

[Research Paper]

내부 부상형 저장탱크(IFRT) 화재·폭발사고 원인 분석: OO송유관공사 저유소 화재·폭발사건을 중심으로

구채칠·최재욱^{*†}

한국산업안전보건공단 차장, *부경대학교 소방공학과 교수

Analysis of Cause of Fire and Explosion in Internal Floating Roof Tank: Focusing on Fire and Explosion Accidents at the OO Oil Pipeline Corporation

Chae-Chil Koo · Jae-Wook Choi^{*†}

Senior Manager, Korea Occupational Safety and Health Agency,

^{*}Professor, Department of Fire Protection Engineering, Pukung National University

(Received February 24, 2020; Revised March 31, 2020; Accepted April 14, 2020)

요 약

본 연구는 옥외저장탱크에서 발생한 화재·폭발사고의 근본적인 사례분석을 통해 저장탱크의 안전을 유지할 목적으로 수행되었다. 이 사고는 저장탱크 야드에 사업장 외에서 날아온 풍등이 저장탱크 주변 잔디에 떨어지며 발생한 잔재 화재가 서서히 확산되어 탱크 내부의 유증기와 만나 폭발·화재로 이어진 사고였다. 사고의 원인을 밝혀내기 위하여 CCTV영상분석을 통한 대기확산 조건 도출, 전산유체역학을 이용한 풍향 분석, 플러팅 루프가 최저 위치일 때의 탱크 내부 유증기 발생량, 최고 위치일 때의 탱크 내부 유증기 거동을 통하여 저장탱크의 폭발이 일어난 원인을 밝혀내어 저장탱크의 레벨을 내부부상형 지붕 이하로 유지했을 경우 위험물이 충전되면서 그 공간에 있던 유증기가 내부 부상지붕위에 정체될 가능성이 있으므로 저장탱크의 Low liquid level이 폰툰 서포트 밑에 위치하지 않도록 운전절차를 개선하고, 오픈 벤트에는 화염방지기를 설치하여 화염이 저장탱크로 유입하지 못하도록 하는 대책을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

This study aims to maintain the safety of an outdoor storage tank through the fundamental case analysis of explosion and fire accidents in the storage tank. We consider an accident caused by the explosion of fire inside the tank, as a result of the gradual spreading of the residual fire generated by wind lamps flying off a workplace in the storage tank yard. To determine the cause of the accident, atmospheric diffusion conditions were derived through CCTV image analysis, and the wind direction was analyzed using computational fluid dynamics. Additionally, the amount of oil vapor inside the tank when the floating roof was at the lowest position, and the behavior of the vapor inside the tank when the floating roof was at the highest position were investigated. If the cause of the explosion in the storage tank is identified and the level of the storage tank is maintained below the internal floating roof, dangerous liquid fills the storage tank, and the vapor in the space may stagnate on the internal floating roof. We intend to improve the operation procedure such that the level of the storage tank is not under the Pontoon support, as well as provide measures to prevent flames from entering the storage tank by installing a flame arrester in the open vent of the tank.

Keywords : Internal floating roof tank, The cause of the accident, Computational fluid dynamics

[†] Corresponding Author, E-Mail: jwchoi@pknu.ac.kr. TEL: +82-51-629-6470, FAX: +82-51-629-7078

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서론

최근 OO송유관공사 석유류 저장탱크에서 화재가 발생하여 국가적인 문제가 되었고 당시 저장탱크는 지중(Above ground)으로 구성된 탱크였으며 화염방지기의 설치가 미흡하여 발생한 것으로 보도⁽¹⁾되었다. 저장탱크 화재는 발생할 경우 국가적으로 큰 과장을 일으킬 수 있는 대형사고이기 때문에 이를 예방하는 것이 필요하다. 국내의 상압저장탱크의 화재에 의한 사고는 1997년 8월 전남 여수 소재 ○○○(주)의 가솔린 저장탱크 화재로서 내부 부유식 저장탱크 외부지붕과 내부 부유지붕과의 사이에서 화재⁽²⁾가 발생하였다. 발생원인은 탱크의 진원도 불량 또는 썬 부위 파손으로 인한 가솔린의 누출과 내부탱크 지붕의 회전을 방지할 목적으로 설치한 회전방지케이블 하우징의 동라이닝(Bronze lining)의 노후화로 인한 마모였다. 또한, 2014년 4월에는 울산시 소재 O-Oil(주)의 원유저장탱크 하부 믹서(Mixer box)부분이 손상되어 저장된 원유가 대량 누출되는 사고⁽³⁻⁴⁾가 있었다. 국외에서 발생한 저장탱크 화재는 2006년 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⁾, 내부 부상형 저장탱크 화재·폭발 대책에 관한 연구⁽¹⁰⁾ 등이 있었으나, 이번 사고처럼 저장탱크에 화염방지기 설치가 필요하며, 저장탱크 화재·폭발을 예방하기 위한 체계적인 연구는 진행되지 않았다. 본 연구에서는 2018년 10월에 경기도 고양시에 위치한 ㈜대한OOO공사 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 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 사고로써 이의 원인과 대책을 제시하고자 한다.

2. 풍등 추락 원인 분석

풍등의 추락원인을 분석하기 위하여 경찰에서 편집 후 언론매체로 제공한 영상길이 1 min 41 s의 자료를 2,429프레임으로 분리하여 렌더링(Rendering) 하였고 위성사진 자료는 구글 어스와 기상청 지역별 상세 관측자료(AWS) 데이터를 사용하였다

2.1 풍등의 궤적

Frame #0973~#1364에서 관측되었으며 Frame #1012부터

Table 1. Trajectory of the Wind Lamp (640 × 360)

Frame #	x	y	Remarks
1064	171	-169	
1077	165	-173	
1096	158	-177	
1113	154	-182	
1132	147	-189	
1150	142	-195	
1172	138	-202	
1252	135	-220	
1269	134	-223	
1285	133	-227	
1302	133	-229	
1333	130	-243	
1364	123	-248	

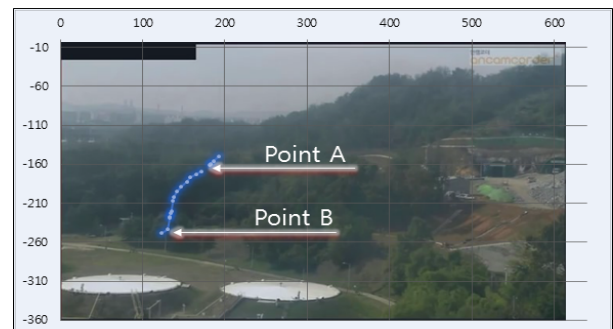


Figure 1. Trajectory of the wind lamp.

는 CCTV가 Zoom out되면서 관련 좌표계는 Zoom out되기 이전의 Frame을 66%로 축소(422 × 234)하여 상대좌표 산출 방식으로 보정하였고 풍등의 궤적은 Table 1과 같으며 풍등의 이동경로는 Figure 1과 같다

풍등의 궤적모사 결과 Point A는 보정으로 인한 오차로 보이며, Point B는 급격한 방향전환이 관측되었다. 따라서 이 지점에서 풍향전환, 풍속전환 또는 나무, 가로등과 충돌이 있었을 수 있는 것으로 추정할 수 있다

2.2 풍향·풍속의 추정

기상청 데이터 상으로는 사고추정 시각 10:40에서 11:00까지의 1 min 평균 풍향은 북, 북북서, 북북동, 북동으로 기록되었으며, 1 min 평균 풍속은 보퍼트 풍력 계급상 1~2에 해당되는 수준으로 기록되었다. 반면 최초 착화연기 방향, 잔디화재 연기로 추정할 때 지면에서의 연기방향은 남동, 동으로 확인되었으며 지면에서의 풍속은 보퍼트 풍력 계급 0~1로 판단된다. 풍속은 상대적으로 일정한 수준이었으나 풍향은 주변 지형의 영향으로 풍등이 날아온 반대 방향으로 연기확산이 발생하였다. 최초 착화, 연기관측, 화재확산, 연기관측을 Figure 2에 나타내었다. Frame #1582에

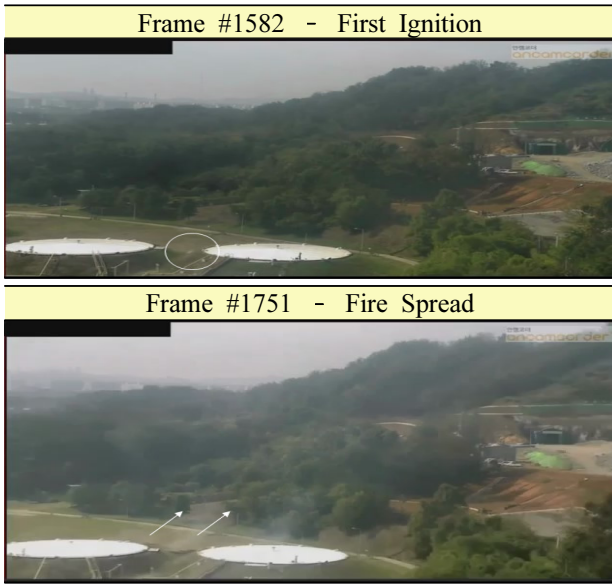


Figure 2. Result of estimation of wind direction and wind speed.

서 최초 점화 후, Frame #1668에서 연기가 관측되었고, Frame #1751에서 화재가 확산되었다.

2.3 폭발지점 분석

Frame #2166~Frame #2216까지 약 2.120 s간 전형적인 증기운 폭발(Vapor cloud explosion)이 발생한 것으로 추정된다. 먼저 폭발이 있고 폭발이 전파되는 형태로 진행되면서 폭발 시간이 2 s이상 발생하였으며(일반적으로 증기운 폭발 시간은 1 s를 넘기지 않는다), 최초 폭발 시 고정 지붕이 들리는 증기운 폭발이 발생하였고, 최초 폭발(Frame #2166) 후 고정 지붕과 이동 지붕 사이에 유증기로 인해서 보다 큰 증기운 폭발(Frame #2176)이 전파되었다. 이후 폭발은 소멸되었고 액면화재의 화염은 폭발과 연소속도가 달라서 화염 색상으로 확연하게 구분되는 것으로 보아 액면화재(Frame #2230)로 이어졌다. 폭발지점 분석 사진을 Figure 3에 나타내었다.

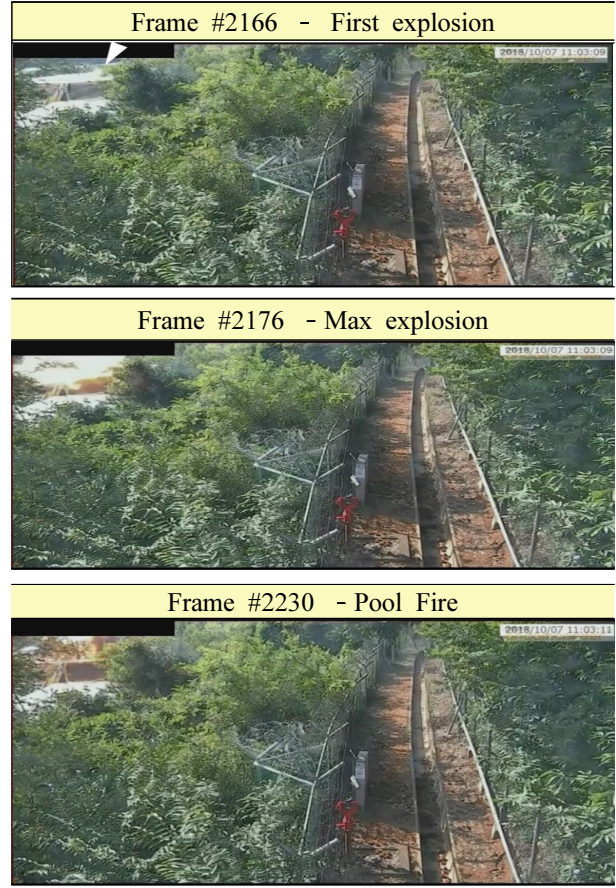


Figure 3. Explosion point analysis.

3. 전산유체역학을 이용한 풍향분석

3.1 이론적 배경

바람이 어떤 수직 구조물을 지나갈 때 아래 와 같이 지형물 Downwind 방향으로 난류 확산이 일어나는 현상을 내리흐름(Downwash) 현상이라고 하며 Figure 4에 Downwash 현상을 나타내었다.

3.2 전산유체역학을 이용한 해석 결과

전산유체역학을 이용한 해석조건과 결과를 Table 2와 Figure 5에 나타내었다. 해석결과 바닥에서는 내리흐름 현상으로 인해서 언덕 아래 부분에서는 Counter wind가 발생하였으며, 풍동의 추락원인은 Figure 5에서 보는 바와 같이 수직방향의 명확한 경계층의 속도 변화의 차이로 인한 것

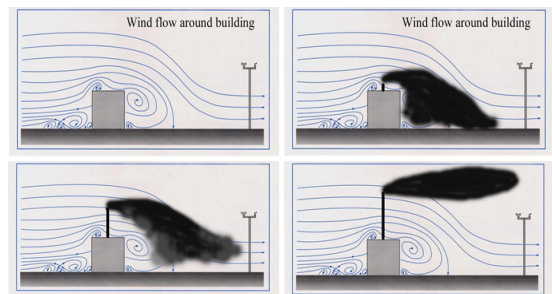


Figure 4. Downwash phenomena.

으로 보이며 이것은 풍동의 고형연료가 다 타지 않은 상태에서 추락할 수 있었다.

4. 유증기 발생량 분석

4.1 휘발유 물성 및 조성 검토

휘발유에 대한 국내의 물질안전보건자료를 비교 분석한 결과를 Table 3에 나타내었고, 휘발유와 그 증기의 조성 간 소화 과정은 휘발유는 수백 가지 물질의 혼합물이고 생산일자, 생산공정, 원유 혼합(Crude blending) 등에 따라서 그 조성이 달라지므로 끓는점을 기준으로 유사 성분(Pseudo component)을 만들어 활용하는 것이 일반적인 접근 방식이

Table 2. Analysis Condition

Item	Contents
Control volume	60 x 60 x 30 (xyz)
Application	FLACS v10.7 Ventilation and Dispersion (Solver, pre-post) Flowvis 5.8.0 (Post processing)
Ambient Temperature	293.15 K
Wind Direction	x
Wind Speed	1.5 m/s
Ambient Pressure	1013 hpa
Grond Roughness	0.0002 m
Boundaries	Wind / nozzle

Table 4. Results of Streaming the Composition of Gasoline and its steam Schematic

Substance Classification	Simplified Results (wt%)	
	Liquid Composition	Vapor Composition
C3	0.16	4.6
C4	4.43	41.2
C5	3.48	34.5
C6	12.82	10.2
C7	6.78	2.5
C8	8.44	1.4
Others	63.89	5.6

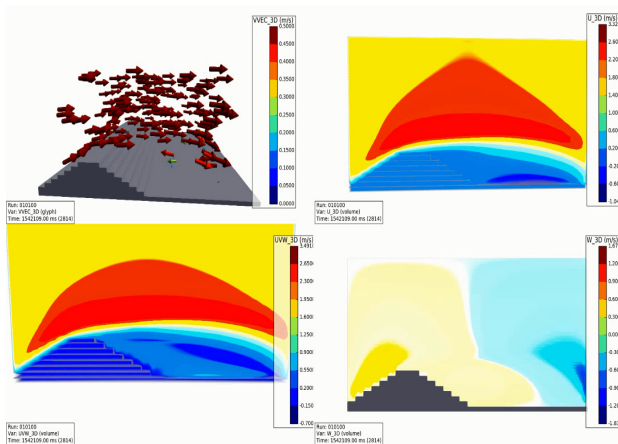


Figure 5. Analysis results.

다. 하지만 Flacs code (전산유체역학 code)에서는 선형화된 Property package만 허용되어서 이런 접근 방식에는 한계가 있으므로 Peng robinson property package를 이용하여 다음과 같이 조성을 간소화하여 Table 4에 나타내었다.

4.2 휘발유 증기 발생 및 이동조건

4.2.1 이동지붕(Floating roof) 위치에 따른 조건

조건 A는 최저액위(788 mm), 조건 B는 저장탱크로 로딩(Loading)이 시작, 조건 C는 로딩(Loading) 정지, 조건 D는 레

벨이 7,122 mm로서 정상 액위의 85% 수준까지 차있는 상태이다. 플러팅 루프 액위와 지속시간을 Table 5에 나타내었다.

4.2.2 로딩(Loading) 시작과 정지시간 추정

저장탱크의 Loading 시간은 시작과 정지시간은 12:59~13:59, 17:59~18:59, 19:59~20:59의 데이터를 제외한 평균값(615.984 m³/hr)을 적용하였고, 각각의 시간은 Table 6에 나타내었다.

4.3 휘발유 증기 이동경로에 대한 고찰

휘발유 증기의 이동경로는 낮과 밤의 온도 변화를 고려하지 않았으며, 조건A에 대한 탱크 Figure 6과 같이 도식화 할 수 있으며 Evaporated 는 휘발유 증기 발생을, Pushed out는 증기발생으로 인한 압력변화로 인해 Boundary A에서 B로의 이동을, Seal leak는 Floating roof의 Seal에서 발생하는 Leak로 Boundary A에서 B로의 이동을, Vented out는 Boundary B에서 압력으로 인해 대기로 배출되는 현상을 말한다.

이때의 평형 관계는 식(1)과 같으며 a, b는 경계(Boundary) A, B에서 휘발유 증기의 농도를 0은 초기상태를 의미한다.

$$\frac{d(v_a C_a)}{dt} = \dot{m}_{a_evaporated} + \dot{m}_{a_0} - \dot{m}_{a_pushed_out} - \dot{m}_{a_seal_leak} \tag{1}$$

$$\frac{d(v_b C_b)}{dt} = \dot{m}_{b_pushed_in} + \dot{m}_{b_0} - \dot{m}_{b_vented_out} + \dot{m}_{b_seal_leak}$$

Table 3. Comparison of Domestic and Foreign Material Safety Data Sheets

	Vapor Density (Air = 1)	Viscosity (Cst@25 °C)	RVP (kPa)		LEL (%)	AIT (°C)		Remarks
			Low	High		Low	High	
SK	3~4	0.5	44.81	90.08	1.2	280	456	GAS000
S-OIL	3~4	-	42.65	78.45	1.2	280	470	'17.10.24
GS	3~4	0.5	40.53	91.19	1.2	280	456	'16.08.18
HO	3~4	0.5	44.81	93.08	1.2	208	456	'16.10.04
Exxon	3	< 1Cst@40 °C	26.6@20 °C		1.4	> 250		'16.04.12

Table 5. Conditions by Floating Roof Location

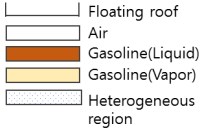
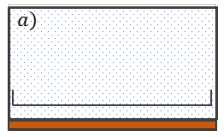
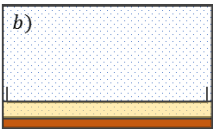


	Condition A	Condition B	Condition C	Condition D
	BTM (Bottom)	Pumping BTM	Pumping	85% of Level
				
State Description	• Minimum level (788 mm)	• FR Fixing • Loading Start	• FR Buoyancy rise • Loading	• FR Fixing (7,122 mm)
Duration Time	• More than 2 h (10/6 10:59~12:59)	• Between 12:59~13:59 Loading Start	• Between 19:59~20:59 Loading Stop	• Explosion around 0/07 10:56

Table 6. Average Time Rate by Floating Roof Location

Time	Net volume (m ³)	Average time flow (m ³ /hr)
20:59	4619.225	197.540
19:59	4421.685	617.703
18:59	3803.982	548.096
17:59	3255.886	615.209
16:59	2640.677	615.216
15:59	2025.461	616.893
14:59	1408.568	614.901
13:59	793.667	136.836
12:59	656.831	

고 가정하면, 식(2)에서와 같이 정의할 수 있으며 Balance는 식(3)과 같이 재정리할 수 있다.

$$v_{a_pushed_out} = v_{b_pushed_in} = v_{a_evaporated} = v_{b_vented_out} \quad (2)$$

$$\frac{d(v_a C_a)}{dt} = v_{a_evaporated} (C_{a_evaporated} - C_{a_pushed_out}) \quad (3)$$

$$\frac{d(v_b C_b)}{dt} = v_{a_evaporated} (C_{a_pushed_out} - C_{b_vented_out})$$

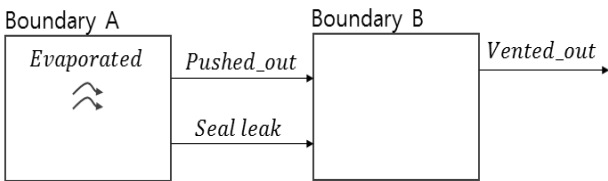


Figure 6. Schematic of condition A.

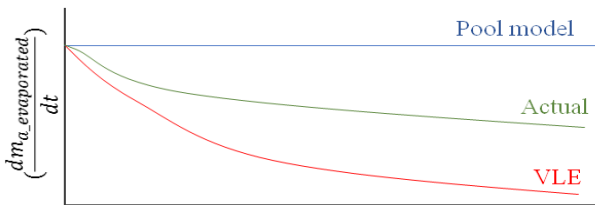


Figure 7. The difference between theory and practice.

초기상태는 폭발로 소진된 상태이어서 초기상태를 확인할 수 없으므로 초기상태를 0으로 가정하였으며, 실(Seal)에서의 누출량은 로그상으로 5 h에 1 mm 정도 액위가 낮아지는 결과가 있지만 낮밤간의 온도변화의 영향보다 작은 수준이므로 무시할 수 있을 정도이며 대기풍속의 영향이 없다

결론적으로 휘발유 조성을 정확히 알고 이종영역(Heterogeneous region)을 이산(Discrete)개념을 적용한다면, 두 위치에서의 측정 데이터만 있으면 증기발생량을 산출 할 수 있지만, 탱크 내부 조건이 완전한 밀폐계 or 개방계라고 언급할 수 없는 상태이므로 Figure 7과 같은 것으로 추정할 수 있으며 증기발생량이 시간에 따라 변하는 형태였을 것으로 추정되어 이론적으로 정확한 산출은 불가능하다. 따라서 탱크 내부에 대한 측정치가 없는 이상 Condition A에서의 증기발생량 산출은 불가능하고 Condition B/C/D 또한 동일한 상황이다. 단지 증발 시간이 충분하다는 가정 하에 공기 없이 휘발유 증기로 가득 찬 상태로 가정하고 문제에 접근하는 경우 Condition D에서의 자연벤트(Natural venting) 영향을 검토할 수 있다. Figure 7에서 밀폐계는 Vapor-liquid equilibrium (VLE) 이론으로 접근하고, 개방계는 Pool model로 접근하게 되며, 추가적으로 VLE이론에서 속도론적인 접근은 실험을 하지 않고는 알 수 없는 것이 현실이다.

4.4 전산유체역학을 이용한 자연환기 분석 조건

4.4.1 분석시나리오

Condition A에서 플러팅 루프 하부에서는 공기가 없이 유증기만 체류하고 이때 유증기의 조성은 Table 4의 휘발유 물질· 조성 검토에서 간략화된 조성을 활용, Condition C는 유증기가 없이 공기만 있는 조건, Condition A에서의

Table 7. Computational Fluid Dynamics Application Conditions

	Contents	Remarks
Control Volume	71 × 68 × 23 (xyz)	Specified Lines for Geometry
Grid	Cartesian Grid	-
CFLV	20	-
CFLC	2	-
Application	FLACS v10.7 Ventilation and Dispersion (Solver, pre-post)	Flowvis 5.8.0 (Post processing)
Release model	Steady state	-
Ambient Temperature	293.15 K	-
Material Temperature	293.15 K	-
Wind Direction	North	-
Wind Speed	1.0 m/s @ 10 m above	-
Ambient Pressure	1,013 hpa	-
Ground Roughness	0.0002 m	-
Pasquill Stability	None	-
Boundaries	Wind / Nozzle	-

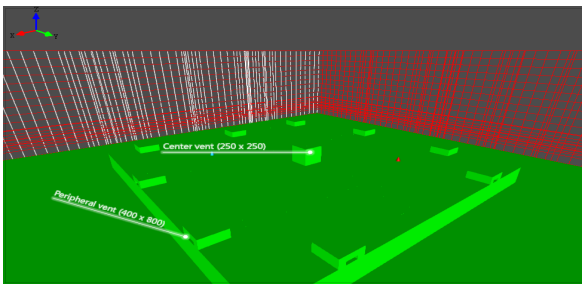


Figure 8. Geometry shape.

유증기 전량이 Condition D에서 누출, 두 포인트에서 각각 0.26 kg/s로 4,550 s 동안 누출된 것으로 가정 하였다.

4.4.2 전산유체역학 적용조건

전산유체역학을 적용하기 위하여 컨트롤 볼륨은 71 × 68 × 23 (xyz), 좌표는 Caresian grid, CFLV는 20, CFLC는 2, 프로그램은 FLACS v10.7을 적용하였고, 상세한 적용조건은 Table 7 과 같다.

4.4.3 기하학적인 형상

전산유체역학의 특성상 기하학적인 인식에 대한 오류를 최소화하기 위해 사각형으로 도식화 하였으며 기하학적인 형상은 Figure 8과 같다.

5. 전산유체역학 시뮬레이션 결과

탱크 내부 밀도차이로 인한 이종(Heterogeneous)조건은 0.1 vol% 내외이며 누출 시에는 0.4 vol% 내외로 나타났다. 이는 밀도차이로 인해서 증기가 하부에 집중적으로 체류하

는 경향은 크게 없는 것으로 추정된다. 자연환기 시에 증기의 농도가 점차 낮아지며 대기로 누출되었으며, 9개의 오픈 벤트(Peripheral vent)는 자연환기 시 풍향과 무관하게 각각 개별적인 순환과정을 거친 것으로 나타났다. 자연환기 시에 MP1지점에서의 유증기 vol%만이 의미있는 결과가 관찰되었으며 Contour상으로도 Peripheral vent 외부로 1.0 vol% 이상의 유증기가 확인되지 않았으며 폭발로 이어지기 위해서는 잔디화재가 Peripheral vent에 직접 접근했을 것으로 추정된다. 자연환기 약 3 h 동안 탱크 내부 유증기 농도는 60.4 vol%에서 60.2 vol%로 낮아졌으며, 전체 Ullage 부피가 약 880 m³이므로 약 3 h 동안 1.8 m³ 정도 유증기가 나간 의미가 되고 환기량이 약 1 m³/hr 수준인 것으로 추정할 수 있다. 다시 말해 환기가 거의 안되는 수준이라고 할 수 있으며, 이런 경우 분자 확산으로 인한 환기량도 고려할 필요가 있는 수준이다. 유증기 거동 분석결과는 Figure 9, Figure 10과 같다. Figure 10에서 MP1은 Outlet, MP2는 Outlet에서 외부로 2.5 m 떨어진 지점, MP3는 Outlet에서 5.0 m 떨어진 지점을 나타낸다.

6. 결 론

2018년 10월 OO송유관공사 저장탱크에서 발생한 화재·폭발 사고에 대하여 조사하였다. 사고 원인은 저장탱크 야드에 사업장 외에서 날아온 풍등이 저장탱크 주변 잔디에 떨어지며 발생한 화재가 서서히 확산되어 탱크 내부의 유증기와 만나 폭발·화재로 이어진 사고였다. 사고의 원인을 밝혀내기 위하여 CCTV영상분석을 통한 대기확산 조건 도출, 전산유체역학을 이용한 풍향 분석, Floating roof가 최저 위치일 때의 탱크 내부 유증기 발생량, Floating roof가

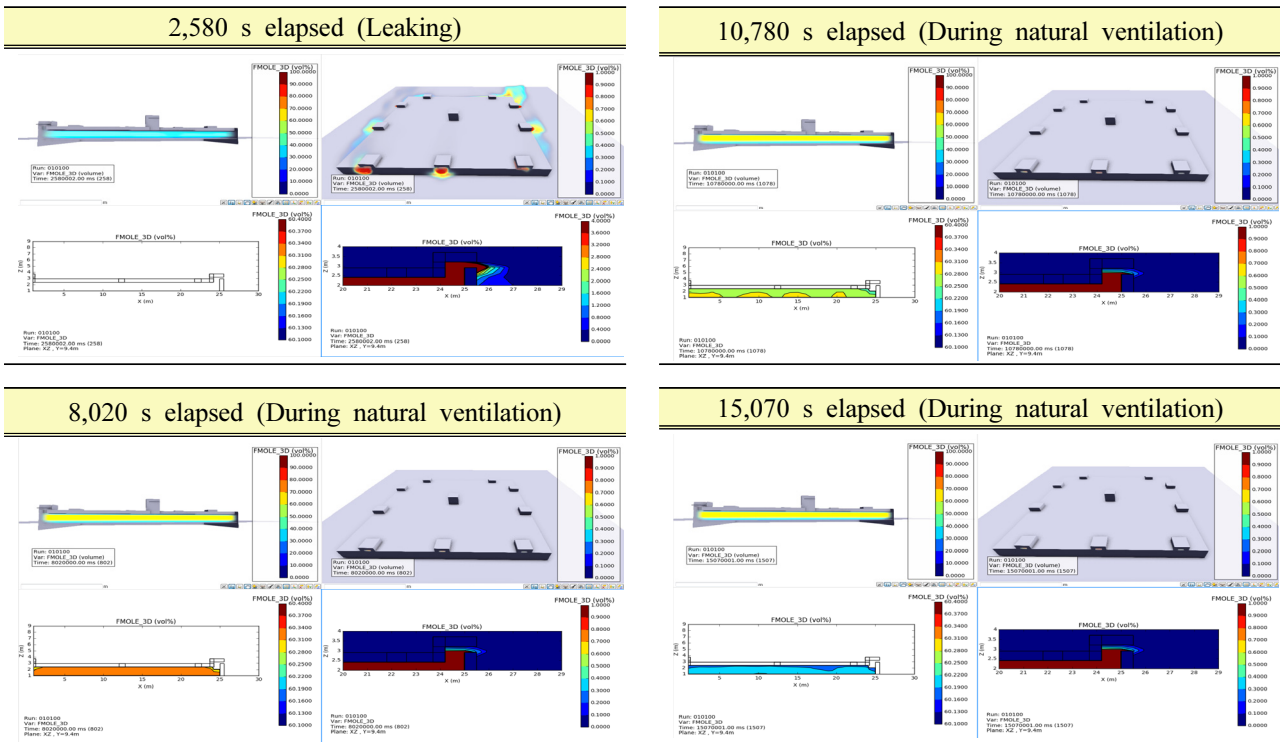


Figure 9. Oil vapor behavior analysis.

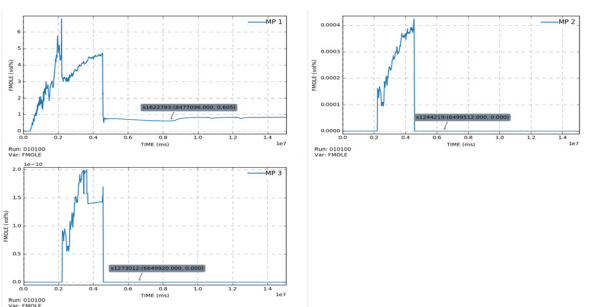


Figure 10. Concentration changes at peripheral vent outlet.

최고 위치일 때의 탱크 내부 유증기 거동 등을 분석한 결과, 저장탱크의 내부(폰툰 서포트 밑)에서 발생한 유증기가 상부로 이동하면서 환기가 되지 않은 상태에서 오픈벤트 부근에서 잔디에 의한 외부화재에 의하여 점화하면서 폭발이 발생한 것으로 추정된다.

이러한 저장탱크에서의 화재·폭발을 방지하기 위하여 저장탱크의 레벨을 내부부상형 지붕 이하로 유지했을 경우 위험물이 충전되면서 그 공간에 있던 유증기가 내부 부상지붕 위에 정체될 가능성이 있으므로 저장탱크의 Low liquid level 이 폰툰 서포트 밑으로 위치하지 않도록 운전절차를 개선하는 것이 필요하며, 오픈 벤트에는 화염방지기를 설치하여 화염이 저장탱크로 유입하지 못하도록 하는 대책이 필요한 것으로 나타났다.

후 기

본 논문은 부경대학교 자율창의학술 연구비(C-D-2019-0731)에 의하여 연구되었음.

References

1. “Crude Oil Leakage Report”, <http://www.ebn.co.kr/news/view/674352> (2018).
2. D. H. Yun, “Major Industrial Accident Investigation Report”, Korea Occupational Safety and Health Agency (1997).
3. J. K. Kim and C. C. Koo, “Major Industrial Accident Investigation Report”, Korea Occupational 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, “Methanol Tank Explosion and Fire”, Investigation Report, p. 13, p. 28 (2008).
6. J. I. Chang and C. -C. Lin, “A study of Storage Tank Accident”, Journal of Loss Prevetion in the Process Industries, Vol. 19, No. 1, pp. 51-59 (2005).
7. B. Zheng and G. Chen, “Storage Tank Fire Accidents”,

- Process Safety Progress, Vol. 30, No. 3, pp. 291-293 (2011).
8. J. 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. A. Necci, F. Argenti, G. Landucci and V. Cozzani, "Accident Scenarios Triggered by Lightning Strike on Atmospheric Storage Tanks", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 127, pp. 30-46 (2014).
10. C. C. Koo and J. W. Choi, "A Study fo Fir and Explosion Prevention of Internal Floating Roof Tank", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 45-49 (2019).