Fire Sci. Eng., Vol. 33, No. 1, pp. 45-49, 2019
DOI: https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.1.045

ISSN : 2508-6804 (Online)
ISSN : 1738-7167 (Print)

[Research Paper]

내부 부상형저장탱크(IFRT) 화재·폭발 예방대책에 관한 연구

구채칠 · 최재욱*†

한국산업안전보건공단 전문기술실 차장, *부경대학교 소방공학과 교수

Study of Fire and Explosion Prevention of an Internal Floating Roof Tank

Chae-Chil Koo · Jae-Wook Choi*†

Senior Manager, Korea Occupational Safety and Health Agency,
*Professor, Department of Fire protection Engineering, Pukung National University

(Received December 10, 2018; Revised January 8, 2019; Accepted February 7, 2019)

요 약

본 연구는 옥외저장탱크에서 발생한 화재의 근본적인 원인분석을 통해 저장탱크의 안전을 유지할 목적으로 수행되었다. 옥외저장탱크는 위험물을 장기간 저장하기 위한 고정장치로 탱크본체 및 부속장치로 구성되며, 부속장치는 벤트 시스템, 브레더 밸브, 화염방지기 등으로 구성된다. 화염방지기는 옥외저장탱크의 화재·폭발을 방지하기 위해 필요한 안전장치이다. 하지만 최근 발생한 옥외저장탱크 화재를 계기로 기존에 설치되어 운용중인 옥외저장탱크에 안전성 확보 차원에서 화염방지기를 의무적으로 설치해야 하는지 국내·외 기준을 비교 분석하여 화염방지기 설치가 필요함을 제시하였고, 화염방지기의 성능을 검증할 수 있는 국내기준이 부족하므로 외국 기준을 참고하여 보완할 필요성이 있다.

ABSTRACT

This study examined the safety of storage tanks by analyzing the causes of fire on outdoor storage tanks. The outdoor storage tank is a fixed device for the long-term storage of dangerous goods and consists of a tank body and accessories; the accessories consist of a vent system, breather valve, flame arrestor, etc. The flame arrestor is a necessary safety measure to prevent fire explosions on outdoor storage tanks. On the other hand, it has been suggested that the installation of a flame arrester is necessary to compare the domestic and international standards. In addition, the flame arrester should be installed in the existing outdoor storage tanks, to complement foreign standards because there are not enough domestic standards to verify the performance of the flame arrester.

Keywords : Atmospheric storage tank, Floating roof tank, Internal floating roof tank, Flame arrester, Breather valve

1. 서 론

최근 ㈜대한OOO공사 내부 부상형 저장탱크에서 화재가 발생하여 사회적으로 문제가 되었고 당시 저장탱크는 지중(Above ground)으로 구성된 탱크였으며 화염방지기의 설치가 미흡하여 발생된 것으로 보도[1]되었다. 저장탱크 화재는 사회적으로 큰 물의를 일으킨 대형사고이기 때문에 이를 예방하는 것이 필요하다. 국내의 상압저장탱크의 화재에 의한 사고는 '97년 8월 전남 여천지역에 있는 ○○○(주)의 가솔린 저장탱크는 내부 부유지붕식 저장탱크(Internal floating roof) 외부지붕과 내부 부유지붕과의 사이에서 화재[2]가 발생하였다. 발생원인은 탱크의 진원도 불량 또는 씰 부위 파손으로 가솔린이 누출과 내부탱크 지붕의 회전을 방지할 목적으로 설치한 회전방지케이블(Anti rotation cable) 하우징(Housing)의 동라이닝(Bronze linning)의 노후화로 인한 마모였다. 또한, 2014년 4월 울산시 온산읍 소재 OO-Oil(주)의 원유저장탱크 하부 Mixer Box부분이 손상되어 저장된 원유가 대량 누출되는 사고[3,4]가 있었다. 2018년 10월에는 경기도 고양시에 위치한 ㈜대한OOO공사 사업장내 저장탱크 야드에 사업장 외부에서 들어온 풍등(등 안에 고체 연료에 불을 붙여 뜨거운 공기를 이용해 하늘로 날리는 소형 열기구)이 가솔린을 저장하는 저장탱크 주변으로 날아와

† Corresponding Author, E-Mail: jwchoi@pknu.ac.kr, TEL: +82-51-629-6470, FAX: +82-51-629-7078
ⓒ 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

지면에 떨어져, 풍등의 화원이 탱크 주변 잔디에 옮겨 붙었으며 화재가 발생한 후, 점차 연소 면적이 확대되어 탱크 벤트구까지 도달하여 탱크 내부로 역화가 진행되면서 탱크가 폭발한 사고가 있었다. 국외에서 발생한 저장탱크 화재는 '06. 1월 미국 플로리다에서 화염방지기가 손상된 저장탱크 위에서 금속제 지붕보수 작업 중 불꽃이 손상된 화염방지기를 통해 탱크 내부로 전파되어 탱크 내에서 화재·폭발[5]이 발생한 사고가 있었다. 저장탱크에 대한 화재·폭발 연구는 저장탱크 사고사례 분석[6,7], 고정식 상압저장탱크에서의 폭발사고사례 분석[8], 상압저장탱크에서 번개에 의해 유발된 사고 시나리오 분석[9] 등이 있었으나, 이번 사고처럼 저장탱크에 화염방지기 설치 등 화재·폭발을 예방하기 위한 연구는 진행되지 않았다. 본 연구에서는 위험물을 저장하는 상압저장탱크인 Internal Floating Roof Tank (IFRT)에서 화염방지기 설치여부에 대한 실태조사를 통해 국내 실정을 검토하고 화염방지기를 설치할 경우 발생할 수 있는 문제점과 이에 대한 제도적인 접근 방향을 제시하고자 한다.

2. 상압 저장탱크

위험물 저장탱크는 설계 시 한국산업규격[10], 미국의 API STD 650[11], 620[12], 영국표준 2654[13], 에 근거하여 설계되고 있다. 위험물 저장탱크는 Table 1에서와 같이 형상, 사용재질, 제작방법, 사용방법, 설치장소, 지붕의 형상에 따라 여러 가지 형태로 분류되며, Table 2과 같이 Roof의 형태에 따라 고정식 지붕형태인 Cone roof tank, 원주방향으로 판이 부유하는 부유식 지붕탱크(Floating roof tank), 고정식과 부유식의 혼합형인 내부부유식 저장탱크(Intenal floating roof tank)로 구분한다.

위험물 저장탱크의 안전장치는 Figure 1에서와 같이 브리더밸브 화염방지기, 맨홀, 긴급방출용 벤트, 레벨 게이지, 접지, 온도감지기, 폼소화 공급라인, 물분무소화설비, 질소퍼지 등으로 구성된다.

2.1 부유식 지붕탱크(Floating roof tank)

부유식 지붕탱크(FRT)는 탱크 지붕이 탱크 Shell에 고정되어 있지 않고 저장 유체와 함께 상하로 움직이는 형식의 저장탱크로써 탱크 Shell과 Roof 사이에 Seal로 밀폐시켜 증기의 발생으로 인한 손실을 최소화하기 위해서 설치한다.

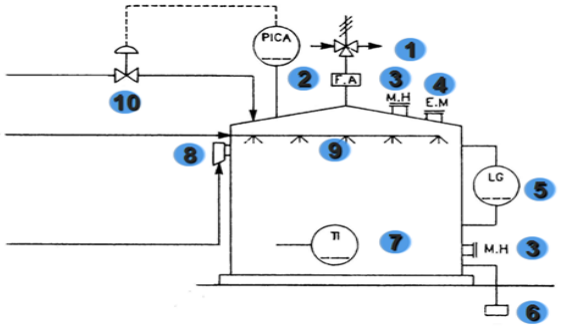
부유식 지붕탱크(FRT) 종류는 Pan type, Pontoon type, Double type으로 구성되며, Pan type Floating roof tank는 원주에 림 플레이트를 붙인 가장 간단한 Floating roof 구조이며 roof 전체에 직접 부력이 작용하는 방식으로 피로파괴 등 구조적인 불안정성 때문에 최근에는 지양되고 있는 추세이다. 이런 구조적인 문제를 극복하기 위해 최근에는 Pontoon type 또는 Double deck type roof가 적용되고 있다. Pontoon type or Single deck type floating roof tank는 Deck 자체는 원형의 단판 구조이며, Deck 상부에 원주 방향으로 격벽구조의 Pontoon을 부착하여 Roof가 부력을 갖도록 한다. Double-deck type floating roof tank는 Roof가 상부 Deck, 하부 Deck의 복판 구조로 되어 있으며, 원주방향 및 방사상 격막으로 형성된 격실부분과 저장물의 주입시 팽창되는 Flexible bay로 구성되며, 상부 Deck는 우천시 Deck 위에 고이는 빗물의 배수를 위해 중심쪽으로 하향 경사지도록하며, 하부 Deck는 증발가스의 축적을 위해 중심 방향으로

Table 1. Classification Criteria for Dangerous Goods Storage Tanks

Classification Criteria	Category
Shape	· Vertical Tank · Horizontal Tank · Spherical Tank
Used Material	· Steel Tank · Concrete Tank · PVC Tank · Wooden Tank
Manufacturing Method	· Welded Tank · Riveted Tank · Bolted Tank
Usage	· Storage Tank · Mixing Tank · Day Tank (Temporary Tank)
Place of Installation	· Above-ground Ttank · Under-ground Ttank
Roof Shape	· Cone Roof Tank · Floating Roof Tank · Internal Floating Roof Tank · Dome Roof Tank

Table 2. Classification According to Roof Shape of Dangerous Material Storage Tank

Roof Shape	Usage Criteria	Main Storage Material	Remarks
Cone Roof Tank (CRT)	Heavy Oil and Low Volatility Oil	Kerosene, Diesel, Bunker-A/B/C etc.	Fixed Roof Shape
Floating Roof Tank (FRT)	Light Oil and Volatile Oil	Naphtha, Gasoline, Raffinate etc.	Plate Floating in the Circumferential Direction
Internal Floating Tank (IFRT)	Area with Heavy Snowfall and Heavy Rain or Store Light Oil in Areas where Product Contamination Prevention is Required	Benzene, Toluene, Xylene, Hexane, Gasoline etc.	Mixed Form of Fixed Roof plus Floating Roof



①Breather valve, ②Flame arrestor, ③Manhole, ④Emergency vent, ⑤Level gauge, ⑥Earthing, ⑦Temperature indicator, ⑧Foam supply line, ⑨Water spray, ⑩Gas blanketing

Figure 1. Dangerous material storage tank safety device (sample).

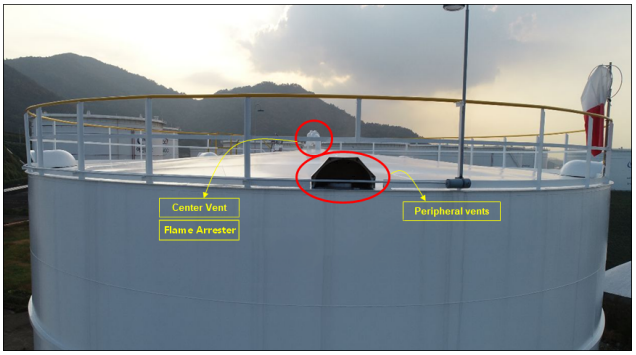


Figure 2. Floating roof tank structure diagram.

상향 경사지도록 한다. 부유식 지붕탱크(FRT)는 경질유 및 휘발성이 큰 물질 의 저장에 사용되며, 주요 저장물질은 Naphtha, Gasoline, Raffinate 등이다. 부유식 지붕탱크(FRT)는 액위와 같이 움직이는 부유 지붕 설치로 탱크 내부 증기 공간을 없애 증발 손실 감소, CRT대비 상대적으로 Ullage에서 부식 감소되는 장점이 있으나, Seal 불량 시 화재위험성이 크게 증가되는 단점이 있다.

2.2 내부 부유식 지붕탱크(Internal floating roof tank)

내부 부유식 지붕탱크(IFRT)는 FRT에서 빗물 유입, 이로 인한 노후화 현상 등을 최소화하기 위해 설치되기 시작하였다.

주요 저장물질은 Benzene, Toluene, Xylene, Hexane, Sulfolane 등이다. 내부 부유식 저장탱크는 Figure 2와 같이 통기를 위한 Center venter, Peripheral vent, 인화방지망 등으로 구성된다. 내부 부유식 지붕탱크(IFRT)는 제품오염 방지, 폭우, 폭설, 강풍에 의한 Roof 침하 방지등의 장점이 있는 반면, CAPEX/OPEX 커지는 단점이 있으며 무엇보다 주목할 만한 문제점은 외부 부유식 저장탱크와 비교했을 때 고정식 지붕으로 인해 탱크 Seal, Bleeding장치로부터 누출된 인화성 증기로 인해 폭발성 조건을 형성할 위험이 현저히 높은 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 물론 Floating roof와

Table 3. Installation of Flame Arrestors Attached to Tanks and Tanks Similar to Accident Tanks

Number of Place	Number of IFRT	Flame Arrestor (none)[1]	Flame Arrestor (yes)	
			Open[2] Vent (O)	Open[3] Vent (X)
49	264	69	85	110

Fixed roof사이의 인화성 증기의 누적을 최소화하기 위해 Center vent와 Peripheral vent 설치가 권고 되고 있다. 하지만 앞서 소개한 ㈜대한OOO공사 사고에서도 알 수 있듯이 화염방지망만 설치된 상태에서는 그 안전성을 보장할 수 없는 것으로 나타났다.

2.3 내부 부유식 저장탱크 Vent 국내 현실

국내에 설치된 저장탱크 중 화재발생탱크와 유사한 규모의 내부 부상형 지붕 탱크 현황을 조사해 본 결과, Table 3과 같이 총 49개소에서 264기를 보유하고 있는 것으로 파악되었다. 이런 264기 탱크 중 195기의 탱크에서 Center vent에 화염방지기가 설치되어 있는 것으로 나타났으며, 이런 195기의 탱크 중 110기는 Peripheral vent가 설치되지 않은 것으로 확인되었다. 그 외 85기에서는 Peripheral vent가 설치되어 있으며 인화방지망 또는 Bird screen이 설치되어 있는 것으로 나타났다. 그 외 264기 중 64기 에서는 Center vent에서는 화염방지기 없이, 인화방지망 또는 Bird screen만 설치되어 있는 것으로 나타났다.

(1) 화염방지기가 설치되지 않았고, 인화방지망(버드스크린)만 설치된 경우
(2) 화염방지기가 Center vent에 설치되고, Peripheral vent에 인화방지망(버드스크린)이 설치된 경우
(3) 화염방지기가 Center) vent에 설치되고, Peripheral vent가 없는 경우(막힌 구조)

3. 저장탱크 화재·폭발로 본 화염방지기 관련 국내·외 기준 비교

3.1 사고 발생 저장탱크의 화염방지기 설치 대상 여부 검토

사고 저장탱크는 미국의 API 650 “Welded Steel Tank For Oil Storage”에 따라 설계 및 건설 되었으며, Internal Floating Roof Tank (IFRT) 상부에 설치되어 있는 통기구는 내부 공기 순환 목적으로 설계·설치되었다. 이런 통기구는 원활한 공기 순환으로 내부 공간을 안전한 농도로 유지하는 역할을 한다는 개념에서 미국 API 650 규격에서도 요소로 명시되었다. 특히 화염방지 또는 인화방지망 대신 굵은 매시망에 의한 이물질 보호를 요구하고 있다. 그러나 산업안전보건법에서는 해당 탱크에 대한 특성을 고려하지 않고 모든 탱크에 화염방지기 및 인화방지망을 설치하도록 하고 있어, 1992년 설치 당시 기준에 따르면 IFRT 탱크는 내부 부

유지붕으로 액체를 밀봉하고 있으며, 내부 지붕의 상하 유동 시 탱크 내부로 배출되는 가연성 유증기는 상부 대형 벤트에 유입된 외부 순환공기에 의해 안전한 농도 밖으로 유지토록 함으로써 상기 화염방지기 설치조건인 증기 또는 가스를 대기로 방출하는 조건에 해당되지 않아 화염방지기(Flame arrestor)설치 대상은 아닌 것으로 판명되었다. 하지만 이번 사고의 교훈처럼 인화방지망만 설치하는 것에는 문제점이 드러났으므로 관련 기준에 대한 개선이 필요한 현실이다.

3.2 화염방지기 설치에 관한 국내기준

산업안전보건기준에 관한 규칙[14] 제269조에는 인화성 액체 및 인화성 가스를 저장 취급하는 화학설비에서 증기나 가스를 대기로 방출하는 경우에는 외부로부터의 화염을 방지하기 위하여 화염방지기를 그 설비 상단에 설치하도록 하고 있으며 대기로 연결된 통기관에 통기밸브가 설치되어 있거나, 인화점이 섭씨 38 ℃ 이상 60 ℃ 이하인 인화성 액체를 저장 · 취급할 때에 화염방지 기능을 가지는 인화방지망을 설치한 경우에는 예외로 하고 있다. 위험물안전관리법시행규칙[15] 별표4에는 옥외저장탱크 중 압력탱크외의 탱크(제4류 위험물의 옥외저장탱크에 한한다)에 있어서는 밸브 없는 통기관 또는 대기밸브 부착 통기관을 설치하도록 하고, 가는 눈의 구리망 등으로 인화방지장치를 하도록 규정하고 있다.

3.3 화염방지기 설치에 관한 국외기준

API STD 2000[16] 3.5.2에서는 폭발을 방지하기 위하여 저장탱크 설계 시 내부부유식저장탱크(IFRT) 대신 Floatin Roof Tank를 선정하거나, Inert-gas Blanketing조치, Open Vent에 화염방지기 설치, Pressure/Vacuum Valve중 한 가지 방법을 선택하여 적용하도록 하고 있다.

3.4 화염방지기 설치에 관한 국내·외 기준검토 결과

현행 국내법규 검토결과 API 650에서의 요구사항과 큰 차이가 없는 실정이다. 물론 분쟁의 소지는 있지만 산업안전보건법, 위험물안전관리법에서는 IFRT에 인화방지망 수준의 안전장치가 요구되고 있다. 하지만 금번 사고를 계기로 API 650 기준으로 적용되고 있는 Center vent, Peripheral vent, 인화방지망을 기반으로 하는 Circulation system은 외부 화염 유입으로 인한 화재·폭발 사고를 막기에는 역부족인 것으로 나타났다. 따라서 이에 대안마련이 시급한 실정이다. 관련 대안으로는 특별한 탱크 시스템이 개발·적용되기 전까지는 API STD 2000에서 제시한 Inert gas blanketing 또는 화염방지기 설치 방식이 대안으로 검토 될 수 있다. 하지만 Inert gas blaketing 방식은 Nitrogen generator 또는 Inert gas generator를 설치·운용해야 하는 비용적 부담이 가중 되므로 사실상 화염방지기 설치가 가장 현실적인 방법이라고 할 수 있다. 반면 국내 현실이 화염방지기를 당장 적용하기에는 무리가 있다고 본다. 10년 기준의 탱크 정기보수기간을 맞추어 개선작업을 해야하는 문제도 있겠지만 화염방지 성능을 보증할 수 있는 성능 시험 기관의 부재가 가장 시급한 문제이다. OOOO기술원에서 KS B 6845 기준으로 폭연시험을 하고는 있지만 폭굉시험을 할 수 있는 곳은 단 한곳도 없는 현실이다. KS기준 또한 1999년도 제정된 기준으로 다양한 형식에 대한 시험방법을 요구하는 국제적인 변화의 동향과는 거리가 있는 현실이다.

3.5 국내·외 화염방지기 성능에 관한 기준 비교

화염방지장치의 성능 시험 방법을 규정한 KS B 6845[17]에서는 관말단 폭연 방지장치, 관내 폭연방지장치, 폭굉 방지장치에 대하여 규정하고 있다. 영국 규격인 EN 12874[18]에서는 Flame Arrester별 테스트 방법을 규정하고 있다. 시험방향은 한 방향(One-directional), 양방향(Bi-directional)으로 구분하고, 화염(Flame)에 따라 폭연, 폭굉으로 구분하며 폭굉은 전이상태가 불안정한 Unstable, 안정한 Stable상태로 구분한다. Burning의 안정화는 1분 이내로 멈추는가 여부로 Short Time, Endurance로 구분하며, Quenching Gap은 시험시 50% 마진을 적용하여 Measurable, Non-Measurable로 구분한다. 설치위치에 따라 관내 폭연과 폭굉 방지장치를, 관 말단 폭연과 폭굉 방지장치, Pre-Volume 에서의 폭염 방지장치로 구분한다. EN 12874에서는 유지보수시 지침(Instruction)에 따를 것을 인증서에 명기하고 있으며, 대칭(Symmetrical)일 때는 양방향 시험이 불필요하다. 33 CFR 154[19] Appendix A에서는 폭굉 타입을 Endurance Burning & 폭연·폭굉 시험을 함께하는 Type 1과 폭연·폭굉 시험을 하는 Type 2로 구분하여 시험하며, 유지보수 내용이 인증서에 포함되고 대칭(Symmetrical)일때는 양방향 시험이 불필요하다. IEC 60079-1[20]에서는 화염방지기를 방폭설비로 구분하고 폭발 그룹별 MESG 구분 및 시험방법을 제시하고 있다. API 2028[21]에서는 폭굉 타입 중 일부는 폭연타입 시험을 통과하지 못한 경우가 있고, MESG를 기준으로 화염방지기를 선정하는 경우 많은 주의가 필요함을 강조하고 있다.

4. 결 론

최근의 저장탱크 화재사고를 계기로 저장탱크의 화재를 예방하기 위한 국내외 법규 검토를 통하여 화염방지기 설치가 가장 필요함을 제시하였고, 화염방지기의 성능을 검증 할 수 있는 국내 기준이 부족하므로 국외 기준을 참고하여 보완할 필요성이 있음을 제시하였다.

References

1. Crude Oil Leakage Report, http://www.ebn.co.kr/news/view/674352 (2018).
2. D. H. Hyun, “Major Industrial Accident Investigation

Report", Korea Occu Pational Safety and Health Agency (1997).
3. J. K. Kim and C. C. Koo, "Major Industrial Accident Investigation Report", Korea Occu Pational Safety and Health Agency (2014).
4. G. K. Lee, "The Study on the Countermeasure Plans About Leakage, Explosion and Fire Accidents of Atmospheric Storage Tank", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 48-56 (2016).
5. U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Investigation Report, "Methanol Tank Explosion and Fire", pp. 13-28 (2008).
6. James I. Chang and Cheng-Chung Lin, "A study of Storage Tank Accident", Journal of Loss Prevetion in the Process Industries, pp. 51-59 (2005).
7. B. Zheng and G. H. Chen, "Storage Tank Fire Accidents", Process Safety Progress, Vol. 30, No. 3, pp. 291-293 (2011).
8. Jerome Taveau, "Explosion of Fixed Roof Atmospheric Storage Tank, Part 1: Background and Review of Case Histories", Process Safety Progress, Vol. 30, No. 4, pp. 381-392 (2011).
9. Armos Necci, Francesca Argenti, Gabriele Landucci and Valerio Cozzani, "Accident Scenarios Triggered by Lightning Strike on Atmospheric Storage Tanks", Reliablity Engineering and System Safety 127, pp. 30-46 (2014).
10. KS B 6225, "Welded Steel Tank for Oil Storage", Korea Industrial Standard (2016).
11. API Standard 650, "Welded Steel Tank for Oil Storage" (2014).
12. API Standard 620, "Large Welded Low Pressure in Storage Tank" (2013).
13. British Standard 2654, "Manufacture of Vertical Steel Welded Non-refrigerated Storage Tanks with Butt-welded Shells for the Petroleum Industry" (1989).
14. Rules for Occupational Safety and Health Standards (2018).
15. Enforcement Rule of Dangerous Goods Safety Management Act (2018).
16. API Standard 2000, "Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks" (2014).
17. KS B 6845, "Performance Test Method of Flame Arrester", Korea Industrial Standard (1999).
18. BS EN 12874:2001, "Flame Arrester-Performance Requirement, Test Methods and Limits for use", British Standard (2001).
19. 33 CFR Appendix A to part 154, "guidelines for Detonation Flame Arrester" (2018).
20. IEC 60079-1:2014, "Explosive Atmospheres-Part 1: Equipment Protection by Flameproof Enclosures 'd'" (2014).
21. API Recommended Practice 2028, "Flame Arrester in Piping System" (2002).