

화학사고 원인 조사를 통한 화학물질 안전관리 개선방안 연구

A Study on Improvement Safety Management through Chemical Accident Investigations

유병태*

Byung-Tae Yoo*

Associate Professor, Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Republic of Korea

*Corresponding author: Byung-Tae Yoo, flyduck@ut.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to provide the effective safety management system to prevent similar chemical accidents through accident investigations. **Method:** Chemical accident prevention and response management systems at the central and local government levels were reviewed. Also, statistical data of chemical accidents occurred in the last 5 years were analyzed. In particular, Two accidents with high accident risk were analyzed. **Result:** Chemical accidents that have occurred in the last 5 years were analyzed to occur in the order of hydrochloric acid, sulfuric acid, and nitric acid, and concrete safety management improvement measures were derived through investigations of two causes. **Conclusion:** In this study, we proposed safety management plans in terms of technical and management aspects. The results of this study are expected to be used as effective in preventing and managing chemical accidents.

Keywords: Accident Investigation, Chemical Accident, Hazardous Chemical, Safety Management, Accident Prevention

요약

연구목적: 본 연구에서는 화학사고 원인조사 결과를 바탕으로 화학사고 예방 및 안전관리 개선을 위한 방안을 제시하고자 하였다. **연구방법:** 중앙정부와 지방정부 차원의 화학사고 예방·대응관리 체계를 조사하였으며 최근 5년간 발생한 화학사고 통계 데이터 분석과 사고 위험이 높은 2건의 사고에 대해 상세한 사고원인 분석을 통해 문제점을 도출하였다. **연구결과:** 최근 5년간 발생한 화학사고는 물질별로 염산, 황산, 질산 순으로 사고가 발생하는 것으로 분석되었으며 2건의 사고원인 조사를 통해 구체적인 안전관리 개선방안을 도출하였다. **결론:** 사고원인 조사분석을 통해 본 연구에서 기술적·관리적 측면의 안전관리 방안을 제시하였으며 이 연구 결과를 적용한다면 효율적인 화학사고 예방관리가 이뤄질 것으로 판단된다.

핵심용어: 사고조사, 화학사고, 유해물질, 안전관리, 사고예방

Received | 22 January, 2021

Revised | 5 August, 2021

Accepted | 13 August, 2021

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

2012년 구미 불화수소 누출사고를 계기로 화학사고를 사전에 예방하고 사고 발생 시 그 피해를 최소화하기 위한 목적을 포함한 「화학물질관리법」(이하 화학법)이 2015년 개정되었다. 그럼에도 불구하고 2015년 군산 사염화규소 누출사고, 2016년 금산 불산 누출사고, 2017년 경주 질산 누출사고, 2018년 영주 육불화텅스텐 누출사고 및 군산 사염화규소 누출사고 등 전국적으로 꾸준히 화학사고가 발생하고 있다(An et al., 2015, Lee et al., 2018, Yonhapnews, YTN). 화학사고 물질, 취급 공정특성, 기상 조건 등의 차이는 있을 수 있지만 한번의 사고만으로도 막대한 물질 피해뿐만 아니라 농작물, 환경 및 인명피해까지 발생하기 때문에 사전예방 및 안전관리가 무엇보다 중요하다.

국내 화학물질 관리를 위한 법률은 14개의 법률(화학물질관리법, 잔류성유기오염물질관리법, 산업안전보건법, 약사법, 화장품법, 마약류관리등에관한법률, 식품위생법, 총포·도검·화약류등단속법, 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법, 원자력법, 비료관리법, 농약관리법, 사료관리법)에서 국내에 유통되는 화학물질 중 사람이나 환경에 해를 미칠 위해성 또는 유해성이 있거나 그러할 우려가 있는 화학물질은 화학법이 기본이 되어 관리되고 있다(Lee et al., 2018, Lee et al., 2015, ME, 2018).

이처럼 여러 부처가 유해화학물질을 관리하고 있지만, 2013년을 기준으로 국내 유독물 취급시설은 총 3,846개소로 조사되었으며, 이를 대상으로 안전관리실태 정부 합동 조사를 실시한 결과 42%의 취급시설에서 화학 사고에 대한 관리상태가 취약한 것으로 확인되었다(Yoo et al., 2018, Moon et al., 2016). 화학사고 취약 사항은 시설 노후화, 배관 연결 상태, 전기시설 방폭 및 누출 차단 시설 등에서 주로 나타났으며, 업종별로는 제조업 및 사용업에서 높은 비율로 나타났다. 중소기업에서는 비용 절감을 위해 안전시설에 대한 투자가 미흡한 것으로 보였는데, 내구성이 취약한 재질을 사용하거나 바닥면 방수균열, 시설부식 및 배관 밸브 연결상태 불량 등의 시설관리가 미흡하였으며, 개인 보호 장비나 소화기 등의 방재장비 또한 적절하게 갖춰져 있지 않아 사고 발생 시의 대비 태세에도 미흡한 상황으로 나타났다(Moon et al., 2016).

현재 화학법에서는 화학물질 중 급성독성·폭발성 등이 강하여 화학 사고의 발생 가능성이 크거나 화학사고가 발생할 경우에 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로서 화학사고 대비가 필요하다고 인정되는 사고대비물질 98종을 지정하여 관리하고 있다(ME, 2018). 특히, 해당 물질을 취급하는 사업장에서 사고 예방 및 대응을 위하여 비상대응계획을 수립하는 과정에서 해당 지자체에서는 사업장의 사고 신고체계, 응급의료계획, 사고 발생 시 사업장 내·외 대피경로 방법, 주민 대피장소 및 주민고지 방법 등 비상대응계획 및 소산계획 등을 사전에 검토하여 필요할 때 수정 요청할 수 있는 위해관리계획 제도가 운영되고 있다. 다만, 화학 사고에 대한 사회적 관심이 급증하고 있는 환경에서 실효성 있는 사고 예방대책, 비상대응계획 더 나아가 주민대피계획을 수립하기 위해서는 여러 관련 정책 또는 방법 중 발생한 화학 사고에 대해 신속하게 원인조사를 실시하여 정확하게 문제점을 확인하여 이를 바탕으로 동종사고 또는 유사 사고 예방을 위한 개선대책을 제시하는 것이 무엇보다 중요하다.

연구 방법

본 연구에서는 우리나라 화학물질관리 및 대응체계에 대해 조사하였으며 지방자치단체 차원의 화학사고 안전관리 법령 체계를 조사·분석하였다. 환경부(화학물질안전원)에서 공개한 최근 5년간 발생한 화학사고를 조사·분석하여 사고 다발 물질을 도출하였으며 사고 다발 물질 중 사고 현장 원인조사를 실시한 불산 및 질산 누출사고에 대한 동종 및 유사 사고 예방을

위하여 사고 발생 원인, 취급시설 안전관리 문제점 및 개선방안을 기술적 측면과 관리적 측면으로 구분하여 구체적으로 안전 관리 방안을 제시하였다.

화학사고 관리체계

국내 화학사고 대응체계

「재난 및 안전관리기본법」(이하 기본법)상 대통령령으로 정하는 대규모 재난 발생 시 대응·복구 등에 관한 사항을 총괄·조정하고 필요한 조치하기 위해 행정안전부에 중앙재난안전대책본부를 두고 본부장은 행정안전부 장관이 맡도록 하고 있다. 또한, 재난이나 그 밖의 각종 사고에 대하여 그 유형별로 예방·대비·대응 및 복구 등의 업무를 주관하여 수행하도록 대통령령으로 정하는 재난관리주관기관 즉, 중앙재난안전대책본부를 두도록 하고 있다. 재난 상황을 효율적으로 수습하기 위해 중앙사고수습본부를 설치 운영하며, 특히, 화학 사고의 경우 환경부가 그 역할을 담당한다(Fig. 1).

화학사고 발생 시 「유해화학물질 유출사고」 위기관리 표준매뉴얼에 따라 유해화학물질 유출사고를 방지하기 위한 예방·대비 활동을 수행한다. 환경부는 중앙사고수습본부 역할을 수행하고 유역(지방)환경청은 지역사고수습본부로서 관할지역 내 소관 분야 재난대비 예방활동, 현장수습조정관 파견, 사고대응 수습 조정·지원 업무를 수행한다(Lee et al., 2018).

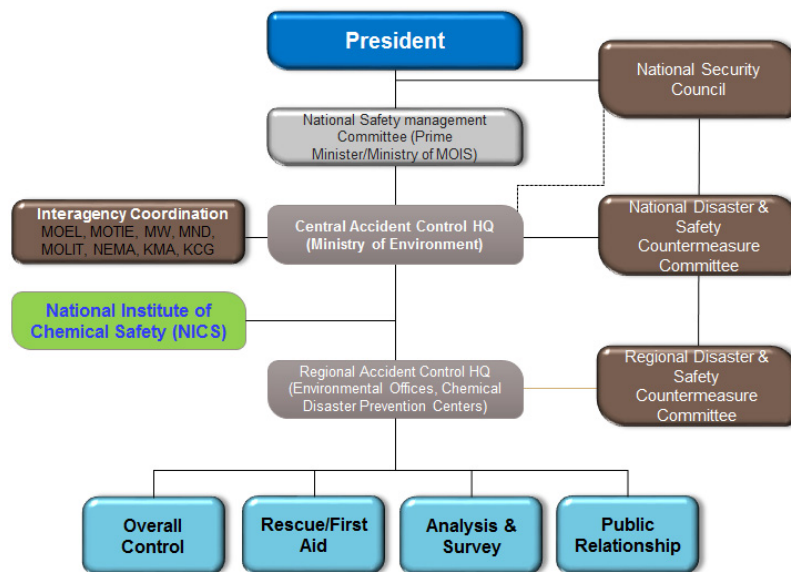


Fig. 1. Framework of chemical accident response system(Lee et al., 2018)

지방자치단체 화학사고 관리 동향

화학사고 발생으로 사고가 확산되어 주민대피가 필요한 경우 지방자치단체장은 지역주민에게 관련 정보를 제공하여 사고 피해를 예방토록 기본법에서 규정하고 있다. 즉, 시장·군수·구청장과 지역통제단장은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 피해를 방지하기 위하여 필요하면 해당 지역 주민이나 그 지역 안에 있는 사람에게 대피하거나 선박·자동차 등을 대피시킬 것을 명할 수 있다(기본법 §40 ①). 또한, 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우

에 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해 방지나 질서의 유지를 위하여 필요하면 위험구역을 설정하고 있다(기본법 §41 ①).

재난 발생 때 지방자치단체장이 지역주민을 안전하게 보호하기 위해서는 자체적인 대응체계, 안전관리를 바탕으로 중앙 정부와의 긴밀한 협력체계가 중요하다. 앞서 언급한 신속하고 정확한 대피 명령과 위험지역 설정은 더욱 그러하다. 화학 사고의 경우도 다르지 않다. 하지만 그동안 자연재해보다 화학 사고에 대한 지방자치단체의 대응체계는 다소 미흡한 실정이었 으며 2012년 이후 조금씩 변화가 발생하고 있다.

특히, 2015년 화관법 전부개정을 통하여 유해화학물질 재난에 대해 관리주체가 국가에서 국가 및 지자체로 변경되었다. 이는 지방자치단체의 책임 및 의무가 발생하였으며, 그에 따른 지방지자체별 화학물질관리에 있어서 관리와 대응을 보장할 필요가 있다(Oak et al., 2017).

이를 반영하듯 일부 지방자치단체를 시작으로 화학물질 안전관리 및 지역사회 알권리를 위한 조례를 제정하고 있다. 조례 의 주요 사항들은 화학물질 안전관리계획, 화학물질 현황조사 및 정보공개, 화학사고관리위원회 설치, 지역사회 정부·지자체·산업계·지역주민 참여 협의체 구성, 화학사고 주민 고지 등이 있다. 이를 통해 화학물질의 체계적인 관리와 지역 주민 건강 및 환경을 보호하고 지역주민의 알권리를 개선함과 동시에 중앙정부 중심의 화학사고 예방 및 대응체계에서 지방자치 단체 차원의 예방·대응체계가 마련되어 상호협력 및 민관 협력체계를 강화할 수 있는 계기가 마련되었다(Yonhapnews, Yoo et al., 2018)(Table 1).

Table 1. Local government’s ordinances for the chemicals safety management (ME, 2016, MOLEG)

Province	Enacted date	Province	Enacted date	City · County	Enacted date
Gyeonggi	2013.03	Chungbuk	2014.12	Gunsan	2015.11
Incheon	2015.05	Chunnam	2015.05	Yangsan	2015.12
Chunbuk	2015.10	Busan	2015.11	Suwon	2016.03
Gwangju	2016.02	gwangsan	2016.07	pyeongtaek	2016.09
yeongju	2016.10	yeosu	2016.09	Gangwon	2019. 5
Donghae	2019. 12	Guri	2018. 12	Gunpo	2019. 7
Gimpo	2018. 02.	Siheung	2019.09	Dongjucheon	2017.11
Seongnam	2017.08	Yangju	2018.12	Ansan	2018.04
Anyang	2018.12	Uiwang	2019.11	Yeoncheon	2018.01
Yongin	2019.11	Hanam	2019.04	Uijeongbu	2017.11
Paju	2017.09	Gimhae	2018.03	Changwon	2018.01
Gyeongnam	2017.12	Gumi	2017.9	Pohang	2017.07
Gyeongbuk	2020.04	Daejeon, Seogu	2019.12	Ulsan	2017.08
Daejeon	2019.06	Ulsan donggu	2018.12	Incheon seogu	2018.10
Ulsan namgu	2017.07	Incheondonggu	2019.003	Jeonnam	2016.07
Incheonnamdong	2019.03	Haenam	2017.12	Jeonbuk	2015.10
Naju	2017.03	Jeongju	2019.06	Asan	2018.03
Iksan	2017.12	Sesan	2018.03	Cheongju	2017.05
Cheonan	2018.03	Taeon	2018.03		

화학사고 분석

최근 5년간 유형별 화학사고 통계분석

화학사고를 예방하기 위하여 사고사례 분석을 통하여 사고 발생 유형 및 발생빈도를 파악함으로써 사고발생 빈도가 높거나 그 피해가 심각한 사고를 우선으로 그에 대한 예방책 및 사고발생시의 신속한 대응 방안을 마련할 필요성이 있다(Moon et al., 2016).

화학사고는 화관법 §2 ⑬에서 ‘시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 일체의 상황을 말한다’라고 정의하고 있다. 이를 근거로 환경부(화학물질안전원)에서 사고물질, 발생원인, 피해규모 등을 온라인에 공개하고 있다. 최근 5년간(’15~’19) 발생한 화학 사고를 분석해보면 ’15년은 4월, 7월, ’16년은 3월, 4월, ’17년은 5월, 7월, ’18년은 5월, 6월, ’19년은 8월, 9월로 주로 날씨가 풀리는 봄과 시설의 유지보수가 이뤄지는 여름인 3월에서 8월 사이에 집중되고 있는 추세를 보인다. 최근 5년간 추이를 분석해 볼 때 ’17년 11월을 포함지진을 계기로 발생한 사고를 제외하고는 매년 유사하게 겨울에서 봄으로 넘어오면서 지속적으로 사고가 발생하며 여름철을 지나 가을과 겨울에는 다소 감소하는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 또한, 환경부(화학물질안전원) 통계자료에 근거하여 사고물질을 분석해 보면, 2015년은 질산 7건, 암모니아 6건, 톨루엔 5건, 2016년은 염산 8건, 황산 7건, 질산 7건 그리고 2017년은 염산 13건, 암모니아 8건, 질산 8건 순으로 발생하였으며 2018년은 암모니아 15건, 질산 4건 순으로 분석되었고 2019년은 암모니아 8건, 염산 7건 순으로 분석되었다. 최근 5년 동안의 사고를 분석한 결과 염산, 암모니아, 질산, 황산이 주로 발생하고 있는 것으로 분석되었다(NICS).

또한 소방청 중앙119구조본부의 국내 화학사고 통계분석을 통해 국내에서 발생한 화학 사고의 대표적 원인물질은 염산(HCl), 질산(HNO₃), 황산(H₂SO₄), 불산(HF), 암모니아(NH₃) 등 산-염기류가 주를 이루고 있으며 이러한 화학사고가 발생하면 지역사회구성원들의 건강과 농작물, 가축 등의 재산피해를 초래할 수 있어 중대 산업 사고로 분류되고 있다(Choi et al., 2018).

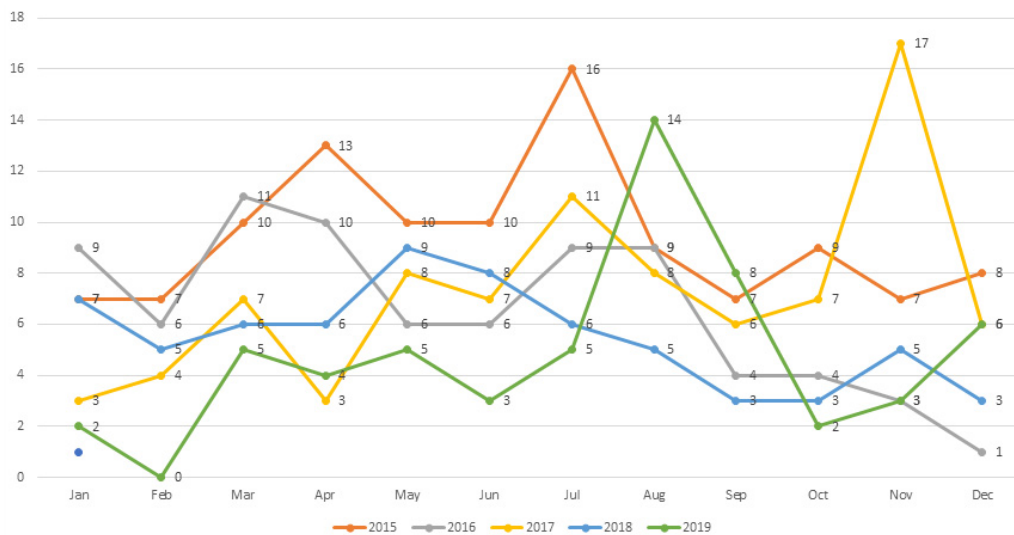


Fig. 2. Chemical accidents for 5 years(2015-2019)(NICS)

이처럼 상대적으로 액상 화학물질 사고가 높은 비율로 꾸준히 발생하고 있는 환경 속에서 해당 화학물질을 취급하는 시설의 설치 및 관리 기준, 사고피해를 경감하기 위한 완화시스템 또는 대응계획을 강화하기 위한 정부의 관리·감독 및 교육 그리고 관련 안전성 확보를 위한 연구가 필요한 실정이다.

화학사고 원인조사 사례

대부분의 화학사고는 화학물질을 저장, 취급, 이송하는 설비에서 발생하는 경우로 분류할 수 있다. 화학물질을 많이 취급할수록 공정과 설비가 복잡하고 적정한 공정안전관리가 이루어지지 않을 경우 위험은 배가되어 커지게 된다. 그리고 화재·폭발·누출과 같은 중대산업사고가 발생할 때에 한번의 사고만으로도 막대한 인적·물적 손실을 초래 할 뿐 아니라 환경을 오염시키거나 지역주민들에게 피해를 주는 경우가 많이 있다(Lee, 2013).

화학사고를 효과적으로 예방하고 대응하기 위해서는 발생한 화학 사고에 대한 정확한 원인조사를 통해 올바른 대책을 마련하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 통계분석 결과 사고 발생빈도 및 피해 위험성이 높은 화학사고 중 특히, 기술적·관리적 측면에서 동종·유사 화학사고 예방을 위하여 사업장에서 적용하기 손쉬운 사고를 바탕으로 발생원인 및 문제점을 분석하였다.

질산 누출사고

사고개요

2017년 8월 2일 16시 23분경 00시 00사업장에서 질산누출사고가 발생하였다. 제품생산을 위해 질산(98 wt %)을 저장, 계량 및 황산과 혼합하여 일정 비율의 혼합산을 제조 후 공급하고 다시 폐산을 반입하는 공정이다. 질산을 저장하는 상압 탱크 상단에 설치되어 있던 비상 배출구가 저장탱크 내부 압력상승으로 파열되면서 질산이 대기 중으로 누출되는 사고가 발생하였다(Fig. 3).

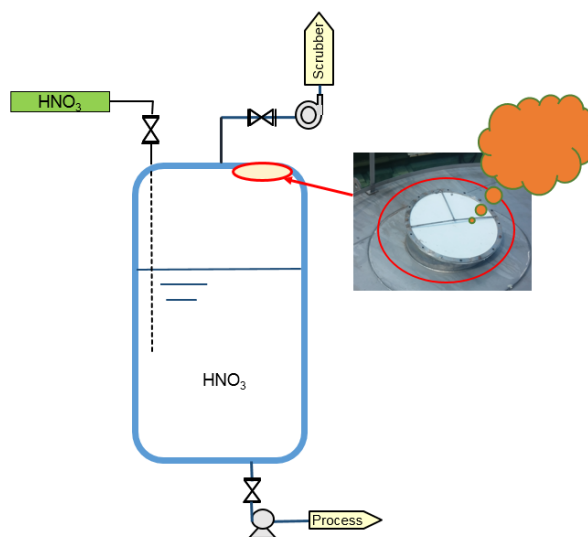


Fig. 3. Process flow digram of nitric acid accident tank

발생원인 및 문제점

현장 조사 결과 다음과 같은 취급시설 안전관리 체계가 파악되었다. 평상시 현장 근로자는 일일 2회 비접촉식 온도계를 활용하여 1.5m 이상 떨어진 거리에서 질산 저장탱크 외부 온도를 측정한다. 탱크 온도를 측정하여 일정온도(28℃) 이상이면 수동으로 탱크 상부에 설치된 살수설비를 가동하여 저장탱크 온도를 25℃~28℃로 유지관리하고 있었다. 사고 당일 해당 탱크는 여름철 높은 온도에 의해 30℃ 이상으로 저장탱크 내 온도와 압력이 상승하면서 저장탱크 상단부에 설치되어 있던 비상 배출구가 파열된 것으로 추정된다.

비상 배출구를 통해 누출된 질산은 대기 중에서 분해 반응하여 이산화질소가 생성된다. 이산화질소의 유해성·위험성 분류는 산화성가스(구분1), 급성독성(구분1)로 분류되어 있으며 이산화질소는 기체 상태에서 적갈색을 나타낸다 (Fig. 4)(Table 2).


Diamond	Hazard	Value
	Health	3
	Flammability	0
	Instability	0
	Special	OX

Fig. 4. Physical property nitrogen dioxide by NFPA diamond digram (NOAA)

Table 2. Physical properties of Nitrogen Dioxide(NOAA)

CAS No.	Chemical Formula	Boiling point(°F)	Vapor pressure	Concentration of interest
10102-44-0	NO ₂	70.0	720 mm Hg at 68 ° F	ERPG-2 (60 min.): 15 ppm AEGL-2 (60 min.): 12 ppm

취급물질 특성상 해당 지역의 8월 평균온도를 고려하여 여름철 밀폐공간에서의 온도 상승 및 이로 인한 탱크 내부 압력 상승이 중점 관리되어야 함에도 불구하고 저장탱크의 내부온도 및 압력을 실시간 관측할 수 있는 계측기기 없이 비접촉식 온도계만으로 저장탱크 외부 온도를 관리하고 있었다. 또한, 파열된 비상배출구(설정압력:0.85kg/cm², Φ680×1T)는 테프론 재질로 사업장에서 자체 제작·설치한 제품으로 조사되었다.

비상 배출구는 탱크 내부에서 발생하는 흡을 안전하게 처리하기보다는 과압에 따른 저장탱크를 보호하기 위한 목적이 더 크기 때문에 현재 설치되어 있는 스크러버(Scrubber)를 활용하여 이상기온에 따른 저장탱크 내부압력 상승에 의해 배출되는 품(fume)의 안전성을 확보할 필요가 있다.

현재 화관법에서는 유해화학물질 취급시설에는 이상 사태가 발생하는 것을 방지하고 이상 사태 발생 시 그 확대를 방지하기 위하여 비상차단장치 등 필요한 설비를 설치토록 규정하고 있으며 취급 설비에 이상이 발생한 경우에 작업자가 쉽게 인지하여 취급물질의 유·누출을 알 수 있도록 필요한 경보설비를 작업자와 가까운 장소에 설치토록 규정하고 있다.

불산 누출사고

사고개요

2016년 6월 4일 18시 00분경 00군 00사업장에서 불산 누출사고가 발생하였다. 2층의 55% 불산 IBC 탱크(1m³)에서 1층에 있는 출하용 탱크로리로 이송 작업 중 공정 중간에 있는 필터(Filter)에 설치된 파열판(Rupture Disk, RD)이 작동(①)되면서 후단의 연결 배관을 통해 인접한 실내 하역시설 내부에 설치되어 있던 집수조(Pit)로 유입되었지만 집수조 내에 설치되어 있던 수중펌프가 작동하지 않아 유입량이 증가하면서 하역시설 밖으로 누출된 사고였다(Fig. 5).

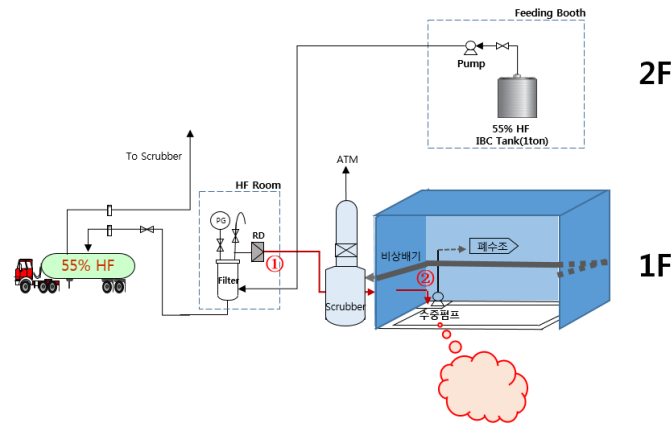


Fig. 5. Process flow digram of 55% HF handling process

발생원인 및 문제점

55% 불산 IBC 탱크가 위치한 2층 작업장에서 다이어프램 펌프를 활용하여 1층에 있는 필터를 거쳐 출하용 탱크로리로 이송되는 공정으로 필터 상단에 설치되어 있던 파열판(설정 압력 3.0kg/cm²)이 파열되면서 연결 배관을 통해 인접한 하역장 집수지(Pit)로 유입되고 집수조 설계용량을 넘어 하역시설 밖으로 누출되었다. 사고 당시 집수조 내부에 수중펌프(Submerged Pump)가 설치되어 집수조 내부 수위가 일정수준이상일 경우 사업장 내 폐수처리장으로 이송되어 처리되도록 설계되어 있었으나 사고 당시 해당 펌프는 작동하지 않은 것으로 조사되었다.

불산은 건강에 치명적인 영향을 미치며 증기압이 높기 때문에 대기 방출 시 바람을 타고 원거리까지 확산될 가능성이 큰 물질이기 때문에 저장·취급 과정에서 주의를 필요로 하는 화학물질 중 하나이다(Fig. 6)(Table 3).

Diamond	Hazard	Value
	Health	4
	Flammability	0
	Instability	1
	Special	

Fig. 6. Physical property hydrofluoric acid(aqueous) by NFPA diamond diagram (NOAA)

Table 3. Physical properties of HF(aqueous) (NOAA)

CAS No.	Chemical formula	Boiling point(°F)	Vapor pressure	Concentration of interest
7664-39-3	HF (aqueous)	152	783 mmHg	ERPG-2 (60 min.): 20 ppm AEGL-2 (60 min.): 24 ppm

그럼에도 불구하고 필터 상단에 설치된 파열판의 배출연결 부위가 대기방지시설로 안전하게 처리되지 못하였으며 수중 펌프 또한 해당 설비의 이상 작동 여부를 확인하지 않은 상태로 작업이 진행되었다.

화학물질 안전관리 개선방안

앞서 설명한 질산 및 불산 누출사고에 대하여 화학물질 누·유출 사고를 예방하고 향후 동종사고 또는 유사사고 예방 및 신속한 사고대응을 다음과 같은 기술적 측면과 관리적 측면의 안전관리 개선사항을 제시하였다.

기술적 개선방안

첫째, 유해화학물질 취급시설은 사고를 예방하기 위하여 법적 기준 이외에도 반드시 정기적인 점검을 실시하여야 한다. 특히, 공정 운전 중 설정압력 이상의 과도한 압력 부하에 따른 폭발을 방지하기 위하여 폭발 방지 성능과 규격을 갖춘 안전밸브 또는 파열판 등 압력방출장치를 올바르게 설치하고 작동 여부를 주기적 검사를 통해 점검하여야 한다. 독성물질을 취급하는 경우 안전밸브 또는 파열판에서 배출되는 물질은 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 허용농도 이상이 외부로 유출되지 않도록 안전하게 처리될 수 있도록 시설 개선이 필요하다.

둘째, 취급공정 중 온도와 압력에 민감한 설비에 대해서는 현장에서의 수동측정이 아닌 계측 제어장치를 추가 설치하여 통제 조정실에서 실시간으로 온도와 압력 또는 유량을 측정·제어할 수 있는 자동화 체계 관리가 필요하다. 추가로 알람을 연동하여 단계별 위험 상황을 조정실 또는 현장 근로자들이 손쉽게 인지할 수 있도록 취급시설 개선이 필요하다.

셋째, 앞에서 언급한 질산 누출사고 사례처럼 유해화학물질 취급 온도가 설계온도 및 압력 그리고 압력방출장치 설계조건과 크게 차이가 나지 않는 범위라면 취급하고 있는 유해화학물질 저장탱크의 온도 또는 압력조절 기능을 개선할 수 있는 열교환기 또는 순환펌프 등 냉각설비를 추가하여 탱크 내 온도계와 연동하여 일정온도 이상일 경우 자동으로 냉각시켜줄 수 있는 취급 설비의 개선이 필요하다.

마지막으로, 유해화학물질을 저장하고 일시적으로 사용하지 않는 시설이라고 하더라도 저장온도 및 압력 또는 누·유출을 확인할 수 있도록 자체 점검을 지속적으로 실시하여 설비의 이상 유무를 확인할 수 있도록 취급시설 안전관리에 신경을 써야 한다.

관리적 개선방안

첫째, 유해화학물질을 입·출하 및 소분 작업을 시행할 때 또는 취급시설에 대한 정비나 보수 작업을 할 경우에도 유해화학물질관리자의 입회하에 실시하도록 관련법에서 규정하고 있듯이 이를 반드시 준수하여 해당 작업이 진행되어야 한다.

둘째, 사고 예방 및 사고발생 시 피해를 최소화하기 위하여 사업장에서 사전에 구축해 놓은 비상 대응계획 및 주민 소산 계획을 직원 교육 및 훈련 시 반드시 활용·적용하고 필요할 때 수정·보완을 통해 사고 시나리오별 최적화할 수 있도록 주기적인

개선이 필요하다.

셋째, 주민대피에 대한 지자체 역할이 강조되고 있는 시점에서 해당 지역주민의 안전을 확보하기 위해서 화학물질 안전관리 조례 등을 바탕으로 지자체 환경 및 산업계 특성을 고려한 사고 예방 및 대응체계 그리고 안전관리 체계를 구성하고 이를 바탕으로 중앙부처와 긴밀한 협력체계가 요구된다.

마지막으로, 자연재해처럼 화학사고 또는 다른 주요 안전사고에 대해서도 관련 사항들을 주민들이 손쉽게 확인할 수 있도록 공시할 필요가 있다. 기본법 §33의3 ①에서는 지방자치단체장은 해당관할지역의 재난관리 사항들을 공시토록 하여 지역 주민이 손쉽게 관련 사항들을 확인할 수 있도록 운영하고 있는 것처럼 지자체 화학물질안전관리 조례에도 기본법에서 운영되고 있는 사항들이 반영되어 화학사고 안전관리 체계를 개선할 필요가 있다고 판단된다.

고찰

최근 5년간 발생한 화학사고 통계분석을 통해 확인할 수 있듯이 매년 3월부터 8월 사이에 화학 사고가 상대적으로 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 다뤄진 2건의 화학사고 또한 6월과 8월에 각각 발생한 사고이다.

2012년 구미 불산 누출사고를 계기로 우리나라 화학사고 예방을 위하여 화학물질 안전관리 체계가 전면 개정되었으나 화학물질 사고는 지속해서 발생하고 있다. 2015년부터 2018년까지 발생한 화학사고 발생 원인 중 작업자 부주의로 인한 사고는 취급시설 관리 미흡 다음으로 높게 나타났다(Kim et al., 2019). 사고원인 조사의 목적은 사고의 원인을 조사하여 추후 발생하는 사고에 대해 그 위험성을 규명하고 방지대책을 연구하고자 함이다. 하지만, 사고원인 조사 후 책임자 및 관련 업체의 처벌에만 초점이 초점이 맞추어지고 있고 또한, 사고 발생 후 초동 대응 기관은 사고 원인조사를 병행하여 실시한다. 하지만 이런 조사기관의 다른 목적은 자칫 사고 조사에 있어 명확한 사고원인 조사에 있어 방해될 수 있는 요인이 될 수 있다(Lee et al., 2015). 화학사고는 취급공정 특성에 따른 기술적인 문제도 있지만, 안전관리를 포함한 관리적 측면에 문제가 있었으며 이는 충분히 예방을 할 수도 있었던 사고인 것이다.

결론

본 연구에서는 최근 5년간 사고 발생빈도 및 피해 위험성이 높은 화학물질 중 질산과 불산 누출사고에 대한 현장 원인조사를 바탕으로 사고원인, 취급시설 설치 및 관리의 문제점을 분석하고 동종 또는 유사 사고 예방을 위한 개선방안을 기술적 측면과 관리적 측면으로 구분하여 제시하였다.

[기술적 측면]

첫째, 유해화학물질 취급시설은 주기적인 안전점검 실시가 대단히 중요

둘째, 저장탱크의 경우 실시간으로 온도와 압력을 측정·제어할 수 있는 자동화 시스템 구축이 중요

셋째, 온도관리가 중요한 저장탱크의 경우 열교환기 또는 순환펌프 등 냉각설비를 추가하여 일정온도 유지 관리가 필요

[관리적 측면]

첫째, 유해화학물질을 입·출하 및 소분 작업을 시행할 경우 반드시 유해화학물질관리자의 입회하에 작업이 진행될 수 있도록 안전수칙을 준수

둘째, 비상 대응계획 및 주민 소산 계획은 직원 교육 및 훈련에 반드시 포함

셋째, 지자체는 화학물질 안전관리 조례 등을 바탕으로 안전관리 체계를 구성하고 관련내용을 지역주민들이 손쉽게 확인할 수 있도록 공시할 필요

2015년 화관법 전면 개정을 계기로 화학물질 안전관리 체계가 강화되었음에도 화학 사고가 지속해서 발생하고 있는 상황 속에서 화학사고는 한번의 사고로 대형인명사고뿐만 아니라 환경 피해까지 국가차원의 재난으로 확대될 수 있는 특성이 존재한다. 이러한 잠재적 위험성이 있음에도 불구하고 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구를 계기로 화학 사고 발생 시 사고원인, 문제점 그에 따른 개선대책 등에 관한 다양한 원인조사 기법들과 실효성 있는 대책들에 대한 활발한 정밀 조사 연구가 진행되기를 기대한다.

References

- [1] An, J.S., Lee, H.A., Lee, J.S., Yoon, H.O. (2015), "Fluorine distribution in soil in the vicinity of an accidental spillage of hydrofluoric acid in Korea." *Chemosphere*, Vol. 119, pp. 577-582.
- [2] Choi, C.H., Lee, D.W., Kim, S.Y. (2018). "A review of statistics & analysis on the chemical accidents in Korea 2017: Focus on the NFA, National 119 Rescue Headquarters." *Korean Journal of Hazardous Materials*, Vol. 6, No. 1, pp. 37-46.
- [3] Kim, S., Kwak, D., Jeong, S., Kim, H., Mun, D., Oh, J. (2019), "A study on contribution to reducing chemical accidents of reporting for awarding a contract of hazardous chemicals." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 3, pp. 409-417.
- [4] Lee, C.H. (2013). "Problem and prevention measure for chemical accidents." *Korea Labor Institute*, Vol. 7, pp. 18-25.
- [5] Lee, E.B., Yoo, B.T. (2018). "A study on the rationalization of criteria for facilities handling toxic chemicals in consideration of the threshold quantity." *Crisisonomy*, Vol. 14, No. 9, pp. 111-120.
- [6] Lee, J.S., Cho, D.M. (2015). "A study on the improvement of chemical accident response system in view of the national disaster management system." *Journal of Fire Science and Engineering*, Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 5, pp. 73-78.
- [7] Lee, T.H., Yun, J.H., Heo, H.H., Lee, Y.B., Yoo, B.T. (2018). "Improvement of information sharing system for efficient response of chemical accident." *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 33, No. 1, pp. 54-61.
- [8] Ministry of Environment (ME) (2018). Environmental White Report.
- [9] Ministry of Environment (ME) (2016). Pilot Project for Establishing Local Emergency Response System For Chemical Accidents.
- [10] Ministry of Government Legislation (MOLEG) Retrieved from www.law.go.kr
- [11] Moon, J.Y., Chon, Y.W., Kim, H.J., Hwang, Y.W. (2016). "A study on improvement plan through analysis of chemical accidents in Korea." *Korean Journal of Hazardous Materials*, Vol. 4, No. 2, pp. 30-35.
- [12] National Institute of Chemical Safety (NICS) Retrieved from csc.me.go.kr (Chemistry Safety Clearing-house)
- [13] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Retrieved from cameochemicals.noaa.gov
- [14] Oak, Y.S., Lee, Y.S. (2017). "A study on improvement of legal system for harmful chemical substance response management system." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 216-223.
- [15] Yonhapnews Retrieved from www.yonhapnews.co.kr

- [16] Yoo, B.T., Moon M.H. (2018). “Development of emergency response plan for chemical accident using ALOHA program: Focusing on evacuation plan.” Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 18, No. 3, pp. 311-319.
- [17] YTN Retrieved from www.ytn.co.kr