

소방공무원의 비화재 밀폐공간 구조 · 구급 활동 중 질식 및 중독재해 사례 분석

이주희 · 강태선^{1*}

아주대학교 환경안전공학과, ¹세명대학교 보건안전공학과

Fire fighters' Asphyxiation Incidents during Confined Space Rescue in Korea

Juhee Lee · Taesun Kang^{1*}

Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

¹Department of Health and Safety Engineering, Semyung University

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to prevent asphyxiation of firefighters during confined space rescue. The specific purpose was to identify the magnitude of the problem, identify the cause of the accidents, and suggest measures to ensure safety of confined space rescues.

Methods: We collected data from National Fallen Firefighters Memorial, press releases, and other sources. In order to identify the current situation of asphyxiation incidents among firefighters from 1945 to 2019. In addition, an incident investigation was conducted for each case, and the processes, causes, and control measures of the incidents were described as a narrative data entry.

Results: Over the past 73 years, eight incidents involving firefighter in Korea have occurred. In these incidents, five firefighters were killed, and eight were injured. The confined spaces incidents occurred were water supply tanks, wastewater treatment tanks, pickling pits, septic tanks, and more. The causes were three cases of hydrogen sulfide poisoning, one of oxygen deficiency, one of carbon monoxide poisoning, and three unclassifiable asphyxiations. The people in need were all workers in various industries.

Conclusions: The number of firefighters' deaths and injuries during rescues in confined spaces was severe and the risks have not been completely eliminated. By establishing and implementing a precise incident investigation system, according control measures should be initiated in order to prevent a recurrence of the same type of disaster and reflected in the SOP. In particular, due to the high risk of occurrence at workplaces, cooperation between fire and rescue authority and relevant agencies such as the Ministry of Employment and Labor and the KOSHA should be strengthened.

Key words: Firefighter, asphyxiation, confined space, rescue, asphyxiation firefighter, incident investigation

I. 서 론

맨홀, 정화조, 터널, 수직갱, 탱크 내부 등 산소결핍 및 유해가스(탄산가스, 일산화탄소, 황화수소 등)로 인한 질식 등의 위험이 있는 장소를 「산업안전보건법」(이하 '산안법')에서는 '밀폐공간'이라고 정의하고 있으며, 이 공간에서 근로자를 일하게 할 경우, 사업주는 고용노동부령으로 정하는 재해예방과 사고 시 대피 등에 관한 「산업안전보건 기준에 관한 규칙(제10장 밀폐공간 작업

으로 인한 건강장해의 예방)」을 준수해야 한다. 이 밀폐 공간에서 발생하는 재해를 일반적으로 '질식재해'로 통칭하는 경향이 있는데, 우리나라 공식 산업재해 통계분류 지침인 한국산업안전보건공단 「산업재해 기록·분류에 관한 지침」에 따르면 밀폐공간에서는 유해물질과 관련 없이 산소가 부족한 상태에서 발생하는 재해만을 '산소결핍·질식'으로 분류한다. 이 지침에 따르면 황화수소, 일산화탄소 등에 의한 밀폐공간에서 재해는 '유해·위험물질 노출'에 의한 급성중독(이하 유해물질 중독)으

*Corresponding author: Taesun Kang, Tel: 043-649-1692, E-mail: kangtaesun@semyung.ac.kr

Department of Health and Safety Engineering, 65 Semyung-ro, Jecheon, Chungbuk, 27136

Received: August 26, 2019, Revised: September 20, 2019, Accepted: October 27, 2019

© Juhee Lee <https://orcid.org/0000-0002-2680-9620>

© Taesun Kang <http://orcid.org/0000-0002-3876-8539>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로 분류된다. 한국산업안전보건공단(이하 '안전보건공단')의 발표자료에 따르면 최근 5년간(2012~2016년) 밀폐공간에서 질식 또는 유해물질 중독으로 사망 또는 부상당한 근로자는 총 188명이었고 이 중 94명이 사망했다. 산소결핍, 황화수소 또는 일산화탄소 중독 등 밀폐공간 재해는 급격한 뇌손상을 일으키므로 재해자의 절반 이상이 사망할 정도로 예후가 좋지 않았다(KOSHA, 2007; KOSHA, 2017). 무엇보다 긴급한 구조가 필요하지만 적절한 보호구와 사전 훈련이 없는 상태에서 구조를 위해 밀폐공간에 진입하면 구조자도 위험에 빠진다. 안전보건공단의 발표자료에 따르면 밀폐공간 질식재해자의 12.5%가 구조하러 진입했다가 동시에 사고를 당했다(KOSHA, 2007). 1980~2005년 사이 미국의 밀폐공간 재해를 종합한 관련 연구에서도 밀폐공간 사망자의 5.5~12%가 구조자로 나타났다(Selman et al., 2019). 눈에 보이지 않는 치명적인 유해인자가 있고 비좁은 공간인 밀폐공간에서 사람을 구조하는 일은 매우 위험하므로 산안법에는 적정 보호구는 물론 대피용 기구 비치와 긴급 구조훈련 등에 관한 사항이 구체적으로 규정되어있다. 밀폐공간에서의 구조 활동 중 위험은 구조 전문가도 예외가 아니다. 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)이 1983~1993년 사이 발생한 밀폐공간 질식재해를 대상으로 현장에 방문하여 사고조사를 수행한 결과에 따르면, 사망자의 4%가 전문 구조사였다(Wilson et al., 2012). 미국 뉴욕에서 2010년 의용소방대원이 하수구 수직갱에서 구조활동 중 사망한 사례도 있었다(NIOSH, 2011; Selman, et al., 2019).

우리나라 소방공무원은 어떨까? 우리나라 소방청의 「재난현장 표준작전절차 (Standard Operating Procedure, SOP)에도 화재가 아닌(이하 '비화재') 출동 중 밀폐공간의 일종인 맨홀에서의 사고 시 구조 SOP가 있다. 이 SOP는 일부 개정이 있었으나 여전히 밀폐공간 유해인자 정보가 충분치 않고 일부 절차는 수정이 필요하다. 예를 들어, '공기호흡기 실린더를 밀어 넣어 넣어 공기를 투입'하는 방법은 산소농도가 매우 낮은 경우 밀폐공간에 대한 적절한 환기 대책이 될 수 없다. 소방청의 연간 구조건수 통계를 보면, 밀폐공간의 일종인 '지하맨홀'은 평균 500건 이상이다(NFA, 2012; NFA, 2018). 이 활동 과정에서 발생한 공사상 현황은 현재 알 수 없다. 소방당국 백서에는 재해통계에는 연도별 순직과 공사자의

숫자만 존재한다. 관련 연구를 보아도 소방공무원의 재해 당시 활동을 화재진압, 구조, 구급, 교육훈련, 출동복귀, 통근, 기타 등으로 분류하여 제시하고 있을 뿐이다(Kim et al., 2018). 밀폐공간 구조작업 중 순직 또는 공상은 '구조' 중 재해에 포함되겠지만 '밀폐공간 구조작업' 중 재해로 분류되지 않았다. 더 심각한 것은 순직 재해경위에 관한 2-3줄 정도의 짧은 정보만 주어질 뿐, 전문가에 의한 사고조사가 수행되지 않아 동종재해를 예방할 수 있는 시스템이 매우 취약하다는 점이다. 이에 비해 미국은 1998년부터 NIOSH에서 소방관 순직 사건에 대한 사고조사 제도인「소방공무원 사망재해조사 및 예방프로그램 (Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, FFFIPP)을 운영하고 있다. 위 2010년도 미국 의용소방대원 사고사례도 이 프로그램에 따라 조사된 것이다. FFFIPP에 따른 사고조사보고서는 요인별로 입력 정리되기도 하지만 사고 과정, 원인, 대책 등이 서사적으로 기술돼 있다. 서사적 자료 기입(Narrative Data Entry) 방식으로 기술된 사고조사보고서를 통해 우리는 대규모의 범주화 코딩 자료의 단점인, 잦은 오분류 문제를 극복함으로써 구체적이고 전형적인 사고의 특징을 알 수 있어 타당한 예방 대책을 수립할 수 있다(Stout & Jenkins, 1995).

이 연구는 소방공무원의 비화재 밀폐공간 구조활동 중 재해를 완전하게 예방하기 위해 수행되었다. 구체적인 목적은 소방공무원 비화재 밀폐공간 구조 및 구급 중 재해규모를 파악하고 사고의 원인을 규명하여 안전 확보를 위한 대책을 제시하는 것이다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 1945년 광복이후부터 2019년 8월 현재까지 비화재 출동 중, 소방공무원의 밀폐공간 구조 활동 중 사망 혹은 부상을 입었던 사고사례를 대상으로 사고조사를 수행했다. 사망은 「국가유공자 등 예우 및 지원에 관한 법률」에 따라 '순직'으로 인정된 사례를 대상으로 했다. 부상은 공사상재해의 구체적인 원인 등이 있는 원자료는 공개 자료가 아니므로 언론 보도자료를 검색하여 수집했다. 밀폐공간 질식재해로 소방공무원이 쓰러지는 등 관련 증상을 겪었다는 사건을 대상으로 했다. 여기서 '밀폐공간'은 우리나라 산안법에서 정한 밀폐공간 개념을 준용했다.

2. 연구 방법

우리는 소방청이 2014년 1월부터 운영하는 순직 소방관추모관 홈페이지의 '순직한 소방영웅들'에 있는 순직 경위에 관한 정보를 확인하여 비화재 밀폐공간 구조 과정에서 발생한 순직사건을 추출했다. 추모관에서는 1945년 광복이후부터 2019년 8월 현재까지 순직이 공식 인정된 361명의 소방공무원의 이름, 소속 등 정보와 함께 순직 경위를 볼 수 있다. '순직 경위'는 평균 두 문장 이내로 매우 제한된 정보만 제공하고 있으므로, 더 자세한 정보를 확보하기 당시 사고를 보도한 기사를 검색했다. 순직 사건 이외의 구조 중 부상도 기사를 검색하여 수집했다. 1999년 이전 재해는 네이버 뉴스라이브러리에서 제공하는 1945~1999년 사이 발행된 4개 일간지(경향, 동아, 매일, 한겨레)의 기사를 검색했다. 1999년 이후 재해는 네이버 뉴스 검색을 통해 과거 기사를 검색했다. 뉴스라이브러리 및 뉴스검색에서 사용한 검색어는 '구조대원', '소방관', '119 구조대', '소방공무원', '질식', '사망', '부상', '구조', '맨홀'을 다양한 조합으로 사용했다. 가장 정확한 정보는 고용노동부 중대재해조사 자료이지만, 비공개 자료이므로 참고할 수 없었다. 소방청의 안전사고 발생보고서도 원자료는 역시 비공개이므로 볼 수 없었다. 사실 이 발생보고서는 순직인 경우라도 대부분 위 순직소방관추모관의 '순직 경위'처럼 간략하게 기재된 경우가 대부분이라 언론 보도자료보다 더 자세하다고 볼 순 없을 것이다. 또한 부상인 경우엔 공상으로 신청하고 승인되어야 하는데, 과거에는 금방 회복한 부상인 경우 불이익을 우려하여 공상으로 처리하지 않은 사례도 많았으므로 실제로 밀폐공간 질식 또는 중독재해는 있었으나 원자료에 없는 경우도 있을 것이다(Kim et al., 2015).

III. 연구결과

1. 소방공무원 밀폐공간 질식재해 통계

Table 1은 1945년부터 2018년까지 화재 발생이 아닌 경우에 한하여 밀폐공간에서 구조작업을 진행하던 중 발생한 소방공무원 순직 또는 부상이 있었던 사건이다. 이 기간동안 총 8건의 밀폐공간 구조 중 질식재해 사건이 있었고, 총 5명의 소방공무원이 사망했고 8명이 부상당했다. 1996년 이후부터 발생하여 2012년까지 간헐적으로 발생했다. 연도별로 보면 1996년 2건, 1997년, 1999년, 2005년에 각 1건이었고 2010년에 1건 그

리고 2012년에 2건이 발생했다. 지역적으로 보면 용인에서 2건이었고 울산, 인천, 광주, 부산, 성주, 군산 등에서 각 1건씩 발생했다. 사고가 발생한 밀폐공간의 종류는 폐수처리장(2), 상수도(2), 탱크(2), 절임조(1), 공동구(1) 등이었다. 사고의 원인은 황화수소 중독 3건, 일산화탄소 중독 1건, 산소결핍 1건이고 3건은 여러 가지 정황상 산소결핍 또는 중독으로 추정되는데 구체적인 원인은 명확하지 않다. 소방공무원들이 구조활동을 했던 곳은 모두 사업장이었는데, 폐수처리업, 유리제조업, 건설업, 아파트 관리업, 식품제조업, 가스업 등에서 1건씩 있었고 기타 업종에서 2건이었다. 요구조자들은 모두 근로자였고 이 사건에서 총 9명이 사망했고 9명이 부상을 입었으며 1명은 부상 없이 생존했다. 순직 소방공무원은 모두 남성이었고 평균 연령은 35세, 근무경력 평균은 약 6년이었다. 각 재해사례의 구체적인 내용은 아래와 같다.

2. 소방공무원 밀폐공간 질식재해 사례

1) 재해사례 1 : 울산소방서 고 박○복 소방교 순직

순직 소방관추모관의 순직 경위에는 "2012년 10월 30일 오전 9시 30분경 울산시 북구 산하동 강동수질개선사업소 하수처리장에서 추락한 작업자를 구조하기 위해 현장상황 판단 중 맨홀입구에서 추락 순직하심"이라고 기록되어 있다(NFSA, 2019). 이 기록에는 박○복 소방교(33세)의 추락 원인에 관한 내용은 없다. 당시 요구조자인 근로자 사망에 대한 고용노동부의 중대재해조사 결과는 수사자료라 비공개이므로 확인할 수 없지만, 조사 관계자의 말을 옮긴 대부분의 보도에서 원인은 황화수소 중독으로 나타났다.

당일 강동수질개선사업소 하수처리장에서 펌프수리 전문업체 근로자 배모씨(40세)가 지하 7 m에 위치한 가로 1 m, 세로 2 m 유량조정조 교반기에 와이어를 연결하는 작업을 하다가 의식을 잃고 수조로 떨어졌다. 신고를 받고 박 소방교는 오전 9시 50분경 사고 현장에 도착, 근로자 배씨를 구조하기 위한 준비작업을 하던 중 추락했다. 여기서 당시 현장 정황을 가장 자세히 설명하고 있는 지역신문은 박 소방교가 "유량조정조 아래로 내려가던 중 가스에 질식해 높이 9.1 m 아래 하수조 바닥으로 추락했다"고 보도했다(Ha, 2012). 박 소방교는 공기호흡기를 착용하지 않은 상태였고 수직사다리를 타고 내려가고 있었는지 아니면 입구를 굽어보는 위치에서 있었는지는 명확하지 않다(Figure 1) (Kim, 2012).

Table 1. Detailed descriptions of firefighter's death in the line of duty during confined space rescue

Case No.	Date of Incident (Time)	Incident region	Where the incident occurred : address	Specific location of incident	Firefighter victim of the Incident (age, gender)	Victims who firefighter tried to rescue : job or task(age)	Brief description of Incident
1	2012, Oct.30 (09:30)	Ulsan	Gangdong water purification center : sanha-dong, buk-gu	Underground wastewater treatment tank	1 death (33, male)	1 death : worker repairing pump(40)	The firefighter was exposed to hydrogen sulfide gas at the entrance of the manhole and fell down to the confined space, while trying to figure out the location of the worker to be rescued.
2	2012, Jul.20 (16:35)	Gunsan, Jeonbuk	Hankuk Glass Industries Inc. : soryong-dong,	Water supply tank	1 death (40, male)	1 death : worker cleaning tank(55)	The firefighter was sent to rescue a worker(cleaner) fallen in a water tank. The tank was filled with nitrogen over the water. The manhole's entrance was so narrow that he went into the manhole without wearing SCBA and tried to get it from a colleague and wear. Though he inhaled oxygen-deficiency air for a short time, but suffocated.
3	2010, Jul.30 (17:44)	Yongin, Gyeonggi	Seocheon housing district : nongseo-dong	Underground urban utility tunnel	1 death (40, male)	1 near-miss : construction worker (ND*)	The firefighter went down to the utility tunnel to help drain water, but He felt strange and leta worker go up first, and then he fell down. The cause of the incident was found to be carbon monoxide poisoning by released gas from water pump.
4	2005, Sep 12 (10:35)	Incheon	Y Apartment : chengcheon-dong, Bupyeong-gu	Underground septic tank	2 injureds (35 & ND, ND)	4 injured : workers cleaning tanks (43, 48, ND, ND)	The septic pumper first collected waste from the septic tank and when the second pumper arrived, the ventilation system of the tank failed. In this state, they entered the tank to replace the belt of the ventilation fan and suffocated with hydrogen sulfide.
5	1999, June, 5 (11:05)	Busan	Dolsam Industries inc. : Hwajeon-dong, Saha-gu	Underground water supply and distribution system	1 injured (31, ND)	1 death, 2 injureds (46, 18, ND) : worker repairing water pipeline	One worker lost his consciousness while pumping leaked water from broken valve in water supply system. 3 people including a firefighter was asphyxiated by hazardous atmospheric condition (oxygen deficiency or carbon monoxide)
6	1997, Nov.15 (16:27)	Seongju, Gyeongbuk	Seungbo general food : Seonnam-myun	Concrete pit for pickling radishes (danmuji)	1 death (28, male), 3 injureds (38, ND, ND)	4 deaths (24, 27, 44, 65), 1 injureds (47) : workers moving pickles out of pit	4 workers became unconscious and fell to the water on pickled radish(danmuji), while they were moving danmuji out of pit. Firefighters went down to the pit to rescue workers, and they were asphyxiated by hydrogen sulfide.
7	1996, Sep.11 (18:30)	Kwangju	Hanyang development Inc. : Mark-dong	Underground water supply and distribution system	3 injured (43, ND, ND)	1 death (57) 2 injureds (45, ND)	3 workers were overcome by something in water supply system during repairing pipeline. To rescue the workers, 3 Firefighters entered into the system through manhole, and they were asphyxiated by hazardous atmospheric condition (oxygen deficiency or carbon monoxide)
8	1996, Mar.13 (15:42)	Yongin, Gyeonggi	Dream Land Aptment : Kyheung-eup, Gugal-ri	LPG Gas tank	1 death (35, male)	1 death (59)	To dismantle a useless LPG tank, a worker was sent into tank and fell by asphyxiation. Firefighter enter into tank to rescue him and be overcome by hazardous condition(residue LPG gas or oxygen deficiency) while taking off his mask and put it on the fallen work.
Total					5 deaths, 8 injureds	9 deaths, 9 injureds, 1 near-miss	

*ND : No Data



Figure 1. The wastewater treatment tank where a firefighter died in the line of duty (Oct. 30, 2012 in Ulsan, Korea) (Yonhap News photo).

어떤 위치에 있었든 그건 크게 중요하지 않은데, 황화수소가 공기보다 무겁지만 폐수처리조를 폭기하거나 교반하는 경우 수백 ppm 정도의 황화수소가 기류와 함께 일시적으로 밖으로 나올 수도 있기 때문이다(Nogué et al., 2011; Park et al., 2013; NFA, 2017).

황화수소는 산소가 없는 혐기성 상태에서 잘 자라는 황환원세균이 발생시키는 가스이다. 호기성 세균은 사람처럼 산소를 흡입하고 이산화탄소를 발생시키지만 혐기성 세균인 이 세균들은 황(S)을 물질대사에 이용하고 황화수소(H_2S)를 내보낸다. 자연 발생하는 가스이지만 맹독한 가스로 고용노동부 단시간노출기준(STEL)이 10 ppm으로 매우 낮고 1,000 ppm 정도에 노출되면 한 두 번의 흡입으로도 호흡이 멎고 의식을 잃고 쓰러진다. 황화수소는 사이토크롬 산화효소(Cytochrome Oxydase)의 활성을 저해하여 세포호흡을 막는다. 정상 혈류와 산소 함량을 가진 혈액이지만 체내 세포가 산소를 이용하는 과정을 방해하므로 세포가 질식 상태가 되는 것이다. 농도가 매우 높을 경우 이러한 작용은 자극을 느끼기도 전에 일어날 수 있다. 황화수소는 0.01-0.03 ppm 농도 수준에서 계란 썩는 냄새로 감

지할 수 있지만 150-200 ppm 수준이 되면 후각을 마비시키므로 냄새로 위험 정도를 감지해서는 안된다(OSHA, 2005; Harbison & Bourgeois, 2015). 특히 황화수소의 소다캔 효과(Soda-can Effect)에 유의해야 한다. 소다캔 효과란 물에 녹아 있던 황화수소가 교반 시 밀폐된 공간 밖까지 일시적으로 고농도의 황화수소 운(Hydrogen Sulfide Clouds)이 피어오르는 현상을 말한다. 따라서 황화수소 중독이 의심된다면 구조자는 밀폐공간 밖에서부터 공기호흡기를 착용하고 접근해야 한다 (Forsgren & Brinck, 2016).

안전보건공단의 밀폐공간 실태조사에 따르면 하수종말처리장 저류조 내부에서 황화수소 농도는 평균 500 ppm을 초과했고 옥내 정화조 펌핑작업 시엔 약 300 ppm의 황화수소가 측정됐다(Yoo et al., 2008). 산안법에 따르면 폐수, 오수 등 부패하거나 분해되기 쉬운 물질이 들어있는 정화조, 집수조 등은 밀폐공간보건작업프로그램 수립·시행 대상이다. 사업주는 폐수처리장 처리조에 황화수소 위험경고 부착, 폐수 샘플링 위치에 황화수소 가스경보기 설치, 폐수 샘플링 작업 시 공기호흡기 혹은 방독마스크 착용 등의 내용을 포함하고 시행해야 한다. 사고가 발생한 울산 강동수질개선사업소는 이 프로그램을 수립·시행하여 자신의 근로자뿐만 아니라 같은 장소에서 일하는 펌프 수리업체 등 하청근로자를 보호할 의무가 있었다. 사업주가 이러한 법을 위반하였기 때문에 근로자가 사망한 것이며, 이를 구조하려면 박○복 소방교의 순직으로 이어진 것이다.

2) 재해사례 2 : 군산소방서 고 김○철 소방교 순직

순직소방관추모관 순직경위에는 “2012년 7월 20일 오후 4시 35분경 전라북도 군산시 소룡동 한국유리 냉각수 저장 물탱크에 추락한 익수자 [김재한(사망), 남55세]를 구조하던 중 미상의 가스에 질식되어 순직함”이라고 기록되어 있다(NFSA, 2019). 여기에서 ‘미상의 가스’는 ‘질소가스로 채워진 공간에서 산소결핍’으로 정정되어야 한다. 김○철 소방교(40)는 물탱크 보수작업을 위해 탱크 안으로 들어가다가 추락한 노동자를 구조하던 중이었다. 군산소방서의 사고조사 자료에 따르면 물탱크 입구 지름이 49 cm 로 공기호흡기를 착용하고는 물탱크 안으로 들어갈 수 없었으므로(Figure 2), 김 소방교는 SOP와 현장 관행대로 공기호흡기를 밖에 있는 동료로부터 건네 받기로 하고 물탱크 안으로 들어갔다(Gunsan Fire Service, 2012). 이 짧은 순간 동안 한

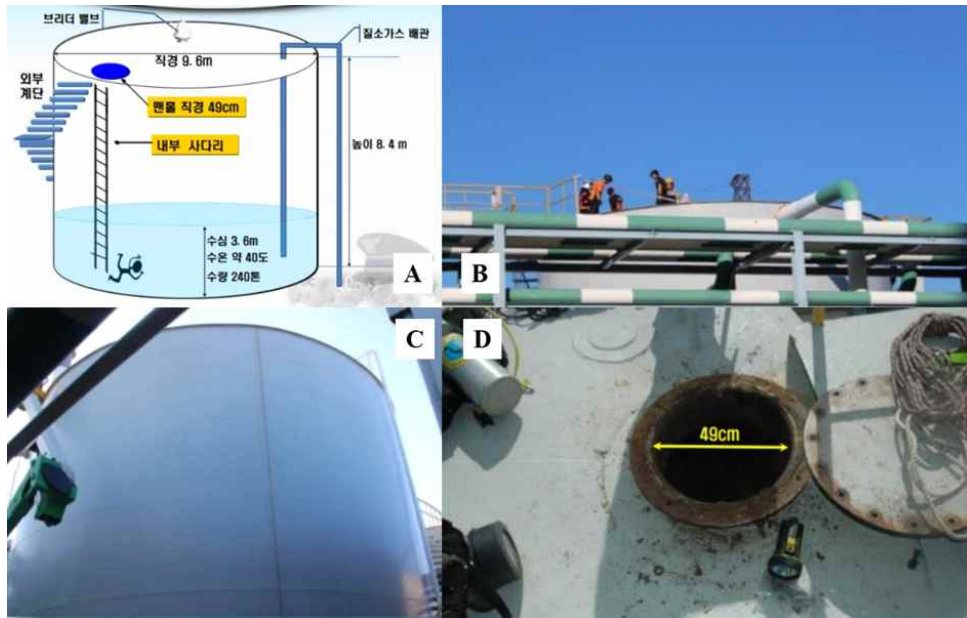


Figure 2. The water tank where a firefighter died in the line of duty(July. 20, 2012 in Gunsan, Korea) (A) Diagram of water tank (B) The rescue team was working at the top of the water tank (C) Water tank viewed from below(D) Manhole that victim entered attempting to rescue a worker (Gunsan fire service photo).

두 번의 산소가 결핍된 공기를 흡입하면서 김○철 소방교는 질식으로 의식을 잃고 탱크 안으로 추락했던 것이다. 공기 중 산소 농도는 20.9%이다. 산안법에서는 18% 미만의 산소가 함유된 경우 적정하지 않은 공기로 보며 6% 이내에서는 경련, 심정지 등 급성증상으로 수분내에 사망할 수 있고 4% 이하에서는 한 두 번의 호흡으로도 즉시 의식을 이어 사망할 수 있다 (Harris, 2011). 당시 물탱크 안에는 물이 있었고 질소쿠션(Nitrogen Cushion), 부식방지 등 목적으로 비활성기체인 질소가스가 충전돼 있었다. 질소쿠션이란 물 위에 질소를 일정한 압력으로 채워서 물 공급 시 배관의 수압을 조정하기 위한 장치인데, 이런 경우 탱크 안은 100% 질소로 채워지므로 산소가 전혀 없다. 양압으로 채워진 질소가 밖으로 나오면 물탱크 밖에도 국소적으로 질식위험이 있다 (CSB, 2006). 산소가 없는 공기는 우리 몸속으로의 산소공급을 줄일 뿐만 아니라 뇌조직의 산소농도가 높고 허파가 낮은 농도구배를 만들어 급격하게 뇌조직 등 조직에서 산소를 빼내 폐로 이동시킨다. 즉 동맥 내의 산소분압이 급격하게 떨어지면 무엇보다 산소를 가장 많이 소모하는 뇌가 기능을 상실하고 혼절하게 하는 것이다. 당시 김○철 소방교가 물탱크 안에서 공기호흡기를 받는 과정 중 불가피하게 몇 번의

호흡을 하였을 것인데, 평소엔 문제가 없었겠지만, 산소가 거의 없는 물탱크에서는 치명적인 결과를 초래했던 것이다. 현행 소방공무원 SOP 304 '맨홀사고 대응절차'에 '공기호흡기 실린더를 밀어 넣어 공기를 투입'하는 방식 즉, 공기호흡기의 공기 토출구를 열어 대원의 호흡기 영역에 공기를 분사하는 방식을 권하고 있다. 문제는 줄을 달아 맨홀 안으로 투입된 공기호흡기는 흔들림이 있고 압축공기 토출구에서 분사되는 공기는 일정한 압력과 방향성을 가지고 있으므로 구조대원은 순간적으로 공기가 아닌 산소가 결핍된 공기를 호흡하기 쉽다. 시간이 걸리더라도 물탱크 전체를 공기치환팬을 이용하여 환기하고 산소농도를 측정된 후 적정공기 상태에서 밀폐공간 안에 들어가서 공기호흡기를 착용해야 한다. 반도체, 화학 등 주요산업에서 질소가스는 그 용도와 사용량이 많아서 동종 재해 위험이 상존한다. 안전보건공단 조사에 따르면 밀폐공간 질식재해 중 약 5.5%가 질소가스에 의한 산소결핍 질식재해였다(Yoo et al, 2008).

한국유리공업(주)는 애초에 물탱크를 설치할 때 충분한 크기의 맨홀을 만들었어야 한다. 즉 탱크 청소와 수리작업을 고려하여 공기호흡기를 착용하고 들어갈 수 있을 정도의 크기로 설계하고 시공했어야 한다. 미국 산업안전보건청 (Occupational Safety and Health

Administration, OSHA)이 집행하는 사업장 밀폐공간 관련 규정(OSHA's standard for Permit-Required Confined Spaces for General Industry; 29 CFR 1910.146)에 대한 수행평가 (performance evaluation) 기준에 따르면, 맨홀 지름은 24 인치(60.9 cm) 이상이어야 한다 (OSHA, 1998). 한국유리공업(株)는 물탱크의 적정 설치 뿐만 아니라 질소로 채워진 사고발생 물탱크를 밀폐공간으로 지정하고 자신의 근로자와 하청업체 근로자를 보호하기 위해 작업허가, 산소 측정, 환기 등 법에서 정한 안전 작업절차를 만들고 이를 감독했어야 한다. 근로자 질식재해를 막지 못해 119 구조대에 긴급 연락할 때라도, '질소가스 사용'이라고 전하기 보다는 산소가 없어 질식위험이 있는 상태라고 정보를 제공했어야 한다.

3) 재해사례 3 : 용인소방서 고 이○언 소방장 순직

순직소방관추모관 순직경위의 기록은 다음과 같다. "2010년 7월 28일(수) 오후 5시 44분경 용인시 기흥구 농서동 서천지구 택지개발구역 내 공사 중인 지하전력구가 침수되어 배수지원 요청을 받고 맨홀 내 여건 및 안전 확인을 위하여 현장소장과 같이 내려갔다가 지하에 이상 징후를 느껴 현장소장을 밖으로 탈출시키고 본인은 유독가스를 흡입하고 올라오던 중 추락하여 의식 불명상태로 아주대학교병원으로 이송했지만 회복치 못하고 순직" (NFSA, 2019). 당일 이○언 소방장(40세)이 들어갔던 지하전력구는 법률 용어로는 '공동구'이며, '전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로 구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물'(「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제9호)을 말한다. 통상 '지하공동구'라고 불린다. 당시 이 소방장은 긴급하게 공동구 내 배수 대민지원을 하다가 이상 징후를 느껴 공동구 환기구(가로 2 m, 세로 2 m, 깊이 11 m)를 이용하여 올라오다가 일산화탄소 중독증으로 의식을 잃고 사다리에서 추락했다. 일산화탄소 발생원은 배수작업에 사용된 내연 배수펌프로 추정된다. 지하공동구 등 배수펌프에서 배출된 일산화탄소에 의한 질식재해는 해마다 끊이지 않고 발생하고 있다 (KOSHA, 2017).

이 소방장의 당일 출동은 근무시간이 아닌 때에 긴급 대민지원요청에 따라 수행되었으므로 공기호흡기 등 적정 보호구를 착용하지 못한 상태였다. 이 때문에 이 소

방장은 민간인은 살렸지만 본인은 사망하고 말았다. 이 사고 이후 정규 근무시간이 아닌 '대민지원 및 업무와 관련된 재해와 사고'도 보훈대상으로 확대됐는데, 이런 업무에 대하여도 소방공무원을 보호할 수 있는 SOP가 신설되거나 혹은 기존 SOP의 보완이 필요하다.

4) 재해사례 4 : 인천 부평소방서 김모 대원 등 2명 질식 부상 사고

2005년 9월 12일 인천 부평구 청천동 Y아파트 지하 정화조에서 부평소방서 소속 119 김모(35세) 대원 등 구조대원 2명을 포함하여 6명이 질식하여 쓰러지는 사고가 발생했다. 이 사고는 MBC, SBS 등 방송사도 보도하는 등 많은 언론사에서 다뤘지만 사고과정에 대한 설명없이 6명의 사상 소식을 단신으로만 전했다. '한국아파트 신문'은 업계에 닥친 큰 사고를 심층조사한 후 '아파트 정화조 유독가스에 속수무책'이라는 제하의 기사를 썼다. 다른 언론사의 보도를 옮기지 않고 직접 아파트 관계자와 인터뷰하여 다음과 같이 사고 경위를 상세하게 묘사했다 (Cho, 2005).

"오전 9시경 첫 번째 청소차가 나간 후 10시 30분경 두 번째 청소차가 작업을 이어갔다. 마침 급기휘 벨트가 끊어진 사실이 발견돼 정화조 관리업체인 B사 직원이 벨트고체를 위해 정화조에 들어갔고, 첫 번째 차량에 수분이 많이 빠져나갔다는 관리사무소장의 지적을 받은 청소업체 직원은 긴 막대기로 침전물을 부수며 휘젓기 시작했다. 이때 갑자기 심한 가스냄새를 감지한 작업자들이 빠져나오려 했고, 이를 구하러던 청소업체 직원들까지 차례로 쓰러져 갔다. 급히 신고를 받고 5분여 만에 현장에 도착한 북부소방서 119구조대원 2명도 정화조 내에서 유독가스에 중독돼 인근병원으로 옮겨졌다."

안전보건공단 자료에 따르면 아파트 정화조에서 발생하는 사고의 원인은 대부분 황화수소인데, 위 사고 경위를 보면 전형적인 황화수소 중독의 특성이 나타났다 (KOSHA, 2017). 즉 정화조 환기팬이 고장나 유해가스가 배출되기 어려운 조건에서 정화조에 들어가서 침전물을 휘젓는 작업을 하는 순간 황화수소 소다캔 효과가 나타났다. 구조대원들은 급한 마음에 공기호흡기를 착용하지 않고 들어 갔는데, 정화조에서 발생하는 맹독 유해가스인 황화수소의 특성을 잘 알지 못한 탓으로 보인다. 아파트 정화조를 비롯한 부패가스가 발생할 우려가 있는 공간에 출입할 때에는 밀폐된 공간이 아니라도 반드시 공기호흡기를 착용하고 구조활동에 임해야 한다.

5) 재해사례 5 : 부산 사하소방서 정○동 소방교 질식 부상 사고

연합뉴스는 1999년 6월 5일 부산시 소재 상수도 맨홀 내부에서 소방공무원 1명을 포함한 4명이 질식했고 그 중 가장 먼저 들어갔던 근로자는 사망했다는 소식을 다음과 같이 전했다. “5일 오전 11시 5분께 부산시 강서구 화전동 산23의 2 화전마을 입구 공업용 상수도 맨홀에서 양수작업을 하던 김명희(46.부산 사상구 학장동)씨가 유독가스에 질식해 숨지고 구조하러 들어간 사하소방서 소속 정○동(31) 소방교 등 3명이 쓰러져 병원으로 옮겨 치료를 받고 있다. 김씨는 깊이 5 m 지름 60 cm의 상수도 맨홀에 밸브부위 누수로 찬 물을 빼기 위해 공기호흡기 없이 들어갔다가 유독가스에 질식, 곧 쓰러졌다. 김씨가 쓰러지자 실습생 정학철(18. 양산전문대 2년. 부산시 사상구)군 등 2명이 김씨를 구하기 위해 맨홀속으로 들어갔으나 이들도 곧 정신을 잃었다. 이어 신고를 받고 출동해 구조작업을 하던 사하소방서 소속 정○동 소방교도 유독가스에 취해 정신을 잃고 쓰러졌다. 경찰은 김씨 등이 근무하는 (주)돌샘산업 관계자를 불러 이들이 안전수칙을 어기고 공기호흡기를 쓰지 않은 채 맨홀속으로 들어간 경위를 조사하는 등 정확한 사고 원인을 조사 중이다.”

1명의 근로자가 사망하고 3명이 부상당한 큰 재해였지만, 이 연합뉴스 보도만이 유일하게 사고소식을 전했다. 이 기사에서는 질식의 원인을 ‘유독가스’라고만 언급했다. 이 사고는 배관 및 밸브가 녹슬면서 맨홀 내에 산소가 소모되어 나타난 산소결핍을 원인으로 의심할 수 있다. 김명희씨가 양수작업을 내연기관 펌프를 사용했다면 좁은 맨홀 내에 일산화탄소가 발생하면서 여기에 중독됐을 수도 있다.

6) 재해사례 6 : 김천소방서 고 김○오 소방사 순직 사고

순직소방관추모관 순직경위에는 “1997년 11월 15일 오후 4시 27분경 경상북도 성주군 선남면 소재 승보종합식품 단무지 저장탱크 내 쓰러진 작업 인부 4명에 대한 인명구조 활동 중 순직함.”이라고 씌었다 (NFSA, 2019). 김○오 소방사를 포함 5명이 사망한 재해였는데, 당시 보도 중 내용이 상세한 연합뉴스에 따르면 승보종합식품 근로자 6명(사망 4, 부상2), 소방공무원 3명(사망 1, 부상2)이 각각 사상 당했다. 근로자들은 가로와 세로 각 4 m 깊이 3 m 정도의 단무지 저장조에서 양수기로 물을 밖으로 빼내면서 단무지를 소형 리프트



Figure 3. The danmuji(pickled radish) storage pit where 4 workers and a firefighter died by hydrogen sulfide asphyxiation(Nov. 15, 1996 in Sungju, Korea). [MBC News]

에 담아 탱크 위로 끌어 올리는 작업을 하다가 사고를 당했다(Figure 3)(Lee SW, 1997). 제기된 사고 원인은 감전 또는 암모니아 가스 중독이었다. 부상당한 구조대원 강해도씨(38세)는 “가스 냄새로 구토가 나고 두통이 심해 더 이상 구조작업을 할 수 없었다”고 말했고, 역시 부상당한 구조대원 강신도씨는 “구조대가 출동하자마자 전원 차단기를 내리고 동료 대원 김씨가 탱크에 들어갔는데 어떻게 감전됐는지 이해할 수 없다”고 진술했다. 오리무중인 사고원인을 두고 경찰은 잠정적으로 사망자들은 감전돼 숨지고 부상자들은 암모니아 가스에 질식된 것으로 추정했다. 김○오 소방사(28세) 등은 감전사고라는 연락을 받고 출동했고 이들이 현장에 도착해 가장 먼저 한 일은 강신도 대원의 말 대로 공장 전체 주전원을 차단하는 것이었다. 감전을 원인으로 보기 어려운 이유이다. 재해현장에서 암모니아 등 가스 측정기록은 없었다. 강해도 대원은 가스냄새를 암모니아 냄새라고 특정하지 않았으며 고농도 암모니아 특유의 눈, 코, 목에 엄청난 자극감을 호소하는 대신 두통과 구토를 호소했다. 따라서 감전과 암모니아 중독은 모두 사고의 원인

으로 보기 어렵다(Park et al., 1997).

그렇다면 무엇일까? 단무지 저장조에는 어떤 치명적인 유해인자가 있었을까? 위 재해사례 1을 파악하였으므로 독자들은 짐작했겠지만 역시 황화수소이다. 단무지 절임조에서는 황화수소가 고농도로 발생한다. 안전보건공단의 실태조사에 따르면, 조사 대상 2개의 단무지 공장 저장조에서 155-316 ppm의 황화수소가 측정됐다. 실제로 단무지 저장조에서 질식재해 사례가 적지 않았다. 2018년 8월 21일 충남 부여의 단무지 보관 탱크에서 2명의 사상자(1명 사망, 1명 부상)가 있었고(Sunjae Kwan, 2018), 2008년 6월 8일 경북 문경 단무지 절임조에서 3명이 사망했다(Kang, 2008). 1992년 8월에도 1명 사망, 1명 이상 부상하는 사고가 있었는데 박충기 등은 이 사고의 피재자 중 한 사람을 정밀 검사하여 우리나라 최초로 단무지 절임조에서의 질식의 원인이 황화수소임을 밝혔다(Park et al., 1994). 단무지 저장수조에서는 단무지 첨가제로 사용되는 황산칼슘과 무 자체에 많이 포함되어 있는 Methylthiol(CH_3SH), Alkylisothiocyanate(R-N=C=S) 및 Alkyl sulfide (R-S-R) 등의 유기황성분 등 황성분이 있는 가운데 환기가 잘되지 않는 혐기성상태가 조성되면 황환원세균이 증식하면서 황화수소를 배출한다. 황화수소는 물에 녹아 있다가 절임조에서 물을 펌핑하거나 단무지를 옮기는 등 교반이 있을 때 확 피어올라 고농도의 황화수소운의 형태로 작업자에게 순간적으로 급성중독을 일으켜 혼절케 한다. 이 때 물 위로 쓰러지면 중독증과 더불어 의사로 이어지게 된다. 강해도 대원 등은 펌프질이나 리프트로 단무지를 운송하는 작업이 정지되고 일정한 시간이 흐른 뒤라 황화수소의 소다캔 효과가 잦아 든 뒤에 절임조에 접근했기 때문에 치명상을 입지 않은 것으로 볼 수 있다. 단무지 절임조의 황화수소가 무서운 이유는 Figure 3에서 보는 것처럼 절임조는 지하이거나 혹은 밀폐된 상태가 아니고 비교적 개방된 구조이므로 전혀 위험해 보이지 않는다는 점이다. 이 때문에 구조대원들이 감전재해 예방조치만 시행하고 공기호흡기를 착용하지 않았던 것이다.

산안법에서는 ‘과일의 숙성용 창고 또는 피트의 내부’, ‘간장·주류·효모 그 밖에 발효하는 물품이 들어 있거나 들어 있었던 탱크·창고’도 ‘밀폐공간’으로 정하여 관리하도록 규정하고 있다. 단무지를 비롯하여 피클, 장아찌 등 절임류 제조업체에는 이런 위험이 있고 위 사례 1에서 주지한 대로 밀폐되지 않은 공간에서도 황

화수소에 의한 질식재해 위험이 있으므로 구조 시 특별한 대책이 필요하다.

7) 재해사례 7 : 광주 서부소방서 강○구 대원 등 3명 질식 부상 사고

1996년 9월 11일 광주 서구 마록동 상수도 배관작업 중 1명의 근로자가 사망했고 2명이 부상을 당했으며 이를 구조하던 광주 서부소방서 3명의 소방공무원이 가스에 질식됐다. 유일하게 이 사건을 보도한 연합뉴스의 기사는 다음과 같다.

“11일 오후 6시 30분께 광주시 서구 마록동 공군 탄약고 앞 맨홀에서 상수도 배관작업을 하던 한양개발(주) 직원 조성호씨(57.광주시 북구) 등 3명이 종류를 알 수 없는 유독가스에 질식, 인근 남광병원으로 옮겨졌으나 조씨는 숨지고 신용남씨(45.광주 서구)등 2명은 치료를 받고 있다. 또 인부들을 구조하기 위해 출동한 광주 서부소방서 소속 119 구조대원 강○구씨(43) 등 3명도 가스에 질식돼 치료를 받고 있으나 생명에는 지장이 없는 것으로 알려졌다. 경찰은 이들이 상수도 배관공사를 하기 위해 맨홀에 들어간 뒤 곧 쓰러졌다는 목격자들의 진술에 따라 맨홀 안에 가득 차 있던 유독가스에 질식, 사고를 당한 것으로 보고 정확한 사고원인을 조사중이다.” (Yeo, 1996).

이 기사에서는 질식의 원인을 ‘종류를 알 수 없는 유독가스’라고만 언급했다. 상수도 맨홀 내에서의 발생한 다른 질식재해 사례를 보면, 배관 녹슬 등이 원인이 된 산소결핍이 원인인 경우가 있었고 작업 목적으로 맨홀 내에서 작동한 펌프나 용단기에서 배출된 일산화탄소 등이 원인이 되기도 했다 (KOSHA, 2017). 강○구 대원 등이 부상당한 이 사고의 원인은 당시 노동부가 수행했을 중대재해조사 자료를 보지 않는 한, 알 수 없다. 소방당국이 정밀한 사고조사를 수행하지 않아 사고로부터 예방을 위한 더 많은 교훈을 찾아내지 못한 사례이기도 하다.

8) 재해사례 8 : 경기 용인소방서 박○석 소방사 순직 사고

고 박○석 소방사의 순직 경위는 경기소방학교에 건립된 그의 동상 기단부에 적혀 있는 기록이 자세하다. “1996년 3월 13일 오후 3시 42분경 기흥읍 구갈리 소재 드림랜드 아파트에 불필요한 LPG 지하탱크 해체 작업을 하던 서울동부가스 직원 이상목이 탱크 속에서 잔류가스에 중독되어 실신하자 긴급 출동한 박○석이 자

신의 공기호흡기를 씌워 구조한 후 미처 빠져나오지 못하고 순직한 승고한 희생정신을 영원히 기리고 경기도 소방교육의 지표로 삼고자 함.”(FFM, 2007).

도시가스가 공급되면서 아파트에 기존 지하 LPG (Liquefied Petroleum Gas) 탱크를 해체하기 위해, 서울동부가스 직원 이상목씨가 직경 50 cm 맨홀을 열고 탱크(지름 2.5 m, 깊이 8 m) 안으로 들어갔다가 질식으로 쓰러졌다. 당시 기사에는 이상목씨가 해체작업을 구체적으로 어떤 식으로 하고 있었는지 나와있지 않고 질식은 잔류 가스에 의한 것으로 기술되어 있다 (Hong, 1996). LPG는 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」에 따라 주로 관리되는 ‘액화석유가스’를 말하는데, 프로판이나 부탄을 주성분으로 한 가스를 액화한(기화한 것을 포함) 것을 말한다. 프로판이나 부탄은 모두 그 자체는 급성독성이 낮지만 밀폐된 공간에서 고농도로 존재할 경우 공기를 치환하여 단순 질식, 즉 산소결핍을 일으키므로 치명적이다. 특히 수리·청소 및 철거를 목적으로 탱크 안에 들어갈 때가 문제가 된다. 산업통상자원부는 관련된 안전기준을 공고하고 있는데, LPG 저장탱크 사용 시설의 안전기준에 따라 저장탱크를 수리·청소 및 철거할 때에는 탱크 안의 LPG를 비울 뿐만 아니라 내부를 불활성가스나 물로 치환하고 다시 공기로 재치환해야 한다. 이 기준에서는 LPG의 농도가 폭발하한의 1/4 이하가 되었는지 산소 농도는 적정한지를 수시로 확인할 것을 권고하고 있다. 이 기준에 있는 저장탱크 철거 작업의 일반적인 방법을 볼 때, 박○석 소방사와 이 근로자의 질식 원인으로 고농도의 잔류 LPG 혹은 치환된 비활성기체에 의한 산소결핍 둘 중 하나를 의심해볼 수 있다. 여기서 맨홀 지름이 50 cm라는 점을 간과할 수 없는데, 앞서 살펴본 김○철 소방교 순직사례에서 보았듯 이 정도 맨홀 지름이라면 공기호흡기를 착용하고 맨홀에 들어가기 매우 힘들다. 역시 몸을 먼저 들어가서 받는 방식을 이용했을 것으로 추정되는데, 이 부분도 큰 위험요인이었고 시간소요도 많았을 것이므로 30분 용량의 구형 공기호흡기를 착용하고 구조활동을 하는 데에는 역부족이었을 것으로 추정된다. 공기호흡기가 출동 대원 모두에게 있었다면 그리고 좀 더 큰 용량의 공기호흡기가 있었다면 그리고 피구조자용 보조마스크 있었다면 안타까운 희생은 치르지 않을 수도 있었다. 이런 어려운 여건 속에서 박 소방사는 생존 가능성을 높이고자 자신의 보호구를 요구구조자에게 씌우고 그를 밀어 올리고 이내 쓰러졌다고 전한다(Figure 4).



Figure 4. Statue of firefighter Park Jae-seok in Gyeonggi-do Fire Service Academy in Korea. He died while saving a worker who fell in an LPG tank. He died while saving a worker who fell in an LPG tank. This statue depicted that he take off his respirator and put it on the fallen worker.

이 사고는 공기호흡기 부족 등 열악한 구조 장비 실태를 드러냈다. 정부는 이 사고 직후 공기호흡기를 6월까지 7천여명에게 지급하여 당시 소방공무원 1만 6천명 전원에게 공기호흡기를 지급키로 공표했다(Yonhap News, 1996). 이듬해 1997년 12월 24일에 소방당국의 맨홀 구조훈련 시범이 최초로 보도됐는데, 밀폐공간 구조용 장비가 보급되기 시작한 시점으로 보인다(Byun, 1997).

IV. 고 찰

이 연구를 통해 1945년부터 2019년 현재까지 소방공무원이 비화재 현장 밀폐공간에서 구조활동 중 5명이 사망했고 8명이 부상을 입었다는 사실을 알 수 있었다.

이는 해방 이후 우리나라 소방 73년 동안 발생한 총 361명의 순직자 중 1.4%에 해당한다. 소방공무원의 밀폐공간 질식재해는 치명적이면서도 충분히 예방 가능한 재해라는 측면에서 관리의 필요성이 크다. 발생시기와 주기면에서도 간헐적으로 꾸준히 발생하고 있으므로, 최근 6년 동안 동종의 순직재해가 없다는 이유로 안심할 수 없다. 미국 소방공무원은 1980-1988년 사이 비화재 밀폐공간 구조 중 질식재해 순직이 1명 있었고 그 이후엔 발생하지 않았다. FFFIPP에서는 1984년 이후의 의용소방대원을 포함한 소방관 사망사고 사고조사 기록을 제공하는데, 의용소방대가 비화재 밀폐공간에서 구조 작업 중 사망사고는 2건에 걸쳐 4명이 사망한 기록이 있다. 1990년 5월 1일 의용소방대원 3명이 펜실베이니아주에서 우물에서 우물에 빠진 동물을 빼내기 위해 물을 빼내다가 펌프에서 나온 일산화탄소에 중독돼 사망했고 2010년 9월 6일 의용소방대원 1명, 수리공을 구하기 위해 맨홀을 통해 정화조 수직통로에 들어갔다 가 산소결핍 등으로 사망했다(Suruda et al., 1994; NIOSH, 2019). 소방공무원이 373,600명(35%)이고 의용소방대가 682,600명(65%)인 미국 소방의 인력구성을 감안하면, 미국은 소방대원의 비화재 밀폐공간 질식재해를 적절히 예방하고 있는 것이다(NFPA, 2019). 미국은 1988년 이전에 거의 사라진 위험이 우리나라에선 2012년에 2명이나 순직하는 치명적 사고를 초래했다.

이 연구를 통해서 우리는 사고사례와 현행 소방당국의 관련 제도를 검토한 결과, 다음과 같은 지점에서 이러한 위험이 아직 해소되지 않았고 각각 아래의 대책이 필요함을 발견했다.

첫째, 순직이라는 심각한 결과가 발생했지만 소방당국은 간단한 사고보고 절차만 가지고 있을 뿐 사고조사 제도가 없어서 사고원인에 대하여 일반인들이 명확하게 알 수 없었다. 사고조사란 책임을 묻는 절차가 아니라 동종 재해를 예방하기 위한 정보와 교훈을 얻는 과정이다. 「항공·철도 사고조사에 관한 법률」에 준하는 사고조사로 '민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정처분 절차 또는 행정쟁송절차와 분리·수행되어야 한다. 소방공무원이 재해를 당하면 그 자체도 불행이지만 그가 구해야 할 요구조자를 살릴 수 없는 등 재해규모가 기하급수적으로 커질 수 있다. 따라서 우리나라에서도 미국 FFFIPP 제도에 준하는 소방공무원에 대한 사고조사 제도를 갖출 필요가 있다. 군산소방서는 초보적이지만 진 일보한 사고조사를 수행했고 그 결과는 이 연구의 좋은

참고자료가 되었다. 군산소방서의 발표자료 형식의 사고조사 자료는 지금은 공개되지 않아 볼 수 없다. 사고조사 주체는 객관적 조사를 위해 일선 소방조직과는 인사업적으로 독립적인 소방내 연구기관이 하게 하거나 혹은 FFFIPP를 NIOSH가 운영하는 것처럼 우리도 한국 산업안전보건연구원과 같은 외부 기관이 수행하도록 제도화할 수도 있다. 제도가 마련된다면, 이 연구에서 다룬 사례부터 상세하게 다시 조사해야 한다.

둘째, 우리나라 소방당국은 구조대원 밀폐공간 질식재해 제로를 위한 완성도 높은 정보와 절차를 갖추고 있지 못한 것으로 보인다. 밀폐공간은 보이지 않는 치명적인 위험이 있으므로 SOP는 상세하고 정확할 필요가 있는데, 아직은 미흡하다. 서론에서 지적했고 또 김○철 대원의 순직 사건에서도 드러났듯 'SOP 304 - 맨홀사고 대응절차'의 '공기호흡기 실린더를 밀어 넣어 공기를 투입'하는 '사전대처(환기)' 방식은 적절하지 않다. 공기치환팬을 이용하여 충분한 양의 공기를 강한 압력으로 투입해야 한다. 맨홀크기가 작아 공기호흡기를 착용하고 작업할 수 없을 때, 어떤 식으로 구조를 할지에 관한 내용이 포함될 필요가 있다. 산소결핍은 매우 순간적으로 치명적인 결과를 일으키므로 맨홀 내에 들어가서 공기호흡기를 받는 방식은 공기치환팬을 이용할 경우 위험도를 낮출 수는 있으나 해소할 수는 없다. 장기적으로 사람이 들어갈 일이 있는 모든 맨홀을 설치할 때 미국처럼 공기호흡기 착용을 감안하여 디자인하도록 하는 규정 제정을 검토해야 한다. 이 SOP에서 '맨홀내부는 유해가스가 존재한다고 가정하여 활동'이라는 부분도 일부 수정이 필요하다 (NFA, 2017). 박○복 소방교 순직 사례에서 본 것처럼 황화수소와 같은 유해가스는 맨홀이나 밀폐공간 밖에서도 치명적일 수 있음을 확인했다. 소방당국이 밀폐공간에서의 안전한 구조절차를 위한 권위있는 표준인 「NFPA 350 Guide for Safe Confined Space Entry and Work」등을 참고하여 SOP를 개정 검토해야 한다.

셋째, 사고사례는 모두 사업장에서 발생했고 요구조자는 모두 근로자였다. 사고의 법적 책임은 산안법의 고용노동부령인 「산업안전보건 기준에 관한 규칙(제10장 밀폐공간 작업으로 인한 건강장해의 예방)」을 위반한 사고 발생 사업장의 사업주에게 있다. 사업주가 산안법을 지키도록 관리감독 할 책임은 고용노동부에게 있다. 미국의 경우는 일반 사업주뿐만 아니라 소방당국도 「OSHA Permit-Required Confined Space Standard

1910.146(1993)», 「Confined Space in Construction 1926.1200-1926.1213(2015)」 등 밀폐공간 관련 산안법을 준수할 의무가 있다. 즉 소방당국은 밀폐공간에서 국민을 구조할 의무도 있는데, 소방공무원을 안전하게 보호하면서 그 일을 수행해야 하며 이를 이행하지 않을 경우 산안법 위반으로 처벌받을 수도 있다. 미국 소방당국은 '허가를 요하는 밀폐공간(Permit-Required Confined Space)'에 관한 정보를 사전에 사업주로부터 받아 두는 방식으로 위험을 관리한다. 우리나라에서도 소방당국이 밀폐공간 관련 산안법을 준수할 의무가 있지만, 고용노동부는 관행적으로 소방당국에 대하여는 법을 적용하고 있지 않다. 이 법을 적용하지는 않더라도 소방청과 고용노동부는 밀폐공간 구조활동에 관하여 긴밀한 협조가 필요하다. 예를 들어 이미 발생한 소방공무원이 순직하거나 다친 밀폐공간 중대재해 사건에 대한 중대재해조사의견서를 공유하는 일, 근로자 밀폐공간 질식재해 중대재해조사의견서를 모두 공유할 것을 제안한다. 또 지방 소방관서가 주기적으로 시행하는 밀폐공간 질식재해 구조 훈련을 고용노동부 지방관서 및 안전보건공단 지사와 함께 시행하는 등 다양한 예방활동이 가능할 것이다.

공개된 자료인 순직소방관추모관 순직 경위 기록, 과거 보도자료를 중심으로 이 연구가 수행된 점은 한계이지만 소방공무원 재해발생보고서 양식과 공상을 잘 보고하지 못하는 조직분위기(Kim et al, 2015)로 미루어 볼 때, 더 많은 정보가 거기에 있을 것으로 보이진 않는다. 정보제한으로 사고 원인에 관해서는 전문가적 판단과 추정이 불가피했다. 이 논문의 저자 중에는 동종 사고조사 경험이 풍부한 전문가가 있으므로 이러한 판단도 동종 사고 예방을 목적으로는 효용이 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 1996년 이전에는 관련 순직 또는 부상에 관한 기록을 찾을 수가 없었는데, 전통사회에서도 우물, 절임조 등이 있었고 이런 종류의 위험이 없진 않았는데, 왜 한 건도 없었는지에 관하여는 향후 더 연구가 필요할 것으로 보인다.

V. 결 론

비화재 밀폐공간 구조 중 소방공무원의 질식재해 발생규모는 심각한 수준이었고 그 위험은 완전히 제거되지 않았다. 정밀한 사고조사 제도의 수립·시행을 통해 동종 재해 재발방지대책을 도출하여 현장 SOP와 훈련

에 반영해야 한다. 특히 사업장에서 발생 위험이 높기 때문에 고용노동부, 안전보건공단 등 유관기관과의 공조를 강화해야 한다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 「국가인권위원회 인권상황실태 조사 연구용역」을 통해 이루어질 수 있었습니다. 국가인권위원회의 연구지원에 감사드립니다.

References

- Byun YW. Manhole accident rescue demonstration Yonhap News. Dec 24, 1997.
- Cho JH. Helplessness against toxic gas of apartment septic tank - 6 people including cleaners and 119 paramedics were asphyxiated. Korea Apartment Newspaper. Sep 21, 2005.
- CSB. Hazards of nitrogen asphyxiation. CSB. Available at: <https://www.csb.gov/hazards-of-nitrogen-asphyxiation/>. Accessed Aug 19, 2019.
- FFM. Memorial sculptures pictures. Available at: http://blog.daum.net/_blog/BlogTypeView.do?blogid=0G6Po&articleno=3501694&categoryld=27334®dt=20070719225308. Accessed Aug 19, 2019.
- Forsgren A, Brinck K. Airborne occupational hazards in sewer systems: CRC Press; 2016.
- Gunsan Fire Service. Fatality report - gunsan rescuer's death in the line of duty. Gunsan: Gunsan Fire Service; 2012.
- Ha JH. National trust first - daily life-fighting battle Weekly Gonggam Korea. 2012.11.11., 2012.
- Harbison SC, Bourgeois JR. Hydrogen sulfide. Hamilton & hardy's industrial toxicology: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey; 2015:325-330.
- Harris MK. Confined spaces. In: Anna DH, Association AIH, eds. The occupational environment: Its evaluation, control and management: American Industrial Hygiene Association; 2011.
- Hong YD. 30s, a firefighter's death in the line of duty. Hankyoreh. March 14, 1996.
- Kang T. Who killed the danmuji manufacturing workers ?. Ohmynews. Jun 11, 2008.
- Kim KJ. Firefighter died in the line of duty in ulsan. Yonhap News. Oct 30, 2012.
- Kim HD, An YS, Kim DH, Jeong KS, Ahn YS. An overview of compensated work-related injuries among

- korean firefighters from 2010 to 2015. *Ann Occup Environ Med* 2018;30:57 (doi:10.1186/s40557-018-0268-2)
- Kim SS, Ju YS, Kang TS, Kim MY. Survey on firefighters' human right situation in korea: NHRCK(National Human Right Commission of Korea); 2015.
- KOSHA. KOSHA Guide on Classification of Industrial Disaster Records (G-83-2016), 2016.
- KOSHA. Prevention of asphyxiation in confined space In: KOSHA, ed. Incheon: KOSHA; 2007.
- KOSHA. Manual for preventing asphyxiation in confined spaces. Ulsan: KOSHA, ; 2017.
- Lee SW. 5 people were dead at danmuji(pickled radish) storage pit in Sungju, Gyeongsangbuk-do. *MBC News*. Nov 15, 1997.
- NFA. 2011 rescue statistical report In: NFA, ed; 2012.
- NFA. Standard operating procedures in disaster scene; 2017.
- NFA. 119 rescue and emergency report – statistical information report. In: NFA, ed. Seoul; 2018.
- NFPA. U.S. Fire department profile. Accessed Aug 25, 2019.
- NFSA. National fallen firefighters memorial NFSA. Available at: <https://www.nfa.go.kr/cherish/>. Accessed 2019.08.13., 2019.
- NIOSH. Volunteer fire fighter dies during attempted rescue of utility worker from a confined space –new york. Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/fire/reports/face201031.html>. Accessed Aug 18, 2019.
- NIOSH. Fire fighter fatality investigation and prevention program (fffipp). Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/firefighting/reports.html>. Accessed Aug 25, 2019.
- Nogué S, Pou R, Fernández J, Sanz-Gallén P. Fatal hydrogen sulphide poisoning in unconfined spaces. *Occupational Medicine* 2011;61(3):212–214
- OSHA. Permit-required confined spaces. Available at: <https://www.osha.gov/laws-regs/federalregister/1998-12-01-0>. Accessed Aug 19, 2019.
- OSHA. Hydrogen sulfide (H₂S) factsheet U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration; 2005.
- Park CG, Kim MG, Kim HC, Ahn BK, Park MS et al, Causes and radiological findings of asphyxiation accidents in pickled radish(danmuji) plants: A case report. *J Kor Radiol Soc* 1994;31(1):81–85 Available from : <https://jksronline.org/Synapse/Data/PDFData/1016JKRS/jkrs-31-81.pdf>
- Park J, Kang T, Seok J, Jin S, Heo Y, et al. Real-time monitoring of ammonia and hydrogen sulfide according to workplace at swine farms. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2013;23(4):402–411
- Selman J, Spickett J, Jansz J, Mullins B. Confined space rescue: A proposed procedure to reduce the risks. *Safety Science* 2019;113:78–90
- Stout N, Jenkins E. Use of narrative text fields in occupational injury data. Paper presented at: Proceedings of the International Collaborative Effort on Injury Statistics, 1995.
- Sungi Park, Hyuchung Kim, Sanghyun Lim SM. The pickled radish('danmuji') plant electric shock, 9 casualties including 119 rescuers. Nov. 15, 1997.
- Kwan SJ. 2 workers were fallen in danmuji manufacturing industry. *The Kyunghyang Shinmun*. Aug 21, 2018.
- Suruda A, Pettit T, Noonan G, Ronk R. Deadly rescue: The confined space hazard. *Journal of hazardous materials* 1994;36(1):45–53
- Wilson MP, Madison HN, Healy SB. Confined space emergency response: Assessing employer and fire department practices. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2012;9(2):120–128
- Yeo WC. Workers were ashphyxiated, 1 dead, 5 injured. *Yonhap News*. Sep 11, 1996.
- Yonhap News. Scba provided to all firefighters *Yonhap News*. April 10, 1996.
- Yoo KM, Park HH, Chung KJ. Research on hazard identification and prevention of confined space asphyxiation. Incheon: KOSHA; 2008.

<저자정보>

이주희(연구원), 강태선(교수)