KIGAS Vol. 27, No. 4, pp 43~49, 2023
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2023.27.4.43

독성물질 누출 시 방호계층 적용에 따른 사업장 내 근로자 피해 영향 연구

황순재 · †이준원* · 김득환 · 최상찬
숭실대학교 안전보건융합공학과 박사과정, *숭실대학교 안전보건융합공학과 교수,
(2023년 9월 26일 접수, 2023년 12월 1일 수정, 2023년 12월 12일 채택)

A Study on the Impact of Protection Layers on Workplace Workers in the Event of a Toxic Substance Release

Sun Jae Hwang · †Joon Won Lee* · Deuk Hwan Kim · Sang Chan Choi
Ph.D, Student Dept. of Safety and Health Covergency Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea
**Professor, Dept. of Safety and Health Covergency Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea*
(Received September 26, 2023; Revised December 1, 2023; Accepted December 12, 2023)

요 약

불화수소는 염산, 질산, 황산보다 산성도는 낮지만 인체에 위험한 물질 중 하나이다. 물질의 구성에서 볼 수 있듯이 Fluoride를 함유하고 있는 부식성이 강한 물질이며, 급성독성 물질로 분류할 만큼 인체에 유해성이 매우 높으나, 최근 화학공장 및 반도체 산업 등 산업계에서 없어서는 안 될 물질로 인체에 위협적인 물질이지만 산업의 확장과 발전으로 사용량이 지속적으로 증가하고 있다.

불화수소의 위험성은 2012년 사고 발생 이후 위험성이 대두 되었고 이 사고를 계기로 규제 강화로 취급시설 관리 기준이 5배 이상 늘어나게 된 원인되었다. 불화수소는 대기 중으로 노출되는 경우 불산으로 전환되며 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있다.

본 연구는 독성물질 누출에 의한 피해를 최소화하기 위해 방호계층을 구성하였음에도 누출된 독성물질이 사업장 내로 확산되었을 때 피해영향을 시뮬레이션으로 확인하고, 사업장 내 피해영향 시 근로자에게 발생하게 될 위험성을 제어하기 위한 방법을 제언하고자 한다.

Abstract - Hydrofluoric acid is a less acidic substance than hydrochloric acid, nitric acid, and sulfuric acid, but it is one of the most dangerous substances for humans. In recent years, it has become an indispensable substance in industries such as chemical plants and the semiconductor industry, and although it is a threat to the human body, its use is increasing for various purposes, and the amount of use is constantly increasing due to the expansion and development of the industry.

The dangers of hydrogen fluoride have been highlighted since the 2012 accident, which led to a more than fivefold increase in management standards for handling facilities. Hydrogen fluoride converts to hydrofluoric acid when exposed to the air, which can be fatal to humans.

This study simulates the effects of a release of a toxic substance in the workplace, even though a protection layer has been provided to minimize the damage caused by the released toxic substance, and recommend ways to control the risk to workers in the event of a release in the workplace.

Key words : hydrogen fluoride, offsite tisk sssessment, consequence analysis

†Corresponding author:joonwonlee@ssu.ac.kr
Copyright ⓒ 2023 by The Korean Institute of Gas

I. 서 론

1. 연구배경 및 필요성

최근 불화수소로 인한 사고발생과 피해사례를 매체를 통해 대중들에게 알려지게 되면서 물질 위험성과 인체 노출 시 심각한 피해를 미칠 수 있다는 사실을 널리 인지하고 있다. 이러한 위험성을 인식함에도 제조, 취급 시 사고가 끊임없이 발생되고 있다. 불화수소는 대기 중으로 누출 시 수분반응성에 의해 산성도를 보유한 산으로 변형되며, 식물산림을 고사시키고 사람에는 피부 및 호흡기 손상 등 치명적인 피해를 주기 때문에 소량이라 하더라도 인체나 외부에 노출되지 않도록 상당한 주의가 필요하다.

불화수소와 관련된 사고는 발생형태는 안전기준 미준수, 시설결함에 의한 발생이 대표적이었으며, 사고발생 규모는 사업장의 공종별, 규모별 여건에 따라 상이할 수 있다. Table1은 화학물질안전원에서 집계된 국내 통계자료를 근거로 요약하였으며, 피해 발생이 동반된 기록 사고를 정리한 것이다.

국내 사고 중에서는 구미 불산사고가 대표 사고사례로 알려져 있으며, 장외로 상당한 영향의 피해가 발생하였던 대표적인 기록 사고사례이다.

해외의 경우에도 발생형태, 공종별, 규모별에 따라 다양한 형태로 불화수소와 관련된 사고가 발생할 수 있음을 확인할 수 있으며, 호흡기 손상과 피부 화상과 같은 상해를 유발하는 것을 알 수 있다.

Table2는 미국 산업안전보건청(OSHA)에서 제공하고 있는 사고사례 통계를 바탕으로 정리하였고, 최근 등록된 자료를 기준으로 확인하였다.

국내외 사고사례를 확인했을 때 불화수소는 누출 시 인명피해나 주변환경에 심각한 피해영향을 초래할 수 있음을 확인할 수 있다. 사고원인은 시설결함보다는 안전기준 미준수에 의한 사고사례가 상대적으로 많이 발생되는 것을 볼 수 있으나, 피해 정도는 누출량 및 인체에 노출되는 정도에 따라 다르게 전개될 수 있다.

산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 독성물질 및 화학물질 누출 시 적절한 방호조치에 대한 언급하고 있으며, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제225조(위험물질 등의 제조 등 작업 시의 조치)에서 "부식성 물질 또는 급성 독성물질을 누출시키는 등으로 인체에 접촉시키는 행위" 로 규정하고 있으며, 화학물질 제조/취급 시 적절한 방호장치를 제공하도록 사업주에 의무를 부과하고 있다.

현행 관계법규에서는 화학물질 누출 시 피해영향을 최소화하기 위한 세부기준은 없으나, 안전환경적으로 영향을 최소화 할 수 있도록 자체적으로 검토하여 적정한 안전수준에 도달할 수 있도록 가이드와 지침을 제공하고 있다. 그러나 사고사례를 살펴 봤을 때 이러한 사고들은 피해를 예방하기 위한 안전장치를 설계하였으나, 안전장치가 실패하여 사고발생 및 지역사회에 심각한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

이에 본 연구에서는 1장에서는 불화수소와 관련된 사고사례와 피해, 2장에서는 불화수소의 이론적 배경과 선행연구, 3장에서는 연구를 위한 방향과 기본적인 정보 및 시나리오 설정, 4장에서는 적용한 시나리오에 대한 결과 정리, 5장에서는 방호설비의 저감 실패에 따른 직접적인 피해 결과에 대해 최소화 방법을 제언하고자 한다.

Table 1. Domestic case of HF accident

일자	위치	원인	유형	누출량	피해
21.04	경기 이천	안전기준 미준수	누출	소량	부상1명
20.03	충남 공주	안전기준 미준수	누출	76kg	부상4명
15.09	경북 영천	안전기준 미준수	누출	4ton	부상3명
14.08	충남 금산	안전기준 미준수	누출	3~7kg	잡목산림 고사
13.01	경기 화성	시설 결함	누출	10kg	사망1명 부상4명
12.09	경북 구미	안전기준 미준수	누출	10ton	사망5명 검진7174명 그 외 피해다수

Table 2. US OSHA data of HF accident

일자	사고원인	발생형태	상해유형	피해
21.10	시설결함	화학물질 노출	호흡기 손상	사망1명
20.05	안전기준 미준수	화학물질 노출	호흡기 손상	사망1명
19.10	안전기준 미준수	화학물질 노출	화학적 화상	부상1명
11.09	안전기준 미준수	화학물질 노출	호흡기 손상	부상1명
06.03	안전기준 미준수	화학물질 노출	호흡기 손상	부상4명

Ⅱ. 이론적 배경 및 선행연구 분석

2.1. 불화수소의 물질특성

미국 국립해양대기청 산하 대응 및 환경보호청의 비상관리실과 협업하여 제작된 프로그램이며, 장외영향 평가 시 활용하는 ALOHA 프로그램의 화학물질 정보 데이터베이스인 Cameo Chemicals에서는 비상대응 및 계획을 수립 시 화학물질 취급에 대한 권장사항과 화재/폭발, 독성물질에 의한 위험을 예측하는데 활용할 수 있도록 유해위험물질에 대한 자료를 제공하고 있다. 불화수소의 경우 ERPG(Emergency Response Planning Guidelines) 값이 1에서부터 3까지 총 3단계로 구성되어 있다. 다음과 같은 농도로 구성되어 있다.

ERPG-1 : 2ppm
ERPG-2 : 20ppm
ERPG-3 : 50ppm

불화수소는 수소결합으로 인해 다른 물질과는 달리 대기중으로 방출되었을 때 특정 조건과 요인에 따라 달라질 수 있는데, 불화수소가 과열되어 과압하에 방출되면 증기와 에어로졸 구름을 형성하여 공기 중의 수증기와 쉽게 반응할 수 있다. 불화수소 증기가 직접 방출 또는 액화불화수소가 누출되어 형성된 풀에서 기화 되면서 공기중의 수분과 반응하여 육안으로 관찰 가능한 구름이 형성될 수 있다

무수 불화수소가 공기중에 혼합되는 경우, 수분과 흡열반응하여 증기운을 냉각시킨다. 냉각된 증기운은 밀도를 높여준다. 무수불화수소가 수분과 반응하는 경우 열을 방출하며, 증기운이 열을 받으면서 부력이 증가하고 밀도가 감소하게 된다. 이러한 과정이 중성 또는 양성 부력이 될 수 있는 구름으로 전환한다. 결국 부력을 갖게 된 증기운이 수직, 수평으로 확산되면서 가벼운 가스의 이동거동을 보일 수 있게 된다.

2.2. 인체노출특성

일반적으로 흡수된 불화수소는 체내 머무르는 시간이 조건에 따라 상이할 수 있으나, 며칠 내 소변을 통해 제거될 수 있으며, 그외 불화수소의 경우 뼈와 치아에 잔류할 수 있다. 이는 실험적 Data를 기반으로 확인되었으며 주당 6일, 하루 6시간 동안 24mg/m^{3}에 노출된 쥐에서 치아 및 뼈 불소 수치의 증가가 보고되었음을 알 수 있다. 불화수소는 장기적으로 노출되면 골격불소증(skeletal fluorosis)이라는 뼈의 변화가 발생할 수 있다. [1]

또한 일시적으로 고농도의 불화수소를 흡입 또는 피부에 노출되는 경우, 폐와 심장에 영향을 미쳐 사망에 이를 수 있다. 사망은 기도 자극으로 인한 폐부종 또는 현저한 고칼륨혈증, 저칼슘혈증, 저마그네슘혈증에 의한 심장 부정맥으로 발생하게 된다. 과거 사고사례에서도 불화수소에 노출되어 심각한 기관지염과 출혈성 폐부종으로 병원에 입원한지 10시간 만에 사망한 케이스를 살펴 볼 수 있다. 단시간에 불화수소가 얼굴에 뿌려져 노출 몇 시간만에 사망한 사례도 있다. [2]

2.3. 선행연구 분석

화학반응기의 안전성 향상을 위한 예방조치 개선에 관한 연구에서는 화학공정 사고예방을 위해 여러 안전장치를 사용하며 완화조치를 할 수 있는 독립방호장치를 언급하고 있으며, 그중 하나인 긴급차단밸브 장치가 누출 확산을 예방하는데 기여할 수 있음을 언급하고 있다. [3]

산업구성에서 암모니아 대규모 대기 분산 실험에서는 암모니아 용기에서 누출될 때 동일한 유량의 누출에서도 유속, 바람 부는 방향에 따라 확산되는 거리가 다르다는 것을 확인할 수 있었다. [4]

독성가스 방출완화에 대한 수막효과에 대한 수치모델링에서 불화수소와 암모니아가 누출되었을 때 워터커튼이 얼마나 효과적인 장치인지를 CFD 프로그램을 이용하여 저감장치로 활용할 수 있는지를 시뮬레이션 하여 확인하였다. [5]

가압 액화 가스에 대한 독성 산업 화학물질 배출원 배출모델링에서는 저장된 유체의 조건에 따라 파열되는 부분에서 누출되는 물질의 에어로졸 속도, 열역학적 상태 및 양과 액적 크기가 영향을 받을 수 있음을 확인할 수 있었다. [6]

암모니아 방출분산을 위한 수막 적용의 수치 시뮬레이션에서는 암모니아 증기 구름과 물방울 사이의 여러 상호작용이 있고, 수막 시스템에서 형성되는 물방울에 의해 암모니아 흡수에 대한 메커니즘을 통해 수막시스템을 설계하기 위한 세부지침이 없어, 전산유체역학 시스템을 통해 시뮬레이션을 통해 효율적으로 제거가 될 수 있는지를 확인하였다. [7]

사고영향평가를 이용한 지하 매설 배관 사고 시 긴급차단밸브에 의한 피해 범위 감소에 관한 연구에서는 울산국가산업단지를 중심으로 유해위험물질의 이송배관인 지하매설배관망에서 발생하는 사고에 대해 분석하였고 긴급차단장치 설치 및 사고영향평가를 통해 피해영향 범위를 감소시키는데 기여함을 확인하였다. [8]

유해화학물질 취급설비 운영 시 긴급차단밸브는 취급설비에 보유하고 있는 물질의 누출량을 제한할 수 있고 사고영향범위를 제한하는데 기여할 수 있음

을 확인하였으며, 긴급차단밸브로 인해 화재/폭발이나, 독성에 의한 위험을 줄일 수 있는데 유용한 방법으로 확인할 수 있음을 실험적으로 검증하였다. [9]

상기와 같이 분석한 선행연구를 바탕으로 금번 연구에서는 사람에 노출 시 위험한 대표적인 물질인 불화수소를 대상으로 사업장 내 누출 시 피해영향과 방호계층에 따른 저감된 영향, 그리고 저감된 영향에도 불구하고 사업장 내 근로자에 영향 미칠 수 있는지 정량적으로 확인하고 개선을 방법을 제언하고자 한다.

Ⅲ. 연구방법

3.1. 영향평가 수행

영향평가의 수행은 Fig. 1의 절차와 같이 수행하였다. 금번 연구 시 가상의 사고시나리오를 선정하기 위해서 선행적으로 위험성평가를 실시하였고, Table3와 같이 화학물질을 취하는 공정을 대상으로 한 위험성평가 방법인 HAZOP을 통해 적합한 시나리오를 선정하고자 하였다. 그 결과 이송배관의 부식, 파손의위험도가 높은 시나리오를 선정하여 누출모델링을 수행하고자 하였다.

누출모델링의 경우 정량적 위험성평가 Tool인 DNV사의 PHAST(Process Hazard Analysis Software Tool) 8.3version을 이용하여 진행하였으며, 누출사고가 발생 가능한 가상의 시나리오를 선정하여 Tool을 활용한 모델링을 수행하였다.

누출모델링 시에는 누출원 정보, 기상조건과 물질특성 정보를 활용하고, 전용 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 영향평가를 실시한다. 불화수소는 누출 시뮬레이션 시 독성영향이 지배적이므로, 독성에 의한 인명사상의 가능성 중심으로 확인하였다.

3.2. 사고 시나리오 및 관련 정보

불화수소를 사용하는 공정은 화학공정에서 제품

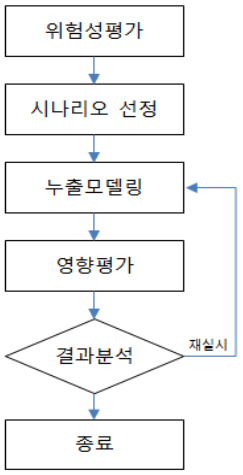

Fig. 1. Procedure for dispersion modelling

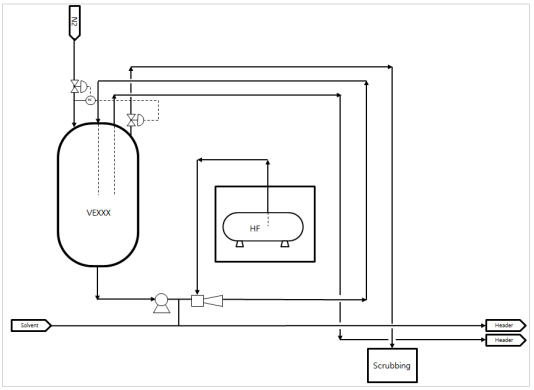

Fig. 2. Hydrogen Fluoride Process Schematic Drawing

Table 3. Simplified Risk assessment in hydrogen fluoride handling processes

Deviation	Cause	Consequence	Safeguards (Layer of Protection)	Risk Ranking
Loss of Containment	Pipe break leak due to handling corrosive materials	Casualties and environmental damage caused by LOC	Emergency Shutoff Valve	3 (Severe)
	Line rupture due to pipe stress caused by operating overpressure	Same As above consequence scenario	Emergency Shutoff Valve	3 (Severe)
	HF leakage due to operator error	Massive leaks cause casualty and environmental damage	PSV, PCV	3 (Severe)
	Unexpected External Fire	Casualties and environmental damage from toxic releases	Fire Protection	3 (Severe)

생산을 위해 화학물질 첨가작업을 수행하는 공정의 불화수소 사용 공정을 대상으로 수행하였고, Fig. 2는 불화수소를 사용하는 가상의 공정으로 가정하여 개략도로 나타내었다.

무수불화수소를 입고하여 솔벤트와 불화수소의 혼합한다. 혼합된 용액은 불화수소를 함유하고 있으며, 누출되어 대기 중으로 노출 시 사업장 내외 인명과 환경에 영향을 줄 수 있다.

불화수소를 취급하는 저장설비에서 이송배관의 부식과 외력에 의한 손상으로 파손 되었는 상황으로 설정하며, 저장설비 정보는 다음과 같다.

기상조건은 사고위험성을 고려하여 최악의 시나리오 정보 Table 5와 설비가 위치하고 있는 지역의 기상정보 Table 6로 설정하였다.

Table 4. Leak source information

Parameter	data
Height of Lenth	8m
Diameter	3.3m
Leak hole	2“
Pressure	4.9kgf/cm^2
Temperature	10℃
Release weight	23,287kg
Phase	Liquid

Table 5. Meteorological information for scenarios

Parameter	data
Wind speed	1.5m/s
Wind direction	ESE
Temperature	40℃
Atmospheric stability	F
Humidity	50%
Dike area	100m^2
Surface roughness	rural

Table 6. Meteorological information for scenarios (Actual weather condition)

Parameter	data
Wind speed	1.3m/s
Wind direction	NWN
Temperature	12.6℃
Atmospheric stability	D
Humidity	73%
Dike area	100m^2
Surface roughness	rural

Ⅳ. 결 과

4.1. 방호계층

위험성평가에서 선정된 시나리오는 배관 파손에 의해 불화수소가 다량으로 노출되는 상황을 가정한 것이다. 밀폐되지 않은 실외에 설치된 불화수소 설비에서 대기 중으로 누출되었을 때 넓은 범위로 확산될 수 있다. 해당 시나리오에서 불화수소의 확산을 방지할 수 있는 적절한 방법은 불화수소의 물질 특성인 수용성으로 주수 또는 물분무 설비에 의해 저감하는 방법이 가장 실용적인 방법이 될 수 있다. 실험적 근거를 살펴봤을 때에도 불화수소는 물분무 설비에 의해 90%이상 저감 될 수 있음을 확인할 수 있다. [10]

저감효율은 다음의 수식으로 정의되며, 물과 불화수소의 비율(X)의 정량적인 수치를 활용하여 불화수소의 실험적인 방법의 저감효과를 기대할 수 있다.

$$Y = a + bX + cX0.5 + d \times \ln X \quad (1)$$

a, b, c, d : experimental constant
X : Volumetric ratio of water/HF
Y : Scrubbing efficiency(%)

금번 연구에서는 불화수소 취급공정에서 배관 부식 및 설비 노후로 인한 파손으로 공정 내 불화수소가 누출될 수 있는 경우에 대비하여 방호계층인 water

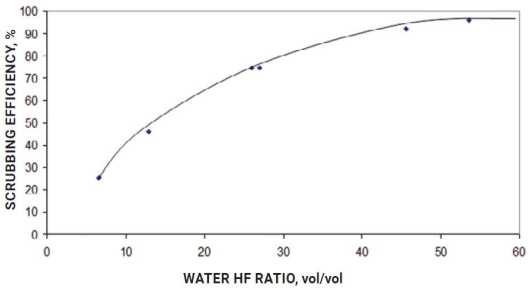

Fig. 3. Water Spray Scrubbing Efficiency for HF

spray를 적용한 것으로 가정하였고, 이를 통한 누출 저감활동이 이론적인 수식에 따라 저감효율의 산정과 적용된 방호계층 따른 피해영향을 시뮬레이션 프로그램을 통해 피해영향 범위를 관찰하고자 하였다.

4.2. 피해 영향 범위 산출

PHAST를 통해서 불화수소가 누출 되었을 때 확산된 거리를 산출하기 위해 공정운전 조건을 활용하였으며, 기상조건은 Table5와 실제 기상조건인 Table6를 입력하여 시뮬레이션을 진행하였다.

누출된 불화수소는 사업장 외부까지도 영향이 미칠 수 있는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다. 불화수소 ERPG-3(50ppm)에 해당되는 농도는 578m까지 확산될 수 있어 불화수소 독성을 고려한다면 치명적일 수 있다 . 누출되는 양이 지속되는 경우라면, 물질에 의해 미칠 수 있는 영향범위가 더 넓어 질수 있다.

앞서 언급하였던 불화수소의 방호계층인 Water Curtain 설비를 설정하여 누출을 저감하였을 때 피해영향의 범위는 Fig. 5와 같이 산출된다.

Water curtain 설비로 불화수소의 누출이 최대 90%로 이상 저감되는 경우, ERPG2는 78m, ERPG3는 75mm로, 기존의 누출 범위인 ERPG2 705m, ERPG3 509m 대비 누출영향 범위가 확연히 저감되었음을 확인할 수 있다. 상기 누출 범위가 사업장에 영향을 확인하려면 현장의 범위로 확인할 수 있는데, 해당 사업장은 다른 인접 공장과 이격된 곳에 위치하고 있으며, 불화수소 수급을 위해 납품업체로부터 차량으로 공급을 받고 있으며, 원활한 공급을 받기 위하여 외부도로와 인접한 곳에 위치하고 있다. 공정에서 사업장 출입구까지의 거리는 약 500m 이격되어 있다. 이는 Fig. 5에서 보는 것과 같이 공정배치도 기준으로 사업장 외곽의 도로끝점까지를 했을 때 사업장 외부에 영향을 미치지 않는 농도임을 알 수 있다.

아래는 water curtain 적용 시 저감효율별 시뮬레이션을 추가로 수행한 결과이며, 방호계층 적용 환경 및 조건에 따라 끝점 농도를 포함한 결과이다.

상기 시뮬레이션에서 도출되는 결과처럼 방호계층의 저감효율에 따라 피해영향 범위가 넓어지거나 저감될 수 있음을 확인할 수 있으며, 방호계층이 정상적으로 작동하여 최적의 저감효율이 발생할 수 있다면 독성물질의 누출량 완화로 감소된 영향범위를 기대할 수 있다. 그러나 앞서 시뮬레이션의 결과에서 확인한 바와 같이 장외로의 확산은 최소화 할 수 있으나, 사업장 내부에 있는 근로자에게는 여전히 피해영향 범위로 작용할 수 있는 위험성이 존재함을 시뮬레이션의 결과로 확인할 수 있다.

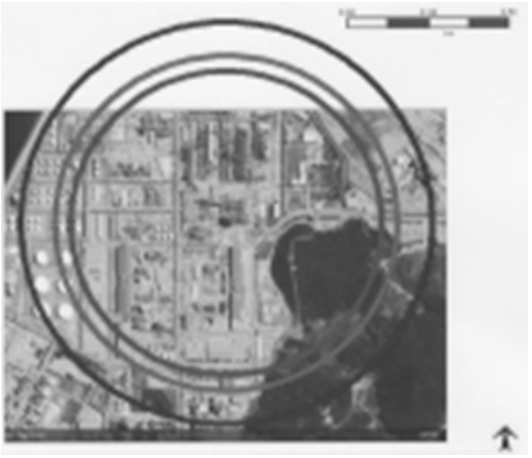

Fig. 4. PHAST simulation result

Fig. 5. PHAST simulation result by water curtain

Table 7. Endpoint Distance per Reduction Efficiency

Reduction efficiency	Distance		
	ERPG1	ERPG2	ERPG3
75%	196m	163m	149m
80%	188m	153m	138m
85%	153m	122m	103m

V. 결 론

본 연구에서는 유해위험물질 등 화학물질 사고 시 방호시설이 설치된 것을 가정하고 시뮬레이션을 통

해 피해가 확산되는 범위를 분석하였다. 금번 연구를 통해서 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다.

첫째, 앞서 방호계층을 통해 사고 발생 시 피해영향 범위를 완화시킬 수 있음을 확인하였다. 수막설비가 불화수소를 용해시키고 이는 결과적으로 영향범위를 감소시켜 시뮬레이션 결과 확산 범위를 저감 시킨 것을 확인할 수 있다.

두 번째로는 분석한 시나리오가 작업자 및 근로자에게 피해가 미칠 수 있는지 검토하였다. 방호계층인 water curtain에 따른 최대 피해영향 저감에도 불구하고 사업장 내에서는 공정설비를 컨트롤 운영하는 조정실이나 작업자 또는 사람이 상주할 수 있는 건물이 ERPG3 농도가 영향을 미칠 수 있는 범위인 75m 이내에 배치될 수 있는 범위이므로 불화수소 누출 시 사업장 내 인명피해가 발생할 가능성이 있음을 확인할 수 있다. 또한 water curtain의 피해영향 저감효율이 설계대비 최대효과를 발휘하지 못하거나 저감효율이 감소하게 되는 경우에는 Table 7과 같이 피해영향범위는 확산될 수 있는 것을 확인할 수 있다.

금번 연구에서는 독성물질 누출 시 방호계층을 통해 사고피해를 저감 시켜도 사업장 내 영향범위는 작업자에게 피해를 미칠 수 있음을 시사하고 있으며, 2차 사고 확대 방지를 위해 작업자의 안전확보가 될 수 있도록 관리가 필요할 것으로 판단된다.

아울러, 시뮬레이션을 통해 도출된 피해영향범위와 더불어 적정한 감지장치와 감시장비를 활용하여 더욱더 견고한 방호계층을 구성하고 신뢰성을 높이는 등 방호계층의 적정성을 검토하여 사고 발생 시에도 피해 확산되지 않도록 관리하는 것이 필요할 것이다.

REFERENCES

[1] Washington, D.C., “Emergency and Continuous Exposure Guidance Levels for Selected Submarine Contaminants”, The National Academies Press, (2004)

[2] A commerce clearing house publication., “Food Drug Cosmetic Law Journal”, Food Law Institue Inc, (1965)

[3] Byun, Y. S., ″A Study on the Improvement of Preventive Measures for Improving the Safety of Chemical Reactor″, *KIGAS*, 24(4), 32-38, (2005)

[4] Remy, B., and Stephane, D., ″Ammonia large scale atmospheric dispersion experiments in industrial configurations″, *Elsevier*, 18(4), 512-519, (2005)

[5] Lim, H. Y., and Um, K. S., ″A study on effective mitigation system for accidental toxic gas releases″, *Elsevier*, 49, Part B:636-644, (2017)

[6] Rex, B., and Jefferey, W., ″Toxic industrial chemical (TIC) source emissions modeling for pressurized liquefied gases″, *Elsevier*, 45(1), 1-25, (2011)

[7] Chao, C., and Wei, T., ″Numerical simulation of water curtain application for ammonia release dispersion″, *Elsevier*, 30, 105-112, (2014)

[8] Park, S. B., and Lee, C. J., ″A Consequence Analysis of the Mitigation Impact on Emergency Shut-off Valves for Accidents of Underground Pipelines″, *KIGAS*, 23(2), 28-34, (2019)

[9] Shin, Y. H., and Park, J. N., ″Effectiveness Review of Hazardous Chemical Handling Facilities and Emergency Shutoff Valves – Focusing on Hydrogen Fluoride and Chlorine Gas″, *KIHM*, 9(2), 18-24, (2021)

[10] EPA Gov Data, “Hydrogen Fluoride (Hydrofluoric Acid)”, EPA, (2004)

[11] Chao, C., and Wei, T., ″Effectiveness of Water Spray Mitigation Systems for Accidental Releases of Hydrogen Flouride″, *Water Spray Committee*

[12] KOREA EPA., ″The Gumi Hydrogen Fluoride Leak: Lessons in Chemical Safety″, *Chemicals Division/ Chemical Safety TF*

[13] Woo, K. H., ″In the aftermath of the hydrofluoric acid spill...″, *SCH Gumi Hospiatl*

[14] KOSHA Guide., ″Hydrofluoric Acid-Hydrogen Fluoride Worker’s Poisoning prevention and emergency response guidelines″, *KOSHA,* H-123, (2013)

[15] MarketsandMarkets., ″Hydrofluoric Acid″, *INNOPOILIS Foundation*, (2019)

[16] Harpole, G., ″HF Release Hazards″, *TRAA Science Advisory Panel*, (2023)