

질식재해 예방을 위한 맨홀 관리시스템 필요성에 대한 연구

유현철, 김상현, 조규선*
호서대학교 안전행정공학과

A Study on the Necessity of Manhole Management System for the Prevention of Asphyxiation Disaster

Hyon-Chol Ryoo, Sang-Hyun Kim, Guy-Sun Cho*
Department of Safety and Public Administration, Hoseo University

요약 정부의 지속적인 산업재해 감축 노력에도 산업재해 발생은 줄지 않고 있으며, 사고사망 만인율 역시 0.4~0.5‰ 수준에서 정체 되고 있다. 특히 밀폐공간 관련 질식재해를 분석해 보면 2012년부터 2021년까지 10년간 밀폐공간에서 질식해 사망한 노동자가 165명인 것으로 나타났다. 또한 질식사고 발생 시 사망률이 47.4 %로 나타났으며, 이는 일반적 사고성 재해 사망률의 1.1 %보다 44배 높은 수준으로 산업재해 사고 중 가장 치명적인 재해라고 할 수 있다. 밀폐공간 작업은 밀폐공간 프로그램을 수립하여 그에 따른 작업절차와 안전조치를 하고 작업하여야 함에도 이를 준수하지 않고 작업하여 사고가 발생하고 있으며, 그 원인 또한 산소결핍 과 유해가스 중독 등 다양한 원인이 존재 한다. 그리고, 맨홀내부 질식사고는 밀폐공간 질식사고중 높은 비중을 차지하고 있으며, 그 원인 또한 산소결핍과, 유해가스 중독이 대부분을 차지한다. 따라서 본 연구에서는 밀폐공간 대상 작업 중 일상에서 가장 흔하게 접할 수 있는 맨홀을 대상으로, 가스안전공사의 굴착공사 정보지원시스템과 한국전력의 전력구 출입관리 시스템을 각각 벤치마킹 하여, 맨홀관리 시스템을 제안하였다. 맨홀 내 밀폐공간 작업 시 시공 사업자의 사전 작업 신고와 해당 맨홀 관리 기관이 밀폐공간 해당여부 현장 확인과 밀폐공간 해당 시 작업승인 절차를 거치는 맨홀 관리 시스템의 필요성 연구를 통하여, 밀폐공간과 관련된 질식사고를 예방 하는 것을 목적으로 하고 있다.

Abstract Despite the government's continued efforts to reduce industrial accidents, numbers have not decreased, and the death toll has stagnated at 0.4 to 0.5‰. In particular, an analysis of suffocation disasters related to confined spaces showed that 165 workers died of suffocation in confined spaces over the 10 years from 2012 to 2021. In addition, the death rate of suffocation accidents was 47.4%, which was 44 times higher than the general accident death rate (1.1%), and ranks as one of the highest for industrial accidents. Enclosed space work requires establishing procedures and safety measures because non-compliance results in accidents caused by, for example, oxygen deficiency and gas poisoning. In addition, suffocation accidents inside manholes account for a high proportion of suffocation accidents in enclosed spaces. The purpose of this study was to prevent suffocation accidents in enclosed spaces by proposing a manhole management system, including a work approval process with the contractor before work commencement. In this study, the authors propose a manhole management system derived by benchmarking the Korea Gas Safety Corporation's excavation work information management system and Korea Electric Power Corporation's power entrance management system for manholes commonly encountered.

Keywords : Asphyxiation, Manhole, Anoxia, Toxic Gas Poisoning, Pre-work Report.

본 논문은 환경부 “화학물질 안전관리 전문인력 양성사업”의 지원을 받아 수행하였으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

*Corresponding Author : Guy-Sun Cho(Hoseo Univ.)

email: cho1395@hoseo.edu

Received February 27, 2023

Revised May 10, 2023

Accepted June 2, 2023

Published June 30, 2023

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

고용노동부에서 발표한 2021년 산업재해 발생 현황(고용노동부, 2021)[1]을 보면 2021년 재해자는 2020년 대비 14,334명(13.2 %)이 증가하였다.

또한, 고용노동부 보도자료(2022. 05. 30.)[2]를 보면 최근 10년간 총 196건의 밀폐공간 사고가 발생하였으며, 질식사사고로 348명의 재해자가 발생했고 이중 절반에 가까운 165명(47.4 %)이 사망했다고 밝혔다. 질식사사고로 인한 치명률이 일반적 사고성 재해 치명률(1.1 %)보다 44배 높은 수준으로, 산재사고 중 가장 높은 치명률을 보이는 재해라 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 치명률이 가장 높은 질식사 사고 중 일상에서 가장 많이 접할 수 있는 맨홀을 대상으로, 맨홀 내부 밀폐공간 작업 중 산소 결핍 및 유해가스 중독과 같은 질식사 사고 예방을 위한 맨홀관리 시스템을 도입하여 작업 전 사전 신고 및 승인 절차를 거쳐 맨홀 작업 시 발생 할 수 있는 질식사 사고 예방과 사고 감소를 목적으로 한다.

1.2 연구 방법

본 연구는 산업재해 발생현황과 산업재해 사망자 중 가장 치명률이 높은 질식사사고의 재해현황 분석과 국내 법규를 분석하였다. 또한, 일상 생활에서 흔히 볼 수 있는 맨홀을 대상으로 맨홀 내 밀폐공간 질식사 사고 분석을 위하여 국내 맨홀 설치 현황을 조사하였고 맨홀 내부에서 발생할 수 있는 질식사 사고 유형을 분석하였다.

그리고 맨홀관리 시스템 도입 운영의 실효성을 연구하기 위하여 한국가스안전공사에서 운영 중인 굴착공사 정보관리 시스템과 한국전력공사에서 운영 중인 전력구 맨홀 출입관리 시스템을 분석하였다.

일상에서 흔히 접할 수 있는 맨홀 내 밀폐공간 작업을 위와 같은 방법을 바탕으로 연구하여 맨홀 작업 시 질식사 사고 예방에 기여하고자 한다.

본 연구에서 연구방법은 Fig. 1과 같이 하였다.

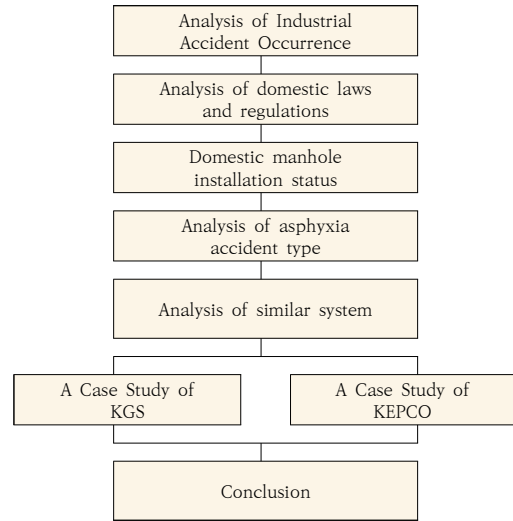


Fig. 1. Research method and procedure

원인 분석, 질식사 사고 발생 요인의 분석 그리고 질식사 사고 관련 사고사례를 중심으로 집중되어 왔다. 권부현(2016)은 밀폐공간 질식사 사고 발생현황 고찰 및 예방에 관한 연구[3]를 하였고, 이광혁(2021) 외는 맨홀 내 유해가스 모니터링 시스템[4]을, 남금문(2005) 외는 맨홀에서의 산소 결핍 질식사[5]를 연구하는 등 질식사 사고 원인에 대한 연구와 더불어, 이상운(2017) 외는 무선 통신을 이용한 맨홀 관리시스템 설계 및 구현[6]을, 박종명(2021) 외는 NFC를 이용한 맨홀 출입관리 시스템 개발[7], 최유정(2018) 외는 IoT 기술을 활용한 밀폐공간에서의 사고 예방 연구[8]를, 김종덕(2019) 외는 지중 시설물 관리를 위한 스마트 맨홀 디바이스[9]와 같이 맨홀 출입관리와 관련된 연구 역시 진행 되어 왔다.

그러나, 맨홀 내부 유지보수를 위한 시설 관리 차원의 연구와 질식 원인 물질 관리를 위한 출입관리를 위한 연구가 대부분이었다. 일부 맨홀 출입관리와 관련된 연구도 진행 되었으나, 맨홀 내부 밀폐공간 작업과 관련된 작업 전 출입 허가 시스템과 관련된 연구는 미진하였다. 따라서 본 연구에서는 산업재해 중 가장 높은 치명률을 보이는 질식사 사고, 그중에서 맨홀내부의 질식사 사고를 예방하기 위하여 맨홀 출입관리시스템 도입의 필요성을 연구하였다.

2. 이론적 배경

2.1 선행연구

질식사 사고와 관련된 선행연구들은 대부분 질식사 사고의

2.2 국내 맨홀 설치 현황

맨홀은 하수관, 상수관, 전기시설 등의 유지보수를 위한 청소, 점검, 보수 등의 작업을 하기 위하여 사람이 출입하는 시설을 말한다. 시설물 중간에 맨홀을 통해서 수

직으로 내려갈 수 있는 통로를 만들어 놓지 않으면 유지 보수에 매우 큰 애로사항이 생기기 때문에 맨홀 구조물을 만들고 맨홀 뚜껑으로 막아 두는 것이다.

맨홀의 종류는 상수도, 하수도, 통신, 전기, 도시가스, 지역난방, 도시철도 등 약 20여 종류가 있으며, 각각의 종류와 관리 주체 등의 정보를 맨홀 뚜껑에 표시한다. 그 대표적인 맨홀 뚜껑의 모양은 Fig. 2와 같다.



Fig. 2. Types of manhole covers[10]

Fig. 2를 보면 우수 맨홀에는 물이 들어 갈 수 있도록 구멍이 뚫어져 있지만, 그 외 상수도 맨홀이나, 통신 맨홀 등 대부분의 맨홀은 구멍이 뚫어져 있지 않다. 그 이유는 내부 시설물의 보호를 목적으로 내부 공간에 물이 차는 것을 방지하기 위한 목적과 오수 등과 같이 악취가 새어 나오지 못하게 하기 위함이다. 그러므로 맨홀 내부에는 자연스럽게 밀폐공간의 조건이 형성되는 것이다. 맨홀 뚜껑을 열어 본지 오래된 맨홀의 경우에는 각종 퇴적물이 맨홀 뚜껑 주위를 메워 아주 밀실하게 뚜껑이 닫혀 있어서 사람의 힘으로는 열리지 않아 굴착기 같은 장비를 이용하여 열기도 한다.

2017년 서울시에서 발표한 서울의 맨홀 현황은 Table 1과 같다.

Table 1에서 보면 2017년 기준 총 550,445개의 맨홀이 있으며, 그중 상수도 맨홀이 179,638개, 하수도 맨홀이 211,834개, 통신 맨홀이 82,699개, 도시가스 맨홀이 24,321개, 전기 맨홀이 18,526개, 지역난방 맨홀이 2,066개 기타 맨홀이 31,361개이다. 즉, 서울시에만 맨홀 밀폐공간 작업을 하여야 하는 맨홀은 상, 하수도 전기, 통신 지역난방만 하더라도 약 50만 개소가 된다는 것이다.

Table 1. Status of manholes in Seoul as of 2017[11]

Classifications	Quantity	Management entity
Waterworks	179,638	Waterworks Headquarters
Sewerage	211,834	Water Circulation Planning Hal
Communication facility	82,699	KT, SKT
Electricity	18,526	KEPCO
City gas	24,321	Seoulgas, YESCO
District heating	2,066	SH, Korea district heating corp.
ETC	31,361	Fireplug, Urban railway
Total	550,445	

2.3 국내 기준 및 법규 분석

밀폐공간 관련 법규로는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제10장 (밀폐공간 작업으로 인한 건강장해의 예방)에서 규정하고 있다. 또한, 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표18에서는 밀폐공간의 정의를 산소결핍, 유해가스로서 인한 질식·화재·폭발 등의 위험이 있는 장소로 우물·수직갱·터널·잠함·피트 또는 그 밖에 이와 유사한 것의 내부와 케이블·가스관 또는 지하에 부설되어 있는 매설물을 수용하기 위하여 지하에 부설한 암거·맨홀 또는 피트의 내부, 부패하거나 분해되기 쉬운 물질이 들어 있는 정화조·침전조·집수조·탱크·함거·맨홀·관 또는 피트의 내부 등 18가지 종류의 장소를 밀폐공간으로 규정하고 있다. 즉, 위의 맨홀은 모두 산업안전보건법에 의한 밀폐공간으로 지정하고 관리되어야 한다. 또한, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제619조(밀폐공간작업 프로그램의 수립·시행)에서는 밀폐공간에서 근로자에게 작업하도록 하는 경우에는 밀폐공간작업 프로그램을 수립하여 시행하게 하고 있다. 다만 유해위험방지계획서, 건설기술진흥법에 의한 안전관리계획서와 같이 외부 전문가의 검토 및 승인의 절차를 규정하지 않아 각 사업장 별로 자체 규정에 의해 작성·관리되는 것은 아쉽다.

3. 밀폐공간 질식사고 분석

3.1 밀폐공간 질식사고 발생 현황

고용노동부(2022)에서 발표한 보도자료[12]에 따르면 10년간 발생한 밀폐사고 치명률은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3을 보면 사고성 재해(1.1 %)의 44배, 추락 재해(2.5 %)의 19배, 감전 재해(6.4 %)의 7배로 산재사고 중 가장 치명적인 재해라고 할 수 있다.

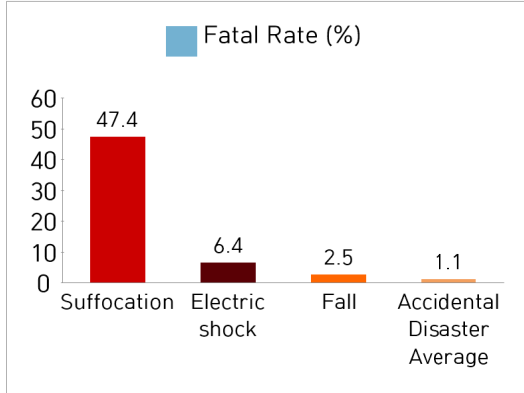


Fig. 3. Mortality rate of suffocation accidents in the last 10 years (%)

질식사고 계절별 발생 현황을 살펴보면 봄에 63건, 여름 49건, 가을 40건, 겨울 44건으로 봄이 가장 많이 발생하였으며, 다음이 여름으로 날씨가 더워지면 질식사고 발생률이 높아지는 것으로 나타났다. 계절별 질식사고 발생 건수는 Fig. 4와 같다.

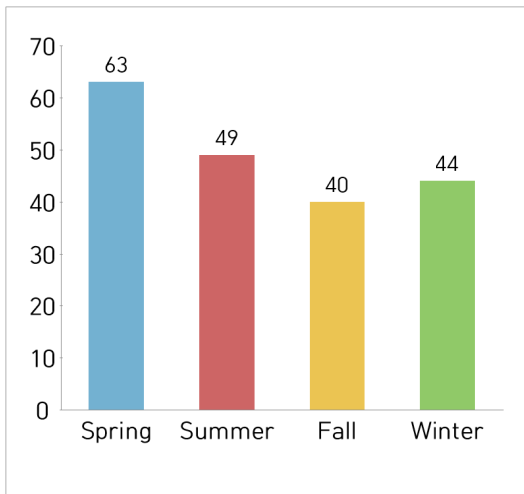


Fig. 4. Number of suffocation accidents by season

3.2 맨홀 질식사고 발생 주요 원인

맨홀 내부에서의 질식사고 발생 유형 중 대표적인 것은 산소결핍에 의한 질식과 유해가스에 의한 중독으로 구분할 수 있다. 특히, 유해가스에 의한 중독으로는 동물

의 부패 등으로 발생하는 황화수소에 의한 중독과 일산화탄소와 이산화탄소에 의한 중독이 대표적이다.

한국산업안전보건공단(2022)의 밀폐공간 질식재해예방 안전작업 가이드[13]에서 산소결핍에 의한 중독 증상과 황화수소와 일산화탄소의 농도별 인체 영향을 제시하고 있다.

산소결핍에 의한 중독 증상은 Table 2와 같고, 황화수소에 의한 중독 증상은 Table 3과 같으며, 일산화탄소의 중독 증상은 Table 4와 같다.

산소결핍에 의한 중독은 대기 중 산소농도는 약 21%로 산소농도가 18% 미만으로 떨어지면 산소결핍을 일으키며, 대기 중 적정 산소농도는 18% 이상 23.5% 미만이어야 한다. 산소농도별 인체 영향은 Table 2와 같다.

Table 2. Human Effects by Oxygen Concentration

Oxygen	Tte effects on the human body
16 %	Breathing, Increased pulse, Headache, Nausea
12 %	Dizziness, Vomiting, Muscle weakness
10 %	Face bleaching, Vomiting, unconsciousness
8 %	Fainting, Dying within 7 to 8 minutes
6 %	Stopped breathing, Convulsed, Dead in more than six minutes

Table 2에 따르면 산소농도 16%면 호흡, 맥박 증가, 두통, 메스꺼움이 일어나며, 12%가 되면 어지럼증, 구토 근육 저하가 일어난다. 10%로 떨어지면 안면 창백 현상과 구토, 의식불명이 일어나며, 8%에서는 실신을 하며 7~8분 이내 사망에 이른다. 6%로 떨어지게 되면 혼절, 호흡정지와 경련이 일어나며 6분 이상이면 사망하게 된다.

황화수소는 계란 썩는 냄새가 나는 가스로 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 발생하며, 황화수소의 농도별 인체 영향은 Table 3과 같다.

Table 3. Effect on human body by concentration of hydrogen sulfide

H ₂ S (PPM)	Tte effects on the human body
10	8-hour occupational exposure limit
50~100	Mild irritation
200~300	Considerable stimulation
500~700	Unconsciousness, Death
>1,000	Unconsciousness, Death

Table 3에 따르면 8시간 작업 노출기준이 10 ppm이며, 50~100 ppm에서는 가벼운 자극이 발생하고, 200~300 ppm에서 상당한 자극이 발생하며, 500 ppm 이상부터는 의식불명과 사망에 이르게 된다. 황화수소 가스는 고농도에서는 폐 조직을 손상시키거나 호흡을 마비시켜 사망에 이르게 한다.

일산화탄소는 무색·무취의 기체로 주로 고체 연료가 불완전 연소되면서 발생하여 중독을 일으키는데, 맨홀 등 밀폐공간 내에서 내연기관을 사용하는 경우 역시 일산화탄소에 의한 중독 사고가 발생한다. 일산화탄소의 농도별 인체 영향은 Table 4와 같다.

Table 4. Effects of Carbon Monoxide on the Human Body

CO (PPM)	The effects on the human body
30	8-hour occupational exposure limit
200	Mild headache, Displeasure
600	Headache, Displeasure
1,000~2,000	Mental confusion, Headache, Disgust
2,000~2,500	Unconsciousness

Table 4에 따르면 일산화탄소의 8시간 작업노출 기준 농도가 30 ppm이며, 200 ppm에서는 가벼운 두통과 불쾌감이 나타나고, 600 ppm에서는 두통과 불쾌감이, 1,000~2,000 ppm에서는 정신혼란과, 메스꺼움, 두통이 발생하며, 2,000~2,500 ppm에서는 의식불명이 발생한다.

그 밖에도 치환작업에 사용되는 질소(N₂), 아르곤(Ar) 가스와 염소(Cl₂), 메탄(CH₄)가스 등이 맨홀 내부에 많이 존재할 경우 그 만큼 공기 중 산소량이 줄어 산소 결핍에 의한 질식을 일으키기도 한다.

4. 맨홀관리 시스템 필요성

4.1 유사 시스템 운영 현황

현재 운영 중인 시스템 중 작업 전 신고 및 관리 기관의 승인 절차를 거치는 시스템 중 성공적으로 운영 중인 두 가지를 살펴보면 한국가스안전공사에서 운영 중인 굴착공사 정보지원 시스템 약자로 EOCS (Excavation One Call System)와 한국전력공사에서 운영 중인 전력구 맨홀 출입관리 시스템이 있다.

한국가스안전공사에서 운영하는 EOCS는 가스사고 예방과 안전한 공사 환경 구축을 위해 공사개시 전 굴착공사정보지원센터에 신고하여 지하에 매설된 가스배관의 유무와 위치를 확인하여 사고를 예방하는 제도이다.

시스템의 도입 배경을 살펴보면, 매설물 확인 제도를 모르거나 절차가 복잡하여 매설 상황 확인을 기피 하는 경우가 빈번히 발생하고, 매설물 종류 별 운영주체가 각각 달라 굴착공사 자가 운영 주체 파악이 힘들어 확인의 무의 이행을 기피 하게 되었다. 이러한 문제를 극복하기 위해 서류 중심의 복잡한 절차에서 전화 또는 인터넷 접수를 통한 굴착현장 중심의 체계로 개편하여 도입한 것이 EOCS 제도이다. EOCS의 업무처리 절차는 Fig. 5와 같다.

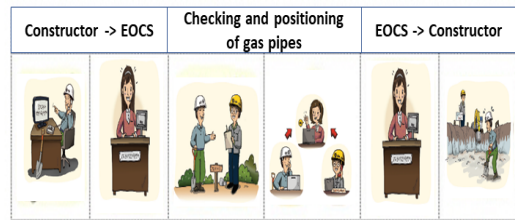


Fig. 5. Reporting method and procedure[14]

Fig. 5에 따르면 굴착 자가 굴착 계획을 신고하면, 접수받은 도시가스 사업자가 배관의 유무 확인과, 배관 존재 시 회합과 위치 표시를 하고 굴착 공사 시 현장 입회를 하여 굴착공사를 안전하게 진행하게 되는 것이다. 즉, 모든 굴착공사는 굴착공사 정보지원 시스템에 신고하여 확인 및 승인 절차를 거쳐 굴착공사를 진행하게 되는 것이다.

한국전력에서 운영 중인 전력구 맨홀 출입관리시스템도 EOCS와 마찬가지로 작업 전 사전 승인 제도이다. 신고 대상은 전국의 모든 전력구 맨홀 출입 전에 신청하는 것이며, 그 신청 양식은 Fig. 6과 같다.

Fig. 6 출입신청 양식에는 신청자 정보, 출입자 정보 및 신청 정보를 작성하여 신청하게 되어있다. 특히 신청 정보에는 출입하고자 하는 전력구 명과 출입 일시, 출입 목적, 출입 인원 및 입구와 출구 위치까지 작성하여야 한다. 신청을 받은 한국전력에서는 해당 지역본부에서 접수하여 검토를 거쳐 승인하게 된다. 전국의 모든 전력구 출입 시에는 사전 신청을 거쳐 한국전력의 검토 및 승인을 받아야 한다. 다만, 출입승인 제도의 목적이 질식사고 예방보다는 내부시설 보호의 목적이 크다는 점이다.

전력구맨홀출입관리시스템

회사 | 메일보내기 | PDF다운 | SNS

신청자 정보

소속 *	<input type="text"/>
성명 *	<input type="text"/> <input type="button" value="실명인증"/> <input type="button" value="실명인증완료"/>
전화번호 *	선택 <input type="text"/> - <input type="text"/> - <input type="text"/>
휴대전화번호 *	선택 <input type="text"/> - <input type="text"/> - <input type="text"/>
이메일 주소	<input type="text"/> @ <input type="text"/> 선택하세요 <input type="text"/>

출입자 정보

소속 *	<input type="text"/>	직급	<input type="text"/>
성명 *	<input type="text"/>		

디자인필요

신청 정보

공사명 *	<input type="text"/>		
전력구명(권로명) *	<input type="text"/>		
출입 일시 *	<input type="text"/> <input type="button" value="선택"/> - <input type="text"/> <input type="button" value="선택"/>		
출입 목적 *	<input type="text"/>	출입 인원 *	<input type="text"/>
입구 위치 *	<input type="text"/>	출구 위치 *	<input type="text"/>

Fig. 6. An entry application form[15]

4.2 밀폐공간 작업 절차

밀폐공간 작업 시에는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제119조(밀폐공간작업 프로그램의 수립·시행)에서 규정하고 있는 밀폐공간작업 프로그램을 수립하고, 한국산업안전보건공단의 안전작업허가지침16(KOSHA GUIDE, P-94-2021)에 의하여 작업허가 절차를 시행하고 있다. 밀폐공간작업허가 절차는 Fig. 7과 같다.

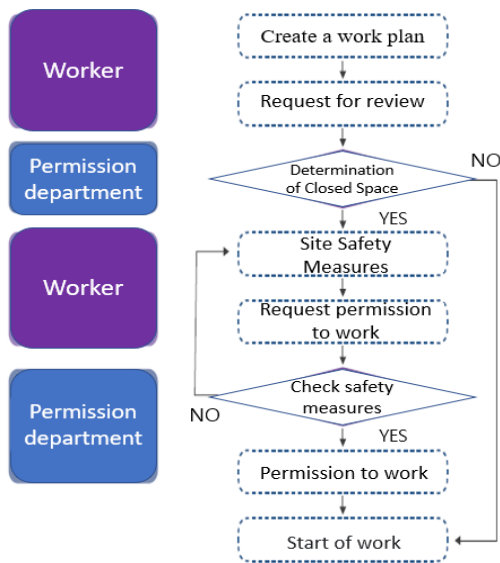


Fig. 7. Entrance procedures for enclosed spaces[17]

Fig. 7은 대부분의 사업장에서 시행하고 있는 밀폐공간 작업허가절차이다. 밀폐공간작업 전 작업계획 및 허가서를 작성하여 담당부서의 검토 및 승인을 받고 작업을 하게 된다. 작업 검토 및 승인 주체는 해당 사업장 담당부서이며, 사업장 특성에 따라 안전보건관리책임자 또는 안전·보건관리자가 승인하기도 한다. 또한 작업 승인 절차는 작업전 사전 승인으로, 작업 전날 승인을 받게 되며, 현장에서는 담당 관리 감독자에 의하여 작업이 이루어지게 된다.

4.3 맨홀관리 시스템에 의한 관리방안

질식재해 예방을 위한 맨홀 관리시스템을 현재 운영 중인 한국전력공사의 맨홀 전력구 출입관리 시스템과 한국가스안전공사의 굴착공사 정보지원 시스템을 벤치마킹하고, 기존에 시행하고 있던 밀폐공간 프로그램과 작업허가 제도를 맨홀관리 시스템으로 개선하는 것이다. 즉 맨홀 작업에 대하여는 밀폐공간 작업허가 주체를 기존 사업장에서 각각의 맨홀 관리 기관이 맡는 것이다. 그 순서는 Fig. 8과 같다.

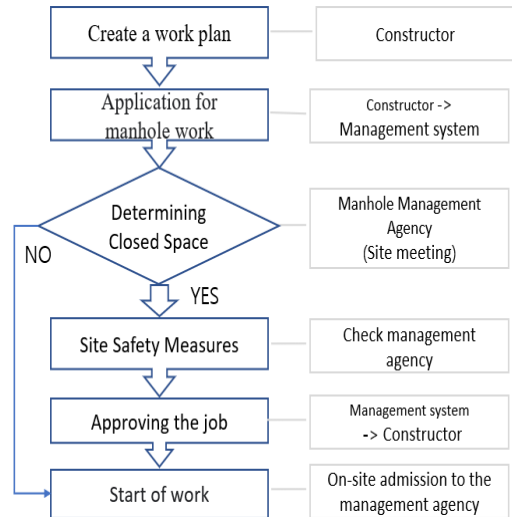


Fig. 8. Manhole management system

Fig. 8의 맨홀 관리시스템을 절차를 보면, 작업을 수행할 사업장에서 작업계획을 수립하여 맨홀 관리시스템에 작업 신청을 하는 것이다. 신청을 받은 해당 관리 기관은 신청 장소, 즉 해당 맨홀 내부가 밀폐공간에 해당하는지 여부를 확인한다. 밀폐공간에 해당되지 않으면 바로 승인하여 작업할 수 있게 하고, 밀폐공간에 해당되면,

현장 안전조치 확인 후 작업 승인을 해주는 것이다. 밀폐 공간 여부를 판단할 때 현장 확인이 필요하다면 굴착공사 정보지원 시스템과 같이 관계자 회합을 통하여 현장 확인 후 판단한다. 현장 작업일정을 정하고 작업 당일 현장 안전조치 확인 시 밀폐공간 작업에 필요한 환기 상태, 산소 및 유해가스 농도, 개인 보호구 준비 상태 등을 확인 후 작업 승인하는 것이다.

한국산업안전보건공단(2022)의 밀폐공간 질식재해 예방 안전작업 가이드[18]에 밀폐공간 질식재해 사례 116건을 분석해 보면 발생장소로는 Table 5와 같다.

Table 5. Location of confined space suffocation accident

NO	Place	Number of cases	NO	Place	Number of cases
1	Manhole	14	7	Basement	5
2	Wastewater treatment facility	11	8	Livestock farm	10
3	Sewage treatment facilities	7	9	Barge	5
4	Construction site	12	10	Food dump	3
5	Storage tank	21	11	Etc	13
6	Piping welding	15		Total	116

Table 5를 보면 맨홀작업 시 발생한 질식사고는 14건으로 전체의 12%를 차지하고 있다. 이는 저장탱크 작업 시 질식사고 21건, 배관용접 작업 시 질식사고 15건에 이어 3번째로 높은 수치인 것을 알 수 있다. 맨홀작업 시 발생한 14건을 원인별로 분석해 보면 Fig. 9와 같다.

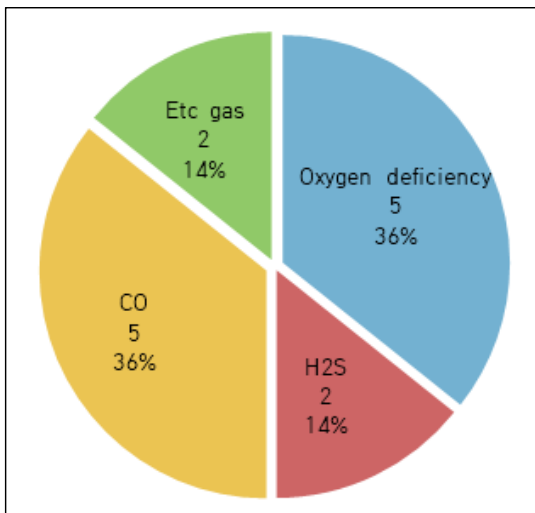


Fig. 9. Classification by cause

Fig. 9를 보면 산소결핍에 의한 사고가 5건이었으며, 황화수소에 의한 중독 2건, 일산화탄소에 의한 중독 5건 및 기타 유해가스에 의한 중독 2건으로, 맨홀 내 질식사고는 산소 결핍과 유해가스 중독의 두 가지 원인이 대부분이다.

그렇다면, 맨홀 내 작업 시 상기와 같은 원인에 의한 질식사고를 예방하려면 산업안전보건기준에 관한 규칙 제619조 산소 및 유해가스 농도측정 및 제620조 환기의 조항을 적용하여, 작업 전 충분한 환기와 산소 및 유해가스 농도 측정, 호흡용 보호구를 착용 하면 된다. 바꿔 말하면 작업 전 환기 미 실시, 산소 및 유해가스 농도 미 측정, 그리고 호흡용 보호구 미 착용이 사고 발생의 원인이라 할 수 있다.

위와 같은 원인에 의한 사고가 발생 하지 않도록 하려면, 밀폐공간 작업 시 시공사 작업 준비 상태의 최종 확인을 맨홀관리의 책임이 있는 각각의 기관 감독자가 하는 것이다.

이렇듯 각각의 맨홀관리 기관이 주체가 되어, 밀폐공간 작업 전 작업 준비 상태를 확인하고, 작업 시행을 승인 한다면 맨홀 작업 시 밀폐공간에 의한 질식사고 예방에 큰 효과를 볼 것이다. 특히 산소농도 저하 및 유해가스의 발생이 예상되는 장소 등의 고 위험 장소 작업 시는 각각의 기관 판단에 의해서 작업 입회를 하는 것 또한 맨홀 관리 시스템을 통하여 밀폐공간 질식사고 예방 효과를 볼 수 있는 방법이 된다. 상기 과정에서 작업을 수행할 시공사에서는 자체 수립한 밀폐공간 작업프로그램에 의해 작업 시 착용할 호흡용 보호구와 환기 장치를 점검하고 현장 작업을 위한 준비를 하는 것이므로 밀폐공간 프로그램의 실질적 실행이 자연적으로 이루어지는 것이다.

또한 맨홀작업 대부분이 맨홀 관리 기관의 도급을 받은 수급업체에서 수행하게 된다. 그러므로 산업안전보건법에 의해서 각각의 맨홀 관리 기관은 맨홀 작업 시 도급사업의 안전·보건 조치의 의무를 가지게 된다. 즉 도급인이 제공·지정한 장소로서 도급인의 지배·관리하는 위험장소에서 업무를 수행하는 수급인의 안전·보건조치 책임의 의무를 가지게 되는 것이다. 그러므로 맨홀 관리 기관에서도 맨홀 관리 시스템을 도입 시행한다면 도급인의 안전·보건 조치 의무 이행을 제도적으로 시행 할 수 있게 되는 것이다.

맨홀 관리 시스템을 시행한다면 초기에는 많은 혼선이 발생할 것이다. 맨홀작업 관련 공사를 실제 시공하는 사업자는 지방 영세 사업자일 경우가 많기 때문이다. 맨

홀 관리 기관이 지방 자치단체 이거나 공공기관이므로, 국가계약법에 의하여 공사 발주 시 일반경쟁 입찰일 경우도 있지만, 국가계약법 제7조 및 동법 시행령 제21조에 의한 참가 자격을 지역, 또는 면허 등의 제한을 둘 수 있는 제한 경쟁 입찰 방식을 사용하는 경우도 있기 때문이며, 중소기업설업자 보호를 위한 건설산업기본법 제47조 및 동법 시행령 제39조에 따라 시공능력 평가액이 100분의 3이내의 종합건설공사를 등록한 사업자는 시공능력평가액에 따라 도급 하한제도가 적용되기 때문이기도 하다.

맨홀 관련 공사를 대기업에서 하는 경우도 있겠지만, 지역 업체 및 중소기업의 업체에서 공사를 시행 하는 경우가 있으며, 대기업이 공사 업체로 선정 되었다 하더라도, 실제로 작업을 하는 업체는 대기업의 관계 수급업체인 지역 전문 업체일 경우가 많다. 따라서 맨홀관련 작업 업체들이 지역 소규모 업체일 경우 정책시행에 대응이 대기업에 비해 상대적으로 느릴 수 있기 때문이다.

하지만, 맨홀 작업 특성상 작업의 목적이 분명하고 작업 업체 또한 전문화 되어있으며, 맨홀 관리 기관역시 맨홀 뚜껑에 관리 주체가 각인이 되어 있을 만큼 명확하므로, 시스템이 정착하는데 그리 오래 걸리진 않을 것이다. 또한 시스템 정착을 위하여, 시범사업을 거쳐 단계적으로 확대 적용한다면, 홍보 부족과 인식 부족에 의한 혼선은 최소화될 수 있다. 실제로 굴착공사 정보지원 시스템(EOCS)의 경우 2005년 시행당시 서울지역을 대상으로 시범 사업을 시작하여, 전국 확대적용을 안정적으로 하였고, 도시가스사업법령의 정비까지 이루어진 사례가 있기 때문이다. 현재는 전국의 모든 굴착공사 시에는 굴착공사 정보지원 시스템(EOCS)을 통한 신고 및 승인 절차가 시행되고 있다.

서울에만 55만개 이상의 맨홀이 있다. 모든 맨홀이 밀폐공간에 해당하지는 않더라도, 맨홀작업에 의한 밀폐공간 질식사고 위험개소가 맨홀의 많은 수량만큼이나 많은 것은 사실이다. 따라서 맨홀 내 질식위험 작업과 같은 고 위험 작업이 주변에서 빈번히 발생을 하는 것이다. 치명률이 가장 높은 작업을 시공 사업자의 자율적 관리가 아닌, 관련 기관과 시공 사업자간의 협업하여 관리하는 맨홀 관리 시스템 도입이 질식사고 예방에 효과적이라 하겠다. 가스안전공사에서 발표한 2020년 가스사고연감[19]을 보면 최근 5년간 타공사에 의한 사고 46건 중 시스템에 신고를 하지 않고 작업 중 발생한 사고가 29건(63 %)으로 시스템에 의한 관리의 중요성을 보여준다.

5. 결론

2017년 기준 서울의 맨홀 설치 수량은 약 55만개에 달하며, 그 종류 및 관리 주체 또한 여러 기관에서 담당하고 있다. 또한, 맨홀 내 질식사고는 매년 꾸준히 발생하고 있으며, 그 치명률 역시 일반 사고성 재해의 44배에 달할 만큼 치명적인 사고이다.

맨홀은 우리 일상에서 너무나 흔히 볼 수 있는 구조물이며, 이는 치명률이 아주 높은 밀폐공간 작업이 맨홀수량 만큼이나 작업 횟수가 많이 이루어진다고 볼 수 있는 것이다. 이렇듯 작업 빈도가 상당히 높으면서, 사고 시 그 강도가 가장 높다고 볼 수 있는 맨홀 내 밀폐공간 작업을 시스템에 의한 관리를 하는 것이 너무나 당연한 것이다.

각각의 사업장에서 산업안전보건법에 의한 밀폐공간 작업 프로그램을 수립하고 작업 허가 제도를 실시하고 있지만, 어디까지나 사업장 자체 작성 및 승인 절차이며, 밀폐공간 작업 프로그램 역시 외부 전문 기관의 검토를 받지도 않는다.

앞에서 언급했던 한국가스안전공사의 및 한국전력의 사례를 보더라도 맨홀 관리 시스템의 도입은 충분히 가능하다. 그러므로 맨홀 관리 시스템을 도입한다면, 맨홀 내부에서 시행되는 밀폐공간 작업에 대해서는 책임 주체가 각각의 맨홀 관리 책임기관이 되기 때문에 기존 작업 방식보다는 책임기관의 확인 절차가 추가된 만큼 한층 강화된 안전조치가 가능해진다. 맨홀 작업 시 환기 부족, 유해가스 노출 및 보호구 미착용과 같은 원인으로 사고가 발생 하게 된다면, 작업 승인을 해준 맨홀 관리 책임 기관은 책임을 면하지 못하게 된다.

그러므로, 맨홀 관리 시스템을 도입하여 시공사는 밀폐공간 프로그램에 의한 작업 준비와 안전 조치를 하고, 맨홀 관리 책임 기관은 그 준비상태의 최종 확인을 하는 2중 안전조치를 시행 한다면, 맨홀 내 질식사고 예방에 큰 효과를 기대해 본다.

다만, 본 연구에서는 시스템 도입에 필요한 예산과 인력의 고려를 하지 않았으므로, 후속 연구에서는 시스템 도입에 따른 예산, 인원에 대한 연구가 진행되어야 하겠다.

References

- [1] Status of industrial accidents in 2021, Policy data, Ministry of Employment and Labor, Korea, PP.1,

- From:
https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20220300882
- [2] Industrial Health Standards Division, 348 people killed or injured in 10 years of confined space suffocation, Press release, Ministry of Employment and Labor, Korea, PP.1-2, From:
https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=13572
 - [3] B. H. Kwon, A Study on Asphyxiation Accidents occurred in the confined space, and their Prevention , *J. Korea Saf.*, Vol. 18 No. 3, pp.47-54, Sep. 2016
 DOI: <https://doi.org/10.12812/ksms.2016.18.3.47>
 - [4] G. H. Lee, J. H. Kim, M. O. Kim, J. H. Kim, J. H. Kim, W. B. Baek, The harmful gas monitoring system in the manhole, *Journal of Korean Institute of Information Technology*, pp.364-368, 2021
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10664568>
 - [5] G. M. Nam, J. S. Park, N. Y. Kim, B. H. Han, "The Cases report of Asphyxia in the manhole", *The 11th Spring Conference of the Korean Law Science Association*, Korean Society of Forensic Science, Korea, pp.297-298, March 2005.
<https://www.earticle.net/Article/A15243>
 - [6] S. Y. Lee, J. K. Lee, The Design and Implementation of Manhole Management System Using Wireless Communication, *Journal of Korea Society of Digital Industry and Information Management*, vol. 13, no. 2, pp.53-61, Jun. 2017.
 DOI: <https://doi.org/10.17662/ksdim.2017.13.2.053>
 - [7] J. M. Park, J. Kim, S. K. Kim, J. U. Park, "Development of Manhole access control system with NFC", *2021 52nd Korea Electrical Society Summer Conference*, Korean Electrical Society, Korea. vol. 2021, no. 7, pp.1.973-1,974, July. 2021.
<http://www.riss.kr/link?id=A107872479>
 - [8] Y. J. Choi, H. Choi, "Accident Prevention in Confined Space Using IoT Technology" *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 9, pp. 1159-1164, Sept. 2018.
 DOI: <http://doi.org/10.6109/ikiice.2018.22.9.1159>
 - [9] J. D. Kim, S. h. Han, Y. K. Kim, "Smart Manhole Device for Underground Facility Management" *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 8, pp.996-1003, 2019.
 DOI: <https://doi.org/10.6109/ikiice.2019.23.8.996>
 - [10] What is a manhole? a manhole accident [Internet]. [cited 2023 Feb 8], Available From:
<https://zo-zoon.tistory.com/15> (accessed Feb. 8, 2023)
 - [11] Seoul Metropolitan Government, Manhole Cover in Seoul [Internet]. [cited 2023 Feb 7], Available From:
<https://news.seoul.go.kr/safe/archives/41035> (accessed Feb. 7, 2023)
 - [12] Industrial Health Standards Division, 348 people killed or injured in 10 years of confined space suffocation, Press release, Ministry of Employment and Labor, Korea, PP.1, From:
https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=13572
 - [13] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Safety Work Guide for Asphyxiation Disaster Prevention in Closed Space", pp.9-11, Jun. 2022. From:
https://kiha21.or.kr/?mod=document&uid=9994&page_id=2595
 - [14] D. I. Cho, A meeting to share the cost of building an information support system for excavation work will be held on the 1st of next month [Internet], Todayenergy, [cited 2023 Feb 7], Available From:
<http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=225116> (accessed Feb. 7, 2023)
 - [15] Power Spout Manhole Access Management System [Internet], KEPCO, [cited 2023 Feb 7], Available From:
<https://home.kepco.co.kr/kepco/front/html/CO/G/M/COGMPP00404.html> (accessed Feb. 7, 2023)
 - [16] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Safety Work Permit Guidelines(KOSHA GUIDE, P-94-2021)", pp.12-16, Dec. 2021. From:
<https://www.kosha.or.kr/kosha/data/guidanceP.do>
 - [17] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Safety Work Guide for Asphyxiation Disaster Prevention in Closed Space", pp.20, Jun. 2022. From:
https://kiha21.or.kr/?mod=document&uid=9994&page_id=2595
 - [18] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Safety Work Guide for Asphyxiation Disaster Prevention in Closed Space", pp.67-81, Jun. 2022. From:
https://kiha21.or.kr/?mod=document&uid=9994&page_id=2595
 - [19] Korea Gas Safety Corporation, "2020 Gas Accident Yearbook", pp.195, Feb. 2022. From:
<https://www.kgs.or.kr/kgs/ABCA/board.do?searchBoardSn=89750>

유 현 철(Hyon-Chol Ryoo)

[정회원]



- 1991년 6월 ~ 현재 : 한솔제지 안전운영팀장
- 2019년 10월 ~ 현재 : 한국제지연합회 안전상설위원
- 2023년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 안전행정공학과 (박사과정)

<관심분야>

기계안전, 위험성평가, 안전보건경영시스템, 안전문화

김 상 현(Sang-Hyun Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 ~ 2019년 8월 : 쌍용건설(주) 안전팀장
- 2019년 8월 ~ 현재 : 한국가스공사 강원지역본부
- 2023년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 안전행정공학과 (박사과정)

<관심분야>

건설안전, 위험성평가, 안전보건경영시스템, 안전문화

조 규 선(Guy-Sun Cho)

[정회원]



- 2020년 8월 : 송실대학교 대학원 안전보건융합공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 2018년 2월 : 한국산업안전보건공단 부장
- 2018년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안전행정공학과 교수

<관심분야>

공정안전, 안전보건경영시스템, 로봇안전, 위험성평가