

# 화학사고의 일차 대응을 위한 피해영향범위 산정 개선 방안

이덕재 · 안재현\* · 송창근†

인천대학교 안전공학과 · \*서경대학교 토목건축공학과  
(2016. 8. 29. 접수 / 2016. 11. 1. 수정 / 2017. 3. 30. 채택)

## Improvement of Damage Range Calculation for First Response to Chemical Accidents

Deok Jae Lee · Jae-Hyun Ahn\* · Chang Geun Song†

Department of Safety Engineering, Incheon National University

\*Department of Civil and Architectural Engineering, Seokyeong University

(Received August 29, 2016 / Revised November 1, 2016 / Accepted March 30, 2017)

**Abstract** : Calculation of the damage impact of chemical accidents is an important element in site, and the initial isolation distance and the protective action distances are significant factors in coping the chemical accident. In this study, three major cities that represent each Province were selected, and the safety distances were calculated considering regional climate conditions. The results were compared with the prescribed values in Emergency Response Guidebook. It is concluded that the regional meteorological conditions such as temperature, vapour pressure, relative humidity, wind speed, and cloud cover should be reflected in estimating the initial isolation distance and the protective action distance.

**Key Words** : initial isolation distance, protective action distances, emergency response guidebook

### 1. 서론

화학사고 발생현황은 2013년 86건, 2014년 104건, 2015년 111건 등 매년 증가되고 있으며 그에 따른 인명 및 재산상의 피해도 상승하고 있다<sup>1)</sup>. 대표적인 화학사고로 2012년 ○○시 ○○ 공장 내에서 불산 20톤 중 약 8톤이 유출되어 사망 5명, 진료의뢰 12,000여명, 농작물 피해 약 212 ha 등 막대한 인적 및 재산상의 피해를 끼친 사례를 들 수 있다. 이와 같이 화학사고가 발생하면 인·물적 피해와 더불어 환경에도 악영향을 끼치는 것을 여러 사례에서 확인할 수 있다. 화학사고에 대한 선행연구로 Kim 등<sup>2)</sup>은 석유화학공장 화학설비의 안전성을 평가한 문헌, Baek 등<sup>3)</sup>의 모델링을 이용한 화학공장의 안전거리 방법론에 대한 사례, Shin 등<sup>4)</sup>의 저장탱크 방류벽 바닥에 대한 위험성 분석 등이 있다. 앞선 연구들의 다수가 화학공정의 안정성 평가와 화학설비에 대한 위험성 평가 등이 주로 연구되고 있는 반면에 화학사고 발생 시 현장 대응방법과 피해영향범위

에 대한 연구는 아직 드문 실정이다.

국내 화학사고 대응체계는 화학사고 관련 유관기관인 소방, 환경부 및 산하 기관들에 의해서 이루어진다. 화학사고 대응 기관인 환경부 화학물질안전원에서는 화학사고 발생 시 현장 및 초기 대응기관인 소방에 해당 화학사고를 유발한 화학물질 특성정보, 사고위험정보, 안전 및 특수대응 정보와 유·누출에 따른 화학물질의 피해영향범위 등을 제공하는 시스템으로 구성되어 있다. 하지만 화학사고 물질이 정확히 확인된 경우에는 현장 및 초기 대응 기관인 소방에 피해영향범위 등 관련 정보를 신속히 제공할 수 있지만 화학사고 물질이 확인되지 않거나 야간·휴일의 경우 현장 관계자들이 부재 시 화학사고 물질을 신속히 확인할 수 없을 경우 화학사고 대응기관에서 피해영향범위 등 관련 정보를 즉시 제공되지 못하는 문제점이 발생하고 있다. 이와 같은 경우를 대비하여 미국·캐나다 등에서 개발한 유해물질 비상대응 핸드북<sup>5)</sup>(Emergency Response Guidebook, 이하 ‘핸드북’이라 한다)과 환경부의 사고

† Corresponding Author : Chang Geun Song, Tel : +82-32-835-8291, E-mail : baybreeze119@inu.ac.kr  
Department of Safety Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Korea

대비물질 키인포가이드<sup>6)</sup>(Key Info Guide for Accident Preparedness Substances, 이하 ‘가이드’라 한다)에는 화학사고에 대응할 수 있는 각종 화학물질 관련 정보를 제공하고 있으며 특히 피해영향범위를 확인할 수 있도록 주요 화학물질별로 초기이격거리(이하 ‘초기거리’라 한다)와 방호활동거리(이하 ‘방호거리’라 한다)가 수록되어 있다. 하지만 핸드북에 수록되어 있는 초기거리와 방호거리는 외국의 기상 환경을 대상으로 도출된 결과이므로 그대로 국내 화학사고에 적용함에 문제점이 있어 이에 대한 보완이 필요하다.

본 연구에서는 핸드북과 가이드에 수록되어 있는 피해영향범위에 대한 문제점을 도출하여 개선방향을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 개선방향은 국내 기상 조건을 고려하여 초기거리와 방호거리를 산정하고 기존 핸드북과 가이드에서 제시된 피해영향범위와 비교를 통해서 개선의 필요성을 강조하였다. 피해영향범위 개선을 위한 연구를 위해 국내에서 화학사고 빈도가 높은 지역과 화학물질을 선정하고, EPA(미국 환경보호청)의 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 모델을 이용하여 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구는 기존 핸드북과 가이드에서 제공되는 초기거리와 방호거리를 국내의 기상 등 다양한 현장요소의 반영 필요성을 제기하는데 연구 목적을 두었다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 기존 피해영향범위 산정의 한계점

가이드와 핸드북에서 제시되고 있는 피해영향범위에 대한 한계점을 정리하면 다음과 같다: 1) 피해영향범위 산정에 대한 기초 정보가 공개되어 있지 않다. 가이드와 핸드북에는 피해영향범위가 제시되어 있으며 그 중 핸드북에 제시되고 있는 피해영향범위는 화학물질별로 소규모 유출과 대규모 유출로 구분하여 각각 초기거리와 방호거리를 나타내었다. 또한 방호거리는 세분화하여 낮과 밤으로 구분하였지만 단순 거리만을 제시하고 있다. 또한 피해영향범위를 산출하기 위한 모델링 방법 등이 공개되어 있지 않아 결과 재현과 확인 등이 불가능하였다. 또한 기초 정보가 공개되지 않은 이유로 북미지역과 국내의 환경을 동일하다는 가정으로 기존 피해영향범위를 적용하고 있다; 2) 차량 운송용 컨테이너로부터 유출된 화학사고의 초기거리와 방호거리 위주로 제시되어 있다. 가이드와 핸드북에 제시된 피해영향범위는 CANUTEC(Canadian Transport Emergency Centre, 캐나다 운송 비상센터)에서 제공하는 ERG(Emergency Response Guidebook, 비상대응 핸드

북) 정보를 바탕으로 산정되므로 화학공장 등 타 화학물질 취급시설에서 발생하는 사고 조건과 상황을 올바르게 반영하지 못하는 단점이 있다; 3) 가이드와 핸드북에는 일부 화학물질(암모니아, 염소 등)에 대해서만 운송차량 용기형태, 풍속(10 km/h 미만, 10 km/h 이상 20 km/h 미만, 20 km/h 이상) 변화 시 방호거리표가 제시되어 있다. 그러나 화학물질관리법<sup>7)</sup>에서는 화학사고 위험성이 높은 화학물질 69종을 선정하여 사고대비물질로 지정관리 하고 있으므로 가이드와 핸드북에는 사고대비물질 69종 전부에 대한 화학공장 등 취급시설의 공정 형태, 풍속 등을 반영한 초기거리와 방호거리표가 제시되어야 한다.

따라서 본 연구에서 액체 형태의 소규모 유출, 낮과 밤의 대기조건과 지역별 풍속을 반영하여 초기거리와 방호거리를 산정하였으며 핸드북에 제시되어 있는 소규모 유출 시 초기거리 및 방호거리와 비교하였다. 상호 비교를 통해서 가이드와 핸드북에서 제시된 초기거리와 방호거리에 대한 보완의 필요성을 제기하였다.

### 2.2 지역 선정 및 유해화학물질 배출량

본 연구를 수행하기 위하여 다음의 조건을 선정하여 연구 대상 지역을 선택하였다. 선정 조건으로 1) 화학사고 발생 빈도가 높은 지역, 2) 도시와 공단 등 인공구조물을 포함한 지역, 3) 각종 기상자료와 통계 정보 등이 수집 가능한 지역을 대상으로 하였다. 2012년부터 2015년까지 광역시와 도를 대상으로 화학안전정보공유시스템<sup>1)</sup>에 제시된 화학사고 발생빈도를 조사하였다. 이 기간 동안 발생한 화학사고는 총 310건이었으며, 경기도 101건(32.58%), 충청북도 21건(6.77%), 울산광역시 20건(6.45%), 인천광역시 16건(5.16%) 순으로 발생빈도가 높았다. 화학사고 발생빈도가 가장 높았던 경기도의 경우에는 안산 등 공단지역을 포함하고 있지만 기상정보 등 자료획득의 어려움으로 인하여 연구대상지역에서 제외하였다. 충청북도의 경우 연구대상지역의 조건에 청주시가 적합한 것으로 판단되어 선정하였다. 본 연구에서 연구 대상 지역으로 선정한 청주, 울산, 인천을 대상으로 화학안전정보공유시스템 및 화학물질 배출·이동량 정보시스템<sup>8)</sup>의 자료를 분석하여 사고물질별 화학사고 발생건수와 유해화학물질 배출량을 비교, 정리하였다(Table 1). 2009년에서 2016년 6월까지 화학사고 발생건수 총 398건 중 염산(염화수소) 33건(8.29%), 질산 29건(7.29%), 암모니아 25건(6.28%), 황산 17건(4.27%), 불산(불화수소) 14건(3.52%) 순으로 발생빈도가 높았다. 또한 각 화학물질에 따른 연구대상지역의 배출업체수와 배출량을 비교하면 국가산업

Table 1. Chemical incidents and hazardous chemical emissions<sup>1,2)</sup>

No.	Chemicals	Occurrence (EA) <sup>*</sup>	Emission facilities (EA) <sup>**</sup>			Emission amount (kg/year) <sup>**</sup>		
			I	C	U	I	C	U
1	HCl (7647-01-0)	33	45	15	55	24,562	5,973	40,699
2	HNO3 (7697-37-2)	29	17	6	12	11,241	998	8,469
3	HN3 (7664-41-7)	25	14	8	35	90,105	13,558	37,894
4	H2SO4 (7664-93-9)	17	64	16	79	33,332	267	5,567
5	HF (7664-39-3)	14	4	5	6	100	8,009	39,338

\* I : Incheon, C : Cheongju, U : Ulsan

\* Chemical Safety Clearing-house(2009~2016.6)

\*\* Pollutant Release and Transfer Resister(2014)

단지가 위치한 인천과 울산이 청주에 비해 상대적으로 컸으며 3곳의 대상 지역 중 울산에서 화학물질을 가장 많이 사용되고 있었다.

### 2.3 연구 대상 물질의 선정 및 특성

연구 대상 지역에서 화학사고 빈도가 높은 화학물질 중 상온에서의 상태가 기체인 화학물질을 선정하였다. 또한 선정 조건으로 불화수소를 기준으로 분자량이 ±20 이내의 화학물질을 선택하였다. Table 2는 선정된

물질별 특성을 정리한 것으로 물질별 특성은 분자량, 색상, 증기압 등 물리적 특성과 각 물질별 초기거리, 방호거리를 포함하였다. 특히 각 화학물질이 기체 상태로 소규모(200 L 이하) 대기로 누출될 경우 초기거리는 사고 원점을 중심으로 반경 30~50 m, 방호거리는 풍하방향 낮(0.1 km), 밤(0.2~0.5 km)으로 유사한 조건을 형성하였다.

### 2.4 초기거리와 방호거리

화학사고 발생 시 현장 대응 활동을 위해 화학물질의 확산 정도와 피해영향범위에 따라 3개의 경계구역으로 구분된다. 화학사고 현장의 피해영향범위에 따른 3개의 경계구역은 ① 위험지역 (Hot zone)으로 사고현장의 인접지점으로 신체, 생명에 직접적 영향을 주는 지역이고, ② 준위험지역 (Warm zone)은 인체 또는 환경에 잠재적 영향이 있는 지역으로 위험지역과 안전지역의 완충지대이다. ③ 안전지역 (Cold zone)은 준위험지역보다 원칙적으로 풍상 지역에 위치한 오염물질이 없는 청정지역이다. 또한 초기거리는 사람의 생명을 위협할 정도의 농도에 노출될 수 있는 풍상, 풍하 사고 주변지역으로 유·누출이 일어난 지점 사방으로 모든 사람을 격리시켜야 하는 거리로 정의되며, 피해영향범위에서 위험지역 (Hot zone)으로 표시한다<sup>6)</sup>. 반면에 방호거리는 사람들이 무기력해져서 보호조치를 취할 수 없

Table 2. Chemical substance characteristics

Index	Ammonia(HN <sub>3</sub> )	Hydrogen fluoride(HF)	Hydrogen chloride(HCl)
CAS No.	7664-41-7	7664-39-3	7647-01-0
Classification	Accident preparedness substances	Accident preparedness substances	Accident preparedness substances
Molecular weight	17.03	20.01	36.46
Boiling point(°C)	-33.35	19.51	-85.05
Color	Colorless	Colorless	Colorless
Odor	Irritating odor	Irritating odor	Irritating odor
Vapor pressure	7,510 mmHg @ 25°C	917 mmHg @ 25°C	35,424 mmHg @ 25°C
Vapor density(Air=1)	0.597	2.4	1.268
Initial isolation distance	Small scale: Radius 30 m	Liquid : Small scale Radius 50 m	Liquid : Radius 50 m
	Large Scale: Radius 150 m	Gas : Small scale Radius 30 m Large Scale Radius 300 m	Gas : Small scale Radius 30 m, Large Scale Radius 60 m
Protective action distances	Small scale: Downwind Day (0.1 km), Night (0.2 km)	Liquid : Downwind 50 m more	Liquid : Downwind 50 m more
	Large Scale: Downwind Day (0.8 km), Night (0.2 km)	Gas : Small scale Downwind Day(0.1 km), Night(0.5 km) Large Scale Downwind Day(1.5 km), Night(3.2 km)	Gas : Small scale Downwind Day(0.1 km), Night(0.3 km) Large Scale Downwind Day(0.3 km), Night(1.3 km)

\* Small Scale : About 200 ℓ Under(Liquid), About 300 kg Under(Underwater leaked solid)

Large Scale : About 200 ℓ Over(Liquid), About 300 kg Over(Underwater leaked solid)

거나, 인체 건강상 회복할 수 없을 정도의 심각한 영향을 줄 수 있는 사고지점으로부터의 풍하방향 지역으로 유·누출이 일어난 지점으로부터 보호조치가 수행되어야 하는 풍하거리를 의미하며 피해영향범위에서 준위험지역(Warm zone)으로 구분된다<sup>6)</sup>. 일반적으로 낮에는 대기 확산이 잘 일어나 화학물질이 넓은 지역으로 퍼져 독성수준이 좁게 형성되나, 밤에는 낮 보다는 대기가 안정되어 확산이 적게 일어나 낮 보다 넓은 독성지역을 형성하는 특성이 갖는다.

## 2.5 급성노출기준

AEGLs(Acute Exposure Guideline Level)은 급성 노출 가이드라인 레벨로 일반 대중에 대한 임계 노출 한계를 나타내며 독성 영향 수준은 10분에서 8시간까지 AEGL 1~3으로 다음과 같이 구분된다<sup>6)</sup>.

- AEGL-1 : 일반 인구 대상에 주목할 만한 불쾌감, 자극 또는 이에 준하는 상황 발생 공기 중 농도 비활성화되고 과도한 노출이 중단되면 가역적으로 되지 않음
- AEGL-2 : 일반 인구 대상에 돌이킬 수 없는 또는 다른 심각한 오래 지속되는 건강의 악영향과 손상, 이에 준하는 경험을 할 수 있는 공기 중 농도
- AEGL-3 : 일반 인구 대상에 생명을 위협하는 건강영향 또는 사망이 발생할 수 있는 것으로 예측 되는 혹은 그 이상이 되는 공기 중 농도

ERPGs(Emergency Response Planning Guidelines)은 지역 사회의 비상계획에 사용하기 위하여 공기 중 물질의 잠재적 유출량에 대처하기 위한 가이드라인을 나타내며 아래와 같이 ERPG 1~3으로 등급화된다<sup>6)</sup>.

- ERPG-1 : 거의 모든 사람들이 1시간 동안 노출 될 수 있는 가벼운, 일시적인 건강에 악영향을 이상 유무에 관계없이 불쾌한 냄새를 지각할 수 있는 최대 공기 농도
- ERPG-2 : 거의 모든 사람들이 1시간 동안 노출 될 수 있는 또는 발생하거나 돌이킬 수 없는 심각한 건강에 대한 영향이나 징후가 나타나지 않는 최고 농도
- ERPG-3 : 생명을 위협하는 영향을 경험하지 않고 거의 모든 사람들이 최고 1시간까지 노출될 수 있는 최고 농도

## 2.6 분석 모델 소개

본 연구에서는 EPA(미국 환경보호청)와 NOAA(미국 해양대기국)가 공동 개발한 피해 예측 프로그램인 ALOHA 프로그램을 활용하여 피해 영향 범위를 계산하였다. ALOHA(Areal Location of Hazardous Atmospheres)는 유해화학물질 사고에 대한 비상대응 정보제공 프로그

램으로 가우시안 누출 모델을 사용하여 공기보다 무거운 가스 또는 극저온 가스에 대한 확산 해석을 수행하는 프로그램이다<sup>9,10)</sup>.

ALOHA 프로그램은 화학물질 누출사고 및 비상대응 상황 등 긴박한 조건에서 사용자가 구축한 입력자료에 따라 피해를 예측할 수 있는 범용성과 편리성을 가진다. 반면에 사용자에게 프로그램 소스 파일을 공개되지 않고 프로그램이 구동되어 정확한 근거를 확인하기 어렵다. 또한 피해 예측시 지형변화는 고려되지 않으며 화학반응에 의해서 증기운의 화학적 조성이 변하는 경우나 화재에 의해 연기가 부력으로 상승하는 경우 등 입자의 확산, 혼합물의 확산 예측 불가능의 한계를 가지고 있다<sup>11,12)</sup>.

## 2.7 분석 모델 입력요소

ALOHA 프로그램의 한계를 가지고 있지만 현장에서 실시간으로 활용할 수 있는 장점에 주목하여 연구에 적용, 진행하였다. Table 3은 ALOHA 프로그램을 구동하기 위한 입력 조건을 정리한 것이다. 입력 자료를 구축함에 있어서 다음과 같은 조건을 가정하였다; 1) 연구 대상 지역은 인천, 청주, 울산에 대한 위·경도를 활용하였다; 2) 가스 확산 시나리오에 대한 누출물질의 풍향방향에 있는 건물 내 가스농도를 평가하기 위하여 환기율을 선정하였다; Single storied building은 프로그램에서 자동으로 0.45회/hr로 결정된다; 3) 화학물질은 100% 순수한 물질로 가정하였다; 4) 대기조건은 풍속, 구름량, 온도, 습도는 기상청에서 제공된 평균 월간 측정값을 적용하였다; 풍향은 북향, 대기안정도는 낮(B, 불안정) / 밤(E, 약간 안정)으로 각각 가정하였다. 풍속을 측정하는 높이 10 m, 지표면 거칠기 도시(산림) 지역으로 선정하였다; 5) Source Modeling을 입력하기 위하여 누출량을 알고 있다는 가정 하에 시간에 따라 누출률이 변하지 않는 Direct 조건을 가정하였다. 누출량은 소규모 누출의 최대 용량인 200 L, 저장용기에서의 가스 누출은 최대 저장 용량이 60분간 전량 방출될 때를 가정하여 계산하였다.

$$\bullet \text{ 누출율(L/min)} = 200 / 60 = 3.33 \text{ L/min}$$

누출위치는 0 m, 저장상태는 액체, 저장온도는 각각의 화학물질의 끓는점을 고려하여 암모니아 -40℃, 불산 0℃, 염화수소 -90℃로 가정하였다.

Table 4에 기상청<sup>13)</sup>에서 제공하는 인천, 청주, 울산 지역에 대한 2011년에서 2015년까지의 2월, 5월, 8월, 11월 평균 기상을 정리하였다.

Table 3. ALOHA Input Data

Condition		Input data
1) Location		Incheon / Cheongju / Ulsan
2) Building type		Single storied building (Air exchange rate 0.45/hr)
3) Chemical	Pure	100% HN <sub>3</sub> / 100% HF / 100% HCl
	Wind speed(m/s)	The actual average monthly weather
	Wind direction	N
	Measurement height	10 m
4) Atmospheric option	Ground roughness	Urban(Forest)
	Cloud cover	The actual average monthly weather
	Air temperature(°C)	The actual average monthly weather
	Stability class	B(Day) / E(Night), No Inversion
	Humidity(%)	The actual average monthly weather
	Leaks volume	200 L
	Leaks form	Continuous
5) Source modeling (Direct)	Leak rate	3.33 L/min for 1hr
	Leak height	0 m
	Storage method	Liquid
	Storage temperature(°C)	Ammonia(-40) / Hydrogen fluoride(0) / Hydrogen chloride(-90)

Table 4. Average weather status(2011~2015)

Index	February			May			August			November		
	I	C	U	I	C	U	I	C	U	I	C	U
Temp. (°C)	0.28	1.12	3.7	16.9	19.6	18.8	25.8	26.5	26.4	8.6	8.54	10.9
Vapour pressure (mmHg)	3.24	2.88	3.56	10.1	8.96	9.63	21.6	18.7	19.6	6.53	5.94	6.59
Relative humidity (%)	65.2	56	57	71.6	54.6	61.6	70.9	73.4	77.6	73.8	68.8	63.4
Wind speed (m/s)	3.3	1.28	2.14	2.9	1.56	2.22	2.7	1.62	2.26	3.4	1.26	1.92
Cloud cover	4.1	4.48	4.84	4.4	4.34	4.9	6.6	6.78	6.72	5.2	5.58	4.62

\* I : Incheon, C : Cheongju, U : Ulsan

### 3. 피해 예측에 따른 영향 범위 산출

Table 4에 제시된 인천, 청주, 울산 지역의 기상조건을 바탕으로 ALOHA 피해 예측 프로그램에 Table 3의 조건을 입력하여 피해 영향 범위를 산출하였으며, 계산 결과와 유해화학핸드북과 가이드에서 제공되고 있는 초기거리와 방호거리를 비교하여 개선의 필요성을 확인하였다.

### 3.1 암모니아 피해 영향 범위

ALOHA 피해 영향 범위는 끝점(종말점)으로 표시된다. 끝점이란 사람이나 환경에 영향을 미칠 수 있는 독성농도, 과압, 복사열 등의 수치가 도달하는 말단 지점을 의미한다<sup>6)</sup>. Table 5에 ALOHA를 구동하여 도출된 암모니아의 피해 영향 범위를 정리하였다. 핸드북 등에서 제공되는 초기거리는 소규모일 때 반경 30 m로 제공된다. ALOHA를 이용한 피해 영향 범위 결과는 각 월별에 상관없이 끝점이 30 m 이내로 확인되었다. 하지만 밤의 경우는 대기가 안정한 상태이므로 유해물질의 확산이 더디고 정체하는 시간이 길어 낮 보다는 넓은 확산 거리(최대 70 m)를 보였다. 방호거리는 이격거리 결과와는 달리 핸드북 등에서 제공되는 소규모 누출일 경우 풍하방향으로 낮(0.1 km) / 밤(0.2 km)로 산정되어 어느 정도 일치하였다.

Table 5. Result of Ammonia (Unit : m)

Index	Initial isolation distance	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A3	E3	A3	E3	A3	E3	A3	E3
I	D	14	11	15	16	16	13	14	12
	N	42	36	46	39	49	42	42	36
C	D Small scale: Radius 30 m	22	19	20	17	20	17	22	19
	N	68	58	64	55	63	54	70	60
U	D	17	14	17	15	17	14	18	16
	N	53	45	53	45	53	45	56	48

  

Index	Protective action distances	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A2	E2	A2	E2	A2	E2	A2	E2
I	D	35	36	39	40	41	42	36	37
	N Small scale: Downwind	113	116	125	129	132	136	114	117
C	D Day (0.1 km),	56	58	53	55	53	55	58	60
	N Night (0.2 km)	186	193	174	180	172	179	191	197
U	D	44	45	45	46	45	46	47	49
	N	143	147	144	150	145	150	153	158

\* I : Incheon, C : Cheongju, U : Ulsan / D : Day, N : Night  
A2 : AEGL-2, A3 : AEGL-3 / E2 : ERPG-2, E3 : ERPG-3

### 3.2 불화수소 피해 영향 범위

불화수소의 ALOHA 피해 영향 범위를 정리하여 Table 6에 수록하였다. 핸드북 등에 제시되는 초기거리는 소규모인 경우 액체 반경 50 m, 가스 반경 30 m로 표기되어 있으나, ALOHA를 이용한 피해 영향 범위 결과는 낮의 경우 인천 2월의 피해 영향 범위가 최대 약 130 m까지 산정되었다. 밤의 경우에도 청주 2월의 유해화학물질의 피해 영향 범위가 최대 460 m까지 확산되는 것으로 나타났다. 따라서 핸드북에 제시된 초

Table 6. Result of Hydrogen fluoride (Unit : m)

Index	Initial isolation distance	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A3	E3	A3	E3	A3	E3	A3	E3
I	D	75	70	82	77	86	81	75	70
	N Liquid : Small scale	252	235	280	262	295	275	254	237
C	D Radius 50 m	127	120	112	105	111	105	122	114
	N Gas : Small scale	459	428	396	370	393	366	436	406
U	D Radius 30 m	93	88	94	89	95	89	99	93
	N	321	300	327	304	328	305	346	323

  

Index	Protective action distances	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A2	E2	A2	E2	A2	E2	A2	E2
I	D Liquid :	100	110	111	121	116	127	102	111
	N Downwind	350	387	391	433	412	457	354	392
C	D 50m more	171	187	150	164	149	163	164	179
	N Gas : Small scale	650	723	558	620	553	614	616	685
U	D Downwind	125	137	127	139	127	139	133	146
	N Day(0.1 km), Night(0.5 km)	450	499	457	508	459	509	486	539

기거리에 근거하여 주민대피거리와 통제구역 거리를 산출하는 경우 초기 대응 시 상당한 문제점이 야기될 것으로 판단된다. 방호거리도 이격거리와 유사하게 핸드북 등에서 제공되는 초기거리와 방호거리를 가지고 현장 적용 시 상당한 문제점이 발생할 것으로 예상된다.

### 3.3 염화수소 피해 영향 범위

핸드북 등에 제시되는 초기거리는 소규모인 경우 액체 반경 50 m, 가스 반경 30 m로 기재되어 있다. ALOHA를

Table 7. Result of Hydrogen chloride (Unit : m)

Index	Initial isolation distance	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A3	E3	A3	E3	A3	E3	A3	E3
I	D	87	71	97	79	102	82	88	72
	N Liquid :	181	144	193	155	208	164	182	144
C	D Radius 50 m	150	121	135	108	134	107	144	116
	N Gas : Small scale	229	174	227	172	226	171	228	173
U	D Radius 30 m	111	89	113	90	112	90	119	95
	N	217	166	220	168	219	167	221	168

  

Index	Protective action distances	Feb.		May.		Aug.		Nov.	
		A2	E2	A2	E2	A2	E2	A2	E2
I	D Liquid :	192	202	214	225	224	235	194	204
	N Downwind	416	438	455	480	483	509	419	441
C	D 50m more	337	355	296	311	294	309	321	338
	N Gas : Small scale :	641	683	610	644	600	634	638	679
U	D Downwind	243	255	247	260	247	260	260	274
	N Day(0.1 km), Night(0.3 km)	518	546	524	552	522	551	550	579

이용한 피해 영향 범위 결과는 낮의 경우 피해 영향 범위가 약 130 m에서 약 145 m까지 산출되었다. 밤의 경우에는 피해 영향 범위가 약 145 m에서 약 220 m까지 산출되었다. 이 결과를 통해서 핸드북 등에서 제공되는 초기거리를 활용한 초기 대응에 문제점이 야기될 것으로 예상되었다. 방호거리도 ALOHA에 의한 피해 영향 범위는 낮 최대 약 360 m, 밤 최대 약 580 m가 산출되어 핸드북 등에서 제공되는 방호거리를 현장 적용상에 어려움이 발생할 것으로 예측되었다. Table 7은 염화수소의 피해 영향 범위를 정리한 것으로 앞서 Table 5와 6에서 언급한 암모니아 및 불화수소의 피해 영향 범위와 유사한 양상을 보였다.

## 4. 고찰

핸드북 등의 한계점과 제공되는 초기거리와 방호거리에 대한 개선의 필요성을 제기하였다. 핸드북 등에서 제공되는 초기거리와 방호거리에 대한 모델링 방법, 기상조건 등 소스코드가 공개되지 않아 재현성과 화학사고 현장에서 적용에 어려움이 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서 제기된 문제점을 바탕으로 다양한 한국지역의 기상요소 등을 반영하여 신뢰할 수 있는 DB 구축이 필요하며, 구축된 DB를 바탕으로 ALOHA 외 KORA (Korea off-site risk assessment), PHAST (Process Heating Assessment and Survey Tool) 등 다양한 모델을 통해서 검증에 위한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 5. 결론

핸드북, 가이드 등에서 제공되는 초기거리와 방호거리가 현장의 기상 요소가 반영될 경우 적용의 타당성을 확인하기 위하여 EPA의 공개 피해 예측 프로그램인 ALOHA 모델을 활용하여 그 결과를 비교, 연구하였다. 한국의 기상조건 등 현장요소의 반영하여 ALOHA 모델 구동 결과와 핸드북의 개선방향과 제시되는 초기거리와 방호거리를 비교한 결과 수정의 필요성을 제기하였다.

1) 현재의 핸드북 등은 소규모(대규모), 낮(밤)에 따라 단순 피해영향범위만을 제시하여 현지의 풍속, 기온경도 등 다양한 현장 요소가 반영되어 있지 못하다. 암모니아 등 일부 물질의 경우에는 풍속 등에 대한 거리표가 제시되어 있지만 운송차량의 탱크로리 등에서 유출된 피해영향범위만을 고려되어 저장탱크, 배관 등 타 공정에 대한 피해영향범위 산출은 미흡하여 이에 대한 보완이 필요하다.

2) 화학사고 통계를 바탕으로 화학사고가 많이 발생한 지역인 청주, 울산, 인천과 사고대비물질을 선정하여 각각의 지역에 대한 월별 기상요소를 적용하여 ALOHA 모델을 구동하였다. EPA에서 프로그램 소스가 정확히 제공되지 않는 점으로 인하여 본 연구에서 풍속, 기온 등 현장 기상요소를 제외하고는 특정 조건으로 연구를 진행하였다. 본 연구는 초기거리와 방호거리에 한국의 기상요소 등 다양한 요소에 대한 반영 필요성을 제기하는데 목적을 두었음을 다시금 상기하였다.

3) ALOHA 구동결과를 핸드북 등에서 제시되는 초기거리와 비교하였다. 분석 결과는 핸드북 등 제기되는 초기거리 이상의 피해 영향 범위가 도출되었으며 이 결과는 현장 적용의 어려움이 있을 것으로 예상되었다.

4) 방호거리도 초기거리와 동일하게 핸드북 등에서 제공되는 거리 이상으로 피해 영향 범위가 도출되었다. 이 결과를 통해서 현장에서 주민대피거리, 통제구역 설정 등 현장 적용의 어려움이 예상되었다.

**감사의 글:** 본 연구는 국민안전처 자연재해예측 및 저감연구개발사업인 ‘대규모 복합피해 지역에 대한 효율적인 복구방안 연구’ 과제(MPSS-자연-2014-73)의 일환으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

## References

- 1) NICS, Chemical Safety Clearing-house(<http://csc.me.go.kr/>).
- 2) T. O. Kim, H. C. Lee, P. S. Shin, B. N. Choi, J. H. Jo, B. Y. Choi, S. H. Park and H. K. Kim, “Analysis of Safety of the Chemical Facilities by Korea Risk Based-Inspection in the Petrochemical Plant”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 22, No. 6, pp.35-40, 2007.
- 3) J. H. Baek, H. J. Lee and C. B. Jang, “A Methodology for Determination of the Safety Distance in Chemical Plants using CFD Modeling”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 3, pp. 162-167, 2016.
- 4) C. H. Shin, J. H. Park and J. H. Yoon, “Analysis on the Risk of the Impermeable Concrete Bottom of Dikes for Nitric Acid Storage Tanks”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 3, pp. 53-59, 2016.
- 5) NICS, “2014 Emergency Response Guidebook”, pp. 538-599, 2014.
- 6) NICS, “Key Info Guide for Accident Preparedness Substances”, pp. 163-168, 2014
- 7) Ministry of Environment, “Chemical Substances Control Act”, 2016.
- 8) NICS, Pollutant Release and Transfer Registers, (<http://ncis.nier.go.kr/triopen/>).
- 9) NICS, “ALOHA User Guide Book”, pp 1-4, 2015.
- 10) Y. K. Jung, H. W. Heo and B. G. Yoo, “A Study on the Simplified Estimating Method of Off-site Consequence Analysis for Aqueous Ammonia”, Journal of the Korean Institute of Gas, KIGAS Vol. 20, No. 2, pp 49-57, 2016.
- 11) B. Y. Yoon, “Evaluation of Accidental Hazardous Chemical Dispersions in Industrial Area by ALOHA and CALPUFF Models”, Graduate School, Kyungpook National University, pp. 28-31, 2015.
- 12) S. W. Park and S. H. Jung, “Recommended Evacuation Distance for Off-site Risk Assessment of Ammonia Release Scenarios”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No.3, pp.156-161, 2016.
- 13) Korea Meteorological Administration, “Annual Weather Information(<http://www.kma.go.kr/weather/climate/>)”, pp. 87-88 114-115, 2012-2015.