



상압저장탱크의 안전

중대산업사고예방실
공정안전부

산업재해예방
안전보건공단

목차

- ❖ 상압저장탱크의 종류
- ❖ 상압저장탱크의 사고사례
- ❖ 상압저장탱크의 안전

산업재해예방
안전보건공단

저장탱크의 종류(NFPA 30)

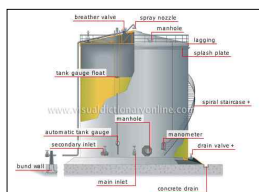
- ❖ 상압저장탱크 : 운전압력이 6.9 kPa(1 psi) 이하
 - 상온에서 액체상태인 물질을 저장(비압축성 유체 저장)
 - * 운전압력 3.43 kPa(350 mmH₂O) 미만(KOSHA guide)
- ❖ 저압저장탱크 : 운전압력이 6.9 kPa(1 psi) 초과, 103.4 kPa 이하
 - * 운전압력 3.43 kPa(350 mmH₂O) 이상, 98.1 kPa(1 kg/cm²) 미만(guide)
- ❖ 압력저장탱크 : 운전압력 103.4 kPa(15 psi) 초과
 - 상온에서 가스상태인 물질을 고압 또는 액화시켜 저장(압축성 유체 저장)
 - * 운전압력 98.1 kPa(1 kg/cm²) 이상(KOSHA guide)



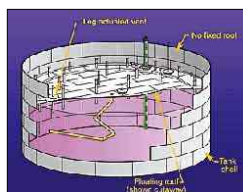
산업안전보건공단
안전보건공단

상압저장탱크의 종류

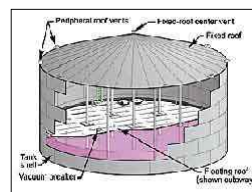
- ❖ 고정지붕 탱크(Fixed roof tank)
 - 원추형으로 된 고정식 지붕을 가지고 있는 상압저장탱크
- ❖ 외부부상지붕탱크(External floating roof tank)
 - 상하로 움직일 수 있는 부유식 지붕을 가지고 있는 상압저장탱크
- ❖ 내부부상지붕탱크(Internal floating roof tank)
 - 외부부상지붕탱크 상부에 고정된 지붕을 설치한 상압저장탱크



(CRT)



(EFRT)

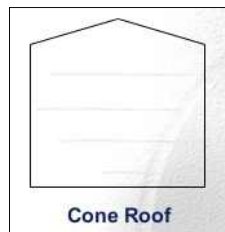


(IFRT)

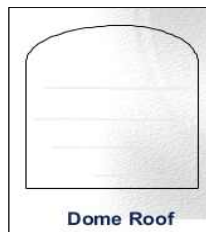
산업안전보건공단
안전보건공단

고정지붕탱크(Cone/Dome/Umbrella roof tank)

- ❖ 정유, 석유화학, 기타 화학공정 및 저유소 등에서 가장 많이 사용
- ❖ 지붕이 수평방향으로부터 1/5~1/6 정도의 원추 형태로 동체에 고정
- ❖ 휘발성이 작은 물질 및 저용량 탱크에 적용
- ❖ 위험물 입, 출고시 및 일교차에 의한 손실이 큼
- ❖ 설치비가 저렴하고 유지관리 용이
- ❖ 탱크 상부에 공기가 증기가 혼합되어 폭발분위기 형성 가능



Cone Roof



Dome Roof



산업안전공단
안전보건공단

외부부상지붕탱크

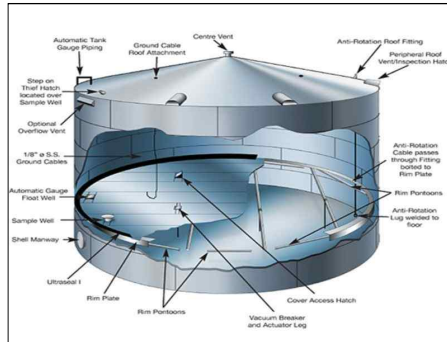
- ❖ 탱크 지붕이 고정되어 있지 않고 저장유체와 함께 상하로 움직이는 탱크
- ❖ 탱크 동체(shell)과 지붕(roof) 사이에 Seal로 밀폐
- ❖ 휘발성이 큰 물질 및 대용량 탱크에 적용
- ❖ 위험물 입, 출고시 및 일교차에 의한 손실이 작음
- ❖ 설치비가 고가하고 유지관리 어려움
- ❖ 탱크 상부의 증기 공간이 없어 폭발분위기 형성이 어려움
- ❖ 탱크 내부 빗물 유입가능성 증대
- ❖ Seal 불량 시 증발손실 및 화재 위험성 증대



산업안전공단
안전보건공단

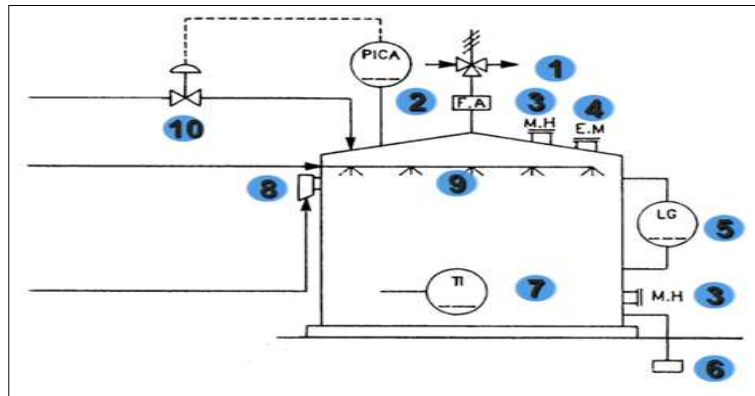
내부부상지붕탱크

- ❖ 외부부상지붕탱크 상부에 고정지붕을 설치하여 폭우, 폭설이 많은 지역 또는 제품오염 방지가 필요한 경우 사용
- ❖ 부상지붕과 고정지붕 사이에 폭발분위기 형성 가능
- ❖ 설치비 증가 및 유지관리가 더 어려움



산업안전보건공단

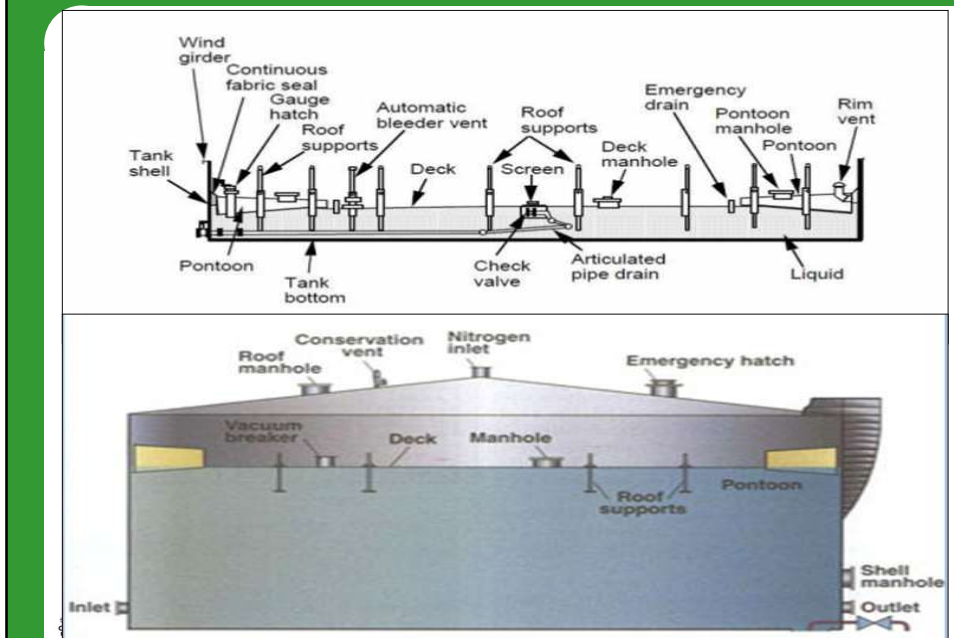
고정지붕탱크의 구성



① Breather valve(통기밸브)	⑥ Earthing(접지)
② Flame arrestor(화염방지)	⑦ Temperature Indicator(온도계)
③ Manhole(맨홀)	⑧ Foam chamber(폼챔버)
④ Emergency vent(긴급통기밸브)	⑨ Water spray(살수설비)
⑤ Level gauge(액위계)	⑩ Gas blanketing(질소퍼지)

산업안전보건공단

부상지붕탱크의 구성



저장탱크의 형식 선정기준

운전온도에서의 증기압 (P)	탱크의 용량	
	150 m ³ 이하	150 m ³ 초과
P ≤ 5.2 kPa (P ≤ 0.053 kg/cm ²) (P ≤ 0.75 psi)	고정식 지붕탱크	고정식 지붕탱크
5.2 kPa < P ≤ 27.7 kPa (0.053 kg/cm ² < P ≤ 0.282 kg/cm ²) (0.75 psi < P ≤ 4.0 psi)	고정식 지붕탱크	부유식 지붕탱크 또는 고정식 지붕탱크와 증기처리설비
27.7 kPa < P ≤ 76.7 kPa (0.282 kg/cm ² < P ≤ 0.782 kg/cm ²) (4.0 psi < P ≤ 11.1 psi)	부유식 지붕탱크 또는 고정식 지붕탱크와 증기처리설비	부유식 지붕탱크 또는 고정식 지붕탱크와 증기처리설비
76.7 kPa < P ≤ 98.1 kPa (0.782 kg/cm ² < P ≤ 1 kg/cm ²) (11.1 psi < P ≤ 14.2 psi)	저압저장탱크 또는 고정식 지붕탱크와 증기처리설비	저압저장탱크 또는 고정식 지붕탱크와 증기처리설비
98.1 kPa < P (1 kg/cm ² < P) (14.2 psi < P)	압력저장탱크	고압저장탱크

사고사례 : Overflow에 의한 증기운 폭발

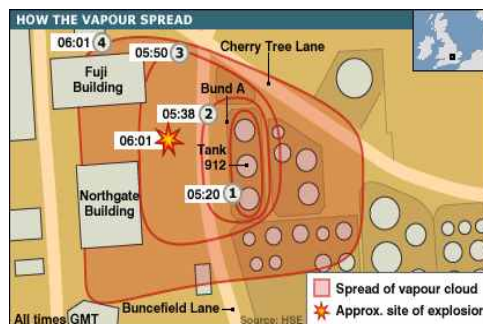
- ❖ 2005년 12월 11일 5:20경 영국 번즈필드에서 가솔린 저장탱크(IFRT) 충전작업 중 월류(Overflow)가 발생하여 동일 6:01경 1차 폭발 후 화재가 4일간 지속되어, 총 22기의 탱크가 파손된 사고.
- ❖ 사고로 43명의 부상자와 인근 상업 및 주거시설에 1.7조원의 물적피해 발생



한국화학연구원
안전보건공단

사고발생 경과

- ❖ 12월 10일 19:00경 가솔린을 T/K South 배관을 통해 550 m³/hr 유량으로 TK-912로 충전작업 시작
- ❖ 12월 11일 03:00경 TK-912의 액위계에 변화가 없는 것 확인
 - 실제로는 550 m³/hr 유량으로 충전 중이었음
- ❖ 05:20경 TK-912 고정지붕 말단 통기관을 통해 월류(Overflow) 시작(추정)
 - 과충전(월류)을 방지하기 위한 자동차단밸브 미작동
 - 월류된 가솔린 증기가 공기와 폭발분위기 형성
- ❖ 05:38경 유증기가 서쪽으로 방유제를 벗어남(CCTV)
- ❖ 05:50경 유증기가 도로까지 확산
 - 유량이 890 m³/hr로 상승
- ❖ 06:01경 1차 폭발 발생
 - 41분 동안 350 m³(300 ton) 누출



한국화학연구원
안전보건공단

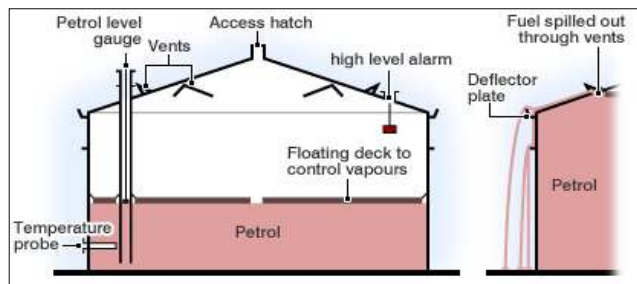
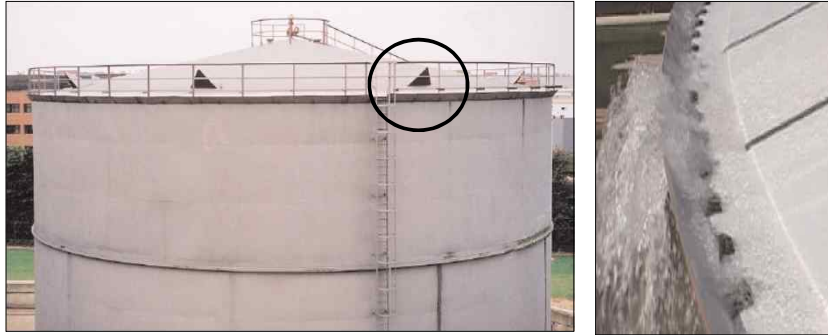


계장 및 제어설비(사고원인)

- ❖ Automatic tank gauging(ATG) 시스템
 - 액위, 온도, 밸브개폐 상태(Open/Close 상태) 감지
 - 조정실에서 모든 자동밸브에 대한 조작
 - 데이터 트렌드 및 이벤트 관리
- ❖ 긴급차단밸브
 - 최대 액위(Ultra high level)에 이르면 충전작업 자동정지
 - 운전원에게 경광등과 경보음을 통해 전달
- ❖ 사고 시 계장 및 제어설비의 작동
 - 03:00경 ATG 시스템에서는 액위변화가 나타나지 않음
 - * 03:00 이후 탱크 온도가 지속적 상승(충전 가솔린이 저장 가솔린보다 고온)
 - 가솔린 배관은 HOSL west site와 Kingsbury의 BPA site 사이에서 분기
 - * 초기에는 TK-912로 550 m³/hr 유량으로 이송
 - * 폭발 발생 7분 전 Kingsbury 배관 차단된 후 TK-912로 890 m³/hr로 이송
 - 최대 액위를 넘어 Overflow 되어도 자동정지 시스템 미작동
 - * TK-912의 인입밸브 개방 상태

안전보건공단

Overflow 위치



안전보건공단

사고사례 : CAPECO 가솔린 Overflow 사고

- ❖ 2009년 10월 23일(금) 00:23경 미국 캐리비안 석유회사(CAPECO)에서 409번 가솔린 탱크(IFRT) 충전작업 중 고정지붕 말단 통기관을 통한 월류(Overflow)에 의해 증기운 폭발 발생
(26분간 Overflow, 누출량 : 약 730 m³)



안전보건공단

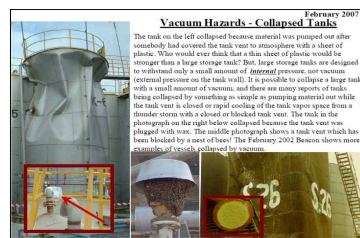
사고원인

- ❖ **Overflow 방지시스템의 고장**
 - 액위조절 시스템 및 모니터링 시스템의 동시고장
- ❖ **CAPECO 터미널의 부실운영**
 - 방유제의 배수밸브를 개방된 상태로 관리
- ❖ **관행적인 탱크 최대액위 충전**
 - 모니터에 탱크 액위가 표시되지 않은 상황에서도 탱크의 최대액위로 충전
- ❖ **신뢰도가 낮은 안전장비 사용 및 추가 안전장치의 부재**
 - 신뢰도가 낮은 액위측정 시스템 사용(사고 당일 504 탱크 액위 시스템 고장)
 - 고액위경보장치 및 긴급차단밸브 미설치
- ❖ **탱크 터미널 운영에 대한 공식적인 절차 부재**
 - 연료 이송, 탱크 액위측정, 방유제 배수밸브 운영 등의 안전작업절차 미작성
 - 이송작업 중 Overflow 발생시의 대응절차 미작성 등

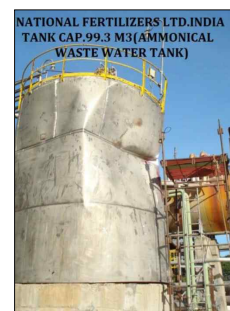
산업안전공단
안전보건공단

상압저장탱크의 안전

- ❖ **과압 및 진공에 의한 탱크 파손**



February 2007
Vacuum Hazards - Collapsed Tanks
The tank on the left collapsed because material was pumped out after somebody had covered the tank vent to atmosphere with a sheet of plastic. Who would ever think that a thin sheet of plastic would be stronger than a large storage tank? But, large storage tanks are designed to withstand only a small amount of *internal* pressure, not vacuum (external pressure on the tank walls). It is possible to collapse a large tank with a small amount of vacuum, and there are many reports of tanks being collapsed by something as simple as pumping material out while the tank vent is closed or rapid cooling of the tank vapor space from a slunder storm with a closed or blocked tank vent. The tank in the photograph on the right below collapsed because the tank vent was plugged with wax. The middle photograph shows a tank vent which has been blocked by a nest of bees! The February 2002 Bechem shows more examples of tanks collapsed by vacuum.



- ❖ **화염전파에 의한 탱크 폭발**
 - ☞ 가솔린 탱크 폭발 사고('18년)
 - ☞ RCO 송풍기 가동 중 폭발로 전파된 화염에 의한 인화성액체 탱크 폭발('10년)
- ❖ **Overflow에 의한 증기운 폭발**
 - ☞ 영국 번스필드 ('05년) 및 미국 CAPECO ('09년) 가솔린 탱크 Overflow 및 증기운 폭발 사고

산업안전공단
안전보건공단

상압저장탱크의 안전

- ❖ 탱크내부 청소작업 중 폭발 및 화재
 - ☞ 납사탱크 청소작업 중 화재('01년)
 - ☞ Light Polymer 탱크 청소작업 중 폭발('04년)
- ❖ 탱크 정비(화기) 작업 중 폭발
 - ☞ 황산탱크 배관 핀홀 제거작업 중 폭발('01년)
 - ☞ 벙커씨유 탱크 통기관 교체작업 중 폭발('10년)
 - * HDPE 사이로 폭발사고('13년), TPA 사이로 폭발사고('16년)



산업안전공단
안전보건공단

과압(진공)에 의한 탱크 파손 방지

- ❖ 통기관(안전규칙 제268조)
 - 탱크가 진공 또는 가압 상태가 되지 않도록 대기로 개방된 배관
 - 정상운전(로딩 또는 언로딩 작업) 및 대기온도 변화에 대응
 - * **통기밸브(Breather valve)**
 - 정상시에 닫힌 상태로 있다가 탱크의 압력이 미리 설정된 압력에 도달하면 밸브가 열려 탱크 내부의 가스, 증기 등을 외부로 방출하거나, 탱크 내부로 외부 공기를 흡입하는 밸브(증발에 의한 손실량 감소)
 - 가솔린 등의 손실량을 최소화하기 위해 External floating roof tank 사용
 - 우수 등에 의한 위험성을 줄이기 위해 Internal floating roof tank 사용
- ❖ 긴급통기설비
 - 정상시에는 닫힌 상태로 있다가 탱크의 압력이 설정압력에 도달되었을 때 자동으로 열리면서 많은 양의 가스, 증기 등을 방출
 - 탱크 주변의 화재로 인해 많은 양의 증기 발생시 작동
- ❖ Weak(frangible) roof-to-shell attachment
 - 동체와 지붕의 연결부가 동체와 바닥 연결부보다 우선 탈착
 - 탱크 내부에서 폭발 등 과도한 압력 발생 시 필요

산업안전공단
안전보건공단

화염전파에 의한 탱크 폭발 방지

- ❖ 화염방지기(안전규칙 제269조)
 - 인화성 액체를 저장, 취급하는 화학설비(저장탱크)에서 증기를 대기로 방출하는 경우 외부로부터의 화염을 방지하기 위하여 화학설비 상단에 설치
- * 인화방지망(안전규칙 제269조)
 - 인화점이 38℃ 이상인 인화성액체를 저장, 취급하는 경우에는 화염방지 기능을 가지는 인화방지망 설치 가능
- * 질소 Blanketing 시스템 고려
- ❖ 폭굉방지기(안전규칙 제269조)
 - 화염방지기를 설치하는 경우 한국산업표준에서 정하는 화염방지장치 기준에 적합한 것을 설치하여야 하며, 항상 철저하게 보수/유지

☞ KS B 6845(화염방지장치의 성능시험 방법)에 의한 화염방지장치의 종류


- 관말단 폭연방지장치
- 관내 폭연방지장치
- 폭굉방지장치

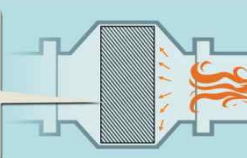
한국소방산업기술원
 위험물제품검사 안전제품검사
 화염방지장치, 통기밸브, Emergecny vent 등
 위험물시설 및 제품의 성능 등에 관한 규칙 제50조



화염방지기와 인화방지망


화염방지기
 두께 25mm
 무게 7kg






- 철사를 꼬거나 금속 구슬을 여러 번 겹쳐 만든 두꺼운 금속망
- 불길이 유입되면 여러 겹의 금속망이 열기를 흡수해 발화 차단
- 불길이 계속 유입돼도 한 겹으로 된 인화방지망에 비해 화재 방지 효과가 큼
- 가격이 최고 수천만 원대로 비쌈

인화방지망
 두께 5mm
 무게 500g





- 구리 재질의 한 겹으로 된 얇은 금속망
- 불길이 유입되면 열전도율이 높은 구리가 열기를 흡수해 발화 차단
- 불길이 계속 유입되면 판이 달궈져 불꽃이 탱크 내부로 치솟을 가능성이 있음
- 가격이 수십만 원대로 저렴



Overflow에 의한 증기운 폭발 방지

- ❖ 계측장치의 설치(안전규칙 제273조)
 - 특수화학설비를 설치하는 경우 내부의 이상상태를 조기에 파악하기 위해 압력계, 온도계, 유량계 등 계측장치 설치
 - 인화성액체 저장탱크에는 액위를 측정할 수 있는 액위계 설치
- ❖ 자동경보장치의 설치(안전규칙 제274조)
 - 특수화학설비에는 내부 이상상태를 조기에 파악하기 위해 자동경보장치 설치
 - 인화성액체 저장탱크에는 고(저)액위를 파악하기 위한 고(저)액위 경보장치 설치
- ❖ 긴급차단장치 설치(안전규칙 제275조)
 - 특수화학설비에는 이상상태 발생에 따른 폭발, 화재 또는 위험물의 누출을 방지하기 위하여 원재료 공급의 긴급차단 등의 장치 설치
 - 액위가 고액위 이상의 한계 액위에 도달 시 인입 측 긴급차단밸브 차단

산업안전보건공단
안전보건공단

확산방지조치(방유제)

- ❖ 방유제 설치(안전규칙 제272조)
 - 인화성액체 등 위험물을 액체상태로 저장하는 저장탱크를 설치하는 경우 위험물이 누출되어 외부로 확산되는 것을 방지하기 위하여 방유제 설치
- ❖ 설치 시 고려사항
 - 상호간 반응성이 있거나 서로 접촉하여서는 안되는 물질 또는 위험성을 유발하는 물질의 탱크 혼합배치 금지
 - 유효용량은 저장탱크 용량 이상(둘 이상 설치된 경우 가장 저장탱크의 용량)
 - 방유제 내면과 저장탱크 외면사이의 거리는 최소 1.5 m 유지
 - 위험물질에 의한 액압(또는 수두압)을 충분히 견딜 수 있는 구조
 - 출입용 계단 설치
 - 관통배관은 부등침하 또는 진동으로 인한 과도한 응력을 받지 않도록 슬리브 배관을 묻어 설치하고, 배관에 슬리브 배관 사이에는 충전물 삽입
 - 내부에 빗물 등을 외부로 배출하기 위한 배수구 설치 및 외부에 배수밸브 설치
 - 배수밸브는 항상 잠겨 있어야 하고 쉽게 확인 가능한 잠금장치, 꼬리표 부착
 - 내부에는 배관, 조명설비, 감지기, 계기시스템 등을 제외하고 설치 금지

산업안전보건공단
안전보건공단

API 650 ANNEX H (Internal Floating Roofs)

H.5.2.2 Tank Circulation Vents

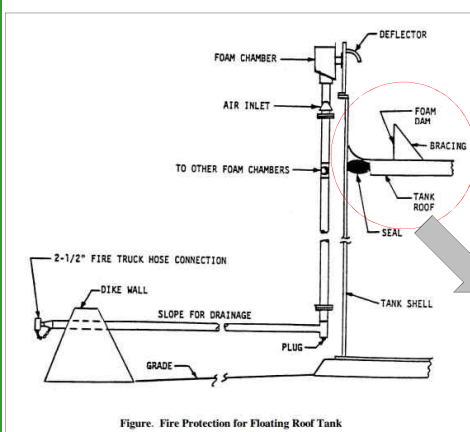
H.5.2.2.1 Peripheral circulation vents shall be located on the tank roof (unless otherwise specified by the Purchaser) and meet the requirements of H.5.3.3, so that they are above the seal of the internal floating roof when the tank is full. The maximum spacing between vents shall be 10 m (32 ft), based on an arc measured at the tank shell, but there shall not be fewer than four equally-spaced vents. The venting shall be distributed such that the sum of the open areas of the vents located within any 10 m (32 ft) interval is at least 0.2 m^2 (2.0 ft^2). The total net open area of these vents shall be greater than or equal to $0.06 \text{ m}^2/\text{m}$ ($0.2 \text{ ft}^2/\text{ft}$) of tank diameter. These vents shall be covered with a corrosion-resistant coarse-mesh screen (13 mm [$1/2$ in.] openings, unless specified otherwise by the Purchaser) and shall be provided with weather shields (the closed area of the screen must be deducted to determine the net open vent area).

H.5.2.2.2 A center circulation vent with a minimum net open area of $30,000 \text{ mm}^2$ (50 in.^2) shall be provided at the center of the fixed roof or at the highest elevation possible on the fixed roof. It shall have a weather cover and shall be provided with a corrosion-resistant coarse-mesh screen (the closed area of the screen must be deducted to determine the net open vent area).

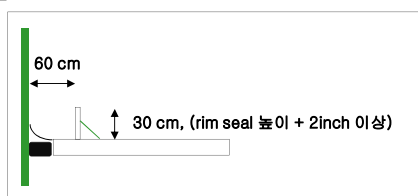
H.5.2.2.3 If circulation vents (per H.5.2.2.1 and H.5.2.2.2) are not installed, gas blanketing or another acceptable method to prevent the development of a combustible gas mixture within the tank is required. Additionally, the tank shall be protected by pressure-vacuum vents in accordance with 5.8.5, based on information provided by the Purchaser.



포소화설비



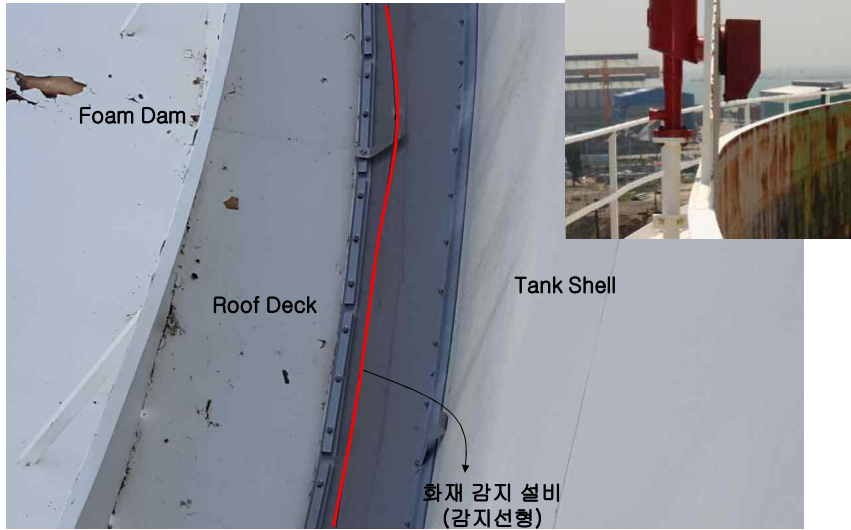
<Rim Fire>



<Foam Dam>

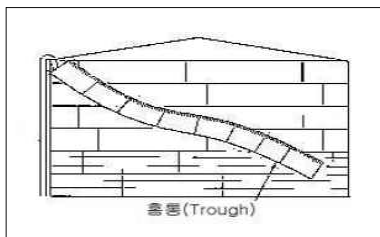


화재감지기

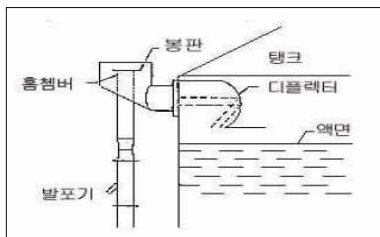


안전보건공단

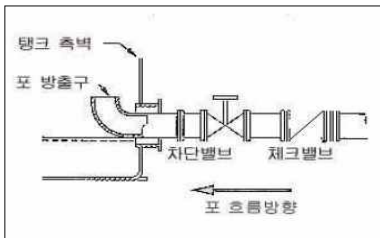
폼챔버



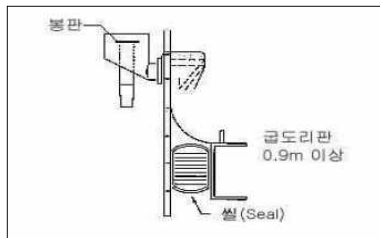
<I형 고정포 방출구>



<II형 고정포 방출구>



<표면하 포주입 방출구>



<특형 방출구>

안전보건공단

