

## 밀폐공간 질식재해 자료 분석을 통한 질식재해 요인 분석 (2005-2015)

이정완<sup>1</sup> · 김태형<sup>2\*</sup> · 하현철<sup>3</sup> · 박승욱<sup>3</sup> · 안광석<sup>4</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 친환경해양플랜트FEED공학과, <sup>2</sup>창원대학교 환경공학과,

<sup>3</sup>(주)벤티크, <sup>4</sup>위스콘신 주립대 산업보건안전학과

## Analysis of Suffocating Accidents in Confined Spaces in the Past 10 Years (2005-2015)

Jung Wan Lee<sup>1</sup> · Tae Hyeung Kim<sup>2\*</sup> · Hyun Chul Ha<sup>3</sup> · Cheng Xu Piao<sup>3</sup> · Kwangseog Ahn<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Eco-Friendly Offshore Plant FEED Engineering, Changwon National University

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Changwon National University

<sup>3</sup>Ventech Corp

<sup>4</sup>Department of Occupational & Environmental Safety & Health,

University of Wisconsin-Whitewater 809 W. Starin Road, Whitewater, WI 53190, USA.

### ABSTRACT

**Objectives:** Despite recent efforts to prevent suffocation disasters, a number of confined space accidents still happen and each year deaths continue to occur. There have been insufficient studies on the dangers of various potential disaster sites, such as manholes, septic tanks, reactors, and other tanks according to type, characteristics, task-specific disasters, equipment specific disasters, etc. The purpose of this study was to analyze recent suffocation disasters based on place and properties.

**Methods:** In this study, we analyzed confined space accident cases from 2005 to 2015 in Korea and grouped them by type, size, monthly occurrence, continuous service period, accident location, person-specific group, age, employment, structural work and subcontracting work. We studied examples of accidents developed in other countries.

**Results:** (1) We reviewed confined-space accident statistics, compared legal standards and analyzed cases of suffocation accidents in the United States and Japan. (2) Using a case study report from the Korea Occupational Safety & Health Agency, we specified confined-space accident statistics based on place, person-specific group, age, employment, structural work and subcontracting work. As a result we generated some precautions about confined-space accidents for the prevention of such accidents.

**Conclusions:** Conclusions: Statistical analysis of recent suffocation disaster cases was performed to establish improvement measures, compare practices from developed countries, and develop precautionary measures accordingly. In this study, we presented the causes of disaster that occur in a confined space and proposed related preventive measures.

**Key words:** Confined space, suffocation accident, oxygen deficiency

### I. 서 론

밀폐공간이라 함은 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제618조의 별표 18에 의거하여 산소결핍이나 유

해가스로 인한 질식 및 화재, 폭발 등에 의한 사고의 위험이 있는 장소로 정의할 수 있다. 밀폐공간은 산소농도가 18%미만 23.5%이상, 탄산가스농도가 1.5% 이상, 황화수소농도가 10 ppm 이상인 장소의 내부로

\*Corresponding author: Taehyeung Kim, Tel: 82-0-3876-7565, E-mail: thkim@changwon.ac.kr

Department of Environmental Engineering, Changwon National University, Sarim-dong, Changwon-si, Gyeongsangnam-do

Received: November 9, 2016, Revised: December 7, 2016, Accepted: December 22, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한다. 또한, 근로자가 상시 거주하지 않는 공간이면서 환기가 불충분하여 유해가스, 불활성기체가 존재하거나 유입될 가능성이 있는 공간도 밀폐공간으로 분류하고 있다.

2005년~2015년 중반까지 밀폐공간에서 발생한 질식 사고를 분석한 결과 11년간 사망자는 222명, 부상자는 82명으로 사망이 전체 질식재해의 73%를 차지하고 있어 밀폐공간에서의 질식 사고는 다른 사고보다 사망률이 매우 높은 재해이다.

국내에서는 질식재해를 줄이기 위해 많은 노력을 하고 있지만 일본, 미국, 영국 등의 선진국과 비교했을 때 밀폐공간 사망자 수가 약 2~3배 높고, 매년 사고가 줄지 않고 있는 추세이다.

밀폐공간에서의 질식재해는 주로 피트, 맨홀, 탱크, 반응탑, 정화조, 침전조, 집수조 등 다양한 장소에서 산소결핍, 일산화탄소, 황화수소, 불활성가스 등 기타 유해가스와 같은 물질에 의해 발생한다. 작업장소 형태, 기인물질 종류 등 다양한 사고 원인이 있지만 사고 유형에 따른 정보가 부족하고, 작업별 특성에 따른 세분화된 연구가 미흡하여 밀폐공간에서의 질식재해는 지속적으로 발생하고 있는 실정이다.

국내의 밀폐공간 질식재해에 대한 연구사례를 살펴보면 1999년~2007년의 9년간 밀폐공간 재해 통계 현황을 분석한 연구(Yoo et al., 2009), 밀폐공간작업을 하는 산업의 관리와 실태조사(Yang et al., 2003), 단무지 공장에서 발생한 질식사고의 원인과 방사전학적 소견: 중례보고 및 가스분석결과(Park et al., 1994) 등이 있다. 하지만, 밀폐공간의 작업별, 공간별, 물질별, 근로자특성별 등을 고려한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 발생한 질식재해 사고사례를 통계 분석하여 기인물질 및 발생장소 특성별로 세분화하여 재해가 자주 발생하는 밀폐공간의 특징을 분석하고자 한다. 통계분석을 통해 작업별, 물질별 위험성을 파악하고, 재해원인을 파악하여 국내에서 발생하는 밀폐공간 질식재해 예방활동에 기여하고자 한다.

## II. 연구방법

주요 선진외국(일본, 미국 등)의 밀폐공간에 대한 법 및 질식재해 사고 사례를 정리 하고, 질식재해 현

황을 통계 분석하여 국내의 질식재해 사고 사례와 비교하였다. 미국의 밀폐공간 질식재해 현황을 분석하기 위해 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)와 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)의 FACE(Fatality Assessment and Control Evaluation)프로그램을 통해 171건의 보고서를 분석하였다. 일본의 경우는 일본 후생노동성의 자료를 참고하였다. 일본 후생노동성의 통계자료의 분석을 통하여 1989년~2014의 산소결핍증과 황화수소중독에 의한 재해발생 현황을 파악할 수 있고 년도별, 월별, 업종별 발생현황을 알 수 있다.

국내의 질식재해 현황 통계 분석은 2005년~2015년 중반까지의 안전보건공단 밀폐공간 질식재해 재해조사 의견서 165건을 활용하여 사고사례를 분석하였다. 재해조사 의견서를 통해 재해발생 장소 및 형태, 재해발생과정, 유해가스 종류 및 농도, 발생원인, 재해예방대책 등 재해현황을 상세히 알 수 있다.

총 165개의 사고사례를 「산업안전보건기준에 관한 규칙(618조 1항관련, 별표18)」에 의거한 분류체계에 따라 밀폐공간을 분류하고, 해당 공간을 “발생형태, 규모, 발생시기, 근속기간, 발생장소, 기인물질, 연령, 고용형태, 하청작업” 별로 구분하여 통계 분석하였다.

질식재해 통계분석 결과를 토대로 질식재해 종류별, 설비별, 발생장소 특성별로 세분화하고, 재해가 자주 발생하는 밀폐공간의 특징을 분석하였다. 또한, 해당 밀폐공간에서 발생하는 위험 요인과 재해원인을 파악하여 국내 밀폐공간 질식재해 예방에 기여하고자 한다.

## III. 연구결과

### 1. 해외 선진국 질식재해 분석

해외 밀폐공간 질식재해 현황은 국가별로 통계산출방식이 다르기 때문에 정확한 비교는 어렵다. 2008년도 안전보건공단에서 수행한 밀폐공간 작업 종류별 질식재해 요인 파악 및 예방대책 연구(Yoo et al., 2008)에서 각국의 밀폐공간 관련 사망자 통계 비교한 자료를 보면 천인율이 한국은 평균 12.8‰로 미국의 6.0‰과 일본의 5.6‰에 비해 두 배 정도 높다. 또한, 연간 밀폐공간 재해자 수를 보면 미국과 일본의 재해율은 해마다 낮아지는 추세를 보이는 반면, 국내

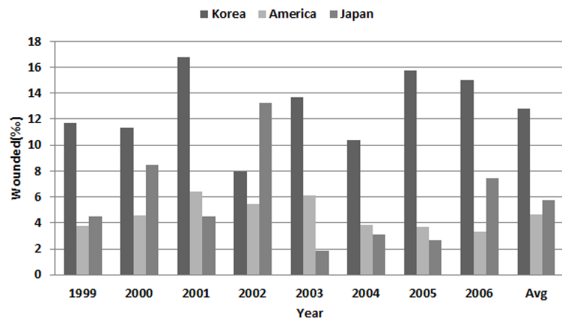


Figure 1. Suffocation accidents in confined space in Korea/America/Japan

의 연간 재해율은 줄지 않고 있는 실정이다(Figure 1). 국가별로 밀폐공간 관련 법적기준을 비교하면 밀폐공간 법적 지정, 관리대상 위험요인, 근로자 지정, 교육 등 국내와 큰 차이가 없다. 하지만, 국내와는 달리 미국과 일본은 밀폐공간에서의 사고를 통계분석하고, 장소별, 업종별, 위험요인별 재해 발생 현황을 파악해 체계적으로 관리를 하고 있어 재해를 줄이기 위해 상당한 노력을 기울인 것으로 판단된다.

### 1) 미국 질식재해 발생 현황

미국에서 발표한 The Need for a comprehensive Approach to Managing Confined Space Entry(Damien et al, 2014)에서 지난 30년간 밀폐공간(Confined Space)에서 발생한 사고를 분석한 결과 1980년대에 비해 1990년대의 사망자가 연평균 67명에서 38명으로 현격하게 감소됨을 알 수 있다. 또한, 미국은 우리나라와 일본과는 달리 대규모 농업생산에 따른 곡물저장/수송 등에 따른 사망자 수가 많았다.

NIOSH와 OSHA의 FACE프로그램 171건의 질식사고 보고서를 통계 분석한 결과 밀폐공간 질식재해가 가장 많이 발생하는 곳은 맨홀/하수구(manhole/sewer)였으며, 공간에 들어 간 이유의 대다수가 수리/유지보수(repair/maintenance)를 위해 들어갔다. 또한, 기인 물질은 산소결핍(oxygen deficient)에 비해 독성물질/불활성가스(toxic/inert)에 의한 사망자가 훨씬 많았으며 산업별로는 농업부분이 가장 많은 것으로 나타났다.

### 2) 일본 질식재해 발생 현황

일본 후생성의 통계자료를 분석한 결과 1989년~2014년동안 산소결핍에 의한 질식재해는 262건

이고 황화수소에 의한 재해는 96건이며, 연간 발생건수 및 재해자수는 감소하는 추세이다. 업종별 발생현황을 보면 제조업과 건설업이 대부분이며, 재해는 여름철에 주로 발생하였다. 또한, 재해는 가스치환으로 인한 산소결핍과, 황화수소 중독으로 인해 대부분의 재해가 발생하였다.

## 2. 국내 질식재해 분석 결과

### 1) 장소별 질식재해 비교결과

통계 분석은 2005년~2015년 중반까지의 안전보건공단 밀폐공간 질식재해 사례조사 자료를 활용하여 사고사례를 분석하였다. 총 165건의 사고사례를 「산업안전보건기준에 관한규칙(618조 1항관련, 별표18)」을 참고하여 Table 1과 같이 밀폐공간을 19개 장소로 분류하였다.

Table 1. Types of confined space

No	Confined space	Case
1	Well/Shaft/Caisson/Pit connected to stratum	0
2	Inside of well not used for long time	0
3	Culvert/Manhole/Pit for underground utilities	4
4	Tank/Culvert/Manhole/Pit for running water and using water	9
5	Heat exchanger/Tank/Culvert/Manhole/Pit for seawater	0
6	Boiler/Tank/Tower confined for long time and easily oxidized	6
7	Inside of Tank/Hopper/Lead absorbing oxygen	1
8	Confined Basement/Warehouse/Tank after painting	3
9	Inside of Silo/Hold for storing grains, feed, fruits, seeds, mushroom etc	2
10	Tank/Warehouse for storing soy sauce, alcohol, yeast	8
11	Septic tank/Settling tank/Sump/Tank/Culvert/Manhole/Pit rotten easily	44
12	Refrigerator/Freezer/Freezer truck/Freezer container using dry ice	0
13	Boiler/Tank/Reactor using He/Ar/N <sub>2</sub> /CFCs/CO <sub>2</sub> /inert gas	24
14	The place(O <sub>2</sub> <18%, O <sub>2</sub> >23.5%, CO <sub>2</sub> >1.5%, H <sub>2</sub> S>10 ppm)	2
15	Inside of the space curing concrete and temporary house using coal	11
16	Inside of Chemical Reactor/Tank	17
17	Inside of Duct and Air Cleaning Equipment for toxic gases	3
18	Inside of CO/CO <sub>2</sub> emitting space	24
19	Inside of toxic gas emitting space	7
Total		165

발생장소별 질식재해 현황을 살펴보면, 총 165건 중 부패하기 쉬운 물질이 있는 정화조/침전조/집수조/탱크/암거/맨홀/관/피트(septic tank/settling tank/sump/tank/culvert/manhole/pit rotten easily)는 44건으로 전체 재해 발생건수의 27%를 차지한다. 다음으로는 일산화탄소/이산화탄소가 발생하는 공간내부(inside of CO/CO<sub>2</sub> emitting space)가 24건(15%), 헬륨/아르곤/질소/프레온/탄산가스/불활성기체용 보일러/탱크/반응탑(boiler/tank/reactor using He/Ar/N<sub>2</sub>/CFCs/CO<sub>2</sub>/inert gas)이 24건(15%) 등의 순으로 나타났다.

재해가 가장 많이 발생한 정화조/침전조/집수조/탱크/암거/맨홀/관/피트를 보면 질식재해를 일으킨 물질의 84%는 황화수소에 의한 사고였으며 이외 산소결핍 9%, 일산화탄소 5%였다. 황화수소는 폭기작업과 같이 폐수를 휘젓게 되면 폐수의 표층이 깨지면서 순간적으로 고농도로 발생시키는 성질을 가지고 있어 재해가 발생하기 쉽다.(거품효과 : bubble effect)

일산화탄소/이산화탄소가 계속적으로 발생하는 공간의 경우 재해발생건수는 24건(15%)이고 사망자는 26명 부상자는 14명이다. 재해의 79%는 일산화탄소 중독에 의한 사고였으며 이외 이산화탄소 21%였다. 재해의 대부분이 겨울철 콘크리트 양생작업 중 갈탄 난로의 불완전연소로 인해 일산화탄소가 발생하여 재해가 발생한다.

헬륨/아르곤/질소/프레온/탄산가스/불활성기체용 보일러/탱크/반응탑의 경우 질소에 의한 사고가 10건(40%)으로 가장 많았고, 아르곤가스가 9건(36%), 프레온가스 4건(16%), 일산화탄소 2건(8%)으로 많다. 위와 같은 물질들의 경우 그 자체는 유해성이 없으나 공기 중 산소농도를 낮출 수 있는 물질이다. 주로 화재나 폭발 또는 설비보호를 위해 외부의 공기가 들어 오지 못하도록 불활성가스를 사용하며(purge), 산소결핍으로 인한 질식재해의 위험이 있다.

## 2) 질식재해 년,월별 발생현황

연간 평균 발생건수는 15건, 평균 재해자 수는 28명, 평균 사망자수는 20명으로 나타났다(Figure 2).

재해는 월별로 큰 차이 없이 수시로 발생하지만 일부 작업의 경우 여름철이나 겨울철에 질식재해가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 통계 결과 겨울철인 12월과 여름철인 7월에 각각 20건과 19건으로 가장 높게 나타났다(Figure 3).

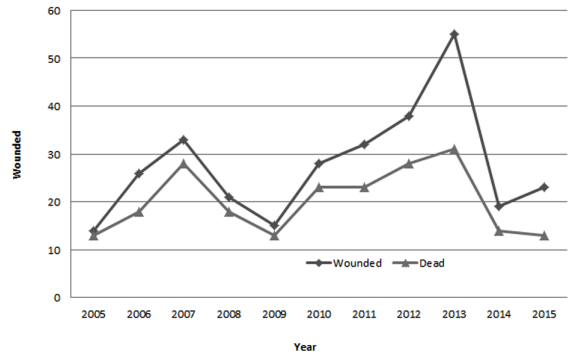


Figure 2. Yearly suffocation accidents in confined space

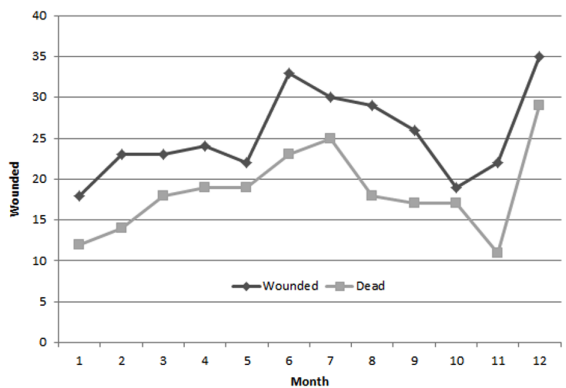


Figure 3. Monthly suffocation accidents in confined space

7월에 가장 많이 재해가 발생한 장소는 우수/용수용 통/암거/맨홀/피트(tank/culvert/manhole/pit for running water and using water)이다. 또한, 12월에 주로 발생한 재해 장소를 보면 갈탄/목탄/연탄을 이용한 콘크리트 양생장소 및 가설숙소 내부(inside of the space curing concrete and temporary house)이 가장 높은 것을 알 수 있다.

여름철에는 산소결핍이나 황화수소 중독으로 인해 재해가 많이 발생한다. 여름철에 산소결핍으로 인한 재해가 많이 발생하는 이유는 하절기에 기온이 높아 집에 따라 밀폐공간 내부에 있는 미생물의 번식이 증가하고, 미생물의 번식과 호흡에 따른 산소 소비로 인해 공간 내 산소 농도가 감소하게 되기 때문이다. 또한, 온도가 높을수록 오폐수의 분해가 활발하게 일어나 황화수소의 농도가 높아지는 경향이 있다.

겨울철에는 대부분의 재해가 일산화탄소 중독으로 발생한다. 겨울철에 콘크리트 타설 후 균열이나 손상을 방지하기 위해 갈탄, 목탄, 무연탄 등의 연료를

사용하게 되는데 그 과정에서 일산화탄소가 발생하게 된다. 또한, 숯가마 작업장, 추위로 인한 난로사용 등 일반적으로 동절기에 하는 작업의 특성에 의해 일산화탄소가 발생해 질식 사고가 일어난다.

### 3) 기인물질별 발생현황

기인물질별로 질식재해 발생현황을 살펴보면, 일산화탄소가 44건(26%), 황화수소 38건(22%), 산소결핍 35건(21%) 순으로 발생한다(Figure 4).

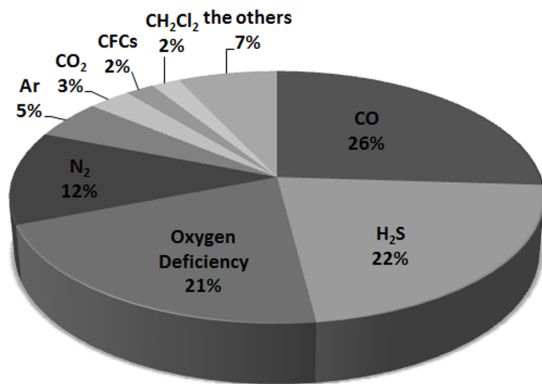


Figure 4. Toxic gases in the confined space

가장 재해 발생건수가 많은 물질인 일산화탄소의 월별 발생현황을 살펴보면 12월에 11건으로 가장 많이 발생한다(Figure 5).

황화수소 재해의 경우 발생장소별 현황을 살펴보면 전체 38건 중에서 부패하기 쉬운 물질이 있는 정화조/침전조/집수조/탱크/암거/맨홀/관/피트(septic tank/settling tank/sump/tank/culvert/manhole/pit rotten easily)에서 37건으로 가장 많이 발생하였으며 월별

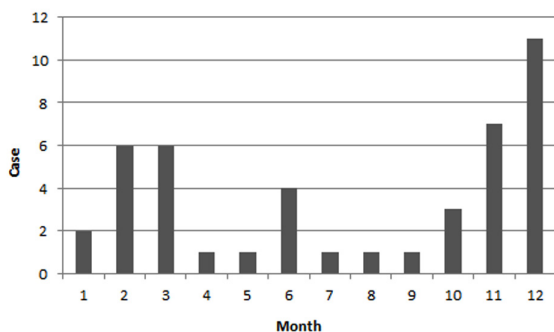


Figure 5. Monthly carbon monoxide suffocation accidents

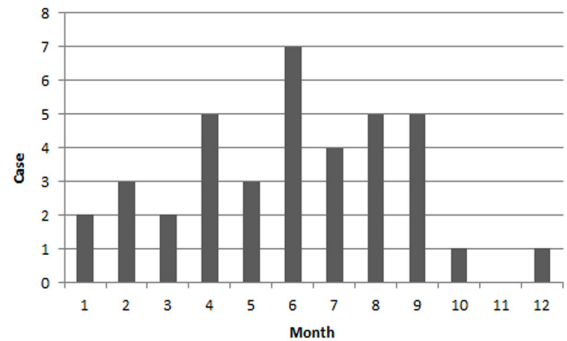


Figure 6. Monthly hydrogen sulfide suffocation accidents

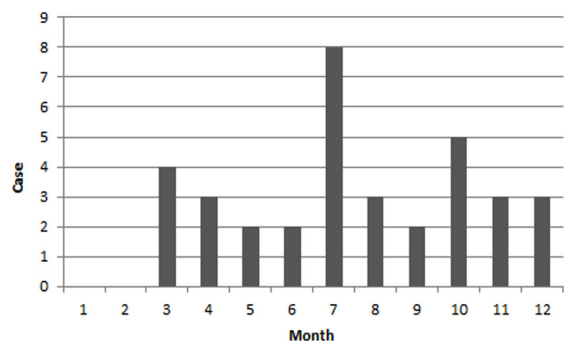


Figure 7. Monthly oxygen deficiency accidents

발생현황을 살펴보면 6월에 7건으로 가장 많이 발생한다(Figure 6).

산소결핍재해의 경우 발생장소별 현황을 살펴보면 총 35건 중 우수/용수용 통/암거/맨홀/피트(tank/culvert/manhole/pit for running water and using water) 8건, 장기간 밀폐된 내부 산화가 쉬운 보일러/탱크/반응탑(boiler/tank/tower confined for long time and easily oxidized) 6건 등 순으로 발생하였으며 월별 발생현황을 살펴보면 7월에 8건으로 가장 많이 발생한다(Figure 7).

기인물질별 재해특성은 계절적인 영향이나 물질의 성질에 따른 재해가 뚜렷하게 나타난다. 일산화탄소는 일반적으로 겨울에 연료의 불완전연소를 통해 발생하고, 황화수소는 순간적으로 고농도로 발생하는 성질, 산소결핍은 미생물의 호흡, 금속산화, 불활성기체의 치환 등으로 발생한다.

### 4) 업종별 발생현황

업종별 질식재해 발생건수 현황을 살펴보면, 건설업이 53건(33%)으로 가장 많이 발생하였고, 제조업

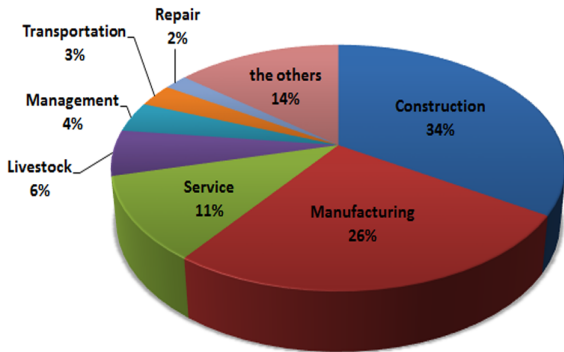


Figure 8. Suffocation accidents in confined space by the types of industry

이 43건(26%), 서비스업 18건(11%) 순으로 발생한다 (Figure 8). 건설업에서는 콘크리트 양생작업, 방수도장 등이 제조업은 탱크 내부에서의 용접, 청소, 보수작업 등이 질식재해의 주원인이었다.

#### 5) 근로자수, 하청여부, 연령, 경력별 발생현황

업체 근로자수 별 질식재해 사망자 수 및 부상자 수 현황을 살펴보면 업체 근로자수가 5인 미만인 곳이 73명으로 가장 많았고, 그 다음으로 15인 이상 50인 미만인 곳이 69명으로 많았다. 그리고 상대적으로 300인 이상인 곳이 21명으로 적었다.

업체 하청여부에 따른 사망자 수 및 부상자 수를 보면 원청업체 재해자수가 181명으로 하청업체의 123명 보다 더 많은 것을 알 수 있다.

연령에 따른 재해자수를 보면 40대가 93명으로 가장 많은 것을 알 수 있고, 그 다음으로 30대 82명, 50대 66명으로 많았다.

경력에 따른 재해자 수를 보면 2년 이상 5년 미만 이 46명으로 가장 높게 나왔고, 10이상 20년 미만이 40명으로 다음으로 많았다.

#### 6) 재해발생 원인 통계

총 165개 재해 중 재해발생 원인을 보면 송기마스크 미지급(no supply of air supply respirator)이 97.2%, 환기미실시(no ventilation) 94.5%, 산소 및 유해가스 농도 미측정(no monitoring of oxygen and toxic gas concentration) 이 92.7%, 밀폐공간 보건작업 프로그램 미수립(no confined space entry program) 90.3% 등 대부분 90%가 넘는 것을 알 수 있다(Figure 9).

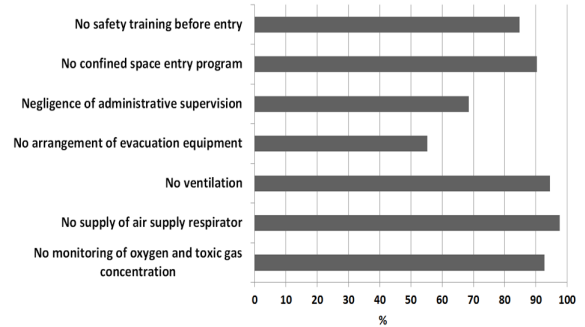


Figure 9. Causes of suffocation accidents in confined space

#### 7) 밀폐공간 형상 분류

밀폐공간에서 발생한 질식재해 165건을 공간 형상 별로 분류를 하면 Table 2와 같이 5종류로 분류할 수 있다. 가장 재해가 많이 발생하는 밀폐공간의 형상은 83건으로 Type1번(작은 출입구가 있는 밀폐공간)이고, Type3번(오염물질이 계속적으로 발생하는 큰 공간 내부)은 40건, Type2번(한쪽면이 완전히 개방된 밀폐공간)은 20건순으로 사고 발생건수가 많았다.

Table 2. Types of confined space shape

Type	Shape type	Number of accidents
1	small entrance	83
2	fully opened top	20
3	continuously generating toxic gases	40
4	pipe	13
5	The others	9
Total		165

밀폐공간 형상별로 작업특성 및 기인물질이 다르고 환기방법 또한 다르다. 가장 재해가 많이 발생하는 Type1번의 경우에는 주로 맨홀에서 발생하고, 산소결핍 및 황화수소가 재해의 주 원인물질이다. Type2번은 탱크의 대표적인 형상으로, Case1번과 마찬가지로 산소결핍 및 황화수소로 인해 재해가 많이 발생한다. Type3번 형상은 작업장 내부에서 난로의 불완전연소로 인한 일산화탄소 발생이 대부분을 차지했다. Type4번의 경우 배관 내에서 작업 중 불활성기체의 누출 축적에 의한 재해가 많이 발생하였다.

안전보건공단에서는 밀폐공간작업 질식재해예방(KOSHA, 2011)에서 작업장소에 따른 환기방법을 제



시하고 있으며, 질식재해 발생 특성별 매뉴얼 개발 (KOSHA, 2015), Evaluation of forced-ventilation strategies to remove toxic gases from confined space using Computational Fluid Dynamics(Sujit Dahal, 2016)에서는 밀폐공간 형상별 환기방안을 세부적으로 제시하고 있다.

#### IV. 고 찰

해외 선진국의 최근 15년간 밀폐공간 재해율은 점점 감소하는 추세를 보이지만, 국내의 질식사고는 줄지 않고 있는 실정이다. 선진국에서는 밀폐공간 재해를 줄이기 위해 상당히 많은 노력 및 관리를 하고 있으며, 밀폐공간 관련 분야별 사고 추이를 분석하여 재해를 줄여나가고 있다. 국내에서 최근 10년 동안 발생한 안전보건공단 밀폐공간 질식재해 사례조사 자료를 활용하여 사고사례를 분석한 결과 질식재해 유형에 따라 뚜렷한 패턴이 있는 것으로 나타났다.

월별 발생현황을 살펴보면 계절적으로 큰 차이 없이 수시로 발생하지만 일부 작업의 경우 여름철과 겨울철에 질식재해가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 여름철에는 산소결핍이나 황화수소 중독으로 인해 재해가 많이 발생한다. 여름철에 산소결핍으로 인한 재해가 많이 발생하는 이유는 하절기에 기온이 높아짐에 따라 밀폐공간 내부에 있는 미생물의 번식이 증가하고, 미생물의 번식과 호흡에 따른 산소 소비로 인해 공간 내 산소 농도가 감소하게 되기 때문이다. 또한, 온도가 높을수록 오페수의 분해가 활발하게 일어나 황화수소의 농도가 높아지는 경향이 있다. 겨울철에는 대부분의 재해가 일산화탄소 중독으로 발생한다. 겨울철에 콘크리트 타설 후 균열이나 손상을 방지하기 위해 갈탄, 목탄, 무연탄 등의 연료를 사용하게 되는데 그 과정에서 일산화탄소가 발생하게 된다. 또한, 숯가마 작업장, 추위로 인한 내부 공간에서의 난로사용 등 일반적으로 동절기에 하는 작업의 특성에 의해 일산화탄소가 발생해 질식 사고가 일어난다.

업종별로 발생현황을 살펴보면 건설업과 제조업에서 질식재해 발생률이 높았다. 건설업에서는 콘크리트 양생작업, 방수도장 등이 제조업은 탱크 내부에서의 용접, 청소, 보수작업 등이 질식재해의 주 원인이

었다.

기인물질별 재해특성을 보면 계절적인 영향이나 물질의 성질에 따른 재해가 뚜렷하게 나타났다. 일산화탄소는 일반적으로 겨울에 연료의 불완전연소를 통해 발생하고, 황화수소는 순간적으로 고농도로 발생하는 성질, 산소결핍은 미생물의 호흡, 금속산화, 불활성기체의 치환 등으로 발생한다.

업체 근로자 수, 연령, 경력은 밀폐공간 질식재해의 영향에 크게 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한, 밀폐공간 형상의 종류에 따라 사고발생건수가 다르며 작은 출입구가 있는 밀폐공간에서 가장 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

국내에서는 재해 사례 통계자료를 바탕으로 밀폐공간에서의 질식 재해율을 낮춰나가야 한다. 질식재해가 발생하는 밀폐공간의 종류가 많고, 밀폐공간마다 기인물질, 계절, 형상 등 각각의 재해 특성이 다르기 때문에 밀폐공간의 포괄적인 관리보다는 세부적으로 관리가 필요하다. 일산화탄소가 발생하는 장소와 황화수소가 발생하는 장소는 계절, 밀폐공간 형상, 환기방안 등 재해 특성이 완전히 다르기 때문이다. 따라서, 밀폐공간 종류별로 작업절차 및 매뉴얼을 개발하여 관리한다면 국내 밀폐공간 질식재해를 예방하는데 큰 도움이 될 것이다.

또한, 통계를 보면 대부분 사고가 밀폐공간에 들어가기 전에 관리감독, 환기실시, 송기마스크 착용, 산소농도 또는 유해가스 측정 등을 하지 않았다. 작업자들은 자신이 들어가는 공간이 유해가스가 들어있는 밀폐공간, 질소 등 불활성기체가 누출, 유입되어 산소가 부족한 공간이라는 사실을 알지 못하고 들어가 사고가 발생한다. 그렇게 때문에 사업장 내 밀폐공간 현황 및 해당 밀폐공간의 특성, 예방방법에 대해 목록화하는 것이 가장 중요하다.

밀폐공간 작업을 하기 전에 반드시 사전조사를 통해 밀폐공간 내 공기상태를 측정하여 적정 여부를 확인해야 하며 산소농도가 낮거나 유해가스가 존재하는 경우 충분히 환기를 통하여 안전한 조건으로 만들어야 한다. 또한, 작업 전에 밀폐공간 내 공기상태가 정상상태라도 작업 중에 산소가 소모되거나 유해가스가 발생하여 질식을 일으킬 수 있기 때문에 밀폐공간 및 작업의 특성을 사전에 검토하여 환기방법을 결정하는 것이 중요하다.

최근에는 하청업체의 재해율이 높아지고 있는 추세인데 원청 업체에서 질식을 일으킬 수 있는 밀폐공간 및 가스의 유입, 누출 등 유해요인에 대한 정보를 하청업체에 제공하지 않았기 때문이다. 이러한 재해 예방을 위해서는 밀폐공간에 대한 질식위험 정보 공유 및 교육이 우선시 되어야 한다.

위와 같은 예방들이 관리가 되기 위해서는 밀폐공간 작업을 위한 사전출입허가서를 만들어 시행해야 한다. 작업자는 밀폐공간 사전조사 결과와 작업준비 사항을 허가권자에게 검토 받아 작업허가서를 발급 받은 후 작업을 해야 한다. 허가서에는 경고표지판 설치여부, 유해가스농도 측정결과, 환기여부, 근로자 정보, 안전장비 비치 여부, 근로자 교육실시 등 사항이 기재되어 있어야 하고, 모든 사항이 충족할 시 작업을 허가해주도록 해야 한다.

본 연구에서는 국내의 질식재해를 사례를 통계 분석한 결과 종류별, 설비별, 작업별 등 발생의 특징이 뚜렷하게 나타남으로써 재해 유형에 맞는 근원적인 원인과 대책을 제시할 수 있으며, 분석한 자료를 통해 국내의 질식재해를 예방하는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

안전보건공단 밀폐공간 질식재해 재해조사 의견서를 활용하여 2005년~2015년에 국내에서 발생한 질식재해 현황을 통계분석 하였다. 최근 발생한 질식재해를 밀폐공간 종류별, 월별, 기인물질별, 구조별, 연령별 등으로 구분하여 분석하였다. 유형별로 구분하여 재해를 분석한 결과 질식재해 종류에 따라 뚜렷한 특징을 나타나는 것을 알 수 있었다.

월별 발생현황을 살펴보면 계절적으로 큰 차이 없이 수시로 발생하지만 특정 작업의 경우 여름철과 겨울철에 질식재해가 많이 발생한다. 질식재해의 대부분이 건설업과 제조업에서 발생하며, 질식재해를 유발하는 대표적인 기인물질로는 일산화탄소, 황화수소, 산소결핍, 불활성기체가 있다. 반면에 사업체 근로자 수, 연령, 경력은 밀폐공간 질식재해에서 영향을 크게 미치지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 밀폐공간 형상의 종류에 따라 사고발생건수가 다르며 맨홀과 같이 작은 출입구가 있는 밀폐공간에서 가장 많이 발생

하는 것을 알 수 있다.

질식재해 통계분석을 통해 재해의 원인과 특성을 알 수 있고, 그에 맞는 개선대책 및 예방대책을 세울 수 있다. 재해 특성별로 세분화하여 매뉴얼을 개발함으로써 밀폐공간에 대한 더욱 효율적이고 종합적인 관리가 가능할 것으로 판단된다. 국내에서 개발된 연구 매뉴얼 등은 대부분 환기방법에 대한 비중이 높으므로 질식사고 발생 장소, 업종, 작업방법종류별, 유해물질별, 계절별, 근로자의 특성, 설비별 등 좀 더 세부적인 특성별로 분석하고, 외국의 재해 예방사례를 조사하여 질식재해 유형에 맞게 종류별, 설비별, 작업 전, 작업 중, 작업별 안전조치 및 작업 수행 이전 단계의 근원적인 설비 사전안전보건 작업에 대한 대책을 제시하는 질식 중독재해 발생 세부 특성별 예방 매뉴얼로 보완, 개발 및 보급함으로써 사업장의 자율적인 질식재해 예방 활동에 활용하여야 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과입니다. 이에 감사드립니다.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values(TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs). 2007
- Damien. The Need for a comprehensive Approach to Managing Confined Space Entry. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2014;11:485~498
- Gobchok Wuthichotwanichgij, Alan F. Geater. Low-Oxygen Atmosphere and its Predictors among Agricultural Shallow Wells in Northern Thailand. Safety and Health at Work. 2016;6(1):35~38
- Japanese Ministry of Health. Oxygen Deficiency Prevention Rule. 2003
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Technical Guidelines for Enforcement of Confined Space Health Work Program. KOSHA Code H-80-2012.2012
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Guidance on the Record and Classification of Industrial Accidents. KOSHA Code G-8-2006.2006
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Confined-Space Work Choking Disaster Prevention Manual.



- 2014
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Confined-Space Work Choking Disaster Prevention Manual. 2015
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Confined-Space Work Choking Disaster Prevention Manual. 2016
- Korea Occupational Safety & Health Agency. Confined-Space Prevention of Choking Disaster. 2011
- Ministry of Labor. Regulations on Occupational Health Standards. 2009
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazard. 2007
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Permit-required spaces. Available from:URL: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=FEDERAL\\_REGISTER&p\\_id=13871](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=FEDERAL_REGISTER&p_id=13871)
- Park CK, Kim MG, Kim HC, Ahn BG, Park MS(et al.).Etiology and Radiologic Findings of Anoxia Occured at Dan-Mu-Ji(Salted Radish in Rice Bran) Manufacture: A Case Report and Results of Gas Analysis. Journal of the Korean Radiological Society. 1994;31(1):81~84
- Suruda, pettit, Noonan, Ronk. Deadly rescue: The confined space harzard. Journal of Hazardous Materials. 1994;36:45~53
- Sujit Dahal. Evaluation of forced-ventilation strategies to remove toxic gases from confined space using Computational Fluid Dynamics. Thesis(M.A.)-Chang won university 2016
- Yoo KM, Park HH, Jung GJ. Study for Identifying and Assessing Hazardous Conditions in Confined Space. Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA. 2008
- Yoo KM, Park HH, Jung GJ. A Study on Statistics for Accidents in Confined Space in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2009;19(4):363~369
- Yang HS, Bang SS, Kang KS. Control and status of Industries with Confined Space. Korea Safety Management & Science 2003(a);65~69
- Yang HS, Bang SS, Kang KS. Status of Prevention on Health Obstacle in Industries with Confined Space. Korea Safety Management & Science 2003(b);5(4):13~20