

석유화학공장의 안전관리대책



閔 浩 基
〈유공 안전·환경팀장 부장〉



1. 머리말

인간의 안전에 대한 욕구는 생리적 욕구에 이어 가장 근본적인 욕구 중의 하나로 인간의 창조와 더불어 우리의 일상생활에서 추구되어 왔다.

그러나 산업체에서 안전관리가 기업 경영 차원의 문제로 인식되어 경영활동에 도입되기 시작한 것은 1900년초 美國 US Steel회사 게리(Gary) 사장에 의해서이다. 게리 사장은 당시 불황임에도 불구하고 휴머니즘에 입각하여 종업원 상해 방지에 많은 노력을 기울인 결과 종업원의 이직율도 낮아지고 또한 생산성도 향상되어 결과적으로는 회사에 큰 이익을 가져오게 되었다고 한다.

그 후 산업체의 안전관리는 1930년대 안전관리의 아버지로 불리우고 재해연쇄 이론을 주장한 하인리히(Heinrich)에 이어 이후 버어드(Bird)등에 의하여 체계가 확립되어 가면서 사고의 개념도 우리가 흔히 안전관리로 생각하고 있는 인간의 상해에만 국한되는 것이 아니라 결합이 있는 작업조건(Defective Working Conditions)과 부적절한 작업방법(Improper Work Practice)에 의해 초래되는 계획되지 않는 사상(Event)으로 그 범위를 넓혀오고 있다.

산업시설 중 정유 및 석유화학공장과 같은 화학공장은 1980년대에 들어서 650여명이 사망하고 7,000여명이 중상을 입은 멕시코시티 LPG 폭발사고('84년)와 2,500여명이 사망한 인도 보팔 MIC 누출사고('84년)를 필두로 손실액이 14억 달러에 달하는 美國 파사디나 석유화학공장 폭발사고('89년) 등 많은 대형사고가 발생하여 엄청난 인적·물적 손실을 초래하였으며, 1990년대 접어들어서는 화재·폭발 사고 건수가 더욱 증가하여 '90년~'92년 3개년만 하더라도 물적손실액이 1천만달러를 넘는 사고가 총 29건이나 발생하였다. 화학공장의 이와 같은 대형사고는 사고회사의 기업존폐 자체에도 영향을 줄 뿐 아니라 '89년 美國 파사디나 석유화학공장 폭발사고 이후 이 공장에

서 생산하는 제품인 폴리에틸렌 가격 폭등에서 경험하였듯이 제품공급 불안정으로 관련 사업 전체에까지 크게 영향을 끼치고 있다.

따라서 이제 화학공장의 안전관리는 국제노동기구(ILO)의 코드(Code) 및 美國의 산업안전보건법규에서 알 수 있듯이 추락, 전도, 협착 등에 의한 종업원 인체상해사고 방지 차원에서 벗어나 화재·폭발 또는 중독을 일으킬 수 있는 유해·위험 물질의 누출방지와 누출시 피해 최소화에 많은 노력을 기울이고 있는 바, 본고에서는 석유화학공장의 위험성을 알아본 후 사고 예방 및 비상조치계획 마련과 관련 현재 (주)유공이 수행중인 업무를 개략적으로 소개하기로 한다.

2. 석유화학공장의 특징

1989년 10월 23일 오후 1시경 美國 텍사스주 파사디나에 있는 필립스석유화학공장(Philips 66 Company Houston Chemical Complex)에서 폴리에틸렌 공장을 수리하고 있던 중 갑자기 밸브를 통해 가스가 유출되면서 수십초 내에 점화, 전 공장(두개의 폴리에틸렌 공장)이 폭발된 사고가 발생하였다.

이 사고로 종업원 24명이 사망하고 130여명이 중경상, 그리고 14억달러 이상의 재산 손실이 발생하였다. 이 사고는 폴리에틸렌을 생산하는 설비의 부속품에 지나지 않는 하나의 밸브의 결합에 의해 발생되었지만, 그 결과는 너무나 엄청난 것이었다.

최근에 발생한 사고사례를 보면 1994년 10월 19일 오후, 모빌석유의 로스엔젤레스 근교의 토렌스 정유공장에서 26명이 부상을 당하고 그중 4명이 중상을 입는 폭발사고가 발생하였다. 이 사고는 저장탱크에서 정유공장의 알킬레이션 공정으로 연결되는 액화 부틸렌/부탄 원료 공급배관에 설치된 한 밸브의 프렌지가 파손되어 원류가 누출되자마자 기화되어 착화되었다. 이 사고로 알킬레이션 공정이 원료 공급배관 손상으로 조업을 중지하게 되었다.

이와 같이 석유화학공장은 가연성 액체를 취급하기 때문에 운전원의 사소한 실수나 설비의 조그마한 결함에 의한 누출 및 화재·폭발의 위험성은 매우 크며, 또 그런 사고가 났을 때에는 연쇄적으로 대형사고로 발전할 가능성도 높은 플랜트라는 특성이 있는데 그 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 석유화학공장은 각종 가연성 또는 유독성 물질을 원·부원료로 사용하고 이를 대량으로 저장·취급하고 있으며, 제조공정도 고온·고압인 상태에서 가연성 액체를 취급하기 때문에 누출로 인한 화재나 폭발의 위험이 크다.
- 또한 사고발생시에는 대규모 재해로 확산돼 인근 공장까지 영향을 미칠 수도 있으며, 공장위치가 도시와 인접해 있을 경우 지역주민에게도 심각한 영향을 주게 되고 환경오염등 이차적인 재해가 우려된다.
- 중대재해로 인해 장기간 가동 정지시 원료 및 제품 수급상의 특성으로 인해 관련 산업(Upstream 및 Downstream)에 까지 연쇄적인 피해를 유발하는 등 경제 전반에 미치는 영향이 크다.
- 석유화학공장은 설비구조가 복잡하고 공정제어방식이 첨단 자동시스템으로 구성된 장치산업으로, 설계에서 운전, 설비유지관리에 이르기까지 기술전문화가 되어야 하며 설비의 구성요소가 다양해 서로 연관된 각 구성요소에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 고도의 관리와 기술 및 숙련된 경험이 필요하다.

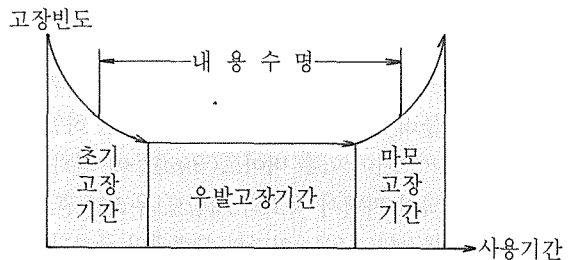
3. 사고발생유형

석유화학공장은 상에서 언급한 바와 같이, 장치산업으로서 기계설비와 계기 및 제어장치로 구성되어 있고 사고발생유형은 아래 그림에서 보는 바와 같이 사용기간에 따라 변화한다.

즉, 초기 고장기간(통상적으로 시운전에서 1년 이내)에 고장빈도가 대단히 높고 따라서 사고의 빈도도 높으며, 그 후에 내용수명기간 동안에 우발고장 기간을

거쳐 어느정도 안정기를 갖지만 다시 시간이 경과되어 노후화됨에 따라 마모고장기간으로 들어가 사고 빈도가 다시 높아지게 된다.

물론 노후화에 의한 마모고장기간은 10년된 공장, 20년 된 공장 등으로 표현하는 물리적인 단순 시간개념으로 이해해서는 안된다. 매년 또는 정기적으로 실시하는 보수작업등의 예방정비적 유지보수의 수준에 따라서는 40~50년이 지난 공장도 여전히 내용수명 내에서 안전한 운전을 할 수 있는 반면, 10년이 안된 공장에서도 이미 마모고장기간에 돌입한 경우를 볼 수도 있다.



사고유형	주 사고원인
초기고장	· 설계 및 자재불량 · 시공 불량 · 설비운전에 대한 경험부족
우발고장	· 작업자의 운전 또는 작업미숙
마모고장	· 기계설비의 피로

4. 사고예방대책

석유화학공장은 펌프, 베셀, 드럼, 타워, 가열로, 배관, 제어장치 및 안전장치등 각종 다양한 설비로 구성되어 있고, 각 설비의 사소한 미비점이 대형 화재·폭발 또는 중독사고로 연결될 수 있으므로 공장의 건설이나 또는 운전시 등 어느 한 분야에서만 주의를 한다고 해서 사고를 방지할 수 있는 것은 아니다. 따라서 석유화학공장의 사고를 효율적으로 예방하기 위해서는 공장의 계획단계에서부터 설계, 건설, 운전 및

설비보전에 이르기까지 경영활동 각단계에서 안전이 보장되고 확보되어야 하는 *Total Safety Management* 가 되어야 하는 바, 각 단계별 주요활동에 대해 요약 하기로 한다.

단 계	주 요 활 동
가. 공장계획단계	<ul style="list-style-type: none"> ○도입 공정(Process)선정시 위험도 반영 <ul style="list-style-type: none"> -물질의 반응성, 부식성, 압력, 온도 등 고려 ○입지 선정시 안전고려 <ul style="list-style-type: none"> -인근 주거지역과의 충분한 이격등 ○안전을 고려한 공장배치 <ul style="list-style-type: none"> -풍향, 지형 등을 고려한 시설물 배치 -위험 시설물간 충분한 이격등 ○공기, 투자비의 적정성 검토 <ul style="list-style-type: none"> -안전 건설을 위한 충분한 공기 확보 등
나. 설계단계	<ul style="list-style-type: none"> ○적절한 설계 Standard 및 Specification 준용 <ul style="list-style-type: none"> -자체기준, ASME, ANSI, ASTM, NEMA, IEEE, API, TEMA, ISA 등 적용 ○시설의 안전기준(Safety Standard) 마련 및 준용 <ul style="list-style-type: none"> -압력제거장치, 긴급차단장치, 가스탐지설비, 안전 인터록(Interlock), 내화(Fireproofing), 설비간 안전거리, 소방시설등 기준 ○공정위험분석(PHA)실시 <ul style="list-style-type: none"> -HAZOP Study, What-if, Check List, FTA, FMEA 등 *HAZOP Study가 가장 일반적으로 사용
다. 건설단계	<ul style="list-style-type: none"> ○자재 구매 및 검수 철저 <ul style="list-style-type: none"> -Vendor 평가시 자재결합 사례 조사 및 활용 -검수절차 마련 및 철저한 준수등 ○협력업체 관리철저 <ul style="list-style-type: none"> -안전교육, 회의, 점검 실시등 ○공사품질관리 철저 <ul style="list-style-type: none"> -용접부 검사등 각종 검사 및 시험철저등
라. 시운전 전단계	<ul style="list-style-type: none"> ○공장위험분석(PHA) 조치결과 확인 ○운전원 확보 및 사전교육 <ul style="list-style-type: none"> -신규 공정인 경우 충분한 기간 사전교육 필요 ○운전절차 수립 <ul style="list-style-type: none"> -시운전, 정상운전, 응급가동정지, 정상가동정지, 응급가동정지 및 정상가동 후의 가동 절차를 구분하여 수립 ○시운전 전 안전점검 실시 <ul style="list-style-type: none"> -안전점검표(Safety Check List)개발 및 활용
마. 운전단계	<ul style="list-style-type: none"> ○초기 운전단계 안전관리 강화 <ul style="list-style-type: none"> -사고가 많은 초기 1년 정도에는 안전점검, 안전회의등 각종 안전활동 강화 ○안전 작업절차 마련 <ul style="list-style-type: none"> -Lockout/Tagout, 화기작업허가, 밀폐공간출입, 공정출입관리 Interlock by-pass 관리등
바. 설비보전단계	<ul style="list-style-type: none"> ○설비 보전절차 마련 및 시행 <ul style="list-style-type: none"> -예방정비프로그램등 포함 ○설비진단기법 향상

단 계	주 요 활 동
	<ul style="list-style-type: none"> - 신기법 검토 및 도입 ○ 설비관리업무의 전산화 <ul style="list-style-type: none"> - 설비관리정보 Data Base 구축등 ○ 정비작업 표준화 ○ 운전교육 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 신입사원 교육, 직무변경 교육 및 재교육 필요 ○ 사고관리 철저 <ul style="list-style-type: none"> - 사고 발생시 정확한 원인규명, 대책마련 및 전파교육 실시 ○ 변경관리 철저 <ul style="list-style-type: none"> - 설비 및 운전모드 변경시는 공정위험분석(PHA) 실시 - 운전절차등 변경 및 운전원 교육 필요 ○ 주기적 공정위험분석(PHA) 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 매 5년 정도로 정기적으로 실시

5. 비상조치계획

인간은 사전에 계획되지 않았던 어떤 위험에 갑자기 직면하게 되면 이성을 잃어버리고 당황하여 어찌할 바를 모르게 되는데 이러한 형상을 패닉(Panic)현상이라고 한다. 건물에 화재 발생시 화재가 발생하지 않았더라면 별문제 없이 탈출하였을 비상구를 찾지 못하여 수많은 사람이 희생된 사례는 이러한 패닉현상의 결과라고 볼 수 있다. 석유화학공장의 경우도 마찬가지이다. 공정시설에서 화재가 발생하게 된다면 조업을 중단할 것인지, 인근 시설물을 냉각수로 냉각하여야 할 것인지, 종업원들을 대피시켜야 할 것인지, 독가스 화재의 경우 타게 내버려두어야 할 것인지 아니면 소화를 하여야 할 것인지, 공장장은 공장장대로, 생산부장, 생산과장, 안전과장등은 각자 나름대로의 의견을 피력하면 우왕좌왕하다가 대형사고로 진전되어 엄청난 손실을 초래하게 된 사례를 우리는 흔히 접하게 된다. 그러나 패닉현상도 그 위험성을 충분히 인식하고 이에 대처하는 방안을 마련하여 충분한 훈련을 실시한다면 해결될 수가 있다. 불타고 있는 건물 내부로 소방관이 진입하여 인명을 구출할 수 있는 것은 패닉현상 극복의 좋은 예라고 볼 수 있다. 석유화학공장의 경우도

사고필발생의 원칙에 의거 어떻게든 사고는 발생하게 된다. 우리의 기억에 남아있는 대형참사의 경우도 당황하지 않고 효과적으로 대처하였더라면 미미한 사고를 끝나버렸을 것이다. 따라서 사고시를 대비한 비상조치 계획마련은 석유화학공장 안전관리의 중요한 분야중의 하나로 대두되고 있는 바, 동계획시 고려되어야 할 주요사항 몇가지를 기술하기로 한다.

첫째, 흔히 석유화학공장 비상조치계획은 비상연락망과 비상대처조직(진화본부, 소화반, 구급반등)과 같은 전체공장의 인력동원계획만 되어 있고, 각 공정별 특성에 따른 구체 조치계획이 마련되어 있지 않아 동원된 인력이 어찌할 바를 모르고 심지어 구경꾼 밖에 될 수 없는 경우도 있으므로 각 공정별 상세 비상조치 계획이 마련되어야 한다.

둘째, 비상조치계획은 발생가능한 모든 사고 형태 및 사고 시설물에 따라 구분되어 작성되어야 한다. 일반적인 사고 형태로는 화재, 폭발 및 누출등을 들 수 있는데, 태풍, 지진등 천재지변의 경우도 포함하는 것이 좋다. 동일한 화재사고라 하더라도 가열로에서 난 화재와 배관 또는 반응기에 난 화재는 대처방법이 다를 것이므로 사고시설물에 따른 비상조치계획을 구분하여 마련하여야 할 것이다. 각 사고 형태별 비상조치 계획 마련시는 공정위험분석 또는 증기 확산모델등을

적용, 사고 결과를 분석하여 사고의 규모를 예측하고 공장이 보유하고 있는 인적·물적 자원을 평가하여 모든 자원이 효율적으로 이용될 수 있도록 하여야 한다.

셋째, 비상조치계획에는 반드시 대피계획이 포함되어야 한다. 사고를 처리하는데 필요한 인력을 제외하고는 모두 안전지역으로 대피토록 하여야 한다. 최근 국내에서 발생한 포스젠 누출사고시 신속히 대피를 하였더라면 인명피해는 예방하였을 것으로 판단된다. 대피계획에는 회사 종업원 뿐만 아니라 용역업체, 방문객 등 외부인력 대피 계획도 포함하여야 한다.

넷째, 비상조치계획이 마련되면 사고 처리에 참여하는 모든 사람들에게 사고시 각자의 임무를 분명히 알려주어야 한다. 이를 위해서는 전체의 비상조치계획을 교육하기 보다는 사고의 형태별, 사고 시설물별로 개인의 임무 고지표를 제작하여 소지케 하는 것이 비상시 대처에 보다 효율적일 것으로 판단된다.

마지막으로 아무리 좋은 비상조치계획이 마련되었다 하더라도 실제 사고 발생시 계획대로 대처하지 못한다면 아무 소용이 없을 것이다. 전술한 바와 같이 사람이 사고시 당황하지 않고 침착하게 행동하기 위해서는 가상적이라 하더라도 사고에 대한 경험을 갖게 하여 상황에 익숙해지게 하는 것이다. 이를 위해서 정기적으로 비상조치계획에 의거한 가상훈련(Simulation)을 실시하여야 하는데 실제 사고처리에 참여하는 종업원 훈련은 월 1회, 대피 및 구조활동을 포함한 전체적인 가상훈련은 년 1회정도 실시하는 것이 바람직하다.

6. 맺는말

지금까지 석유화학공장의 화재, 폭발 및 누출사고의 위험성과 사고 예방대책 및 비상조치계획을 개략적으로 알아보았다. 석유화학공장의 화재·폭발 및 누출사고는 기업에 막대한 인적·물적손실을 초래하고 경우에 따라서는 기업 존폐에까지 영향을 미칠 수 있으므



로 석유화학공장에서 중점적으로 실시하여야 할 안전 관리분야이다.

석유화학공장의 사고는 대부분 운전단계에서 발생하지만, 그 사고의 원인은 공장 계획단계나 설계, 건설, 운전 및 설비보전단계에 이르는 전 단계에 잠재적으로 숨어 있는 요인들로부터 일어나는 것인 바, 운전 부서 뿐만 아니라 회사의 모든 부서가 적극적으로 참여하는 *Total Safety Management* 체계가 구축되어 실행되어야만 한다.

아울러 사고 발생시 그 피해를 최소화 할 수 있도록 비상조치계획을 각 공정별로 사고의 형태와 대상 시설물에 따라 구분하여 마련하고 정기적인 훈련을 실시하여 사고시 효율적으로 대처할 수 있도록 하여야 할 것이다. ♣