



## 고압 독성가스 사고발생 시나리오별 안전거리 확보에 관한 연구

김송이 · †황용우\* · 이익모\*\* · 문진영\*\*\*

인하대학교 환경안전융합전공, \*인하대학교 환경공학과,

\*\*인하대학교 화학과, \*\*\*인천재능대학교 환경보건과

(2016년 6월 29일 접수, 2016년 12월 21일 수정, 2016년 12월 22일 채택)

## A Study on the Safety Distances for High Pressure-toxic Gases by Specific Accident Scenarios

Song-Yi Kim · †Yong-Woo Hwang\* · Ik-Mo Lee\*\* · Jin-Young Moon\*\*\*

*Dept. of Environmental Technology & Safety Technology convergence, Inha University, Incheon, Korea*

*\*Dept. of Environmental Engineering, Inha University, Incheon, Korea*

*\*\*Dept. of Chemistry, Inha University, Incheon, Korea*

*\*\*\*Dept. of Environmental Engineering, JEI University, Incheon, Korea*

*(Received June 29, 2016; Revised December 21, 2016; Accepted December 22, 2016)*

### 요약

2012년 구미 불화수소 누출사고 이후 화학 물질 사고에 대한 사회적 불안감이 증폭되었고, 이러한 불안감 해소를 위해 2015년부터 장외영향평가제도가 도입되었다. 장외영향평가제도는 대부분의 화학물질을 대상으로 하며, 반도체, 디스플레이, 태양광 산업 등 첨단산업 분야에서 주로 사용되는 대부분의 고압 독성가스가 이에 포함된다. 우리나라 기업들이 첨단산업 분야에서 높은 경쟁력을 보유한 만큼, 국내에서 고압 독성가스 사용량은 지속적으로 증가하고 있으며 이에 따라 사고발생 가능성도 높아질 것으로 예상된다.

이러한 상황에 따라 본 연구에서는 국내에서 사용되는 고압 독성가스 중 제조량 및 사용량이 높은 물질을 대상으로 미국 환경보호청과 미국 해양대기국이 공동 개발한 ALOHA 프로그램을 활용하여 사고영향범위를 평가하였으며, 알진의 사고영향범위가 4,700m로 가장 넓은 것으로 나타났다. 사고영향범위 결과는 고압 독성가스 누출 시 효과적인 안전거리 결정에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

**Abstract** - Gu-mi hydrogen fluoride leak accident in 2012 was amplified social anxiety for chemical accidents. To relieve these anxieties Off-site Risk Assessment was introduced in 2015. Off-site Risk Assessment is targeted at most chemicals, and most of the high-pressure-toxic gases which are mainly used in high-tech industries such as semi conductor, display, Photovoltaic panels industry are included in the substance of the Off-site Risk Assessment. Since Korean companies occupy a high market share in high-tech industries, high pressure-toxic domestic gas consumption is constantly increasing. Accordingly, it is expected to increase the possibility of accidents.

In accordance with the circumstances, this study was to conducted Consequence Analysis(CA) about high pressure-toxic gases those are high demand in domestic. CA was used for ALOHA developed by US EPA & US NOAA and the CA result of Arsine was the largest at 4,700 m. CA results are expected to be utilized for determining the effective Safety distances when high pressure-toxic gas leak.

**Key words** : CA, Phosphine, Silane, Boron trichloride, Diborane, Arsine, Safety distances

†Corresponding author:hwangyw@inha.ac.kr

## I. 서론

산업이 고도화됨에 따라 반도체 산업, 디스플레이 산업 및 태양광 산업 등의 첨단산업 분야에서 고압 독성가스 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 2013년 한국가스안전공사 자료에 따르면 국내 고압 독성가스 사용량은 2010년 대비 39% 증가하였으며, 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 우리나라는 동 분야에서 높은 경쟁력을 보유한 만큼 고압 독성가스의 사용량은 지속적인 증가추세를 보일 것으로 전망됨에 따라 사고발생 가능성도 높아질 것으로 예측되고 있다[1].

2012년 구미 불화수소 누출사고는 5명의 사망자와 18명의 부상자를 발생시키고 주변지역에도 큰 피해 영향을 미침으로써 화학사고에 대한 인식이 크게 증대되는 계기가 되었다. 이 사건 이후 S전자 반도체 공장에서의 불화수소 누출사고, S기업의 염소가스 누출사고 등 독성가스의 누출사고가 잇따라 발생하면서 사회적 불안감이 증폭되었다[2]. 이러한 사회적 불안감 해소를 위해 기업들은 더욱 철저한 안전관리를 요구받고 있다.

2015년 시행된 장외영향평가제도는 이러한 사회적 요구를 반영하고 있다. 고압가스에 대해서도 고압가스를 제조, 저장, 판매하는 사업자에 대해 장외영향평가서의 작성 및 제출을 의무화하고 있다. 또한 2016년부터는 산업안전보건법 시행령 별표10의 유해·위험물질 규정량을 초과하여 제조·취급·저장하는 경우로 장외영향평가서 작성 및 제출 대상이 확대되는데 포스젠, 포스핀, 실란, 삼불화붕소 등의 최근 사용량 증가추세인 독성가스들이 다수 포함될 것으로 예상되고 있다.

이러한 상황에 따라 본 연구에서는 국내에서 사용되는 고압 독성가스 중 제조량 및 사용량이 높은 물질을 대상으로 사고영향범위를 평가하여 데이터화하였다. 사고영향범위 평가 결과 데이터를 통해 고압 독성가스 누출 시 효과적인 방재활동 거리 및 안전거리 결정에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

미국 교통국(Department of Transportation, DOT)에서 발행한 유해물질 비상대응 핸드북 ERG BOOK (Emergency Response Guide BOOK)[3]에서 대부분의 고압 독성가스에 대한 초기이격 및 방호활동거리(이하 안전거리)를 제시하고 있으나 제시된 안전거리는 200 L를 기준으로 소량누출, 대량누출로 구분되어있어 우리나라 사업장에 적용하기에는 적합하지 않다.

국내 사업장에서 취급하는 고압 독성가스 용기의 크기는 3.4 L, 10 L, 40 L, 44 L, 47 L 등으로 한정적

이기 때문에 국내 사업장에 바로 적용 가능한 데이터의 개발이 필요하다. 또한 기상조건에 따라 안전거리가 달라질 수 있으므로 데이터의 신뢰성을 위하여 보다 세분화된 대기 안정도를 반영할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 고압독성가스 중 대표물질을 선정하여 물질별 사고시나리오에 따른 영향범위를 산정하였다. 영향범위 산정결과를 바탕으로 신뢰성 있는 안전거리 제시를 본 연구의 목적으로 하였다.

## II. 연구 방법

장외영향평가제도에서는 사업장에서 규정수량 이상으로 사용하는 모든 화학물질에 대하여 사고시나리오에 따른 사고영향범위를 산정하도록 정하고 있다. 본 연구에서는 고압가스안전관리법에 따라 대상물질을 선정하고, 물질별로 사고시나리오에 따른 사고영향범위를 산정하였다. 사고영향범위 산정에는 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)과 미국 해양대기국(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)이 공동 개발한 ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)[4] 프로그램을 활용하였다.

### 2.1. 대상물질 선정

Table 1에 특정고압가스 및 특수고압가스를 포함한 총 40여종의 고압독성가스 물질을 나타내었다. 고압가스안전관리법 시행규칙 제2조에서는 독성가스를 “아크릴로니트릴, 아크릴알데히드, 아황산가스, 암모니아, 일산화탄소, 이황화탄소, 불소, 염소, 브롬화메탄, 염화메탄, 염화프렌, 산화에틸렌, 시안화수소, 황화수소, 모노메틸아민, 디메틸아민, 트리메틸아민, 벤젠, 포스젠, 요오드화수소, 브롬화수소, 염화수소, 불화수소, 겨자가스, 알진, 모노실란, 디실란, 디보레인, 세렌화수소, 포스핀, 모노게르만 및 그 밖에 공기 중에 일정량 이상 존재하는 경우 인체에 유해한 독성을 가진 가스로서 허용농도(해당 가스를 성숙한 흰쥐 집단에게 대기 중에서 1시간동안 계속하여 노출시킨 경우 14일 이내에 그 흰쥐의 2분의 1 이상이 죽게 되는 가스의 농도를 말한다. 이하 같다)가 100만분의 5000 이하인 것을 말한다”라고 정의하고 있다[2].

고압 독성가스는 대체로 사람 및 동·식물에 치명적인 독성을 띠고 있어 흡입 시 치명적일 수 있다. 독성으로 인한 피해 외에도 높은 인화성 물질이 많아 누출 시 화재로 확산될 경우 건강상 또는 재산상의 피해를 입힐 수 있다. 이러한 위험성 때문에 고압 독성가스 누출 사고에 대비한 안전거리 또는 방호할

**Table 1.** Substance lists of high-pressure toxic gases

NO	Materials	CAS No.	Molecular formular
1	Mustard gas	505-60-2	C4H8Cl2S
2	Dimethylamine	24-40-3	C2H7N
3	Diborane	19287-45-7	B2H6
4	Disilane	1590-87-0	Si2H6
5	Mono germane	7782-65-2	GeH4
6	methylamine	74-89-5	CH5N
7	Silane	7803-62-5	SiH4
8	Benzene	71-43-2	C6H6
9	Fluorine	7782-41-4	F2
10	Hydrogen fluoride	7664-39-3	HF
11	Methyl bromide	74-83-9	CH3Br
12	Hydrogen bromide	10035-10-6	HBr
13	Silicon tetrafluoride	7783-61-1	SiF4
14	Sulfur tetrafluoride	7783-60-0	SF4
15	Ethylene oxide	75-21-8	C2H4O
16	Boron trifluoride	7637-07-02	BF3
17	Phosphorus trifluoride	7783-55-3	PF3
18	Boron trichloride	10294-34-5	BCl3
19	Hydrogen selenide	7783-07-05	SeH2
20	Hydrogen cyanide	74-90-8	HCN
21	Acrylonitrile	107-13-1	C3H3N
22	Acrylaldehyde	107-02-8	C3H4O
23	Sulfur dioxide	7446-09-05	SO2
24	Arsine	7784-42-1	AsH3
25	Ammonia	7664-41-7	NH3
26	Chlorine	7782-50-5	Cl2
27	Chloromethane	74-87-3	CH3Cl
28	Hydrogen chloride	7647-01-0	HCl
29	Chloroprene	126-99-8	C4H5Cl
30	Pentafluoroarsorane	7784-36-3	AsF5
31	Phosphorus pentafluoride	7647-19-0	PF5
32	Hydrogen iodide	10034-85-2	HI
33	Tungsten hexafluoride	7783-82-6	WF6
34	Carbon disulfide	75-15-0	CS2
35	Nitrogen monoxide	10102-43-9	NO
36	Carbon monoxide	630-08-0	CO
37	Trimethylamine	75-50-3	C3H9N
38	Phosgen	75-44-5	COCl2
39	Phosphine	7803-51-2	PH3
40	Hydrogen sulfide	231-977-3	H2S

동 거리에 관한 연구가 진행되고 있으나 일부에 한정되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 위험성이 높은 40종의 고압 독성가스 가운데 사용량이 많으나 사고 영향범위 평가가 수행되지 않은 물질을 대상 물질로 선정하여 사고영향범위 평가를 수행하였다. 포스핀, 모노실란, 삼염화붕소, 디보레인, 알긴 등 5가지 물질을 연구의 대상으로 선정하였으며, 물질 선정은 2015년 한국가스안전공사에서 발표한 통계자료[5]를 근거로 하였다.

선정된 5개 물질 가운데 포스핀은 압축 액화가스 형태로 저장되며, 녹는점/어는점 및 끓는점은 각각 -133℃, -87.7℃의 인화성 물질로 38℃에서 자연발화한다. Table 2에 선정된 5개 물질의 물리적 상태, 녹는점, 끓는점, 인화성 등 물리화학적 특성을 나타내었다.

## 2.2 사고시나리오 선정

사고시나리오는 화학물질관리법에서 정하는 ‘사고시나리오 선정에 관한 기술지침’[6]에 따라 Table 3에 나타낸 바와 같이 선정하였다. 최악의 시나리오와 대안의 시나리오로 구분하여 풍속, 대기안정도 및 대기 온도 등의 기상조건을 설정하였다.

고압 독성가스 용기 용량은 Table 4에 나타낸 한국산업규격 KS B 6210[7]에서 정하는 고압용기의 규격 중 고압독성가스의 주요 공급 사양인 10 L, 47 L 용기를 선정하였다.

선정된 5가지 물질에 대하여 각각 두 가지 기상조건과 두 가지 타입의 용기 및 4가지 누출공 크기를 적용하여 물질별로 10개의 사고시나리오, 총 50개의 사고 시나리오를 선정하였다.

## 2.2 사고영향범위 평가

앞 절에서 선정한 50개의 사고 시나리오 각각에 대한 사고 영향범위 평가를 수행하였다. 사고영향범위 산정에는 5개 대상 물질 모두의 사고영향범위 산정이 가능한 ALOHA 프로그램을 활용하였다.

ALOHA 프로그램은 위험물질의 누출 시나리오 및 확산 범위 예측 평가를 위한 대기 분산 모델로써, 화학 사고 발생 시 비상 대응 및 비상 조치 계획 수립을 위해 미국 환경보호청과 미국 해양대기국에 의해 개발되었다.

ALOHA 프로그램은 가우시안(Gaussian) 대기 확산 모델 및 Dense gas(고밀도 가스) 누출 모델을 사용한다. 3차원 농도분포 계산 및 대기 중 화학반응 모사가 불가능하며, DNV社의 PHAST, Dupont社의 TRACE 등 고비용의 상용프로그램에 비교하여 정확도가 떨어지는 단점이 있지만, 모델링 결과

**Table 2.** Physical and chemical properties of Phosphine, Silane, Boron trichloride, Diborane, Arsine

Classification	Phosphine	Silane	Boron trichloride	Diborane	Arsine
Physical state	Compressed liquefied gas	Gas	Gas	Compressed liquefied gas	Compressed liquefied gas
Freezing / Boiling point	-133°C / -87.7°C	-185°C / -112°C	-107°C / 12.5°C	-165°C / -92°C	-116°C / -62.5°C
Flammability	Flammable	Flammable	Nonflammable	Flammable	Flammable
UFL / LFL	100 / 1.8%	100 / 1.37%	N/A	88 / 0.8%	78 / 4.57%
Vapor Pressure	3,488 kPa	70.66 kPa (-118°C)	150 kPa (20°C)	3,990 kPa	1466 kPa (20°C)
Vapor Density (air = 1)	1.17	1.3	4.03	0.96	2.7
Specific gravity (water = 1)	0.8	1.44	1349 (11°C)	0.21 (15°C)	3.186
Auto-ignition temperature	38°C	No data	No data	40-50°C	No data
Molecular Weight	34.00	32.1	117.16	27.7	77.95

**Table 3.** Scenario Input data

Worst case scenario	Classification	Alternative case scenario
1.5m/s	Wind Speed	3m/s
F	Atmospheric stability	D
W	Wind Direction	W
25°C	Atmosphere Temperature	25°C
50%	Humidity	50%
Surface leakage	Elevation	Surface leakage
Rural	Surface condition	Rural
Ambient temperature	Material temperature	Ambient temperature
Entire amount	Leakage amount	API-5817) Hole size (1/4", 1", 4", Full Bore)

**Table 4.** Cylinder size by KS B 6210

Capacity (L)	Outside diameter (mm)	Length (mm)
3.4	140	470
10	232	980
40	232	1,310
47	232	1,500

를 쉽게 지도상에 표현 가능하며, 실시간 모델링, 지속적인 자동 업데이트, 무료 사용 등의 장점이 있어 정량적 위험성 평가 프로그램 중 가장 많이 사용되고 있다.

### III. 연구 결과

#### 3.1. 가정 및 제한사항

본 연구에서의 가정 및 제한사항은 다음과 같다.

- 인화성 물질의 경우 누출 시 발화 가능성이 있으나, 본 연구는 독성에 의한 영향을 분석하고자 하므로 화재로 인한 사고영향범위 분석은 연구에서 제외함
- 고압독성가스의 매우 높은 저장압력은 ALOHA 프로그램의 입력 범위를 벗어나므로 상압상태로 가정함
- 포스핀, 디보레인, 알진 등의 액화가스는 공급사의 공급 사양이 명확하지 않아 고압가스안전관리법에서 정하는 바에 따라 용기 용량의 85%를 저장량으로 가정함
- 삼염화붕소를 제외한 4개 물질의 사고 영향범위 산정 시 관심농도는 '사고시나리오 선정에 관한 기술지침'에 따라 ERPG-2로 설정함
- 삼염화붕소의 관심농도는 ERPG 값 및 IDLH 수치 자료가 없어 '사고시나리오 선정에 관한 기술지침'에 따라 LC50 농도의 0.2배를 관심농도로 설정함

**3.2 사고영향범위 평가 결과**

사고영향범위 평가는 최악의 시나리오와 대안의 시나리오로 구분하여 수행하였다.

최악의 시나리오 발생 시 사고영향범위 평가 결과를 Table 5 및 Fig 1 ~ Fig 3에 나타내었다. 포스핀의 최악의 누출 시나리오 발생 시의 사고영향범위는 10 L 용기의 경우 1,500 m, 47 L 용기의 경우에는 2,100 m로 나타나 물질의 저장량에 따라 사고영향범위도 커지는 양상을 보였다. 실란은 최악의 누출 시나리오 발생 시 사고영향범위는 10 L 및 47 L 용기 각각에 대하여 각각 271 m, 336 m로 포스핀과 마찬가지로 사고영향범위가 저장량의 영향을 받은 것으로 나타났다.

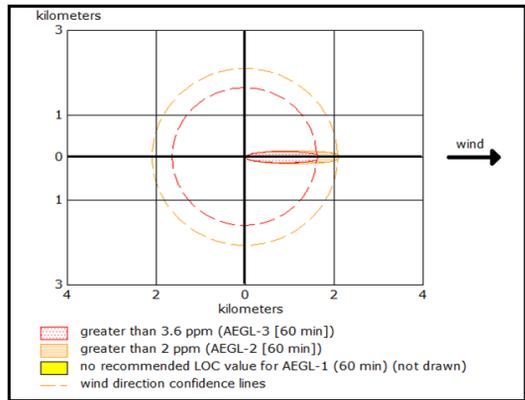
대안의 누출 시나리오 발생 시의 사고영향범위 역시 최악의 누출 시나리오 발생 시의 사고영향범위 결과와 마찬가지로 물질의 저장량에 따라 증가하는 양상을 보였다. 포스핀의 경우 누출 발생 시 10L 용기는 1,400 m, 47 L 용기는 2,100m로 나타났으며, 누출공 크기에 따른 변화는 없었다. 실란의 경우는 1/4" 누출공을 제외한 모든 누출공에서의 누출 발생 시 10 L 용기는 190 m, 47 L 용기는 272 m로 나타

났다. 누출공 크기의 변화에 대해서는 사고영향범위의 변화가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 물질의 저장량이 10L, 47L로 매우 작아 단 시간에 전량 누출될 수 있는 점, 포스핀, 디보레인, 알진의 경우 증기압이 매우 높은 점 등이 원인인 것으로 사료된다. 증기압이 높은 물질은 누출되면 단 시간에 기체로 확산되어 단시간에 ERPG-2 농도에 도달하는 거리까지 확산될 수 있다. 5개의 대상 물질은 ALOHA 프로그램 구형 결과 모두 누출 시작 1분 만에 전량이 누출되었다. 따라서 누출공의 크기는 사고영향범위 결과에 큰 영향을 주지 못한 것으로 판단된다. 자세한 결과는 Table 6에 정리하였으며, 물질별 사고영향범위 평가 결과는 Fig 4 ~ Fig 5에 나타내었다.

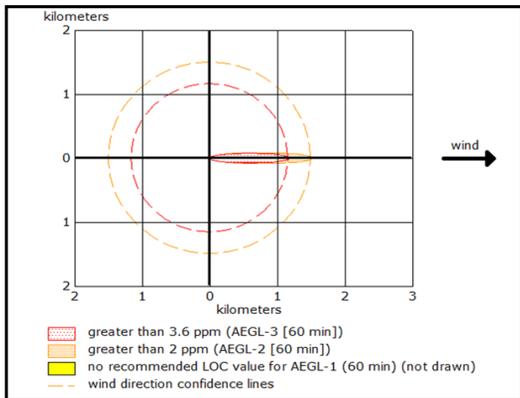
사고영향범위 평가 결과 5개 물질 중 알진의 사고영향범위가 4,700 m로 가장 넓은 것으로 나타났다.

**Table 5.** Consequences for Worst case scenarios

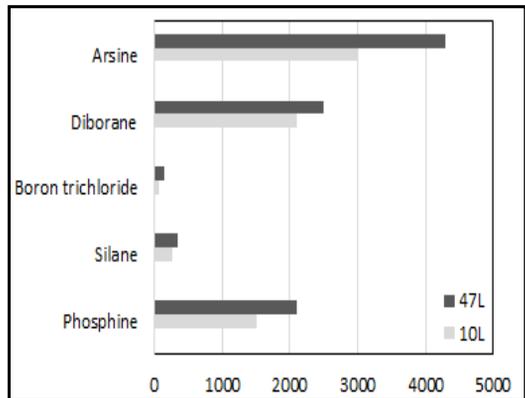
Classification	10 L	47 L
Phosphine	1,500 m	2,100 m
Silane	271 m	336 m
Boron trichloride	74 m	145 m
Diborane	2,100 m	2,500 m
Arsine	3,000 m	4,300 m



**Fig. 2.** Consequence for Phosphine (Worst case, 47 L).



**Fig. 1.** Consequence for Phosphine (Worst case, 10 L).



**Fig. 3.** Consequences for Materials (Worst case).

**Table 6.** Consequences for Alternative case scenarios

Classification		10 L	47 L
Phosphine	1/4"	1,400 m	2,100 m
	1"	1,400 m	2,100 m
	4"	1,400 m	2,100 m
	Full Bore	1,400 m	2,100 m
Silane	1/4"	189 m	263 m
	1"	190 m	272 m
	4"	190 m	272 m
	Full Bore	190 m	272 m
Boron trichloride	1/4"	46 m	58 m
	1"	46 m	105 m
	4"	46 m	105 m
	Full Bore	46 m	105 m
Diborane	1/4"	1,700 m	2,200 m
	1"	1,700 m	2,200 m
	4"	1,700 m	2,200 m
	Full Bore	1,700 m	2,200 m
Arsine	1/4"	2,900 m	4,700 m
	1"	2,900 m	4,700 m
	4"	2,900 m	4,700 m
	Full Bore	2,900 m	4,700 m

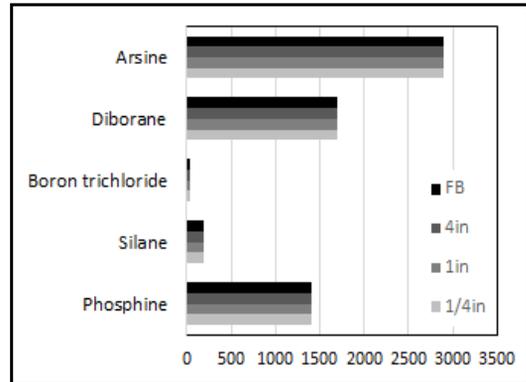
이어서 디보레인, 포스핀, 모노실란, 삼염화붕소의 순으로 나타났다.

**3.3. ERG BOOK의 방호 활동 거리와의 비교**

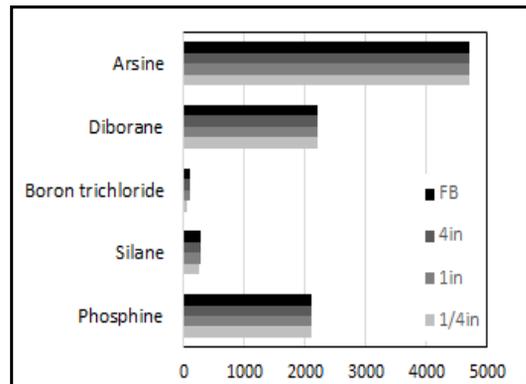
미국 교통국이 개발한 ERGbook(Emergency Response Guidebook)은 위험물질의 운송 과정에서 발생할 수 있는 사고에 대비하여 위험물질 각각에 대한 방호활동거리를 낮과 밤으로 기상조건을 구분하여 제시하고 있다.

운송 과정에서 발생하는 사고를 기준으로 하고 있기에 누출공의 크기는 고려되지 않으며, 위험물질 각각의 방호활동거리는 200 L를 기준으로 대량 누출과 소량 누출로 구분하여 제시되어있다.

그러나 산업 현장에서도 화학물질의 누출 사고는 발생할 수 있으며 산업 현장에서는 대량으로 취급되지 않는 경우가 대부분이다. 특히 고압 독성가스의



**Fig. 4.** Consequences for Materials (Alternative case, 10 L).



**Fig. 5.** Consequences for Materials (Alternative case, 47 L).

**Table 7.** Protective Action Distances for the Materials

Name of Material	Small Spills		Large Spills	
	Day	Night	Day	Night
Phosphine	200 m	1,000 m	1,300 m	4,100 m
Boron trichloride	100 m	300 m	600 m	1,400 m
Diborane	300 m	1,000 m	1,300 m	3,900 m
Arsine	1,000 m	4,000 m	5,800 m	11,000 m

경우 우리나라는 대부분의 사업장에서 47 L이하로 취급하고 있다. 이에 200 L 미만의 소규모 누출에 대한 사고영향범위 평가를 수행하였다.

대상 고압 독성가스 가운데 실란을 제외한 포스핀,

**Table 8.** Comparison of Safety distances

Classification	47 L		ERGbook (Small Spills)		ERGbook (Large Spills)	
	3D	1.5F	Day	Night	Day	Night
Phosphine	2,100	2,100	200	1,000	1,300	4,100
Boron trichloride	105	145	100	300	600	1,400
Diborane	2,200	2,500	300	1,000	1,300	3,900
Arsine	4,700	4,300	1,000	4,000	5,800	11,000

삼염화붕소, 디보레인 및 알진 등 4가지 물질의 방호활동거리가 ERGbook에 제시되어있다.

ERGbook에 제시된 각각의 방호활동거리를 Table 7에 나타내었다.

포스핀이 소량 누출되었을 경우의 방호활동거리는 낮에는 200 m이며, 밤에는 1,000m이다. 대량 누출되었을 경우에는 낮에는 1,300m, 밤에는 4,100m로 나타났다.

본 연구는 10 L 및 47 L 용기를 기준으로 사고영향범위를 평가하였기에 ERGbook에 제시된 방호활동거리 중 소규모 누출과 비교할 수 있으며, 기상조건을 기준으로 할 때는 최악의 시나리오 및 대안의 시나리오는 각각 ERGbook의 대기안정도에 따라 밤과 낮의 방호활동거리와 비교할 수 있다. ERGbook과의 비교 결과를 Table 8에 나타내었다.

포스핀의 경우 47 L 용기에서 누출 발생 시 3D 조건 및 1.5F 조건 모두 2,100 m 로 나타났으며, 삼염화붕소의 경우 각각 105 m 및 145 m로 나타났다. 전체적으로 본 연구의 결과 값이 ERGbook의 소규모 누출 시 방호활동거리보다 큰 것으로 나타났다. 이는 ERGbook의 대기조건이 풍속 10 km/h ~ 20 km/h(2.78 m/s ~ 5.56 m/s) 및 20km/h 이상으로 대기조건이 본 연구의 기준보다 다소 불안정하여 확산이 많이 일어나지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

200 L이상 대규모 누출이 발생할 경우 ERGbook에 제시된 방호활동거리는 저장량이 큰 만큼 방호활동거리도 매우 크게 나타났다.

#### IV. 결론 및 고찰

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고압 독성가스 누출 시 사고영향범위 물질의 저장량에 가장 큰 영향을 받으며, 저장량의 증가에

따라 사고영향범위도 증가한다.

(2) 누출공 크기에 따른 고압 독성가스 누출 시 사고영향범위 변화에 영향을 거의 없으며, 이는 본 연구에서 물질의 저장량이 매우 작아 단 시간에 전량 누출될 수 있는 점, 포스핀, 디보레인, 알진의 경우 증기압이 매우 높은 점 등이 원인인 것으로 사료된다.

(3) 누출사고 발생 시 방재활동 거리를 결정할 때는 누출량 및 기상조건에 따라 사고영향범위가 달라지므로 이를 고려하여 결정해야 한다.

사고영향범위 결과는 방재활동에 있어서 중요한 역할을 할 수 있다. 고압 독성가스가 누출되었을 때 어느 범위까지 방재활동을 펼칠 것인지에 대해 신속하게 조치함으로써 인명피해 및 재산상의 피해를 줄이는데 기여할 수 있다. 그러나 누출된 양에 대한 정보가 없어 과도하게 넓은 범위로 방재활동을 확대하는 것은 경제적인 측면에서 손실이 될 수 있으며, 방재활동에 투입되는 인원에 과중한 업무부하를 일으킬 수 있다.

따라서, 본 연구 결과는 고압 독성가스를 소량으로 취급하는 사업장에서 사고가 발생할 경우나, ERGbook과는 다른 기상조건을 적용해야 할 때 합리적인 방재활동 영역을 결정하는데 활용될 수 있을 것이다.

고압 독성가스는 공급 단계에서 아직까지 공급사 양이 표준화되어 있지 않다. 미국, 일본, 한국 등 다양한 규격이 혼용되고 있으며, 따라서 고압 독성가스를 취급하는 사업장에서는 본 연구에서 선정한 용기 외에도 다양한 종류의 용기가 사용되고 있다. 따라서, 취급량에 따른 방재활동거리 파악을 위해 보다 다양한 용기에 대한 분석이 요구된다.

또한, 고압가스의 특성상 증기압이 매우 높아 저장압력도 매우 높는데, 높은 저장압력을 ALOHA 프로그램 구현 단계에서 반영하지 못했다. 향후 이 부분을 보완한다면 본 연구의 신뢰성을 더욱 높일 수 있을 것이라고 사료된다.

#### REFERENCES

- [1] K. D. Park, S. S. Park et al., Theory and practice of Toxic gas, Ubion, (2014)
- [2] S. I. Jang, Y. R. Kim et al., "A Study on Applicability of API-581 and Methodology for Consequence Analysis in High-Pressure Toxic Gas Facilities", *Journal of the Korean Institute of Gas*, 18(4), 79-85, (2014)
- [3] U.S. Department of Transportation, 2012 Emer-

- gency Response Guidebook*, U.S. Department of Transportation, (2012)
- [4] Environmental Protection Agency of USA(EPA), National Oceanic and Atmospheric Administration of USA(NOAA), *Areal Locations of Hazardous Atmospheres Program 5.4.3*, EPA & NOAA, (2012)
- [5] Korea Gas Safety Corporation, "Toxic gas safety management issues and countermeasures", *Korea Industrial & Specialty Gas Association Seminar*, (2015)
- [6] National Institute of Chemical Safety, *Korea, Technical Guidelines for the selection of Accident scenarios*, National Institute of Chemical Safety, (2014)
- [7] Korean Agency for Technology and Standards, *KS B 6210 : Forcing high-pressure seamless gas cylinders*, Korean Agency for Technology and Standards, (2007)
- [8] American Petroleum Institute, *Risk-Based Inspection Technology : API RECOMMENDED PRACTICE 581*, American Petroleum Institute, 2nd Edition, (2008)