한국환경보건학회지, 제44권 제2호(2018)
J Environ Health Sci. 2018; 44(2): 124-132
pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2018.44.2.124

원 저 Original articles

화학사고 장외영향평가 지원 프로그램(KORA)의 활용도 증대를 위한 제언

김정곤* · 류지성*† · 류태권* · 곽솔림* · 임형준* · 최우수* · 정진희* · 이지은* · 임동연** · 윤준헌*
*화학물질안전원 사고예방심사과, **(주)세이프티아

Suggestions for Increasing Utilization of KORA for Supporting the Off-site Risk Assessment System

Jungkon Kim*, Jisung Ryu*†, Taekwon Ryu*, Sollim Kwak*, Hyeongjun Lim*, Woosoo Choi*, Jinhee Jung*, Jieun Lee*, Dongyeon Lim, and Junheon Yoon***
**National Institute of Chemical Safety*
***SafeTia Co., Ltd.*

ABSTRACT

Objectives: All enterprises intending to install and operate hazardous chemical handling facilities should prepare an off-site risk assessment (ORA) report that evaluates the impact of potential chemical accidents on the surrounding environment and population. This study was conducted to introduce the process of development and the functioning of the Korea Off-site Risk Assessment support tool (KORA) developed by the National Institute of Chemical Safety and to suggest manners to increase its utilization. Additionally, this article provided an overview of KORA.

Methods: In order to identify problems with and refinements for KORA, the required items for each phase of KORA were derived by analyzing the Chemical Control Act and related administrative regulations.

Results: The functions of KORA made receptor-considered assessment of chemical accidents possible, but several limitations were found in particular phases, such as the analysis of impact range, consideration of sensitive receptors, and assessment of environmental receptors.

Conclusion: In this study, we suggested manners to increase the utilization of KORA. It is anticipated that the further research suggested in the study could contribute to the stabilization of the KORA system.

Keywords: Off-site risk assessment system, Chemical Control Act, chemical accidents, Korea off-site risk assessment supporting tool

I. 서 론

화학물질은 인류 삶의 질을 향상시키고 풍요롭게 하였지만, 전 지구적으로 취급량이 증가하면서 화학사고의 발생 빈도도 함께 증가하였다. 또한, 대규모 화학사고의 발생으로 여러 국가에서 화학물질의 규제와 관리를 위한 체계가 수립되었다. 유럽에서는 1976년 이탈리아 세베소에 위치한 화학공장에서 염소가스와 다이옥신이 누출되면서 많은 수의 인명피해가 발생하였고 이로 인해 "유해화학물질에 의한

†**Corresponding author:** National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34111, Republic of Korea, Tel: +82-42-605-7044, E-mail: jsgood4u@korea.kr
Received: 14 February 2018, Revised: 14 March 2018, Accepted: 30 March 2018

중대사고 위험관리를 위한 지침(Seveso Directive)"이 제정되었다.[1] 또한, 이 지침은 유럽연합의 여러 회원국이 시행하고 있는 공정안전관리 제도 등의 사고예방 가이드라인이 되었다. 미국에서는 1989년 휴스턴에서 폴리프로필렌 반응기가 폭발하면서 24명이 사망하는 대형재해가 발생하였고 1992년 근본적인 재해예방을 위해서 공정안전관리 제도가 시행되었다.[2]

국내에서도 불화수소 누출사고 등과 같은 대규모 화학사고가 반복되면서 사람들의 화학사고에 대한 관심과 우려가 높아졌다.[3,4] 또한, 화학물질을 취급하는 사업장에서 잠재적인 위험이 외부에 미치는 영향을 고려한 종합적인 위험관리 활동의 필요성이 제기되었다.[5-9] 이에 따라 환경부는 2013년 유해화학물질 관리법을 전면 개정하여 2015년부터 화학물질관리법을 시행하였고 이와 함께 유해화학물질 취급 사업장(이하 "취급 사업장")의 화학사고 위험을 다각도로 관리하기 위한 장외영향평가 제도, 유해화학물질 취급시설 기준, 화학사고 즉시신고 제도 및 위해관리계획 제도 등을 도입하였다.[10] 장외영향평가 제도는 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하려는 사업장은 착공 30일 전에 화학사고 발생으로 사업장 주변의 사람이나 환경에 미치는 영향을 평가한 유해화학물질 화학사고 장외영향평가서를 작성·제출하도록 하여 해당 유해화학물질 취급시설(이하 "취급시설")의 안전성을 위험도에 근거하여 확보함으로써 화학사고를 미연에 예방하는 것이 핵심이라 할 수 있다.[10,11]

국내·외적으로 화학사고 시 영향범위를 산정하고 정량적 위험성 평가 기능을 가진 상용 프로그램은 다수 있으나 대부분 구동방법이 복잡하거나 전문성이 요구된다. 또한 무료로 배포되는 프로그램은 평가 수행기능의 활용면에서 제약이 있어 사업장에서 운용하기에는 한계가 있었다. 이에 화학물질안전원에서는 2014년 유해화학물질을 취급하는 사업장에서 화학사고 장외영향평가 수행을 지원하는 프로그램(KORA: Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool)을 개발·배포하였다. 처음 시행되는 제도에 맞춰 개발된 KORA는 사업장의 많은 관심과 활용을 이끌어 냈으나 활용도와 편의성 등을 더 높이기 위한 고도화를 2년에 걸쳐 2회 수행하였다. 본 논문에서는 KORA의 핵심기능인 화학사고 장외영향평가 즉, 취급시설의 화학사고 시 영향범위 산정 및 위험도 계산을 프로그램 상으로 구현하는 체계와 과정을 소개하고, 향후 KORA의 활용을 증대시키기 위해 필요한 장외영향평가 제도 및 KORA의 개선점을 제안하기 위해 수행되었다.

II. 연구 방법

KORA의 문제점을 도출하기 위해 장외영향평가 절차와 각 단계별 요구사항을 파악하고 이를 수행하는 KORA의 기능들을 분석하였다. 장외영향평가 절차는 관련 법령[10]과 행정규칙[12]을 그리고 KORA의 기능은 개발 및 고도화 수행 보고서[13]를 참조하였다.

III. 결 과

1. 장외영향평가 절차

장외영향평가서는 기본평가정보, 장외평가정보 그리고 다른 법률과의 관계정보로 구성되어 있으며(Table 1), 이 중 공정 위험성 분석, 사고시나리오의 가능성 및 위험도 분석, 사업장 주변지역 영향평가 및 안전성 확보 방안으로 구성된 장외평가정보가 장외영향평가서의 핵심이다.[12] 이 정보를 통해 해당 취급설비의 화학사고에 대한 위험도가 받아들일 수 있는 수준(acceptable level of risk)인지 평가되기 때문이다. 위험도를 분석하기 위해서는 해당 취급설비에서 유해화학물질을 취급하는 공정조건으로 인해 화학사고를 유발할 수 있는 위험요인을 분석하여 사고시나리오를 도출하고 이 사고시나리오의 영향범위 내 거주민수와 취급설비에서 화학사고가 발생할 수 있는 확률(사고발생빈도)을 산출하여야 한다. 사고시나리오는 설비에서 유해화학물질이 최악의 조건으로 유출·누출되어 사람 및 환경에 미치는 영향이 최대인 경우(최악의 사고시나리오)와 현실적인 발생 가능성에 의한 경우(대안의 사고시나리오)로 나뉘어(Table 2) 사업장 밖의 사람과 환경에 미치는 영향이 평가된다.[14] 거주민수와 사고발생빈도로 결정된 위험도가 높은 수준일 경우 거주민수를 결정하는 사고시나리오 영향범위와 사고발생빈도를 감소시키기 위해 장외영향평가에서 "완화장치"로 표현되는 안전장치 추가 및 공정조건 변경 등 다방면의 안전성 확보 방안을 모색한다. 이와 같은 과정의 반복을 통해 해당 설비의 화학사고 발생으로 인한 위험도를 최소화할 수 있는 설치와 운전조건이 결정되게 된다(Fig. 1).

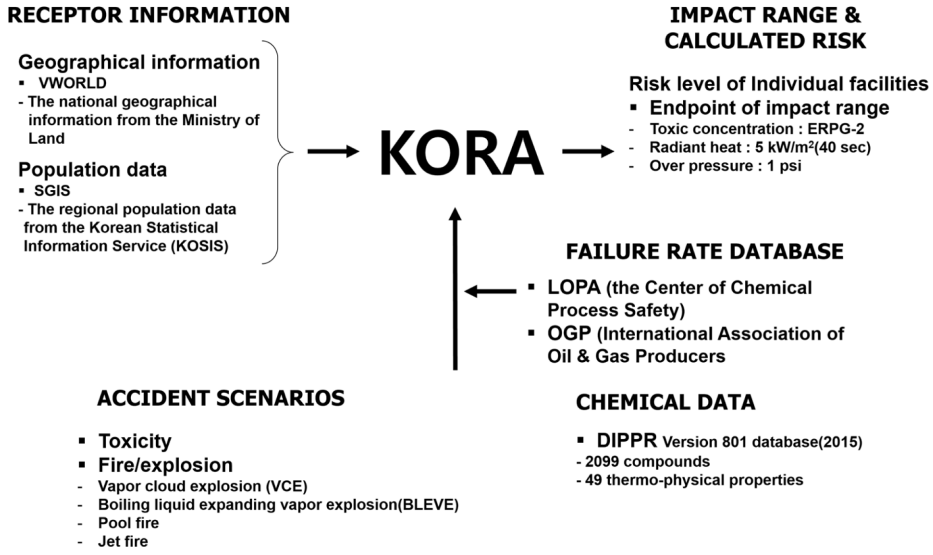

Fig. 1. The calculation procedure of impact range and risk level of hazardous chemical handling facilities using the Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool (KORA) to support the preparation of off-site risk assessment reports.

2. KORA 구성 및 설계

산업설비와 같은 대규모 시설물들은 사고가 발생하게 되면 그 피해가 크므로 입지허가 및 설계단계에서부터 시설 유지 보수에 이르기까지 안전성 확보가 주요한 쟁점이 된다. 하지만, 실물이 없는 상황에서 유사시 피해 규모와 안전성 확보를 위한 조치의 실행 여부를 결정하는 것은 쉽지 않으므로 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 소프트웨어가 개발되어 왔다. 국내의 경우 석유화학, 정유, 가스, 전력 등의 분야에서 설비의 노후화로 인한 보수나 대체 시기 및 우선순위의 결정을 돕는 위험기반검사 프로그램이나[15] 안전보건공단의 화학사고 위험경보제 지원시스템이[16] 대표적인 사례이다. 국외의 경우, 미국의 해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 개발하고 미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency)과 공동으로 활용하는 화학사고 피해예측 프로그램인 ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)[17,18]가 있다.

KORA는 별도로 첨부해야 하는 서류 이외에는 기본적으로 장외영향평가서의 13개 작성항목(Table 1)을 프로그램에서 작성할 수 있도록 설계되었다. 이를 위해 KORA는 취급설비에서 발생할 수 있는 화재, 폭발, 독성확산 사고의 영향범위를 평가하고 사고발생빈도 분석을 적용하여 최종적으로 사고시나리오에 대한 위험도를 산정한다(Fig. 1).

KORA는 사업장의 지리적 위치와 지형상의 피해거리 반경을 기초로 주요 기능이 구현되므로 지리정보서비스(GIS: Geographic Information System) 기반 구축이 필수적이다. 이를 위해 국토교통부에서 구축한 브이월드 지도 서비스[19]를 활용하여 KORA를 운영하는데 필요한 지도 기반을 구축하였으며 브이월드가 제공해주는 공개 응용 프로그램 프로그래밍 인터페이스(API: Application Programming Interface)를 활용하여 다양한 기능을 구현하였다. 구축된 GIS 기술기반 위에 구현한 관련 세부 기능은 1) 드로잉 API를 이용한 지도상 선 그리기 및 선 끝점 좌표 획득, 2) 마우스 클릭 이벤트를 이용한 특정 위치 지정 및 좌표 획득, 3) 지도 상 이미지 형태의 마커 지정 및 이동·삭제, 4) 지도 상 폴리곤 형태 개체 표현 및 삭제, 5) 지도상 특정 개체를 화면중심으로 이동, 6) 보고서를 위한 백그라운드 정적 맵 생성, 7) 지도 확대 축소 및 거리 및 면적 측정 등 이다.

브이월드는 외국계 지도서비스(구글, 빙, 야후 등)가 대부분 사용하고 있는 EPSG 900913 좌표계를 사용하고 있다. EPSG 900913 좌표계는 기본적으로 미터 단위를 사용하나 위치에 따라 비율이 달라져 KORA와 같이 지도상에 피해반경과 장외거리 등 다양한 요소를 좌표로 지정하면서도 정확한 거리를 유

Table 1. Components of the off-site risk assessment report

I. Basic assessment information	• General information on the establishment and summary of hazardous chemical-handling facilities • List of chemicals, information on their hazard, etc. • List and specification of hazardous chemical-handling facilities • Process information, operation procedure, attention points • Information on the location of the facilities • Information on surrounding areas • Weather information
II. Off-site assessment information	• Process risk analysis • Accident scenarios selection • Assessment of effect on the surrounding area of the establishment • Risk levels assessment • Ensuring the safety measures
III. Information on relations with other acts	• Information on relations with other acts

Table 2. Modelling assumptions for consequence assessment in Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool (KORA)

		Release scenario	
		Worst	Alternative
Endpoint	Toxic concentration	ERPG-2 etc.	
	Thermal radiation	5 kW/m^2 (40s)	
	Explosive overpressure	1 psi	
Weather condition	Wind speed	1.5 m/s	average over a year
	Temperature	25°C	
	Humidity	50%	
	Atmospheric stability	F (very stable)	D (neutral)
Ground roughness (Topography)		open country or urban	
Temperature of released substance		applied depending on the phase*process temperature	
Release height		at ground level	appropriate conditions considering site-specific factors
Release amount and duration		all releases for 10 min	

*For liquids (other than gases liquefied by refrigeration), use the highest daily maximum temperature, based on data for the previous a year, or at process temperature, whichever is higher. Assume gases liquefied by refrigeration at atmospheric pressure are released at process temperature.

지해야 되는 상황에서는 항상 오차를 수반하게 된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 계산된 피해반경이나 장외거리를 표현할 때는 브이월드에 적용된 EPSG 900913 좌표 체계를 미터 단위의 비율변경이 없는 횡축 메르카토르(TM: Transverse Mercator) 좌표로 변경하여 정확한 좌표를 계산하였다. 이를 다시 EPSG 900913 좌표로 변경하여 브이월드에 적용하는 방식을 사용하였다. 또한, EPSG 900913 좌표는 TM 좌표로 바로 변경하기 어렵기 때문에 전지구 좌표계(WGS84: World Geodetic System 1984)를 중간단계로 사용하여 두 개의 좌표체계를 서로 변환하였다. 이상의 변환을 통해 피해반경이나 장외거리를 표현하는 선 정보를 브이월드상에 정확히 나타낼 수 있었다.

장외영향평가서에는 사업장에서 발생하는 사고 피해반경 내의 인구, 주택, 사업장 등 다양한 통계정보의 작성을 요구한다. KORA에서는 통계청에서 운영하는 오픈 API인 통계지리정보 서비스(이하 S-open

API)를 활용하여 필요한 정보를 활용할 수 있도록 구현하였다. S-open API는 http 프로토콜 방식으로 구축되어 인터넷이 연결된 환경에서는 어디에서나 자유롭게 사용할 수 있다. S-open API를 통해 얻을 수 있는 통계정보의 종류는 총인구수, 총가구수, 총 사업장수 그리고 농작지 면적(벼, 보리)이다.

3. 화학사고 취급시설 영향범위 산정

앞서 언급한 바와 같이 장외영향평가 취지가 사업장내 취급설비의 위험성을 사전에 판단하여 설계단계에서 이를 반영하는 것이므로 영향거리 산정 및 위험도 산정은 KORA의 가장 중요한 요소이다. 피해거리산정은 화학설비에서 발생할 수 있는 다양한 사고의 유형(독성, 화재, 폭발)으로 도출되어야 하므로 이를 위한 수학적 모델을 활용하였다. 화학사고의 피해를 산정하기 위해 사용되는 수학적 모델은 예외없이 화학물질의 물성치를 사용한다(Table 3). 화학물질의 물성치는 물질의 고유 특성이나 온도 및 압력에 따라 그 성질이 변화하는 특성이 있어 이를 사용하기 위해 KORA에서는 물성치 모듈이 구현되어 있다. 물성치 모듈의 주요 기능은 물성치를 저장하고 있는 데이터베이스로부터 물성치 기본 정보를 입력받고 사용자가 설정한 온도와 압력에 따른 정확한 물성치를 산정하여 누출이나 영향모델과 같은 타 모델에 정확한 물성치를 공급해 주는 역할을 하게 된다. KORA에 구현된 물성치 모듈이 사용하는 물성치 기본정보는 미국화학공학회에서 제공하는 DIPPR (Design Institute for Physical Properties) 데이터를 사용하며 현재 약 2,099종을 제공하고 있다. 이 중 장외영향평가 대상인 유해화학물질은 175종에 불과해 KORA에서 영향범위를 산정하지 못하는 물질에 대해서는 화학사고 시 비상대응 이격거리[20]를 응용하여 적용하고 있다. 향후 KORA의 활용성을 높이기 위해서는 물성치 확보가 시급하다.

수많은 사업장에서는 단일물질뿐만 아니라 수용액 형태의 유해화학물질을 취급하고 있어, KORA에서는 18종의 수용액에 대한 영향범위 산정이 가능하도록 기능이 추가되었다(Table 4). 수용액의 영향범위 평가에 관한 특별한 이론적 배경이 정립되어 있지 않아 다음과 같은 가정을 전제로 수행된다.

- 수용액의 노출은 일반 액상물질과 동일한 누출 현상으로 간주한다.

Table 3. Summary of physical properties used for consequence assessment in Korea Off-site Risk Assessment supporting tool (KORA)

Physical properties	Units
Molecular weight	kg/kmol
Critical temperature	K
Critical pressure	Pa
Boiling point	K
Melting point	K
Heat of combustion	J/kg
Saturated vapor pressure	Pa
Latent heat of vaporization	J/kg
Liquid density	kg/m^3
Liquid heat capacity	J/(kg·K)
Air heat capacity	J/(kg·K)
Liquid viscosity	kg/(m·sec)
Second virial coefficient	-
Lower explosion limit	%
Upper explosion limit	%

- 수용액은 누출 후 지표면에서 증발되고 대기로 흡수되어 확산된다.
- 따라서, 수용액의 독성확산 평가를 위해 필요한 모델은 누출모델, 풀 증발모델 그리고 확산모델이다.
- 이에 필요한 물성치는 수용액의 액상밀도, 유해화학물질의 분자량과 부분증기압이다.

이와 같은 가정을 통해, KORA에서 단일물질과 동일하게 수용액에 대한 영향범위 평가가 가능하나, 앞에서 설명한 바와 같이 KORA에 탑재된 DIPPR은 단일 물질에 대한 물성치 데이터이다. 수용액의 물성치는 농도와 저장온도의 두 가지 요인에 따라 변화하므로 단일물질에 비해 물성치의 확보가 어렵다. 대표적인 화학사고 피해예측 프로그램인 ALOHA[17,18]도 수용액에 대한 평가를 이론적 기반으로 구현한 것이 아니라 수용액의 실험치를 이용하여 영향범위를 산정하고 있으며, 이러한 한계로 인해 5종의 수용액(hydrochloric acid, ammonia solutions, nitric acid, hydrofluoric acid, oleum)에 대해서만 영향범위를 산정하는 기능을 지원하고 있다. KORA에서는 수용액의 영향범위 산정을 위해 수용액을 물보다 증기압이 높은 물질과 혼합된 형태(기액 혼합)와 물과 비슷한 증기압을 가진 물질과 혼합된 형태(액액 혼합)로 대분류하고 다음과 같은 두 가지 방식을 통해, 산

Table 4. List of liquid solutions available to consequence assessment in Korea Off-site Risk Assessment supporting tool (KORA)

Hazardous chemicals	CAS No.	Content range (%)	Reference
Hydrochloric acid	7647-01-0	20-42	JSIA[28]
Ammonia solution	1336-21-6	≥30	Green[29]
Hydrofluoric acid	7664-39-3	37-70	Grayson[30]
Nitric acid	7697-37-2	69-99	Green[29]
Oleum	8014-95-7	4-65*	Kapias[31]
Formaldehyde	50-00-0	34-38	CAMEO Chemicals[32]
Toluene	108-88-3	<100	Raoult[33]
m-Xylene	108-38-3	<100	Raoult[33]
o-Xylene	95-47-6	<100	Raoult[33]
p-Xylene	106-42-3	<100	Raoult[33]
Phenol	108-95-2	<100	Raoult[33]
Formic acid	64-18-6	<100	Raoult[33]
Sulfuric acid	7664-93-9	<100	De Dietrich[34]
Ethyl acetate	141-78-6	<100	Raoult[33]
Hydrogen peroxide	7722-84-1	<100	EKA Chemical[35]
Methanesulfonic acid	75-75-2	<100	Raoult[33]
Sodium hydroxide	1310-73-2	<100	OxyChem[36]
Ethylene oxide	75-21-8	<100	Raoult[11]

*Values mean the compositions of sulfur trioxide in sulfuric acid.

정 가능한 물질을 18종으로 확대하였다. 첫째, 염화수소와 물이 혼합된 염산과 같은 기액 혼합의 경우, 저장온도에 따른 물성치를 이론적으로 예측할 수 없으므로 실측자료를 확보하고 수용액의 농도와 저장온도에 따른 증기압 변화자료를 3차원 보간(interpolation) 함수를 통해 증기압을 산정하는 방식이다.

$$VP = f(wt\%, T)$$

여기서, VP는 증기압, wt%는 혼합비, T는 저장온도이다. 염산, 암모니아수, 불산, 질산, 발연황산 및 포름알데히드 등에 이와 같은 방식을 적용하였고, 일정범위 내에서는 수용액의 확산 범위를 예측할 수 있다. 여기서 실험값의 최소 농도값 보다 지정된 농도가 낮은 경우는 최소값을 사용하고 최대 농도값보다 높은 경우는 범위의 최대값을 사용하도록 하고 있다. 둘째, 액액 혼합의 경우, 그 혼합비로 수용액의 밀도를 계산하고 라울의 법칙(Raoult's low)을 이용하여 증기압을 도출하였다. 확보된 수용액의 증기압으로부터 증발률과 바람속도의 상관식을 통해 지면의 액체풀에서 대기 중으로 유입되는 양을 산정하였고 기존의 확산모델을 활용하여 확산평가를 수행할 수 있도록 하였다. 액상물질의 증발률은 다음의 모델을 사용하였다.

$$QR = (0.284 \times U^{0.78} \times MW^{2/3} \times A \times VP)/(82.05 \times T)$$

이 모델은 미국 장외영향평가 가이드(Risk management program guidance for off-site consequence analysis)[21]에서 제시한 것으로, QR은 증발률, U는 풍속, MW는 분자량, A는 풀의 표면적, VP는 부분증기압, T는 수용액의 누출 온도이다.

화학사고는 화학물질의 누출에 의해 발생하므로 누출률을 정확하게 산정하는 것은 화학사고의 피해범위를 예측하는데 있어 매우 중요하다. KORA에서는 용기 혹은 배관으로부터 누출되는 누출률을 산정하기 위해 용기의 모양 및 누출되는 지점 그리고 누출되는 물질의 상(Phase) 등의 요소를 조합하여 1) 용기 내 구멍을 통한 액체의 누출, 2) 배관을 통한 액체의 누출, 3) 용기 내 구멍을 통한 기체의 누출, 4) 단열 배관 비초크 상태에서의 기체의 누출, 5) 단열 배관 초크 상태에서의 기체의 누출, 6) 액상풀에서의

증발 또는 비등에 의한 대기 누출, 7) 포화액상의 플레쉬 현상에 의한 대기 누출 등의 형태가 구현된다.

4. 화학사고 개별 취급시설 위험도 산정

KORA는 사고의 발생빈도를 예측하기 위해 LOPA (Layer of protection analysis)[22]와 OGP (International Association of Oil Gas Producers)[23]의 고장률 데이터를 탑재하여 사고피해범위와의 조합으로 위험도를 산정할 수 있도록 구축되었다. 또한, KORA는 미국 화학공정안전센터(CCPS: Center for Chemical Process Safety)에서 권장하는 완화장치에 의한 위험도 감소인자를 제공하여 사업장에 수동적 혹은 능동적 완화장치를 도입하였을 경우 위험도를 경감하는 효과를 반영함으로써 사업장이 위험도를 줄일 수 있도록 유도하고 있다. 하지만, 현재 취급설비의 고장률 데이터는 장외영향평가서 작성자가 선택할 수 있으나 판단을 위해서는 배경지식이 필요하여 혼란을 야기할 수 있는 여지가 있다.

화학사고 장외영향평가는 취급시설을 위험도를 바탕으로 관리하는 제도이다. 취급설비의 위험도는 다음과 같이 표현된다.

위험도 = 영향 범위 내 인구수 × 사고발생빈도
사고발생빈도 = Σ(고장빈도 × 위험도 감소율)

이와 같은 관리방식은 기존의 사업장 관리제도에서도 유사하게 적용되고 있지만, 앞서 기술한 바와 같이 장외영향평가 제도는 취급시설의 화학사고로부터 사업장 밖의 사람과 환경을 보호하고자 한다는 점에서 기존 제도와 분명한 차별점이 있다. 하지만, 현재로서는 사람에 대한 정량적 위험도평가만 가능하며 환경수용체에 대해서는 정성적 평가만 이루어지고 있다. 즉, 영향범위 내에 생태·경관보호지역, 상수·취수원, 습지보호지역 등 환경수용체의 포함 여부가 종합위험도를 결정하는 항목으로 고려된다.[12] 이는 화학사고 영향을 수용체에 대한 위험도로 관리하고자 하는 장외영향평가 제도의 취지에 부합하지 않으며, 현재의 환경수용체에 대한 평가방식은 고려대상이 일부에 한정된다는 한계를 갖고 있다.

IV. 결 론

화학물질관리법과 동시에 시행된 장외영향평가 제도의 조속한 안착을 지원하기 위해 개발된 KORA는 지금까지 제출된 장외영향평가서가 모두 이 프로그램을 활용하여 작성되었다는 점을 고려할 때, 개발목적을 충족했다고 할 수 있다. 하지만, 앞서 언급한 바와 같이 몇 가지 한계점이 나타났으며 KORA의 활용도를 높이기 위해서는 다음과 같은 문제점의 개선이 필요하다.

첫째, 화학사고 영향범위 산정을 위해서는 필수적으로 지원되어야 하는 유해화학물질의 물성치가 없는 경우가 많아 비상대응 이격거리를 적용함에 따른 위험도 도출에 불확실성이 크다. 이것은 위험물 운반사고 현장에서 초동 대응 요원과 일반 시민을 보호하기 위한 비상대응 이격거리가 KORA에서 영향범위를 계산하는 방식과 상이하여 발생한 문제점이다. 이러한 계산방식간의 차이와 국내 산업구조의 특이점이 합쳐질 경우 간과할 수 없는 오차가 발생할 수 있다. 예를 들어, 영향범위에 포함된 인근 사업장의 작업자는 주민수로 산정되는데 산업단지와 같이 사업장이 밀집된 지역에서는 영향범위에 따른 주민수의 증가가 폭이 클 수밖에 없다. 이는 직접적으로 위험도에 반영되므로 정확한 위험도 평가를 위해서는 시급히 조정되어야 할 부분이다.

둘째, 장외영향평가에서 적용하는 위험도를 결정하는 중요한 요소는 취급시설의 영향범위 내 인구수이다. 인구수는 거주민과 인근 사업장 근로자의 합으로 산출하는데 화학사고에 대한 민감도 측면에서 볼 때 일반주민과 근로자를 구분하지 않고 있다. 동일한 노출이라 하더라도 근로자와 일반주민 혹은 노약자와의 민감도는 다를 수 밖에 없으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

셋째, 취급시설의 화학사고 위험도를 도출하는 과정에서 결정해야 하는 고장률 데이터의 선택기준의 부재이다. 동일한 설비라 할지라도 적용된 고장률 데이터에 따라 위험도가 많게는 수백배까지 차이가 난다는 연구결과[24]가 보고되고 있으며, 현장에서도 고장률이 낮은 OGP 데이터를 적용하려는 경향이 나타나고 있다. 따라서, 불필요한 혼란을 제거하기 위해 이에 대한 명확한 적용기준의 마련이 필요하다.

마지막으로 환경수용체에 대한 정량적 위험도 평가방법을 개발해야 한다.[25] 현재의 위험도 평가방식은 사람에 편중되어 있으며, 이는 환경가치를 높이려 하는 환경부의 비전에도 부합하지 않는다. 화학

사고 관리체계가 발달한 유럽의 여러 국가에서는 화학사고로 인한 환경피해를 평가하는 제도를 시행하고 있다. 또한, 체코의 위험 및 취약성 지수(Hazard and Vulnerability Index), 스웨덴의 환경사고 지수(Environmental-Accident Index), 영국의 환경위해성 평가(Environmental Risk Assessment), 스페인의 환경위험도분석(Environmental Risk Analysis) 등을 검토하여 주변 생물환경의 독성지수, 지표수의 독성지수, 주변 생물환경의 화재지수의 조합으로 국내에 적용할 수 있는 화학사고 환경피해방법이 제안[8,9]된 바 있으므로 이 방법은 장외영향평가 제도에 도입하고 KORA에 반영하는 것을 적극적으로 고려할 필요가 있다.

화학물질관리법과 함께 시행된 장외영향평가, 위해관리계획, 취급시설 기준, 화학사고 즉시신고 등의 제도와 규정으로 화학사고의 위험이 점차 감소되고 있음은 환경부와 화학물질안전원을 포함한 여러 소속기관에서 생산하는 다양한 지표로 확인할 수 있다. 하지만, 안전을 담보하기 위해 사업장에 요구되는 의무 또한, 증가하여 적지 않은 부담으로 작용하고 있다. 본 논문에서는 KORA의 개발과 기능에 대해 소개하였고 개선되어야 할 문제점을 도출하였다. 초기단계이긴 하지만, 장외영향평가의 개선을 위한 연구[26,27]가 수행되고 있으므로 이와 보조를 맞추어 지속적으로 개선한다면 KORA의 개발과 보급은 국가 정책의 연착륙을 돕는 좋은 사례가 될 것이다.

References

1. Kim D. Implication on the scope and standard of the public information through legal analysis on the Seveso Directive (III). *Korean J Int Econ Law*. 2016; 14(1): 59-99.
2. Ha J. Introduction of process safery management of chemical plant. *Fire Sci Eng*. 1995; 9(2): 65-70.
3. Han D, Park M. Survey of awareness about hazardous chemicals of residents living near chemical plants in South Korea. *Industrial Health*. 2018: In press.
4. Han D, Chang Y, Park M. Economic analysis of providing personal protective equipment for residents near chemical plants. *J Environ Health Sci*. 2017; 43(5): 431-437.
5. Lee J, Choi D. A Study on the improvement of chemical accident response system in view of the national disaster management system. *Fire Sci Eng*. 2015; 29(5): 73-78.
6. Lee D, Lee T, Shin C. Study on improvement measures for prevention and countermeasure of chemical accident. *Fire Sci Eng*. 2016; 30(5): 137-143.
7. Lee D, Kim S, Yun J, Shin G, Yoo B. A study on the improvement plan of transportation plan for safety management of hazardous chemical vehicles. *J Korean Soc Hazard Mitig*. 2017; 17(6): 151-157.
8. Suh Y, Park J, Gan S, Cho S, Han S. Improvement measures for chemical accident policies in the Chemicals Control Act and measures to support the industry (II). Korea Environment Institute; 2017.
9. Park J, Suh Y, Gan S, Lee S. Improvement measures for chemical accident policies in the Chemicals Control Act and measures to support the industry (I). Korea Environment Institute; 2016.
10. Ministry of Environment. Chemical Control Act. 2017.
11. Chungsik Y, Seunghon H, Jihoon P, Sunju K, Sangah L, Kwonseob L, et al. Comparison between the chemical management contents of laws pertaining to the Ministry of Environment and the Ministry of the Employment and Labor. *J Environ Health Sci*. 2014; 40(5): 331-345.
12. Ministry of Environment. Regulation on preparation of off-site risk assessment report. Notification 2018-7 2018.
13. National Institute of Chemical Safety. Development of Korea off-site risk assessment supporting tool (I); 2014.
14. National Institute of Chemical Safety. Technical guideline on selection of accident scenario. Notification 2018-5 2018.
15. Kwon H, Yim D. Development of program for K-RBI. *Trans Korean Soc Mech Eng A*. 2006; 30(1): 90-96.
16. Korea Occupational Safety & Health Agency. ePSM. Available: http://miis.kosha.or.kr/epsm/ [Accessed 18 March 2018].
17. United States Environmental Protection Agency. Areal Location of Hazardous Atmospheres. Available: https://www.epa.gov/cameo/aloha-software [Accessed 18 March 2018].
18. Tseng JM, Su TS, Kuo CY. Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Eng*. 2012; 45: 384-389.
19. SPACEN. VWORLD. Available: http://map.vworld.kr/map/maps.do [Accessed 18 March 2018].
20. National Institute of Chemical Safety. Emergency response guidebook. 2017.

21. Guidance for conducting risk management program inspections under clean air act section 112(r). United States Environmental Protection Agency; EPA 550-K-1-001 2011.
22. Center for Chemical Process Safety. Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis, Agawam: WILEY; 2014.
23. OGP. Risk assessment data directory. 2010.
24. Kim K, Chun Y, Hwang Y, Lee I, Kwak I. Establishment of the appropriate risk standard through the risk assessment of accident scenario. *J Korean Soc Environ Eng*. 2017; 39(2): 74-81.
25. Yeo M, Han T, Kim S, Lee J, Park H. Chemical management policies and a distribution model for chemical accidents. *Mol Cell Toxicol*. 2017; 13(4): 361-371.
26. Jung Y, Kim B, Heo H, Yoo B, Sin C, Yoon Y, et al. A study on the simplified estimating method of off-site consequence analysis by concentration of hydrochloric acid. *J Korean Soc Saf*. 2017; 32(2): 52-58.
27. Kim M, Kim J, Lee E, Yoon J, Park J. Effect of proof test of protective system on securing safety of off-site risk assessment. *J Korean Soc Saf*. 2017; 32(6): 46-53.
28. Japan Soda Industry Association. Safe handling of hydrochloric acid. 2006.
29. Green DW, Perry RH. Perry's chemical engineers' handbook: The McGraw-Hill Companies, Inc.; 1997.
30. Grayson M. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, New York: A Wiley-Interscience Publication; 1978.
31. Kapias T, Griffiths RF. Dispersion and thermodynamics of clouds generated from spills of SO_3 and Oleum. *J Hazard Mater*. 1999; 67(1): 9-40.
32. Office of Response and Restoration. CAMEO Chemicals. Available: https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/769 [Accessed 18 March 2018].
33. Raoult FM. Loi générale des tensions de vapeur des dissolvants (General law of vapor pressures of solvents). *Comptes Rendus*. 1887; 104: 1430-1433.
34. De Dietrich. Available: https://www.dedietrich.com/en/solutions-and-products/mineral-acid-treatment/sulfuric-acid-treatment [Accessed 18 March 2018].
35. EKA Chemical. Available: http://user.it.uu.se/~rist5661/rocketery/h2o2_.html [Accessed 18 March 2018].
36. Occidental Chemical Corporation. Caustic soda handbook. 2013.