



유해화학물질의 확산 모델 분석을 통한 가스감지기 위치 최적화

정태준·임동휘·김민섭*·이재걸*·유병태**·[†]고재욱***
광운대학교 화학공학과 석사, *광운대학교 화학공학과 박사과정,
한국교통대학교 안전공학과, *광운대학교 화학공학과 교수
(2022년 4월 11일 접수, 2022년 4월 20일 수정, 2022년 4월 28일 채택)

Optimization of Gas Detector Location by Analysis of the Dispersion Model of Hazardous Chemicals

Taejun Jeong · Dong-Hui Lim · Min-Seop Kim
Jae-Geol Lee · Byung Tae Yoo* · [†]Jae Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Korea

**Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Korea*

(Received April 11, 2022; Revised April 20, 2022; Accepted April 28, 2022)

요약

중대산업사고를 일으킬 수 있는 화재, 폭발, 누출과 같은 사고를 사전에 예방할 수 있는 설비 중 하나인 가스감지기
기에 적용하고 있는 국내 가스감지기 설치 기준은 유해화학물질의 대기 중 거동 특성을 고려하지 않은 설치 기준을
적용하고 있어 그 기술적 근거가 부족하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 화학공장에서 주로 사용하는 설비
별 누출공의 크기와 유해화학물질의 관심 농도에 따른 확산 거리를 분석, 이를 토대로 하여 물질 별 가스감지기 최
적 설치거리를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 보다 경제적이고 효과적인 가스감지기 설치를 기
대할 수 있으며, 나아가 중대산업사고를 예방하는데 도움이 될 것으로 기대할 수 있다.

Abstract - The domestic gas detector installation standards applied to gas detectors, which are one of the facilities that can prevent accidents such as fire, explosion, and leakage that can cause serious industrial accidents, do not take into account the behavioral characteristics of hazardous chemicals in the atmosphere. It can be seen that the technical basis is insufficient because the standard is applied. Therefore, in this study, the size of the leak hole for each facility mainly used in chemical plants and the diffusion distance according to the concentration of interest of hazardous chemicals were analyzed, and based on this, the optimal installation distance for gas detectors for each material was suggested. Using the method presented in this study, more economical and effective gas detector installation can be expected, and furthermore, it can be expected to help prevent serious industrial accidents.

Key words : gas detector, dispersion model, major industrial accident

I. 서론

유해화학물질을 다루는 석유 화학 플랜트 산업
은 화학물질의 특성과 시설 규모의 거대화로 인해

사고 발생 시 근로자 및 시설에 큰 피해를 발생시
킬 수 있다.

화학사고 중 많은 비율을 차지하고 있는 화재,
폭발, 누출 사고를 줄이기 위해서는 유해위험물질
을 조기에 감지하고 대응할 수 있도록 할 필요가
있다.

이러한 중대산업사고를 줄일 수 있는 많은 시스템

[†]Corresponding author:jwko@kw.ac.kr

Copyright © 2022 by The Korean Institute of Gas

Table 1. Domestic and foreign gas detector installation standards

구분	기관	관련 기준	설치 기준
국내	환경부	유해화학물질 실내 저장시설 설치 및 관리에 관한 세부기준	둘레 10m 마다 1개
	환경부	유해화학물질 실외 저장시설 설치 및 관리에 관한 세부기준	둘레 20m 마다 1개
	고용노동부	가스누출감지경보기 설치에 관한 기술상의 지침	-
	산업통상자원부 - KGS	KGS FU111 - 고압가스 저장의 시설·기술·검사·안전성 평가 기준	실내 둘레 10m 마다 1개 실외 둘레 20m 마다 1개
국외	British Standard	BS EN 50073 - Guide for selection, installation, use and maintenance of apparatus for the detection and measurement of combustible gases or Oxygen	설치 시 여러 변수를 고려하여 시뮬레이션 수행 후 설치
	HSE	RR1123 - Fixed flammable gas detector systems of offshore installations : optimization and assessment of effectiveness	위험성평가를 수행하여 설치
	ISA	ISA RP 12.13 part 2 - Installation, Operation, and Maintenance of Combustible Gas Detection Instruments	거동해석을 고려하여 설치

중 하나로 가스감지기를 들 수 있다. 산업에서 주로 사용하는 고정형 가스감지기의 경우 일반적으로 센서 당 평균 1000\$ 정도의 비용이 소요된다. 공정의 규모에 따라 설치 개수는 상이하겠지만 작게는 수십에서 크게는 수백, 수천 개의 가스감지기를 필요로 하기 때문에 설치 및 유지보수 비용 측면에서 부담일 수밖에 없다.

국내에서 제시하고 있는 가스감지기 설치 기준의 경우 유해위험물질의 특성을 고려하지 않고 모든 물질에 대하여 동일한 기준을 적용하고 있다. 유해위험물질을 보다 효율적으로 감지하기 위해 누출시 유해위험물질의 거동해석을 수행하여 가스감지기 최적 설치 거리를 도출하고자 한다.

II. 국내 · 외 가스감지기 설치 기준 비교

국내 가스감지기 설치 기준의 경우 유해위험물질의 종류에 관계없이 실내 설비군의 둘레 10m마다 1개, 실외 설비군의 둘레 20m 마다 1개로 기준을 제시하고 있으며, 반면에 국외 가스감지기 설치 기준은 설치 시 여러 가지 변수를 고려하여 필요시 위험성평가를 수행하여 가스감지기의 최적 설치 위치를 찾도록 하고 있다. Table 1. 에 고용노동부에서는 KOSHA Guide를 통해 설치 기준의 가이드를 제시하고 있음.

III. 대상 설비 누출공 선정

설비 별 누출공의 크기를 결정하기 위하여 HSE

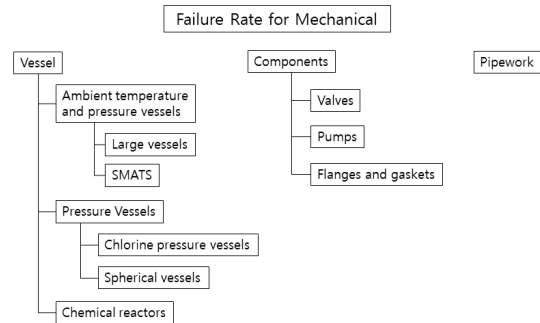


Fig. 1. Classification of equipment.

의 Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment의 자료를 활용하였다. 본 연구에서는 장비의 고장률 데이터를 활용하여 화학공장의 각 설비에서 발생할 수 있는 누출 사고의 확률 데이터를 확인, 그 중 가장 확률이 높은 데이터를 활용하여 거동해석을 수행하고자 한다.

3.1. Vessels

Vessel은 크게 Ambient temperature and pressure vessels, Pressure vessels, Chemical reactor 세 가지로 분류할 수 있으며 이 중 일반적인 Pressure Vessels를 대상 설비로 선정하였다.

3.2. Components

Components는 Valves, Pumps, Flanges and gaskets로 분류하고 있으며, 이 중 Valves를 대상 설비

Table 2. Failure rate of General pressure vessels

Type of Release	Failure rate (per vessel year)	Notes
Catastrophic	6 x 10 ⁻⁶	Upper failures
Catastrophic	4 x 10 ⁻⁶	Median
Catastrophic	2 x 10 ⁻⁶	Lower
50 mm diameter hole	5 x 10 ⁻⁶	
25 mm diameter hole	5 x 10 ⁻⁶	
13 mm diameter hole	1 x 10 ⁻⁵	
6 mm diameter hole	4 x 10 ⁻⁵	

Table 3. Failure rate of Valves

Type of Release	Failure rate (per vessel year)	Notes
Failure to close	1 x 10 ⁻⁴	Manual valve (Exc. Human Error)
Failure to close	3 x 10 ⁻²	ROSOV (Inc. Human Error)
Failure to close	1 x 10 ⁻²	ASOV
Failure to operate	1.3 x 10 ⁻²	XSFV

로 선정하였다.

3.3. Pipework

배관의 경우 배관의 직경에 따라 누출공 크기에 따른 Failure rate가 산정되어 있으며 이는 다음의 표와 같다.

IV. 유해위험물질 별 위험 농도

4.1. 인화성 물질의 위험 농도

KOSHA Guide P-135-2018, 인화성 가스누출감지 경보기 등의 설치 및 보수에 관한 기술지침에 따르면 인화성 가스누출감지경보기의 경보설정은 감지 대상 가스의 폭발하한값 25% 이하에서 경보가 발하여지도록 설정하도록 되어있다. 또한 2개 이상의 경보 설정형인 경우에는 1차(High) 경보는 폭발하한계의 25% 이하에서, 2차(High High) 경보는 폭발하한계의 50% 이하에서 경보를 설정하여야 하며, 필

Table 4. Failure rate of Pipework diameter

Failure rates(per m per y) for pipework diameter(mm)					
Hole size	0-49	50-149	150-299	300-499	500-1000
3 mm diameter	1 x 10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁶			
4 mm diameter			1 x 10 ⁻⁶	8 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁷
25 mm diameter	5 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	5 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁷
1/3 pipework diameter			4 x 10 ⁻⁷	2 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁷
Guillotine	1 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁷	2 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	5 x 10 ⁻⁸

Table 5. Hazardous dose of combustible substance

Name	LEL ppm	UEL ppm	LEL % v/v	UEL % v/v
acetic acid	54000	160000	5.4	16
acetone	26000	128000	2.6	12.8
acrolein	28000	310000	2.8	31
ammonia	160000	250000	16	25
benzene	12000	80000	1.2	8
n-butane	15000	90000	1.5	9
n-butanol	14000	112000	1.4	11.2
1-butene	16000	93000	1.6	9.3
carbon disulfide	13000	500000	1.3	50
carbon monoxide	125000	740000	12.5	74
ethane	29000	130000	2.9	13
ethanol	43000	190000	4.3	19
ethylene	23000	323000	2.3	32.3
n-heptane	10000	70000	1	7
n-hexane	10500	76800	1.05	7.68
hydrogen	40000	750000	4	75
methane	44000	165000	4.4	16.5
methanol	73000	360000	7.3	36
propane	20000	95000	2	9.5
propylene	20000	110000	2	11
toluene	12000	71000	1.2	7.1
m-xylene	11000	70000	1.1	7

요시 차단밸브 등 다른 안전장치가 작동될 수 있도록 하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 인화성 물질의 위험농도 데이터 중 폭발하한값을 나타내는 LEL(Lower Explosive Limit), 폭발상한값을 나타내는 UEL(Upper Explosive Limit)에 대하여 조사하였다.

4.2. 독성 물질의 위험 농도

KOSHA Guide P-136-2018, 독성 가스누출감지 경보기 등의 설치 및 보수에 관한 기술지침에 따르면 독성 가스누출감지경보기의 경보 설정은 다음의

독성치 중 낮은 값을 적용하도록 하고 있다.

- (1) 미국산업위생학회(AIHA)의 ERPG-2
- (2) 미국환경보호청(EPA)의 AEGL-2(1시간)
- (3) 미국에너지부(DOE)의 PAC-2
- (4) 미국직업안전보건청(NIOSH)의 IDLH 수치의 10%

따라서 본 연구에서는 독성 물질의 위험농도 데이터 중 ERPG(Emergency Response Planning Guidelines), AEGL(Acute Exposure Guideline Levels), PAC (Protective Action Criteria), IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health)에 대하여 조사하였다.

Table 6. ERPG of toxic substance

Name	ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
acetic acid	5	35	250
acrolein	0.05	0.15	1.5
ammonia	25	150	1500
benzene	50	150	1000
carbon disulfide	1	50	500
carbon monoxide	200	350	500
chlorine	1	3	20
ethanol	1800	3300	-
ethylene oxide	-	50	500
hydrogen chloride	3	20	150
methanol	200	1000	5000
nitric acid	1	10	78
nitrogen dioxide	1	15	30
phenol	10	50	200
phosgene	-	0.5	1.5
styrene	50	250	1000
sulfur dioxide	0.3	3	25
toluene	50	300	1000
vinyl acetate	5	75	500
vinyl chloride	500	5000	20000

Table 7. AEGL of toxic substance

Name	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
acrolein	0.03	0.1	1.4
ammonia	30	160	1100
benzene	52	800	4000
carbon disulfide	13	160	480
carbon monoxide	-	83	330
chlorine	0.5	2	20
ethylene oxide	-	45	200
hydrogen chloride	1.8	22	100
methanol	530	2100	7200
nitric acid	0.16	24	92
nitrogen dioxide	0.5	12	20
phenol	15	23	-
phosgene	-	0.3	0.75
styrene	20	130	1100
sulfur dioxide	0.2	0.75	30
toluene	67	560	3700
vinyl acetate	6.7	36	180
vinyl chloride	250	1200	4800

Table 8. PAC of toxic substance

Name	PAC-1	PAC-2	PAC-3
acetic acid	5	35	250
acrolein	0.03	0.1	1.4
ammonia	30	160	1100
benzene	52	800	4000
carbon disulfide	13	160	480
carbon monoxide	75	83	330
chlorine	0.5	2	20
ethanol	1800	3300	15000
ethylene oxide	5	45	200
hydrogen chloride	1	24	44
methanol	65000	120000	400000
nitric acid	0.16	24	92
nitrogen dioxide	0.5	12	20
phenol	15	23	200
phosgene	0.027	0.3	0.75
styrene	20	130	1100
sulfur dioxide	0.2	0.75	30
toluene	67	560	3700
vinyl acetate	6.7	36	180
vinyl chloride	250	1200	4800

V. 유해위험물질의 대기 중 거동해석

유해위험물질의 거동해석을 위해 PHAST™ 시뮬레이션 프로그램을 활용하였다. 석유화학플랜트에서 흔히 사용되는 인화성 물질인 Toluene과 대표적인 독성 물질인 HCl을 사용하여 인화성 및 독성 물질이 누출되었을 때 관심농도에 해당하는 거리가 어느 정도 되는지 분석하여 가스감지기 최적 설치 거리를 선정하였다.

Table 9. IDLH of toxic substance

Name	IDLH	Name	IDLH
acetic acid	50	hydrogen chloride	50
acrolein	2	methanol	6000
ammonia	300	nitric acid	25
benzene	500	nitrogen dioxide	20
carbon disulfide	500	phenol	250
carbon monoxide	1200	phosgene	2
chlorine	10	styrene	700
ethanol	3300	sulfur dioxide	100
ethylene oxide	800	toluene	500

Table 10. Weather data

기상 자료		
풍속(m/s)	봄	4.02 m/s
	여름	3.35 m/s
	가을	4.12 m/s
	겨울	4.71 m/s
대기안정도(A~F)		D
대기온도(°C)	봄	12.87 °C
	여름	23.63 °C
	가을	16.83 °C
	겨울	3.83 °C
습도(%)	봄	64%
	여름	81%
	가을	65%
	겨울	56%

5.1. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션을 위한 기상 데이터 및 설비 데이터는 사례연구를 위하여 A 국가 산업단지가 위치한 국내

Table 11. Substance and equipment data

물질 및 설비		
물질명	Toluene	HCl
물질의 상태	액체	기체
설비명 (또는 배관부위)	Tank	Tank
운전압력(bar)	15	0.01471
운전온도(°C)	96	30
누출구의 크기(mm)	150	150

Table 12. Reach distance

	Toluene		HCl
	LEL 20%	LEL 25%	5 ppm
봄	29.3 m	18.9 m	34 m
여름	37.9 m	25.5 m	39 m
가을	29.1 m	18.5 m	34 m
겨울	22.0 m	13.3 m	31 m

지역의 계절 별 평균 기상 자료와 산업단지 내 화학공장의 설비 데이터를 선정하였다.

시뮬레이션에 따른 각 물질의 누출 시 도달 거리는 다음과 같다.

5.2. 거동해석에 따른 최적 설치 거리

유해위험물질의 설비별 거동해석 수행 결과를 바탕으로 유해위험물질별 가스감지기 최적 설치 거리를 제시하였다.

VI. 사례 연구

사례 연구는 A 국가 산업단지 내 화학공장의 설비를 대상으로 하여 누출사고 시나리오에 따른 유해위험물질의 거동해석을 수행하였다. 거동해석 수행 결과를 분석하여 현재 설치되어 있는 가스감지기 설치 위치와 비교하였다.

6.1. 거동해석 수행 결과

본 연구에서는 가스감지기 설치 위치를 관심을 가지고 있기 때문에 독성물질과 인화성 물질 사이에 해석상 큰 차이는 없다. 따라서 Toluene과 HCl 중, 둘 중

Table 13. Optimal installation distance of gas detectors in vessels

Name	LEL 20%	LEL 25%	Toxic
acetic acid	26.5	22.6	610
acetone	393	252	345
acrolein	267	250	360
ammonia	429	347	1216
benzene	236	219	364
n-butane	680	680	350
n-butanol	21	20	126
1-butene	760	760	760
carbon disulfide	304	304	304
carbon monoxide	23	33	82
chlorine	-		1250
ethane	192	165	2.2
ethanol	120	101	282
ethylene	298	246	203
ethylene oxide	246	246	246
n-heptane	192	168	289
n-hexane	300	280	320
hydrogen	26	25	6.2
hydrogen chloride	-		116
methane	70	63	6.2
methanol	130	115	406
nitric acid	-		300
nitrogen dioxide	-		203
phenol	5.5	4.3	50
propane	255	200	330
propylene	269	210	343
phosgene	-		265
styrene	110	85	204
sulfur dioxide	-		244
toluene	210	193	453
vinyl acetate	255	237	353
vinyl chloride	96	73	294

Table 14. Optimal installation distance of gas detectors in valves

Name	LEL 20%	LEL 25%	Toxic
acetic acid	9	7.7	201
acetone	133	88	113
acrolein	90	87	118
ammonia	145	121	401
benzene	80	76	120
n-butane	231	238	115
n-butanol	7.1	7.0	41
1-butene	258	266	250
carbon disulfide	103	106	100
carbon monoxide	7	11	27
chlorine	-		412
ethane	65	57	2
ethanol	40	35	93
ethylene	101	86	66
ethylene oxide	83	86	81
n-heptane	65	58	95
n-hexane	102	98	105
hydrogen	8.8	8.8	2
hydrogen chloride	-		38
methane	23	22	2
methanol	44	40	133
nitric acid	-		99
nitrogen dioxide	-		66
phenol	1.9	1.5	16
propane	86	70	109
propylene	91	73	119
phosgene	-		87
styrene	37	29	67
sulfur dioxide	-		80
toluene	71	67	149
vinyl acetate	86	83	116
vinyl chloride	32	25	97

Table 15. Optimal installation distance of gas detectors in pipework

Name	LEL 20%	LEL 25%	Toxic
acetic acid	7	5	225
acetone	102	60	127
acrolein	69	60	133
ammonia	112	83	449
benzene	61	53	143
n-butane	177	163	129
n-butanol	5	5	46
1-butene	198	182	281
carbon disulfide	79	7.	112
carbon monoxide	6	8	30
chlorine	-		462
ethane	50	40	2.2
ethanol	31	24	104
ethylene	77	59	75
ethylene oxide	64	59	91
n-heptane	50	40	106
n-hexane	78	67	118
hydrogen	7	6	2.2
hydrogen chloride	-		42
methane	18	15	2.2
methanol	34	28	150
nitric acid	-		111
nitrogen dioxide	-		75
phenol	3	3	18
propane	66	48	122
propylene	70	50	126
phosgene	-		98
styrene	29	20	75
sulfur dioxide	-		90
toluene	55	46	167
vinyl acetate	66	57	130
vinyl chloride	25	18	108

Table 16. Reach distance in case of HCl leakage

	3 ppm
봄	34 m
여름	39 m
가을	34 m
겨울	31 m

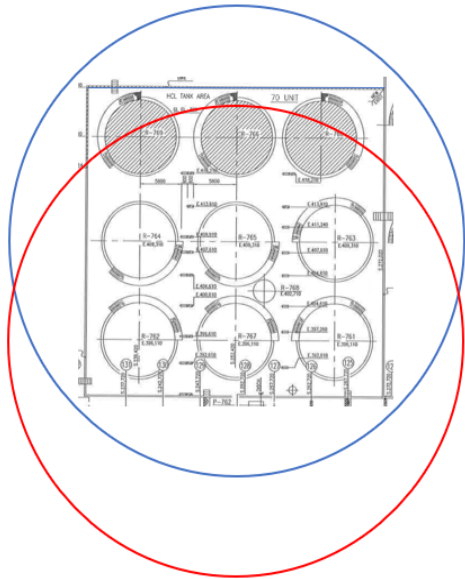


Fig. 2. Effect range of HCl leakage.

하나만 거동해석을 수행하여도 무방하다고 보았다. 이에 더 넓은 범위로 확산되는 HCl과 이를 저장하고 있는 저장탱크를 설비로 선정하였다. 설비의 운전압력은 상압이며 운전온도는 약 30℃이다. 누출공의 크기는 150mm로 정의하였다.

6.2. 개선사항 도출

HCl을 저장하고 있는 탱크에서 누출이 발생했다고 시나리오를 가정하였을 때 이 독성 물질의 관심 농도는 바람이 부는 방향으로 최소 약 31 m 거리까지 도달하는 것을 알 수 있다.

다음의 그림과 같이 바람의 전 방향, 즉 360°를 고려한다면 컬럼을 중심으로 하여 반지름이 31m가 되는 원을 영향 범위로 나타낼 수 있다.

탱크 주변에 방류벽이 설치되어 있으며 같은 물질을 저장하고 있는 설비가 방류벽 안에 총 9개가

설치되어 있다. 가장 가운데 있는 저장 탱크에서 누출이 발생했다고 가정할 경우, 해당 설비를 중심으로 하는 반지름 31m의 원을 그려보면 방류벽 전 범위를 덮는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 사례연구 대상 설비로 선정한 R-767의 경우 아래쪽 방류벽과 가까이 위치하고 있다. 해당 설비를 중심으로 반지름 31m의 원을 그려보면 누출 시 영향 범위를 알 수 있으며 이는 다른 HCl 저장 탱크와 많은 부분이 겹치는 것을 알 수 있다.

따라서 방류벽으로 인한 영향을 고려했을 때 가스감지기는 방류벽 안쪽에 영향범위가 겹치는 부분을 위주로 설치하는 것이 보다 유리하다고 볼 수 있다. 현재 해당 방류벽 안에 설치되어 있는 가스감지기는 총 9개로 각 저장 탱크 근처에 설치되어 있다. 영향범위가 겹치는 지점에 있는 가스감지기가 다른 설비의 누출을 감지할 수 있음을 감안하면, 9개의 탱크 중 사각형 모서리에 존재하는 가스감지기 4개만으로도 모든 탱크에서 발생하는 누출을 커버할 수 있을 것으로 판단된다.

6.3. 가스감지기 설치 전략

사례연구 결과를 바탕으로 가스감지기를 최적 거리로 설치하기 위하여, 다음과 같은 기본 규칙으로 가스감지기 설치 전략을 제안한다.

- (1) 누출량 시뮬레이션을 통해 도출한 관심 범위 안에 가스 감지기를 설치한다.
- (2) 관심 범위가 겹치는 지점에 가스 감지기를 설치한다.
- (3) 모든 탱크의 관심 범위 안에 최소 1개의 가스 감지기가 배치되도록 한다.

현재 사례 연구에서는 정사각형 형태로 탱크가 방류벽 안에 배치되어 있어, 직관적으로 설치 방법을 예상할 수 있었으나, 방류벽 너머로 확산되는 경우, 복잡한 배치 구조를 가진 경우에는 적용할 수 없음을 예상할 수 있다. 향후 연구를 통해 여러 형태의 배치에 적용할 수 있는 보다 명확한 설치 규칙을 개발할 필요가 있다.

VII. 결론

본 연구에서는 유해위험물질의 거동해석을 고려하여 가스감지기의 최적 설치거리를 정의함으로써 보다 효율적으로 가스감지기를 설치할 수 있는 방법을 제안하였다.

기존의 국내 기준은 유해위험물질의 특성을 고려하지 않아 확실적인 가스감지기 설치 기준이 적용되었다. 따라서 유해위험물질의 누출 시 거동해석을 수행하여 해당 부분을 보완하고 보다 경제적이고 효과적인 가스감지기 설치를 할 수 있는 기반을 마련하고자 하였다.

본 연구에서 수행한 가스감지기 최적 설치 거리에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 유해위험물질의 거동해석
인화성 및 독성물질의 누출 시 거동해석을 수행하기 위하여 PHAST™ 프로그램을 통하여 시나리오에 따른 시뮬레이션을 진행하였다. 시나리오는 국내 A 산업단지가 위치하고 있는 지역의 데이터를 활용하였으며, 유해위험물질의 관심 농도 별 도달 거리를 도출하였다.
- (2) 가스감지기 최적 설치 거리 제시
유해위험물질 별 도달 거리 데이터를 분석하여 각 케이스에 따른 최적 설치 거리와 전략을 도출하였다.

본 연구를 통하여 기존의 많은 화학공장에 설치되어 있는 가스감지기가 유해위험물질의 특성을 고려하지 않은 채 법적 기준 충족만을 고려하여 설치되어 있는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용한 방법을 통하여 유해위험물질의 누출 시 발생할 수 있는 거동을 분석하여 각 물질 및 설비에 보다 효율적인 가스감지기 설치 거리를 도출할 수 있었다.

현재 이러한 분석 방법은 거동해석을 수행하기 위한 프로그램을 활용해야하기 때문에 해당 프로그램에 익숙하지 않을 경우 분석하기에 다소 어려움이 있다. 따라서 사업장에서 이를 활용하기 위해서는 교육 프로그램이나 활용 가이드라인을 제작함으로써 보완할 수 있다. 또한 본 연구에서는 유해위험물질의 확산 방향만을 고려하여 가스감지기의 설치 방향을 도출하였지만 추후 CFD와 같은 3D 모델을 통해 높이에 대한 연구를 추가적으로 수행한다면 더욱 효율적인 가스감지기 설치 위치를 도출할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (과제번호 21ATOG-C162087-01).

REFERENCES

- [1] 유해화학물질 실내 저장시설 설치 및 관리에 관한 고시, 화학물질안전원
- [2] 가스누출감지경보기 설치에 관한 기술상의 지침, 고용노동부
- [3] 고압가스 저장의 시설·기술·검사·안전성평가 기준, 가스안전공사, (2018)
- [4] BS EN 50073 - Guide for selection, installation, use and maintenance of apparatus for the detection and measurement of combustible gases or Oxygen, British Standard
- [5] RR1123 - Fixed flammable gas detector systems of offshore installations : optimization and assessment of effectiveness, Health and Safety Executive
- [6] ISA RP 12.13 part 2 - Installation, Operation, and Maintenance of Combustible Gas Detection Instruments, Instrument Society of America
- [7] Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments, Health and Safety Executive
- [8] Guidelines for quantitative risk analysis of facilities handling hazardous substances, Lloyd's Register
- [9] Offshore accident and failure frequency data sources - review and recommendations, Health and Safety Executive
- [10] Process Release Frequencies, International Association of Oil & Gas Producers
- [11] KOSHA Guide(P-92-2012), "누출원 모델링에 관한 기술지침", (2012), 안전보건공단
- [12] KOSHA Guide(P-107-2016), "최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침", (2016), 안전보건공단
- [13] Eisaburo MIYATA, Shigeki MORI, "Optimization of Gas Detector Locations by Application of Atmospheric Dispersion Modeling Tools", SUMI-TOMO KAGAKU, vol. 2011-I, (2011)
- [14] 서지혜, 한만형, 김일권, 천영우, "BTX 공정에서 Gas Detector Mapping 적정성 검토에 관한 연구", 한국안전학회, Vol. 32, No. 5, pp. 168-178, (2017)
- [15] KOSHA Guide(P-135-2018), "인화성 가스누출 감지경보기 등의 설치 및 보수에 관한 기술지침", 안전보건공단, (2018)
- [16] KOSHA Guide(P-136-2018), "독성 가스누출 감지경보기 등의 설치 및 보수에 관한 기술지침", 안전보건공단, (2018)
- [17] KOSHA Guide(P-136-2018), "사고 시나리오에 따른 비상대응계획 작성에 관한 기술지침", 안전

보건공단, (2018)

- [18] "Guidance on The Application of Refined Dispersion Models to hazardous/Toxic Air Pollutant Release", EPA, (1993)
- [19] D.A Crowl, and J.F. Louvar, "Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications", Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey, (2002)
- [20] CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, (2010)
- [21] API Recommended Practice 500 - Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2, Third Edition, American Petroleum Institute, (2008)
- [22] BS EN 54-2 - Fire Detection and Fire Alarm Systems : Part 2. Control and Indicating Equipment, British Standard
- [23] Peter Okoh, "Gas Detection for Offshore Application", Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12, (2014)
- [24] R. Rubio, J. Santander, J. Fonollosa, L. Fonseca, I. Gràcia, C. Cané, M. Moreno, and S. Marco, "Exploration of the metrological performance of a gas detector based on an array of unspecific infrared filters", Sensors and Actuators B: Chemical, 116(1-2):183-91, (2006)