

가연성 액체물질 보관용기의 화재예방

본 고에서는 상온일 때 액체상태가 됨에 따라 포화증기압이 1bar 이하가 되는 물질의 보관에 대해 알아보려고 한다. 대체적으로 증류된 석유제품들(가솔린, 나프타, 케로신, 디젤)이 그러하다. Zalosh의 '산업화재 예방공학 (Industrial Fire Protection Engineering)' 과 Crowl의 '폭발의 이해(Understanding Explosions)' 를 통해 많이 다루어져왔던 내용이다.

출처 / IFP 2006년 6월호

저자 / J. C. Johns

번역 / 박일근, 협회 경영기획부 사원



1. 기본 이론

저장용기가 증기의 높은 내부 압력을 견디기 위해서는 근본적으로 그에 맞게 설계되어야 한다. 이것은 벽면 두께를 결정하는 것과 연관이 깊다. 또한 담겨지는 물질의 증압을 통해 용기용적도 정해진다.

만일 물질이 허용할 수 있는 용접한계가 있다면 용접 요소를 잘 따져서 만들어야 하나, 그렇지 못할 때에는 물체의 길이에 맞춘 방사선 촬영을 통해 검사받아야 한다. 필요한 경우에는 재가공을 해서 용접 부위가 원래의 금속과 똑같은 압력에서 견딜 수 있도록 해야 한다.

하지만 이러한 예방책들은 대기압력보다 낮은 증기 압력을 가지는 액체보관에서는 고려할 필요가 없다. 또한 저장용기의 용접 부위가 다른 곳보다 더 약한 것이 화재가 일어났을 때 오히려 유익한 결과를 가져올 수도 있다. 만일 이 저장용기가 액체로 가득 채워져 있고 인근 화재에 의해 열을 받고 있다면 접합했던 부위를 따라 열리는 것이 더 유용하다. 즉 과도한 압력에 의해 증기가 한꺼번에 방출되는 것보다 상대적으로 천천히 증기를 방출하는 것이 더 낫다는 것이다.

저장용기가 파손되거나 폭발에 의해 급격하게 내용물을 방출하는 것도 차선책으로 생각할 수 있다. 유사한

방법으로 느슨한 마개를 한 수직방향의 배관에 가연성 액체를 보관하는 것인데 이것은 전형적인 방식이다.

만일 액체 표면의 증기/공기혼합물 점화시 밀폐로 인해 생기는 과도한 압력이 최악의 경우에는 느슨한 마개를 날려버리게 되더라도 탱크와 내용물은 이상 없이 남겨지게 되는 것이다.

‘수직대기형 지붕고정탱크(Vertical Atmospheric Fixed Roof Tank)’의 형태는 끓는 점이 110℃ 이하인 액체에 사용될 수 있다. 여기에는 메탄올, 에탄올, MEK, 톨루엔이 포함된다. 수직대기형 지붕고정탱크보다 향상된 형태는 지붕의 높이를 자유자재로 조절할 수 있는 ‘높이 조절 탱크’이다.

하지만 이런 형태는 극히 드물고 주로 ‘유동지붕탱크(Floating roof Tank)’가 많이 사용된다. ‘유동지붕탱크’는 원유와 정제유 저장에 가장 많이 쓰이는 형태이다. ‘유동지붕(a, k, a)’의 바닥은 액체 표면에 닿아 있다. 그 표면은 고무나 거품이 감싸고 있으나 전체를 감싸고 있지는 않다. 그래서 증기는 이 부분을 통해서 빠져나가게 된다. 다시 말해 탱크 내부는 통풍되고 있다는 것이다.

‘유동지붕탱크(Floating roof Tank)’ 중에 몇몇의 다른 형태들은 움직이는 유체 위에 고정지붕을 가지고 있다. 그것은 근처에 화재가 발생했을 때 열을 차단시켜 주는 작용을 한다. 실제로 고정지붕은 통풍이 제대로 이루어지지 못하기 때문에 유동지붕과 고정지붕 사이에는 가연성 증기/공기의 혼합물이 발생할 수 있다. 이러한 이유 때문에 고정지붕은 꺼려지고 필요한 경우에는 차단 부위에 거품을 사용하는 것으로 대체한다.

지금까지 언급한 저장용기들은 모두 수직대기형에 관한 것이었다. 그 밖에 수평형 탱크는 그 위치가 지면의 위쪽이든 아래쪽이든 상관없이 가솔린을 포함한 가연성 액체를 저장하는 데 주로 이용된다.

지하 탱크는 땅 속에 묻은 파이프라인을 처리하는 것과 같은 방식으로 처리해야 하는데, 이 중 가장 대표적인 것이 바로 음극방식-전기 화학적으로 금속의 부식을 억제하는 방법-이다.

전기화학적 세포는 아연을 양극, 용기의 강철 부분은 음극으로 설정한다. 전자(電子)는 양극에서 음극으로 변화하면서 전자(前者)의 지속적인 손실을 통해 후자의 상태를 유지한다. 이를 '희생적인 양극(Sacrificial Anode)'이라 한다.

2. 불활성화(Inerting)

저장된 가연성 액체 표면의 증기/공기 혼합물로 인한 화재위험은 산소 대신에 충분한 양의 비활성 가스로 대체함으로써 제거할 수 있다.

즉 증기/공기 혼합물의 양을 조절함으로써 발화가 일어날 수 있는 상황을 효율적으로 막을 수 있다. 이러한 효과를 내기 위해서 비활성 가스로 압력을 가하고 다시 대기 압력으로 환기시켜 준다. 그리고 이 작업은 산소 집중도가 목표치에 도달할 때까지 여러 번 반복해 줘야 한다. 또 다른 대안으로 불순물 제거 방법은 대기압 정도의 증기뿐만 아니라 가득 차 있는 공간에 계속해서 불활성 가스를 주입하여 산소 집중도를 목표치에 도달하도록 만드는 것이다.

저장용기 속의 액체를 빼내면 증기와 더불어 발화가 가능한 비율의 공기도 함께 유입된다. 증기/공기 혼합물은 저장용기의 수용 가능한 최대 용량의 물이 유입됨으로써 제거할 수 있다. 결국 이 혼합물은 물표면 위의 작은 공간에만 한정적으로 존재하며 이는 불순물 제거 방식만으로도 제거할 수 있는 것이다. 물이 빠져 나가면 이 공간은 불활성 가스로 대체되고 안전하게 사용할 수 있는 공간으로 바뀌게 된다.

3. 스프링클러를 이용한 가연성 액체 보관용기의 보호

비행기 격납고를 포함한 공간은 AFFF(Aqueous Film Forming Foams), 거품혼합물과 계면활성제로 채워진 스프링클러를 이용하여 불을 진화할 수 있다. 일반적인 스프링클러 장치는 적은 양의 가연성 액체의 화재예방에 사용된다.

그 예로 1갤런(gallon) 정도씩 포장된 페인트 희석제를 차곡차곡 쌓아 둔 창고에 스프링클러가 설치되어 있고 그 곳에서 화재가 발생한다면 이 때 스프링클러의 역할은 내용물을 차갑게 보호하는 것이다. 그래서 희석제 통 안에 과도한 증기가 생겨 뚜껑이 날아가거나 내용물이 새는 것을 막는다.

4. 사례 연구

이를 잘 보여주는 사례가 지난 1987년 오하이오 주 Dayton의 자동차 페인트 창고에서 일어난 화재다. 페인트 창고 안에 있던 저장고의 용량은 5갤런(gallon)이었지만 화재가 일어난 당시에는 용량을 한참이나 초과한 1억 5천만 갤런(gallon)의 가연성 액체가 저장되어 있었다.

이보다 더 적었던 1파인트(0.47ℓ) 정도의 또 다른 소형 컨테이너는 종이상자에 담겨져 있었다. 그러던 중 지게차 작업 가운데 10개가 마루바닥에 떨어졌고 컨테이너가 부서지면서 안에 있던 가연성 물질이 흘러 나오게 되었다. 순식간에 불은 다른 컨테이너로 옮겨 붙었고 열기가 컨테이너 뚜껑을 날리면서 가연성 물질이 더해져 불길은 더욱 거세졌다.

당시 창고 내 스프링클러 시스템은 1분당, 화재면적 1평방미터에 14ℓ를 분사할 수 있는 용량이었지만 좀처럼 불길을 잡지 못했고 나중엔 많은 양의 가연성 액체물



질이 쏟아지면서 대형화재로 번지게 되었다. 이는 소방차가 도착했을 때 일어난 상황이었다.

5. 맺음말

전 세계적으로 하루에 생산하는 원유의 양은 약 8,000만 배럴이다. 이는 원유와 정제물질이 지금도 계속적으로 비축되고 있다는 의미이기도 하다.

모든 원유가 연료가 되는 것은 아니다. 일부는 먼저 화학제품에 사용되면서 열분해되고 있다. 원유생산 외에도 가연액체의 원천은 많다. 암석혈암 물질은 그 양도 많으며 독일을 포함한 호주, 이스라엘에서 생산된다.

미국에서는 현재 에탄올을 차량연료로 사용하려고 하는데 그것은 에탄올 85%와 가솔린을 혼합하여 만든 물질인 E85이다. 에탄올은 대개 원유에서 얻어지는 것이 아니라 옥수수나 사탕수수 속의 녹말을 당으로 분해하고 발효시켜서 만든다.

미국과 대만을 포함한 여러 나라의 천연가스는 화학공장의 원료로 공급된다. 그리고 이 가스는 그 자체로 많은 양의 액체를 포함하고 있는데 이것은 농축액이며 가솔린과 혼합되어 사용된다. 가연성 액체의 양은 상당히 많으며 그것을 안전하게 저장하고 처리하는 일은 화재예방공학에서 매우 중요한 일이다. ⚠

