

TANK YARD의 防災

윤완섭

〈점검1부 과장. 방재전문인〉

1. 머리말

우리 나라의 석유 화학 공업이 최근 몇년 사이에 그 시설 용량이 대폭적으로 늘어나고 있는 추세이며, 또한 신규로 석유 화학 공장들이 다수 설립됨에 따라 대형 Tank Yard도 점차 늘어나고 있다.

일본을 비롯한 선진 외국의 경우 이와 같은 대형 Tank Yard에 관해서는 특별한 법적 규제(예 : 일본은 “석유콤비나트(combinaat) 등 재해예방에 관한 법률”)을 제정하여 엄격히 관리함으로써 대형 재해의 예방에 치중하고 있으나, 우리 나라의 경우 석유 화학 공업 단지(울산, 여천, 대산 등)에 관련한 특별한 규제법은 아직까지 제정되어 있지 않고 있으며, 기존의 소방법과 산업안전보건법에 의한 기준만을 적용하고 있는 실정이다.

따라서, 석유 화학 공업 단지 내의 대형 Tank Yard 등의 시설에 대하여는 그 적용 기준이 미흡할 뿐만 아니라, 재해 예방 대책에 대하여도 충분한 연구가 이루어지지 못하고 있는 것이 사실이며 석유 화학 Process에 대한 방재 연구 활동도 크게 뒤지고 있다.

이러한 관점에서 본고에서는 Tank Yard의 방재 개념과 위험 요소, 안전 System 등 종합적인 안전 대책을 제시함으로써 Tank Yard의 대형 재해를 예방하는데 미력이나마 일조하고자 한다.

2. Tank의 재해 발생 위험

가. Tank의 재해 발생

Tank(부속 설비를 포함한다. 이하 같다.)의 재해 발생은 화재와 누설로 크게 나눌 수가 있으나, 〈표 1〉에서 볼 수 있는 것과 같이 누설 사고가 압도적으로 많으나 누설 사고의 성질상 실제 발생 건수는 이의 수 배 이상이 될 것으로 추측된다.

〈표 1〉 Tank의 재해 발생 요인(1975년 -일본)

화재	건수	누설	건수
연소	4	배관의부식·파손	16
공사중의 불티	3	밸브 조작 실수	12
bottom heater 착화	3	부식·파열	10
누설 인화	2	자동연계 사고	7
폭발	2	Tank용량 오인	6
	-	밸브 파손	5
	-	기화	9
계	14	계	65

이들 누설 사고에서, 특별히 문제가 되는 것은 배관이나 Tank의 부식, 파열 등의 손상에 의한 것이 1975년 중에는 40%에 달해, Tank 건설 10~15년이 경과한, 다시말하면 중·고 연령 Tank의 증가와 관련이 깊다.

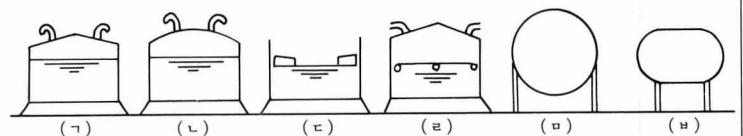
나. Tank의 구조로부터 살펴본 재해 발생 위험

Tank는 그 구조에 따라 일반적으로 다음 〈그림 1〉과 같이 6종류로 분류된다.

여기서는 〈그림 1〉의 Tank 중 (㉠)~(㉢)까지의 지상 거치형 옥외 Tank중 그 용량이 1,000kl 이상의 대형 옥외 Tank에 대해서만 기술하기로 한다.

이들 Tank의 재해 발생 위험에서 공통적인 것은, Tank 본체의 부식 및 하중에 의한 내용물의 누출 및 기초 지반의 파괴와 관련된 Tank 본체의 파괴이다.

이들 위험은 Tank 내부로부터 외부로의 누설 위험이지만, 기타 Tank 내부에서 발발하는 위험으로서, Floating Roof식 Tank의 빗물



〈그림 1〉TANK의 구조

을 회수하기 위한 Dram Pipe 연결 부분의 손상에 의한 누설 위험도 있을수 있다.

또한 출화 위험에는 <그림 1>의 (ㄱ) 및 (ㄴ)은 탱크 내부 공간부분에서 발생한 폭발성 혼합증기에 인화하는 것으로부터, 지붕판의 함몰 또는 비산을 동반하는 탱크 윗부분에서의 전면 화재로 된다.

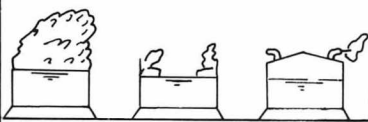
<그림 1> 중 (ㄷ) 탱크에서는 탱크 측판과 Floating Roof 상판과의 사이의 간격이 형성되어 역시 폭발성 혼합 증기에 기화하여, 소위 고리(ring) 모양의 화재가 된다.

<그림 1> 중 (ㄹ)의 탱크에서는 탱크 상부의 공간 부분의 가연성 증기 농도를 낮게 하기 위하여 통기 효과를 위한 대형 벤트(bent)가 설치되어, 이것이 방폭 효과를 가져오는 역할을 하고, 지붕판의 손상을 적게한 것으로서, 대형 Bent로부터 공기의 유입과 폭염이라는 화재 형태가 나타나게 된다.

이들 탱크 구조에 따른 화재 상황은 <그림 2>와 같이 나타나게 된다.

다. 탱크로부터의 누출 위험

탱크 건설에 있어서는 견고한 기초 지반 구성과 동시에 탱크 본체 강재의 선택과 용접 기법의 신뢰성을 높여 지진이나, 바람에 견디도록 설계된다. 다시 말하면, 탱크 자체의 중량과 부속 설비의



<그림 2> 탱크 화재의 형태

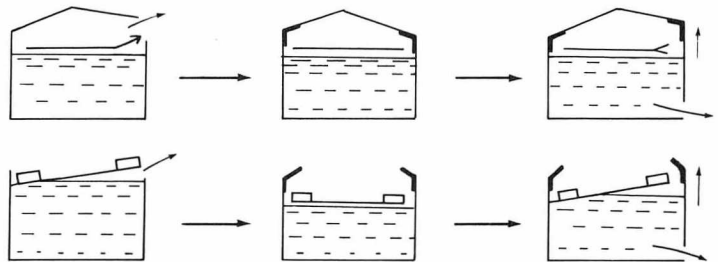
중량 및 저장한 위험물 하중 등의 주하중과, 지진, 바람 등 외적 요인에 따른 영향 등의 중하중에 대하여 탱크 본체의 응력과 변형이 허용 안전권에 들어오도록 요구된다.

이들의 설계 기준에는 지진의 경우, 지반의 상황에도 따르지만, 일반적으로는 설계 수평 지진의 강도를 0.3~0.35로 잡고 탱크 본체의 이동 및 전도응력, 더나가는 측판의 굴절 허용응력에 대한 안전도 고려해야 한다.

그러나 실제의 지진에 있어서는 종종 잠재적 위험이 표면에 나타나는 경우도 많다.

예를 들면, 1965년 6월 15일에 발생한 일본 신항지방의 지진에서는 원유탱크 6기가 탱크 높이 15M 정도의 Floating Roof 식 45,000kl와 30,000kl 탱크로써 탱크 용량의 60~70% 정도를 저장 중 이었는데, 탱크 본체의 손상이 없었음에도 불구하고 Floating Roof의 흔들림에 의해 Overflow된 사실이 당시의 항공 사진에 의해 판명되었다.

이와 같은 사고에 대비하기 위해, 최근에는 탱크 상부의 안전화가 연구되어, 내진 설계상 <그림 3>에 표시한 것과 같이 고정 지붕식 탱크에 있어서는 측판과 지붕



<그림 3> TOP ANGLE 보강에 따른 위험

판과의 접합부를 강화하고 Floating Roof Tank에 있어서는 측판의 상부에 Floating Roof가 날아가는 것을 방지하는 장치를 설치하는 것이 검토되고 있다.

그러나 이 계획에는 탱크 기능상의 위험성에 관해서는 한가지 맹점이 있다.

그것은 유면의 움직임에 의한 Over Flow는 피할 수 있을지 모르지만, 이들의 종합 응력은 지붕과 함께 측판을 들어 올리는 응력을 생기게 하여 밀판과 측판의 접합부에 중대한 영향을 가져올 가능성이 높다.

다시 말하면 탱크는 어떠한 사태에 대해서도 밀부분 파괴에 관련되는 위험은 피하지 않으면 안된다는 것이며, Overflow는 양적인 제한을 받는 유출이지만, 바닥판의 손상은 전량 누출을 의미하기 때문이다.

라. 탱크 재해 발생시에 있어서의 Energy

일본 미수시아 Combinat에서의 중유 탱크 누출 사고에서는 50,000kl 탱크에서 36,000kl이 유출돼, 탱크 직근에 설치된 철근콘크리트 기초 위에 설치한 철골 계단(중량 50톤 이상)이 20m 정도 날아가는 강력한 유출 Energy를 우리에게 유감없이 보여주었다.

이렇게 강한 유출 Energy에 대해서는 현재의 방유제는 방유제 자체가 파괴되거나 방유제 밑부분이 파여 거의 쓸모없게 된다.

탱크 화재의 Energy 방사는 전도, 화염, 대류 및 복사에 의해 이루어지나, 인접 탱크에 영향을 미치는 것은 화염과 복사이다.

원통형 Tank에 있어서 가솔린이 불붙은 경우, 바람이 없을 때의 불꽃의 높이와 Tank의 직경과의 관계를 실험적으로 구하면 <표 2>에서와 같이 탱크의 크기에 따른 불꽃의 높이는 탱크 직경의 1.5배에 근접함을 알 수 있다.

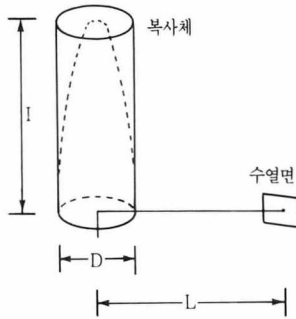
또한, 바람이 있는 경우 화염은 바람 밑부분에서 기울기가 생긴다. 그 길이는 바람이 없을 때의 불꽃 높이에 상당하는 수직축으로부터의 불꽃의 기울기 각도(θ)는 다음 식으로부터 구하여진다.

$$\tan\theta = 0.71(v^2/d)^{0.553}$$

v = 풍속(m/s) d = 용기직경(m)

일반적으로 화염으로부터의 복사 강도는 연소물의 종류, 화염의 크기 및 피사체까지의 거리 계수이다.

원통형 탱크에서 화재시의 복사 강도(E)는 <그림 4>의 경우 $E = \phi R_f [Kcal/m^2 \cdot h]$ 로 표시된다. R_f 는 복사발산도 [$kcal/m^2 \cdot h$]로 불리우는 것으로서, 석유의 중



<그림 4> 원통형 복사체와 아주 작은 수열면과의 배치 관계

류에 의해 정해지는 정수이다. 또한 ϕ 는 형태 계수라고 부르는 무차원의 수로서 화염의 크기와 형태, 화염과 수열면과의 사이의 상대적인 배치에 의해 정해진 0~1 사이의 수치를 취한다.

$$\phi = \frac{1}{\pi} \cdot n * \frac{m}{\sqrt{n^2+1}} + \frac{m}{n}$$

$$\left[(A-2^n) / m \sqrt{A \cdot B} * \tan^{-1} \right.$$

$$\left. \left(\sqrt{A(n-1)/B(n+1)} \right) - \frac{1}{n} * \right.$$

$$\left. \tan^{-1}(\sqrt{n-1/n+1}) \right]$$

$$A = (1+n) + m$$

$$B = (1-n) + m$$

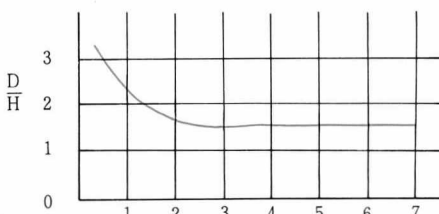
$$m = 2(H/D)$$

$$n = 2(L/D)$$

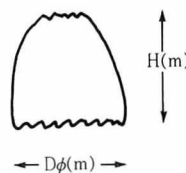
H : 탱크의 높이,

D : 탱크의 직경,

L : 탱크 중심으로부터 수열면까지의 거리



<표 2> 바람이 없을 때 불꽃 높이(H)와 탱크 직경(D)와의 관계



이상의 식을 사용하여 가솔린 및 원유의 연소시에 나오는 복사 강도를 구하면 <그림 5>와 같이 된다.

<복사열 발산도와 연속 속도>

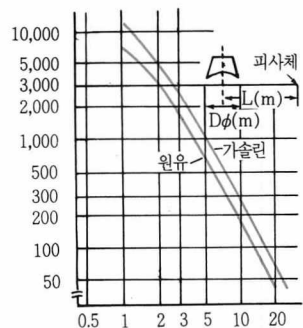
기름의 종류	Rf	연소
가솔린	50,000	4.8mm
등유	43,000	4.0mm
경유	36,000	3.3mm
중유	20,000	1.7mm

일본 四日市Combinat에서 발생한 등유 탱크 연소 사고에서는, 22,000kl 탱크의 연소 불꽃의 복사열 등에 의하여 17M 떨어진 인접 탱크 외면 500M² 및 도장부가 손실되었다.

이것은 현재 탱크 상호간의 거리가 탱크 화재에 있어서 조차 저인화점 위험물에서는 매우 높은 위험성을 보이는 것으로 주목된다.

하물며 방유제 안에 유출된 위험물에 의한 방유제 내에서의 연소는 불가피하다.

탱크 야드의 방재에서는 이와 같이 위험물의 유출과 화재시에 안전성을 높이기 위한 구체적인 사항을 검토하여 그 안전 수준을 보다 가일층 상승시키기 위한 방책을 찾아내는 것이 중요하다.㉞



<그림 5> 복사 강도와 L/D의 관계