 안전하게 운전하고 위기상황에 대처할 수 있는 표준안전작업교본을 작성하여 이를 토대로 종업원의 훈련이 이루어지는 것이 바람직하다. 교본에는 다음과 같은 사항이 포함되어야 한다.

- 공장설명

- 물질의 성질
- 장치설명
- 시운전과 가동중지 순서
- 정상운전 요령
- 안전사항 - 화재, 폭발, 사고, 건강
- 위급사항 대처 요령

교본은 공장의 안전사고, 불발사고, 유사한 공장의 재해사례를 토대로 계속 보완하고 수정하여야 한다. 원료가 대체되거나 새로운 공정과 장치가 도입되는 경우에는 지체없이 교본을 재작성하여야 한다.

## 9. 결어

화학공장을 중심으로 산업재해방지와 안전대책에 관해서 몇가지 유의하여야 할 사항을 간단히 기술하였다. 공장에 따른 보다 자세하고 구체적인 자료는 전문기술자료와 문헌을 참조하여야 한다.

그러나 재해위험이 없는 완전무결한 공장을 건설한다는 것은 불가능한 일이라고 할 수 있다.

결국 공장의 안전과 재해방지는 궁극적으로 경영인, 기술자와 모든 공장 종업원의 협동과 헌신적인 노력에 의하여 이룩되는 것이다. 특히 최고경영인의 관심과 격려가 무엇보다 중요하다는 것을 강조하고 싶다.

### ■ 인용문헌

1. Arthur Spiegelman, "Risk Evaluation of Chemical Plants", Loss Prevention, Vol 3, ICEP, 1969.
2. G. L. Wells, C. J. Seagrave, and R. M. C. Whiteway, "Flowsheeting for Safety", I. Chem. E. England, 1976.
3. R. S. Al-Ameeri, S. A. Akashah, A. M. Akbar and H. S. H. Alawi, "A \$100-million vapor cloud fire", Hydrocarbon Processing, 181, Nov, 1984.
4. G. L. Wells, "Safety review and Plant design", 241, Jan, 1981.
5. "Fire Protection Handbook" 14<sup>th</sup> edition, National Fire Protection Association, Boston, Mass, 1976.