



## KORA를 활용한 정수장 염소 취급시설의 운영조건에 따른 피해범위 변화 평가

곽솔림 · 임형준 · 류태권 · 최우수 · 정진희 · 이지은  
김정곤 · 이연희 · 류지성 · 윤준현 · 윤이\* · †이진선\*

화학물질안전원 사고예방심사과, \*화학물질안전원 연구개발교육과  
(2018년 3월 21일 접수, 2018년 6월 26일 수정, 2018년 6월 27일 채택)

### Evaluation of Damage Range Variation Based on Operation System of Chlorine Facility in Water Purification Plant using KORA

Sollim Kwak · Hyeongjun Lim · Taekwon Ryu · Woosoo Choi · Jinhee Jung · Jieun Lee  
Jungkon Kim · Yeonhee Lee · Jisung Ryu · Junheon Yoon · Yi Yoon · †Jinseon Lee

National Institute of Chemical safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343,  
Rep. of Korea

(Received March 21, 2018; Revised June 26, 2018; Accepted June 27, 2018)

#### 요약

정수장에서 염소 누출 사고 시 피해를 최소화하는 방안을 연구하였다. 장외영향평가의 위험도는 영향범위 내 주민수와 사고 발생 빈도의 조합으로, 취급시설 운전온도, 긴급차단밸브 설치 위치 및 시설의 밀폐정도에 따른 피해범위 변화를 분석하여 피해범위 내 주민 수를 줄일 수 있는 최적의 조건을 제시하였다. 피해범위 산정은 KORA(Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool) 프로그램을 이용하였고, 운전온도가 낮아질수록, 용기의 브렌치 배관마다 긴급차단밸브가 설치될수록, 시설의 밀폐수준이 높을수록 피해범위가 감소하였다. 최악의 사고시나리오에서 감소율은 각각 17.6%, 71%, 34.5% 이며, 대안의 사고시나리오에는 각각 31.6%, 69.0%, 34.8% 이다.

**Abstract** - We researched the way to minimize the damage when the chlorine-leak accident take place in a purification plant. Since the level of risk based on the Off-site Risk Assessment(ORA) is a combination of proportional to the number of residents in the damaged area and frequency of accidents, we suggested the adequate conditions to reduce the number of residents in the damaged area by means of the operating temperature of a handling facility, installation of a emergency shut-off valve, and the analysis of the variation of the damaging range in accordance with the type of enclosure. The coverage of damage was calculated by the 'KORA(Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool) program. The research shows that the lower operating temperature gets, the more emergency shut-off valve being installed and the higher enclosure level of facility becomes, the extent of damage gets decreased. The decreasing rate of worst case was 17.6%, 71%, 34.5% respectively, the decreasing rate of alternative case was 31.6%, 69.0%, 34.8% respectively.

**Key words** : Chlorine, Damage range, SLAB model, KORA, Off-site Risk Assessment(ORA)

†Corresponding author:own0211@korea.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

위험한 가스의 누출로 인한 사고의 심각성에는 개인의 노출 지속시간, 인구밀도, 대피 계획 등이 반영된다[1]. 염소는 부식성이 큰 물질로 근로자와 주민에게 사망 및 부상을 일으킬 수 있고, 환경 전반에 악영향을 미칠 수 있다. 특히나 염소 가스의 누출은 기체나 연기를 한 두 모금 흡입하면 사망할 수 있다. 염소의 작업장 허용노출기준은 1일 작업 시간을 기준으로 0.5 ppm이며, 일반 인구집단 대상 급성노출기준은 60분 노출을 기준으로 불쾌감, 자극 또는 이에 준하는 상황이 발생할 수 있는 AEGL-1 값은 0.5 ppm, 심각한, 오래 지속되는 건강의 악영향과 손상을 일으킬 수 있는 AEGL-2 값은 2 ppm, 생명을 위협하는 건강영향 또는 사망이 발생할 수 있는 AEGL-3 값은 20 ppm이다[2].

2005년 South Carolina의 Graniteville에서 발생한 열차 탈선으로 철도에 포함된 약 60톤의 염소가 누출되었다. 사고피해에 대한 통계 결과 9명의 사망자와 71명의 부상자가 발생하였으며, 수백 마리의 동물과 어류의 폐사, 사고현장에서 약 1 km 반경 이내에는 식물의 심각한 탈색 현상이 나타났다[3].

국내에서는 2008년부터 2017년까지 10년 동안 발생한 염소 누출사고는 총 15건이었으며, 이 중 14건은 인명 및 환경 피해를 가져오기도 하였다. 그 중 2013년 경북 구미에서 액화염소 1 L(기화되어 체적이 약 450 L로 팽창되었다)가 누출되어 해당 공장 및 인근 사업장 근로자, 인근 주민 200여명이 영향을 받은 사고가 보고되기도 하였다[4].

염소는 의약품과 살균제, 세정제, 제초제, 살충제 등 다양한 형태로 산업 전반에 사용[5]되는데, 대표적인 취급원이 정수장이라 할 수 있다. 염소는 강한 산화력으로 소독 효과가 우수하여 대용량의 정수처리 등에 많이 사용되며 주로 봄베 또는 실린더 등에 액화가스 상태로 저장·취급 된다[7-8]. 국내에는 Table 1과 같이 각 지방 자치체 및 한국수자원공사에서 운영하고 있는 약 499개소의 정수장이 위치하고 있다. 그러나, 대부분 주택, 노유자시설, 교육 시설 등 주요 민감보호대상 시설 주변에 인접하여 염소 누출 등의 비상사태가 발생할 경우 대규모 피해가 발생할 것으로 예상된다.

염소가 누출되어 사망이 일어나는 정도는 누출 속도가 클수록, 거리가 짧을수록, 대기가 안정할수록 증가하였다[6]. 또한, 염소는 독성과 부식성이 있는 황록색 기체로 눈과 호흡기관을 자극[5]하며, 누출 후에는 곧바로 기화되어 무거운 가스(증기밀도는 공기의 2.5배) 형태로 확산된다. 이러한 이유로

염소를 일일취급량 50 kg, 보관·저장량 750 kg 이상을 취급하는 사업장은 화학물질관리법 제23조에 따라 장외영향평가를 작성하여 시설의 위험도를 계산하고 관리를 해야한다. 위험도 계산은 환경부에서 개발한 KORA(Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool) 프로그램을 활용한다. KORA는 각 사고시나리오별 누출 확산에 대한 피해범위 및 사고빈도, 완화조치 등을 도출하고 여기에 영향범위 내의 주민 수 등을 종합하여 위험도를 최종적으로 계산한다. 이때 계산된 위험도가 사회적 합의 수준을 초과하는 경우에는 위험도를 충분히 낮출 수 있는 안전성 확보방안을 마련하도록 하고 있다.

안전성 확보방안은 사고의 영향을 줄일 수 있는 방법과 사고의 발생 빈도를 낮추는 방법으로 나눌 수 있으나, 본 연구에서는 염소 취급시설의 피해범위를 줄여 위험도를 낮출 수 있는 최적의 조건을 찾는데 그 목적이 있다. 이를 위해 KORA 프로그램을 이용하여 운전온도, 긴급 차단밸브의 설치 위치 및 시설의 밀폐정도에 따른 피해범위 변화를 분석하고, 이를 바탕으로 사고로 인한 영향을 최소화 할 수 있는 최적조건을 제시하고자 하였다.

**Table 1.** The number of water purification plant in korea[9]

Region	Sub total	Region	Sub total
Seoul-si	6	Gyeonggi-do	42
Busan-si	4	Gangwon-do	80
Daegu-si	5	Chungcheongbuk-do	24
Incheon-si	7	Chungcheongnam-do	11
Gwangju-si	4	Jeollabuk-do	19
Daejeon-si	3	Jeollanam-do	87
Ulsan-si	3	Gyeongsangbuk-do	93
Sejong-si	1	Gyeongsangnam-do	53
K-water	37	Jeju Island	20
<b>Total</b>		<b>499</b>	

## II. 연구방법

### 2.1 KORA 프로그램의 입력조건

사고의 형태는 액화염소가 기화되어 배관 등을 통해 흐르다가 플랜지 등에서 누출된 경우로 한정하였으며, 그 피해범위를 산정하기 위해 KORA 프로그램(KORA-Ver 2.1.0.11)을 활용하였다. 최악 및 대안의 사고시나리오 평가를 위한 기상조건은 Table 2와 같이 장외영향평가서에 사고시나리오 선정에 관한 기술지침의 표준조건을 적용하였다[7].

장외영향평가 제도의 염소에 대한 독성 우려 관심농도 ERPG-2값은 3 ppm이며, 이 농도는 거의 모든 개인이 개인 능력의 저하 없이 보호 조치를 취할 수 있고 다른 건강상의 심각한 영향이나 증상을 일으키지 않는 최대 1시간을 버틸 수 있는 공기 중 최대 농도를 말한다[11].

### 2.2 누출사고로 인한 피해범위 평가인자 및 방법

#### 2.2.1 운전온도

최악 및 대안의 사고시나리오 피해범위 평가 시 누출물질의 온도는 운전온도를 사용한다. 이때의 운전온도는 실내온도를 의미한다. 정수장에서 액화염소를 기화시키는 방법에는 기화기를 사용하여 강제로 기화시키는 강제기화방식과 대기온도로 기화시키는 자연기화방식이 있다[10]. 빠른 기화속도가 요구되는 경우에는 강제기화방식을 사용하고 그렇지 않은 경우(주입량이 20 kg/h 미만)에는 기화기를 사용하지 않고 대기온도로 액체염소를 기화시킨다. 이와 같이 정수장 염소 취급시설에서는 상온을 유지하기 위하여 겨울철에는 난방기로 여름철에는 난방기로 내부 온도를 조절하여 사용하고

**Table 2.** Input values of weather conditions for running KORA program

Parameters	Input Values	
	Worst case	Alternative case
Wind speed(m/s)	1.5	3
Atmospheric stability class	F(stable)	D(neutral)
Air temperature(°C)	25	25
Humidity(%)	50	50
Ground Roughness	Urban	Urban

있으나 본 연구에서는 적정온도가 유지되지 않을 경우 온도 변화(20 °C, 25 °C, 30 °C 및 35 °C)에 따른 피해범위를 살펴보았다.

#### 2.2.2 긴급차단밸브 위치

장외영향평가의 최악의 사고시나리오 및 대안의 사고시나리오의 누출량 산정 기준은 제조·사용시설의 경우에는 차단밸브 등으로 구획된 개별 제조·사용 시설의 최대수량으로 한다[7]. 이때 긴급차단밸브는 배관 상에 설치하여 주변에서의 화재 또는 위험물질 누출 시, 원격 조정으로 배관상의 흐름을 차단할 수 있는 차단밸브 또는 그러한 기능을 갖는 컨트롤밸브로 정의할 수 있다[12]. 현재 국내 정수장에서는 긴급차단밸브가 설치되어 있는 매니폴더 배관은 25A, 브랜치 배관의 사이즈는 10A를 사용하고 있다. 본 연구에서는 긴급차단밸브를 매니폴더 배관에 설치된 경우와 각 브랜치 배관에 긴급차단밸브가 설치된 경우를 구분하여 피해범위를 산정하였다.

#### 2.2.3 시설의 밀폐정도

사고시나리오 선정에 관한 기술지침에는 건물의 밀폐정도를 Table 3과 같이 3가지 형태(일반형, 밀폐형, 봉쇄형)로 나누어 각 밀폐수준에 따라 완화율을 차등 적용할 수 있게 하고 있다. 일반형은 건물 내부(실내)에 설치된 설비로 출입구 및 창문들이 상시 닫혀 있는 형태로 정의되며, 가스의 경우 완화율 45%, 액상의 경우 완화율 90%가 적용되는 것으로 가정하고 있다. 밀폐형은 누출 시 외부공기 유입 댐퍼 등이 자동으로 닫히고 대기오염처리시설 등으로 자동으로 배기되는 시설을 갖춘 경우로서, 가스는 완화율 70%, 액상은 99%의 완화율을 적용할 수 있다[7]. 봉쇄형은 폭발 방산구 외 창 또는 개구부 등이 없이 완전히 밀폐된 시설로서 가스는 83%, 액상은 99.9%의 완화율을 적용할 수 있다[7].

**Table 3.** Mitigation rate according to Enclosure type of Building

Building Type	Mitigation Rate	
	Gas	Vapor (Liquid pool)
Indoor	45%	90%
Enclosure	70%	99%
Containment	83%	99.9%

일반적인 정수장은 액체염소가 봄베 등에서 기화하여 배관을 통해 정수시설로 이송되기 때문에, 배관 등에서 누출사고가 발생하면 해당 염소는 가스 상태로 누출된다. 따라서, 밀폐수준에 따른 완화율은 가스상태 기준으로 일반형은 45%, 밀폐형은 70%를 적용할 수 있다. 정수장에서 일반형이 적용되기 위해서는 출입구 및 창문들이 닫혀 있는 실내이어야 한다. 밀폐형이 적용되기 위해서는 (1) 누출감지 시 전동 댐퍼들이 자동으로 닫혀 누출이 감지된 실의 공기만을 중화하고 (2) 흡입팬을 통하여 누출된 가스를 중화탑에 이송시켜 중화하여 대기로 방출하는 시스템에 해당할 경우 밀폐형이 적용 가능하다. 봉쇄형의 경우는 완전히 밀폐된 시설에 해당하므로 본 연구에서 봉쇄형은 제외하고, 동일 노출조건에서 밀폐정도에 따른 피해범위 감소율을 일반형과 밀폐형으로 구분하여 분석하였다.

밀폐조건에 따른 영향범위 산정을 위해서는 사고시나리오의 용기 1개(1,000 kg)의 매니폴더 배관 및 브랜치 배관에서 누출이 발생하여 건물 외부로 확산이 발생할 경우를 가정한다.

### III. 연구결과

#### 3.1 운전온도·압력에 따른 피해범위 변화

일반적으로 포화액상으로 저장된 액상물질이 대기 중으로 누출되면 플래쉬 현상에 의해 순간적으로 누출된 물질의 일정 비율이 기화되는데 기화되는 비율은 식(1)과 같이 누출물질의 온도(K°)에 비례한다.

$$f_v = \frac{m_v}{m} = \frac{C_p(T_o - T_b)}{\Delta H_v} \quad \text{식(1)}$$

여기서,

$\Delta H_v$  : 누출물질의 증발잠열(kJ/kg)

$C_p$  : 누출물질의 액체의 열용량(kJ/kg·K°)

$T_o$  : 누출물질의 온도(K°)

$T_b$  : 누출물질의 끓는점(K°)

이렇게 산정된 기화비율에 의해 이상(Two Phase)으로 누출된 물질의 대기 중 기상 유입량을 산정할 수 있다. 액화염소시설 안전관리매뉴얼[14]에 따르면 겨울철에 염소 용기 저장실 내의 온도가 낮아지면 용기의 기화량이 저하되기 때문에 실내온도를 20℃ 정도에 맞춰 압력을 일정하게 유지하여야 한다. 그러나 여름철 태양 복사열의 영향을 받아 내부온도가 너무 높아지거나, 겨울철에 난방기 등을 사용

하여 내부온도가 높아지는 경우 봄베의 온도가 증가하여 공급되는 가스의 압력이 증가하고 결국은 기화율이 증가하여 그 피해범위 또한 증가할 수 있다. 온도변화에 따라 염소 누출로 인한 피해범위가 어떻게 달라지는지를 확인하기 위하여 35℃를 기준으로 온도가 낮아질 경우에 피해범위가 얼마나 감소하는지를 살펴보았다. 그 결과, Table 4와 같이 온도가 낮아질수록 기화비율이 낮아지며 피해범위가 감소하는 것을 알 수 있었다. 즉, 최악의 사고시나리오에서는 온도가 35℃에서 20℃까지 감소하면 피해범위는 약 17.6% 감소하였고, 대안의 사고시나리오에서는 약 31.6%가 감소하는 것으로 나타났다. 이는, 온도가 낮아질수록 운전 압력이 감소하고 동시에 누출지점에서의 기화율 또한 감소하여 피해범위가 줄어드는 것으로 예측된다.

이러한 결과는 액화염소 봄베가 설치된 건물의 온도가 높아지면 기화율이 증가하고 그로 인한 피해도 커진다는 것을 말해준다. 따라서, 액화염소 봄베를 설치하는 장소는 태양 복사열의 영향을 최소화 할 수 있는 실내공간에 설치하고 특히, 건물온도가 최대 높아질 수 있는 여름철에는 건물의 온도를 낮게 유지하는 것이 중요하다. 또한, 설비를 자주 점검하여 사고가 발생하지 않도록 해야 한다. 다만, 온도를 낮게 유지하기 위해서 창문 등을 통해 환기하는 경우는 누출률 완화효과를 감소시키기 때문에 신중하게 접근해야 한다.

#### 3.2 긴급차단밸브 위치에 따른 피해범위 변화

사고로 인한 영향은 누출률에 따라 그 범위가 달라지며, 모두 누출공의 크기에 비례한다. 고압의 저장탱크에서 염소가 누출될 때 초기 물방울로 떨어

**Table 4.** Change of consequence distance according to temperature and pressure decreasing

Temperature (°C)	Evaporation rate(%)	Consequence Distance			
		Worst case(m)	Decreasing rate(%)	Alternative case(m)	Decreasing rate(%)
35	25	1,401	0	748	0
30	23	1,322	5.6	660	11.8
25	21	1,230	12.2	581	22.3
20	19	1,155	17.6	512	31.6

지는 비율은 누출공의 크기가 클수록 높고 독성구름의 최대 확산거리 또한 누출공의 크기가 클수록 멀리 확산된다[15]. 누출공의 크기는 사고시나리오 구간 내에서 유해화학물질을 취급하는 단위설비에 연결되어 누출이 발생할 수 있는 가장 큰 연결구 배관 직경에 따라 결정된다.

일반적으로 사고시나리오 구간은 해당 단위설비의 인입측 플랜지부터 연결된 단위설비의 인입측 플랜지까지로 선정하며, 연결된 배관에 긴급차단밸브가 설치된 경우에는 그 전단까지 시나리오 구간으로 구획할 수 있다[7]. 따라서 긴급차단밸브의 위치는 누출공의 크기를 결정하는 중요 인자라 할 수 있다.

염소 등을 공급하는 배관 등에 긴급차단밸브를 설치하는 방법은 두 가지 방법으로 구분된다. 첫째는 Fig. 1과 같이 브랜치 배관을 사용하여 보배와 매니폴더 배관을 연결하고 긴급차단 기능이 포함된 컨트롤 밸브를 설치하는 방법이다. KOSHA GUIDE P-10-212(소형 염소설비의 안전작업 기술지침)[16]에서는 연결되는 보배의 수량은 최대 6개를 권장하고 있다. 두 번째 방법은 Fig. 2와 같이 각 보배의 브랜치 배관의 끝단에 긴급차단밸브를 설치하고 매니폴더 배관 끝단에 컨트롤 밸브를 설치하는 방법이다.

Fig. 1의 구조인 경우에는 염소 용기와 컨트롤밸브 사이의 지점에서 염소가스가 누출되면 각 용기(총 3개)에서 액화 가스가 모두 누출될 수 있다. 따라서 누출량은 매니폴더 배관에 연결된 용기의 저장량을 모두 합해야 하며, 누출공의 크기도 매니폴

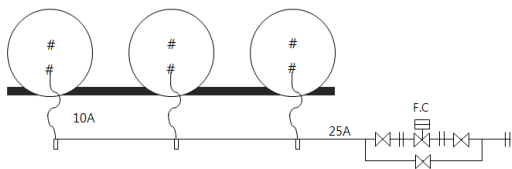


Fig. 1. Scheme of chlorine supply system without shut-off valve on each bombe.

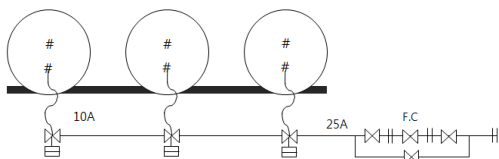


Fig. 2. Scheme of chlorine supply system with shut-off Valve on each bombe.

더 배관의 크기로 산정하여야 한다. 따라서 KOSHA GUIDE에서 권장하고 있는 것처럼 최대 6개까지 용기가 연결된 경우 각 사고시나리오 조건에서 그 피해범위를 살펴보면, Table 5와 같이 용기가 많이 연결될수록 그 피해범위가 큰 것으로 나타난다.

반면, Fig. 2의 구조인 경우에는 누출과 동시에 각 용기 끝단에 설치된 긴급차단밸브가 신속하게 작동하므로 누출량은 긴급차단밸브가 직접 연결되어 있는 용기의 용량이 되며, 누출공의 크기도 브랜치 배관의 직경으로 산정할 수 있다. 따라서 긴급차단밸브의 설치위치에 따라 사고시나리오 구획 내 취급·저장량과 누출공의 크기가 달라질 수 있다.

Table 6은 Fig. 1과 Fig. 2의 구조에 대한 각각의 사례를 비교한 것이다. 즉, 매니폴더 배관에 긴급차단밸브가 설치되어 있을 경우 최대로 사용하는 용기의 개수(6EA) 및 매니폴더 배관의 누출공(25A)이 반영된다. 반면에, 브랜치 배관별 긴급차단밸브가 설치되어 있는 경우는 직접 연결된 용기의 개수(1EA) 및 브랜치 배관의 직경(10A)을 반영된다. 그

Table 5. Increase of Consequence distance according to adding Bombe from 1 to 6

No. of Bombe	Total Releases amount(kg)	Worst case	
		Release rate(kg/sec)	Consequence Distance(m)
6	6,000	10.0	4,257
5	5,000	8.3	3,743
4	4,000	6.7	3,205
3	3,000	5.0	2,629
2	2,000	3.3	2,006
1	1,000	1.7	1,230

Table 6. Consequence distance at each accident scenario of case 1,2

No. of Bombe (Hole Size)	Worst case(m)	Decreasing rate(%)	Alternative case(m)	Decreasing rate(%)
6(25mm)	4,257	0	593	0
1(10mm)	1,230	71.0	184	69.0

Table 7. The effect range in accordance to degree of sealing

Leakage point	Scenario Type	Consequence Distance		
		Indoor Type(m)	Enclosure Type(m)	Decreasing rate(%)
Main Header (25 mm)	Worst	1,230	806	34.5
	Alternative	593	404	31.9
Branch Hose (10 mm)	Worst	1,230	806	34.5
	Alternative	184	120	34.8

결과, 최악의 사고시나리오 피해범위는 약 71.0% 감소하고, 대안의 사고시나리오에서는 약 69.0% 감소효과가 있을 것으로 예측된다.

따라서 피해범위 최소화 관점에서 보면 메인 배관상에 긴급차단밸브를 설치하는 것보다는 각 용기의 브랜치 배관 끝에 긴급차단밸브를 설치하는 것이 유리할 수 있다. 따라서 대도시 주변에 인접하여 충분한 안전조치가 필요한 경우에는 긴급차단밸브의 설치 위치를 조정하는 것이 안전성 확보를 위한 하나의 방안으로 작용할 수 있다. 또한, 매니폴더 배관에는 최소한의 용기를 연결하여 사용하는 것이 권장되며, 부득이하게 다수의 용기를 연결할 경우에는 매니폴더 배관의 연결부위에 긴급차단밸브를 설치하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 시설의 밀폐정도에 따른 피해범위 변화

염소가스 취급시설이 건물내부에 있는 경우 건축물의 밀폐정도에 따라 외부로 누출되는 양이 달라지기 때문에 피해범위도 달라진다. 또한, 실내에서 누출이 발생할 경우에는 건물의 밀폐 또는 환기 정도에 따라 피해범위를 완화시킬 수 있다. KORA 프로그램에서는 밀폐정도에 따른 완화율 적용 시 액화염소가 이상(Two phase)으로 누출되어 대기중으로 확산되는 대기흡입률에 완화율이 적용된다.

염소 공급시스템 중 매니폴더 배관과 브랜치 배관에서 누출이 발생할 경우 각 건물의 밀폐정도가 높아질수록 대기흡입률이 완화되고 동시에 피해범위도 감소한다. Table 7은 최악 및 대안의 사고시나리오 조건에서 피해범위를 나타낸다. 먼저, 최악의 사고시나리오 조건에서 일반형 건물(완화율 45%)은 1,230 m까지 영향을 미쳤고, 밀폐형 건물(완화율 70%)에서의 피해범위는 806 m로 나타났다. 이러한 결과는 밀폐형 건물에서 누출된 경우에는 피해범위가 약 34.5% 정도 감소함을 말해준다. 대안의 사고

시나리오 조건에서는 매니폴더 배관(누출공 크기 25 mm)에서 누출될 경우, 그 피해범위는 일반형은 593 m, 밀폐형은 404 m로 나타났다. 브랜치(누출공의 크기 10 mm) 배관에서 누출될 경우에는 일반형 184 m, 밀폐형 120 m으로 나타났다. 이 경우 최악의 사고시나리오와 마찬가지로 밀폐형 건물에서 누출될 경우는 일반형 건물에서 누출될 경우보다 그 피해범위가 감소하는데 매니폴더 배관의 누출은 약 31.9%, 브랜치 배관의 누출은 약 34.8% 정도 감소하는 것을 알 수 있다.

상기결과를 통해 밀폐정도에 따른 피해범위 감소 효과가 상당한 것으로 확인되었으므로 염소가스 취급설비는 밀폐형 건물(염소 누출 시 외부공기 유입 댐퍼 등이 자동으로 닫히고 대기오염처리시설 등으로 자동으로 배기되는 시설)에서 운영되도록 해야 한다

## VI. 결론

본 연구는 염소를 취급하는 정수처리공정에서 누출사고의 피해범위를 감소시킬 수 있는 방안 중, 취급공정의 운전온도, 긴급차단밸브 설치 및 건물 내부 형태 등이 미치는 효과에 대해 연구하였다. 연구에 사용된 사고시나리오 조건과 기상조건 등은 환경부 화학물질안전원 기술지침에 따랐고 피해범위 산정은 환경부 화학물질안전원의 KORA 프로그램을 활용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 염소 취급공정에서 운전온도(20 ℃, 25 ℃, 30 ℃, 35 ℃)에 따른 피해범위를 산정한 결과, 35 ℃를 기준하여 운전온도가 낮을수록 피해범위가 감소함을 알 수 있었다. 최악의 사고시나리오의 경우는 약 17.6%, 대안의 사고시나리오의 경우는 약 31.6%가 감소하였는데 이러한 결과는 온도가 낮을수록 액화염소의 기화량이 감소하고 동시에 누출지점에서의 기화율 또한 감소하여 피해범위가 줄어드는 것으로 예측된다. 따라서, 염소 공급시스템이 설치되는 건물은 태양의 복사열의 영향을 적게 받을 수 있는 구조로 설계하고 겨울철 내부의 온도는 적정 온도로 유지 관리하여야 한다.

2) 다수의 염소 용기를 매니폴더 배관에 연결하여 공급하는 시스템에서는 염소가스의 흐름을 신속하게 차단할 수 있도록 긴급차단밸브를 매니폴더 배관에 설치하거나, 각 용기의 연결부위에 각각 설치할 수 있다. 긴급차단밸브의 설치위치에 따른 피해범위를 살펴보면, 용기별 브랜치 배관에 긴급차

단밸브가 설치되어 있는 경우가 매니폴더 배관에 긴급차단밸브가 설치되어 있는 경우보다 최악의 사고시나리오는 71%, 대안의 사고시나리오는 69.0%가 감소하였다. 이처럼, 사고영향을 완화하기 위해서는 다수의 용기를 설치하는 것보다 최소한의 용기를 설치하여 사용하는 것이 효과적이며, 부득이 다수의 용기를 연결하여 사용할 경우에는 각 용기에 긴급차단밸브를 설치하여 매니폴더 배관 또는 브랜치 배관에서 누출되더라도 각 차단밸브를 신속하게 작동시켜 누출량을 최소화 하여야 한다.

3) 염소 공급시스템이 건물내부에 설치될 경우에는 건물의 형태에 따라 피해범위가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 일반형 건물에 비해 밀폐형 건물은 매니폴더 배관에서 누출이 발생할 경우에 최악의 사고시나리오의 경우는 약 34.5% 대안의 사고시나리오는 약 31.9%로 완화효과가 있었으며, 브랜치 배관에서 누출이 발생할 경우에는 각각 34.5%와 34.8%의 완화효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 염소 공급시스템은 외부로 유입되는 대기흡입률을 최소화할 수 있도록 밀폐된 구조물에 설치하여야 한다.

## REFERENCES

- [1] Zhang, N., Su, B. N., and Huang, H., "Personal Decision-Making Plan Under Hazardous Gas Leakage", Institute of Public Safety Research, Department of Engineering Physics, Tsinghua University, 2-3, (2017)
- [2] 화학물질안전원, "사고대비물질 키인포가이드", 48-49, (2017)
- [3] Robert, L. B., Charles, H. H., and David, W. W., "A case study of chlorine transport and fate following a large accidental release", Atmospheric Environment, Volume 62, 184-185, (2012)
- [4] Yoon, Y. S., Ki, J. K., and Jin, S. L., "Development of Chemical Accident Response Information Sheets for Chlorine", Korean Journal of Hazardous Materials, 5(1), 26-34, (2015)
- [5] Kim, J. K., Byun, H. S., "Hazard Assessment on Chlorine Distribution Use of Chemical Transportation Risk Index", Korean Journal of Chemical Engineering, 52(6), 756-757, (2014)
- [6] Kim, S. M., Jang, S. I., and Kim, T. O., "Analysis of Toxic Effect in the Small Scale Release of Chlorine Gas", Journal of Chemical Engineering, 9(2), 3030-3033, (2003)
- [7] 화학물질안전원, "사고시나리오 선정에 관한 기술지침", 3-5, (2017)
- [8] Adnan, M. A., Samih, S. A., and Aya, T. H., "Chlorine gas poisoning", Journal of the Royal medical services, 11(2), 34-37, (2003)
- [9] KOSIS정수시설([http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT\\_106N\\_06\\_0100055](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_06_0100055))
- [10] 환경부, "정수처리기준 해설서", 174-179, (2013)
- [11] Finis Cavender, "Development of Emergency Response Planning Guidelines(ERPGs)", 129, (2008)
- [12] KOSHA, "긴급차단밸브의 설치에 관한 기술지침", D-11-2012, (2012)
- [13] EPA, "Risk Management Program Guide for Consequence Analysis(appendix D)", (2009)
- [14] 한국가스안전공사, 액화염소 사용시설 안전관리 매뉴얼, 34-105, (2009)
- [15] Lee, J. Y., Chon, Y. W., and Hwang Y. W., "A Study on Risk Assessment According to Pool Vaporization of Liquefied Chlorine", Korean Journal of Hazardous Materials, 5(2), 68-71, (2018)
- [16] KOSHA, "소형 염소설비의 안전작업 기술지침", P-10-212, (2012)