

# 밀폐공간 종류별 유해가스 발생 농도 평가

박현희<sup>1\*</sup> · 유계묵<sup>1</sup> · 함승현<sup>2</sup> · 정광재<sup>1</sup> · 신민아<sup>2</sup> · 이구용<sup>3</sup> · 장경조<sup>2</sup> · 윤충식<sup>2</sup>

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원<sup>1</sup>, 서울대학교 보건대학원 환경보건학과<sup>2</sup> 한국산업안전보건공단 서울지역본부<sup>3</sup>

## Exposure Assessment of Hazardous gases in Confined Spaces

Hyunhee Park<sup>1\*</sup> · Kye-mook Yoo<sup>1</sup> · Seung-hon Ham<sup>2</sup> · Kwang-Jae Chung<sup>1</sup> · Min-a Shin<sup>2</sup> · Koo-yong Lee<sup>3</sup> · Kyung-jo Jang<sup>2</sup> · Chung-sik Yoon<sup>2</sup>

*Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA<sup>1</sup>,  
Department of Environment Health, the Graduate school of Public Health, Seoul National University<sup>2</sup>  
Seoul Regional Office, KOSHA<sup>3</sup>*

Confined spaces are inherently dangerous workplace and many fatal and nonfatal accidents have been reported.

Even though these accidents occur in various kinds of confined spaces, there has rarely been reported on the health hazard agent, i.e., the types of gases and their concentration ranges. Therefore in this study, we evaluated several toxic and asphyxiating gas concentrations in various confined spaces.

We surveyed 57 manholes, 3 sewage treatment plants, 2 yellow radish manufacturing companies and 7 barges to measure the concentrations of oxygen(O<sub>2</sub>), hydrogen sulfide(H<sub>2</sub>S), carbon monoxide(CO), ammonia(NH<sub>3</sub>). Lower Explosion Limits(LEL) and Volatile Organic Compounds (VOCs). Those four types of confined spaces occupies 56% of accidents during last 9 years in Korea.

In 57 manholes, the concentration varied according to the types of manholes; rainfall and sewage, and by location; residential and industrial areas. Sewage manhole in industrial area was evaluated as the most hazardous than other types of manhole like rainfall manholes, residential sewage manholes. The highest H<sub>2</sub>S concentration and the lowest O<sub>2</sub> concentration at sewage manhole in industrial area were 300 ppm, 8.7% respectively. In 3 sewage treatment plants, H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> concentrations were reached up to the 500 ppm and 200 ppm

respectively. Two yellow radish manufacturing companies showed the concentrations of 316 ppm, 505.2 ppm, 90 ppm and 15.7% for H<sub>2</sub>S, CO, VOCs and O<sub>2</sub>, respectively. Seven barges showed 15.9%~20.9% oxygen concentration.

Gas species and concentration ranges varied by the types and location of confined spaces; CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> could be hazardous in manhole, especially manhole connected to sewage plants. CO, H<sub>2</sub>S, LEL, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> should be controlled in sludge silo and sludge pumping confined spaces in sewage treatment plant. The activity of lifting out radish from the storage tank was evaluated more hazardous rather than the other activities in yellow radish manufacturing industry. The employers must conduct the survey to identify all possible confined spaces in their local workplace prior to performing the tasks. At the national level to reduce the accidents in the confined spaces, we suggest that systemic approach and active education program including possible hazards, standard operation procedures, ventilation plan, and personal protective equipment in confined spaces should be implemented.

Key Words: confined space, oxygen deficiency, hydrogen sulfide, manhole

접수일: 2009년 8월 3일, 채택일: 2009년 11월 27일

\* 교신저자: 박현희(403-711 인천광역시 부평구 기능대학길 25 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,  
TEL: 032)510-0807 FAX: 032)518-0864) E-mail: phh2000@kosha.net)

## I. 서론

주로 여름철에 많이 발생하는 질식 재해는 맨홀, 오폐수처리장, 배관, 탱크, 반응기 등과 같이 다양한 밀폐공간에서 발생하는데 여름철 높은 기온과 습도로 인해 미생물 번식이 활발해지고 금속의 산화작용 등으로 황화수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄 등의 유해가스 발생율과 산소결핍 가능성이 높아지면서 작업 중 뜻하지 않게 생명을 잃게 되는 경우가 많다(조동란 등, 2005). 1999년~2007년 기준 9년간 질식 재해자는 총 237명으로 이 중 사망자 179명, 재해자는 58명으로 사망이 전체 질식재해의 약 75.5%를 차지하고 있어 사망자 비율이 4명 중 3명꼴로 치사율이 매우 높은 재해라고 볼 수 있다(한국산업안전보건공단, 2008).

질식재해를 예방하기 위해서 산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙에서는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우 밀폐공간보건작업 프로그램을 작성하여 작업 장소에 대한 사전조사를 실시하고 작업시의 조치사항으로 적절한 공기 상태여부를 확인하기 위한 측정·평가를 수행하도록 되어 있다. 적절한 공기란 산소농도의 범위가 18퍼센트 이상 23.5퍼센트 미만, 탄산가스의 농도가 1.5퍼센트 미만, 황화수소 농도가 10피피엠 미만인 수준의 공기를 말한다. 그러나 질식재해의 발생장소 및 기인물에 따른 유해가스 종류에 대한 자료가 부족한 상태에서는 적절한 측정센서 선정 및 측정방법에 오류를 범할 수 있다.

국내의 밀폐공간 질식위험에 대한 연구사례를 살펴보면, 산소결핍에 의한 질식사과 관련하여서는(김동훈 등, 2001)에서 목재가 선적된 선창에서 발생한 사망사고에서 사고 3일째 선창 내 가스 농도 측정결과 맨홀 상부 1미터 지점에서 산소 12.3%, 일산화탄소 105ppm, 메탄 2.7%, 황화수소 1.9 ppm 이었으며 맨홀 상부 2.5미터 지점에서는 산소 6.1%, 일산화탄소 220 ppm, 메탄 2.9%, 황화수소 2.3 ppm으로 산소결핍에 의한 질식을 증명하였고 역청탄이 적재된 화물창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사(김동훈 등, 2004)에서 사망 장소로 추정되는 곳에서 산소농도 8.1%, 가연성가스 1%, 황화수소 0%, 일산화탄소 3 ppm으로 측정되어 역청탄의 산화로 산소가 결핍되어 사망하였음을 보고하였다. 그러나, 분뇨 처리용 선박 저장탱크에서 발생한 황화수소로 인한 사고증례(김덕수 등, 2000)에서 황화수소 농도는 측정기기의 측정한 값 150ppm을 초과하여 정확한 농도를 알 수 없다고 하였고 하수처리장에서 발생한 황화수소 중독 2예(최수미, 1994)에서는 검지관을 이용한 측정에서 측정한 값을 초과하였다고만 보고하고 현장 측정결과는 제시하지 않았으며, 단무지 공장에서 발생한 질식사고의 원인과 방사선학적 소견(박충기 등, 1994)에서는 단무지를 저장한 유리병에서 황화수소 가스를

를 가스크로마토그래피/질량분석기로 분석한 결과 정성적으로 황화수소가 존재하고 있음을 보고하고 정량적 평가 결과는 제시하지 못하였다. 일산화탄소 중독에 관해서는 질식사 환자에 대한 혈중 COHb 농도, 동맥혈 가스분석, 심전도 소견 등 임상적 증례보고가 이루어졌으나 현장에서 발생한 유해가스 농도에 대한 자료는 없었다(안지영 등, 2003). 이와 같이 국내에서는 밀폐공간의 작업별 특성이나 밀폐공간 내 유해가스 발생에 대해서는 그 위험성을 추정할 뿐 실측자료 및 실험 자료는 매우 부족한 상황이다.

따라서, 이번 연구에서는 질식재해가 다발하였던 작업 장소에 대해 정상작업 상태에서 장소별 실태조사를 통한 발생 유해가스의 종류와 농도수준을 평가하여 국내 작업특성에 맞는 질식재해 예방대책의 기초자료로 활용하고자 한다.

## II. 연구대상 및 연구방법

### 1. 연구대상

1999년~2007년의 9년간 발생한 질식 재해를 발생장소별, 기인물질별로 구분하여 분석한 결과 질식재해가 가장 다발하였던 작업장소인 맨홀, 오폐수처리장, 식료품제조업(단무지제조업), 바지선 등을 조사대상으로 <Table 1>과 같이 선정하였다.

맨홀의 경우 경기도 ○○시에 위치한 맨홀을 대상으로 맨홀의 위치에 따른 유해가스 발생차이를 보기 위해 우수(n=18) 및 오수맨홀(n=39)로 크게 구분하고, 오수의 경우 주거지역(n=6) 및 공단지역(n=33)맨홀로 다시 구분하여 측정하였으며, 공단지역 오수맨홀의 경우 도금업(n=7), 염색업(n=6), 제지업(n=8), 식료품 제조업(n=4), 화학제품제조업(n=4), 하수종말처리장 인근(n=4) 등 업종별로 구분하여 측정을 실시하였다. 오폐수처리장(n=3)은 경기도 ○○시 하수종말처리장, 인천시 ○○동에 위치한 상가오피스텔 부패조, 사무실 빌딩의 자체 오수처리장으로 나누어 실시하였다. 단무지제조업(n=2)의 경우 강원도 ○○시에 위치한 단무지 제조사 2개소를 대상으로 단무지를 저장하는 작업과 출하하는 작업으로 나누어 측정하였다. 바지선(n=7)은 인천시 ○○항에서 크레인 바지선과 호퍼 바지선으로 구분하여 측정하였다.

### 2. 측정방법

측정에 사용한 장비는 내부에 펌프가 내장(분당 400cc 채취)되어 있는 형태의 직독식 유해가스 농도 측정기(Multi Rae, Rae system, USA)로 <Table 2>와 같이 산소농도(전기화학 방식, 측정점위 0~30% 또는 그 이상, 분해능 0.1%, 응답시간

15초 이내), 황화수소(전기화학방식, 측정점위 0~100ppm 또는 그 이상, 분해능 1ppm, 응답시간 20초 이내), 가연성가스(접촉연소식, 측정점위 0~100%, 분해능 1%, 응답시간 15초 이내), 휘발성유기화합물(광이온화검출기, 측정점위 0~200ppm, 분해능 0.1ppm, 응답시간 10초 이내), 일산화탄소(전기화학식, 측정점위 0~500ppm 또는 그 이상, 분해능 1ppm, 응답시간 20초 이내), 암모니아(전기화학식, 측정점위 0~50ppm 또는 그 이상, 분해능 0.1ppm, 응답시간 20초 이내)를 측정할 수 있다. 측정기기는 측정 전 스펠가스(산소농도 20.9%, 황화수소 10ppm, 가연성가스 50%, 휘발성유기화합물 100ppm, 일산화탄소 50ppm)로 보정 후 실시하였다.

맨홀의 경우, 측정은 맨홀에 있는 통기구멍을 통해 튜브(Tygon tubing, U.S.A.)를 높이별(0.5m, 1m, 1.5m, 2m)로 내려서 측정하였으며 각 맨홀마다 깊이별로 5분 동안 측정하여 농도가 정상상태에 이르도록 하였고 측정결과는 15초간격으로 측정기에 저장하였다. 다만 5분후에도 농도가 지속적으로 상승하는 경우에는 측정시간을 연장하였다. 오페수처리장의

경우, 저장조에 슬러지 높이에 따라 튜브(Tygon tubing, U.S.A.)를 내려서 측정하였으며 하수종말처리장의 경우 유입맨홀, 최초침전지, 농축조, 저류조에서 측정하였고, 사무빌딩 오수처리장에서는 정상가동 중 폭기조에서, 상가빌딩 단순부패조에서는 슬러지 펌핑작업 중 측정을 실시하였다. 단무지제조업의 경우 저장창고에 단무지를 저장한 상태, 출고된 상태의 저장조, 출고작업 중 그리고 탈염작업에 대해 측정을 실시하였다. 바지선의 경우 맨홀과 마찬가지로 깊이별로 5분 동안 측정하여 농도가 정상상태에 이르도록 하였다.

### 3. 자료 분석 및 통계

측정된 자료는 Microsoft Excel 2007을 이용하여 데이터 베이스화 한 후 작업장소별 평균농도, 표준편차를 산출하였으며 맨홀 농도의 경우 주거지역과 공단지역의 농도차이를 SPSS(PASW Statistics 17.0)를 이용하여 T-test 통계분석을 이용하여 분석하였다.

Table 1. Characteristics of investigated confined spaces

Type	Locations	Sample (n)		
Manhole	Rainfall	Residential	9	
		Industrial	9	
		Residential	6	
	Sewage	Industrial	33	- Plating (7), Dyeing (6), Paper mill (8), Food industry (4), Sewage plants(4) Chemical manufacturing (4)
	Sewage treatment plants		3	- Public sewage plants (1) - Simple deposition (1) - Private sewage plants (1)
	Yellow radish manufacturers		2	- Storage tank (2)
	Barges		7	- Crane Barges (2), Hopper Barges (5)

Table 2. Measurement range of gas detector sensor

Gas	Type	Range	Resolution
O <sub>2</sub>	Electrochemical	0~30 % or more	Less than 0.1 %
H <sub>2</sub> S	Electrochemical	0~100 ppm or more	Less than 1 ppm
LEL	Catalytic sensor	0~100 % (LEL ' s 25%)	Less than 1 %
VOC	Photoionization	0~200 ppm	Less than 0.1 ppm
CO	Electrochemical	0~500 ppm or more	Less than 1 ppm
NH <sub>3</sub>	Electrochemical	0~50 ppm or more	Less than 0.1 ppm

밀폐공간의 경우 질식재해 발생은 최대농도에 순간적으로 노출 시 의식을 잃고 사망하고 사례가 많으므로 평균농도 및 작업장소별 최대 발생 가스농도 값을 제시하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 맨홀

맨홀이란 노면에서 지하공간으로 사람이 출입할 수 있게 만든 구멍으로 현재 국내에서 사용되는 맨홀의 종류는 그 용도에 따라 상하수도, 전기, 통신, 소방용 등으로 분류되고 있다. 용도에 따라 맨홀 내부로의 출입목적 또한 다양해지는데 1999년부터 2007년까지 발생한 재해사례를 분석해보면 맨홀 내 출입사유로는 우수 및 오수맨홀의 경우, 맨홀 오수관의 상태확인 및 양수작업, 하수관로 보수작업을 위한 CCTV 촬영준비, 오수정화시설 방류수조 수증펌프 확인, 지하맨홀 내부에 있는 제수변 잠금 작업, 미준설 유입관로의 슬러지 및 토사 퇴적상태 확인 작업 등이었고, 상수도 맨홀의 경우, 파열된 상수관 밸브 잠금 작업, 제수변실 내 양수작업, 맨홀

내부 상수도관에 외부 부착식 유량계 센서케이블 설치 작업 등이었으며, 전력구 맨홀의 경우, 맨홀 선통 작업, 송전맨홀 우수유입 확인 작업 등이었다.

#### (1) 지역별 분포

공단지역과 거주지역의 맨홀 농도 결과는 <Table 3>와 같다. 우수맨홀의 경우, 거주지역에서는 일산화탄소가 평균 0.6 ppm (범위 0-2 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.4 ppm (범위 0-5.5 ppm), 황화수소가 평균 0.3 ppm (범위 0-3 ppm), 폭발하한값이 평균 3.3 % (범위 0-9 %), 산소농도가 평균 20.8 % (범위 20.4-20.9 %)를 나타내었다. 공단지역에서는 일산화탄소가 평균 0.6 ppm (범위 0-2 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.0 ppm (범위 0-5.3 ppm), 황화수소가 검출되지 않았고, 폭발하한값이 평균 3.7 % (범위 0-26.0 %), 산소농도가 평균 20.6 % (범위 18.6-20.9 %)를 나타내 산소농도에 있어 거주지역보다 다소 낮은 농도값을 나타내었으나 다른 물질들에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 거주지역과 공단지역의 우수 맨홀에 대한 유해가스 농도의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

오수맨홀의 경우, 거주지역에서는 일산화탄소가 평균 0.8

Table 3. Concentrations of gaseous pollutants in manhole by locations and types

Types	Locations	n	Mean ± S.D.				
			CO (ppm)	VOC (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	LEL (%)	O <sub>2</sub> (%)
Rainfall	Residential	9	0.64 ± 0.68	1.36 ± 1.49	0.33 ± 0.77	3.28 ± 3.23	20.79 ± 0.19
	Industrial	9	0.58 ± 0.69	1.03 ± 1.56	0.0	3.68 ± 8.72	20.59 ± 0.74
Sewage	Residential	6	0.75 ± 0.97	1.55 ± 1.77	2.25 ± 6.28	2.75 ± 1.96	20.65 ± 0.37
	Industrial	33	9.56 ± 20.39	22.15 ± 39.79	16.71 ± 63.11	6.05 ± 5.32	19.79 ± 2.37
Range			0~105.0	0~154.0	0~315.0	0~23.0	8.7~20.9

Table 4. Concentrations of gaseous pollutants in manhole by Industries

Location	n	Mean ± S.D.				
		CO (ppm)	VOC (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	LEL (%)	O <sub>2</sub> (%)
Plating Industry	7	3.05 ± 2.70	19.3 ± 36.9	27.3 ± 64.3	8.23 ± 6.14	20.4 ± 0.27
Dyeing Industry	6	38.0 ± 32.1	58.7 ± 56.1	0	7.84 ± 4.81	19.2 ± 2.5
Food Industry	4	0.88 ± 1.36	2.96 ± 3.91	0.22 ± 0.67	8.44 ± 4.18	20.1 ± 0.61
Paper Mill	8	1.67 ± 2.49	8.14 ± 9.25	0.25 ± 0.62	4.0 ± 2.25	19.95 ± 1.54
Chemical Industry	4	0.3 ± 0.48	2.77 ± 1.51	0.3 ± 0.67	0.6 ± 1.26	20.7 ± 0.22
Sewage plant	4	10.6 ± 14.5	43.6 ± 56.6	126 ± 172.5	5.4 ± 7.4	16.1 ± 6.54
Range		0~105.0	0~154.0	0~315.0	0~23.0	8.7~20.9

ppm (범위 0-3 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 1.6 ppm (범위 0.2-6.3 ppm), 황화수소가 평균 2.3 ppm (범위 0-22 ppm), 폭발하한값이 평균 2.8 % (범위 0-6 %), 산소농도가 평균 20.7 % (범위 19.9-20.9 %)를 나타내었고 공단지역에서는 일산화탄소가 평균 9.6 ppm (범위 0~105 ppm), 휘발성유기화합물이 평균 22.2 ppm (범위 0.2~154 ppm), 황화수소가 평균 16.7 ppm (범위 0~315 ppm), 폭발하한값이 평균 6.1 % (범위 0~22 %), 산소농도가 평균 19.8 % (범위 8.7~20.9 %)의 농도를 보였다. 거주지역과 공단지역 간의 오수맨홀에 대한 유해가스의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 일산화탄소의 경우 p=0.0012, 황화수소는 p=0.03, LEL(%)은 p=0.0002, 산소(%)는 p=0.003으로 p<0.05 로 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러나 휘발성유기화합물(VOC)은 p>0.05로 통계적으로 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다.

(2) 공단지역 오수의 업종별 차이

공단지역 오수의 업종별 차이는 <Table 4>와 같다. 유해가스별 발생결과를 살펴보면, 일산화탄소 농도는 도금단지에서 평균 3.1ppm (범위 1~11 ppm), 염색단지에서는 평균 38.0 ppm (범위 4~105 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 0.9 ppm (범위 0~4 ppm), 제지업에서는 평균 1.7 ppm (범위 0~9 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~1 ppm), 하수종말처리장 인근에서는 평균 10.6 ppm (범위 0~28 ppm) 수준으로 염색단지 맨홀에서 최대 105 ppm을 나타내었다. 휘발성유기화합물 농도를 살펴보면 도금단지에서 평균 19.3ppm (범위 2.6~145 ppm), 염색단지에서는 평균 58.7 ppm (범위 8.6~154 ppm), 식료품 제조업에서는 평균 3.0 ppm (범위 0.1~10.1 ppm)로 검출되었다. 제지업에서는 평균 8.1 ppm (범위 1.7~24 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 2.8 ppm (범위 0~24 ppm), 하수종말처리장 인근에서는 평균 43.6 ppm (범위 2.3~111 ppm)수준이었다. 업종별 황화수소 농도를 살펴보면 도금단지에서 평균 27.3ppm (범위 0~203 ppm), 염색단지에서는 전혀

검출되지 않았고 식료품 제조업에서는 평균 0.2 ppm (범위 0~2 ppm)수준이었다. 제지업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 화학제품제조업에서는 평균 0.3 ppm (범위 0~2 ppm), 하수종말처리장 인근에서는 평균 126 ppm (범위 0~315 ppm) 수준이었다. 업종별 폭발하한값 농도를 살펴보면 도금단지에서 평균 8.2 % (범위 4~23 %), 염색단지에서는 평균 7.8 % (범위 4~19 %), 식료품 제조업에서는 평균 8.4 % (범위 4~15 %)로 검출되었다. 제지업에서는 평균 4.0 % (범위 0~8 %), 화학제품제조업에서는 평균 0.6 % (범위 0~3 %), 하수종말처리장 인근에서는 평균 5.4 % (범위 0~14 %)수준이었다. 업종별 산소 농도를 살펴보면 도금단지에서 평균 20.4 % (범위 20.1~20.9 %), 염색단지에서는 평균 19.2 % (범위 13.4~20.9 %), 식료품 제조업에서는 평균 20.1 % (범위 19.0~20.9 %)로 검출되었다. 제지업에서는 평균 20.0 % (범위 17.4~20.9 %), 화학제품제조업에서는 평균 20.7 % (범위 20.4~20.9 %), 하수종말처리장 인근에서는 평균 16.1 % (범위 8.7~20.9 %)수준이었다.

2. 오폐수처리장

오·폐수처리장은 생활하수 및 산업폐수 등을 처리하는 시설로 하수종말처리장, 사업장의 폐수처리장, 아파트 등 주거지역의 오수처리장 및 부패조 등을 말하며 1999년부터 2007년까지 오·폐수처리장에서 재해사례를 살펴보면 오·폐수처리장 침전지 내 슬러지 제거작업, 오·폐수처리장 침전지 슬러지 제거용 스크레퍼 고무시트 교체공사, 오·폐수처리장 유입스크린 이물질 제거, 폐수처리조 내 레벨 센서 조정 등의 작업을 위해 오·폐수처리장 출입 시 재해가 발생하였다.

각 측정지점별 유해가스 발생 최대농도를 살펴보면 <Table 5>과 같다. 하수종말처리장의 경우 유입맨홀에서는 일산화탄소가 42.7 ppm, 휘발성유기화합물이 17.8 ppm, 황화수소가 278.9 ppm, 암모니아 10.3 ppm 검출되었고, 최초 침전지에서

Table 5. Maximum concentrations of gaseous pollutants in sewage treatment plants

Location	Maximum Concentration						
	CO (ppm)	VOC (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	LEL (%)	O <sub>2</sub> (%)	NH <sub>3</sub> (ppm)	
Public-sewage plant	Entrance pipe	42.7	17.8	278.9	0	20.3	10.3
	Sedimentation Room	36.9	0.3	12.0	0	20.9	1.0
	Sludge Floation tank	36.9	7.2	320.1	0	20.9	12.9
	Sluge Silo	40.6	54.3	500.0	8.4	19.9	145.3
Private-sewage plant - aeration tank	1.1	5.4	69.3	0	20.4	13.9	
Simple deposition - sluge pumping	45.8	7.9	287	100	18.7	200	

는 일산화탄소가 36.9 ppm, 휘발성유기화합물이 0.3 ppm, 황화수소가 12.0 ppm, 암모니아 1.0 ppm 검출되었다. 농축조에서는 일산화탄소가 36.9 ppm, 휘발성유기화합물이 7.2 ppm, 황화수소가 320.1 ppm, 암모니아 12.9 ppm 검출되었고 저류조에서는 일산화탄소가 40.6 ppm, 휘발성유기화합물이 54.3 ppm, 황화수소가 500 ppm, 암모니아 145.3 ppm로 황화수소 농도는 측정기기의 최고 측정가능 농도에 이르렀다.

사무빌딩 오수처리장의 경우, 폭기조에서 일산화탄소가 1.1 ppm, 휘발성유기화합물이 5.4 ppm, 황화수소 69.3 ppm, 암모니아 13.9 ppm이 검출되었다. 상가빌딩 단순부패조의 경우, 슬러지가 펌핑되는 시간과 슬러지를 하수종말처리장에 운송하는 시간으로 약 6시간동안 측정이 이루어 졌으며 측정 중 발생한 최대농도는 일산화탄소가 45.8 ppm, 휘발성유기화합물이 7.9 ppm, 황화수소 287 ppm, 암모니아 200 ppm으로 검출기의 최대농도에 이르러 더 이상 측정을 할 수 없었다. 또한 폭발하한값이 검출기의 100%(실제 폭발농도의 25%)에 이르렀다.

### 3. 단무지 제조업

절임식품인 단무지는 저장조에 소금, 쌀겨와 무를 번갈아 한꺼번 빈틈없이 눌러 담은 다음 나무, 돌 등으로 눌러서 수개월 숙성·발효시킨다. 단무지의 향미는 무가 익는 동안 효모나 세균의 작용을 받아서 생기는데 무우 속에는 methylthiol (CH3SH), alkylisothiocyanate (R-N=C=S) 및 alkyl sulfide (R-S-R) 등 황성분이 유기황의 형태로 많이 포함되어 있다. 이러한

유기황들은 제조공정에서 미생물에 의해 분해되어 황화수소를 발생시키는 것으로 알려져 있다.

이번 실태조사에서는 강원도 ○○시에 위치한 국내 최대 단무지 제조사 2개소를 대상으로 저장조의 상태 및 작업형태를 고려하여 측정을 실시하였다. 측정 당시 단무지는 전년도 11월에 저장되어 약 7개월 이상 숙성된 상태였으며 단무지를 저장하는 상태, 저장조에서 출고하는 작업, 출고된 상태의 저장조, 탈염작업에 대하여 측정을 실시하였다. 단무지 저장조는 크기가 매우 다양하였으나 깊이는 모두 일정하였다.

단무지제조사업장의 측정결과는 <Table 6>과 같으며 깊이가 깊을수록 그리고 단무지의 출하 작업 도중에 가장 높은 농도를 나타내었는데 출하작업 중 저장조의 3m 깊이에서 일산화탄소 505.2 ppm, VOCs 90.0 ppm, 황화수소 316 ppm, LEL 18.7%, 산소 15.7%로 검출되어 황화수소와 일산화탄소 농도가 매우 높음을 알 수 있었다. 저장중인 단무지 저장고에서는 1m에서는 일산화탄소 37.6 ppm, VOCs 9.9 ppm, 황화수소 40.7 ppm, LEL 6.0 %, 산소 20.5 %로 검출되었으며, 1.5m에서는 일산화탄소 91.3 ppm, VOCs 52.0 ppm, 황화수소 114.1 ppm, LEL 10.3 %, 산소 20.4 %로 검출되었다. 빈 저장고인 경우 1m에서는 일산화탄소 1.8 ppm, VOCs 1.4 ppm, 황화수소 11.3 ppm, LEL 3.5 %, 산소 20.9 %로 검출되었으며, 2m에서는 일산화탄소 4.8 ppm, VOCs 0.7 ppm, 황화수소 9.3 ppm, LEL 3.4 %, 산소 20.6 %로 검출되었으며, 3m에서는 일산화탄소 12.0 ppm, VOCs 0 ppm, 황화수소 10.0 ppm, LEL 3.3 %, 산소 20.6 %로 검출되었다. 탈염조의 경우 1m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 3.3 ppm, 황화수소 5 ppm, LEL 0 %, 산소 20.9 %로 검출

Table 6. Maximum concentrations of gaseous pollutants in yellow radish storage tanks

Activity	Depth (m)	Maximum Concentration				
		CO (ppm)	VOC (ppm)	H2S (ppm)	LEL (%)	O2 (%)
Lifting out radish from storage tank	1.0	23.1	64.0	125.3	7.7	19.8
	2.0	135.2	64.4	316.0	14.2	17.8
	3.0	505.2	90.0	316.0	18.7	15.7
Storage Tank	1.0	37.6	9.9	40.7	6.0	20.5
	1.5	91.3	52.0	114.1	10.3	20.4
Empty storage	1.0	1.8	1.4	11.3	3.5	20.9
	2.0	4.8	0.7	9.3	3.4	20.6
	3.0	12.0	0	10.0	3.3	20.6
Desalted tank	1.0	0	3.3	5	0	20.9
	2.0	0	4.2	7	0	20.9
	3.0	0	4.9	8	0	20.9

### IV. 고찰

되었으며, 2m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 4.2 ppm, 황화수소 7 ppm, LEL 0%, 산소 20.9%로 검출되었으며, 3m에서는 일산화탄소 0 ppm, VOCs 4.9 ppm, 황화수소 8 ppm, LEL 0%, 산소 20.9%로 유해가스가 거의 발생하지 않았다.

#### 4. 바지선

바지는 자체 추진능력이 없으므로 예인선에 의해 예항(Towing) 혹은 압항(Pushing)되어 이동하며, 연안 및 하천 등지에서 여러 가지 용도로 사용된다. 바지선에서 재해사태를 살펴보면 공기부력탱크 내부 확인 및 탱크 청소 작업, 공기부력탱크 내 고인 빗물 등 제거를 위한 양수작업, 원목 또는 석탄 운반선 선창과 같은 작업 도중 재해가 발생하였다.

이번 실태조사에서는 인천시 ○○항에 위치하고 있는 바지선 7척에 대해 실태조사를 실시하였으며 결과는 <Table 7>과 같다. 크레인 바지선 2척과 호퍼(Hopper) 바지선 5척에 대해 실태조사를 실시하였다. 크레인 바지선은 선두에 크레인이 설치되어 있어 크레인으로 들어 올리는 물체의 무게에 따른 균형유지를 위해 맨홀 내에 물을 채우기도 하고 비우기도 하는 작업을 실시한다. 호퍼 바지선은 대부분 모래 및 자갈 등을 실어 나르는 바지선으로 바지선 바닥 전체공간이 분할되어 약 20개의 공간으로 나누어진 형태이며 각 공간별로 맨홀덮개가 있어 출입이 가능하다. 측정은 맨홀의 깊이를 측정하여 바닥지점까지 튜브를 내려서 맨홀 입구에서 가장 낮은 지점을 측정하였다.

바지선은 부력탱크 내 부식정도와 기온, 침수여부, 맨홀의 밀폐정도 등에 따라 농도가 상이하었는데 실태조사 대상 7개소 중 바지선 1개소에서 산소농도가 15.9%로 18% 미만을 나타내었으며 4개 바지선에서는 19.0% ~20.0%의 산소농도를 나타내었다. 2개의 바지선에서는 일반 대기조건과 동일한 20.9%를 나타내었다. 바지선 내부의 부력탱크에 부식정도가 심하고 바닥에 누수가 있는 경우 산소농도가 낮음을 확인할 수 있었으며 측정의 대부분이 9월에 이루어져 기온이 약 25℃ 안팎의 선선한 날씨로 기온이 높은 여름철에는 산소농도가 더욱 낮을 것으로 예상되었다.

이번 실태조사에서는 질식재해 다발 작업장소인 맨홀, 오폐수처리장, 단무지제조업, 바지선에 대한 유해가스 발생 실태를 알아보았다. 맨홀의 경우 종류와 주변 환경에 따라 맨홀 내부의 상황은 매우 다양하여 산소결핍 이외에도 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 황화수소가 건강에 영향을 줄 수 있는 농도 이상으로 검출되었다. 우수맨홀에 대한 유해가스 농도의 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 거주지역과 공단지역의 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 거주지역과 공단지역 간의 우수맨홀에 대한 유해가스는 t-검정(유의수준 5%)을 실시한 결과 일산화탄소의 경우 p=0.0012, LEL(%)은 p=0.0002, 산소(%)는 p=0.003, 황화수소는 p=0.03으로 p<0.05 로 두 지역간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 있음을 알 수 있었다.

밀폐공간 질식재해의 경우 재해가 발생하는 것은 평상시 작업환경에 노출되는 평균 농도수준보다는 최대 발생 가능한 농도에 주목할 필요가 있다. 이는 질식재해가 비정상적 또는 간헐적 작업 시 예상치 못했던 고농도의 유해가스에 노출될 때 발생하기 때문이다. 맨홀의 경우 유해가스별 최대 발생농도를 살펴보면, 일산화탄소의 경우 염색단지 맨홀에서 최대 105 ppm을 나타내었다. 일산화탄소는 200 ppm 이상에서 2~4시간 노출시 강도의 두통을 유발하며 1,000 ppm 이상에서 2~3시간 노출 시 경련을 수반한 실신, 2,000 ppm 이상에서 1~2시간 노출시 사망에 이르는 것으로 보고되고 있다 (Neil McManus, 1999). 휘발성유기화합물은 염색단지에서 최대농도 154 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었는데 휘발성유기화합물은 단일물질이 아닌 복합물질로 측정되어 노출기준과의 비교는 어려우나 발암성물질, 발암가능 물질을 다수 포함하고 있으므로 맨홀작업 시 주변업종의 사용물질에 대한 조사 및 개별 물질에 대한 측정이 요구된다. 황화수소는 하수종말처리장 유입관거에서 최대 315ppm이 검출되었는데 황화수소의 단시간노출농도(STEL)은 15ppm이며 즉각적으로 건강에 영향을 줄 수 있는 농도(IDLH: Immediately Dangerous to life and health)는 300ppm으로 이를 초과하는 농

Table 7. Maximum concentrations of gaseous pollutants in barges

Location	n	Mean ± S.D.				
		CO (ppm)	VOC (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	LEL (%)	O <sub>2</sub> (%)
Crane Barge	2	14.5	0.2	0.4	0	19.1
Hopper Barge	5	1.5	0	0.4	0	15.9
Range		0~14.5	0~0.2	0~0.4	0	20.9~15.9

도이다. 폭발하한 값(LEL, Lower Explosive Level, %)은 도금공정에서 최대 23 %로 검출되었는데 이는 실제 폭발농도의 25% 수준을 100으로 하는 값에 대한 비율이며 업종별로 유사하게 분포하고 있었다. 산소농도는 하수종말처리장 유입관거 맨홀에서 최저 8.7%까지 농도가 감소하였으며 염색단지에서도 13.4%까지 낮았다. 산소농도 8.7%는 의식불명을 일으켜 사망에 이를 수 있는 농도이다. 이번 실태조사에서는 지하에 연결되어 있는 맨홀 내부를 측정하지 못하고 지상으로 연결되는 통로를 대상으로 측정이 이루어졌는데 이는 또한 작업자들이 맨홀 내부 작업 시 작업 전 유해가스 농도의 측정을 사실상 맨홀 입구에서 실시할 경우 맨홀 내부의 유해가스 농도를 명확히 알 수 없는 한계점이 있음을 알 수 있었다. 따라서 맨홀 내 질식재해의 예방을 위해서는 먼저, 맨홀의 종류와 주변 환경에 따라 측정하여야 하는 유해가스 종류를 선정한 후 작업 전 농도 측정과 아울러 산소 및 유해가스 농도 측정기를 직접 착용하고 작업에 임하여야 할 것이다.

오폐수 처리장의 경우, 주요 유해가스는 황화수소와 암모니아로 황성오니법 및 소화처리법을 병행하는 하수종말처리장의 경우, 황화수소 농도가 저류조에서 최대 500 ppm, 농축조에서 320 ppm으로 NIOSH의 IDLH를 초과하는 농도를 나타내었는데 측정기 센서의 최대측정범위를 초과하여 정확한 측정값을 알 수 없었다. 미국 산업위생가협회(ACGIH)의 TLV(Threshold Limit Values)의 Documentation을 살펴보면 동물실험 중 개(dog)를 이용한 급성실험에서 3,000 ppm에서는 몇 번의 호흡 후 호흡이 멈추었으며 1,000 ppm에서는 15~20분 후 사망하였다고 기술되어 있다. 또한, 원숭이를 500 ppm에 22~35분동안 노출하였을 때 3마리 중 한 마리가 15분 이내에 의식을 잃었으며 현미경 관찰 결과 소뇌의 운동근육이 황화수소의 주요 손상기관으로 조사되었다. 아만성 실험(90일)에서는 344마리의 랫트와 쥐를 대상으로 0, 10.1, 30.5와 80 ppm 농도에서 실험한 결과 80 ppm에서 체중감소가 나타났고 대조군에 비해 뇌의 무게가 감소하였으며 조직병리학적으로는 비후점막에 염증이 나타났다고 보고하였다. 오폐수 처리장의 경우 고농도의 유해가스 발생으로 질식재해가 발생할 수 있는 작업장소임에도 통상 밀폐공간이라는 용어에 비추어볼 때 개방된 공간으로 작업자들의 위험성 인지도가 낮은 것을 알 수 있었다. 그러나 대부분의 오폐수처리장 오수 저장 및 처리시설 내부에서는 황화수소 및 암모니아가 매우 높은 농도로 정체되고 있으므로 작업자들에게 밀폐공간의 인식과 대책에 대해 주지되어야 하며 시설의 수리 등 인력의 내부투입작업 시에는 매우 엄격한 위험성 평가를 실시하고 관리자에 의한 통제가 이루어져야 한다.

단무지사업장의 경우 일산화탄소가 500 ppm 이상, 황화수소 또한 300ppm 이상으로 측정기의 측정범위를 초과하여 질

식재해 위험이 매우 높은 작업 환경임을 알 수 있었다. 단무지 저장조는 옥외에서 설치된 경우가 많은데 덮개를 개방 시 저장조는 넓은 개구부가 형성되어 작업자가 밀폐공간임을 인식하지 못하는 경우가 매우 많다.

바지선의 경우 실태조사 대상 7개소 중 바지선 1개소에서 산소농도가 15.9%로 18% 미만을 나타내었으며 4개 바지선에서는 19.0%~20.0%의 산소농도를 나타내었으나 측정의 대부분이 9월에 이루어져 기온이 약 25°C 안팎의 선선한 날씨로 기온이 높은 여름철에는 산소농도가 더욱 낮을 것으로 예상되었다.

## V. 결론

맨홀의 유해가스 농도 측정결과, 산소결핍 이외에도 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 황화수소가 건강에 영향을 줄 수 있는 농도 이상으로 검출됨을 알 수 있었는데 하수종말처리장 유입맨홀에서 산소농도가 최저 8.7%, 일산화탄소의 경우 염색단지 맨홀에서 최대 105 ppm, 휘발성 유기화합물(VOC)의 경우 염색단지 맨홀에서 최대 154 ppm, 도금단지에서 최대 145 ppm, 하수종말처리장 유입맨홀에서 최대 111 ppm, 황화수소의 경우 하수종말처리장 유입맨홀에서 최대 305 ppm으로 측정되었다.

오폐수처리장의 실태조사 결과 하수종말처리장 저류조에서 황화수소 최대 500 ppm 이상, 단순저장(부패)조에서 황화수소 최대 300ppm, 암모니아 최대 200ppm으로 측정되었으며, 단무지제조사업장의 경우 일산화탄소 505.2 ppm, VOCs 90.0 ppm, 황화수소 316 ppm으로 검출되었다. 바지선의 경우 1개소에서 산소농도가 15.9%로 18% 미만을 나타내었으며 4개 바지선에서는 19.0%~20.0%의 산소농도를 나타내었다.

밀폐공간 실태조사를 통해 맨홀, 오폐수처리장, 단무지제조업에서 사망에 이를 수 있는 농도의 유해가스가 발생되고 있음을 확인할 수 있었으며 맨홀은 맨홀의 종류(우수, 오수 등)와 주변 환경(업종 등)에 따라 맨홀 내부의 상황은 매우 다양함을 알 수 있었고 오폐수처리장과 단무지제조업은 작업내용에 따라 최대 농도수준이 상이함을 알 수 있었다.

따라서, 유해가스 농도 측정 시에는 이러한 점을 고려하여 측정기기의 가스 종류 및 측정범위를 확인하여야 하며 산업안전보건법에 명시한 17개 밀폐공간 지정 대신 포괄적 의미의 밀폐공간 정의를 도입하여 작업장 내 근로자가 출입할 수 있는 작업장소에 대해 작업내용에 따라 발생할 수 있는 유해가스에 대한 정보를 구축하는 것이 매우 필요하다.



## REFERENCES

- 김동훈, 김기권, 장태정, 김정란, 이 구 등, 목재가 선적된 선창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사, *Korea. J. Legal. Med*, Vol 25, No. 1, 2001
- 김동훈, 장태정, 역청탄 적재된 화물창에서 발생한 산소결핍에 의한 질식사, *동국의학*; Vol 11, No 1, 332-336, 2004
- 김덕수, 임현술, 김두희, 분뇨처리용 선박 저장탱크에서 발생한 황화수소로 인한 사고증례, *동국의학*; Vol 7: 147~155, 2000
- 밀폐공간작업 질식예방; 한국산업안전보건공단 기술자료 보건 2008-1-73, 2008
- 박충기, 김만구, 김홍철, 안범규, 박만수 등, 단무지공장에서 발생한 질식 사고의 원인과 방사선학적 소견 : 증례보고 및 가스분석 결과, *환경연구*; Vol 11, 1994
- 조동란, 함완식, 황병문 (2005), 밀폐공간 작업안전(산업안전교육원 교육교재), 한국산업안전공단
- 안지영, 류석용, 김홍용, 일산화탄소 중독환자의 임상적 고찰, *대한응급의학회지* Vol 14, No. 2, 2003
- 최수미, 이용철, 이양근, 하수처리장에서 발생한 황화수소 중독 2예, *전북의과대학논문집*, 제 18호 제2호, 1994
- Neil McManus (1999), *Safety and Health in Confined Space*, LEWIS