



H₂S 독성가스감지기가 필요한 정량적 공정설비 기준 및 비상시 안전을 위한 위치선정 방안에 대한 연구

†최재영 · 권정환*

현대엔지니어링 플랜트안전소방설계팀, *고려대학교 환경생태공학부
(2017년 12월 4일 접수, 2018년 4월 23일 수정, 2018년 4월 24일 채택)

A Study on the Quantitative Process Facility Standards that Require H₂S Toxic Gas Detectors and Location Selection for Emergency Safety

†Jae-Young Choi · Jung-Hwan Kwon*

Engineering Center, Plant Safety & Fire Protection Engineering Team,
Hyundai Engineering Co.,Ltd

*Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University
(Received December 4, 2017; Revised April 23, 2018; Accepted April 24, 2018)

요약

천연가스 및 석유를 정제 및 가공하는 화학플랜트에서 원료에 함유된 황화수소(H₂S)의 누출로 인한 피해를 최소화시키기 위한 설계 기법들이 세계적으로 널리 연구되어왔다. 그러나 국내에서는 화학플랜트에서 H₂S 가스 피해 최소화를 위한 별도의 뚜렷한 설계 지침 및 규제가 없는 실정이다. 그러므로 본 연구는 H₂S 독성가스감지기를 설치해야 할 공정설비의 H₂S 가스 함량의 정량적 기준을 500 ppm으로 제시하고 타당한 근거를 설명하였다. 또한 ALOHA 프로그램을 사용하여 과거 H₂S 가스 누출 사고를 재구성하여 IDLH 값인 100 ppm까지의 확산 반경을 산출하였다. 모델링의 기상 조건은 국내 3대 석유화학단지인 울산, 여수, 대산의 조건을 각각 적용하였으며, 울산, 대산, 여수 순서로 긴 반경이 도출되었다. 비상시 안전을 위해서 본 연구에서 얻은 H₂S 가스의 100 ppm까지의 확산 반경을 고려한 추가적인 H₂S 독성가스감지기가 설치되어야 하고, 이때는 반드시 지역별 기후조건이 고려되어야 할 것이다.

Abstract - Design techniques for minimizing the damage caused by leakage of H₂S gas, contained in natural gas and petroleum, have been widely studied abroad in chemical plants that purify and process natural gas and petroleum. However, there is no domestic engineering practice and regulation of H₂S. In accordance with the circumstances, this study proposes the quantitative criteria of process equipment to install H₂S toxic gas detector as 500 ppm and explains the valid basis. The H₂S gas dispersion radius up to IDLH 100 ppm is calculated by ALOHA under previous H₂S gas leak accident scenario. The weather conditions of modeling include the conditions of Ulsan, Yeosu and Daesan, the three major petrochemical complexes in Korea. The long radius up to 100 ppm was derived in order of Ulsan, Daesan, Yeosu. For emergency safety the dispersion radius up to 100 ppm of the H₂S gas obtained in this study should be extended to apply the additional H₂S toxic gas detector, and local climate conditions should be considered.

Key words : H₂S, toxic gas detector, KGS FP111&112, ALOHA modeling, F&G mapping

†Corresponding author:jaeyoung.choi@hec.co.kr
Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

H₂S 가스는 천연가스 및 석유에 원천적으로 포함되어있기 때문에, 이를 정제하는 천연가스 및 석유화학 플랜트에서는 필수불가결한 독성가스이다. 석유화학 제품을 생산하는 대부분의 화공플랜트에서 이 H₂S 가스를 처리하기 위해 별도의 처리공정이 필요하다[1]. 또한 많은 가스 중에서도 H₂S 가스를 한정해서 안전설계에 반영하도록 하는 세계적인 지침이 별도로 존재할 정도로 화공플랜트 업계 종사자들에게 H₂S는 가장 많은 관심을 받는 독성가스이다. 그럼에도 국내에는 화공플랜트에서 발생하는 H₂S 가스를 감지하는 독성가스감지기에 관한 법적 규제 및 설계지침이 전무하다. 지금까지 국내의 화공플랜트에 적용된 H₂S 독성가스감지기는 안전설계 엔지니어와 인허가 심사관의 주관적 관점으로 설계 및 검토되어 운영되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 크게 2가지의 관점에서 H₂S 독성가스감지기 설계 개선안을 제시하고자한다.

첫 번째로는 H₂S 독성가스감지기가 필요한 공정설비를 선정하는 정량적인 기준을 제시하고자 한다. 기존 국내 화공플랜트 안전설계 시에는 설계자의 주관적 관점으로 H₂S 독성가스감지기가 필요한 공정설비가 선정되어왔다. 따라서 H₂S 가스가 함유된 공정설비에 누출 시 인체에 피해를 줄 농도가 아님에도 H₂S 독성가스감지기가 설치되었을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 본 연구는 공정흐름도(Process Flow Diagram)의 물질수지(Material Balance)값을 기준으로 H₂S를 500 ppm 이상 다루는 설비를 독성가스감지기가 필요한 설비로 선정하는 방안을 제시하고자 한다. 인체에 H₂S 가스가 500 ppm 이상 노출이 되면 치명적이며, 600 ppm의 농도에 5~15분 노출이 되면 심각하다는 의학 연구결과가 있다[2]. 또한 국제표준 ISO 10418에서도 “Industry practice is to recognize that the fatality from H₂S exposure can occur over a wide band but a level of around 500 ml/m³ to 1000 ml/m³ exposure for a short period, the fatal exposure levels would be significant.”로 언급하고 있다[3]. 그리고 영국 HSE 협회에서는 “For H₂S concentrations in the production streams exceeding 500 ppm, fixed H₂S detectors should be installed.”로 언급하고 있다[4]. H₂S 가스의 경우 TLV-TWA의 값은 10 ppm이지만, 화공플랜트에서 근로자는 공정지역에 항상 상주하지 않을뿐더러 10 ppm의 H₂S 가스 누출은 주변 환경에 따라 희석될 수 있으므로 이 경우에는 휴대용 독성가스감지기를 이용해 감지하도록 되어있다. 이

러한 기준을 토대로 해외 유명 사업주(ABU DHABI GAS INDUSTRIES LTD. 등)는 공정흐름도(Process Flow Diagram)의 물질수지(Material Balance)값을 기준으로 H₂S 가스를 500 ppm 이상 다루는 설비에 H₂S 독성가스감지기를 설치하도록 하고 있다. 따라서 H₂S 가스 함유량 500 ppm을 기준으로 그 이상 다루는 공정설비에 H₂S 독성가스감지기가 필요하다는 관점을 제시하고자 한다.

두 번째로는 비상시 고농도의 H₂S 가스 누출로부터 근로자를 보호하기 위해 독성가스감지기를 설치하는 방안에 대해 제시하고자 한다. 통상 해외 화공플랜트 안전 설계 시, 해외 유명 사업주(Shell社 등)는 ‘Fire & Gas Mapping Study’라는 가스 확산 모델링 결과를 토대로 가스감지기를 배치할 것을 요구하는 경향이 있다. 가령 Shell社의 설계지침인 DEP(32.30.20.11) Fire, Gas and Smoke Detection Systems에 보면 “Use of optimisation modelling technique (e.g. fire and gas detection mapping) is the preferred method unless it can be demonstrated that modelling is not suitable for the project application or hazardous scenario.”와 같은 구절이 있다[5]. 반면 국내에서는 독성가스의 확산 반경을 토대로 독성가스감지기의 위치를 선정하는 것이 아니라, 독성가스를 다루는 설비의 수평투영면을 이은 설비군 인근에 설계자의 관점에 따라 가스가 체류할 수 있는 지역에 독성가스감지기를 위치시키는 것을 법적으로 규제하고 있다[6]. 이 경우 독성가스의 확산 반경이 고려되지 않기 때문에 실제로 독성가스감지기가 독성가스를 감지하지 못할 가능성이 크다.

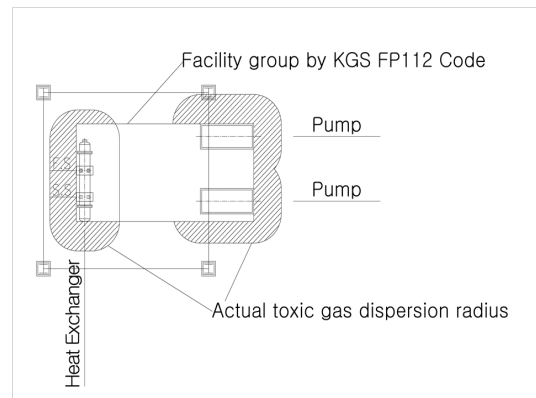


Fig. 1. Facility group that does not reflect the toxic gas dispersion radius.

Fig. 1은 화학공장 내부의 건물 외의 공정지역에 위치한 열교환기(Heat Exchanger)와 펌프(Pump)이고, 이들은 독성가스를 다루는 설비라고 가정하자. 그리고 이 설비들에서 독성가스가 실제로 누출이 이루어진다면 빗금의 반경을 나타낸다고 가정하자. 이러한 가정 하에서 KGS FP111 및 112 Code에 따라 설비군을 산정한다면, 열교환기와 펌프의 수평 투영면을 잇는 사각형 부분이 설비군으로 산정이 된다. 현행법을 기준으로 설비군의 둘레 20 m당 1개의 비율로 독성가스감지기의 법적 최소 수량을 산출하여 설비군 인근에 설치하고 있으며, 이때 독성가스의 확산 반경은 일반적으로 고려되지 않는다. 이렇게 독성가스감지기를 설치하면, 실제 설비들이 가지는 독성가스의 누출 확산 반경을 설비군이 포함하지 못하게 될 가능성이 높다.

인화성가스와는 달리 독성가스의 누출 확산 반경은 곧 허용 농도치의 차이를 의미하므로 이 농도 차이에 따른 반경에 따라서 작업자가 피해를 입을 수도 입지 않을 수도 있다. H₂S 가스의 TLV-TWA 값은 10 ppm이고 일반적으로 화공플랜트의 근로자들은 공정지역에 하루 8시간, 1주일 40시간동안 상주하지 않으므로 휴대용 독성가스감지기의 감지를 통해 근로자들이 대피하면 H₂S 가스로 인한 피해는 줄일 수 있다. 그러나 근로자들이 특수한 상황, 가령 휴대용 독성가스감지기를 휴대하지 못하였거나 H₂S 가스의 누출은 인지하였으나 부상으로 인해 멀리 대피하기 어려운 경우 등에서는 단기간에도 치명적일 수 있는 고농도의 H₂S 가스 확산 반경 외부로 대피하는 것이 우선적이다. 따라서 긴급 대피가 필요한 고농도 독성가스의 끝점 기준의 확산 반경이 안전의 관점에서 추가적으로 고려될 필요가 있다. 과거 2013년 4월 14일 울산의 삼성정밀 화학의 염소가스 누출 사고 사례에서도 염소가스의 누출을 감지한 근로자들이 대피하던 중, 어느 지점까지가 독성가스 허용치에서 자유로운지 알지 못하여 고농도의 독성가스 확산지역에서 응급조치를 하던 근로자 2명이 피해를 받아 병원으로 이송된 사례도 있다. 만약 독성가스가 고농도로 누출된 끝점 반경에 독성가스감지기가 설치되었다면, 해당 감지기의 외부 지역에서 응급조치가 이루어 졌을 것이고 최소한 대피 중 고농도의 독성가스에 노출되는 상황은 피할 수 있었을 것이다.

따라서 독성가스감지기에 한하여 현행법의 설비군 개념을 실제 독성가스의 확산 반경을 포함할 수 있도록 보다 더 구체화 할 필요가 있다. 그 중에서도 단기간의 노출에서도 치명적인 영향을 줄 수 있는 독성가스의 농도 및 확산 반경을 고려한 독성가

스감지기의 배치가 추가적으로 고려되어야 한다. OSHA (Occupational Safety and Health Administration)에 따르면 본 연구에서 다루는 H₂S 가스의 대표적인 독성 특성은 **Table 1**과 같다.

본 연구에서는 2000년 2월 국내의 한 정유공장에서 발생한 H₂S 가스 누출로 인한 사망사건을 재구성하여 H₂S 가스의 IDLH 값인 100 ppm을 끝점 농도로 하여 30분간 누출 되는 조건에서의 확산 반경을 구하고자 한다. IDLH 값은 생명 또는 건강에 즉각적인 위험을 초래하는 농도로 30분간 노출되면 사망 하거나 회복 불가능한 건강장해를 일으킬 수 있다. NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)에서는 “IDLH values are established to ensure that the worker can escape from a given contaminated environment in the event of failure of the respiratory protection equipment.”

Table 1. Toxic characteristic and limit of H₂S

Toxic hazard statement		
GHS Code	H319	Causes serious eye irritation.
	H330	Fatal if inhaled.
Description	Hydrogen sulfide gas causes a wide range of health effects. Workers are primarily exposed to hydrogen sulfide by breathing it. The effects depend on how much hydrogen sulfide you breathe and for how long. Exposure to very high concentrations can quickly lead to death.	
Worker exposure limits		
NIOSH	REL	10 ppm (10-min, ceiling)
OSHA PELs	General industry ceiling limit	20 ppm
	General industry peak limit	50 ppm (up to 10 minutes if no other exposure during shift)
NIOSH	IDLH	100 ppm
ACGIH	TLV-TWA	10 ppm
	TLV-STEL	15 ppm

로 언급하고 있다. 즉, 근로자들이 별도의 안전장치를 가지고 있지 않은 비상상황에서 대피해야 하는 농도 기준으로 적용하기에 적합하다. 따라서 이 확산 반경의 최외각 부분에 독성가스감지기를 설치하여 비상시 근로자의 안전을 보호하기 위한 방안에 대해 제안하고자 한다.

II. 방법

본 항에서는 2000년 2월 국내의 한 정유공장에서 발생한 H₂S 가스 누출로 인한 사망사건을 재구성하여 H₂S 가스가 100 ppm이 되는 지점까지의 확산 반경을 구하는 방법에 대해 소개하고자 한다.

2.1. H₂S 가스 누출 사고 시나리오

과거 2000년 2월 ○일 19시 20분경 ○○(주) 정유

Table 2. H₂S gas release accident scenario

	Note
Leak source	HOU unit, VRDS high pressure separator bottom line's drain valve (3/4")
Operating Pressure	143 [kg/cm ² g]
Operating Temperature	50 [°C]

Table 3. The main components of the accident facility

	CAS No.	Molecular weight [kg/kmol]	Mole fraction [%]	Heat capacity ratio [γ]
H ₂	1333-74-0	2	30.9	1.41
H ₂ S	7783-06-4	34.08	13.8	1.32
H ₂ O	7732-18-5	18.02	0.7	1.33
C1	74-82-8	16.04	19	1.30
C2	74-84-0	30.08	14.7	1.19
C3	74-98-6	44.11	15.6	1.13
C4	106-97-8	58.1	5.3	1.09
Mixture characteristic		22.88	100	1.28

공장 내 증질유분해공장(HOU)의 진공잔사유탈황 공정(VRDS)에서 근로자가 고압분리장치 Bottom line의 막힘 여부를 확인하기 위해 3/4"의 Drain valve를 렌치와 망치를 이용해서 열다가 H₂S 가스가 누출되어 사망한 사고가 있었다. 사고가 발생된 설비의 공정조건은 Table 2와 같다.

그리고 당시 사고 물질의 조성을 정리 및 분석하면 Table 3과 같다.

2.2. 독성가스 확산 모델링 프로그램 : ALOHA

본 연구에서는 시뮬레이션 프로그램으로 ALOHA (Aerial Location Hazardous Atmosphere)[7]를 사용하였다. 본 프로그램은 미국 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 개발하여 미국 EPA (Environmental Protection Agency)가 공동으로 활용하는 피해 예측 프로그램으로, 국내에서는 장외영향평가에 허용되는 3개의 시뮬레이션 프로그램(ALOHA, Phast, KORA) 중의 하나이다. 아울러 화학물질안전원에서는 'ALOHA 사용자 가이드'를 별도로 작성하여 배포하고 있고 전문가 대상으로 교육을 시키는 등 국내에서 공인된 프로그램이다. 또한 EPA의 홈페이지에서 무료로 다운로드가 가능하고 프로그램 운영이 간단하며, 비싼 상용 프로그램인 Phast와 비교할 때에 오히려 보수적인 결과를 주기 때문에[8] 산업현장에서도 널리 활용되고 있다.

2.3. ALOHA 모델링 누출조건 및 기상조건

ALOHA 모델링의 입력변수인 누출조건은 장외영향평가에 사용되는 사고시나리오 선정에 관한 기술지침(화학물질안전원, 제2016-4호)과 화학사고 비상대응 안내서(환경부, 제2014-256호)의 대안의 누출 시나리오 조건인 누출원의 높이 0 m를 적용하였고, 누출시간은 30분을 적용하였다. 본 연구에서 적용한 H₂S 가스는 IDLH 값에 30분 이상 노출 시 인체에 치명적이다. 따라서 30분 동안 누출이 이루어졌을 때 끝점 농도가 IDLH 값인 확산 반경 내부에 근로자가 있게 된다면 치명적인 피해를 받을 수 있으므로, 반드시 피해야 하는 지역으로 볼 수 있다.

기상조건은 국내 3대 석유화학단지인 울산, 여수, 대산의 기상청에서 얻은 각 지역의 평년기후조건(1981년 ~ 2010년)을 적용하였다. (기상청, 1981 ~ 2010년, 한국기후표)

ALOHA 모델링에 적용한 누출조건 및 기상조건은 Table 4와 같다.

2.4. ALOHA 모델링 대상물질 및 누출공의 크기와 공정조건

ALOHA 모델링의 대상 물질은 과거 사고당시의 공정조건인 **Table 3**의 H₂S 가스가 함유된 혼합물로 선정하였으며, 누출을 산출을 위한 물성값에는 분자량 22.88 [kg/kmol] 및 비열비(γ) 1.28을 적용하였다. ALOHA의 경우 직접적인 혼합물의 모델링을 지원하지 않으므로, 누출을 수식에 적용되는 혼합물의 물리화학적 인자는 사고 물질 개별 조성이 모두 이상기체로 존재한다는 가정 하에 불분율을 통해 산출하였다. 또한 사고 물질은 탄화수소와 H₂S 가스의 혼합물이므로 독성 가스 확산의 끝점 농도는 H₂S 가스의 IDLH 값인 100 ppm을 기준으로 모델링을 진행하였다.

누출공의 크기는 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE P-107-2016)을 적용하였다[9]. 본 사고 시나리오의 경우 누출공의 크기로 3/4"를 적용하였다.

공정조건인 경우 본 연구의 사고 시나리오에 따라 운전압력 143 [kg/cm²g] 및 운전온도 50 [°C]를 적용하였다.

2.5. ALOHA 모델링 적용 누출율

누출율은 누출원 모델링에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE P-92-2012)의 가스 상의 누출에

적용하는 수식을 적용하였다[10]. 우선 수식(1)에 H₂S 가스 혼합물의 비열비(γ)인 1.28을 통해서 임계 흐름압력인 78.56 [kg/cm²g]을 얻는다. 그런데 이 임계압력 값이 대기압인 1.03 [kg/cm²g]보다 크므로, 초크 상태의 누출을 수식인 수식(2)를 적용하였다. 수식(2)에서는 2.1절에서 제시된 공정설비의 운전온도인 323.15 [K], H₂S 가스 혼합물의 비열비인 1.28, 분자량인 22.88 [kg/kmol], 2.4절에서 적용하기로 한 누출공의 크기인 3/4" 조건을 적용하였다.

$$P_{CF} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} P_1 \tag{1}$$

P_{CF} : 임계흐름압력 [kg/cm²g]
 P_1 : 화학설비의 운전압력 [143 kg/cm²g]
 γ : H₂S 가스 혼합물의 비열비 [1.28]

$$Q = AP_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M_w}{RT_1} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \tag{2}$$

Q : 누출량 [kg/s]
 P_1 : 화학설비의 운전압력 [143 kg/cm²g]
 g_c : 중력상수 [9.8 kgm/kg_fs²]
 M_w : H₂S 혼합물의 분자량 [22.88 kg/kmol]
 A : 누출원 면적 [2.85 × 10⁻⁴ m²]
 T_1 : 화학설비의 운전온도 [323.15 K]
 R : 가스 상수 [847 mkg_f/kmol K]

위의 누출율 수식을 적용하면 초기 H₂S 혼합물의 누출율은 7.74 × 10⁻⁴ [kg/s]이다.

III. 결과 및 토의

3.1. H₂S 가스 누출 사고 시나리오의 100 ppm까지의 확산 반경

본 항에서는 본 연구의 2.3~2.5절에서 언급한 조건을 토대로 지역별로 ALOHA 모델링을 통해 H₂S 가스의 IDLH 값인 100 ppm까지의 확산 반경을 산

Table 5. Dispersion radius up to 100 ppm of H₂S gas by the three major petrochemical complexes

	Dispersion radius up to 100 ppm of H ₂ S gas [m]
Ulsan	20
Yeosu	<10
Daesan	10

Table 4. Parameter values used in ALOHA

	The three major petrochemical complexes in Korea		
	Ulsan	Yeosu	Daesan
Parameter	Value		
Release duration	30 [min]		
Release height	0 [m]		
Reference height	10 [m]		
Wind speed	2.1 [m/s]	4.1 [m/s]	2.4 [m/s]
Ambient temperature	14.1 [°C]	14.3 [°C]	11.9 [°C]
Relative humidity	64.2 [%]	66.4 [%]	74.1 [%]
Stability class	C	C	C

출하였다.

H₂S 가스 100 ppm까지의 확산 반경의 지역적 차이를 비교하기 위해 국내 3대 석유화학단지인 울산, 여수, 대산지역의 기후조건을 활용한 값을 적용하였다. 그 결과는 Table 5와 같다.

3.2. H₂S 가스 누출 사고 시나리오의 H₂S 독성 가스감지기 설치 시 적용 방안

현행법인 KGS FP111 및 112 Code에서 언급하는 설비군 개념에 개별 공정설비 별로 얻은 H₂S 가스의 IDLH 값인 100 ppm까지의 확산 반경을 추가 고려하는 안을 제안하고자 한다. IDLH 값에 30분 이상 노출되면 인체에 치명적인데, 이 확산 반경 내부는 H₂S 가스가 IDLH 값인 100 ppm 이상으로 30분간 지속된 지역이므로 H₂S 가스 누출 설비의 인근 근로자가 긴급히 대피해야 하며, 근로자가 해당 농도의 확산을 감지할 수 있도록 H₂S 독성가스감지기가 설치되어야 할 필요가 있다.

Table 5에 따르면 H₂S 가스 100 ppm까지의 확산 반경은 동일한 공정조건이더라도 지역별로 울산, 대산, 여수 순서로 긴 반경이 나온다. 따라서 H₂S 가스 확산 반경을 H₂S 독성가스감지기 설치에 적용하려면 반드시 지역별 미기상학적 특성을 고려해야 할 것으로 보인다.

IV. 결론

본 연구에서는 국내 화공플랜트에서 비상시 안전을 위한 H₂S 독성가스감지기 설계방안에 대해 제시하였다. 크게 다음의 2가지로 나뉜다.

(1) H₂S 가스의 누출이 인체에 치명적인 피해를 줄 수 있는 농도는 500 ppm보다 높을 때부터이다. H₂S 가스의 TLV-TWA 값은 10 ppm 이지만, 화공플랜트의 근로자들은 공정지역에 항시 상주하지는 않고, 10 ppm의 H₂S 가스는 외부 조건에서 희석될 수 있기 때문에 휴대용 독성가스감지기로 H₂S 가스의 누출을 감지하는 것이 더 합리적이다. 따라서 해외 유명 사업주(ABU DHABI GAS INDUSTRIES LTD. 등)의 경우 화공플랜트의 공정설비가 공정흐름도(Process Flow Diagram)의 물질수지(Material Balance)값을 기준으로 500 ppm 이상의 H₂S 가스를 보유할 때 H₂S 독성가스감지기 설치 대상 설비로 분류하고 있다. 그러나 국내에는 화공플랜트에서 발생하는 H₂S 가스를 감지하는 독성가스감지기의 설치 대상 설비에 관한 법적 규제 및 설계지침이 전무하므로, H₂S 가스 함유량을 500 ppm 기준

으로 그 이상 다루는 공정설비에 H₂S 독성가스감지기가 필요하다는 선진사의 관점을 하나의 가이드라인으로 제시하였다.

(2) 국내의 H₂S 독성가스감지기 위치 선정 방식은 실제 H₂S 가스의 확산 반경을 고려하지 않은 방식이다. 따라서 근로자의 비상시 안전을 위한 고농도 H₂S 가스 확산 피해를 막기 위해서는 H₂S 가스가 30분간 누출되었을 때 끝점 농도가 IDLH 값인 100 ppm까지의 확산 반경을 고려한 독성가스감지기 배치가 추가적으로 이루어져야 한다. 본 연구에서는 과거 실제 H₂S 가스 누출 사고의 조건을 바탕으로 확산 반경을 도출하였다. H₂S 가스의 확산 반경은 ALOHA 모델링을 통해 수행하였으며, 지역적 차이를 비교하기 위해 국내 3대 석유화학단지인 울산, 여수, 대산의 평년 기상조건을 활용한 값을 적용하였다. 지역 조건이 울산, 대산, 여수인 순서로 H₂S 가스의 확산 반경이 길게 도출되므로, H₂S 가스 확산 반경을 H₂S 독성가스감지기 설치에 적용하려면 지역적인 차이도 고려되어야 할 것이다.

본 연구의 결과를 적용하면 H₂S 가스의 누출이 일어난 설비 인근의 근로자가 별도의 안전장치를 가지고 있지 않을 때 반드시 대피해야만 하는 지역을 인지할 수 있게 하여 2차 피해를 막을 수 있을 것이다. 따라서 실제 화공플랜트에서의 H₂S 가스 누출 시 근로자의 피해를 최소화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Gas Processor Suppliers Association(GPSA), *The GPSA Engineering Data Book : Section 22. Sulfur Recovery*, 13th ed., GPSA, Tulsa, Oklahoma, U.S., (2012)
- [2] Simson, R. E., and Simpson, G. R., "Fatal hydrogen sulphide poisoning associated with industrial waste exposure", *Medical Journal of Australia*, 6, 331-335, (1971)
- [3] ISO, *ISO 10418 : Petroleum and natural gas industries - Offshore production installations - Process Safety System*, ISO, Swiss, (2015)
- [4] Walsh, P., Hemingway, M., and Rimmer, D., *Review of alarm setting for toxic gas and oxygen detectors*, Health and Safety Laboratory, Harpur Hill, Buxton, Derbyshire, SK17 9JN, U.K., (2013)
- [5] Shell, *Design and Engineering Practice(DEP) 32.30.20.11-Gen : FIRE, GAS AND SMOKE*

- DETECTION SYSTEMS*, Shell, U.K., (2010)
- [6] Korea Gas Safety Corporation, *KGS FP111&112 Code : Facility/Technical/Inspection/Supervision/Safety Assessment Code for Production of High-pressure Gases*, KGS, Korea, (2017)
- [7] 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)
- [8] Hanna, S., Dharmavaram, S., Zhang, J., et al, "Dense Gas Dispersion Models for Three Recent Chlorine Railcar Accidents", *Process Safety Progress*, 27, 248-259, (2008)
- [9] Korea Occupational Safety & Health Agency, *KOSHA GUIDE P-107-2016 : 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침*, KOSHA, Korea (2016)
- [10] Korea Occupational Safety & Health Agency, *KOSHA GUIDE P-92-2012 : 누출원 모델링에 관한 기술지침*, KOSHA, Korea (2012)