

한문철의 현장 속으로

# 안전보건교육

밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1. 밀폐공간 작업의 이해와 특성
2. 밀폐공간 작업 안전을 위한 안전 수칙
3. 밀폐공간 작업 건강 장애
4. 밀폐공간 작업 재해 사례 및 사고 예방

SAFETY FIRST

※ 본 학습자료의 무단복제 및 전재, 재배포를 금합니다.

# Chapter 1

---

## 밀폐공간 작업의 이해와 특성

---

SAFETY FIRST

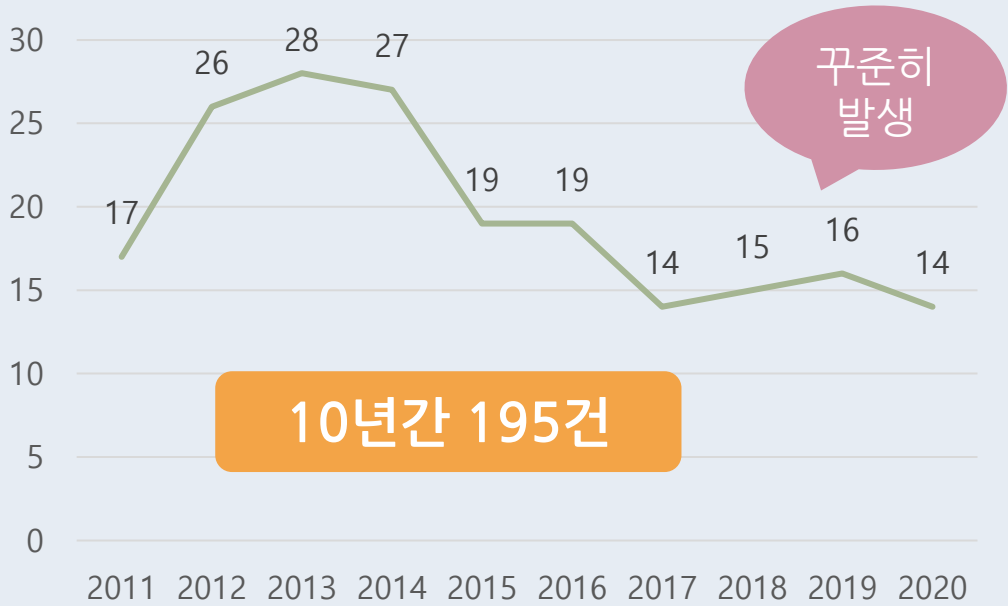
A stylized illustration of a city skyline at sunset. The sky is a gradient of orange, red, and purple. The city is represented by various dark silhouettes of buildings and skyscrapers. The text 'SAFETY FIRST' is written in a white, sans-serif font on the left side of the skyline.

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

질식 재해 발생 현황 및 특징

## 질식 재해 발생 현황



10년간 195건

SAFETY FIRST

출처 : 고용노동부, 한국산업안전보건공단

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

질식 재해 발생 현황 및 특징

## 질식 재해 특징

사망 가능성이 높음

전체 재해자 316명



168명 사망



148명 부상

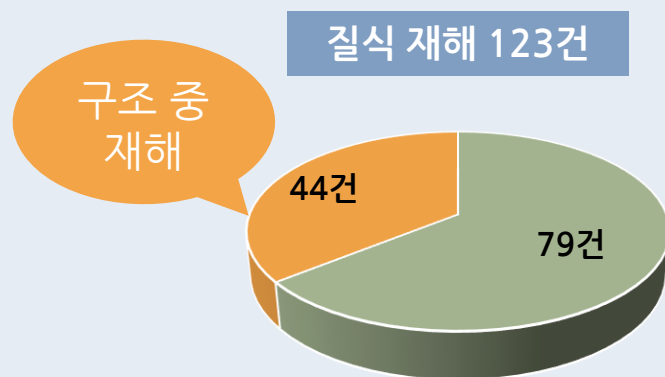
절반 이상

SAFETY FIRST

출처 : 고용노동부, 한국산업안전보건공단

## 질식 재해 특징

사고 발생 시 2명 이상 동시 사망 또는 부상 가능성 높음



적절한 보호 장비 없이 구조하는 경우

SAFETY FIRST

## 질식 재해 특징

계절적으로 큰 차이 없이 수시로 발생

건설업과 제조업에서 다발

건설업  
(40.5%)



제조업



기타

SAFETY FIRST





# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

2

밀폐공간의 정의

## 밀폐공간

환기가  
불충분한  
상태



산소 결핍,  
유해 가스로  
인한 건강  
장해



인화성 물질에  
의한  
화재·폭발  
등의 위험  
장소



근로자가 작업을 수행할 수 있는 공간

우물, 수직갱, 터널, 잠함, 피트, 암거, 맨홀, 탱크,  
반응탑, 정화조, 침전조, 집수조 등

SAFETY FIRST

## 산소 결핍

공기 중 산소 농도가 18% 미만인 상태

### 산소 결핍증

산소가 결핍된 공기를 들이마심으로 생기는 증상

### 정상적인 공기

- 산소 : 약 21%
- 질소 : 78%
- 이산화탄소, 아르곤, 헬륨 등 : 약 1%

SAFETY FIRST



## 산소 농도 저하 시 증상

대기 중 산소 농도 21%

18%	안전 한계로 연속 환기가 필요
16%	호흡, 맥박의 증가, 두통, 메스꺼움
12%	어지럼증, 토할 것 같음, 근력 저하, 체중 지지 불능으로 떨어짐 (죽음에 이름)
10%	안면 창백, 의식 불명, 구토 (토한 것이 기도가 폐색하여 질식사)
8%	실신, 혼절, 7~8분 이내 사망
6%	순간에 혼절, 경련, 호흡 정지, 6분 이내 사망

SAFETY FIRST

## 유해 가스

밀폐공간에서 탄산가스, 황화수소 등의 유해 물질이  
가스 상태로 공기 중에 발생하는 것

### 밀폐공간 내 유해한 상태

- 산소 농도 : 18% 미만 23.5% 이상
- 탄산가스 : 1.5% 이상
- 황화수소 : 10ppm 이상
- 기타 유해 가스 작업 환경측정 노출 기준 적용  
(예 : 일산화탄소 30ppm(TWA))

SAFETY FIRST



## 공기 중 산소 소모

물질의 산화 작용



저장용 탱크 등 소재의 산화

### 발생 장소

철재의 보일러, 탱크, 반응탑, 압력 용기, 가스 홀더, 반응기, 추출기, 분리기, 열교환기, 선창, 선박의 저장 공간 등의 내부

## 공기 중 산소 소모

### 물질의 산화 작용



#### 저장 또는 운반 물질의 산화

- 석탄, 강재, 고철 등



#### 건성유의 산패

- 아마유, 보일유 등의 도료용 건성유
- 건성유, 대두유, 유채유 등  
불포화 지방산을 함유한 식물성 식용유

#### 발생 장소

탱크, 호퍼, 사일로 등의 내부

#### 발생 장소

건성유를 사용해 도장한  
환기가 불량한 장소, 식물성  
기름 저장 탱크 등의 내부

## 공기 중 산소 소모

미생물의 호흡 작용

생체 1kg(수분 제외)이 30℃ 부근에서 1시간에 소비하는 산소 소비량

생체	소비량
사람	200ml
원생동물(Paramecium)	500ml
사상균(Lusarium)	10,000ml
조류(Chlorella)	40,000ml
세균(Azotobacter)	1,200,000ml

6,000배

발효 식품, 의약품(페니실린, 스트렙토마이신)의 제조, 폐기물 처리(하수, 분뇨, 매립)에 이용

## 공기 중 산소 소모

미생물의 호흡 작용



### 미생물의 증식

- 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등 발생
- 하수 설비나 피트, 오수조, 분뇨 처리장의 오물조 내 등

### 발생 장소

탱크, 선창, 조, 관, 암거, 맨홀, 하수구 또는 피트



## 공기 중 산소 소모

### 미생물의 호흡 작용



#### 유기물의 부패

밀폐된 공간 내부에 유기물이 부패하는 경우,  
산소가 소비되고 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등 발생

#### 발생 장소

케이블 또는 가스관용의 암거, 맨홀 또는 피트의 내부, 우수, 유수  
등이 체류했던 암거, 맨홀 또는 피트의 내부

## 공기 중 산소 소모

### 미생물의 호흡 작용



미생물의 발효

#### 발생 장소

탱크, 항온실 또는 양조조(간장, 식초)의 내부



절임 식품, 야채,  
곡물 등의 호흡 작용

#### 발생 장소

단무지와 오이지 저장조, 야채 항온실

## 공기 중 산소 소모

미생물의 호흡 작용



목재의 호흡 작용

발생 장소

목재를 운반하거나 보관하는 선창, 호퍼 등의 내부

## 공기 중 산소 소모

기타



각종 탱크나 밀폐된 방

발생 장소

냉장실, 냉동실, 항온실, 탱크, 보일러, 압력 용기, 반응탑 등 내부

## 공기 중 산소 소모

기타



지하수의 산소 소모

지하수의 용존 산소가 적을 때 공기 중에 있는 산소가 물로 용해

발생 장소

상수도의 지하 집수지, 수력 발전소의 취수구,  
용수가 풍부한 지하 터널이나 맨홀 등의 내부

## 공기 중 산소 소모

기타



우물

- 간이 수도나 일반 우물에서는 산소 용해
- 내부에서 미생물의 호흡
- 지질에 따른 산소 흡수
- 토사층으로부터의 산소 결핍 공기의 유입 등



# Chapter 2

---

## 밀폐공간 작업 안전을 위한 안전 수칙

---

SAFETY FIRST

A stylized illustration of a city skyline at sunset. The sky is a gradient of orange, red, and purple. The city is represented by various dark silhouettes of buildings and skyscrapers. The text 'SAFETY FIRST' is written in a white, sans-serif font on the left side of the skyline.

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

기본 조치 사항

## 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행

### 프로그램 포함 사항

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적절한지 확인을 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기나 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 그 밖에 밀폐공간 작업 근로자 건강 장애 예방에 관한 사항

SAFETY FIRST

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

기본 조치 사항

## 밀폐공간 관리 감독자 지정

- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정, 근로자 작업 지휘
- ✓ 작업 장소 공기 적정 여부 작업 시작 전 확인
- ✓ 측정 장비·환기 장치, 송기 마스크 등 작업 시작 전 점검
- ✓ 송기 마스크 등 착용 지도, 착용 상황 점검
- ✓ 관리 감독자의 점검 결과 이상을 발견하여 보고 시,  
사업주는 즉시 환기, 보호구 지급, 설비 보수 등 필요한 조치 실시

SAFETY FIRST

## 밀폐공간 작업 허가서 작성 및 교육

작업 관리자, 감시인

밀폐공간을 보유한 책임자로부터  
밀폐공간 안전보건작업 허가서 발급 후 작업

작업 관리자

사전 작업자에게 위험 요인과  
이에 대한 대응 방법에 대하여 교육 실시

SAFETY FIRST



## 밀폐공간 출입 금지와 인원 점검

### 사업주

관계 근로자 외 출입 금지, 내용 보기 쉬운 장소에 게시

### 근로자

출입이 금지된 장소에 사업주 허락 없이 출입 금지

SAFETY FIRST



# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

기본 조치 사항

## 감시인 배치 및 연락 설비 가동

밀폐공간에서 근로자가 종사하는 경우

상시 작업 상황을 감시할 수 있는 감시인 지정,  
밀폐공간 외부에 배치

밀폐공간에서 작업하는 경우

밀폐공간 작업장과 외부 감시인 간 상시 연락 설비 설치

SAFETY FIRST





# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

기본 조치 사항

## 사고 시의 대피 및 대피용 기구의 비치

산소 결핍/유해 가스 폭발의 우려가 있는 경우

즉시 작업 중단, 해당 근로자 대피

근로자를 대피시킨 경우

적정 공기 상태 확인할 때까지 관계자 외 출입 금지,  
내용을 보기 쉬운 장소에 게시

근로자가 밀폐공간에서 작업을 하는 경우

송기 마스크, 사다리 및 섬유 로프 등 비상시 근로자를  
피난 및 구출에 필요한 기구 비치

SAFETY FIRST



## 가스 농도 측정

### 유해 공기의 판정 기준

각각의 측정 위치에서 측정된 최고 농도 적용

### 유해 공기의 정확한 농도 측정을 위한 필수 조건

- 유해 공기 특성에 맞는 적절한 측정기 선택, 구비
- 측정기는 유지·보수·관리로 정확도, 정밀도 유지
- 측정기의 사용 및 취급 방법, 유지 및 보수 방법 습득
- 유해 공기 농도 측정기를 사용 시 측정 전에 기준 농도, 경보 설정 농도 정확히 교정

## 가스 농도 측정

### 유해 가스 농도 측정 지점의 선정

- 수직 방향, 수평 방향 각각 3개소 이상 선정
- 같은 장소에서도 위치에 따라 공기 농도에 현저한 차이가 있으므로 가능한 많은 장소에서 측정
- 작업 시 근로자의 호흡 위치를 중심으로 측정
- 휴대용 유해 공기 농도 측정기(산소 농도 측정기) 등을 이용해 측정
- 탱크 등 깊은 장소의 농도를 측정 시 고무호스나 폴리염화비닐로 된 채기관 사용해 평가
- 면적 및 깊이를 고려해 밀폐공간 내부를 골고루 측정

## 가스 농도 측정

유해 공기를 반드시 측정해야 하는 경우

- 당일의 작업을 개시하기 전
- 교대자가 최초로 작업을 시작하기 전
- 작업에 종사하는 전체 근로자가 작업을 하고 있던 장소를 떠났다가 돌아와 작업을 재개하기 전
- 근로자의 신체, 환기 장치 등에 이상이 있을 때



## 환기 기준 및 절차



- ✓ 밀폐공간 작업 시작 전 밀폐공간 체적의 5배 이상 외부의 신선한 공기로 환기 후 출입
- ✓ 작업 동안 적절한 공기 유지되도록 계속해서 환기 (시간당 공기 교환 횟수 20회 이상)
- ✓ 올바른 송풍기 용량을 갖춘 환기팬 구비

## 환기 조치 사항

- ✓ 밀폐공간 내 유해 공기가 완전히 제거 전까지 출입 금지 조치
- ✓ 환기팬에 송풍관(덕트)을 연결하여 작업자 주변에 위치
- ✓ 작업 전에는 구비된 환기팬으로 15분 이상 급기 및 산소 및 유해 가스 농도 측정
- ✓ 이상이 있는 경우 추가 환기 및 송기 마스크 착용 등 작업자 보호 조치

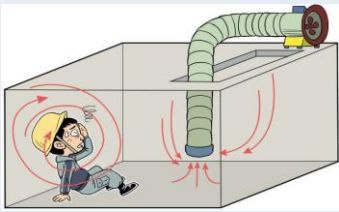


## 환기 조치 사항

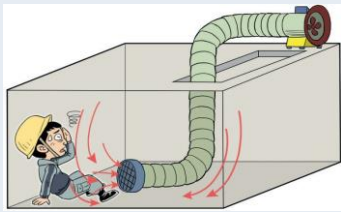
- ✓ 작업 중에는 구비된 환기팬을 작업 종료 시까지 가동
- ✓ 유해성 확인을 위해 주기적으로 산소 및 유해 가스 농도 측정 및 이상이 있는 경우 즉시 대피
- ✓ 밀폐공간 작업 재개 시 밀폐공간 작업 프로그램에 의한 재평가 실시
- ✓ 환기에 의한 적정 공기 상태 유지가 어려운 경우 송기 마스크 착용 등 별도의 작업자 보호 조치 시행
- ✓ 사업주는 상기 내용 문서화

## 올바른 환기 방법

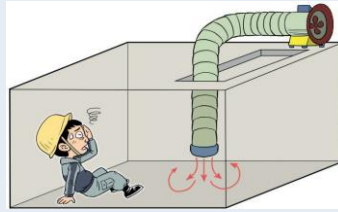
Q. 어떤 것이 올바른 환기 방법일까요?



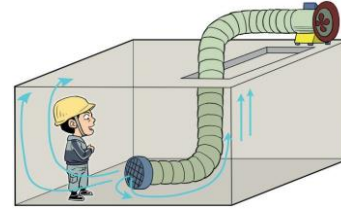
출입구 배기



작업자 근처 배기



출입구 급기



작업자 근처 급기

## 호흡용 보호구

### 공기 호흡기

- 활동 범위에 있어서 제약을 받지 않음
- 조사 활동이나 구조 활동에 많이 이용함
- 무겁고 유효 기간이 짧음

### 송기 마스크

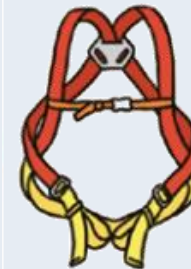
- 활동 범위에 제한을 받음
- 가볍고 유효 사용 시간이 길어 일정한 장소에서의 장시간 작업에 주로 이용함

### 안전대

- ✓ 높이 2m 이상의 추락 위험이 있는 곳에서 작업 시 사용
- ✓ 산소 결핍 사고 및 유해 가스 등의 중독 위험이 있는 갯, 맨홀, 우물 등에 사다리를 사용해 내려가며 작업을 하는 경우
- ✓ 갯구 등에서 산소 농도 및 유해 가스 농도를 측정하는 경우
- ✓ 탱크, 화학 설비, 사일로, 냉장고 등 내부의 산소 결핍 위험이 있는 장소의 발판에서 작업을 하는 경우
- ✓ 산소 결핍 공기를 호흡하여 의식을 상실할 수 있기 때문에 안전대 사용



벨트식 안전대



그네식 안전대

### 보호 가드

- ✓ 맨홀 및 금속 탱크류의 경우
- ✓ 입구 부분의 뚜껑을 열고 작업을 할 경우
- ✓ 출입 및 접근 금지의 경고문, 작업 수칙, 응급 처치 절차 등이 부착된 철판 파이프로 제작된 접이식 보호 가드를 설치
- ✓ 외부인이 접근하지 못하도록 함



보호가드

### 삼각대

산소 결핍 장소에서 사고가 발생했을 때  
금속제의 삼각 구조대를 사용해 피재자를 신속하게 구출





## 무전기



- ✓ 항상 작업 상황을 송수신할 수 있는 무전기(전원이 항상 충전된) 휴대
- ✓ 얼굴 주위에 마이크 위치(전원이 켜진 상태)

## STEP1 현장 안전의 확인

재해 피해  
최소화



가장 중요한  
첫 번째 단계

올바르고 재빠른 응급 처치

심정지 환자를 발견했을 경우

모든 구조자는 현장이 안전한지를 확인한 후 구조 시작

## STEP2 의식 상태 확인



- ✓ 구조자는 현장 상황의 안전 확인 후 즉시 환자의 회부손상과 의식 상태 확인
- ✓ 어깨를 가볍게 두드리거나 조심스럽게 흔들면서 “괜찮으세요?”라고 질의
- ✓ 쓰러져 있는 사람의 목 외상 의심 시, 꼭 필요한 경우에만 환자 이동
- ✓ 환자의 부적절한 이동은 손상 악화 및 척수 손상 우려

## STEP3 응급 의료 체계 연락

- ✓ 목적자는 응급 의료 체계에 전화 연락
- ✓ 응급 구조 요원이 현장에 빨리 도착할 수 있게 조치



## 응급 의료 체계 신고 요령

침착하게 응급 의료 전화 상담원에게 알림

- 응급 상황이 발생한 위치
- 무슨 일이 일어났는가?
- 도움이 필요한 환자의 수
- 환자의 상태
- 환자에게 시행한 치료 내용
- 다른 질문이 없는지 확인



## 환자의 자세



- ✓ 효과적인 소생술과 평가를 위해 환자를 딱딱하고 평평한 바닥에 눕힘
- ✓ 얼굴을 아래로 하고 누워 있는 경우 머리, 목, 어깨, 몸통, 양다리를 하나로 여겨 비틀지 말고 목과 머리를 지지하면서 동시에 돌려(통나무 굴리듯이) 바로 눕힘
- ✓ 호흡이 없는 환자는 반드시 양팔을 몸통에 붙여 똑바로 눕힘



# Chapter 3

---

## 밀폐공간 작업 건강 장해

---

SAFETY FIRST

A stylized illustration of a city skyline at sunset. The sky is a gradient of orange, red, and purple. The city is represented by various dark silhouettes of buildings and skyscrapers. The text 'SAFETY FIRST' is written in a white, sans-serif font on the left side of the skyline.

## 산소의 특성

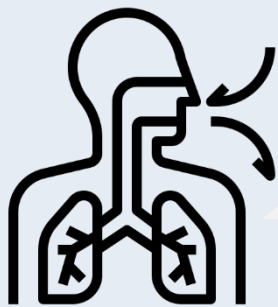
- ✓ 상온·상압에서 무색·무미·무취의 기체
- ✓ 물과 알콜에 녹음
- ✓ 가연성이 아니나 다른 물질의 연소를 돕는 물질

### 공기 구성 물질

- 산소 21%
- 질소 78%
- 이산화탄소, 아르곤, 헬륨 등 1%

SAFETY FIRST

## 산소 결핍에 의한 건강 장해



호흡 활동

폐순환으로 유입되는 혈액으로부터  
적절한 양의 이산화탄소를 제거하고  
폐순환을 떠나는 혈액에 충분한 산소를 공급하는 것



산소를 공급하고 이산화탄소를 제거하기 위해  
신선한 공기가 폐포 내로 적절히 공급되어야 함

SAFETY FIRST

## 산소 결핍에 의한 건강 장애



산소 농도

16%  
이하

빈맥 및 빈호흡, 구토, 두통

10%  
이하

의식 상실, 경련, 혈압 강하,  
서맥(맥박수 감소)으로 질식사

SAFETY FIRST

## 산소 농도에 대한 인체 영향

인체 영향	산소 농도(%)	산소 분압(mmHg )
증상 없음	16-20.9	122-159
심장 및 호흡박동수 증가, 집중력 저하	< 16	< 122
작업 후 비정상적 피로감, 판단력 저하	< 14	< 106
판단능력의 급격한 저하, 영구적 심장손상, 구토, 메스꺼움	< 12	< 90
의식 불명, 행동 둔화, 무기력감	< 10	< 76
경련, 가쁜 숨, 심장정지, 수분 후 사망	< 6	< 46
한두 번 호흡으로 사망	< 4	< 30

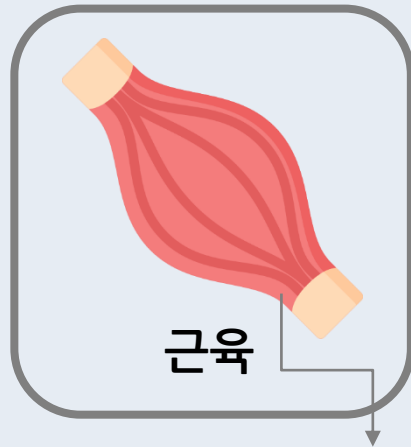
SAFETY FIRST

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

산소 결핍에 의한 건강 장애

## 무산소 공기 1회의 위험성



마이오글로빈

혈액에서 산소를 빼앗아 저장하는 성질

SAFETY FIRST



## 무산소 공기 1회의 위험성



SAFETY FIRST

## 황화수소의 특성

- ✓ 무색의 기체, 계란 썩는 냄새가 나는 악취 물질(유독성 가스)
- ✓ 밀폐공간에서 가장 많은 사망자를 발생시킨 물질
- ✓ 공기보다 비중이 커서 무거움
- ✓ 밀폐공간 내 저층부에 주로 존재하여 환기 어려움
- ✓ 화산, 유황 온천 등에서 자연적 생성
- ✓ 석유 정제 공정이나 피혁, 아교, 형광 물질 원료 등의 제조 공정 중 부산물로 인위적 발생

## 황화수소의 특성

✓ 8시간 가중 평균 노출 기준(TWA) : 10ppm

✓ 단시간 노출 기준(STEL) : 15ppm

최소한의 눈 및 호흡기계의 자극, 피로 증상, 두통,  
어지러움 및 중추 신경계 장애와 호흡기의 마비,  
갑작스런 죽음 등의 재해의 발생 가능성 최소화

## 황화수소의 물리화학적 특징

물리화학적 특성	황화수소	물리화학적 특성	황화수소
분자식	H <sub>2</sub> S	물/옥탄올 분배 계수	0.23(추정치)
분자량	34.08	인화점 (Autoignition temperature)	260℃
가스 밀도	1.19	폭발 범위 (Explosive range in air)	4.3~46%
증기압	17.6atm	색깔(Color)	무색
물 용해도	2.9% by weight	냄새(Odor)	썩은 달걀 냄새

## 황화수소 노출 기준

노출 기준	황화수소 농도 (ppm)
시간 가중 허용 농도	10
단시간 노출 허용 농도	15
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도	300
50% 치사 농도	952

## 황화수소의 인체에 미치는 건강 영향

인체 반응	황화수소 농도(ppm)
냄새역치	0.003-0.02
달걀 썩은 냄새	> 30
혈오스러운 냄새	30-100
후각적 피로	> 100
눈 염증, 결막염, 각막 부식	< 20/8시간
안구 통증, 두통, 식욕 부진, 체중 감소, 어지러움	15-25
급성 결막염, 눈물, 광선 공포증, 각막염	50-500/1시간
의식 상실, 사지 경련, 혈압 강하	250-600/20분
의식 불명, 호흡기 부종, 경련, 혈뇨, 사망	> 1,000/1분
혼수상태 (1회 호흡 후)	1,000-2,000



## 일산화탄소의 특성

- ✓ 비중이 공기와 거의 비슷한 무색·무취의 기체, 주변에 흔히 존재
- ✓ 목재, 석탄, 석유, 가솔린, 등유 등 유기연료의 불완전 연소
  - 담배 연기 약 4%
  - 자동차 배기가스 중 약 0.5~10%
- ✓ 고속 도로 및 담배 연기가 가득한 방안의 대기 중 일산화탄소 농도 2~50ppm

## 일산화탄소의 특성

- ✓ 가장 잘 알려진 화학적 질식제의 한 종류
- ✓ 화재로 인한 연기 등이나 각종 사업장에서도 흔히 노출될 수 있는 유해 가스
- ✓ 포스겐, 철, 니켈 등의 제조, 제련 공장, 석유 화학 공장, 주물 공장, 터널, 탄광 등에서 발생
- ✓ 무색 무취로 위험성 사전 인지 어려움(밀폐공간에서 많은 사망 재해 유발)

## 일산화탄소의 물리화학적 특성

물리화학적 특성	일산화탄소	물리화학적 특성	일산화탄소
분자식	CO	인화점	609℃
분자량	28.0	폭발 범위	12.5 ~ 74.2%
가스 밀도	0.968	색깔	무색
증기압	>35atm	냄새	무취
물 용해도	0.004% by weight	독성정보	-
물/옥탄올 분배 계수	해당 안 됨		

## 일산화탄소 노출 기준

노출 기준	일산화탄소 농도 (ppm)
시간 가중 허용 농도	30
단시간 노출 허용 농도	200
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도	1,200
50% 치사 농도	5,207

- 카르복시헤모글로빈(COHB) 수준이 3.5% 미만을 유지하기 위한 농도
- 신경행동학적 변화를 최소화하고 심장 질환을 정상적으로 유지하는 데 필요한 농도

## 일산화탄소 폭로량과 건강 영향

인체 반응	시간	일산화탄소 농도(ppm)
5	20분	교차 신경계 반사 작용 변화
30	1시간	시각, 정신 기능 장애
200	2~4시간	전두부 중강도의 두통
500	2~4시간	심한 두통, 공포심, 시력 장애, 허탈감
1,000	2~3시간	맥박이 빨라짐, 경련을 수반한 실신
2,000	1~2시간	사망

일산화탄소 흡입 ▶ 일산화탄소-헤모글로빈 형성 ▶ 혈액의 산소 운반 능력 상실 ▶ 내부적인 질식 상태

- 일산화탄소와 헤모글로빈의 친화력은 산소보다 210배의 세기
- 저농도에서도 다량의 일산화탄소-헤모글로빈 형성

## 이산화탄소의 특성

- ✓ 밀폐공간 질식 재해의 사망 원인
- ✓ 대기 중에 약 350ppm의 농도 (기후 변화를 유발하는 주요 원인)
- ✓ 사람의 호흡, 엔진의 내부 연소, 화학 공장과 생물학적 반응 과정으로 발생
- ✓ 이산화탄소의 가스 밀도는 공기보다 다소 무거우므로 고농도의 이산화탄소 구름 형성
- ✓ 기온이 낮고 밀폐된 공간에서는 이산화탄소 정체 가능
- ✓ 인화성 또는 폭발성이 없고 정상 환경에서는 화재에 조연 역할을 하지 않음
- ✓ 무색으로 눈에 보이지 않아 존재를 인지하지 못함



## 이산화탄소 물리화학적 특징

물리화학적 특성	이산화탄소	물리화학적 특성	이산화탄소
분자식	CO2	인화점	해당 안됨
분자량	44.0	폭발 범위	해당 안됨
가스 밀도	1.53	색깔	무색
물 용해도	0.14% by weight	냄새	무취
물/옥탄올 분배 계수	해당 안됨		

## 이산화탄소의 노출 기준

노출 기준	이산화탄소 농도 (ppm)
시간 가중 허용 농도	5,000
단시간 노출 허용 농도	30,000
즉각적으로 생명 및 건강에 영향을 줄 수 있는 농도	50,000

## 이산화탄소에 의한 건강 장해

- ✓ 호흡 자극제 역할(대뇌혈류 흐름과 국소적으로 혈관 확장을 조절하는 역할)
- ✓ 고농도의 이산화탄소에 노출되면 호흡과 중추 신경을 흥분시켜  
마취 효과, 호흡 저지, 질식 등 유발

1.5% 이상	7~10%	11%	30%
가벼운 대사 장해 혈압, 맥박 상승, 약한 마취감	호흡량 증가 두통, 무력감, 어지러움 심장박동 증가, 집중 곤란, 수 분 내로 의식 소실	1분 내 의식 소실	25초 내 의식 소실

# 이산화탄소가 인체에 미치는 건강 영향

인체 반응	이산화탄소 농도(ppm)
정상 농도	350
폐포기실	53,000
감지하는 최소 농도	5,500(5시간)
측정 필요 농도	15,000(장기간)
약한 증상 (혈압·맥박 상승, 약한 마취 등)	30,000
호흡량 증가 (약 2배)	40,000
호흡량 재증가	50,000
두통, 무력감, 어지러움	75,000(7~15분)
심장박동 증가, 혈압 증가, 짧은 숨, 기억력 감퇴, 집중 곤란, 광선 공포증	76,000
의식 불명	110,000(1분 미만) 300,000(25초)

## 휘발성 유기물질 (VOCs, Volatile Organic Compounds)

환경 오염 물질 중 휘발성이 강한 물질

- ✓ 상온에서 쉽게 휘발됨
- ✓ 시너, 리무버, 가솔린, 디젤, 난방유 등의 용제류로 공기 중에 존재함
- ✓ 화학물질과 페인트를 제조하는 저장 용기, 폐화학물질 운반 차량의 저장 탱크와 지하 작업장의 도장 작업 시 유기용제에 노출됨
- ✓ 유해 가스 농도 측정 시, 휘발성 유기화합물에 대한 측정은 간과되기 쉬움

# Chapter 4

---

## 밀폐공간 작업 재해 사례 및 사고 예방

---

SAFETY FIRST

A stylized illustration of a city skyline at sunset. The sky is a gradient of orange, red, and purple. The city is represented by various dark silhouettes of buildings and skyscrapers. The text 'SAFETY FIRST' is written in a light, sans-serif font on the left side of the skyline.



# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

관로 내부 누수 점검 중 산소 결핍

## 재해 사례

예

8월 5일 10:10경 경북 소재 저수지 관로 내부



관로의 누수 점검을 위한 CCTV 촬영을 위해  
관로 내부로 들어가 장애물 제거 조치

피재자를 확인하기 위해  
관로 내부로 들어감



SAFETY FIRST

# 밀폐공간 작업 안전과 사고 예방

1

관로 내부 누수 점검 중 산소 결핍

## 재해 발생 원인

### 사고 관로 내부

외부의 공기 출입이 어렵고, 내부에 고인 물, 미생물 등의 산화 작용, 호흡 등에 의해 산소 결핍이 우려되는 밀폐공간

### 재해자

산소 농도 측정, 환기, 호흡용 보호구 착용 없이 단독으로 관로 내부에 들어감



SAFETY FIRST

## 산소 결핍 사고 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적정한지를 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정 및 작업 지휘
- ✓ 작업 시작 전 작업 장소의 공기 적정 여부 확인
- ✓ 작업 시작 전 측정 장비·환기 장치 또는 송기 마스크 등 점검

SAFETY FIRST



## 재해 사례

예

맨홀펌프장 수중펌프 지상 인양 작업

인양 로프(체인)를 펌프에 걸기 위해 내부로 내려가  
작업 시작 10분 후



주작업자



보조 작업자

## 재해 발생 원인

### 맨홀 펌프장 내 미환기

유기물 등의 오염물질이 부패하면서  
황화수소가 발생해 고농도로 정체  
(깊이 4m에서 150ppm 수준)

### 재해자

유해 가스 농도 측정, 환기, 호흡용  
보호구 착용 없이  
맨홀 펌프장 내부에 들어감



## 황화수소 중독 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적정한지를 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정 및 작업 지휘
- ✓ 작업 시작 전 작업 장소의 공기 적정 여부 확인
- ✓ 작업 시작 전 측정 장비·환기 장치 또는 송기 마스크 등 점검



## 재해 사례

예

경남 소재 축산(양돈 농장)

돈사와 중간 집수조 사이 관로가 막혀 집수조 내부로  
들어가 막힌 배관을 뚫는 작업



외국인 근로자, 농장주 부인



농장주

## 재해 발생 원인

### 분노

돈사와 집수조 사이의 막힌 배관을 뚫기 위해 집수조 내부로 들어가 고압 호스를 이용해 막힌 배관을 뚫는 작업을 실시하던 중 분노가 휘저어지면서 고농도의 황화수소가 발생함

### 재해자

유해 가스 농도 측정, 환기, 호흡용 보호구 착용 없이 돈사 집수조 내부에 들어감



## 황화수소 중독 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적절한지 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정 및 작업 지휘
- ✓ 상시 작업 상황을 감시할 수 있는 감시인을 지정하여 외부 배치
- ✓ 밀폐공간 작업장과 외부 감시인 간 상시 연락 설비 설치
- ✓ 밀폐공기 내 유해 공기 특성에 맞는 적절한 측정기 구비

## 재해 사례

예

강원도 소재 불가마

화부(불 때는 작업) 작업자가 불가마 안에서  
일산화탄소 중독으로 쓰러져 있는 것을 동료가 발견하고,  
병원으로 후송



### 재해 발생 원인

#### 환기가 불충분한 장소

장작이 불완전 연소하면서 발생한 일산화탄소의 흐름이  
작업자의 호흡영역을 거쳐가면서 고농도의 일산화탄소 노출

#### 가스 중독 예방 미조치

적절한 환기 설비 설치  
일산화탄소 가스 농도 검지기 설치  
호흡용 보호구(송기 마스크, 공기 호흡기) 지급



## 일산화탄소 중독 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적절한지 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정 및 작업 지휘
- ✓ 작업 시작 전 작업 장소의 공기 적정 여부 확인



## 재해 사례

예

경기도 아파트 건설 공사 현장

건설 회사 소속 근로자가 양생 작업 온도를 확인하기 위해  
옥탑 2층 엘리베이터 기계실 내부 진입



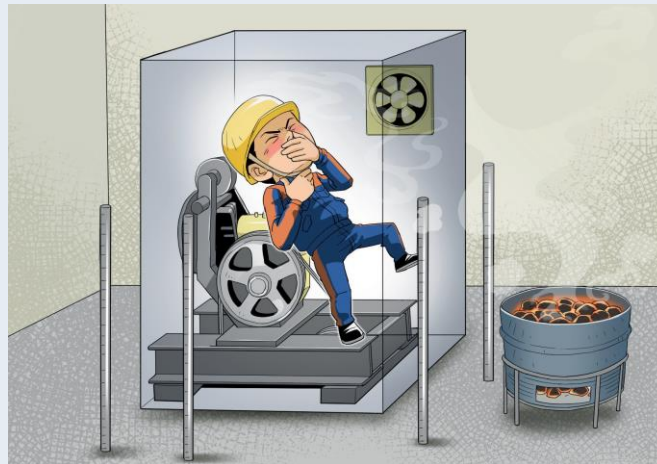
## 재해 발생 원인

### 갈탄 난로

갈탄이 불완전 연소하면서 환기가 충분하지 못한 밀폐된 공간에 일산화탄소가 고농도로 정체돼(1,000ppm 이상) 있는 상태

### 가스 중독 예방 미조치

적절한 환기 설비 설치  
일산화탄소 가스 농도 측정  
호흡용 보호구(송기 마스크, 공기 호흡기) 지급  
감시인 배치



## 일산화탄소 중독 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적절한지 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 방법 결정 및 작업 지휘
- ✓ 상시 작업 상황을 감시할 수 있는 감시인을 지정하여 외부 배치
- ✓ 밀폐공간 작업장과 외부 감시인 간 상시 연락 설비 설치

## 재해 사례

예

도시가스 맨홀 내부

도시가스 맨홀 내부에 설치된 차단 밸브(150A 주강 볼 밸브-수동 개폐식) 개폐 작동 불량 및 슬리브 덮개 고정용 볼트 부식에 따른 차단 밸브 교체 여부를 점검하던 중 LNG(메탄주성분) 가스 누출



## 재해 발생 원인

### 도시가스 누출

밸브 교체 여부 점검 중 밀폐공간에서 도시가스 누출로 인한 메탄가스가 맨홀 체적의 대부분을 차지, 산소 결핍에 의해 질식사고 발생

### 가스 누출 예방 미조치

적정 공기가 유지되도록 환기  
송기 마스크, 공기 호흡기 지급 및 착용 관리



## 메탄가스 누출에 의한 질식 재해 예방법

- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 작업 시작 전 작업 장소의 공기 적정 여부 확인
- ✓ 작업 시작 전 측정 장비·환기 장치 또는 송기 마스크 등 점검
- ✓ 밀폐공간 작업 관리자, 감시인 등은 밀폐공간을 보유한 책임자로부터 밀폐공간 안전보건작업 허가서 발급 후 작업



## 재해 사례

예

경기도 공장

생산 라인에서 사용하는 초순수에 기포가 생기는 이상이 발생해  
기포 발생 유무 등을 점검하기 위해 3m 높이의 탱크 상부에 오르려서  
내부를 점검하던 중 질소가스 누출



## 재해 발생 원인

### 고농도 질소가스

초순수탱크 상부 개방 후 탱크 내부로 고개를 숙이는 순간,  
호흡기로 고농도 질소가스에 노출

### 탱크 재해 예방 미조치

탱크 점검 작업 시 질소 공급 밸브 차단  
배관 밸브에 질소의 명칭 및 개폐 방향 등 조작 방법에  
관한 표지 게시  
탱크 내부에 머리를 숙이지 않도록 안전 교육 실시



## 질소가스 질식 재해 예방법

- ✓ 작업 시작 전 공기 상태가 적절한지 확인하기 위한 측정·평가
- ✓ 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
- ✓ 공기 호흡기, 송기 마스크 등의 착용 및 관리
- ✓ 사전에 작업자에게 위험 요인과 대응 방법 교육 실시
- ✓ MSDS 경고 표지 등 안전보건표지 부착