폐수탱크 폭발사고

김 동 일
〈위험관리 정보센터 과장〉

1. 머리말

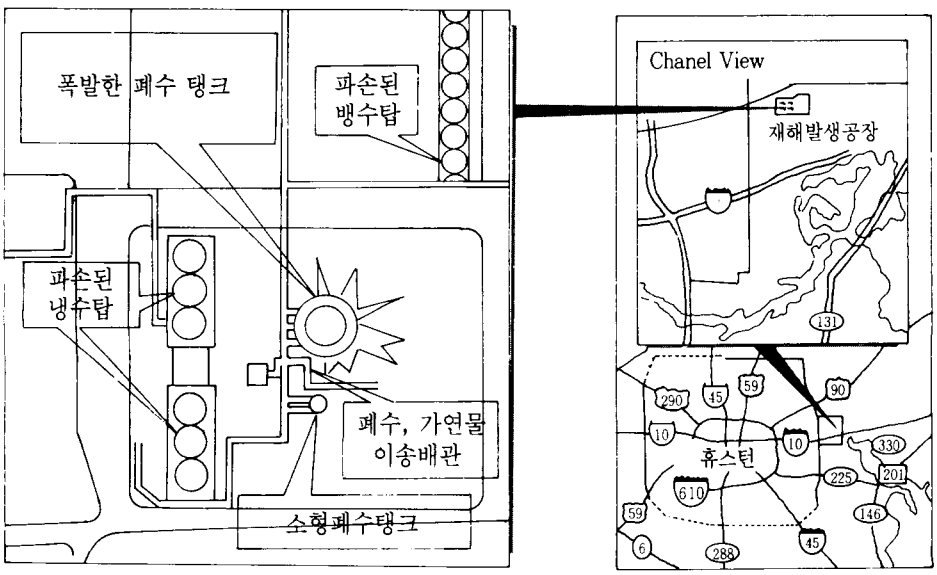
1990년 7월5일 오후 11시30분경 미국 텍사스주 휴스턴시 교외에 있는 아코 케미컬사의 Chanel View 공장의 용역지구 내에서 폐수탱크가 폭발하여 연속적으로 화재가 발생하였다. 이로 인하여 사원 및 협력 회사 종업원 17명이 사망하고 폐수탱크가 모두 파괴된 외에 용역시설 등에 큰 피해가 발생하였다. 폐수탱크 내에는 폐수속에 들어있는 유기과산물이 분해하여 산소를 발생하기 때문에 질소로 퍼지하고 있었다.

산소농도계의 불량, 퍼지가스 압축기의 고장 등이 겹쳐 퍼지용 질소의 공급량을 극단적으로 좁혔기 때문에 탱크내 기상부에 폭발혼합 기체가 생성하여 압축기의 재 스타트시에 탱크내에 인화하여 폭발이 일어났다. 폐수처리 시설은 아코 케미컬사의 자사 기술로 개발한 것으로서 설계시에 HAZOP에 의한 위험도 해석을 하였으나 폐수탱크 주위의 비정상 작업시에 예상하지 못한 사고가 발생하였다. 여기에서는 Oil & Gas Journal지 등에 게재된 기사를 기초로 이 폐수탱크 사고의 개요와 여기서 배워야 할 교훈을 정리하여 보았다.

2. 공장의 개요

(1) 아코 케미컬사의 Chanel View 공장은 〈그림1〉에 나타나는 바와 같이 휴스턴시 중심부에서 동쪽으로 약 30km 떨어진 휴스턴 수로 근처에 위치하며, 그 부지는 2백 28만m^2이다.

(2) 이 공장에는 〈표1〉에서 나타내는 각종의 제조장치가 있다. 이 가운데 주요 장치의 생산 규모는



〈그림1〉 공장 및 재해발생 탱크 위치도

제조장치	생산규모
에틸 벤젠(EB)	연산 803,000톤
스틸렌 모노머(SM)	635,000
산화 프로필렌(PO)	254,000
우레탄용 포리올(UP)	57,000
페닐 에틸 알코올(PEA)	1,400
메틸 터셔리 부틸메틸(MTBE)	일산 20,000바렐

〈표1〉 Chanel View 공장의 제조장치 및 생산 규모

SM이 전 미국 생산량의 15%, PO가 18%를 각각 점유하고, MTBE는 세계 최대를 과시하고 있다.

(3) 이 공장에는 약 3백50명의 사원이 근무하고 있는 외에 협력회사로 있는 오스틴사 소속의 약 1백 50명이 공장내의 일상 보전, 경비 및 프로젝트 공사에 종사하고 있다. 그 가운데 재해 당일 공장에 근무하고 있었던 사람은 사원 50명 과 오스틴사 종업원 15명이었다. 또, 이 공장은 재해 발생 전일까지 1백 40만 시간의 무재해 노동시간 기록을 계속하고 있었다.

3. 폐수탱크의 개요

(1) 폐수탱크는 용량 90만 갤런(3,400kl)의 상압 Cone Roof형 탱크이고, 산화프로필렌/스틸렌모노머 (PO/SM) 제조장치에서 배출된 폐수를 공장 부지 내의 우물에 주입하기 전의 저장탱크이다. 이 탱크는 다음과 같은 역할도 달성하고 있다.

① 폐수 중에 포함되는 경질유의 분리 및 일시 저류

② PO/SM 제조장치에서 생성되어 폐수 중에 배출된 경질 유기과산화물의 분해

③ 발생 산소의 분리

퍼지 폐수탱크 주위의 계통도는 〈그림 2〉와 같다.

(2) 폐수탱크에는 운전중에 탱크의 기상부가 과압 또는 진공이 되지 않도록 하기 위하여 대기 밸브를 설치하고 있다.

(3) 폐수탱크 내에서는 폐수중의 경질 유기과산화물이 분해하여 산소가스가 유리되어 나오기 때문에 질소가스 퍼지장치를 설치하여 탱크 기상부의 산소가스 농도를 안전범위 내로 유지하고 있다. 폐수탱크 내에는 경질유가 존재하기 때문에 탱크 기상부에 가연성 증기가 혼입하는 것은 피할 수 없다.

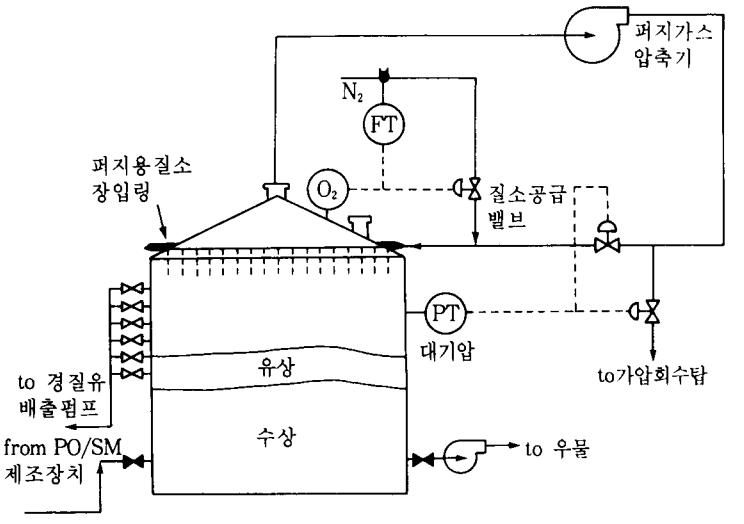
(4) 퍼지가스 압축기를 사용하여 폐수탱크 기상부의 가스를 PO/SM 제조장치 내의 가압회수탑에 이송하고, 이 회수탑에서 퍼지가스 중의 가연성 증기를 회수하고 있다. 압축기 출구측에서 퍼지가스의 일부를 폐수탱크에 리사이클 함으로써 탱크 기상부의 가스 조성을 일정하게 유지하고 있다.

(5) 폐수탱크의 기상부에는 산소농도계를 설치하여 산소농도를 계기실에 연속적으로 지시하도록 하고 있다. 퍼지용 질소의 공급유량은 산소 농도와 연동시켜 산소농도의 계측치가 낮아지면 적어지도록 셋팅되어 있다.

4. 재해 발생 경위

(1) 폐수탱크를 포함한 폐수 처리 장치는 수년간에 걸쳐 문제없이 안전하게 운전하여 왔다.

(2) 1990년 6월 중순경부터 산소농도계에 이상이 생겨 연속하여 산소 농도를 낮게 지시하였기 때문에 운전원은 퍼지용 질소의 공급 유량이 저하하여도 안전하다고 믿었다. 그러나 퍼지용 질소의 공급 유량이 저하하였기 때문에 실제로는 발생 산소의 퍼지가 불충



〈그림2〉 PO/SM 제조장치 폐수탱크 계통도

분하게 되어 폐수탱크 기상부에 산소와 가연성 증기의 혼합기체가 차츰 축적되었다.

(3) 6월 하순에 퍼지가스 압축기의 고장으로 수리를 위하여 반출하였다. 압축기를 반출한 후에도 질소가스에 의한 퍼지 및 산소농도의 계측은 계속하였다. 폐수탱크 기상부의 가스는 그 사이에 대기로 방출하였다. 그것은 환경개선 대책의 일환으로서 퍼지가스 중의 가연성 증기 회수를 개시하기 전의 방법 그 자체이다.

(4) 압축기의 반출 수리중에 압축기의 신뢰성 및 성능을 개선하기 위하여 압축기 주위의 배관 및 계장 시스템의 변경 공사를 실시하였다. 수리 공사의 최종 단계에서 퍼지용 질소의 차단이 필요하게 되어 폭발 약 34시간 전에 운전원이 질소 공급 밸브를 닫았다. 작동 불량의 산소농도계가 극저의 안전한 산소 농도를 계속하여 지시하고 있었기 때문에 수리가 종료되어 반입된 퍼지가스 압축기의 재설치가 완료되어 폭발 수분전 까지 운전원은 퍼지용 질소의 공급 밸브를 닫힌 상태인 채로 두었다.

(5) 퍼지가스 압축기를 시동했을 때에 흡입된 혼합 기체가 압축에 의하여 폭발하였다고 추정된다. 생성된 화염은 배관을 경유하여 폐수탱크 기상부에 인화하고, 거기에서 폭발이 일어났다.

(6) 폭발후 폐수탱크 주변에서 화재가 발생하였으나 폐기물저장·처리지구 이외에는 확대되지 않았다.

5. 응급조치 등

(1) 화재후 운전원은 즉시 공장내 전 제조장치의 긴급 정지작업을 개시하였다. 계장 공기, 스팀, 이너트 가스 등의 중요한 용역이 모두 정지하였음에도 불구하고 운전원은 2차적인 인적 재해 및 물적 재해를 일으키지 않도록 제조장치의 긴급 정지에 성공하였다.

(2) 공장의 자위소방대는 즉시 출동하여 소화호스의 설치 및 모니터 노즐을 설치하고 화염의 제어 및 주변 기기의 냉각 방수를 하였다. 관련 회사인 리욘텔 석유화학회사 및 지역상호 응원협정(CIMA)에 의한 응원 소방대도 급히 달려와 소방 활동에 종사한 결과 화재는 다음날인 6일 오전 4시에 진화되었다.

(3) 위기관리 시스템의 일환으로서 공장내의 재해대책센터 및 본사에 각 대책 팀이 모여 상호 연락을 취합하여 소방 활동중 및 진화후의 대응을 알아 보았다.

(4) 재해대책센터에서는 관계되는 관공서, 대중 및 전종업원에게 통보하였다. 공장내 특설 전화를 개설하여 정보의 제공과 더불어 보험청구의 조회에 응하였다.

(5) 사고 다음날 아침 본사의 관리자 팀이 공장의 재해대책본부에 참가하여 가족과의 면회, 매스컴 및 관계 관청과의 대응을 도왔다.

(6) 재해 발생 즉시 전사적인 종업원 원조 계획을 발동하였다. 재해 발생후 2시간 이내에 프로 카운셀러가 즉시 공장에 나와 종업원, 협력 회사 종업원 및 희생자 가족의 감정적 동요에 대응하였다. 이 카운셀링은 사고 후 6주간 주야 24시간 운영하고 , 그 이후는 규모를 축소하여 계속하였다.

(7) 사고로부터 약 3주간 후에 아코 케미컬사는 '대화의 식사'를 개최하여 종업원, 협력회사, 종업원 및 그의 가족을 초대하였다. 이 식사의 개최는 회사측에서 정보를 제공하는 것과 더불어 종업원 등의 근심사를 발언하게 할 목적으로 한 것이다.

6. 사고의 피해

(1) 탱크의 폭발에 의해 탱크 지붕이 약 90m 떨어진 주차장까지 비산하여 시가지 1블럭에 상당하는 범위가 파멸상태가 되었다. 피해를 받은 프로세스 기기는 복수의 제조장치를 냉각하는 재냉각수탑이었다. 폐수탱크가 폭발한 후 탱크의 측판과 바닥판의 용접이음의 원주 거의가 파단되어 있어 폭발력이 대단하였다는 것을 보여주고 있다.

(2) 이 사고로 아코 케미컬사의 종업원 5명, 오스틴사의 종업원 11명 및 폐기물 처리회사의 운전사 1명이 사망하고, 소방관 1명을 포함한 5명이 부상을 입었다. 사상한 아코 케미컬사 및 오스틴사의 종업원은 퍼지가스 압축기의 재스타트시에 현장에 있었던 사람들이다. 폐기물 처리회사 운전사는 진공차에서 공장 내에 고여 있는 빗물을 회수하여 폐수 탱크 부근에 있는 별도의 탱크까지 운반하여 오고 있던중 폭발에 의하여 희생되었다.

7. OSHA 와의 시담 내용

(1) 미국노동 안전위생국(OSHA ; Occupational Safety Health Administration)은 사고 원인 조사 결과에서 아코 케미컬사에 대하여 노동안전위생법(OHS법)에 의한 3백 47건의 의도적인 법령

위반이 있었고, 폭발 위험성으로부터 공장 종업원을 보호할 수 없으므로 3백 47만 $의 벌금을 부과하는 외에 15건의 중대한 법령 위반과 공장 종업원에게 작업 장소의 위험성을 충분히 주지시키지 않았으므로 1만 1천 3백 $의 벌금을 부과하는 고소장을 통고하였다. 또 재해 발생시에는 협력회사의 종업원도 일하고 있었으나 아코 케미컬사가 공장의 전면적인 관리를 행하고 있어, 작업 조건도 지시하는 것이므로 아코 케미컬사가 협력회사 종업원의 안전에 관하여 전 책임을 져야한다고 OSHA는 판정하였다.

(2) 아코 케미컬사는 OSHA의 고소장에 대하여 OSH법에 의한 반론의 권리를 행사하지 않고 다음의 내용으로 1991년 1월 3일에 시담을 체결하였다.

① OSHA가 통고한 벌금의 총액 3백 48만여 $을 1월 10일까지 지불한다. 다만 OSH법에 의한 의도적인 법령 위반 및 중대한 법령 위반은 없었던 것으로 한다. (이 금액은 그 시점에 있어서 OSHA의 벌금 시담액 중 최고 기록이다.)

② 시담 체결일로부터 30일 이내에 미국내의 4개 공장(재해발생 공장, 텍사스주의 베이포트 공장, 피츠버어그 공장 및 오하이오주의 페인스밀 공장)의 위험도 해석을 실시하는 팀을 소집한다.

③ 시담 체결일로부터 2백 70일 이내에 각 공장의 위험도 해석을 종료하고, 그 결과를 관할 OSHA 지국에 보고한다.

④ 위험도 해석을 종료한 날로부터 30일 이내에 회사로서의 대응책을 서면으로 관할 OSHA 지국에 제출한다.

⑤ 가급적 빠르게 또, ④의 수속을 완료한 후 1년 이내에 프로세스 위험도 해석 팀의 권고 내용 또는 회사의 대응책을 시행한다.

8. 아코 케미컬사의 개선 조치

(1) 아코 케미컬사는 위의 시담 내용에 의거, 각 공장에 일련의 개선 조치를 하였다.

(2) 재해 발생 공장의 폐수처리 시설의 안전 시스템에 대하여서는 아래의 개선 조치를 하였다.

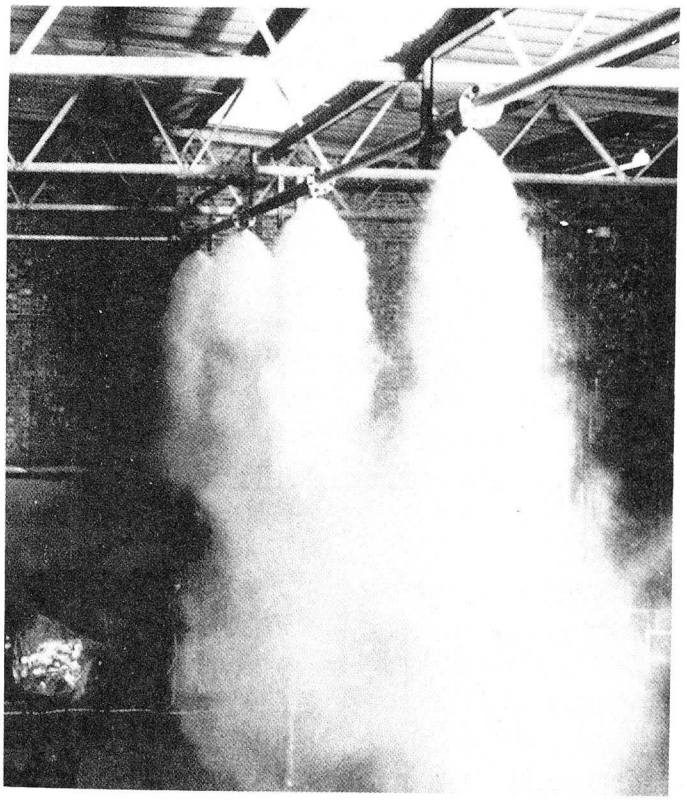
① 산소가 존재할 가능성이 있는 곳에는 개별적으로 산소농도계를 설치하고, 산소 농도에 따라 자동적으로 퍼지용 질소의 유량을 제어한다. (종전에는 폐수처리장치 내의 탱크 3기에 대하여 산소농도계를 1개 설치하였으나 개선 후에는 탱크 8기에 대하여 산소농도계를 16개 설치한다.)

② 산소 농도를 안전 레벨로 유지하기 위하여 퍼지용 질소의 유량에 하한치를 설정한다.

③ 질소의 공급원은 확실히 백업될 수 있도록 2계통으로 한다.

④ 가연성 증기의 배출은 벤트에서 후레어로 제어하면서 행한다. 가압폐수탱크 및 전용 후레어 스택을 사용하도록 변경하고, 퍼지가스 압축기의 사용을 중지한다.

⑤ 경질유는 폐수와 함께 저



장하지 않도록 한다.

(3) 재해를 입은 장치의 재건중에 제조장치에 대한 안전관리 시스템의 평가를 하고 필요 사항을 증강하였다. 예를 들면,

① 용역지구에서는 중요한 프로세스의 안전 조업 파라메타 및 변수 가운데 운전원, 운전현장 책임자 및 기술자가 계속적으로 모니터링 하는 것을 결정하였다.

② 프로세스 분석계 기타 안전상 중요한 장치에 대하여 예방보전 시스템을 강화하였다.

③ 운전자 매뉴얼 전부에 대하여 재검토하고 필요에 따라 명확히 하거나 개정하였다.

④ 운전원 및 기술자에 대하여 프로세스의 안전성, 장치 및 운전방법에 관계되는 추가 교육 훈련을 실시하였다.

⑤ 안전상 필요한 계기, 인터룩, 프로세스의 분석계 및 샘플링 장치에 대하여 평가 및 시험을 실시하였다.

(4) 안전성의 향상 및 장치의 그레이드 업을 위하여 약 2천만$을 지급하고 재해를 입은 장치의 재건 비용으로 약 1천6백만$을 지출하였다.

(5) 사고 피해자의 가족에 대한 보상 시담금으로 6천8백만$을 손해액으로 계산하였다.

9. 맺는 말

이 사고로부터 다음과 같은 교훈을 생각할 수 있다.

(1) 위험도 평가 결과의 활용

폐수처리 시설은 아코 케미컬사가 상당 기간에 절쳐 자사 기술로 개발한 것으로서, 그의 설계에는 기술적 연구, HAZOP 스터디의 성과를 반영하였다고 한다. HAZOP스터디 입문시 용어의 하나로 'NO/NOT'이 있는데 그 의미는 '설계 또는 운전에서 의도한 일이 전혀 일어나지 않는다'이다. 폐수탱크의 기상부에 퍼지용 질소가 전혀 들어가지 않는 사태를 상정할지 어떨지 확실하지 않지만 질소의 Minimum Flow의 중요성을 인식하여 설비상 또는 운전 매뉴얼 상에 대응책을 강구하여 두면 이 사고를 방지할 수 있는 가능성이 높다. 위험도 평가의 결과는 Hard Soft면에 활용하는 것이 중요하다.

(2) 안전설비에 대한 설계상, 보전상의 배려

폐수탱크에는 산소농도계를 1기 설치하고 있었으나 이 농도계는 탱크 기상부의 산소 농도가 안전 범위 내에 있는지를 확인하기 위한 것으로서 폭발 방지상 중요한 역할을 하고 있다고 하여도 과언이 아니다.

결과론이지만 산소농도계에 대한 설계상, 보전상의 배려 부족이 사고로 이어진 것은 아닐까. 이와 같은 안전 방재상 중요한 설비에는 신뢰성을 갖은 것을 채용하여 용장성을 갖게 하는 등 설계상의 배려가 중요하다. 또, 설치부에는 정기적인 점검, 정비를 실시하여 안전 방재설비의 기능을 유지하여야 한다.

(3) 운전원 등의 안전에 대한 감수성의 향상

재해 발생 약 20일 전부터 몇분전까지 산소농도계는 저농도를 지시하여, 운전원은 안심하고 있었다고 한다. 그러나 34시간이나 질소 퍼지를 완전히 중지한 후에는 이 사이에 발생한 것으로 산소가스 농도가 당연히 증가 한다고 생각하는 쪽이 보통이 아닐까. 안전에 대한 감수성이 더욱 높아지면 발생한 산소 및 가연성 증기의 혼합 기체는 질소보다도 비중이 크기 때문에 기상부 내에서 층상이 되어 산소 검지기의 샘플링 위치와의 관련으로 산소농도계의 지시치가 낮은 눈금을 나타내고 있을 가능성도 고려했어야 할지 모른다. 운전원이 계기 고장을 의심하는 것이 가능하다고 하는 것은 용이하지는 않다. 지금까지 운전원의 안전 감수성을 향상하기 위하여서는 관계자의 대단한 노력이 요구된다. 이때 중요한 것은 Know-How보다도 Know-Why라고 하는 입장이다.

10. 맺는 말

자칫 환경 대책 시설이라고 하면 환경 문제만을 취하여, 안전대책을 동시에 검토하는 일을 소홀히 하는 경향이 있다. 에너지 절약, 자원 절약 등의 대책을 실시하는 경우에도 같다고 할 수 있다. 때로는 이들 대책을 실시하는 것이 오히려 위험성을 높일 가능성을 갖고 있다. 지구 환경 보호의 목소리가 높아지고 있는 가운데 새로운 환경 대책이나, 에너지 절약, 자원 절약 등의 대책을 실시하는 것이 금후 더욱 필요하게 된다고 생각할 수 있다. 그 경우에는 사전에 충분한 위험도 평가를 행하여 소정의 안전 대책을 강구함과 아울러 설계시의 안전사상을 존중하여 조업 및 보전을 행하는 것이 중요하다. ◎