

[Research Paper]

방유벽 내 위험·유해화학물질 대기 확산 방지를 위한 안전시스템 연구

이덕재 · 송창근^{*†}

강원지방경찰청 공업연구사, *인천대학교 안전공학과 부교수

A Study on a Safety System for Preventing Atmospheric Diffusion of Hazardous and Noxious Chemicals in Dike

Deok-Jae Lee · Chang-Geun Song^{*†}

Researcher, Gangwon Provincial Police Agency,

*Associate Professor, Dept. of Safety Engineering, Incheon National University

(Received April 24, 2019; Revised June 22, 2019; Accepted June 26, 2019)

요 약

한국 경제의 초석인 화학산업의 성장 이면에는 매년 수십여 건의 위험·유해화학물질 화학사고로 막대한 인명 및 환경피해가 발생하고 있다. 화학사고 주요 원인으로 염산, 불산 등과 같은 위험·유해화학물질 취급시설에서 작업자의 부주의, 취급시설의 노후화 등으로 방유벽 내 유·누출 후 대기 확산에 의한 인명 및 환경피해가 발생된 사례를 쉽게 접할 수 있다. 이와 같은 화학사고를 예방하기 위해서 방유벽 내 유입된 위험·유해화학물질의 대기 확산 방지를 위한 방재시스템의 필요성이 제기되어 동일 주제에 대해서 연구하였다. 대기 확산 방지를 위한 방재시스템은 유·누출 감지단계, 경보·측정단계, 억제·차단단계 등 총 4단계로 구성된다. 본 연구에서 제안한 위험·유해화학물질방재시스템을 통해서 대기 확산과 같은 2차 화학사고 예방 체계의 필요성을 제기할 수 있다.

ABSTRACT

Behind the growth of the chemical industry which is a cornerstone of the Korean economy, dozens of hazardous and noxious chemical accidents occur every year, resulting in enormous casualties and environmental damages. Many cases among chemical accidents are caused by the carelessness of workers in handling facilities such as hydrochloric acid and hydrofluoric acid, and the aging of handling facilities. In order to mitigate the damage by such chemical accidents, a safety system for preventing atmospheric diffusion of hazardous and noxious chemicals in dike was proposed. The atmospheric diffusion prevention safety system consists of leak detection phase, alarm and measurement phase, suppression and blocking phase. Through the proposed the atmospheric diffusion prevention safety system, the need for 2nd chemical accident prevention such as atmospheric diffusion in dike can be posed.

Keywords : Preventing atmospheric diffusion, Dike, Hazardous and noxious chemicals

1. 서 론

2015년 9월 2일 경북 영천시에 소재한 실리콘 제조업체의 실외 저장탱크 하부 플랜지 균열로 혼산(질산 60%, 불산 5%, 물 35%) 약 4 t이 방유벽 내로 유·누출된 사고가 발생하였다⁽¹⁾. 방유벽 내로 유·누출된 혼산에서 발생한 유독 가스가 대기로 확산되어 인근에 거주하고 있던 마을주민 54명이 입원 및 병원진료를 받았으며 주변 식생에 대한 환경영향조사가 시행되었다. 상술한 사례로 제기될 수 있는

문제점은 위험·유해화학물질이 방유벽 내로 유·누출이 되었을 경우 대기확산 방지를 위한 안전시스템이 구비되어 있지 않아 인명 및 환경피해가 발생할 가능성이 있다는 것이다. 따라서 위험·유해화학물질 방유벽 내 유·누출 시 대기 확산 방지를 위한 대책이 요구된다.

국내에서는 방유벽⁽²⁾을 ‘액체 상태의 위험·유해화학물질이 저장탱크로부터 유·누출되어 외부로 확산되지 않고 폐수처리장, 외부 처리시설로 회수 처리할 수 있도록 억류하는 시설’로 정의하며 방유제 혹은 방유벽이라고도 표현하

[†] Corresponding Author, E-Mail: baybreeze119@inu.ac.kr. TEL: +82-32-835-8291, FAX: +82-32-835-0779

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

고 있다. 하지만 앞서 언급한 방유벽의 정의를 살펴보면 위험·유해화학물질이 사업장 외부로 유·누출을 차단하여 사업장 내 폐수처리장에 이송 또는 지정폐기물 처리업체 등 외부 처리시설에서 처리를 목적으로 하고 있어 방유벽 내에서 발생하는 대기 확산에 대한 근본적인 차단·억제가 언급되어 있지 않다.

방유벽과 관련한 국내 법령은 화학물질관리법, 산업안전보건법, 위험물안전관리법 등에 명시되어 있으나 각 법령에서 규정하고 있는 설치 및 관리 기준이 각각 상이하여 위험·유해화학물질을 취급하는 사업장에서는 적용상에 어려움이 제기된다. 위험·유해화학물질에 관한 연구, 안전기술개발 경향은 유·누출 확산 모델링 연구 등과 같이 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 연구성과가 실험체를 이용하여 실험결과를 도출하는 연구분야 보다 활발하게 진행되고 있다. 이와 같은 흐름은 실험체를 이용한 실험연구는 비용과 시간이 시뮬레이션 연구 보다 많이 소요되기 때문이다. 또한 방유벽 내 위험·유해화학물질 유·누출 시 대기 확산 방지에 대한 국내·외 연구 성과, 실용기술 발명, 특허 출원 등이 미미하고 이와 관련된 방재·안전분야의 연구자들의 관심도가 적은 편이다.

지난 2018년 4월 13일에 인천광역시 서구의 한 폐유 정제 및 공업용 유기 용매제 생산 공장에서 원인 미상의 화재가 발생하여 부상 1명과 약 23억 원의 막대한 재산피해가 발생되었다⁽¹⁾. 위의 사례에서 확인할 수 있듯이 위험·유해화학물질을 취급하는 사업장에서 화재, 폭발 등에 의한 위험·유해화학물질 유·누출 등으로 화학사고가 발생될 경우 대규모의 인명 및 재산피해 발생 가능성이 높아 국민, 언론 등은 위험·유해화학물질 취급 사업장에 대한 관심 상승과 언제 또다시 발생할지 모르는 사고 재발 여부에 대한 불안감이 날로 증폭되고 있다. 따라서 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유·누출되어 대기 확산에 의한 인명·환경피해 최소화 또는 방지를 위한 안전시스템 개발 등 종합적인 접근과 다각적인 연구 등이 필요할 것으로 판단되며 이를 통해 기존 보다 개선된 화학사고 예방체계를 구축할 수 있다.

위험·유해화학물질 유·누출과 관련하여 2가지 분야에 대한 연구 성과가 상당수 도출되었다. 첫째, 위험·유해화학물질 누출될 경우 방재기술과 관련한 국내·외 기존 연구로 Kwak 등⁽³⁾은 기체상 유해화학물질 제거를 위해 이동형 와류식 세정장치 개발 및 가스 제거효율 분석에 대해서 연구하였다. Shin 등⁽⁴⁾은 기존 위험·유해화학물질 방유벽 설치 기준의 개선안을 제시하기 위해서 방유벽에 체류하는 위험·유해화학물질의 휘발 및 확산 최소화를 위한 방유벽 설치규격 개선안을 실험결과로 제안하였다. Yen 등⁽⁵⁾은 특정 범위의 자외선과 적외선을 방출하는 통합 LED 감지기를 활용하여 위험·유해화학물질 등 탐지 가능성에 대해서 실험하였다. Chen 등⁽⁶⁾은 암모니아 유·누출 시 아세트산 등 유기산에 물이 섞인 제독제와 순수한 물의 방재 능력을 비교하는 실험을 통해 유기산이 첨부된 제독제가 페인트로

도포된 시설의 부식 가능성을 확인하였다. 둘째, 위험·유해화학물질이 유·누출될 경우를 가정한 모델링 평가연구로는 Park 등⁽⁷⁾은 위험·유해화학물질이 유·누출될 경우 탐지 및 대응에 활용하기 위해서 상용 시뮬레이션 프로그램인 CONSOL Ver 5.0(유·누출 시나리오 기반 CF 시뮬레이션)을 사용하여 실제 화학사고에 기초한 시나리오 해석으로 최적의 이동식 감지기 배치에 대해서 연구하였다. Keane 등⁽⁸⁾은 압력 용기의 파손, 손상 등에 의한 위험·유해화학물질 유·누출을 가정하여 화학반응 실험 없이도 열역학 계산과 시뮬레이션으로 예측되는 화학반응 예측 및 적용 가능성에 대해서 연구하였다. 국내·외 선행 연구의 주된 연구 방향은 위험·유해화학물질이 유·누출될 경우를 가정한 모델링 평가연구, 특정 파장을 이용한 위험·유해화학물질 유·누출 탐지 감지기의 적용 가능성 연구 등과 일부 위험·유해화학물질 유·누출 방재 능력 비교를 위한 방재약품의 실험연구가 있었지만 주요 연구 방향은 화학사고 시나리오를 바탕으로 한 모델링 연구에 편중된 경향을 보였다. 반면에 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유·누출되었을 경우 대기 확산 방지에 대한 안전시스템 연구와 같은 실질적인 방재기술 개발 또는 제안을 위한 기존 기술의 개선방향 연구, 신기술 개발 연구 등과 같은 실용 분야에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 국내·외 위험·유해화학물질 관련 방유벽의 설치규정과 기준에 제안된 관련 유·누출 관련 방재기술, 특허 등 비교하여 본 연구에서 제안하고자 하는 방재시스템 도안에 대한 아이디어로 활용하였다. 또한 방유벽 관련 화학사고 사례를 통해서 사고원인 파악과 대책도 도출하였다. 이와 같은 과정을 통해서 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유입 되었을 경우 대기 확산 방지하기 위한 방재시스템 도입의 필요성 제기과방재기술 개발을 목적으로 연구하였다.

2. 방유벽 화학사고 및 현행 방재기술 고찰

2.1 방유벽 관련 화학사고 사례연구

국내 화학사고는 2012년 경북 구미 불산 유·누출사고를 계기로 국내에서 유통되는 위험·유해화학물질의 체계적인 관리와 비상대응기관의 필요성이 제기되어 2014년 1월에 환경부 화학물질안전원이 개원되었다. 화학물질안전원의 개원 이후 국내 화학사고에 대한 통계가 기틀이 마련되었으며 본 연구는 2014년 이후의 화학사고 사례를 중심으로 조사하였다.

2014년부터 2018년 6월까지 국내에서 발생한 화학사고 중 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유입되어 대기로 확산된 화학사고를 Table 1에 발생지점, 발생날짜, 사고물질, 인명피해, 대기 확산 여부, 사업장 외부 확산 여부, 방유벽 내 안전시스템 구축 여부 순으로 정리하였다. 방유벽 내 안전시스템은 방유벽 내 유입된 위험·유해화학물질이 대기 확산 방지를 위한 가스감지센서, 자동경보장치, 확산방지

Table 1. Chemical Accident Diffusing from the Dike to the Atmosphere (2014~2018. 6)

Classification	Date	Substance (CAS No.)	Casualty (Unit : People)	Atmospheric Diffusion	Diffusion Outside the Business Establishment	Installation of Safety System in Dike
Goryeong County	14.11.18	TCE (79-01-6)	Injury 1	○	X	△ (Indoor Ventilation System)
Yeongcheon City	15.09.02	Nitric Acid* (7697-37-2), Hydrogen Fluoride* (7664-39-3)	Hospital Care 54	○	○	X
Wanju County	16.05.12	Sulfuric Acid* (7664-93-9)	-	○	X	X
Gumi City	16.06.28	Waste Acid	Hospital Care 3	○	X	X
Incheon City	17.11.26	Waste Acid	-	○	X	X
Chilgok County	18.06.08	Waste Acid	-	○	○	X

* Accident Preparedness Substances

장치 등 방재시스템의 구축 여부를 확인하였다. 화학사고 통계 자료는 환경부 화학물질안전원의 화학안전정보공유시스템(1)을 활용하였으며 주요 화학사고 사례의 경우에는 사고 개요와 원인에 따라 도출된 대책을 통해서 본 연구에서 제기하고자 하는 대기 확산 방지를 위한 안전시스템 도입·개발 등 제안에 참고하였다. 주요 화학사고 원인 위험·유해화학물질은 질산, 황산, 불산(불화수소), Trichloroethylene (TCE) 등 방유벽 내 유입되었을 경우 이상반응으로 대기 확산될 가능성이 높은 물질이며 특히 폐산에 의한 화학사고의 경우 각종 폐산 계열을 수집·보관하는 과정에서 이상반응에 의해 대기 확산되는 빈도가 높았다. Table 1의 화학사고 사례에서 확인할 수 있듯이 일부 화학사고의 경우에는 사업장 외부로 까지 확산되어 인명피해와 추가적인 환경영향조사 시행과 긴급 주민대피가 이루어져 위험·유해화학물질의 위험성을 확인할 수 있다. 앞의 화학사고 사례에서 확인된 가장 큰 문제점은 방유벽 내 유입된 위험·유해화학물질의 대기 확산을 방지하기 위한 스크러버와 같은 집진장치 등과 같은 최소한의 안전설비가 사고 현장 주변에 구축되어 있지 않아 피해가 확대된 결과를 낳았다. 또한 위에 제시된 화학사고의 대응과정을 고찰하면 사고 당시에 자동화 경보시스템에 의한 경보·전파가 되지 않았고 해당 사업장 근로자의 현장 순찰 간 육안, 냄새 등으로 식별되어 화학사고 초기대응과 방재에 필요한 골든타임 내에 이루어지지 못한 공통점으로 확인할 수 있다.

2.1.1 혼산(질산 + 불산) 유·누출사고

- 사고일시 : 2015년 9월 2일 10:00경
- 사고개요 : 약 5 t의 혼산(질산 60%, 불산 5%, 물 35%) 이 저장되어 있는 실외 저장탱크(10 t 규모)의 하부 플랜지 균열로 혼산 약 4 t이 실외 방유벽 내 유입되어 사업장 내·외로 흠(Fume)이 확산된 사고
- 인명피해 : 인근 주민 등 54명 병원진료
- 사고원인
 - 실외 방유벽 유입된 혼산이 대기 확산될 가능성을 대비한 감지센서, 차단 장치 등 방재시스템이 구축되어 있지 않아 사고 발생
 - 실외 저장 탱크 플랜지의 제작 결함 또는 외부 압력 등에 의한 파손 발생
 - 파손된 설비에 대한 주기적인 점검과 교체 미흡
- 대책
 - 방유벽 내 위험·유해화학물질 유입에 대비하여 화학물질이 취급되는 저장탱크, 밸브, 플랜지 등의 주기적인 정비·보수 작업 필요
 - 방유벽 내·외부에 자동화된 경보 시스템과 대기 확산 방지 등을 위한 안전시스템 구축 필요

2.1.2 폐산(질산 + 불산 + 염산) 유·누출사고

- 사고일시 : 2016년 6월 27일 02:38경
- 사고개요 : 사업장 실내에 설치되어 있는 폐산저장탱크 (20 m³)에서 원인 미상의 이상반응으로 인해 저장 탱크 상부로 Overflow되어 폐산(질산 10%, 불산 6%, 염산

0.2% 이하의 혼합액) 일부가 실내 방유벽 내 유입(약 1 t) 되어 흡이 발생한 사고

- 인명피해 : 근로자 3명 병원진료 및 입원
- 사고원인
 - 실내 방유벽에 폐산에 유입될 경우를 대비한 스크리버 등과 같은 자동화 방재시스템이 구축되어야 하지만 실내 환기시스템 외에 방재시스템이 구축이 미흡하여 사고 확산의 원인으로 작용
 - 폐산을 보관 중인 옥내 저장탱크에서 사고 대비한 안전시스템(자동 경보시설, 사업장 내 하수처리장과 연결된 집수조 등)에 대한 미흡
 - 폐산을 저장 중인 옥내 저장탱크에 주기적인 점검을 위한 안전관리자(2명) 미선임으로 인한 시설 관리 미흡
- 대책
 - 유·누출 시 자동 경보시스템과 확산 방지를 위한 안전시스템 구축 필요
 - 위험·유해화학물질 취급시설에 대한 체계화된 점검 시스템 구축 필요

2.2 현행 방유벽 관련 설치규정 및 방재기술

국내 화학사고에서 공통으로 제기된 문제점은 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유입될 경우 자동경보장치와 방유

벽에서 발생한 흡의 대기 확산을 방지하는 안전시스템이 구축되어 있지 않아 인명 및 환경피해 발생 가능성이 높다는 것이다. 따라서 화학사고 예방 차원에서 안전시스템 구축의 필요성과 중요성을 확인하였다.

위험·유해화학물질의 방유벽에 관한 국내·외 설치규정을 살펴보았다. 이를 통해 방유벽 설치규정 상에 위험·유해화학물질 유·누출 대비 방재시스템 적용 여부, 감지 감지기 등 관련 기술 현황 적용 여부, 방유벽 설치 재질에 따른 유·누출 가능성 등에 대해서 검토하였다.

Table 2는 국내·외 방유벽 설치기준에 따라 법령명, 재질, 최대 허용 용량,높이, 주변에 안전시스템 의무 설치 규정 여부 순으로 정리하였다. 방유벽과 관련된 국내 법령으로는 화학물질관리법⁽⁹⁾, 산업안전보건법^(4,10), 위험물안전관리법^(4,11), 고압가스안전관리법^(4,12,13) 등이 있다. 방유벽에 사용되는 재질은 주로 강화 콘크리트 또는 진흙 벽으로 규정된다. 방유벽의 허용 용량은 최대 저장탱크 용량의 110%까지이며 높이는 0.5 m~3.0 m의 규정이 일반적이다. 하지만 방유벽이 설치된 시설 주변에 위험·유해화학물질의 흡 발생을 대비한 안전시스템 의무 설치 규정을 살펴보면 화학물질관리법(경보 설비), 위험물안전관리법(소화 설비) 등에서 일부 언급하고 있으나 설치규정상에 구체화되거나 명확하게 제시되어 있지 않다. 하지만 고압가스와 관련한 기술 기준⁽¹³⁾에서는 방유벽 내부에 설치할 수 있는 피해저감설

Table 2. Comparison of Installation Standards for Dike at Domestic and Foreign

Acts		Material	Dike Capacity	Height	Regulations for Mandatory Installation of Safety System
Korea	Chemicals Control Act ⁽⁹⁾	Reinforced Concrete or Mud Wall	110% of Maximum Volume Tank	0.5 m or more	△ (Lighting Equipment, Etc.)
	Occupational Health and Safety Act ^(4,10)	Reinforced Concrete or Mud Wall	Over Maximum Volume Tank	0.5 m~3.0 m	-
	Safety Control of Dangerous Substances Act ^(4,11)	Reinforced Concrete or Mud Wall	Over 110% of Maximum Volume Tank	0.5 m~3.0 m	△ (Fire Extinguishing Equipment Etc.)
	High-Pressure Gas Safety Control Act ^(4,12,13)	Reinforced Concrete or Mud Wall	Over Maximum Volume Tank	As Low as the Least Interference in Safety Activities	○ (Inactive Gas Storage Tank, Leak Detection Warning System Etc.)
Germany	Vaws ^(4,14)	The Level at Which the Leaked Substance Penetrates to Less than 2/3 within 72 Hours	110% of Maximum Volume Tank	-	△ (Detector)
England	Control of Major Accident Hazards ^(15,16)	Corrosion Proof	-	-	-

Table 3. Domestic Patent Technology Related to Safety System

Category	Content	Source	Object
Detection	Level Monitoring System using Laser Light	H ₂ O	Water Level Measurement in Water Storage Tank
	Gas Detection Sensor	HNS Gas	Gas Sensor Platform for Detecting Hazardous Chemicals in Air
	Oil Level Measurement	Oil	Oil Level Measurement in Automobile Oil Pan
Remove Pollutants	Removal of Gaseous and Aerosol Pollutants	SO _x , NO _x , HCl Etc.	Scrubber System for Residual Gas Removal
Leak Inhibition	Methods and Systems for Inhibiting Chemical Leakage	H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , HCl Etc.	Use of Film etc. to Prevent Leakage of Hazardous Chemicals

비로 불활성가스 저장탱크, 물분무장치 또는 살수장치, 가스누출검지경보설비, 해체설비(누출된 가스 흡입) 등을 설치할 수 있도록 기술기준이 제시되고 있다. 국외 법령의 경우 독일의 수질위해물질 취급시설 관련법^(4,14)과 영국 보건 안전청의 관련 규정^(15,16)을 검토하였다. 독일의 경우 방유벽의 재질을 구체적으로 명시하지 않고 위험·유해화학물질을 보관할 수 있는 최소 시간과 최대 허용 용량만을 규정하고 그 외에 항목은 구체적으로 제시하고 있지 않다. 안전시스템 명시 여부도 감지설비 외에는 구체적인 사항을 규정하고 있지 않다. 영국의 경우는 독일의 경우 보다 더 설치규정에 대해서 관대하게 언급하고 있으며 단지 방유벽의 재질만을 규정하고 있다.

국내·외 방유벽과 관련한 법령을 살펴보면 위험·유해화학물질 흡의 대기 확산 방지에 대한 안전시스템에 대한 구체적인 사항이 언급되지 않지만 고압가스 기술기준의 경우에는 방유벽 내 설치 가능한 피해저감설비 목록을 제시하고 있다. 따라서 보다 효율적인 방재를 위해서는 상위 법령에서도 방유벽 내 설치되어야 할 피해저감설비에 대해서 제시가 필요할 것으로 판단된다.

Table 3에 위험·유해화학물질 유·누출 차단 및 방재 관련 국내 특허 기술⁽¹⁷⁾을 정리하였다. 국내 특허 출원된 기술은 크게 감지기술, 오염원 제거기술, 유·누출 억제기술로 분류할 수 있다. 감지기술은 레이저 광을 이용한 물 저장탱크 내의 수위 측정, 가스 상 위험·유해화학물질을 탐지하기 위한 센서, 석유류의 액위를 측정하기 위한 기술이 조사되었다. 오염원 제거기술은 황산화물, 질소산화물, 염화수소 등 가스상 물질을 스크러버 시스템을 이용하여 제거하는 기술이 제시되었다. 유·누출 억제 기술로는 황산, 질산, 염산 등이 유·누출되었을 때 산 및 알칼리 계열에 녹지 않는 필름 등을 도포하여 유·누출을 억제하는 방법이 제안되었다. 위의 사례에서 볼 수 있듯이 국내에서 출원된 특허기술이 매우 적으며 체계화된 안전시스템으로 구성되어 있지 않고 단위 공정별로 적용 가능한 설비 위주로 구축되어 있어 방유벽 내 위험·유해화학물질 유·누출을 대비한 체계화된 유·누출 감지, 대응, 복구를 고려한 안전시스템의 제안이 요구된다.

3. 위험·유해화학물질 대기 확산 방지시스템

염산, 황산, 불산 등 위험·유해화학물질을 취급하는 화학공장, 제철공장 등 많은 산업 시설에서 는 유·누출을 대비하여 방유벽을 설치, 운영하고 있다. 하지만 국내 위험·유해화학물질 취급시설 설치 및 관리 규정상에는 방유벽 내·외에 집진장치 등과 같은 안전설비 의무 설치 규정이 명확하지 않다. 또한 국내·외 연구문헌, 특허 등 성과에서도 방유벽에서 대기 확산을 방지하기 위한 안전시스템 개발 또는 제안에 대한 성과는 미미하였다.

이에 본 연구에서는 위험·유해화학물질 대기확산 방지시스템 기술을 제안하였으며 제시한 내용은 위험·유해화학물질을 취급·저장시설에서 방유벽 내로 유입된 위험·유해화학물질의 대기 확산을 차단 및 억제하는 안전시스템이다. 제안하는 대기 확산 방지를 위한 안전시스템의 주요 구성은 방유벽 내 유입된 위험·유해화학물질에 대한 액위 자동화 측정 장치, 유·누출 발생 시 사업장의 중앙통제실, 시설관계자, 소방, 환경부 등 관계기관에게 즉시 보고·전파되는 자동화 경보장치, 대기 확산된 유독가스 농도 측정장치, 방유벽에서 추가적인 대기 확산을 방지하기 위한 안전장치 등으로 도안, 구상하였다..

3.1 대기 확산 방지시스템의 구성

Figure 1은 위험·유해화학물질의 대기 확산 방지 시스템의 조감도이다. 방유벽 내 위험·유해화학물질 유입 시 대기 확산 방지장치(10)는 위험·유해화학물질을 취급하는 저장탱크(1)에서 방유벽(2) 내로 유입 위험·유해화학물질의 대기 확산을 차단하도록 이루어지며 유·누출 감지장치(100) 및 자동분사장치(200) 등으로 이루어졌다. 유·누출감지장치(100)는 위험·유해화학물질의 유·누출량을 감지하며 거치대(110), 레이저 액위 측정기(120), 감지제어부(130), 경보기(140), 하우징(150) 및 가스측정기(160)로 구성된다.

주요 구성부에 대해서 설명하면 레이저 액위 측정기(120)는 위험·유해화학물질의 액위를 측정하기 위하여 방유벽 내부 하단으로 레이저를 조사한 후 반사된 레이저를

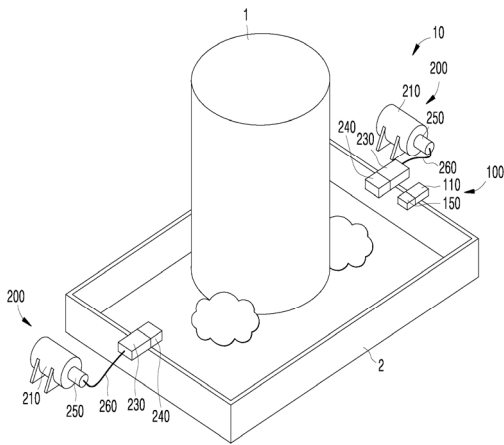


Figure 1. Diagram for preventing atmospheric diffusion of hazardous and noxious chemicals in dike.

감지하여 액위를 측정한다. 감지제어부(130)는 레이저 액위 측정기(120), 가스측정기(160) 및 경보기(140), 분사제어부(220)와 유선 및 무선 데이터 전송시스템(Wireless fidelity), 블루투스(Bluetooth) 기술을 이용하여 제어한다. 가스측정기(160)는 대기 확산된 유독가스의 농도를 측정하기 위해 통로(151)의 중간에 가스측정센서가 설치되어 대기 중의 환경 오염도를 측정한다. 저온저장탱크(210)는 반응성이 없는 저온 기체를 액상으로 압력용기(Pressure vessel)에 약 1 ton 이상의 액상 저온 기체를 저장하며 유·누출 시 저온 기체를 배출하여 유·누출된 위험·유해화학물질의 표면을 동결하여 대기 확산을 방지한다. 배출되는 액상 저온 기체는 염산, 황산 등과 접촉하여도 화학반응에 의한 2차 위험·유해화학물질이 생성하지 않는 물질로 구성된다.

따라서 본 연구에서 제안하는 대기 확산 방지시스템을 통해서 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유입될 경우 대기 확산을 차단하여 흡에 의한 2차 인명·환경피해 최소화가 가능하다. 또한 유·누출된 위험·유해화학물질에 따른 효율적인 최종 방재 방법을 찾을 수 있는 시간과 방재 인력·장비를 절적하게 투입할 수 있는 시간을 벌 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 대기 확산 방지시스템의 운영체계

대기 확산 방지시스템은 방유벽 내 레이저 액위 측정기, 유·누출 감지센서 등을 이용한 유·누출 감지단계, 소리와 빛을 이용한 경보와 발생된 위험·유해화학물질 흡의 농도 측정단계, 저온의 불활성 또는 반응성이 없는 기체를 이용하여 위험·유해화학물질의 표면 동결을 통한 억제·차단단계로 구성된다.

유·누출 감지단계는 방유벽 내에 설치된 레이저 액위 측정기(120)가 방유벽 내 위험·유해화학물질의 액위를 측정하여 액위가 위험을 경보하는 기준 액위값 초과 여부를 감지·탐지한다. 위험·유해화학물질 유·누출 시 확산되는 기체

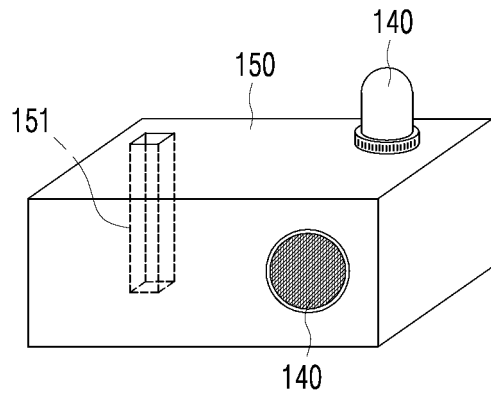


Figure 2. Configuration of the leak detector.

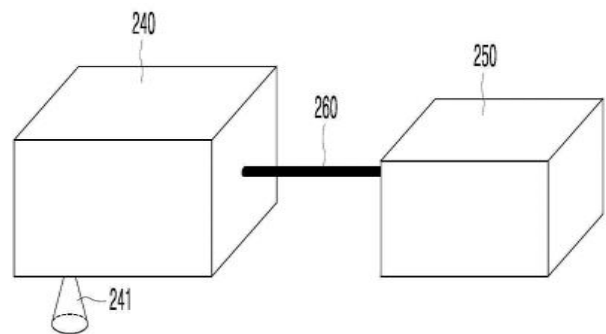


Figure 3. Configuration of the automatic injector.

흡은 하우징(150)에 세로방향으로 형성된 통로(151)를 아래에서 위로 통과하게 되며, 가스측정기(160)는 통로(151)를 지나는 기체 흡의 농도를 측정하게 된다.

경보·측정단계는 감지제어부의 제어에 의해 경보기(140)가 소리와 빛을 발신하여 주변 근로자에게 경보하고 감지제어부(130)의 제어에 의해 가스측정기가 발생된 유독가스의 환경오염 농도를 측정하는 단계이다. Figure 2는 대기 확산 방지시스템의 유·누출 감지장치의 구성도이다.

억제·차단단계는 측정된 환경오염 농도 값이 Acute exposure guideline levels (AEGL, 급성 노출 기준 기준 값)⁽¹⁸⁾을 초과할 경우 감지제어부(130)가 자동분사장치의 분사제어부(220)로 신호를 송신하여 유·누출된 액위 표면을 저온의 반응성이 없는 기체로 빠르게 위험·유해화학물질의 표면 동결하여 더 이상의 대기 확산이 되지 않게끔 차단·억제하는 단계이다. 저온저장탱크(210)의 배출구가 개방되면, 저온저장탱크(210)에 저장되어 있던 저온액체는 배출구, 이송튜브(260)를 지나 분사기(240)로 이동하게 된다. 저온액체는 배출구와 이송튜브(260)를 통해 이동하는 과정에서 압력이 낮아져 고압의 저온기체로 상변이 되며, 고압의 저온기체는 분사기(240)의 분사구(241)를 통해 방유벽(2) 내 측으로 분사된다. Figure 3은 대기 확산 방지시스템의 자동 분사장치의 구성도이다.

3.3 대기 확산 방지시스템 도입 시 기대효과

대기 확산 방지시스템이 도입될 경우 다양한 파급효과를 예측할 수 있다. 첫 번째는 위험·유해화학물질의 대기 확산에 대해서 실시간으로 사업장의 중앙통제실, 소방·환경부 등 관계기관에 즉각 통보되어 골든타임 내 화학사고 대응할 수 있다. 두 번째는 국내에는 위험·유해화학물질의 대기 확산 방지를 위한 관련 방재·안전시스템에 대한 연구가 활성화되지 않아 관련 기술·특허 등이 부족한데 본 연구가 연구개발의 촉진제가 될 수 있을 것으로 기대한다. 세 번째는 위험·유해화학물질의 대기 확산 방지와 관련한 법령(화학물질관리법, 고압가스안전관리법 등)에 방유벽 내 갖춰야할 구체적인 세부사항이 미비한데 이에 대한 개정을 촉진할 수 있을 것으로 기대한다.

3.4 연구 수행의 제한사항과 시스템 적용의 한계

방유벽 내 위험·유해화학물질 유·누출 시 대기 확산 방지를 위한 연구를 진행함에 있어 제한사항은 연구 재원의 부족으로 대기 확산 방지시스템에 대한 실용 제품 개발 여건이 조성되지 않았으며 실제 적용하기 위한 실험결과를 도출하지 못하였다. 차후 방재안전분야의 국가 R&D 기금이 조성되거나 위험·유해화학물질을 생산·취급 등 화학산업에서 지원받는 연구기금을 수주하였을 경우 본 연구에서 도안한 개발안을 기반으로 시제품을 제작할 계획이다. 위험·유해화학물질의 물성(산·염기성 등), 유입량, 기상조건(대기온도, 풍속 등)과 같은 다양한 실험조건을 도출하여 이에 따른 실험결과를 산출할 예정이다.

예산·정책상의 제한사항은 대기 확산 방지시스템에 대한 시제품 개발 후 실용제품으로 나오기까지 적지 않은 시간과 비용, 인력 등이 소요될 것으로 예상된다. 특히 위험·유해화학물질 중·소사업장의 경우에는 부족한 예산, 인력, 부지등로 중앙정부 또는 지자체의 예산 등 지원이 없을 경우에는 대기 확산 방지시스템을 적용하는데 많은 제한사항이 발생할 것으로 예측된다. 중·소사업장에 대기 확산 방지시스템을 원활히 적용하기 위해서는 중앙정부, 지자체에 관련 사업을 지원할 수 있는 전담 조직의 편성 등 시스템의 적용 및 운용상에 문제점을 일사천리로 해결해 줄 수 있어야 기술 활용성이 증대될 수 있다. 또한 방유벽에 비, 눈, 우박 등이 유입되었을 경우 위험·유해화학물질과 섞이지 않고 사업장 내 폐수처리장으로 유출될 수 있는 설비에 대한 구축과 장마철 등 대량의 비가 방유벽 내로 유입될 경우 시스템 운영의 안전성 확보 여부도 추후 연구에서 다루어져서 과제이며 진행할 예정이다.

4. 결론 및 고찰

염산, 황산, 불산 등과 같은 위험·유해화학물질을 취급하는 시설에서는 일정 규모의 방유벽을 설치·운영하도록 규정되어 있다. 하지만 위험·유해화학물질 취급시설 설치 및

관리 기준 상에 방유벽에 관한 규정이 명확하지 않으며 집진장치 등과 같은 안전시스템 의무 설치 여부도 명시되어 있지 않다. 이와 같은 환경에서 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유·누출 후 대기 확산에 따른 인명 및 환경피해가 발생한 화학사고 사례를 확인할 수 있으며 관련 연구, 기술 제안 등이 미미한 현실에서 화학사고를 미연에 방지하기 위한 다각적인 노력이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 위험·유해화학물질이 방유벽 내 유·누출 시 대기 확산을 방지하기 위한 안전시스템을 제안하였다. 다음은 본 연구에서 제시한 대기 확산 방지시스템에 대해서 정리하였다.

1) 대기 확산 방지시스템의 주요 특성은 방유벽 내 유입된 위험·유해화학물질의 유입량과 이상반응에 의해 발생된 가스를 감지하는 장치, 소리와 빛을 이용해 중앙통제실, 소방, 환경부 등 관계기관에 자동 경보장치, 대기 확산된 유독가스를 저온의 반응성이 없는 기체를 이용하여 위험·유해화학물질의 표면 동결로 2차 대기 확산을 방지하는 장치 등이 중요 설비이다.

2) 위험·유해화학물질의 대기 확산 확산 방지시스템의 주요 기대효과는다 대기 확산의해 발생된 흡에 의한 2차 인명·환경피해 최소화과 유·누출된 위험·유해화학물질에 따른 효율적인 최종 방재 방법을 찾을 수 있는 시간과 방재 인력·장비를 최적으로 투입할 수 있는 시간을 벌 수 있을 것으로 판단된다.

3) 실용제품에 대한 설계, 제작 등에 대한 재원 부족으로 실증화 연구를 진행하지 못하였으며 국가 R&D 조성에 따른 연구 기금 확보 시 시제품 제작 후 다양한 조건(대기조건, 산·알칼리 계열 화학물질 등)에 따른 대기 확산 방재시스템의 작동 가능성에 대해서 실증화 연구를 진행할 예정이다.

차후 진행될 실증화 연구를 통해서 도출될 결과는 실용제품의 제작과 개발, 대기 확산 방지시스템의 적용 가능성을 판단할 수 있을 것이다. 이를 통해 기존 방재·안전시스템 보다 진일보된 화학사고 예방 체계를 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업의 ‘도심지 소단면(φ3.5 m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(18SCIP-B105148-04)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 또한 연구 수행 중 발생한 특허는 인천대학교 산학협력단의 지원으로 진행되며 지적재산권이 귀속됩니다. 연구지원에 감사드립니다.

Reference

1. National Institute of Chemical Safety, “Chemistry Safety Clearing-house (CSC)”, Retrieved from <http://csc.me.go.kr> (2019).

2. Ministry of Environment, "Press Release", May 1 (2015).
3. J. H. Kwak, S. R. Hwang, Y. H. Lee, J. Y. Kim, K. B. Song, K. Kim, J. E. Kang, S. J. Lee, J. H. Jeon and J. H. Lee, "Development of Mobile Vortex Wet Scrubber and Evaluation of Gas Removal Efficiency", *Korean J. Environ. Agric.*, Vol. 34, No. 2, pp. 134-138 (2015).
4. C. H. Shin and J. H. Park, "Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals", *Crisis and Emergency Management: Theory and Praxis, Crisisonomy*, Vol. 12, No. 1, pp. 83-93 (2016).
5. P. Yeh, N. Yeh, C. H. Lee and T. J. Ding, "Applications of LEDs in Optical Sensors and Chemical Sensing Device for Detection of Biochemicals, Heavy metals, and Environmental nutrients", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75, pp. 461-468 (2017).
6. X. Shen, J. Zhang, M. Hua and X. Pan, "Experimental Research on Decontamination Effect of Water Curtain Containing Compound Organic acids on the Leakage of Ammonia", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 105, pp. 250-261 (2017).
7. M. N. Park, H. S. Kim, J. H. Cho, A. Lulu and D. I. Shin, "Mobile Sensor Velocity Optimization for Chemical Detection and Response in Chemical Plant Fence Monitoring", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 21, No. 2, pp. 41-49 (2017).
8. R. Kanés, A. Basha, L. N. Vechot and M. Castier, "Simulation of Venting and Leaks from Pressure Vessels", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 40, pp. 563-577 (2016).
9. Ministry of Environment, "Chemical Control Act" (2018).
10. Ministry of Employment and Labor, "Occupational Health and Safety Act" (2018).
11. National Fire Agency, "Act on the Safety Control of Hazardous Substances" (2018).
12. Ministry of Trade, Industry and Energy, "High-pressure Gas Safety Control Act" (2018).
13. Korea Gas Safety Corporation Industry and Energy, "Facility/Technical/Inspection/Supervision/Safety Diagnosis Code for Specified Production of High-pressure Gases", pp. 76-79 (2017).
14. Federal Ministry for Environment of Germany, "Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe" (2017).
15. Health and Safety Executive of United Kingdom, "Storage of Flammable Liquids in Tanks" (2015).
16. COMAH Regulation, "UK Health and Safety Executive", Retrieved from [Http://www.hse.gov.uk/comah](http://www.hse.gov.uk/comah) (2019).
17. Korean Intellectual Property Office, "KIPRIS (Korean Intellectual Property Rights Information Service)", Retrieved from <http://www.kipris.or.kr/khome> (2019).
18. National Institute of Chemical Safety, "Key Info Guide for Accident Preparedness Substances" (2017).