



02

SPECIAL THEME

석유화학산업의 화재·폭발위험과 보험측면에서의 위험관리

글 문상규 LIG엔설팅 차장

1. 머리말

지난 30년간(2000년까지)의 전 세계 화학사업장의 대형사고를 세계적인 보험업체에서 분석한 결과, 전체 사고의 80%는 정유사업장(약 46%)이나 석유화학사업장(약 35%)에서 발생하였다. 사고유형은 증기운 폭발, 화재, 그리고 폭발 순으로 전체 95% 이상을 차지하고 있으나, 작은 규모까지 감안한다면 화재가 증기운 폭발을 넘어설 것으로 보고 있다.

사고원인은 약 65%가 기계적 고장, 운전적 실수를 차지하고 있다. 통계상으로 석유화학사업장은 화재/폭발로 인한 대형사고의 위험이 높다는 것을 보여 주고 있다.

본고에서는 화재, 폭발위험이 높은 석유화학사업장의 제품특성, 국내 관련 사업현황과 화재위험대응에 대한 보험사(재보험사 포함)의 평가와 권장사항은 무엇인지 살펴보겠다. 또한 이미 알려진 국내외 석유화학사업장의 대형사고에 대한 사례와 그 사고원인에 대한 대응방안들이 보험사의 권장사항에 어떻게 포함되어 있는지 살펴보겠다.

2. 석유화학산업이란

우선 석유(정유)산업과 석유화학산업은 연관된 산업이나 공정상 특성이 다른 산업이지만, 화재위험 측면에서 공통적인 사항이 많아 석유화학산업으로 통일하여 기술하겠다. 석유제품과 석유화학제품을 알면 석유화학산업의 화재위험을 어느 정도 이해할 수 있다.

석유란 원유, 천연가스 및 석유제품이다. 석유제품이란 휘발류, 등유, 경유 등의 연료, 윤활유와 항공유, 용제, 아스팔트, 나프타, 윤활기유인 석유중간제품 및 부생연료유 등 탄화수소유와 프로판, 부탄 및 이를 혼합한 연료용 가스(석유 및 석유대체연료 사업법 제2조)로, 대표적인 사업장은 정유공장이다.

석유화학제품이란 나프타, 액화석유가스 또는 천연가스 등을 원료로 하는 나프타 분해공정(NCC: Naphtha Cracking Center), 벤젠, 톨루엔, 크실렌 추출공정 또는 합성가스 생산공정을 거쳐 생산된 탄화수소 물질(탄화수소와 그 밖의 물질과의 혼합물을 포함)을 원료로 합성수지, 합성고무 등을 제조하며, 대표적인 사업장은 석유화학(유화)공장이다. LPG(프로판, 부탄), 벤젠(벤젠회수설비 포함), 톨루엔, 자일렌 등은 두 산업에서 모두 생산된다.

3. 국내 석유화학산업

국내의 석유화학산업은 1970년에 울산지역을 시작으로 여수산단 및 대산단지에 대부분이 위치하고 있다. 석유화학산업 특성상 대형선박을 통해 원료를 수급하고 제품을 출하하기 때문에 해안지역에 위치하며, 생산 및 물류 효율성을 극대화하기 위해 수직계열화가 요구되므로 대형 산업단지를 형성하고 있다. 국내 지역별 석유화학단지의 현황을 보면, 울산산업단지는 여천 및 온산지역을 포함 45,000,000㎡ 면적에 250여 업체, 전남여수산업단지는 31,300,000㎡ 면적에 140여 업체, 그리고 충남대산산업단지는 12,700,000㎡ 면적에 13여 업체가 자리잡고 있다(2008년 10월 기준).

국내 석유화학산업단지의 모든 사업장은 아니지만 울산산단과 여수산단의 많은 사업장이 노후화되었으며, 대산산단도 올해 20년을 넘어 노후화가 가속되고 있다. 국내 산업단지는 제한적인 단지여건으로 석유화학사업장간의 충분한 이격거리를 확보하지 못하고 있을 뿐만 아니라 지속적인 증설로 인해 사업장내 단위 유니트간 이격거리도 심각하게 감소된 실정이다.

추가적인 위험요인으로 정비여건을 들 수 있는데, 아무리 점검 및 정비 기술이 발달해도 산업단지(원료 및 지원설비 수급상) 및 계절적 특성으로 연차보수기간은 산업단지 내 많은 사업장들이 통상 중복될 수밖에 없어, 전문정비인력의 부족 현상이 발생한다. 그로 인해 정비 일정 축소, 정비절차가 무시되거나 수행할 수 없는 경우도 발생한다. 따라서 노후화와 정비 부족은 대형사고의 잠재성을 한층 증가시킬 것이다.

4. 석유화학사업장의 국내·외 사고 사례

가. 국내 사고사례

국내·외 석유화학사업장 및 저장소에서 발생한 대형사고 4건(국내 2건, 해외 2건)의 피해 정도와 원인을 알아보겠다.

1999년 5월 국내 정유공장에서 발생한 누출, 폭발사고는 4명의 인명피해, 약 1,000억원 이상의 피해와 장기간 정비가기간이 소요되었으며, 사고원인은 공정 내 수소침식으로 배관의 강도 약화, 파열로 누출된 인화물의 화재폭발이 발생한 기계적 원인에 의한 사고였다.

2003년 10월 국내 석유화학사업장에서 발생한 누출, 폭발사고는 7명의 인명피해와 막대한 재산피해가 발생하였으며, 사고원인은 정비 중 운전자의 실수로 인해 인화물이 누출되어 폭발과 화재가 발생하였다.

나. 해외 사고사례

2005년 12월 영국 유류저장소에서 석유제품 이송 중 액위 측정 시스템과 이와 연계된 자동 차단장치의 오작동으로 석유제품이 흘러 넘쳐 증기운 폭발 및 화재로 43명의 인명피해와 23개 대형 저장탱크 및 주변 건물들의 소손으로 약 1,200억원(£70million)의 손해가 발생했다. 이 대형사고의 원인은 기계적 오작동과 운전원의 조치 지연으로 분석되어, 조사위원회에서 동종의 사업장에 대해 강력한 23개의 권장사항을 제시하였다. 그리고 화재사고 이후 재보험자들은 유류와 같은 인화물 저장탱크에는 액위계와 독립된 액위스위치의 설치와 액위스위치에 이송펌프의 자동 기동정지시스템을 설치할 것을 권장하고 있다.

2005년 3월 미국 텍사스 정유공장에서 이성화공정의 가동운전 중 인화성물질이 흘러 넘쳐 증기운 폭발 및 화재로 15명이 사망하고 180명 이상이 부상하는 인명피해와 약 1조7000억원(USD 1.5 billion)의 손해가 발생했다. 이 사고는 기계적 결함과 내외부적으로 위험관리를 과소평가한 안전관리 마인드로 인하여 최악의 사고로 발전한 것으로 나타났다. 사고를 조사한 미국화학사고 조사위원회(US CSB : Chemical Safety and Hazard Investigation Board)는 사업장에 시스템 안전을 위한 10가지 권고사항과 미국석유협회(API), 미국산업안전보건청(OSHA), 미국화학공정안전센터(CCPS) 등에도 권고사항을 제시하였다. 전문가들에 의해 2년이 넘는 장기간의 정밀사고조사와 동종업종산업 및 단체뿐만 아니라 감독기관에까지 재발 방지대책으로 권고사항을 제시하는 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

5. 석유화학사업장에 대한 보험자 권장사항

지난 1월 여수산업단지 정전으로 여러 사업장에 긴급가동정지가 발생하여 막대한 재물 및 기업휴지 손해가 발생하였다. 석유화학산업은 정전과 같은 외부적 요인에 의해서 심각한 영향을 받는다. 폭발 시 발생한 유니온가스의 독성가스 누출로 인한 주변지역의 인명손상이나 폭발 시 폭발압으로 날아간 설비에 의해 주변 사업장이나 주거지역에 피해를 줄 수 있다. 원료나 제품 또는 화재 폭발 시 발생한 연기, 그을음, 타고 남은 잔유물의 누출, 심지어 진압 시 사용한 소방용수 등이 사업장 주변의 수질과 토양을 오염시킬 수 있다.

이와 같이 석유화학산업장에는 여러 가지 위험이 존재하지만 본고에서는 보험사(재보험사 포함)가 보는 사업장 내 화재, 폭발위험 요인의 대응방안으로 한정하여 기술하였다. 석유화학산업은 다양한 공정을 포함하고 있어 공정상 위험을 선별, 기술하기 어려우므로 화재의 세가지 요소인 가연물, 점화원, 산소 중 가연물 및 점화원에 대한 사항과 설비 점검, 정비 및 운전에 대한 관리적인 측면에서 기술하겠다.

가. 가연물질 및 인화물질 누출방지

석유화학사업장의 화재폭발 위험은 인화성, 가연성 액체나 기체가 저장시설, 설비나 배관(관속물 포함)으로부터 누출 여부에 따라 증가하므로 누출요인을 관리하는 것이 무엇보다 중요하다. 가연물 누출의 관리는 운전과 정비 중 누출방지를 통한 화재발생 가능성을 낮게 하는 것과 화재 후 가연물을 차단하여 소방설비에 의한 진압여건을 조성하는 것이라고 할 수 있다. 운전중 누출관리에는 배관의 관속물, 펌프씰, 플랜지볼트 체결상태, 부식모니터링 및 합금재질분석(PMI) 등이 포함되며, 화재 시 누출방지는 내화, 긴급차단밸브 등이 포함된다.

(1) 관속물 최소화 및 이중관속물(Double Fitting)

배관의 누출가능성을 증가시킬 수 있는 플랜지, 밸브 등과 같은 관부속물(Fitting)이나 측정계기의 설치 최소화, 특히 누출 화재 시 대형화재인 비등액체팽창증기폭발(BLEVE)이 발생할 수 있는 액화 LPG저장탱크 하부에는 더욱 중요하며, 공장지역이나 저장지역 내 사이트 글라스(Sight glass) 방식의 액위 측정장치 설치의 금하는 것이 바람직하다. 드레인이나 밴트밸브는 이중이나 플러그(Plugging)를 설치하고, 사용하지 않는 배관의 밸브 전단에 블라인더(Blinder)를 설치하여 누출 가능성을 최소화하여야 한다. 특히 인화성 액체를 이송하는 펌프에는 누출가능성이 높아 직렬식 이중 메카릭씰(Tandem Double Mechanical Seal)을 설치할 것을 재보험자들은 권장한다.

(2) 부식모니터링 시스템(CUI 모니터링시스템 포함)

부식(침식포함)은 공정이나 저장설비, 배관의 강도를 약화시켜 인화성액체가 누출되어 화재폭발을 발생시킬 수 있는 요인이다.

대부분의 석유화학사업장은 전문적인 프로그램화된 부식모니터링 시스템을 운영하고 있으나 표본에 의한 점검에 의존하며, 고공, 고온부 등 운전 중 측정이 불가능한 공정이 있어 항상 누출의 위험이 존재한다고 할 수 있다. 최근 보험사에서는 단열재로 덮여 있는 배관이나 설비의 표면에 발생하는 부식인 단열재 하부부식(CUI, Corrosion under insulation)의 모니터링 시스템을 추가적으로 운영할 것을 권장하고 있다.

(3) 합금재질분석(PMI : Positive Material Identification)

공정상설의 설비나 배관은 부식모니터링 시스템을 통해 관리하지만, 설계기준은 다른 불량자재가 입고되거나 자재창고에서 다른 자재와 혼동하여 사용하는 경우 부식모니터링 시스템이 예측할 수 없는 급격한 손상의 발생으로 인화성물질이 누출될 수 있어, 보험사는 중요 설비나 배관의 교체 시 해당자재에 대하여 전량 재질검사를 실시할 것을 권장하는데, 그 검사방법은 비파괴검사의 일종인 합금재질분석(PMI)이다.

(4) 긴급차단밸브(EIV ; Emergency Isolation Valve)

일정량 이상의 액화 가연성가스나 인화성 액체를 취급하는 용기나 탱크는 취급 위험물 누출이나 설비 주위 화재로 인해 해당설비에 위험물질 누출로 추가적인 사고를 방지하기 위하여 출구와 입구에 긴급차단밸브를 설치하여야 한다. 국내 석유화학사업장은 설치 대상용기나 탱크는 긴급차단밸브설치에 관한 기술지침(KOSHA Code D-5)에 따라 설치하거나 이보다 상위에 자체 설치기준을 따르고 있다. 긴급차단밸브를 주요 위험설비에 설치하는 것도 중요하지만 밸브 주위 화재 시 현장 원격조작장치(Local remote control panel)에 접근할 수 있도록 충분히 이격된 안전한 장소에 설치되어야 하고 제어선 및 밸브 지지대가 일정시간 화재에 견딜 수 있는 내화성능을 가져야 한다.

(5) 내화

석유화학사업장은 다른 산업과 달리 대부분의 생산설비가 외부에 노출되어 있으며, 생산설비 및 배관과 이를 받치고 있는 지지구조물도 대부분 철구조물로 되어 있다. 생산설비 하부의 지지부와 지지구조물의 외부를 내화 처리하지 않는 경우 화재 시 생산설비나 배관이 지지력을 잃고 추가적인 가연, 인화물질이 누출되어 대형화재로 발전할 가능성이 높기 때문이다. 석유화학사업장에 내화기준은 관련 법령 산업안전기준의 규칙 제290의 내화구조에 관한 기술기준(KOSHA CODE D-42, 본 기준은 API PUBI 2218을 관련 규격으로 하고 있음)을 따르고 있다. 그러나 현장에서 석유화학사업장 내 내화처리에 대해 자주 지적되는 사항은 다음과 같다.

공정지역 내 설비 간 연결하는 일정 직경이상의 배관은 자체 하중에 의해 변형되고 파손되는 것을 방지하기 위해 일정높이 이상에 있는 경우 행거(hanger) 또는 캐치빔/바(Catch Beam/Bar)를 설치하고, 공정배관이나 대형밸브가 바닥에 인접한 경우 바닥에 지지대를 설치한다. 그러나 캐치빔(바)이나 바닥지지대가 내화 시공되지 않은 경우가 많다. 내화는 배관이나 설비의 지지구조체/대에 뿐만 아니라 화재 시 설비의 비상가동정지를 위한 제어밸브의 제어선이나 안전조치를 긴급차단밸브(EIV)의 원격 제어선(통신/공기압/유압제어선 및 전력선 포함)에도 시공하여야 한다. 또한 내화상태 검사는 규정된 방법으로 정기적으로 실시하여야 하며, 갈라지거나 부풀어 올라 내화목적물에 밀착되지 않고 손상된 부분은 즉시 보수하여야 한다. 갈라짐을 방지하는 경우 갈라진 틈으로 수분이 유입되어 지지구조물의 부식 발생과 내화물의 수명을 감소시킬 뿐만 아니라 내화성능도 약화된다. 내후성이 약한 재료를 사용한 경우 수분뿐만 아니라 햇빛과 대기의 화학성분에 의해 손상받을 수 있어, 적절한 내화재료가 적용되었는지도 분석하여야 한다.

나. 점화원 관리

(1) 조정실 및 전기실 양압유지

공정지역, 저장지역이나 이들 주변에 위치한 조정실과 전기실은 공정지역이나 저장지역에서 누출된 가연성 가스 유입 시 비방폭 전기설비(점화원)로 인해 화재가 발생할 가능성이 있어, 가연성 가스의 유입을 방지할 수 있는 양압설비(Pressurization system)를 설치하고 항상 양압을 유지하여야 한다.(변전실 등의 양압유지에 관한 기술지침(E-16-2009), 산업안전기준에 대한 규칙 제335조)

(2) 화기작업

가연성 가스가 존재할 수 있는 지역에서 화기를 취급하거나 이와 준하는 작업(그라인팅 등)을 하는 경우 점화원을 제공할 수 있으므로, 화기작업 허가기준을 마련하고 이를 철저히 준수해야 한다. 또한 연차보수기간 중에는 동일 공정 내 여러 가지 작업이 동시에 다발적으로 이루어지므로 더욱 더 세심한 주의가 요구된다.

다. 문서관리 및 정비이력관리(By pass 관리포함)

석유화학사업장에서 공정도면(PI&D) 및 운전교본은 운전을 위하여 필수적이라고 할 수 있다. 설비 성능개선과 생산능력 증대를 위해 공정 변경 시 그에 따라 공정도면과 운전교본을 개정하고 기존 도면과 교본은 폐기한다. 이는 변경 전의 도면이나 교본으로 인한 운전원의 실수를 방지하기 위한 조치이며, 통상 관련 문서(도면)관리 규정이 마련되어 있다. 그러나 일부 운전원들은 이전 공정도면이나 건설용 도면(As Bulit)을 보관하고 개인적으로 운전에 활용하는 경우가 많다. 이러한 사항들은 보험자의 지적 사항이기도 하며, 지난 미국 BP사고의 원인 분석 시에도 현장과 조정실의 운전절차가 상이한 것으로 확인되었다.

또한 석유화학사업장은 공정과 관련된 모든 설비에 대한 점검 및 정비 이력과, 전원이나 제어시스템을 차단하였을 때 등의 변동사항을 기록하고 관련자에게 인수인계 하여야 한다. 공정제어시스템을 정비 및 점검하거나, 제어밸브 등의 정비를 위하여 임의적으로 기동을 정지시켜 놓는 것을 바이패스(By pass) 또는 점퍼(Jumper)라 하며, 공정제어설비는 연동제어기(인터록, interlock)를 포함하고 있다.

보험사에서는 공정제어시스템의 바이패스 관리규정의 철저한 준수와 교대운전조건 바이패스 정보를 상시 공유하여, 현 상태를 정확히 인지할 것을 권장하고 있다. 이는 앞에서 언급한 2003년 10월 국내 석유화학사업장의 주요 사고원인이었으며, BP사고에 대한 미국화학사고 조사위원회가 파악한 사고원인에도 여러 가지 운전상 인수인계가 미흡한 것이 나타났다.

6. 맺음말

석유화학사업장은 대규모 장치산업으로 다량의 인화성 또는 가연성 물질을 취급, 제조, 저장하므로 대규모 화재·폭발 사고가 여러 번 발생하였다. 이에 사고조사를 통해 안전설비, 규정, 마인드 및 공정안전시스템 등이 개선·향상되어 왔으며, 국내에서도 공정안전관리 제도(PSM)를 시행한 1996년 이후 대형사고건수는 현저하게 감소한 것으로 나타나고 있다. 그러나 석유화학사업장은 설비의 기계적 고장과 근무자의 실수나 무관심이 결합되면 순식간에 대형사고로 발전할 가능성이 항상 존재하기 때문에 안전과 관련된 규정들은 지속적으로 강화되고 있으며, 보험사들은 보다 높은 수준의 안전성을 확보하기 위하여 모든 사업장에 강화된 안전기준을 적용하여 개선할 것을 권고하고 있다.

보험사가 보는 석유화학사업장 화재위험관리의 관점은 인화성 물질의 누출가능성을 최소화하기 위하여 누출이 예측되는 설비의 중복 설치를 통해 신뢰성을 확보하고 공정이나 안전 기준에 해당되는 설비가 항상 제 기능을 발휘할 수 있도록 관리하는데 있다. 또한 근무자의 안전마인드와 화재위험성이 높거나 실수를 유발할 수 있는 운전이나 작업 수행 시 안전규정을 철저히 준수하는 지를 면밀하게 확인하는 것이다. 다수의 대형사고가 안전마인드와 관리부족으로 기인된 인재이기 때문이다. 이는 안전이 확보된 공정 및 설비, 이중화된 자동제어시스템과 강화된 공정안전관리제도의 적용도 중요하지만, 이를 운영하고 관리하는 근무자의 요건이 가장 중요하다는 것을 시사하고 있다. 앞에서 언급하지는 않았으나 보험사는 국내 석유화학사업장에 노후화된 단위플랜트가 증가함에 따라 공정 및 안전설비의 점검 및 정비를 강화할 것을 권고하고 있다. ㉞

