

저장탱크 안전

(Safety of Storage Tank)



안전보건공단 전문기술실

CONTENTS

1 배경 및 목적

2 국내외 저장탱크 사고사례

3 저장탱크 화재폭발 예방대책

4 질의 응답

1

배경 및 목적



1 배경 및 목적

'18년 10월 경기도 소재 OO공사에서 발생한 저장탱크의 화재·폭발 예방대책을 수립하기 위하여 BH 주관으로 시행한 「저장 탱크 화재폭발 TF」의 결과를 저장탱크 사용 사업장에 적용하여 저장탱크 사용 시 화재·폭발을 예방하기 위함임

2

국내외 저장탱크 사고사례

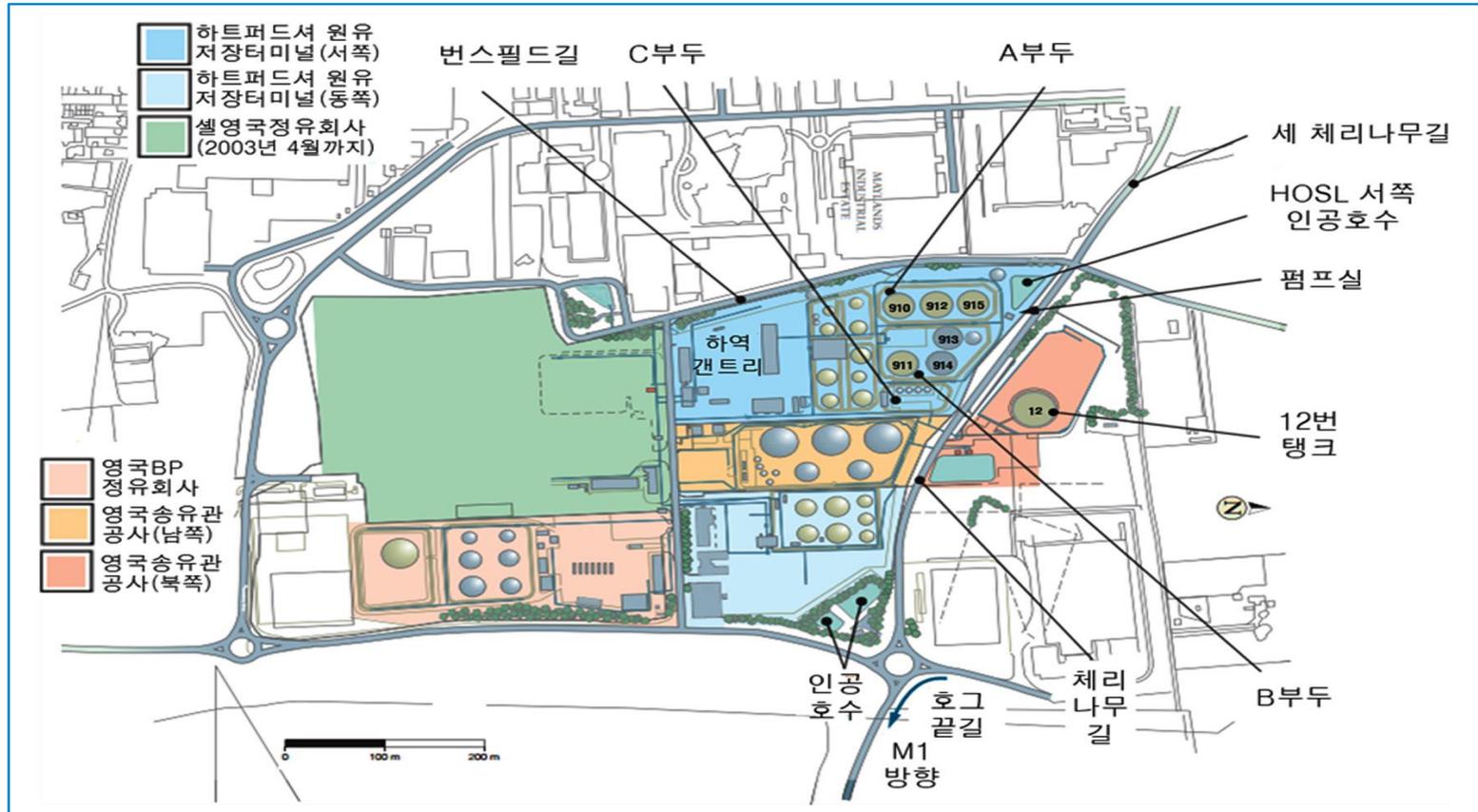


1

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고 사업장명 및 위치

영국의 하트퍼드셔(Hertfordshire)주의 헤멜 햄프스테드(Hemel Hempstead)시에 위치(그림 1)한 번스필드(BUNCEFIELD) 원유저장 터미널



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P11.

<그림 1> 번스필드 원유저장터미널의 위치 및 주변 환경

1

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

◎ 사고 발생 경과

- 2005년 12월 10일 오후 5시, 파이프라인을 통해 탱크로 제품 이송을 시작하였으며, 당시 유량은 550 m³/h를 유지
- 12월 11일 새벽 3시, 측정기의 액위값이 변하지 않았지만 시간당 550 m³의 유량으로 제품 이송이 계속 이루어졌으며, 이 상태가 지속될 경우 이론적으로는 5시 20분경 탱크에서 overflow(넘침) 발생
- 12월 11일 새벽 5시 30분경 CCTV 화면에 증기가 발생한 것이 관찰되었으며, 6시 1분에 1차 폭발 발생(그림 2)



※ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P12.

<그림 2> 증기운 형성 전(왼쪽)과 후(오른쪽)의 CCTV 화면

1

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고 원인 분석

- 사고 탱크에는 작업자가 충전 작업을 모니터링할 수 있는 액위계와 탱크 넘침이 발생할 경우 충전작업을 자동으로 중지하는 원격 스위치가 설치되어 있었음
- 초기 분석 결과에 의하면 새벽 3시경 탱크로의 제품 이송 파이프의 유량계는 시간당 550 m³에 멈추어 있었지만, 실제로는 지속적으로 증가하여 폭발 직전인 6시경에는 시간당 890 m³에 달한 것으로 보임
- 사고 조사원들은 액위계와 충전 제어 시스템이 제대로 작동하지 않았다고 결론 내림
- 탱크에서 넘쳐 흐른 원유로부터 발생된 증기운이 폭발하여 주변에 있던 탱크 22기의 화재로 이어짐

○ 사고로 인한 피해

- 화재는 4일간 지속되었으며(그림 3) 43명의 부상자가 발생
- 인근 상업·주거시설에 대한 피해액이 약 1.7조원(15억달러)에 달함

1

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P13.

<그림 3> 폭발에 의한 화재(왼쪽) 및 화재에 의한 피해 시설(오른쪽)

1

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

◎ 재발 방지 대책

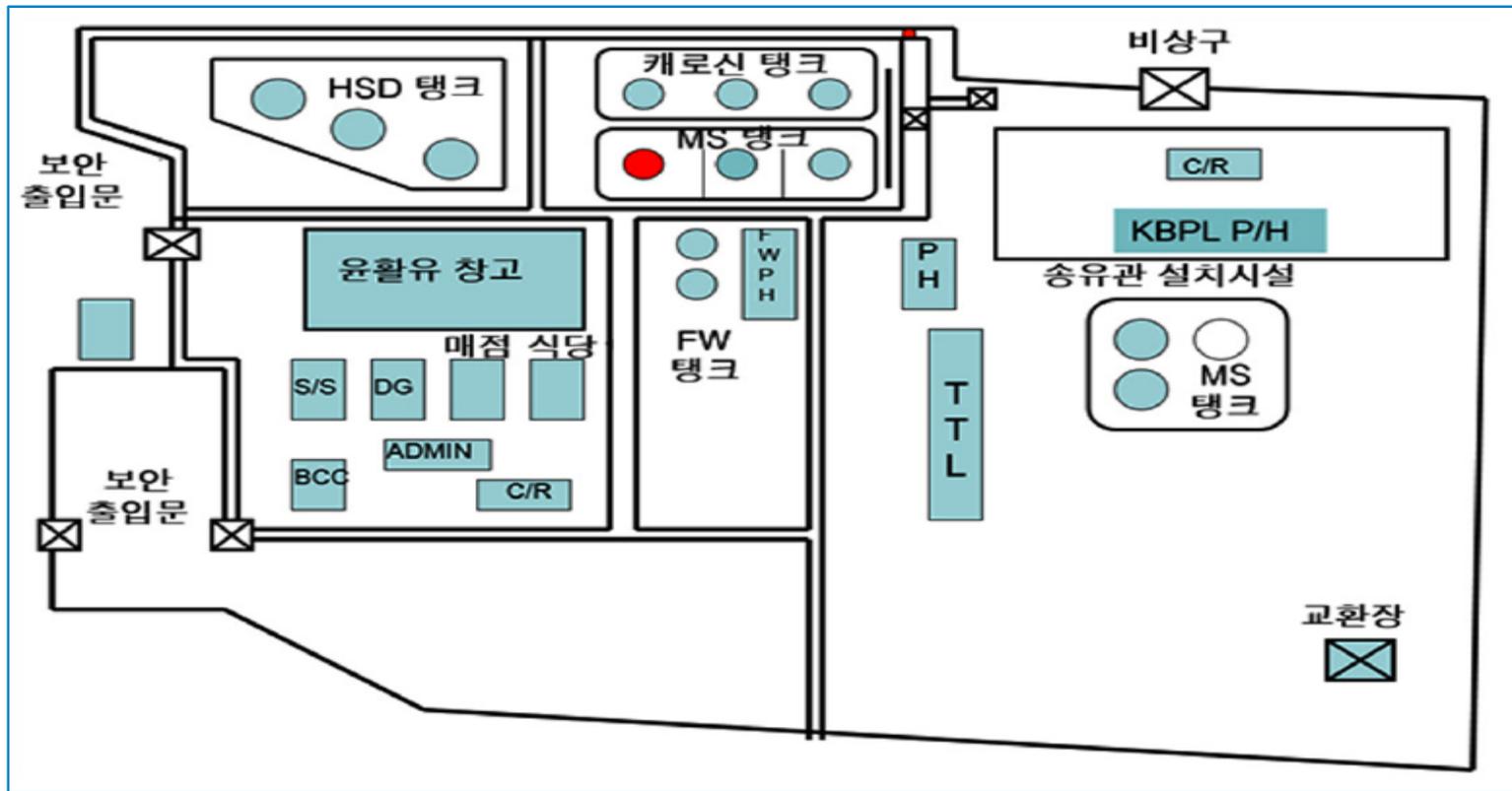
- 충전에 의한 overflow(넘침) 방지 제어 시스템은 아래의 조건을 만족하여야 함

- ① 장치 또는 장비의 기능에 있어 문제가 없어야 함
- ② 자동으로 작동될 수 있어야 함
- ③ 액위측정기와는 독립적으로 작동하여야 함
- ④ 다른 장치들과 물리적·전기적으로 분리되어야 함

2 인도 자이푸르(Jaipur) 원유배관 · 탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고 사업장명 및 위치

- 인도 라자스탄주(Rajasthan)의 자이푸르(Jaipur)에서 서쪽으로 약 25.7 km 떨어진 곳에 위치한(그림 4) 인도 국영 석유정제회사(Indian Oil Corporation, IOC)



※ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P14.

<그림 4> 자이푸르 터미널의 위치 및 주변 환경

2

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고 발생 경과

- 2009년 10월 29일 오후 6시 45분, 인도 국영 석유정제회사(IOC)의 대규모 저장 탱크로 휘발유를 이송하던 중, 배관에서 대량의 휘발유 누수 현상이 발생
- 방류벽의 드레인 밸브(drain valve)를 통해 휘발유가 우수관으로 흐르고, 대규모 증기운이 형성
- 오후 7시 30분, 첫 번째 탱크가 폭발하여 리히터 규모 2.3의 진동이 발생
- 오후 8시, 화재가 걷잡을 수 없이 커져 순식간에 12개의 탱크의 화재로 확산됨

○ 사고 원인 분석

- 사고 저장탱크는 부상형 지붕식 탱크(floating roof tank)로, 첫 번째 폭발에 의한 영향으로 탱크의 증기씰(vapour seal)이 있는 가장자리로부터 누출이 시작되며 화재가 확산
- 작업자가 휘발유가 누출되었다는 경보장치를 목격하고 휘발유 냄새를 맡았는데도 사고 발생 당시 적절한 조치를 취하지 않아 대규모 사고로 이어짐

※ 사고시 적절한 조치를 취하지 않은 인도 국영 석유정제회사(IOC)의 부장을 포함한 직원 9명은 과실치사죄로 2010년 6월 경찰에 체포

2

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고로 인한 피해 및 대피 현황

- 화재와 폭발로 인해 12명의 사망자와 150여명의 부상자가 발생하였으며, 재산 손실은 약 740억원(65백만달러)으로 추정
- 대규모 화재가 빠르게 확산됨에 따라, 소방당국은 연소 중인 연료가 소진되어 화재가 어느 정도 소강될 때까지 기다리기로 결정함
- 반경 5 km 범위가 위험지역으로 선포되어 지역 내 50만명 이상이 대피하였으며, 대피자 중 대부분은 근처에 있는 국립병원의 입원환자와 의료진, 10여개 대학의 학생, 엔지니어였음
- 11일 동안 지속된 화재로 인해 주변에 위치한 사업체는 임시 휴업하였으며 학교는 휴교령이 내려짐

2

영국 번스필드(Buncefield) 원유탱크 화재 · 폭발사고



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P16.

<그림 5> 탱크 화재(왼쪽)와 파열된 배관(오른쪽)

3

베네수엘라 타코아(Tacoa) 발전소 연료유 탱크 화재 · 폭발사고

⊙ 사고 사업장명 및 위치

- 베네수엘라의 수도 카라카스(Caracas) 외곽 32 km에 떨어진 타코아(Tacoa) 발전소



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P16.

<그림 6> 사고 사업장 위치 및 주변 환경

3

베네수엘라 타코아(Tacoa) 발전소 연료유 탱크 화재 · 폭발사고

○ 사고 발생 경과

- 1982년 12월 19일, 타코아(Tacoa) 발전소 내 연료유가 채워진 9번 탱크에서 8번 탱크로 이송작업 중 1차 폭발 및 화재가 발생함
- 유조선 'Murachi'에서 약 1만 5천 리터의 연료유를 공급하던 유조선과 타코아 (Tacoa) 발전소가 2차로 폭발
- 화재가 지속되면서 다음날 연료유 탱크에 3차 화재가 발생함

○ 사고 원인 분석

- 화재가 발생한 지 8시간 후 1차 사고 진화에 사용되었던 소방용수가 뜨거운 증기 (약 1,700배 팽창)로 되면서 기름과 함께 끓어올라 넘쳤으며(boil-over), 이로 인한 2차 사고가 발생
- 해발 180 m의 고지대에 탱크가 위치하고 화재열로 인해 대응요원이 사고 현장에 접근하기가 힘들었으며, 소화약품의 사용이 어려워 화재가 확산됨

3

베네수엘라 타코아(Tacoa) 발전소 연료유 탱크 화재 · 폭발사고

⊙ 사고로 인한 피해

- 작업 중이던 두 명의 근로자가 사망하였으며, 폭발로 인해 주변지역의 지반이 흔들리는 현상이 나타남
- 화재로 인해 사고지점으로부터 반경 100 m에 위치한 연료탱크가 모두 연소됨
- 12월 19일에 발생한 화재는 22일까지 나흘간 지속되었으며, 150명의 사망자와 500여명의 부상자가 발생하고 15명이 실종됨
- 인근 지역의 주민 4만여명이 대피하였으며 3백만 가구가 정전되고 수도시설과 의료시설의 이용이 제한됨
- 국제공항이 24시간 동안 폐쇄되어 234억원(2천만달러) 이상의 재산피해가 발생하였으며, 가옥 70여채와 60대 이상의 차량, 헬리콥터가 화재열에 녹거나 손상을 입었음

3

베네수엘라 타코아(Tacoa) 발전소 연료유 탱크 화재 · 폭발사고



‡ 출처 : Incidents That Define Process Safety, CCPS(Center for Chemical Process Safety)
<그림 7> 타코아(Tacoa) 발전소 폭발사고 현장

3

베네수엘라 타코아(Tacoa) 발전소 연료유 탱크 화재 · 폭발사고

○ 재발 방지대책

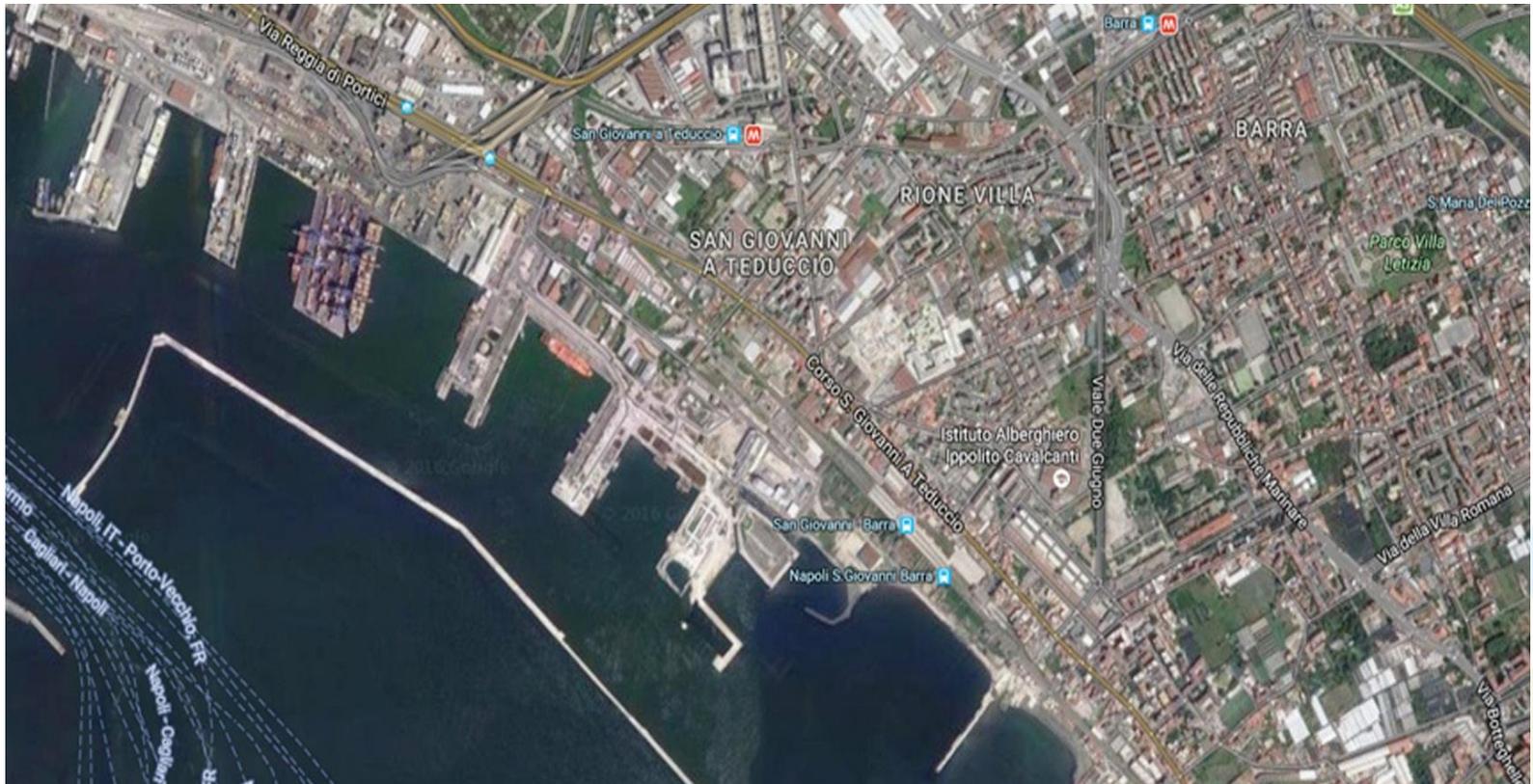
- 연료탱크의 화재에 대비한 폼 소화제 살포 장치 설치
- 폭발 방지 점화 시스템 설치
- 사고원인 물질의 종류 및 물질의 특성을 파악한 후 방재활동 실시

3

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고

⊙ 사고 사업장명 및 위치

- 이탈리아 나폴리 근처의 산조반니 아 테두치오(San Giovanni a Teduccio, Agip) 연료저장시설(그림 8)



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P19.

<그림 8> 사고 사업장 위치 및 주변 환경

4

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고

◎ 사고 발생 경과

- 2012년 12월 20일 오후, 나폴리 항구에 정박한 유조선 'Agip-Gela'는 시간당 780 m³ 유량으로 휘발유를 저장시설로 이송
- 12월 21일 새벽 1시 20분, 휘발유는 17번, 18번 탱크로 동시에 이송됨. 18번 탱크의 1번 밸브는 개방하였지만, 2번 밸브는 닫혀 있어 17번 탱크로만 휘발유가 이송됨
- 새벽 3시 20분경 17번 탱크에서 overflow(넘침) 발생. 약 1시간 30분 동안 약 700톤 가량의 휘발유가 17번 탱크의 지붕을 통해 넘쳐 외부로 유출되고 증기운이 형성되었으며, 탱크의 인접 펌핑 구역에 풀(pool)이 형성
- 12월 21일 새벽 5시 13분경, 펌핑구역에서 점화가 일어나 증기운 폭발이 발생하였고, 6일 동안 32개의 탱크 중 24개의 탱크가 파괴됨

4

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고

◎ 사고 발생 경과

- 2012년 12월 20일 오후, 나폴리 항구에 정박한 유조선 'Agip-Gela'는 시간당 780 m³ 유량으로 휘발유를 저장시설로 이송
- 12월 21일 새벽 1시 20분, 휘발유는 17번, 18번 탱크로 동시에 이송됨. 18번 탱크의 1번 밸브는 개방하였지만, 2번 밸브는 닫혀 있어 17번 탱크로만 휘발유가 이송됨
- 새벽 3시 20분경 17번 탱크에서 overflow(넘침) 발생. 약 1시간 30분 동안 약 700톤 가량의 휘발유가 17번 탱크의 지붕을 통해 넘쳐 외부로 유출되고 증기운이 형성되었으며, 탱크의 인접 펌핑 구역에 풀(pool)이 형성
- 12월 21일 새벽 5시 13분경, 펌핑구역에서 점화가 일어나 증기운 폭발이 발생하였고, 6일 동안 32개의 탱크 중 24개의 탱크가 파괴됨

4

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고

◎ 사고 원인 분석

- 액위계와 유량 제어 시스템이 제대로 작동하지 않았고 휘발유 유출시 적절한 감지·경보장치가 없었으며, 현장 작업자의 세심한 관찰 및 적절한 조치가 이루어지지 않아 대규모 사고로 이어짐

◎ 사고 인한 피해

- 폭발과 화재로 인해 5명의 사망자와 170여명의 부상자가 발생하고 2,000여명의 주민들이 대피하였으며, 6일 동안 지속된 강력한 폭발과 화재로 주변 지역의 모든 건물과 시설이 파괴됨(그림 9)
- 6개의 탱크 지붕이 50 m 떨어진 곳에서 발견되었으며, 인근 고속도로가 심하게 파손됨
- 800여명의 소방관들이 166개의 이동장비를 활용하여 비상대응하였으며, 트럭과 비행기 등에 약 460톤의 폼 소화제를 방재약품으로 사용.

4

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고



‡ 출처: 국외 저장탱크 화학사고 사례 연구집(화학물질안전원) P20.
<그림 9> 폭발에 의한 화재(왼쪽) 및 피해 시설(오른쪽)

4

이탈리아 나폴리(Naples) 휘발유 탱크 폭발사고

◎ 재발 방지 대책

- 아래의 조건을 만족하는 과충전에 의한 overflow(넘침) 방지 제어 시스템 설치

- ① 장치 또는 장비의 기능상 문제가 없어야 함
- ② 자동으로 작동될 수 있어야 함
- ③ 액위측정기와는 독립적으로 작동되어야 함
- ④ 다른 장치들과 물리·전기적으로 분리되어야 함

- 작업절차서에 따른 작업 실시

- 안전관리자 입회 하에 작업 실시

- 작업장 주변 정전기, 열, 스파크 등 점화요인 제거

5

국내 상압저장탱크 사고사례

- 2014. 8.16(토) 15:45분 경 인천시 중구 항동 소재 OO(주)OO저유소에서 유류 저장탱크의 개방검사를 위하여 내부 혼합유(가솔린, 등유 혼합)를 제거 후, 내부 물청소작업을 완료하는 시점에서 최종 청소완료 여부 확인(탱크내 부유지붕 측면 실(Seal)상태 점검 등)을 하기 위해 협력업체 작업자가 입조한 상태에서 화재가 발생하여 1명이 화상

- '97년 8월 15일 00:10경 전남 여천지역에 있는 ○○○(주)의 가솔린 저장탱크의 내부 부유지붕식 저장 탱크(Internal Floating Roof) 부위(외부지붕과 내부 부유지붕과의 사이)에서 화재가 발생하여 01:30분경 진화된 사고임.

5

국내 상압저장탱크 사고사례



[인천소재 OO 저유소 사고현장]



[여수 소재 사고현장]

3

저장탱크 화재폭발 예방대책



3

기존 저장탱크

(단기적 대책)

- ① 입출고시 시료채취 및 모니터링(monitoring) 실시, 주기적인 샘플링(Sampling) 실시
- ② 저장탱크의 L.L.L(Low Liquid Level)이 폰툰 서포트 밑으로 위치 하도록 개선

(중기적 대책)

- ① 화재확산 방지를 위한 물분무설비 등 설치(화물고려)
- ② 화재 시 인접탱크 개방을 위한 MOV 등 원격조작밸브 설치

(장기적 대책)

- ① 저장탱크의 질소퍼지(blanketing)
- ② 화염방지기 설치(Flame arrester)
- ③ 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE) 개정

3

신규로 제작되는 저장탱크

신규 탱크 제작 시 다음 조치 택일 또는 조합하여 시행**

(조치1) 탱크 설계 시 화재폭발 우려가 없는 형식으로 선정

(조치2) 불활성화 퍼지(Inert gas Blanketing)

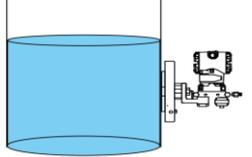
(조치3) 화염방지기 설치(Flame arrester)

- API 2000(Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tank) 3.5.2를 적용

** 탱크의 공간이 폭발위험 범위에 해당될 수 있는 경우 안전조치 고려

3

저장탱크 화재폭발 예방 대책 세부내용

구분	대책	상세 조치내용	참고사진 등	
기술적	단기	<p>입출고 시 모니터링 실시, 주기적인 샘플링</p>	<p>저장탱크 내부에 온도센서(Temperature Sensor)를 설치하여 입출고시 모니터링 하고, 주기적인 샘플링*으로 급격한 온도변화를 사전에 인지하고 신속히 대응</p> <p>*온도센서 설치가 불가능한 사업장에 해당</p>	
		<p>휴먼에러(Human error) 예방</p>	<p>저장탱크 레벨을 일정하게 유지하여 유증기 정체를 방지토록 입출하시 표준작업안전수칙(SOP)과 안전보건기술지침(KOSHA Guide)을 제정하여 사업장에 안내 및 관리</p>	
	중기	<p>물분무설비 등 설치 (화재확산 방지)</p>	<p>인근 저장탱크 화재 시 화재 확산을 방지하기 위하여 저장탱크에 물분무설비 (Water spray) 설치</p>	
		<p>화재 시 인접탱크 밸브 개방을 위한 MOV 등 원격조작밸브 설치</p>	<p>저장탱크 화재 시 확산 및 피해를 최소화하기 위해 인접탱크의 자동밸브를 설치하여 위험물을 비어있는 탱크 또는 비상저장탱크로 신속히 이송하고 화재가 인접탱크로 번지는 것을 사전에 차단</p>	
	장기	<p>저장탱크 내부 질소 치환 (불활성화)</p>	<p>가솔린 등 유류저장탱크에 불활성가스(질소 등)를 봉입하여 저장탱크 내부에 폭발위험 분위기를 상쇄하여 화재·폭발 사고예방</p>	
		<p>화염방지기 설치</p>	<p>가연성 가스 또는 인화성액체를 저장하거나 수송하는 설비 내. 외부에서 화재가 발생 시 폭연 및 폭굉화염이 인접설비로 전파되지 않도록 차단</p>	

3

단기적 대책

1

흡입식 가스누출감지기 설치

○ 목적

- 저장탱크에서 발생하는 가스농도를 사전에 감지하여 경보와 동시에 소화함으로써 저장탱크 화재.폭발 재해예방

○ 설치위치

- 저장탱크 주변의 일정한 장소에 저장탱크 직경에 맞도록 설치

○ 현장 설치상태



○ 관리 및 유지방법

- 항상 작동상태이어야 하며, 정기적인 점검과 보수를 통해 정밀도를 유지하여야 함.

3

단기적 대책

2 운전절차 개선

○ 목적

저장탱크의 레벨(Level)을 내부 부상형 지붕(Internal Floating Roof) 이하로 유지했을 경우, 액체를 충전하면서 그 공간에 있던 유증기가 내부 부상지붕 위에 정체될 가능성이 있어 이를 방지하기 위함

○ 관리방법

저장탱크의 LLL이 폰툰 서포트 밑으로 위치하지 않도록 운전절차 개선

3

장기적 대책

1

화재확산 방지를 위한 물분무설비 등 설치

○ 목적

인근 저장탱크 화재시 화재 확산을 방지하기 위하여 저장탱크에 물분무설비 설치

○ 구조 및 작동원리

구조 : 일체개방밸브, 유수검지장치, 제어밸브, 물분무헤드, 가압송수장치 등으로 구성

작동원리 : 화재감지기능 헤드 또는 화재감지기로 화재를 감지하여 일체개방밸브를 개방함으로써 소화수를 방사

○ 현장 설치상태



3 중기적 대책

2 화재시 인접탱크 밸브 개방을 위한 원격조작밸브 설치(MOV 등)

○ 목적

- 저장탱크 화재시 확산 및 피해를 최소화하기 위해 인접탱크의 위험물을 비상저장탱크로 신속히 이송하여 화재가 인접탱크로 번지는 것을 사전에 차단

○ 설치위치

- 저장탱크 하부 이송배관, 이송펌프 후단 배관 등

○ 현장 설치상태



○ 관리 및 유지방법

전동밸브(MOV)는 연 1회 이상 주기적인 작동시험을 실시함

공장의 가동정지(연차보수) 시에는 전동밸브(MOV)에 대해 정밀시험 및 점검을 실시

3 중기적 대책

3 저장탱크 주변에 온도센서(Sensor)와 열화상 카메라 설치

○ 목적

저장탱크 주변에 온도센서(Temperature Sensor)와 열화상 카메라를 설치하여 급격한 온도변화를 사전에 인지하고 신속히 대응

○ 설치위치

온도센서 : 저장탱크 표면의 상/중/하 위치에 설치

열화상카메라 : 저장탱크 및 주변의 모니터링이 가능한 위치에 설치

○ 현장 설치상태



○ 관리 및 유지방법

- 연 1회 이상 또는 제조사 유지보수매뉴얼에 따라 주기적인 점검을 실시

3

장기적 대책

1

저장탱크의 질소퍼지

○ 목적

가솔린 등 유류저장탱크에 불활성가스(질소 등)를 봉입하여 저장탱크 내부에 폭발위험 분위기를 상쇄하여 화재·폭발 사고예방을 위함.

○ 방법

저장탱크 상부에 질소 배관을 연결하여 압력계와 연동함으로써 일정 압력 유지 및 내부 치환

○ 현장 설치상태



○ 특이사항

과량의 질소소모 및 처리시설 추가 설치 등으로 인한 사업장 경제성 저하우려
질소의 공급이 일정해야 하므로 관련 계기류 상태확인 및 내부 압력에 대한 상시감시 필요

3

장기적 대책

1

저장탱크의 질소퍼지

○ 목적

가솔린 등 유류저장탱크에 불활성가스(질소 등)를 봉입하여 저장탱크 내부에 폭발위험 분위기를 상쇄하여 화재·폭발 사고예방을 위함.

○ 방법

저장탱크 상부에 질소 배관을 연결하여 압력계와 연동함으로써 일정 압력 유지 및 내부 치환

○ 현장 설치상태



○ 특이사항

과량의 질소소모 및 처리시설 추가 설치 등으로 인한 사업장 경제성 저하우려
질소의 공급이 일정해야 하므로 관련 계기류 상태확인 및 내부 압력에 대한 상시감시 필요

3

장기적 대책

2

화염방지기 설치

○ 목적

가연성 가스 또는 인화성액체를 저장하거나 수송하는 설비 내·외부에서 화재가 발생시 폭연 및 폭굉 화염이 인접설비로 전파되지 않도록 차단

○ 설치기준

화염방지기는 가능한 보호대상 화학설비의 통기관 끝단에 설치

상온에서 저장·취급하는 액체의 인화점이 38 °C 이상이고, 60 °C 이하인 경우에는 화염방지기의 설치를 생략하고 인화방지망을 설치 가능

인화점이 100 °C 이하이고, 저장온도가 인화점을 초과하는 경우 화염방지기를 설치

통기관에 통기밸브(Breather valve)가 있는 경우는 해당 화학설비와 통기밸브 사이에 화염방지기를 설치.

다만, 화염방지기의 성능을 갖는 통기밸브인 경우에는 화염방지기의 설치 생략가능

3

장기적 대책

2

화염방지기 설치

○ 현장 설치상태





4

질의 응답

감사합니다